



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

**TRABAJO EXPERIMENTAL PREVIO A LA OBTENCIÓN DE TÍTULO DE
INGENIERO MECÁNICO**

TEMA:

**MODELO DE MATERIAL PARA PERFILES CONFORMADO EN FRÍO DE
SECCIÓN TRANSVERSAL UV DE ACERO A572, PARA ESPESORES DE 10
mm Y 12 mm.**

AUTORES: Oscar Damián Aldas Castro

Jimmy Ismael Tasigchana Bonilla

TUTOR: Ing. Francisco Agustín Peña Jordan, MSc.

AMBATO - ECUADOR

Febrero - 2024

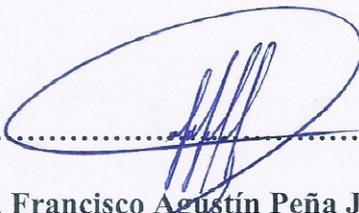
APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de tutor de Trabajo Experimental, previo a la obtención de Título de Ingeniero mecánico, con el tema: **“MODELO DE MATERIAL PARA PERFILES CONFORMADO EN FRÍO DE SECCIÓN TRANSVERSAL UV DE ACERO A572, PARA ESPESORES DE 10 mm Y 12 mm”**. Elaborado por los señores Oscar Damian Aldas Castro, portador de la cédula de ciudadanía C.I. 1850111491 y Jimmy Ismael Tasigchana Bonilla portador de la cédula de ciudadanía C.I. 0504245317, estudiantes de la Carrera de Mecánica, de la Facultad de ingeniería Civil y Mecánica.

Certifico:

- Que el trabajo experimental es original de sus autores.
- Ha sido revisado cada uno de sus capítulos componentes.
- Esta concluido en su totalidad.

Ambato, febrero 2024



.....

Ing. Francisco Agustín Peña Jordán, MSc.

TUTOR

AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, Oscar Damian Aldas Castro, portador de la cédula de ciudadanía C.I.1850111491 y Jimmy Ismael Tasigchana Bonilla portador de la cédula de ciudadanía C.I.0504245317, declaramos que todas las actividades y contenido expuesto en el presente Trabajo experimental con el tema: **“MODELO DE MATERIAL PARA PERFILES CONFORMADO EN FRÍO DE SECCIÓN TRANSVERSAL UV DE ACERO A572, PARA ESPESORES DE 10 mm Y 12 mm”**, así como sus análisis, gráficos, diseños, conclusiones y recomendaciones son de muestra exclusiva responsabilidad como autores del proyecto, a excepción de las referencias bibliográficas citadas en el mismo.

Ambato, febrero 2024



Oscar Damian Aldas Castro

C.I. 1850111491

AUTOR



Jimmy Ismael Tasigchana Bonilla

C.I.0504245317

AUTOR

DERECHOS DE AUTOR

Autorizamos a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga de este Trabajo Experimental o parte de él, un documento disponible para su lectura consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedemos los Derechos de nuestro Trabajo Experimental, con fines de difusión pública, además aprobamos la reproducción de este documento dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando nuestros derechos de autor.

Ambato, febrero 2024



Oscar Damian Aldas Castro

C.I. 1850111491

AUTOR



Jimmy Ismael Tasigchana Bonilla

C.I.0504245317

AUTOR

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los miembros del tribunal de grado aprueban el informe del Trabajo Experimental, realizado por los estudiantes Oscar Damian Aldas Castro y Jimmy Ismael Tasigchana Bonilla de Carrera de Mecánica bajo el tema: **“MODELO DE MATERIAL PARA PERFILES CONFORMADO EN FRÍO DE SECCIÓN TRANSVERSAL UV DE ACERO A572, PARA ESPEORES DE 10 mm Y 12 mm”**

Ambato, febrero 2024

Para constancia firman:



Ing. María Belén Paredes Robalino, Mg.

MIEMBRO CALIFICADOR



Ing. Pablo Raúl Valle Velasco, PhD.

MIEMBRO CALIFICADOR

DEDICATORIA

Dedico a mis padres Edgar Aldas y Corina Castro, quienes son el pilar fundamental para el fortalecimiento como persona y como profesional, a mis hermanos Vinicio, Angélica, Ariel y familiares más allegados con quienes he compartido alegría y anécdotas de la vida, a quienes supieron apoyar mis decisiones en el transcurso de toda mi vida y de quienes aprendí los valores de responsabilidad, cumplimiento, superación y respeto para alcanzar todos mis metas.

A los ingenieros de la carrera de Ingeniería Mecánica quienes me brindaron sus sabios conocimientos con paciencia y dedicación, además a amigos y compañeros de quienes siempre he recibido lo mejor.

Oscar Aldas

A mis Padres, Rodrigo y Libelia, su apoyo constante y sacrificios han sido fundamental para el logro de esta meta académica. Sus consejos, orientación me ha permitido enfrentar desafíos académicos y personales.

A ti, querido hermano Olger, tu presencia en mi vida ha sido una fuente de inspiración y motivación, sirviendo como recordatorio de superación personal.

A todos que creyeron en mí y me brindaron apoyo.

Jimmy Tasigchana

AGRADECIMIENTOS

Primeramente, quiero agradecer a Dios por darme la vida, salud, sabiduría y el entendimiento para poder terminar el presente trabajo de investigación.

A mis padres Edgar Aldas y Corina Castro, con su amor, paciencia y comprensión supieron ayudarme en todo el tiempo sin importar las dificultades que se presenten en mi vida y por formarme como una persona de bien, justa, comprometida y obediente

Al Ing. Francisco Peña MSc, por quien fue posible hacer el proyecto de titulación, gracias a sus aportes y guía con sus conocimientos.

De igual forma a todas las personas que colaboraron moral y económicamente en la culminación del presente proyecto.

Oscar Aldas

En primer lugar, a Dios, por las oportunidades que he recibido a lo largo del camino y por convertirme en un profesional.

A mis Padres, Rodrigo y Libelia y a ti hermano Olger, por la paciencia y el apoyo inquebrantable.

A mi tutor, Ing. Francisco Peña MSc, por su orientación experta y paciencia, que ha sido esencial para llevar a cabo la presente investigación.

A los docentes de la Universidad, por compartir el conocimiento y experiencia, fundamental en nuestra formación.

Jimmy Tasigchana

ÍNDICE DE CONTENIDO

PORTADA.....	i
APROBACIÓN DEL TUTOR.....	ii
AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	iii
DERECHOS DE AUTOR	iv
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO	v
DEDICATORIA	vi
AGRADECIMIENTOS	vii
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	viii
ÍNDICE DE TABLAS	xii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xvii
ÍNDICE DE GRÁFICOS	xviii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xx
RESUMEN EJECUTIVO	xxi
ABSTRACT.....	xxii
CAPÍTULO I.....	1
MARCO TEÓRICO.....	1
1. TEMA	1
1.1. Antecedentes investigativos	1
1.1.1 Justificación.....	4
1.1.2 Fundamentación teórica	5
1.1.2.1 Construcción en acero	5
Acero ASTM A572	5

1.1.2.2 Aceros laminados en caliente.....	6
1.1.2.3 Aceros laminados en frío	6
1.1.2.4 Doblado de la placa.....	7
1.1.2.5 Formado con rodillos de contorno	9
1.1.2.6 Tipos de perfiles conformados en frío	10
1.1.2.7 Aplicaciones.....	11
1.1.2.8 Historia de las torres de telecomunicaciones	12
1.1.2.9 Curva esfuerzo-deformación ingenieril.....	13
1.1.2.10 Curva esfuerzo-deformación verdadera	15
1.1.2.11 Efecto de conformado en frío en secciones.....	16
1.1.2.12 Modelos predictivos	16
1.1.2.13 Ensayos de Tracción	19
1.1.2.14 Ensayos de Dureza	19
1.1.2.15 Tamaño de grano.....	20
1.2 Objetivos	21
1.2.1 Objetivo general	21
1.2.2 Objetivos específicos	21
1.3 Planteamiento de hipótesis.....	21
1.3.1 Señalamiento de la variable dependiente	21
1.3.2 Señalamiento de la variable independiente	21
 CAPÍTULO II	 22
2. METODOLOGÍA	22
2.1 MATERIALES	22
2.1.1 Descripción de equipos y materiales.....	22
2.1.2 Descripción técnica de los equipos	30
2.1.3 Acero ASTM A572	34
2.2 MÉTODOS	36
2.2.1 Tipo de investigación	36
2.2.2 Procedimiento para el desarrollo del proyecto.....	36
2.2.3 Diseño de perfil UV	37

2.2.4 Operacionalización de variables.	40
2.2.5 Conformado en frío del perfil	42
2.2.6 Metodología de ensayo de tracción.....	45
2.2.7 Diseño de probetas	45
2.2.8 Manufactura de probetas	46
2.2.9 Etiquetado de probetas	46
2.2.10 Proceso de obtención de probetas	48
2.2.11 Proceso de ensayo de tracción.....	50
2.2.10 Ensayo de micrografía.....	54
2.2.5 Ensayo de dureza.....	59
 CAPÍTULO III.....	 62
 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	 62
3.1 Análisis y discusión de los resultados.....	62
3.1.1 Resultados de ensayo de tracción.....	62
3.1.2 Resultados de Ensayo de Dureza	103
3.1.3 Determinación de la modificación de tamaño de grano.....	110
3.1.4 Análisis de resultados del ensayo de tracción	118
3.1.5 Análisis de resultados de ensayo de dureza	123
3.1.6 Análisis de resultados de tamaño de grano	126
3.1.7 Análisis de resistencia del material en la parte interna y externa.	127
3.2 Verificación de Hipótesis	128
3.2.1 Hipótesis de resistencia a la fluencia	128
3.2.2 Hipótesis de resistencia a la tracción	130
3.2.3 Hipótesis de afectación por conformado en frío de 10 y 12 mm de espesor. .	131
3.2.4 Hipótesis de afectación de dureza	133
3.2.5 Hipótesis de afectación de módulo de elasticidad.....	135
 CAPITULO IV.....	 138
 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	 138
4.1. Conclusiones	138

4.2. Recomendaciones.....	139
BIBLIOGRAFÍA	141
ANEXOS	147

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Equipos utilizados para la investigación.	22
Tabla 2. Listado de materiales	24
Tabla 3. Listado de herramientas.	27
Tabla 4. Equipos de seguridad.	29
Tabla 5. Descripción técnica de la máquina cizalla hidráulica.	30
Tabla 6. Descripción técnica de la máquina dobladora.....	31
Tabla 7. Descripción técnica de la máquina por corte de chorro de agua.....	32
Tabla 8. Descripción técnica de la máquina universal.	32
Tabla 9. Máquina de ensayo de dureza.	33
Tabla 10. Descripción técnica del microscopio metalográfico	34
Tabla 11. Propiedades físicas y mecánicas de acero ASTM A572 grado 50 [52].	34
Tabla 12. Propiedades químicas del acero ASTM A572 grado 50.	35
Tabla 13. Especificación de probetas.....	40
Tabla 14. Operacionalización de variable independiente.	41
Tabla 15. Operacionalización de la variable dependiente.....	41
Tabla 16. Proceso para el conformado en frío del perfil UV.	42
Tabla 17. Identificación de las probetas en el perfil UV de material ASTM A572... ..	47
Tabla 18. Actividades para la obtención de probetas.....	48
Tabla 19. Actividades para el desarrollo de ensayo de tracción.	50
Tabla 20. Actividades para el desarrollo de ensayo de metalografía.	55

Tabla 21. Actividades para el desarrollo de ensayo de dureza.	59
Tabla 22. Reporte de ensayo de tracción para la probeta P2_A1_10_01.....	62
Tabla 23. Reporte de ensayo de tracción para la probeta P2_A1_10_02.....	64
Tabla 24. Reporte de ensayo de tracción para la probeta P2_A1_10_03.....	65
Tabla 25. Reporte de ensayo de tracción para la probeta P2_A1_10_04.....	66
Tabla 26. Reporte de ensayo de tracción para la probeta P2_A1_10_05.....	67
Tabla 27. Reporte de ensayo de tracción para la probeta P2_A2_10_01.....	68
Tabla 28. Reporte de ensayo de tracción para la probeta P2_A2_10_02.....	69
Tabla 29. Reporte de ensayo de tracción para la probeta P2_A2_10_03.....	70
Tabla 30. Reporte de ensayo de tracción para la probeta P2_A2_10_04.....	71
Tabla 31. Reporte de ensayo de tracción para la probeta P2_A2_10_05.....	72
Tabla 32. Reporte de ensayo de tracción para la probeta P2_1C_10_01.....	73
Tabla 33. Reporte de ensayo de tracción para la probeta P2_1C_10_02.....	74
Tabla 34. Reporte de ensayo de tracción para la probeta P2_1C_10_03.....	75
Tabla 35. Reporte de ensayo de tracción para la probeta P2_1C_10_04.....	76
Tabla 36. Reporte de ensayo de tracción para la probeta P2_1C_10_05.....	77
Tabla 37. Reporte de ensayo de tracción para la probeta P2_I_10_01	78
Tabla 38. Reporte de ensayo de tracción para la probeta P2_I_10_02	79
Tabla 39. Reporte de ensayo de tracción para la probeta P2_I_10_03	80
Tabla 40. Reporte de ensayo de tracción para la probeta P2_I_10_04	81
Tabla 41. Reporte de ensayo de tracción para la probeta P2_I_10_05	82

Tabla 42. Reporte de ensayo de tracción para la probeta P2_1C_12_01.....	83
Tabla 43. Reporte de ensayo de tracción para la probeta P2_1C_12_02.....	84
Tabla 44. Reporte de ensayo de tracción para la probeta P2_1C_12_03.....	85
Tabla 45. Reporte de ensayo de tracción para la probeta P2_1C_12_04.....	86
Tabla 46. Reporte de ensayo de tracción para la probeta P2_1C_12_05.....	87
Tabla 47. Reporte de ensayo de tracción para la probeta P2_A1_12_01.....	88
Tabla 48. Reporte de ensayo de tracción para la probeta P2_A1_12_02.....	89
Tabla 49. Reporte de ensayo de tracción para la probeta P2_A1_12_03.....	90
Tabla 50. Reporte de ensayo de tracción para la probeta P2_A1_12_04.....	91
Tabla 51. Reporte de ensayo de tracción para la probeta P2_A1_12_05.....	92
Tabla 52. Reporte de ensayo de tracción para la probeta P2_A2_12_01.....	93
Tabla 53. Reporte de ensayo de tracción para la probeta P2_A2_12_02.....	94
Tabla 54. Reporte de ensayo de tracción para la probeta P2_A2_12_03.....	95
Tabla 55. Reporte de ensayo de tracción para la probeta P2_A2_12_04.....	96
Tabla 56. Reporte de ensayo de tracción para la probeta P2_A2_12_05.....	97
Tabla 57. Reporte de ensayo de tracción para la probeta P2_I_12_01	98
Tabla 58. Reporte de ensayo de tracción para la probeta P2_I_12_02	99
Tabla 59. Reporte de ensayo de tracción para la probeta P2_I_12_03	100
Tabla 60. Reporte de ensayo de tracción para la probeta P2_I_12_04	101
Tabla 61. Reporte de ensayo de tracción para la probeta P2_I_12_05	102

Tabla 62. Ensayo de dureza Brinell del material original antes de realizar en doblez del perfil tipo UV del Acero ASTM A572, Gr. 50 para 10 mm de espesor.	104
Tabla 63. Ensayo de dureza Brinell en la parte interna de la sección, después de realizar el doble del perfil tipo UV del Acero ASTM A572, Gr. 50 para 10 mm de espesor.....	105
Tabla 64. Ensayo de dureza Brinell en la parte externa de la sección, después de realizar en dobles del perfil tipo UV del Acero ASTM A572, Gr. 50 para 10 mm de espesor.....	106
Tabla 65. Resultados de ensayo de dureza del material virgen de 12 mm de espesor.	107
Tabla 66. Reporte de ensayo de dureza para la parte interna de la sección UV de 12 mm de espesor.....	108
Tabla 67. Reporte de ensayo de dureza para la sección externa de 12 mm de espesor.	109
Tabla 68. Reporte de ensayo de metalografía para 10 mm de espesor.	110
Tabla 69. Reporte de ensayo de metalografía para 12 mm de espesor	111
Tabla 70. Determinación de tamaño de grano para 10 mm de espesor.....	113
Tabla 71. Determinación de tamaño de grano para 12 mm de espesor.....	115
Tabla 72. Prueba de hipótesis para esfuerzo a la fluencia para 10 mm de espesor..	128
Tabla 73. Prueba de hipótesis del esfuerzo a la fluencia para 12 mm de espesor....	129
Tabla 74. Prueba de hipótesis del esfuerzo a la tracción para espesor de 10 mm....	130
Tabla 75. Prueba de hipótesis de esfuerzo a la tracción para espesor de 12 mm....	131
Tabla 76. Análisis de hipótesis para esfuerzo de fluencia de 10 y 12 mm de espesor.	132

Tabla 77. Análisis de hipótesis para esfuerzo a la tracción de 10 y 12 mm de espesor.	132
Tabla 78. Análisis de hipótesis para afectación de dureza interna y externa de la sección UV para 10 mm de espesor.	134
Tabla 79. Análisis de hipótesis para afectación de dureza interna y externa de la sección UV para 12 mm de espesor.	134
Tabla 80. Análisis de hipótesis para módulo de elasticidad de 10 mm de espesor..	135
Tabla 81. Análisis de hipótesis para módulo de elasticidad de 12 mm de espesor..	136
Tabla 82. Análisis de la hipótesis para módulo de elasticidad de los dos espesores.	137

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Terminología de doblado [31].	7
Figura 2. Operaciones comunes de doblado con matriz [31].	8
Figura 3. Formación de un perfil mediante la utilización de rodillos [34] [33].	10
Figura.4 Medición de torcimiento longitudinal de los perfiles abiertos [37].	11
Figura 5. Aplicaciones de conformado en frío [40].	12
Figura 6. Uso de perfiles tipo UV en torres de telecomunicaciones [41].	13
Figura 7. Curva de Esfuerzo - Deformación Ingenieril [43].	14
Figura 8. Comparación de curva esfuerzo-deformación verdadera e ingenieril [46].	15
Figura 9. Región de afectación de las esquinas [17].	16
Figura 10. Procedimiento general del proyecto.	37
Figura 11. Dimensiones de los perfiles UV.	38
Figura 12. Distribución de probetas en el perfil UV.	40
Figura 13. Diagrama de elaboración de ensayos de tracción.	45
Figura 14. Diseño de probetas para aceros de espesor de 10 mm y 12 mm para partes planas y esquinas.	45
Figura 15. Mecanizado por Abrasive Water Jet Cutting de las probetas de 10 y 12 mm de espesor.	46
Figura 16. Diagrama para la ejecución de ensayo de metalografía.	54
Figura 17. Ubicación de los puntos de ensayos en la sección UV.	103

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Comparación de curvas de ingenieril y verdadera para la sección plana del ALA1 de 10 mm de espesor.....	118
Gráfico 2. Comparación de las curvas de ingenieril y verdadera para la sección plana del ALA2 para 10 mm de espesor.....	119
Gráfico 3. Comparación de las curva ingenieril y verdadera para sección plana intermedia para 10 mm de espesor.....	119
Gráfico 4. Comparación de las curvas ingenieril y verdadera para la sección de las esquinas para 10 mm de espesor.	120
Gráfico 5. Comparación de curvas ingenieril y verdaderas para la ALA 1 de 12 mm de espesor.....	120
Gráfico 6. Comparación de las curvas de ingenieril y verdadera del ALA 2 para 12 mm de espesor.....	121
Gráfico 7. Comparación de curvas de ingenieril y verdaderas de la sección intermedia de 12 mm de espesor.....	121
Gráfico 8. Comparación de curvas de ingenieril y verdaderas de las esquinas para 12 mm de espesor.....	122
Gráfico 9. Comparación de Gráficas de la parte de perfil UV para 10 mm de espesor.	122
Gráfico 10. Gráficas de comparación de entre secciones UV para 12 mm de espesor.	123
Gráfico 11. Distribución de dureza Brinell en la sección UV en la parte interna para 10 mm de espesor.....	124
Gráfico 12. Distribución de dureza Brinell en la sección UV en la parte externa para 10 mm espesor.	124

Gráfico 13. Distribución de dureza Brinell en la sección UV en la parte interna para 12 mm de espesor.....	125
Gráfico 14. Distribución de dureza Brinell en la sección UV en la parte externa para 12 mm de espesor.....	125
Gráfico 15. Afectación de microestructura en relación con el tamaño de grano.	126
Gráfico 16. Resistencia del acero A572 en función de dureza Brinell para 10 mm de espesor.....	127
Gráfico 17. Resistencia del acero A572 en función de dureza Brinell para 12 mm de espesor.....	127

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Certificado de calidad del producto del acero ASTM A572 Gr 50 de 10 mm de espesor.....	147
Anexo 2. Certificado de material del acero ASTM A572 Gr 50 de 12 mm de espesor.	148
Anexo 3. Modelo de perfil UV conformado en frío.....	149
Anexo 4. Extracción de probetas normalizadas del perfil UV conformado en frío.	149
Anexo 5. Distribución de probetas en la sección UV.	150
Anexo 6. Clasificación de probetas por secciones y espesores.....	150
Anexo 7. Reporte de ensayos de tracción para ALA1 del acero ASTM A572 de 10 mm de espesor.....	151
Anexo 8. Reporte de ensayo de tracción de ALA2 del acero ASTM A572 de 10 mm de espesor.	152
Anexo 9. Reporte de ensayo de tracción de CURVAS del acero ASTM A572 de 10 mm de espesor.....	153
Anexo 10. Reporte de ensayo de tracción de INTERMEDIAS del ASTM 572 de 10 mm de espesor.....	154
Anexo 11. Reporte de ensayo de tracción de CURVAS de ASTM A572 de 12 mm de espesor.....	155
Anexo 12. Reporte de ensayo de tracción INTERMEDIA del ASTM A572 de 12 mm de espesor.	156
Anexo 13. Reporte ensayo de tracción de ALA1 de ASTM A572 de 12 mm de espesor.....	157
Anexo 14. Reporte de ensayo de tracción de ALA2 de ASTM A572 de 12 mm de espesor.....	158

RESUMEN EJECUTIVO

El proceso de conformado en frío genera una cantidad de esfuerzos residuales debido a la presencia de dislocaciones en la estructura que produce un aumento de energía interna del material. Actualmente los aceros conformados en frío han tenido un amplio crecimiento en el mercado debido a que es más ligero, tienen la facilidad de conformar y con mejores propiedades mecánicas. Con los avances de la tecnología se puede estudiar con mayor detalle el comportamiento de secciones completas.

Se estudió el comportamiento mecánico del acero ASTM A572 de grado 50, debido al proceso de conformado en frío del perfil tipo UV para 10 y 12 mm de espesor, para evaluar las propiedades mecánicas se obtuvo probetas mediante el corte por chorro de agua, puesto que no sufren esfuerzos ni cargas térmicas. A continuación, se evaluó la variabilidad de dureza a lo largo de la sección UV tanto en la parte interna como en la externa. Finalmente se identificó las partes afectadas y la distancia del inicio de esfuerzos residuales a través de la visualización de la modificación del tamaño del grano.

Los resultados del estudio por el proceso de conformado en frío de sección tipo UV para 10 y 12 mm de espesor, demuestran que hay un aumento significativo del límite de fluencia, una reducción de la ductilidad y no existe una diferencia significativa del módulo de elasticidad, Además, se determinó la variabilidad de dureza Brinell y la afectación del grano a 1.1 veces el espesor de la placa a partir de la final de la curva.

Palabras claves: conformado en frío, dureza, esfuerzo de fluencia, micrografía, módulo de elasticidad.

ABSTRACT

The cold forming process generates an amount of residual stresses due to the presence of dislocations in the structure that produces an increase in the internal energy of the material. Currently, cold-formed steels have had a wide growth in the market due to their lighter weight, ease of forming and better mechanical properties. With the advances in technology, the behavior of complete sections can be studied in greater detail.

The mechanical behavior of ASTM A572 grade 50 steel was studied, due to the cold forming process of the UV type section for 10 and 12 mm thickness. To evaluate the mechanical properties, specimens were obtained by water jet cutting, since they do not undergo stresses or thermal loads. Then, the hardness variability along the UV section was evaluated both in the internal and external part. Finally, the affected parts and the distance of the onset of residual stresses were identified through the visualization of the modification of the grain size.

The results of the study by the cold forming process of UV type section for 10 and 12 mm thickness, show that there is a significant increase of the yield stress, a reduction of the ductility and there is no significant difference of the modulus of elasticity. In addition, the variability of Brinell hardness and grain affectation was determined at 1.1 times the plate thickness from the end of the curve.

Keywords: cold forming, hardness, yield stress, micrograph, modulus of elasticity.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1. TEMA

MODELO DE MATERIAL PARA PERFILES CONFORMADO EN FRÍO DE SECCIÓN TRANSVERSAL UV DE ACERO A572, PARA ESPESORES DE 10 mm Y 12 mm.

1.1. Antecedentes investigativos

En 1946, se publicó la primera norma del Instituto Americano del Hierro y el Acero (AISI), con lo cual se inicia la utilización del acero conformado en frío en el ámbito de la ingeniería estructural [1]. El acero ha sido uno de los materiales más usados, que han determinado el desarrollo de la economía a nivel mundial, como es el caso de China y la India, donde la demanda de acero conformado en frío ha contribuido en el desarrollo industrial y económico [2]. Actualmente, el acero estructural conformado en frío, es el más utilizado en la construcción residencial y en estructuras, como, postes de transmisión, torres de telecomunicaciones, construcción de puentes, equipos de almacenamiento, vagones, entre otros, y en cuanto al proceso de fabricación de perfiles conformado en frío es igual en cualquier otro país [3].

Las estructuras de sección transversal conformado en frío pueden ser cerradas de forma circular o rectangular, cuadradas y abiertas de diversas formas [4]. Los perfiles de sección transversal conformados en frío, normalmente se usa como vigas y columnas con espesores de 0.4 a 6 mm, denominadas de pared delgada, y se aplica en estructuras de poca altura [5][6]. Sin embargo, ha aumentado la demanda de usar estructuras de medianas y grandes alturas y con espesores de pared gruesa [7]. Los estudios realizados demuestran que, durante el proceso de conformado en frío, produce cantidades considerables de tensiones residuales, lo que causa diferencias significativas entre conformados en frío de pared delgada y gruesa [8], [9]. Por lo general, los materiales con especificación ASTM internacional se encuentran dentro de rango permitido para aplicaciones estructurales conformado en frío, por ejemplo, ASTM A36, ASTM A500, ASTM A529, ASTM A572, ASTM A606, entre otros [10]. El acero ASTM A572 está sustituyendo al acero ASTM A36 debido a que ofrece mejores propiedades mecánicas [11].

El uso de torres de telecomunicaciones se espera un crecimiento de 5 a 5.76 millones de base instalada en el mundo hasta el 2028, esto debido al aumento de dispositivos inteligentes conectados a la red [12]. El estudio de Telecom Advisory Services estimó que para el 2030 solo América Latina necesitarán entre 2 y 3 veces más del número de bases instalada actualmente y además recomendó a municipios a dar permisos para despliegue de celdas pequeñas para brindar un servicio de 5G [13].

Los aceros conformados en frío se usan ampliamente en sistemas estructurales debido su relación peso y resistencia. El espesor de las paredes superior a 6 mm, se considera pared gruesa, por lo general, se fabrican en formas cerradas, tales como, circulares o cuadradas, usadas en edificaciones de gran altura. Para estudiar el efecto de conformado en frío se realizan pruebas de tracción del material. En esta investigación obtenidas de un perfil tipo C y ZC, los resultados de las pruebas revelaron que la relación del límite elástico en pared plana y el metal base es de 1.01 y 1.15, mientras que la relación entre las esquinas y el metal base varían entre 1.42 y 1.65 [14].

Realizaron un estudio sobre las columnas cuadradas de pared gruesa de 22 mm de espesor por [15], donde realizaron estudios del comportamiento del material, la distribución de tensión residual y rendimiento de compresión axial numérica y experimentalmente, donde, mencionan que tienen efectos por la conformación en frío en placas de aceros y además sus propiedades no son uniformes, principalmente por que la ductilidad disminuye y con respecto al segmento de rendimiento por compresión no encontraron un comportamiento con claridad. De acuerdo con la investigación realizada se obtuvo que las columnas cuadradas conformadas en frío de placas de acero, cumplen con los requisitos del código chino, soportan la compresión axial y son capaces de soportar cargas hasta de 21000 KN.

En el estudio experimental en frío [7], se realizaron pruebas a las probetas de un tubo de acero de pared gruesa conformados en frío, donde buscaban estudiar el efecto del conformado en frío. En este estudio llegan a la conclusión que a temperatura ambiente mejora significativamente el límite elástico y la resistencia de los aceros, pero con el aumento a altas temperaturas, su efecto se elimina gradualmente.

Según [16], estudiaron la influencia de los aceros conformados en frío en condiciones ambientales para secciones de pared gruesa entre 6 y 16 mm de espesor, en esta investigación observaron un aumento de fuerza del límite elástico en comparación en

paredes planas dentro de la misma sección. Además, mencionan que tomando en cuenta el efecto de conformado en frío, los estándares de diseño no son adecuados para secciones huecas.

Para evaluar su aplicabilidad y confiabilidad de modelos de sección transversal, estudiaron métodos de cálculo con estándares de AISI, Eurocode, GB50018, Australian Standards y otros métodos empíricos realizados por investigadores, donde realizaron 102 pruebas de cupón de tracción y compararon el límite elástico en las esquinas y el límite elástico promedio de las secciones completas [17]. Concluyeron que en los estándares predicen en exceso en las esquinas cuando está en alta deformación plástica y en los métodos empíricos pueden ajustarse cuando la relación de radio interno y el espesor varíen entre 1 y 1.5. Además, proponen nuevas ecuaciones para predecir dependiendo de la relación de radio interno y el espesor, que, al comparar con las nuevas ecuaciones con los estándares y métodos empíricos, muestran menos dispersión.

En la investigación del efecto de trabajo en frío, validez de las ecuaciones de Karren (AISI) y ECCS (Eurocode) y modos fallos de tensiones en secciones angulares [18]. Realizaron pruebas de tracción en ángulos para espesores de 2 a 15mm, donde se compararon los límites elásticos, resistencia final y sobre resistencia. Como resultado mencionan que existe un exceso de resistencia debido al conformado en frío y recomiendan realizar investigaciones debido a que ofrecen un mejor rendimiento.

En el estudio de los aceros conformados en frío de pared delgada, utilizaron un software por elementos finitos donde verificaron que sufren grandes rotaciones de torsión antes de su falla. Los modelos de elementos finitos muestran la plasticidad de los aceros y pudieron evidenciar los cambios que se puede presentar en las estructuras antes de su fallo. La modelación se puede hacer con elementos Beam o Shell en el software y se desarrollaron en condiciones fijas de alabeo idealizado mediante un método elementos finitos, al realizar la simulación de la torsión, pudieron evidencia la esbeltes que proporciona el perfil y obtuvieron resultados como la compresión axial, cortante y la flexión [19].

En la investigación de los tubos cuadrados y rectangulares conformados en frío de pared gruesa comprimidos axialmente, donde obtuvieron datos de esfuerzo-deformación y compararon el resultado con el código chino y las especificaciones

norteamericana, adicional crearon un modelo de elementos finitos [20]. Concluyen que el código chino GB50018 y AISI S100 no son adecuados para aceros conformados en frío de pared gruesa y proponen una curva ajustada separada donde tiene un mejor resultado a las pruebas realizadas.

Se analizaron la curva esfuerzo-deformación existentes en la literatura con los modelos existentes en todo el mundo para evaluar su aplicabilidad, además, se desarrollaron un modelo Ramberg-Osgood de dos etapas [21]. Concluyen que el modelo de Rossi tiene mejor resultado para las esquinas, además recomiendan el uso para predecir la curva tensión-deformación para el diseño y para el análisis computacional de los aceros.

1.1.1 Justificación

La presente investigación se enfoca en el análisis del comportamiento del Acero ASTM A572 conformado en frío Tipo UV, con un espesor específico de 10 y 12 mm. Este enfoque surge ante la carencia de estudios conformados en frío y del material, a pesar de su creciente importancia en la industria. La selección de este tema se justifica por la necesidad de profundizar en el conocimiento de las propiedades y el rendimiento de este tipo de acero en aplicaciones específicas que los ingenieros podrán tomar decisiones para diseñar y construir estructuras más eficientes y económicas, dada su relevancia en la infraestructura de telecomunicaciones.

Los datos obtenidos de la investigación sobre el acero conformado en frío ASTM A572 Tipo UV serán fundamentales para realizar análisis detallados mediante métodos numéricos en el futuro.

La viabilidad de esta investigación está respaldada por el uso de normas reconocidas en la ingeniería, como ASTM E10, E8/E8M y E112, para llevar a cabo ensayos de dureza, tracción y determinación del tamaño de grano, respectivamente. Además, la colaboración con laboratorios tanto internos como externos que garanticen la validez y confiabilidad de los resultados.

1.1.2 Fundamentación teórica

1.1.2.1 Construcción en acero

El acero está compuesto de Fe-C y contiene otros elementos en su composición, como Cr, Mo, entre otros. La soldabilidad del acero depende en gran medida del contenido de carbono, cuanto mayor es el contenido de carbono en las aleaciones, más difíciles se vuelven las soldaduras, y cuanto menor es el contenido de carbono, mejores son las soldaduras de los materiales [22].

Los aceros estructurales se obtienen de la combinación del hierro, carbono y elementos tales como el silicio, fósforo, azufre y oxígeno, mediante combinaciones se obtiene mejores propiedades mecánicas, como resistencias mecánicas, soldadura, buenas resistencias a las corrosiones y ductilidades a una temperatura ambiente. El acero estructural se emplea para construcciones de una estructura como edificación, que se emplea perfiles estructurales de tipo L, U, T, H, I, también de un cabo y tirante en los casos del puente; varilla y malla para concretos reforzados y lámina plegada usada en techo y piso [22].

En la actualidad se ha producido avances sustanciales en el ámbito de la construcción del acero, ya que se utiliza en la construcción de edificaciones, la fabricación de Maquinarias, puentes, torres eléctricas y de comunicación, vehículos y electrodomésticos. El acero se encuentra en diferentes formas en barras, láminas, perfiles y pernos, etc. Posee resistencia con la ductilidad, tenacidad entallada, fatiga, corrosión y soldabilidad. El acero tiene diferentes combinaciones y aleaciones, algunos son esenciales para estructuras, recipientes a presión, a temperaturas atmosféricas ordinarias, mientras que otros son para uso a temperaturas criogénicas o elevada[23].

Acero ASTM A572

El acero estructural ASTM A572 es considerado de alta resistencia y baja aleación, y se clasifica según el grado, entre ellos tenemos, el estándar, grados 42, 50, 55, 60 y 65 [24]. El acero ASTM A572 está reemplazando al acero ASTM A36 debido a que tiene mejores propiedades mecánicas [25].

1.1.2.2 Aceros laminados en caliente

Se entiende por conformados en caliente cuando se realiza trabajos a temperaturas elevadas pero que no represente peligro de fusión incipiente, es decir por debajo de la temperatura de recristalización, en donde los procesos de ablandamiento son rápidos [26]. La ventaja principal es producir deformaciones plásticas importantes del metal en comparación en conformados en frío, esto debido a que la curva de la fluencia del metal conformado en caliente tiene menor resistencia en comparación a temperatura ambiente[27].

1.1.2.3 Aceros laminados en frío

El acero conformado en frío se fabrica doblando láminas planas de acero a temperatura ambiente hasta darle una forma capaz de soportar más que la propia lámina plana. Se fabrican desde hace más de un siglo, desde que las acerías produjeron las primeras planchas planas de acero. En los últimos años, los materiales de mayor resistencia y con una gama más amplia de aplicaciones estructurales, que han llevado a un crecimiento significativo del acero conformado en frío en comparación con el acero laminado en caliente tradicional, más pesados [28].

Los avances recientes en el uso práctico de perfiles conformados en frío en la construcción de edificios se han producido en tres áreas interrelacionadas. Los avances significativos en la tecnología han dado lugar a formas más complejas con un mayor límite elástico, por lo que las secciones laminadas en frío son una forma de estructura de acero particularmente de alta tecnología para la construcción. Esto, a su vez, impone exigencias a los métodos de diseño y requiere el desarrollo paralelo de modelos de cálculo y estándares de diseño. La última tendencia es alejarse de los modelos de diseño simplificados y adoptar procedimientos de diseño basados en análisis de "sección completa" [29].

En el pasado, las principales aplicaciones eran: correas y rieles de chapa y componentes relacionados; revestimientos y tarimas; estantes y estanterías para pallets, etc. [29].

A continuación, se presenta las ventajas, desventajas y disponibilidad en el mercado de los aceros conformados en frío [30].

Ventajas

- Es económico debido a la mano de obra
- Es más liviano y permite alcanzar grandes luces
- Facilidad para dar forma al perfil
- Uso eficiente de montaje

Desventajas

- Comercialización limitada en el mercado local
- Disposición de maquinaria adecuada para la fabricación
- Necesario disponer de medios adicionales para el montaje

1.1.2.4 Doblado de la placa

Esta operación industrial es de las más utilizadas debido a que mejora su rigidez de la estructura sin adicionar el peso. En la Figura 1, se muestra la terminología de doblado en láminas o placas, donde, en las fibras externas se encuentran a tensión, mientras que, en las fibras internas se encuentran a compresión [31].

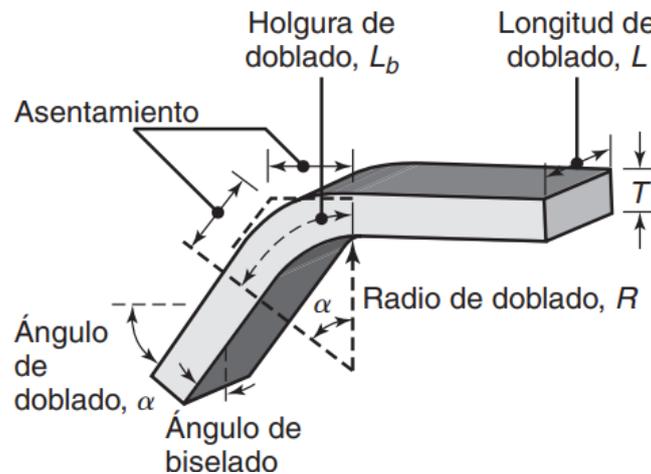


Figura 1 Terminología de doblado [31].

Se realiza operaciones de doblado mediante prensas mecánicas o hidráulicas, ideales para producción en pequeños lotes, además, se adaptan rápido para crear gran variedad de formas. La lámina o placa se expone a esfuerzo de flexión para dar formas con un determinado radio de curvatura. En la Figura 2, se observa cómo se realiza el doblado de una placa mediante la utilización de un punzón y una matriz. [32].

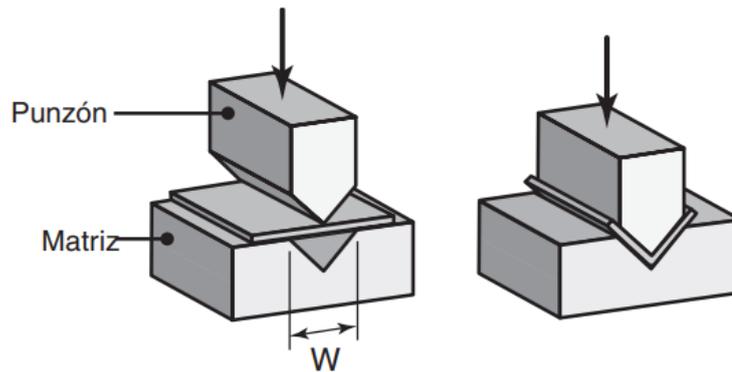


Figura 2. Operaciones comunes de doblado con matriz [31].

- **Tolerancia del doblado**

Cuando el radio de doblado es inferior al espesor del material, se produce un estiramiento del material, que se debe considerar para coincidir con las dimensiones especificadas. Se calcula con ecuación (1), la cual proporciona la longitud de estiramiento. [27].

$$A_b = \frac{2\pi\alpha}{360} (R + K_{bd}t) \quad (1)$$

Donde:

A_b =Tolerancia del doblado (mm)

α =ángulo de doblado (grados)

R =radio de doblado (mm)

t =espesor (mm)

K_{bd} =factor para estimar depende de $k = 0.33$ $R < 2t$
 $k = 0.5$ $R \geq 2t$

- **Fuerza de doblado**

La fuerza de doblado es la fuerza que se requiere para doblar el material y depende de algunos parámetros importantes que se presenta en la ecuación (2), dicha ecuación nos da la fuerza de doblado.

$$F = \frac{K_{bf}TSwt^2}{D} \quad (2)$$

Donde:

F= Fuerza aplicar (N).

TS=Resistencia a la tensión (MPa).

w = ancho en dirección de dobles (mm).

D=dimensión de troquel.

K_{bf} = es una constante de $k=1.33$ para doblado en V.

1.1.2.5 Formado con rodillos de contorno

El perfilado (roll forming) se realiza mediante la deformación plástica, que generalmente se define como conformado a lo largo de líneas de pliegue rectas, paralelas y longitudinales utilizando rodillos como herramientas, cuyo contorno coincide con la forma del perfil resultante, todo ello sin cambiar (o minimizar) el espesor del material[33].

Con cada estación, la geometría de la chapa se acerca gradualmente a la geometría del perfil deseado, las velocidades típicas de alimentación de chapa oscilan entre 10 y 60 m/min y pueden alcanzar los 180 m/min [33]. Actualmente, el rango de espesores de chapa al que es aplicable este proceso es de 0,1 a 20 mm. Esta velocidad hace que el perfilado sea uno de los procesos de fabricación más utilizados en la actualidad en el mecanizado de chapa, siendo ideal para la producción en series de piezas largas con una sección transversal constante [33]. A continuación se puede ver el conformado en frío en la Figura 3, por estaciones mediante la utilización de rodillos y la máquina que le da la forma a los perfiles mediante los rodillos de distintos tamaños y formas [33].

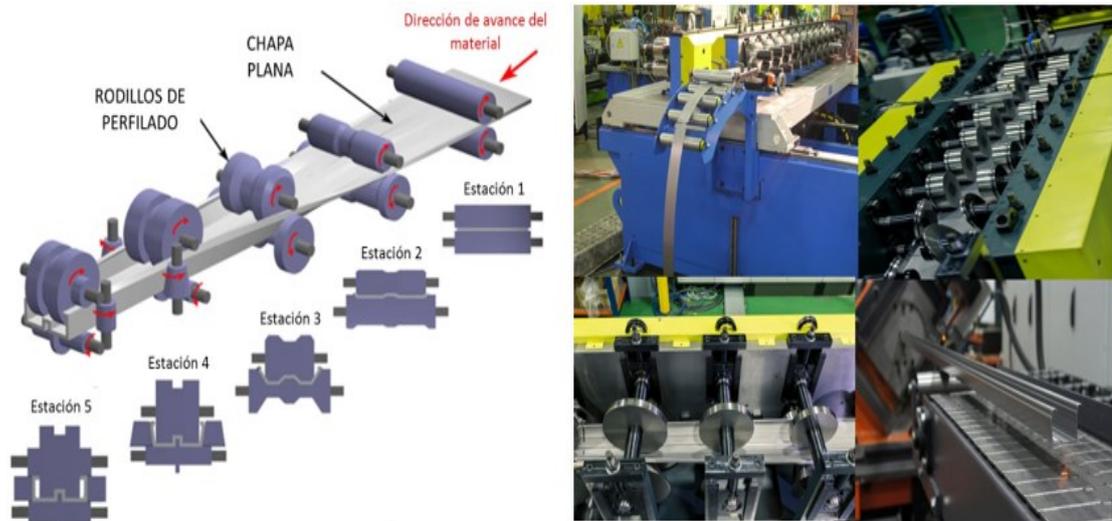


Figura 3. Formación de un perfil mediante la utilización de rodillos [34] [33].

El innovador proceso de conformado “Flexible Roller Beading”, que permite la producción de perfiles de chapa con secciones transversales ajustables y alturas variables [35]. Se pueden producir productos semiacabados, lo que potencialmente reduce el esfuerzo necesario y amplía los límites del proceso de conformado posterior. Por lo tanto, se desarrolla un sistema de fabricación de cuentas laminadas flexibles que cumple con los requisitos cinemáticos necesarios del proceso de conformado y se llevan a cabo pruebas experimentales [35].

