



**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 CONFORMADO EN FRÍO DE SECCIÓN TRANSVERSAL UV DE ACERO A36, PARA ESPESORES DE 10 mm Y 12 mm”

AUTORES: Edison Dario Caiza Llunitasig

David Andrés Pullutasig Chuquisala

TUTOR: Ing. Francisco Agustín Peña Jordán, MSc.

AMBATO - ECUADOR

Febrero - 2024

APROBACIÓN DEL 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 CONFORMADO EN FRÍO DE SECCIÓN TRANSVERSAL UV DE ACERO A36, PARA ESPESORES DE 10 mm Y 12 mm”**, elaborado por los señores Edison Dario Caiza Llumitasig, portador de la cédula de ciudadanía C.I. 1805736665 y David Andrés Pullutasig Chuquisala, portador de la cédula de ciudadanía C.I. 1850044874, 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.

TUTOR

AUTORÍA DE TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, Edison Dario Caiza LLumitasig, con C.I. 1805736665 y David Andrés Pullutasig Chuquisala, con C.I. 1850044874, declaramos que todas las actividades y contenidos expuesto en el presente Trabajo Experimental con tema: “**MODELO DE MATERIAL PARA PERFILES CONFORMADO EN FRÍO DE SECCIÓN TRANSVERSAL UV DE ACERO A36, PARA ESPESORES DE 10 mm Y 12 mm.**”, así como también las ideas del diseño, parámetros, criterios, análisis, gráficos, 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



.....
Edisson Dario Caiza LLumitasig

C.I. 1805736665

AUTOR



.....
David Andrés Pullutasig Chuquisala

C.I. 1850044874

AUTOR

DERECHOS DEL 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.

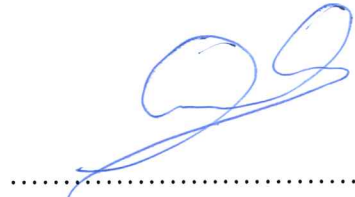
Cedemos los derechos en línea patrimoniales de nuestro Trabajo Experimental, con fines de difusión pública, además aprobamos la reproducción de este documento dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando nuestros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

Ambato, febrero 2024



.....

Edisson Dario Caiza Llumitasig
C.I. 1805736665
AUTOR



.....

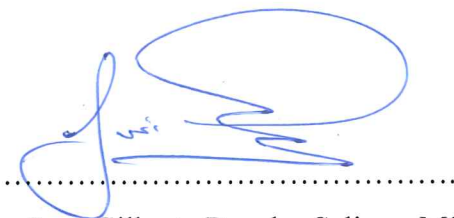
David Andrés Pullutasig Chuquisala
C.I. 1850044874
AUTOR

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los miembros del Tribunal de Grado, aprueban el informe del Trabajo Experimental, realizado por los estudiantes Edison Dario Caiza Llunitasig y David Andrés Pullutasig Chuquisala, de la Carrera de Mecánica bajo el tema: **“MODELO DE MATERIAL PARA PERFILES CONFORMADO EN FRÍO DE SECCIÓN TRANSVERSAL UV DE ACERO A36, PARA ESPESORES DE 10 mm Y 12 mm.”**

Ambato, febrero 2024

Para constancia firma:



Ing. Juan Gilberto Paredes Salinas, MSc.

MIEMBRO CALIFICADOR



Ing. Jose Luis Yunapanta Velastegui, MSc.

MIEMBRO CALIFICADOR

DEDICATORIA

Este trabajo va dedicado a mi madre María Llunitasig quien hizo el sacrificio de migrar al extranjero en busca de un mejor sustento económico. Así mismo dedico a mis abuelos maternos, quienes me han brindado apoyo y afectos paternos a lo largo de la carrera universitaria. Finalmente, a mi tutor el Ing. Francisco Peña MSC., por brindarme la valiosa oportunidad de demostrar mis capacidades en el desarrollo de este trabajo.

Caiza Llunitasig Edison Dario

DEDICATORIA

Que esta tesis sea un recordatorio de mi capacidad para superar obstáculos y abrazar el proceso de aprendizaje continuo. Estoy agradecido por la oportunidad de contribuir al conocimiento en mi campo y emocionado por las puertas que se abrirán a medida que avance en mi camino académico y profesional.

Pullutasig Chuquisala David Andrés

AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer a Dios por permitirme perseverar en alcanzar mis objetivos,
Quiero agradecerme por creer en mí,
Quiero agradecerme por no renunciar,
Quiero agradecerme por intentar hacer las tareas de manera adecuada,
Quiero agradecer a mi madre por su apoyo incondicional,
Quiero agradecer a mis abuelos por ser sabios y consejeros,
Quiero agradecer a mis hermanos y amigos quienes permanecen en los momentos difíciles y prósperos.

Caiza Llumitasig Edison Dario

AGRADECIMIENTO

Agradezco Dios por brindarme un poco de sabiduría, que fue luz y fortaleza en mi camino de caídas y lucha constante por cumplir mis sueños. Agradezco a mis padres por enseñarme el camino correcto y brindarme su apoyo. Agradezco a mi hermano mayor Jorge Pullutasig por darme su apoyo, ser consejero y mentor en tomar las mejores decisiones en mi vida. Agradezco a todas las personas, conocidos y amigos que estuvieron en mis mejores y peores momentos.

Pullutasig Chuquisala David Andrés

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDO

APROBACIÓN DEL TUTOR.....	ii
AUTORÍA DE TRABAJO DE TITULACIÓN.....	iii
DERECHOS DEL AUTOR.....	iv
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO.....	v
DEDICATORIA.....	vi
DEDICATORIA.....	vii
AGRADECIMIENTO.....	viii
AGRADECIMIENTO.....	ix
ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDO.....	x
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiii
ÍNDICE DE TABLAS.....	xvii
GLOSARIO DE TÉRMINOS.....	xxiv
RESUMEN EJECUTIVO.....	xxv
ABSTRACT.....	xxvi
CAPÍTULO I.....	1
1.1 Antecedentes investigativos.....	1
1.2 Justificación.....	4
1.3 Fundamento teórico.....	5
1.3.1 Acero conformado en frío.....	5
1.3.2 Tipos de perfiles de acero conformados en frío y aplicaciones.....	6
1.3.3 Perfiles de acero conformado en frío de pared delgada.....	8
1.3.4 Perfiles de aceros conformados en frío de pared gruesa.....	9
1.3.5 Fabricación de acero conformado en frío con rodillos de contorno.....	9
1.3.6 Fabricación de acero conformado en frío por prensado.....	11
1.3.7 Características mecánicas del acero conformado en frío.....	11
1.3.8 Propiedades mecánicas a considerarse en el proceso de conformado en frío	12
1.3.9 Esfuerzos residuales en el acero conformado en frío.....	14
1.3.10 Afectación de las propiedades mecánicas del acero conformado en frío.....	16
1.3.11 Efectos del trabajo en frío sobre las propiedades mecánicas de las esquinas.....	18

1.3.12	Curvas esfuerzo- deformación real del acero ASTM A992	18
1.3.13	Especificación Norteamericana AISI S100-16.....	21
1.3.14	Métodos de cortes de acero	21
1.3.15	Ensayo de Dureza	26
1.3.16	Ensayo de Dureza Brinell.....	27
1.3.17	Ensayo de Tracción	28
1.3.18	Curva esfuerzo- deformación ingenieril.....	33
1.3.19	Curva esfuerzo- deformación real o verdadero	34
1.3.20	Modelo de la curva esfuerzo deformación real o verdadera para aceros .	36
1.3.21	Ensayo de micrografía.....	38
1.4	Objetivos	39
1.4.1	Objetivo general	39
1.4.2	Objetivo específico.....	39
1.5	Hipótesis.....	40
CAPÍTULO II		41
2.1	Descripción del material	41
2.2	Especificaciones de equipos.....	42
2.3	Descripción de equipos y herramientas.....	47
2.4	Métodos.....	48
2.4.1	Exploratorio.....	48
2.4.2	Descriptivo	49
2.4.3	Cuantitativo	49
2.4.4	Bibliográfico.....	49
2.5	Población y muestra	50
2.5.1	Norma ASTM E8	50
2.5.2	Norma ASTM E112.	51
2.5.3	Norma ASTM E10	52
2.6	Operacionalización de variables	53
2.7	Etapas del desarrollo de la investigación experimental	55
2.8	Etapas del desarrollo del ensayo de Tracción	56
2.9	Etapas del desarrollo del ensayo de Dureza.....	57
2.10	Etapas del desarrollo del ensayo Metalográfico.....	58
2.11	Dimensionamiento del perfil.....	59

2.12	Desarrollo de las placas.....	59
2.13	Codificación y distribución de probetas.....	60
2.13.1	Ensayo de Tracción	61
2.13.2	Ensayo de Dureza	62
2.13.3	Tamaño de grano	64
2.14	Procesos del desarrollo.....	65
CAPÍTULO III.....		77
3.1	Interpretación de resultados	77
3.1.1	Resultados del ensayo de Tracción.....	77
3.1.2	Resultados del ensayo de Dureza	118
3.1.3	Resultados del ensayo de Metalografía	132
3.2	Análisis de resultados del ensayo de Tracción.....	161
3.3	Análisis de resultados del ensayo del ensayo de Dureza	171
3.4	Análisis de resultados del ensayo Metalográfico	176
3.5	Verificación de la Hipótesis	177
CAPÍTULO IV.....		196
4.1	Conclusiones	196
4.2	Recomendaciones.....	198
REFERENCIAS		199
ANEXOS		203

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Secciones de miembros estructurales individuales conformados en frío ..	7
Figura 1.2. Láminas corrugadas, paneles y cubiertas.....	7
Figura 1.3. Paneles de suelos elevados.	8
Figura 1.4. Miembros de acero conformado en frío de pared delgada	8
Figura 1.5. Etapas de formación mediante rodillos de contorno de una sección simple	10
Figura 1.6. Formas de rodillos para cada etapa.....	10
Figura 1.7. Sistema de prensado para perfiles conformado en frío.....	11
Figura 1.8. Efecto del conformado en frío en el diagrama esfuerzo-deformación	12
Figura 1.9. Curvas esfuerzo-deformación para aceros al carbono: (a) gradual; (b) brusca	13
Figura 1.10. Proceso de fabricación del acero conformado en frío	14
Figura 1.11. Promedio de los esfuerzos residuales longitudinales obtenidos en canales de acero conformados en frío	15
Figura 1.12. Distribución de tensiones residuales longitudinales obtenidas en superficies (a) exteriores y (b) interiores de un canal de acero conformado en frío..	16
Figura 1.13. Efecto del trabajo en frío sobre las propiedades mecánicas de perfiles de acero conformados en frío.....	17
Figura 1.14. Muestra de probetas en las distintas secciones	19
Figura 1.15. Curvas esfuerzo deformación ingenieril del acero ASTM A992	19
Figura 1.16. Curvas esfuerzo-deformación verdadera para el acero ASTM A992: (a) temperatura ambiente y elevadas (b) temperatura ambiente y elevadas a una deformación del 5%	21
Figura 1.17. Composición de una boquilla de plasma	23
Figura 1.18. El principio de funcionamiento de una boquilla láser	24
Figura 1.19. Sistema de corte por chorro de agua.....	25
Figura 1.20. Sistema de una máquina de sierra horizontal	25
Figura 1.21. Sistema de un indentador sometido bajo carga	26
Figura 1.22. Clasificación de los tipos de ensayos de dureza.	27

Figura 1.23. Máquina universal para aplicación del ensayo de tracción .	28
Figura 1.24. (a) Fuerza de tracción inicial aplicada en (1) y (2) alargamiento resultante en la probeta; (b) muestra representativa del ensayo; (c) estructura del ensayo de tracción.	29
Figura 1.25. Curva esfuerzo-deformación para un acero dúctil.	29
Figura 1.26. Zona elástica y ley de Hooke.	30
Figura 1.27. Determinación del límite elástico en el diagrama esfuerzo-deformación.	31
Figura 1.28. Curva esfuerzo-deformación ingenieril de un metal en un ensayo de tracción.	33
Figura 1.29. Relación entre el diagrama esfuerzo verdadero-deformación verdadera y el diagrama de esfuerzo –deformación ingenieril	35
Figura. 1.30. Diagrama esfuerzo- deformación ingenieril y real o verdadera.	36
Figura 1.31. Técnica avanzada de micrografía de aceros conformados en frío.	38
Figura 1.32. Sentido de desgaste del cambio de abrasivo.	39
Figura 2.1. Dimensiones de las probetas para el ensayo de tracción	51
Figura 2.2. Diagrama de flujo del desarrollo de la investigación experimental	55
Figura 2.3. Diagrama de flujo del desarrollo del ensayo de tracción.	56
Figura 2.4. Diagrama de flujo del desarrollo del ensayo de dureza.	57
Figura 2.5. Diagrama de flujo del desarrollo del ensayo micrográfico.	58
Figura 2.6. Dimensiones del perfil UV; donde t:10 mm y t:12 mm	59
Figura 2.7. Placa de acero ASTM A36.	60
Figura 2.8. Interpretación de las variables de la codificación de probetas.	60
Figura 2.9. Distribución de secciones del perfil UV.	61
Figura 2.10. Distribución de puntos para el ensayo de dureza en el material virgen para espesores de 10 mm y 12 mm.	63
Figura 2.11. Distribución de puntos para el ensayo de dureza del perfil UV para t:10 mm y t: 12 mm, (a) distribución interna, (b) distribución externa.	64
Figura 2.12. Distribución de probetas para la observación del tamaño de grano del material virgen para espesores de 10 mm y 12 mm.	64

Figura 2.13. Distribución de puntos para la observación de tamaño de grano en el perfil UV.	65
Figura 3.1. Campana de aceptación o rechazo para la hipótesis nula en el perfil UV del acero ASTM A36 de 10 mm respecto al esfuerzo de fluencia en las secciones plana y curva.	178
Figura 3.2. Campana de aceptación o rechazo para la hipótesis nula en el perfil UV del acero ASTM A36 de 10 mm respecto al esfuerzo máximo en las secciones plana y curva.	179
Figura 3.3. Campana de aceptación o rechazo para la hipótesis nula en el perfil UV del acero ASTM A36 de 12 mm respecto al módulo de elasticidad en las secciones plana y curva.	180
Figura 3.4. Campana de aceptación o rechazo para la hipótesis nula en el perfil UV del acero ASTM A36 de 12 mm respecto al esfuerzo de fluencia en las secciones plana y curva.	181
Figura 3.5. Campana de aceptación o rechazo para la hipótesis nula en el perfil UV en el perfil uv del acero ASTM A36 de 12 mm respecto al esfuerzo máximo en las secciones plana y curva.	182
Figura 3.6. Campana de aceptación o rechazo para la hipótesis nula en en el perfil UV del acero ASTM A36 de 12 mm respecto al módulo de elasticidad en las secciones plana y curva.	183
Figura 3.7. Campana de aceptación o rechazo para la hipótesis nula en el perfil UV del acero ASTM A36 de 10 mm y 12 mm respecto al el esfuerzo de fluencia en la sección plana.	184
Figura 3.8. Campana de aceptación o rechazo para la hipótesis en el perfil UV del acero ASTM A36 de 10 mm y 12 mm respecto al esfuerzo de fluencia en la sección curva.	184
Figura 3.9. Campana de aceptación o rechazo para la hipótesis nula en el perfil UV del acero ASTM A36 de 10 mm y 12 mm sobre el esfuerzo máximo en la sección plana.	185
Figura 3.10. Campana de aceptación o rechazo para la hipótesis nula en el perfil UV del acero ASTM A36 de 10 mm y 12 mm sobre el esfuerzo máximo en la sección plana.	186

Figura 3.11. Campana de aceptación o rechazo para la hipótesis nula en el perfil UV del acero ASTM A36 de 10 mm y 12 mm sobre el módulo de elasticidad en la sección plana.	187
Figura 3.12. Campana de aceptación o rechazo para la hipótesis nula en el perfil UV del acero ASTM A36 de 10 mm y 12 mm sobre el módulo de elasticidad en la sección curva.	187
Figura 3.13. Campana de aceptación o rechazo para la hipótesis nula en el perfil UV del acero ASTM A36 de 10 mm. Comparación virgen – sección interna.	189
Figura 3.14. Campana de aceptación o rechazo para la hipótesis nula en el perfil UV del acero ASTM A36 de 10 mm. Comparación virgen – sección externa.....	190
Figura 3.15. Campana de aceptación o rechazo para la hipótesis nula en el perfil UV del acero ASTM A36 de 10 mm. Comparación sección interna-externa.	190
Figura 3.16. Campana de aceptación o rechazo para la hipótesis nula en el perfil UV del acero ASTM A36 de 12 mm. Comparación virgen – sección interna.	192
Figura 3.17. Campana de aceptación o rechazo para la hipótesis nula en el perfil UV del acero ASTM A36 de 12 mm. Comparación virgen – sección interna.	193
Figura 3.18. Campana de aceptación o rechazo para la hipótesis nula en el perfil UV del acero ASTM A36 de 10 mm. Comparación sección interna-externa.	193
Figura 3.19. Campana de aceptación o rechazo para la hipótesis nula en el perfil UV del acero ASTM A36 de 10 mm y 12 mm. Sección interna.	194
Figura 3.20. Campana de aceptación o rechazo para la hipótesis nula en el perfil UV del acero ASTM A36 de 10 mm y 12 mm. Sección externa.....	194
Figura 3.21. Campana de aceptación o rechazo para la hipótesis nula en el perfil UV del acero ASTM A36 de 10 mm y 12 mm. Material virgen.	195

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1. Modelo propuesto para el comportamiento esfuerzo-deformación verdadero.....	19
Tabla 1.2. Parámetros para el comportamiento esfuerzo-deformación verdadera	20
Tabla 1.3. Rugosidad superficial de los distintos cortes.....	22
Tabla 1.4. Características para el ensayo de Dureza Brinell.....	28
Tabla 2.1. Propiedades físicas y mecánicas del acero ASTM A36.....	41
Tabla 2.2. Especificación de la prensa plegadora	42
Tabla 2.3. Especificación de máquina chorro de agua CNC.....	43
Tabla 2.4. Especificación de la máquina universal de tracción.	44
Tabla 2.5. Especificación del durómetro.....	45
Tabla 2.6. Especificación microscopio invertido	46
Tabla 2.7. Equipos y herramientas utilizados en la investigación.	47
Tabla 2.8. Descripción del método y cantidad de probetas para el ensayo de tracción.....	51
Tabla 2.9. Descripción probetas para realizar ensayos metalográficos.	52
Tabla 2.10. Descripción de las probetas para el ensayo de dureza brinell.....	53
Tabla 2.11. Operacionalización de la variable dependiente.....	53
Tabla 2.12. Operacionalización de la variable dependiente.....	54
Tabla 2.13. Probetas del perfil UV del acero ASTM A36 de 10 mm.....	61
Tabla 2.14. Probetas del perfil UV del acero ASTM A36 de 12 mm.....	61
Tabla 2. 15. Codificación de puntos para la obtención de dureza del acero ASTM A36 como material virgen con espesor de 10 mm.....	62
Tabla 2. 16. Codificación de puntos para la obtención de dureza del acero ASTM A36 como material virgen con espesor de 12 mm.....	62
Tabla 2. 17. Codificación de puntos para la obtención de dureza en la parte interna y externa del perfil UV del acero ASTM A36 de 10 mm.	62
Tabla 2. 18. Codificación de puntos para la obtención de dureza en la parte interna y externa del perfil UV del acero ASTM A36 de 12 mm.	63

Tabla 2.19. Codificación de las probetas para la obtención de tamaño de grano en el perfil UV del acero ASTM A36 para espesores de 10 mm y 12 mm.	64
Tabla 2.20. Configuración de parámetros de la dobladora para el conformado en frío.	65
Tabla 2.21. Proceso del desarrollo de conformado en frío.	66
Tabla 2.22. Configuración en la máquina de corte	67
Tabla 2.23. Proceso del desarrollo del corte de probetas mediante chorro de agua. .	68
Tabla 2.24. Proceso de preparación de las probetas para el ensayo de tracción.	70
Tabla 2.25. Proceso del desarrollo de preparación de las probetas para el ensayo de dureza.	72
Tabla 2.26. Proceso del desarrollo de preparación de probetas para la observación del tamaño de grano.	74
Tabla 3.1. Reporte del ensayo de tracción en el perfil UV del acero ASTM A36 de 10 mm. Probeta P1-A1-10-01.	78
Tabla 3.2. Reporte del ensayo de tracción en el perfil UV del acero ASTM A36 de 10 mm. Probeta P1-A1-10-02.	79
Tabla 3.3. Reporte del ensayo de tracción en el perfil UV del acero ASTM A36 de 10 mm. Probeta P1-A1-10-03.	80
Tabla 3.4. Reporte del ensayo de tracción en el perfil UV del acero ASTM A36 de 10 mm. Probeta P1-A1-10-04.	81
Tabla 3.5. Reporte del ensayo de tracción en el perfil UV del acero ASTM A36 de 10 mm. Probeta P1-A1-10-05.	82
Tabla 3.6. Reporte del ensayo de tracción en el perfil UV del acero ASTM A36 de 10 mm. Probeta P1-A2-10-01.	83
Tabla 3.7. Reporte del ensayo de tracción en el perfil UV del acero ASTM A36 de 10 mm. Probeta P1-A2-10-02.	84
Tabla 3.8. Reporte del ensayo de tracción en el perfil UV del acero ASTM A36 de 10 mm. Probeta P1-A2-10-03.	85
Tabla 3.9. Reporte del ensayo de tracción en el perfil UV del acero ASTM A36 de 10 mm. Probeta P1-A2-10-04.	86

