



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

CARRERA DE MECÁNICA

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

TEMA:

**“MODELO DE MATERIAL PARA PERFILES CONFORMADOS EN FRÍO
DE SECCIÓN TRANSVERSAL UV DE ACERO A572, PARA ESPESORES DE
6 mm y 8 mm”**

AUTOR: Christian Alexander Córdova Acosta

Danny Alejandro Muzo Chico

TUTOR: Ing. Francisco Agustín Peña Jordán, MSc, Mg.

AMBATO – ECUADOR

Febrero - 2024

APROBACIÓN DE TUTOR

En mi calidad de Tutor del Trabajo Experimental, previo a la obtención del Título de Ingeniero Mecánico, con el tema: “**MODELO DE MATERIAL PARA PERFILES CONFORMADOS EN FRÍO DE SECCIÓN TRANSVERSAL UV DE ACERO A572, PARA ESPESORES DE 6 mm y 8 mm**”, elaborado por los Sr. Danny Alejandro Muzo Chico, portador de la cédula de ciudadanía C.I. 1805411145, y Sr. Christian Alexander Córdova Acosta , portador de la cédula de ciudadanía C.I. 1803523206, estudiantes de la Carrera de Mecánica de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

Certifico:

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

Ambato, febrero 2024

.....

Ing. Francisco Agustín Peña Jordán, MSc, Mg.

TUTOR

AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, **Christian Alexander Córdova Acosta**, con C.I 1803523206 y **Danny Alejandro Muzo Chico**, con CI 1805411145, declaramos que todas las actividades y contenidos expuestos en el presente Trabajo Experimental con el tema: “**MODELO DE MATERIAL PARA PERFILES CONFORMADOS EN FRÍO DE SECCIÓN TRANSVERSAL UV DE ACERO A572, PARA ESPESORES DE 6 mm y 8 mm.**”, así como también las ideas parámetros, criterios, análisis, graficas, conclusiones y recomendaciones son de nuestra exclusiva responsabilidad como autores del proyecto, a excepción de las referencias bibliográficas citadas en el mismo.

Ambato, febrero 2024



.....
Christian Alexander Córdova Acosta

C.I. 1803523206

AUTOR



.....
Danny Alejandro Muzo Chico

C.I. 1805411145

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 en línea patrimoniales 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



.....
Christian Alexander Córdova Acosta

C.I. 1803523206

AUTOR



.....
Danny Alejandro Muzo Chico

C.I. 1805411145

AUTOR

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los miembros del Tribunal de Grado aprueban el informe del Trabajo Experimental, realizado por los estudiantes Christian Alexander Córdova Acosta y Danny Alejandro Muzo Chico, de la Carrera de Mecánica bajo el tema: **“MODELO DE MATERIAL PARA PERFILES CONFORMADOS EN FRÍO DE SECCIÓN TRANSVERSAL UV DE ACERO A572, PARA ESPESORES DE 6 mm y 8 mm.”**

Ambato, febrero 2024

Para constancia firman:



.....
Ing. Jorge Enrique López Velástegui, Mg.
MIEMBRO CALIFICADOR



.....
Ing. Santiago Paúl Cabrera Anda, Mg.
MIEMBRO CALIFICADOR

DEDICATORIA

Dedicado a mi abuelo Pedro Pablo Muso Moreta,

Tus palabras resonaron como melodías de sabiduría en mi infancia, despertando una curiosidad incesante por el funcionamiento de las máquinas. Tu pasión por comprender los engranajes y mecanismos del mundo que nos rodea ha sido mi inspiración constante. A través de tu aliento, he emprendido este viaje de descubrimiento, determinado a explorar los misterios que una vez compartiste conmigo.

A mi familia y amigos,

Su apoyo inquebrantable ha sido el pilar sobre el cual he construido cada paso de este camino académico. Sus palabras de aliento, sus abrazos reconfortantes y su presencia constante han sido mi fuerza en los momentos difíciles y mi alegría en los triunfos. Este logro es tanto suyo como mío, y con humildad y gratitud, dedico este trabajo a cada uno de ustedes.

Con sincero aprecio,

Danny Alejandro Muzo

DEDICATORIA

A mis padres,

Con todo mi amor y gratitud, dedico este trabajo a ustedes, quienes han sido mi apoyo incondicional a lo largo de este camino. Su constante orientación, aliento y sacrificio han sido la luz que ha guiado mis pasos en cada etapa de mi vida académica. La fe en mí ha sido mi mayor motivación y su presencia ha sido mi mayor fortaleza.

Con amor.
Christian Córdova

AGRADECIMIENTO

Quisiera expresar mi más sincero agradecimiento a las personas que han sido mi sol, luna y mi apoyo incondicional a lo largo de este arduo viaje académico.

A mis padres, Jorge Muzo y Carmen Chico, les debo todo. Ustedes han sido el pilar de inspiración que ha sostenido cada paso que he dado. Su amor incondicional, su sabiduría y su constante aliento han sido mi roca en los momentos de duda y mi combustible en los momentos de desafío. Este logro es tanto suyo como mío, y les estaré eternamente agradecido por su incansable apoyo.

A mi querida hermana, Gabriela Muzo, le debo un mundo de gratitud. Tu presencia cercana, tu espíritu inspirador y tu aliento constante han sido mi fuerza en los momentos más difíciles. Tu ejemplo de determinación y perseverancia ha sido mi guía a lo largo de este camino, y estoy profundamente agradecido por tenerte a mi lado.

A mis amigos, Christian Córdova y Joffre Peralta, les debo un agradecimiento especial. Han sido las personas que han aguantado el camino a mi lado, compartiendo risas, apoyándome en los momentos de estrés y celebrando cada pequeño logro. Su amistad incondicional ha sido un regalo invaluable, y no puedo imaginar haber llegado hasta aquí sin su presencia constante.

A todos aquellos que han contribuido de alguna manera a este proyecto, ya sea con su orientación, su apoyo moral o sus palabras de aliento, les extiendo mi más profundo agradecimiento. Este logro no hubiera sido posible sin ustedes.

Con gratitud infinita,

Danny Alejandro Muzo

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a mi amigo y compañero de tesis, Danny Muzo, con quien transitamos este emocionante viaje académico.

A todas las personas que pasaron por esta etapa en mi vida, cuyo aliento y palabras de ánimo han sido una fuente constante de motivación,

Con sincero aprecio y cariño,

Christian Córdova

ÍNDICE DE CONTENIDO

APROBACIÓN DE TUTOR	ii
AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	iii
DERECHOS DE AUTOR	iv
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO	v
DEDICATORIA	vi
AGRADECIMIENTO	viii
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	x
ÍNDICE DE TABLAS	xiv
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xviii
RESUMEN EJECUTIVO	xx
ABSTRACT.....	xxi
CAPÍTULO I.....	1
MARCO TEÓRICO.....	1
1.1. Antecedentes Investigativos	1
1.2. Justificación.....	2
1.3. Objetivos	3
1.3.1. Objetivo General.....	3
1.3.2. Objetivos Específicos	3
1.4. Fundamentación Teórica	4
1.4.1. Conformado en frío.....	4
1.4.2. Obtención de perfiles estructurales	5
1.4.3. Acritud	8
1.4.4. Curva esfuerzo deformación.....	8

1.4.5.	Predicción Curva esfuerzo deformación.....	9
1.4.6.	Relación curva esfuerzo-deformación ingenieril vs curva esfuerzo-deformación verdadero.....	10
1.4.7.	Modelo de 2t para comparar resistencia del conformado en frío	11
1.4.8.	Norma ASTM “Métodos de ensayo normalizados para pruebas de tracción de materiales metálicos Designación E8/E8M-13a”	12
1.4.9.	Norma ASTM “Métodos de ensayo normalizados para la dureza Brinell de materiales metálicos designación E10-18”	13
1.4.10.	Norma ASTM “Métodos de ensayo normalizados para determinar la granulometría media designación E112 - 12”	14
1.4.11.	Material	15
CAPÍTULO II		16
METODOLOGÍA		16
2.1.	Nivel de Investigación.....	16
2.2.	Materiales y Recursos	16
2.2.1.	Material bibliográfico	19
2.2.2.	Recursos Humanos	19
2.2.3.	Recursos Institucionales	19
2.2.4.	Flujogramas – Ensayos normados	19
2.2.4.1	<i>Ensayo de tracción</i>	19
2.2.4.2	<i>Micrografía</i>	21
2.2.4.3	<i>Prueba de dureza</i>	22
2.2.5	Métodos	23
2.2.5.1	<i>Corte de la placa de Acero A572</i>	23
2.2.5.2	<i>Proceso de conformado</i>	23
2.2.5.3	<i>Probetas para ensayo de tracción</i>	24

2.2.5.4	<i>Distribución de probetas para el corte</i>	25
2.2.5.5	<i>Identificación de probetas para ensayo a tracción</i>	26
2.2.5.6	<i>Corte de probetas por chorro de agua</i>	28
2.2.5.7	<i>Aplicación de ensayo de tracción</i>	30
2.2.5.8	<i>Aplicación de ensayo de dureza</i>	31
2.2.5.9	<i>Aplicación de Micrografía</i>	33
CAPÍTULO III.....		35
RESULTADOS Y DISCUSIÓN		35
3.1.	Análisis y discusión de los resultados	35
3.1.1.	Ensayo de tracción	35
3.1.1.1.	<i>Perfil de acero ASTM a572 – 6mm</i>	36
3.1.1.2.	<i>Perfil de acero ASTM a572 – 8mm</i>	58
3.1.2.	Ensayo de Dureza	80
3.1.3.	Micrografía	86
3.1.4.	Interpretación de resultados	99
3.1.4.1.	<i>Ensayos de Tracción</i>	99
3.1.4.2.	<i>Módulo de elasticidad 6 mm</i>	104
3.1.4.3.	<i>Módulo de elasticidad 8 mm</i>	105
3.1.4.4.	<i>Ingenieril vs verdadera 6 mm y 8 mm</i>	107
3.1.4.5.	<i>Esfuerzo de fluencia 6 mm</i>	108
3.1.4.6.	<i>Esfuerzo de fluencia 6 mm</i>	109
3.1.4.7.	<i>Dureza</i>	110
3.2.	Validación de hipótesis	115
CAPÍTULO IV.....		121

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	121
4.1. Conclusiones	121
4.2. Recomendaciones	122
BIBLIOGRAFIA	123

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Composición acero ASTM A572 G50 [28]	15
Tabla 2. Propiedades mecánicas acero ASTM A572 G50 [29]	15
Tabla 3. Tabla de equipo utilizado	16
Tabla 4. Equipo utilizado para ensayo de tracción	17
Tabla 5. Equipo utilizado para prueba de dureza	18
Tabla 6. Equipo utilizado para ensayo micrográfico	18
Tabla 7. Simbología para la codificación de probetas	26
Tabla 8. Ejemplo de codificación de probetas	27
Tabla 9. Codificación de probetas para espesor de 6mm.....	27
Tabla 10. Codificación de probetas para espesor de 8mm.....	28
Tabla 11. Informe P2-1E-6	36
Tabla 12. Informe P2-2E-6	37
Tabla 13. Informe P2-3E-6	38
Tabla 14. Informe P2-4E-6	39
Tabla 15. Informe P2-5E-6	41
Tabla 16. Informe P2-1C-6	42
Tabla 17. Informe P2-2C-6	43
Tabla 18. Informe P2-3C-6	44
Tabla 19. Informe P2-4C-6	45
Tabla 20. Informe P2-5C-6	46
Tabla 21. Informe P2-2A1-E-6	47
Tabla 22. Informe P2-2A2-E-6	48
Tabla 23. Informe P2-3A2-E-6	49

Tabla 24. Informe P2-4A2-E-6	50
Tabla 25. Informe P2-5A2-E-6	52
Tabla 26. Informe P2-1A1-E-6	53
Tabla 27. Informe P2-2A1-E-6	54
Tabla 28. Informe P2-3A1-E-6	55
Tabla 29. Informe P2-4A1-E-6	56
Tabla 30. Informe P2-5A1-E-6	57
Tabla 31. Informe P2-1E-8	58
Tabla 32. Informe P2-2E-8	60
Tabla 33. Informe P2-3E-8	61
Tabla 34. Informe P2-4E-8	62
Tabla 35. Informe P2-5E-8	63
Tabla 36. Informe P2-1C-8	64
Tabla 37. Informe P2-2C-8	65
Tabla 38. Informe P2-3C-8	66
Tabla 39. Informe P2-4C-8	67
Tabla 40. Informe P2-5C-8	68
Tabla 41. Informe P2-1A2-E-8	69
Tabla 42. Informe P2-2A2-E-8	70
Tabla 43. Informe P2-3A2-E-8	71
Tabla 44. Informe P2-4A2-E-8	73
Tabla 45. Informe P2-5A2-E-8	74
Tabla 46. Informe P2-1A1-E-8	75
Tabla 47. Informe P2-2A1-E-8	76

Tabla 48. Informe P2-3A1-E-8	77
Tabla 49. Informe P2-4A1-E-8	78
Tabla 50. Informe P2-5A1-E-8	79
Tabla 51. Reporte de ensayo de dureza de acero ASTM A572 Gr 50 de 6 mm de espesor.....	81
Tabla 52. Reporte de ensayo de dureza de acero ASTM A572 Gr 50 de 8 mm de espesor.....	82
Tabla 53. Reporte de ensayo de dureza de perfil estructural tipo "UV" de 6 mm de espesor.....	83
Tabla 54. Reporte de ensayo de dureza de perfil estructural tipo "UV" de 8 mm de espesor.....	84
Tabla 55. Reporte de ensayo de micrografía acero ASTM A572 Gr 50 de 6mm de espesor.....	86
Tabla 56. Reporte de ensayo de micrografía acero ASTM A572 Gr50 de 8mm de espesor.....	88
Tabla 57. Reporte de ensayo de micrografía sección curva perfil estructural tipo "UV" de 6mm de espesor	90
Tabla 58. Reporte de ensayo de micrografía sección curva perfil estructural tipo "UV" de 6mm de espesor	92
Tabla 59. Reporte de ensayo de micrografía sección curva perfil estructural tipo "UV" de 8mm de espesor	95
Tabla 60. Reporte de ensayo de micrografía sección curva perfil estructural tipo "UV" de 8mm de espesor	97
Tabla 61. Módulos de elasticidad promediados y localización 6 mm	104
Tabla 62 Módulos de elasticidad promediados y localización 8 mm	106
Tabla 63. Análisis de datos de dureza Perfil estructural tipo "UV" de 6 mm de espesor sección interior y acero ASTM A572 Gr50 virgen de 6mm de espesor	110
Tabla 64. Análisis de datos de dureza Perfil estructural tipo "UV" de 6 mm de espesor sección exterior y acero ASTM A572 Gr50 virgen de 6mm de espesor	112
Tabla 65. Comparación de datos de tamaño de grano	114

Tabla 66. Correlación de Spearman H1 con espesor de 8 mm.	117
Tabla 67. Prueba de TStudents para muestra única	119

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Perfilado de sección (1) rodillos rectos, (2) forma parcial y (3) forma final [17].	6
Figura 2. Inicio de conformado y estiramiento [17]	7
Figura 3. Etapas del conformado por plegadora	7
Figura 4. Comparación de curva esfuerzo-deformación ingenieril y curva esfuerzo-deformación real [18]	11
Figura 5. Diversos aceros estructurales de alta resistencia, curvas típicas de tensión-deformación [22]	11
Figura 6. Extensión de la propiedad del material de las esquinas a las partes planas [23]	12
Figura 7. Flujograma ensayo de tensión	20
Figura 8. Flujograma identificación tamaño de grano	21
Figura 9. Flujograma ensayo de dureza	22
Figura 10. Configuración de la máquina Durma-DU600 para el doblado de placas de acero ASTM A572 DE 6 mm y 8 mm	23
Figura 11. Dimensiones del perfil tipo "UV" para espesor de 6 mm	24
Figura 12. Dimensiones de probetas para ensayos a tracción norma ASTM E8/E8M-13 [25]	25
Figura 13. Dimensiones de probeta para ensayo a tracción	25
Figura 14. Distribución y codificación ejemplo de probeta	26
Figura 15. Configuración establecida por la maquia MACH 2 de 203lb para el corte por chorro de agua	29
Figura 16. Proceso de corte por chorro de agua	29
Figura 17. Comparación probeta plana y curva 6 mm a) 6mm b) 8mm	100
Figura 18. Comparación probeta plana con todas las probetas curvas 6 mm	102
Figura 19. Comparación probeta plana con todas las curvas 8 mm	103

Figura 20. Módulo de elasticidad en todo el perfil 6 mm	104
Figura 21. Promedio módulo de elasticidad de cinco puntos clave 6 mm.....	105
Figura 22. Módulo de elasticidad en todo el perfil 8 mm	105
Figura 23. Promedio módulo de elasticidad de cinco puntos clave 8 mm.....	106
Figura 24. Curva ingenieril vs verdadera 6 mm.....	107
Figura 25. Curva ingenieril vs verdadera 8 mm.....	107
Figura 26. Esfuerzo de Fluencia MPa de 6 mm	108
Figura 27. Esfuerzo de Fluencia MPa de 8 mm	109
Figura 28. Demostración de 1.6t para cada espesor a) 6mm b) 8mm.....	113
Figura 29. Validación de H1	116
Figura 30. Validación de H2	118
Figura 31. Validación de H3	120

RESUMEN EJECUTIVO

Existe una deficiencia notable en los datos y análisis precisos en lo que refieren a los perfiles estructurales de pared gruesa, en particular las de la sección transversal UV. Hay estudios sobre aceros conformados en frío de pared delgada, existe una laguna de conocimiento de la ingeniería estructural por la falta de estudios realizados en el entorno de las paredes gruesas y la falta de modelos de materiales diseñados específicamente para secciones transversales UV conformadas en frío usando acero A572. El trabajo experimental partió utilizando el proceso de conformado en frío de un perfil estructural de sección transversal UV de acero ASTM A572 gr 50 de espesores de 6 mm y 8 mm, el cual mediante corte por chorro de agua se extrajeron probetas normalizadas, para realizar ensayos de tracción, micrografía y dureza, los cuales son realizados bajo normas ASTM E8, ASTM E112, ASTM E18 respectivamente. Se recolectaron datos de cada ensayo y se analizó el comportamiento mecánico del mismo, se realizaron diversas comparaciones entre resultados de probetas curvas y probetas planas de cada espesor, logrando así identificar las variaciones en sus propiedades mecánicas. Las pruebas de dureza nos indica la zona de afectación siendo esta 1.6t, además de la afectación del proceso de conformado en frío. Como resultado las pruebas realizadas arrojaron datos sobre el comportamiento microestructural que sufre el acero ASTM A572 en el proceso de conformado en frío, así como sus propiedades mecánicas, que serán de utilidad para el sustento de informes técnicos.

Palabras claves: Tensión, Deformación, Modulo de elasticidad, UV, Esfuerzo de fluencia, Dureza, Micrografía, ASTM.

ABSTRACT

There is a notable deficiency in accurate data and analysis concerning thick-walled structural sections, particularly those of the UV cross-section. There are studies on thin-walled cold-formed steels, there is a gap in structural engineering knowledge due to the lack of studies performed in the thick-walled environment and the lack of material models specifically designed for cold-formed UV cross-sections using A572 steel. The experimental work started using the cold forming process of a structural profile of UV cross section of ASTM A572 gr 50 steel with thicknesses of 6 mm and 8 mm, which by water jet cutting, standardized specimens were extracted to perform tensile, micrographic and hardness tests, which are performed under ASTM E8, ASTM E112, ASTM E18 standards, respectively. Data were collected from each test and their mechanical behavior was analyzed. Several comparisons were made between the results of curved specimens and flat specimens of each thickness, thus identifying the variations in their mechanical properties. The hardness tests indicate the zone of affectation being 1.6t, in addition to the affectation of the cold forming process. As a result, the tests performed yielded data on the microstructural behavior of ASTM A572 steel in the cold forming process, as well as its mechanical properties, which will be useful for the support of technical reports.

Keywords: Tension, Deformation, Modulus of elasticity, UV, Yield stress, Hardness, Micrography, ASTM.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1. Antecedentes Investigativos

El método de conformado en frío ha sido utilizado a nivel mundial y usado en la industria de la construcción civil y mecánica. La maquinaria manejada se basa en el uso de rodillos los cuales conforman paulatinamente hasta llegar a la forma deseada hablando de formas sencillas, con formas complejas como el caso de perfiles UV llega a manejar conjuntos de rodillos, esto influye en su tiempo de preparación y conformado [1].

Según X. Fu *et al* [2], refieren que, los efectos que tiene el conformado en frío en paredes gruesas llegando a determinar la relación entre la altura y el espesor (h/t) en placas conformadas en frío ejerce una influencia significativa en la forma de la curva que describe la relación entre la tensión y la deformación. Cuando la relación altura/espesor (h/t) es baja, la curva de tensión-deformación disminuye gradualmente después de alcanzar la carga máxima y muestra una buena ductilidad. Por otro lado, cuando la relación altura/espesor (h/t) es alta, el pandeo local puede afectar negativamente la capacidad de carga del material y el elemento estructural tiende a mostrar una ductilidad deficiente.

El comportamiento de los perfiles conformados en frío de paredes extremadamente gruesas brinda resultados claros en temas como propiedades del material y mecánicas de este. Las propiedades de éstos sufren un cambio claro debido al tipo de componentes a los que son sometidos, sin embargo, son más uniformes que los pilares conformados en frío con chapas de acero. De igual manera, es evidente que, su ductilidad disminuye de manera consistente, así como, su límite elástico no es del todo claro [3].

Mediante el uso de expresiones predictivas, se puede desarrollar parámetros claves para la determinación de curvas de tensión-deformación. Se determine que para aceros conformados en frío la curva tensión-deformación se la puede establecer mediante el

límite elástico, analizando las curvas logradas se gana concordancia con los resultados de ensayos dando así pauta con los resultados obtenidos para su uso en diseños por medio de análisis computacional avanzado y estudios paramétricos [4].

Un ejemplo práctico se evidencia en perfiles conformados en frío que fueron analizados en el Distrito Metropolitano de Quito (DMQ). Las propiedades mecánicas de los aceros conformados en frío son diferentes antes de ser conformados. Esto se debe a que el conformado en frío incrementa el límite de elasticidad y resistencia a la tracción y al mismo tiempo se reduce la ductilidad. Las propiedades mecánicas son distintas en las diferentes secciones del elemento, porque constan con secciones deformadas y partes planas sin deformar. La única falencia que tienen los perfiles conformados en frío en el DMQ son debido a parámetros geométricos, según la norma NEC 1623. La principal falencia debilidad se encuentra en su forma de fabricación, al usar perfiles conformados en frío en base a planchas laminadas en caliente [5].

1.2. Justificación

En el año 1950, se emitió la primera regulación por parte del Instituto Americano del Hierro y el Acero (AISI), lo que marcó el comienzo de la aplicación del acero conformado en frío en el campo de la ingeniería estructural [6]. Los avances significativos de este método influyeron en su proceso de fabricación, en donde, implica el plegado de láminas por medio de rodillos metálicos que ejercen presión, curvando la plancha y obteniendo los ángulos deseados [7]. El uso de sistemas de dobladoras hidráulica se ha implementado por las facilidades que otorga al momento de producir dobleces de perfiles de pared delgada que requieran precisión [8].

Los elementos fabricados con acero conformado en frío constituyen los principales componentes de construcción de acero livianos y son ampliamente utilizados en todo el mundo. [7] Estos perfiles presentan espesores que van desde 0,4 mm hasta 3,0 mm y resistencias que oscilan entre 200 MPa y 1000 MPa [9]. Es evidente que, en la actualidad hay una tendencia creciente a utilizar secciones con perfiles de acero conformado en frío de paredes delgadas que se pueden utilizar como estructuras portantes y cerchas ligeras de acero [10]. En el caso de la pared delgada, se ha

estudiado su comportamiento y resistencias con espesores menores a 6 mm., cuidando un aumento significativo en del límite elástico en el perfil y alrededor de las esquinas de los mismos [11].

El material predominante en investigaciones para perfiles conformados en frío presenta un límite elástico de 235 MPa [12], siendo este acero ASTM A572 ha ido ganando espacio en la construcción, debido a sus propiedades mecánicas superiores y sobre todo por la resistencia a la corrosión atmosférica [13]. Sin embargo, es notorio que hasta la fecha no se cuenta con información actualizada, y su experimentación ha sido escasa; al revisar referentes se encuentra investigaciones relacionadas con el acero A36, más no, en el A572; no obstante, el análisis de estos materiales mediante elementos finitos ha logrado determinar resultados más exactos como resistencia al límite elástico y las curvas carga-desplazamiento [14].

Según la información investigada, se han llevado a cabo investigaciones sobre aceros conformados en frío para paredes delgadas. Sin embargo, existe poca información disponible sobre aceros conformados en frío y de para paredes gruesas. Además, no se han realizado estudios específicos sobre secciones transversales de perfiles tipo UV de pared gruesa en este contexto. Con base en la escasa información para obtener un modelo de material para perfiles conformados en frío de sección transversal tipo UV de acero A572.

1.3.Objetivos

1.3.1. Objetivo General

- Obtener un modelo de material para perfiles conformados en frío de sección transversal UV de acero A572 para espesores de 6 mm y 8 mm.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Construir las probetas y realizar ensayos de tracción para obtener la curva característica del material para espesores de 6 mm y 8 mm.

- Realizar ensayos de dureza para determinar la dureza por el proceso de conformado en frío.
- Recopilar imágenes de micrografías de la sección transversal para analizar la microestructura de los granos después del proceso de conformado en frío.

1.4.Fundamentación Teórica

1.4.1. Conformado en frío

El proceso de conformado en los aceros. Es un conjunto de operaciones y técnicas que tienen por objetivo producir componentes metálicos con formas complejas y precisas. Este tipo de operación se puede llevar a cabo de manera fría o caliente, dependiendo de la temperatura de trabajo se encuentre en superior o inferior a la temperatura de recristalización.

En el conformado en frío el proceso lleva a cabo con una temperatura inferior a la de recristalización, la cual es la temperatura para este material. Esto significa que a estas temperaturas no aparecerán nuevas microestructuras de granos que sustituirán a los granos que aparecen a causa de la deformación del acero. Con esto no se puede decir que es incorrecto la utilización de energía térmica junto a la mecánica. Basta con que no se altere la microestructura cristalina del acero. [15]

Temperatura del conformado en frío:

$$T < 0.35 T_f (K)$$

Debido a que se somete al acero a esfuerzos superiores a su valor de resistencia de fluencia, generando, desplazamientos en la estructura interna del material lo que da como respuesta una acción en la deformación plástica. Sin embargo, la diferente orientación de los granos provoca que éstos no se encuentren en una posición favorable a la deformación, por lo que, para aumentar la deformación se deberá llevar al material a una mayor tensión crítica aumentando los esfuerzos implicados para poder seguir el proceso de deformación.

En conclusión, cuanto mayor sea la deformación a obtener mayor será la fuerza que estará implicada en el proceso, esta deformación provoca el conformado en frío. A este fenómeno lo conocemos con endurecimiento por deformación en frío cambiando sus propiedades mecánicas.

Dado las bajas temperaturas de conformado, las diferentes orientaciones de los cristales y la reducida movilidad microestructural, causan que no exista homogeneidad en la resistencia en diferentes secciones del acero conformado en frío, modificando las propiedades mecánicas; así como el desequilibrio de estas resistencias que causa macro tensiones o tensiones de Heyn. Dentro de los principales efectos de las tensiones de Heyn son problemas con procesos de maquinado, causan esfuerzos superficiales que aumentan la sensibilidad a entallas rebajando la resistencia a la fatiga y siendo susceptibles a corrosión [15].

Al desarrollar los procesos de conformado en frío, se obtienen elementos estructurales, que son utilizados en construcciones como sistemas de cubiertas, sistemas compuestos forjados por lo cual el estudio más enfocado en sus características mecánicas es de suma importancia.

Las secciones del acero conformado en frío se dividen en secciones dobladas y secciones planas y esto causa que estas diferentes secciones posean diferentes límites elásticos incluyendo las zonas de las esquinas que poseen un límite elástico más alto que la zona plana [16].

1.4.2. Obtención de perfiles estructurales

Laminado en caliente

Se denomina laminado en caliente al proceso por el cual pasa el acero por rodillos contrarios a temperaturas de 1700 °F o 930 °C, donde sobrepasamos la temperatura de cristalización de la mayoría de los aceros, logrando así maleabilidad en el material. Con este proceso se logra la reducción de espesores del acero y la obtención de perfiles de distintas formas. Se logra gran resistencia en el acero sin embargo las tolerancias alcanzadas con el proceso no son las más exactas [15].

Laminado en frío

El proceso de laminado en frío parte del laminado en caliente con varios procesos complementarios. Cuando se enfría el laminado en caliente se relamina, con este paso complementario se logra tolerancias más aceptables y mejor acabado superficial. El laminado en frío otorga mayor dureza y fuerza en comparación al proceso de laminado en caliente. Para ser llamado “laminado en frío” estrictamente debe pasar por rodillos. Conforme se moldea el metal, se reduce su temperatura, experimenta un proceso de endurecimiento. En este proceso, la resistencia a la tracción y la resistencia a la deformación aumentan debido al endurecimiento mecánico [15].

Perfilado con rodillos de contornos

El curvado con rodillos es una operación muy utilizada para curvar formas estructurales, miembros de tanques de almacenamiento, etc. El curvado con rodillos utiliza rodillos opuestos con los cuales se producen secciones largas de diversas formas a partir de chapa metálica. Es necesaria la utilización de varios rodillos para lograr la forma deseada debido a que se lo realiza de manera paulatina. Este proceso se puede llegar a confundir con laminado, su gran diferencia radica en el proceso, se dobla la pieza más no se comprime [17].

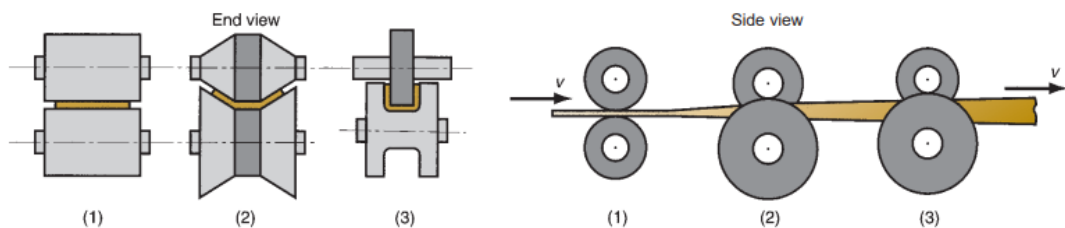


Figura 1. Perfilado de sección (1) rodillos rectos, (2) forma parcial y (3) forma final [17].

Conformado por estirado

Proceso en el cual doblamos y estiramos al mismo tiempo chapa metálica dando como resultado las formas requeridas. Está constituido por una matriz positiva la cual tiene la forma deseada, la chapa se sujeta con mordazas en sus extremos. Se somete a la

chapa a deformación hasta pasar su límite elástico es decir deformación plástica. Gracias a este proceso logramos obtener formas geométricamente complejas [17].

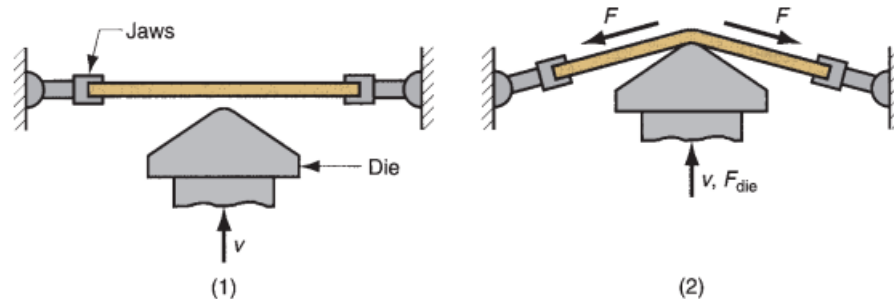


Figura 2. Inicio de conformado y estiramiento [17]

Conformado por plegadora hidráulica

El proceso de plegado en placas metálicas, al igual que los demás procesos de conformado metálico utiliza el conformado por deformación plástica. Es decir que para llegar al doblado de la placa metálica es necesario sobrepasar el límite elástico del material metálico. Este proceso se lleva a cabo mediante la utilización de una plegadora metálica.

La máquina dobladora de metal utiliza una serie de herramientas, como matrices y punzones, para doblar la placa metálica. La pieza de metal se coloca entre el punzón de doblado y la mesa de sujeción posteriormente la máquina aplica fuerza para doblar el material a lo largo de la línea deseada. La plegadora puede tener distintas capacidades y funciones según el tamaño y el grosor del metal que se vaya a procesar [18].

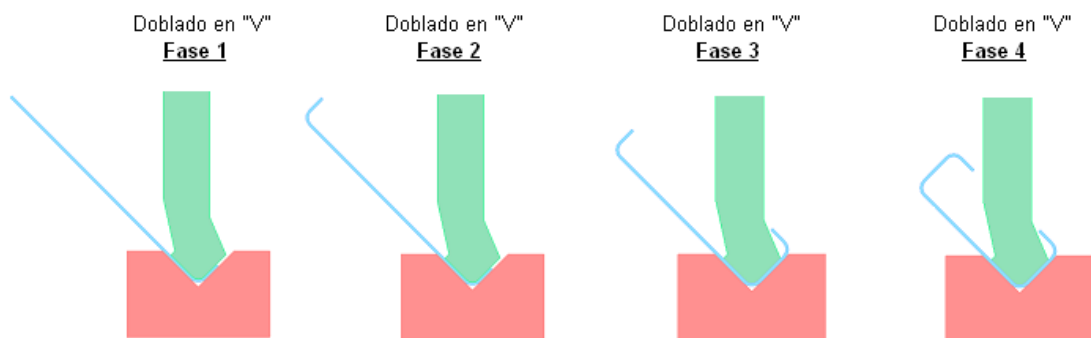


Figura 3. Etapas del conformado por plegadora [18]

1.4.3. Acritud

Es un defecto adquirido por el proceso de conformado en frío, se lo llama también estructura “agria”, se caracteriza por tener granos largos en el sentido en el cual se deforma. Al momento de aumentar el grado de deformación aumenta el número de dislocaciones existentes, lo que aumenta la energía de deformación del acero. Esto implica varios cambios en las propiedades como son: mayor resistencia y dureza y menor alargamiento y resiliencia. Así mismo este efecto otorga anisotropía al acero, logrando que las propiedades en el sentido transversal sean inferiores a las longitudinales de deformación. [19]

1.4.4. Curva esfuerzo deformación

La curva esfuerzo- deformación es una representación gráfica que permite tener una visión y comprensión del comportamiento de los metales cuando son sometidos a cargas o fuerzas externas que provoquen deformaciones. Este diagrama nos dará valores numéricos que representaran información en el comportamiento elástico del material y llegando a valores del punto de fluencia del material hasta su fractura final.

El esfuerzo o tensión se refiere al valor de la fuerza aplicada por unidad de área del material. Se los representa con unidades de presión en el diagrama de esfuerzo- deformación se encuentra en el eje de las ordenadas (y).

La deformación es el modelo de cambio de forma o tamaño de un material cuando es sometido a una carga. Esta deformación unitaria que representa el cambio de longitud o volumen a las dimensiones originales del material, generalmente son adimensionales y se encuentran en el diagrama esfuerzo- deformación en el eje de las abscisas (x)

En la parte inicial del diagrama esfuerzo-deformación, el material presenta una fase de comportamiento elástico. Esto quiere decir que al aplicar una carga en forma de fuerza el material se deforma de manera proporcional a la fuerza aplicada y al retirar el esfuerzo de la carga el material vuelve a su forma original sin que haya sufrido deformaciones permanentes. La pendiente de esta región plástica es conocida como el módulo de Young.

Posterior a la región elástica del material, los materiales alcanzan un estado denominado punto de fluencia en el cual el material comenzara a presentar deformaciones plásticas permanentes inclusive bajo la aplicación de cargas más bajas. El punto de fluencia se lo usa para determinar la resistencia final del material.

Finalmente a medida que se aplique esfuerzo cada vez crecientes el material presentara un comportamiento en el cual alcanza un punto de ruptura en el cual la fractura del material será completa [20].

1.4.5. Predicción Curva esfuerzo deformación

Las normas AISI especifican métodos predictivos de cálculos del límite elástico de la sección completa de un material metálico teniendo en cuenta los procesos de conformado en frío, aunque las normas AISI limitan el límite elástico a valores < 500 MPa y el espesor de la sección a $< 25,4$ mm, la relación entre el radio y la esquina interior y el espesor es de $< .7$. El límite elástico en la esquina puede aumentar en un $< 50\%$ esto debido al efecto del conformado en frío en el material.

Según el estudio el método de cálculo del límite elástico de la sección completa del material y el método de cálculo del límite elástico de las esquinas teniendo en cuenta el efecto del conformado en frío.

Para predecir el límite elástico en un material con cierta exactitud investigadores han propuesto formulas empíricas. Que han sido adoptadas por AISI y normativas internacionales. En el cual se han tenido en cuenta factores que influyen como espesores y geometrías. Añadiendo estudios de modelos de materiales con formulaciones en elementos finitos y esquemas de integración, Obteniendo modelos de materiales Ramberg-Osgood [16].

1.4.6. Relación curva esfuerzo-deformación ingenieril vs curva esfuerzo-deformación verdadero

La curva esfuerzo deformación ingenieril se basa en las medidas relativas de deformación, es decir se basa en el cambio de longitud original del material al ser sometido a una carga.

En esta curva, el esfuerzo (fuerza por unidad de área) se representa en el eje vertical y la longitud de deformación se representa en el eje horizontal. En esta curva se asume que la longitud de material se alarga uniformemente a medida que se aplica una carga y no se tiene en cuenta el efecto de la variación de la sección transversal del material a medida que se deforma.

La curva esfuerzo-deformación real es una curva que se mide en medidas absolutas de deformación. La deformación se mide usando un extensómetro o mediante las distancias directas en los puntos extremos del material. Esta curva esfuerzo-deformación real analiza la variación de la sección transversal del material a medida que se deforma, por lo que resulta ser más precisa en situaciones en las que la deformación no es uniforme.

La principal diferencia entre estas dos curvas radica en las maneras de medir las deformaciones. La curva de esfuerzo-deformación ingenieril tiene un análisis mucho más profundo y se utiliza comúnmente en aplicaciones de ingeniería, pero puede subestimar la verdadera deformación en situaciones de deformación no uniforme o en materiales muy elásticos. La curva de esfuerzo-deformación real proporciona una representación más precisa de la respuesta del material a la carga y es especialmente importante en situaciones críticas donde se requiere una alta precisión en el análisis de tensiones y deformaciones [21].

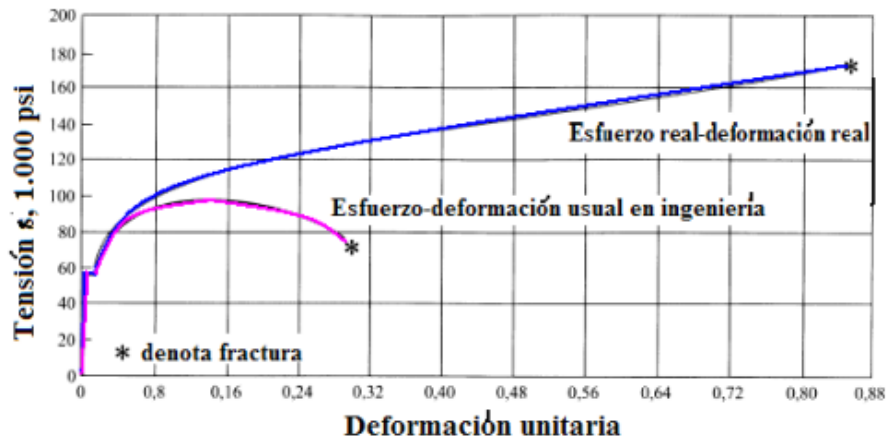


Figura 4. Comparación de curva esfuerzo-deformación ingenieril y curva esfuerzo-deformación real [18]

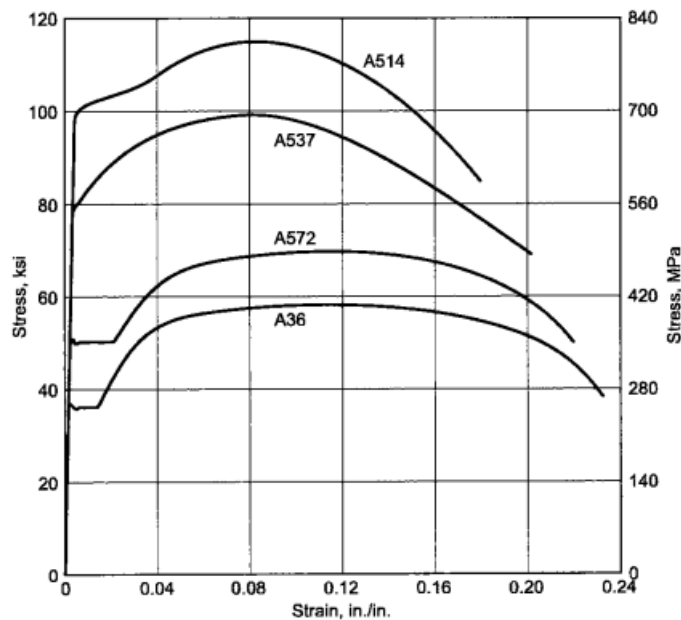


Figura 5. Diversos aceros estructurales de alta resistencia, curvas típicas de tensión-deformación [22]

1.4.7. Modelo de 2t para comparar resistencia del conformado en frío

En la Figura 6, se aprecia la división que se genera en la esquina de un perfil, en su zona plana y su zona curva, donde, se extiende desde la zona curva, y se utilizan fórmulas simplificadas para el cálculo en la zona plana. Chang [16] en su investigación describe la formula simplificada, la cual es aceptada por AISI, normas australianas y euro código, visualizando como resultado una zona curva de la flexión que se ejerce para conformar el perfil.

Es recomendable, usar una longitud de extensión de la esquina de $2t$ medidos a partir del ensayo a la probeta completa, donde t es el espesor de la sección en mm, siendo este el lugar donde podemos percibir cambios significativos, como la mejora del límite elástico en la zona curva y cerca de la misma. Mediante estudios por elementos finitos se determinó el uso de t , $2t$ y $3t$ los cuales proporcionan resultados similares con una media de diferencia del 4% usado en secciones tubulares de acero de alta resistencia conformados en frío [23].

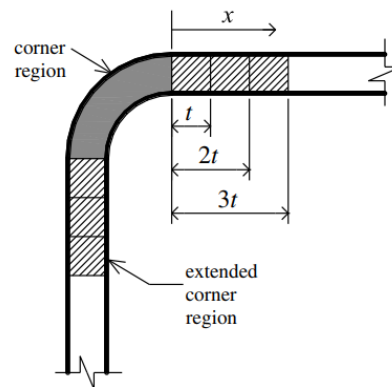


Figura 6. Extensión de la propiedad del material de las esquinas a las partes planas [23]

1.4.8. Norma ASTM “Métodos de ensayo normalizados para pruebas de tracción de materiales metálicos Designación E8/E8M-13a”

La Sociedad Estadounidense para pruebas y materiales (ASTM), es un líder mundialmente reconocido en el desarrollo y aplicación de normas de consenso voluntario. Hoy en día, más de 12.500 normas ASTM se utilizan en todo el mundo para mejorar la calidad de los productos, mejorar la salud y la seguridad, fortalecer el acceso a los mercados y el comercio, y fomentar la confianza de los consumidores [24].

Estos métodos de ensayo cubren los ensayos de tracción de materiales metálicos en cualquiera de sus formas a temperatura ambiente, en particular, los métodos de determinación del límite elástico, el alargamiento, resistencia a la tracción, alargamiento y reducción de área.

Las longitudes de calibre para la mayoría de las probetas redondas deben ser 4D para E8 y 5D para E8M, esta longitud representa la diferencia más significativa entre las probetas E8 y E8M. Las probetas fabricadas con materiales pulvimetalúrgicos (P/M) están exentas de este requisito por acuerdo de toda la industria para mantener el prensado del material a un área proyectada y densidad específicas.

Se consideró que la temperatura ambiente es de 10 a 38°C [50 a 100°F] a menos que se especifique lo contrario. Los valores indicados en unidades SI deben considerarse como independientes de las unidades pulgada/libra. Los valores indicados en cada uno son equivalentes exactos, por lo que cada sistema debe utilizarse independientemente del otro. La combinación de valores de los dos sistemas puede dar lugar a la no conformidad con la norma [25].

1.4.9. Norma ASTM “Métodos de ensayo normalizados para la dureza Brinell de materiales metálicos designación E10-18”

El ensayo de dureza Brinell es un ensayo de dureza por indentación que puede proporcionar información útil sobre los materiales metálicos. Esta información puede correlacionarse con la resistencia a la tracción, la resistencia al desgaste, la ductilidad u otras características físicas de los materiales metálicos. y puede ser útil en el control de calidad y la selección de materiales.