1.1.2.6 Tipos de perfiles conformados en frío

Existe perfiles de acero de láminas delgadas que varía su espesor desde 0.01 hasta 0.25 pulgadas, esto se utiliza como paneles estructurales y como miembros ligeros como muros, techos y pisos [36]. Y a nivel nacional la norma INEN 1623 regula los requisitos e inspección a todos los perfiles abiertos de aceros conformados en frío para uso estructural y fabricación en acero al carbono negro y galvanizado, donde se clasifica por tipos C (canal), L (Alas iguales y desiguales), G, Z (correa), Omega y V (perfil), en la Figura 4, se puede ver los perfiles de sección abierta [37].

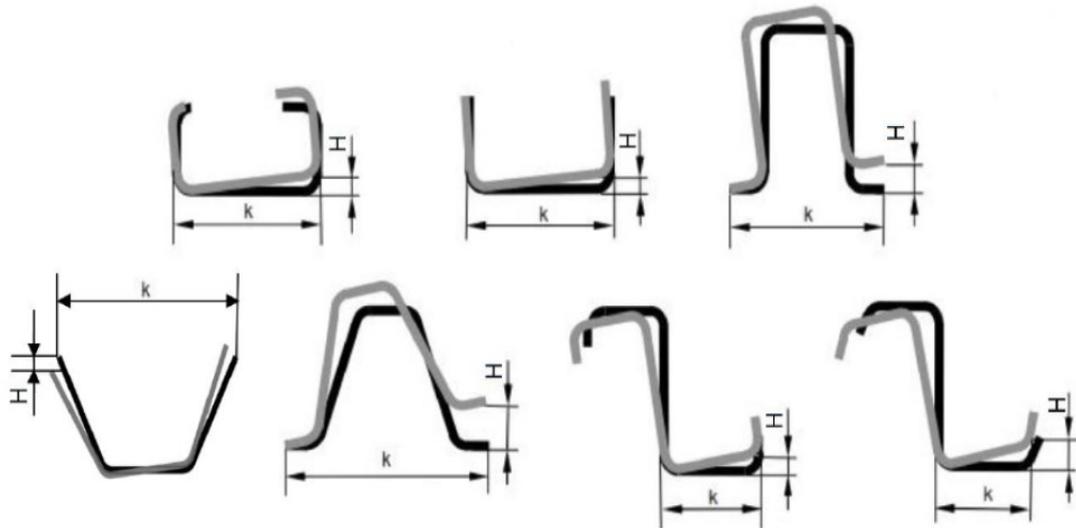


Figura.4 Medición de torcimiento longitudinal de los perfiles abiertos [37].

1.1.2.7 Aplicaciones

Los aceros laminados en frío se utiliza principalmente en la fabricación de electrodomésticos, productos eléctricos, instrumentos de presión, industria alimentaria, sector automovilístico, aviación, material rodante o locomoción, partes de maquinaria, estantería, cerrajería, herramientas, tuberías y en las edificaciones con los diferentes perfiles [38], [39].

Entre los ejemplos que podemos mencionar esta: vigas, tubos, latas de conservantes, chapas, tubos de escape, engranajes, anclajes, calentadores de agua, sillas, mesas archivadoras, pernos de maquinaria y por último, se está utilizando en la construcción de periferias engarzar, perforar o doblar [38], [39]. En la Figura 5, se puede ver perfiles conformados en frío de las diferentes formas y tamaños que se pueden presentar [40].



Figura 5. Aplicaciones de conformado en frío [40].

Además, se presentan en diversas formas, como vigas, columnas, canales y ángulos, así como secciones huecas. Estos pueden ser canales conformados en frío, acero en ángulo, acero con sección en Z, tubos cuadrados, tubos rectangulares, tubos soldados irregulares, puertas enrollables, etc. Los perfiles de acero laminado en frío de uso común para paredes delgadas incluyen: ángulo igual de acero (longitud 25 ~ 75 mm), barra interior de acero en ángulo (40 ~ 75 mm), canal de acero (25 ~ 250 mm), canal interior de acero laminado (altura 60 ~ 250 mm), Z Borde rodante de acero (altura 100~180 mm) [40].

1.1.2.8 Historia de las torres de telecomunicaciones

Las torres de telecomunicaciones tienen un papel importante en el desarrollo de la humanidad, desde la antigüedad el hombre ha buscado construir torres más altas, que inicialmente se construían en madera, a partir de la revolución industrial y la aparición del acero con mejores propiedades mecánicas, ligereza y ductilidad, las torres de telecomunicaciones han evolucionado y se pueden encontrar estructuras de gran altura y de diversas formas [41]. Se ha disminuido los números de lados y hoy se fabrica torres de sección triangular, de esta forma se disminuye el uso de material y con gran resistencia [41]. Las torres de sección triangular se fabrica con elementos de secciones tubulares, angulares y en los tiempos de construcción y montaje presenta una ventaja con respecto a torres de sección cuadrada [41]. En el Ecuador las torres de sección triangular son las más utilizadas debido a que son más económicas, además que el área

de mantenimiento para pintar y galvanizar se reduce. En la Figura 6, se puede visualizar torres de telecomunicaciones, que utilizan perfiles tipo UV conformados en frío.

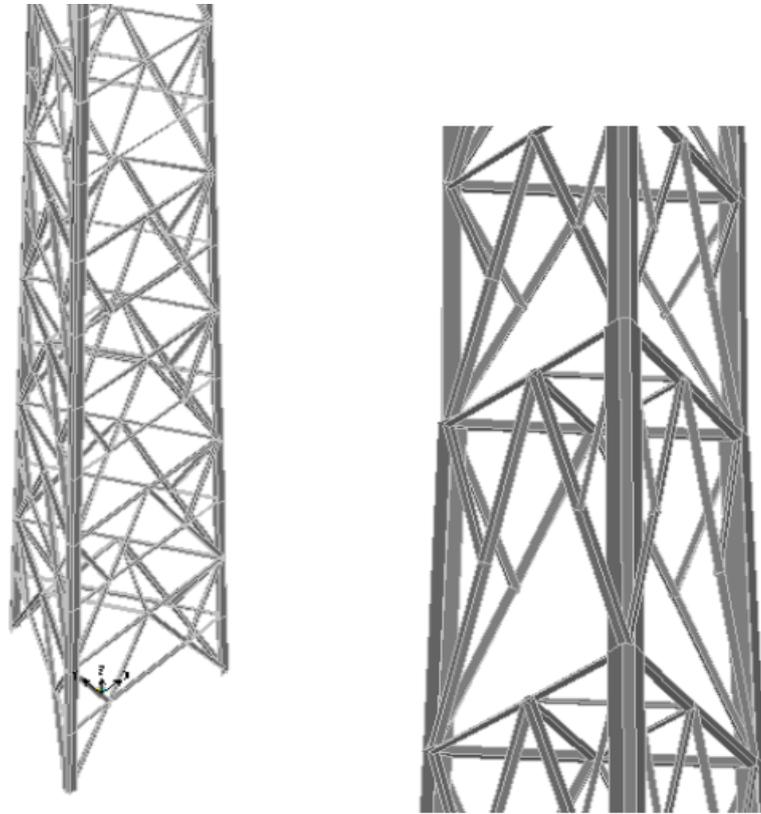


Figura 6. Uso de perfiles tipo UV en torres de telecomunicaciones [41].

En la actualidad las torres de telecomunicaciones se utilizan en diferentes industrias, entre ellas en la transmisión de televisión, navegación aérea, comunicación de emergencia, servicios de telefonía móvil, comunicaciones militares [42].

1.1.2.9 Curva esfuerzo-deformación ingenieril

La curva de esfuerzo-deformación ingenieril, proporciona datos de resistencia y ductilidad, que son importantes para el diseño de ingeniería. En esta curva se pueden distinguir dos zonas: la zona elástica y la zona plástica, como se muestra en la Figura 7 [43].

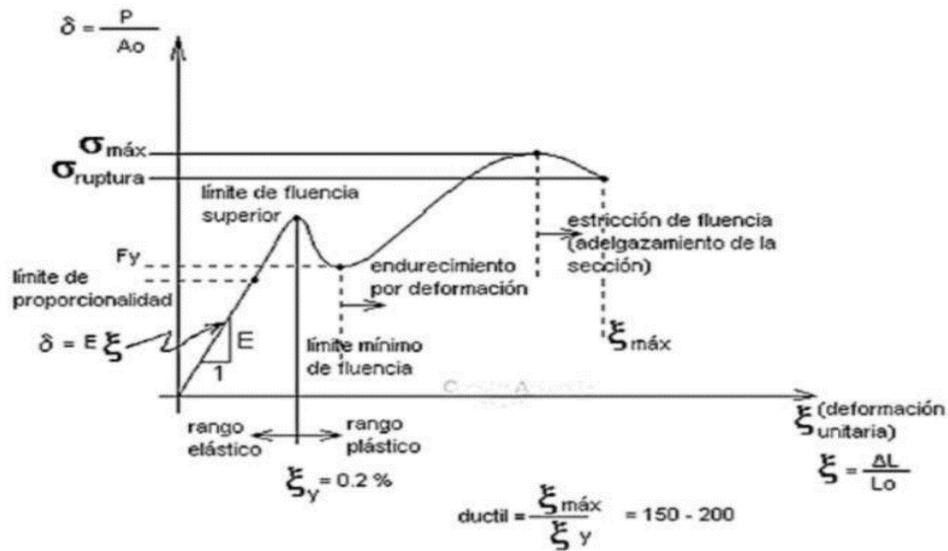


Figura 7. Curva de Esfuerzo - Deformación Ingenieril [43].

- **Esfuerzo Ingenieril**

A continuación, a través de la ecuación (3), se puede obtener el esfuerzo ingenieril.

$$s = \frac{F}{A_0} \quad (3)$$

Donde:

F: Fuerza aplicada en la probeta (N).

A₀: Área de la sección transversal original de la probeta (mm²).

- **Deformación ingenieril**

Mediante la ecuación (4), se podrá obtener la deformación ingenieril.

$$e = \frac{L - L_0}{L_0} \quad (4)$$

L: Longitud adquirida por la sección calibrada, al inicio de la aplicación de la carga.

L₀: Longitud calibrada antes de la aplicación de la carga.

- **Porcentaje de Elongación.**

Con la ecuación (5) se puede calcular el porcentaje de elongación del material.

$$\% \text{elongacion} = \frac{L - L_0}{L_0} * 100\% \quad (5)$$

1.1.2.10 Curva esfuerzo-deformación verdadera

La curva esfuerzo-deformación verdadera, se utiliza para una representación más precisa dentro del rango de flujo plástico. Además, establece una relación directa entre los datos de la curva esfuerzo-deformación de ingeniería y los valores verdaderos. Estas curvas se pueden obtener mediante aproximaciones que corrigen factores, los cuales se derivan de métodos numéricos. Una curva esfuerzo-deformación verdadera resulta esencial para llevar a cabo simulaciones numéricas avanzadas de la deformación bajo cargas en un sistema estructural [44].

A continuación, se presentan las ecuaciones utilizadas para derivar la curva esfuerzo-deformación verdadera a partir de la curva de ingeniería. Mediante las ecuaciones (6) y (7) es posible obtener la curva de esfuerzo-deformación verdadera. Además, en la Figura 8, se muestra una comparación entre la curva de ingeniería y la curva verdadera [45].

$$\sigma_v = \sigma_e(1 + \epsilon_e) \quad (6)$$

$$\epsilon_v = \ln(1 + \epsilon_e) \quad (7)$$

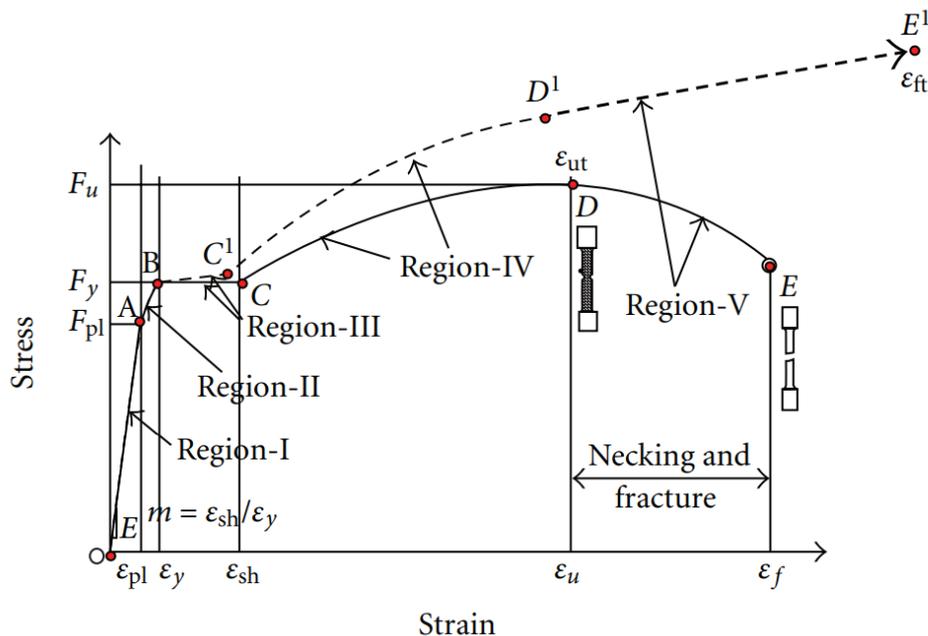


Figura 8. Comparación de curva esfuerzo-deformación verdadera e ingenieril [46].

1.1.2.11 Efecto de conformado en frío en secciones

Debido al conformado en frío, existe una afectación de límite elástico en las esquinas y cerca de las esquinas, no sucede lo mismo en las partes planas lejos de las esquinas, por ello se debe considerar un promedio de la sección completa [17]. En investigaciones de Gardner, Ma y Chen recomiendan utilizar una longitud de extensión de 2 veces el espesor de la sección, a continuación, en la Figura 9, muestra afectación en las esquinas para ángulos de 90 y 135 [17].

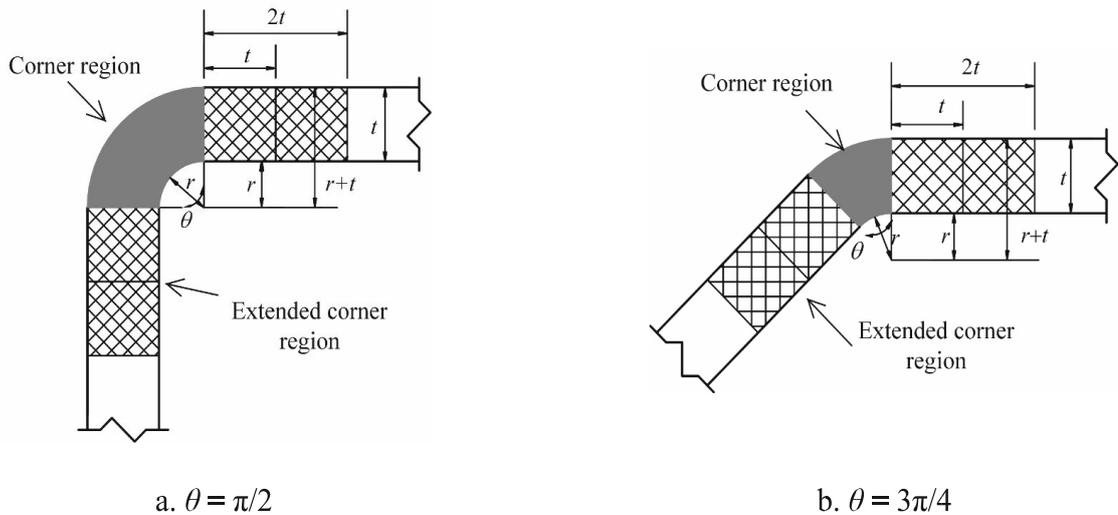


Figura 9. Región de afectación de las esquinas [17].

1.1.2.12 Modelos predictivos

- **AISI y Australian Standars**

Para el cálculo de la resistencia de secciones completas del perfil se utiliza ecuaciones simplificadas propuestas por diferentes estándares. A continuación, la ecuación (8) implementada por AISI y Australian Standards [17].

$$F_{ya} = CF_{cy} + (1 - C)F_{yf} \leq F_{uv} \quad (8)$$

Donde:

F_{ya} = Límite elástico de la sección completa de la sección no reducida (MPa)

C = Relación de área de la sección transversal de la esquina (mm^2) y el área de sección completa (mm^2)

F_{cy} = Límite elástico de tracción en las esquinas (MPa) cuando $\frac{F_{uv}}{F_{yv}} \geq 1.2$ y $\frac{R}{t} \leq 7$

F_{yf} = Límite elástico de tracción promedio de la sección plana o límite elástico del material virgen (MPa).

F_{uv} = Resistencia a la tracción del acero virgen (MPa).

Para el cálculo del límite elástico en las esquinas se emplea mediante la ecuación (9), siempre y cuando cumpla la condición mencionada anteriormente.

$$F_{yc} = \frac{B_c F_{yv}}{\left(\frac{R}{t}\right)^m} \quad (9)$$

Donde:

R = Radio de curvatura (mm)

t = espesor de la placa (mm)

F_{yv} = Resistencia última a la tracción

B_c de la ecuación (10) y m de la ecuación (11) son coeficientes y se calcula con las siguientes formulas.

$$B_c = 3.69 \left(\frac{F_{uv}}{F_{yv}}\right) - 0.819 \left(\frac{F_{uv}}{F_{yv}}\right)^2 - 1.79 \quad (10)$$

$$m = 0.192 \left(\frac{F_{uv}}{F_{yv}}\right) - 0.068 \quad (11)$$

- **Modelo Predictivo por Gardner**

A continuación, se muestra un modelo predictivo modificado con más precisión para calcular el límite elástico en las esquinas en Comparación a AISI, que principalmente se basa en la modificación de los coeficientes [47]. La ecuación (12) y (13) son coeficientes modificados implementados por estándares AISI.

$$B_c = 2.90 \left(\frac{F_u}{F_y}\right) - 0.752 \left(\frac{F_u}{F_y}\right)^2 - 1.09 \quad (12)$$

$$m = 0.23 \left(\frac{F_u}{F_y}\right) - 0.041 \quad (13)$$

- **Modelo predictivo de Abdel-Rahman**

El nuevo modelo predictivo basado en la ecuación (14) y fundamentado en el modelo de Abdel-Rahman, permite calcular el límite de elasticidad de las esquinas, que según esta investigación ha demostrado un mejoramiento de predicción y menor dispersión con respecto a AISI y Gardner [17].

$$F_{yc} = \begin{cases} \left[\frac{0.6B_c}{\left(\frac{R}{t}\right)^m} + 0.4 \right] F_y & \frac{r}{t} < 2 \\ \left(\frac{B_c}{\left(\frac{R}{t}\right)^m} \right) F_y & \frac{r}{t} \geq 2 \end{cases} \quad (14)$$

Los coeficientes B_c y m se calculan de acuerdo con estándares AISI.

- **Modelo predictivo de Ramberg-Osgood en dos etapas**

Se utiliza para ver el comportamiento tensión-deformación de los aceros conformados en frío y viene dada por las siguientes expresiones, que se puede ver en la ecuación (15) [21]:

$$\varepsilon = \begin{cases} \frac{f}{E} + 0.002 \left(\frac{f}{f_y} \right)^n & f \leq f_y \\ \frac{f - f_y}{E_{0.2}} + \left(\varepsilon_u - \varepsilon_{0.2} - \frac{f_u - f_y}{E_{0.2}} \right) \left(\frac{f - f_y}{f_u - f_y} \right)^m + \varepsilon_{0.2} & f_y < f < f_u \end{cases} \quad (15)$$

Para ello se necesita calcular el primer parámetro de endurecimiento n a partir de la ecuación (16):

$$n = \frac{\ln(4)}{\ln\left(\frac{f_y}{\sigma_{0.05}}\right)} \quad (16)$$

El módulo elástico del tangente tensión-deformación se calcula mediante la ecuación (17) y se define como:

$$E_{0.2} = \frac{E}{1 + 0.002n \frac{E}{f_y}} \quad (17)$$

La deformación última correspondiente al esfuerzo último se obtiene a partir de la ecuación (18):

$$\varepsilon_u = 0.6 \left(1 - \frac{f_y}{f_u} \right) \quad (18)$$

La resistencia última se desconoce, pero se puede calcular con la ecuación (19) y se muestra a continuación:

$$\frac{f_u}{f_y} = 1 + \left(\frac{130}{f_y} \right)^{1.4} \quad (19)$$

El segundo parámetro de endurecimiento se calcula a partir de las ecuaciones (20) o (21) y tienen las siguientes expresiones.

$$m = 1 + \frac{1.33 f_y}{f_u} \quad (20)$$

$$m = \frac{\ln \left(0.008 + \frac{\sigma_{1.0} - f_y}{E} - \frac{\sigma_{1.0} - f_y}{E_{0.2}} \right) - \ln \left(\varepsilon_u - \varepsilon_{0.2} - \frac{f_u - f_y}{E_{0.2}} \right)}{\ln(\sigma_{1.0} - f_y) - \ln(f_u - f_y)} \quad (21)$$

1.1.2.13 Ensayos de Tracción

Este ensayo de tracción se realiza mediante la norma E8/E8M, que es una prueba de la tensión que sufren los materiales a temperatura ambiente de 10 a 38 °C. Con el cual se puede determinar el límite elástico, el alargamiento y a la resistencia a la tracción. De igual manera se debe calibrar primero los equipos antes de utilizar la maquinaria, dichas probetas pueden ser planas o circulares, se debe pesar y medir antes que colocar en la máquina universal [48].

1.1.2.14 Ensayos de Dureza

La evaluación de dureza se realiza mediante la norma ASTM E10, que determina la dureza Brinell de materiales metálicos, a continuación, se muestra la ecuación para la determinación [49].

$$HBW = \frac{2F}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad (22)$$

Donde;

F = Fuerza de prueba (kg)

D = Diámetro de la bola de indentación (mm)

d = Diámetro de indentación medido (mm)

Además, se establece una correlación directa entre la resistencia a la tracción y el límite de fluencia, especialmente con la dureza Brinell, con una variabilidad del 0.87 [50].

A continuación, en la ecuación (23), se presenta la ecuación para estimar la resistencia a la tracción en función de la dureza Brinell [50].

$$S_u = 3.45 * HB \quad (23)$$

La ecuación (24) es un polinomio utilizado para estimar la resistencia a la fluencia en función de la dureza Brinell [50].

$$S_y = 0.0039HB^2 + 1.62HB \quad (24)$$

1.1.2.15 Tamaño de grano

El ensayo se realiza con la norma ASTM E112, el objetivo principal es determinar el tamaño de grano promedio a través de imágenes gráficas, para este ensayo se debe realizar un pulido metalográfico con lijas y paño. Para el cálculo de tamaño de grano se utiliza el método planimétrico en donde se obtiene el número de grano ASTM y diámetros promedios [51].

A continuación, se presenta la ecuación general para determinar el número de granos por milímetro cuadrado [51].

$$N_A = f \left(N_{enteros} + \frac{N_{medios}}{2} \right)$$

Donde:

f = factor de Jiefries

$N_{enteros}$ = Número de granos enteros.

N_{medios} = Número de interceptados en la fotografía.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general

- Obtener un modelo de material para perfiles de conformado en frío de sección transversal tipo UV de acero A572, para espesores de 10 mm y 12 mm.

1.2.2 Objetivos específicos

- Obtener y ejecutar ensayos de tracción a las probetas para determinar la resistencia del perfil.
- Realizar ensayos de dureza y tomar micrografías de la sección transversal para determinar la modificación estructural por el proceso de conformado en frío.
- Determinar la concentración de esfuerzo en la parte interna y externa del perfil UV conformado en frío para analizar su comportamiento.

1.3 Planteamiento de hipótesis

El proceso de conformado en frío para aceros ASTM A572 de 10 y 12 mm tendrán afectación de sus propiedades mecánicas.

1.3.1 Señalamiento de la variable dependiente

Propiedades mecánicas del acero ASTM A572, como el esfuerzo a la fluencia, esfuerzo a la tracción, ductilidad y dureza.

1.3.2 Señalamiento de la variable independiente

Proceso de conformado en frío

CAPÍTULO II

2. METODOLOGÍA

2.1 MATERIALES

2.1.1 Descripción de equipos y materiales

A continuación, en la Tabla 1, se detalla los equipos que se utiliza para el desarrollo del presente proyecto de investigación.

Tabla 1. Equipos utilizados para la investigación.

EQUIPOS		
Equipos	Descripción	Imagen
Prensa hidráulica	Se utiliza para darle forma del perfil mediante la utilización de una matriz y un punzón.	
Máquina de corte por chorro de agua con abrasivos	Se utiliza para realizar cortes de diferentes materiales sin afectar sus propiedades mecánicas. Se utiliza una boquilla, que proporciona un chorro de agua a alta presión.	

<p>Máquina universal</p>	<p>Esta máquina se utiliza para los ensayos de tracción, compresión o flexión, con los mismos se puede determinar: elasticidad, esfuerzo, alargamiento.</p>	
<p>Prensa hidráulica para montaje de probetas de metalografía</p>	<p>En esta máquina se realiza un calentamiento a 170 °C del polímero en conjunto la probeta cortada, posterior se realiza un prensado de los dos elementos antes mencionados.</p>	
<p>Pulidora metalográfica</p>	<p>Esta máquina herramienta se emplea para un pulido más fino del material, deja una superficie homogénea, tipo espejo, utilizado para el análisis metalográfico</p>	
<p>Microscopio metalográfico</p>	<p>Se utiliza para visualizar la estructura del metal, mediante un lente óptico, esto permite maximizar la fotografía para evaluar con mayor detalle.</p>	

<p>Computador</p>	<p>Se utiliza para diseñar las probetas, almacena datos de los ensayos realizados como son: el de metalografía, dureza y tracción, por último, para emitir un informe de los análisis realizados.</p>	
<p>Durómetro</p>	<p>Es un equipo que nos permite medir la dureza de los materiales, con el cual se puede medir el tramo de huella de indentación, así se puede ver la resistencia que posee.</p>	

En la Tabla 2, se muestra los materiales y las herramientas utilizados para el desarrollo del trabajo de investigación.

Tabla 2. Listado de materiales

<p>Lista de materiales</p>		
<p>Materiales</p>	<p>Descripción</p>	<p>Imagen</p>
<p>Acero ASTM A572</p>	<p>Placas del acero ASTM 572, de espesores de 10 y 12 mm, que se van a utilizar para la elaboración del perfil UV,</p>	
<p>Probetas de tracción</p>	<p>Probeta cortada, mediante el corte por chorro de agua, para el ensayo de tracción.</p>	

<p>Probetas de metalografía</p>	<p>Se realiza un corte del material a estudiar, obtener un fragmento, para su análisis de metalografía.</p>	
<p>Suspensión de alúmina (Al₂O₃) de 5-1 μm</p>	<p>Es recomendado utilizar para conseguir un buen pulido con un brillo muy bueno.</p>	
<p>Guaípe</p>	<p>Sirve para limpiar superficies que están llenas de suciedad y grasas.</p>	
<p>Reactivos químicos para el ataque de probetas Nital 2</p>	<p>Se realiza el ataque Químico para que revele la microestructura y determinar el tamaño de grano.</p>	

Bakelita	Se emplea para la preparación de probetas, la misma que se combina con el metal en la prensa hidráulica, a una temperatura de 170 °C.	
Gotero	Su utiliza para suministrar líquidos o químicos en proporciones pequeñas, ya sea por gota a gota o mililitros.	
Rociador con alcohol o agua	Proporciona líquido que sale de manera brusca, que genera un chorro de manera dispersa semejante a una lluvia. Utilizado para limpiar los restos químicos.	
CD	Se usa para almacenar datos e imágenes que nos presiona el microscopio y software de metalografía, en los diferentes ensayos.	

Masking	Se usa para etiquetar y proteger las probetas.	
Paños de pulido	Estos paños de pulir están hechos con material no abrasivo y se utiliza para limpieza y abrillantado de superficies.	
Lijas	Son materiales abrasivos flexibles que utiliza para preparar superficies para un acabado posterior.	

A continuación, en la Tabla 3. Se detalla la lista de las herramientas que se utilizó para la investigación.

Tabla 3. Listado de herramientas.

Lista de herramientas		
Herramientas	Descripción	Imagen
Flexómetro	Se utiliza para medir longitudes rectas y curvas.	

<p>Calibrador Vernier</p>	<p>Es un instrumento que sirve para medir espesores, longitudes, diámetros internos, externos y profundidades de piezas.</p>	
<p>Sierra manual</p>	<p>Se utiliza para el corte de muestras de dureza y metalografía.</p>	
<p>Banco de lijas</p>	<p>Se utiliza para colocar las diferentes lijas en los compartimientos del banco, con los cuales se realiza el lijado del material.</p>	
<p>Prensa manual</p>	<p>Se utiliza para ejercer presión de las piezas y extraer muestras para los ensayos.</p>	

En la Tabla 4, se mencionan los equipos de seguridad utilizado para llevar a cabo los ensayos de metalografía, tracción y dureza.

Tabla 4. Equipos de seguridad.

Equipos de seguridad		
Equipos de seguridad	Descripción	Imagen
Guantes de vinilo	Es un implemento de seguridad que nos protege de los ataques químicos que se realiza a los materiales.	
Mandil	Es una prenda que se coloca sobre la ropa de uso diario, el mismo que nos protege de salpicaduras o de químicos al realizar las prácticas en los laboratorios de la facultad.	
Casco de seguridad	Es un implemento para proteger la cabeza de lesiones ante un posible impacto.	
Gafas de seguridad	Proteger los ojos de los usuarios que están expuestos a sustancias químicas y partículas.	

Calzado seguridad	de	Protegen los pies y se utiliza en entornos expuestos a impactos, perforaciones, caída de objetos, etc.	
Mascarilla protección	de	Protege en la inhalación de partículas, gases y vapores que son perjudiciales para la salud.	

2.1.2 Descripción técnica de los equipos

En el marco de esta investigación, es necesario detallar las especificaciones técnicas de los principales equipos y herramientas con el objetivo de proporcionar una visión en cada una de las etapas que aporta en la metodología.

En la Tabla 5, se muestra la descripción técnica de la máquina que se utilizó para el corte de muestra para el metal virgen.

Tabla 5. Descripción técnica de la máquina cizalla hidráulica.

Cizallada hidráulica		
Marca	DURMAZLAR	
Modelo	SB 3013	
Presión máxima	305 kg/cm ²	

Función:

Esta máquina se utiliza para cortar láminas de metal de forma rápida a través de una gran fuerza aplicada desde el sistema hidráulico.

En la Tabla 6, muestra la descripción técnica de la máquina dobladora de lámina la misma que se utiliza para dar el conformado del perfil UV en frío.

Tabla 6. Descripción técnica de la máquina dobladora.

Dobladora de láminas	
Marca	DURMAZLAR
Modelo	E60300
Capacidad	6050x300 TON
AÑO	2010
	
Función: Esta máquina se utiliza para doblar láminas de metal a través de una gran fuerza aplicado desde el sistema hidráulico.	

En la tabla 7. Muestra la descripción técnica de la máquina por corte de chorro de agua con abrasivos.

Tabla 7. Descripción técnica de la máquina por corte de chorro de agua.

Máquina por corte por chorro de agua	
Marca	Flow
Modelo	MACH2 “M2-31286
Potencia	6.5 KW
AÑO	2014
<p>Función:</p> <p>Utilizada para realizar los cortes de materiales cerámicos, polímeros y metales, con una fuerza de corte que varían dependiendo del material y espesor. Se utiliza agua y partículas abrasivas</p>	



En la Tabla 8. Se muestra la descripción técnica de la máquina universal, la misma que se utiliza para elaboración de ensayos de tracción.

Tabla 8. Descripción técnica de la máquina universal.

MÁQUINA UNIVERSAL DE ENSAYOS	
Marca	JINAN LIANGONG TESTING TECHNOLOGY CO., LTD
SERIE	7136
Capacidad	600 KN



Función:

Esta máquina se utiliza para evaluar las propiedades mecánicas de los materiales metálicos, plásticos y materiales compuestos, es esencial para investigación de materiales para un diseño seguro.

En la Tabla 9, se muestra la descripción técnica de la máquina de ensayo de dureza.

Tabla 9. Máquina de ensayo de dureza.

Durómetro	
Marca	Lyric
Modelo	HBRV 187,5D Hardness Tester
Fuente de alimentación	220v/60HZ
AÑO	2018
<p>Función:</p> <p>Es un dispositivo que nos permite determinar la dureza mediante la penetración de un indentador en los materiales, ya sean metales, cerámicos y plásticos.</p>	



En la Tabla 10, se muestra la descripción técnica del microscopio metalográfico

Tabla 10. Descripción técnica del microscopio metalográfico

Microscopio metalográfico	
Marca	RADICAL
Modelo	RMM-1
Fuente de alimentación	100 - 240V ~ 30VA50/60Hz
AÑO	2015
<p>Función:</p> <p>Es una herramienta que permite observar la microestructura, que no se pueden ver a simple vista como puede ser el tamaño de grano de un acero, mediante el uso de lentes y rayos de luz.</p>	



2.1.3 Acero ASTM A572

En la Tabla 11, se muestra las propiedades de acero ASTM A572 grado 50, material de nuestro interés para llevar a cabo el presente trabajo de investigación. Este acero es de baja aleación y alta resistencia de buena calidad estructural [52].

Tabla 11. Propiedades físicas y mecánicas de acero ASTM A572 grado 50 [52].

Propiedades	Sistema métrico	Sistema ingles
Densidad	7.80 (g/cc)	0.282 (lb/plg ³)
Dureza Brinell	135	135
Dureza Rockwell B	74	74
Resistencia máxima a la tracción	450 MPa	65300 psi

Resistencia a la tracción	345 MPa	50000 psi
Módulo a granel	160 GPa	23200 ksi
Módulo de cizallamiento	80 GPa	116000 ksi

En la Tabla 12, se presenta las propiedades químicas del acero ASTM A572 grado 50.

Tabla 12. Propiedades químicas del acero ASTM A572 grado 50.

Propiedades	Porcentaje
Carbono	$\leq 0.23\%$
Silicio	$\leq 0.40\%$
Manganeso	1.35%
Fósforo	$\leq 0.04\%$

2.2 MÉTODOS

2.2.1 Tipo de investigación

- **Experimental**

El presente proyecto se encuentra dentro del ámbito experimental, puesto que el objetivo principal es obtener un modelo de perfil tipo UV de acero a ASTM A572 de espesores de 10 y 12 mm, en donde se realiza un análisis de los ensayos de tracción, dureza y metalografía lo cual permite estudiar los efectos de conformado en frío de la sección transversal y las modificaciones de sus propiedades mecánicas de la sección completa.

- **Descriptivo**

En la investigación se usa un método descriptivo, debido a se detalla investigaciones anteriores de los perfiles de conformado en frío, ya sean de paredes gruesas o delgadas, se destaca también las normas y las especificaciones que se debe seguir para realizar los ensayos, un análisis sistemático del modelo empleado.

- **Cuantitativo**

El análisis cuantitativo del trabajo consiste en la recopilación de datos de las diferentes muestras y ensayos, para realizar la curva de esfuerzo y deformación de los materiales, la dureza que presenta, el tamaño de grano y la evaluación del modelo.

- **Bibliográfico**

El análisis bibliográfico del trabajo consiste en una investigación de los aceros conformados en frío, esto nos permite contextualizar nuestro estudio y comparar los resultados con investigaciones y teorías previas.

2.2.2 Procedimiento para el desarrollo del proyecto

En la Figura 10, muestra el proceso general que se utiliza para llevar a cabo el proyecto investigativo.

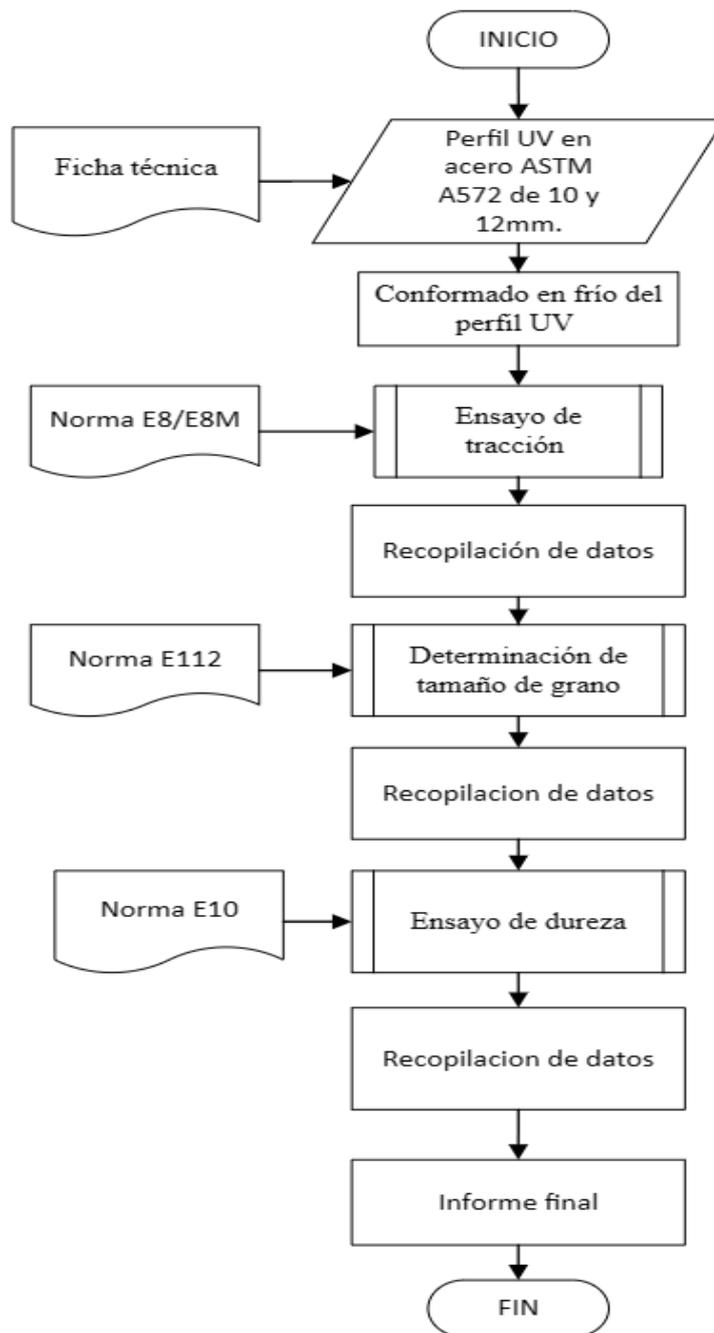


Figura 10. Procedimiento general del proyecto.

2.2.3 Diseño de perfil UV

A continuación, en la Figura 11, se presenta las dimensiones para el perfil UV para espesores de 10 y 12 mm, además, se muestra las partes del perfil de la sección transversal de investigación la cual nos ayuda a identificar en la obtención de probetas.

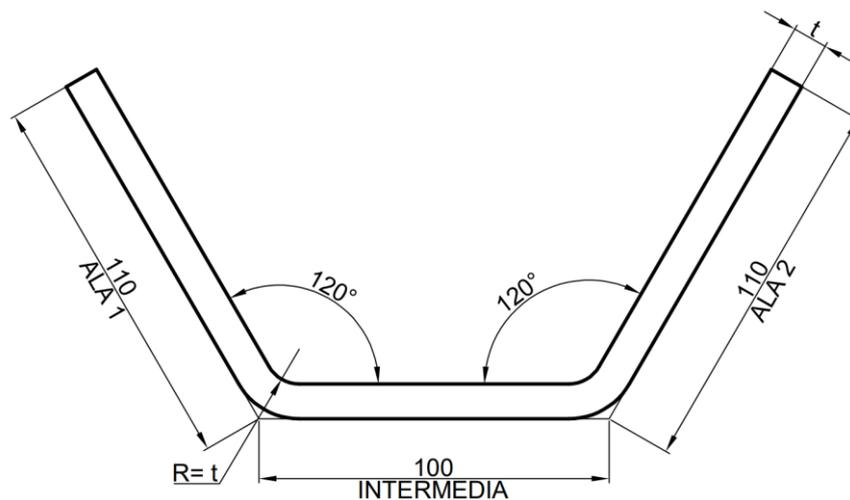


Figura 11. Dimensiones de los perfiles UV.

2.2.3.1 Cálculo de doblado de placas

- **Cálculo de fuerza**

Debido a que el radio de doblado es menor a dos veces del espesor de la placa, produce un estiramiento por ello se calcula la longitud a partir de la ecuación (1).

A continuación, se calcula la longitud de estiramiento para la placa de 10 mm de espesor.

- **Cálculo de ángulo de doblado**

$$\alpha = 180 - 120 = 60$$

- **Cálculo de longitud de estiramiento**

$$A_b = \frac{2\pi\alpha}{360} (R + K_{bd}t)$$

$$A_b = \frac{2\pi(60)}{360} (10 + 0.33 * 10) = 13.92mm$$

Cálculo de ancho total

$$L_{10} = 2(98.5) + 77 + 2(14) = 302mm$$

Por lo tanto, el ancho total de placa de 10 mm para el proceso de doblado será de 302 mm.

Posteriormente, se calcula la longitud de estiramiento para la placa de 20mm.

$$A_b = \frac{2\pi\alpha}{360}(R + K_{bd}t)$$

$$A_b = \frac{2\pi(60)}{360}(12 + 0.33 * 12) = 16.7mm$$

- **Cálculo de ancho total**

$$L_{12} = 2(96.2) + 72.3 + 2(16.7) = 298.1mm$$

Por lo tanto, el ancho total de placa de 12 mm para el proceso de doblado será de 298 mm.

Cálculo de fuerza utilizando la ecuación (2) para los dos modelos de 10 y 12 mm de espesor.

$$F_{10} = \frac{K_{bf}TSwt^2}{D} = \frac{(1.33)(345)(1200)(10^2)}{20} = 280.6 \text{ Toneladas}$$

$$F_{12} = \frac{K_{bf}TSwt^2}{D} = \frac{(1.33)(345)(1200)(12^2)}{24} = 336.8 \text{ Toneladas}$$

Donde, para realizar el doblado de placas de espesores de 10 y 12 mm de espesor, se necesita una prensa hidráulica de 280.6 y 336.8 toneladas respectivamente.

Población

La investigación se realiza en dos perfiles UV de acero ASTM A572 grado 50, de 10 y 12 mm de espesor, mediante este análisis se pretende comprender las características, el comportamiento y los efectos en las propiedades mecánicas en las secciones. El perfil UV a estudiar tiene la sección con las dimensiones como se muestra en la Figura 11 y la longitud a investigar es de 1200 mm.

Muestreo

En la Tabla 13, se presenta el número de muestras en el perfil para la elaboración del ensayo de tracción, para ello se tomó en cuenta la longitud de 1200 mm, en donde para obtener mejores resultados, se extrae las muestras de diferentes partes incluyendo las esquinas, intermedia y de las alas, como se muestra en la Figura 12.

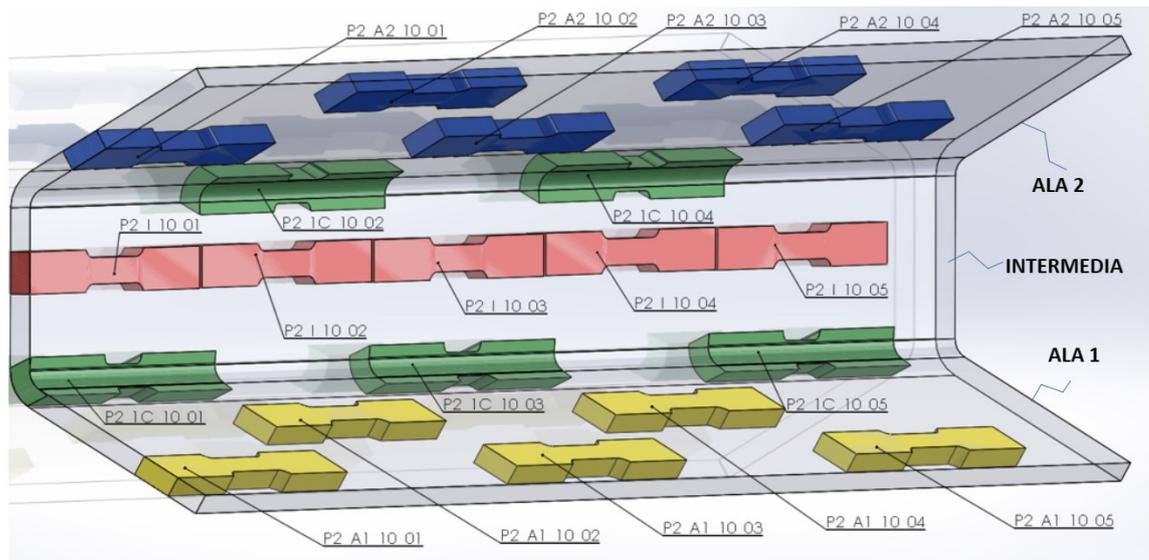


Figura 12. Distribución de probetas en el perfil UV.