Tabla 3.10. Reporte del ensayo de tracción en el perfil UV del acero ASTM A36 de 10 mm. Probeta P1-A2-10-05.	87
Tabla 1.11. Reporte del ensayo de tracción en el perfil UV del acero ASTM A36 de 10 mm. Probeta P1-1C-10-01.	88
Tabla 3.12. Reporte del ensayo de tracción en el perfil UV del acero ASTM A36 de 10 mm. Probeta P1-2C-10-02.	89
Tabla 3.13. Reporte del ensayo de tracción en el perfil UV del acero ASTM A36 de 10 mm. Probeta P1-1C-10-03.	90
Tabla 3.14. Reporte del ensayo de tracción en el perfil UV del acero ASTM A36 de 10 mm. Probeta P1-1C-10-04.	91
Tabla 3.15. Reporte del ensayo de tracción en el perfil UV del acero ASTM A36 de 10 mm. Probeta P1-2C-10-05.	92
Tabla 3.16. Reporte del ensayo de tracción en el perfil UV del acero ASTM A36 de 10 mm. Probeta P1-I-10-01.	93
Tabla 3.17. Reporte del ensayo de tracción en el perfil UV del acero ASTM A36 de 10 mm. Probeta P1-I-10-02.	94
Tabla 3.18. Reporte del ensayo de tracción en el perfil UV del acero ASTM A36 de 10 mm. Probeta P1-I-10-03.	95
Tabla 3.19. Reporte del ensayo de tracción en el perfil UV del acero ASTM A36 de 10 mm. Probeta P1-I-10-04.	96
Tabla 3.20. Reporte del ensayo de tracción en el perfil UV del acero ASTM A36 de 10 mm. Probeta P1-I-10-05.	97
Tabla 3.21. Reporte del ensayo de tracción en el perfil UV del acero ASTM A36 de 12 mm. Probeta P1-A1-12-01.	98
Tabla 3.22. Reporte del ensayo de tracción en el perfil UV del acero ASTM A36 de 12 mm. Probeta P1-A1-12-02.	99
Tabla 3.23. Reporte del ensayo de tracción en el perfil UV del acero ASTM A36 de 12 mm. Probeta P1-A1-12-03.	100
Tabla 3.24. Reporte del ensayo de tracción en el perfil UV del acero ASTM A36 de 12 mm. Probeta P1-A1-12-04.	101
Tabla 3.25. Reporte del ensayo de tracción en el perfil UV del acero ASTM A36 de 12 mm. Probeta P1-A1-12-05.	102

Tabla 3.26. Reporte del ensayo de tracción en el perfil UV del acero ASTM A36 de 12 mm. Probeta P1-A2-12-01.	103
Tabla 3.27. Reporte del ensayo de tracción en el perfil UV del acero ASTM A36 de 12 mm. Probeta P1-A2-12-02.	104
Tabla 3.28. Reporte del ensayo de tracción en el perfil UV del acero ASTM A36 de 12 mm. Probeta P1-A2-12-03.	105
Tabla 3.29. Reporte del ensayo de tracción en el perfil UV del acero ASTM A36 de 12 mm. Probeta P1-A2-12-04.	106
Tabla 3.30. Reporte del ensayo de tracción en el perfil UV del acero ASTM A36 de 12 mm. Probeta P1-A2-12-05.	107
Tabla 3.31. Reporte del ensayo de tracción en el perfil UV del acero astm a36 de 12 mm. Probeta P1-1C-12-01.	108
Tabla 3.32. Reporte del ensayo de tracción en el perfil UV del acero ASTM A36 de 12 mm. Probeta P1-2C-12-02.	109
Tabla 3.33. Reporte del ensayo de tracción en el perfil UV del acero astm a36 de 12 mm. Probeta P1-1C-12-03.	110
Tabla 3.34. Reporte del ensayo de tracción en el perfil UV del acero ASTM A36 de 12 mm. Probeta P1-2C-12-04.	111
Tabla 3.35. Reporte del ensayo de tracción en el perfil UV del acero ASTM A36 de 12 mm. Probeta P1-1C-12-05.	112
Tabla 3.36. Reporte del ensayo de tracción en el perfil UV del acero ASTM A36 de 12 mm. Probeta P1-I-12-01.	113
Tabla 3.37. Reporte del ensayo de tracción en el perfil UV del acero ASTM A36 de 12 mm. Probeta P1-I-12-02.	114
Tabla 3.38. Reporte del ensayo de tracción en el perfil UV del acero astm a36 de 12 mm. Probeta P1-I-12-03.	115
Tabla 3.39. Reporte del ensayo de tracción en el perfil UV del acero ASTM A36 de 12 mm. Probeta P1-I-12-04.	116
Tabla 3.40. Reporte del ensayo de tracción en el perfil UV del acero ASTM A36 de 12 mm. Probeta P1-I-12-05.	117
Tabla 3.41. Reporte del ensayo de dureza del material virgen del acero ASTM A36 de 10 mm.	119

Tabla 3.42. Reporte del ensayo de dureza del material virgen en el acero ASTM A36 de 12 mm.....	120
Tabla 3.43. Reporte del ensayo de dureza del perfil conformad en frío en el acero ASTM A36 de 10 mm parte interna.....	121
Tabla 3.44. Reporte del ensayo de dureza del perfil conformad en frío en el acero ASTM A36 de 10 mm parte externa.....	123
Tabla 3.45. Resistencia a la tracción y el límite de fluencia [MPa] en función de la dureza brinell.....	125
Tabla 3.46. Reporte del ensayo de dureza del perfil conformad en frío del acero ASTM A36 de 12 mm parte interna.....	127
Tabla 3.47. Reporte del ensayo de dureza del perfil conformad en frío del acero ASTM A36 de 12 mm parte externa.....	129
Tabla 3.48. Resistencia a la tracción y el límite de fluencia [MPa] en función de la dureza brinell.....	131
Tabla 3.49. Reporte del ensayo metalográfico en el perfil UV del acero ASTM A36 de 10 mm. Probeta P1-MV-10-01.....	133
Tabla 3.50. Reporte del ensayo metalográfico en el perfil UV del acero ASTM A36 de 12 mm. Probeta P1-MV-12-01.....	135
Tabla 3.51. Reporte del ensayo metalográfico en el perfil UV del acero ASTM A36 de 10 mm. Probeta P1-CD-10-01.....	137
Tabla 3.52. Reporte del ensayo metalográfico en el perfil UV del acero ASTM A36 de 10 mm. Probeta P1-CI-10-02.....	139
Tabla 3.53. Reporte del ensayo metalográfico en el perfil UV del acero ASTM A36 de 10 mm. Probeta P1-AI-10-02.....	141
Tabla 3.54. Reporte del ensayo metalográfico en el perfil UV del acero ASTM A36 de 10 mm. Probeta P1-AD-10-01.....	143
Tabla 3.55. Reporte del ensayo metalográfico en el perfil UV del acero ASTM A36 de 10 mm. Probeta P1-I-10-01.....	145
Tabla 3.56. Reporte del ensayo metalográfico en el perfil UV del acero ASTM A36 de 10 mm. Probeta P1-I-10-02.....	147
Tabla 3.57. Reporte del ensayo metalográfico en el perfil UV del acero ASTM A36 de 12 mm. Probeta P1-CD-12-01.....	149

Tabla 3.58. Reporte del ensayo metalográfico en el perfil UV del acero ASTM A36 de 12 mm. Probeta P1-CD-12-02.....	151
Tabla 3.59. Reporte del ensayo metalográfico en el perfil UV del acero ASTM A36 de 12 mm. Probeta P1-AI-12-02.....	153
Tabla 3.60. Reporte del ensayo metalográfico en el perfil UV del acero ASTM A36 de 12 mm. Probeta P1-AD-12-01.....	155
Tabla 3.61. Reporte del ensayo metalográfico en el perfil UV del acero ASTM A36 de 12 mm. Probeta P1-I-12-01.....	157
Tabla 3.62. Reporte del ensayo metalográfico en el perfil UV del acero ASTM A36 de 12 mm. Probeta P1-I-12-02.....	159
Tabla 3.63 análisis de resultados del ensayo de tracción del perfil UV del acero astm a36 de 10 mm.....	161
Tabla 3.64. Propiedades mecánicas reales de las secciones del perfil UV conformado en frío del acero ASTM A36 para 10 mm.....	163
Tabla 3.65. Porcentaje de diferencias de las propiedades mecánicas de las secciones del perfil UV conformado en frío del acero ASTM A36 para 10 mm.....	164
Tabla 3.66. Análisis de resultados del ensayo de tracción del perfil UV del acero ASTM A36 de 12 mm.....	166
Tabla 3.67. Propiedades mecánicas reales de las secciones del perfil UV conformado en frío del acero ASTM A36 para 12 mm.....	168
Tabla 3.68. Porcentaje de diferencias de las propiedades mecánicas de las secciones del perfil UV conformado en frío del acero ASTM A36 para 12 mm.....	169
Tabla 3.69. Análisis de resultados del ensayo de dureza para el material virgen y el perfil UV del acero ASTM A36 de 10 mm.....	171
Tabla 3.70. Análisis de resultados del ensayo de dureza para el material virgen y el perfil UV del acero ASTM A36 de 12 mm.....	173
Tabla 3.71. Análisis de resultados de la resistencia a la tracción y el límite de fluencia [MPa] en función de la dureza brinell para el perfil uv de 10 mm y 12 mm.....	175
Tabla 3.72. Interpretación de resultados del ensayo metalográfico para el perfil UV de 10 mm y 12 mm.....	176

Tabla 3.73. Comparación de esfuerzo de fluencia para las secciones plana y curva en el perfil UV del acero ASTM A36 de 10 mm.....	177
Tabla 3.74. Comparación de esfuerzo máximo para las secciones plana y curva en el perfil UV del acero ASTM A36 de 10 mm.....	178
Tabla 3.75. Comparación del módulo de elasticidad para las secciones plana y en el perfil UV del acero ASTM A36 de 10 mm.....	179
Tabla 3.76. Comparación de esfuerzo de fluencia para las secciones plana y curva en el perfil UV del acero astm de a36 de 12 mm.....	180
Tabla 3.77. Comparación de esfuerzo máximo para las secciones plana y curva en el perfil UV del acero ASTM A36 de 12 mm.....	181
Tabla 3.78. Comparación del módulo de elasticidad para las secciones plana y curva perfil UV de 12 mm.	182
Tabla 3.79. Comparación de esfuerzo fluencia para las secciones planas y curva en el perfil UV del acero ASTM A36 de 10 mm y 12 mm.	183
Tabla 3.80. Comparación de esfuerzo máximo para las secciones planas y curvas en el perfil UV del acero ASTM A36 de 10 mm y 12 mm.....	185
Tabla 3.81. Comparación módulo de elasticidad para las secciones planas y curvas en el perfil UV del acero ASTM A36 de 10 mm y 12 mm.....	186
Tabla 3.82. Comparación de dureza en el perfil UV del acero ASTM A36 de 10 mm en el material virgen y distintas secciones (interna-externa) del perfil conformado.	188
Tabla 3.83. Comparación de dureza en el perfil UV del acero ASTM A36 de 10 mm en el material virgen y distintas secciones (interna-externa) del perfil conformado.	189
Tabla 3.84. Comparación de dureza en el perfil UV del acero ASTM A36 de 12 mm en el material virgen y distintas secciones (interna-externa) del perfil conformado.	191
Tabla 3.85. Comparación de dureza en el perfil UV del acero ASTM A36 de 12 mm el material virgen y distintas secciones (interna-externa) del perfil conformado. ...	192
Tabla 3.86. Comparación de dureza en el perfil UV del acero ASTM A36 de 10 mm y 12 mm.	193

GLOSARIO DE TÉRMINOS

Resistencia: Es la capacidad de un material o estructura para soportar fuerzas sin romperse o deformarse permanentemente.

Probeta: Muestra de material utilizado para realizar experimentos y obtener datos representativos de las propiedades de ese material.

Dureza: Es una magnitud específica presente del material que caracteriza la deformación local.

Indentador: Es una bola de acero templado con diferentes diámetros.

G: Número tamaño de grano ASTM

Deformación: es una magnitud que permite describir la elongación o contracción que experimenta un material.

Esfuerzo: Es la medida de la intensidad de las fuerzas internas que se generan en un material cuando le aplican una carga externa.

Esfuerzo ingenieril: Es la fuerza que actúa por unidad de área.

Esfuerzo Real: Es la carga instantánea aplicada dividida por el área de la sección transversal.

Deformación ingenieril: Es el cambio en dimensión por unidad de longitud.

Deformación Real: Es el equivalente, por el logaritmo neperiano de la unidad más la deformación ingenieril

Estricción: Es la reducción de la sección que se produce en la zona de rotura de la probeta sometida a tracción.

Elasticidad: Son las propiedades físicas y mecánicas de algunos materiales que después de ser deformados tienen la capacidad de volver a su forma y dimensiones originales.

HO: Hipótesis nula.

HF: Hipótesis alternativa.

RESUMEN EJECUTIVO

El modelo del material obtenido para perfiles conformados en frío de sección transversal UV de acero ASTM A36, para espesores de 10 mm y 12 mm, se presenta como una solución estructural versátil y eficiente. Este modelo se ha desarrollado considerando sus propiedades mecánicas y la utilidad en la industria de la construcción por su resistencia y facilidad de conformado.

Para analizar la afectación de las propiedades mecánicas en la sección transversal del perfil obtenido, se realizaron tres tipos de ensayos. En el de tracción se aplicó la norma ASTM E8, evaluando sus propiedades mecánicas, teniendo en cuenta la resistencia a la tracción, límite elástico y módulo de elasticidad en las probetas de las distintas secciones (alas, espalda, curvas) del perfil. Utilizando la norma ASTM E10 se efectuó el ensayo de dureza en probetas extraídas para cada espesor, determinando su dureza en el material virgen y en la sección transversal del perfil UV. Mediante el uso de la norma ASTM E-112 se aplicó el ensayo metalográfico, obteniendo fotografías micrográficas de los granos del material virgen y la afectación en la sección transversal del perfil UV.

Como resultado los ensayos mecánicos realizados muestran una visión integral de las propiedades mecánicas en la seccion transversal del perfil UV, destacando una mayor rigidez en el perfil de 12 mm y una mayor afectación de las propiedades mecánicas en las secciones curvas del perfil, alcanzando esfuerzos máximos a la tracción de 551.5 MPa y 554,21 MPa para espesores de 10 mm y 12 mm.

Palabra clave: conformado en frío, tracción, resistencia, probeta, deformación, dureza, granos.

ABSTRACT

The material model obtained for cold-formed UV cross-section profiles of ASTM A36 steel, for thicknesses of 10 mm and 12 mm, is presented as a versatile and efficient structural solution. This model has been developed considering its mechanical properties and its usefulness in the construction industry due to its resistance and ease of forming.

To analyze the impact of the mechanical properties in the cross section of the profile obtained, three types of tests were carried out. In the tensile test, the ASTM E8 standard was applied, evaluating its mechanical properties, taking into account the tensile strength, elastic limit and modulus of elasticity in the specimens of the different sections (wings, back, curves) of the profile. Using the ASTM E10 standard, the hardness test was carried out on specimens extracted for each thickness, determining their hardness in the virgin material and in the cross section of the UV profile. Using the ASTM E-112 standard, the metallographic test was applied, obtaining micrographic photographs of the grains of the virgin material and the affectation in the cross section of the UV profile.

As a result, the mechanical tests carried out show a comprehensive view of the mechanical properties in the cross section of the UV profile, highlighting a greater rigidity in the 12 mm profile and a greater impact on the mechanical properties in the curved sections of the profile, reaching maximum stresses. tensile strength of 551.5 MPa and 554.21 MPa for thicknesses of 10 mm and 12 mm.

Keyword: cold forming, traction, resistance, specimen, deformation, hardness, grains.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1 Antecedentes investigativos

En el comportamiento estructural de columnas de acero cuadradas conformadas en frío de paredes extremadamente gruesas, de 800 mm por cada lado, 22 mm de espesor y 2.4 m de altura, los especímenes de diferentes secciones transversales (parte media, plana cercana a la esquina y esquina) fueron sometido a ensayos de tracción, los resultados a través de diagramas de esfuerzo-deformación establece la deformación de la parte media menor a la parte plana cercana a la esquina, cuando se alcanza la carga máxima. Las deformaciones en la esquina son similares a las deformaciones en la parte plana, aunque las deformaciones residuales iniciales de estas dos partes son diferentes. También se analizó con el software ABAQUS y de determino que se puede predecir la tensión y la deformación de columnas de acero de paredes gruesas conformadas en frío bajo compresión axial [1].

L. Gardner y X, Yun desarrolla un modelo de esfuerzo-deformación para usar en la simulación avanzada de miembros de acero conformados en frío, basado y validado con más de 700 especímenes sometidos a ensayos de tracción y curvas experimentales de esfuerzo-deformación recopiladas de la literatura mundial que cubren una amplia gama de grados de aceros de límite elástico nominal entre 235 N/mm² y 1100 N/mm². Los especímenes probados fueron cortados de las regiones planas/esquineras, perfiles lisos, ángulos, perfiles en Z, C y perfiles huecos rectangulares, elípticos, semi ovalados, circulares y poligonales. Se emplearon galgas extensométricas para registrar la parte inicial de la curva tensión-deformación hasta el límite elástico, mientras que para el resto de la curva se utilizaban lecturas extensométricas. Para describir la relación esfuerzo-deformación ingenieril para aceros conformados en frío recomienda utilizar el modelo Ramberg-Osgood de dos etapas desarrollado por Mirambell y Real, mientras que, para la relación esfuerzo-deformación de las esquinas recomienda utilizar el método de Rossi [2].

Para predecir el límite elástico del acero al carbono conformado en frío fue necesario revisar los diferentes modelos de códigos de diseño, como AISI, estándares australianos, Eurocódigo 3, GB 50018, y algunos modelos empíricos propuestos por

investigadores. Se enfoca en calcular el límite elástico de las esquinas y el límite elástico promedio de la sección completa en acero al carbono. Utiliza una base de datos experimental de 102 pruebas de cupones de tracción para evaluar la aplicabilidad y confiabilidad de estos modelos, considerando tipos de sección transversal, resistencia del acero y espesor de la sección. Tras comparar y analizar, propone tres nuevos métodos empíricos para predecir el límite elástico de las esquinas con relaciones del radio y el espesor (r/t) demostrando una adaptabilidad satisfactoria para ser utilizados en diseños de ingeniería con facilidad [3].

M.Chen y B.Young [4], presenta una investigación de las propiedades de los materiales, distribuciones de tensiones residuales y el comportamiento de la sección transversal para secciones huecas semi ovaladas de acero conformado en frío. Realiza 12 ensayos de tracción en cuatro series de secciones transversales con especímenes extraídos de las partes planas, curvas y esquinas las cuales fueron mecanizadas a partir de tres puntos críticos (longitudinalmente a lo largo del alma plana, el ala semicircular y la esquina). Los resultados obtenidos mostraron que las tensiones residuales de flexión en dirección transversal fueron más pequeñas que las tensiones residuales longitudinales. Además, cuantificaron las imperfecciones geométricas iniciales para cada serie y realizaron pruebas de columnas cortas para determinar la relación esfuerzo-deformación.

Para el modelado de componentes estructurales de aceros a temperaturas elevadas basado en la erosión mediante FE se utilizan datos de ensayos de tracción realizado por Luecke y Hu et. Estos ensayos realizados en aceros A572 Grado 50 y ASTM A999 muestran una trayectoria similar con la deformación hasta la fractura disminuyendo inicialmente con la temperatura, alcanzando un valor mínimo a 400°C o 500 °C, luego aumentando con una temperatura superior a 500 °C. Los especímenes de tracción fueron modelados utilizando elementos solidos tridimensionales con nodos completamente integrado alcanzando las secciones más reducidas aplicando el software de simulación multifísico LS-DYNA. Los resultados obtenidos muestran curvas de esfuerzo-deformación ingenieril calculadas en función del desplazamiento relativo de los nodos en cada sección de medición y para las curvas esfuerzo-deformación real se impuso una rigidez reducida para iniciar el adelgazamiento en la

deformación uniforme, mostrando la reducción de deformaciones con el aumento de temperatura [5].

Para medir las tensiones residuales longitudinales en secciones huecas cuadradas de acero conformado en frío con un espesor superior a 6 mm con 300 mm de lado utilizan dos métodos de prueba, “método de difracción de rayos X y método de perforación de orificios”. Para el método de perforación de orificios preparan 13 espécimen perforados en la superficie con un diámetro de 2 mm y profundidad 2,5 mm para ser sometidos a ensayos de tracción. Para el método de difracción de rayos X se manejó una máquina de estrés Tipo MSF3M y se utilizó los mismos parámetros medidos por el método anterior dado que es un método no destructivo. Los resultados experimentales indican que las tensiones residuales longitudinales están en tensión en la superficie exterior y en compresión en la superficie interior, y presentan distribuciones no lineales a lo largo del espesor de la sección [6].

Para estudiar el efecto del acero conformado en frío sobre la distribución del límite elástico en aceros de pared gruesa se realiza ensayos de tracción y compresión axial en canales con reborde. Selecciona cinco tipos de aceros conformado en frío con espesores y límites elásticos nominales variados para introducirse a una máquina de corte eléctrico por hilo y extraer especímenes del alma, el ala, el borde curvado y la esquina de las secciones de canal con reborde. Los ensayos revelan que la distribución del límite elástico, la capacidad de carga y la ductilidad están considerablemente influenciadas por el efecto de conformado en frío y dependen principalmente de la relación ancho-espesor (h/t) de la placa implicada [7].