Esta norma proporciona los requisitos para una máquina de ensayo Brinell y los procedimientos para realizar ensayos de dureza Brinell. Este método de ensayo incluye requisitos para el uso de máquinas de prueba portátiles de la dureza de Brinell.

Los ensayos de dureza Brinell se consideran satisfactorios para prueba de la aceptación de envíos comerciales, y se han utilizado extensivamente en industria para este propósito. El ensayo de dureza Brinell en un lugar específico de una pieza puede no representar las características físicas de toda la pieza o del producto final.

El penetrador se pone en contacto con la probeta en dirección perpendicular a la superficie y se aplica la fuerza de ensayo F. se aplica la fuerza de prueba F. La fuerza de ensayo se mantiene durante un y luego se retira [26].

1.4.10. Norma ASTM “Métodos de ensayo normalizados para determinar la granulometría media designación E112 - 12”

Cuando se trata de análisis metalográficos, la observación y evaluación de la microestructura de un material resulta fundamental para adquirir un entendimiento de algunas de sus características mecánicas claves. No obstante, para determinar el tamaño de grano y la presencia de inclusiones, es necesario seguir un conjunto de procedimientos que se encuentran establecidos en normativas, como las especificaciones ASTM [27].

Estos procedimientos de análisis, se centran en la medición del tamaño promedio de grano que se incluye en el método de comparación, método planimétrico (también conocido como método de Jeffries) y los métodos de intercepción. Estas técnicas de ensayo pueden extenderse a materiales no metálicos con estructuras que se asemejen a las que se observan en las estructuras metálicas descritas en las tablas de comparación. Aunque estos métodos se utilizan principalmente en muestras con estructuras de grano monofásico, también pueden aplicarse para determinar el tamaño promedio de un tipo específico de estructura de grano en una muestra que posea múltiples fases o constituyentes.

Estos procedimientos de análisis se enfocan exclusivamente en la determinación de la granulometría bidimensional, es decir, la descripción de las secciones de grano que son reveladas por el corte o seccionamiento del material en un plano. Sin embargo, es importante destacar que la medición de la granulometría tridimensional, que implica la caracterización de los granos en su totalidad dentro del volumen de la muestra, no se encuentra dentro del ámbito de aplicación de estos métodos de ensayo. Los valores medidos se expresan en unidades SI, que se consideran estándar. Los valores equivalentes en libras-pulgada, cuando se indican entre paréntesis y pueden ser aproximados [28].

Estos procedimientos de análisis se basan en técnicas manuales que implican el uso de estándares de imágenes con gráficos graduados o plantillas sencillas para llevar a cabo el conteo manual. Para realizar la medición de la granulometría en aceros hsla al ser

una aleación se recomienda usar una magnificación básica de 100 X y con plates del I al II [28].

1.4.11. Material

Los aceros de baja aleación y alta resistencia presentan propiedades mecánicas superiores y, en algunos casos, una mayor resistencia a la corrosión atmosférica en comparación con los aceros estructurales convencionales de carbono. En la producción de estos aceros de alta resistencia y baja aleación (HSLA), el énfasis suele estar en cumplir los requisitos de propiedades mecánicas en lugar de los límites de composición química. Es importante destacar que, a diferencia de los aceros aleados, como se definen en los manuales de productos de acero del Instituto Americano del Hierro y el Acero (AISI), los aceros HSLA no se consideran aceros con alto contenido de aleación [29].

Tabla 1. Composición acero ASTM A572 G50 [29]

Especificación ASTM	Grado o Tipo	Composición %											
		C	Mn	P	S	Si	Cr	Ni	Mo	Cu	V	Nb	Otros
		50	0.23	1.35	0.04	0.05	0.40	0.25	0.40	0.08	0.20	e	e

e = Para el tipo 1, 0,005-0,05% Nb; para el tipo 2, 0,01-0,15% V; para el tipo 3, 0,05% Nb máx. + V = (0,02-0,15%); para el tipo 4, N (con V) 0,015% máx.

Tabla 2. Propiedades mecánicas acero ASTM A572 G50 [30]

Propiedades mecánicas	
Resistencia última a la tracción	450 MPa
Resistencia al límite elástico	345 MPa
Dureza Rockwell B	74
Elongación a la ruptura	18% en 200 mm
Módulo de contante	160 Gpa
Módulo de masa	80.0 Gpa

CAPÍTULO II




METODOLOGÍA

2.1. Nivel de Investigación

El tipo de investigación a realizar es de carácter experimental. Este método investigativo permitió indagar a profundidad los datos arrojados por los ensayos mecánicos.

2.2. Materiales y Recursos

Tabla 3. Tabla de equipo utilizado

Equipos		
Equipo	Detalle	Descripción
Máquina de corte (Durma - SB3013)		Máquina de corte por guillotina utilizada en la industria metalúrgica y de fabricación de láminas metálicas
Máquina de doblado (Durma - Du600)		Prensa plegadora utilizada en la industria de la metalurgia. Este tipo de máquina se utiliza para doblar y conformar láminas metálicas
Máquina de corte por chorro de agua MACH 2 de 203lb		Máquina utilizada en la industria del mecanizado para cortar una amplia variedad de materiales

		mediante el uso de un chorro de agua a alta presión.
--	--	--

Tabla 4. Equipo utilizado para ensayo de tracción



Ensayo de tracción (ASTM E-8)		
Equipo	Detalle	Descripción
Maquina Universal (WAW-600B)		Dispositivo diseñado para aplicar fuerzas de tensión a materiales o componentes con el fin de evaluar su resistencia y comportamiento bajo carga.
Probeta de ensayo		Dispositivo alargado y delgado que se utiliza en pruebas de materiales para medir la resistencia a la tracción de un material.

Tabla 5. Equipo utilizado para prueba de dureza
Prueba de dureza (ASTM E-18)



Equipo	Detalle	Descripción
Durómetro (HBRV187,5)		Es la máquina que aplica una carga constante contra la probeta ayudado con un penetrador de forma cónica
Indentador		Indentador de 0.098, puede ser de acero endurecido.

Tabla 6. Equipo utilizado para ensayo micrográfico
Ensayo Micrográfico

Equipo	Detalle	Descripción
Microscopio digital (RMM-1)		Dispositivo diseñado que utiliza tecnología digital para capturar y mostrar imágenes que no son apreciables a simple vista.

2.2.1. Material bibliográfico

Norma ASTM “Métodos de ensayo normalizados para pruebas de tracción de materiales metálicos Designación E8/E8M-13a.

Norma ASTM “Métodos de ensayo normalizados para determinar la granulometría media designación E112 - 12”.

Norma ASTM “Métodos de ensayo normalizados para la dureza Brinell de materiales metálicos designación E10-18”.

2.2.2. Recursos Humanos

Las personas a cargo del desarrollo del proyecto son los autores y docente tutor.

Christian Alexander Córdova Acosta	Estudiante
Danny Alejandro Muzo Chico	Estudiante
Ing. Francisco Agustín Peña Jordán, MSc., Mg.	Docente Tutor

2.2.3. Recursos Institucionales

Los recursos proporcionados por la Universidad Técnica Ambato son:

- Laboratorio de la carrera de Mecánica
- Biblioteca
- Repositorios

2.2.4. Flujogramas – Ensayos normados

2.2.4.1 Ensayo de tracción

Para la realización del ensayo de tracción se deberán cumplir los requerimientos establecidos por la norma ASTM E-8. Que describe el procedimiento estándar para realizar un ensayo de tracción en material metálico a temperatura ambiente.

Se deberá tener previamente preparada y calibrada la maquina universal según estipula la norma ASTM E-8, las probetas a ensayar deberán contar con su respectiva numeración [25].

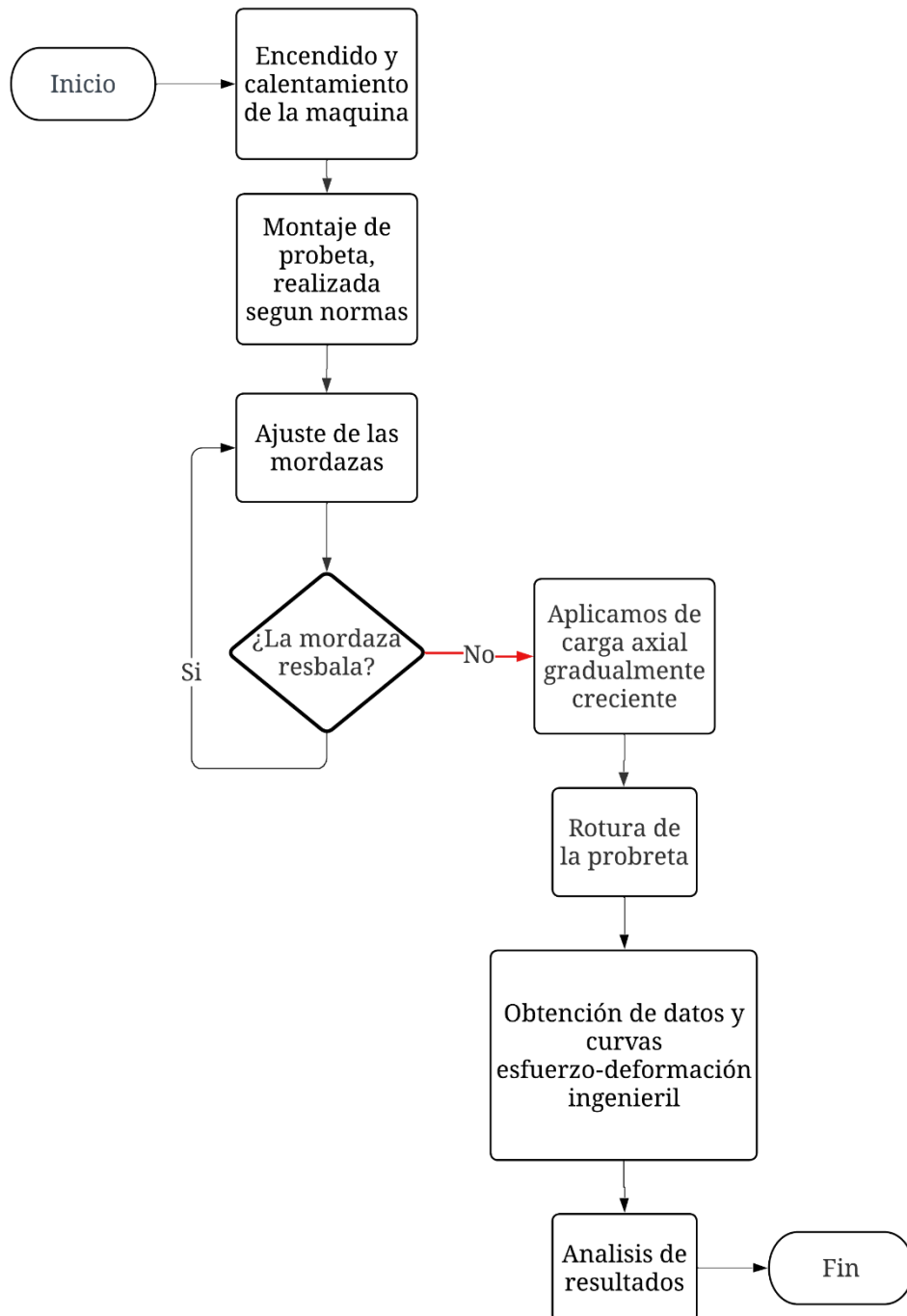


Figura 7. Flujograma ensayo de tensión

2.2.4.2 Micrografía

Para la identificación del tamaño de grano se toma de guía la norma ASTM E112-12, el cual cubre la medición de la granulometría media y procedimiento de comparación, pudiendo aplicarse tanto a metales como no metales.

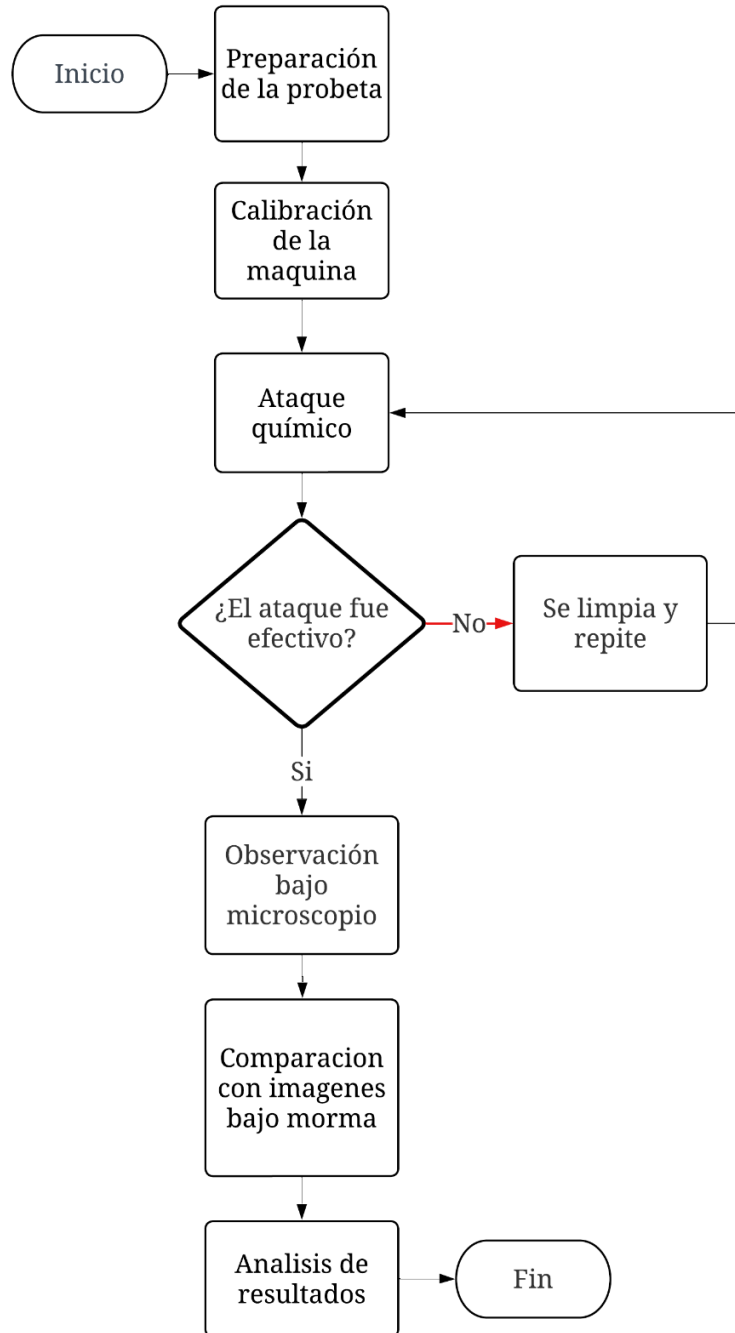


Figura 8. Flujograma identificación tamaño de grano

2.2.4.3 Prueba de dureza

La norma ASTM E10-18 "Método de prueba estándar para dureza Brinell superficial de materiales metálicos por el método de penetración" es la norma que nos permitirá determinar la dureza del perfil conformado en frío de sección transversal "UV"

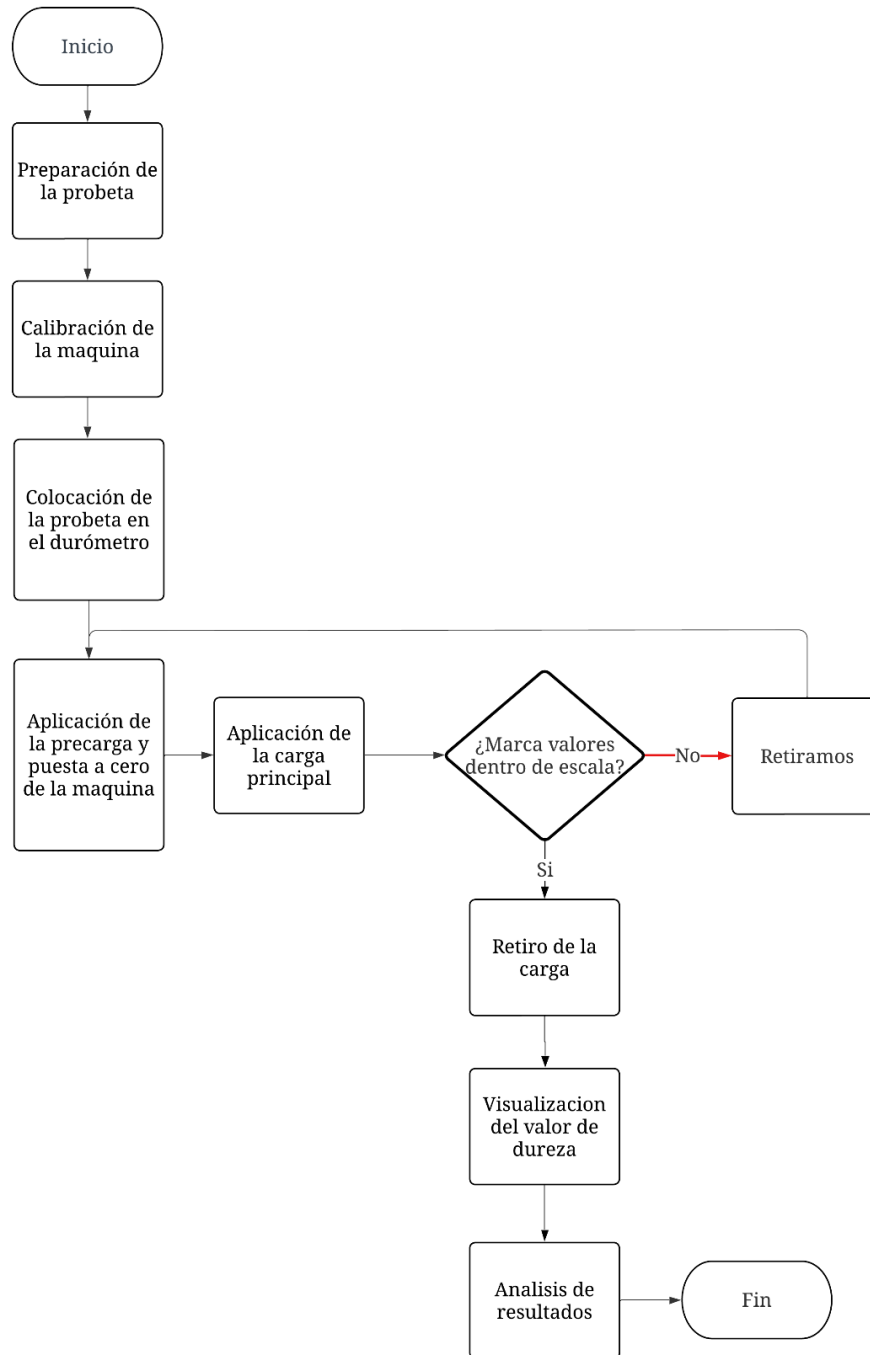


Figura 9. Flujograma ensayo de dureza

2.2.5 Métodos

2.2.5.1 Corte de la placa de Acero A572

Se realiza el corte de las placas de acero ASTM A 572 de 6mm y 8 mm para la obtención de las placas de acero con las dimensiones preestablecidas. Mediante el uso de la Máquina de corte (Durma-SB3013).

Plancha 1: (320 x 1160 x 6) mm

Plancha 2: (320 x 1160 x 8) mm

2.2.5.2 Proceso de conformado

El proceso de conformado de los perfiles tipo “UV” se los lleva a cabo mediante la utilización de la máquina de doblado (Durma–Du600).

La máquina (Durma–Du600) tiene preestablecidas configuración para la fuerza que se ejerce para procesos de doblado dependiendo los espesores del acero. Para t=6 mm y 8 mm tenemos que la fuerza de doblado es de 75 toneladas

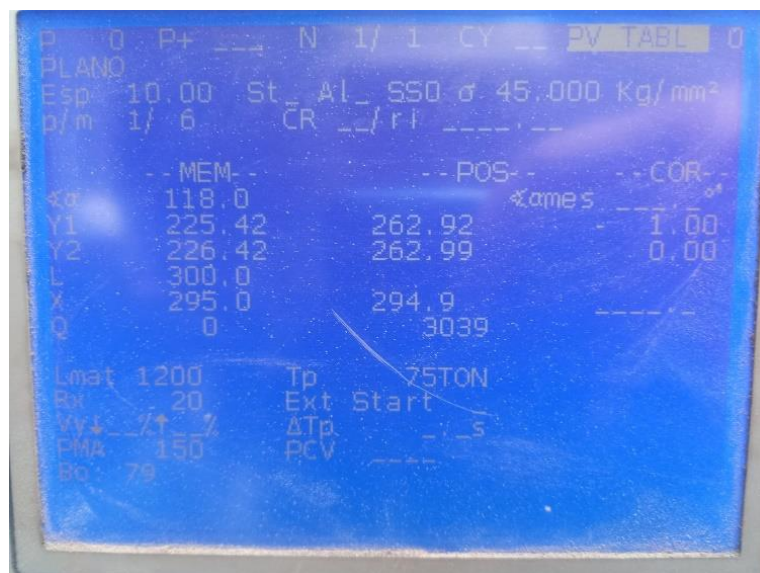


Figura 10. Configuración de la máquina Durma-DU600 para el doblado de placas de acero ASTM A572 DE 6 mm y 8 mm

En el proceso de conformado se deberá obtener el perfil estructural con las dimensiones y ángulos requeridos previamente como se muestra en la figura 11, donde $t = 6 \text{ mm}$ o 8 mm , según sea el caso.

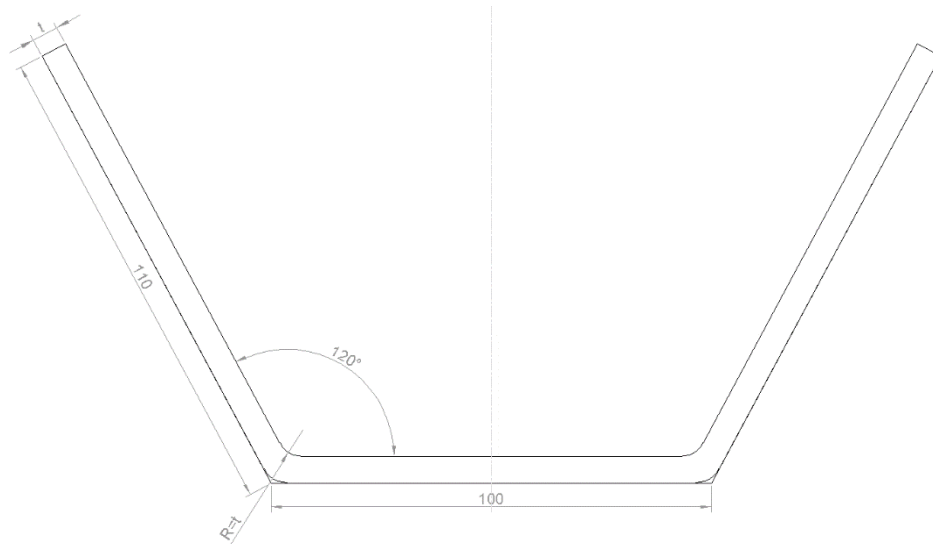


Figura 11. Dimensiones del perfil tipo "UV" para espesor de 6 mm

2.2.5.3 Probetas para ensayo de tracción

Para la elaboración de las probetas para el ensayo de tracción se utilizará las dimensiones dispuestas en la Norma ASTM "Métodos de ensayo normalizados para pruebas de tracción de materiales metálicos Designación E8/E8M-13a. Mismas dimensiones que se muestran en la Figura 12.

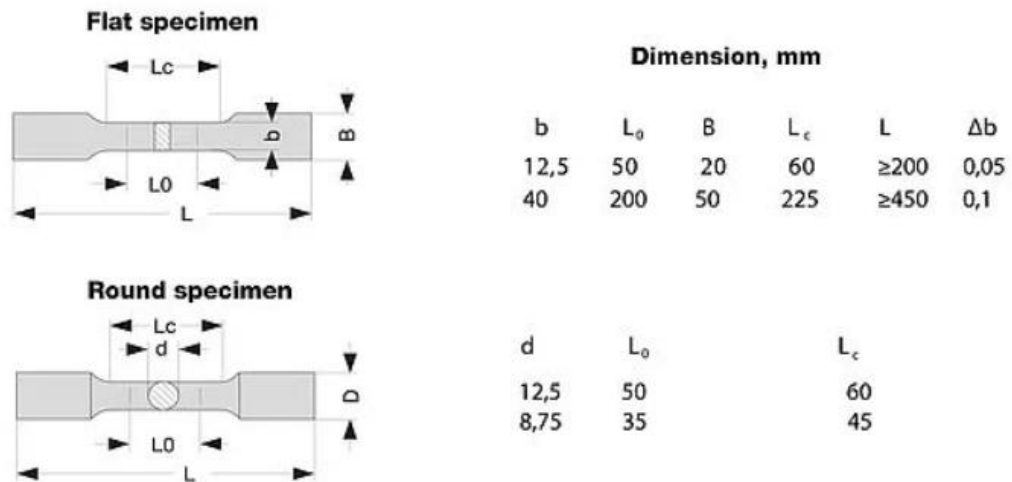


Figura 12. Dimensiones de probetas para ensayos a tracción norma ASTM E8/E8M-13 [25]

Mediante la utilización de la norma se llega a la conclusión de las dimensiones estipuladas en la Figura 13. Como las dimensiones standard en este análisis a usar para las probetas que se utilizan en el ensayo a tracción.

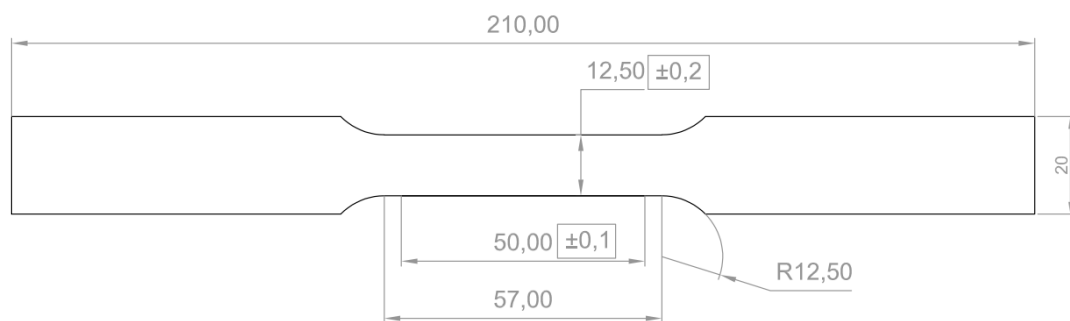


Figura 13. Dimensiones de probeta para ensayo a tracción

2.2.5.4 Distribución de probetas para el corte

Las probetas fueron distribuidas en función al tamaño del perfil, ya conformado en frío tomando en cuenta las tolerancias de la maquina y el diámetro del chorro el cual es de ± 0.5 mm.

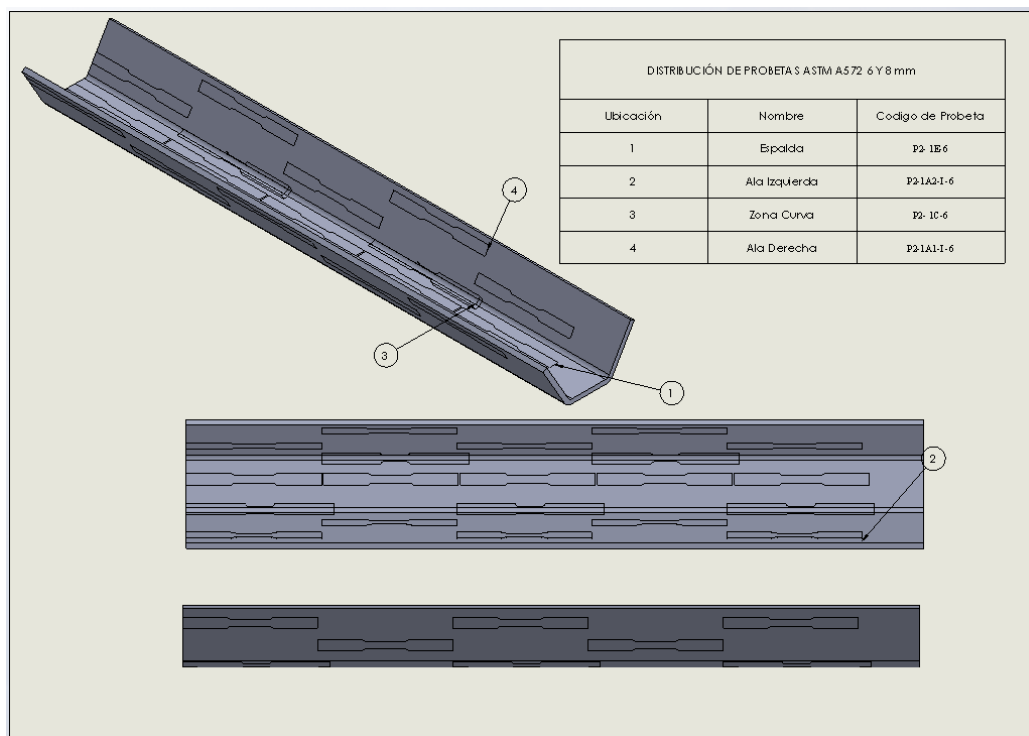


Figura 14. Distribución y codificación ejemplo de probeta

2.2.5.5 Identificación de probetas para ensayo a tracción

Las probetas al ser cortadas serán identificadas por una codificación para poder posteriormente identificar a la sección del perfil a al cual pertenecen. Serán codificadas de la siguiente manera:

Tabla 7. Simbología para la codificación de probetas

Nombre	Sigla
Probeta	P
Acero ASTM A572	2
Área de la espalda	E
Área del ala (derecha)	A1
Área del ala (izquierda)	A2
Área curva	C
Parte externa	E
Parte Interna	I

Tabla 8. Ejemplo de codificación de probetas

Codificación	Significado
P2- 1E-6	Probeta número 1 de acero ASTM A572 área de la espalda de espesor de 6 mm
P2- 1C-6	Probeta número 1 de acero ASTM A572 área curva de espesor de 6 mm
P2-1A1-I -6	Probeta número 1 de acero ASTM A572 área del ala derecha sección interna de espesor de 6mm

Mediante este proceso obtenemos las codificaciones de las 40 probetas quedando de la siguiente manera.

Tabla 9. Codificación de probetas para espesor de 6mm

Perfil de acero ASTM a572 – 6mm	
1	P2-1E-6
2	P2-2E-6
3	P2-3E-6
4	P2-4E-6
5	P2-5E-6
6	P2-1C-6
7	P2-2C-6
8	P2-3C-6
9	P2-4C-6
10	P2-5C-6
11	P2-1A2-E-6
12	P2-2A2-I-6
13	P2-3A2-E-6
14	P2-4A2-I-6
15	P2-5A2-E-6
16	P2-1A1-E-6
17	P2-2A1-I-6
18	P2-3A1-E-6
19	P2-4A1-I-6
20	P2-5A1-I-6

Tabla 10. Codificación de probetas para espesor de 8mm

Perfil de acero ASTM a572 – 8mm	
1	P2-1E-8
2	P2-2E-8
3	P2-3E-8
4	P2-4E-8
5	P2-5E-8
6	P2-1C-8
7	P2-2C-8
8	P2-3C-8
9	P2-4C-8
10	P2-5C-8
11	P2-1A2-E-8
12	P2-2A2-I-8
13	P2-3A2-E-8
14	P2-4A2-I-8
15	P2-5A2-E-8
16	P2-1A1-E-8
17	P2-2A1-I-8
18	P2-3A1-E-8
19	P2-4A1-I-8
20	P2-5A1-I-8

2.2.5.6 Corte de probetas por chorro de agua

El corte es realizado mediante un proceso de mecanizado CNC, las dimensiones de corte se visibilizan en la Figura 13. El corte de las probetas por chorro de agua se lleva a cabo por la máquina MACH 2 de 203lb con las siguientes configuraciones.

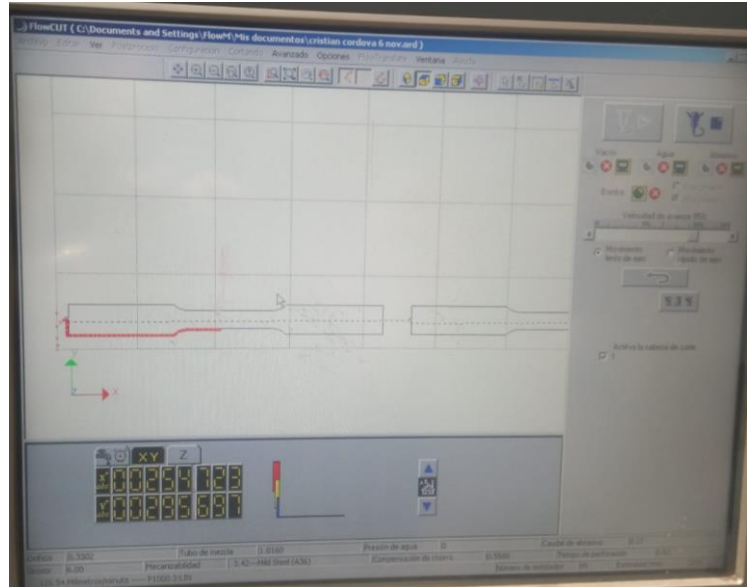


Figura 15. Configuración establecida por la maquina MACH 2 de 203lb para el corte por chorro de agua

Deberán poseer un acabado superficial fino para evitar fisuras y micro fisuras para evitar que causen repercusiones en los posteriores ensayos mecánicos a realizarse en las probetas.



Figura 16. Proceso de corte por chorro de agua

2.2.5.7 Aplicación de ensayo de tracción

El ensayo a tracción que estará guiado bajo la norma ASTM “Métodos de ensayo normalizados para pruebas de tracción de materiales metálicos Designación E8/E8M-13a. Se realizará en el laboratorio LENMAV de la ciudad de Riobamba. Laboratorio que cumple con las normas antes estipuladas tanto en equipos como en procedimientos

El procedimiento para la realización del ensayo tras haberse realizado todos los pasos especificados anteriormente consiste en el uso de una maquina universal de la siguiente manera:

- Preparación de la probeta

Las probetas del material que se va a evaluar deben ser revisadas para que sus dimensiones y geometría específicas cumplan con las normas y estándares aplicables.

- Montaje de la probeta:

La probeta se coloca cuidadosamente en la máquina universal y se fija con las mordazas de la máquina de manera que se encuentre sujeta firmemente y alineada correctamente en la máquina.

- Aplicación de la Carga:

Se aplicará una carga axial gradual y continua. La carga se deberá aplicar de manera controlada y constante, o con una velocidad específica de deformación, dependiendo de los requisitos del ensayo.

- Registro de Datos:

Durante la aplicación de la carga, se registran datos en tiempo real, incluyendo la carga aplicada y la deformación experimentada por la muestra. Estos datos se utilizan para construir una curva de tracción, que muestra la relación entre la carga y la deformación.

- Monitoreo de la Deformación

Se mide la deformación de la probeta, que puede incluir la elongación y la reducción de área, para evaluar la ductilidad y la capacidad del material para deformarse antes de la ruptura.

- Ruptura de la Muestra:

La realización del ensayo continuará hasta que la probeta llegue a una ruptura total. La forma de la fractura también puede proporcionar información sobre la naturaleza del material y su comportamiento ante la carga.

- Análisis de Resultados:

Se analizan los resultados obtenidos durante el ensayo para evaluar las propiedades mecánicas del material, como la resistencia a la tracción, la elasticidad, la ductilidad y otros parámetros relevantes.

2.2.5.8 Aplicación de ensayo de dureza

El ensayo de dureza que estará guiado bajo la norma ASTM “Métodos de ensayo normalizados para la dureza Brinell de materiales metálicos designación E10-18”. Se realizará en los laboratorios del CTT “Centro de transferencia tecnológico “de la Universidad Técnica de Ambato.

El procedimiento para la realización del ensayo tras haberse realizado todos los pasos especificados anteriormente consiste en el uso de un Durómetro de la siguiente manera:

- Preparación de probeta

La probeta deberá poseer una superficie plana y libre de irregularidades que puedan afectar la medición de dureza.

- Selección de la Escala y Penetrador

Se determinará la escala de dureza Brinell que se obtendrá y se selecciona el tipo de penetrador que estipula la norma según los resultados a obtener

- Ajuste del Equipo

Se calibrará las condiciones de carga del indentador de acuerdo con la escala de dureza seleccionada

- Posicionamiento de la Muestra

La muestra se coloca de forma plana en la base de carga de fuerza y se ajusta para asegurar un contacto adecuado con el indentador.

- Aplicación de la Carga Preliminar

Se aplica una carga preliminar para contactar el penetrador en la superficie de la probeta a ensayar.

- Aplicación de la Carga Principal

Se aplica la carga de fuerza principal ejercida por el durómetro, y se mantiene durante un período de tiempo específico.

- Descarga y Medición Final:

Se produce la descarga de fuerza posteriormente el durómetro arrojará resultados de la dureza Brinell.

- Verificación y Calibración:

Se verifica y calibra el equipo de ensayo regularmente según las recomendaciones de la norma ASTM E10-18.

2.2.5.9 Aplicación de Micrografía

El proceso de la obtención de la micrografía este guiado bajo la norma ASTM “Métodos de ensayo normalizados para determinar la granulometría mediante la designación E112-12”. Se realizará en los laboratorios del CTT “Centro de transferencia tecnológico “de la Universidad Técnica de Ambato

Y se analizó la sección afectada por el conformado del perfil, es decir en la parte curva del perfil estructural tipo “UV” donde se prevé un cambio en la microestructura

El procedimiento para la realización del ensayo tras haberse realizado todos los pasos especificados anteriormente consiste la obtención de la micrografía y la determinación de la granulometría de las probetas. Mediante la obtención de las probetas y un microscopio digital.

- Preparación de probeta

Se prepara una probeta de la sección del perfil que se desea analizar, se adecua la probeta para obtener una superficie adecuada para la observación microscópica.

- Pulido:

La probeta se pule para obtener una superficie lisa con acabado tipo espejo y libre de irregularidades, se utilizan técnicas de pulido que no dañen la microestructura interna como puede ser calor o químicos.

- Ataque Químico

Posteriormente se someterá a un ataque químico que revelará la microestructura de grano, se utilizan agentes químicos específicos al tipo de acero al cual se está tratando.

- Examen Microscópico

Se examina la probeta preparada bajo un microscopio metalográfico, se seleccionan áreas de interés para la medición del tamaño de grano y micrografía.

- Medición del Tamaño de Grano

Se utiliza un método de comparación para determinar el tamaño de grano promedio, mediante la utilización de gráficos de comparación con patrones estándar.

- Registro de Resultados:

Se registran los resultados, incluyendo el tamaño de grano promedio y cualquier variabilidad observada.

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Análisis y discusión de los resultados

En el presente trabajo investigativo se realizaron tres tipos de ensayos de laboratorio: tensión, dureza y micrografía. Con el ensayo de tensión obtuvimos datos reales de deformación, modulo de elasticidad y esfuerzos los cuales sufre el perfil por su método de doblado y su espesor


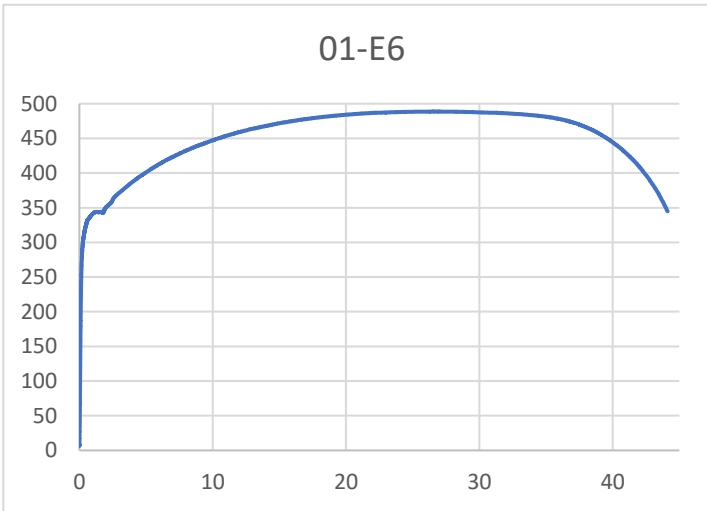
3.1.1. Ensayo de tracción

Los ensayos de tracción son realizados en el orden de su respectiva codificación y se obtendrá la curva esfuerzo-deformación ingenieril que posteriormente se transformará a una curva esfuerzo-deformación real.

Los respectivos informes realizados por laboratorio LENMAV encargado de realizar los ensayos se encuentran en anexos.