Tabla 13. Especificación de probetas.

#	Localización	Número de probetas
1	Ala 1	5
2	Ala 2	5
3	Esquinas	5
4	Intermedio	5
SUBTOTAL		20

Debido a que son 2 espesores de 10 y 12 mm, se realiza un total de 40 pruebas de tracción.

2.2.4 Operacionalización de variables.

Variable independiente:

A continuación, se plantea la operacionalización de variables con el fin de validar los resultados de trabajo de investigación.

Tabla 14. Operacionalización de variable independiente.

Variable	Demensiones/ aspectos a medir	Indicador/ operacionalización	Método de medición
Conformado en frío	Material	Acero ASTM A572	Ensayo de metalografía.
	Espesor	10 y 12 mm	Mediante un calibrador.
	Doblado	Punzón y matriz	Ángulo de doblado

Variable dependiente: Propiedades mecánicas del perfil conformado

Tabla 15. Operacionalización de la variable dependiente.

Variable	Demisiones/ aspectos a medir	Indicador/ operacionalización	Método de medición
Propiedades mecánicas	Resistencia del material	Máquina universal, en Megapascal (MPa) o en (N/mm ²)	Ensayo de tracción con la norma E8/E8M.
	Dureza	Durómetro, en Escala de dureza Brinell HB	Ensayo de dureza con la norma E10.
	Tamaño de Grano	Microscopio metalográfico, determinación del tamaño de grano ASTM y diámetro promedio de granos.	Ensayo de metalografía, con la norma E112.
	Módulo de elasticidad	La elasticidad del acero nos proporciona en GPa.	De la curva de esfuerzo-deformación.

2.2.5 Conformado en frío del perfil

La Tabla 16, muestra el procedimiento para la obtención del modelo conformado en frío para espesores de 10 y 12 mm.

Tabla 16. Proceso para el conformado en frío del perfil UV.

N.	Descripción	Evidencias
1	Remoción de escarcha de la placa debido a corte por plasma de la placa estandarizada.	
2	Señalización de un desplazamiento de 15 mm del ancho de la placa para extraer muestra del material virgen.	
3	Realizar el corte de las placas en la cizalladora hidráulica con la medición antes mencionada.	

4	Etiquetar la muestra de material virgen de acuerdo con el material y espesor.	
5	Señalización de las líneas de dobles para el conformado de los perfiles UV en frío.	
6	Colocación de la plancha en la prensa hidráulica, verificando que quede en las dimensiones señaladas en la Figura 11.	

7	Doblado en la prensa hidráulica del ala 1.	
8	Doblado en la prensa hidráulica del ala 2.	
9	Verificación que posea un ángulo de 120 grados	

Para el conformado en frío del perfil tipo UV se utilizó una dobladora hidráulica, la misma que cumple con la fuerza necesaria para la deformación del material. La fuerza necesaria para el doblado en frío es de 280.6 y 336.8 toneladas para 10 y 12 mm respectivamente. En el anexo 3, se muestra el modelo de perfil UV conformado en frío, como resultado de las actividades antes mencionadas.

2.2.6 Metodología de ensayo de tracción

En la Figura 13, se muestra el proceso para realizar el ensayo de tracción, donde primero se realizó para el perfil de 10 mm de espesor y posterior para perfil de 12 mm de espesor.

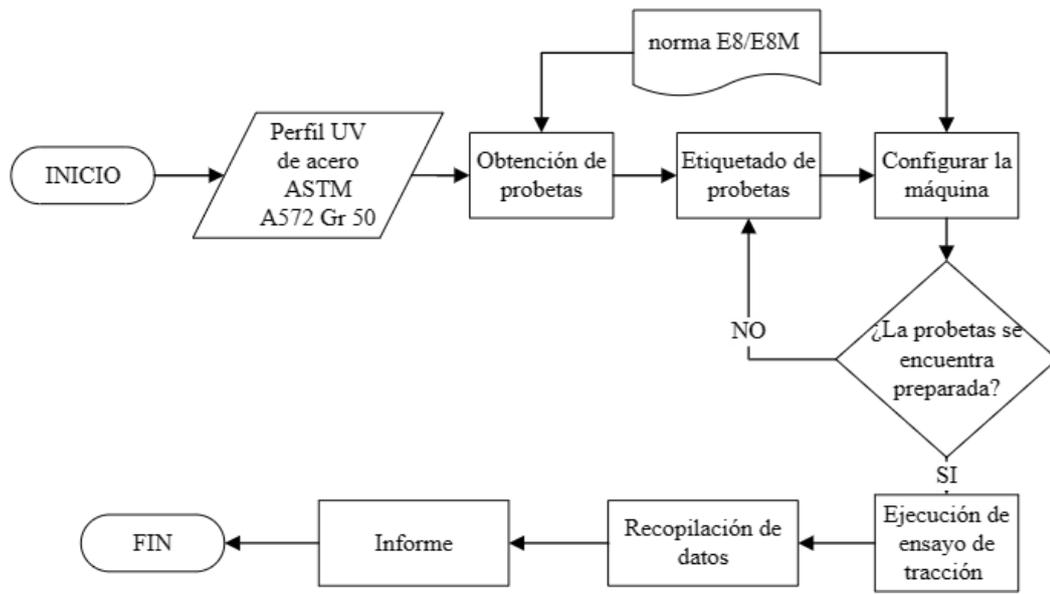


Figura 13. Diagrama de elaboración de ensayos de tracción.

2.2.7 Diseño de probetas

En la obtención de las probetas se sigue la metodología de la Figura 13, para ello se basó el diseño de la probeta en la norma E8/E8M, que se muestra en la Figura 14, lo cual cumple con las tolerancias y especificaciones recomendadas por la norma.

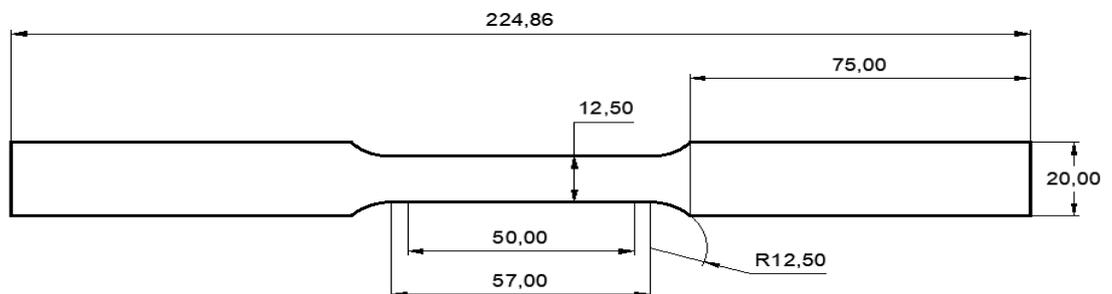


Figura 14. Diseño de probetas para aceros de espesor de 10 mm y 12 mm para partes planas y esquinas.

2.2.8 Manufactura de probetas

Para la obtención de las probetas se aplicó el corte Abrasive Water Jet Cutting o también conocido como corte por chorro de agua con abrasivos, se utilizó debido a que no afecta su ductilidad y no tiene cambios significativos de sus propiedades mecánicas.

En la Figura 15, muestra el mecanizado de la probeta aplicando el corte por chorro de agua con abrasivos a una presión de 42 y 48 Kpsi para 10 y 12 mm de espesor respectivamente.



Figura 15. Mecanizado por Abrasive Water Jet Cutting de las probetas de 10 y 12 mm de espesor.

2.2.9 Etiquetado de probetas

El etiquetado de probetas se lo hace con el fin de identificar dentro de la sección UV a la cual pertenece, la misma que nos ayudara a identificar la variación de los resultados e interpretación del estudio después del ensayo.

A continuación, en la Tabla 17, se muestra un registro del etiquetado de un total de 40 probetas obtenidas del perfil UV para 10 y 12 mm de espesor, de la cual se obtuvo probetas clasificadas por secciones de acuerdo con la Tabla 13.

Tabla 17. Identificación de las probetas en el perfil UV de material ASTM A572.

NÚMERO DE PROBETA	SECCIÓN	ESPESOR (MM)	CÓDIGO
1	Ala 1	10	P2_A1_10_01
2	Ala 1	10	P2_A1_10_02
3	Ala 1	10	P2_A1_10_03
4	Ala 1	10	P2_A1_10_04
5	Ala 1	10	P2_A1_10_05
6	Ala 2	10	P2_A2_10_01
7	Ala 2	10	P2_A2_10_02
8	Ala 2	10	P2_A2_10_03
9	Ala 2	10	P2_A2_10_04
10	Ala 2	10	P2_A2_10_05
11	Esquina	10	P2_1C_10_01
12	Esquina	10	P2_1C_10_02
13	Esquina	10	P2_1C_10_03
14	Esquina	10	P2_1C_10_04
15	Esquina	10	P2_1C_10_05
16	Intermedia	10	P2_I_10_01
17	Intermedia	10	P2_I_10_02
18	Intermedia	10	P2_I_10_03
19	Intermedia	10	P2_I_10_04
20	Intermedia	10	P2_I_10_05
21	Esquina	12	P2_1C_12_01
22	Esquina	12	P2_1C_12_02
23	Esquina	12	P2_1C_12_03
24	Esquina	12	P2_1C_12_04
25	Esquina	12	P2_1C_12_05
26	Ala 1	12	P2_A1_12_01
27	Ala 1	12	P2_A1_12_02
28	Ala 1	12	P2_A1_12_03
29	Ala 1	12	P2_A1_12_04
30	Ala 1	12	P2_A1_12_05
31	Ala 2	12	P2_A2_12_01
32	Ala 2	12	P2_A2_12_02
33	Ala 2	12	P2_A2_12_03
34	Ala 2	12	P2_A2_12_04
35	Ala 2	12	P2_A2_12_05
36	Intermedia	12	P2_I_12_01

37	Intermedia	12	P2_I_12_02
38	Intermedia	12	P2_I_12_03
39	Intermedia	12	P2_I_12_04
40	Intermedia	12	P2_I_12_05

2.2.10 Proceso de obtención de probetas

A continuación, se muestra las actividades para proceso de obtención de probetas normalizadas realizado por el corte de chorro de agua.

Tabla 18. Actividades para la obtención de probetas.

N.	Descripción	Evidencias
1	Para evitar desplazamientos del perfil, se realizó un anclaje con placas en el extremo de las Alas.	
2	Configurar en la máquina los parámetros de corte de probetas para cada sección en función del material y el espesor.	

3	Se realizó el corte en la parte intermedia de la sección UV, debido a la facilidad de corte.	
4	Etiquetar las probetas de acuerdo con la Tabla 17.	
5	Separación de probetas en el ala 1 y el ala 2, esto por la facilidad de corte de las esquinas del perfil UV.	

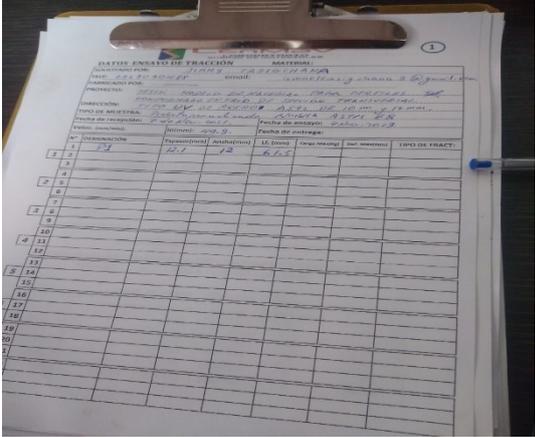
6	Corte de probetas de acuerdo con la Figura 15, de las diferentes partes: Ala 1, Ala 2 y esquinas.	
7	Verificación y control del etiquetado y si las probetas cumplen con las dimensiones de la norma E8.	

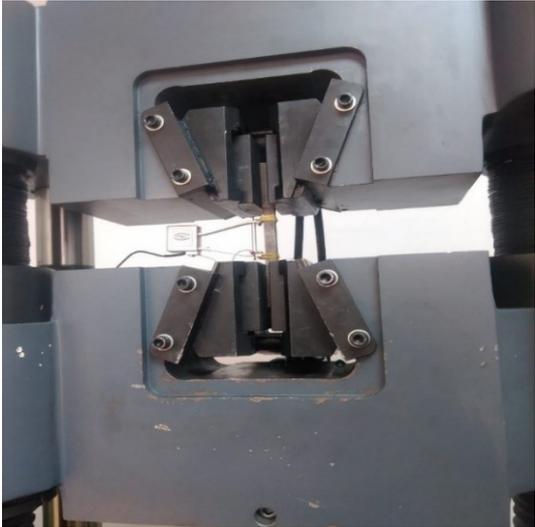
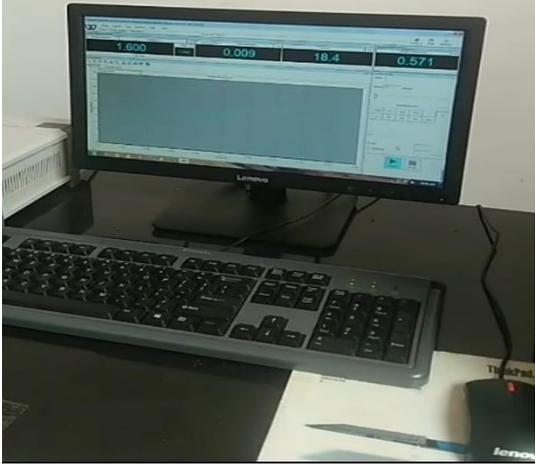
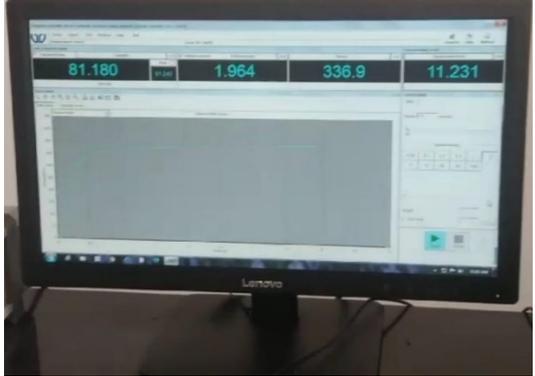
2.2.11 Proceso de ensayo de tracción

Para realizar el ensayo de tracción se debe cumplir con una serie de condiciones recomendadas por la norma E8/E8M. A continuación, se presenta las actividades para llevar a cabo el ensayo de tracción.

Tabla 19. Actividades para el desarrollo de ensayo de tracción.

N.	Descripción	Evidencias
1	Clasificación de las probetas para el ensayo de tracción para 10 y 12 mm de espesor.	

<p>2</p>	<p>Para la colocación del deformímetro, se marcó dos puntos a 50 mm según la norma ASTM E8/E8M, antes de colocarlo en la Máquina universal.</p>	
<p>3</p>	<p>Anotar datos de entrada como material, espesor, longitud de calibración, ancho y el código de cada probeta.</p>	
<p>4</p>	<p>Ubicar las probetas en la mordaza de la Máquina universal.</p>	

5	Ubicar el deformímetro de acuerdo con la longitud de calibración de cada probeta de acuerdo con la norma ASTM E8/E8M.	
6	Ingresar los datos de las probetas al software de ensayo de tracción.	
7	Ejecutar el ensayo aplicando cargas a una velocidad de carga de 2 mm/min.	

8	En el ensayo se observó la formación del cuello en el material antes de su rotura.	
9	Análisis de rotura de probetas.	
10	Medir la longitud final de calibración luego de la rotura de la probeta.	

Luego de haber realizado el ensayo de tracción, debemos recopilar información que a continuación se muestra.

- Carga aplicada
- Deformación
- Esfuerzo
- Número de probeta ensayada
- Condiciones de aplicación
- Datos de entrada
- Valores máximos
- Verificación de los datos obtenidos con límites de fluencia, elástico y su rotura

2.2.10 Ensayo de micrografía

El ensayo de micrografía se realizó con el fin de obtener el tamaño de grano, para la cual se desarrolló mediante la norma de metalografía E3-11 y norma de tamaño de grano E112, la misma que debe cumplir una serie de actividades. En la Figura 16, se muestra el diagrama para llevar a cabo la revelación de la microestructura y la evaluación de tamaño de grano.

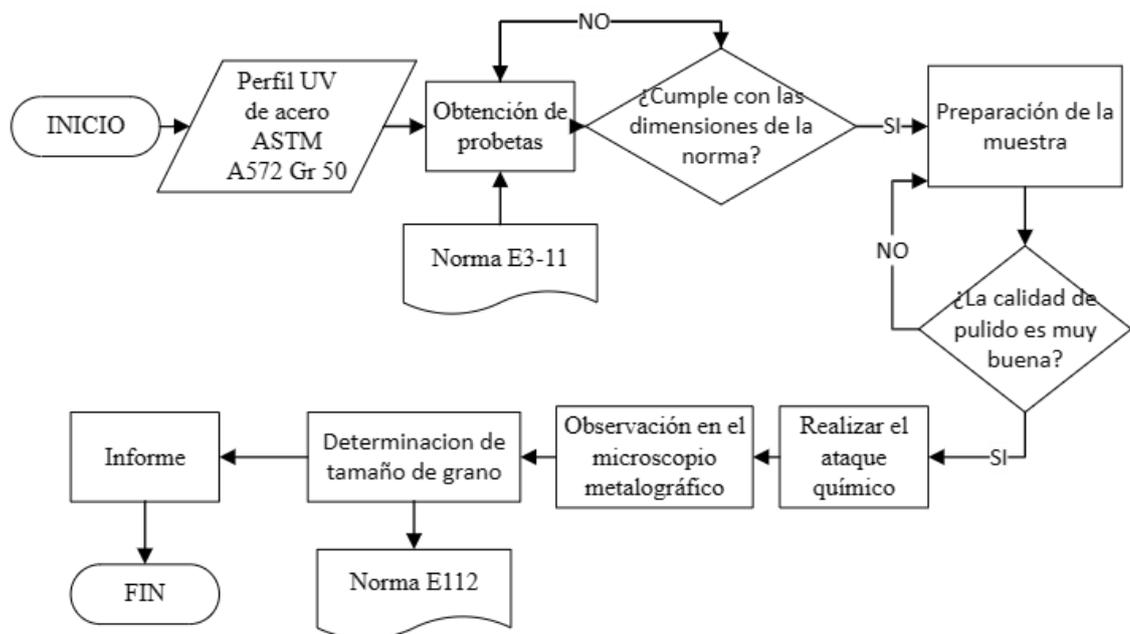


Figura 16. Diagrama para la ejecución de ensayo de metalografía.

A continuación, se muestra las actividades para realizar la metalografía del material virgen y de la sección UV.

Tabla 20. Actividades para el desarrollo de ensayo de metalografía.

N.	Descripción	Evidencias
1	Primero se obtuvo una muestra del material virgen de acuerdo con la norma para la comparación de resultados.	
2	Montar la muestra en la prensa hidráulica para realizar el montaje.	
3	Ubicar la bakelita y ejecutar el montaje utilizando la prensa hidráulica de metalografía.	

4	<p>Posterior se realiza la refrigeración de la probeta por aproximadamente 2 minutos.</p>	
5	<p>Luego se procede a realizar el desbaste utilizando un banco de lijas con numeración 240, 320, 400, 600, 1000, 1200, 1500 y 2000 granos/pulgada², con dirección a 90° alternativamente, hasta obtener una superficie uniforme.</p>	
6	<p>Para desbaste del perfil se realizó corte en 4 secciones, la misma que utilizó lijas con numeración 40, 100, 240, 320, 400, 600, 1000, 1200, 1500 y 2000. Esto debido a que tuvo mayor irregularidad en la sección debido al corte por sierra de la probeta.</p>	

7	Realizar el pulido en la pulidora de disco mediante paños de pulido de 5um y abundante agua.	
8	Abrillantado de la superficie del metal aplicando suspensión de alúmina.	
9	Realizar un ataque químico con Nital 2 por aproximadamente 6 segundos.	

10	<p>Secar la probeta a través de corriente de aire frío.</p>	
11	<p>Colocación de la probeta en el microscopio.</p>	
13	<p>Medición de la distancia de afectación de granos en la sección transversal del perfil tipo UV con respecto al extremo de la curvatura.</p>	

2.2.5 Ensayo de dureza

Este proceso se realiza para evaluar la capacidad de resistencia y penetración de material y comparar dentro de la sección UV, en la parte interna y externa, para ello en la Tabla 21, se muestra las actividades para cumplir con el objetivo.

Tabla 21. Actividades para el desarrollo de ensayo de dureza.

N	Descripción	Evidencia
1	Extraer una muestra del material virgen para determinar la dureza del material antes de realizar el proceso de conformado en frío.	
2	Preparación de una superficie plana limpia, pulida, homogénea y libre de impurezas con la utilización de grata y lijas finas.	
3	Señalar las probetas cada 2 cm en partes planas para aplicar la carga de dureza.	

4	Señalar los puntos de ensayo en la sección de curvatura, planas y a 2 veces el espesor al final de la curva en la superficie interna y externa.	
5	Señalamiento de los puntos para ensayo de dureza para la ejecución en la parte interna y en la parte externa del perfil UV.	
6	Colocación de la probeta en el durómetro.	

7	Aplicación de la precarga y carga principal, durante 10 segundos y 187.5 kgf de carga.	
8	Medición de diámetro de indentación.	

Luego de haber realizado en ensayo de dureza, se recopila datos como:

- Fuerza de carga.
- Diámetro de indentación.
- Tiempo de carga.

CAPÍTULO III

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Análisis y discusión de los resultados

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos de los ensayos de tracción, ensayos de dureza y de micrografía, que se llevaron a cabo con el objetivo de evaluar las propiedades mecánicas y la afectación de conformado en frío del acero ASTM A572 Grado 50 de una sección transversal tipo UV. Los datos recopilados detallan características como resistencia máxima a la tracción, resistencia a la fluencia, dureza Brinell, afectación por conformado en frío.

Además, cabe mencionar que los materiales tienen certificados de calidad las mismas que se detalla en el Anexo 1 para el espesor de 10 mm y en el Anexo 2 para el espesor de 12 mm.

3.1.1 Resultados de ensayo de tracción.

A continuación, se muestran las condiciones, características y resultados detallados del ensayo de tracción de las diferentes secciones del perfil UV detalladas a partir de la Tabla 22 hasta la Tabla 61. Además, los resultados de cada reporte se respaldan a partir del Anexo 7.

Tabla 22. Reporte de ensayo de tracción para la probeta P2_A1_10_01

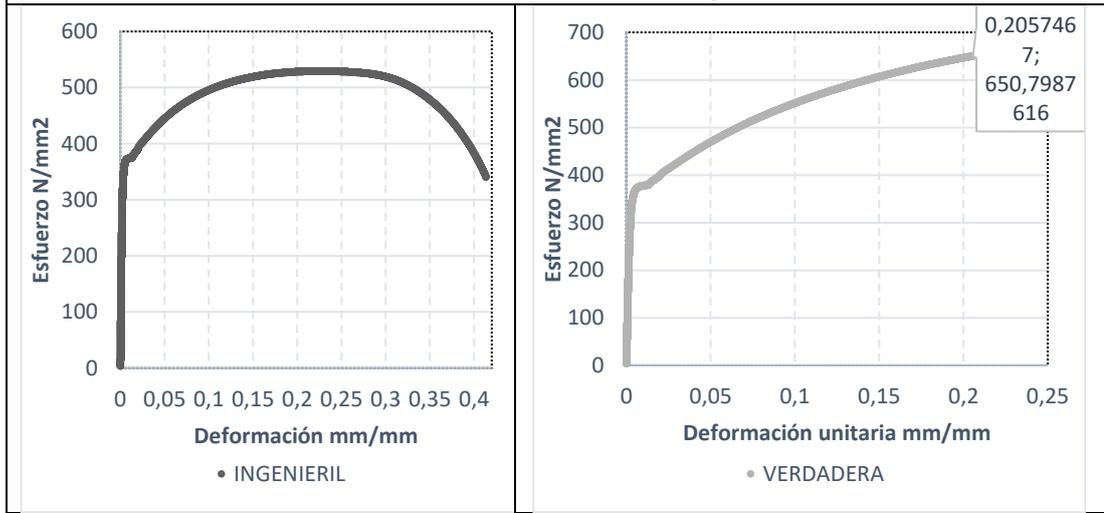
	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA TRABAJO DE TITULACIÓN-TRABAJO EXPERIMENTAL		
Tipo de estudio:	De laboratorio	Norma utilizada	ASTM E8/E8M
Material:	TIPO	Equipo utilizado	Certificado
	ASTM A572 Gr 50	Máquina universal de ensayos	LNM-F-2016500064D
Características del ensayo:	Fecha de ensayo	Velocidad de aplicación	Código de probeta
	16/11/2023	2 mm/min	P2_A1_10_01
Características de la Máquina:	JINAN LIANGGONG TESTING TECHNOLOGY WAW600B		Capacidad: 600 kN

Realizado por:	J. Tasigchana	Revisado por:	Ing. F. Peña
	O. Aldas	Fecha:	03/01/2023

Resultado del ensayo

Número de muestra	Módulo de Elasticidad (GPa)	Esfuerzo de fluencia (MPa)	Esfuerzo máximo (MPa)	Porcentaje de elongación (%)	Tipo de fractura
1	152,2	358,7	529,78	37,5	Taza y cono

Curva esfuerzo-deformación ingenieril



Probeta ensayada



Tabla 23. Reporte de ensayo de tracción para la probeta P2_A1_10_02

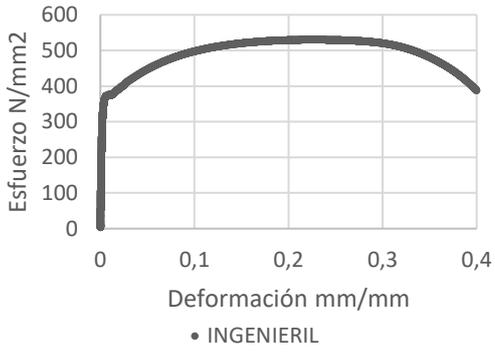
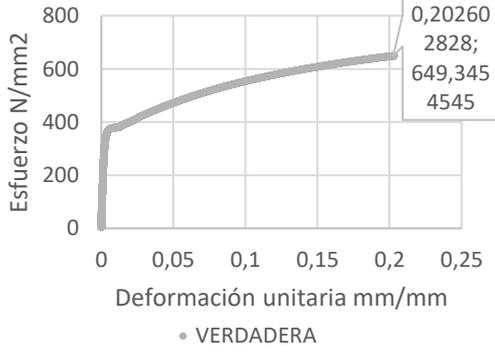
		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA TRABAJO DE TITULACIÓN-TRABAJO EXPERIMENTAL			
Tipo de estudio:	De laboratorio	Norma utilizada	ASTM E8/E8M		
Material:	TIPO	Equipo utilizado	Certificado		
	ASTM A572 Gr 50	Máquina universal de ensayos	LNM-F-2016500064D		
Características del ensayo:	Fecha de ensayo	Velocidad de aplicación	Código de probeta		
	16/11/2023	2 mm/min	P2_A1_10_02		
Características de la Máquina:	JINAN LIANGGONG TESTING TECHNOLOGY WAW600B		Capacidad: 600 kN		
Realizado por:	J. Tasigchana	Revisado por:	Ing. F. Peña		
	O. Aldas	Fecha:	03/01/2024		
Resultado del ensayo					
Número de muestra	Módulo de Elasticidad (GPa)	Esfuerzo de fluencia (MPa)	Esfuerzo máximo (MPa)	Porcentaje de elongación (%)	Tipo de factura
2	158,8	360,76	530,42	36,5	Taza y cono
Curva esfuerzo-deformación					
 <p style="text-align: center;">• INGENIERIL</p>			 <p style="text-align: center;">• VERDADERA</p>		
Probeta ensayada					
					

Tabla 24. Reporte de ensayo de tracción para la probeta P2_A1_10_03

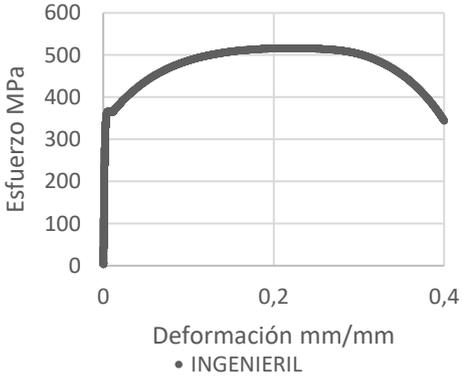
	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA TRABAJO DE TITULACIÓN-TRABAJO EXPERIMENTAL								
Tipo de estudio:	De laboratorio	Norma utilizada	ASTM E8/E8M						
Material:	TIPO	Equipo utilizado	Certificado						
	ASTM A572 Gr 50	Máquina universal de ensayos	LNM-F-2016500064D						
Características del ensayo:	Fecha de ensayo	Velocidad de aplicación	Código de probeta						
	16/11/2023	2 mm/min	P2_A1_10_03						
Características de la Máquina:	JINAN LIANGGONG TESTING TECHNOLOGY WAW600B		Capacidad: 600 kN						
Realizado por:	J. Tasigchana	Revisado por:	Ing. F. Peña						
	O. Aldas	Fecha:	3/01/2024						
Resultado del ensayo									
Número de muestra	Módulo de Elasticidad (GPa)	Esfuerzo de fluencia (MPa)	Esfuerzo máximo (MPa)	Porcentaje de elongación (%)	Tipo de factura				
3	177	362,45	517.07	36,5	Taza y cono				
Curva esfuerzo-Deformación									
 <p style="text-align: center;">• INGENIERIL</p>			 <table border="1" style="float: right; margin-top: 10px;"> <tr><td>0,20183</td></tr> <tr><td>4927;</td></tr> <tr><td>632,720</td></tr> <tr><td>8884</td></tr> </table> <p style="text-align: center;">• VERDADERA</p>			0,20183	4927;	632,720	8884
0,20183									
4927;									
632,720									
8884									
Fotografía de la probeta ensayada									
									

Tabla 25. Reporte de ensayo de tracción para la probeta P2_A1_10_04

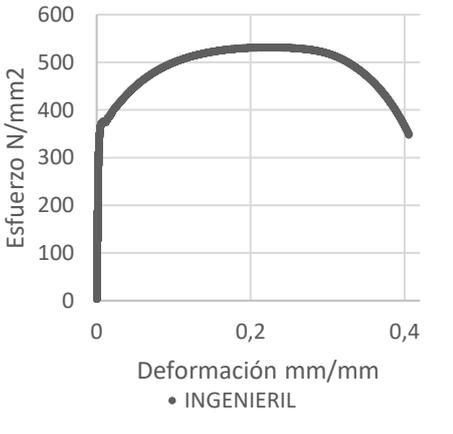
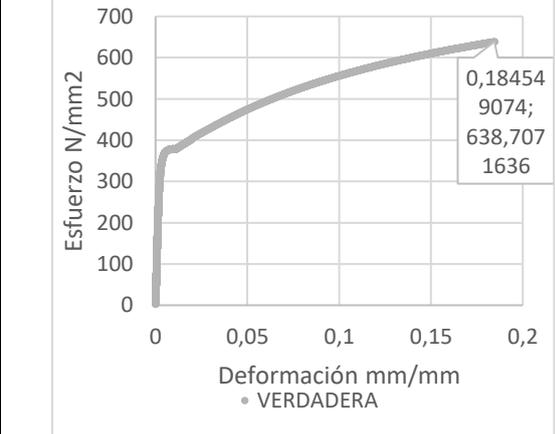
		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA TRABAJO DE TITULACIÓN-TRABAJO EXPERIMENTAL			
Tipo de estudio:	De laboratorio	Norma utilizada	ASTM E8/E8M		
Material:	TIPO	Equipo utilizado	Certificado		
	ASTM A572 Gr 50	Máquina universal de ensayos	LNM-F-2016500064D		
Características del ensayo:	Fecha de ensayo	Velocidad de aplicación	Código de probeta		
	16/11/2023	2 mm/min	P2_A1_10_04		
Características de la Máquina:	JINAN LIANGGONG TESTING TECHNOLOGY WAW600B		Capacidad: 600 kN		
Realizado por:	J. Tasigchana	Revisado por:	Ing. F. Peña		
	O. Aldas	Fecha:	03/01/2023		
Resultado del ensayo					
Número de muestra	Módulo de Elasticidad (GPa)	Esfuerzo o de fluencia (MPa)	Esfuerzo máximo (MPa)	Porcentaje de elongación (%)	Tipo de factura
4	156,5	360,83	531,71	36,5	Taza y cono
Curva esfuerzo-Deformación					
					
Fotografía de la probeta ensayada					
					

Tabla 26. Reporte de ensayo de tracción para la probeta P2_A1_10_05

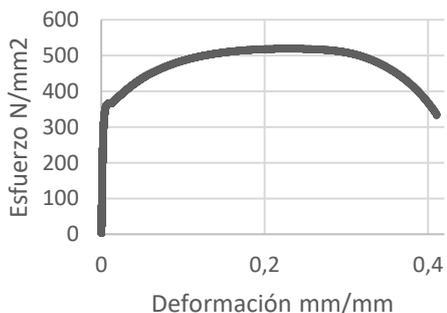
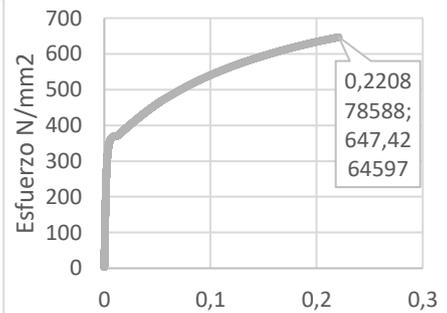
		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA TRABAJO DE TITULACIÓN-TRABAJO EXPERIMENTAL			
Tipo de estudio:	De laboratorio	Norma utilizada	ASTM E8/E8M		
Material:	TIPO	Equipo utilizado	Certificado		
	ASTM A572 Gr 50	Máquina universal de ensayos	LNM-F-2016500064D		
Características del ensayo:	Fecha de ensayo	Velocidad de aplicación	Código de probeta		
	16/11/2023	2 mm/min	P2_A1_10_05		
Características de la Máquina:	JINAN LIANGGONG TESTING TECHNOLOGY WAW600B		Capacidad: 600 kN		
Realizado por:	J. Tasigchana	Revisado por:	Ing. F. Peña		
	O. Aldas	Fecha:	03/01/2023		
Resultado del ensayo					
Número de muestra	Módulo de Elasticidad (GPa)	Esfuerzo de fluencia (MPa)	Esfuerzo máximo (MPa)	Porcentaje de elongación (%)	Tipo de factura
5	149,9	346,69	519,58	36	Taza y cono
Curva esfuerzo-deformación					
 <p style="text-align: center;">• INGENIERIL</p>			 <p style="text-align: center;">• VERDADERA</p>		
Fotografía probeta ensayada					
					

Tabla 27. Reporte de ensayo de tracción para la probeta P2_A2_10_01

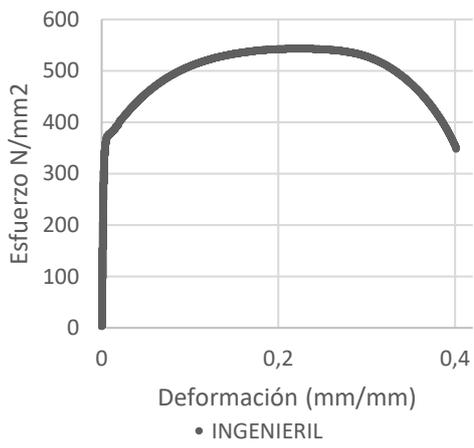
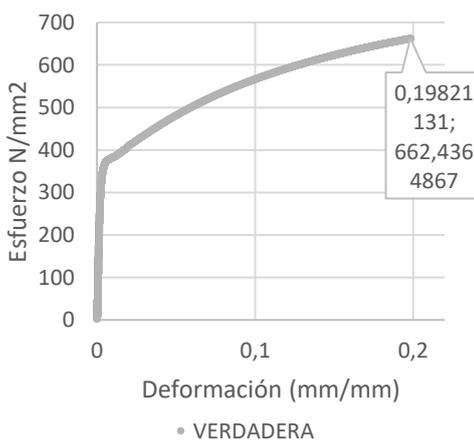
		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA TRABAJO DE TITULACIÓN-TRABAJO EXPERIMENTAL			
Tipo de estudio:	De laboratorio	Norma utilizada	ASTM E8/E8M		
Material:	TIPO	Equipo utilizado	Certificado		
	ASTM A572 Gr 50	Máquina universal de ensayos	LNM-F-2016500064D		
Características del ensayo:	Fecha de ensayo	Velocidad de aplicación	Código de probeta		
	16/11/2023	2 mm/min	P2_A2_10_01		
Características de la Máquina:	JINAN LIANGGONG TESTING TECHNOLOGY WAW600B		Capacidad: 600 kN		
Realizado por:	J. Tasigchana	Revisado por:	Ing. F. Peña		
	O. Aldas	Fecha:	03/01/2023		
Resultado del ensayo					
Número de muestra	Módulo de Elasticidad (GPa)	Esfuerzo de fluencia (MPa)	Esfuerzo máximo (MPa)	Porcentaje de elongación (%)	Tipo de factura
6	148,3	360,28	543,49	37,5	Taza y cono
Curva esfuerzo-deformación					
 <p style="text-align: center;">• INGENIERIL</p>			 <p style="text-align: center;">• VERDADERA</p>		
Fotografía de la probeta ensayada					
					

Tabla 28. Reporte de ensayo de tracción para la probeta P2_A2_10_02

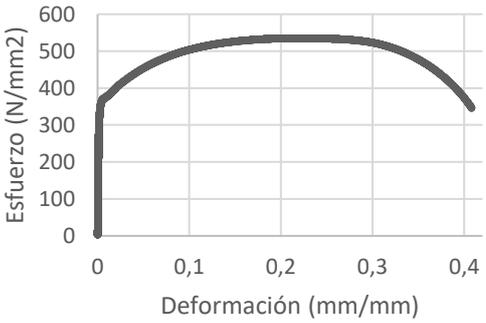
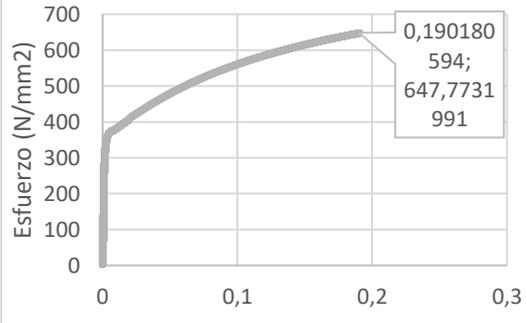
		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA TRABAJO DE TITULACIÓN-TRABAJO EXPERIMENTAL			
Tipo de estudio:	De laboratorio	Norma utilizada	ASTM E8/E8M		
Material:	TIPO	Equipo utilizado	Certificado		
	ASTM A572 Gr 50	Máquina universal de ensayos	LNM-F-2016500064D		
Características del ensayo:	Fecha de ensayo	Velocidad de aplicación	Código de probeta		
	16/11/2023	2 mm/min	P2_A2_10_02		
Características de la Máquina:	JINAN LIANGGONG TESTING TECHNOLOGY WAW600B		Capacidad: 600 kN		
Realizado por:	J. Tasigchana	Revisado por:	Ing. F. Peña		
	O. Aldas	Fecha:	03/01/2023		
Resultado del ensayo					
Número de muestra	Módulo de Elasticidad (GPa)	Esfuerzo de fluencia (MPa)	Esfuerzo máximo (MPa)	Porcentaje de elongación (%)	Tipo de factura
7	267,7	356,95	537,74	36,50	Taza y cono
Curva esfuerzo-deformación					
 <p style="text-align: center;">• INGENIERIL</p>			 <p style="text-align: center;">• VERDADERA</p>		
Fotografía de la probeta ensayada					
					

Tabla 29. Reporte de ensayo de tracción para la probeta P2_A2_10_03

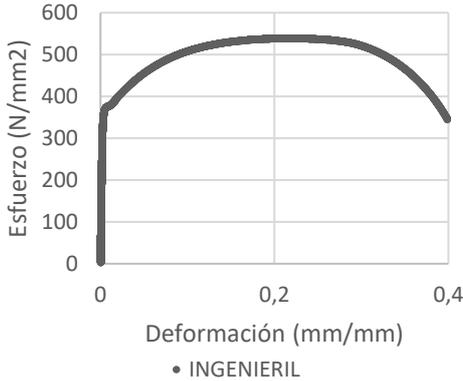
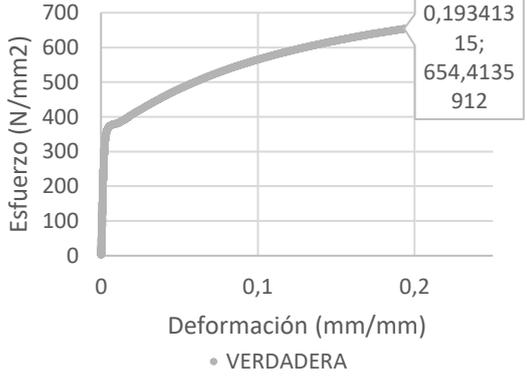
	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA TRABAJO DE TITULACIÓN-TRABAJO EXPERIMENTAL				
Tipo de estudio:	De laboratorio	Norma utilizada	ASTM E8/E8M		
Material:	TIPO	Equipo utilizado	Certificado		
	ASTM A572 Gr 50	Máquina universal de ensayos	LNM-F-2016500064D		
Características del ensayo:	Fecha de ensayo	Velocidad de aplicación	Código de probeta		
	16/11/2023	0.5 mm/min	P2_A2_10_03		
Características de la Máquina:	JINAN LIANGGONG TESTING TECHNOLOGY WAW600B		Capacidad: 600 kN		
Realizado por:	J. Tasigchana	Revisado por:	Ing. F. Peña		
	O. Aldas	Fecha:	03/01/2023		
Resultado del ensayo					
Número de muestra	Módulo de Elasticidad (GPa)	Esfuerzo de fluencia (MPa)	Esfuerzo máximo (MPa)	Porcentaje de elongación (%)	Tipo de factura
8	165,5	364,74	539,34	37	Taza y cono
Curva esfuerzo-deformación					
 <p style="text-align: center;">• INGENIERIL</p>			 <p style="text-align: center;">• VERDADERA</p>		
Fotografía de la probeta ensayada					
					

Tabla 30. Reporte de ensayo de tracción para la probeta P2_A2_10_04

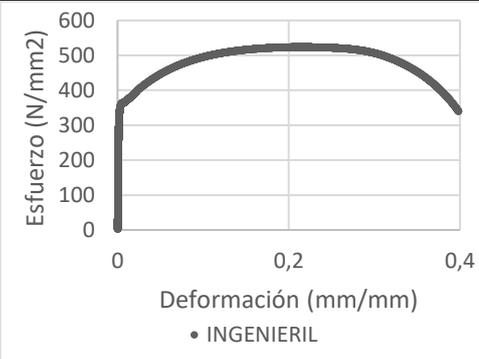
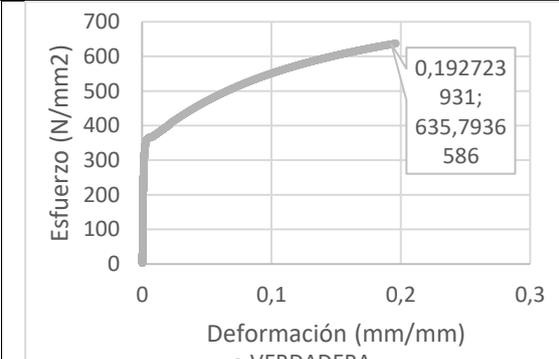
		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA TRABAJO DE TITULACIÓN-TRABAJO EXPERIMENTAL			
Tipo de estudio:	De laboratorio	Norma utilizada	ASTM E8/E8M		
Material:	TIPO	Equipo utilizado	Certificado		
	ASTM A572 Gr 50	Máquina universal de ensayos	LNM-F-2016500064D		
Características del ensayo:	Fecha de ensayo	Velocidad de aplicación	Código de probeta		
	16/11/2023	2 mm/min	P2_A2_10_04		
Características de la Máquina:	JINAN LIANGGONG TESTING TECHNOLOGY WAW600B		Capacidad: 600 kN		
Realizado por:	J. Tasigchana	Revisado por:	Ing. F. Peña		
	O. Aldas	Fecha:	03/01/2023		
Resultado del ensayo					
Número de muestra	Módulo de Elasticidad (GPa)	Esfuerzo de fluencia (MPa)	Esfuerzo máximo (MPa)	Porcentaje de elongación (%)	Tipo de factura
9	349,9	354,24	524,35	36	Taza y cono
Curva esfuerzo-deformación					
 <p style="text-align: center;">• INGENIERIL</p>			 <p style="text-align: center;">• VERDADERA</p>		
Fotografía de la probeta ensayada					
					