Se desarrolla un algoritmo numérico para calcular la variación de las tensiones y deformaciones residuales a través del espesor en aceros conformado en frío. Se utiliza un sistema de coordenadas polares indicando las direcciones longitudinales, radiales y transversales con convección de signos para esfuerzo, deformación (positivos) y compresión (negativos) llegando a proponer el método numérico incremental puesto que simula el proceso de conformado en frío. El algoritmo calcula las tensiones y deformaciones residuales considerando el proceso de fabricación como una combinación de flexión elastoplástica y recuperación elástica, a diferencia de las deformaciones plásticas que son calculadas con la regla de flujo de Prandtl-Reuss asociada al criterio de fluencia de Von Mises en condiciones de deformación plana [8].

Para estudiar las propiedades mecánicas de los aceros conformado en frío y el efecto del conformado en frío en el rendimiento a altas temperaturas se ejecuta 56 ensayos de tracción con una máquina universal de 1000 KN para temperaturas osciladas entre 20 y 600°C. Los especímenes a ensayar fueron tomados y cortados por una cortadora por hilo de la parte plana, esquina y la costura de una soldadura del acero hueco rectángula Q345 (ASTM A572) de 3 mm de espesor. Con base en los ensayos, se obtuvieron las propiedades mecánicas, incluidos los límites elásticos, las resistencias máximas, el módulo de elasticidad y las curvas de tensión-deformación [9].

1.2 Justificación

Con la revolución industrial las estructuras metálicas se hicieron presente en el desarrollo de las civilizaciones permitiendo crear infraestructuras para diferentes necesidades como puentes, viaductos, torres, entre otros [10]. La aplicación del acero conformado en frío comenzó alrededor de 1850 logrando un desarrollo continuo hasta su inclusión en automóviles, carrocerías, vagones de ferrocarril, diversos tipos de equipos, productos de carretera, torres de transmisión, postes de transmisión, puentes y estructuras [11]. En el Ecuador el acero estructural se originó a partir de la construcción del ferrocarril, entre 1865 y 1871. Desde entonces el acero conformado en frío y/o conformado en caliente ha sido ampliamente utilizado en la construcción de edificios, remplazando las estructuras tradicionales [12].

El acero conformado en frío es un material eficiente, con formas transversales flexibles y abundantes sin embargo en este proceso produce una cantidad considerable de tensiones residuales en la sección de acero conformado. Los esfuerzos residuales influyen en el comportamiento estructural y en particular para el pandeo de un miembro a compresión [6], [13]. La mayoría de las investigaciones experimentales realizadas en secciones de aceros de pared delgada de 0.4 a 6 mm y en investigaciones experimentales en secciones cuadradas huecas de pared gruesa superior a 6 mm, indican que, las tensiones residuales longitudinales están en tensión en la superficie exterior y en compresión en la superficie interior diferenciándose en que las tensiones residuales presentan una distribución no lineal a lo largo del espesor en paredes gruesas [6], [8].

Abaqus es un programa destinado a resolver problemas de ciencia e ingeniería basado en el método de elementos finitos. Utilizado para el análisis de esfuerzos / desplazamientos mediante la teoría Lagrangiana en aceros conformados en frío[14]. Sin embargo, ADINA al igual que abacus se enfoca en un análisis no lineal y multifísico con la diferencia que se tiene en cuenta las deformaciones finitas al permitir cambios en el espesor del elemento para las relaciones esfuerzos/desplazamientos reales [15].

En nuestro país, la historia de las comunicaciones a distancia tuvo su primer logro mediante un sistema de postas siendo referentes para la evolución de comunicación por mar, postillos de correo, ferrocarril, línea telegráfica y el teléfono. La modernización del país empezó con las instalaciones de sistemas telegráfico, telefónicos y radiales [16]. En la actualidad la infraestructura de telecomunicaciones, es parte fundamental para el desarrollo de la sociedad implementando nuevas tecnologías en el país. Los materiales, tamaños de los elementos estructurales y métodos de construcción evolucionaron gracias a años de experimentación del comportamiento estructural [17].

A pesar de la falta de información mediante ensayos para su producción y la continuidad de fabricación de materiales conformados en frío no se considera la variabilidad de sus deformaciones. La normativa vigente para la producción de estos nuevos perfiles o perfiles que su naturaleza sea desconocida recomienda realizar diferentes tipos de ensayos [18]. Por lo tanto, el objetivo de este trabajo experimental es obtener un modelo de material para perfiles conformados en frío de sección transversal UV de acero A36, para espesores de 10 mm y 12 mm.

1.3 Fundamento teórico

1.3.1 Acero conformado en frío

El acero conformado en frío son productos que se fabrican doblando una lámina plana de acero, este proceso se realiza a temperatura ambiente dándole una forma capaz de soportar más carga que la propia plancha plana [19]. El acero conformado en frío es un material con secciones transversales flexibles y abundantes. Son utilizados en el mundo de la construcción, transporte, fabricación de maquinaria y otras industrias por su alta resistencia, relación rigidez-peso, facilidad de prefabricación y producción en masa [7], [2].

Para garantizar a todos los diseñadores y fabricantes de productos de acero conformado en frío compitieran en igualdad de condiciones y orientar los códigos de construcción, era necesario implementar algún tipo de norma nacional consensuada. El Instituto Americano del Hierro y el Acero (AISI, por sus siglas en Inglés) en 1946 elaboró por primera vez una norma destinada a este tipo de estructuras. Por lo tanto, los elementos estructurales conformados en frío de acero al carbono o de baja aleación con espesores inferiores a 25,4 mm (1 pulgada), deben cumplir requerimientos y especificaciones técnicas para su producción [12].

1.3.2 Tipos de perfiles de acero conformados en frío y aplicaciones

Los perfiles estructurales de acero conformado en frío se clasifican como:

- Miembros estructurales individuales
- Paneles y cubiertas.

Miembros estructurales individuales

En la Figura 1.1 se muestra algunas de las secciones de perfiles conformadas en frío utilizadas como miembros estructurales. Las formas más habituales son los canales (secciones en C), secciones en Z, I, T, ángulos y miembros tubulares [11].

Comúnmente, los miembros estructurales individuales conformados en frío varían en una profundidad de 50,8 a 406 mm (2 a 16 in.) y en espesor de 0,836 a 2,997 mm (0,0329 a 0,1180 in). En algunos casos, la profundidad de esta clase de perfiles puede llegar a ser hasta 457 mm (18 in) con espesores de 12,7 mm (1/2 in) o más, particularmente para construcción de edificios y transportes [11].

Considerando que, la función principal de estos tipos de miembro estructural es soportar carga, la rigidez y la resistencia estructural son las principales consideraciones al emplear estas secciones. Usualmente estas secciones son utilizadas como miembros estructurales primarios en edificios con diversas plantas [11].

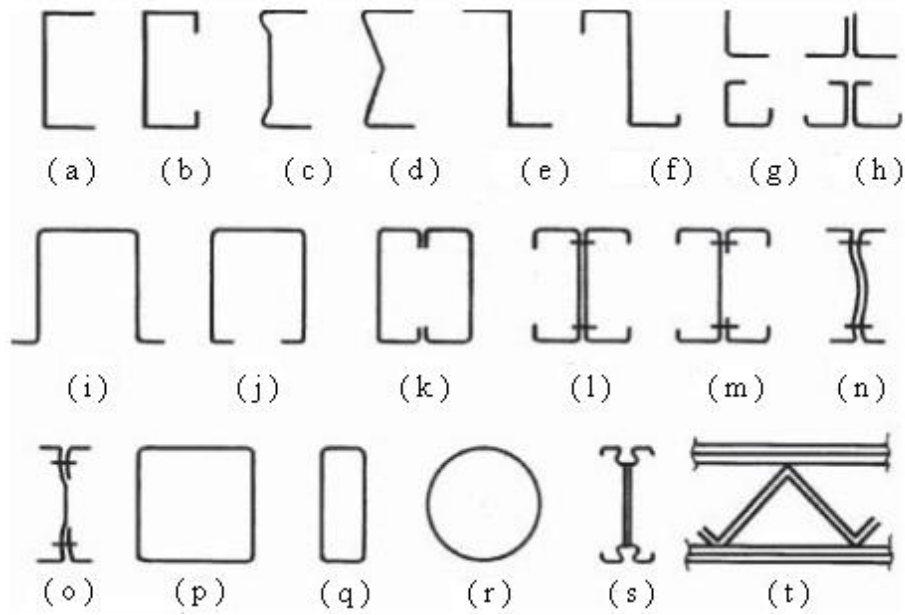


Figura 1.1. Secciones de miembros estructurales individuales conformados en frío [11].

Paneles y cubiertas

En la Figura 1.2 muestra estos tipos de secciones conformadas en frío. Generalmente estos tipos de secciones se han utilizados en cubiertas de techos, de pisos, material de revestimiento paneles de pared y encofrados de puentes [11].

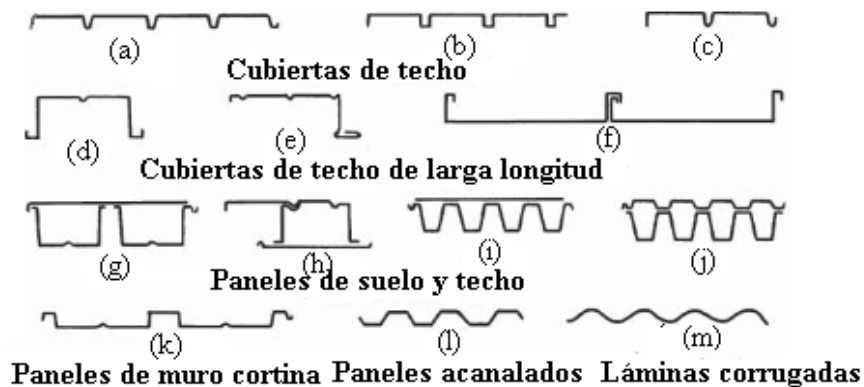


Figura 1.2. Láminas corrugadas, Paneles y Cubiertas [11].

Estos tipos de secciones conformados en frío usualmente suelen tener una variación en profundidad de 14,2 a 191 mm ($9/16$ a $7\frac{1}{2}$ in), y en espesor de 0,457 a 1,91 mm (0,018 a 0,075 in) [11].

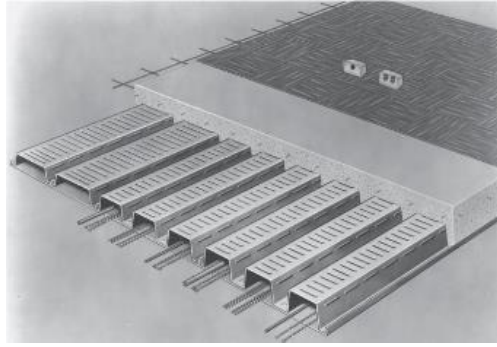


Figura 1.3. Paneles de suelos elevados [11].

Los paneles y cubiertas a diferencia de brindan resistencia estructural, ofrece una superficie donde se puede aplicar techos, pisos o rellenos de concreto como se muestra en la Figura 1.3. Además, son utilizados como conductores para aire acondicionado y calefacción, también puede proveer espacios para conductos eléctricos, o pueden perforarse para combinarse con materiales de absorción acústica formando techos acondicionados acústicamente.

1.3.3 Perfiles de acero conformado en frío de pared delgada

Los miembros de acero conformado en frío utilizados en todo el mundo como componentes principales en edificio estructurales fueron fabricados inicialmente de 0.4 mm a 3 mm de espesor con grados de 200 MPa a 1000 MPa conocidos como perfiles de pared delgada [9]. Actualmente la sección estructural de acero conformada en frío utilizada en la ingeniería civil aplicada en estructuras ligeras como vigas o columnas para viviendas de corta altura se fabricar perfiles de pared delgada con espesores variados entre 0,4 a 6 mm de espesor con sección transversal de forma abierta o cerrada [6], [11].

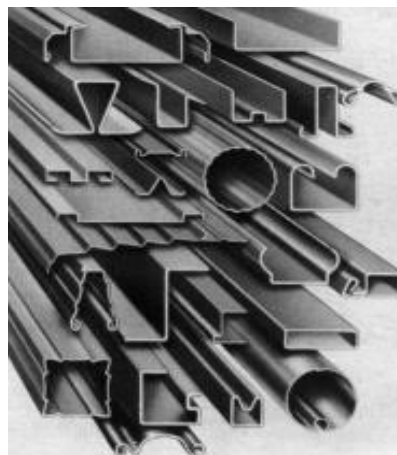


Figura 1.4. Miembros de acero conformado en frío de pared delgada [20].

Los perfiles de acero conformados en frío son fabricados doblando laminas delgadas de acero de bajo carbono o baja aleación en prácticamente cualquier sección transversa deseada, como las mostradas en la Figura 1.4 [20].

Entre ellos, el mercado interno incluye: canales U, correa G, perfiles Z, Ω , ángulos L y tuberías circulares, cuadrados y rectangulares. Generalmente, la altura del alma de los perfiles conformados en frío varía de 2 a 12 pulgadas (51 a 305 mm) y en casos especiales hasta 18 pulgadas (457 mm); mm) [20].

1.3.4 Perfiles de aceros conformados en frío de pared gruesa

Desde la década de 1990, junto con el desarrollo de la tecnología y los mecanismos de conformación en frío, los perfiles de acero de pared gruesa conformadas en frío se fabricaban con espesores superiores a 3 mm y se han generalizado gradualmente en las estructuras civiles [9].

En la actualidad, los perfiles conformadas en frío con un espesor superior a 6 mm, se denominan “perfiles de pared gruesa”[1],[6] . Por lo general, son fabricados como formas cerradas, secciones huecas circulares o cuadradas, y se usan cada vez más en columnas de edificios de gran altura. El tamaño máximo para la sección hueca cuadrada es de 800 mm de ancho por 22 mm de espesor [1], [6].

Los perfiles de acero de paredes gruesas conformadas en frío con mayor capacidad de carga al ser combinadas con las ventajas de los aceros de paredes delgadas, logran que los aceros conformados en frío se pueda extender desde edificios de baja altura hasta edificios de mediana altura [9].

1.3.5 Fabricación de acero conformado en frío con rodillos de contorno

Para la producción de miembros estructurales, algunas laminas corrugadas, paneles de techos, piso y pared, el método de laminación en frío ha sido ampliamente utilizado, como se muestra en la Figura 1.1 y Figura 1.2 [11].

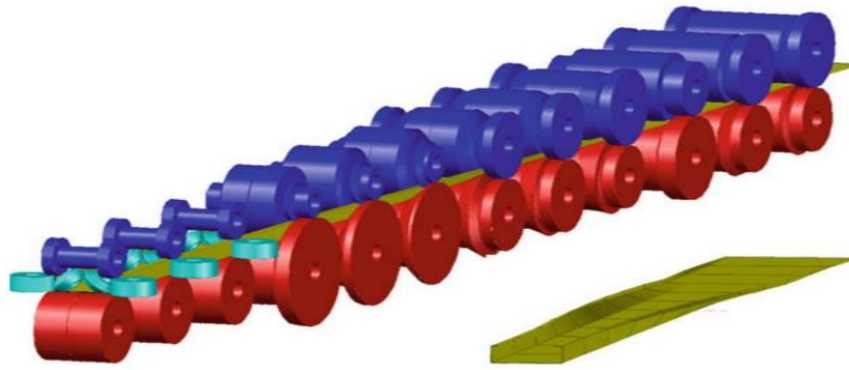


Figura 1.5. Etapas de formación mediante rodillos de contorno de una sección simple [21].

Para obtener la forma requerida mediante rodillos de contorno, se alimentan tiras de acero a través de rodillos opuestos obteniendo deformaciones continuas [22]. Es posible producir una sección simple con tan solo seis pares de rodillos. Sin embargo, en la obtención de una sección compleja puede requerirse un juego de hasta 15 rodillos según sea necesario y aumente su grado de complejidad. La Figura 1.5 muestra la continuidad del proceso de rodillos, desde el ingreso de acero como laminas planas hasta la sección terminada [22]. Conforme sea la complejidad de la sección a obtenerse cambiara su mecanismo, cuanto mayor sea el número de rodillos más compleja será su sección transversal. Las Figura. 1.5 y 1.6 muestran dos disposiciones de mecanismos de rodillos [22], [21].

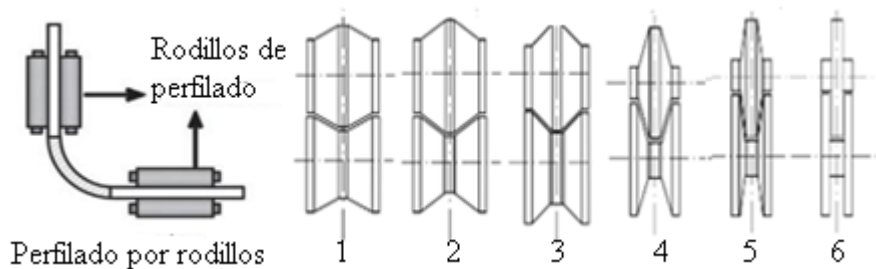


Figura 1.6. Formas de rodillos para cada etapa [8], [22].

La velocidad para este proceso varía frecuentemente de 6 a 92 m/min (20 a 300 ft/min) con longitudes máximas de corte de 6 y 12 m (20 y 40 ft) [11].

Con respecto a las limitaciones de espesor del material para este proceso, se pueden utilizar placas de acero al carbono de hasta 19 mm (3/4 in). Las tolerancias suelen

verse afectadas por el tipo de sección, tamaño de la sección y el espesor del material [11].

1.3.6 Fabricación de acero conformado en frío por prensado

Este proceso se utiliza regularmente para la obtención de formas simples y especialmente si la cantidad de fabricación requerida es menor a una velocidad lineal de 91,5 m/min [22].

El equipo utilizado en este proceso consiste básicamente en una viga superior móvil y una inferior fija sobre la que se montan las matrices aplicables para la obtención de las secciones requeridas como se muestra en la Figura 1.7 [11].

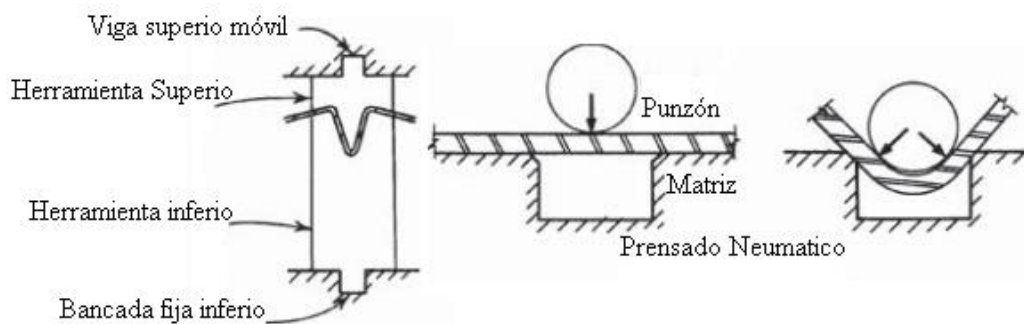


Figura 1.7. Sistema de prensado para perfiles conformado en frío [11].

1.3.7 Características mecánicas del acero conformado en frío

Por el proceso de fabricación realizado a temperatura ambiente, el material no se encogerá a diferencia del proceso de laminado en caliente. El límite elástico en el procesamiento de acero conformado en frío suele aumentar aproximadamente en un 20% en comparación con los aceros laminado en caliente [22].

Debido a la acumulación de energía en el acero durante el proceso de conformado en frío, el límite elástico, la resistencia a la tracción y la dureza se incrementan. Esta concentración de energía es la responsable de producir este efecto, lo que justifica porque el acero conformado en frío exhibe un incremento de resistencia a la tracción [22].

Efectivamente el proceso de conformado en frío se relaciona de manera proporcional con el aumento de las propiedades mecánicas como el límite elástico, resistencia a la tracción y dureza. La Figura 1.8 muestra los cambios de las propiedades mecánicas

presentadas en el acero durante este proceso. Se puede observar claramente en la curva de esfuerzo-deformación, el incremento del límite elástico y la resistencia máxima. Por tanto, es entendible por qué el acero conformado en frío es más resistente a la deformación. Sin embargo, su ductilidad reduce drásticamente como consecuencia de este proceso [22].

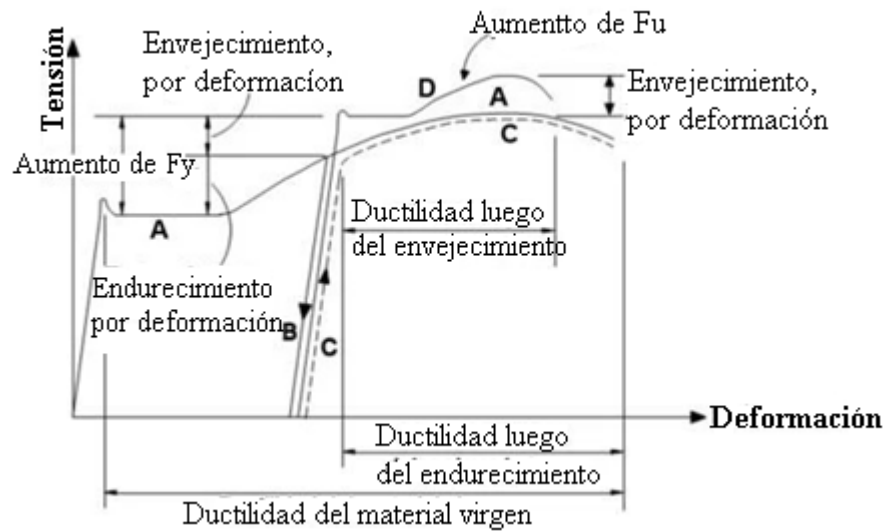


Figura 1.8. Efecto del conformado en frío en el diagrama esfuerzo-deformación [22].