3.1.1.1. Perfil de acero ASTM a572 – 6mm

Tabla 11. Informe P2-1E-6

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA			
N° de Ensayo:	01-E6	Probeta		P2-1E-6	
Material:	ASTM A572 Gr 50	Módulo de Elasticidad		Esfuerzo de Fluencia	
		2,12E+02 GPa		311,79 MPa	
Características del ensayo:	Fuerza aplicada:	Velocidad de aplicación		% De Elongación	
	38.5 kN	4.71 mm/min		37 %	
Características de la máquina:	MUE WAW600 B	Capacidad: 500 kN		Precisión ± 1%.	
Realizado por:	C. Cordova	Revisado por:		Ing. Anibal Viñan	
	D. Muzo	Fecha:		15/11/2023	
Resultados del ensayo					
Esfuerzo [Mpa]	Deformación [Unitaria]				
0	0				
50	0,0032				
100	0,0054				
150	0,074				
200	0,1				
250	0,14				
300	0,262				
350	1,99				
400	4,95				
450	10,51				
470	37,39				

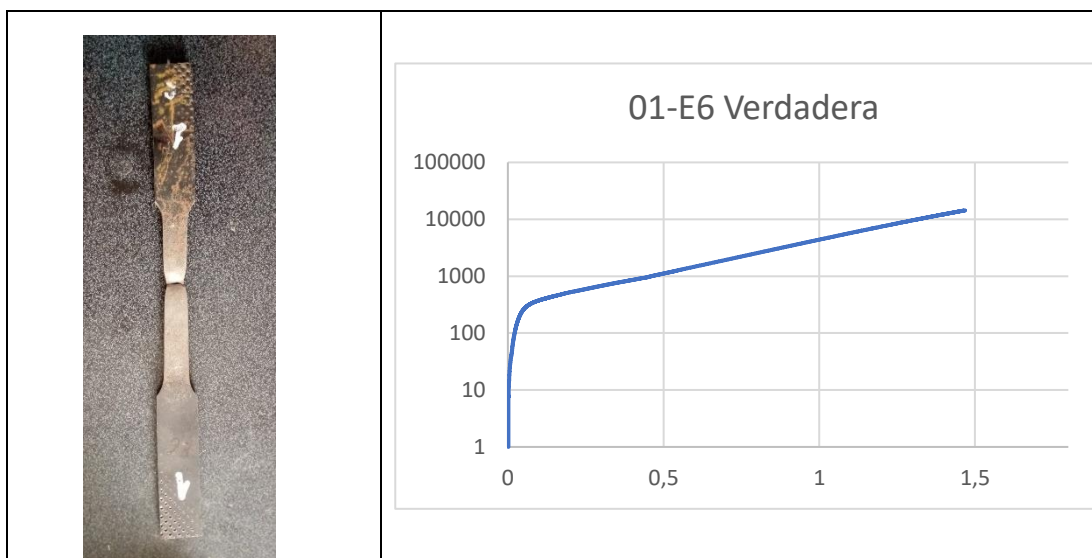




Tabla 12. Informe P2-2E-6

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA		
N° de Ensayo:	02-E6	Probeta	P2-2E-6
Material:	ASTM A572 Gr 50	Módulo de Elasticidad	Esfuerzo de Fluencia
		1,75E+02 GPa	344,67 MPa
Características del ensayo:	Fuerza aplicada: 39,2kN	Velocidad de aplicación	% De Elongación
	MUE	4.71 mm/min	31 %
Características de la máquina:	WAW600B	Capacidad: 500 kN	Precisión ± 1%.
Realizado por:	C. Cordova	Revisado por:	Ing. Anibal Viñan
	D. Muzo	Fecha:	15/11/2023
Resultados del ensayo			
Esfuerzo [Mpa]	Deformación [Unitaria]		
0	0		
50	0,0032		
100	0,0054		
150	0,028		
200	0,058		
250	0,094		
300	0,156		
350	0,43		
400	3,84		

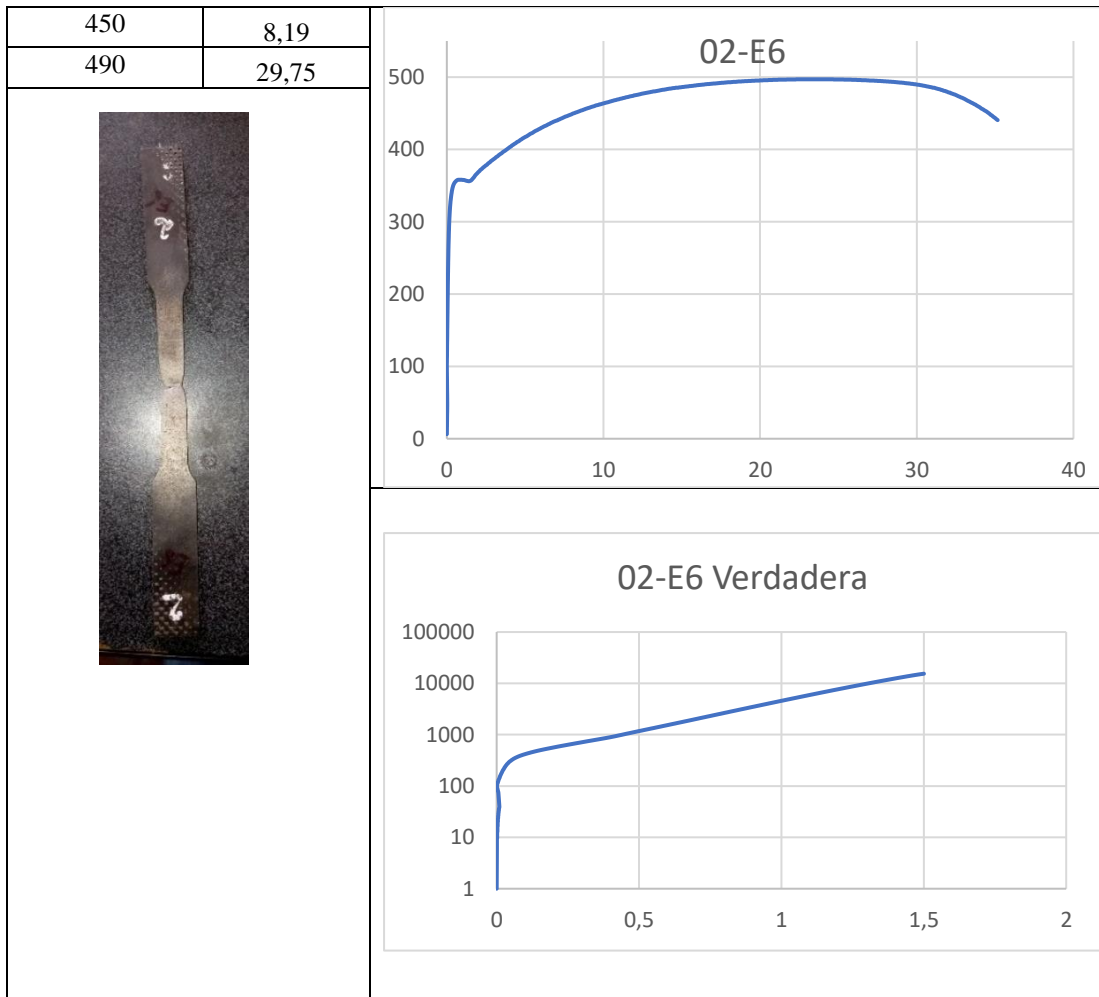



Tabla 13. Informe P2-3E-6

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA		
N° de Ensayo:	03-E6	Probeta:	P2-3E-6
Material:	ASTM A572 Gr 50	Módulo de Elasticidad	Esfuerzo de Fluencia
		1,72E+02 GPa	320,88 MPa
Características del ensayo	Fuerza aplicada:	Velocidad de aplicación	% De Elongación
	38.72 kN	4.71 mm/min	34,50 %
Características de la máquina	MUE WAW600B	Capacidad: 500 kN	Precisión ± 1%.
Realizado por:	C. Cordova	Revisado por:	Ing. Anibal Viñan
	D. Muzo	Fecha:	15/11/2023
Resultados del ensayo			
Esfuerzo [Mpa]	Deformación		

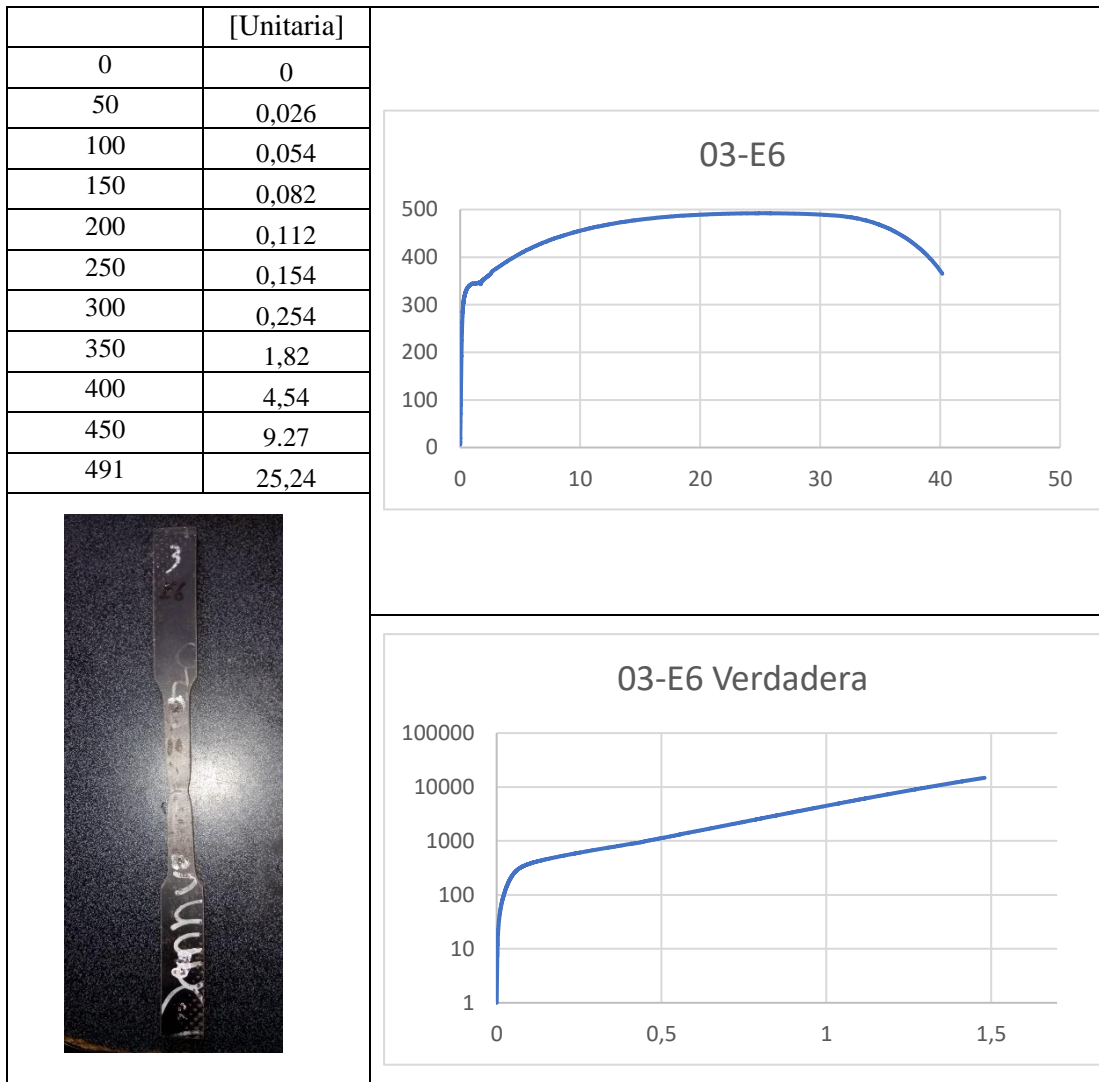


Tabla 14. Informe P2-4E-6

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA		
N° de Ensayo:	04-E6	Probeta	P2-4E-6
Material:	ASTM A572 Gr 50	Módulo de Elasticidad	Esfuerzo de Fluencia
		1,46E+02 GPa	321,6 MPa
Características del ensayo:	Fuerza aplicada:	Velocidad de aplicación	% De Elongación
	39,12kN	4.71 mm/min	34,00 %
Características de la máquina:	MUE WAW600B	Capacidad: 500 kN	Precisión ± 1%.
Realizado por:	C. Cordova	Revisado por:	Ing. Anibal Viñan
	D. Muzo	Fecha:	15/11/2023

Resultados del ensayo

Esfuerzo [Mpa]	Deformación [Unitaria]
0	0
50	0,012
100	0,04
150	0,072
200	0,11
250	0,15
300	0,269
350	1,66
400	4,19
450	8,58
497	25,31

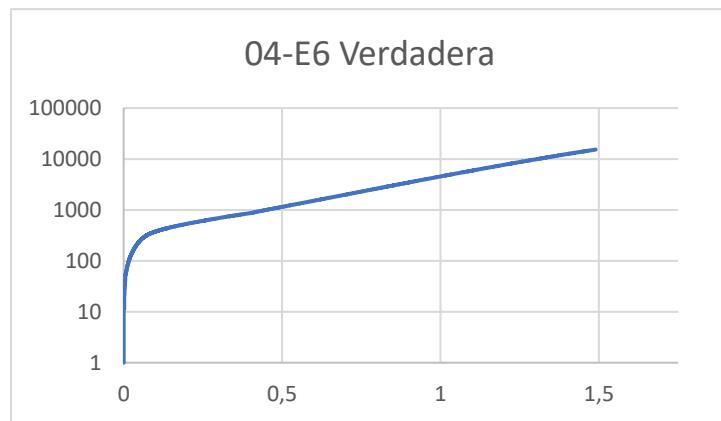
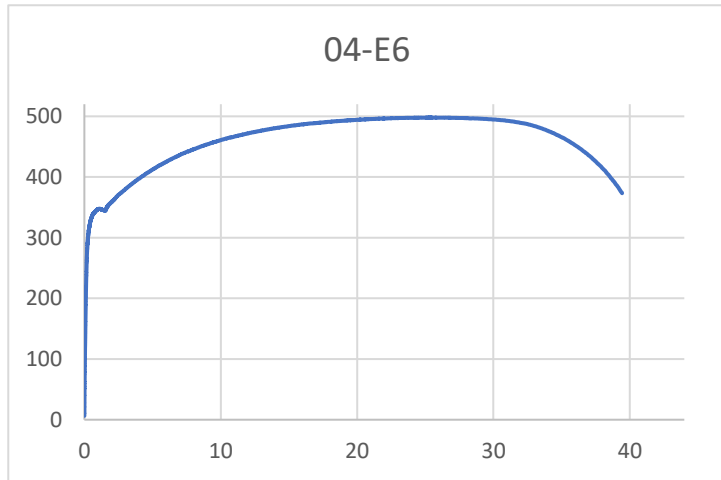


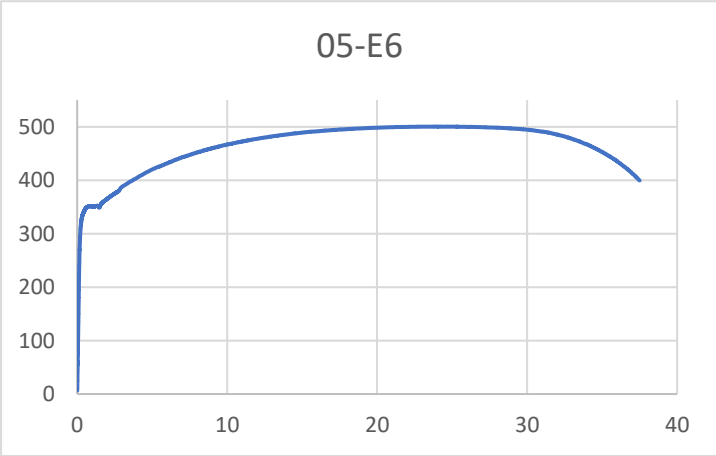


Tabla 15. Informe P2-5E-6

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA			
N° de Ensayo:	05-E6	Probeta		P2-5E-6	
Material:	ASTM A572 Gr 50	Módulo de Elasticidad		Esfuerzo de Fluencia	
		1,84E+02 GPa		337,53 MPa	
Características del ensayo:	Fuerza aplicada:	Velocidad de aplicación		% De Elongación	
	39,10 kN	4.71 mm/min		37,00 %	
Características de la máquina:	MUE	Capacidad: 500 kN		Precisión ± 1%.	
	WAW600B				
Realizado por:	C. Cordova	Revisado por:		Ing. Anibal Viñan	
	D. Muzo	Fecha:		15/11/2023	
Resultados del ensayo					
Esfuerzo [Mpa]	Deformación [Unitaria]				
0	0				
50	0,03				
100	0,06				
150	0,086				
200	0,114				
250	0,146				
300	0,205				
350	0,704				
400	3,73				
450	7,82				
500	24,00				

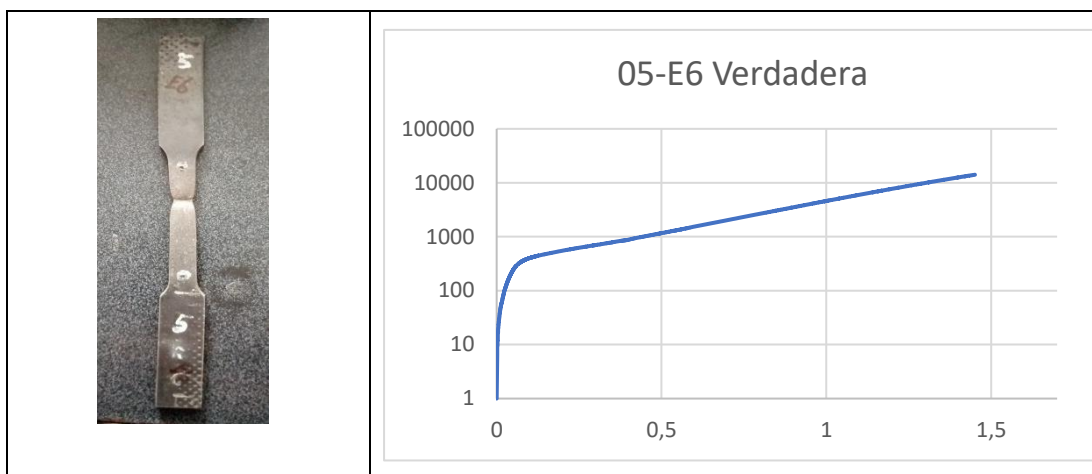


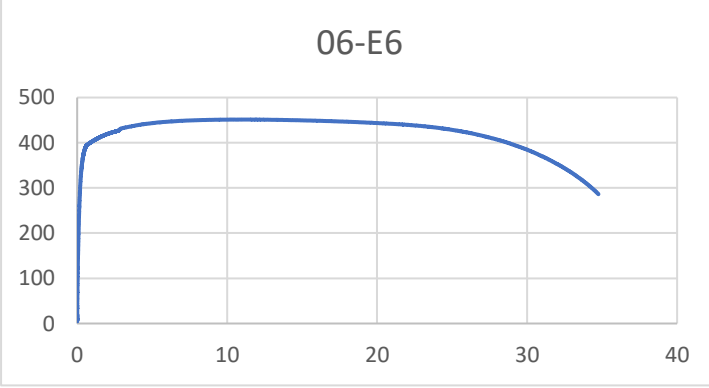


Tabla 16. Informe P2-1C-6

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA			
N° de Ensayo:	06-E6	Probeta		P2-1C-6	
Material:	ASTM A572 Gr 50	Módulo de Elasticidad		Esfuerzo de Fluencia	
		1,79E+02 GPa		352,22 MPa	
Características del ensayo:	Fuerza aplicada: 38.5 kN	Velocidad de aplicación		% De Elongación	
		4.71 mm/min		33,00 %	
Características de la máquina:	MUE	Capacidad: 500 kN		Precisión ± 1%.	
	WAW600B				
Realizado por:	C. Cordova	Revisado por:		Ing. Anibal Viñan	
	D. Muzo	Fecha:		15/11/2023	
Resultados del ensayo					
Esfuerzo [Mpa]	Deformación [Unitaria]				
0	0				
50	0,012				
100	0,04				
150	0,072				
200	0,11				
250	0,15				
300	0,269				
350	1,66				
400	4,19				
450	8,58				
500	25,31				

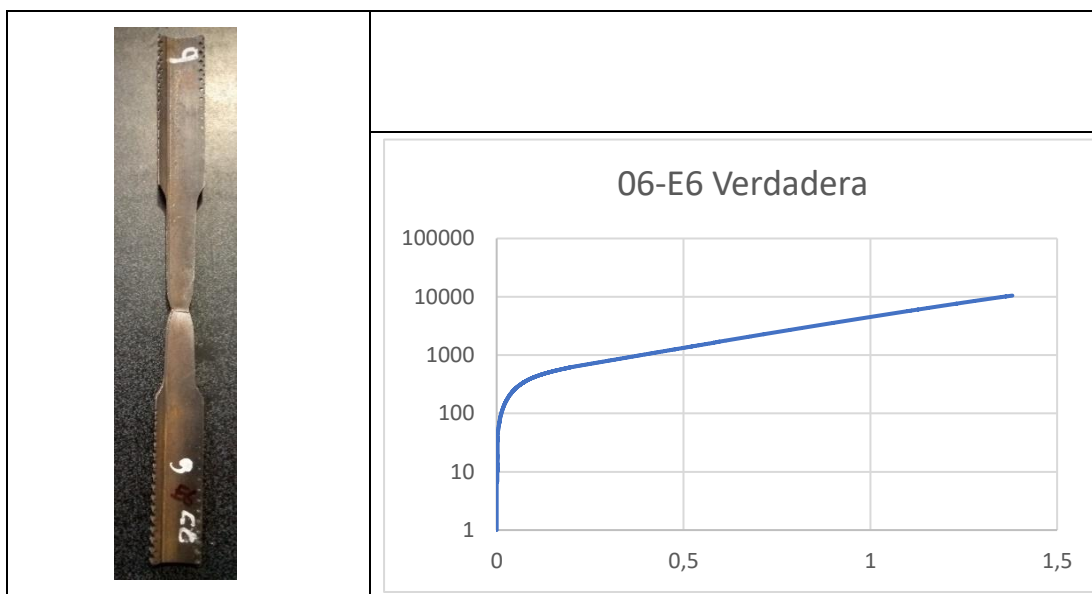




Tabla 17. Informe P2-2C-6

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA			
N° de Ensayo:	07-E6	Probeta		P2-2C-6	
Material:	ASTM A572 Gr 50	Módulo de Elasticidad		Esfuerzo de Fluencia	
		2,20E+02 GPa		366,92 MPa	
Características del ensayo:	Fuerza aplicada:	Velocidad de aplicación		% De Elongación	
	46,7 kN	4.71 mm/min		28,50 %	
Características de la máquina:	MUE	Capacidad: 500 kN		Precisión ± 1%.	
	WAW600B				
Realizado por:	C. Cordova	Revisado por:		Ing. Anibal Viñan	
	D. Muzo	Fecha:		15/11/2023	
Resultados del ensayo					
Esfuerzo [Mpa]	Deformación [Unitaria]				
0	0				
50	0,008				
100	0,03				
150	0,058				
200	0,092				
250	0,136				
300	0,198				
350	0,31				
400	0,89				
450	8,81				

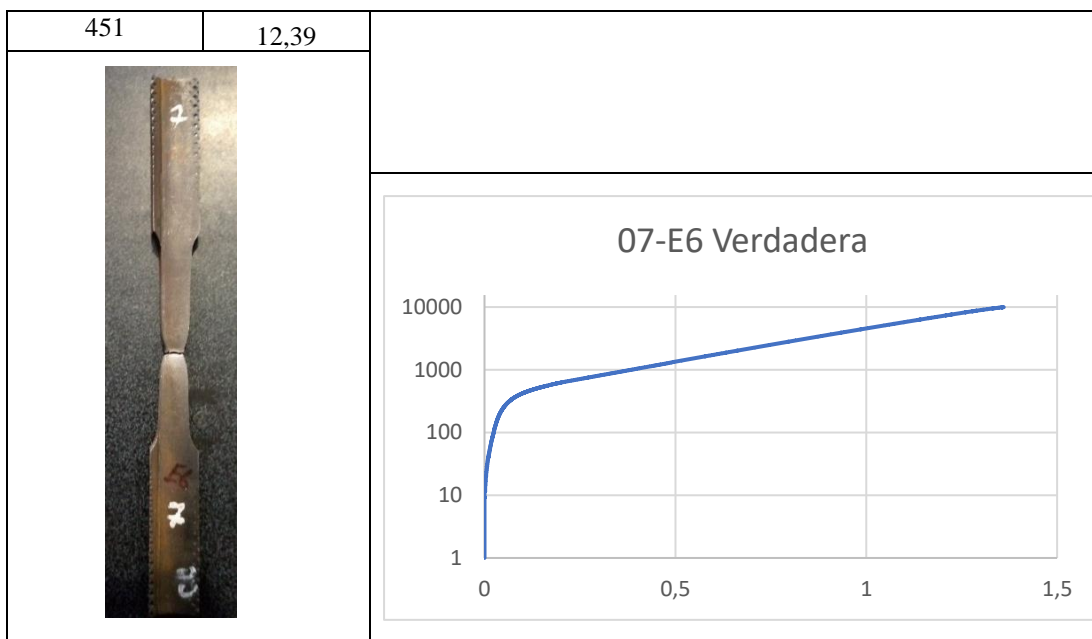



Tabla 18. Informe P2-3C-6

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA		
N° de Ensayo:	08-E6	Probeta	P2-3C-6
Material:	ASTM A572 Gr 50	Módulo de Elasticidad	Esfuerzo de Fluencia
		1,67E+02 GPa	370,72 MPa
Características del ensayo:	Fuerza aplicada: 47,08 kN	Velocidad de aplicación	% De Elongación
		4.71 mm/min	33,50 %
Características de la máquina:	MUE	Capacidad: 500 kN	Precisión ± 1%.
	WAW600B		
Realizado por:	C. Cordova	Revisado por:	Ing. Anibal Viñan
	D. Muzo	Fecha:	15/11/2023
Resultados del ensayo			
Esfuerzo [Mpa]	Deformación [Unitaria]		
0	0		
50	0,032		
100	0,06		
150	0,082		
200	0,108		
250	0,142		
300	0,195		
350	0,300		

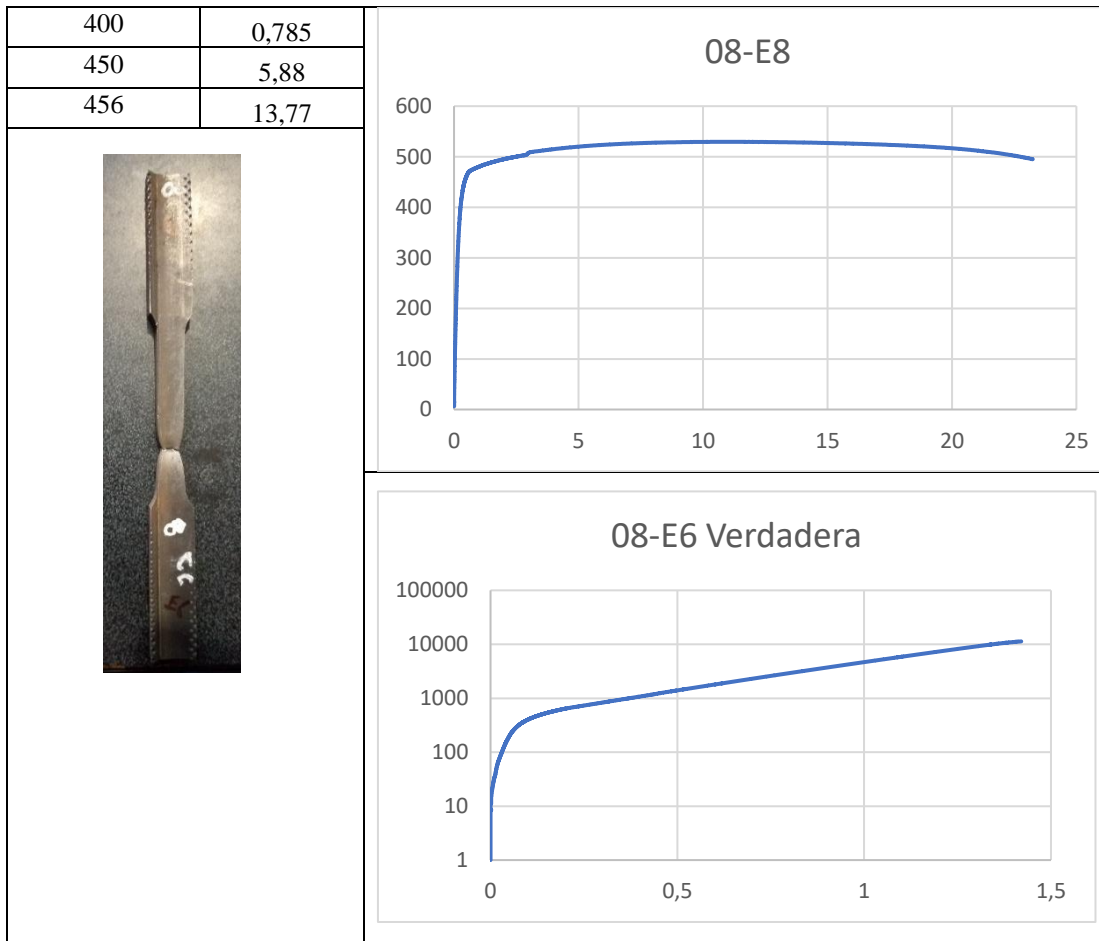



Tabla 19. Informe P2-4C-6

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA		
N° de Ensayo:	09-E6	Probeta	P2-4C-6
Material:	ASTM A572 Gr 50	Módulo de Elasticidad	Esfuerzo de Fluencia
		2,10E+02 GPa	384,75 MPa
Características del ensayo:	Fuerza aplicada:	Velocidad de aplicación	% De Elongación
	47,38 kN	4.71 mm/min	25,00 %
Características de la máquina:	MUE	Capacidad: 500 kN	Precisión ± 1%.
	WAW600B		
Realizado por:	C. Cordova	Revisado por:	Ing. Anibal Viñan
	D. Muzo	Fecha:	15/11/2023
Resultados del ensayo			
Esfuerzo [Mpa]	Deformación		

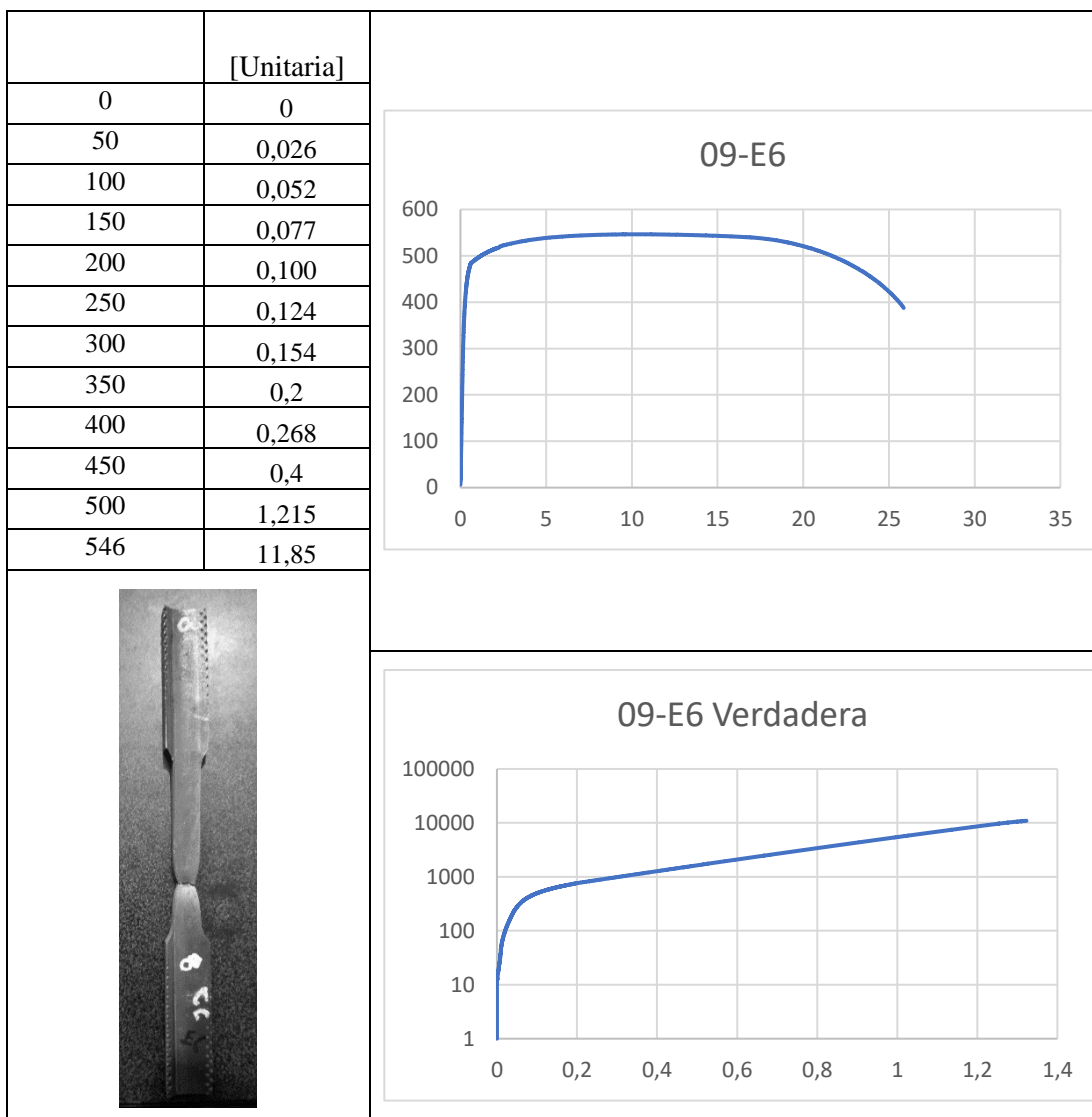


Tabla 20. Informe P2-5C-6

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA		
N° de Ensayo:	10-E6	Probeta	P2-5C-6
Material:	ASTM A572 Gr 50	Módulo de Elasticidad	Esfuerzo de Fluencia
		1,95E+02 GPa	455,33 MPa
Características del ensayo:	Fuerza aplicada:	Velocidad de aplicación	% De Elongación
	42,54 kN	4.71 mm/min	34,00 %
Características de la máquina:	MUE WAW600B	Capacidad: 500 kN	Precisión ± 1%.
Realizado por:	C. Cordova	Revisado por:	Ing. Anibal Viñan
	D. Muzo	Fecha:	15/11/2023

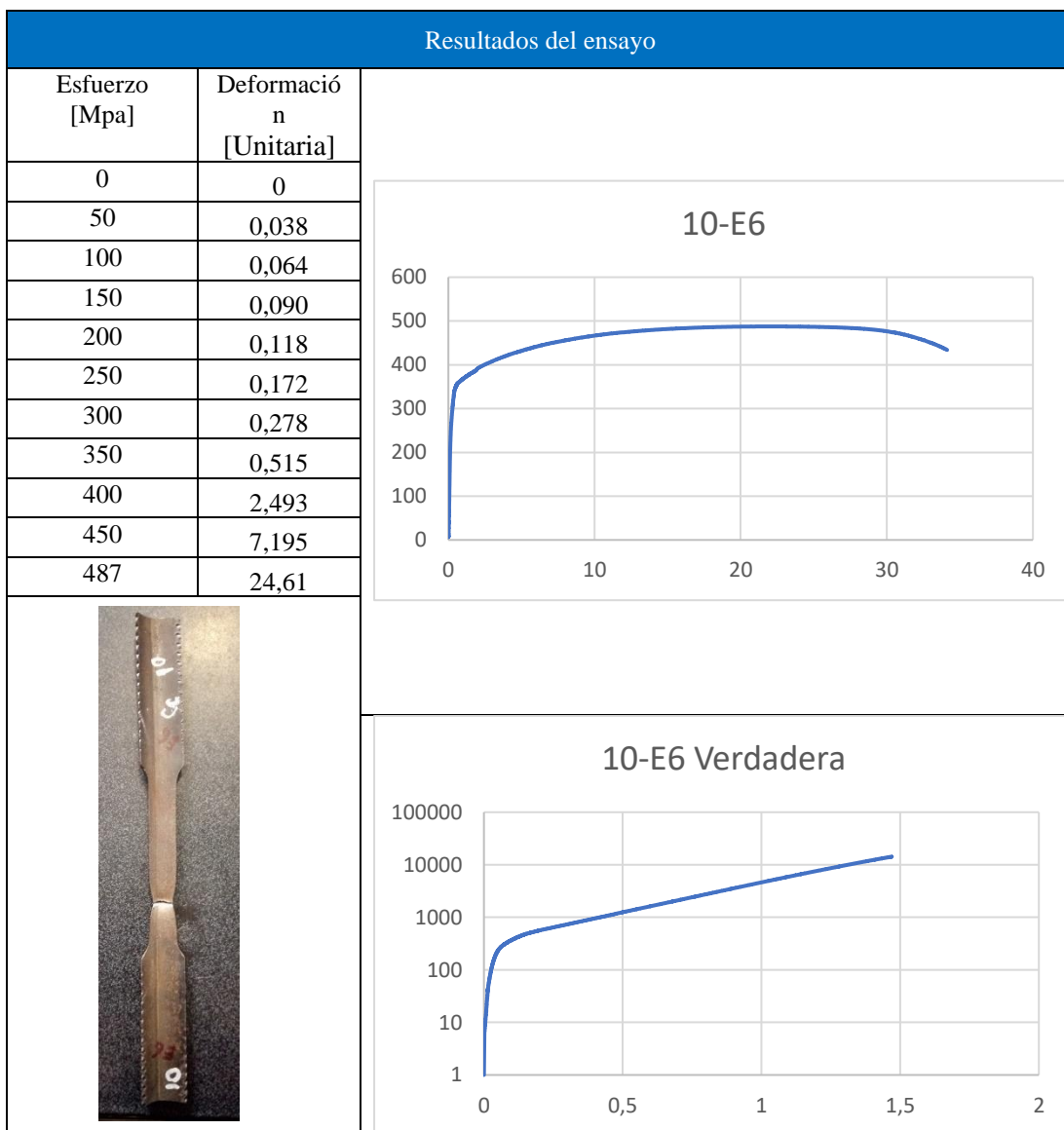




Tabla 21. Informe P2-2A1-E-6

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA		
	N° de Ensayo:	11-E6	
Material:	ASTM A572 Gr 50	Módulo de Elasticidad	Esfuerzo de Fluencia
		2,01E+02 GPa	334,18 MPa
Características del ensayo:	Fuerza aplicada:	Velocidad de aplicación	% De Elongación
	38.5 kN	4.71 mm/min	33,50 %
Características de la maquina:	MUE	Capacidad: 500 kN	Precisión ± 1%.
	WAW600B		
	C. Cordova	Revisado por:	Ing. Anibal Viñan

Realizado por:	D. Muzo	Fecha:	15/11/2023
Resultados del ensayo			
Esfuerzo [Mpa]	Deformación [Unitaria]	<p style="text-align: center;">11-E6</p>	
0	0		
50	0,026		
100	0,050		
150	0,074		
200	0,102		
250	0,138		
300	0,202		
350	1,669		
400	4,252		
450	9,093		
486	25,149		

Tabla 22. Informe P2-2A2-E-6

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA		
	N° de Ensayo:	12-E6	
Material:	ASTM A572 Gr 50	Módulo de Elasticidad	Esfuerzo de Fluencia
		1,96E+02 GPa	334,1 MPa
Características del ensayo:	Fuerza aplicada:	Velocidad de aplicación	% De Elongación
	37.84 kN	4.71 mm/min	34,00 %

Características de la máquina:	MUE WAW600B	Capacidad: 500 kN	Precisión ± 1%.
Realizado por:	C. Cordova D. Muzo	Revisado por:	Ing. Anibal Viñan
		Fecha:	15/11/2023
Resultados del ensayo			
Esfuerzo [Mpa]	Deformación [Unitaria]	<p style="text-align: center;">12-E6</p>	
0	0		
50	0,026		
100	0,050		
150	0,074		
200	0,102		
250	0,138		
300	0,202		
350	1,646		
400	4,278		
450	9,093		
487	25,129		

Tabla 23. Informe P2-3A2-E-6

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA		
	N° de Ensayo:	13-E6	
Material:	ASTM A572 Gr 50	Módulo de Elasticidad	Esfuerzo de Fluencia
		2,34E+02 GPa	335,21 MPa

Características del ensayo:	Fuerza aplicada:	Velocidad de aplicación	% De Elongación
	37,58 kN	4.71 mm/min	32,50 %
Características de la máquina:	MUE	Capacidad: 500 kN	Precisión ± 1%.
	WAW600B		
Realizado por:	C. Cordova	Revisado por:	Ing. Anibal Viñan
	D. Muzo	Fecha:	15/11/2023
Resultados del ensayo			
Esfuerzo [Mpa]	Deformación [Unitaria]	<p style="text-align: center;">13-E6</p>	
0	0		
50	0,024		
100	0,052		
150	0,076		
200	0,104		
250	0,138		
300	0,202		
350	1,672		
400	4,376		
450	9,307		
472	33,21		

Tabla 24. Informe P2-4A2-E-6

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA			
	N° de Ensayo:	14-E6		Probeta
Material:		Módulo de Elasticidad	Esfuerzo de Fluencia	

	ASTM A572 Gr 50	2,3E+02 GPa	333,44 MPa
Características del ensayo:	Fuerza aplicada:	Velocidad de aplicación	% De Elongación
	37,78 kN	4,71 mm/min	32,50 %
Características de la máquina:	MUE	Capacidad: 500 kN	Precisión ± 1%.
	WAW600B		
Realizado por:	C. Cordova	Revisado por:	Ing. Anibal Viñan
	D. Muzo	Fecha:	15/11/2023

Resultados del ensayo

Esfuerzo [Mpa]	Deformación [Unitaria]
0	0
50	0,026
100	0,052
150	0,072
200	0,096
250	0,130
300	0,194
350	1,507
400	4,119
450	8,689
489	16,64

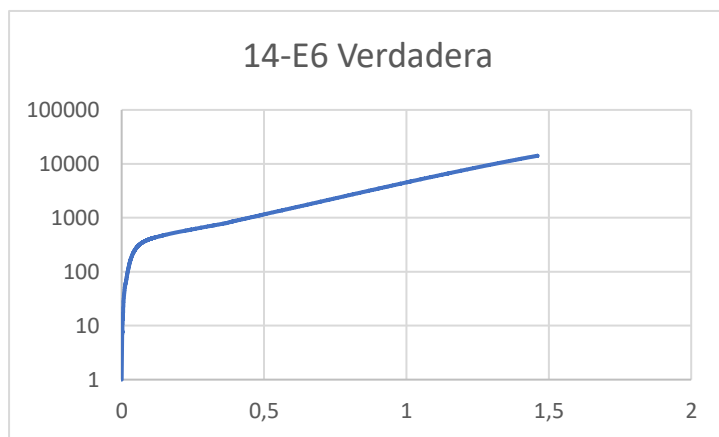
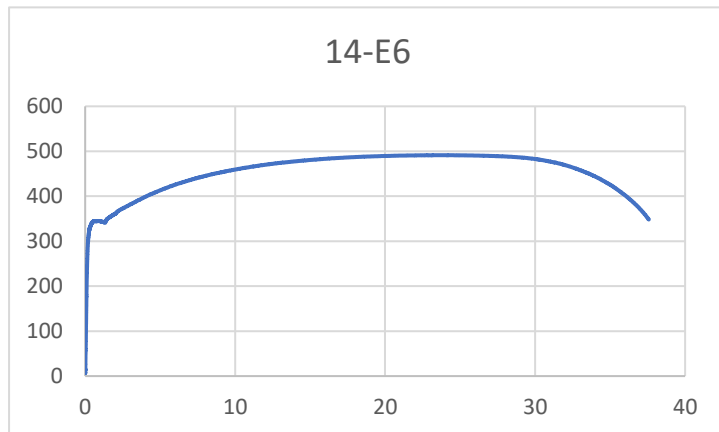


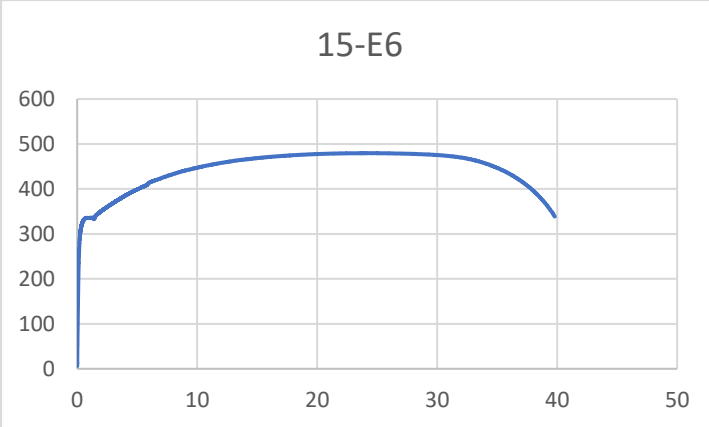


Tabla 25. Informe P2-5A2-E-6

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA			
N° de Ensayo:	15-E6	Probeta		P2-5A2-E-6	
Material:	ASTM A572 Gr 50	Módulo de Elasticidad		Esfuerzo de Fluencia	
		1,86E+02 GPa		319,07 MPa	
Características del ensayo:	Fuerza aplicada:	Velocidad de aplicación		% De Elongación	
	37,64 kN	4.71 mm/min		35,00 %	
Características de la máquina:	MUE	Capacidad: 500 kN		Precisión ± 1%.	
	WAW600B				
Realizado por:	C. Cordova	Revisado por:		Ing. Anibal Viñan	
	D. Muzo	Fecha:		15/11/2023	
Resultados del ensayo					
Esfuerzo [Mpa]	Deformación [Unitaria]				
0	0				
50	0,018				
100	0,044				
150	0,068				
200	0,100				
250	0,144				
300	0,251				
350	1,995				
400	5,096				
450	10,54				
479	26,436				

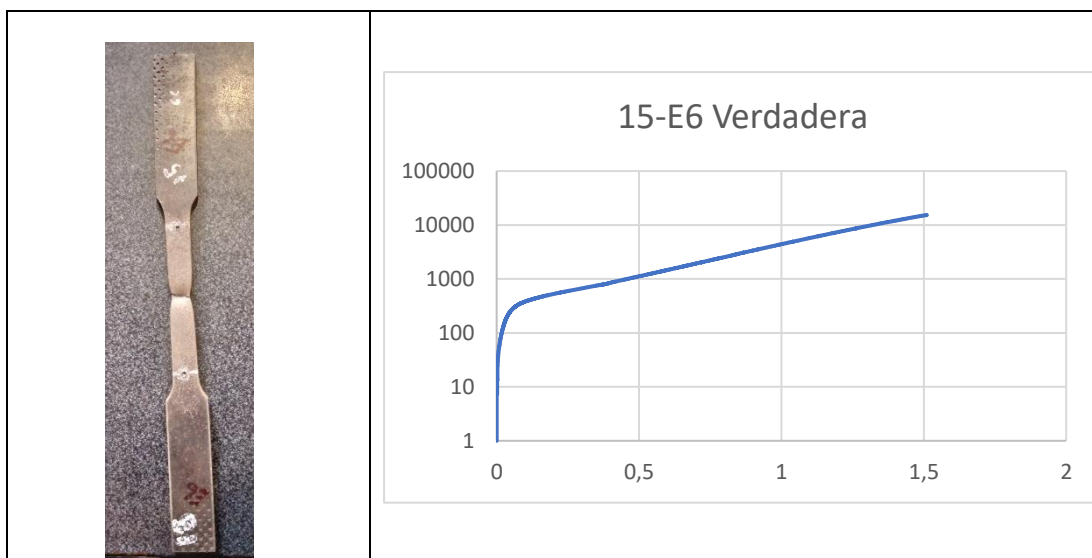


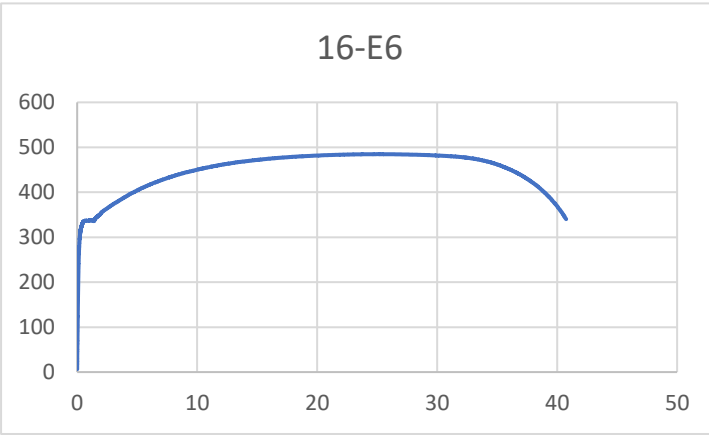


Tabla 26. Informe P2-1A1-E-6

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA			
N° de Ensayo:	16-E6	Probeta		P2-1A1-E-6	
Material:	ASTM A572 Gr 50	Módulo de Elasticidad		Esfuerzo de Fluencia	
		1,99E+02 GPa		323,29 MPa	
Características del ensayo:	Fuerza aplicada:	Velocidad de aplicación		% De Elongación	
	37,8 kN	4.71 mm/min		34,00 %	
Características de la máquina:	MUE	Capacidad: 500 kN		Precisión ± 1%.	
	WAW600B				
Realizado por:	C. Córdova	Revisado por:		Ing. Aníbal Viñan	
	D. Muzo	Fecha:		15/11/2023	
Resultados del ensayo					
Esfuerzo [Mpa]	Deformación [Unitaria]				
0	0				
50	0,014				
100	0,038				
150	0,062				
200	0,09				
250	0,128				
300	0,219				
350	1,901				
400	4,731				
450	10,025				