Tabla 31. Reporte de ensayo de tracción para la probeta P2_A2_10_05

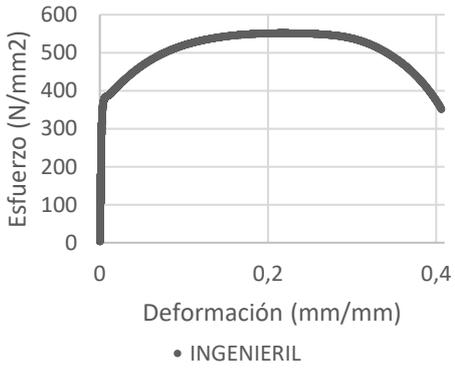
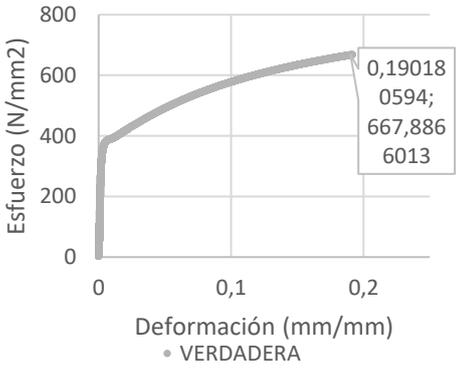
		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA TRABAJO DE TITULACIÓN-TRABAJO EXPERIMENTAL			
Tipo de estudio:	De laboratorio	Norma utilizada	ASTM E8/E8M		
Material:	TIPO	Equipo utilizado	Certificado		
	ASTM A572 Gr 50	Máquina universal de ensayos	LNM-F-2016500064D		
Características del ensayo:	Fecha de ensayo	Velocidad de aplicación	Código de probeta		
	16/11/2023	2 mm/min	P2_A1_10_05		
Características de la Máquina:	JINAN LIANGGONG TESTING TECHNOLOGY WAW600B		Capacidad: 600 kN		
Realizado por:	J. Tasigchana	Revisado por:	Ing. F. Peña		
	O. Aldas	Fecha:	03/01/2023		
Resultado del ensayo					
Número de muestra	Módulo de Elasticidad (GPa)	Esfuerzo de fluencia (MPa)	Esfuerzo máximo (MPa)	Porcentaje de elongación (%)	Tipo de factura
10	184,1	370,25	552,37	36.50	Taza y cono
Curva esfuerzo-deformación					
 <p style="text-align: center;">• INGENIERIL</p>			 <p style="text-align: center;">• VERDADERA</p>		
Fotografía de la probeta ensayada					
					

Tabla 32. Reporte de ensayo de tracción para la probeta P2_1C_10_01

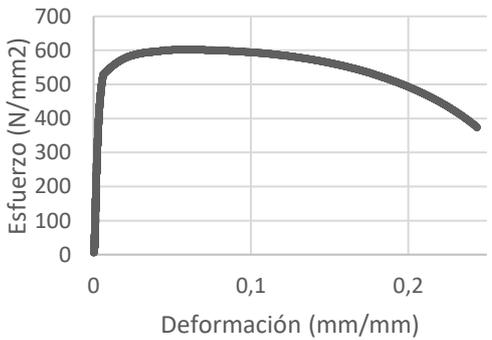
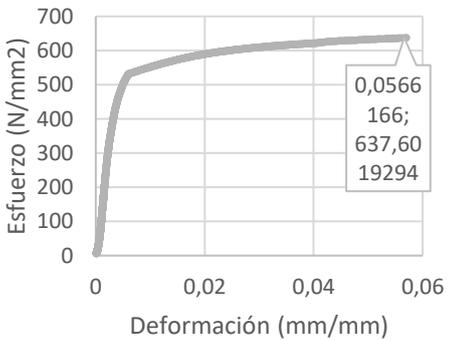
		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA TRABAJO DE TITULACIÓN-TRABAJO EXPERIMENTAL			
Tipo de estudio:	De laboratorio	Norma utilizada	ASTM E8/E8M		
Material:	TIPO	Equipo utilizado	Certificado		
	ASTM A572 Gr 50	Máquina universal de ensayos	LNM-F-2016500064D		
Características del ensayo:	Fecha de ensayo	Velocidad de aplicación	Código de probeta		
	16/11/2023	2 mm/min	P2_1C_10_01		
Características de la Máquina:	JINAN LIANGGONG TESTING TECHNOLOGY WAW600B		Capacidad: 600 kN		
Realizado por:	J. Tasigchana	Revisado por:	Ing. F. Peña		
	O. Aldas	Fecha:	03/01/2023		
Resultado del ensayo					
Número de muestra	Módulo de Elasticidad (GPa)	Esfuerzo de fluencia (MPa)	Esfuerzo máximo (MPa)	Porcentaje de elongación (%)	Tipo de factura
11	175,2	510,43	602,52	24	Taza y cono
Curva esfuerzo-deformación					
 <p style="text-align: center;">• INGENIERIL</p>			 <p style="text-align: center;">• VERDADERA</p>		
Fotografía de la probeta ensayada					
					

Tabla 33. Reporte de ensayo de tracción para la probeta P2_1C_10_02

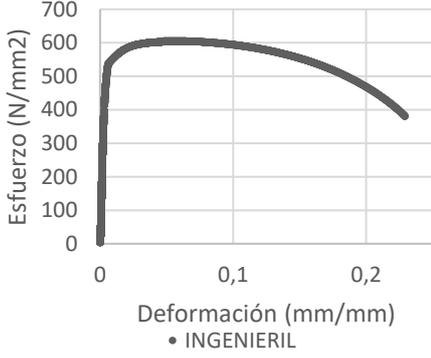
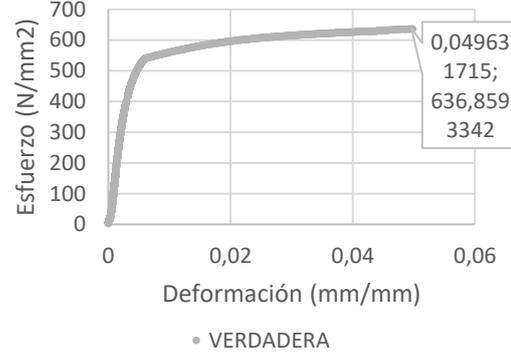
	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA TRABAJO DE TITULACIÓN-TRABAJO EXPERIMENTAL				
Tipo de estudio:	De laboratorio	Norma utilizada	ASTM E8/E8M		
Material:	TIPO	Equipo utilizado	Certificado		
	ASTM A572 Gr 50	Máquina universal de ensayos	LNM-F-2016500064D		
Características del ensayo:	Fecha de ensayo	Velocidad de aplicación	Código de probeta		
	16/11/2023	2 mm/min	P2_1C_10_02		
Características de la Máquina:	JINAN LIANGGONG TESTING TECHNOLOGY WAW600B		Capacidad: 600 kN		
Realizado por:	J. Tasigchana	Revisado por:	Ing. F. Peña		
	O. Aldas	Fecha:	03/01/2023		
Resultado del ensayo					
Número de muestra	Módulo de Elasticidad (GPa)	Esfuerzo de fluencia (MPa)	Esfuerzo máximo (MPa)	Porcentaje de elongación (%)	Tipo de factura
12	183,6	513,42	606,20	23	Taza y cono
Curva esfuerzo-deformación					
 <p style="text-align: center;">• INGENIERIL</p>			 <p style="text-align: center;">• VERDADERA</p>		
Fotografía de la probeta ensayada					
					

Tabla 34. Reporte de ensayo de tracción para la probeta P2_1C_10_03

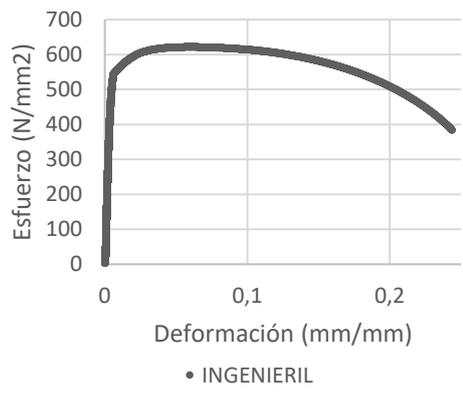
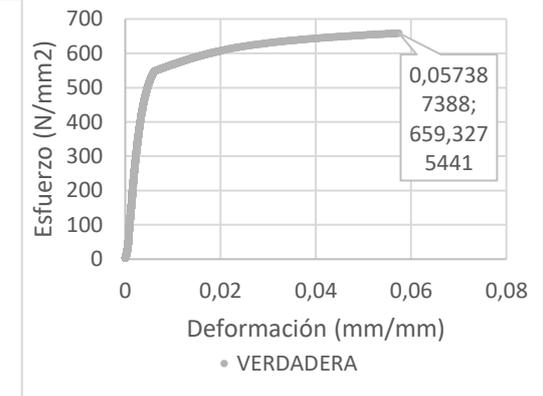
	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA TRABAJO DE TITULACIÓN-TRABAJO EXPERIMENTAL				
Tipo de estudio:	De laboratorio	Norma utilizada	ASTM E8/E8M		
Material:	TIPO	Equipo utilizado	Certificado		
	ASTM A572 Gr 50	Máquina universal de ensayos	LNM-F-2016500064D		
Características del ensayo:	Fecha de ensayo	Velocidad de aplicación	Código de probeta		
	16/11/2023	2 mm/min	P2_1C_10_03		
Características de la Máquina:	JINAN LIANGGONG TESTING TECHNOLOGY WAW600B		Capacidad: 600 kN		
Realizado por:	J. Tasigchana	Revisado por:	Ing. F. Peña		
	O. Aldas	Fecha:	03/01/2023		
Resultado del ensayo					
Número de muestra	Módulo de Elasticidad (GPa)	Esfuerzo de fluencia (MPa)	Esfuerzo máximo (MPa)	Porcentaje de elongación (%)	Tipo de factura
13	151,9	536,83	622,55	26.50	Taza y cono
Curva esfuerzo-deformación					
 <p style="text-align: center;">• INGENIERIL</p>			 <p style="text-align: center;">• VERDADERA</p>		
Fotografía de la probeta ensayada					
					

Tabla 35. Reporte de ensayo de tracción para la probeta P2_1C_10_04

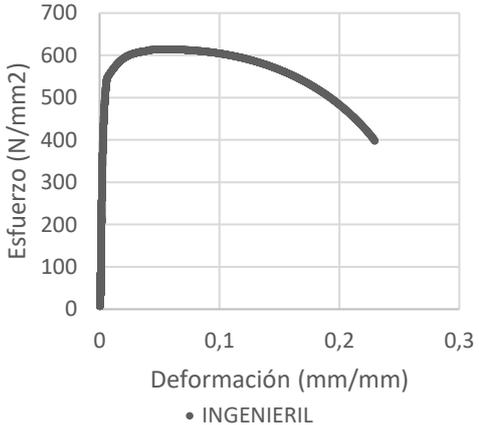
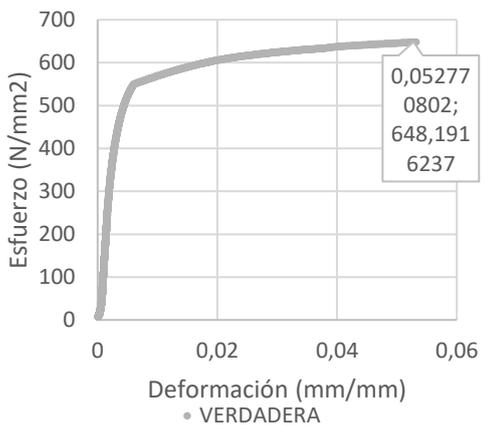
	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA TRABAJO DE TITULACIÓN-TRABAJO EXPERIMENTAL				
Tipo de estudio:	De laboratorio	Norma utilizada	ASTM E8/E8M		
Material:	TIPO	Equipo utilizado	Certificado		
	ASTM A572 Gr 50	Máquina universal de ensayos	LNM-F-2016500064D		
Características del ensayo:	Fecha de ensayo	Velocidad de aplicación	Código de probeta		
	16/11/2023	2 mm/min	P2_1C_10_04		
Características de la Máquina:	JINAN LIANGGONG TESTING TECHNOLOGY WAW600B		Capacidad: 600 kN		
Realizado por:	J. Tasigchana	Revisado por:	Ing. F. Peña		
	O. Aldas	Fecha:	03/01/2023		
Resultado del ensayo					
Número de muestra	Módulo de Elasticidad (GPa)	Esfuerzo de fluencia (MPa)	Esfuerzo máximo (MPa)	Porcentaje de elongación (%)	Tipo de factura
14	213,6	516,37	614,89	24	Taza y cono
Curva esfuerzo-deformación					
 <p style="text-align: center;">• INGENIERIL</p>			 <p style="text-align: center;">• VERDADERA</p>		
Fotografía de la probeta ensayada					
					

Tabla 36. Reporte de ensayo de tracción para la probeta P2_1C_10_05

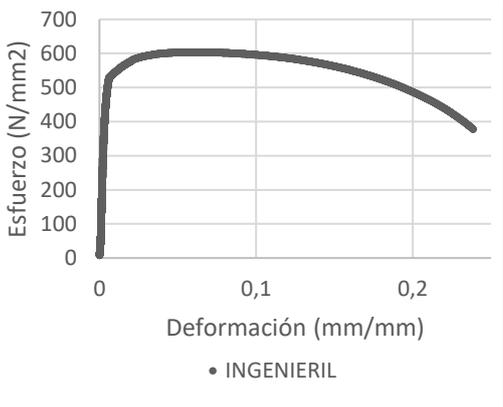
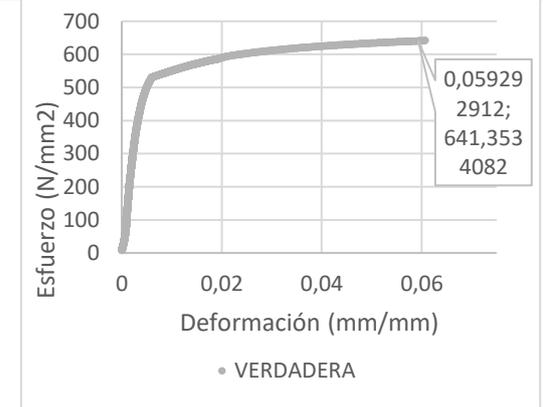
		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA TRABAJO DE TITULACIÓN-TRABAJO EXPERIMENTAL			
Tipo de estudio:	De laboratorio	Norma utilizada	ASTM E8/E8M		
Material:	TIPO	Equipo utilizado	Certificado		
	ASTM A572 Gr 50	Máquina universal de ensayos	LNM-F-2016500064D		
Características del ensayo:	Fecha de ensayo	Velocidad de aplicación	Código de probeta		
	16/11/2023	2 mm/min	P2_1C_10_05		
Características de la Máquina:	JINAN LIANGGONG TESTING TECHNOLOGY WAW600B		Capacidad: 600 kN		
Realizado por:	J. Tasigchana	Revisado por:	Ing. F. Peña		
	O. Aldas	Fecha:	03/01/2023		
Resultado del ensayo					
Número de muestra	Módulo de Elasticidad (GPa)	Esfuerzo de fluencia (MPa)	Esfuerzo máximo (MPa)	Porcentaje de elongación (%)	Tipo de fractura
15	163,6	512,83	604,60	25	Taza y cono
Curva esfuerzo-deformación					
 <p style="text-align: center;">• INGENIERIL</p>			 <p style="text-align: center;">• VERDADERA</p>		
Fotografía de la probeta ensayada					
					

Tabla 37. Reporte de ensayo de tracción para la probeta P2_I_10_01

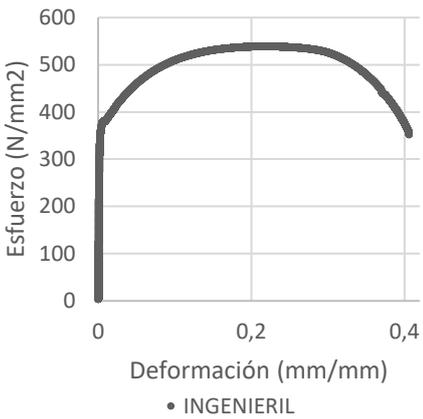
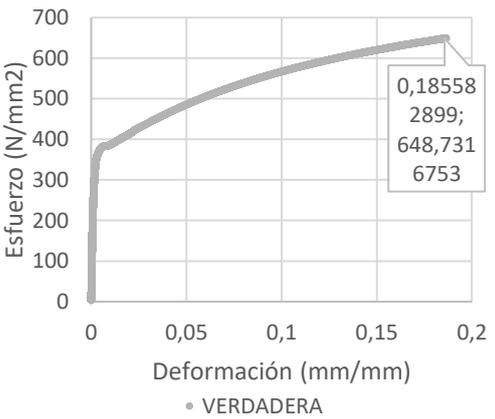
		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA TRABAJO DE TITULACIÓN-TRABAJO EXPERIMENTAL			
Tipo de estudio:	De laboratorio	Norma utilizada	ASTM E8/E8M		
Material:	TIPO	Equipo utilizado	Certificado		
	ASTM A572 Gr 50	Máquina universal de ensayos	LNM-F-2016500064D		
Características del ensayo:	Fecha de ensayo	Velocidad de aplicación	Código de probeta		
	16/11/2023	2 mm/min	P2_I_10_01		
Características de la Máquina:	JINAN LIANGGONG TESTING TECHNOLOGY WAW600B		Capacidad: 600 kN		
Realizado por:	J. Tasigchana	Revisado por:	Ing. F. Peña		
	O. Aldas	Fecha:	03/01/2023		
Resultado del ensayo					
Número de muestra	Módulo de Elasticidad (GPa)	Esfuerzo de fluencia (MPa)	Esfuerzo máximo (MPa)	Porcentaje de elongación (%)	Tipo de factura
16	230,3	362,65	539,16	39	Taza y cono
Curva esfuerzo-deformación					
 <p style="text-align: center;">• INGENIERIL</p>			 <p style="text-align: center;">• VERDADERA</p>		
Fotografía de la probeta ensayada					
					

Tabla 38. Reporte de ensayo de tracción para la probeta P2_I_10_02

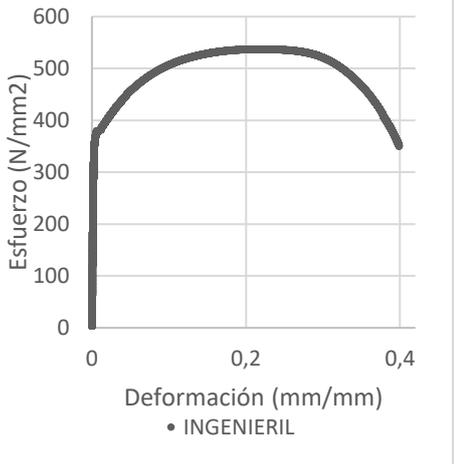
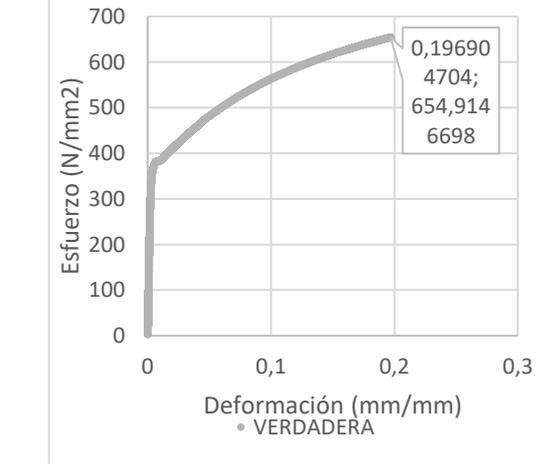
		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA TRABAJO DE TITULACIÓN-TRABAJO EXPERIMENTAL			
Tipo de estudio:	De laboratorio	Norma utilizada	ASTM E8/E8M		
Material:	TIPO	Equipo utilizado	Certificado		
	ASTM A572 Gr 50	Máquina universal de ensayos	LNM-F-2016500064D		
Características del ensayo:	Fecha de ensayo	Velocidad de aplicación	Código de probeta		
	16/11/2023	2 mm/min	P2_I_10_02		
Características de la Máquina:	JINAN LIANGGONG TESTING TECHNOLOGY WAW600B		Capacidad: 600 kN		
Realizado por:	J. Tasigchana	Revisado por:	Ing. F. Peña		
	O. Aldas	Fecha:	03/01/2023		
Resultado del ensayo					
Número de muestra	Módulo de Elasticidad (GPa)	Esfuerzo de fluencia (MPa)	Esfuerzo máximo (MPa)	Porcentaje de elongación (%)	Tipo de factura
17	149,4	367,37	537,86	36	Taza y cono
Curva esfuerzo-deformación					
 <p style="text-align: center;">• INGENIERIL</p>			 <p style="text-align: center;">• VERDADERA</p>		
Fotografía de la robeta ensayada					
					

Tabla 39. Reporte de ensayo de tracción para la probeta P2_I_10_03

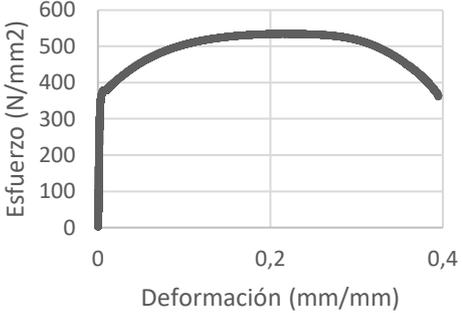
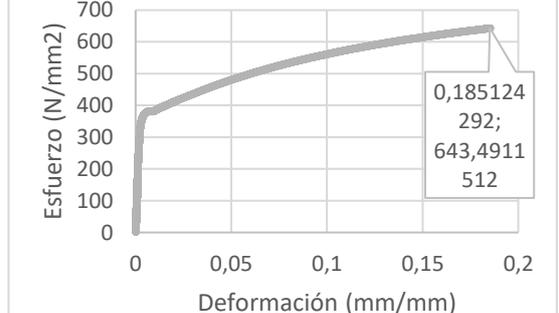
		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA TRABAJO DE TITULACIÓN-TRABAJO EXPERIMENTAL			
Tipo de estudio:	De laboratorio	Norma utilizada	ASTM E8/E8M		
Material:	TIPO	Equipo utilizado	Certificado		
	ASTM A572 Gr 50	Máquina universal de ensayos	LNM-F-2016500064D		
Características del ensayo:	Fecha de ensayo	Velocidad de aplicación	Código de probeta		
	16/11/2023	2 mm/min	P2_I_10_03		
Características de la Máquina:	JINAN LIANGGONG TESTING TECHNOLOGY WAW600B		Capacidad: 600 kN		
Realizado por:	J. Tasigchana	Revisado por:	Ing. F. Peña		
	O. Aldas	Fecha:	03/01/2023		
Resultado del ensayo					
Número de muestra	Módulo de Elasticidad (GPa)	Esfuerzo de fluencia (MPa)	Esfuerzo máximo (MPa)	Porcentaje de elongación (%)	Tipo de factura
18	172,6	367,76	535,05	36	Taza y cono
Curva esfuerzo-deformación					
 <p style="text-align: center;">• INGENIERIL</p>			 <p style="text-align: center;">• VERDADERA</p>		
Fotografía de la probeta ensayada					
					

Tabla 40. Reporte de ensayo de tracción para la probeta P2_I_10_04

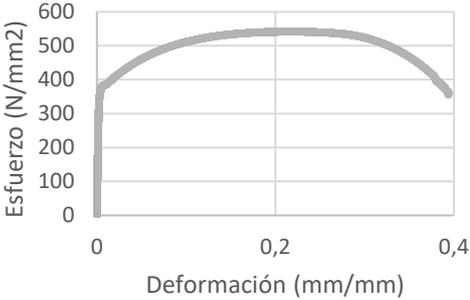
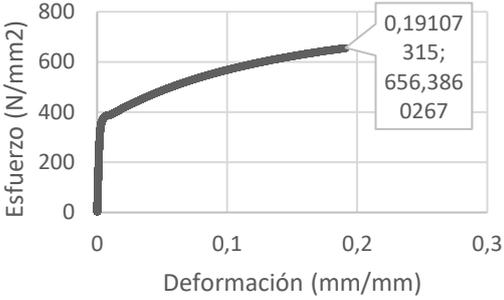
		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA TRABAJO DE TITULACIÓN-TRABAJO EXPERIMENTAL			
Tipo de estudio:	De laboratorio	Norma utilizada	ASTM E8/E8M		
Material:	TIPO	Equipo utilizado	Certificado		
	ASTM A572 Gr 50	Máquina universal de ensayos	LNM-F-2016500064D		
Características del ensayo:	Fecha de ensayo	Velocidad de aplicación	Código de probeta		
	16/11/2023	2 mm/min	P2_I_10_04		
Características de la Máquina:	JINAN LIANGGONG TESTING TECHNOLOGY WAW600B		Capacidad: 600 kN		
Realizado por:	J. Tasigchana	Revisado por:	Ing. F. Peña		
	O. Aldas	Fecha:	03/01/2023		
Resultado del ensayo					
Número de muestra	Módulo de Elasticidad (GPa)	Esfuerzo de fluencia (MPa)	Esfuerzo máximo (MPa)	Porcentaje de elongación (%)	Tipo de factura
19	180,7	367,46	542,22	35	Taza y cono
Curva esfuerzo-deformación					
 <p style="text-align: center;">• INGENIERIL</p>			 <p style="text-align: center;">• VERDADERA</p>		
Fotografía de la probeta ensayada					
					

Tabla 41. Reporte de ensayo de tracción para la probeta P2_I_10_05

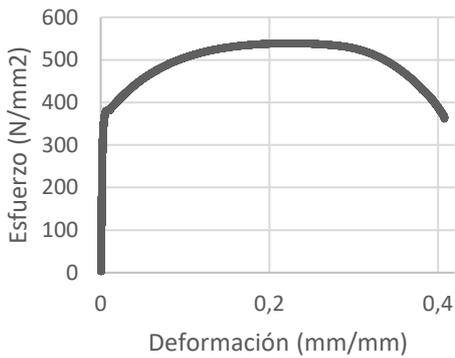
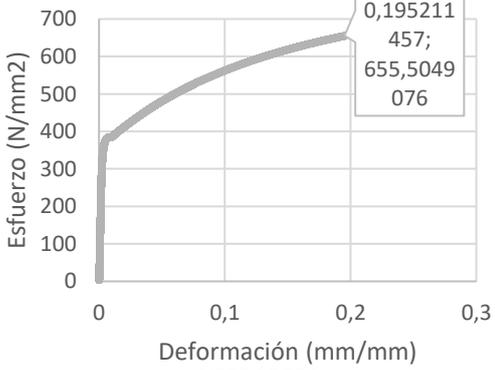
		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA TRABAJO DE TITULACIÓN-TRABAJO EXPERIMENTAL			
Tipo de estudio:	De laboratorio	Norma utilizada	ASTM E8/E8M		
Material:	TIPO	Equipo utilizado	Certificado		
	ASTM A572 Gr 50	Máquina universal de ensayos	LNM-F-2016500064D		
Características del ensayo:	Fecha de ensayo	Velocidad de aplicación	Código de probeta		
	16/11/2023	2 mm/min	P2_I_10_05		
Características de la Máquina:	JINAN LIANGGONG TESTING TECHNOLOGY WAW600B		Capacidad: 600 kN		
Realizado por:	J. Tasigchana	Revisado por:	Ing. F. Peña		
	O. Aldas	Fecha:	03/01/2023		
Resultado del ensayo					
Número de muestra	Módulo de Elasticidad (GPa)	Esfuerzo de fluencia (MPa)	Esfuerzo máximo (MPa)	Porcentaje de elongación (%)	Tipo de factura
20	163,4	367,08	539,26	37	Taza y cono
Curva esfuerzo-deformación					
 <p style="text-align: center;">• INGENIERIL</p>			 <p style="text-align: center;">• VERDADERA</p>		
Fotografía de la probeta ensayada					
					

Tabla 42. Reporte de ensayo de tracción para la probeta P2_1C_12_01

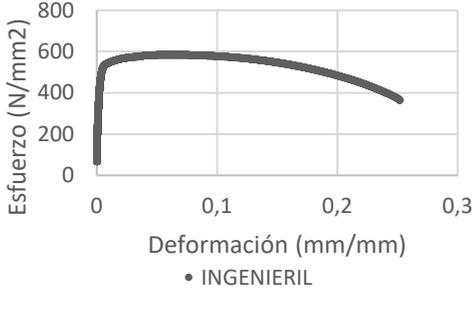
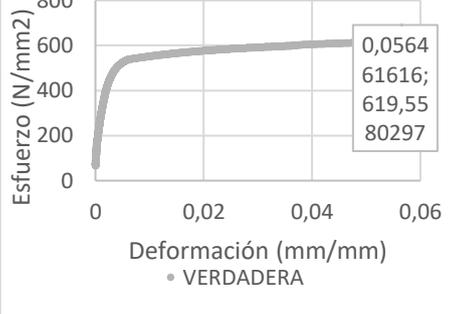
	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA TRABAJO DE TITULACIÓN-TRABAJO EXPERIMENTAL				
Tipo de estudio:	De laboratorio	Norma utilizada	ASTM E8/E8M		
Material:	TIPO	Equipo utilizado	Certificado		
	ASTM A572 Gr 50	Máquina universal de ensayos	LNM-F-2016500064D		
Características del ensayo:	Fecha de ensayo	Velocidad de aplicación	Código de probeta		
	16/11/2023	2 mm/min	P2_1C_12_01		
Características de la Máquina:	JINAN LIANGGONG TESTING TECHNOLOGY WAW600B		Capacidad: 600 kN		
Realizado por:	J. Tasigchana	Revisado por:	Ing. F. Peña		
	O. Aldas	Fecha:	03/01/2023		
Resultado del ensayo					
Número de muestra	Módulo de Elasticidad (GPa)	Esfuerzo de fluencia (MPa)	Esfuerzo máximo (MPa)	Porcentaje de elongación (%)	Tipo de factura
21	221,0	498,58	585,69	26,50	Taza y cono
Curva esfuerzo-deformación					
 <p style="text-align: center;">• INGENIERIL</p>			 <p style="text-align: center;">• VERDADERA</p>		
Probeta ensayada					
					

Tabla 43. Reporte de ensayo de tracción para la probeta P2_1C_12_02

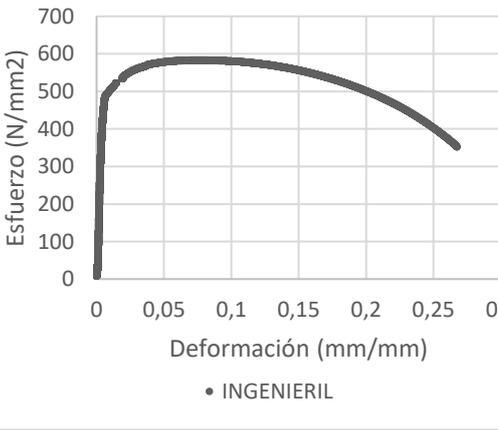
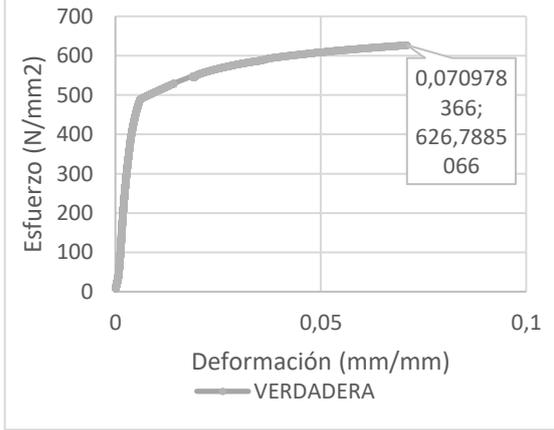
		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA TRABAJO DE TITULACIÓN-TRABAJO EXPERIMENTAL			
Tipo de estudio:	De laboratorio	Norma utilizada	ASTM E8/E8M		
Material:	TIPO	Equipo utilizado	Certificado		
	ASTM A572 Gr 50	Máquina universal de ensayos	LNM-F-2016500064D		
Características del ensayo:	Fecha de ensayo	Velocidad de aplicación	Código de probeta		
	16/11/2023	2 mm/min	P2_1C_12_02		
Características de la Máquina:	JINAN LIANGGONG TESTING TECHNOLOGY WAW600B		Capacidad: 600 kN		
Realizado por:	J. Tasigchana	Revisado por:	Ing. F. Peña		
	O. Aldas	Fecha:	03/01/2023		
Resultado del ensayo					
Número de muestra	Módulo de Elasticidad (GPa)	Esfuerzo de fluencia (MPa)	Esfuerzo máximo (MPa)	Porcentaje de elongación (%)	Tipo de factura
22	143,8	481,42	583,84	27	Taza y cono
Curva esfuerzo-deformación					
 <p style="text-align: center;">• INGENIERIL</p>			 <p style="text-align: center;">— VERDADERA</p>		
Probeta ensayada					
					

Tabla 44. Reporte de ensayo de tracción para la probeta P2_1C_12_03

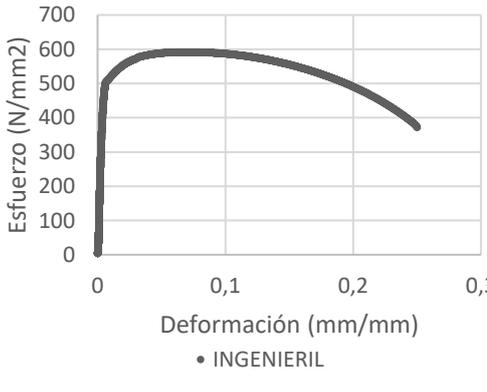
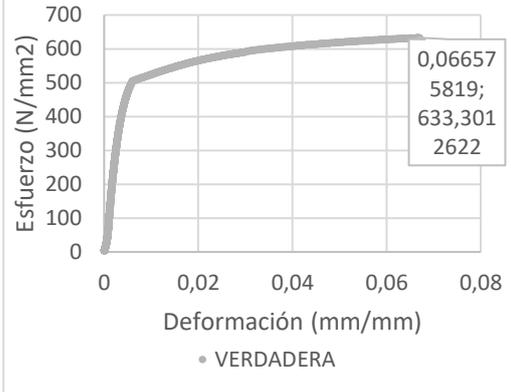
		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA TRABAJO DE TITULACIÓN-TRABAJO EXPERIMENTAL			
Tipo de estudio:	De laboratorio	Norma utilizada	ASTM E8/E8M		
Material:	TIPO	Equipo utilizado	Certificado		
	ASTM A572 Gr 50	Máquina universal de ensayos	LNM-F-2016500064D		
Características del ensayo:	Fecha de ensayo	Velocidad de aplicación	Código de probeta		
	16/11/2023	2 mm/min	P2_1C_12_03		
Características de la Máquina:	JINAN LIANGGONG TESTING TECHNOLOGY WAW600B		Capacidad: 600 kN		
Realizado por:	J. Tasigchana	Revisado por:	Ing. F. Peña		
	O. Aldas	Fecha:	03/01/2023		
Resultado del ensayo					
Número de muestra	Módulo de Elasticidad (GPa)	Esfuerzo de fluencia (MPa)	Esfuerzo máximo (MPa)	Porcentaje de elongación (%)	Tipo de factura
23	148,0	492,93	592,53	25	Taza y cono
Curva esfuerzo-deformación					
 <p style="text-align: center;">• INGNERIL</p>			 <p style="text-align: center;">• VERDADERA</p>		
Probeta ensayada					
					

Tabla 45. Reporte de ensayo de tracción para la probeta P2_1C_12_04

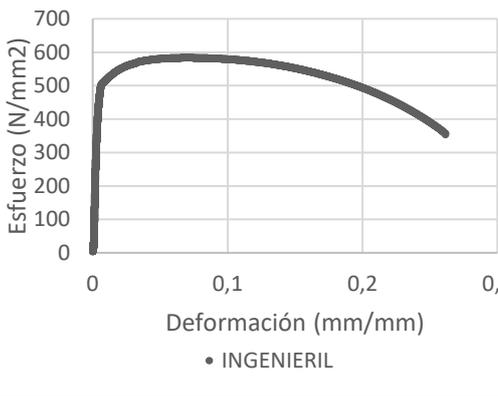
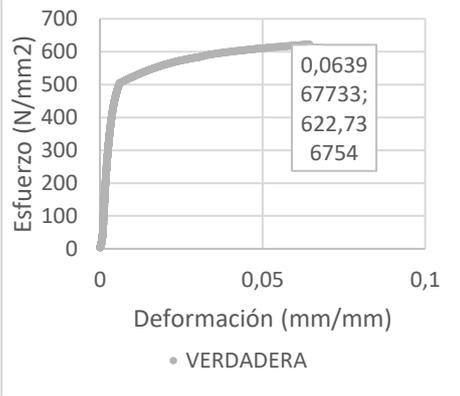
	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA TRABAJO DE TITULACIÓN-TRABAJO EXPERIMENTAL				
Tipo de estudio:	De laboratorio	Norma utilizada	ASTM E8/E8M		
Material:	TIPO	Equipo utilizado	Certificado		
	ASTM A572 Gr 50	Máquina universal de ensayos	LNM-F-2016500064D		
Características del ensayo:	Fecha de ensayo	Velocidad de aplicación	Código de probeta		
	16/11/2023	2 mm/min	P2_1C_12_04		
Características de la Máquina:	JINAN LIANGGONG TESTING TECHNOLOGY WAW600B		Capacidad: 600 kN		
Realizado por:	J. Tasigchana	Revisado por:	Ing. F. Peña		
	O. Aldas	Fecha:	03/01/2023		
Resultado del ensayo					
Número de muestra	Módulo de Elasticidad (GPa)	Esfuerzo de fluencia (MPa)	Esfuerzo máximo (MPa)	Porcentaje de elongación (%)	Tipo de factura
24	163,3	486,52	584,41	26,50	Taza y cono
Curva esfuerzo-deformación					
					
Probeta ensayada					
					

Tabla 46. Reporte de ensayo de tracción para la probeta P2_1C_12_05

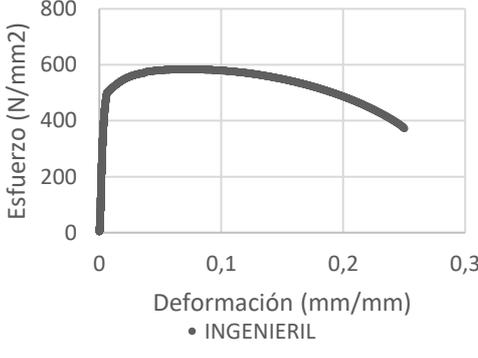
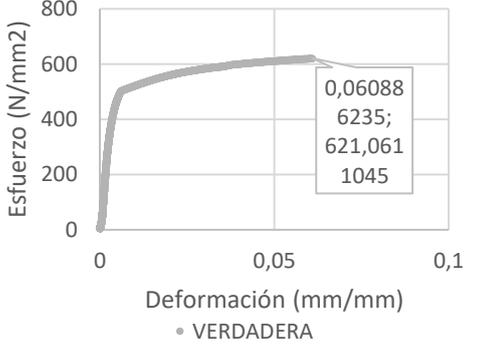
	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA TRABAJO DE TITULACIÓN-TRABAJO EXPERIMENTAL				
Tipo de estudio:	De laboratorio	Norma utilizada	ASTM E8/E8M		
Material:	TIPO	Equipo utilizado	Certificado		
	ASTM A572 Gr 50	Máquina universal de ensayos	LNM-F-2016500064D		
Características del ensayo:	Fecha de ensayo	Velocidad de aplicación	Código de probeta		
	16/11/2023	2 mm/min	P2_1C_12_05		
Características de la Máquina:	JINAN LIANGGONG TESTING TECHNOLOGY WAW600B		Capacidad: 600 kN		
Realizado por:	J. Tasigchana	Revisado por:	Ing. F. Peña		
	O. Aldas	Fecha:	03/01/2023		
Resultado del ensayo					
Número de muestra	Módulo de Elasticidad (GPa)	Esfuerzo de fluencia (MPa)	Esfuerzo máximo (MPa)	Porcentaje de elongación (%)	Tipo de factura
25	158,8	482,70	585,01	25.50	Taza y cono
Curva esfuerzo-deformación					
 <p style="text-align: center;">• INGENIERIL</p>			 <p style="text-align: center;">• VERDADERA</p>		
Probeta ensayada					
					

Tabla 47. Reporte de ensayo de tracción para la probeta P2_A1_12_01

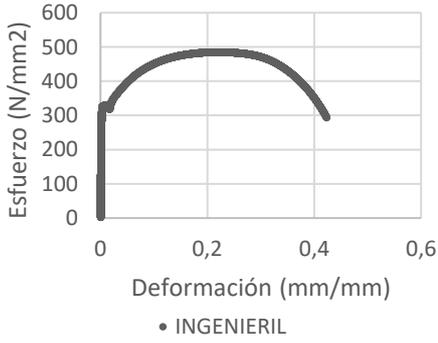
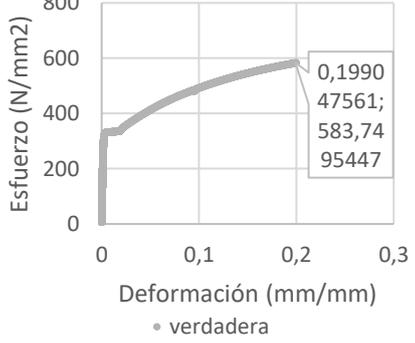
	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA TRABAJO DE TITULACIÓN-TRABAJO EXPERIMENTAL				
Tipo de estudio:	De laboratorio	Norma utilizada	ASTM E8/E8M		
Material:	TIPO	Equipo utilizado	Certificado		
	ASTM A572 Gr 50	Máquina universal de ensayos	LNM-F-2016500064D		
Características del ensayo:	Fecha de ensayo	Velocidad de aplicación	Código de probeta		
	16/11/2023	2 mm/min	P2_A1_12_01		
Características de la Máquina:	JINAN LIANGGONG TESTING TECHNOLOGY WAW600B		Capacidad: 600 kN		
Realizado por:	J. Tasigchana	Revisado por:	Ing. F. Peña		
	O. Aldas	Fecha:	03/01/2023		
Resultado del ensayo					
Número de muestra	Módulo de Elasticidad (GPa)	Esfuerzo de fluencia (MPa)	Esfuerzo máximo (MPa)	Porcentaje de elongación (%)	Tipo de factura
26	188,6	327,05	485.28	36,50	Taza y cono
Curva esfuerzo-deformación					
 <p>• INGENIERIL</p>			 <p>• verdadera</p>		
Probeta ensayada					
					

Tabla 48. Reporte de ensayo de tracción para la probeta P2_A1_12_02

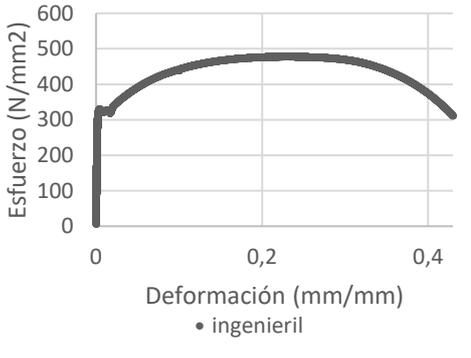
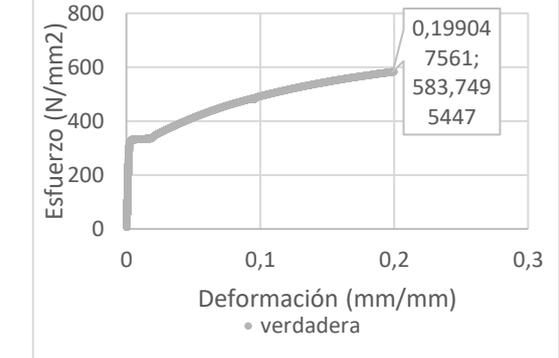
	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA TRABAJO DE TITULACIÓN-TRABAJO EXPERIMENTAL				
Tipo de estudio:	De laboratorio	Norma utilizada	ASTM E8/E8M		
Material:	TIPO	Equipo utilizado	Certificado		
	ASTM A572 Gr 50	Máquina universal de ensayos	LNM-F-2016500064D		
Características del ensayo:	Fecha de ensayo	Velocidad de aplicación	Código de probeta		
	16/11/2023	2 mm/min	P2_A1_12_02		
Características de la Máquina:	JINAN LIANGGONG TESTING TECHNOLOGY WAW600B		Capacidad: 600 kN		
Realizado por:	J. Tasigchana	Revisado por:	Ing. F. Peña		
	O. Aldas	Fecha:	03/01/2023		
Resultado del ensayo					
Número de muestra	Módulo de Elasticidad (GPa)	Esfuerzo de fluencia (MPa)	Esfuerzo máximo (MPa)	Porcentaje de elongación (%)	Tipo de factura
27	202,3	328,71	478.50	39	Taza y cono
Curva esfuerzo-deformación					
 <p>Esfuerzo (N/mm²) vs Deformación (mm/mm) • ingenieril</p>			 <p>Esfuerzo (N/mm²) vs Deformación (mm/mm) • verdadera</p> <p>0,19904 7561; 583,749 5447</p>		
Probeta ensayada					
					

Tabla 49. Reporte de ensayo de tracción para la probeta P2_A1_12_03

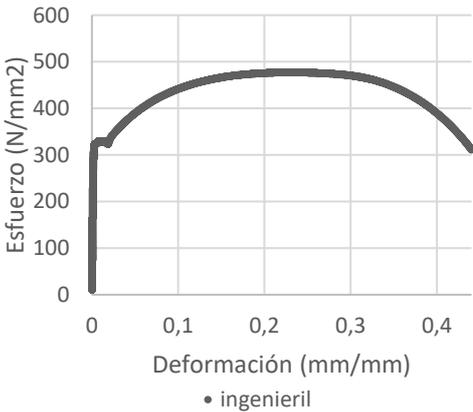
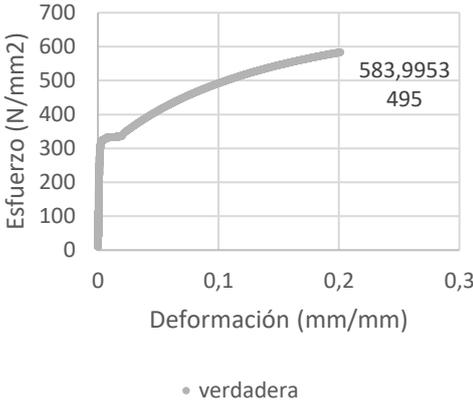
	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA TRABAJO DE TITULACIÓN-TRABAJO EXPERIMENTAL				
Tipo de estudio:	De laboratorio	Norma utilizada	ASTM E8/E8M		
Material:	TIPO	Equipo utilizado	Certificado		
	ASTM A572 Gr 50	Máquina universal de ensayos	LNM-F-2016500064D		
Características del ensayo:	Fecha de ensayo	Velocidad de aplicación	Código de probeta		
	16/11/2023	2 mm/min	P2_A1_12_03		
Características de la Máquina:	JINAN LIANGGONG TESTING TECHNOLOGY WAW600B		Capacidad: 600 kN		
Realizado por:	J. Tasigchana	Revisado por:	Ing. F. Peña		
	O. Aldas	Fecha:	03/01/2023		
Resultado del ensayo					
Número de muestra	Módulo de Elasticidad (GPa)	Esfuerzo de fluencia (MPa)	Esfuerzo máximo (MPa)	Porcentaje de elongación (%)	Tipo de factura
28	221,1	323,48	477,78	39	Taza y cono
Curva esfuerzo-deformación					
 <p style="text-align: center;">• ingenieril</p>			 <p style="text-align: center;">• verdadera</p>		
Probeta ensayada					
					

Tabla 50. Reporte de ensayo de tracción para la probeta P2_A1_12_04.