1.3.8 Propiedades mecánicas a considerarse en el proceso de conformado en frío

Resistencia a la Tracción

La resistencia a la tracción de material utilizado para obtener secciones de acero conformado en frío tiene mínima relación directa. Los esfuerzos de fluencia o esfuerzos de pandeo generalmente están limitados por la capacidad de carga de los miembros de compresión y flexión, especialmente para elementos que estén a compresión y tengan una relación de ancho plano y esbeltez relativamente grandes [11].

Los efectos del trabajo en frío sobre perfiles de acero conformados en frío dependen de la diferencia entre el límite elástico y la resistencia a la tracción del material virgen [11].

Elasticidad y Plasticidad

La capacidad del material para sufrir deformaciones elásticas (recuperando su forma inicial) y deformaciones plásticas (manteniendo una forma alterada) es fundamental.

Estas propiedades requieren un equilibrio adecuado para permitir obtener perfiles conformados en frío sin riesgos de grietas o roturas [11].

Límite elástico y curva tensión-deformación

La resistencia de los miembros estructurales de acero conformados en frío depende del límite elástico o punto de fluencia. Existe dos tipos de curvas esfuerzo-deformación, como se muestra en la Figura 1.9. Uno es el diagrama esfuerzo-deformación gradual (Figura 1.9 (a)) y el otro es el diagrama de esfuerzo-deformación brusca (Figura 1.9 (b)). Para los aceros normales, el límite elástico se define cuando el nivel de la curva se vuelve horizontal, mientras que en los aceros conformados en frío presentan una fluencia gradual [11].

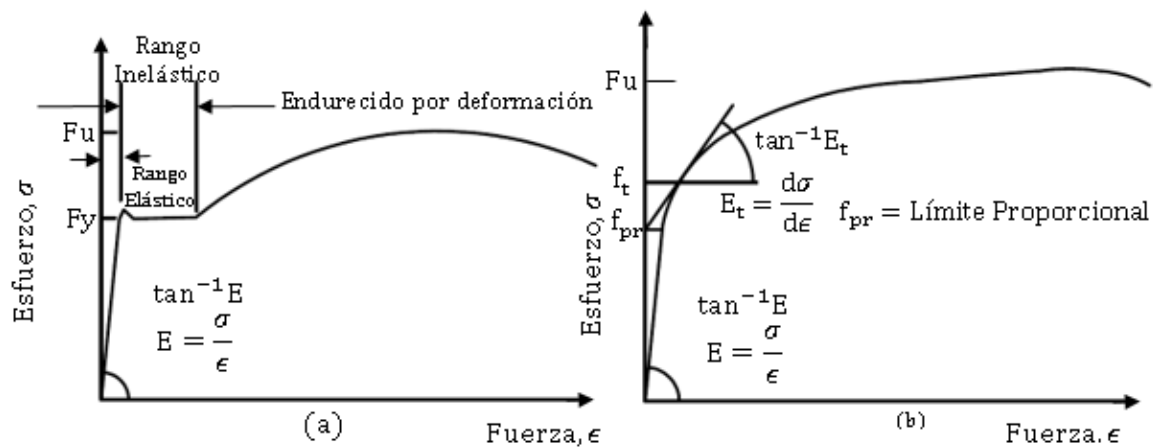


Figura 1.9. Curvas esfuerzo-deformación para aceros al carbono: (a) gradual; (b) brusca [11].

Módulo de elasticidad

El módulo de elasticidad es una propiedad relevante en los miembros estructurales de acero conformados en frío porque la capacidad de carga de estos miembros frecuentemente está regida por consideraciones de rigidez. Esta propiedad está definida por una pendiente de la porción recta inicial presentada en la curva esfuerzo-deformación. [23], [9].

Módulo tangente

Está definido por la pendiente de la curva esfuerzo-deformación en cualquier instancia [24]. Para la fluencia brusca, el módulo tangencial es igual al módulo de elasticidad entro del límite elástico, pero con una fluencia gradual, el módulo tangencial es igual

al módulo de elasticidad hasta límite proporcional. Al exceder la tensión del límite proporcional, el módulo tangente se vuelve relativamente más pequeño que el módulo de elasticidad inicial [11].

Ductilidad

La ductilidad describe su capacidad para deformarse bajo tensión sin romperse. Esta característica es crucial en el proceso de conformado en frío, ya que los materiales dúctiles pueden experimentar deformaciones considerables antes de llegar a su punto de falla, capaz de ser moldeados, estirados o manipulados en formas diversas sin fracturarse [11].

Dureza

Aunque la dureza no es una característica mecánica directa, esta propiedad afecta la habilidad de un material para enfrentar una deformación plástica. Un material más duro puede presentar mayor dificultad para su conformado, pero ofrece una mayor resistencia al desgaste.

Tenacidad

La tenacidad es el grado en que un acero absorbe energía sin fracturarse permitiendo resistir mejores condiciones de deformación y reduciendo la posibilidad de experimentar fracturas repentinas [11].

1.3.9 Esfuerzos residuales en el acero conformado en frío

Las tensiones residuales son tensiones existentes en los miembros conformados como resultado de los procesos de manufactura y fabricación [11].

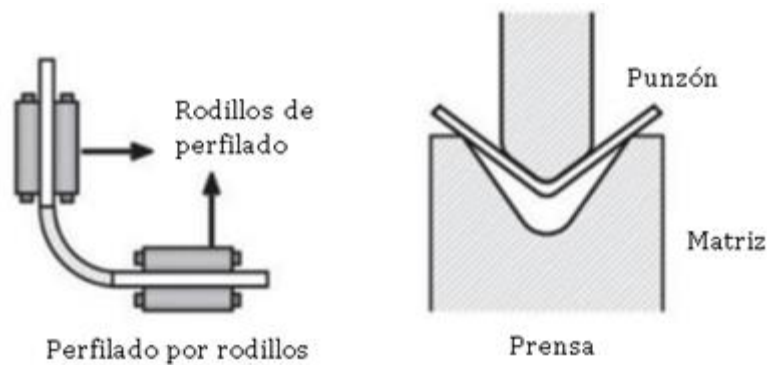


Figura 1.10. Proceso de fabricación del acero conformado en frío [8].

Debido al proceso de conformado en frío las tensiones residuales varían significativamente a lo largo del espesor. Las tensiones residuales juegan un papel importante en relación con la magnitud, así como la variación del espesor transversal como respuesta mecánica de los perfiles estructurales que se fabrican pasando láminas de acero a través del proceso de conformado en frío. Además, ciertas propiedades, como la deformación inicial en las caras de los elementos formados en frío o el grado de pandeo local en los tubos de acero conformado de la misma manera, es directamente proporcional a la variación del espesor de las tensiones residuales y las deformaciones de estos elementos [8].

Las tensiones residuales a través del espesor tienen una variación lineal en los valores evaluados en la superficie. No obstante, los ensayos en placas con mayor espesor, las evaluaciones teóricas y numéricas han demostrado que las tensiones residuales en elementos de acero conformados en frío tienen una distribución no lineal a lo largo del espesor [8]. Las tensiones residuales influyen en la respuesta de carga-desplazamiento y en la resistencia última de los miembros de acero conformados en frío [25].

En la Figura 1.12, [26] muestra las tensiones residuales medidas en las superficies exterior e interior de una sección de un canal. Sin embargo, las tensiones residuales promedio medidas para la misma sección del canal se muestran en la Figura 1.11, [26].

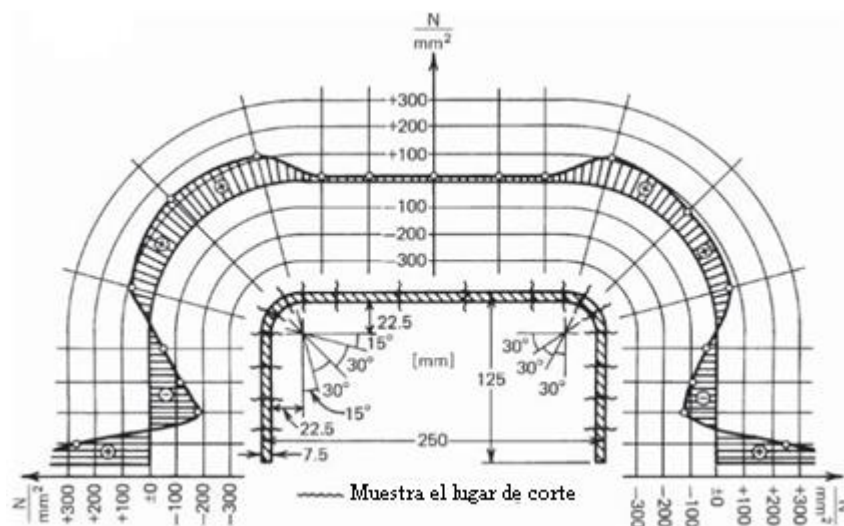


Figura 1.11. Promedio de los esfuerzos residuales longitudinales obtenidos en canales de acero conformados en frío [26].

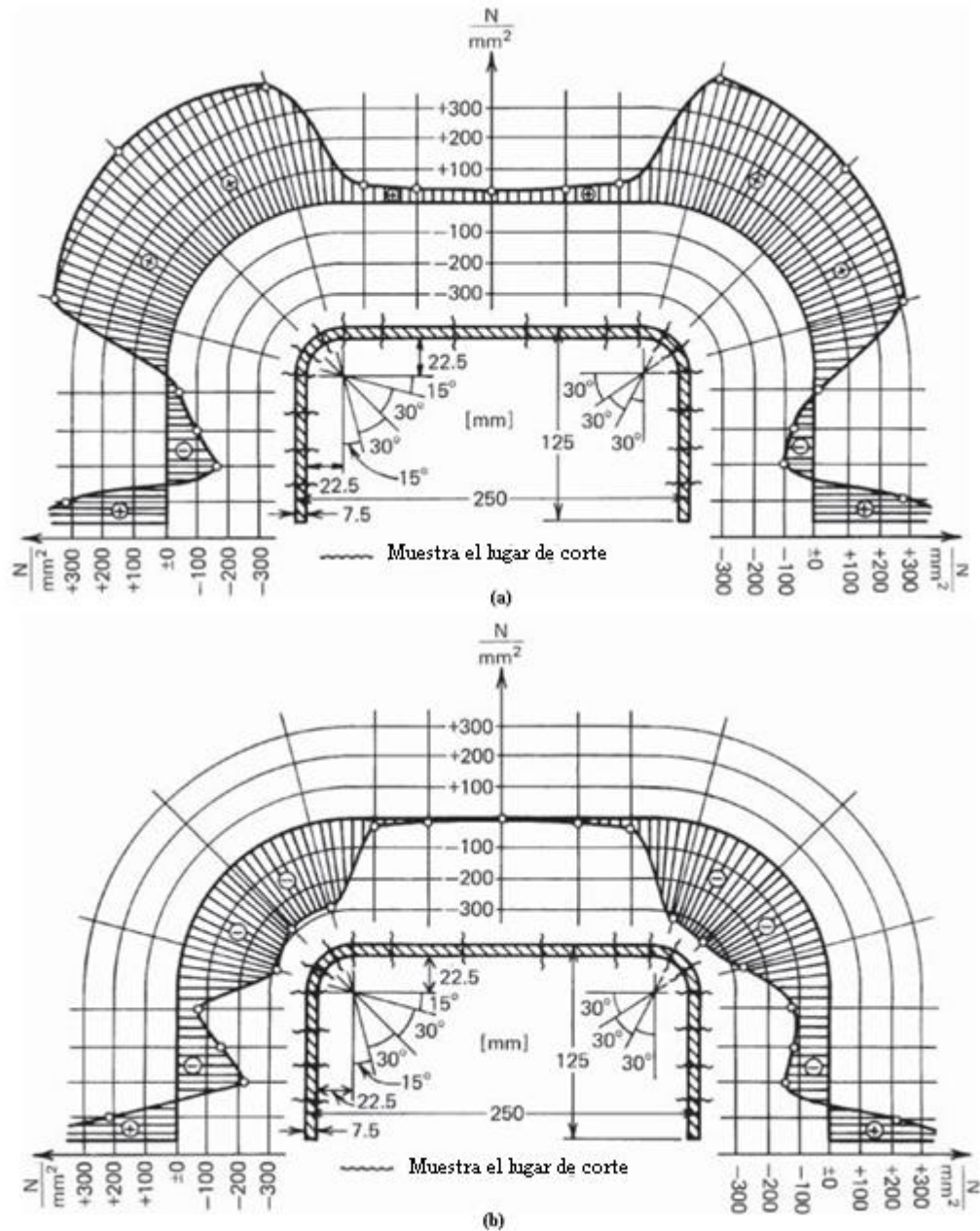


Figura 1.12. Distribución de tensiones residuales longitudinales obtenidas en superficies (a) exteriores y (b) interiores de un canal de acero conformado en frío [26].

1.3.10 Afectación de las propiedades mecánicas del acero conformado en frío

Las diversas propiedades mecánicas de las secciones de aceros conformados en frío a veces son radicalmente diferentes en las de la lámina, tira, placa o barra de acero antes de su conformado. Esto se atribuye al proceso de conformado en frío aumentado el límite elástico y la resistencia a la tracción, pero disminuyendo su ductilidad. Mediante este proceso de fabricación puede producirse una cantidad considerable de tensiones

residuales en la sección de acero, mejorando el comportamiento del material [1],[2],[6], [11].

El incremento de la resistencia a la tracción es mucho menor que el aumento del límite elástico, como resultado de la disminución significativa en la diferencia entre el límite elástico y la resistencia a la tracción. Para obtener la sección de las esquinas estos procesos son trabajados en frío con un grado considerablemente mayor que en el material de las secciones planas. Razón para que las propiedades mecánicas sean diferentes en distintas partes de la sección transversal [11].

La Figura 1.13 ilustra las variaciones de las propiedades mecánicas con respecto a las del material virgen en los puntos específicos de una sección de canal después del conformado [27]. Por este motivo, el pandeo o la elasticidad comienzan siempre en la parte plana debido al menor límite elástico del material. Además, cualquier carga adicional aplicada a la sección se prolongará a las esquinas.

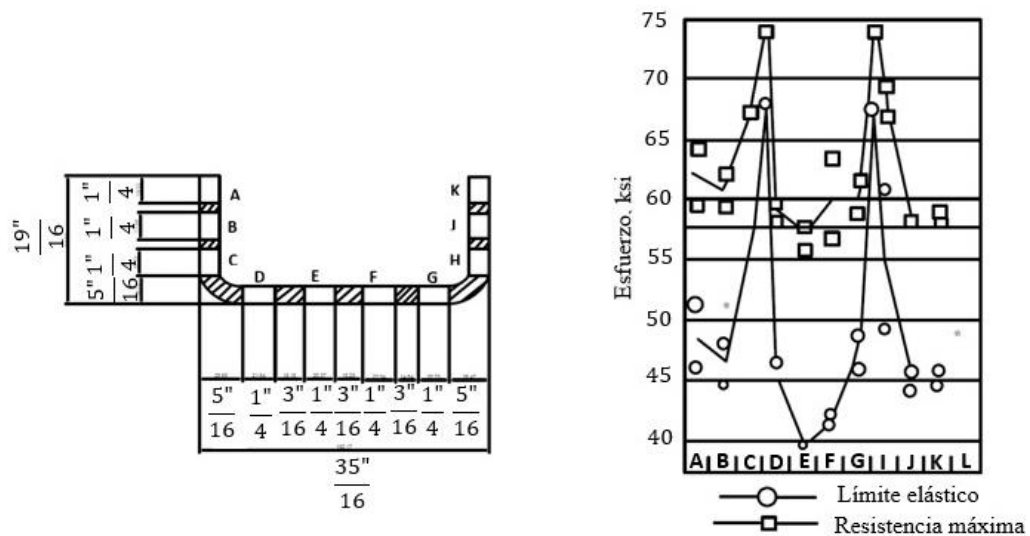


Figura 1.13. Efecto del trabajo en frío sobre las propiedades mecánicas de perfiles de acero conformados en frío (sección de un canal) [11].

Los cambios de las propiedades mecánicas a causa del trabajo en frío son consecuencias principales por el endurecimiento y el envejecimiento por deformación, como se muestra en la Figura 1.8, donde la curva A representa la curva esfuerzo-deformación del material virgen. La curva B es la deformación en la zona de endurecimiento por deformación, la curva C es la deformación inmediata y la curva D es la curva esfuerzo-deformación de la recarga después de un envejecimiento por deformación. Los límites elásticos de las curvas C y D son mayores que los límites

elásticos del material virgen y las ductilidades decrecen después del endurecimiento y envejecimiento por deformación.

1.3.11 Efectos del trabajo en frío sobre las propiedades mecánicas de las esquinas

Los efectos del trabajo en frío sobre las propiedades mecánicas en las esquinas suelen depender del tipo de acero, tipo de tensión (tracción o compresión), la dirección de la tensión con respecto a la dirección del proceso realizado en frío (longitudinal o transversal), la relación F_u/F_y , la relación radio interior-espesor (r/t) y la cantidad de trabajo en frío. Las regiones de las esquinas para las secciones transversales soportan grandes deformación plástica por la flexión en frío debido a sus angostos radios de esquinas, resultando en aumento de la resistencia pero disminuyendo su ductilidad [11],[2].

Las relaciones R/t y F_u/F_y son los factores más importantes que afectan el cambio en las propiedades mecánicas de estas secciones conformadas en frío. El material virgen con una buena relación F_u/F_y posee amplias capacidades de endurecimiento por deformación. En consecuencia, a medida que se incrementa la relación F_u/F_y , crece el efecto del trabajo en frío sobre el incremento del límite elástico del acero. Relaciones pequeñas entre radio interior y espesor (r/t) corresponden a un alto nivel de trabajo en frío en una esquina, por lo tanto, para un material menor sea la relación r/t , mayor será el incremento del límite elástico.

1.3.12 Curvas esfuerzo- deformación real del acero ASTM A992

En el análisis de las curvas esfuerzo- deformación real se emplearon datos experimentales de espécimen del acero ASTM A992 para temperaturas que oscilan entre 20°C y 1000 °C mediante ensayos de tracción tomadas de diferentes calores de producción. Las probetas MA y MB se cortaron de las almas de dos secciones diferentes de W760×147 (W30×99 en unidades EE. UU.), mientras que el espécimen MC se cortó del ala de una sección de W100×19,3 (W4×13 en unidades de EE. UU.) como muestra la Figura 1.14. Las curvas de esfuerzo-deformación ingenieril medidas para estas tres probetas de materiales se muestran en la Figura 1.15. El primero muestra las curvas tensión-deformación completas a lo largo de la fractura. El segundo muestra la porción inicial de las curvas tensión-deformación. Todos los ensayos se realizaron a una velocidad constante de desplazamiento de 0,25 mm/min [28].

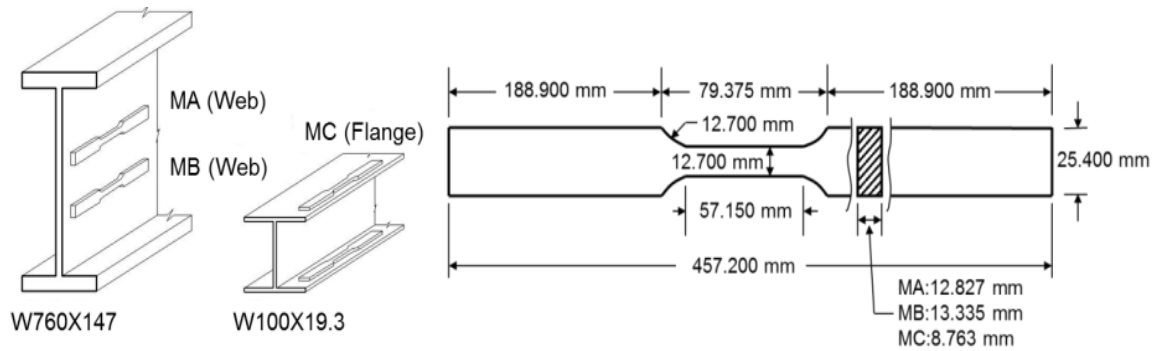


Figura 1.14. Muestra de probetas en las distintas secciones [28].

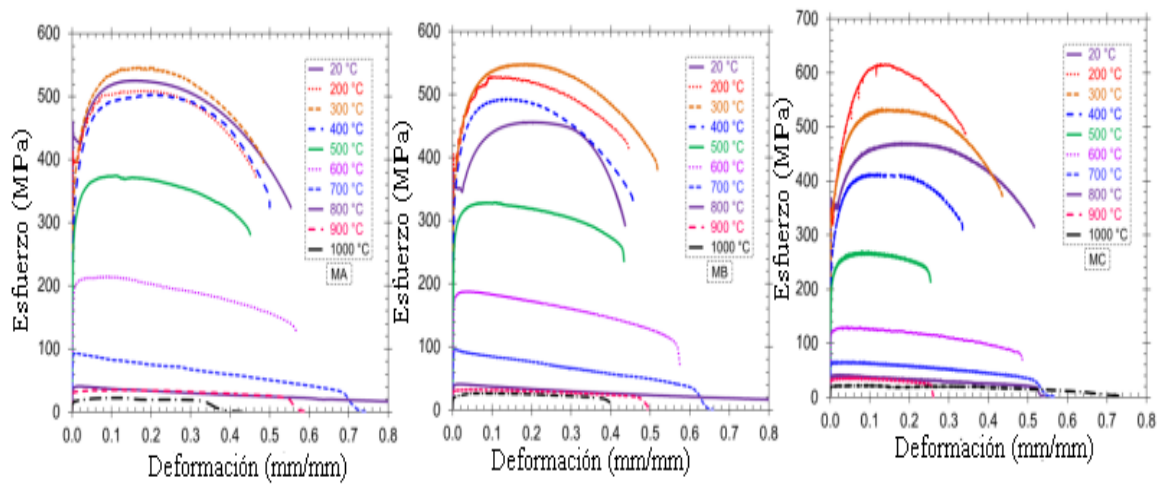


Figura 1.15. Curvas esfuerzo deformación ingenieril del acero ASTM A992 [28].