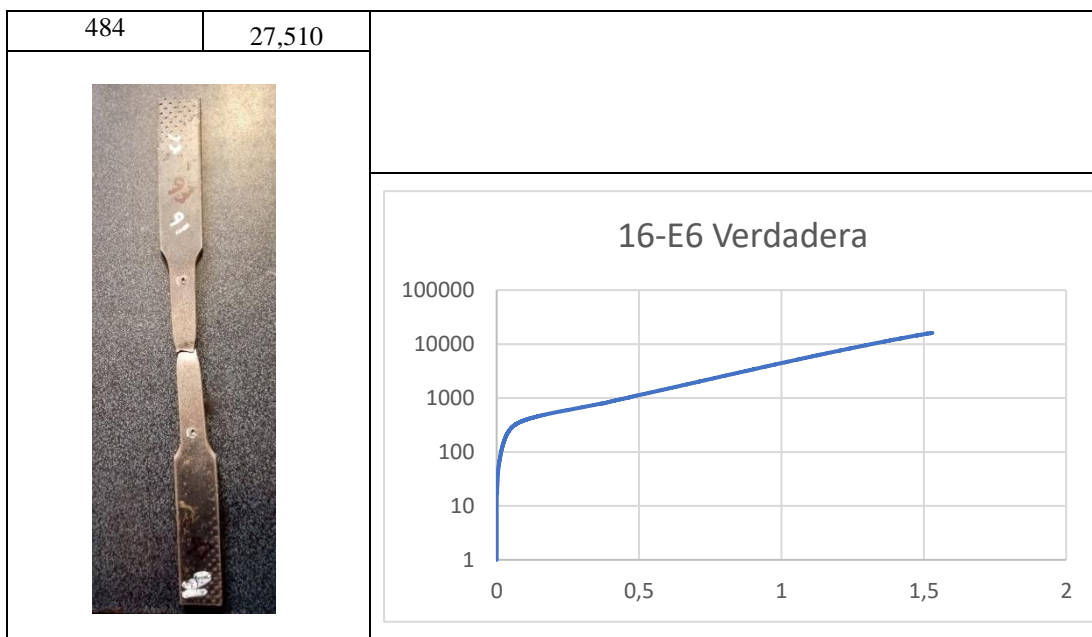


Tabla 27. Informe P2-2A1-E-6

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA		
N° de Ensayo:	17-E6	Probeta	P2-2A1-E-6
Material:	ASTM A572 Gr 50	Módulo de Elasticidad	Esfuerzo de Fluencia
		2,16E+02 GPa	326,68 MPa
Características del ensayo:	Fuerza aplicada:	Velocidad de aplicación	% De Elongación
	38,86 kN	4.71 mm/min	31,50 %
Características de la máquina:	MUE WAW600B	Capacidad: 500 kN	Precisión ± 1%.
Realizado por:	C. Cordova	Revisado por:	Ing. Anibal Viñan
	D. Muzo	Fecha:	15/11/2023
Resultados del ensayo			
Esfuerzo [Mpa]	Deformación [Unitaria]		
0	0		
50	0,01		
100	0,032		
150	0,056		
200	0,084		
250	0,124		
300	0,208		
350	1,593		

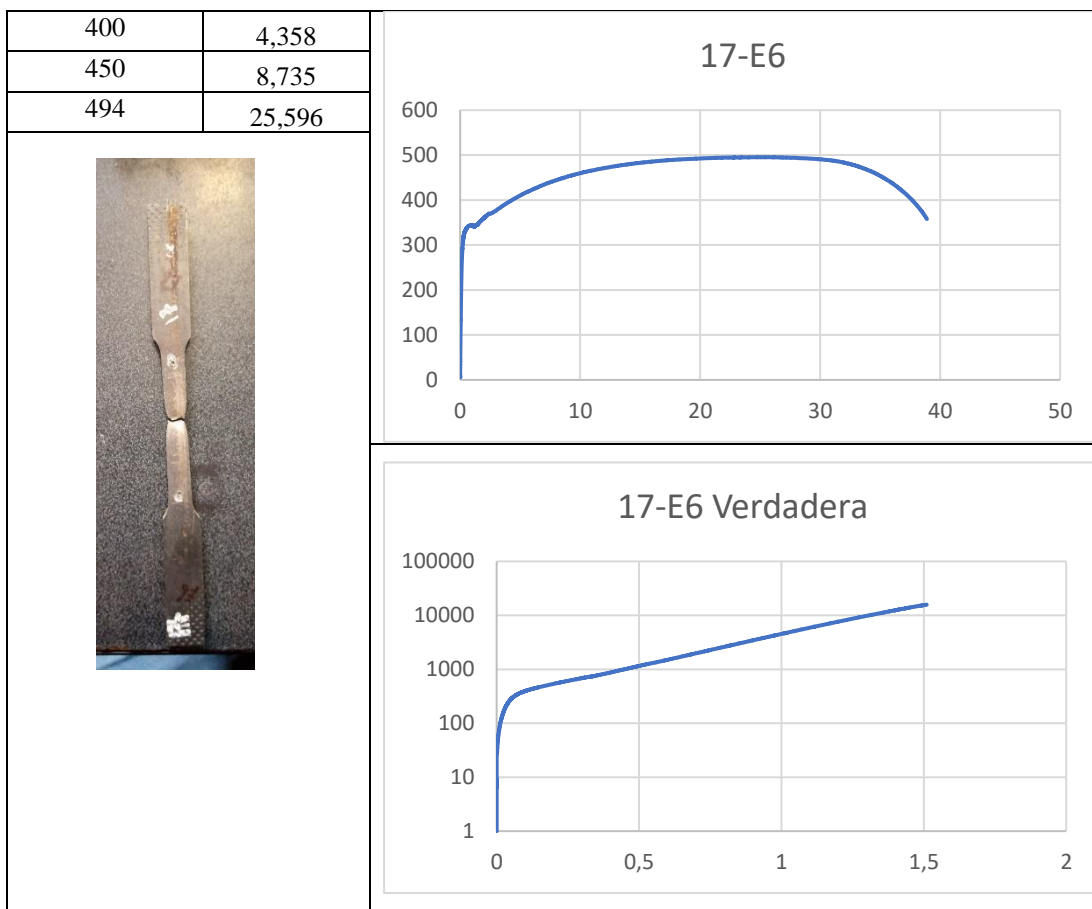




Tabla 28. Informe P2-3A1-E-6

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA		
N° de Ensayo:	18-E6	Probeta	P2-3A1-E-6
Material:	ASTM A572 Gr 50	Módulo de Elasticidad	Esfuerzo de Fluencia
		2,06E+02 GPa	332,6 MPa
Características del ensayo:	Fuerza aplicada:	Velocidad de aplicación	% De Elongación
	38.5 kN	4.71 mm/min	35,00 %
Características de la máquina:	MUE	Capacidad: 500 kN	Precisión ± 1%.
	WAW600B		
Realizado por:	C. Cordova	Revisado por:	Ing. Anibal Viñan
	D. Muzo	Fecha:	15/11/2023
Resultados del ensayo			
Esfuerzo [Mpa]	Deformación [Unitaria]		
0	0		
50	0,022		

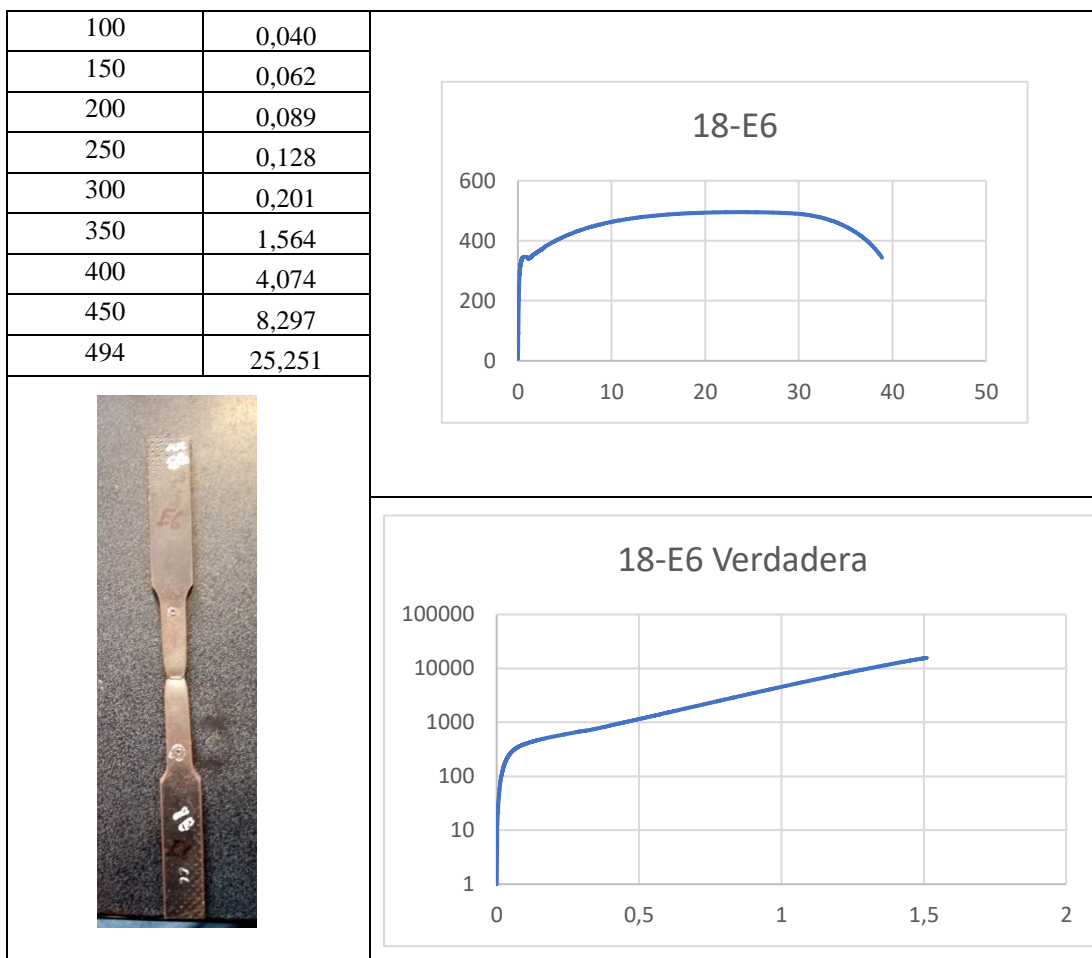


Tabla 29. Informe P2-4A1-E-6

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA		
N° de Ensayo:	19-E6	Probeta	P2-4A1-E-6
Material:	ASTM A572 Gr 50	Módulo de Elasticidad	Esfuerzo de Fluencia
		1,90E+02 GPa	334,54 MPa
Características del ensayo:	Fuerza aplicada:	Velocidad de aplicación	% De Elongación
	38,54 kN	4.71 mm/min	35,00 %
Características de la máquina:	MUE WAW600B	Capacidad: 500 kN	Precisión ± 1%.
Realizado por:	C. Cordova	Revisado por:	Ing. Anibal Viñan
	D. Muzo	Fecha:	15/11/2023

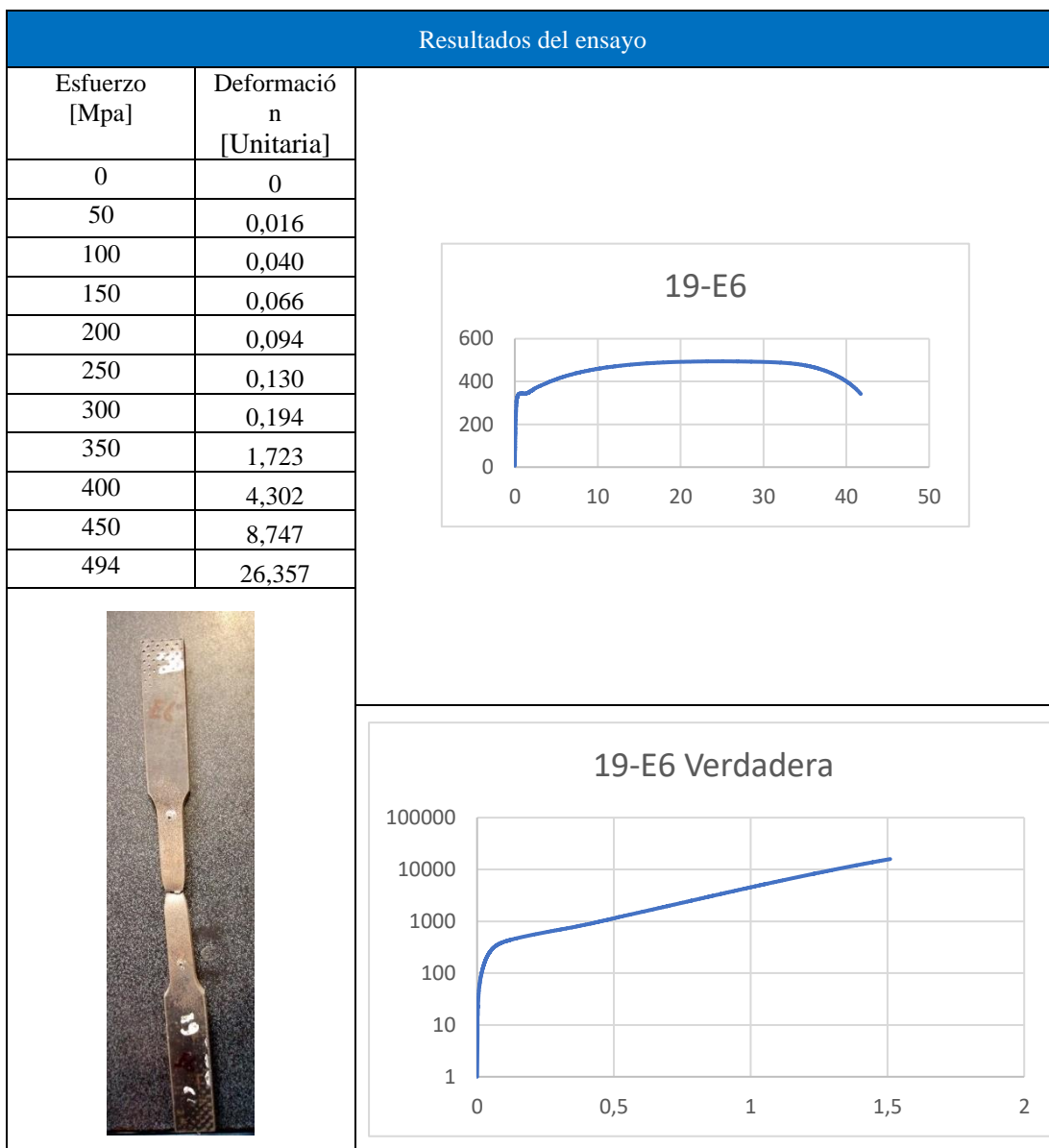




Tabla 30. Informe P2-5A1-E-6

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA		
N° de Ensayo:	20-E6	Probeta	P2-5A1-E-6
Material:	ASTM A572 Gr 50	Módulo de Elasticidad	Esfuerzo de Fluencia
		2,23E+02 GPa	331,82 MPa
Características del ensayo:	Fuerza aplicada: 38,40 kN	Velocidad de aplicación	% De Elongación
		4.71 mm/min	33,50 %

Características de la máquina:	MUE WAW600B	Capacidad: 500 kN	Precisión ± 1%.		
Realizado por:	C. Cordova D. Muzo	Revisado por:	Ing. Anibal Viñan		
		Fecha:	15/11/2023		
Resultados del ensayo					
Esfuerzo [Mpa]	Deformación [Unitaria]				
0	0				
50	0,022				
100	0,046				
150	0,068				
200	0,092				
250	0,124				
300	0,191				
350	1,646				
400	4,319				
450	8,918				
491	24,843				

3.1.1.2. Perfil de acero ASTM a572 – 8mm

Tabla 31. Informe P2-1E-8

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA		
	N° de Ensayo:	01-E8	
Material:		Módulo de Elasticidad	Esfuerzo de Fluencia

	ASTM A572 Gr 50	1,65E+02 GPa	281,03 MPa
Características del ensayo:	Fuerza aplicada:	Velocidad de aplicación	% De Elongación
	42,68 kN	4.71 mm/min	37,00 %
Características de la máquina:	MUE	Capacidad: 500 kN	Precisión ± 1%.
	WAW600B		
Realizado por:	C. Cordova	Revisado por:	Ing. Anibal Viñan
	D. Muzo	Fecha:	15/11/2023

Resultados del ensayo

Esfuerzo [Mpa]	Deformación [Unitaria]
0	0
50	0
100	0,028
150	0,058
200	0,089
250	0,130
300	1,830
350	4,931
400	11,19
424	28,14

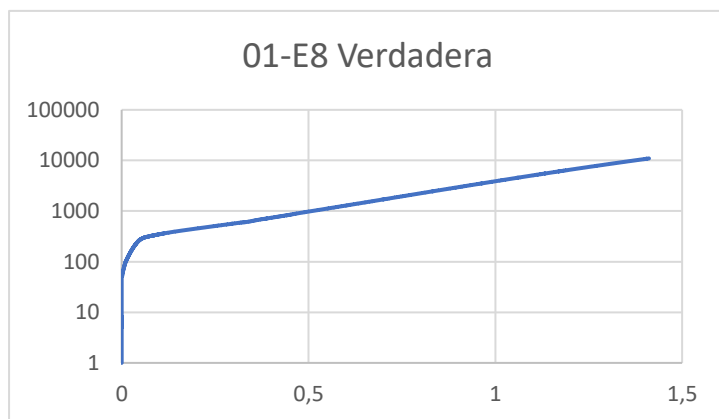
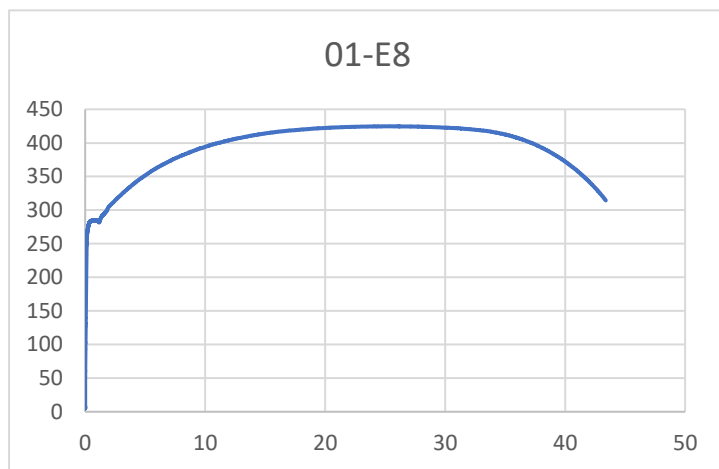


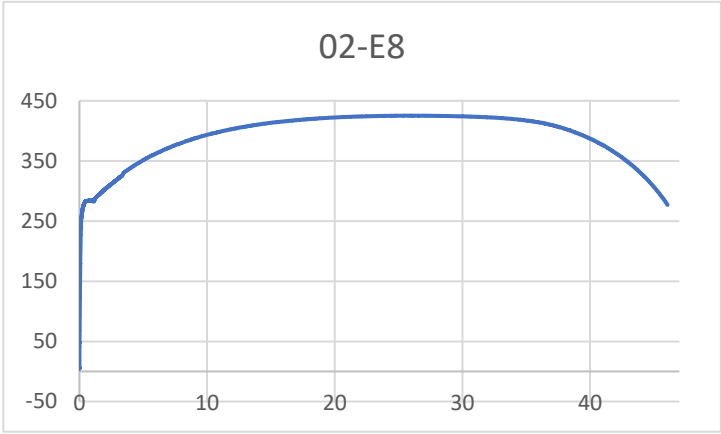


Tabla 32. Informe P2-2E-8

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA		
N° de Ensayo:	02-E8	Probeta	P2-2E-8	
Material:	ASTM A572 Gr 50	Módulo de Elasticidad	Esfuerzo de Fluencia	
		2,24E+02 GPa	274,88 MPa	
Características del ensayo:	Fuerza aplicada:	Velocidad de aplicación	% De Elongación	
	43,20kN	4.71 mm/min	39,50 %	
Características de la maquina:	MUE	Capacidad: 500 kN	Precisión ± 1%.	
	WAW600B			
Realizado por:	C. Cordova	Revisado por:	Ing. Anibal Viñan	
	D. Muzo	Fecha:	15/11/2023	
Resultados del ensayo				
Esfuerzo [Mpa]	Deformación [Unitaria]			
0	0			
50	0,008			
100	0,028			
150	0,050			
200	0,078			
250	0,134			
300	1,869			
350	4,933			
400	11,41			
410	36,93			

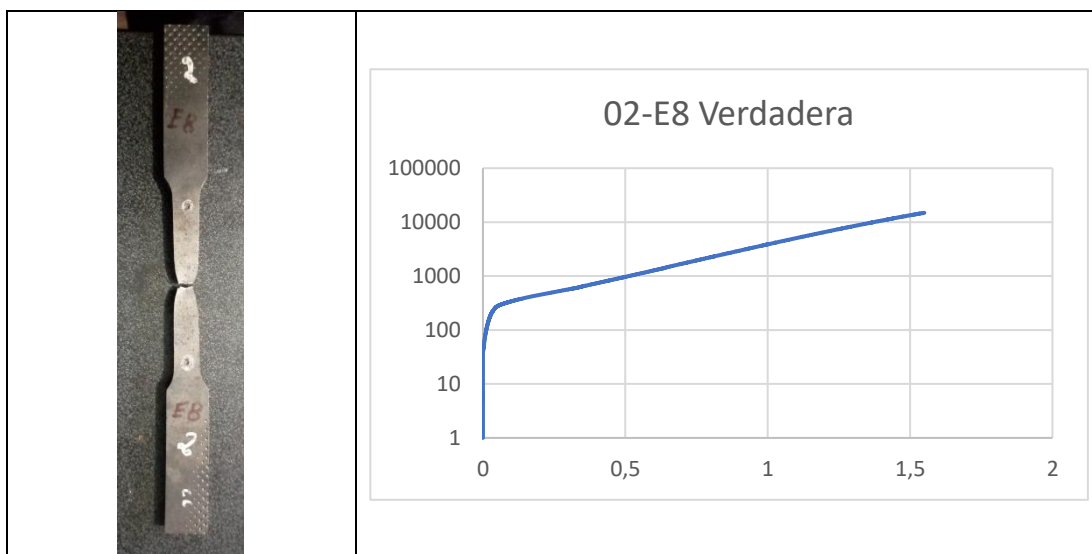




Tabla 33. Informe P2-3E-8

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA			
N° de Ensayo:	03-E8	Probeta		P2-3E-8	
Material:	ASTM A572 Gr 50	Módulo de Elasticidad		Esfuerzo de Fluencia	
		2,27E+02 GPa		278,79 MPa	
Características del ensayo:	Fuerza aplicada:	Velocidad de aplicación		% De Elongación	
	43,82 kN	4.71 mm/min		36,00 %	
Características de la máquina:	MUE	Capacidad: 500 kN		Precisión ± 1%.	
	WAW600B				
Realizado por:	C. Cordova	Revisado por:		Ing. Anibal Viñan	
	D. Muzo	Fecha:		15/11/2023	
Resultados del ensayo					
Esfuerzo [Mpa]	Deformación [Unitaria]				
0	0				
50	0,016				
100	0,036				
150	0,058				
200	0,082				
250	0,132				
300	1,670				
350	4,598				
400	10,369				
430	29,566				

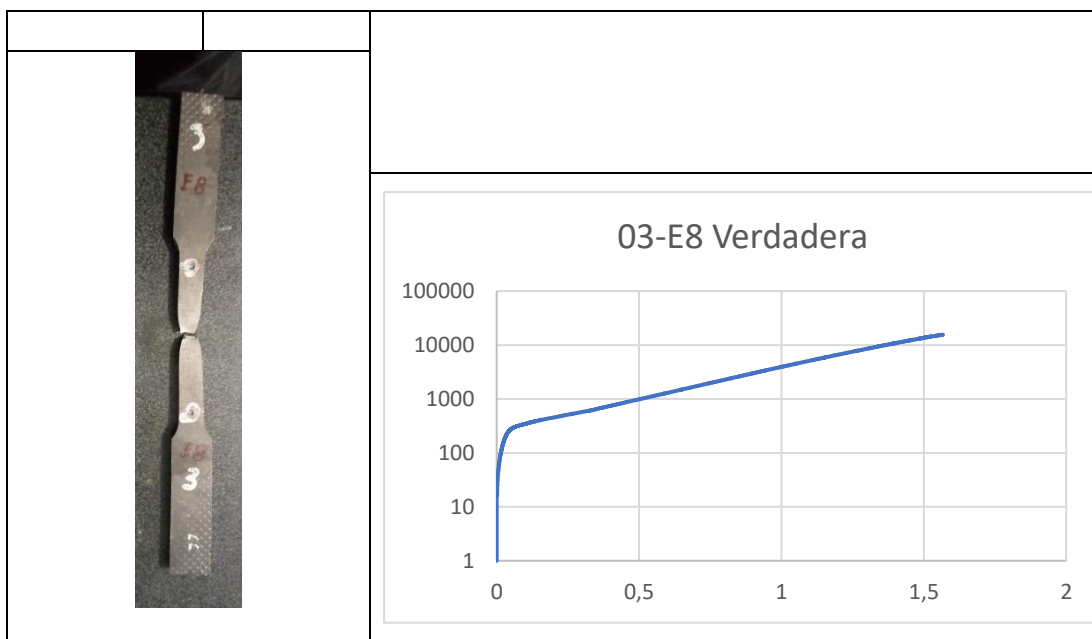



Tabla 34. Informe P2-4E-8

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA		
N° de Ensayo:	04-E8	Probeta	P2-4E-8
Material:	ASTM A572 Gr 50	Módulo de Elasticidad	Esfuerzo de Fluencia
		2,70E+02 GPa	277,39 MPa
Características del ensayo:	Fuerza aplicada: 43,96kN	Velocidad de aplicación	% De Elongación
		4.71 mm/min	39,50 %
Características de la máquina:	MUE WAW600B	Capacidad: 500 kN	Precisión ± 1%.
Realizado por:	C. Cordova	Revisado por:	Ing. Anibal Viñan
	D. Muzo	Fecha:	15/11/2023
Resultados del ensayo			
Esfuerzo [Mpa]	Deformación [Unitaria]		
0	0		
50	0,012		
100	0,030		
150	0,048		
200	0,072		
250	0,134		
300	1,673		
350	4,565		

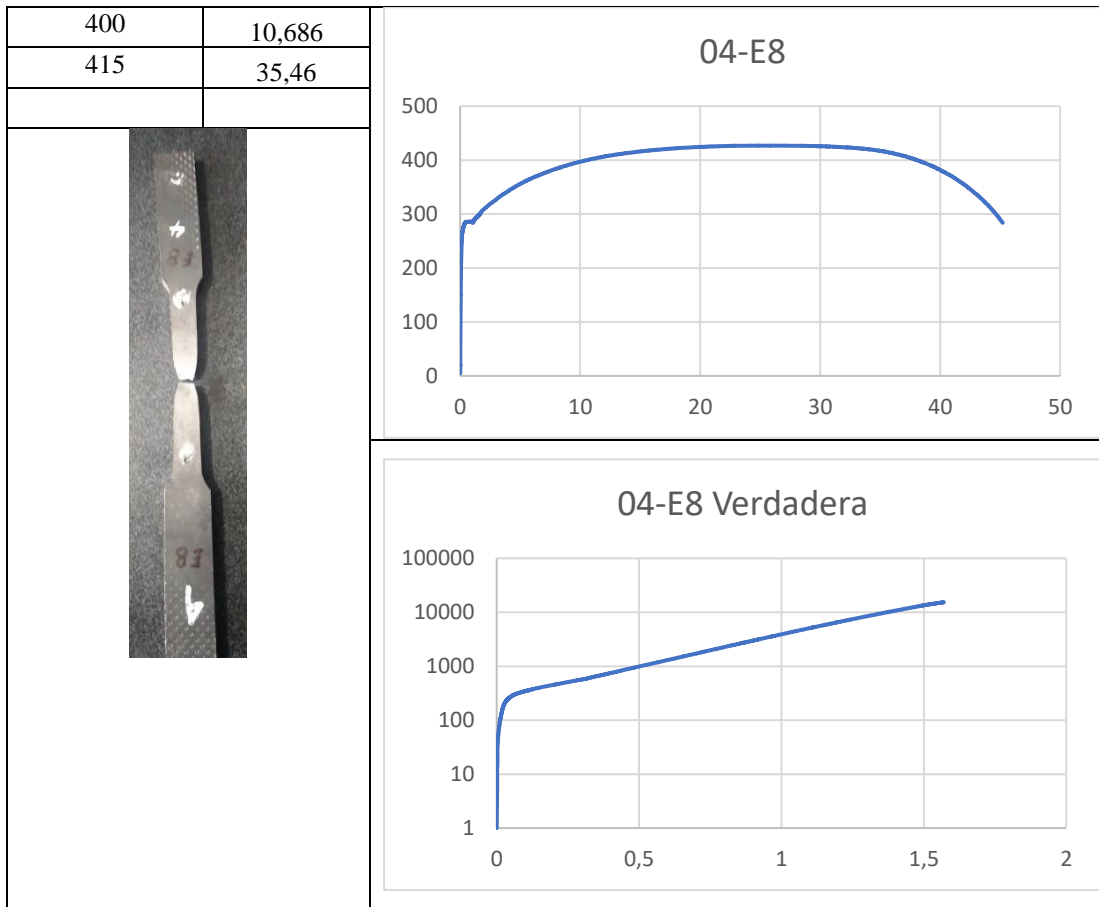




Tabla 35. Informe P2-5E-8

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA		
N° de Ensayo:	05-E8	Probeta	P2-5E-8
Material:	ASTM A572 Gr 50	Módulo de Elasticidad	Esfuerzo de Fluencia
		2,52E+02 GPa	282,52 MPa
Características del ensayo:	Fuerza aplicada: 43,58 kN	Velocidad de aplicación	% De Elongación
		4.71 mm/min	39,00 %
Características de la máquina:	MUE WAW600B	Capacidad: 500 kN	Precisión ± 1%.
Realizado por:	C. Cordova	Revisado por:	Ing. Anibal Viñan
	D. Muzo	Fecha:	15/11/2023
Resultados del ensayo			
Esfuerzo [Mpa]	Deformación [Unitaria]		
0	0		
50	0,03		

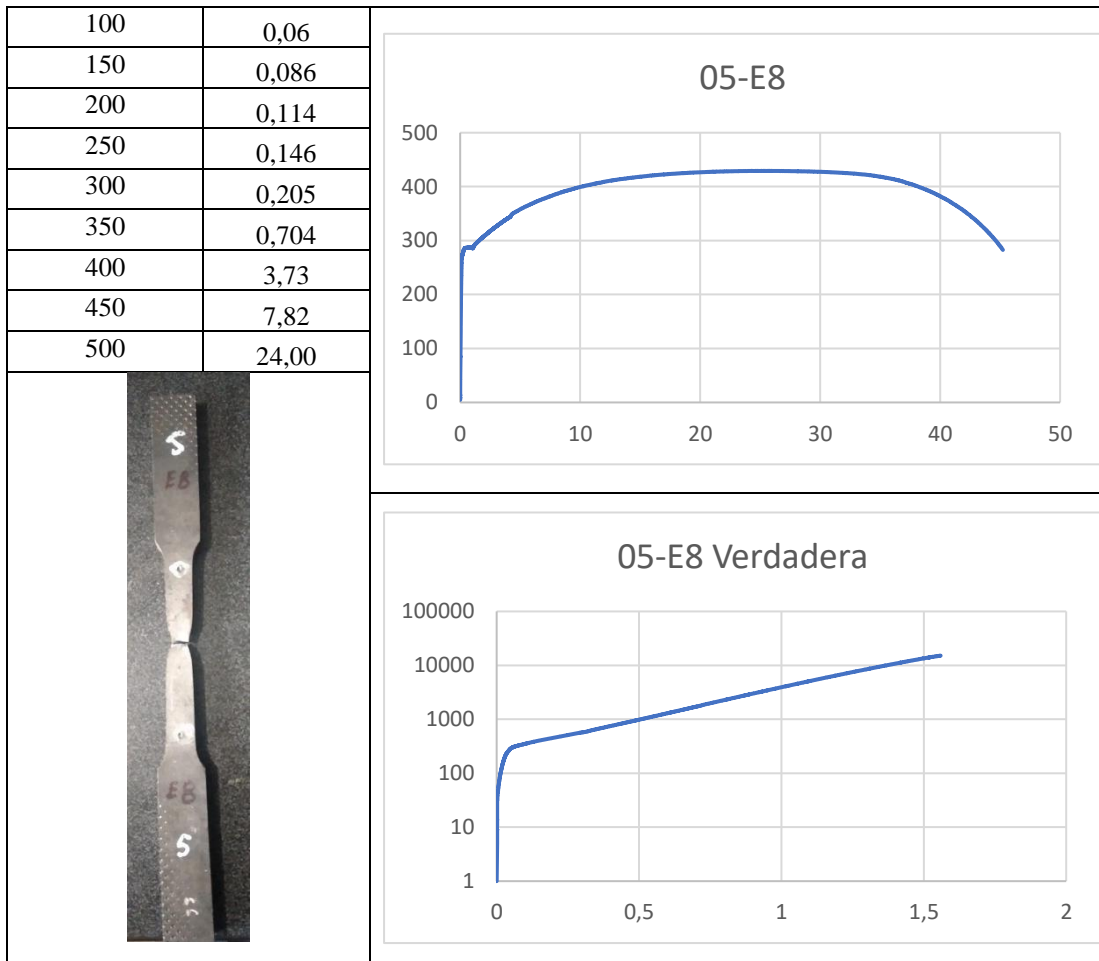




Tabla 36. Informe P2-1C-8

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA		
N° de Ensayo:	06-E8	Probeta	P2-1C-8
Material:	ASTM A572 Gr 50	Módulo de Elasticidad	Esfuerzo de Fluencia
		3,31E+02 GPa	396,01 MPa
Características del ensayo:	Fuerza aplicada:	Velocidad de aplicación	% De Elongación
	46,46 kN	4.71 mm/min	26,50 %
Características de la máquina:	MUE	Capacidad: 500 kN	Precisión ± 1%.
	WAW600B		
Realizado por:	C. Cordova	Revisado por:	Ing. Anibal Viñan
	D. Muzo	Fecha:	15/11/2023
Resultados del ensayo			
Esfuerzo [Mpa]	Deformación [Unitaria]		

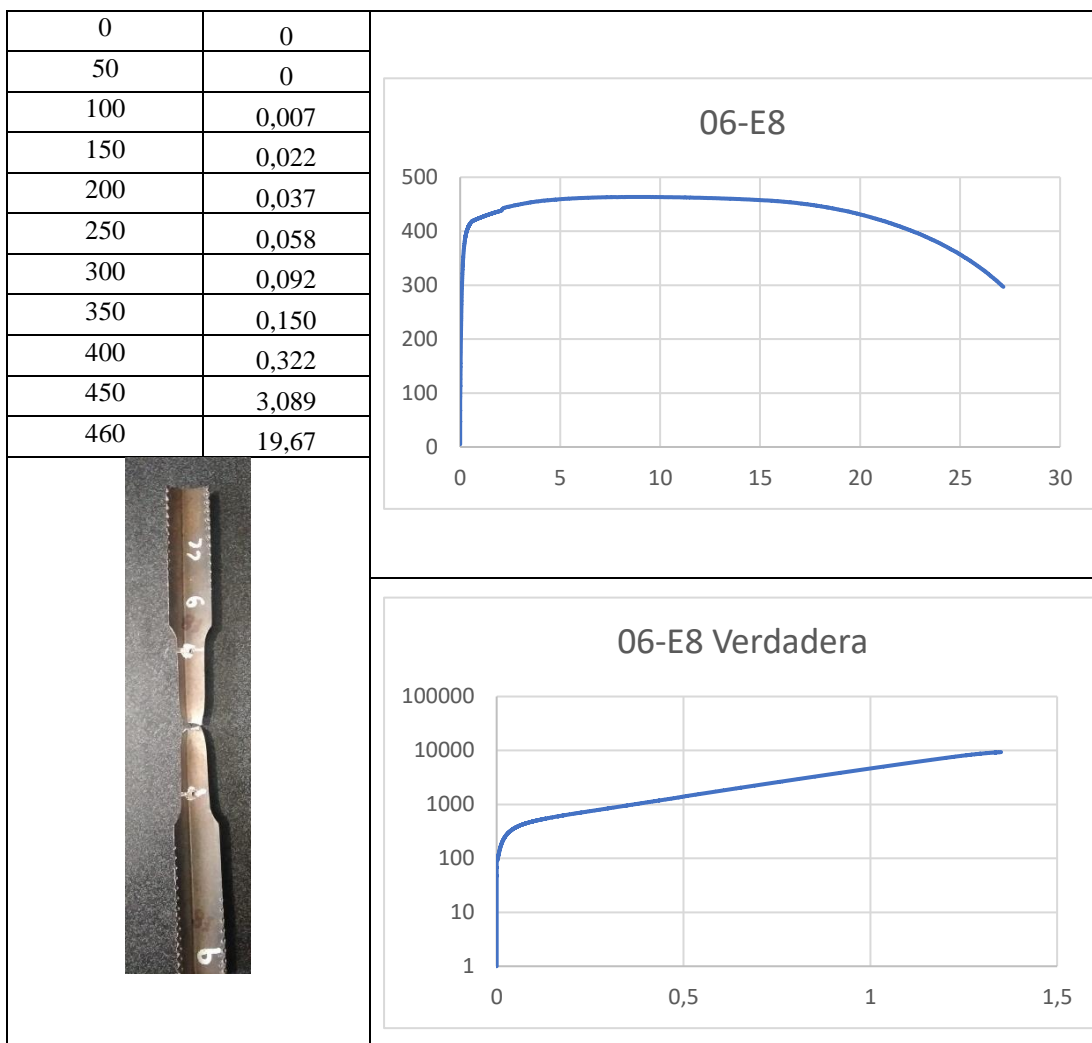




Tabla 37. Informe P2-2C-8

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA		
N° de Ensayo:	07-E8	Probeta	P2-2C-8
Material:	ASTM A572 Gr 50	Módulo de Elasticidad	Esfuerzo de Fluencia
		2,16E+02 GPa	454,96 MPa
Características del ensayo:	Fuerza aplicada: 42,22 kN	Velocidad de aplicación	% De Elongación
		4.71 mm/min	25,00 %
Características de la máquina:	MUE WAW600B	Capacidad: 500 kN	Precisión ± 1%.
Realizado por:	C. Cordova	Revisado por:	Ing. Anibal Viñan
	D. Muzo	Fecha:	15/11/2023
Resultados del ensayo			

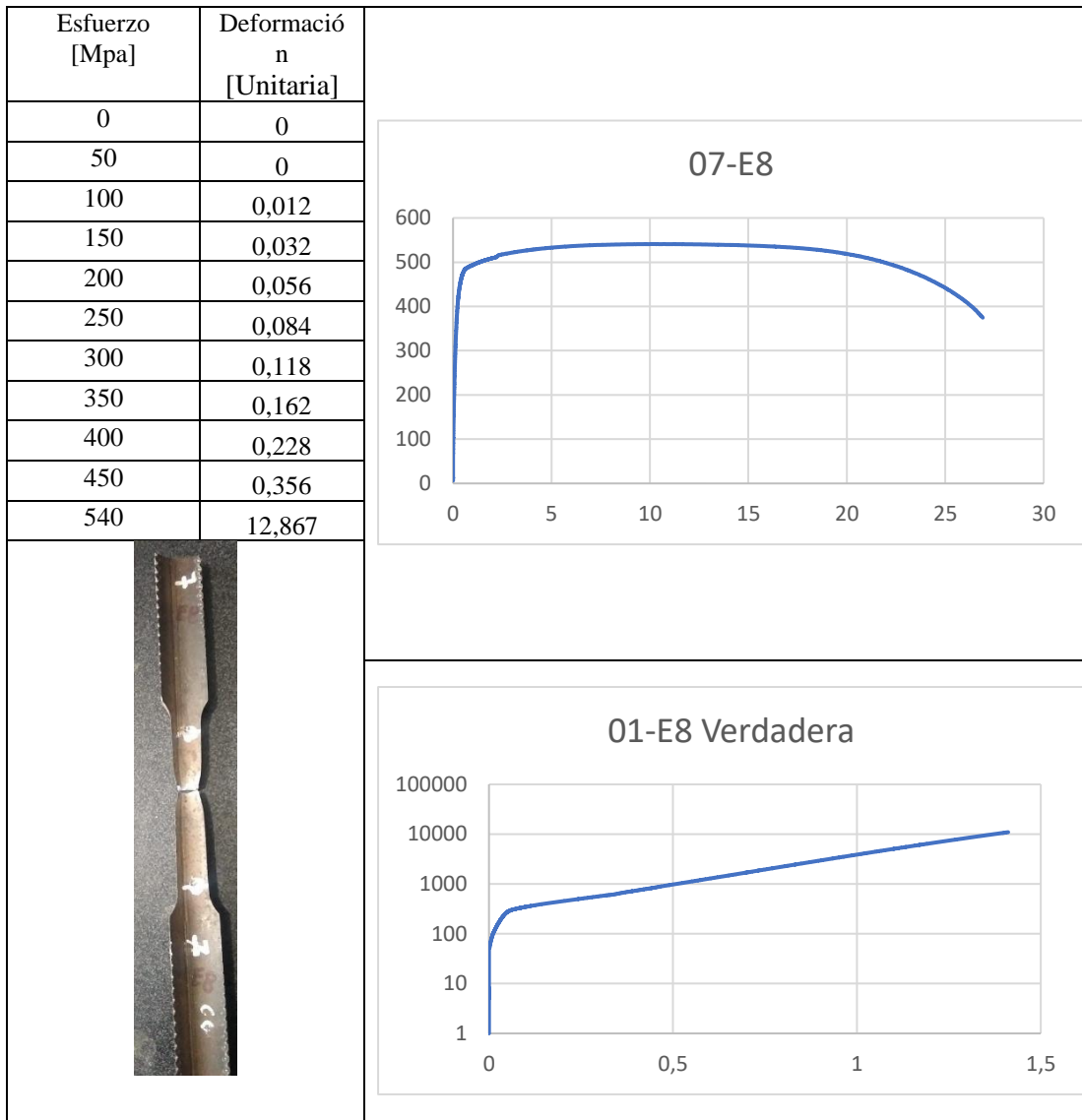


Tabla 38. Informe P2-3C-8

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA		
N° de Ensayo:	08-E8	Probeta	P2-3C-8
Material:	ASTM A572 Gr 50	Módulo de Elasticidad	Esfuerzo de Fluencia
		2,04E+02 GPa	446,22 MPa
Características del ensayo:	Fuerza aplicada: 41,86 kN	Velocidad de aplicación	% De Elongación
		4.71 mm/min	25,00 %
Características de la máquina:	MUE WAW600B	Capacidad: 500 kN	Precisión ± 1%.
Realizado por:	C. Cordova	Revisado por:	Ing. Anibal Viñan
	D. Muzo	Fecha:	15/11/2023