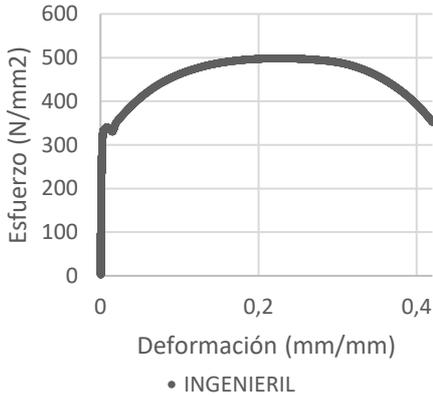
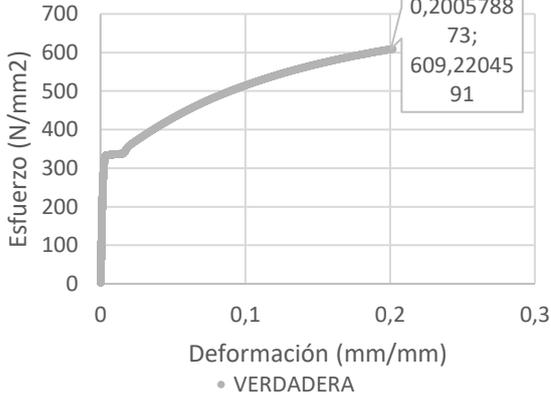
		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA TRABAJO DE TITULACIÓN-TRABAJO EXPERIMENTAL			
Tipo de estudio:	De laboratorio	Norma utilizada	ASTM E8/E8M		
Material:	TIPO	Equipo utilizado	Certificado		
	ASTM A572 Gr 50	Máquina universal de ensayos	LNM-F-2016500064D		
Características del ensayo:	Fecha de ensayo	Velocidad de aplicación	Código de probeta		
	16/11/2023	2 mm/min	P2_A1_12_04		
Características de la Máquina:	JINAN LIANGGONG TESTING TECHNOLOGY WAW600B		Capacidad: 600 kN		
Realizado por:	J. Tasigchana	Revisado por:	Ing. F. Peña		
	O. Aldas	Fecha:	03/01/2023		
Resultado del ensayo					
Número de muestra	Módulo de Elasticidad (GPa)	Esfuerzo de fluencia (MPa)	Esfuerzo máximo (MPa)	Porcentaje de elongación (%)	Tipo de factura
29	184,8	333,87	498,61	37	Taza y cono
Curva esfuerzo-deformación					
 <p style="text-align: center;">• INGENIERIL</p>			 <p style="text-align: center;">• VERDADERA</p>		
Probeta ensayada					
					

Tabla 51. Reporte de ensayo de tracción para la probeta P2_A1_12_05

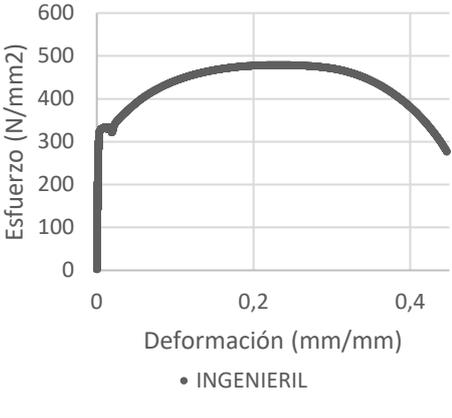
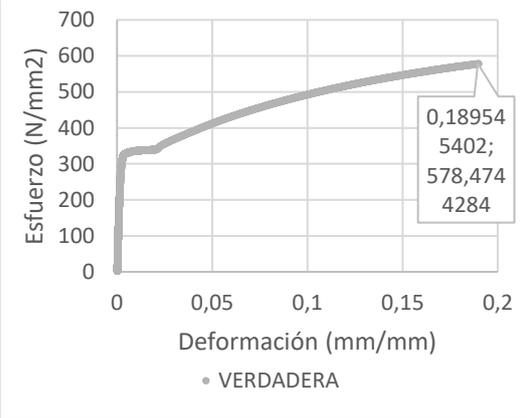
	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA TRABAJO DE TITULACIÓN-TRABAJO EXPERIMENTAL				
Tipo de estudio:	De laboratorio	Norma utilizada	ASTM E8/E8M		
Material:	TIPO	Equipo utilizado	Certificado		
	ASTM A572 Gr 50	Máquina universal de ensayos	LNM-F-2016500064D		
Características del ensayo:	Fecha de ensayo	Velocidad de aplicación	Código de probeta		
	16/11/2023	2 mm/min	P2_A1_12_05		
Características de la Máquina:	JINAN LIANGGONG TESTING TECHNOLOGY WAW600B		Capacidad: 600 kN		
Realizado por:	J. Tasigchana	Revisado por:	Ing. F. Peña		
	O. Aldas	Fecha:	03/01/2023		
Resultado del ensayo					
Número de muestra	Módulo de Elasticidad (GPa)	Esfuerzo de fluencia (MPa)	Esfuerzo máximo (MPa)	Porcentaje de elongación (%)	Tipo de factura
30	175,7	326,17	479,46	39,50	Taza y cono
Curva esfuerzo-deformación					
					
Probeta ensayada					
					

Tabla 52. Reporte de ensayo de tracción para la probeta P2_A2_12_01

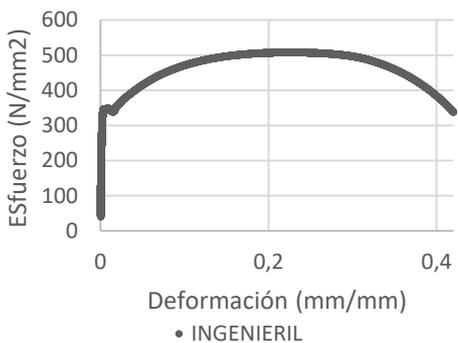
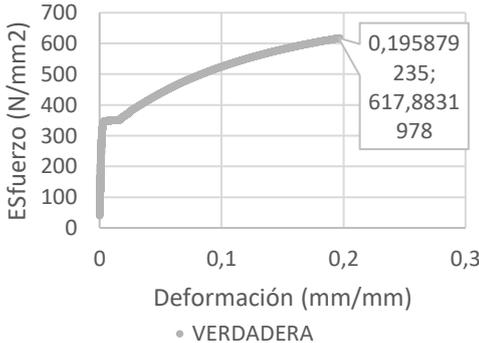
	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA TRABAJO DE TITULACIÓN-TRABAJO EXPERIMENTAL				
Tipo de estudio:	De laboratorio	Norma utilizada	ASTM E8/E8M		
Material:	TIPO	Equipo utilizado	Certificado		
	ASTM A572 Gr 50	Máquina universal de ensayos	LNM-F-2016500064D		
Características del ensayo:	Fecha de ensayo	Velocidad de aplicación	Código de probeta		
	16/11/2023	2 mm/min	P2_A2_12_01		
Características de la Máquina:	JINAN LIANGGONG TESTING TECHNOLOGY WAW600B		Capacidad: 600 kN		
Realizado por:	J. Tasigchana	Revisado por:	Ing. F. Peña		
	O. Aldas	Fecha:	03/01/2023		
Resultado del ensayo					
Número de muestra	Módulo de Elasticidad (GPa)	Esfuerzo de fluencia (MPa)	Esfuerzo máximo (MPa)	Porcentaje de elongación (%)	Tipo de factura
31	182,4	345,78	508,08	37	Taza y cono
Curva esfuerzo-deformación					
 <p style="text-align: center;">• INGENIERIL</p>			 <p style="text-align: center;">• VERDADERA</p>		
Probeta ensayada					
					

Tabla 53. Reporte de ensayo de tracción para la probeta P2_A2_12_02

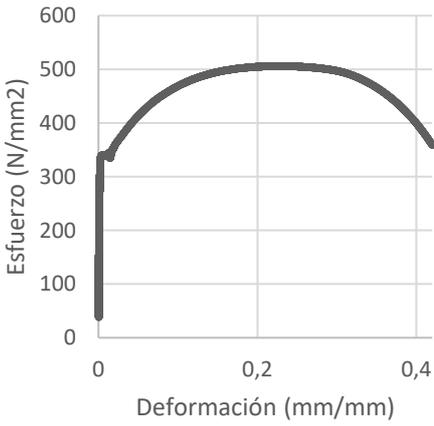
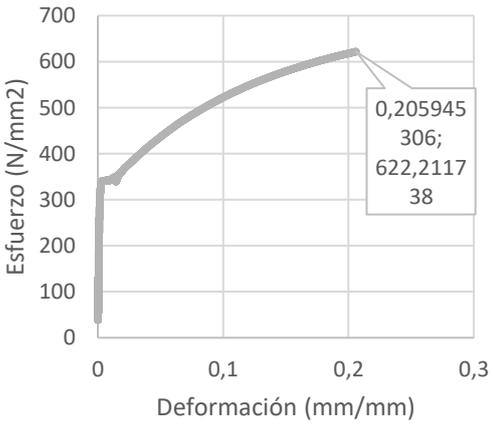
		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA TRABAJO DE TITULACIÓN-TRABAJO EXPERIMENTAL			
Tipo de estudio:	De laboratorio	Norma utilizada	ASTM E8/E8M		
Material:	TIPO	Equipo utilizado	Certificado		
	ASTM A572 Gr 50	Máquina universal de ensayos	LNM-F-2016500064D		
Características del ensayo:	Fecha de ensayo	Velocidad de aplicación	Código de probeta		
	16/11/2023	2 mm/min	P2_A2_12_02		
Características de la Máquina:	JINAN LIANGGONG TESTING TECHNOLOGY WAW600B		Capacidad: 600 kN		
Realizado por:	J. Tasigchana	Revisado por:	Ing. F. Peña		
	O. Aldas	Fecha:	03/01/2023		
Resultado del ensayo					
Número de muestra	Módulo de Elasticidad (GPa)	Esfuerzo de fluencia (MPa)	Esfuerzo máximo (MPa)	Porcentaje de elongación (%)	Tipo de factura
32	215,9	339,08	506,42	37	Taza y cono
Curva esfuerzo-deformación					
					
Probeta ensayada					
					

Tabla 54. Reporte de ensayo de tracción para la probeta P2_A2_12_03

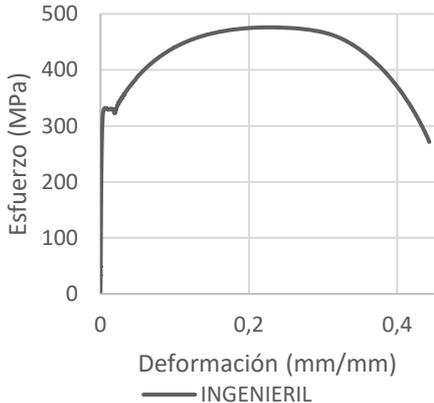
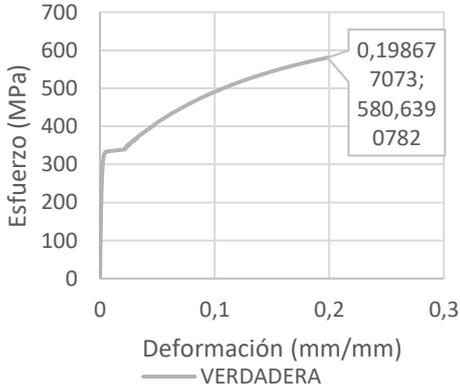
		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA TRABAJO DE TITULACIÓN-TRABAJO EXPERIMENTAL			
Tipo de estudio:	De laboratorio	Norma utilizada	ASTM E8/E8M		
Material:	TIPO	Equipo utilizado	Certificado		
	ASTM A572 Gr 50	Máquina universal de ensayos	LNM-F-2016500064D		
Características del ensayo:	Fecha de ensayo	Velocidad de aplicación	Código de probeta		
	16/11/2023	2 mm/min	P2_A2_12_03		
Características de la Máquina:	JINAN LIANGGONG TESTING TECHNOLOGY WAW600B		Capacidad: 600 kN		
Realizado por:	J. Tasigchana	Revisado por:	Ing. F. Peña		
	O. Aldas	Fecha:	03/01/2023		
Resultado del ensayo					
Número de muestra	Módulo de Elasticidad (GPa)	Esfuerzo de fluencia (MPa)	Esfuerzo máximo (MPa)	Porcentaje de elongación (%)	Tipo de factura
33	174,1	326,63	476,14	38,50	Taza y cono
Curva esfuerzo-deformación					
					
Probeta ensayada					
					

Tabla 55. Reporte de ensayo de tracción para la probeta P2_A2_12_04

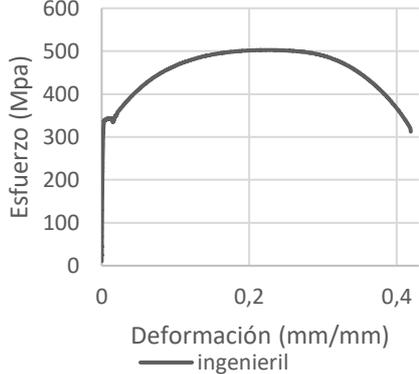
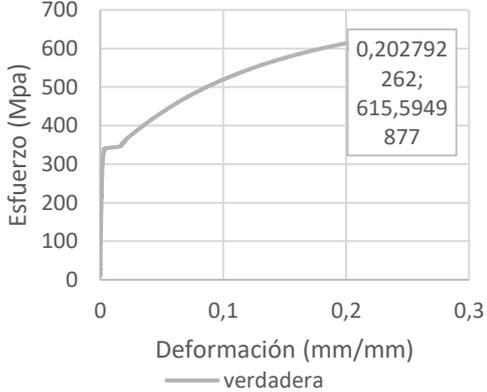
		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA TRABAJO DE TITULACIÓN-TRABAJO EXPERIMENTAL			
Tipo de estudio:	De laboratorio	Norma utilizada	ASTM E8/E8M		
Material:	TIPO	Equipo utilizado	Certificado		
	ASTM A572 Gr 50	Máquina universal de ensayos	LNM-F-2016500064D		
Características del ensayo:	Fecha de ensayo	Velocidad de aplicación	Código de probeta		
	16/11/2023	2 mm/min	P2_A2_12_04		
Características de la Máquina:	JINAN LIANGGONG TESTING TECHNOLOGY WAW600B		Capacidad: 600 kN		
Realizado por:	J. Tasigchana	Revisado por:	Ing. F. Peña		
	O. Aldas	Fecha:	03/01/2023		
Resultado del ensayo					
Número de muestra	Módulo de Elasticidad (GPa)	Esfuerzo de fluencia (MPa)	Esfuerzo máximo (MPa)	Porcentaje de elongación (%)	Tipo de factura
34	180,5	338.42	502.61	35	Taza y cono
Curva esfuerzo-deformación					
 <p style="text-align: center;">— ingenieril</p>			 <p style="text-align: center;">— verdadera</p>		
Probeta ensayada					
					

Tabla 56. Reporte de ensayo de tracción para la probeta P2_A2_12_05

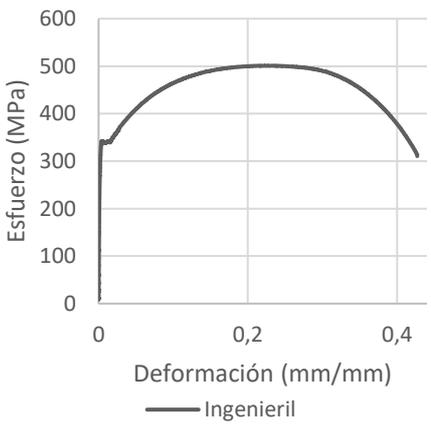
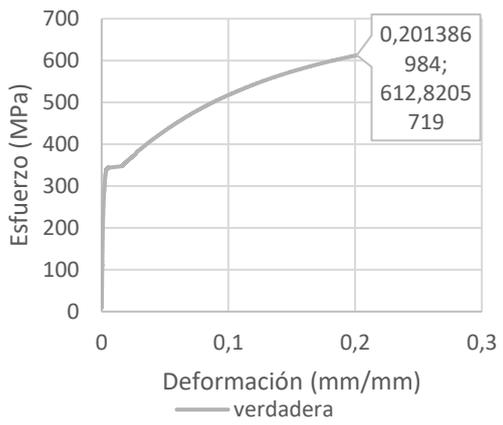
		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA TRABAJO DE TITULACIÓN-TRABAJO EXPERIMENTAL			
Tipo de estudio:	De laboratorio	Norma utilizada	ASTM E8/E8M		
Material:	TIPO	Equipo utilizado	Certificado		
	ASTM A572 Gr 50	Máquina universal de ensayos	LNM-F-2016500064D		
Características del ensayo:	Fecha de ensayo	Velocidad de aplicación	Código de probeta		
	16/11/2023	2 mm/min	P2_A2_12_05		
Características de la Máquina:	JINAN LIANGGONG TESTING TECHNOLOGY WAW600B		Capacidad: 600 kN		
Realizado por:	J. Tasigchana	Revisado por:	Ing. F. Peña		
	O. Aldas	Fecha:	03/01/2023		
Resultado del ensayo					
Número de muestra	Módulo de Elasticidad (GPa)	Esfuerzo de fluencia (MPa)	Esfuerzo máximo (MPa)	Porcentaje de elongación (%)	Tipo de factura
35	192,0	337,47	501,04	37	Taza y cono
Curva esfuerzo-deformación					
 <p>Esfuerzo (MPa)</p> <p>Deformación (mm/mm)</p> <p>— Ingenieril</p>			 <p>Esfuerzo (MPa)</p> <p>Deformación (mm/mm)</p> <p>— verdadera</p> <p>0,201386 984; 612,8205 719</p>		
Probeta ensayada					
					

Tabla 57. Reporte de ensayo de tracción para la probeta P2_I_12_01

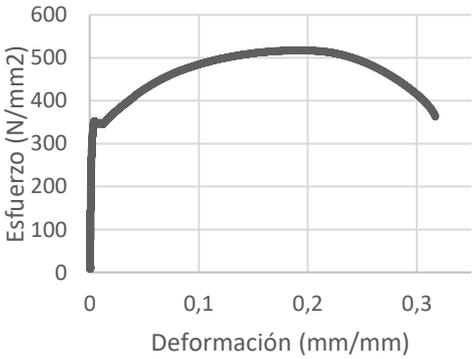
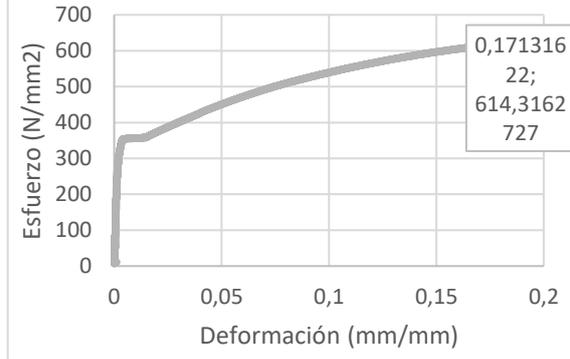
		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA TRABAJO DE TITULACIÓN-TRABAJO EXPERIMENTAL			
Tipo de estudio:	De laboratorio	Norma utilizada	ASTM E8/E8M		
Material:	TIPO	Equipo utilizado	Certificado		
	ASTM A572 Gr 50	Máquina universal de ensayos	LNM-F-2016500064D		
Características del ensayo:	Fecha de ensayo	Velocidad de aplicación	Código de probeta		
	16/11/2023	2 mm/min	P2_I_12_01		
Características de la Máquina:	JINAN LIANGGONG TESTING TECHNOLOGY WAW600B		Capacidad: 600 kN		
Realizado por:	J. Tasigchana	Revisado por:	Ing. F. Peña		
	O. Aldas	Fecha:	03/01/2023		
Resultado del ensayo					
Número de muestra	Módulo de Elasticidad (GPa)	Esfuerzo de fluencia (MPa)	Esfuerzo máximo (MPa)	Porcentaje de elongación (%)	Tipo de factura
36	215,2	349,51	517,73	29	Taza y cono
Curva esfuerzo-deformación					
 <p style="text-align: center;">• INGENIERIL</p>			 <p style="text-align: center;">• VERDADERA</p>		
Probeta ensayada					
					

Tabla 58. Reporte de ensayo de tracción para la probeta P2_I_12_02

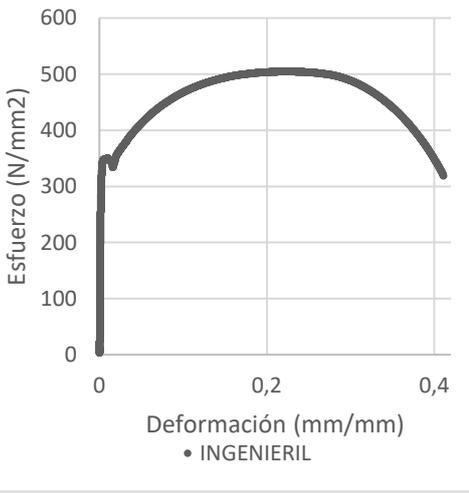
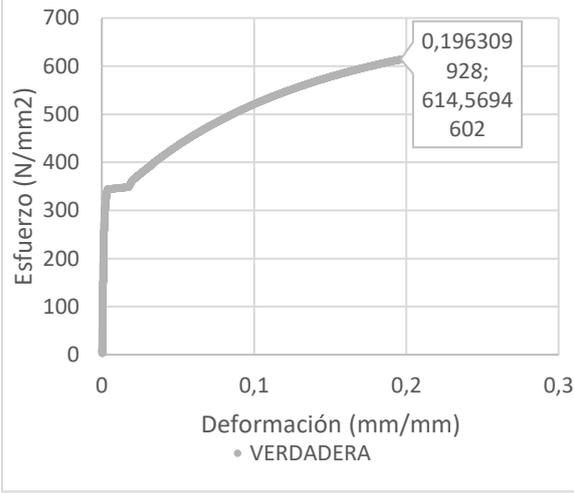
		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA TRABAJO DE TITULACIÓN-TRABAJO EXPERIMENTAL			
Tipo de estudio:	De laboratorio	Norma utilizada	ASTM E8/E8M		
Material:	TIPO	Equipo utilizado	Certificado		
	ASTM A572 Gr 50	Máquina universal de ensayos	LNM-F-2016500064D		
Características del ensayo:	Fecha de ensayo	Velocidad de aplicación	Código de probeta		
	16/11/2023	2 mm/min	P2_I_12_02		
Características de la Máquina:	JINAN LIANGGONG TESTING TECHNOLOGY WAW600B		Capacidad: 600 kN		
Realizado por:	J. Tasigchana	Revisado por:	Ing. F. Peña		
	O. Aldas	Fecha:	03/01/2023		
Resultado del ensayo					
Número de muestra	Módulo de Elasticidad (GPa)	Esfuerzo de fluencia (MPa)	Esfuerzo máximo (MPa)	Porcentaje de elongación (%)	Tipo de factura
37	209,4	343,14	505,17	38	Taza y cono
Curva esfuerzo-deformación					
 <p style="text-align: center;">• INGENIERIL</p>			 <p style="text-align: center;">• VERDADERA</p>		
Probeta ensayada					
					

Tabla 59. Reporte de ensayo de tracción para la probeta P2_I_12_03

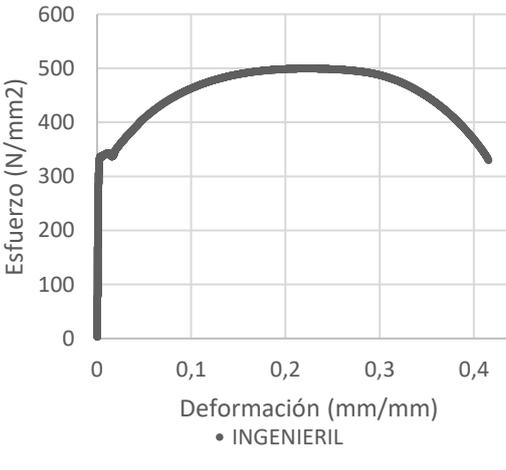
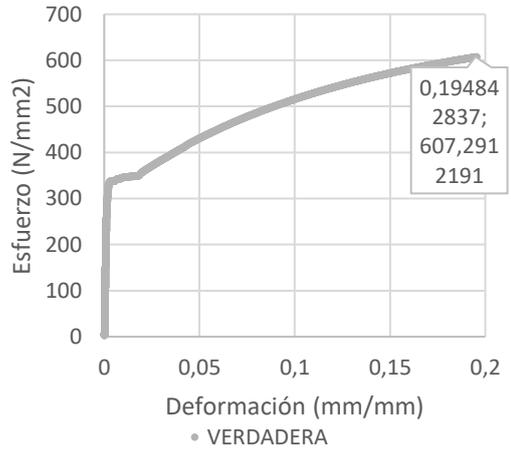
		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA TRABAJO DE TITULACIÓN-TRABAJO EXPERIMENTAL			
Tipo de estudio:	De laboratorio	Norma utilizada	ASTM E8/E8M		
Material:	TIPO	Equipo utilizado	Certificado		
	ASTM A572 Gr 50	Máquina universal de ensayos	LNM-F-2016500064D		
Características del ensayo:	Fecha de ensayo	Velocidad de aplicación	Código de probeta		
	16/11/2023	2 mm/min	P2_I_12_03		
Características de la Máquina:	JINAN LIANGGONG TESTING TECHNOLOGY WAW600B		Capacidad: 600 kN		
Realizado por:	J. Tasigchana	Revisado por:	Ing. F. Peña		
	O. Aldas	Fecha:	03/01/2023		
Resultado del ensayo					
Número de muestra	Módulo de Elasticidad (GPa)	Esfuerzo de fluencia (MPa)	Esfuerzo máximo (MPa)	Porcentaje de elongación (%)	Tipo de factura
38	253,1	337,11	500,04	35,50	Taza y cono
Curva esfuerzo-deformación					
 <p style="text-align: center;">• INGENIERIL</p>			 <p style="text-align: center;">• VERDADERA</p>		
Probeta ensayada					
					

Tabla 60. Reporte de ensayo de tracción para la probeta P2_I_12_04

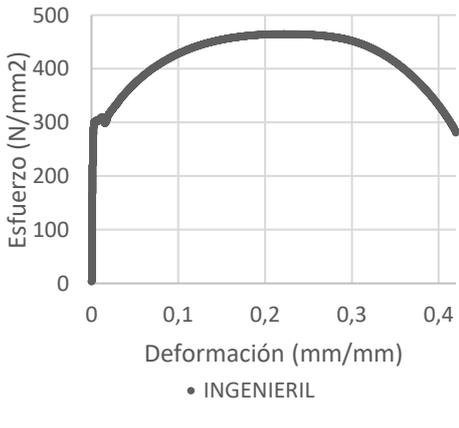
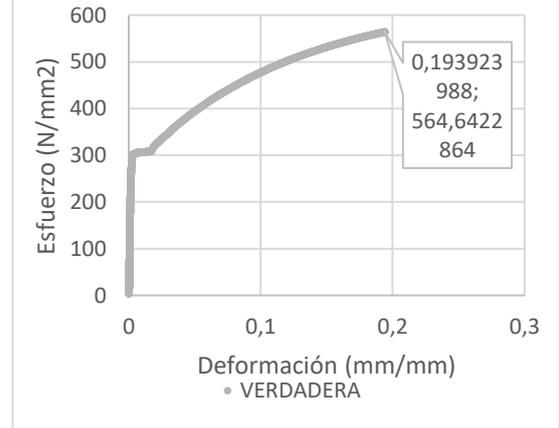
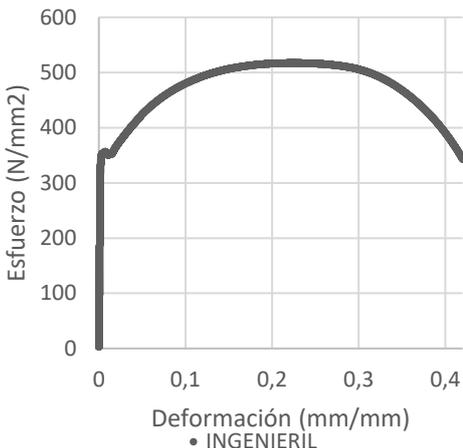
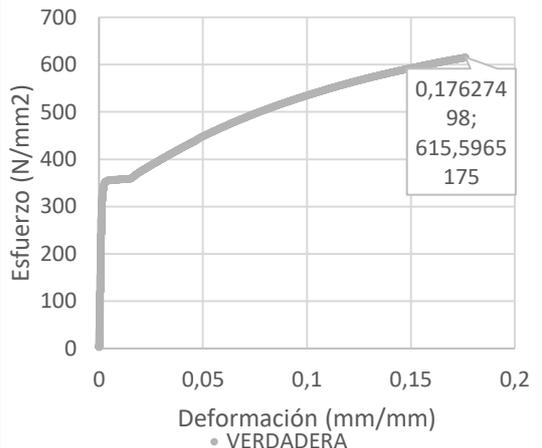
		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA TRABAJO DE TITULACIÓN-TRABAJO EXPERIMENTAL			
Tipo de estudio:	De laboratorio	Norma utilizada	ASTM E8/E8M		
Material:	TIPO	Equipo utilizado	Certificado		
	ASTM A572 Gr 50	Máquina universal de ensayos	LNM-F-2016500064D		
Características del ensayo:	Fecha de ensayo	Velocidad de aplicación	Código de probeta		
	16/11/2023	2 mm/min	P2_I_12_04		
Características de la Máquina:	JINAN LIANGGONG TESTING TECHNOLOGY WAW600B		Capacidad: 600 kN		
Realizado por:	J. Tasigchana	Revisado por:	Ing. F. Peña		
	O. Aldas	Fecha:	03/01/2023		
Resultado del ensayo					
Número de muestra	Módulo de Elasticidad (GPa)	Esfuerzo de fluencia (MPa)	Esfuerzo máximo (MPa)	Porcentaje de elongación (%)	Tipo de factura
39	187,3	299,94	462,44	37,50	Taza y cono
Curva esfuerzo-deformación					
 <p style="text-align: center;">• INGENIERIL</p>			 <p style="text-align: center;">• VERDADERA</p>		
Probeta ensayada					
					

Tabla 61. Reporte de ensayo de tracción para la probeta P2_I_12_05

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA TRABAJO DE TITULACIÓN-TRABAJO EXPERIMENTAL			
Tipo de estudio:	De laboratorio	Norma utilizada	ASTM E8/E8M		
Material:	TIPO	Equipo utilizado	Certificado		
	ASTM A572 Gr 50	Máquina universal de ensayos	LNM-F-2016500064D		
Características del ensayo:	Fecha de ensayo	Velocidad de aplicación	Código de probeta		
	16/11/2023	2 mm/min	P2_I_12_05		
Características de la Máquina:	JINAN LIANGGONG TESTING TECHNOLOGY WAW600B		Capacidad: 600 kN		
Realizado por:	J. Tasigchana	Revisado por:	Ing. F. Peña		
	O. Aldas	Fecha:	03/01/2023		
Resultado del ensayo					
Número de muestra	Módulo de Elasticidad (GPa)	Esfuerzo de fluencia (MPa)	Esfuerzo máximo (MPa)	Porcentaje de elongación (%)	Tipo de factura
40	250,4	352,52	517,76	39	Taza y cono
Curva esfuerzo-deformación					
 <p style="text-align: center;">• INGENIERIL</p>			 <p style="text-align: center;">• VERDADERA</p>		
Probeta ensayada					
					

3.1.2 Resultados de Ensayo de Dureza

Los ensayos de dureza Brinell demuestran la resistencia local en las superficies internas y externas en cada una de la sección UV de acero A572. Para ello se llevaron a cabo en diversas zonas de cada muestra, incluyendo las áreas cercanas a la curvatura, en la misma curvatura y en las partes planas, esto con el fin de analizar la posible variabilidad en la dureza. Este enfoque proporciona una comprensión de cómo las condiciones locales pueden influir en las propiedades de dureza del material. A continuación, en la Figura 17, muestran la referencia de los puntos de ensayos para la dureza Brinell.

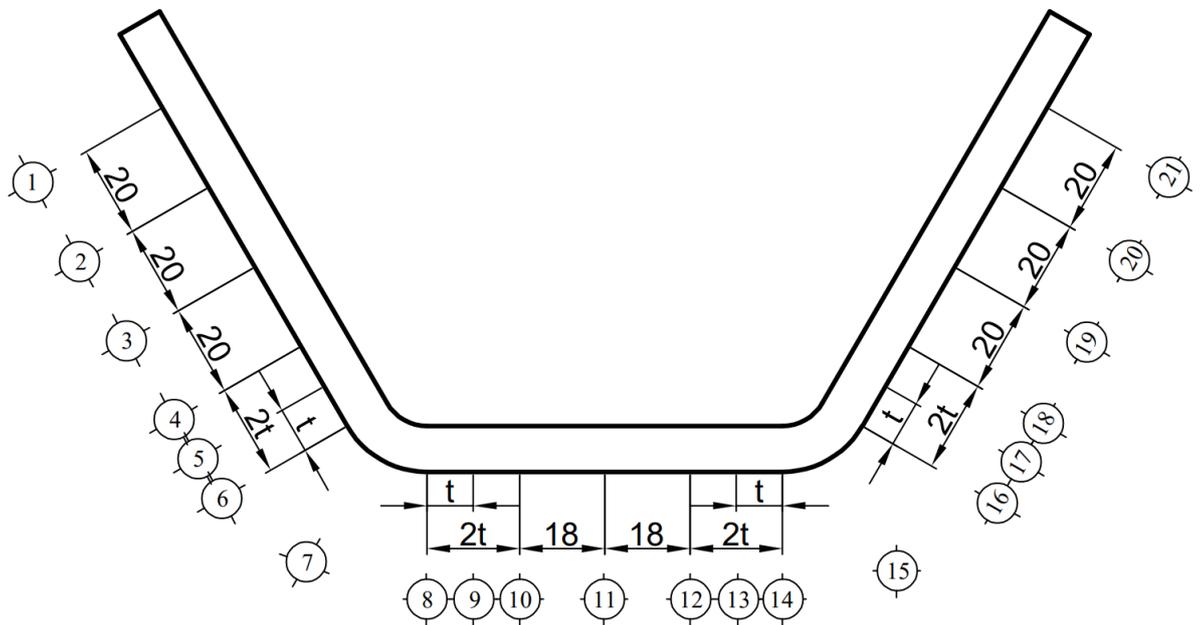


Figura 17. Ubicación de los puntos de ensayos en la sección UV.

Para determinar la dureza Brinell se realiza mediante la ecuación (22), la misma que se aplica una carga específica para todos los ensayos y la medición de la penetración en el metal en cada uno de los puntos propuestos ilustrada en la Figura 17. En la Tabla 26, se detallan las características y los resultados de ensayos de dureza Brinell realizados en el material virgen con el fin de entender la dureza inicial del material previo al proceso de conformado en frío.

Tabla 62. Ensayo de dureza Brinell del material original antes de realizar en doblez del perfil tipo UV del Acero ASTM A572, Gr. 50 para 10 mm de espesor.

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA TRABAJO DE TITULACION - TRABAJO DE INVESTIGACION			
Tipo de ensayo	Dureza Brinell	Norma	ASTM E10	
Material:	Tipo	Espesor	Preparación de superficie	
	ASTM A572 Gr 50	10 mm	Pulido con grata	
Características del ensayo:	Fuerza aplicada:	Tiempo de carga	Tiempo de procesamiento:	
	187,5 Kgf	10 segundos	2 minutos	
Características de la Máquina:	Metrotest STH-2000	Diámetro de indentador	2,5 mm	
Realizado por:	O. Aldas	Revisado por:	Ing. Francisco Peña	
	J. Tasigchana	Fecha:	18/12/2023	
Resultados del ensayo				
Número	Carga	Diámetro Marcado	Diámetro real	Dureza Brinell
1	187,5	2,89	1,156	168,5240943
2	187,5	2,85	1,14	173,5916572
3	187,5	2,85	1,14	173,5916572
4	187,5	2,86	1,144	172,3049148
5	187,5	2,82	1,128	177,5339358
6	187,5	2,82	1,128	177,5339358
7	187,5	2,87	1,148	171,0315301
8	187,5	2,85	1,14	173,5916572
9	187,5	2,85	1,14	173,5916572
10	187,5	2,88	1,152	169,7713174
11	187,5	2,86	1,144	172,3049148
12	187,5	3,01	1,204	154,5082936
13	187,5	2,86	1,144	172,3049148
14	187,5	2,95	1,18	161,3037075
15	187,5	2,87	1,148	171,0315301
Promedio				170,8346479
Desviación estándar				0,019506287
Coeficiente de variación				0,01%

Tabla 63. Ensayo de dureza Brinell en la parte interna de la sección, después de realizar el doble del perfil tipo UV del Acero ASTM A572, Gr. 50 para 10 mm de espesor.

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA TRABAJO DE TITULACION - TRABAJO DE INVESTIGACION			
Tipo de ensayo	Dureza Brinell	Norma	ASTM E10	
Material:	Tipo	Espesor	Preparación de superficie	
	ASTM A572 Gr 50	10 mm	Pulido con grata	
Características del ensayo:	Fuerza aplicada:	Tiempo de carga	Tiempo de procesamiento:	
	187,5 Kgf	10 segundos	2 minutos	
Características de la Máquina:	Metrotest STH-2000	Diámetro de indentador	2,5x	
Realizado por:	O. Aldas	Revisado por:	Ing. Francisco Peña	
	J. Tasigchana	Fecha:	18/12/2023	
Resultados del ensayo				
Número de Punto	Carga	Diámetro (interno)	Diámetro real	Dureza Interna
1	187,5	2,87	1,148	171,03153
2	187,5	2,89	1,156	168,524094
3	187,5	2,89	1,156	168,524094
4	187,5	2,88	1,152	169,771317
5	187,5	2,89	1,156	168,524094
6	187,5	2,87	1,148	171,03153
7	187,5	2,56	1,024	217,685554
8	187,5	2,77	1,108	184,389859
9	187,5	2,81	1,124	178,876031
10	187,5	2,82	1,128	177,533936
11	187,5	2,82	1,128	177,533936
12	187,5	2,82	1,128	177,533936
13	187,5	2,8	1,12	180,232463
14	187,5	2,77	1,108	184,389859
15	187,5	2,56	1,024	217,685554
16	187,5	2,88	1,152	169,771317
17	187,5	2,89	1,156	168,524094
18	187,5	2,89	1,156	168,524094
19	187,5	2,88	1,152	169,771317
20	187,5	2,87	1,148	171,03153
21	187,5	2,87	1,148	171,03153
Promedio				177,710556
Desviación estándar				14,2872784
Coeficiente de variación				8,04%

Tabla 64. Ensayo de dureza Brinell en la parte externa de la sección, después de realizar en dobles del perfil tipo UV del Acero ASTM A572, Gr. 50 para 10 mm de espesor.

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA TRABAJO DE TITULACION - TRABAJO DE INVESTIGACION			
Tipo de ensayo	Dureza Brinell	Norma	ASTM E10	
Material:	Tipo	Espesor	Preparación de superficie	
	ASTM A572 Gr 50	10 mm	Pulido con grata	
Características del ensayo:	Fuerza aplicada:	Tiempo de carga	Tiempo de procesamiento:	
	187,5 Kgf	10 segundos	2 minutos	
Características de la Máquina:	Metrotest STH-2000	Diámetro de indentador	2,5x	
Realizado por:	O. Aldas	Revisado por:	Ing. Francisco Peña	
	J. Tasigchana	Fecha:	18/12/2023	
Resultados del ensayo				
Número de punto	Carga	Diámetro (Externo)	Diámetro real	Dureza Externa
1	187,5	2,9	1,16	167,289681
2	187,5	2,9	1,16	167,289681
3	187,5	2,92	1,168	164,858585
4	187,5	2,91	1,164	166,067903
5	187,5	2,9	1,16	167,289681
6	187,5	2,85	1,14	173,591657
7	187,5	2,7	1,08	194,632578
8	187,5	2,85	1,14	173,591657
9	187,5	2,85	1,14	173,591657
10	187,5	2,85	1,14	173,591657
11	187,5	2,86	1,144	172,304915
12	187,5	2,86	1,144	172,304915
13	187,5	2,85	1,14	173,591657
14	187,5	2,82	1,128	177,533936
15	187,5	2,71	1,084	193,120794
16	187,5	2,84	1,136	174,891946
17	187,5	2,9	1,16	167,289681
18	187,5	2,9	1,16	167,289681
19	187,5	2,92	1,168	164,858585
20	187,5	2,9	1,16	167,289681

21	187,5	2,92	1,168	164,858585
Promedio				172,244244
Desviación estándar				8,15543135
Coeficiente de variación				4,73%

A continuación, se detalla los resultados de dureza Brinell para el perfil UV de 12 mm de espesor.