Se propone un modelo verdadero de esfuerzo-deformación para acero ASTM A992 a temperaturas elevadas para la simulación de fracturas de acero. Este modelo se ilustra en la Tabla 1.1. Todos estos parámetros dependen de la temperatura [28].

Tabla 1.1. Modelo propuesto para el comportamiento esfuerzo-deformación verdadero [28].

Rango de tensión	Esfuerzo verdadero	
$\varepsilon_t \leq \varepsilon_{ty}$	$E_t \varepsilon_t$	Elástico
$0.002 \leq \varepsilon_t < 0.02 (20^\circ C)$ $0.002 \leq \varepsilon_t < 0.01 (200^\circ C)$	$E_t \varepsilon_{ty}$	Límite elástico
$\varepsilon_{tsh} \leq \varepsilon_t \leq \varepsilon_{t-neck}$	$K \varepsilon_t^2$	Endurecimiento por deformación
$\varepsilon_{t-neck} \leq \varepsilon_t \leq \varepsilon_{tu}$	$(\varepsilon_t - \varepsilon_{t-neck})s + K\varepsilon_{t-neck}^n$	Después de la estricción

Tabla 1.1. Modelo propuesto para el comportamiento esfuerzo-deformación verdadero (continuación) [28].

$\varepsilon_{t-neck} \leq \varepsilon_t \leq \varepsilon_{tu}$	$(\varepsilon_u - \varepsilon_{t-neck})S + K\varepsilon_{t-neck}^n$	
Definición de términos	E_t : módulo elástico	
	ε_{ty} : deformación real en el límite proporcional	
	ε_{tsh} : deformación verdadera al inicio del endurecimiento por deformación	
	ε_{t-neck} : Deformación verdadera en el inicio del estrangulamiento	
	ε_{tu} : Deformación real en la tensión máxima	
	S: Pendiente de la primera parte lineal de la curva tensión-deformación verdadera después del inicio de la estricción	

Tabla 1.2. Parámetros para el comportamiento esfuerzo-deformación verdadera [28].

Temperatura (°C)	Elástico		Endurecimiento por deformación				Después de la estricción	
	ε_{ty} (%)	E (GPa)	ε_{tsh} (%)	K (MPa)	n	ε_{t-neck} (%)	S (MPa)	ε_{tu} (%)
20	0.20	200	2.00	761	0.15	16	414	50
200	0.20	180	1.00	761	0.15	13	414	42
600	0.11	62	0.11	221	0.05	5	138	54
800	0.08	18	0.08	46	0.02	2	14	97
900	0.07	13	0.07	44	0.05	5	14	45
1000	0.03	9	0.03	32	0.09	9	7	52

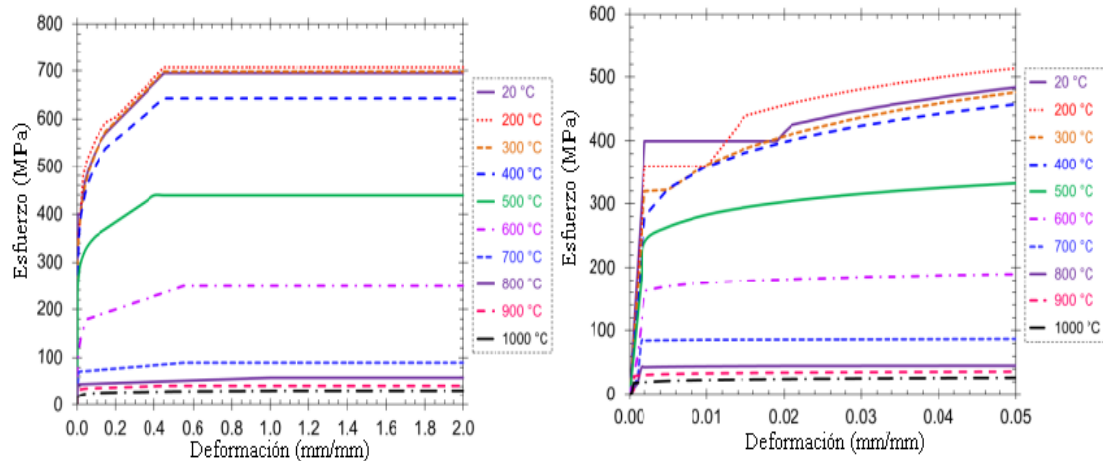


Figura 1.16. Curvas esfuerzo-deformación verdadera para el acero ASTM A992: (a) Temperatura ambiente y elevadas (b) Temperatura ambiente y elevadas a una deformación del 5% [28].

En la Figura 1.16 se representan las curvas esfuerzo-deformación reales obtenidas tanto a temperatura ambiente como a temperaturas elevadas. Como se muestra en la Figura 1.16(a), las curvas de tensión-deformación real se extienden a deformaciones muy grandes, sin embargo, terminan arbitrariamente en la deformación verdadera de aproximadamente el 200%. La parte inicial de las curvas tensión-deformación reales hasta el 5% de deformación se representan en la Figura 1.16(b) mostrando la capacidad del modelo propuesto para considerar el efecto de la temperatura sobre la rigidez, la resistencia y la forma fundamental de las curvas tensión-deformación del acero ASTM A992 cuando se expone al calor [28].

1.3.13 Especificación Norteamericana AISI S100-16

La Especificación Norteamericana AISI S100-16 proporciona procedimientos definidos para el diseño de elementos conformados en frío a partir de láminas, barras, placas o flejes de acero al carbono o de baja aleación con espesores inferiores a 25.4 mm (1 in) que soportan cargas en edificios, así como otras aplicaciones, siempre que se tenga en cuenta los efectos dinámicos [18].

1.3.14 Métodos de cortes de acero

Entre sus diferentes métodos de corte siempre se evalúa la calidad del corte, la velocidad de producción, la tolerancia y rugosidad superficial como se muestra en la Tabla 1.3. Siendo los puntos fundamentales a considerarse para realizar este proceso. A continuación, se menciona los métodos más destacados y utilizados en las industrias [29].

Tabla 1.3. Rugosidad superficial de los distintos cortes [29].

Rugosidad superficial			
Tipos de cortes	Rugosidad (µm)	Clase de rugosidad	Calidad de la superficie
Corte por oxígeno	5.4	N9	Media
Corte por plasma	1.6	N7	Buena
Corte por láser	10	N10	Media
Corte por chorro de agua	0.8	N6	Muy Buena
Corte en cierra cinta	25	N11	Regular

Corte con oxígeno:

El proceso de corte con oxígeno se utiliza ampliamente en la industria como en el proceso de corte térmico podría cortar placas de acero de espesores de 0,5 a 2.500 mm. Puede utilizarse de forma manual o mecanizada. Sin embargo, en comparación con otros métodos de corte de acero, la mayor parte de la energía producida durante el proceso de corte con oxígeno provino de la combustión de metal, en lugar de fusión del metal o evaporación del metal [30].

Corte por plasma

El corte por plasma es básicamente un proceso que se utiliza para cortar generalmente acero y en ocasiones otros metales de diferentes espesores, consiste en fundir el metal y luego eliminar el metal cortado de la ranura. Está hecho mediante un arco de plasma concentrado, que tiene una gran energía cinética. De hecho, el corte por plasma utiliza una alta temperatura que prevalece en el arco de plasma central y la corriente de plasma de alta velocidad. El arco eléctrico se forma entre el electrodo de tungsteno y el objeto cortado. El corte por plasma con gas más utilizado es el aire y también en dispositivos de alta potencia se utilizan argón, nitrógeno, hidrógeno, dióxido de carbono. Los arcos de plasma son extremadamente calientes y se encuentran en el rango de 25 000 °C. Debido al filo de plasma de alta temperatura de una influencia destructiva en la confluencia. Este método nosotros normalmente se puede cortar desde 50 mm hasta

150 mm de espesor. En la Figura 1.17, se observa el funcionamiento del corte por plasma [29].

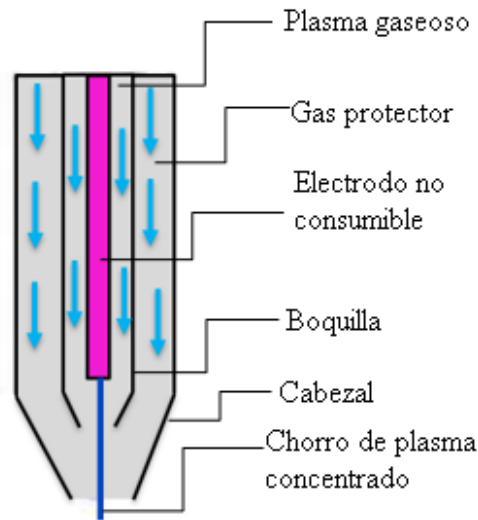


Figura 1.17. Composición de una boquilla de plasma [29].

Corte por láser

El corte por láser es una tecnología que permite cortar diversos materiales utilizando la introducción de gas energético y técnico de alta pureza. La radiación láser es característica, por tanto, prácticamente inalcanzable por otros métodos. Obtiene mucha potencia, pero un área muy estrecha del espectro. La característica principal incluye una radiación constante en el espacio y tiempo, con un haz más polarizado con menor divergencia. Dependiendo del dispositivo de corte se realiza de tres formas: por quemado, por fusión o por sublimación [29].

La creación del rayo láser generalmente implica estimular un material láser mediante descargas eléctricas o lámparas dentro de un recipiente cerrado. El haz es reflejado internamente mediante un espejo parcial, hasta alcanzar la suficiente energía para eludir como una luz monocromática coherente. Generalmente, la parte más estrecha del enfocado tiene menos de 0,32 mm de diámetro. Por supuesto, teniendo en cuenta el espesor del material, el ancho del espacio es tan pequeño como 0,10 mm. En la Figura. 1.18, se observa el funcionamiento del corte por láser [29].

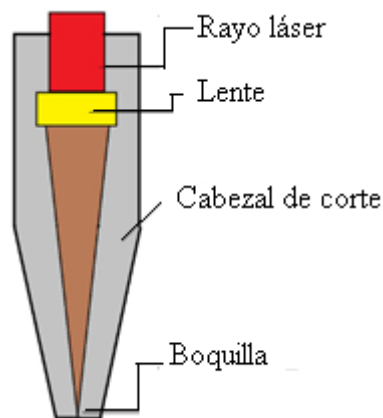


Figura 1.18. El principio de funcionamiento de una boquilla láser [29].

Corte por chorro de agua

Este método consiste en cortar el material mediante el uso de finos chorros de agua a alta presión con lechada abrasiva añadida utilizados para cortar el material objetivo mediante erosión [29].

La técnica que utiliza agua a alta presión para cortar materiales fue patentada por primera vez en 1968 en EE. UU., pero el rápido desarrollo del método comenzó a principios de los años 80. Hoy en día es una tecnología de rápido desarrollo que se utiliza en la industria para procesar una variedad de materiales de ingeniería. Es una tecnología emergente, lo que tiene muchas ventajas sobre otras técnicas de corte no convencionales. A menudo, para mejorar el rendimiento del aditivo de proceso se utiliza en forma de granos abrasivos de granate, lo que permite cortar materiales muy duros. El nombre correcto de esta tecnología es tratamiento hidroabrasivo de corte (chorro de agua abrasivo). La Figura 1.19 muestra el sistema de corte por chorro de agua abrasivo [29].

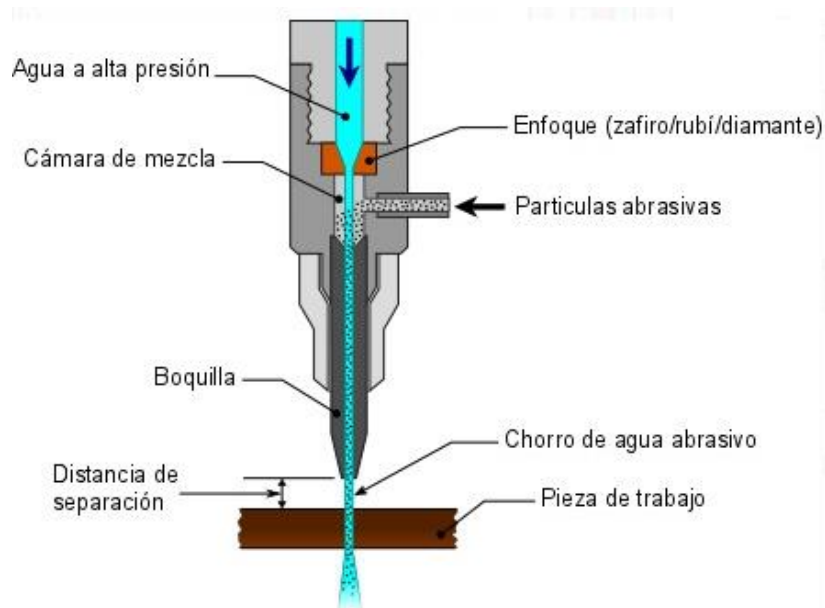


Figura 1.19. Sistema de corte por chorro de agua [29].

Corte en sierra de cinta

El corte mecánico de tubos con sierra de cinta utiliza una tira continua de metal disponible en varias configuraciones de dientes. Está destinado a tuberías de gran tamaño; algunos pueden manejar grandes lotes de producto. Puede cortar tubos de hasta 100 cm de diámetro o 100 cm de lado para tubos cuadrados o rectangulares, incluidos tubos muy gruesos. Ningún otro método de corte de tuberías puede hacer esto con tanta eficacia [31]. En la Figura 1.20, se observa una máquina para el proceso de corte.

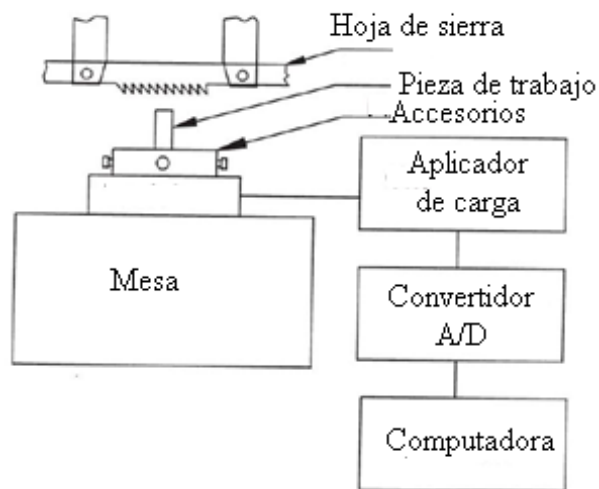


Figura 1.20. Sistema de una máquina de sierra horizontal [31].

1.3.15 Ensayo de Dureza

La dureza de un material se define como la propiedad de una capa superficial para resistir la deformación elástica/plástica o la fractura bajo la acción de tensiones de contactos locales que emanan de otro cuerpo el llamado indentador o penetrador que son más fuertes. En la Figura 1.21 se muestra los indentadores o penetradores, tienen una forma y dimensiones específicas que no sufren una deformación permanente al contacto. Para la mayoría de los metales, la dureza está estrechamente relacionada con la resistencia y describe la resistencia de un material a la deformación plástica permanente de la superficie debido al rayado o la penetración [32], [33].

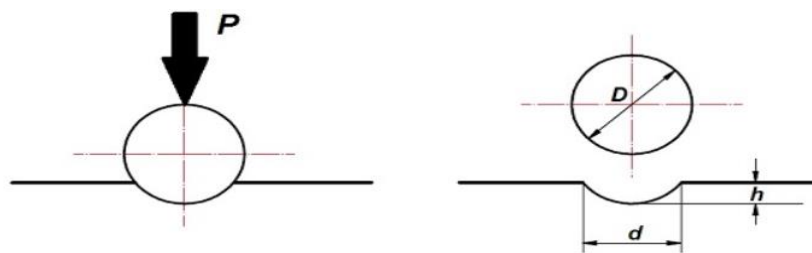


Figura 1.21. Sistema de un indentador sometido bajo carga [5].

Características a considerar en un ensayo de dureza:

- Requerimiento de los estándares.
- Rentabilidad.
- Coste y esfuerzo en preparación de probeta
- Disponibilidad de máquinas y equipos.
- Material y dureza de la probeta.
- Accesibilidad de la probeta.
- Forma, dimensiones y peso.

Clasificación en los ensayos de dureza:

Para el análisis de las durezas en metales se utilizan diferentes ensayos estandarizados especificando el método y proceso para alcanzar una cierta dureza. Los tipos de dureza comúnmente utilizado por los resultados presuroso utilizados para metales y aleaciones se ilustran en la Figura 1.22.

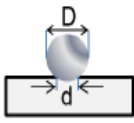
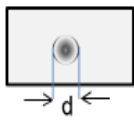
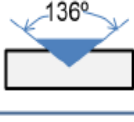
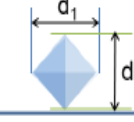
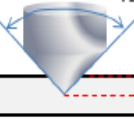
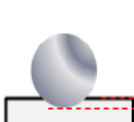
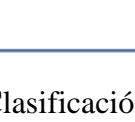
ENSAYOS DE DUREZA	Tipo de penetrador	Forma de la huella		Carga	Fórmula de cálculo
		Corte lateral	Vista Superior		
Brinell	Esfera de WC de 10 mm diámetro			F	$HB = \frac{2 F}{\pi * D_{bola} * [D_{bola} - \sqrt{D_{bola}^2 - d_{huella}^2}]}$ F (Kg); D, d (mm)
Vickers	Pirámide de diamante			F	$HV = \frac{1,854 F}{d^2}$ F (Kg); D, d (mm)
Rockwell					
A C D	Cono de Diamante		No se mide la huella, sino que el aparato mide la penetración t	60 kg 150 kg 100 kg	No hay que calcular nada, la máquina da directamente la medida
B F G	Bola de acero diámetro 1/16"			100 kg 60 kg 150 kg	
E H	Bola de acero diámetro 1/8"			100 kg 60 kg	

Figura 1.22. Clasificación de los tipos de ensayos de dureza [34].

1.3.16 Ensayo de Dureza Brinell

El ensayo de dureza Brinell es uno de los más sencillos. Con frecuencia, es suficiente saber si el material está libre de defectos o lo presenta. Este método es utilizado en materiales metálicos, especialmente en acero. Mide el diámetro de la indentación generado por el dispositivo de indentación de la bola de WC cuando es presionado con un material bajo una carga específica. La huella medida entre la conexión superficie y fuerza es la dureza Brinell.[34]. La dureza se mide mediante la siguiente fórmula empírica que se muestra en la Figura 1.22. El número resultante es la dureza Brinell es adimensional y se expresa mediante el número obtenido seguido de la abreviatura HB (por ejemplo, dureza 150HB).

Los siguientes aspectos geométricos son importantes al realizar estos ensayos, ya que es fundamental garantizar que las marcas (y las áreas alrededor de las marcas que se endurecen debido a la deformación plástica) no interfieran cuando se aplican cargas demasiadas altas. En la Tabla 1.4 se observa las características del ensayo Brinell.

Tabla 1.4. Características para el ensayo de Dureza Brinell [35].

Grosor Probeta [mm]	Diámetro de la bola [mm]	Carga F (kg)			
		$30D^2$	$30D^2$	$30D^2$	$30D^2$
> 6	10	3000	1	500	250
De 6 a 3	5	750	250	125	62.5
< 6	2.5	187.5	62.5	31.5	15.6

Para estimar la resistencia a la tracción y el límite de fluencia se utiliza una correlación directa con la dureza Brinell a través de una variabilidad del 0.87.

A continuación, se establece las ecuaciones para establecer resistencia a la tracción y el límite de fluencia [MPa] en función de la dureza Brinell.

$$Su = 3.45 HB \quad (1)$$

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

1.3.17 Ensayo de Tracción

Los ensayos de tracción Figura 1.23 son utilizados en la ingeniería porque es posible determinar las propiedades mecánicas de un material, es decir, las propiedades de resistencia y ductilidad, al mismo tiempo que sirven como herramienta para verificar el cumplimiento de las normas [35].

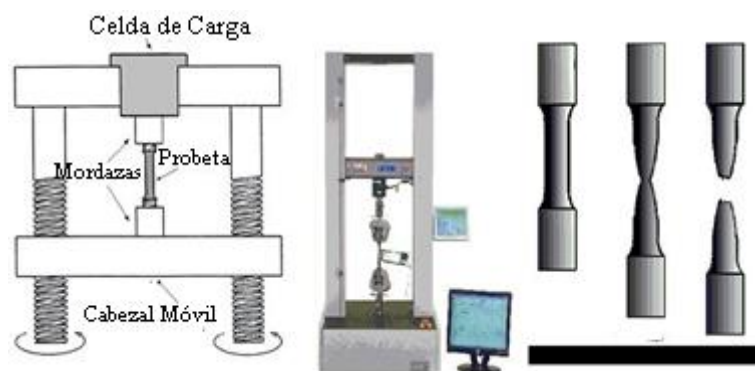


Figura 1.23. Máquina universal para aplicación del ensayo de tracción [36].