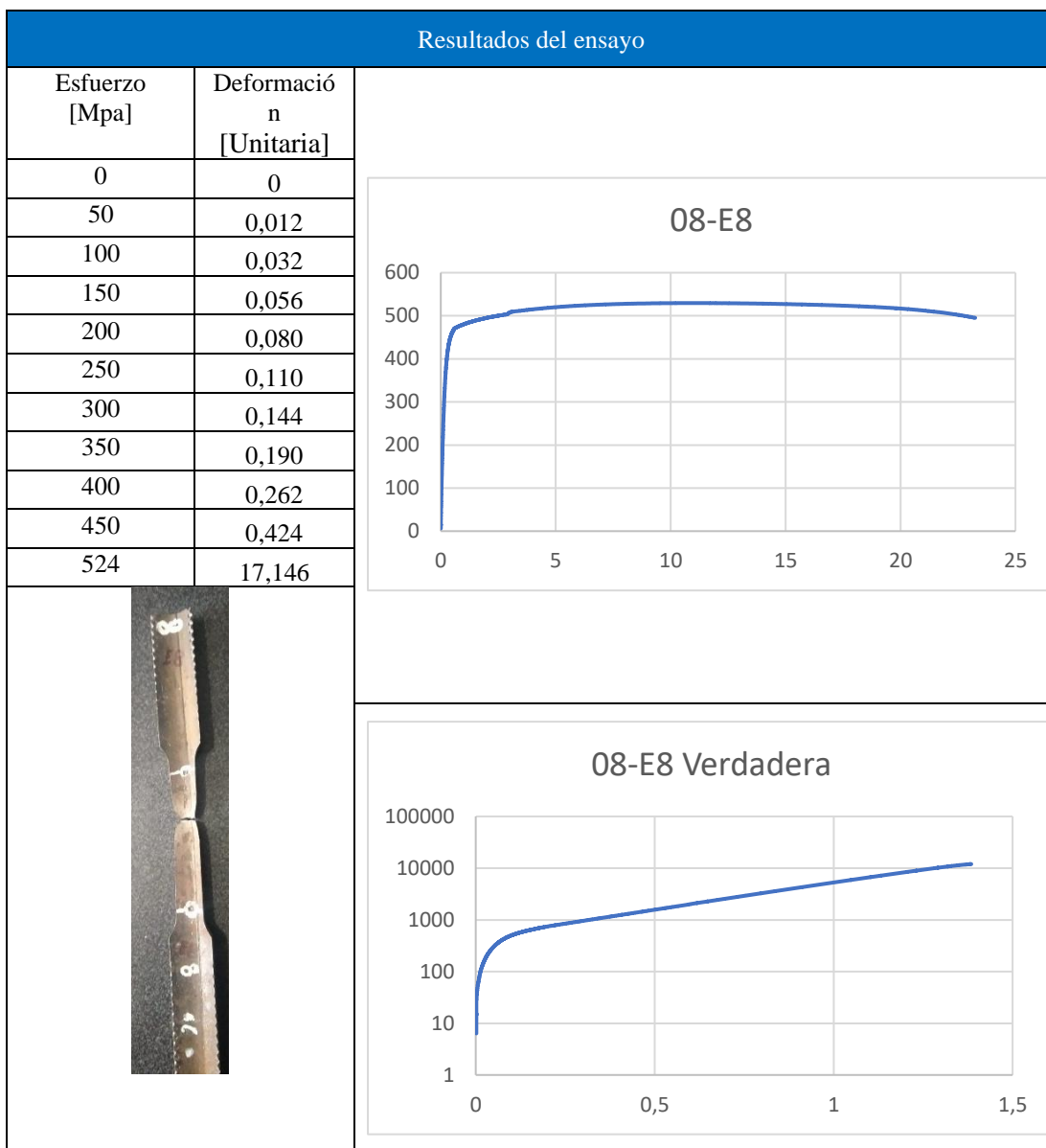




Tabla 39. Informe P2-4C-8

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA		
	N° de Ensayo:	09-E8	
Material:	Probeta:	Módulo de Elasticidad	Esfuerzo de Fluencia
	ASTM A572 Gr 50	2,05E+02 GPa	449,8 MPa
Características del ensayo:	Fuerza aplicada:	Velocidad de aplicación	% De Elongación

	42,26 kN	4.71 mm/min	25,50 %		
Características de la máquina:	MUE WAW600B	Capacidad: 500 kN	Precisión ± 1%.		
Realizado por:	C. Cordova D. Muzo	Revisado por:	Ing. Anibal Viñan		
		Fecha:	15/11/2023		
Resultados del ensayo					
Esfuerzo [Mpa]	Deformación [Unitaria]	<p style="text-align: center;">09-E8</p>			
0	0				
50	0,010				
100	0,036				
150	0,062				
200	0,086				
250	0,112				
300	0,146				
350	0,192				
400	0,262				
450	0,410				
500	1,958				
531	13,473				
				<p style="text-align: center;">09-E8 Verdadera</p>	

Tabla 40. Informe P2-5C-8

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA		
N° de Ensayo:	10-E8	Probeta	P2-5C-8
	Probeta:	Módulo de Elasticidad	Esfuerzo de Fluencia
Material:	ASTM A572 Gr 50	1,92E+02	376,54

		GPa	MPa
Características del ensayo:	Fuerza aplicada:	Velocidad de aplicación	% De Elongación
	47,34 kN	4.71 mm/min	28,00 %
Características de la máquina:	MUE	Capacidad: 500 kN	Precisión ± 1%.
	WAW600B		
Realizado por:	C. Cordova	Revisado por:	Ing. Anibal Viñan
	D. Muzo	Fecha:	15/11/2023
Resultados del ensayo			
Esfuerzo [Mpa]	Deformación [Unitaria]		
0	0		
50	0,020		
100	0,048		
150	0,072		
200	0,104		
250	0,146		
300	0,206		
350	0,302		
400	0,546		
450	3,674		
459	11,764		

Tabla 41. Informe P2-1A2-E-8

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA		
	N° de Ensayo:	11-E8	
Material:	Probeta:	Módulo de Elasticidad	Esfuerzo de Fluencia
	ASTM A572 Gr 50	2,23E+02	279,82

		GPa	MPa
Características del ensayo:	Fuerza aplicada:	Velocidad de aplicación	% De Elongación
	43,04 kN	4.71 mm/min	38,50 %
Características de la máquina:	MUE	Capacidad: 500 kN	Precisión ± 1%.
	WAW600B		
Realizado por:	C. Cordova	Revisado por:	Ing. Anibal Viñan
	D. Muzo	Fecha:	15/11/2023
Resultados del ensayo			
Esfuerzo [Mpa]	Deformación [Unitaria]	<p style="text-align: center;">11-E8</p>	
0	0		
50	0		
100	0,02		
150	0,044		
200	0,068		
250	0,112		
300	1,746		
350	4,937		
400	11,543		
423	28.326		

Tabla 42. Informe P2-2A2-E-8

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA		
N° de Ensayo:	12-E8	Probeta	P2-2A2-E-8
Material:	Probeta:	Módulo de Elasticidad	Esfuerzo de Fluencia

	ASTM A572 Gr 50	2,10E+02 GPa	272,61 MPa
Características del ensayo:	Fuerza aplicada:	Velocidad de aplicación	% De Elongación
	42,74 kN	4,71 mm/min	46,00 %
Características de la máquina:	MUE	Capacidad: 500 kN	Precisión ± 1%.
	WAW600B		
Realizado por:	C. Cordova	Revisado por:	Ing. Anibal Viñan
	D. Muzo	Fecha:	15/11/2023

Resultados del ensayo

Esfuerzo [Mpa]	Deformación [Unitaria]
0	0
50	0,01
100	0,032
150	0,056
200	0,080
250	0,145
300	2,066
350	5,425
400	13,359
416	28,389

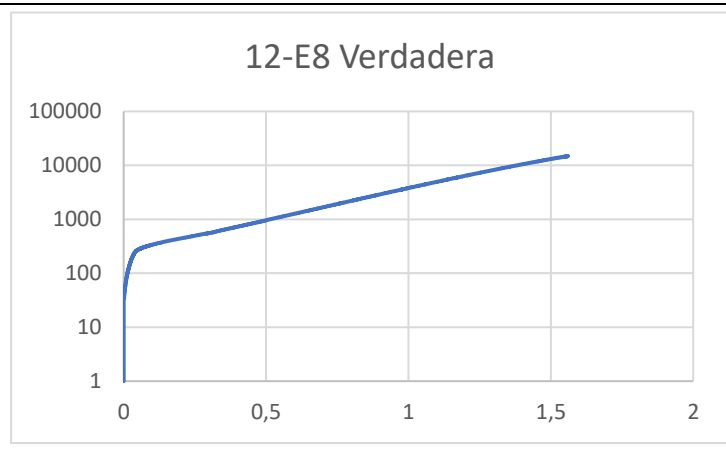
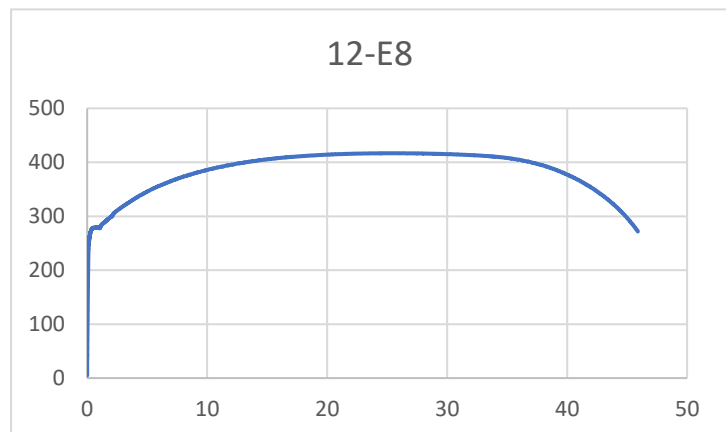



Tabla 43. Informe P2-3A2-E-8

	<p>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</p>	
---	--	---

N° de Ensayo:	13-E8	Probeta	P2-3A2-E-8
Material:	Probeta:	Módulo de Elasticidad	Esfuerzo de Fluencia
	ASTM A572 Gr 50	1,85E+02 GPa	279,44 MPa
Características del ensayo:	Fuerza aplicada:	Velocidad de aplicación	% De Elongación
	43,32 kN	4.71 mm/min	39,50 %
Características de la máquina:	MUE	Capacidad: 500 kN	Precisión ± 1%.
	WAW600B		
Realizado por:	C. Cordova	Revisado por:	Ing. Anibal Viñan
	D. Muzo	Fecha:	15/11/2023

Resultados del ensayo

Esfuerzo [Mpa]	Deformación [Unitaria]
0	0
50	0,032
100	0,064
150	0,09
200	0,116
250	0,168
300	1,748
350	4,985
400	11,607
424	29,066

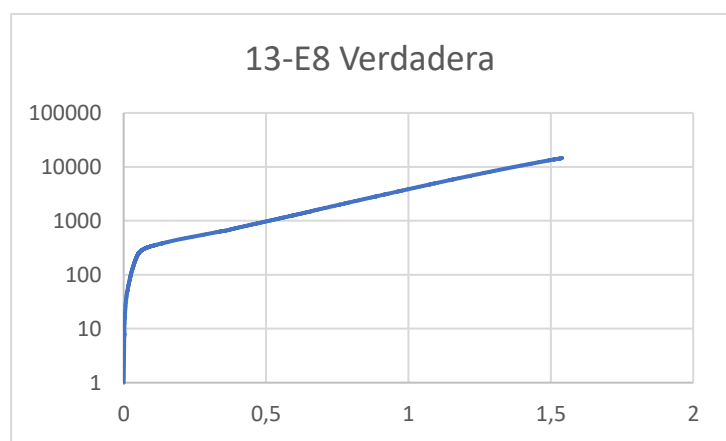
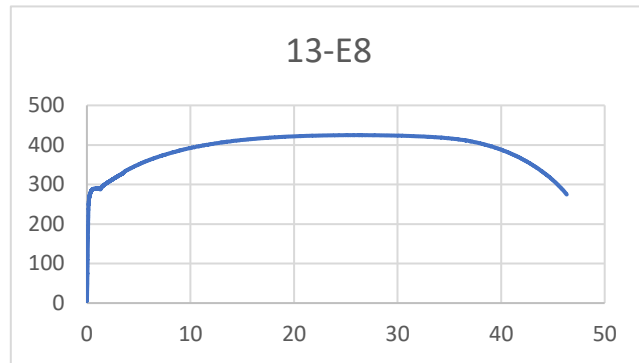


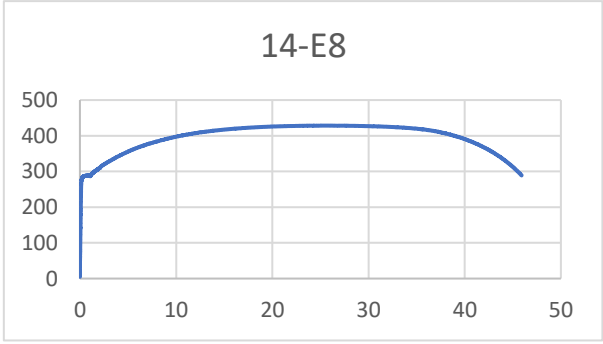


Tabla 44. Informe P2-4A2-E-8

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA			
N° de Ensayo:	14-E8	Probeta		P2-4A2-E-8	
Material:	Probeta:	Módulo de Elasticidad		Esfuerzo de Fluencia	
	ASTM A572 Gr 50	1,86E+02 GPa		285,86 MPa	
Características del ensayo:	Fuerza aplicada:	Velocidad de aplicación		% De Elongación	
	43,40 kN	4.71 mm/min		39,50 %	
Características de la máquina:	MUE	Capacidad: 500 kN		Precisión ± 1%.	
	WAW600B				
Realizado por:	C. Cordova	Revisado por:		Ing. Anibal Viñan	
	D. Muzo	Fecha:		15/11/2023	
Resultados del ensayo					
Esfuerzo [Mpa]	Deformación [Unitaria]				
0	0				
50	0,012				
100	0,038				
150	0,066				
200	0,092				
250	0,120				
300	1,560				
350	4,588				
400	10,597				
418	35,569				

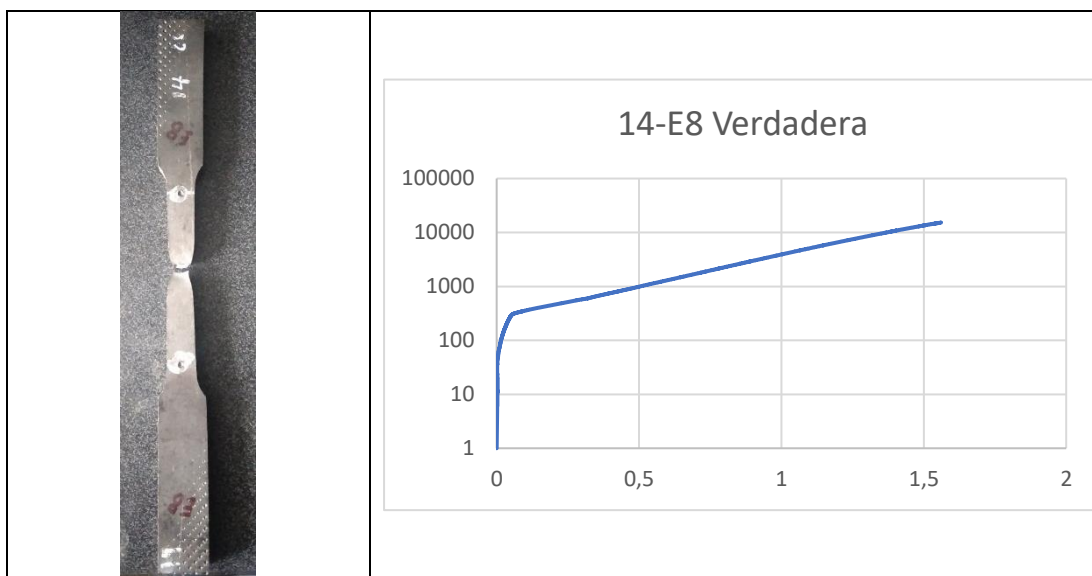


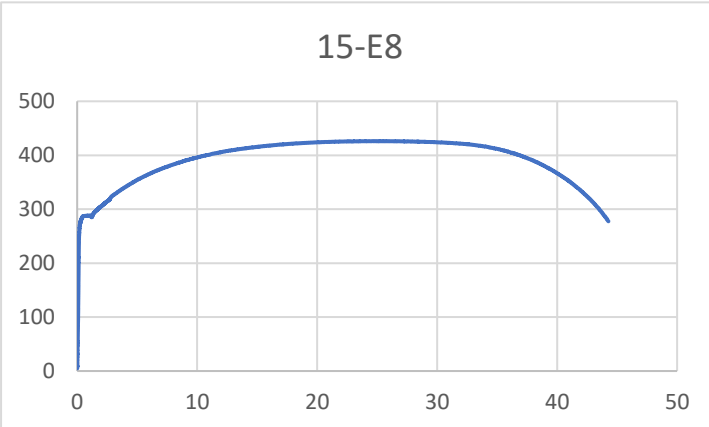


Tabla 45. Informe P2-5A2-E-8

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA			
N° de Ensayo:	15-E8	Probeta	P2-5A2-E-8		
Material:	Probeta:	Módulo de Elasticidad	Esfuerzo de Fluencia		
	ASTM A572 Gr 50	1,94E+02 GPa	282,42 MPa		
Características del ensayo:	Fuerza aplicada:	Velocidad de aplicación	% De Elongación		
	43,58 kN	4.71 mm/min	39,50 %		
Características de la máquina:	MUE	Capacidad: 500 kN	Precisión ± 1%.		
	WAW600B				
Realizado por:	C. Cordova	Revisado por:	Ing. Anibal Viñan		
	D. Muzo	Fecha:	15/11/2023		
Resultados del ensayo					
Esfuerzo [Mpa]	Deformación [Unitaria]				
0	0				
50	0,44				
100	0,078				
150	0,104				
200	0,124				
250	0,160				
300	1,739				
350	4,709				
400	10,865				
426	25,688				

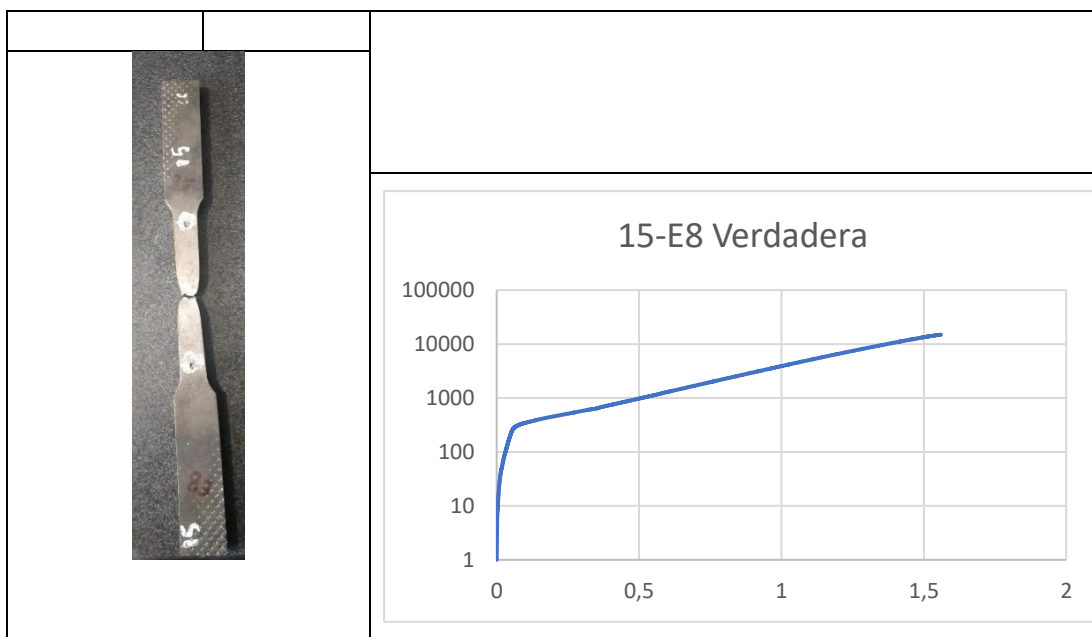


Tabla 46. Informe P2-1A1-E-8

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA		
	N° de Ensayo:	16-E8	
Material:	Probeta:	Módulo de Elasticidad	Esfuerzo de Fluencia
	ASTM A572 Gr 50	2,02E+02 GPa	278,14 MPa
Características del ensayo:	Fuerza aplicada:	Velocidad de aplicación	% De Elongación
	43,64 kN	4.71 mm/min	37,50 %
Características de la máquina:	MUE WAW600B	Capacidad: 500 kN	Precisión ± 1%.
Realizado por:	C. Cordova	Revisado por:	Ing. Anibal Viñan
	D. Muzo	Fecha:	15/11/2023
Resultados del ensayo			
Esfuerzo [Mpa]	Deformación [Unitaria]		
0	0		
50	0,046		
100	0,086		
150	0,110		
200	0,130		
250	0,182		
300	2,022		
350	5,137		

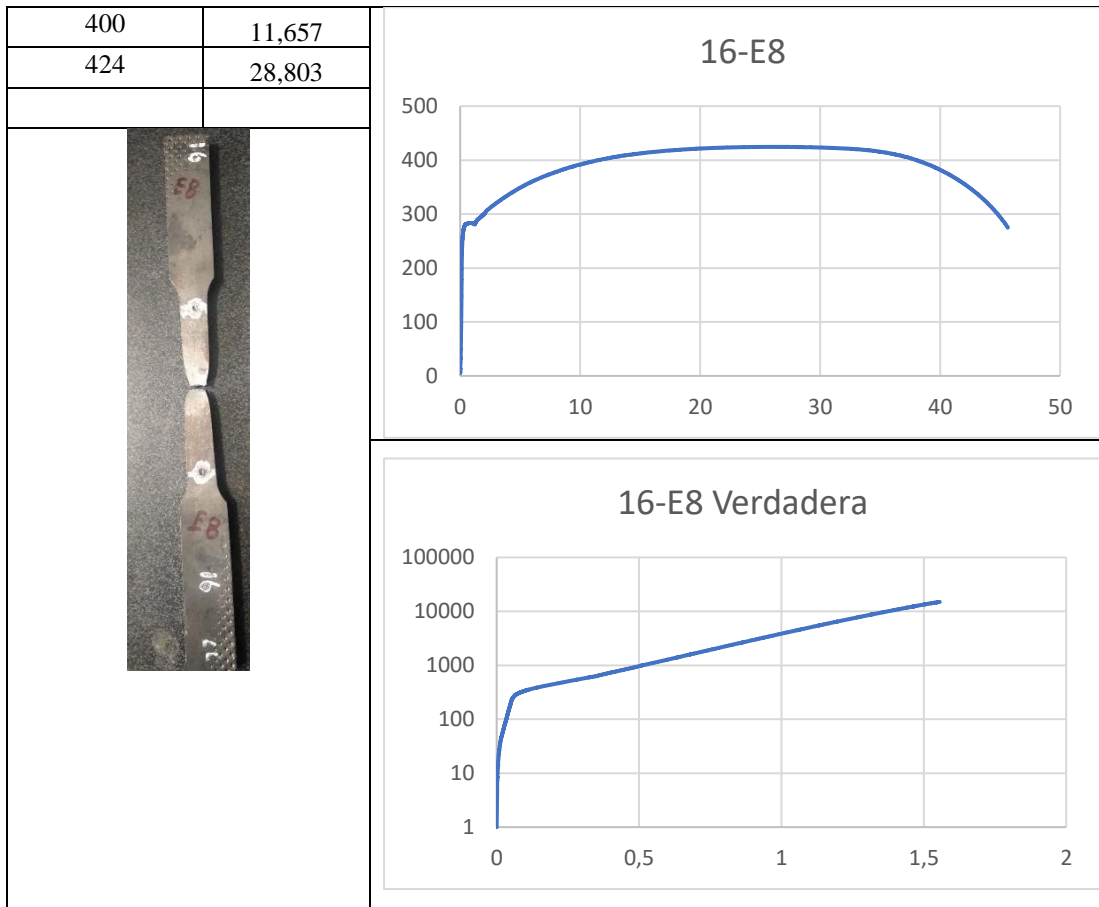




Tabla 47. Informe P2-2A1-E-8

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA		
N° de Ensayo:	17-E8	Probeta	P2-2A1-E-8
Material:	Probeta:	Módulo de Elasticidad	Esfuerzo de Fluencia
	ASTM A572 Gr 50	1,92E+02 GPa	279,96 MPa
Características del ensayo:	Fuerza aplicada:	Velocidad de aplicación	% De Elongación
	43,30 kN	4.71 mm/min	36,50 %
Características de la máquina:	MUE	Capacidad: 500 kN	Precisión ± 1%.
	WAW600B		
Realizado por:	C. Cordova	Revisado por:	Ing. Anibal Viñan
	D. Muzo	Fecha:	15/11/2023
Resultados del ensayo			
Esfuerzo [Mpa]	Deformación [Unitaria]		
0	0		

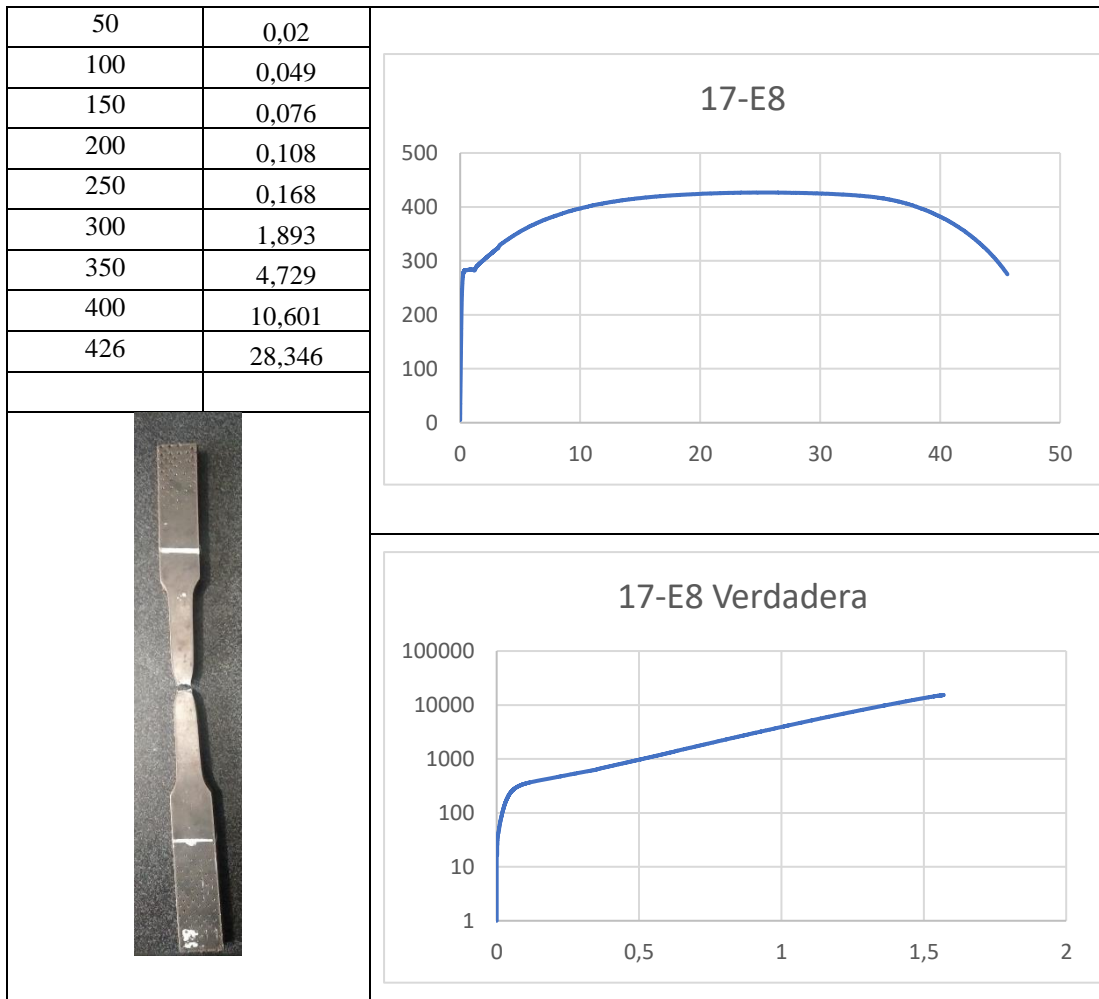


Tabla 48. Informe P2-3A1-E-8

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA		
N° de Ensayo:	18-E8	Probeta	P2-3A1-E-8
Material:	Probeta:	Módulo de Elasticidad	Esfuerzo de Fluencia
	ASTM A572 Gr 50	1,82E+02 GPa	281,79 MPa
Características del ensayo:	Fuerza aplicada:	Velocidad de aplicación	% De Elongación
	43,14 kN	4.71 mm/min	39,50 %
Características de la máquina:	MUE	Capacidad: 500 kN	Precisión ± 1%.
	WAW600B		
Realizado por:	C. Cordova	Revisado por:	Ing. Anibal Viñan
	D. Muzo	Fecha:	15/11/2023
Resultados del ensayo			
Esfuerzo [Mpa]	Deformación		

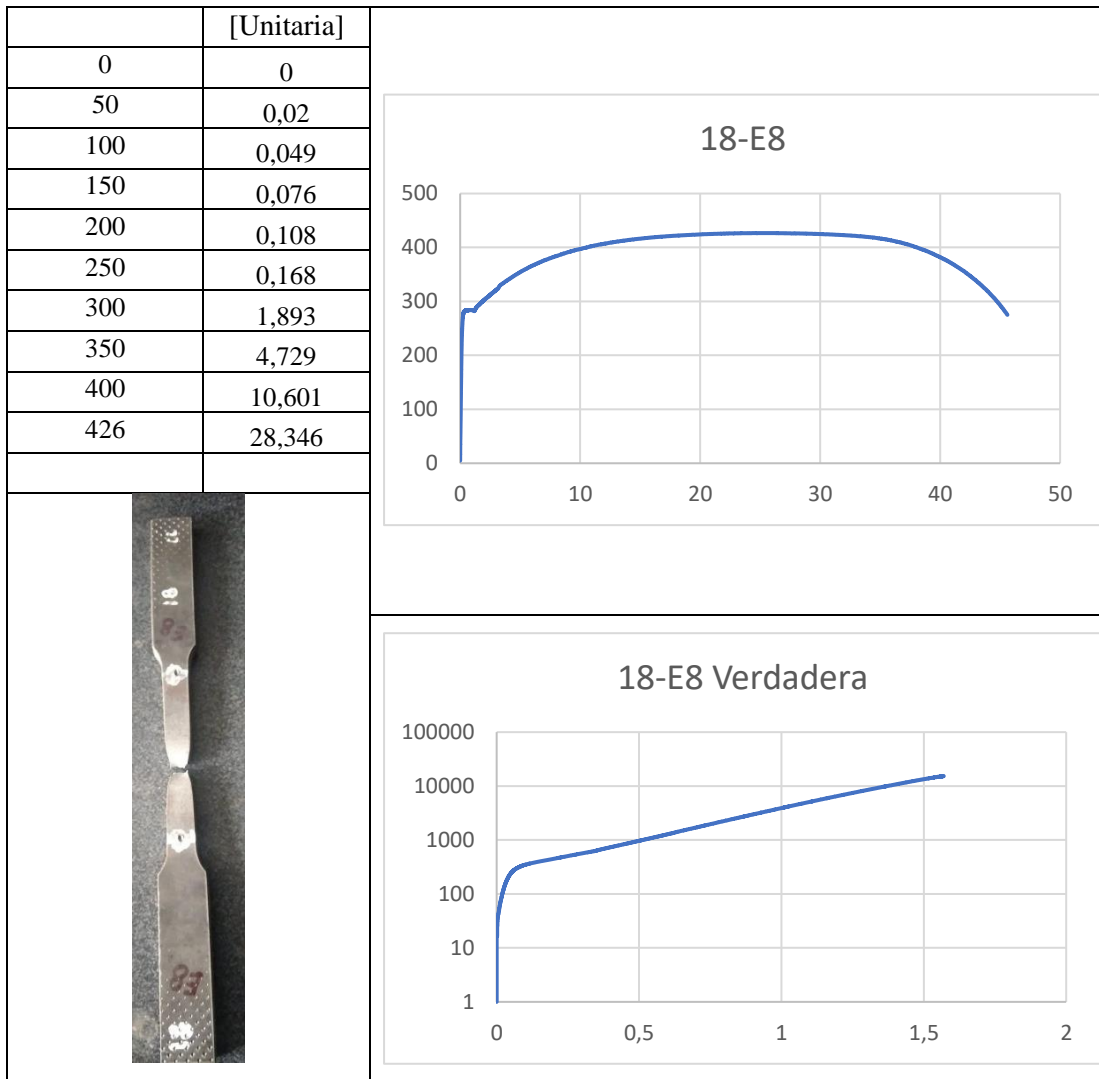


Tabla 49. Informe P2-4A1-E-8

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA		
N° de Ensayo:	19-E8	Probeta	P2-4A1-E-8
Material:	ASTM A572 Gr 50	Módulo de Elasticidad	Esfuerzo de Fluencia
		1,70E+02 GPa	270,87 MPa
Características del ensayo:	Fuerza aplicada:	Velocidad de aplicación	% De Elongación
	43,65 kN	4.71 mm/min	37,50 %
Características de la máquina:	MUE WAW600B	Capacidad: 500 kN	Precisión ± 1%.
Realizado por:	C. Cordova	Revisado por:	Ing. Anibal Viñan
	D. Muzo	Fecha:	15/11/2023

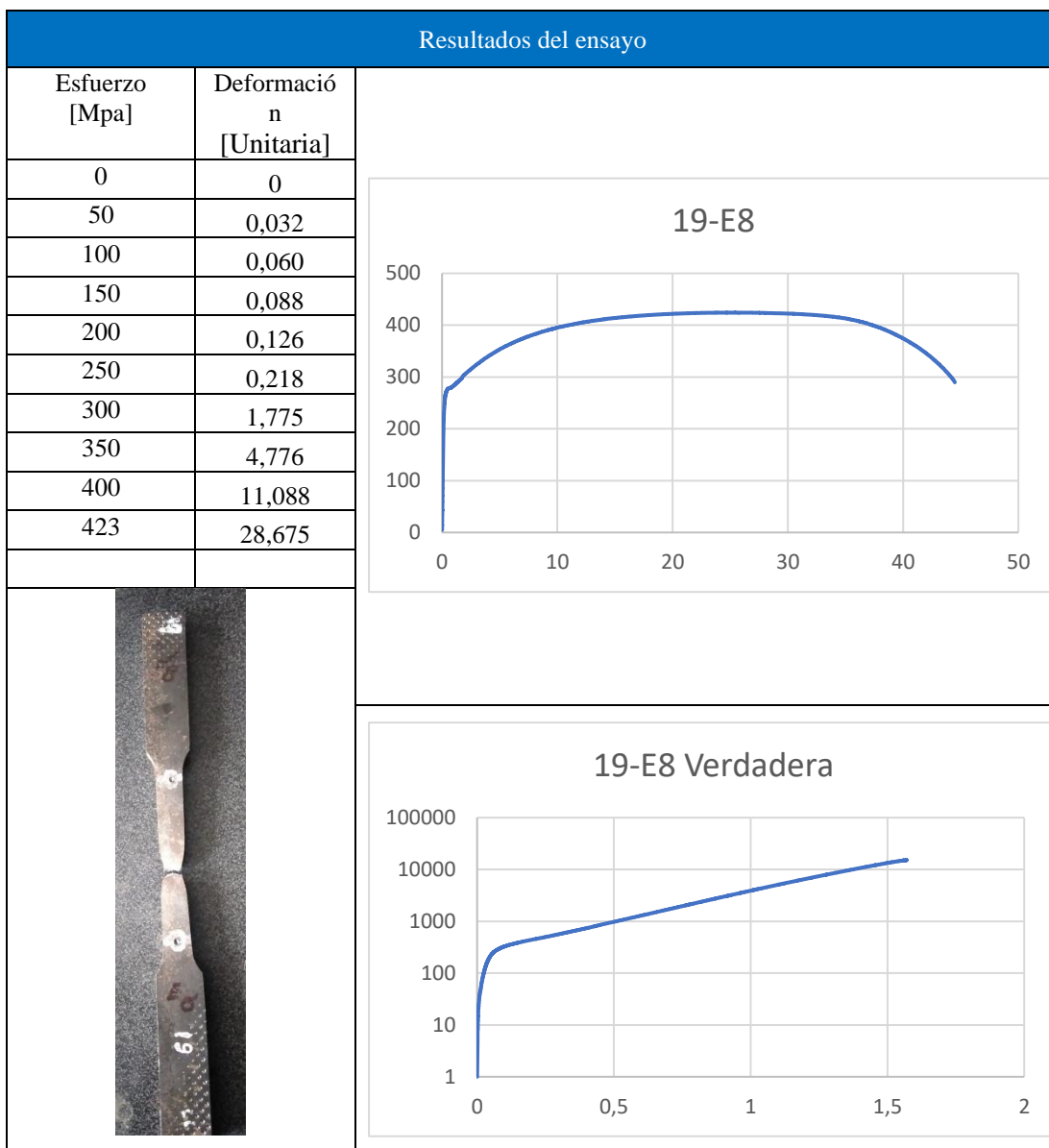



Tabla 50. Informe P2-5A1-E-8



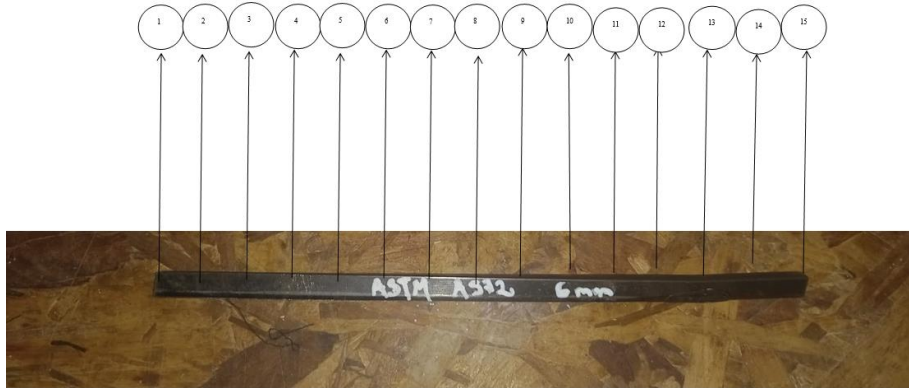
	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA		
N° de Ensayo:	20-E8	Probeta	P2-5A1-E-8
Material:	Probeta:	Módulo de Elasticidad	Esfuerzo de Fluencia
	ASTM A572 Gr 50	2,09E+02 GPa	279,37 MPa
Características del ensayo:	Fuerza aplicada:	Velocidad de aplicación	% De Elongación
	43,42 kN	4.71 mm/min	37,50 %
Características de la máquina:	MUE WAW600B	Capacidad: 500 kN	Precisión ± 1%.

Realizado por:	C. Cordova	Revisado por:	Ing. Anibal Viñan
	D. Muzo	Fecha:	15/11/2023
Resultados del ensayo			
Esfuerzo [Mpa]	Deformación [Unitaria]	<p style="text-align: center;">20-E8</p>	
0	0		
50	0,013		
100	0,036		
150	0,060		
200	0,086		
250	0,124		
300	1,954		
350	4,931		
400	11,534		
421	27,577		

3.1.2. Ensayo de Dureza

Los ensayos de dureza son realizados a lo largo del perfil estructural tipo “UV”. Tanto exterior como interiormente de cada tipo de perfil, Es decir, de 6 mm y 8 mm respectivamente adicionalmente secciones vírgenes del material de cada espesor.