Tabla 65. Resultados de ensayo de dureza del material virgen de 12 mm de espesor.

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA TRABAJO DE TITULACION - TRABAJO DE INVESTIGACION			
Tipo de ensayo	Dureza Brinell	Norma	ASTM E10	
Material:	Tipo	Espesor	Preparación de superficie	
	ASTM A572 Gr 50	12 mm	Pulido con grata	
Características del ensayo:	Fuerza aplicada:	Tiempo de carga	Tiempo de procesamiento:	
	187,5	10 segundos	2 minutos	
Características de la Máquina:	Metrotest STH-2000	Diámetro de indentador	2,5	
Realizado por:	O. Aldas	Revisado por:	Ing. Francisco Peña	
	J. Tasigchana	Fecha:	18/12/2023	
Resultados del ensayo				
Número de punto	Carga	Diámetro Marcado	Diámetro real	Dureza Brinell
1	187,5	2,88	1,152	166,067903
2	187,5	2,85	1,14	167,289681
3	187,5	2,88	1,152	167,289681
4	187,5	2,88	1,152	168,524094
5	187,5	2,9	1,16	167,289681
6	187,5	2,86	1,144	164,858585
7	187,5	2,92	1,168	164,858585
8	187,5	2,85	1,14	164,858585
9	187,5	2,88	1,152	167,289681
10	187,5	2,88	1,152	167,289681
11	187,5	2,84	1,136	167,289681
12	187,5	2,85	1,14	166,067903
13	187,5	2,86	1,144	167,289681

14	187,5	2,82	1,128	167,289681
15	187,5	2,91	1,164	168,524094
Promedio				167
Desviación estándar				0,01084611
Coeficiente de variación				0,01%

Tabla 66. Reporte de ensayo de dureza para la parte interna de la sección UV de 12 mm de espesor.

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA TRABAJO DE TITULACION - TRABAJO DE INVESTIGACION			
Tipo de ensayo	Dureza Brinell	Norma	ASTM E10	
Material:	Tipo	Espesor	preparación de superficie	
	ASTM A572 Gr 50	10 mm	Pulido con grata	
Características del ensayo:	Fuerza aplicada:	Tiempo de carga	Tiempo de procesamiento:	
	187,5 Kgf	10 segundos	2 minutos	
Características de la Máquina:	Metrotest STH-2000	Diámetro de indentador	2,5x	
Realizado por:	O. Aldas	Revisado por:	Ing. Francisco Peña	
	J. Tasigchana	Fecha:	18/12/2023	
Resultados del ensayo				
Número de punto	Carga	Diámetro (interno)	Diámetro real	Dureza Interna
1	187,5	2,91	1,164	166,067903
2	187,5	2,91	1,164	166,067903
3	187,5	2,91	1,164	166,067903
4	187,5	2,91	1,164	166,067903
5	187,5	2,91	1,164	166,067903
6	187,5	2,89	1,156	168,524094
7	187,5	2,67	1,068	199,269889
8	187,5	2,845	1,138	174,240096
9	187,5	2,89	1,156	168,524094
10	187,5	2,9	1,16	167,289681
11	187,5	2,9	1,16	167,289681
12	187,5	2,9	1,16	167,289681
13	187,5	2,89	1,156	168,524094

14	187,5	2,845	1,138	174,240096
15	187,5	2,66	1,064	200,850501
16	187,5	2,87	1,148	171,03153
17	187,5	2,91	1,164	166,067903
18	187,5	2,9	1,16	167,289681
19	187,5	2,9	1,16	167,289681
20	187,5	2,9	1,16	167,289681
21	187,5	2,9	1,16	167,289681
Promedio				171,078075
Desviación estándar				9,9292939
Coeficiente de variación				5,80%

Tabla 67. Reporte de ensayo de dureza para la sección externa de 12 mm de espesor.

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA TRABAJO DE TITULACION - TRABAJO DE INVESTIGACION			
Tipo de ensayo	Dureza Brinell	Norma	ASTM E10	
Material:	Tipo	Espesor	Preparación de superficie	
	ASTM A572 Gr 50	10 mm	Pulido con grata	
Características del ensayo:	Fuerza aplicada:	Tiempo de carga	Tiempo de procesamiento:	
	187,5 Kgf	10 segundos	2 minutos	
Características de la Máquina:	Metrotest STH-2000	Diámetro de indentador	2,5x	
Realizado por:	O. Aldas	Revisado por:	Ing. Francisco Peña	
	J. Tasigchana	Fecha:	18/12/2023	
Resultados del ensayo				
Número de Punto	Carga	Diámetro (Externo)	Diámetro real	Dureza Externa
1	187,5	2,9	1,16	167,289681
2	187,5	2,9	1,16	167,289681
3	187,5	2,9	1,16	167,289681
4	187,5	2,9	1,16	167,289681
5	187,5	2,89	1,156	168,524094
6	187,5	2,87	1,148	171,03153
7	187,5	2,72	1,088	191,625587

8	187,5	2,78	1,112	182,989165
9	187,5	2,88	1,152	169,771317
10	187,5	2,89	1,156	168,524094
11	187,5	2,89	1,156	168,524094
12	187,5	2,89	1,156	168,524094
13	187,5	2,88	1,152	169,771317
14	187,5	2,78	1,112	182,989165
15	187,5	2,7	1,08	194,632578
16	187,5	2,89	1,156	168,524094
17	187,5	2,9	1,16	167,289681
18	187,5	2,9	1,16	167,289681
19	187,5	2,9	1,16	167,289681
20	187,5	2,9	1,16	167,289681
21	187,5	2,9	1,16	167,289681
Promedio				171,954203
Desviación estándar				8,39595801
Coeficiente de variación				4,88%

3.1.3 Determinación de la modificación de tamaño de grano.

El análisis metalográfico se realizó con el objetivo de determinar la modificación del tamaño de grano en el metal A572 y la distancia a la cual se encuentra afectada debido al procesos de conformado en frío. La Tabla 70 y Tabla 71, se presenta micrografías a la cual se pudo observar el cambio de microestructuras, además, se ha llevado a cabo el cálculo de diámetro promedio, es importante destacar que carece de un significado físico, sin embargo, se realiza con el fin corroborar la modificación microestructural.

Tabla 68. Reporte de ensayo de metalografía para 10 mm de espesor.

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA TRABAJO DE TITULACION - TRABAJO DE INVESTIGACION			
Tipo de ensayo	ENSAYO METALOGRAFICO			
Material:	Tipo	Espesor	Preparación de superficie	
	ASTM A572 Gr 50	10 mm	Pulido mecánico	
Características del ensayo:	Temperatura	Tipo de ataque	Tiempo de ataque	

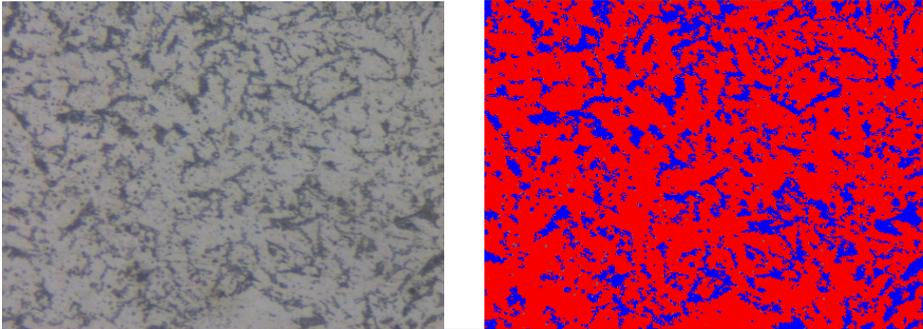
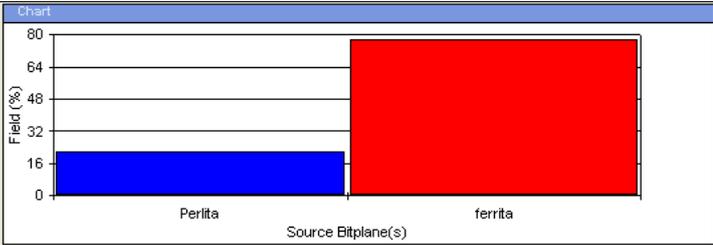
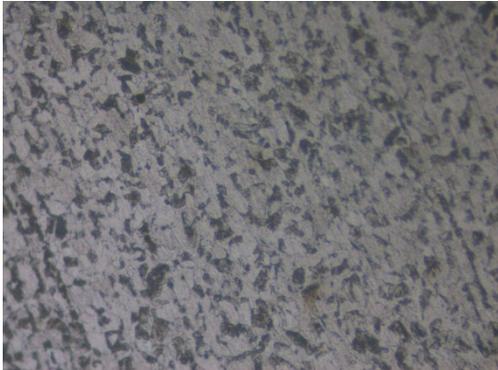
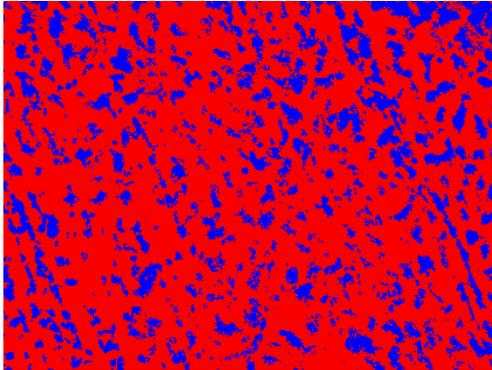
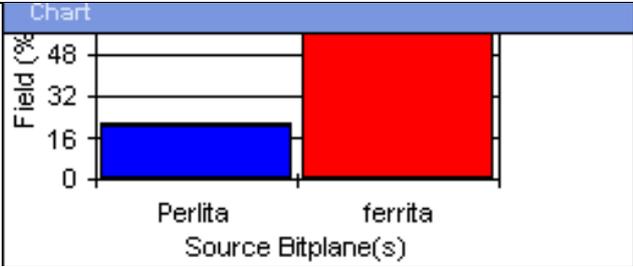
	20°C	Nital 2%	6 segundos
Centro de estudio y análisis	Laboratorio de materiales -FICM	Muestra	Material virgen
Realizado por:	O. Aldas	Revisado por:	Ing. Francisco Peña
	J. Tasigchana	Fecha:	18/12/2023
Resultados del ensayo			
Fotografía de microestructura a 100X			
			
Ferrita y perlita			
			
Porcentaje de Ferrita y perlita			
Perlita=21.944%			
Ferrita=77.138%			
Porcentaje de carbono			
$\%C=0.738*\%Perlita+0.022$			
$\%C=0.18$			

Tabla 69. Reporte de ensayo de metalografía para 12 mm de espesor

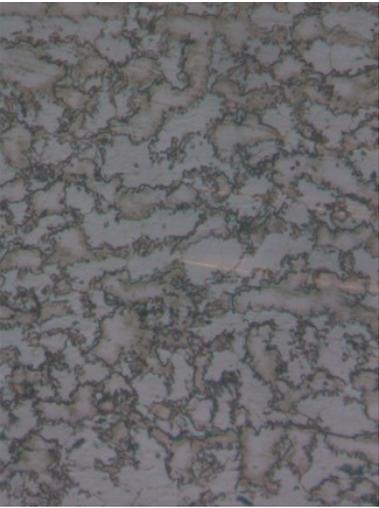
	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA TRABAJO DE TITULACION - TRABAJO DE INVESTIGACION		
Tipo de ensayo	ENSAYO METALOGRAFICO		
Material:	Tipo	Espesor	Preparación de superficie
	ASTM A572 Gr 50	12 mm	Pulido mecánico

Características del ensayo:	Temperatura	Tipo de ataque	Tiempo de ataque
	20°C	Nital 2%	6 segundos
Centro de estudio y análisis	Laboratorio de materiales -FICM	Muestra	Material virgen
Realizado por:	O. Aldas	Revisado por:	Ing. Francisco Peña
	J. Tasigchana	Fecha:	18/12/2023
Resultados del ensayo			
Fotografía de microestructura a 20X			
			
Ferrita y perlita			
			
Porcentaje de Ferrita y perlita			
Perlita=24.067%			
Ferrita=77.028%			
Porcentaje de carbono			
$\%C=0.738*\%Perlita+0.022$ $\%C=20$			

De acuerdo con la norma ASTM E 112, con el método de procedimiento Planimétrico se ha llevado a cabo la evaluación de resultados. A continuación, se presenta en la Tabla 70 y 71, la determinación de número de grano ASTM y diámetro promedio de granos para 10 y 12 mm de espesor.

Tabla 70. Determinación de tamaño de grano para 10 mm de espesor.

Sección	Tamaño de grano	Afectación
<p>Material Virgen</p> 	$G = \frac{\ln(N_A)}{\ln(2)} + 1$ $= \frac{\ln(84.5)}{\ln(2)} + 1$ $G = 7.40 = 7$ <p>Área de grano promedio</p> $\bar{A} = \frac{1}{1309.5} = 0.007 \text{ mm}^2$ <p>Diámetro promedio</p> $D = \sqrt{0.007} = 0.027 \text{ mm}$ $= 27 \mu\text{m}$	<p>No existe afectación alguna debido a que es un material virgen</p>
<p>Curva 1 adyacente ALA1</p> 	$G = \frac{\ln(N_A)}{\ln(2)} + 1$ $= \frac{\ln(50)}{\ln(2)} + 1$ $= 6.64$ $G = 7$ <p>Área de grano promedio</p> $\bar{A} = \frac{1}{775} = 0.001 \text{ mm}^2$ <p>Diámetro promedio</p> $D = \sqrt{0.001} = 0.035 \text{ mm}$ $= 35 \mu\text{m}$	<p>Se observó un cambio de microestructura y un aumento de diámetro de grano, la cual se identificó a una distancia de 11mm.</p>

<p>Curva 2 adyacente ALA 2</p> 	$G = \frac{\ln(N_A)}{\ln(2)} + 1$ $= \frac{\ln(49)}{\ln(2)} + 1$ $= 6.61$ $G = 7$ <p>Área de grano promedio</p> $\bar{A} = \frac{1}{759.5} = 0.001 \text{ mm}^2$ <p>Diámetro promedio</p> $D = \sqrt{0.001} = 0.036 \text{ mm}$ $= 36 \mu\text{m}$	<p>La afectación de la microestructura es evidente debido al estiramiento de los granos y se identificó a una distancia de 11mm.</p>
<p>Curva 1 adyacente INTERMEDIA</p> 	$G = \frac{\ln(N_A)}{\ln(2)} + 1$ $= \frac{\ln(50.5)}{\ln(2)} + 1$ $G = 6.64 = 7$ <p>Área de grano promedio</p> $\bar{A} = \frac{1}{782.75} = 0.01 \text{ mm}^2$ <p>Diámetro promedio</p> $D = \sqrt{0.001} = 0.036 \text{ mm}$ $= 36 \mu\text{m}$	<p>El crecimiento de los diámetros se puede ver a simple vista debido al alargamiento y la distancia de afectación es de 11mm.</p>
<p>Curva 2 adyacente INTERMEDIA</p>	$G = \frac{\ln(N_A)}{\ln(2)} + 1$ $= \frac{\ln(54.5)}{\ln(2)} + 1$ $G = 6.76 = 7$ <p>Área de grano promedio</p>	<p>La modificación de la microestructura es notoria debido al estiramiento de granos y se determinó a una</p>

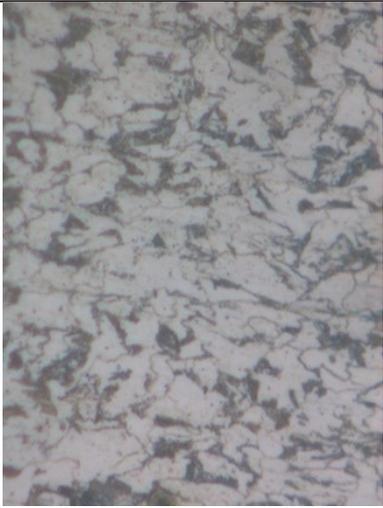
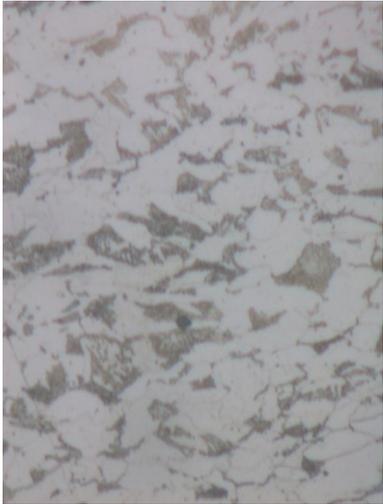
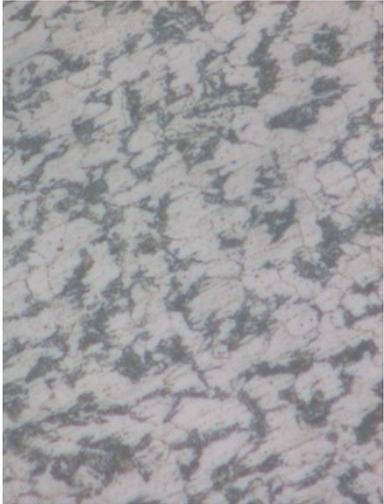
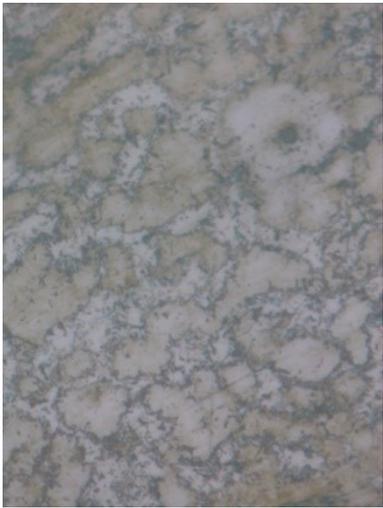
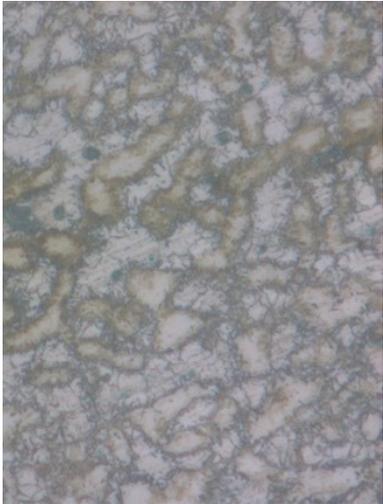
	$\bar{A} = \frac{1}{844.75} = 0.01 \text{ mm}^2$ <p>Diámetro promedio</p> $D = \sqrt{0.001} = 0.034 \text{ mm}$ $= 34 \mu\text{m}$	distancia de 11.5mm.
<p>Afectación de microestructura en la curva.</p> 	$G = \frac{\ln(N_A)}{\ln(2)} + 1$ $= \frac{\ln(25)}{\ln(2)} + 1$ $= 5.64 = 6$ <p>Área de grano promedio</p> $\bar{A} = \frac{1}{387.5} = 0.002 \text{ mm}^2$ <p>Diámetro promedio</p> $D = \sqrt{0.002} = 0.050 \text{ mm}$ $= 50 \mu\text{m}$	Existe la modificación microestructural y además un aumento de diámetro promedio y una disminución de número ASTM.

Tabla 71. Determinación de tamaño de grano para 12 mm de espesor

SECCIÓN	TAMAÑO DE GRANO	AFECTACIÓN
Material virgen de 12 mm	$G = \frac{\ln(N_A)}{\ln(2)} + 1 = \frac{\ln(78)}{\ln(2)} + 1$ $G = 7.30 = 7$ <p>Área de grano promedio</p>	No hay afectación porque el material virgen que no está sometido a ningún proceso.

	$\bar{A} = \frac{1}{1209} = 0.008 \text{ mm}^2$ <p>Diámetro promedio</p> $D = \sqrt{0.008} = 0.028 \text{ mm}$ $= 28 \mu\text{m}$	
<p>Curva 1 adyacente INTERMEDIA</p> 	$G = \frac{\ln(N_A)}{\ln(2)} + 1$ $= \frac{\ln(39.5)}{\ln(2)} + 1$ $G = 6.30 = 6$ <p>Área de grano promedio</p> $\bar{A} = \frac{1}{612.25} = 0.001 \text{ mm}^2$ <p>Diámetro promedio</p> $D = \sqrt{0.001} = 0.040 \text{ mm}$ $= 40 \mu\text{m}$	<p>Se visualizó un cambio de microestructura a una distancia de 13 mm.</p>
<p>Curva 2 Adyacente INTERMEDIA</p>	$G = \frac{\ln(N_A)}{\ln(2)} + 1$ $= \frac{\ln(39.5)}{\ln(2)} + 1$ $G = 6.30 = 6$ <p>Área de grano promedio</p> $\bar{A} = \frac{1}{612.25} = 0.001 \text{ mm}^2$ <p>Diámetro promedio</p>	<p>El cambio de microestructura se identificó a una distancia de 13.5 mm.</p>

	$D = \sqrt{0.001} = 0.040\text{mm}$ $= 40\mu\text{m}$	
<p>Curva 1 adyacente ALA1</p> 	$G = \frac{\ln(N_A)}{\ln(2)} + 1$ $= \frac{\ln(41.5)}{\ln(2)} + 1$ $G = 6.38 = 6$ <p>Área de grano promedio</p> $\bar{A} = \frac{1}{434} = 0.001 \text{ mm}^2$ <p>Diámetro promedio</p> $D = \sqrt{0.001} = 0.039\text{mm}$ $= 39\mu\text{m}$	<p>El estiramiento de grano es evidente a una distancia de 13 mm.</p>
<p>Curva 2 adyacente ALA2</p> 	$G = \frac{\ln(N_A)}{\ln(2)} + 1$ $= \frac{\ln(42.5)}{\ln(2)} + 1$ $G = 6.40 = 6$ <p>Área de grano promedio</p> $\bar{A} = \frac{1}{658.75} = 0.001 \text{ mm}^2$ <p>Diámetro promedio</p>	<p>Se identificó un aumento de tamaño de grano y estiramiento a una distancia de 13.5 mm.</p>

	$D = \sqrt{0.001} = 0.038\text{mm}$ $= 38\mu\text{m}$	
<p>Afectación del tamaño de grano en la curva.</p> 	$G = \frac{\ln(N_A)}{\ln(2)} + 1$ $= \frac{\ln(24.5)}{\ln(2)} + 1$ $= 5.61 = 6$ <p>Área de grano promedio</p> $\bar{A} = \frac{1}{379.75} = 0.002 \text{ mm}^2$ <p>Diámetro promedio</p> $D = \sqrt{0.002} = 0.051\text{mm}$ $= 51\mu\text{m}$	<p>Se pudo observar un cambio de microestructura y además presenta una reducción de grano ASTM.</p>

3.1.4 Análisis de resultados del ensayo de tracción

A continuación, se muestra Gráficas de la curva esfuerzo-deformación ingenieril y verdadera correspondiente a las partes planas (ALA1, ALA2 e INTERMEDIA) y las partes curvas, para 10 y 12 mm de espesor.

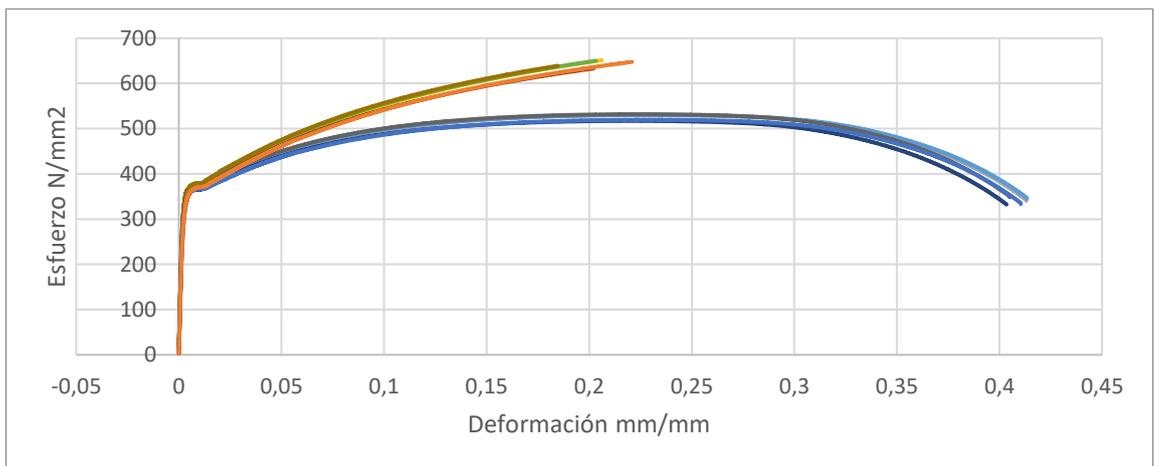


Gráfico 1. Comparación de curvas de ingenieril y verdadera para la sección plana del ALA1 de 10 mm de espesor.

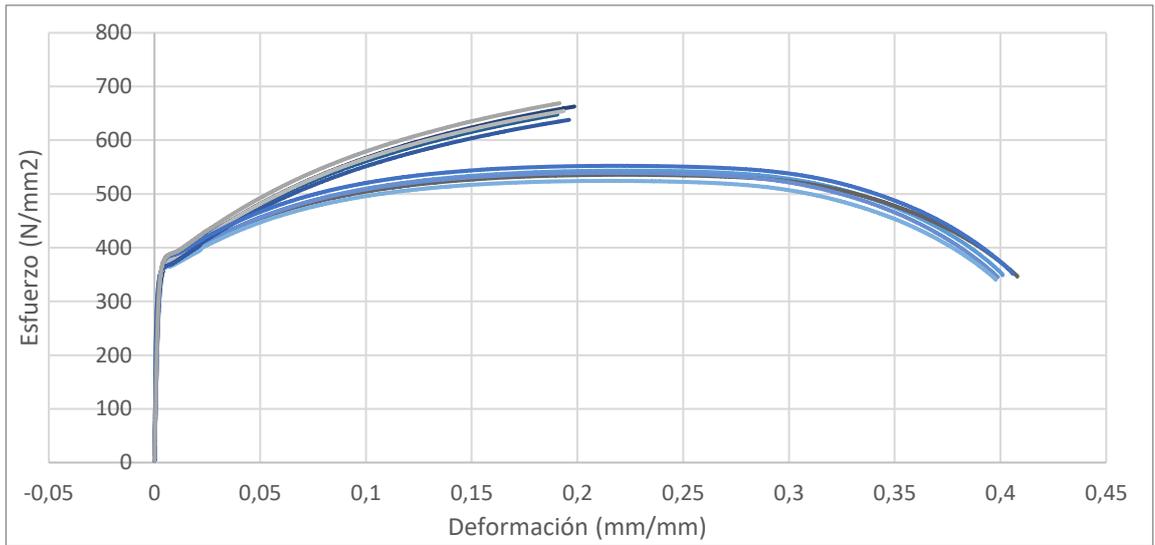


Gráfico 2. Comparación de las curvas de ingenieril y verdadera para la sección plana del ALA2 para 10 mm de espesor.

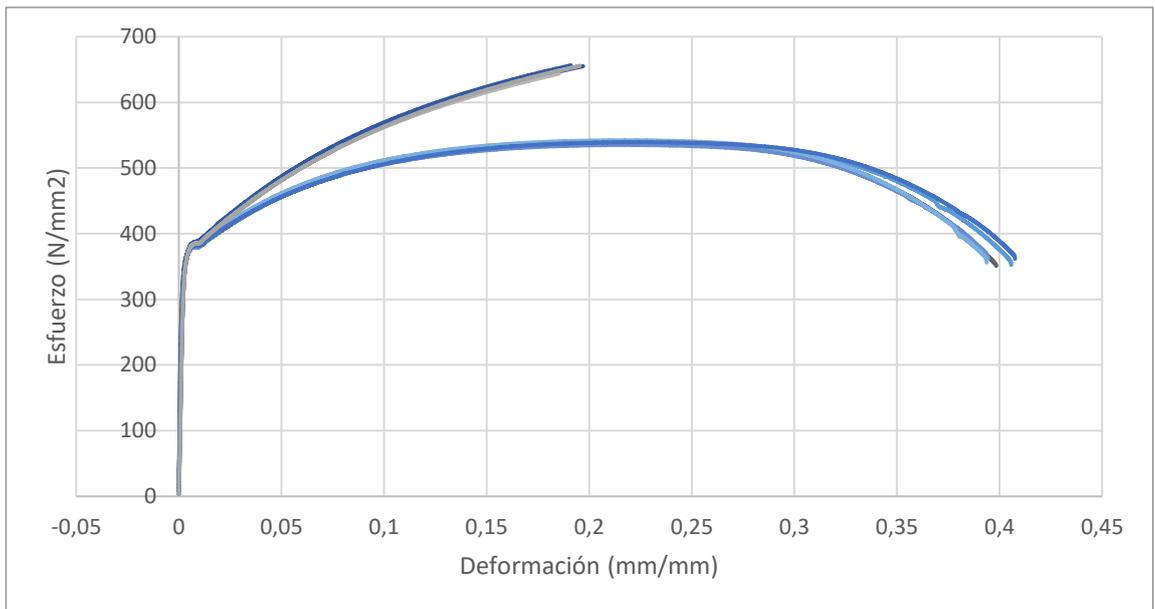


Gráfico 3. Comparación de las curva ingenieril y verdadera para sección plana intermedia para 10 mm de espesor.

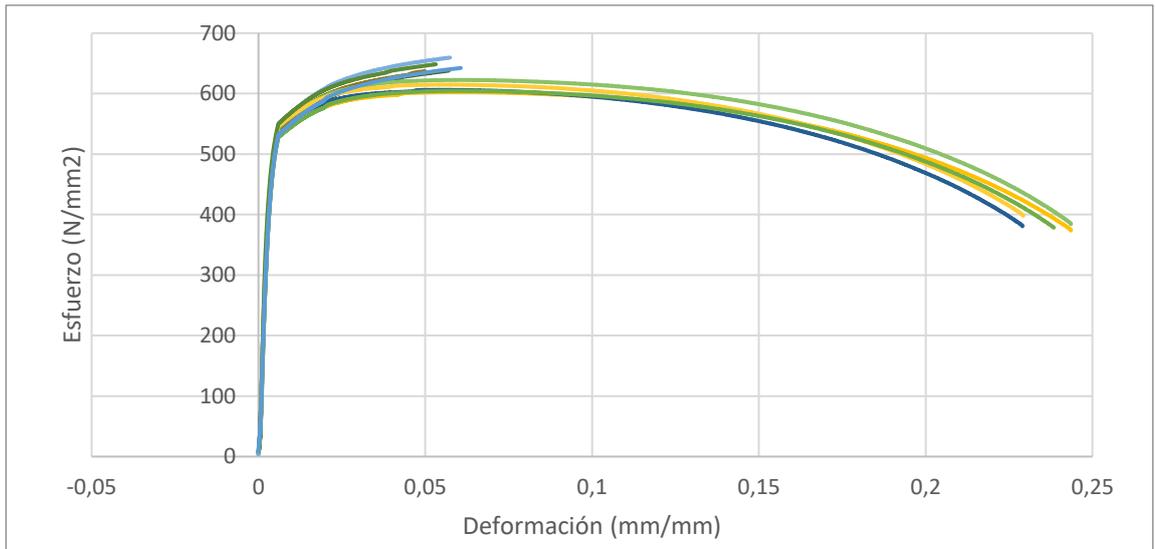


Gráfico 4. Comparación de las curvas ingenieril y verdadera para la sección de las esquinas para 10 mm de espesor.

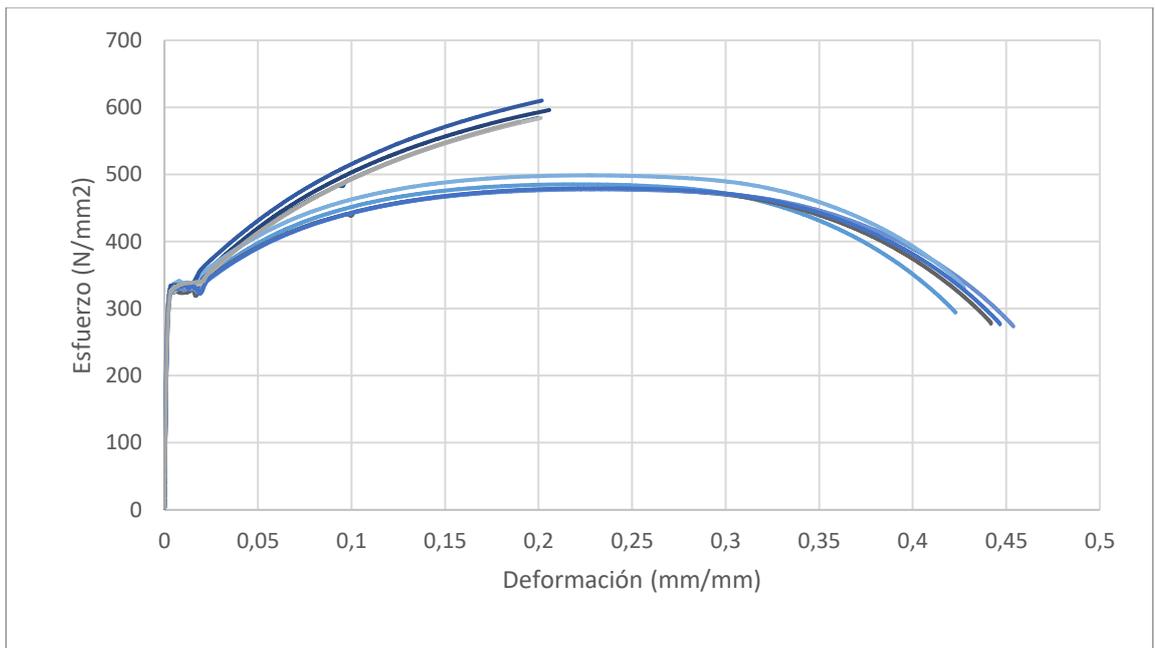


Gráfico 5. Comparación de curvas ingenieril y verdaderas para la ALA 1 de 12 mm de espesor.

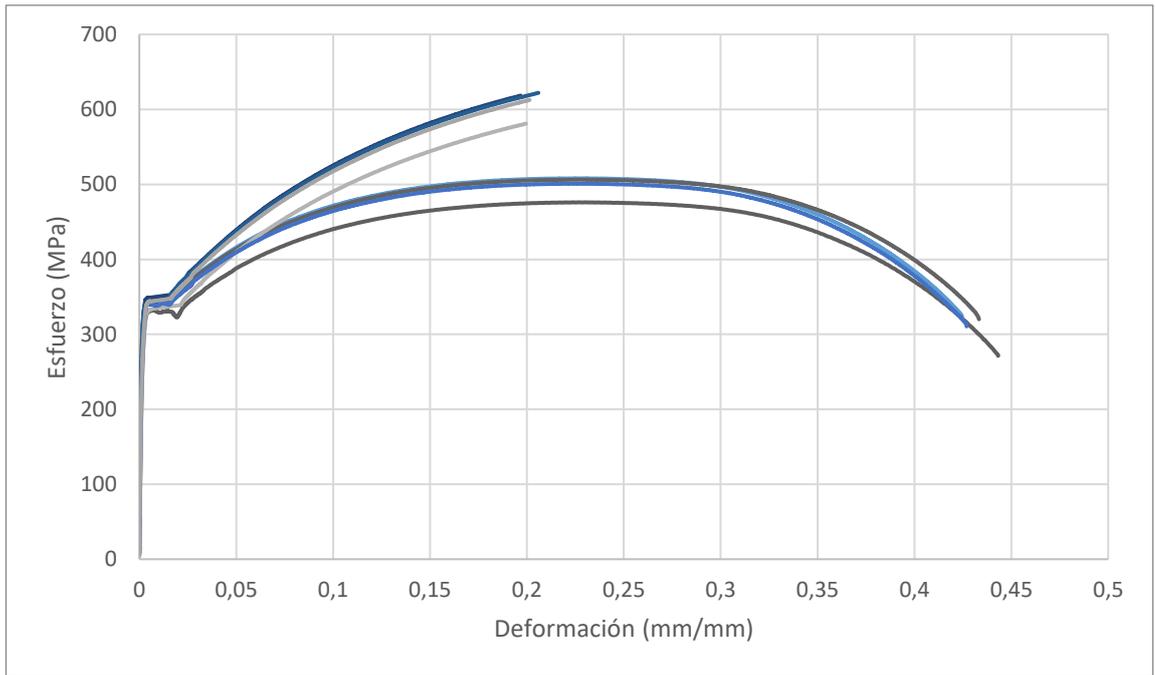


Gráfico 6. Comparación de las curvas de ingenieril y verdadera del ALA 2 para 12 mm de espesor.

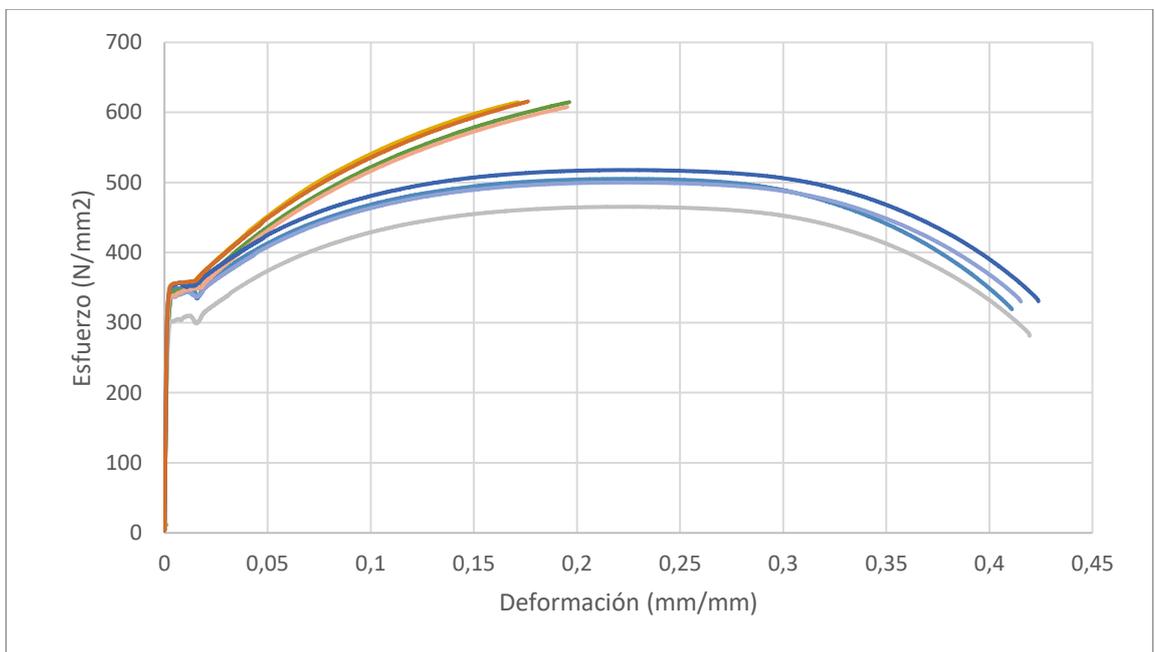


Gráfico 7. Comparación de curvas de ingenieril y verdaderas de la sección intermedia de 12 mm de espesor.

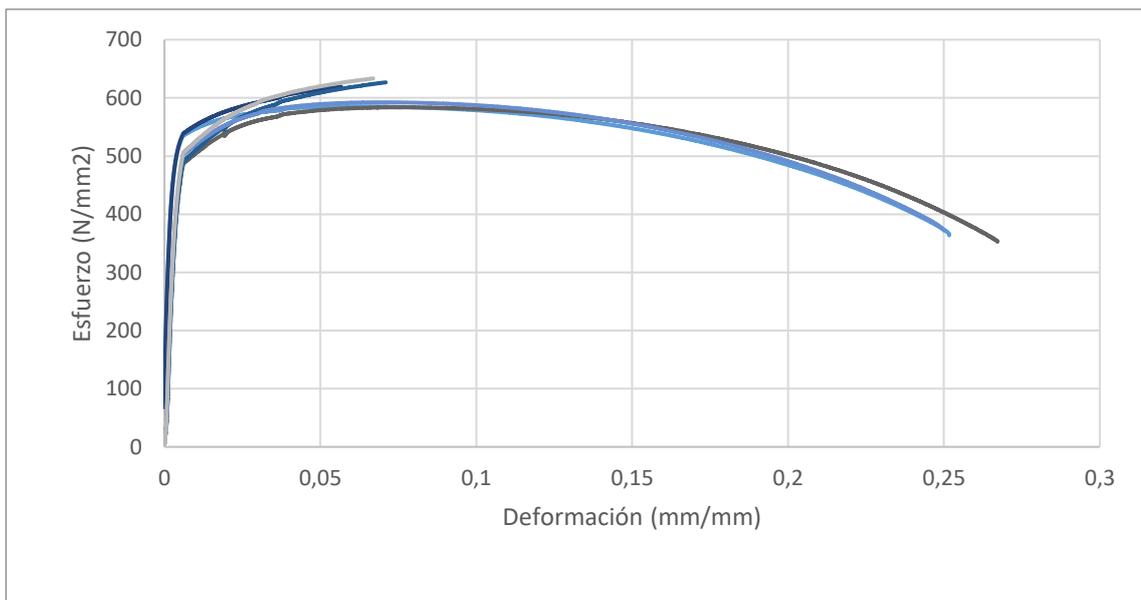


Gráfico 8. Comparación de curvas de ingenieril y verdaderas de las esquinas para 12 mm de espesor.

A continuación, se realiza los gráficos comparativos de la curva esfuerzo-deformación ingenieril y verdadera de la sección UV.

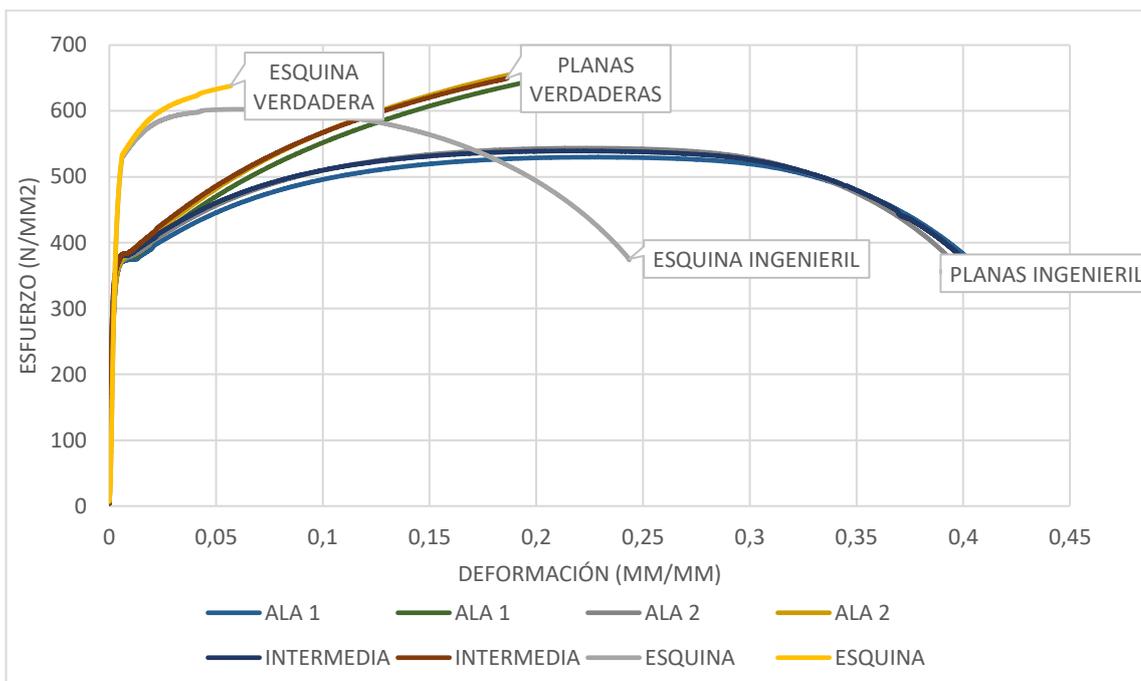


Gráfico 9. Comparación de Gráficas de la parte de perfil UV para 10 mm de espesor.