1.3.17.1 Propiedades de tensión

El ensayo de tracción es el procedimiento más común para estudiar la relación esfuerzo-deformación, particularmente para metales [33]. En este ensayo se aplica una

fuerza que tira del material, obtenido alargamiento y reducción de diámetro, como se muestra en la Figura 1.24 (a).

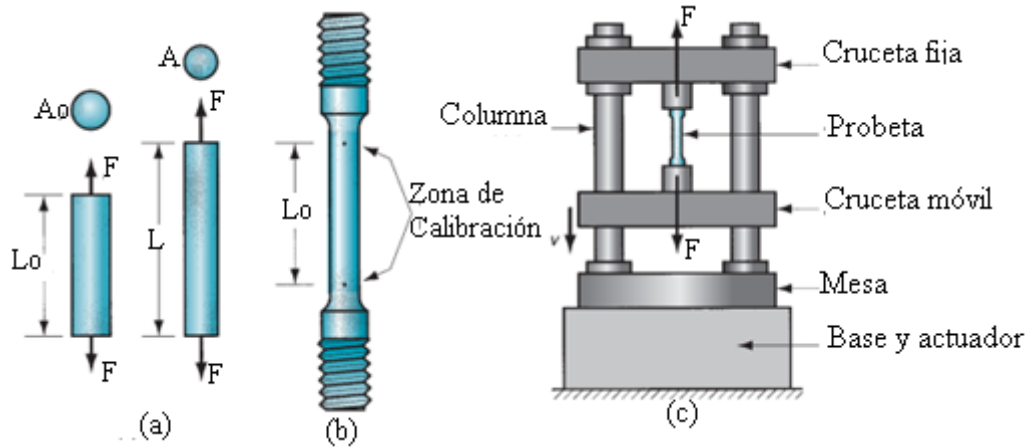


Figura 1.24. (a) Fuerza de tracción inicial aplicada en (1) y (2) alargamiento resultante en la probeta; (b) muestra representativa del ensayo; (c) Estructura del ensayo de tracción [33].

1.3.17.2 Comportamiento del diagrama Esfuerzo-Deformación

Mediante el diagrama esfuerzo-deformación se define el comportamiento de un material bajo una carga de tracción, torsión o compresión, proporcionando información de la rigidez, ductilidad, resistencia y límite de falla del material. Se puede construir una curva de esfuerzo-deformación a partir de evaluaciones realizadas en cualquier prueba mecánica aplicando una carga a un material realizando mediciones continuas de tensión y deformación al mismo tiempo [36].

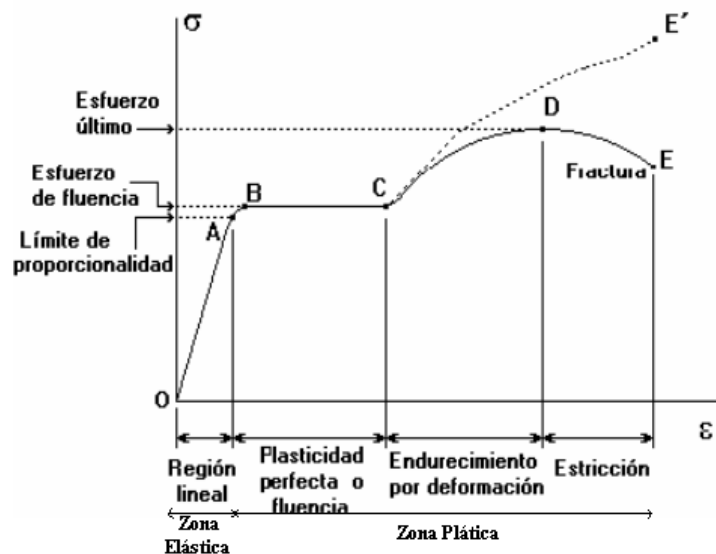


Figura 1.25. Curva esfuerzo-deformación para un acero dúctil [36].

La tensión está definida por la siguiente relación:

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

Donde:

σ : Tensión [Mpa ; Psi]

F: Carga instantánea aplicada en la probeta [N ; lbf]

A_0 : Área original antes de aplicarse una carga [mm² ; pulg²]

La deformación nominal está dada por:

$$\epsilon = \frac{l_i - l_o}{l_o} = \frac{\Delta l}{l_o} \quad (4)$$

Donde:

ϵ : Deformacion nominal

l_o : Longitud original sin ser sometido a ninguna carga [mm ; pulg]

l_i : Longitud instantánea [mm ; pulg]

Comportamiento de la zona elástica

Si el material vuelve a sus dimensiones originales cuando se retira la fuerza, se considera que el metal ha sufrido una deformación elástica [34]. La mayoría de los materiales tienen un comportamiento linealmente elásticamente con cargas bajas, como se muestra en la Figura 1.26. Cuando el material tiene un alargamiento es directamente proporcional a la carga aplicada dentro de la zona elástica. Este fenómeno es conocido como la ley de Hooke [34].

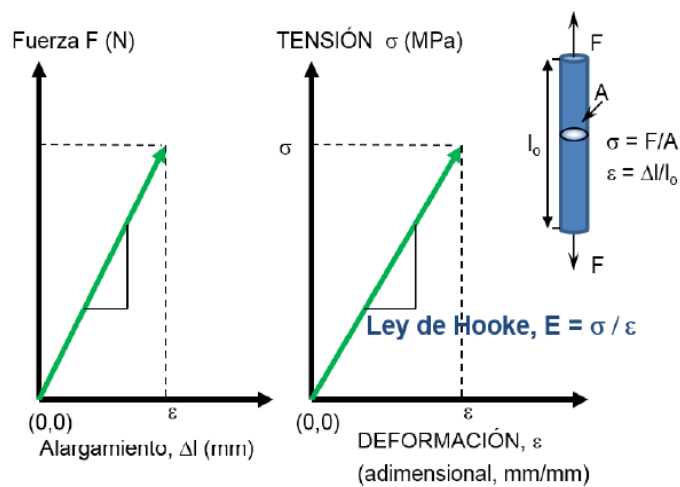


Figura 1.26. Zona elástica y Ley de Hooke [34]

La ley de Hooke representa una relación entre deformaciones y tensiones producidas de forma lineal. Esta pendiente, esfuerzo/deformación se conoce como módulo de Young o módulo de elasticidad, E. Para metales la deformación elástica es usualmente inferior a un 0.5%

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad (5)$$

Donde:

E = Módulo de elasticidad [Mpa ; Psi].

σ = Tensión [Mpa ; Psi]

ε = Deformación elástica.

Límite Elástico

Es el esfuerzo en el cual un material comienza a experimentar una deformación plástica. Se denomina también esfuerzo de cedencia dado que no hay un punto claro en la gráfica esfuerzo- deformación que marque el final de la deformación elástica y el inicio de la deformación plástica, se elige el límite elástico cuando se alcanza un 0.2% de la deformación tal como se muestra en la Figura 1.27 [36].

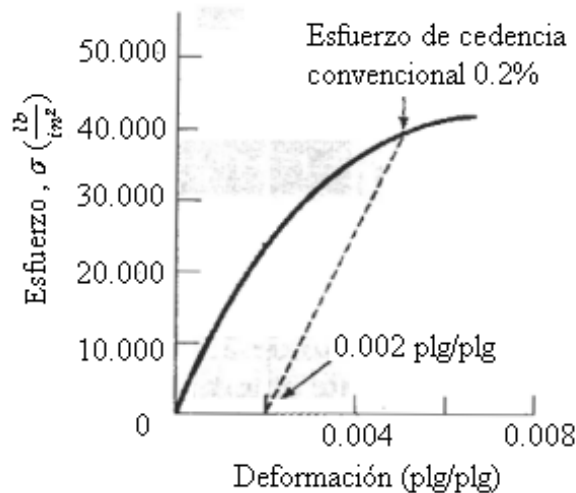


Figura 1.27. Determinación del límite elástico en el diagrama esfuerzo- deformación [36].

Comportamiento de la zona plástica o irreversible

El comportamiento en esta zona se da cuando el material rebasa su límite elástico y experimenta cambios permanentes en su forma o estructura debido a la deformación. [34].

Cuando un material es sometido a cargas que exceden su límite elástico, el material ingresa a la región plástica de su comportamiento, donde la deformación ya no es posible revertirse por completo. Ocasionando cambios en su forma conocidos como deformación plástica, provocados por múltiples factores como es la reorganización de la estructura cristalina, la generación y desplazamientos de defectos como las dislocaciones [34].

Fluencia o cedencia

Esto ocurre cuando las impurezas o los elementos de aleación detienen las dislocaciones de la red cristalina evitando su deslizamiento, siendo un mecanismo del material para deformarse plásticamente. Al alcanzar el límite de fluencia del material, liberan dislocaciones produciendo deformaciones bruscas. En esta zona las deformaciones se distribuyen uniformemente por todo el material, pero son contraídos en lugares donde se han liberado las dislocaciones [36].

Endurecimiento por deformación

Se da después de que el material experimente una deformación por tensión constante, en cierto punto se debe incrementar el esfuerzo para apartarlo de la zona de cedencia. Con el aumento del esfuerzo el material experimenta una la deformación y el endurecimiento, es decir su dureza se incrementa hasta llegar al punto máximo de esfuerzo [36].

Estricción

Las deformaciones se concentran principalmente en la parte central del material, apreciando una notoria reducción de la sección, momento a partir que las deformaciones continuarán acumulándose hasta la rotura del material por ese punto [36].

Existen dos tipos de curvas esfuerzo-deformación: esfuerzo-deformación ingenieril y esfuerzo-deformación real o verdadera. El primero es más importante para el diseño y el segundo es más importante en la fabricación.

1.3.18 Curva esfuerzo- deformación ingenieril

Los resultados obtenidos de una sola probeta son aplicables para todos los tamaños y secciones transversales dado si se convierte la distancia entre las marcas calibradas en deformación y la fuerza en esfuerzo. Al utilizar la fuerza y el desplazamiento, los resultados dependerán de la geometría de la probeta (por ejemplo, las probetas de mayor tamaño requieren fuerzas superiores y sufren elongaciones más elevados que las probetas del mismo material con menor sección transversal). Los resultados de la tensión y esfuerzo son los mismos siempre y cuando sean del mismo material sin importar el tamaño de la probeta [37].

En la Figura 1.28, se muestra la curva esfuerzo-deformación típica ingenieril de un ensayo de tracción de una probeta metálica [33]. El esfuerzo ingenieril en cualquier punto de la curva está definido como la fuerza dividida para el área original.

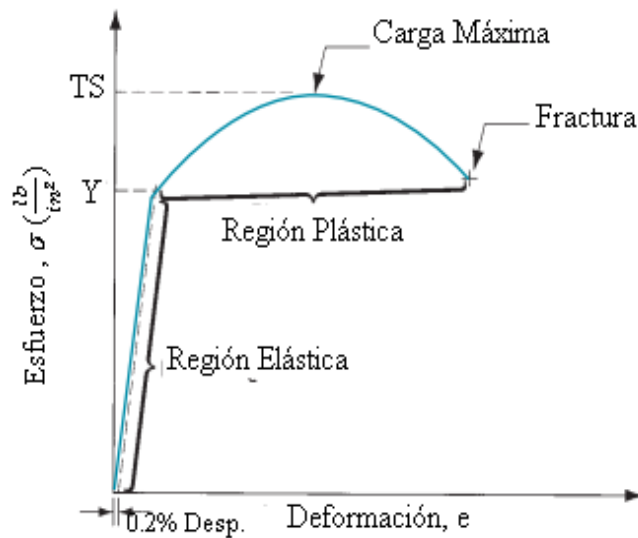


Figura 1.28. Curva esfuerzo-deformación ingenieril de un metal en un ensayo de tracción [33].

El esfuerzo ingenieril y la deformación ingenieril está definido por las siguientes ecuaciones:

$$\text{Esfuerzo ingenieril} = \sigma_e = \frac{F}{A_0} \quad (6)$$

$$\text{Deformacon ingenieril} = \epsilon_e = \frac{\Delta l}{l_0} \quad (7)$$

Donde:

A_0 : Área de la sección transversal original.

l_0 : Longitud de calibración

Δl : Cambio de longitud después de aplicarse la fuerza.

La relación esfuerzo-deformación mostrada en la Figura 1.28 tiene dos regiones, mostrando dos formas distintas de comportamiento del material: elástica y plástica. En la región elástica, tiene una relación lineal exhibiendo un comportamiento elástico al regresar a su longitud inicial al ser liberado la carga (tensión). Esta relación está definida por la ley de Hooke (ver ecuación 5).

Al aumentar la tensión, se alcanza un punto en la relación lineal en el que el material empieza a ceder siendo el límite elástico. Se puede notar en la Figura 1.28 por el cambio de pendiente al llegar a la región lineal. El límite elástico generalmente está definido como la tensión a la que se produce una deformación desplazada del 0,2% de la línea recta específicamente.

Unidades

Las unidades comunes para medir el esfuerzo son Megapascuales (MPa) y libras por pulgada cuadrada (psi). En la deformación sus unidades son milímetro/milímetro, metro/metro, pulgada/pulgada, por lo tanto, la deformación se escribe como adimensional.

1.3.19 Curva esfuerzo- deformación real o verdadero

Esta curva representa la relación entre la fuerza aplicada y la deformación de un material cuando se somete a pruebas de tracción. Se utiliza el área original A_0 , pero ésta no es precisa a casusa del cambio de área de manera continua [37]. El esfuerzo real y la deformación real está definida por las siguientes ecuaciones:

$$\text{Esfuerzo verdadero} = \sigma_t = \frac{F}{A} \quad (8)$$

$$\text{Deformacon Verdadera} = \varepsilon_t = \int_{l_0}^l \frac{dl}{l} = \ln\left(\frac{l}{l_0}\right) \quad (9)$$

Donde:

A : Área instantánea de la probeta.

l : Longitud instantánea de la probeta.

l_0 : Longitud inicial.

Para los metales, la deformación plástica implica un proceso a volumen constante (es decir, la creación y prolongación de dislocaciones resulta en un cambio de volumen despreciable del material) [37]. Se puede escribir como:

$$A_0 l_0 = A l \text{ o } A = \frac{A_0 l_0}{l} \quad (10)$$

Añadiendo las definiciones de esfuerzo y deformaciones ingenieril se puede expresar de la siguiente manera.

$$\sigma_t = \frac{F}{A} = \frac{F}{A_0} \left(\frac{l}{l_0} \right) = \sigma_e \left(\frac{l_0 + \Delta l}{l_0} \right) = \sigma_e (1 + \varepsilon) \quad (11)$$

Demostrando como:

$$\varepsilon_t = \ln(1 + \varepsilon_e) \quad (12)$$

Siendo factible convertir los sistemas de esfuerzo-deformación ingenieriles a esfuerzo-deformación verdaderos. Las expresiones descritas en las ecuaciones (7) y (8) no son aceptables después de que comienza la estricción, dado que después de este punto, la distribución de la deformación en la longitud calibrada no es uniforme. Posterior a empezar la estricción, se debe utilizar la ecuación (4) para calcular el esfuerzo verdadero y para la deformación verdadera de debe utilizar la siguiente ecuación:

$$\varepsilon_t = \ln \left(\frac{A_0}{A} \right) \quad (13)$$

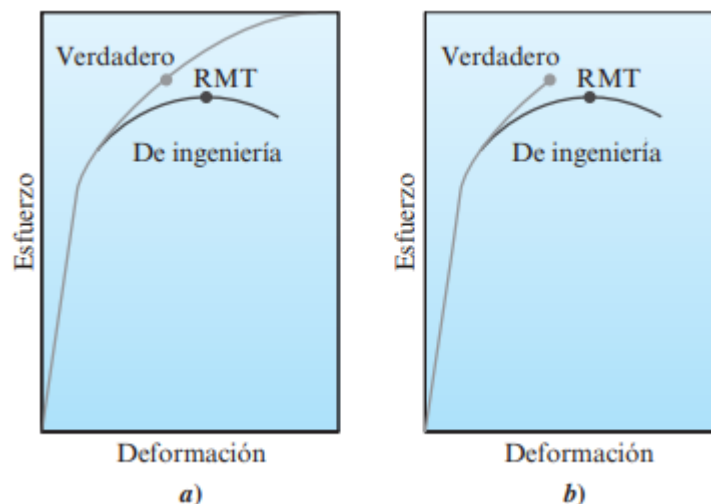


Figura 1.29. Relación entre el diagrama esfuerzo verdadero-deformación verdadera y el diagrama de esfuerzo –deformación ingenieril [37].

Como se muestra en la figura 1.29 las dos curvas (ingenieril-real) son idénticas hasta el punto de fluencia. Habitualmente, las curvas de esfuerzo-deformación reales o

verdaderas deben truncarse en la resistencia máxima a la tensión, Puesto que se desconoce el área de esa sección transversal del cuello formado como muestra la Figura 1.29(b).

1.3.20 Modelo de la curva esfuerzo deformación real o verdadera para aceros

El esfuerzo se obtiene utilizando el área de la sección transversal original de la probeta y la deformación de la longitud de calibración original. Por el uso de las dimensiones originales en los cálculos de esfuerzo-deformación ingenieriles, estas relaciones siempre mostrarán un rango elástico, un rango de endurecimiento por deformación y un rango de reblandecimiento por deformación. A medida que aumenta la carga la probeta comienza a fallar, el área de esta sección transversal en el lugar de fallo se reduce drásticamente, lo que se conoce como "estricción o cuello" de la sección [15]. Al formarse el cuello en la sección calibrada la distribución de tensiones y deformaciones se vuelve compleja y resulta difícil establecer la cantidad de dichas magnitudes. A causa de la presencia no uniforme en la distribución de esfuerzo-deformación en el cuello, es necesario considerar los cambios en las dimensiones geométricas de la probeta para obtener la respuesta del material durante todo el proceso de deformación hasta la fractura. La relación esfuerzo-deformación real se basa en las dimensiones geométricas instantáneas de la probeta de ensayo. La Figura 1.30 muestra la relación esfuerzo-deformación de ingeniería y las relaciones esfuerzo-deformación real para aceros estructurales [15].

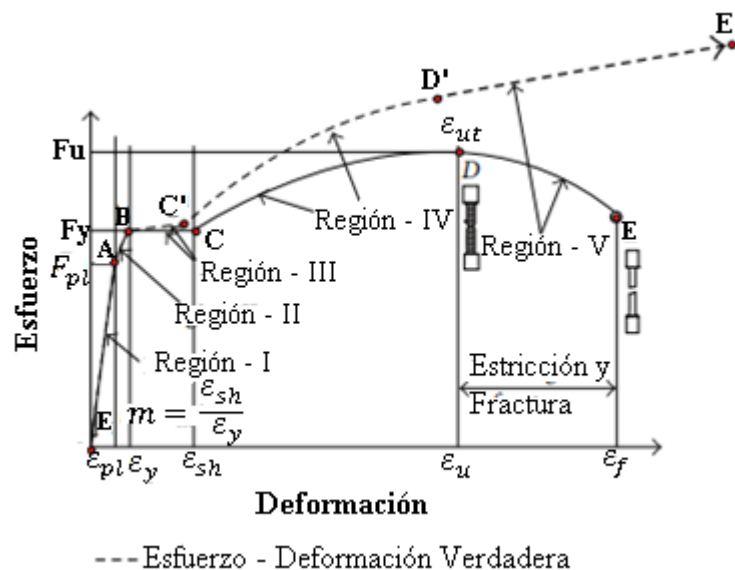


Figura. 1.30. Diagrama Esfuerzo- deformación Ingenieril y Real o verdadera [15].

Región I: El esfuerzo y deformación real o verdadera, que reconocen la geometría deformada de la sección durante el ensayo, se pueden establecer directamente a partir de del esfuerzo y deformación ingenieril basado en el concepto de tensión uniforme, siendo un pequeño cambio dimensional y material incompresible, válido para acero [15]. Estas relaciones resultantes son

$$\sigma_t = \sigma_e(1 + \varepsilon_e) \quad (14)$$

$$\varepsilon_t = \ln(1 + \varepsilon_e) \quad (15)$$

La diferencia entre la tensión ingenieril y verdadera en el límite proporcional puede ser aproximadamente del 0,2%; por tanto, la diferencia es insignificante en esta región [15].

Región II: Esta región se presenta entre el límite proporcional y el límite elástico (F_y). El límite elástico puede establecerse mediante el método de compensación de deformación del 0.2% [15]. Sin embargo, siguiendo este modelo tenemos:

$$\sigma_t = \sigma_e(1 + \varepsilon_e) \quad (16)$$

$$\varepsilon_t = \ln(1 + \varepsilon_e) \quad (17)$$

Región III: El esfuerzo ingenieril para esta región se puede asumir como un valor constante de F_y , que es válido desde el límite elástico hasta el inicio del endurecimiento por deformación [15]. El esfuerzo-deformación verdadero se expresa como:

$$\sigma_t = F_y(1 + \varepsilon_e) \quad (18)$$

$$\varepsilon_t = \ln(1 + \varepsilon_e) \quad (19)$$

Región IV: Esta región incluye desde la zona de endurecimiento por deformación hasta la resistencia máxima, cuando la probeta comienza a presentar estricción o cuello. Esta región involucra una relación esfuerzo-deformación no lineal se puede obtener la curva esfuerzo-deformación verdadera de la siguiente manera:

$$\sigma_t = \sigma_e(1 + \varepsilon_e) \quad (20)$$

$$\varepsilon_t = \ln(1 + \varepsilon_e) \quad (21)$$

Región V: Esta región representa el comportamiento del material en la región de ablandamiento por deformación, esto se debe al uso del área de la sección transversal original. Las relaciones verdaderas del esfuerzo-deformación no se puede establecer en esta región a partir de valores de la curva esfuerzo-deformación ingenieril; Para esta región es recomendable establecer una combinación de técnicas de modelado

experimental y numérico para un análisis de prueba y error para hacer coincidir los resultados numéricos de elementos finitos con los experimentales [15].