Tabla 51. Reporte de ensayo de dureza de acero ASTM A572 Gr 50 de 6 mm de espesor

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA 			
ENSAYO DE DUREZA			
N° de Ensayo:	01	Sección	Probeta
Material:	Acero	Refuerzo:	Espesor:
	ASTM A572 Gr 50	N/A	6 mm
Características de la maquina:	Durómetro (HBRV187,5)	Tipo de dureza	Brinell
Realizado por:	Christian Córdova	Revisado por:	Ing. F. Peña
	Danny Muzo	Fecha:	02/12/2023
Norma	ASTM E10-18		
RESULTADOS DEL ENSAYO			
Sección exterior del perfil tipo “UV” de 6 mm de espesor			
			
GRAFICA DE DUREZA			

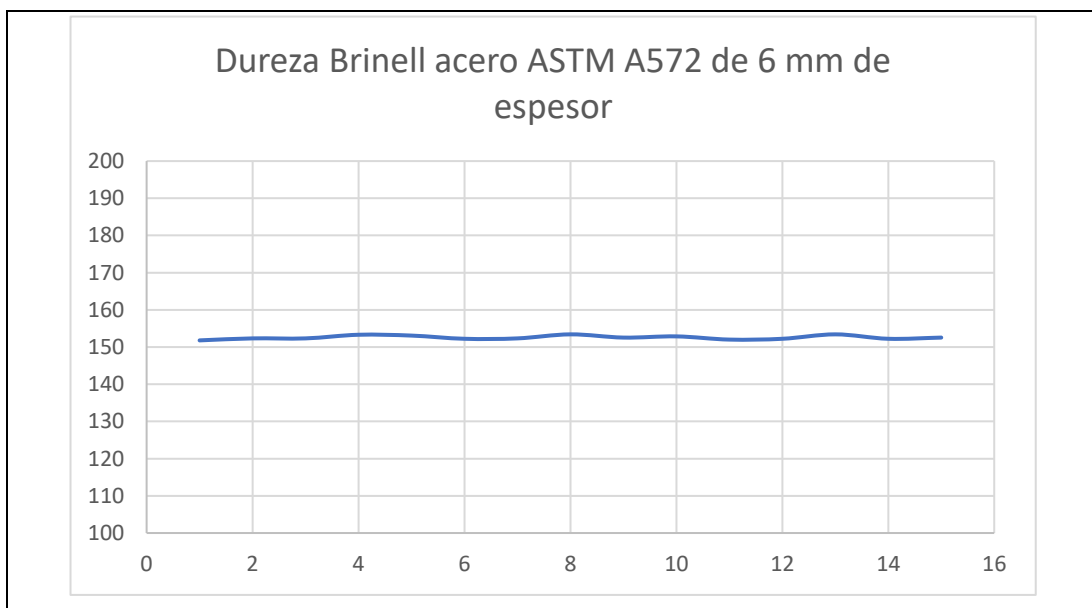


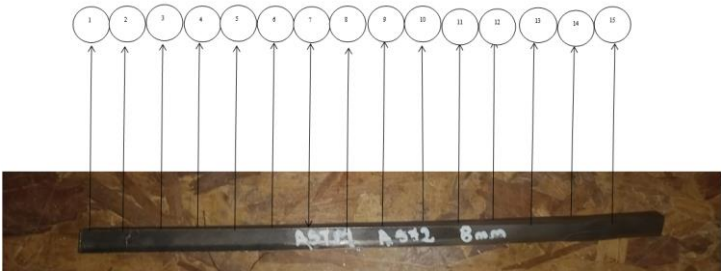


Tabla 52. Reporte de ensayo de dureza de acero ASTM A572 Gr 50 de 8 mm de espesor

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		
ENSAYO DE DUREZA			
N° de Ensayo:	01	Sección	Probeta
Material:	Acero	Refuerzo:	Espesor:
	ASTM A572 Gr 50	N/A	8 mm
Características de la maquina:	Durómetro (HBRV187,5)	Tipo de dureza	Brinell
Realizado por:	Christian Córdova	Revisado por:	Ing. F. Peña
	Danny Muzo	Fecha:	02/12/2023
Norma	ASTM E10-18		
RESULTADOS DEL ENSAYO			
Sección exterior del perfil tipo “UV” de 8 mm de espeso			
			
GRAFICA DE DUREZA			

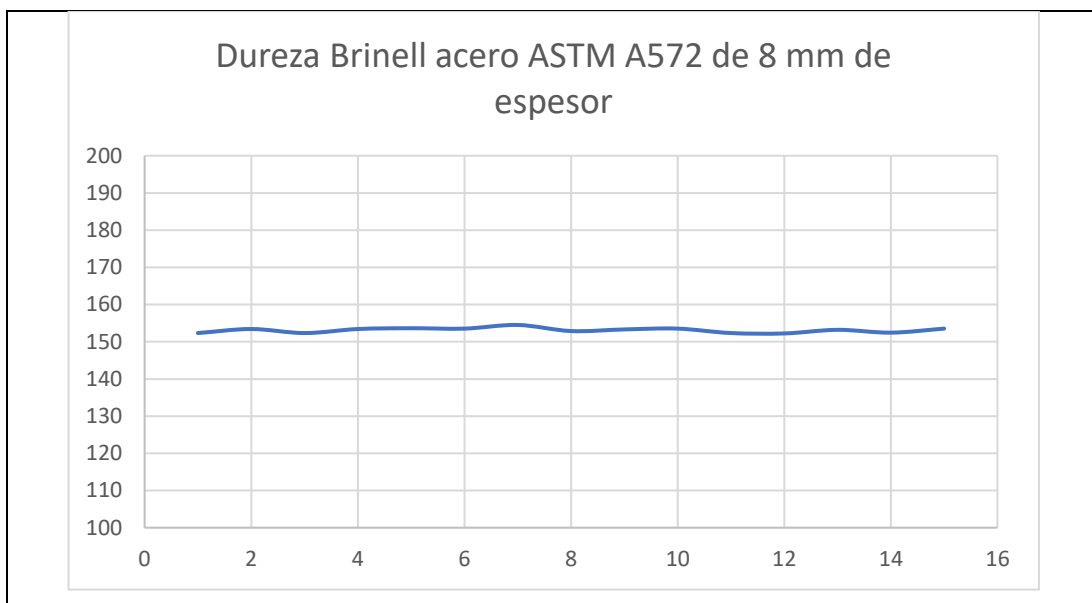

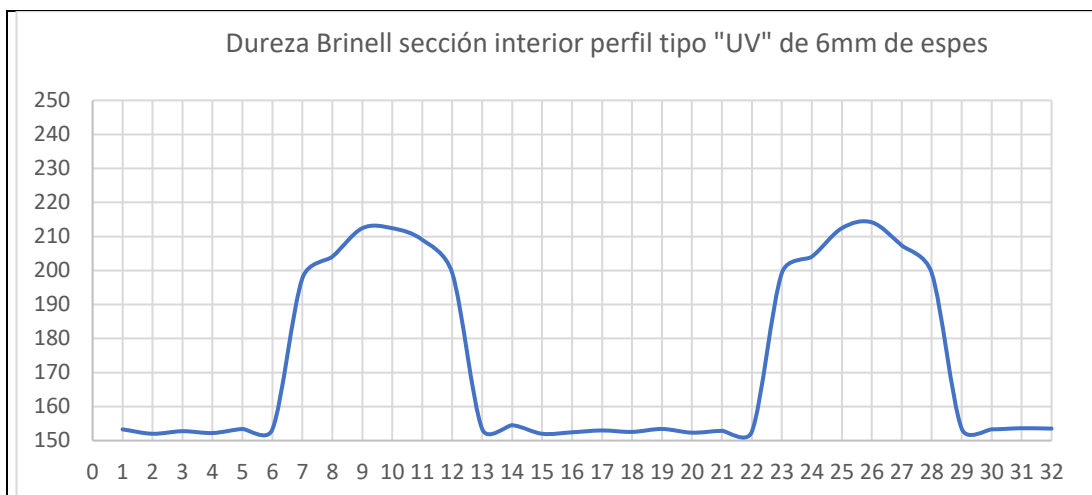
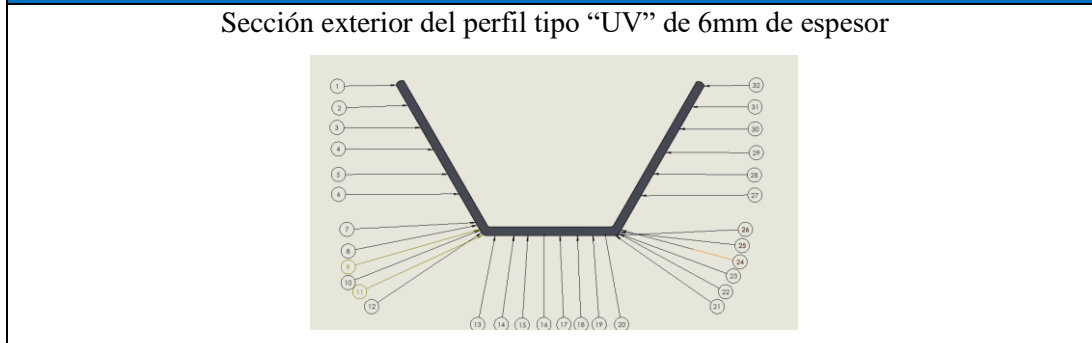


Tabla 53. Reporte de ensayo de dureza de perfil estructural tipo "UV" de 6 mm de espesor

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		
ENSAYO DE DUREZA			
N° de Ensayo:	01	Sección	Perfil estructural "UV"
Material:	Acero	Refuerzo:	Espesor:
	ASTM A572 Gr 50	N/A	6 mm
Características de la máquina:	Durómetro (HBRV187,5)	Tipo de dureza	Brinell
Realizado por:	Christian Córdova	Revisado por:	Ing. F. Peña
	Danny Muzo	Fecha:	02/12/2023
Norma	ASTM E10-18		
RESULTADOS DEL ENSAYO			
Sección interior del perfil tipo "UV" de 6mm de espesor			
			
GRAFICA DE DUREZA			



RESULTADOS DEL ENSAYO



GRAFICA DE DUREZA

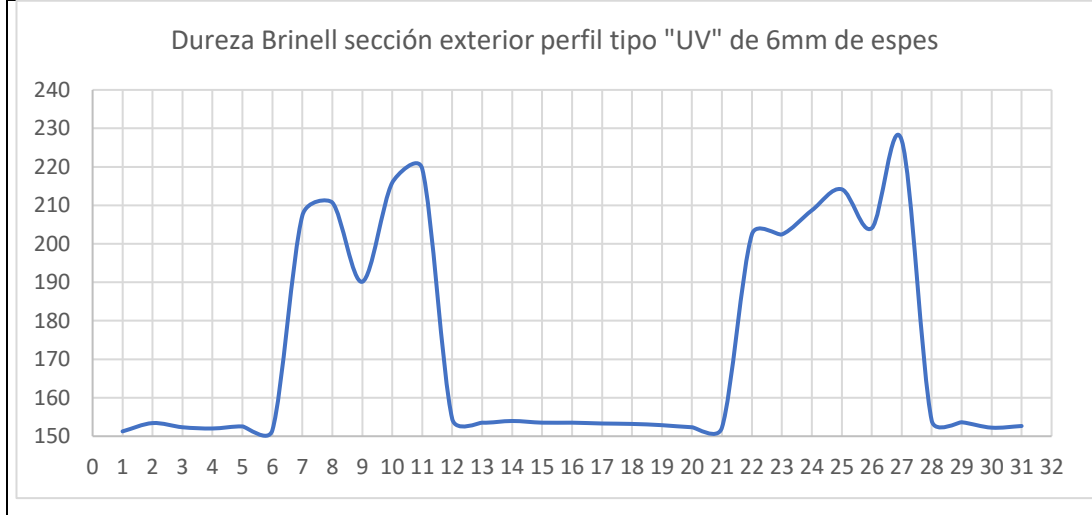




Tabla 54. Reporte de ensayo de dureza de perfil estructural tipo "UV" de 8 mm de espesor



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA



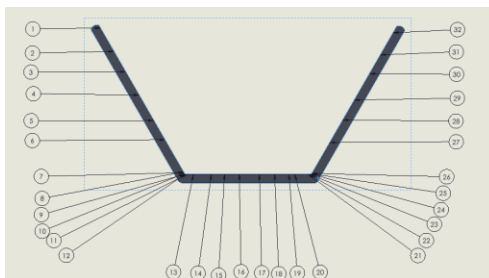
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

ENSAYO DE DUREZA

N° de Ensayo:	02	Sección	Perfil estructural "UV"
Material:	Acero	Refuerzo:	Espesor:
	ASTM A572 Gr 50	N/A	8 mm
Características de la maquina:	Durómetro (HBRV187,5)	Tipo de dureza	Brinell
Realizado por:	Christian Córdova	Revisado por:	Ing. F. Peña
	Danny Muzo	Fecha:	02/12/2023
Norma	ASTM E18-15		

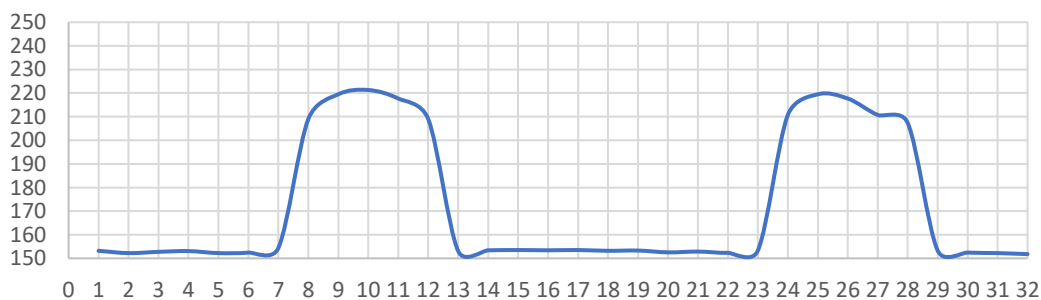
RESULTADOS DEL ENSAYO

Sección exterior del perfil tipo "UV" de 8 mm de espesor



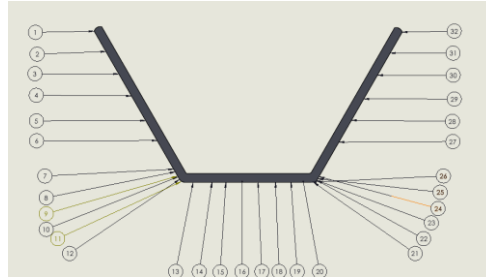
GRAFICA DE DUREZA

Dureza Brinell sección interior perfil tipo "UV" de 8mm de espesor



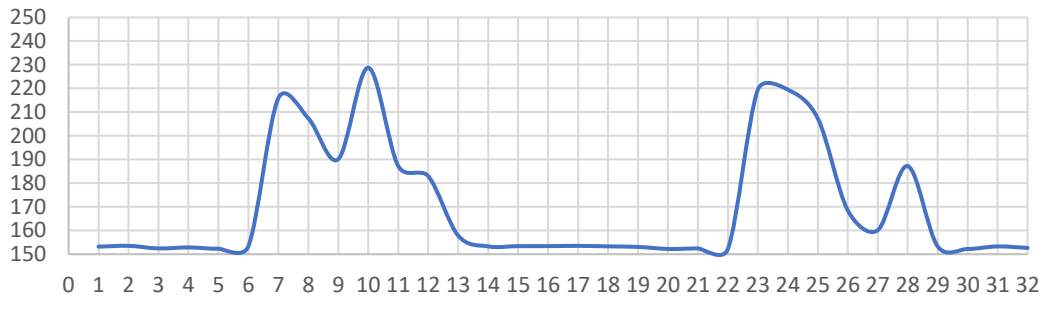
RESULTADOS DEL ENSAYO

Sección interior del perfil tipo "UV" de 8 mm de espesor



GRAFICA DE DUREZA

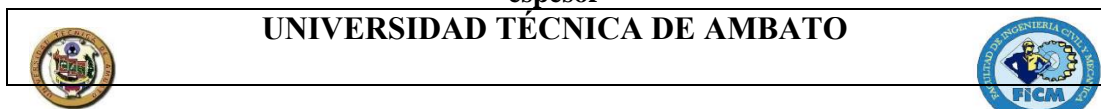
Dureza Brinell sección exterior perfil tipo "UV" de 8mm de espesor

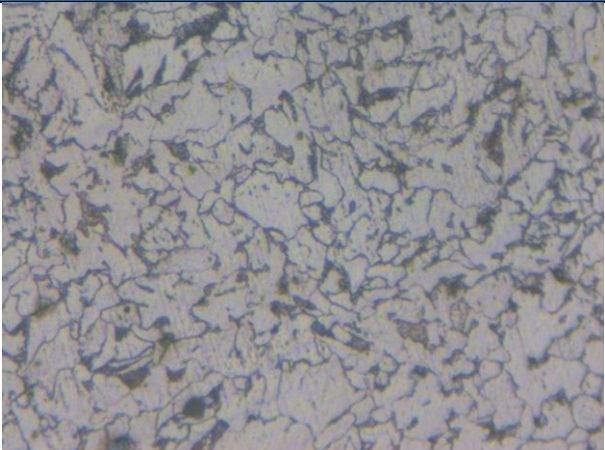


3.1.3. Micrografía

La micrografía es realizada y guiada mediante la norma ASTM E112 -12. Esta norma se utiliza en la metalurgia y está relacionada con la determinación del tamaño de grano de los metales.

Tabla 55. Reporte de ensayo de micrografía acero ASTM A572 Gr 50 de 6mm de espesor



FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA			
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
ENSAYO METALGRÁFICO			
Datos Informativos:		Material virgen 6mm de espesor	
Tipo de estudio:	Laboratorio	Ensayo N.º:	01
Material:		Acero ASTM A572 Gr 50	
Solicitado por:	UTA – FICM	Fecha:	
Centro de Estudio y Análisis:		Laboratorio de Materiales - FICM	
Realizado por:	Christian Córdova Danny Muzo	Supervisado por:	Ayudante del laboratorio
PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO			
Lugar:		Sector Huachi Chico / Campus Universitario - UTA	
Temperatura Ambiente:	21.5°C	Radiación:	No medida
Velocidad del aire circundante:	No medida	Otros:	-
PARÁMETROS DEL ENSAYO METALGRÁFICO			
Acondicionamiento de la superficie:	Pulido Mecánico		
Temperatura durante el pulido:	22°C	Superficie preparada en:	Laboratorio de materiales FICM
Ataque Químico de la superficie con:	Nital 4	Durante:	4 segundos
Norma		ASTM E112 -12	
RESULTADO:			
FOTOGRAFÍA DE LA MICROESTRUCTURA			
			
COMPARACIÓN DE LA MICROESTRUCTURA			

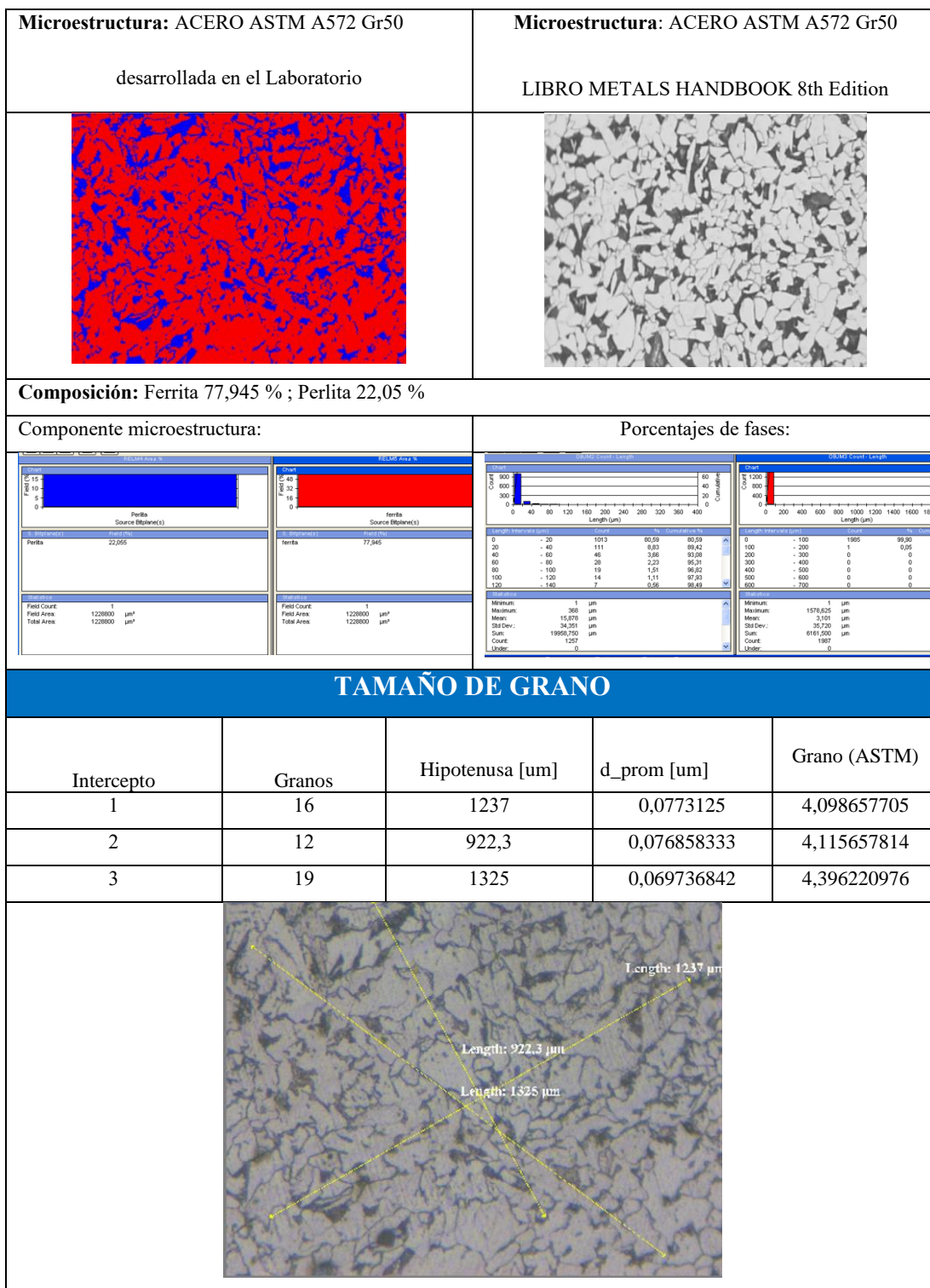
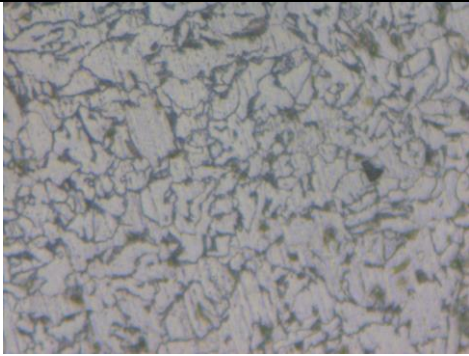


Tabla 56. Reporte de ensayo de micrografía acero ASTM A572 Gr50 de 8mm de espesor

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA			
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
ENSAYO METALGRÁFICO			
Datos Informativos:		Material virgen 8 mm de espesor	
Tipo de estudio:	Laboratorio	Ensayo N.º:	02
Material:		Acero ASTM A572 Gr 50	
Solicitado por:	UTA – FICM	Fecha:	
Centro de Estudio y Análisis:		Laboratorio de Materiales - FICM	
Realizado por:	Christian Córdova Danny Muzo	Supervisado por:	Ayudante del laboratorio
PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO			
Lugar:		Sector Huachi Chico / Campus Universitario - UTA	
Temperatura Ambiente:	21.5°C	Radiación:	No medida
Velocidad del aire circundante:	No medida	Otros:	-
PARÁMETROS DEL ENSAYO METALGRÁFICO			
Acondicionamiento de la superficie:	Pulido Mecánico		
Temperatura durante el pulido:	22°C	Superficie preparada en:	Laboratorio de materiales de FICM
Ataque Químico de la superficie con:	Nital 4	Durante:	4 segundos
Norma		ASTM E112 -12	
RESULTADO:			
FOTOGRAFÍA DE LA MICROESTRUCTURA			
			
		500x	
COMPARACIÓN DE LA MICROESTRUCTURA			

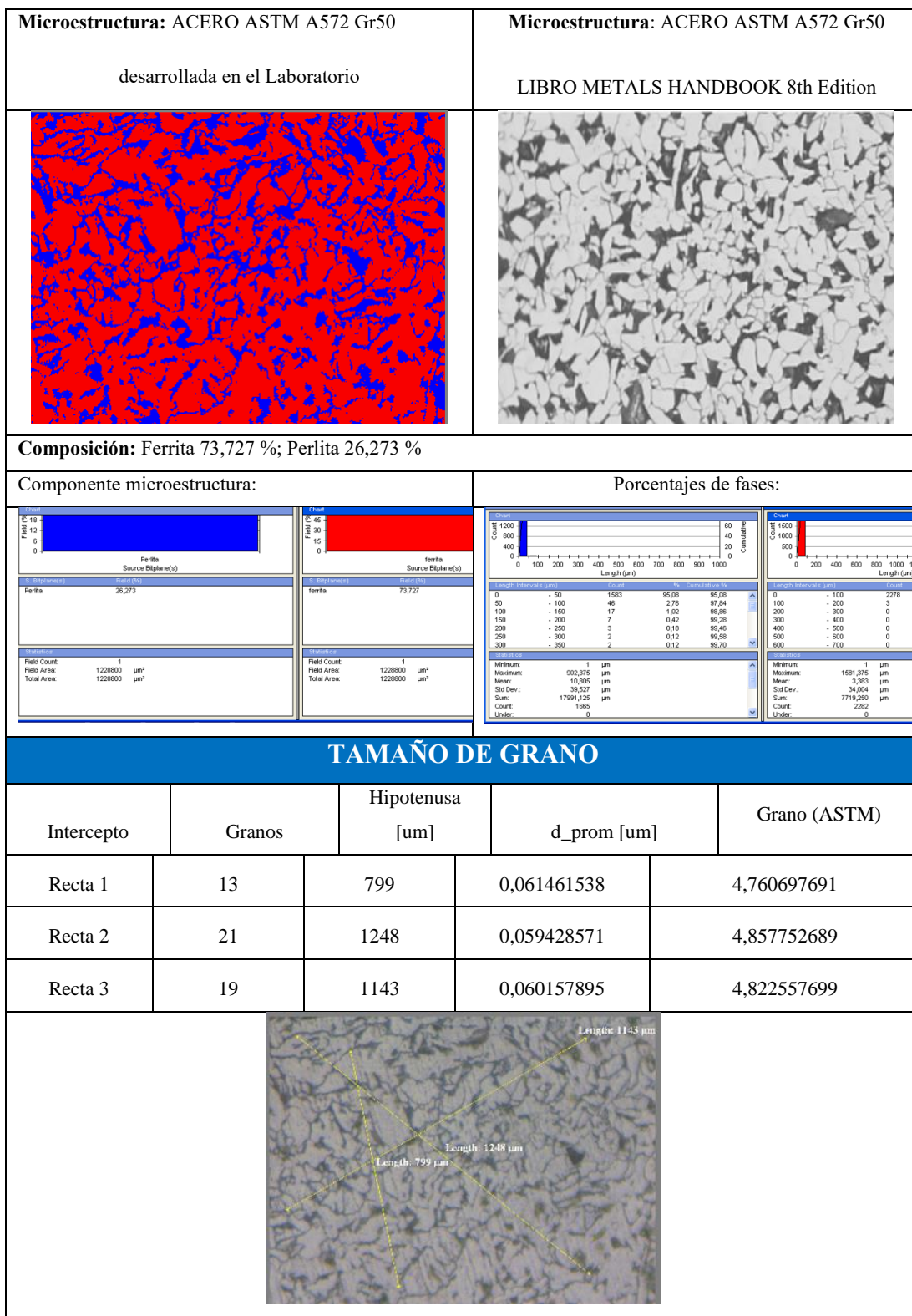
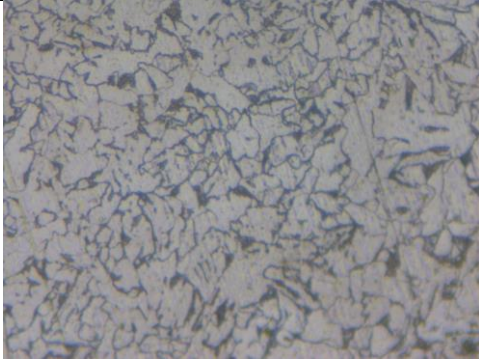
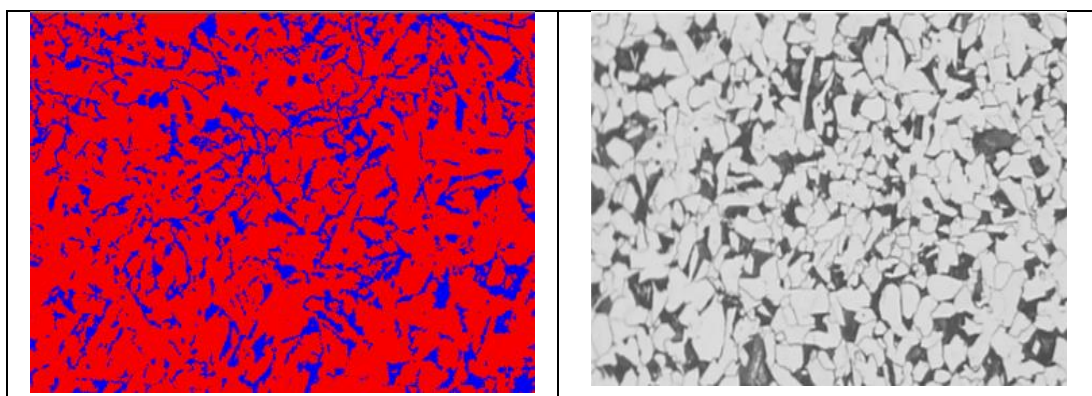


Tabla 57. Reporte de ensayo de micrografía sección curva perfil estructural tipo "UV" de 6mm de espesor

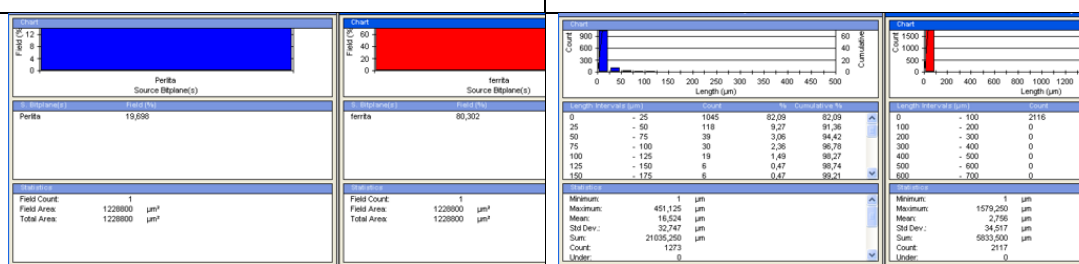
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA			
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
ENSAYO METALOGRÁFICO			
Datos Informativos:		Sección curva izq perfil estructural tipo “UV” de 6 mm de espesor	
Tipo de estudio:	Laboratorio	Ensayo N.º:	03
Material:		Acero ASTM A572 Gr 50	
Solicitado por:	UTA – FICM	Fecha:	
Centro de Estudio y Análisis:		Laboratorio de Materiales - FICM	
Realizado por:	Christian Córdova Danny Muzo	Supervisado por:	Ayudante del laboratorio
PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO			
Lugar:		Sector Huachi Chico / Campus Universitario - UTA	
Temperatura Ambiente:	21.5°C	Radiación:	No medida
Velocidad del aire circundante:	No medida	Otros:	No
PARÁMETROS DEL ENSAYO METALOGRÁFICO			
Acondicionamiento de la superficie:	Pulido Mecánico		
Temperatura durante el pulido:	22°C	Superficie preparada en:	Laboratorio de materiales FICM
Ataque Químico de la superficie con:	Nital 4	Durante:	4 segundos
Norma		ASTM E112 -12	
RESULTADO:			
FOTOGRAFÍA DE LA MICROESTRUCTURA			
			
COMPARACIÓN DE LA MICROESTRUCTURA			
Microestructura: ACERO ASTM A572 Gr50 desarrollada en el Laboratorio		Microestructura: ACERO ASTM A572 Gr50 LIBRO METALS HANDBOOK 8th Edition	



Composición: Ferrita 80,32 %; Perlita 19,696 %

Componente microestructura:

Porcentajes de fases:



TAMAÑO DE GRANO

Intercepto	Granos	Hipotenusa [µm]	d_prom [µm]	Grano (ASTM)
Recta 1	23	1199	0,052130435	5,235816799
Recta 2	24	1173	0,048875	5,421876406
Recta 3	22	1135	0,051590909	5,265835045

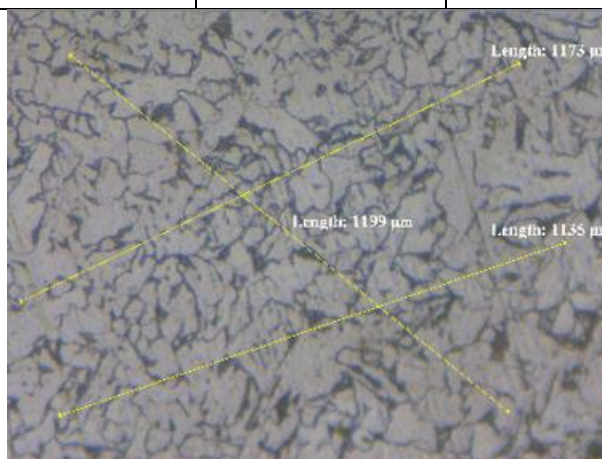
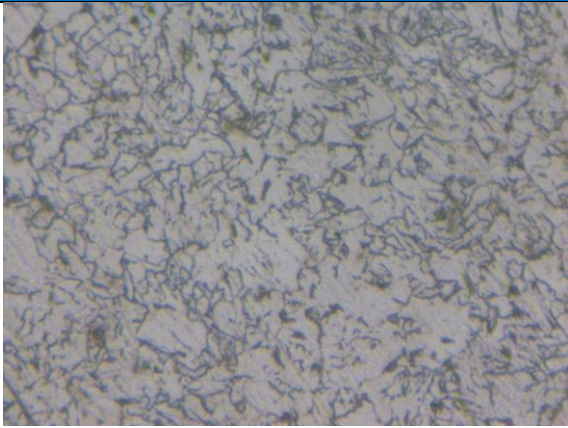


Tabla 58. Reporte de ensayo de micrografía sección curva perfil estructural tipo "UV" de 6mm de espesor

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA			
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
ENSAYO METALOGRAFICO			
Datos Informativos:		Sección curva der perfil estructural tipo “UV” de 6mm de espesor	
Tipo de estudio:	Laboratorio	Ensayo N.º:	04
Material:		Acero ASTM A572 Gr 50	
Solicitado por:	UTA – FICM	Fecha:	
Centro de Estudio y Análisis:		Laboratorio de Materiales - FICM	
Realizado por:	Christian Córdova Danny Muzo	Supervisado por:	Ayudante del laboratorio
PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO			
Lugar:		Sector Huachi Chico / Campus Universitario - UTA	
Temperatura Ambiente:	21.5°C	Radiación:	No medida
Velocidad del aire circundante:	No medida	Otros:	-
PARÁMETROS DEL ENSAYO METALOGRAFICO			
Acondicionamiento de la superficie:	Pulido Mecánico		
Temperatura durante el pulido:	22°C	Superficie preparada en:	Laboratorio de materiales FICM
Ataque Químico de la superficie con:	Nital 4	Durante:	4 segundos
Norma		ASTM E112 -12	
RESULTADO:			
FOTOGRAFÍA DE LA MICROESTRUCTURA			
			
COMPARACIÓN DE LA MICROESTRUCTURA			

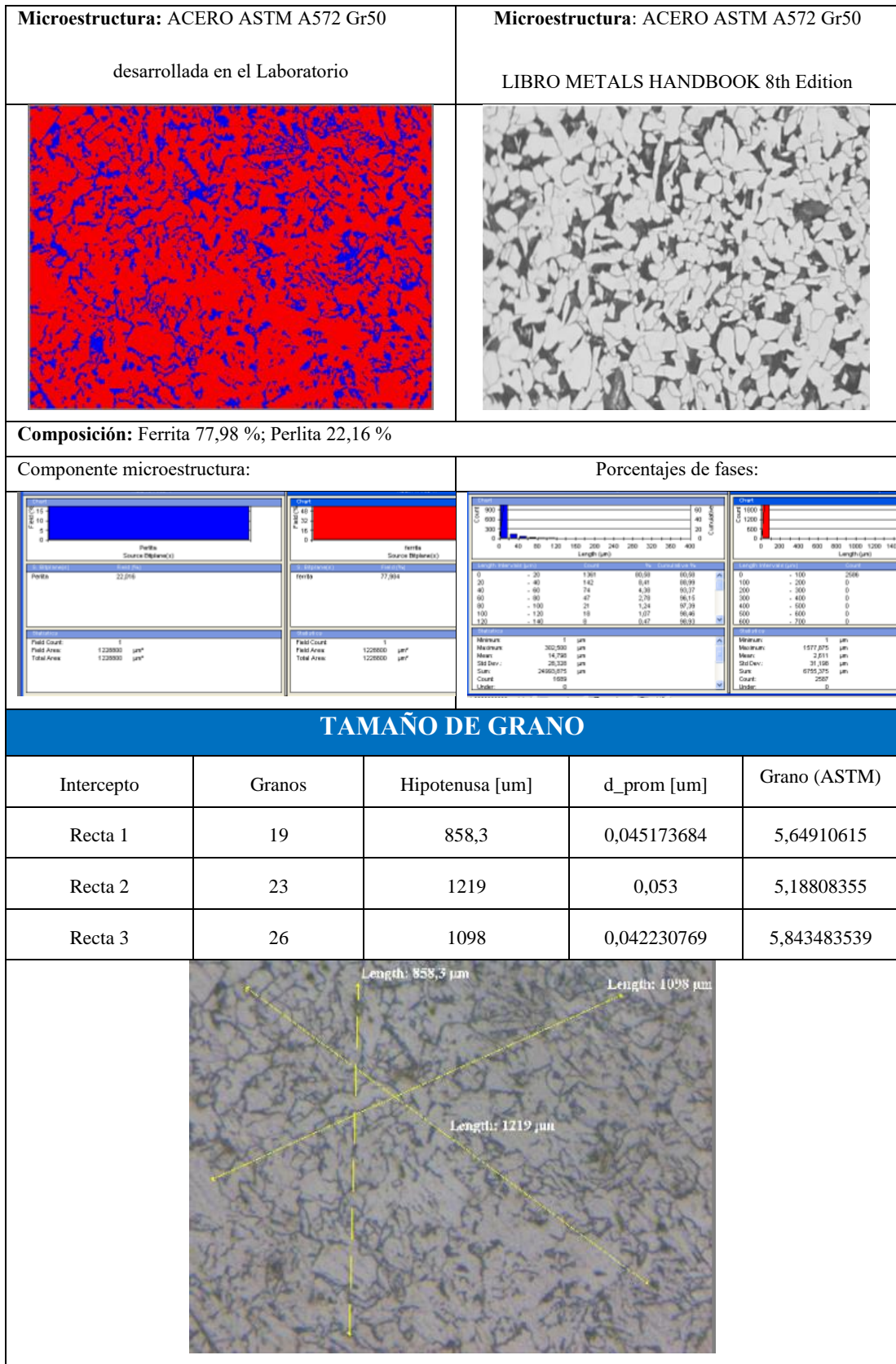
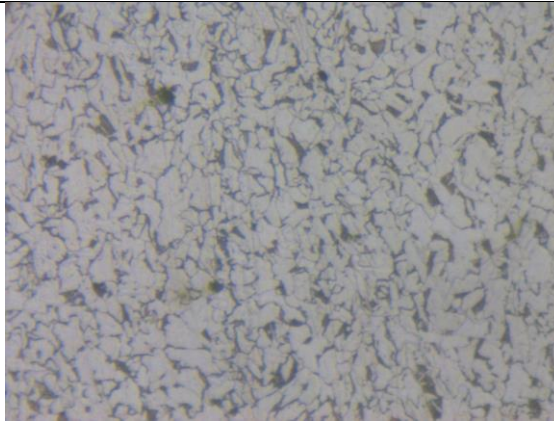


Tabla 59. Reporte de ensayo de micrografía sección curva perfil estructural tipo "UV" de 8mm de espesor

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO 			
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA			
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
ENSAYO METALGRÁFICO			
Datos Informativos:		Sección curva izq perfil estructural tipo "UV" de 8 mm de espesor	
Tipo de estudio:	Laboratorio	Ensayo N.º:	05
Material:		Acero ASTM A572 Gr 50	
Solicitado por:	UTA – FICM	Fecha:	
Centro de Estudio y Análisis:		Laboratorio de Materiales - FICM	
Realizado por:	Christian Córdova Danny Muzo	Supervisado por:	Ayudante del laboratorio
PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO			
Lugar:		Sector Huachi Chico / Campus Universitario - UTA	
Temperatura Ambiente:	21.5°C	Radiación:	No medida
Velocidad del aire circundante:	No medida	Otros:	-
PARÁMETROS DEL ENSAYO METALGRÁFICO			
Acondicionamiento de la superficie:	Pulido Mecánico		
Temperatura durante el pulido:	22°C	Superficie preparada en:	Laboratorio de materiales FICM
Ataque Químico de la superficie con:	Nital 4	Durante:	4 segundos
Norma		ASTM E112 -12	
RESULTADO:			
FOTOGRAFÍA DE LA MICROESTRUCTURA			



500x

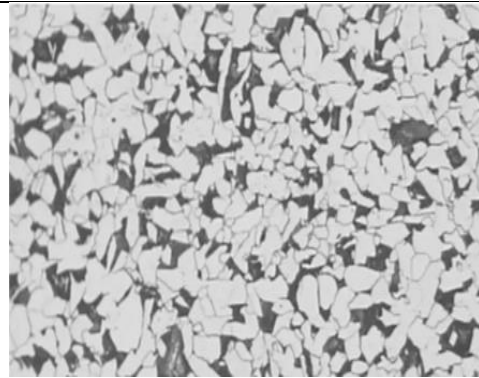
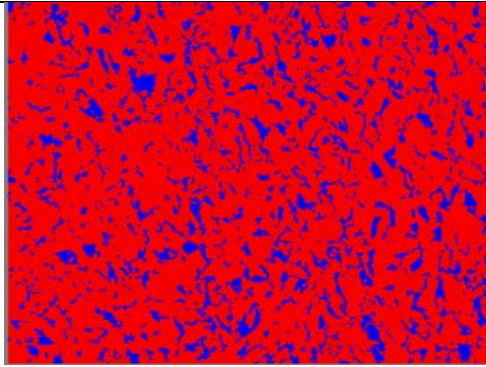
COMPARACIÓN DE LA MICROESTRUCTURA

Microestructura: ACERO ASTM A572 Gr50

Microestructura: ACERO ASTM A572 Gr50

desarrollada en el Laboratorio

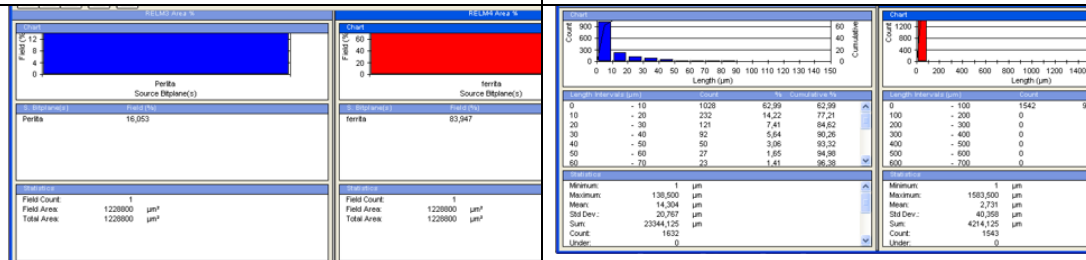
LIBRO METALS HANDBOOK 8th Edition



Composición: Ferrita 83,94 %; Perlita 16,053 %

Componente microestructura:

Porcentajes de fases:



TAMAÑO DE GRANO

Intercepto	Granos	Hipotenusa [µm]	d_prom [µm]	Grano (ASTM)
Recta 1	21	895,2	0,042628571	5,816430996
Recta 2	28	1215	0,043392857	5,765156911
Recta 3	22	938,5	0,042659091	5,814365956

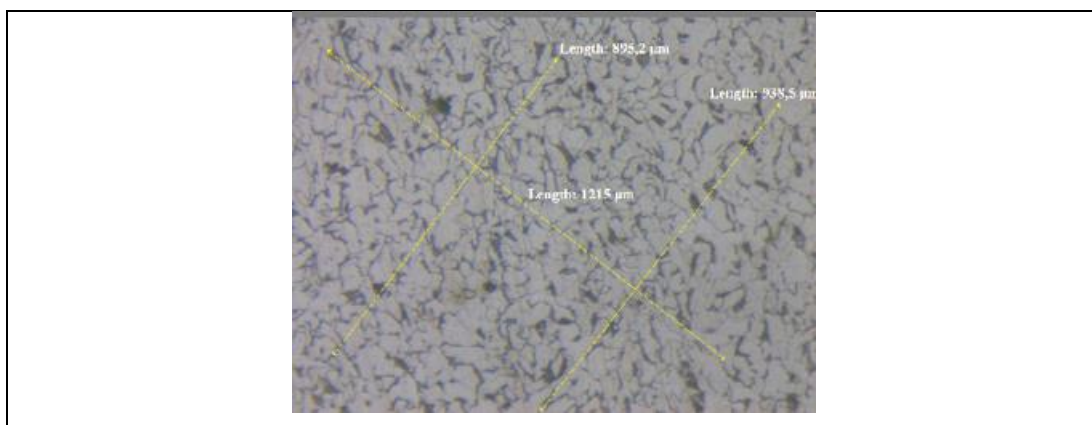


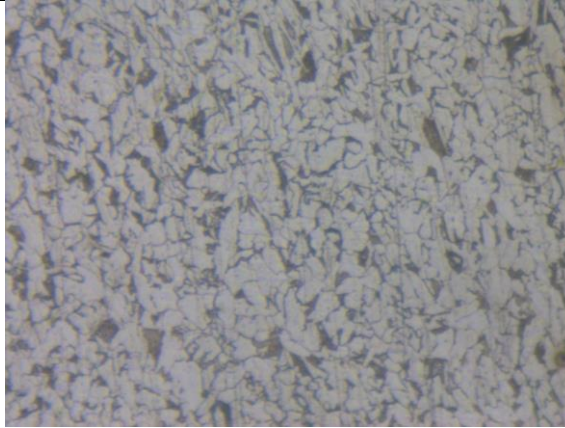


Tabla 60. Reporte de ensayo de micrografía sección curva perfil estructural tipo "UV" de 8mm de espesor

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
ENSAYO METALOGRÁFICO			
Datos Informativos:		Sección curva der perfil estructural tipo "UV" de 8mm de espesor	
Tipo de estudio:	Laboratorio	Ensayo N.º:	06
Material:		Acero ASTM A572 Gr 50	
Solicitado por:	UTA – FICM	Fecha:	
Centro de Estudio y Análisis:		Laboratorio de Materiales - FICM	
Realizado por:	Christian Córdova Danny Muzo	Supervisado por:	Ayudante del laboratorio
PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO			
Lugar:		Sector Huachi Chico / Campus Universitario - UTA	
Temperatura Ambiente:	21.5°C	Radiación:	No medida
Velocidad del aire circundante:	No medida	Otros:	-
PARÁMETROS DEL ENSAYO METALOGRÁFICO			
Acondicionamiento de la superficie:	Pulido Mecánico		
Temperatura durante el pulido:	22°C	Superficie preparada en:	Laboratorio de materiales FICM
Ataque Químico de la superficie con:	Nital 4	Durante:	4 segundos
Norma		ASTM E112 -12	

RESULTADO:

FOTOGRAFÍA DE LA MICROESTRUCTURA



500x

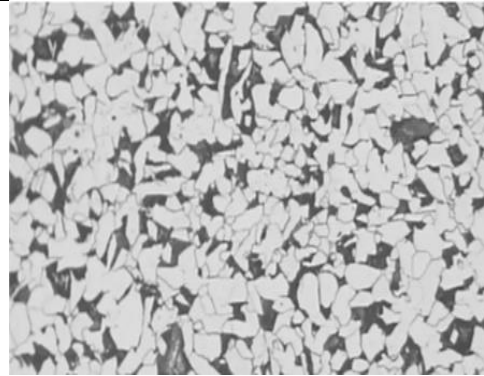
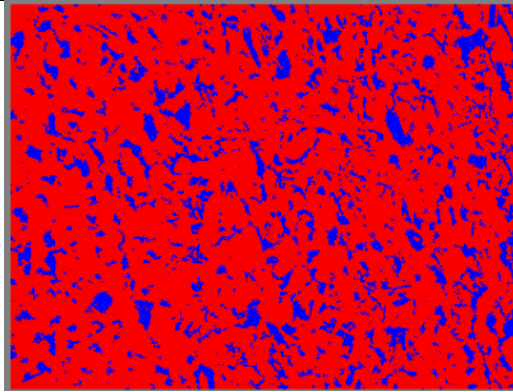
COMPARACIÓN DE LA MICROESTRUCTURA

Microestructura: ACERO ASTM A572 Gr50

Microestructura: ACERO ASTM A572 Gr50

desarrollada en el Laboratorio

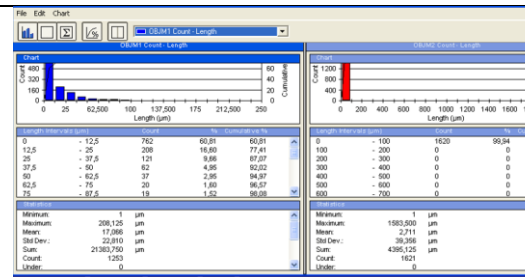
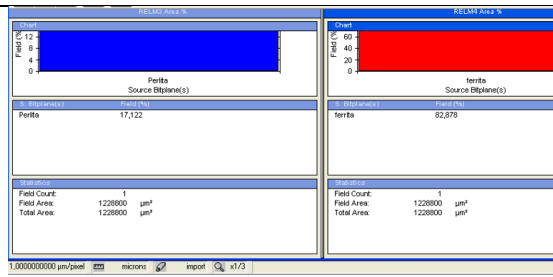
LIBRO METALS HANDBOOK 8th Edition



Composición: Ferrita 82,87 %; Perlita 17,12 %

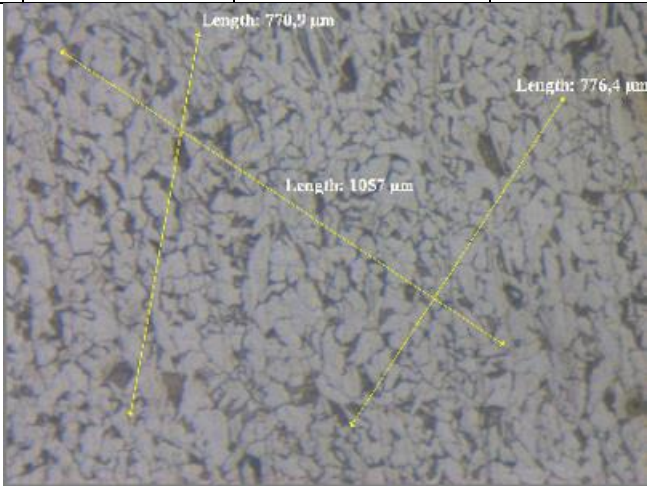
Componente microestructura:

Porcentajes de fases:



Z

Intercepto	Granos	Hipotenusa [µm]	d_prom [µm]	Grano (ASTM)
Recta 1	21	770,9	0,036709524	6,247766457
Recta 2	28	1057	0,03775	6,167121436

Recta 3	21	776,4	0,036971429	6,227253541
				

3.1.4. Interpretación de resultados

3.1.4.1. Ensayos de Tracción

Perfil Uv 6 mm y 8 mm

Al analizar la curva esfuerzo-deformación obtenida a través del ensayo, se observa claramente el impacto del proceso de conformado en frío, como se detalla en la referencia [31]. De acuerdo con dicha fuente, se señala que el trabajo de conformado en frío conlleva un incremento en la resistencia del material, aunque simultáneamente reduce su ductilidad. Este fenómeno se atribuye al endurecimiento y adquisición de acritud por parte del material durante el proceso.