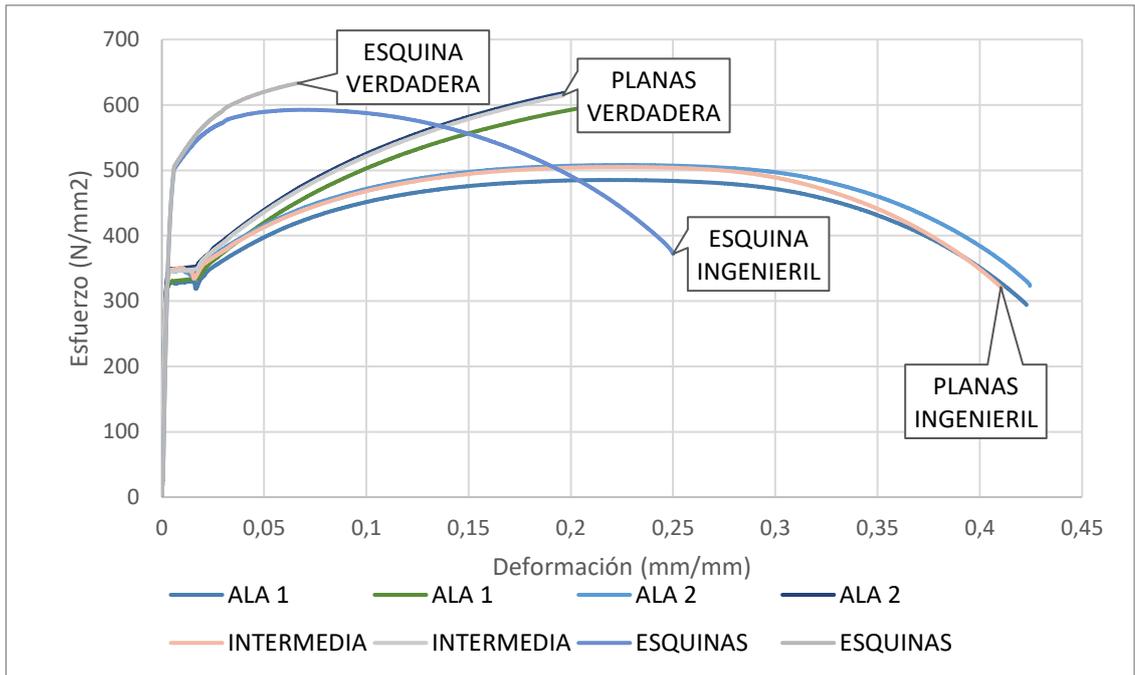


Gráfico 10. Gráficas de comparación de entre secciones UV para 12 mm de espesor.

Las gráficas correspondientes a las secciones planas (ALA1, ALA2 e INTERMEDIAS) para 10 y 12 mm de espesor, tienen las curvas esfuerzo-deformación característica típicas de los aceros. Sin embargo, para las Gráficas esfuerzo-deformación asociadas a las ESQUINAS revelan características singulares, se observa un aumento de esfuerzo a la tracción y una disminución de la ductilidad del acero ASTM A572. El aumento de esfuerzo se debe a que el material almacena una parte del esfuerzo aplicado y se le conoce como esfuerzos residuales la misma que tiene presencia de una red de dislocaciones dentro de la estructura, esto conlleva a un aumento de energía interna [53].

3.1.5 Análisis de resultados de ensayo de dureza

Los resultados revelados por el ensayo de dureza, muestran la variabilidad a lo largo de la sección UV conformado en frío, la misma que en el Gráfico 11 y Gráfico 12

corresponde para el espesor de 10 mm y el Gráfico 13 y Gráfico 14 para espesor de 12 mm, las misma que se analiza en la parte interna y externa de la sección UV.

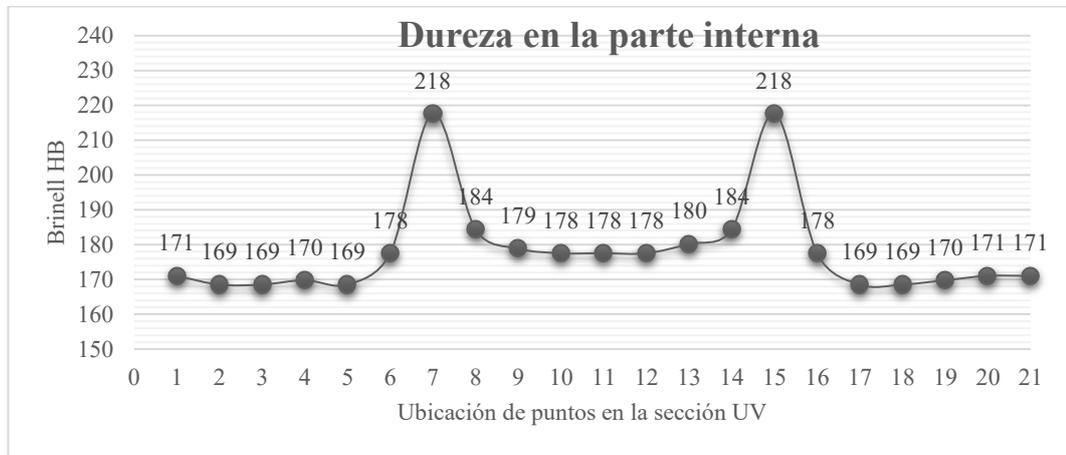


Gráfico 11. Distribución de dureza Brinell en la sección UV en la parte interna para 10 mm de espesor.

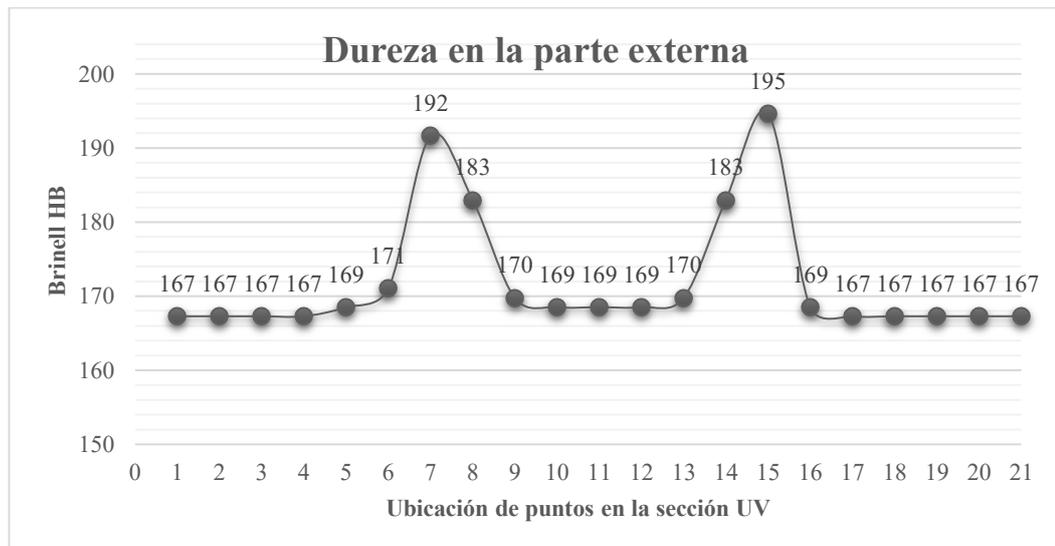


Gráfico 12. Distribución de dureza Brinell en la sección UV en la parte externa para 10 mm espesor.

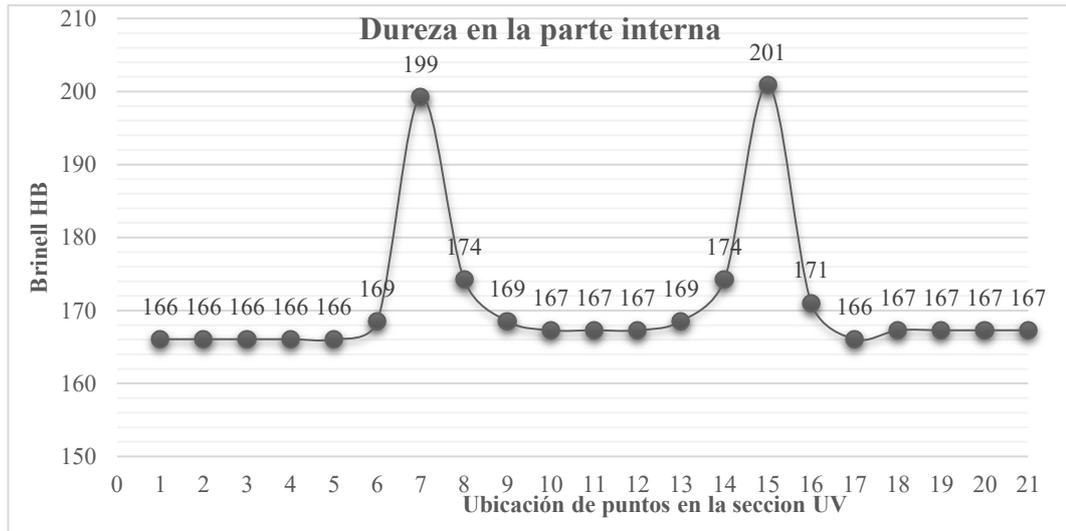


Gráfico 13. Distribución de dureza Brinell en la sección UV en la parte interna para 12 mm de espesor.

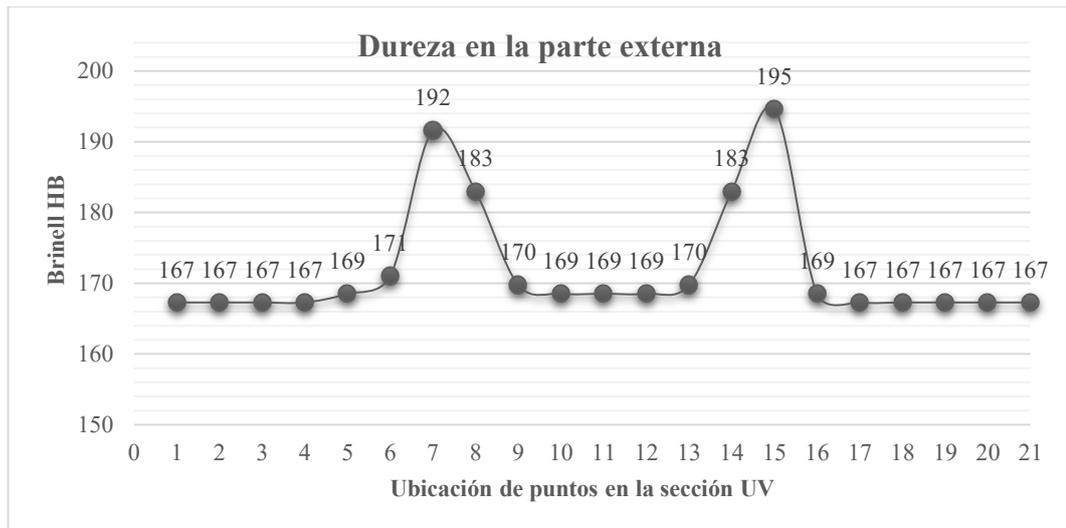


Gráfico 14. Distribución de dureza Brinell en la sección UV en la parte externa para 12 mm de espesor.

A continuación, se analiza los resultados de variación de dureza Brinell correspondiente a la sección UV conformado en frío mostrada en la Figura 18.

En el Gráfico 11 y 12, muestra una variación importante de dureza de 169 a 218 HB para la parte interna y de 167 a 195 HB para la parte externa de la sección, la misma que cercanos y en las mismas curvaturas de la sección existe variación importante. Para la esquina correspondiente a la ALA 1, en el punto 5 al punto 9, tiene variación

con respecto a la sección plana adyacente. Y para la curvatura de la ALA 2 tiene variación de los puntos 13 al 17 con respecto a la sección plana adyacente.

En el grafico 13 y 14, muestran la variación de dureza de 166 a 201 HB para la parte interna y de 167 a 195 HB para la parte externa de la sección, la misma en los puntos que existe variación son de 5 a 9 y de 12 a 17 correspondiente a la curvatura de la ALA 1 y ALA 2 respectivamente.

3.1.6 Análisis de resultados de tamaño de grano

Los resultados del ensayo de micrografía para evaluar el tamaño de grano ASTM tras el proceso de conformado en frío, ayudó a determinar la distancia de afectación de la microestructura en comparación al material virgen. En la Tabla 71 y Tabla 72, se muestra las evidencias de la microestructura para afectación de conformado en frío de sección UV para 10 y 12 mm de espesor respectivamente, en donde se observa cambios microestructurales como el principio del alargamiento de grano en dirección de la sección UV y la distancia de afectación de grano a partir de la curva final, fenómeno correspondiente al endurecimiento por deformación.

En el Grafico 15, se observa un aumento de promedio de longitud de grano en el inicio de afectación de microestructura con respecto al material virgen, además, se verifica que en las esquinas tiene un mayor aumento de diámetro promedio, con esto podemos corroborar la modificación de la microestructura

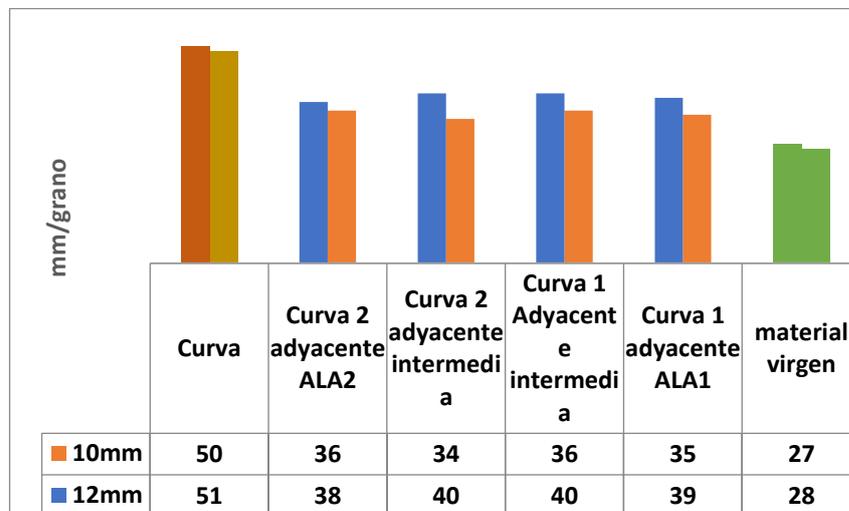


Gráfico 15. Afectación de microestructura en relación con el tamaño de grano.

3.1.7 Análisis de resistencia del material en la parte interna y externa.

Debido a que existe una correlación de entre dureza y esfuerzos del material, se plantea predecir los esfuerzos de fluencia y esfuerzos de tracción a partir de la dureza Brinell del acero, datos obtenidos a lo largo de la sección UV.

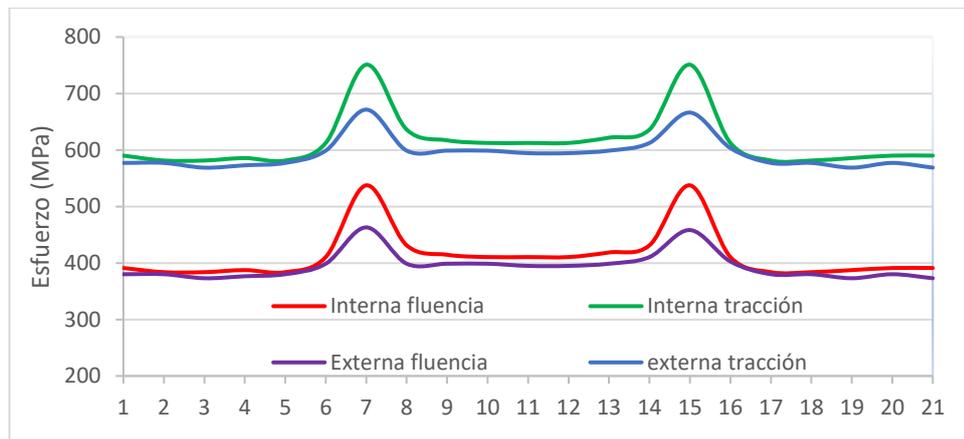


Gráfico 16. Resistencia del acero A572 en función de dureza Brinell para 10 mm de espesor.

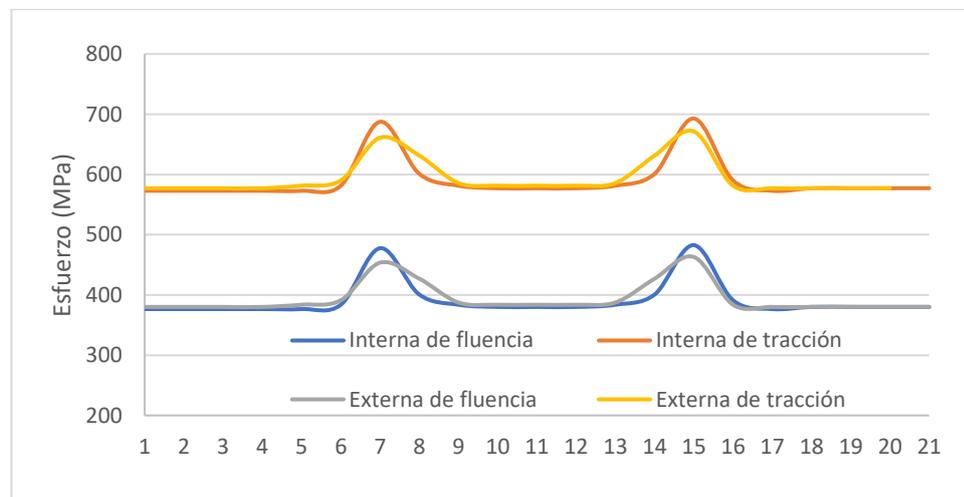


Gráfico 17. Resistencia del acero A572 en función de dureza Brinell para 12 mm de espesor.

En los Gráfico 16 y 17, se muestra los esfuerzos de fluencia y esfuerzos de tracción para 10 y 12 mm de espesor del perfil conformado en frío de la sección UV a partir de la dureza Brinell, debido al endurecimiento por deformación, existe variación entre la

parte interna y externa, este fenómeno se refleja en picos de las gráficas generadas por tensiones residuales debido al proceso de conformado en frío.

3.2 Verificación de Hipótesis

En la presente investigación, observamos posibles afectaciones por el proceso de conformado en frío en las partes planas y en las esquinas de la sección UV, esto a partir de los promedios de sus respectivas propiedades mecánicas, obtenidos de los ensayos de tracción de curva esfuerzo-deformación verdadera y dureza.

A través de un análisis comparativo, se busca validar el efecto debido al proceso de conformado en frío de la sección UV. Estas pruebas de hipótesis tienen una confianza de 95%, con el fin de presentar un buen compromiso entre confiabilidad y precisión.

3.2.1 Hipótesis de resistencia a la fluencia

- **Planteamiento de hipótesis nula**

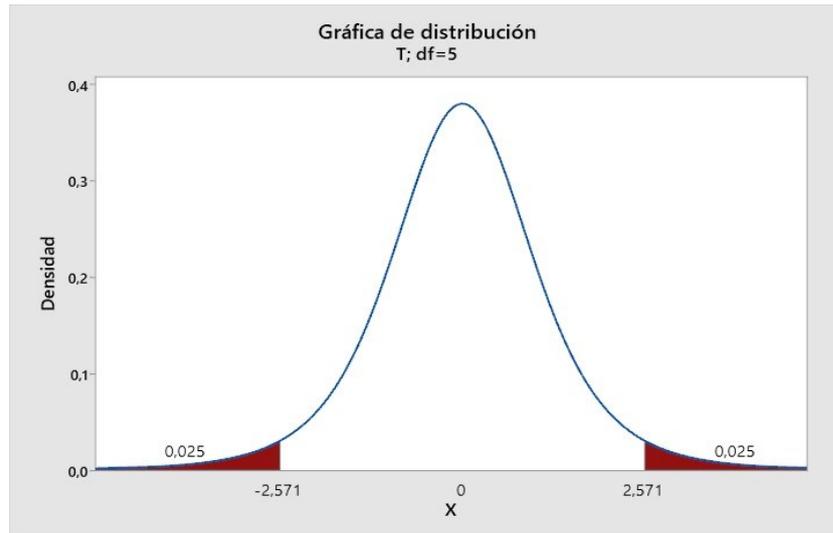
H_0 =El esfuerzo de fluencia de las partes planas y esquinas de la sección UV, no hay una diferencia significativa debido al proceso de conformado en frío.

- **Planteamiento de la hipótesis alternativa**

H_1 =El esfuerzo de fluencia de las partes planas y esquinas de la sección UV, tiene una diferencia significativa debido al proceso de conformado en frío.

Tabla 72. Prueba de hipótesis para esfuerzo a la fluencia para 10 mm de espesor.

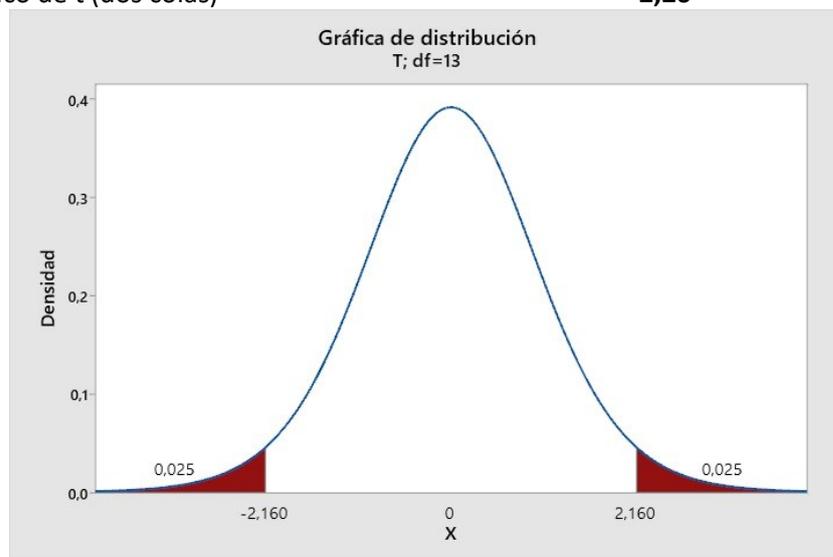
	PLANAS	ESQUINAS
Media	361,88	517,89
Varianza	37,90	117,22
Observaciones	15	5
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	5	
Estadístico t	-30,61	
P(T<=t) una cola	3,49E-07	
Valor crítico de t (una cola)	2,015	
P(T<=t) dos colas	6,98E-07	
Valor crítico de t (dos colas)	2,57	



- **Decisión:** Se rechaza la hipótesis nula a favor de la hipótesis alternativa.

Tabla 73. Prueba de hipótesis del esfuerzo a la fluencia para 12 mm de espesor

	<i>PLANAS</i>	<i>ESQUINAS</i>
Media	337,23	488,43
Varianza	89,97	52,2234
Observaciones	15	5
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	9	
Estadístico t	-37,28	
P(T<=t) una cola	0,00	
Valor crítico de t (una cola)	1,77	
P(T<=t) dos colas	0,00	
Valor crítico de t (dos colas)	2,26	



- **Decisión:** Se rechaza la hipótesis nula a favor de la hipótesis alternativa.

3.2.2 Hipótesis de resistencia a la tracción

- **Planteamiento de hipótesis nula**

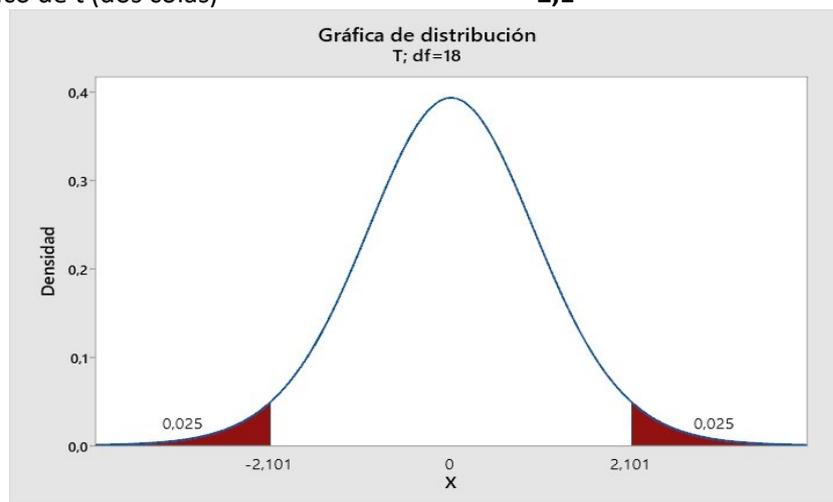
H_0 =El esfuerzo a la tracción de las partes planas y esquinas de la sección UV, no hay diferencia debido al proceso de conformado en frío.

- **Planteamiento de la hipótesis alternativa**

H_1 =El esfuerzo a la tracción de las partes planas y esquinas de la sección UV, tiene una diferencia debido al proceso de conformado en frío.

Tabla 74. Prueba de hipótesis del esfuerzo a la tracción para espesor de 10 mm.

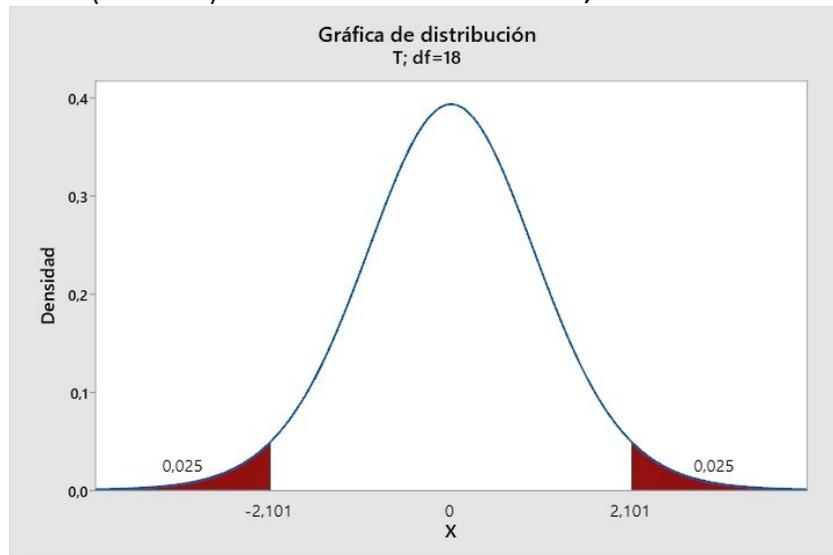
	PLANAS	ESQUINAS
Media	649,74	644,6
Varianza	90,96	87,42
Observaciones	15	5
Varianza agrupada	90,17	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	18	
Estadístico t	1,035	
$P(T \leq t)$ una cola	0,157	
Valor crítico de t (una cola)	1,73	
$P(T \leq t)$ dos colas	0,31	
Valor crítico de t (dos colas)	2,1	



- **Decisión:** Se acepta la hipótesis nula debido a que se encuentra en el rango de aceptación.

Tabla 75. Prueba de hipótesis de esfuerzo a la tracción para espesor de 12 mm.

	PLANAS	ESQUINAS
Media	600,3	624,70
Varianza	347,97	30,64
Observaciones	15	5
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	18	
Estadístico t	-4,49	
P(T<=t) una cola	0,00013	
Valor crítico de t (una cola)	1,73	
P(T<=t) dos colas	0,00027	
Valor crítico de t (dos colas)	2,1	



- **Decisión:** Se rechaza la hipótesis nula a favor de la hipótesis alternativa.

3.2.3 Hipótesis de afectación por conformado en frío de 10 y 12 mm de espesor.

- **Planteamiento de hipótesis nula**

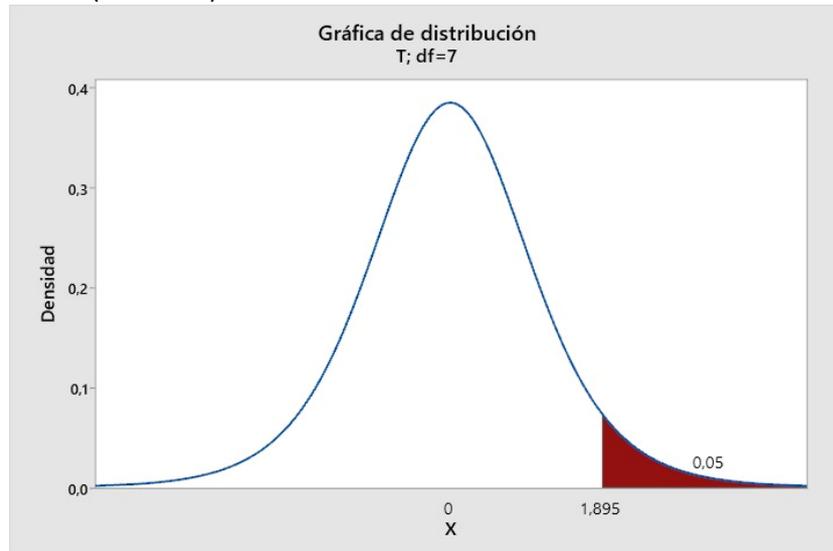
H_0 =La afectación por el proceso de conformado en frío para espesor de 10 mm serán menor o igual o que para el espesor de 12 mm.

- **Planteamiento de la hipótesis alternativa**

H_1 =La afectación por el proceso de conformado en frío serán mayor que de 10 mm de espesor con respecto a 12 mm de espesor.

Tabla 76. Análisis de hipótesis para esfuerzo de fluencia de 10 y 12 mm de espesor.

	10 mm	12 mm
Media	517,89	488,43
Varianza	117,22	52,22
Observaciones	5	5
Diferencia hipotética de las medias		0
Grados de libertad		7
Estadístico t		5,06
P(T<=t) una cola		0,00073
Valor crítico de t (una cola)		1,89
P(T<=t) dos colas		0,00146
Valor crítico de t (dos colas)		2,36



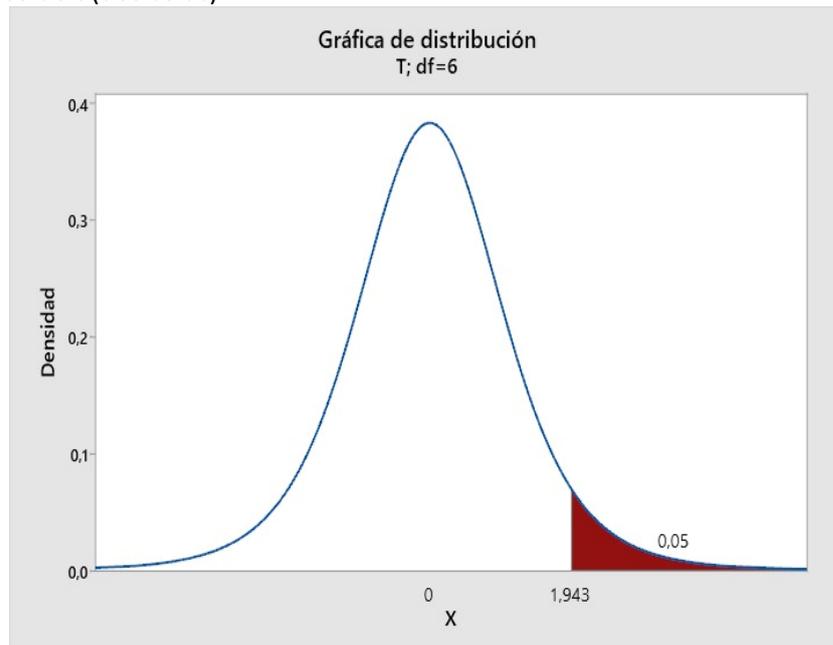
- **Decisión:** Se rechaza la hipótesis nula a favor de la hipótesis alternativa.

Tabla 77. Análisis de hipótesis para esfuerzo a la tracción de 10 y 12 mm de espesor.

	10 mm	12 mm
Media	644,66	624,702
Varianza	87,42	30,64
Observaciones	5	5
Diferencia hipotética de las medias		0
Grados de libertad		6
Estadístico t		4,107
P(T<=t) una cola		0,00315
Valor crítico de t (una cola)		1,94
P(T<=t) dos colas		0,0063

Valor crítico de t (dos colas)

2,45



- **Decisión: Se rechaza la hipótesis nula a favor de la hipótesis alternativa.**

3.2.4 Hipótesis de afectación de dureza

- **Planteamiento de hipótesis nula**

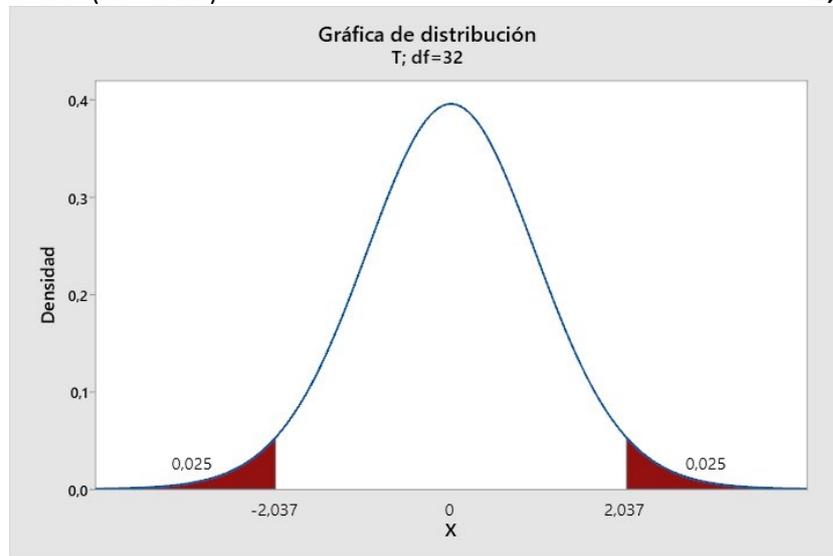
H_0 =La afectación de la dureza Brinell serán significativamente igual en la parte interna y en la parte externa

- **Planteamiento de la hipótesis alternativa**

H_0 =La afectación de la dureza Brinell serán significativamente diferentes en la parte interna y en la parte externa.

Tabla 78. Análisis de hipótesis para afectación de dureza interna y externa de la sección UV para 10 mm de espesor.

	INTERNA	EXTERNA
Media	178,39	172,24
Varianza	198,26	66,51
Observaciones	21	21
Diferencia hipotética de las medias		0
Grados de libertad		32
Estadístico t		1,731
P(T<=t) una cola		0,047
Valor crítico de t (una cola)		1,694
P(T<=t) dos colas		0,093
Valor crítico de t (dos colas)		2,037



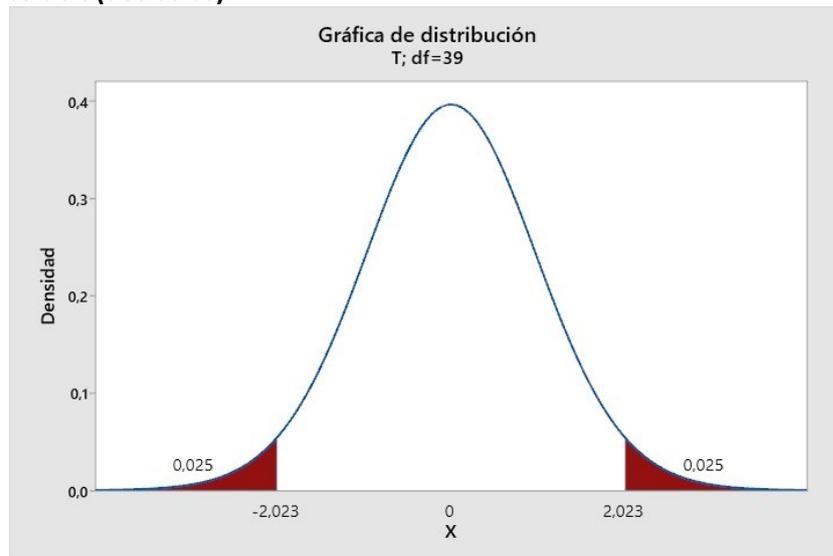
- **Decisión:** Se acepta la hipótesis nula debido a que se encuentra en los rangos de aceptación.

Tabla 79. Análisis de hipótesis para afectación de dureza interna y externa de la sección UV para 12 mm de espesor.

	INTERNA	EXTERNA
Media	171,08	171,95
Varianza	98,59	70,49
Observaciones	21	21
Diferencia hipotética de las medias		0
Grados de libertad		39
Estadístico t		-0,31
P(T<=t) una cola		0,38
Valor crítico de t (una cola)		1,68
P(T<=t) dos colas		0,76

Valor crítico de t (dos colas)

2,02



- **Decisión:** Se acepta la hipótesis nula debido a que se encuentra en los rangos de aceptación.

3.2.5 Hipótesis de afectación de módulo de elasticidad

- **Planteamiento de hipótesis nula**

H_0 =La afectación de módulo de elasticidad serán significativamente igual para las partes planas y curvas.

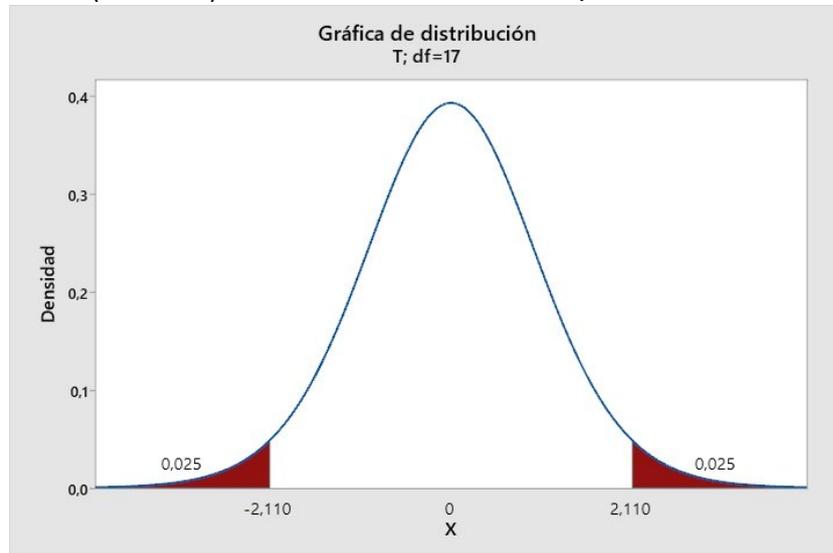
- **Planteamiento de la hipótesis alternativa**

H_1 = La afectación de módulo de elasticidad serán significativamente diferentes para las partes planas y curvas.

Tabla 80. Análisis de hipótesis para módulo de elasticidad de 10 mm de espesor.

	<i>PLANAS</i>	<i>ESQUINAS</i>
Media	186,62	177,58
Varianza	3149,220286	548,562
Observaciones	15	5
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	17	

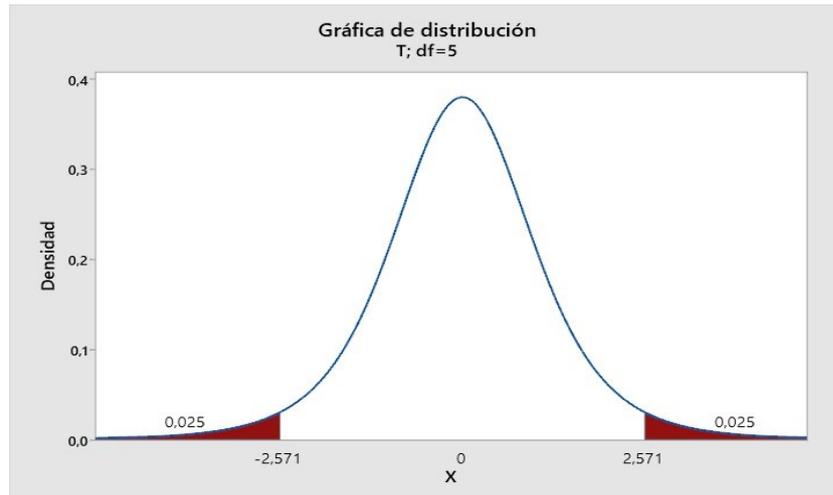
Estadístico t	0,505619714
P(T<=t) una cola	0,309808228
Valor crítico de t (una cola)	1,739606726
P(T<=t) dos colas	0,619616456
Valor crítico de t (dos colas)	2,109815578



- **Decisión:** Se acepta la hipótesis nula debido a que se encuentre dentro de los rangos de aceptación.

Tabla 81. Análisis de hipótesis para módulo de elasticidad de 12 mm de espesor.

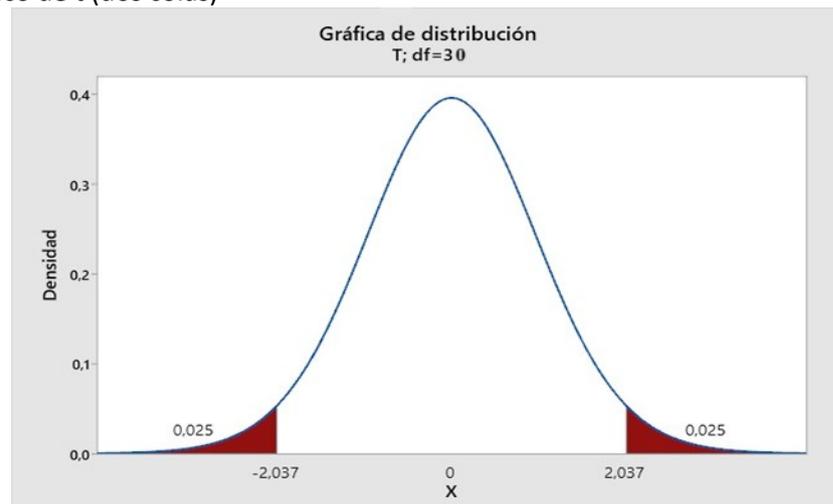
	PLANAS	ESQUINAS
Media	198,55	166,98
Varianza	467,0026923	974,042
Observaciones	14	5
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	5	
Estadístico t	2,090014839	
P(T<=t) una cola	0,045449073	
Valor crítico de t (una cola)	2,015048373	
P(T<=t) dos colas	0,090898147	
Valor crítico de t (dos colas)	2,570581836	



- **Decisión:** Acepta la hipótesis nula debido a que se encuentra dentro de los rangos de aceptación.

Tabla 82. Análisis de la hipótesis para módulo de elasticidad de los dos espesores.

	10mm	12mm
Media	184,36	190,24
Varianza	2452,09	757,73
Observaciones	20	19
Diferencia hipotética de las medias		0
Grados de libertad		30
Estadístico t		-0,46
P(T<=t) una cola		0,32
Valor crítico de t (una cola)		1,70
P(T<=t) dos colas		0,65
Valor crítico de t (dos colas)		2,04



- **Decisión:** Se acepta ha hipótesis nula debido a que se encuentra dentro de los rangos de aceptación.

CAPITULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

- La obtención y ejecución de ensayos de tracción han revelado un aumento de las propiedades mecánicas, comparando entre partes planas y esquinas, afectadas por el proceso de conformado en frío. Los resultados se respaldan con las pruebas de hipótesis, donde, el esfuerzo a la fluencia de las partes planas y de las esquinas, son significativamente diferentes, para los dos espesores. Los resultados de esfuerzo de tracción, entre la comparación de las partes planas y las esquinas, son significativamente igual, para el espesor de 10 mm, sin embargo, para el espesor de 12 mm, hay una diferencia significativa.
- El modelo de 10 mm de espesor, tiene mayor esfuerzo de fluencia y esfuerzo de tracción, con respecto al modelo de 12 mm de espesor. Sin embargo, para el módulo de elasticidad comparte una similitud debido a que no tiene variación significativa entre las secciones planas y curvas.
- El ensayo de dureza proporciona una visión integral, de cómo aumenta el endurecimiento en las esquinas de la sección UV, los resultados de dureza Brinell revelan variación entre la parte interna y externa de los dos espesores. A pesar del incremento en los resultados, es importante señalar que los 2 espesores comparten una similitud de afectación de dureza.
- En paralelo se realiza un ensayo de tamaño de grano, donde se identificó la distancia de afectación en referencia a la curva final de la esquina, a 1.1t para 10 y 12 mm de espesor, esto debido a que se modifica su estructura cristalina, logrando evidenciar una disminución de grano ASTM y un aumento de

diámetro promedio por grano de hasta 1.8 veces en las esquinas y 1.4 veces en el principio de afectación con respecto al material virgen.

- Mediante las ecuaciones de correlación de dureza Brinell, se logró determinar los esfuerzos residuales, en donde se reveló un aumento de distribución no uniforme de resistencia a la fluencia y de tracción en las partes curvas, en comparación a las partes planas de la sección UV.
- Existe claramente una correlación entre la geometría del perfil, las propiedades microestructurales y las propiedades mecánicas del acero ASTM A572 grado 50, la cual tiene diferenciaciones en el comportamiento y rendimiento mecánico del material.