1.3.21 Ensayo de micrografía

El examen micrográfico Figura 1.31 es una técnica más avanzada que la micrografía basado en realzar la superficie con instrumentos ópticos (microscopios) utilizados para observar estructuras microscópicas (microestructura) de metales. Este tipo de investigación permite evaluar o controlar un proceso de calor aplicado a un metal mostrando su estructura o cambios estructurales que ocurren dentro el proceso [38].

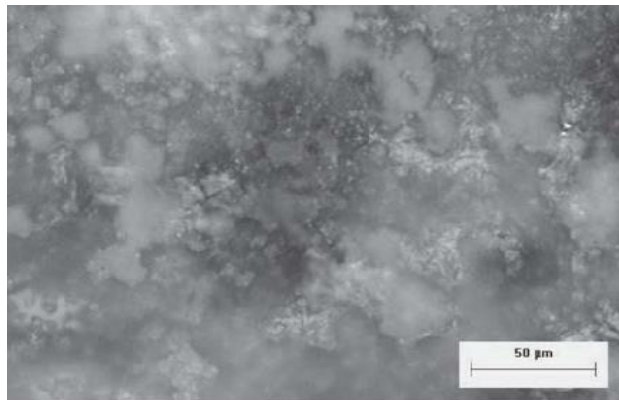


Figura 1.31. Técnica avanzada de micrografía de aceros conformados en frío [7].

Microestructuras típicas de rolado en frío.

Las deformaciones plásticas en los metales comúnmente se clasifican como efecto del trabajo en frío (no se produce recristalización) o trabajo en calor (la recristalización se produce de forma espontánea y simultánea a la deformación). En el proceso de conformado se forma una microestructura fibrosa a través del alargamiento de los granos.

Probetas metalográficas

Las probetas para el análisis metalográficos se debe preparar correctamente, a causa de un pretratamiento defectuoso puede causar defectos o estructuras que no tienen relación con la estructura real del acero, siendo uno de los factores más importantes que afectan el método de producción, en virtud que una sola partícula puede dañar la superficie de análisis [39].

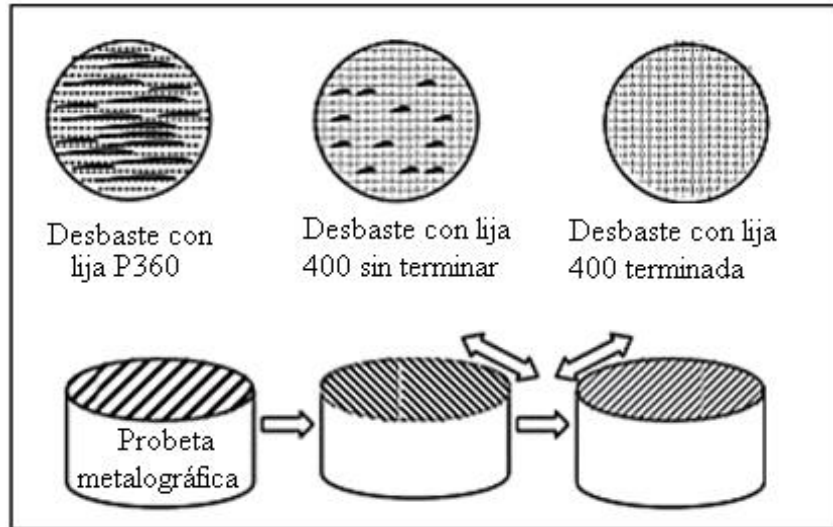


Figura 1.32. Sentido de desbaste del cambio de abrasivo [39].

Ataque químico de las muestras metalográficas

El ataque químico en muestras metalográficas facilita la revelación microestructural de la superficie del espejo. Este ataque revela el tamaño del grano, la segregación y la secuencia de fases.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Obtener un modelo de material para perfiles conformado en frío de sección transversal UV de acero A36, para espesores de 10 mm y 12 mm.

1.4.2 Objetivo específico

- Producir probetas necesarias para analizar las distintas secciones que conforman el perfil UV a través de ensayos de tracción.
- Realizar ensayos de dureza del material conformado en frío para determinar la dureza en las probetas del perfil de 10 mm y 12 mm.
- Obtener micrografías en la sección transversal para cuantificar la deformación de los granos en el material del proceso de conformado en frío.

1.5 Hipótesis

Las propiedades mecánicas (Esfuerzo de Fluencia, Esfuerzo Máximo, Módulo de elasticidad y Dureza) se ven alteradas por el proceso de conformado en frío

- **Variable dependiente:**
Propiedades mecánicas
- **Variable independiente:**
Deformación por el proceso de conformado en frío

CAPÍTULO II

METODOLOGÍA

2.1 Descripción del material

El acero ASTM A36 es un material ampliamente utilizado en aplicaciones estructurales debido a su alta resistencia y versatilidad. Es un acero de bajo carbono que presenta una composición química equilibrada, con una concentración máxima de carbono del 0,25%. Sus propiedades mecánicas incluyen una resistencia a la tracción de alrededor de 400 MPa y una ductilidad adecuada para aplicaciones de conformado en frío. Además, posee una buena soldabilidad y utilidad, lo que lo hace apropiado para diversas construcciones, como vigas, columnas y placas [40].

En esta investigación, el acero ASTM A36 se utilizó para la fabricación de probetas para analizar las secciones de los perfiles conformados en frío con sección transversal UV, con espesores de 10 mm y 12 mm.

Tabla 2.1. Propiedades físicas y mecánicas del acero ASTM A36 [40].

Propiedades Químicas [%]				
Carbono [C]	Manganeso [Mn]	Silicio [Si]	Fósforo [P]	Azufre [S]
0.25-0.29	0.6-1.2	0.15-0.4	0.04	0.05
Límite de fluencia [MPa]	Resistencia última a la tracción [MPa]	Elongación mínima en 50 [mm]	Módulo de elasticidad [GPa]	Coefficiente de Poisson.
250	500	23	200	0.297

La elección de este material se debe a su disponibilidad en el mercado y su eficacia en aplicaciones estructurales. Los ensayos de tracción, dureza y micrografías en las probetas de acero A36 permitieron obtener datos esenciales para la elaboración de un modelo de material que describe adecuadamente el comportamiento mecánico del perfil conformado en frío.

2.2 Especificaciones de equipos

Especificaciones el equipo para el conformado del perfil

Tabla 2.2. Especificación de la prensa plegadora

	
Marca	DURMAZLAR
Modelo	DURMA
Tipo	E 60300
Año de fabricación	2010
Número de serie	7555105237-E
Capacidad (Longitud máxima del material que puede ser doblado – toneladas)	6050x300 TON
Carrera	245 mm
Capacidad de lubricante	150lt – 39.62 gal- 0.15 m ³
Peso del punzón	109 kg
Peso de la matriz	625 kg
Ancho	2960 mm
Largo	7250 mm
Alto	2900 mm
Peso	29500 kg

Especificaciones el equipo para el corte de probetas

Tabla 2.3. Especificación de máquina chorro de agua CNC

	
Modelo	Mach 2 2031b
Descripción	Chorro de agua CNC
Ancho de la mesa	167.64 mm
Longitud de la mesa	254 mm
Sistema Control	Basado en PC de flujo
Potencia de la Bomba	29.59 HP
Presión máxima de corte	60.000 Psi
Requisitos de energía requerida	480/3/60 480: Voltaje de alimentación principal 3: Suministro trifásico 60: Frecuencia de la corriente eléctrica suministrada
Velocidad máxima del equipo	10m /min
Precisión de Posicionamiento Lineal	$\pm 0.13 \text{ mm/m}$
Sistema de control para el funcionamiento de la bomba, cabezal de corte, movimiento XY, material, espesor, acabados.	FlowCut™
Distancia del Eje Z	203 milímetros
Tipo de Bomba	HyPlex Prime
Abrasivo	Arena de Granate


Especificaciones el equipo para el ensayo de Tracción

Tabla 2.4. Especificación de la máquina universal de tracción.

	
Equipo	Máquina Universal WAW600B
Marca	Jinan Liangong Testing Technology CO., LTD
Serie	7136
Fuente de alimentación	AC380V
Carga máxima	500KN
Rango de medición	10~500KN
Resolución del Min. (Menor cantidad de fuerza que el equipo puede detectar)	0.01 KN
Espacio para el ensayo de tracción Max.	$\geq 700\text{mm}$
Espesor de la muestra plana	0-15 mm
Distancia del Recorrido del pistón	250 mm
Distancia entre columnas para Tracción y compresión	$\geq 565\text{ mm}$
Distancia para la Prueba de flexión pulsa Rolling	100 – 600 mm
Velocidad de elevación Max	$\geq 70\text{mm/min}$
Dimensiones (LxWxH)	800x600x2240
Peso	$\approx 2.500\text{ kg}$
Ruido	$\leq 75\text{ dB}$


Especificación del equipo para el ensayo de Dureza

Tabla 2.5. Especificación del durómetro

	
Marca	Laizhou Lyric Tensting Equipment Co. Ltd
Modelo	HBRV 187.5D
Número de serie	20181010004
Óptica	Aumento del ocular 15X
Carga Rockwell	60 kgf, 31.25 kgf, 62.5 kgf
Tiempo de permanencia	0-60 seg (incrementos de 5 seg)
Control de carga	Automático
Peso	120 kg/90 kg
Componentes	<ul style="list-style-type: none"> -Juego de pesas -Yunque plano grande, pequeño y en V. -Penetrador de cono diamante 120°, piramidal y de bola de carburo metálico -Bloque de calibración Brinell, Rockwell y Vickers -Microscopio

Especificación del equipo para el análisis metalográfico

Tabla 2.6. Especificación Microscopio invertido

	
Marca	RADICAL
Modelo	RMM-3
Método de observación	Sistema óptico infinito, color corregido
Iluminación	Iluminador Koler con diafragma de iris -Amplio voltaje 90-240V - Bombilla alógena de 12V/50W
Cabezales de visualización	Cabeza trinocular ergonómica Siedentopf con inclinación de 45°, distancia interpupilar ajustable entre: 54-75 mm, ajuste de dioptrías ± 5 , tasa de refracción: binocular 100%, binocular: trinocular = 8%:20%
Objetivos	LWD plan infinito plan cromático semi APO.
Ocular	WF 10X con FOV 22/25 mm
Platina Mecánica	platina mecánica de doble capa 160×250 mm, rango móvil 50×50 mm
Enfoque	sensibilidad con 0,01 mm por revolución
Aumento	50X-1000X






2.3 Descripción de equipos y herramientas

En la Tabla 2.7 detalla la descripción de cada equipo y herramienta, acompañado de una imagen de referencia. Cada uno de estos componentes desempeñan un papel crucial en la obtención de los resultados de cada ensayo.

Tabla 2.7. Equipos y herramientas utilizados en la investigación.

Equipos y herramientas		
Equipos y herramientas	Descripción	Imagen de referencia
Flexómetro	Es un instrumento de medida de superficies o elementos tangibles.	
Calibrador pie de rey	Utilizada para medir piezas o elementos pequeños con precisión con una escala de hasta un milímetro.	
Amoladora	Es una herramienta para realizar corte, pulido y desbaste.	
Sierra de corte de metales	Es una herramienta que se utiliza para realizar cortes precisos de metales, hierro o acero porque posible ajustar al tamaño de corte.	
Equipo para preparación de muestras metalográficas	Utilizadas para el desbaste en la preparación de muestras.	
Bancos de lija	Estos elementos tienen como función eliminar picos o rugosidades de una superficie mediante un roce continuo.	

Tabla 2.7. Equipos y herramientas utilizados en la investigación (Continuación).

Banco de pulido	Este equipo tiene como finalidad eliminar pequeñas discontinuidades en la superficie que se va a trabajar.	
Secador de Laboratorio	Este equipo como propósito de quitar sustancias liquidas mediante la aplicación de temperatura.	
Cámara o sistema de captura de imágenes	Este equipo nos permitirá capturar imágenes como evidencia para el informe.	
Computador para el procesamiento de la información	Esta herramienta tiene el propósito de llevar un registro de toda la información y almacenar documentos.	
Marcador de aceros	Marcador de secado rápido para surcar en placas de acero.	

2.4 Métodos

2.4.1 Exploratorio

El método de investigación exploratorio es un enfoque de investigación que se utiliza para abordar temas o problemas poco conocidos o estudiados, como el de la investigación en mención. Su objetivo principal es explorar y obtener una comprensión más profunda sobre el modelo de material para perfiles conformado en frío de sección transversal UV de acero ASTM A36, sin la intención de probar hipótesis o establecer relaciones causales con esto se busca generar ideas, identificar patrones y descubrir tendencias en el campo de estudio determinado [41]

2.4.2 Descriptivo

El método de investigación descriptivo tiene como objetivo principal describir y presentar de manera objetiva y detallada las características, propiedades, fenómenos o situaciones de un tema o grupo en particular. A diferencia del método exploratorio que busca explorar y generar nuevas ideas, el método descriptivo se enfoca en proporcionar una visión clara y completa de la información existente sobre el comportamiento del material para perfiles conformados en frío de sección transversal UV de acero ASTM A36, para espesores de 10 mm y 12 mm [42].

2.4.3 Cuantitativo

El método de investigación cuantitativo es un enfoque de investigación que se basa en la recopilación y análisis de datos numéricos y medibles. Este método se utiliza para medir, describir y analizar fenómenos de manera objetiva y precisa, enfocándose en la cuantificación de variables y la obtención de resultados numéricos, como son los resultados de los diferentes ensayos de tracción, dureza y características metalográficas [41].

Características del método de investigación cuantitativo

- Recopilación de datos numéricos
Se utilizaron una variedad de técnicas y herramientas para recolectar datos numéricos, experimentales, registros estadísticos, entre otros.
- Análisis estadístico
Los datos recopilados se sometieron a análisis estadístico, lo que permite identificar patrones, tendencias y relaciones entre variables.
- Medición y precisión
Se centra en medir y cuantificar variables de manera precisa y rigurosa, utilizando escalas y unidades de medida definidas, propias de la investigación.

2.4.4 Bibliográfico

El método de investigación bibliográfico se basa en la revisión y análisis exhaustivo de fuentes de información existentes, como libros, artículos científicos, informes técnicos y documentos académicos, relacionados con el tema de investigación en mención. Mediante una búsqueda sistemática, se recopilan datos y conocimientos previamente publicados sobre perfiles conformados en frío de acero ASTM A36. Esta

revisión bibliográfica proporciona una base sólida de información actualizada, antecedentes, teorías y enfoques previos relacionados con el tema, lo que ayuda a contextualizar el estudio y a identificar posibles lagunas de conocimiento para guiar el desarrollo de la investigación [43].

2.5 Población y muestra

2.5.1 Norma ASTM E8

Los detalles específicos y los procedimientos exactos describen la norma ASTM E8 para pruebas de tensión de materiales metálico en cualquier forma a temperatura ambiente. Esta norma proporciona pautas detalladas para la preparación de las probetas, la ejecución del ensayo de tracción y el cálculo de las propiedades mecánicas a partir de los resultados obtenidos durante el ensayo [44].

La norma ASTM E8 establece pautas básicas para la preparación y los requisitos necesarios para llevar a cabo el ensayo de tracción. Sin embargo, no especifica un número absoluto de probetas que deben ser ensayadas, esto depende del material y el propósito del ensayo.

Considerando lo anterior en la investigación se obtendrán los resultados de 20 probetas por cada espesor de perfil UV, teniendo en cuenta que en el objetivo 1 describe la obtención de probetas necesarias para el análisis de las distintas secciones del perfil. En la tabla 2.8 se muestra el método de preparación de las probetas, la cantidad y su modo de obtención.

Diseño de la probeta para realizar el ensayo de Tracción

Para la elaboración de probetas en materiales de forma de láminas, placas, alambres planos, tiras, bandas, arcos, rectángulos y formas que varían en espesor nominal de 0.13 mm a 19 mm (0.005 a 0.750 in) estipula realizar muestras de tipo hoja con dimensiones detalladas en la Figura 2.1 [44].

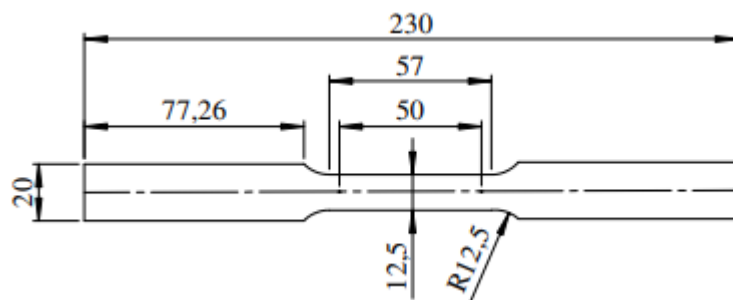


Figura 2.1. Dimensiones de las probetas para el ensayo de tracción

Tabla 2.8. Descripción del método y cantidad de probetas para el ensayo de tracción.

Identificación	Método de obtención	Material	Número de probetas
Perfil-UV12-#	Corte por chorro de agua	ASTM A36	20
Perfil-UV10-#	Corte por chorro de agua	ASTM A36	20

2.5.2 Norma ASTM E112.

La norma ASTM E112, titulada "Método de prueba estándar para la determinación del tamaño promedio de grano", proporciona métodos comparativos y numéricos para determinar el tamaño de grano involucrando la preparación de muestras metalográficas [45].

Al igual que el estándar ASTM E8 la norma en mención no estipula la cantidad de probetas metalográficas necesarios para obtener los datos de la microestructura de los materiales. Se tomará una probeta del material virgen y 6 muestras del material conformado para obtener datos reales de los dos espesores (10 mm y 12 mm) por analizar. En la tabla 2.9 se muestra la descripción de las probetas por espesor, el método de obtención y el tipo de montaje.

Tabla 2.9. Descripción probetas para realizar ensayos metalográficos.

Identificación	Método de obtención	Material	Montaje	Número de probetas
Perfil-UV12-#	Corte manual con lubricación	ASTM A36	No requiere	6
Perfil-UV10-#	Corte manual con lubricación	ASTM A36	No requiere	6
M-UV 12 (Material virgen)	Corte manual con lubricación	ASTM A36	Baquelita	1
M-UV 10 (Material virgen)	Corte manual con lubricación	ASTM A36	Baquelita	1

2.5.3 Norma ASTM E10

La norma ASTM E10 describe los procedimientos y equipos necesarios para llevar a cabo este tipo de prueba de dureza. Esta norma específica incluye directrices sobre la selección de la carga aplicada, el diámetro de la bola, la preparación de la superficie de la muestra, la medición de la huella de indentación resultante y el cálculo de la dureza Brinell. La cantidad de puntos depende de las necesidades específicas del proyecto, la variabilidad esperada en las propiedades del material y las prácticas de ensayo establecidas por el laboratorio o la organización que realiza las pruebas [46].

En este caso siguiendo la metodología establecida para los demás ensayos se establece un número de 15 puntos en el material virgen y 30 puntos en la parte interna y externa del perfil UV por cada espesor. En la tabla 2.10 se muestra la descripción de probetas por espesor de placa y perfil.

Tabla 2.10. Descripción de las probetas para el ensayo de dureza Brinell.

Identificación	Método de preparación	Material	Montaje	Número de puntos por probeta
Perfil-UV12-#	Lijado y pulido de superficie con paño y alúmina	ASTM A36	No requiere	60
Perfil-UV10-#	Lijado y pulido de superficie con paño y alúmina	ASTM A36	No requiere	60
Perfil-UV12-# (Material virgen)	Lijado y pulido de superficie con paño y alúmina	ASTM A36	No requiere	15
Perfil-UV10-# (Material virgen)	Lijado y pulido de superficie con paño y alúmina	ASTM A36	No requiere	15

2.6 Operacionalización de variables

Variable Dependiente: Propiedades mecánicas

Tabla 2.11. Operacionalización de la variable dependiente.

Conceptualización	Categoría	Indicadores	Índice	Técnicas e instrumentación
Propiedades Mecánicas: Propiedades físicas y mecánicas que explican la reacción del perfil frente a distintos tipos de cargas o fuerzas.	Ensayo de Tracción	Esfuerzo de Fluencia [MPa]	0-450	Observación de fichas técnicas
		Esfuerzo Máximo [MPa]	0-600	Observación de fichas técnicas
	Ensayo de dureza	Módulo de elasticidad [GPa]	0-210	Observación de fichas técnicas
		Dureza [HB]	0-500	Observación de fichas técnicas

Variable Dependiente: Deformación por el proceso de conformado en frío

Tabla 2.12. Operacionalización de la variable dependiente.

Conceptualización	Categoría	Indicadores	Índice	Técnicas e instrumentación
Deformación por el proceso de conformado en frío: Alteraciones físicas y estructurales.	Planas - Curvas	Esfuerzo de Fluencia [MPa]	0-450	Observación de fichas técnicas
		Esfuerzo Máximo[MPa]	0-600	Observación de fichas técnicas
		Módulo de elasticidad [GPa]	0-210	Observación de fichas técnicas
	Virgen- Interna- Externa	Dureza [HB]	0-500	Observación de fichas técnicas

2.7 Etapas del desarrollo de la investigación experimental

En la Figura 2.2 se muestra las diferentes etapas para realizar satisfactoriamente la obtención del perfil UV conformado en frío de acero ASTM A36 con espesores de 10 mm y 12 mm.