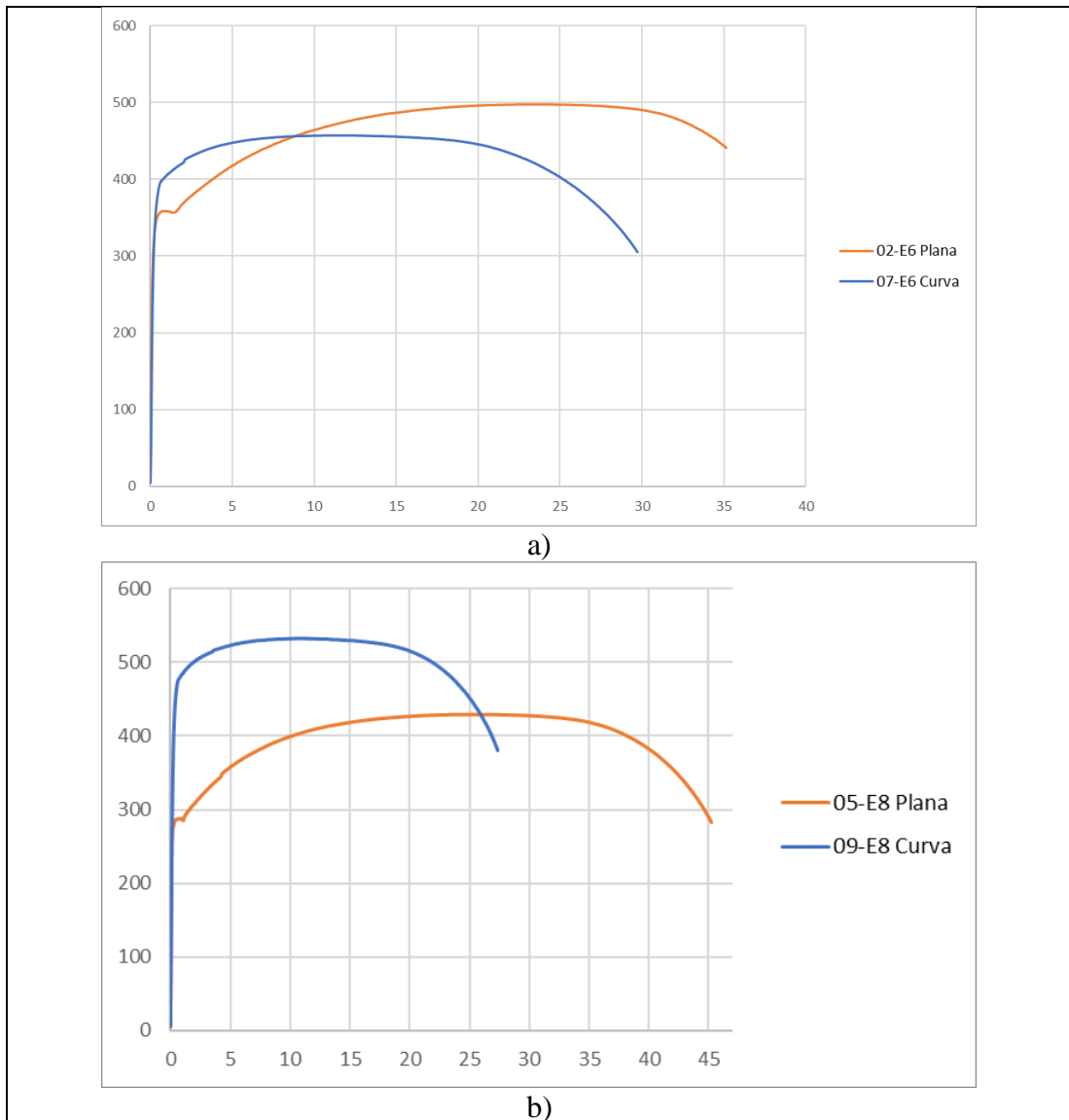
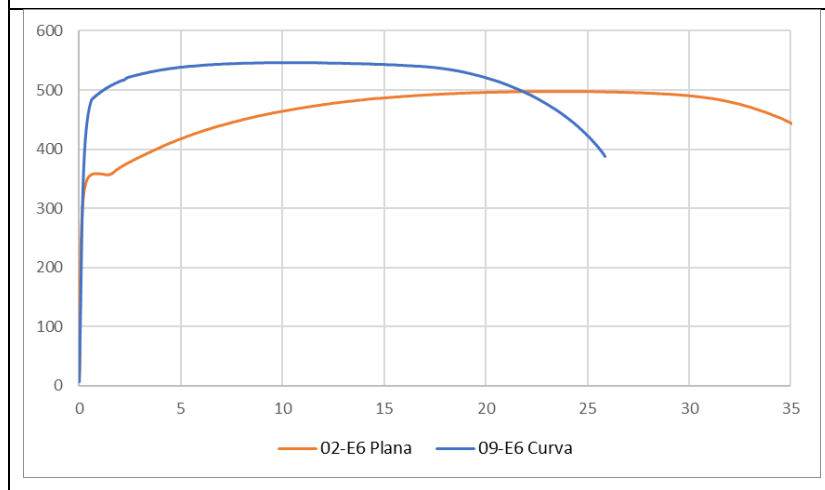
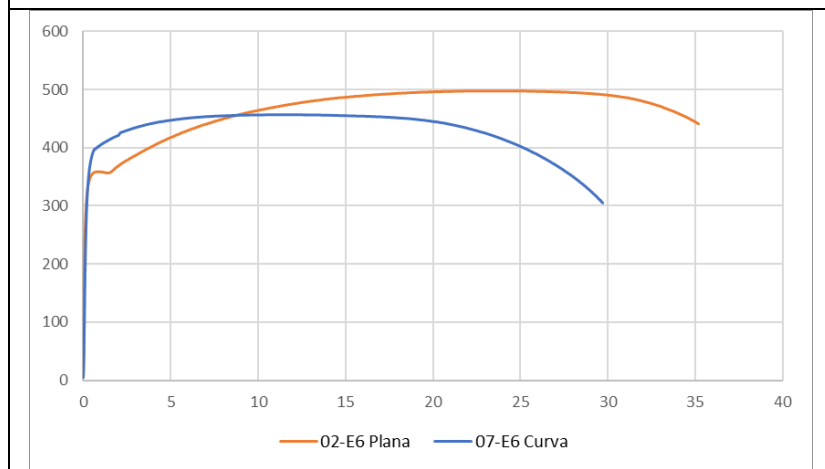
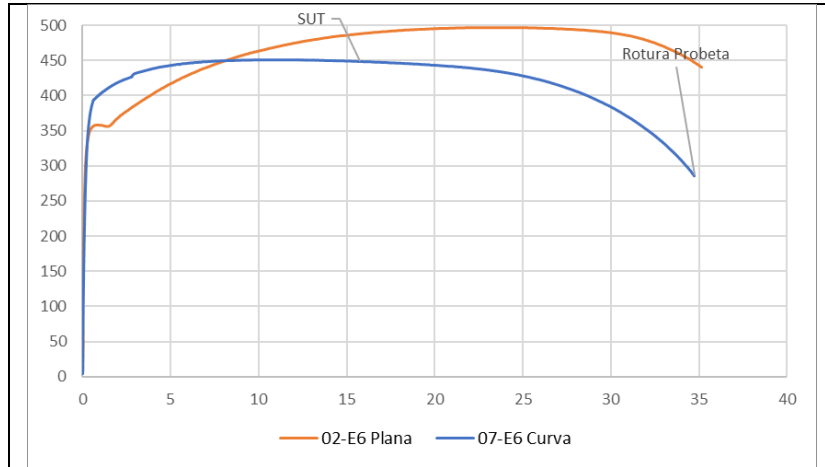


Figura 17. Comparación probeta plana y curva 6 mm a) 6mm b) 8mm

Información relevante sobre cómo la curvatura del perfil afecta sus atributos se puede encontrar en el gráfico comparativo entre las muestras planas y curvas. Como se puede observar en la Figura 17 a), hay un aumento de 22,25 MPa en el esfuerzo de fluencia desde 344,67 MPa en la sección plana a 366,92 MPa en la parte curva, en esa misma línea en la parte b) de la Figura 17, hay un aumento de 167,28 Mpa en el esfuerzo de fluencia desde 282,52 MPa en la sección plana a 449,80 MPa en la parte curva.



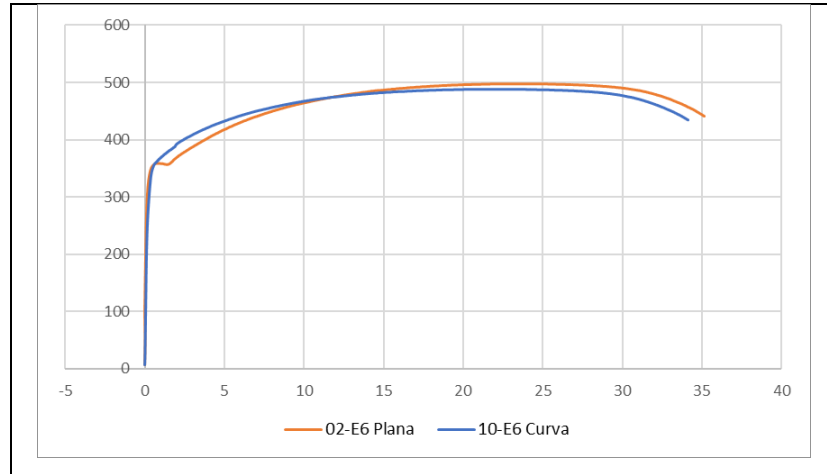
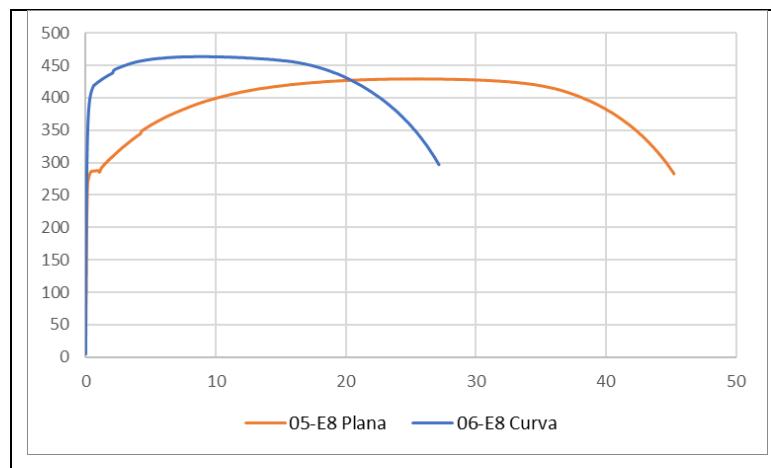


Figura 18. Comparación probeta plana con todas las probetas curvas 6 mm

Al comparar los valores de las dos probetas, se observa un aumento del valor del esfuerzo de fluencia de las probetas curvas con respecto sus similares planas, 7,55 MPa (2-E6 y 1C), 22,25 MPa (2-E6 y 2C), 26,05 MPa (2-E6 y 3C), 40,08 MPa (2-E6 y 4C), y 110,60 MPa (2-E6 y 5C) son los aumentos para la probeta curva para 6 mm. Se observan aumentos de 113,49 MPa (5-E8 y 1C), 172,44 MPa (5-E8 y 2C), 163,70 MPa (5-E8 y 3C), 167,28 MPa (5-E8 y 4C) y 94,02 MPa (5-E8 y 5C) en la probeta curva para 8 mm. En comparación con las probetas planas, estos datos demuestran sistemáticamente un aumento considerable del esfuerzo de fluencia en las probetas curvas.



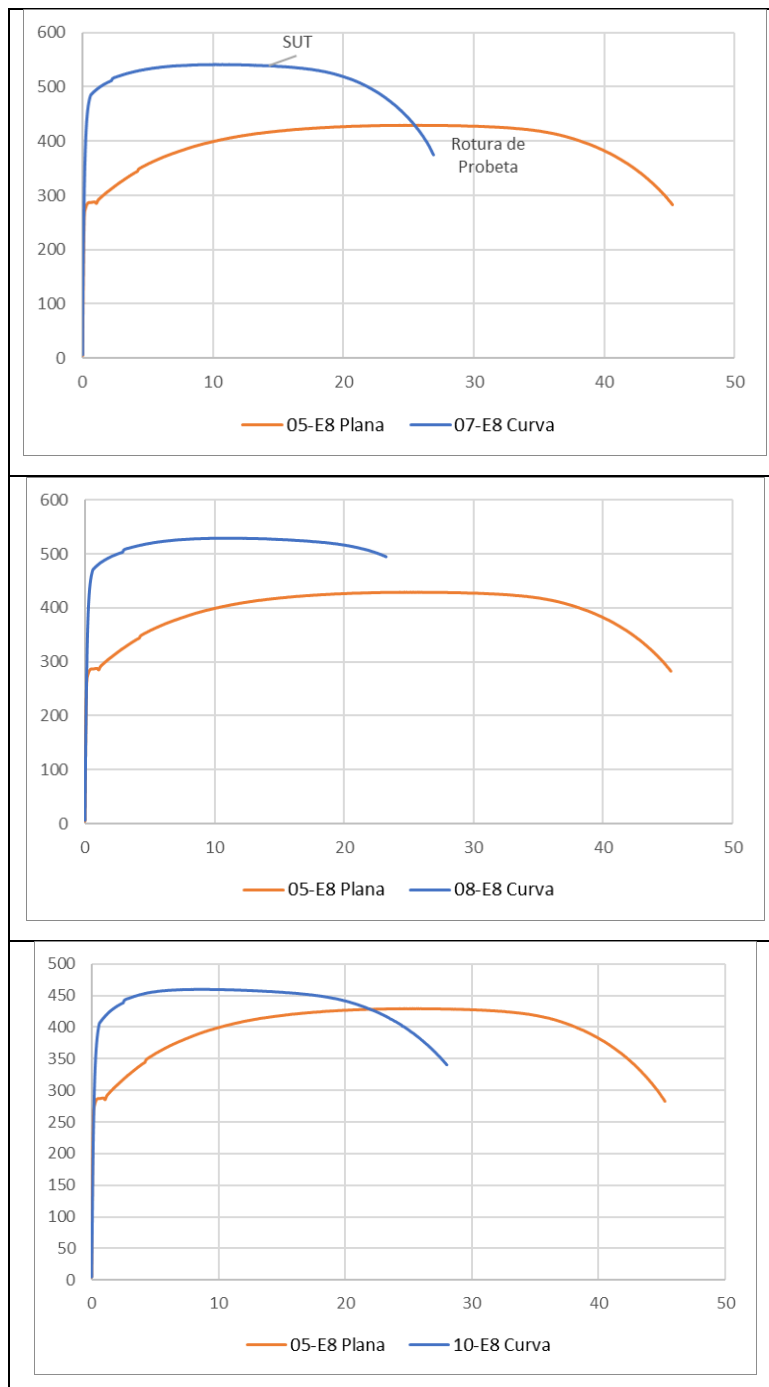


Figura 19. Comparación probeta plana con todas las curvas 8 mm

3.1.4.2. Módulo de elasticidad 6 mm

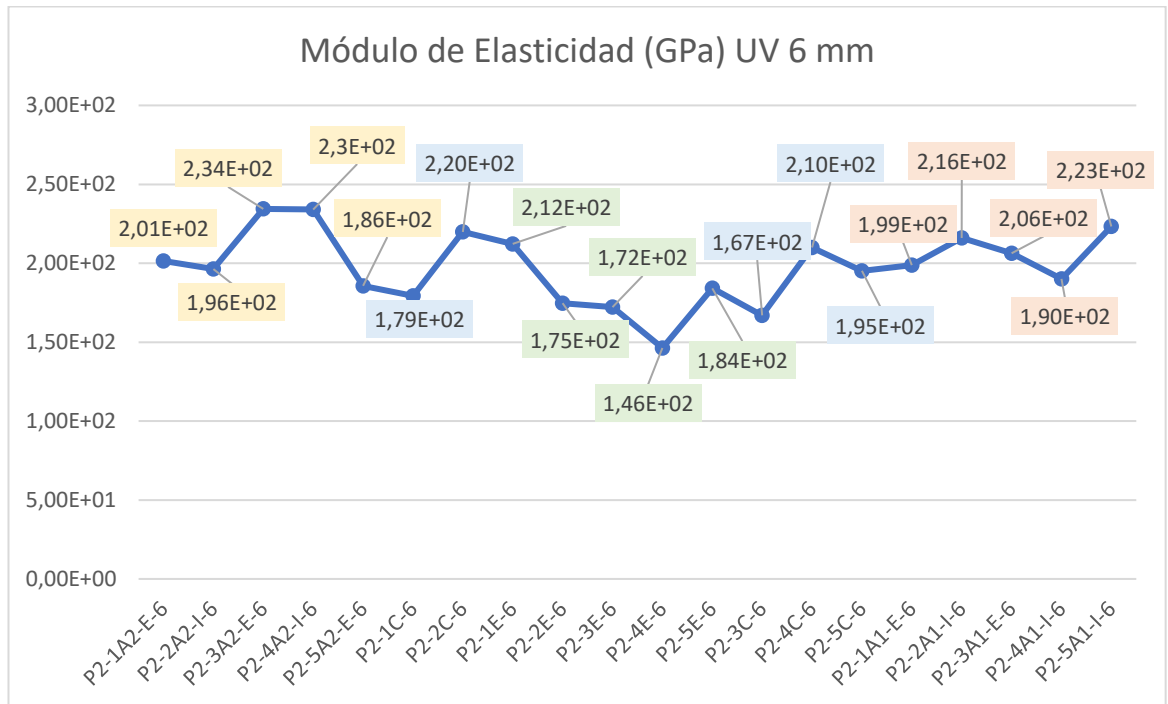


Figura 20. Módulo de elasticidad en todo el perfil 6 mm

El módulo de elasticidad en el espesor de 6 mm se comporta diferente en todo el perfil, logrando desde el ala izquierda un promedio de 2,10E+02 GPa, en la zona de la curva el mismo se reduce a 2,00E+02 hasta llegar a zona de la espalda, donde tenemos un módulo de 1,78E+02, con la siguiente zona curva de 1,91E+02, y el ala derecha 2,07E+02, dando a notar una reducción en la zona elástica que comienza desde la zona curva izquierda, la espalda y la zona curva derecha.

Tabla 61. Módulos de elasticidad promediados y localización 6 mm

Localización	Prom.Mod. Elasticidad (GPa)
Ala izq	210
Curva Izq	199,5
Espalda	177,91
Curva Der	190,73
Ala Der	206,90

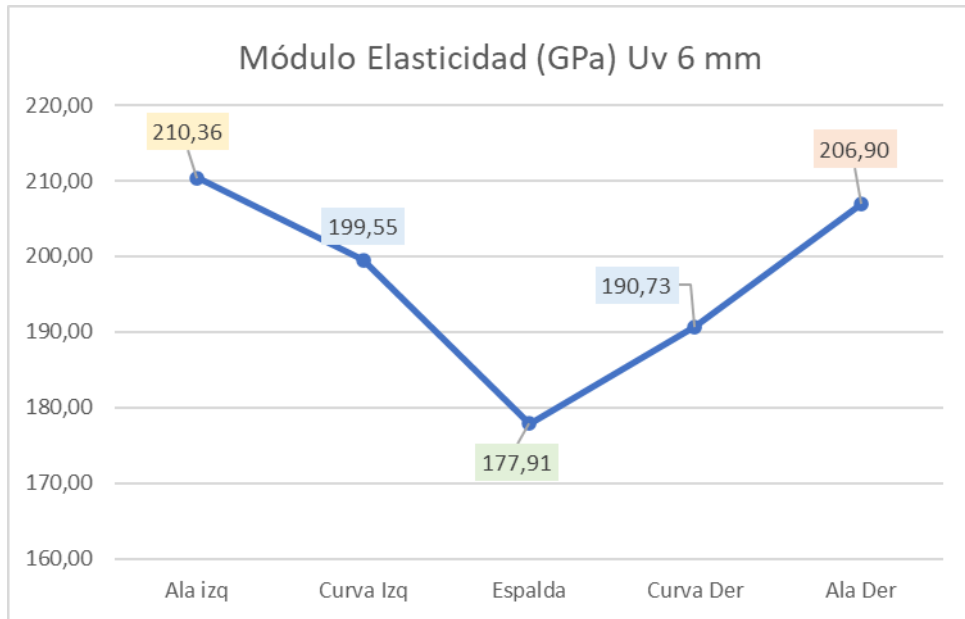


Figura 21. Promedio módulo de elasticidad de cinco puntos clave 6 mm

A medida que se reduce el valor del módulo de elasticidad estamos reduciendo la rigidez del material, podemos notar esto en la zona curva derecha y la zona de la espalda donde tenemos los menores valores promediados. Así mismo existen valores donde la misma se eleva provocando lo contrario, aumentando su rigidez.

3.1.4.3. Módulo de elasticidad 8 mm

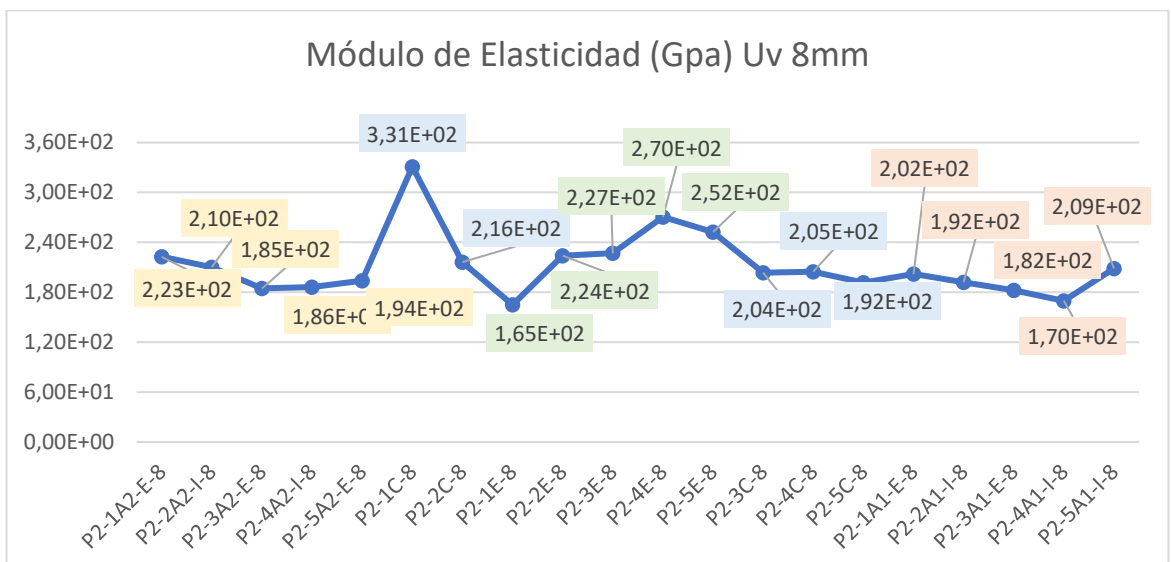


Figura 22. Módulo de elasticidad en todo el perfil 8 mm

En el perfil de 8 mm su módulo de elasticidad se comporta de manera diferente en todo el perfil, con picos de aumento, empezando por el ala izquierda donde tenemos un promedio de $1,99E+02$ GPa, la curva izquierda aumenta a $2,47E+02$ GPa, la espalda en su caso reduce el módulo a $2,28E+02$ GPa, la curva derecha baja su valor a $2,00E+02$ y el ala derecha baja a $1,91E+02$.

Tabla 62 Módulos de elasticidad promediados y localización 8 mm

Localización	Prom.Mod. Elasticidad (GPa)
Ala izq	199,48
Curva Izq	273,60
Espalda	227,72
Curva Der	200
Ala Der	190,92

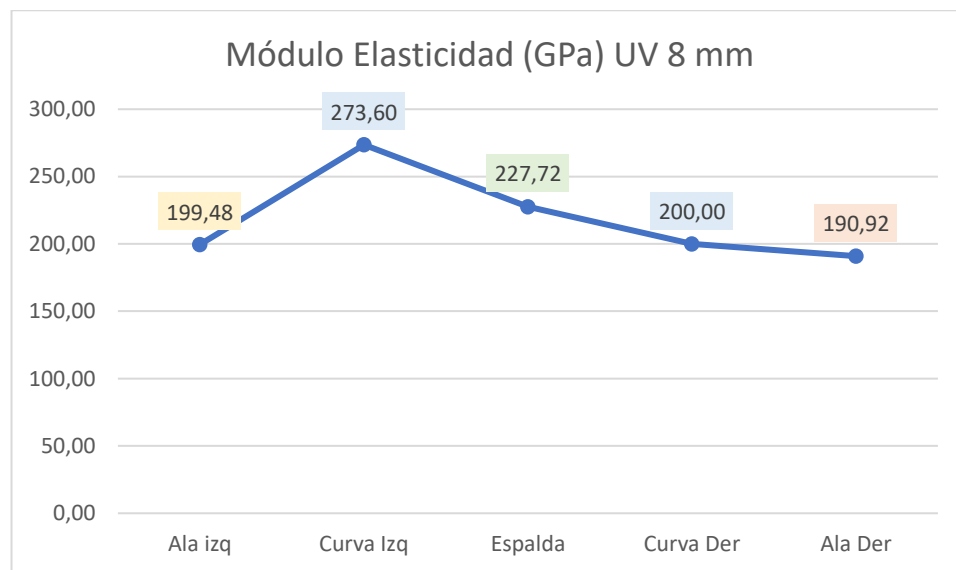


Figura 23. Promedio módulo de elasticidad de cinco puntos clave 8 mm

A medida que se reduce el valor del módulo de elasticidad estamos reduciendo la rigidez del material, podemos notar esto el ala derecha y curvas donde tenemos los menores valores promediados. Así mismo existen valores donde la misma se eleva provocando lo contrario, aumentando su rigidez.

El módulo de elasticidad del acero influye mucho en su rigidez durante el proceso de conformado en frío. Según la investigación de Vrh [32], la chapa de acero laminada

en frío experimenta una degradación de la rigidez dependiente de la trayectoria, y la carga mantiene cualquier posible anisotropía elástica inicial. Gao [33] destacó que el mayor límite elástico del endurecimiento por deformación es un factor importante en la influencia de la flexión en frío sobre la respuesta carga-deformación de las columnas de acero. Al evaluar los comportamientos de deformación elástica de un acero aleado forjado en frío.

3.1.4.4. Ingenieril vs verdadera 6 mm y 8 mm

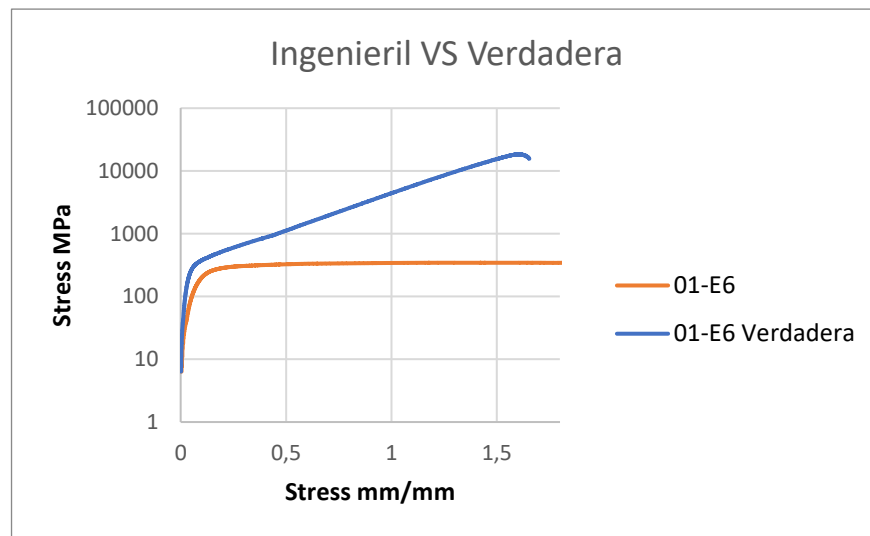


Figura 24. Curva ingenieril vs verdadera 6 mm

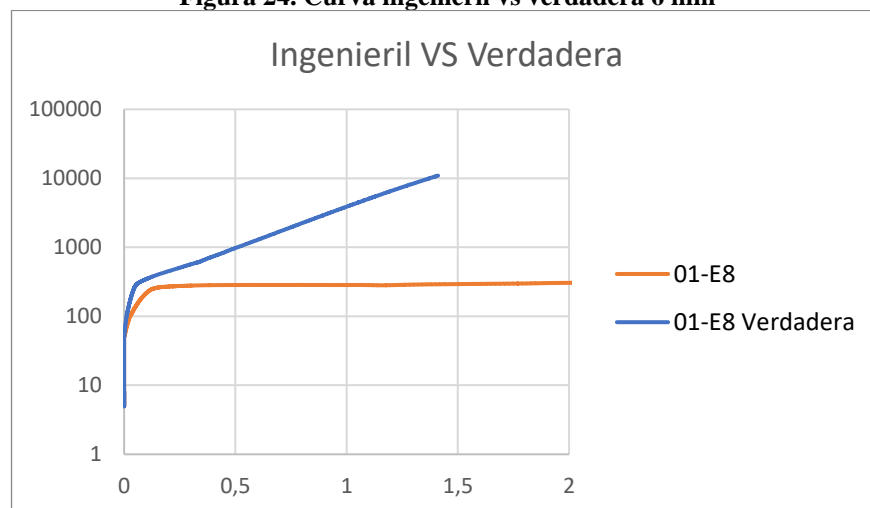


Figura 25. Curva ingenieril vs verdadera 8 mm

En la Figura 24 y 25 podemos apreciar una comparativa de las curvas obtenidas gracias al ensayo donde denota la forma de la curva ingenieril, según Groover [17] contamos con dos fenómenos marcados elasticidad y endurecimiento, en su zona plástica obedece a la ley de Hooke a medida que avanza su límite elástico la deformación requiere de una tensión cada vez mayor dando como resultado una función lineal en nuestro gráfico logarítmico natural.

3.1.4.5. Esfuerzo de fluencia 6 mm

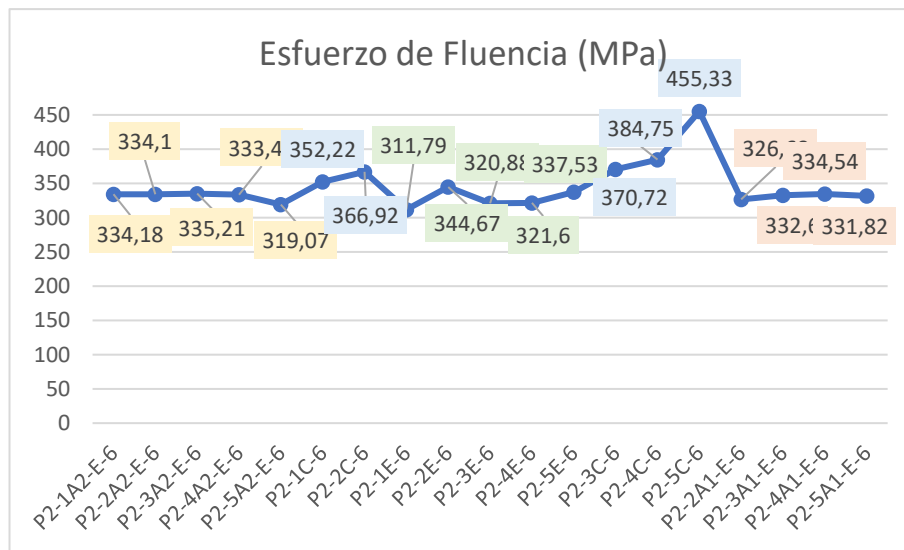


Figura 26. Esfuerzo de Fluencia MPa de 6 mm

El esfuerzo de fluencia o límite de fluencia del material, se mantiene aproximadamente constante en todo el recorrido del perfil, sin embargo, en las zonas de las curvas se aprecia un aumento repentino del mismo, donde el esfuerzo retrocede en pequeña magnitud, pero la deformación sigue en aumento dando a notar el cambio brusco de zona elástica a zona plástica.

3.1.4.6. Esfuerzo de fluencia 6 mm

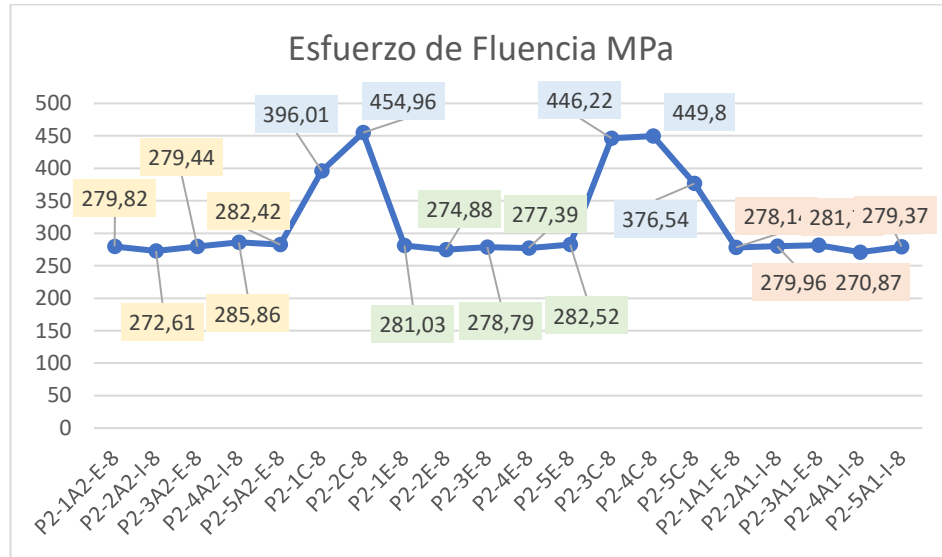


Figura 27. Esfuerzo de Fluencia MPA de 8 mm

En la zona del ala izquierda el límite de fluencia se mantiene aproximadamente constante, desde 272 Mpa hasta 285 MPa, sin embargo, al llegar a la zona curva notamos picos de casi el doble de su valor 396 MPa y 454 MPa manteniéndose así hasta llegar a la zona de la espalda, logrando casi valores similares que, al ala izquierda, se repite el ciclo con la siguiente zona curva y el ala derecha. Demostrando así cambios bruscos en la zona de las curvas donde la tensión retrocede y la deformación aumenta demostrando así un cambio entre zona elástica a zona plástica.

Debido a sus notables cambios de características, la región curva, donde el módulo de elasticidad en el espesor de 8 mm varía entre 2,00 E+02 GPa y 2,74 E+02 GPa, es objeto de un examen más minucioso. El módulo varía entre 1,91 E+02 GPa y 2,00 E+02 GPa en el espesor de 8 mm, conservando un enfoque analítico particular en la zona curva. Según la investigación de [34], esta observación implica que el espesor del material influye en sus valores, que son más altos cuando el espesor es menor y más bajos cuando es mayor.

3.1.4.7.Dureza

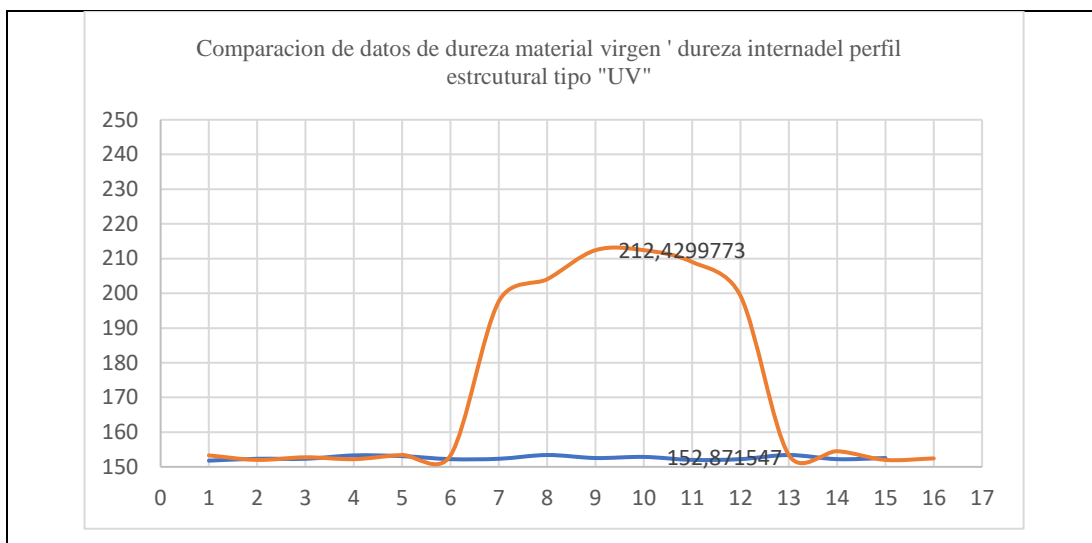
En los datos obtenidos de dureza, tanto en el material virgen como el material ya conformado tipo “UV” de 6 mm y 8 mm de espesor.

Se determina una dureza de 150-152 en unidades HB en el material virgen de acero ASTM A572 G50, cabe recalcar que la dureza puede variar según las condiciones específicas de tratamientos y procesos de conformado, así como las normas de fabricación.

Se realizaron mediciones de dureza en la sección interna y externa del perfil en el cual se pudo observar los siguientes datos

Tabla 63. Análisis de datos de dureza Perfil estructural tipo "UV" de 6 mm de espesor sección interior y acero ASTM A572 Gr50 virgen de 6mm de espesor

Sección perfil tipo “UV”	Dureza Brinell		Dureza Brinell
Ala	153,30555	Material virgen acero ASTM A572 Gr50 de 6mm	151,793986
Ala	152,008652		152,331442
Ala	152,763313		152,331442
Ala	152,22374		153,30555
Ala	153,414318		153,088335
Ala	153,30555		152,22374
Curva	197,706409		152,331442
Curva	204,065104		153,414318
Curva	212,429977		152,547165
Curva	212,429977		152,871547
Curva	209,0265		152,008652
Curva	199,269423		152,22374
Espalda	153,414318		153,414318
Espalda	154,507932		152,22374
Espalda	152,008652		152,547165
Espalda	152,439251		151,793986

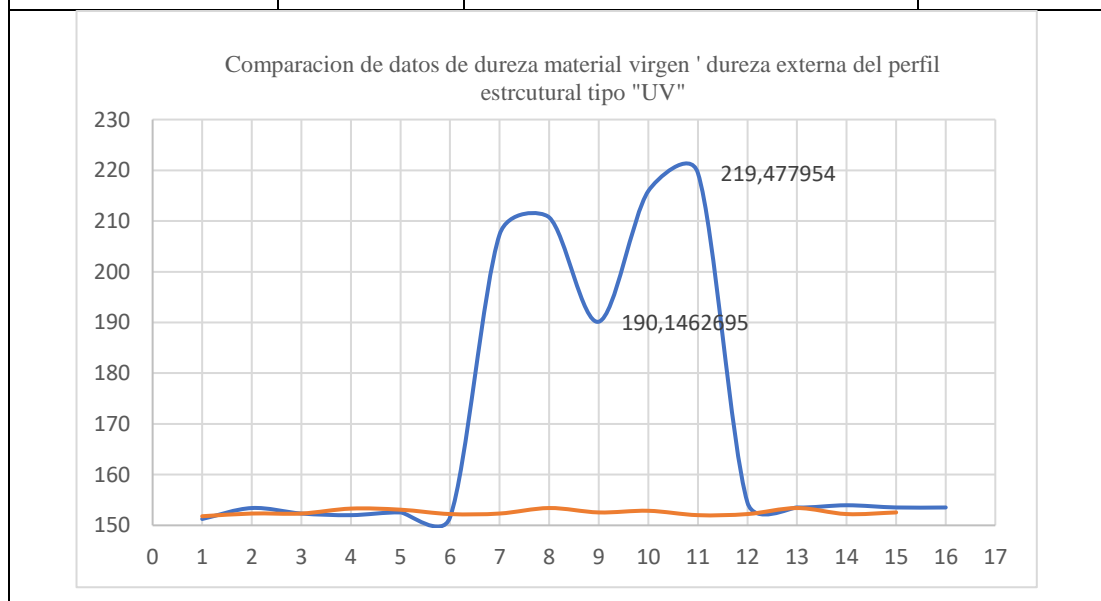


En el caso del material conformado, afecta directamente a la dureza y resistencia de este, se observan efectos de endurecimiento por deformación en la zona doblada interna es decir en las partes curvas internas del perfil estructural. Esta dureza local aumenta por la deformación plástica del material. El efecto principal es que este tipo de endurecimiento es considerado una desventaja ya que la zona afectada mejorará en resistencia, pero será mucho más frágil. Como se puede analizar en la Tabla 63, la dureza aumenta notablemente en valores de HB que se tienen en la sección doblada a comparación de los valores de HB que posee el material virgen de acero ASTM A572 G50. Esta comparación de las durezas determina que el conformado en frío provocó un aumento de alrededor del 38% de la dureza HB en la sección doblada interna.

El acero ASTM A572 G50 es un material con una excelente combinación de resistencia mecánica y tenacidad. Sin embargo, durante un proceso de conformado en frío sufre internamente varios defectos internos microestructurales. Principalmente presenta defectos de acritud que se presentan en la deformación del material y afecta de manera representativa todas las propiedades mecánicas del mismo.

Tabla 64. Análisis de datos de dureza Perfil estructural tipo "UV" de 6 mm de espesor sección exterior y acero ASTM A572 Gr50 virgen de 6mm de espesor

Sección perfil tipo "UV"	Dureza Brinell	Material virgen acero ASTM A572 Gr50 de 6mm	Dureza Brinell
Ala	151,2591617		151,793986
Ala	153,4143184		152,331442
Ala	152,3314421		152,331442
Ala	152,0086518		153,30555
Ala	152,5471652		153,088335
Ala	151,5797416		152,22374
Curva	207,3538182		152,331442
Curva	210,7184535		153,414318
Curva	190,1462695		152,547165
Curva	215,9129596		152,871547
Curva	219,477954		152,008652
Curva	154,5079323		152,22374
Espalda	153,5231943		153,414318
Espalda	153,9597742		152,22374
Espalda	153,5231943		152,547165
Espalda	153,5231943		151,793986



En los datos de dureza en la sección exterior del perfil estructural tipo "UV" se encontraron datos en los cuales el defecto de acritud por conformado en frío se hace notar, dado a que la acritud aumenta la densidad de dislocaciones de la microestructura del acero causando fragilidad, en este caso sin observarse grietas, también se observa picos de dureza en la sección curva del perfil estructural esto es debido a que se trabaja

con ángulos de doblado no muy pronunciados causando fallos por acritud muy notables en secciones específicas pero que estarán presentes en toda la sección doblada.

Esto que pueden ser analizadas bajo el criterio de Chang [16]. Que describe el concepto de $2t$

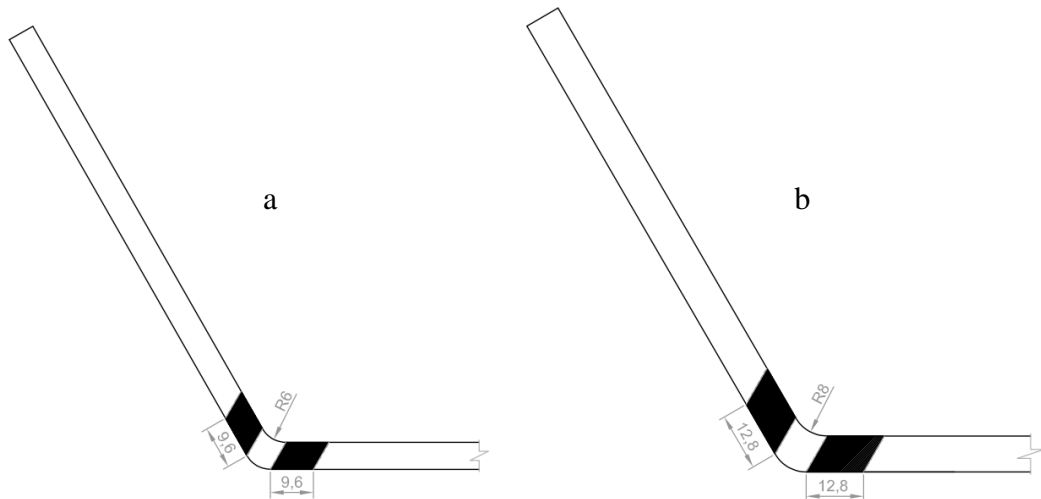


Figura 28. Demostración de $1.6t$ para cada espesor a) 6mm b) 8mm

Mediante los resultados obtenidos en valores de dureza y en el análisis micrográfico se determinó que se puede observar cambios de microestructura en regiones de hasta $1,6t$ desde el final del radio de curvatura, es decir que los cambios microestructurales se pueden localizar hasta en 9,6 mm desde el final del radio de curvatura, en el caso del perfil estructural tipo “UV” de 6mm de espesor y hasta 12,8 mm desde el final del radio de curvatura, en el caso del perfil estructural tipo “UV” de 8mm de espesor.