4.2. Recomendaciones

- Dado que las propiedades mecánicas del acero ASTM A572 para 10 y 12 mm de espesor tiene una variación, se recomienda realizar investigaciones para comprender a fondo los factores de la diferencia, como condiciones de proceso de fabricación y microestructura del acero.
- Al analizar la distribución de la dureza a lo largo de sección UV conformado en frío, se recomienda enfocarse en patrones para reconocer una aproximación de la afectación debido al proceso de conformado en frío, sin embargo, no se recomienda utilizar ecuaciones de equivalencia para esfuerzo de fluencia y esfuerzo de tracción para el acero ASTM A572 de 10 y 12 mm de espesor, debido a que no corresponde con los valores de los ensayos.
- Se recomienda extender la representación de la curva esfuerzo-deformación verdadera, debido a que actualmente la curva se encuentra limitada hasta el

punto de estricción. Esto no ofrece una visión completa del comportamiento real del acero.

- Para el análisis de concentración de esfuerzos más detallado, se recomienda realizar un estudio por elementos finitos con los datos recopilados de la presente investigación. La implementación de este método facilitará un enfoque completo y preciso, bajo condiciones específicas de cargas en el diseño estructural avanzado.
- Se recomienda realizar ensayos de torsión mediante métodos numéricos para evaluar la resistencia del perfil Tipo UV, sometiendo a cargas cíclicas, con esto se podría evaluar la esbeltez que puede tener frente a agentes externos como sismos o terremotos.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] F. Öztürk and S. Pul, “Experimental and numerical study on a full scale apex connection of cold-formed steel portal frames,” *Thin-Walled Struct.*, vol. 94, pp. 79–88, Sep. 2015, doi: 10.1016/j.tws.2015.04.004.
- [2] Y. Cheng, *Recent trends in cold-formed steel construction*. Cambridge: Elsevier, 2016. Accessed: May 11, 2023. [Online]. Available: <https://elibro.net/es/ereader/uta/172526>
- [3] Y. Wei Wen, R. LaBoule, and H. Chen, *Cold-Formed Steel Design*, John Wiley, 2020.
- [4] G. Troglia, “Estructuras de acero con tubos y secciones conformados en frio,” 2020, Accessed: May 16, 2023. [Online]. Available: <https://elibro.net/es/ereader/uta/172526>
- [5] B. Young, M. Asce, and Y. Liu, “Experimental Investigation of Cold-Formed Stainless Steel Columns,” 2003, doi: 10.1061/ASCE0733-94452003129:2169.
- [6] L. Tong, G. Hou, Y. Chen, F. Zhou, K. Shen, and A. Yang, “Experimental investigation on longitudinal residual stresses for cold-formed thick-walled square hollow sections,” *J. Constr. Steel Res.*, vol. 73, pp. 105–116, Jun. 2012, doi: 10.1016/j.jcsr.2012.02.004.
- [7] Y. Li and Z. Nie, “Mechanical properties of cold-formed thick-walled steels at elevated temperatures,” 2020, [Online]. Available: https://jscholarship.library.jhu.edu/bitstream/handle/1774.2/63147/35_Li_ID35.pdf?sequence=3
- [8] Z. Liu, H. Liu, Z. Chen, and G. Zhang, “Structural behavior of cold-formed thick-walled rectangular steel columns,” *J. Constr. Steel Res.*, vol. 147, pp. 277–292, Aug. 2018, doi: 10.1016/j.jcsr.2018.03.013.
- [9] H. Amouzegar, B. W. Schafer, and M. Tootkaboni, “An incremental numerical method for calculation of residual stresses and strains in cold-formed steel members,” *Thin-Walled Struct.*, vol. 106, pp. 61–74, Sep. 2016, doi: 10.1016/j.tws.2016.03.019.
- [10] R. M. Schuster, *North American standard for the design of cold formed steel*

structures. 2016, pp. 1405–1414.

- [11] F. Toledo and M. Dolores, “Evaluación de las propiedades de adherencia y anticorrosivas de recubrimientos epoxi con TiO₂ nanoparticulado sobre acero ASTM a572,” 2019. Accessed: May 16, 2023. [Online]. Available: <https://elibro.net/es/ereader/uta/172526>
- [12] “TAMAÑO DEL MERCADO DE TORRES DE TELECOMUNICACIONES Y ANÁLISIS DE ACCIONES TENDENCIAS DE CRECIMIENTO Y PRONÓSTICOS (2023 - 2028),” *Mordor Intelligence*, 2023. <https://www.mordorintelligence.com/es/industry-reports/telecom-towers-market>
- [13] “Estudio analiza la industria de torres de telecomunicaciones en Latinoamérica,” 2023. [Online]. Available: <https://www.bnamericas.com/es/reportajes/estudio-analiza-la-industria-de-torres-de-telecomunicaciones-en-latinoamerica>
- [14] X. Fu, W. Xu, S. Yu, and X. Mei, “Experimental Research on the Cold-Forming Effect of Cold-Formed Thick-Walled Steel,” *Buildings*, vol. 13, no. 5, p. 1201, Apr. 2023, doi: 10.3390/buildings13051201.
- [15] D. Liu, H. Liu, Z. Chen, and X. Liao, “Structural behavior of extreme thick-walled cold-formed square steel columns,” *J. Constr. Steel Res.*, vol. 128, pp. 371–379, 2017, doi: 10.1016/j.jcsr.2016.09.004.
- [16] Y. Q. Li, D. H. Wen, L. P. Wang, and Z. Y. Shen, “Cold-forming effect investigation on cold-formed thick-walled steel hollow sections,” *21st Int. Spec. Conf. Cold-Formed Steel Struct. - Recent Res. Dev. Cold-Formed Steel Des. Constr.*, pp. 27–41, 2012.
- [17] C. L. Li, H. Yuan, and H. P. Hong, “Predicting yield strength of cold-formed carbon steel: A review and new approaches,” *J. Constr. Steel Res.*, vol. 206, no. April, p. 107926, 2023, doi: 10.1016/j.jcsr.2023.107926.
- [18] M. Kalani and A. Bakhshi, “Investigation of cold work effect, Karren (AISI) and ECCS (Euro Code3) equations validity and tension failure modes in thick plate cold-formed steel angle sections,” *Structures*, vol. 57, 2023, doi: <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2023.105092>.

- [19] G. Bian, K. D. Peterman, S. Torabian, and B. W. Schafer, “Torsion of cold-formed steel lipped channels dominated by warping response,” *Thin-Walled Struct.*, vol. 98, pp. 565–577, 2016, doi: 10.1016/j.tws.2015.10.023.
- [20] G. W. Li and Y. Q. Li, “Overall stability behavior of axially compressed cold-formed thick-walled steel tubes,” *Thin-Walled Struct.*, vol. 125, no. January, pp. 234–244, 2018, doi: 10.1016/j.tws.2018.01.032.
- [21] L. Gardner and X. Yun, “Description of stress-strain curves for cold-formed steels,” *Constr. Build. Mater.*, vol. 189, pp. 527–538, 2018, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2018.08.195.
- [22] F. Romero, “ESTUDIO DE SOLDABILIDAD PARA REEMPLAZO DE LOS ACEROS A36 y A572 POR ACERO STRENGTH 700 COMO MATERIAL BASE EN JUNTAS DE SEMIRREMOLQUES,” Universidad César Vallejo, 2019. [Online]. Available: https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/64409/Romero_GFR-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- [23] C. S. Viewpoint, “Weldability of Constructional Steels-USA Viewpoint,” *J. Am. Soc. Nav. Eng.*, vol. 48, no. 4, pp. 583–584, 1936, doi: 10.1111/j.1559-3584.1936.tb03841.x.
- [24] “ASTM A572 Grado 50 Equivalente De Acero, Gr 65, 60 Propiedades, Límite Elástico A La Tracción,” *WorldMaterial*, 2023. <https://www.theworldmaterial.com/astm-a572-steel/>
- [25] M. Keddam *et al.*, “Cinética de formación, propiedades metalúrgicas y tribológicas de la capa superficial de boruro de hierro sobre acero ASTM A572,” 2023. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1007/s11041-023-00894-2>
- [26] J. A. Schey, *Procesos de manufactura*. 2002.
- [27] M. P. Groover, *Fundamentos de Manufactura Moderna*. 2017.
- [28] G. J. Hancock, “Cold-formed steel structures,” *J. Constr. Steel Res.*, vol. 59, no. 4, pp. 473–487, 2003, doi: 10.1016/S0143-974X(02)00103-7.
- [29] J. M. Davies, “Recent research advances in cold-formed steel structures,” *J. Constr. Steel Res.*, vol. 55, no. 1–3, pp. 267–288, 2000, doi: 10.1016/S0143-

974X(99)00089-9.

- [30] C. A. Faz Barahona, “Diseño de una torre triangular autosoportada para antena de comunicación celular de 60 m. de altura,” p. 165, 2010.
- [31] S. K. S. R. Schmid, *Manufactura, ingeniería y tecnología*. 2008.
- [32] C. N. Oporto, “Técnicas para trabajar los metales.” <https://sites.google.com/a/nazaretoporto.org/los-metales/tecnicas-para-trabajar-los-metales/deformacion> (accessed Sep. 04, 2023).
- [33] “PERFILADO,” *Koniker*. <https://www.koniker.coop/perfilado/> (accessed Sep. 14, 2023).
- [34] “Perfilado,” *Wikipedia*, 2019. <https://es.wikipedia.org/wiki/Perfilado>
- [35] T. Wang and P. Groche, “Sheet metal profiles with variable height: Numerical analyses on flexible roller beading,” *J. Manuf. Mater. Process.*, vol. 3, no. 1, 2019, doi: 10.3390/jmmp3010019.
- [36] J. McCormac and S. Csernak, *Diseño de estructuras de acero*. New Jersey, 2012. [Online]. Available: https://issuu.com/gustavochonlongalcivar/docs/p__ginas_desde248353723-estructuras
- [37] N. T. Ecuatoriana, “NTE INEN 1623,” 2015. <https://www.studocu.com/ec/document/universidad-laica-eloy-alfaro-de-manabi/ensayo-de-materiales/nte-inen-1623-4-relato/40499414>
- [38] “El laminado en frío y sus principales aplicaciones,” *Structuralia*, 2020. <https://blog.structuralia.com/laminado-en-frio>
- [39] “Laminado en frío y en caliente: diferencias y ventajas,” *PLANES*. [https://ferrosplanes.com/laminado-en-frio-en-caliente-ventajas/#:~:text=El acero laminado en frío se usa principalmente en%3A,pernos%2C piñones%2C engranajes...\)](https://ferrosplanes.com/laminado-en-frio-en-caliente-ventajas/#:~:text=El acero laminado en frío se usa principalmente en%3A,pernos%2C piñones%2C engranajes...)
- [40] “¿Qué Son Las Secciones De Acero Conformadas En Frío YCuál Es Su Aplicación?,” *Shaanxi World Iron & Steel Co., Ltd*, 2018. <http://es.worldironsteel.com/news/what-s-cold-formed-steel-sections-and-what-s-t-15149073.html>

- [41] E. E. Rodríguez Reinoso, “Análisis Y Diseño Comparativo Entre Una Torre Autosoportada Triangular De 40M De Altura Con Montantes Uv Y Una Con Montantes Circulares,” p. 112, 2015, [Online]. Available: <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/21262/1/Monografia.pdf>
- [42] Ampliantena, “Como las torres de telecomunicaciones se utiliza en diferentes industrias,” 2023. <https://www.ampliantena.com/blog/torres-de-telecomunicaciones-en-industria/>
- [43] J. GUTIÉRREZ and M. LÓPEZ, “CURVA ESFUERZO Vs DEFORMACIÓN UNITARIA DEL ACERO,” *Studocu*, 2020. <https://www.studocu.com/co/document/instituto-tecnologico-metropolitano/fisica-mecanica/curva-esfuerzo-vs-deformacion-unitaria-del-acero/16976917>
- [44] H. C. Ho, T. Y. Xiao, C. Chen, and K. F. Chung, “Determination of true stress strain characteristics of structural steels using Instantaneous Area Method,” *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1777, no. 1, 2021, doi: 10.1088/1742-6596/1777/1/012070.
- [45] D. Roylance, “Curvas de esfuerzo-deformacion,” *Libretext Español*. [https://espanol.libretexts.org/Ingenieria/Ingeniería_Mecánica/Mecánica_de_Materiales_\(Roylance\)/01%3A_Respuesta_a_la_Tensión_de_Materiales/1.04%3A_A_Curvas_de_esfuerzo-deformación](https://espanol.libretexts.org/Ingenieria/Ingeniería_Mecánica/Mecánica_de_Materiales_(Roylance)/01%3A_Respuesta_a_la_Tensión_de_Materiales/1.04%3A_A_Curvas_de_esfuerzo-deformación) (accessed Sep. 07, 2023).
- [46] P. Arasaratnam, K. S. Sivakumaran, and M. J. Tait, “True Stress-True Strain Models for Structural Steel Elements,” *ISRN Civ. Eng.*, vol. 2011, pp. 1–11, 2011, doi: 10.5402/2011/656401.
- [47] L. Gardner, N. Saari, and F. Wang, “Comparative experimental study of hot-rolled and cold-formed rectangular hollow sections,” *Thin-Walled Struct.*, vol. 48, no. 7, pp. 495–507, 2010, doi: 10.1016/j.tws.2010.02.003.
- [48] ASTM E8, “ASTM E8/E8M standard test methods for tension testing of metallic materials 1,” *Annu. B. ASTM Stand.* 4, no. C, pp. 1–27, 2010, doi: 10.1520/E0008.
- [49] ASTM E10-15, “Standard Test Method for Brinell Hardness of Metallic Materials,” *ASTM Int.*, no. June, pp. 1–36, 2012, doi: 10.1520/E0010-15.

- [50] Z. Lopez and A. Fatemi, “A method of predicting cyclic stress-strain curve from tensile properties for steels,” *Mater. Sci. Eng. A*, vol. 556, pp. 540–550, 2012, doi: 10.1016/j.msea.2012.07.024.
- [51] ASTM E112, “Standard Test Methods for Determining Average Grain Size E112-10,” *Astm E112-10*, vol. 96, no. 2004, pp. 1–27, 2010, doi: 10.1520/E0112-10.Copyright.
- [52] MatWeb, “ASTM A572 Acero, Grado 50,” 2023. <https://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=9ced5dc901c54bd1aef19403d0385d7f&ckck=1>
- [53] D. R. Askeland and W. J. Wright, *Ciencia e ingeniería de materiales*, vol. 12, no. 1, 2016. [Online]. Available: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/0261306991901019>

ANEXOS

Anexo 1. Certificado de calidad del producto del acero ASTM A572 Gr 50 de 10 mm de espesor.

五矿营口中板有限责任公司
WUMINERALS Yingkou Medium Plate Co., Ltd

辽宁省营口市老边区冶金街
Fei Jia street, Laoshan
district, Yingkou, Liaoning, P. R. China
115005 YINGKOU, CHINA

邮编: 115005

产品质量证明书
INSPECTION CERTIFICATE

热轧合金钢带 Prime nearby produced hot Rolled alloy
Steel Plates

证书编号 (CERTIFICATE NO) D070015083010064502

签发日期 (DATE OF ISSUED) 2016-07-25

订货单号 (ORDER NO)	产品名称 (PRODUCT)	交货状态 (DELIVERY CONDITION)	规格尺寸 (mm) DIMENSION	件数 (PIECE)	重量 (ton) WEIGHT	拉伸试验 (TENSILE TEST)			冲击试验 (IMPACT TEST)		硬度试验 (HARDNESS TEST)				
						屈服点 (N/mm ²)	抗拉强度 (N/mm ²)	伸长率 (ELONGATION) (%)	尺寸 (mm ²)	温度 (TEMPERATURE) (°C)	布氏硬度 (BRINELL)	洛氏硬度 (ROCKWELL)	维氏硬度 (VICKERS)		
Y00005160609113-8	热轧合金钢带 Prime nearby produced hot Rolled alloy Steel Plates	热轧 (HR)	10 2500 12000	18	42.390	380	590	19.5	合格	10×7.5	20	105	87	119	
			18 2500 12000	9	28.151	420	565	22	合格	10×10	20	166	168	178	
			12 2500 12000	8	22.608	425	590	21	合格	10×10	20	150	158	163	
合计					80.149										

批号 (BATCH NO)	化学成分 (CHEMICAL COMPOSITION) (%)														
	C	Si	Mn	P	S	Al _{total}	Al	Cr	Ni	Cu	Mo	V	Ti	Nb	CEI
201607040203	0.18	0.23	1.19	0.010	0.001	0.026	0.029	0.333	0.005	0.005	0.001	0.004	0.014	0.020	0.45
201607120332	0.17	0.20	1.25	0.015	0.007	0.022	0.023	0.306	0.007	0.007	0.002	0.004	0.003	0.022	0.44
201607080154	0.17	0.20	1.24	0.018	0.005	0.028	0.029	0.318	0.004	0.004	0.001	0.004	0.004	0.021	0.44

备注 (NOTE)	客户 (CUSTOMER)	签发人 (ISSUE PERSON)	质检员 (QC)	冶金技术处长 (DIRECTOR OF METALLURGY)
本产品已按照标准要求进行制造和检验, 其结果符合要求。特此证明。 WE HEREBY CERTIFY THAT MATERIAL DESCRIBED HAS MANUFACTURED AND TESTED WITH SATISFACTORY RESULTS IN ACCORDANCE WITH THE REQUIREMENTS OF THE ABOVE MATERIAL SPECIFICATION	客户 (CUSTOMER)	签发人 (ISSUE PERSON)	质检员 (QC)	冶金技术处长 (DIRECTOR OF METALLURGY)

Anexo 2. Certificado de material del acero ASTM A572 Gr 50 de 12 mm de espesor.



13-12-2023

Producto:3900000095 FLEJE PLANCHA SIST. METALICOS CONFIG 1 **Lote:** 0008141556

Cliente: Oscar Damian Aldas Castro

Pedido: 2000249573

Factura: 006003000021602

Conforme a:

NORMA INTERNA NOVACERO
NORMA TÉCNICA NACIONAL NTE- INEN 115: TOLERANCIA PARA PLANCHAS Y PLANCHONES DE ACERO AL CARBONO LAMINADAS EN CALIENTE Y/O FRIO

El producto comercializado:

FLEJES,PLANCHAS ALISADAS

Cumple con los siguientes requerimientos:

CARACTERÍSTICAS 1

Elemento	UN	MIN	MAX
Longitud	mm	L	L+25
Ancho	mm	A-2	A+2
Torsion	mm	-	1
Cuadratura	mm	-	2
Rectitud L≤2000 mm	mm	-	1
Rectitud 2000<L<6000 mm	mm	-	(1/m) -1
Rectitud L≥6000 mm	mm	-	5

CARACTERÍSTICAS 2

Propiedad	Grado	UN	MIN	MAX
Resistencia a la tracción	50	Mpa	450	-
Limite de fluencia	50	Mpa	345	-
Alargamiento en 50 mm %	50	%	21	-
Alargamiento en 200 mm %	50	%	18	-

Pablo Castañeda Proaño
Dpto. Calidad
Novacero Planta Quito

Anexo 3. Modelo de perfil UV conformado en frío



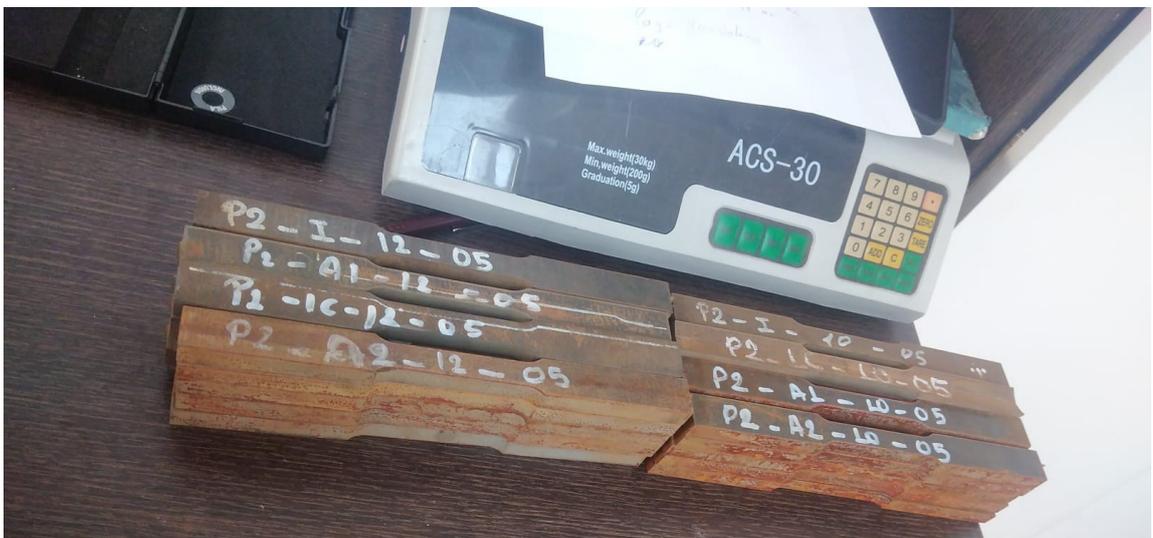
Anexo 4. Extracción de probetas normalizadas del perfil UV conformado en frío.



Anexo 5. Distribución de probetas en la sección UV.



Anexo 6. Clasificación de probetas por secciones y espesores.



Anexo 7. Reporte de ensayos de tracción para ALA1 del acero ASTM A572 de 10 mm de espesor.



Ing. J. Anibal Viñan B. MsC.

INFORME DE RESULTADOS					
ENSAYO DE TRACCIÓN			Denominación: RG 1B - 1		
N° 01					
SOLICITADO POR:	Jimmy Tasigchana - Oscar Aldás				
PROYECTO DE TESIS:	"MODELO DE MATERIAL PARA PERFILES CONFORMADOS EN FRÍO DE SECCIÓN TRANSVERSAL UV DE ACERO A572 PARA ESPESORES DE 10 mm Y 12mm."				
DIRECCION:	UTA - FAC. ING. CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE ING MECÁNICA				
TIPO DE MATERIAL:	PROBETA NORMALIZADA				
MATERIAL:	ACERO A572				
NORMA UTILIZADA:	ASTM E8				
FECHA DE ENSAYO:	16-nov-23				
EQUIPO UTILIZADO:	MÁQUINA UNIVERSAL DE ENSAYOS - WAW600B				
MARCA:	JINAN LIANGONG TESTING TECHNOLOGY CO., LTD				
SERIE: 7136	CERTIFICADO: LNM-F-2016500064D			CÓD IDENT: M2	
NÚMERO DE LA MUESTRA	1	2	3	4	5
DESIGNACIÓN DEL MATERIAL	P2-A1-10-01	P2-A1-10-02	P2-A1-10-03	P2-A1-10-04	P2-A1-10-05
CARACTERÍSTICA	PROBETA	PROBETA	PROBETA	PROBETA	PROBETA
ESPESOR [mm]	10,02	10,01	10,02	10,01	10,02
ANCHURA [mm]	12,81	12,86	13,09	12,78	13
LONGITUD INICIAL [mm]	50	50	50	50	50
SECCION TRANSVERSAL [mm ²]	128,36	128,73	131,16	127,93	130,26
MODULO DE ELASTICIDAD [GPa]	1,522,E+02	1,588,E+02	1,770,E+02	1,565,E+02	1,429,E+02
CARGA DE FLUENCIA [kN]	46,04	46,44	47,54	46,16	45,16
ESFUERZO DE FLUENCIA [MPa]	358,69	360,76	362,45	360,83	346,69
CARGA MAXIMA [kN]	68,00	68,28	67,82	68,02	67,68
ESFUERZO MAXIMO [MPa]	529,78	530,42	517,07	531,71	519,58
PORCENTAJE DE ELONGACION [%]	37,50	36,50	36,50	36,50	36,00
TIPO DE FRACTURA	T.C	T.C	T.C	T.C	T.C
OBSERVACIONES:	T.C = TAZA Y CONO				

Aprobado por:

Ing. Anibal Viñan B. M.Sc.
GERENTE DEL LABORATORIO
ENSAYO DE MATERIALES

Documento válido únicamente con el sello de la Empresa. El laboratorio no se responsabiliza por la reproducción parcial o total de este documento.

1/1

Anexo 8. Reporte de ensayo de tracción de ALA2 del acero ASTM A572 de 10 mm de espesor.



Ing. J. Anibal Viñan B. MsC.

INFORME DE RESULTADOS					
ENSAYO DE TRACCIÓN			Denominación: RG 18 - 1		
			N° 02		
SOLICITADO POR:	Jimmy Tasigchana - Oscar Aldás				
PROYECTO DE TESIS:	"MODELO DE MATERIAL PARA PERFILES CONFORMADOS EN FRÍO DE SECCIÓN TRANSVERSAL UV DE ACERO A572 PARA ESPESORES DE 10 mm Y 12mm."				
DIRECCION:	UTA - FAC. ING. CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE ING MECÁNICA				
TIPO DE MATERIAL:	PROBETA NORMALIZADA				
MATERIAL:	ACERO A572				
NORMA UTILIZADA:	ASTM E8				
FECHA DE ENSAYO:	16-nov-23				
EQUIPO UTILIZADO:	MÁQUINA UNIVERSAL DE ENSAYOS - WAW600B				
MARCA:	JINAN LIANGONG TESTING TECHNOLOGY CO., LTD				
SERIE: 7136	CERTIFICADO: LNM-F-2016500064D			CÓD IDENT: M2	
NÚMERO DE LA MUESTRA	6	7	8	9	10
DESIGNACIÓN DEL MATERIAL	P2-A2-10-01	P2-A2-10-02	P2-A2-10-03	P2-A2-10-04	P2-A2-10-05
CARACTERÍSTICA	PROBETA	PROBETA	PROBETA	PROBETA	PROBETA
ESPESOR [mm]	10	10	10,01	10	10
ANCHURA [mm]	12,74	12,73	12,84	12,98	12,64
LONGITUD INICIAL [mm]	50	50	50	50	50
SECCION TRANSVERSAL [mm ²]	127,40	127,30	128,53	129,80	126,40
MODULO DE ELASTICIDAD [GPa]	1,483,E+02	2,677,E+02	1,655,E+02	3,499,E+02	1,841,E+02
CARGA DE FLUENCIA [kN]	45,90	45,44	46,88	45,98	46,80
ESFUERZO DE FLUENCIA [MPa]	360,28	356,95	364,74	354,24	370,25
CARGA MAXIMA [kN]	69,24	68,20	69,32	68,06	69,82
ESFUERZO MAXIMO [MPa]	543,49	535,74	539,34	524,35	552,37
PORCENTAJE DE ELONGACION [%]	37,50	36,50	37,00	36,00	36,50
TIPO DE FRACTURA	T.C	T.C	T.C	T.C	T.C
OBSERVACIONES:	T.C = TAZA Y CONO				

Aprobado por:

Ing. Anibal Viñan B. M.Sc.
 GERENTE DEL LABORATORIO
 ENSAYO DE MATERIALES

Documento válido únicamente con el sello de la Empresa. El laboratorio no se responsabiliza por la reproducción parcial o total de éste documento.

1/1

Anexo 9. Reporte de ensayo de tracción de CURVAS del acero ASTM A572 de 10 mm de espesor.



Ing. J. Anibal Viñan B. MsC.

INFORME DE RESULTADOS					
ENSAYO DE TRACCIÓN			Denominación: RG 18 - 1		
N° 03					
SOLICITADO POR:	Jimmy Tasiqhana - Oscar Aldás				
PROYECTO DE TESIS:	"MODELO DE MATERIAL PARA PERFILES CONFORMADOS EN FRÍO DE SECCIÓN TRANSVERSAL UV DE ACERO A572 PARA ESPESORES DE 10 mm Y 12mm."				
DIRECCION:	UTA - FAC. ING. CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE ING MECÁNICA				
TIPO DE MATERIAL:	PROBETA NORMALIZADA				
MATERIAL:	ACERO A572				
NORMA UTILIZADA:	ASTM E8				
FECHA DE ENSAYO:	16-nov-23				
EQUIPO UTILIZADO: MÁQUINA UNIVERSAL DE ENSAYOS - WAW600B					
MARCA: JINAN LIANGONG TESTING TECHNOLOGY CO., LTD					
SERIE: 7136	CERTIFICADO: LNM-F-2016500064D			CÓD IDENT: M2	
NÚMERO DE LA MUESTRA	11	12	13	14	15
DESIGNACIÓN DEL MATERIAL	P2-IC-10-01	P2-IC-10-02	P2-IC-10-03	P2-IC-10-04	P2-IC-10-05
CARACTERÍSTICA	PROBETA	PROBETA	PROBETA	PROBETA	PROBETA
ESPESOR [mm]	9,87	9,89	9,85	9,88	10,01
ANCHURA [mm]	13,18	12,86	12,72	12,78	12,67
LONGITUD INICIAL [mm]	50	50	50	50	50
SECCION TRANSVERSAL [mm ²]	130,09	127,19	125,29	126,27	126,83
MODULO DE ELASTICIDAD [GPa]	1,752,E+02	1,836,E+02	1,519,E+02	2,136,E+02	1,636,E+02
CARGA DE FLUENCIA [kN]	66,40	65,30	67,26	65,20	65,04
ESFUERZO DE FLUENCIA [MPa]	510,43	513,42	536,83	516,37	512,83
CARGA MAXIMA [kN]	78,38	77,10	78,00	77,64	76,68
ESFUERZO MAXIMO [MPa]	602,52	606,20	622,55	614,89	604,60
PORCENTAJE DE ELONGACION [%]	24,00	23,00	26,50	24,00	25,00
TIPO DE FRACTURA	T.C	T.C	T.C	T.C	T.C
OBSERVACIONES: T.C = TAZA Y CONO					

Aprobado por:

Ing. Anibal Viñan B. M.Sc.
 GERENTE DEL LABORATORIO
 ENSAYO DE MATERIALES

Documento válido únicamente con el sello de la Empresa. El laboratorio no se responsabiliza por la reproducción parcial o total de este documento.

1/1

Anexo 10. Reporte de ensayo de tracción de INTERMEDIAS del ASTM 572 de 10 mm de espesor.



Ing. J. Anibal Viñan B. MsC.

INFORME DE RESULTADOS					
ENSAYO DE TRACCIÓN			Denominación: RG 18 - 1		
N° 04					
SOLICITADO POR:	Jimmy Tasigchana - Oscar Aldás				
PROYECTO DE TESIS:	"MODELO DE MATERIAL PARA PERFILES CONFORMADOS EN FRÍO DE SECCIÓN TRANSVERSAL UV DE ACERO A572 PARA ESPEORES DE 10 mm Y 12mm."				
DIRECCION:	UTA - FAC. ING. CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE ING MECÁNICA				
TIPO DE MATERIAL:	PROBETA NORMALIZADA				
MATERIAL:	ACERO A572				
NORMA UTILIZADA:	ASTM E8				
FECHA DE ENSAYO:	17-nov-23				
EQUIPO UTILIZADO: MÁQUINA UNIVERSAL DE ENSAYOS - WAW600B					
MARCA: JINAN LIANGONG TESTING TECHNOLOGY CO., LTD					
SERIE: 7136	CERTIFICADO: LNM-F-2016500064D			CÓD IDENT: M2	
NÚMERO DE LA MUESTRA	16	17	18	19	20
DESIGNACIÓN DEL MATERIAL	P2-1-10-01	P2-1-10-02	P2-1-10-03	P2-1-10-04	P2-1-10-05
CARACTERÍSTICA	PROBETA	PROBETA	PROBETA	PROBETA	PROBETA
ESPEOR [mm]	10	10	10	10	10
ANCHURA [mm]	12,69	12,81	12,78	12,6	12,94
LONGITUD INICIAL [mm]	50	50	50	50	50
SECCION TRANSVERSAL [mm ²]	126,90	128,10	127,80	126,00	129,40
MODULO DE ELASTICIDAD [GPa]	2,303,E+02	1,494,E+02	1,726,E+02	1,807,E+02	1,634,E+02
CARGA DE FLUENCIA [kN]	46,02	47,06	47,00	46,30	47,50
ESFUERZO DE FLUENCIA [MPa]	362,65	367,37	367,76	367,46	367,08
CARGA MAXIMA [kN]	68,42	68,90	68,38	68,32	69,78
ESFUERZO MAXIMO [MPa]	539,16	537,86	535,05	542,22	539,26
PORCENTAJE DE ELONGACION [%]	39,00	36,00	36,00	35,00	37,00
TIPO DE FRACTURA	T.C	T.C	T.C	T.C	T.C
OBSERVACIONES:	T.C = TAZA Y CONO				

Aprobado por:

Ing. Anibal Viñan B. M.Sc.
 GERENTE DEL LABORATORIO
 ENSAYO DE MATERIALES

Documento válido únicamente con el sello de la Empresa. El laboratorio no se responsabiliza por la reproducción parcial o total de este documento.

1/1

Anexo 11. Reporte de ensayo de tracción de CURVAS de ASTM A572 de 12 mm de espesor.



Ing. J. Anibal Viñan B. MsC.

INFORME DE RESULTADOS

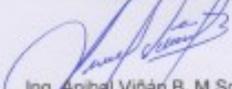
ENSAYO DE TRACCIÓN

Denominación: RG 18 - 1
N° 03

SOLICITADO POR:	Jimmy Tasigchana - Oscar Aldás				
PROYECTO DE TESIS:	*MODELO DE MATERIAL PARA PERFILES CONFORMADOS EN FRÍO DE SECCIÓN TRANSVERSAL UV DE ACERO A572 PARA ESPESORES DE 10 mm Y 12mm *				
DIRECCION:	UTA - FAC. ING. CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE ING. MECÁNICA				
TIPO DE MATERIAL:	PROBETA NORMALIZADA				
MATERIAL:	ACERO A572				
NORMA UTILIZADA:	ASTM E8				
FECHA DE ENSAYO:	9-dic-23				
EQUIPO UTILIZADO:	MÁQUINA UNIVERSAL DE ENSAYOS - WAW600B				
MARCA:	JINAN LIANGONG TESTING TECHNOLOGY CO., LTD				
SERIE:	7136	CERTIFICADO:	LNM-F-2016500064D	CÓD IDENT:	M2

NÚMERO DE LA MUESTRA	11	12	13	14	15
DESIGNACIÓN DEL MATERIAL	P2-IC-12-01	P2-IC-12-02	P2-IC-12-03	P2-IC-12-04	P2-IC-12-05
CARACTERÍSTICA	PROBETA	PROBETA	PROBETA	PROBETA	PROBETA
ESPESOR [mm]	11.97	12	12.04	12.06	12.01
ANCHURA [mm]	13.12	13.10	12.91	13.13	13.12
LONGITUD INICIAL [mm]	50	50	50	50	50
SECCION TRANSVERSAL [mm ²]	157.05	157.20	155.44	158.35	157.57
MODULO DE ELASTICIDAD [GPa]	2.210.E+02	1.438.E+02	1.480.E+02	1.633.E+02	1.588.E+02
CARGA DE FLUENCIA [kN]	78.30	75.68	76.62	77.04	76.06
ESFUERZO DE FLUENCIA [MPa]	498.58	481.42	492.93	486.52	482.70
CARGA MAXIMA [kN]	91.98	91.78	92.10	92.54	92.18
ESFUERZO MAXIMO [MPa]	585.69	583.84	592.53	584.41	585.01
PORCENTAJE DE ELONGACION [%]	26.50	27.00	25.00	26.50	25.50
TIPO DE FRACTURA	T.C	T.C	T.C	T.C	T.C

OBSERVACIONES: T.C = TAZA Y CONO



Ing. Anibal Viñan B. MsC.
GERENTE DEL LABORATORIO
ENSAYO DE MATERIALES



Documento válido únicamente con el sello de la Empresa. El laboratorio no se responsabiliza por la reproducción

 Calle Roma N° 7 y Padua, Cdla. Politécnica

 (03) 2 924420 -  0987260955

 jvinan54@yahoo.es - Riobamba - Ecuador

1/1

Anexo 12. Reporte de ensayo de tracción INTERMEDIA del ASTM A572 de 12 mm de espesor.



Ing. J. Anibal Viñan B. MsC.

INFORME DE RESULTADOS					
ENSAYO DE TRACCIÓN			Denominación: RG 18 - 1		
			N° 04		
SOLICITADO POR:	Jimmy Tasigchana - Oscar Aldás				
PROYECTO DE TESIS:	*MODELO DE MATERIAL PARA PERFILES CONFORMADOS EN FRÍO DE SECCIÓN TRANSVERSAL UV DE ACERO A572 PARA ESPESORES DE 10 mm Y 12mm.*				
DIRECCION:	UTA - FAC. ING. CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE ING MECÁNICA				
TIPO DE MATERIAL:	PROBETA NORMALIZADA				
MATERIAL:	ACERO A572				
NORMA UTILIZADA:	ASTM E8				
FECHA DE ENSAYO:	10-dic-23				
EQUIPO UTILIZADO: MAQUINA UNIVERSAL DE ENSAYOS - WAW600B					
MARCA: JINAN LIANGONG TESTING TECHNOLOGY CO., LTD					
SERIE: 7136	CERTIFICADO: LNM-F-2016500064D			CÓD IDENT: M2	
NÚMERO DE LA MUESTRA	16	17	18	19	20
DESIGNACIÓN DEL MATERIAL	P24-12-01	P24-12-02	P24-12-03	P24-12-04	P24-12-05
CARACTERÍSTICA	PROBETA	PROBETA	PROBETA	PROBETA	PROBETA
ESPESOR [mm]	12.1	12.15	12.19	12.26	12.16
ANCHURA [mm]	12.40	12.77	12.98	12.95	12.84
LONGITUD INICIAL [mm]	50	50	50	50	50
SECCION TRANSVERSAL [mm ²]	150.04	155.16	158.23	158.77	156.13
MODULO DE ELASTICIDAD [GPa]	2.152.E+02	2.094.E+02	2.531.E+02	1.873.E+02	2.504.E+02
CARGA DE FLUENCIA [kN]	52.44	53.24	53.34	47.62	55.04
ESFUERZO DE FLUENCIA [MPa]	349.51	343.14	337.11	299.94	352.52
CARGA MAXIMA [kN]	77.68	78.38	79.12	73.42	80.84
ESFUERZO MAXIMO [MPa]	517.73	505.17	500.04	462.44	517.76
PORCENTAJE DE ELONGACION [%]	29.00	38.00	35.50	37.50	39.00
TIPO DE FRACTURA	T.C	T.C	T.C	T.C	T.C
OBSERVACIONES:	T.C = TAZA Y CONO				

Aprobado por:

Ing. Anibal Viñan B. M.Sc.
GERENTE DEL LABORATORIO
ENSAYO DE MATERIALES

Documento válido únicamente con el sello de la Empresa. El laboratorio no se responsabiliza por la reproducción

Anexo 13. Reporte ensayo de tracción de ALA1 de ASTM A572 de 12 mm de espesor.



Ing. J. Anibal Viñan B. MsC.

INFORME DE RESULTADOS					
ENSAYO DE TRACCIÓN			Denominación: RG 18 - 1		
			N° 01		
SOLICITADO POR:	Jimmy Tasigchana - Oscar Aldás				
PROYECTO DE TESIS:	"MODELO DE MATERIAL PARA PERFILES CONFORMADOS EN FRÍO DE SECCIÓN TRANSVERSAL UV DE ACERO A572 PARA ESPESORES DE 10 mm Y 12mm."				
DIRECCION:	UTA - FAC. ING. CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE ING. MECÁNICA				
TIPO DE MATERIAL:	PROBETA NORMALIZADA				
MATERIAL:	ACERO A572				
NORMA UTILIZADA:	ASTM E8				
FECHA DE ENSAYO:	13-dic-23				
EQUIPO UTILIZADO: MÁQUINA UNIVERSAL DE ENSAYOS - WAW600B					
MARCA: JINAN LIANGONG TESTING TECHNOLOGY CO., LTD					
SERIE: 7136	CERTIFICADO: LNM-F-2016500064D			CÓD IDENT: M2	
NÚMERO DE LA MUESTRA	1	2	3	4	5
DESIGNACIÓN DEL MATERIAL	P2-A1-12-01	P2-A1-12-02	P2-A1-12-03	P2-A1-12-04	P2-A1-12-05
CARACTERÍSTICA	PROBETA	PROBETA	PROBETA	PROBETA	PROBETA
ESPEJOR [mm]	12.1	12.07	12.03	12.14	12.08
ANCHURA [mm]	13.11	12.92	13.08	13.17	13.36
LONGITUD INICIAL [mm]	50	50	50	50	50
SECCION TRANSVERSAL [mm ²]	158.63	155.94	157.35	159.88	161.39
MODULO DE ELASTICIDAD [GPa]	1.886.E+02	2.023.E+02	2.211.E+02	1.848.E+02	1.757.E+02
CARGA DE FLUENCIA [kN]	51.88	51.26	50.90	53.38	52.64
ESFUERZO DE FLUENCIA [MPa]	327.05	328.71	323.48	333.87	326.17
CARGA MAXIMA [kN]	76.98	74.62	75.18	79.72	77.38
ESFUERZO MAXIMO [MPa]	485.28	478.50	477.78	498.61	479.46
PORCENTAJE DE ELONGACION [%]	36.50	39.00	39.00	37.00	39.50
TIPO DE FRACTURA	T.C	T.C	T.C	T.C	T.C
OBSERVACIONES:	T.C = TAZA Y CONO				

Aprobado por:

Ing. Anibal Viñan B. M.Sc.
 GERENTE DEL LABORATORIO
 ENSAYO DE MATERIALES

Documento válido únicamente con el sello de la Empresa. El laboratorio no es responsable por la reproducción parcial o total de este documento.

Anexo 14. Reporte de ensayo de tracción de ALA2 de ASTM A572 de 12 mm de espesor.



Ing. J. Anibal Viñan B. MsC.

INFORME DE RESULTADOS					
ENSAYO DE TRACCIÓN			Denominación: RG 18 - 1		
N° 02					
SOLICITADO POR:	Jimmy Tasigchana - Oscar Aldás				
PROYECTO DE TESIS:	"MODELO DE MATERIAL PARA PERFILES CONFORMADOS EN FRÍO DE SECCIÓN TRANSVERSAL UV DE ACERO A572 PARA ESPESORES DE 10 mm Y 12mm"				
DIRECCION:	UTA - FAC. ING. CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE ING MECÁNICA				
TIPO DE MATERIAL:	PROBETA NORMALIZADA				
MATERIAL:	ACERO A572				
NORMA UTILIZADA:	ASTM E8				
FECHA DE ENSAYO:	13-dic-23				
EQUIPO UTILIZADO: MÁQUINA UNIVERSAL DE ENSAYOS - WAW600B					
MARCA: JINAN LIANGONG TESTING TECHNOLOGY CO., LTD					
SERIE: 7136	CERTIFICADO: LNM-F-2016500064D			CÓD IDENT: M2	
NÚMERO DE LA MUESTRA	6	7	8	9	10
DESIGNACIÓN DEL MATERIAL	P2-A2-12-01	P2-A2-12-02	P2-A2-12-03	P2-A2-12-04	P2-A2-12-05
CARACTERÍSTICA	PROBETA	PROBETA	PROBETA	PROBETA	PROBETA
ESPEJOR [mm]	12.16	12.21	12.12	12.19	12.06
ANCHURA [mm]	12.90	12.98	13.09	12.93	13.16
LONGITUD INICIAL [mm]	50	50	50	50	50
SECCION TRANSVERSAL [mm ²]	156.86	158.49	158.65	157.62	158.71
MODULO DE ELASTICIDAD [GPa]	1.824.E+02	2.159.E+02	1.741.E+02	1.805.E+02	1.920.E+02
CARGA DE FLUENCIA [kN]	54.24	53.74	51.82	53.34	53.56
ESFUERZO DE FLUENCIA [MPa]	345.78	339.08	326.63	338.42	337.47
CARGA MAXIMA [kN]	79.70	80.26	75.54	79.22	79.52
ESFUERZO MAXIMO [MPa]	508.08	506.42	476.14	502.61	501.04
PORCENTAJE DE ELONGACION [%]	37.00	37.00	38.50	35.00	37.00
TIPO DE FRACTURA	T.C	T.C	T.C	T.C	T.C
OBSERVACIONES: T.C = TAZA Y CONO					

Aprobado por:


 Ing. Anibal Viñan B. M.Sc.
 GERENTE DEL LABORATORIO
 ENSAYO DE MATERIALES

Documento válido únicamente con el sello de la Empresa. El laboratorio no se responsabiliza por la reproducción