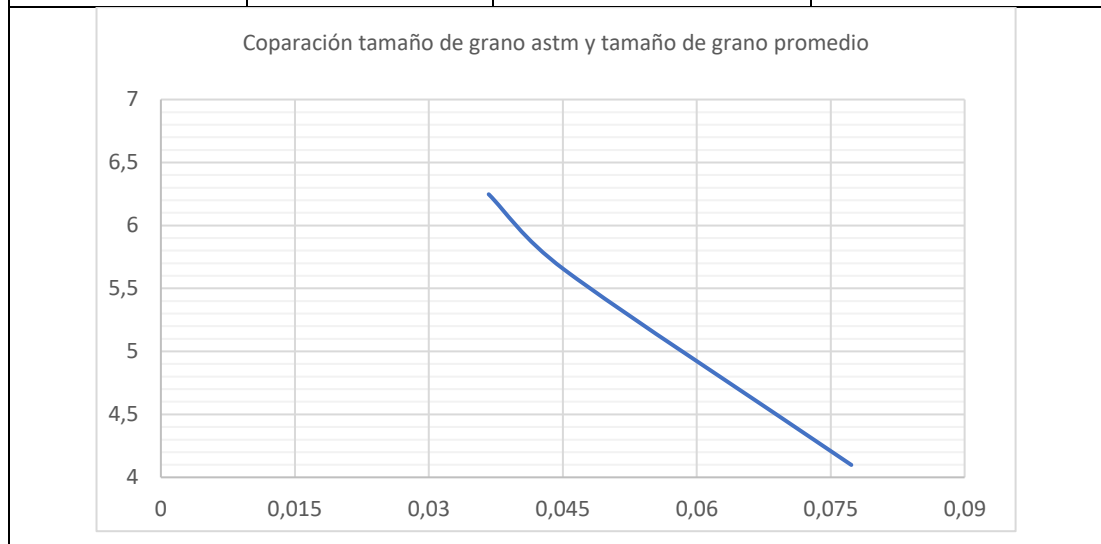
Esto se refleja tanto en los valores de dureza como en las características de granulometría del material dado a que esto se puede notar en el tamaño de grano promedio que se presenta dentro de las de la parte curva del perfil estructural tipo “UV”.

Principalmente se observa que el proceso de conformado en frío provoca cambios en la estructura del grano del acero, incluyendo la elongación y la orientación preferencial del grano. En el caso de los dos espesores tanto de 6mm como de 8mm se observan

las mismas predisposiciones de la dureza y el cambio de grano como se puede ver en la Tabla 64.

Tabla 65. Comparación de datos de tamaño de grano

	Acero ASTM A572G 50 (material virgen)	perfil estructural de sección transversal tipo “UV” de 6mm secciones afectadas por el conformado	perfil estructural de sección transversal tipo “UV” de 8mm secciones afectadas por el conformado
Tamaño de grano promedio	0,0773125	0,045173684	0,036709524
Grano ASTM	4,098657705	5,64910615	6,247766457
Sección encontrada a 1,6t (criterio 2t)	N/A	9.2 mm	12,7mm



Cuando se aplica fuerzas que causan deformaciones plásticas al acero mediante el proceso de conformado en frío se someten a secciones del material a tensiones y deformaciones significativas. Estas deformaciones provocan defectos como acritud y grietas internas que junto a la recrystalización y redistribución de los granos en la microestructura son razones clave para el cambio en el tamaño de grano causado por el conformado en frío.

Por esto podemos visualizar cambios representativos en el tamaño de grano en las secciones afectadas por el conformado en frío en el perfil estructural de sección transversal tipo “UV” tanto en los espesores de 6mm y 8mm.

Viendo un cambio en el tamaño promedio del grano y que consecuente a este tiene un cambio a la sección de grano ASTM a la que pertenece.

En la Tabla 65 se observan datos en los cuales se observan cambios iniciando de la base de un tamaño de grano número ASTM 4 en la sección virgen del material llegando a un tamaño de grano número ASTM 5 para la sección de perfil estructural de sección transversal tipo “UV” de 6mm afectadas por el conformado en frío y cambiando nuevamente a un tamaño de grano número ASTM 6 para la sección de perfil estructural de sección transversal tipo “UV” de 8 mm afectadas por el conformado en frío.

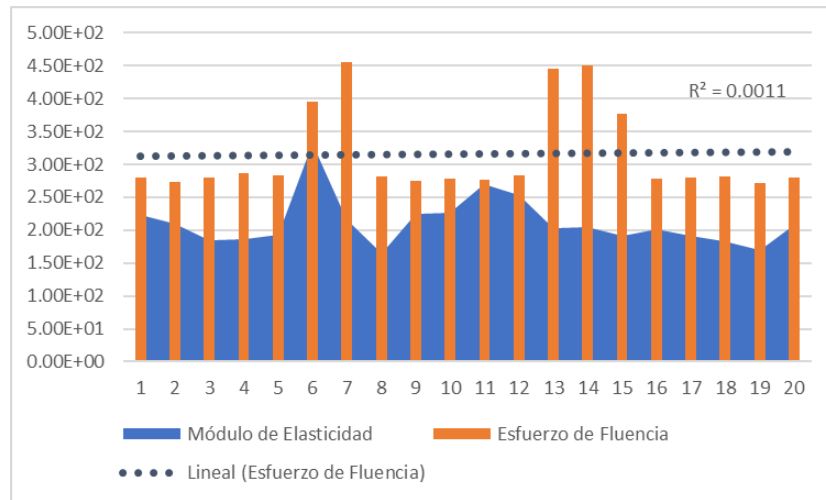
3.2. Validación de hipótesis

H0: Los valores de módulo de elasticidad NO varían en función de la zona de extracción (esfuerzo de fluencia) de la probeta en correspondencia al ensayo del perfil estructural.

H1: Los valores de módulo de elasticidad varían en función de la zona de extracción (esfuerzo de fluencia) de la probeta en correspondencia al ensayo del perfil estructural.

Para la validación de la hipótesis 1, se refleja en la Figura 29 la variabilidad de la elasticidad en relación con la fluencia, teniendo al espesor de 8 mm de 1,1%; mientras que al espesor de 6 mm. la variabilidad fue 5.5%; lo que permite concluir que a menor espesor la elasticidad refleja una estacionalidad poco significativa a diferencia del ensayo al espesor de 6 mm., como se muestra en la Figura 29.

Espesor de 8 mm.



Espesor 6mm

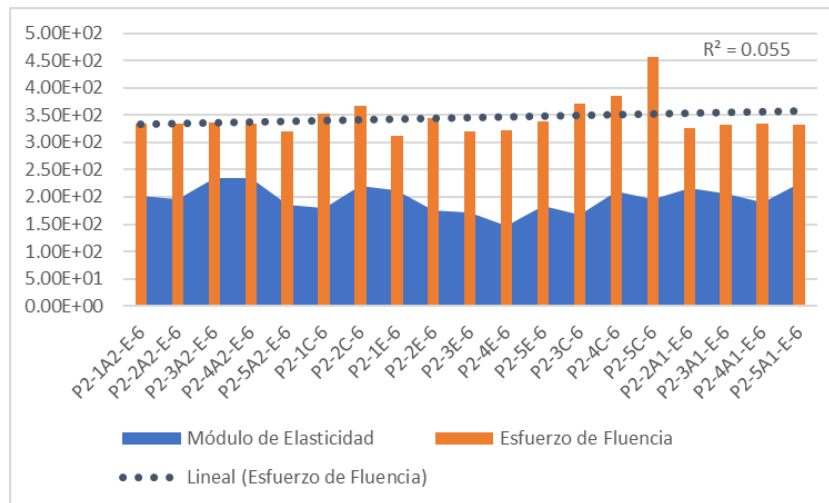


Figura 29. Validación de H1

Para la validación estadística se aplicó la prueba estadística de Correlación de Spearman, la que determina que al tener valor de sig, menores a .005, tanto para espesores de 6 mm. y 8mm. Se concluye que se valida la hipótesis alternativa y se rechaza la nula, reflejando que, existe correlación débil entre las variables de estudio, como se muestra en la Tabla 66:

Tabla 66. Correlación de Spearman H1 con espesor de 8 mm.

			Elasticidad8mm	Fluencia8mm	Elasticidad6mm	Fluencia6mm
Rho de Spearman	Elasticidad8mm	Coefficiente de correlación	1.000	.587	.245	.175
		Sig. (bilateral)	.	.013	.029	.245
		N	20	20	20	20
Fluencia8mm	Fluencia8mm	Coefficiente de correlación	.002	1.000	.177	.487*
		Sig. (bilateral)	.995	.013	.245	.029
		N	20	20	20	20

*. La correlación es significativa en el nivel 0,05 (2 colas).

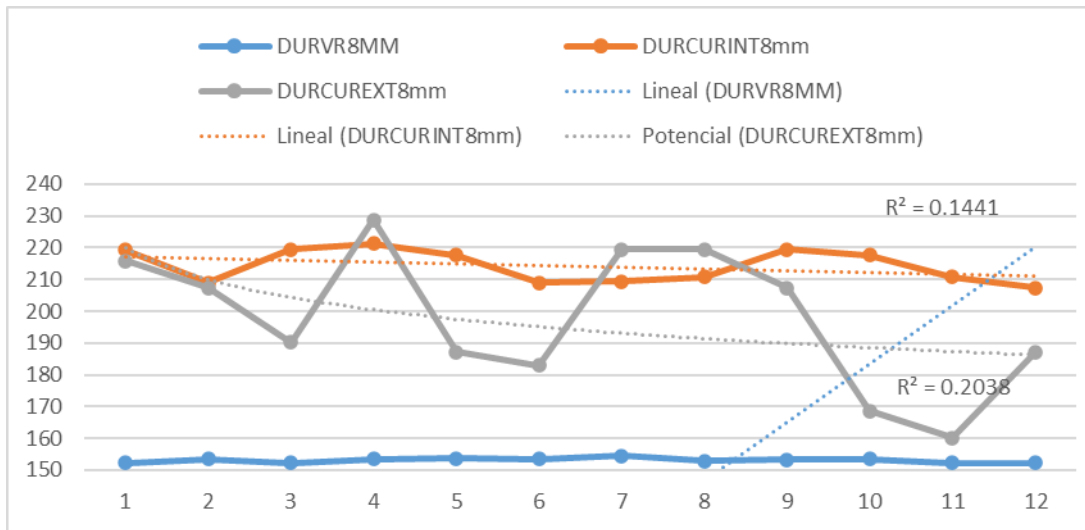
H0: El proceso de conformado al frío NO incrementa la dureza en la sección curva del material.

H1: El proceso de conformado al frío incremento la dureza en la sección curva del material.

Para la validación de la hipótesis 2, en la Figura 30, se visualiza que, la durabilidad en la sección de la curva es mayor en el ensayo con el espesor a 6 mm. con una variabilidad entre la durabilidad virgen, durabilidad interna y durabilidad externa de 52% con 8.2%. Mientras que, en el ensayo con el espesor de 8 mm. la variabilidad entre la durabilidad interna y externa es de 14.4% al 20.3%. Demostrándose, que esta dureza varía significativamente en el ensayo a un espesor de 6 mm., ver Figura 30:

Para la validación estadística se aplicó la de T students, reflejando una variabilidad significativa a nivel de desviación estándar y nivel de significancia sig inferior a .005, por lo que se valida la hipótesis alternativa y se rechaza la nula planteada como se muestra en la Tabla 67:

Espesor de 8 mm.



Espesor 6 mm.

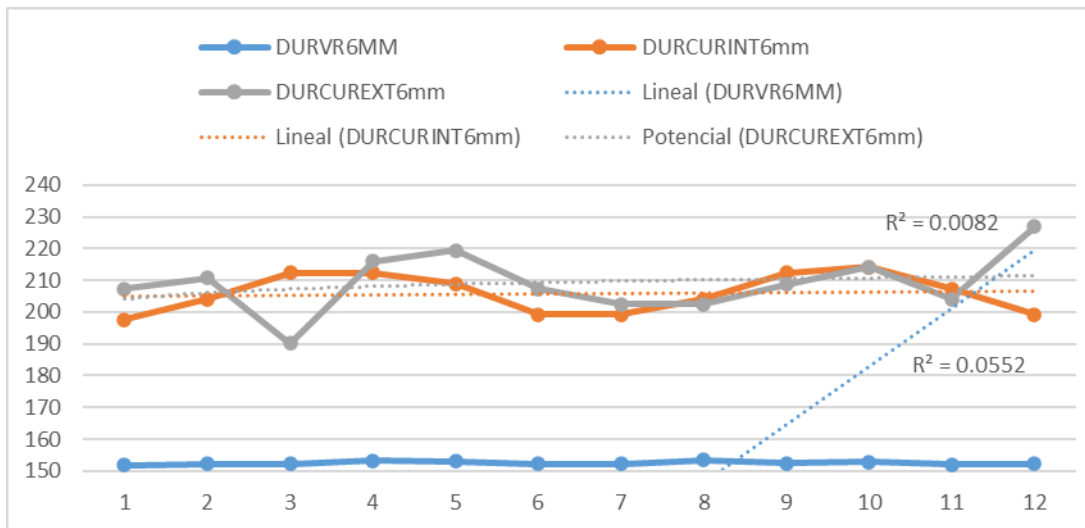


Figura 30. Validación de H2

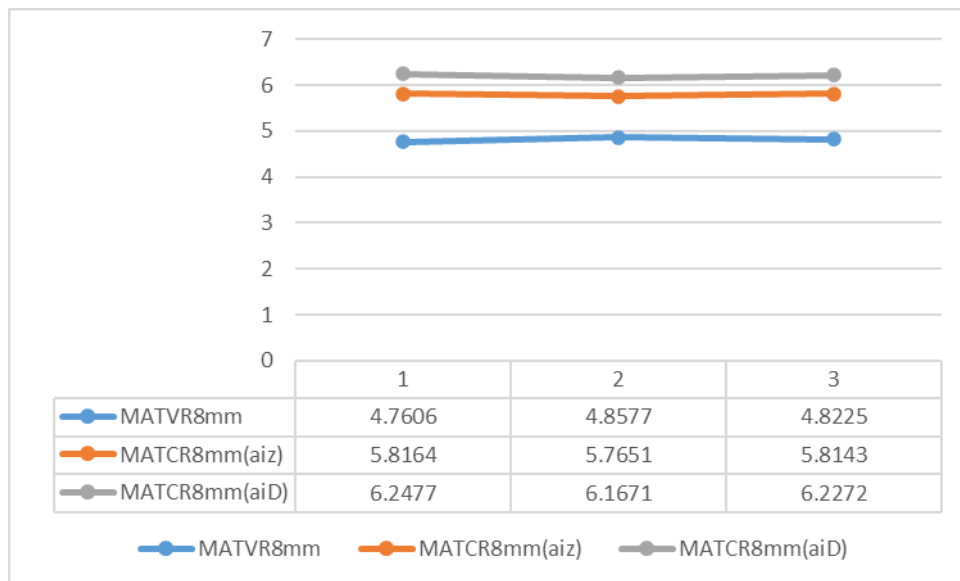
Tabla 67. Prueba de TStudents para muestra única

Prueba de muestra única

	Valor de prueba = 0					
	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
					Inferior	Superior
DURVR6MM	1023.753	11	.000	152.5392799	152.211333	152.867227
DURVR8MM	753.422	11	.000	153.1175248	152.670220	153.564830
DURCURINT6mm	116.325	11	.000	205.9563759	202.059492	209.853260
DURCUREXT6mm	76.862	11	.000	209.1368066	203.148064	215.125549
DURCURINT8mm	140.960	11	.000	214.2563449	210.910901	217.601789
DURCUREXT8mm	31.572	11	.000	197.8847642	184.089406	211.680123

H3: A una distancia de 1.6t del radio de curvatura altera la microestructura del material

Espesor de 8 mm.



Espesor 6 mm.

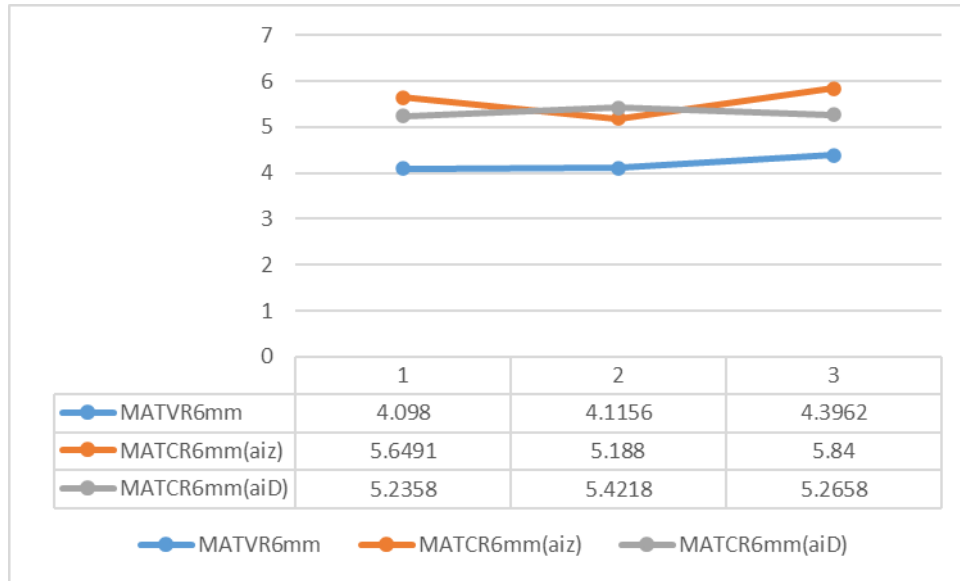


Figura 31. Validación de H3

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

- La elaboración de probetas para ensayos de tracción en base del perfil estructural de sección transversal tipo “UV” de 6 mm y 8 mm de espesor proporcionó información sobre el comportamiento mecánico de las diferentes secciones del perfil. Los resultados obtenidos en los ensayos de tracción han permitido trazar curvas características que representan la relación entre la carga aplicada y la deformación en cada una de las secciones del perfil, determinando que el material no es isotrópico.
- Al comparar el módulo de elasticidad obtenido por el ensayo de tracción detalla el comportamiento del perfil UV de 6 mm y 8 mm. Se aprecia regiones del perfil, donde el módulo de elasticidad disminuye en la zona de la espalda, en 6 mm tenemos un valor de 177,91 GPa, dando como resultado disminución en la rigidez, resultando en una disminución de su ductilidad, aumentando su resistencia y presentando acritud.
- Los resultados de los ensayos revelan que el conformado en frío genera un aumento significativo en la dureza en la sección curva del perfil estructural a comparación con su estado original del material. El perfil de 6 mm presenta un aumento que va desde 150 HBW a 212 HBW en su parte interna y 219 HBW en su parte externa. Este endurecimiento es atribuible a la introducción de dislocaciones microestructurales y deformaciones plásticas inducidas por el proceso de conformado en frío. Además, se observa que la dureza está directamente relacionada con la intensidad del conformado en frío, siendo más pronunciadas en las secciones curvas del perfil estructural.
- La recopilación de imágenes de micrografías de la sección transversal proporciona una visión detallada y visual de la microestructura de los granos del material después del proceso de conformado en frío. Las imágenes revelan la presencia de deformación de granulometría, a una distancia de 1,6t medida desde el final del radio de curvatura y cambios en la orientación de los granos

del acero. Estas orientaciones pueden tener implicaciones significativas en las propiedades mecánicas anisotrópicas del material.

4.2.Recomendaciones

- Se recomienda realizar una investigación centrada en el proceso de tratamientos térmicos post conformado en frío para determinar el comportamiento del del material del perfil estructural de sección transversal tipo “UV”.
- Se recomienda analizar opciones más factibles de obtención de datos de dureza dado a la dificultad de obtención de datos en secciones curvas y poder dar cumplimiento de parámetros de la norma ASTM E112.
- Se recomienda una investigación del comportamiento del perfil estructural de sección transversal tipo “UV” mediante métodos de elementos finitos y usar los datos obtenidos en esta investigación para una comparación de datos.

BIBLIOGRAFIA

- [1] W.-W. Yu, R. A. LaBoube, y H. Chen, *Cold-Formed Steel Design*. John Wiley & Sons, 2019.
- [2] X. Fu, W. Xu, S. Yu, y X. Mei, «Experimental Research on the Cold-Forming Effect of Cold-Formed Thick-Walled Steel», *Buildings*, vol. 13, n.º 5, Art. n.º 5, may 2023, doi: 10.3390/buildings13051201.
- [3] H. L. Dongyu Liu y X. L. Zhihua Chen, «Structural behavior of extreme thick-walled cold-formed square steel columns», *14 Sept. 2016*, p. 9, sep. 2016.
- [4] X. Y. Leroy Gardner, «Description of stress-strain curves for cold-formed steels», *28 August 2018*, p. 12, ago. 2018.
- [5] P. López y F. Narváez, «Estudio del comportamiento mecánico de juntas soldadas en perfiles de acero conformado en frío utilizadas en estructuras metálicas destinadas para viviendas de hasta tres pisos para el DMQ», Universidad de las Fuerzas Armadas, Sangolquí, 2013.
- [6] AISI, *Especificación para el diseño de miembros estructurales de acero conformado en frío.*, 1996.^a ed. American Iron and Steel Institute.
- [7] G. A. L. Köhler, R. G. M. Concha, M. M. Segura, y E. N. Castellanos, «PERFILES CONFORMADOS EN FRÍO: CONSIDERACIONES SÍSMICAS BAJO NCh2369.Of2003».
- [8] Chávez Bonito, Carlos Efraín, «Diseño y construcción de una máquina hidráulica para doblar tubería redonda de acero al carbono de tres y cuatro pulgadas cédula 40 con ángulos de 0 a 90°», Tesis, Universidad Técnica de Ambato, 2016.
- [9] Y. Li y Z. Nie, «Mechanical properties of cold-formed thick-walled steels at elevated temperatures».
- [10] Žilvinas Bučmys, «THE BEHAVIOR OF COLD FORMED STEEL STRUCTURE CONNECTIONS», *Taylor Francis Group*, 2013, [En línea]. Disponible en: <file:///D:/Usuario/Desktop/Articulos%20cold%20formed/4026-Article%20Text-8790-1-10-20180719.pdf>
- [11] Y. Li, D. Wen, L. Wang, y Z. Shen, «Cold-forming Effect Investigation on Cold-formed Thick-walled Steel Hollow Sections», *CCFSS Proc. Int. Spec. Conf. Cold-Form. Steel Struct. 1971 - 2018*, ago. 2012, [En línea]. Disponible en: <https://scholarsmine.mst.edu/isccss/21iccfss/21iccfss-session1/3>
- [12] Y.-J. Guo, A.-Z. Zhu, Y.-L. Pi, y F. Tin-Loi, «Experimental study on compressive strengths of thick-walled cold-formed sections», *J. Constr. Steel Res.*, vol. 63, n.º 5, pp. 718-723, may 2007, doi: 10.1016/j.jcsr.2006.08.008.

- [13] «ASTM A572 Grade 50 Steel Equivalent, Gr 65, 60 Properties, Tensile Yield Strength». Accedido: 24 de mayo de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.theworldmaterial.com/astm-a572-steel/>
- [14] I. Komara, E. Wahyuni, y P. Suprobo, «A study on Cold-formed Steel Frame Connection: A review», *IPTEK J. Technol. Sci.*, vol. 28, dic. 2017, doi: 10.12962/j20882033.v28i3.3223.
- [15] Felipe Díaz del Castillo Rodríguez, «CONFORMADO MEDIANTE DEFORMACIÓN PLÁSTICA DE METALES». 2018.
- [16] Chang-Lin Li Huang Yuan, «Predicting yield strength of cold-formed carbon steel: A review and new approaches». Elseiver, march 20223. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2023.107926>
- [17] P. Groover, *Fundamentals of modern manufacturing materials, processes and systems*, Fifth. John Wiley & Sons, 2012.
- [18] L. NIVICELA, «“DISEÑO DE UNA PLEGADORA HIDRÁULICA SEMI AUTOMÁTICA PARA LÁMINAS METÁLICAS HASTA 8 MM DE ESPESOR PARA LA EMPRESA INDUSTRIAS DANPAG”», Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca, Ecuador, 2022. [En línea]. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/23887/1/UPS-CT010233.pdf>
- [19] V. M. Blázquez Martínez, V. Lorenzo Esteban, y B. del Río López, *Ingeniería y ciencia de los materiales metálicos*. Dextra Editorial, 2014. Accedido: 15 de diciembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://elibro.net/es/ereader/uta/43835>
- [20] J. E. J. W. Camila Andrea Mendoza Anzola, «ENSAYO DE TRACCIÓN DE PROBETAS METÁLICAS CURVAS ESFUERZO - DEFORMACIÓN». Universidad Tecnológica de Bolívar, febrero de 2019. [En línea]. Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/331310771>
- [21] Monserrath Lema, «Análisis de la deformación plástica en chapa metálica y aplicación en envases para alimentos», Escuela Politécnica Nacional, Ecuador, 2008. [En línea]. Disponible en: <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/931/1/CD-1855%282009-01-26-09-23-16%29.pdf>
- [22] A. S. M. International, *Atlas of Stress-strain Curves*. ASM International, 2002.
- [23] «Experimental Investigation on Stub-Column Behavior of Cold-Formed High-Strength Steel Tubular Sections | Journal of Structural Engineering | Vol 142, No 5». Accedido: 7 de diciembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://ascelibrary.org/doi/10.1061/%28ASCE%29ST.1943-541X.0001456>

- [24] «¿Qué es la ASTM?», Sitio de América Latina. Accedido: 20 de septiembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://la.astm.org/es/about/>
- [25] «Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials E8/E8M – 13a». ASTM, 100 Barr Harbor Drive, West Conshohocken.
- [26] «Standard Test Method for Brinell Hardness of Metallic Materials». 2018.
- [27] L. Lanas y S. Proaño, «Desarrollo de procedimientos para ensayos de micrografía, dureza, espectrometría de rayos X y análisis de la microestructura de productos laminados para la mejora del control de calidad en la empresa NOVACERO S.A», Escuela Politécnica del Ejército, Sangolquí, 2011. [En línea]. Disponible en: <http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/21000/4844/T-ESPE-032937.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [28] «Standard Test Methods for Determining Average Grain Size E112 – 12». United States.
- [29] ASM, *ASM Handbook, Volume 1, Properties and Selection: Irons, Steels, and High-Performance Alloys*, vol. 1, 42 vols. United States of America.
- [30] «ASTM A572 Steel, grade 50». Accedido: 11 de octubre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=9ced5dc901c54bd1aef19403d0385d7f>
- [31] W. D. Callister y D. G. Rethwisch, *Ciencia e ingeniería de materiales*. Reverte, 2019.
- [32] «The Evolution of Effective Elastic Properties of a Cold Formed Stainless Steel Sheet | Semantic Scholar». Accedido: 8 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.semanticscholar.org/paper/The-Evolution-of-Effective-Elastic-Properties-of-a-Vrh-Halilovi%20df3bbafcfef542591f807ab9b1bb54974006a5c5>
- [33] T. Gao y C. Moen, «THE COLD WORK OF FORMING EFFECT IN STEEL STRUCTURAL MEMBERS», 2010. Accedido: 8 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.semanticscholar.org/paper/THE-COLD-WORK-OF-FORMING-EFFECT-IN-STEEL-STRUCTURAL-Gao-Moen/185233994aee1d760697b344b866fe304ff917e3>
- [34] M. Mahendran, «The Modulus of Elasticity of Steel - Is it 200 GPa?», 1996. Accedido: 9 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.semanticscholar.org/paper/The-Modulus-of-Elasticity-of-Steel-Is-it-200-GPa-Mahendran/b083c3673b3d7ed58432f677c3ef21d06021856d>

ANEXOS

Ensayos de tracción

INFORME DE RESULTADOS					
ENSAYO DE TRACCIÓN			Denominación: RG 18 - 1		
N° 01					
SOLICITADO POR:	Christian Córdova - Danny Muzo				
PROYECTO DE TESIS:	MODELO DE MATERIAL PARA PERFILES CONFORMADOS EN FRÍO DE SECCIÓN TRANSVERSAL UV DE ACERO A572 PARA ESPESORES DE 6 Y 8 mm				
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:	15-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	01-E6	02-E6	03-E6	04-E6	05-E6
CARACTERÍSTICA	PROBETA	PROBETA	PROBETA	PROBETA	PROBETA
ESPESOR [mm]	6,05	6,07	6,06	6,07	6,04
ANCHURA [mm]	13,02	13,02	12,98	12,94	12,93
LONGITUD INICIAL [mm]	50	50	50	50	50
SECCION TRANSVERSAL [mm ²]	78,77	79,03	78,66	78,55	78,10
MODULO DE ELASTICIDAD [GPa]	2,127.E+02	1,747.E+02	1,722.E+02	1,463.E+02	1,841.E+02
CARGA DE FLUENCIA [kN]	24,56	27,24	25,24	25,26	26,36
ESFUERZO DE FLUENCIA [MPa]	311,79	344,67	320,88	321,60	337,53
CARGA MAXIMA [kN]	38,50	39,28	38,72	39,12	39,10
ESFUERZO MAXIMO [MPa]	488,76	497,02	492,25	498,05	500,66
PORCENTAJE DE ELONGACION [%]	37,00	31,00	34,50	34,00	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

INFORME DE RESULTADOS					
ENSAYO DE TRACCIÓN			Denominación: RG 18 - 1		
N° 02					
SOLICITADO POR:	Christian Córdova - Danny Muzo				
PROYECTO DE TESIS:	MODELO DE MATERIAL PARA PERFILES CONFORMADOS EN FRÍO DE SECCIÓN TRANSVERSAL UV DE ACERO A572 PARA ESPESORES DE 6 Y 8 mm				
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:	15-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	07-E6	08-E6	09-E6	10-E6	11-E6
CARACTERÍSTICA	PROBETA	PROBETA	PROBETA	PROBETA	PROBETA
ESPEOR [mm]	7,92	7,89	7,87	6,04	6,06
ANCHURA [mm]	13,09	13,06	12,88	12,89	12,72
LONGITUD INICIAL [mm]	50	50	50	50	50
SECCION TRANSVERSAL [mm ²]	103,67	103,04	101,37	77,86	77,08
MODULO DE ELASTICIDAD [GPa]	1,795.E+02	2,198.E+02	1,670.E+02	2,100.E+02	1,952.E+02
CARGA DE FLUENCIA [kN]	38,04	38,20	39,00	35,45	25,76
ESFUERZO DE FLUENCIA [MPa]	366,92	370,72	384,75	455,33	334,18
CARGA MAXIMA [kN]	46,78	47,08	47,38	42,54	37,58
ESFUERZO MAXIMO [MPa]	451,23	456,89	467,42	546,40	487,53
PORCENTAJE DE ELONGACION [%]	33,00	28,50	33,50	25,00	34,00
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

INFORME DE RESULTADOS					
ENSAYO DE TRACCIÓN			Denominación: RG 18 - 1		
N° 03					
SOLICITADO POR:	Christian Córdova - Danny Muzo				
PROYECTO DE TESIS:	MODELO DE MATERIAL PARA PERFILES CONFORMADOS EN FRÍO DE SECCIÓN TRANSVERSAL UV DE ACERO A572 PARA ESPESORES DE 6 Y 8 mm				
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:	15-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	12-E6	13-E6	14-E6	15-E6	16-E6
CARACTERÍSTICA	PROBETA	PROBETA	PROBETA	PROBETA	PROBETA
ESPESOR [mm]	6,08	6,06	6,05	6,06	6,09
ANCHURA [mm]	12,77	12,75	12,71	12,95	12,83
LONGITUD INICIAL [mm]	50	50	50	50	50
SECCION TRANSVERSAL [mm ²]	77,64	77,27	76,90	78,48	78,13
MODULO DE ELASTICIDAD [GPa]	2,014.E+02	1,963.E+02	2,344.E+02	1,857.E+02	1,988.E+02
CARGA DE FLUENCIA [kN]	25,94	25,90	25,64	25,04	25,26
ESFUERZO DE FLUENCIA [MPa]	334,10	335,21	333,44	319,07	323,29
CARGA MAXIMA [kN]	37,84	37,58	37,78	37,64	37,88
ESFUERZO MAXIMO [MPa]	487,37	486,38	491,32	479,63	484,80
PORCENTAJE DE ELONGACION [%]	33,50	34,00	32,50	32,50	35,00
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. MsC.
 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.

3/1

INFORME DE RESULTADOS				
ENSAYO DE TRACCIÓN			Denominación: RG 18 - 1	
			N° 04	
SOLICITADO POR:	Christian Córdova - Danny Muzo			
PROYECTO DE TESIS:	MODELO DE MATERIAL PARA PERFILES CONFORMADOS EN FRÍO DE SECCIÓN TRANSVERSAL UV DE ACERO A572 PARA ESPESORES DE 6 Y 8 mm			
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:	15-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
DESIGNACIÓN DEL MATERIAL	17-E6	18-E6	19-E6	20-E6
CARACTERÍSTICA	PROBETA	PROBETA	PROBETA	PROBETA
ESPESOR [mm]	6,07	6,06	6,08	6,06
ANCHURA [mm]	12,92	12,87	12,82	12,9
LONGITUD INICIAL [mm]	50	50	50	50
SECCION TRANSVERSAL [mm ²]	78,42	77,99	77,95	78,17
MODULO DE ELASTICIDAD [GPa]	0,000.E+00	2,063.E+02	1,901.E+02	2,233.E+02
CARGA DE FLUENCIA [kN]	25,62	25,94	26,08	25,94
ESFUERZO DE FLUENCIA [MPa]	326,68	332,60	334,59	331,82
CARGA MAXIMA [kN]	38,86	38,64	38,54	38,40
ESFUERZO MAXIMO [MPa]	495,51	495,43	494,45	491,21
PORCENTAJE DE ELONGACION [%]	34,00	31,50	35,00	33,50
TIPO DE FRACTURA	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.

4/1

INFORME DE RESULTADOS					
ENSAYO DE TRACCIÓN			Denominación: RG 18 - 1		
			N° 01		
SOLICITADO POR:	Christian Córdova - Danny Muzo				
PROYECTO DE TESIS:	MODELO DE MATERIAL PARA PERFILES CONFORMADOS EN FRÍO DE SECCIÓN TRANSVERSAL UV DE ACERO A572 PARA ESPESORES DE 6 Y 8 mm				
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:	15-nov-23				
EQUIPO UTILIZADO:	MAQUINA UNIVERSAL DE ENSAYOS - WAW600B				
MARCA:	JINAN LIANGONG TESTING TECHNOLOGY CO., LTD				
SERIE:	7136	CERTIFICADO:	LNM-F-201650064D	CÓD IDENT:	M2
NÚMERO DE LA MUESTRA	1	2	3	4	5
DESIGNACIÓN DEL MATERIAL	01-E8	02-E8	03-E8	04-E8	05-E8
CARACTERÍSTICA	PROBETA	PROBETA	PROBETA	PROBETA	PROBETA
ESPEOR [mm]	7,9	7,88	7,88	7,92	7,9
ANCHURA [mm]	12,72	12,89	12,90	13	12,85
LONGITUD INICIAL [mm]	50	50	50	50	50
SECCION TRANSVERSAL [mm ²]	100,49	101,57	101,65	102,96	101,52
MODULO DE ELASTICIDAD [GPa]	1,649.E+02	2,240.E+02	2,269.E+02	2,704.E+02	2,524.E+02
CARGA DE FLUENCIA [kN]	28,24	27,92	28,34	28,56	28,68
ESFUERZO DE FLUENCIA [MPa]	281,03	274,88	278,79	277,39	282,52
CARGA MAXIMA [kN]	42,68	43,20	43,82	43,96	43,58
ESFUERZO MAXIMO [MPa]	424,73	425,31	431,08	426,96	429,30
PORCENTAJE DE ELONGACION [%]	37,00	39,50	36,00	39,50	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 parcial o total de este documento.

1/1

INFORME DE RESULTADOS					
ENSAYO DE TRACCIÓN			Denominación: RG 18 - 1		
N° 02					
SOLICITADO POR:	Christian Córdova - Danny Muzo				
PROYECTO DE TESIS:	MODELO DE MATERIAL PARA PERFILES CONFORMADOS EN FRÍO DE SECCIÓN TRANSVERSAL UV DE ACERO A572 PARA ESPESORES DE 6 Y 8 mm				
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:	15-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	06-E8	07-E8	08-E8	09-E8	10-E8
CARACTERÍSTICA	PROBETA	PROBETA	PROBETA	PROBETA	PROBETA
ESPEJOR [mm]	7,9	6,03	6,11	6,09	7,9
ANCHURA [mm]	12,69	12,94	12,94	13,04	13,03
LONGITUD INICIAL [mm]	50	50	50	50	50
SECCION TRANSVERSAL [mm ²]	100,25	78,03	79,06	79,41	102,94
MODULO DE ELASTICIDAD [GPa]	3,310.E+02	2,162.E+02	2,037.E+02	2,048.E+02	1,915.E+02
CARGA DE FLUENCIA [kN]	39,70	35,50	35,28	35,72	38,76
ESFUERZO DE FLUENCIA [MPa]	396,01	454,96	446,22	449,80	376,54
CARGA MAXIMA [kN]	46,46	42,22	41,86	42,26	47,34
ESFUERZO MAXIMO [MPa]	463,44	541,09	529,45	532,15	459,89
PORCENTAJE DE ELONGACION [%]	26,50	25,00	25,50	25,50	28,50
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 este documento.

2/1

INFORME DE RESULTADOS					
ENSAYO DE TRACCIÓN			Denominación: RG 18 - 1		
			N° 03		
SOLICITADO POR:	Christian Córdova - Danny Muzo				
PROYECTO DE TESIS:	MODELO DE MATERIAL PARA PERFILES CONFORMADOS EN FRÍO DE SECCIÓN TRANSVERSAL UV DE ACERO A572 PARA ESPESORES DE 6 Y 8 mm				
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:	15-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	11-E8	12-E8	13-E8	14-E8	15-E8
CARACTERÍSTICA	PROBETA	PROBETA	PROBETA	PROBETA	PROBETA
ESPESOR [mm]	7,91	7,92	7,9	7,89	7,86
ANCHURA [mm]	12,84	12,95	12,91	12,84	13,01
LONGITUD INICIAL [mm]	50	50	50	50	50
SECCION TRANSVERSAL [mm ²]	101,56	102,56	101,99	101,31	102,26
MODULO DE ELASTICIDAD [GPa]	2,226,E+02	2,102,E+02	1,845,E+02	1,863,E+02	1,938,E+02
CARGA DE FLUENCIA [kN]	28,42	27,96	28,50	28,96	28,88
ESFUERZO DE FLUENCIA [MPa]	279,82	272,61	279,44	285,86	282,42
CARGA MAXIMA [kN]	43,04	42,74	43,32	43,40	43,58
ESFUERZO MAXIMO [MPa]	423,77	416,72	424,75	428,40	426,17
PORCENTAJE DE ELONGACION [%]	38,50	46,00	39,50	39,50	37,50
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 este documento.

2/1

INFORME DE RESULTADOS				
ENSAYO DE TRACCIÓN		Denominación: RG 18 - 1		
		N° 04		
SOLICITADO POR:	Christian Córdova - Danny Muzo			
PROYECTO DE TESIS:	MODELO DE MATERIAL PARA PERFILES CONFORMADOS EN FRÍO DE SECCIÓN TRANSVERSAL UV DE ACERO A572 PARA ESPESORES DE 6 Y 8 mm			
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	16	17	18	19
DESIGNACIÓN DEL MATERIAL	16-E8	18-E8	19-E8	20-E8
CARACTERÍSTICA	PROBETA	PROBETA	PROBETA	PROBETA
ESPESOR [mm]	7,88	7,88	7,9	7,9
ANCHURA [mm]	13,04	12,88	12,87	13,04
LONGITUD INICIAL [mm]	50	50	50	50
SECCION TRANSVERSAL [mm ²]	102,76	101,49	101,67	103,02
MODULO DE ELASTICIDAD [GPa]	2.019.E+02	1.824.E+02	1.696.E+02	2.086.E+02
CARGA DE FLUENCIA [kN]	28,58	28,60	27,54	28,78
ESFUERZO DE FLUENCIA [MPa]	278,14	281,79	270,87	279,37
CARGA MAXIMA [kN]	43,64	43,30	43,14	43,42
ESFUERZO MAXIMO [MPa]	424,70	426,62	424,30	421,49
PORCENTAJE DE ELONGACION [%]	37,50	39,50	37,50	39,00
TIPO DE FRACTURA	T.C	T.C	T.C	T.C
OBSERVACIONES:	T.C = TAZA Y CONO			

Aprobado por:


 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 parcial o total de este documento.

2/1

Certificado de inspección acero ASTM A 572 Gr 50

产品 质量 证明书
INSPECTION CERTIFICATE

KINERTECHNICAL SERVICE PLATFORM
UTM 产品 质量 证明书 11000

证书号: 20210204-220452

订单号 ORDER NO.		产品名称 PRODUCT	规格 SPECIFICATION	
收货单位 CONSIGNEE		合同编号 CONTRACT NO.	交货状态 DELIVERY CONDITION	
技术标准/牌号 SPEC/GRADE	ASTM A 572/A 572M, A 572 Gr. 50		证明号 CERTIFICATE NO.	21010204-220452
车号 TAKE NO.		产品重量 PRODUCT WEIGHT	发货日期 DATE OF ISSUE	20210108
牌号 HEAT NO.	批号 LOT NO.	规格 SPEC	数量 QTY	重量 WEIGHT
201188224	511818223	16x400x100	4	7.908
		炉号 FURNACE NO.	重量 WEIGHT	长度 LENGTH
		040101011	4	7.908

化学成分
CHEMICAL ANALYSIS

C	SI	MN	P	S	AS	CU	NI	CR	MO	NO	CA	NA	AL	TI	REMARKS
0.16	0.010	0.10	0.0010	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	

A.1. ANALYSIS RESULT
 C. 碳含量分析结果符合规定
 MANGANESE 锰含量符合规定
 PHOSPHORUS 磷含量符合规定
 SULFUR 硫含量符合规定
 ARSENIC 砷含量符合规定
 COPPER 铜含量符合规定
 NICKEL 镍含量符合规定
 CHROMIUM 铬含量符合规定
 MOLYBDENUM 钼含量符合规定
 NIOBIUM 铌含量符合规定
 TITANIUM 钛含量符合规定
 REMARKS 备注

本产品在出厂前已经过严格的质量检验，其化学成分、力学性能、尺寸规格等均符合相关标准的要求。如有任何异议，请及时与本公司联系。

20210204-220452

KINERTECHNICAL SERVICE PLATFORM

20210204-220452

Certificado de calidad acero ASTM A 572 Gr 50

CERTIFICADO DE CALIDAD -000002591

CLIENTE: MIRANDA MIRANDA ERIKA O. COMPRÁ G8001001000091486
 PRISCILLA

DIRECCIÓN: AV. CARDENAL DE LA TORRE 514-146 Y RAFAEL FERRER QUITO 01.17.ECU

FECHA: 28/09/2022 QUÍMICA REMISIÓN

Responsable de Calidad: *[Signature]* Coordinador de Calidad: *[Signature]*

Descripción del producto	UNIDAD	Kg	CALIDAD	NORMA	COLUMA WIP	PROPIEDADES MECANICAS													TOLERANCIAS DIMENSIONALES			
						Y _t	R _m	R _{p0.2}	R _{p0.01}	σ _{UT}	σ _{UT}	σ _{UT}	σ _{UT}	σ _{UT}	σ _{UT}	σ _{UT}	σ _{UT}	σ _{UT}	σ _{UT}	σ _{UT}	σ _{UT}	σ _{UT}
PULC 24x60x2000 mm / ASTM A572 GR 50	1	918.4000	A572 GR 50	207 mm (11.2 in)	183225	432	225	343	ASB	+0.4	+0.4	+0.8	+0.8									
PULC 100x100x10000 mm / ASTM A572 GR 50	4	281.8000	A572 GR 50	207 mm (11.2 in)	183225	432	225	343	ASB	+0.4	+0.4	+0.8	+0.8									

Versión: 08