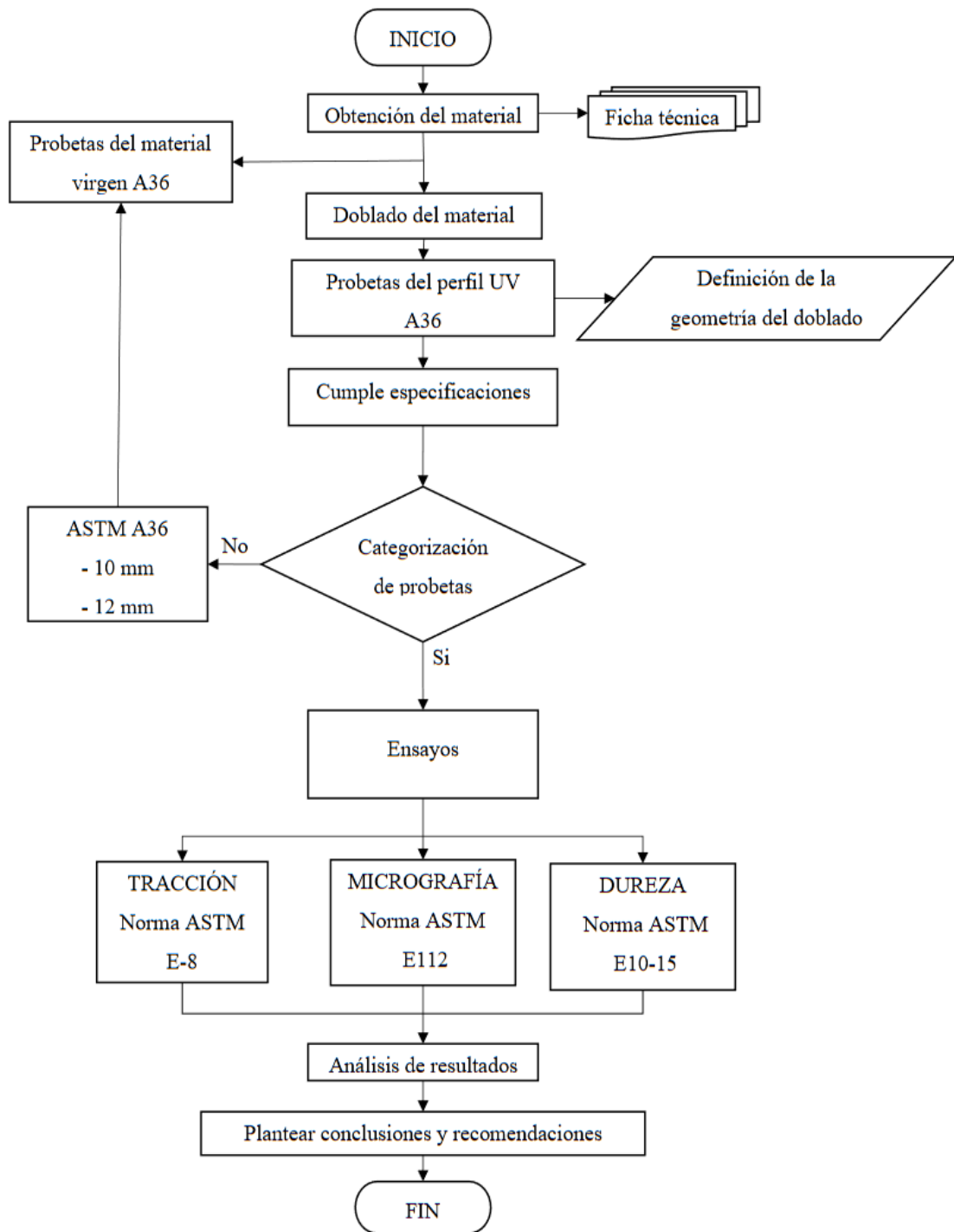


Figura 2.2. Diagrama de flujo del desarrollo de la investigación experimental

2.8 Etapas del desarrollo del ensayo de Tracción

En la Figura 2.3 muestra las actividades necesarias para realizar satisfactoriamente el ensayo de tracción en las probetas de distintas secciones del perfil UV en espesores diferentes.

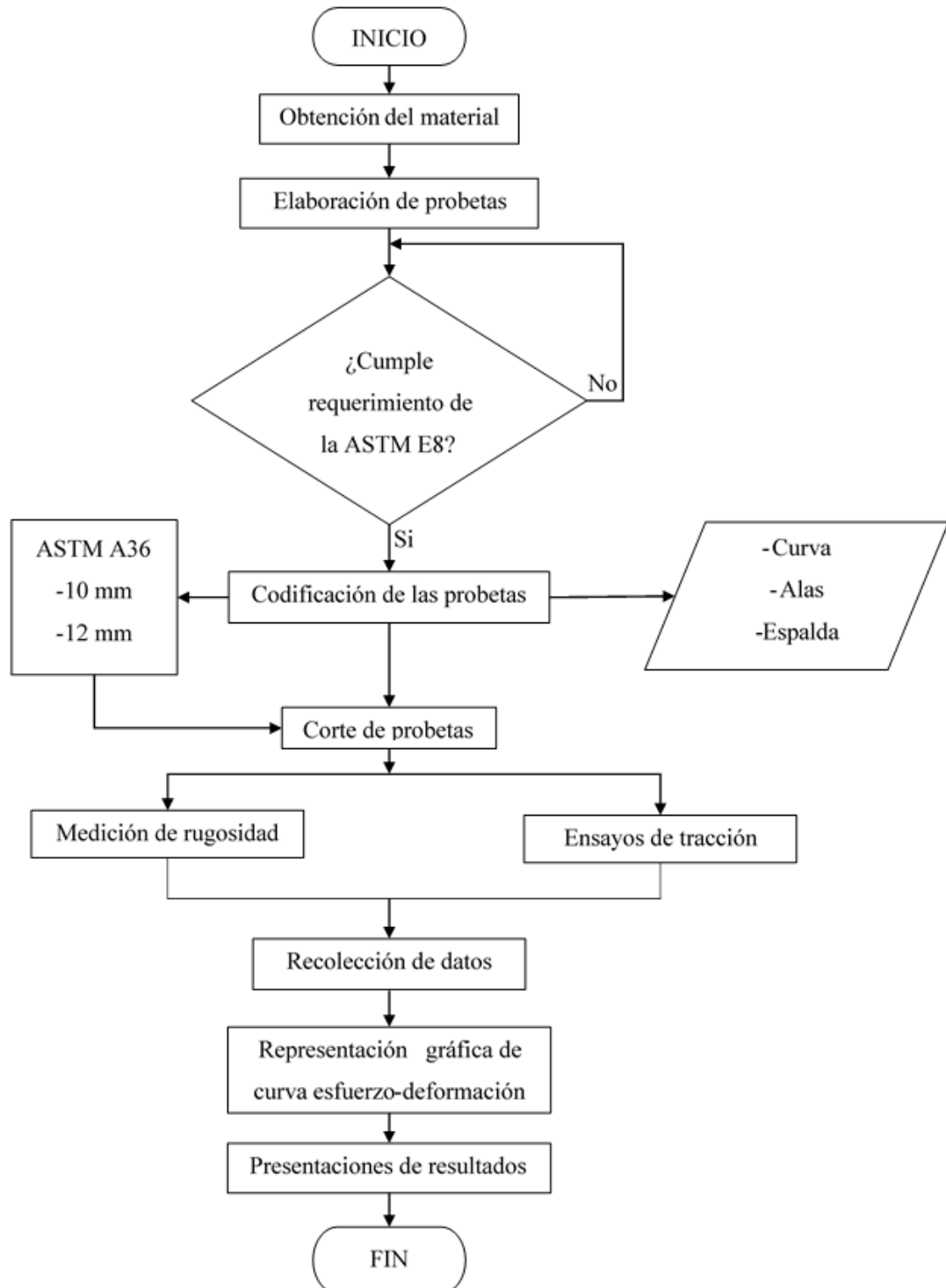


Figura 2.3. Diagrama de flujo del desarrollo del ensayo de tracción.

2.9 Etapas del desarrollo del ensayo de Dureza

En la Figura 2.4 muestra las actividades requeridas para realizar el ensayo de dureza del perfil UV conformado en frío de acero ASTM A36 10 mm y 12 mm.

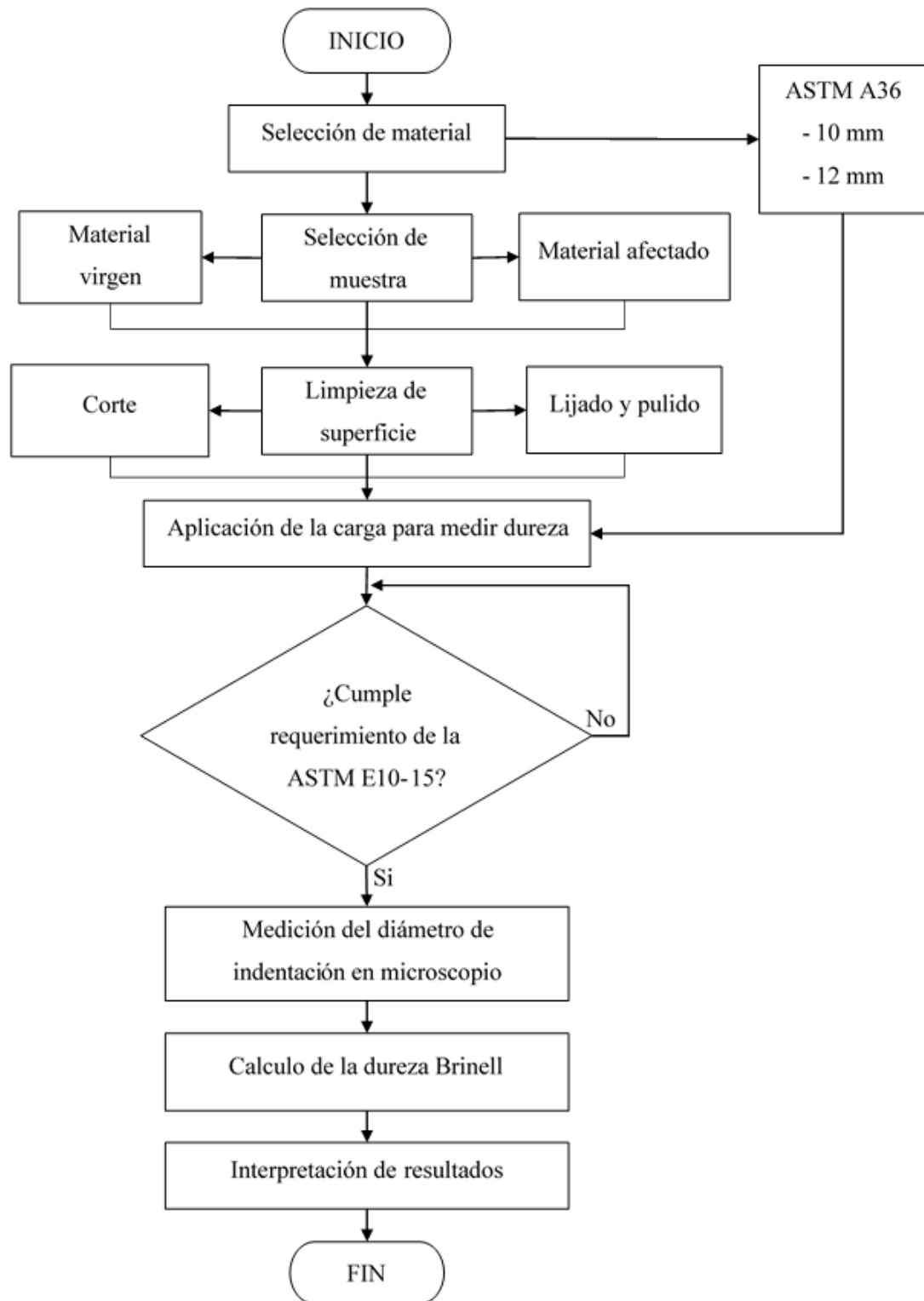


Figura 2.4. Diagrama de flujo del desarrollo del ensayo de dureza.

2.10 Etapas del desarrollo del ensayo Metalográfico

En la Figura 2.5 muestra las actividades necesarias para realizar el ensayo micrográfico del perfil UV conformado en frío de acero ASTM A36 10 mm y 12 mm.

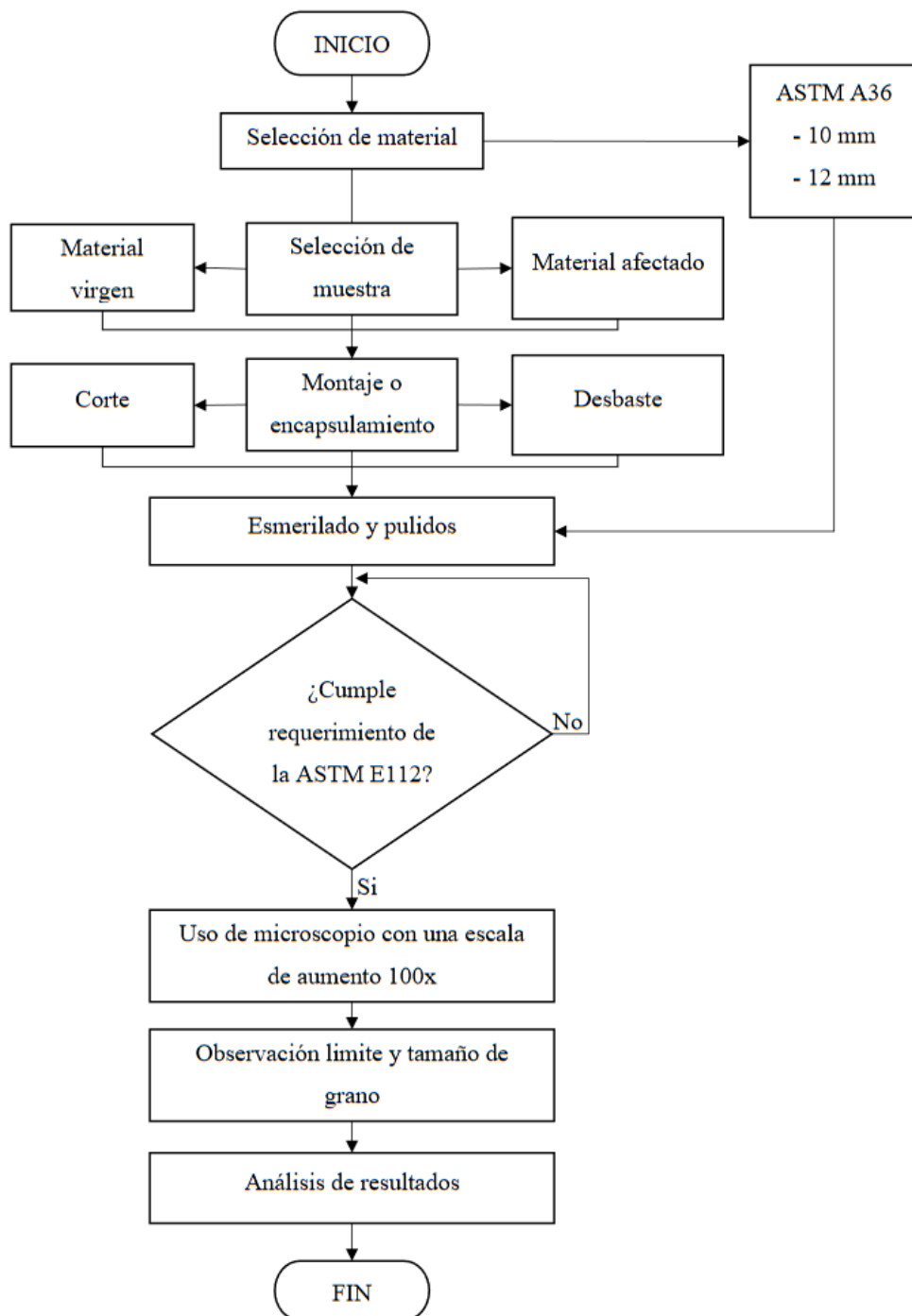


Figura 2.5. Diagrama de flujo del desarrollo del ensayo micrográfico.

2.11 Dimensionamiento del perfil

El modelo del perfil UV para realizar esta investigación experimental está compuesta por las siguientes especificaciones: Dos alas laterales (Izquierda- Derecha), dos radios de curvatura y un espaldar con las dimensiones mostradas en la Figura 2.6.

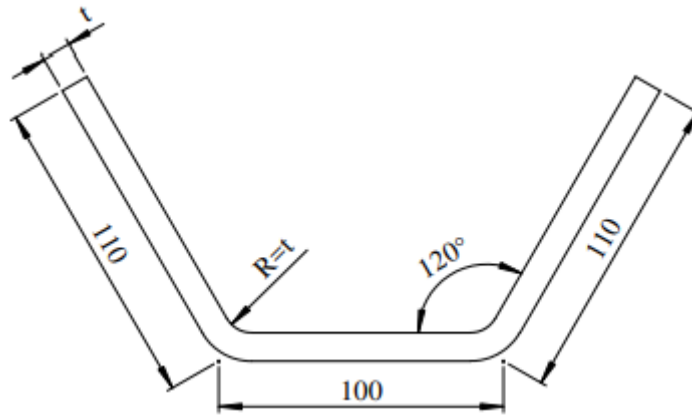


Figura 2.6. Dimensiones del perfil UV; donde t:10 mm y t:12 mm

2.12 Desarrollo de las placas

Margen de curvatura

Es el material necesario añadido a la longitud total de la placa para doblarlo en el tamaño correcto. El problema es determinar la longitud del eje neutro antes de doblarlo para tener en cuenta el estiramiento de la sección doblada final [33].

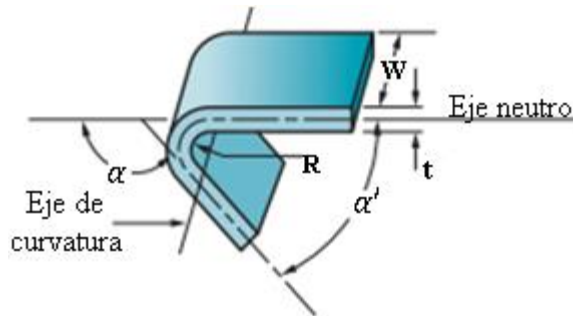


Figura 2.7. Diagrama del doblado en V de una lámina de metal [33].

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

Donde:

Ab= margen de curvatura (mm-pulg)

α = ángulo de curvatura (grados)

R = radio de curvatura (mm – pulg)

t = espesor del material (mm - pulg)

K_{ba} = factor para estimar el estiramiento.

Se recomiendan los siguientes valores de diseño para K_{ba} :

$$R < 2t, K_{ba} = 0,33$$

$$R \geq 2t, K_{ba} = 0,50$$

Los valores de K_{ba} predicen que el estiramiento ocurre sólo si el radio de curvatura es pequeño en relación con el espesor de la lámina.

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

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

$$A_b = 13.93 \text{ mm}$$

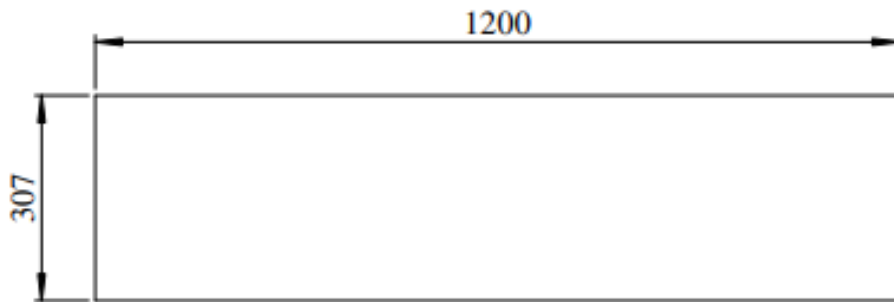


Figura 2.7. Placa de acero ASTM A36.

2.13 Codificación y distribución de probetas

La Figura 2.8 muestra el desglose de las variables de la codificación de las probetas.

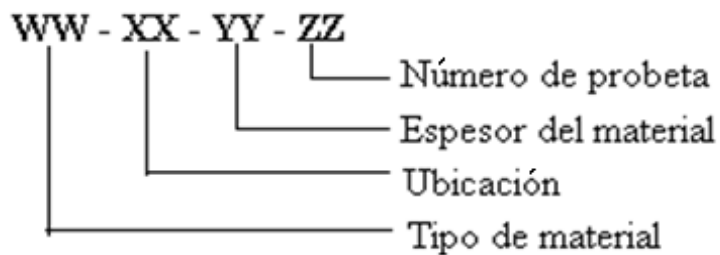


Figura 2.8. Interpretación de las variables de la codificación de probetas.

2.13.1 Ensayo de Tracción

Codificación de probetas para el ensayo de tracción

Tabla 2.13. Probetas del perfil UV del acero ASTM A36 de 10 mm.

Ala derecha	Angulo	Espalda	Ala Izquierda
P1-A1-10-01	P1-1C-10-01	P1-I-10-01	P1-A2-10-01
P1-A1-10-02	P1-2C-10-02	P1-I-10-02	P1-A2-10-02
P1-A1-10-03	P1-1C-10-03	P1-I-10-03	P1-A2-10-03
P1-A1-10-04	P1-2C-10-04	P1-I-10-04	P1-A2-10-04
P1-A1-10-05	P1-1C-10-05	P1-I-10-05	P1-A2-10-05

Tabla 2.14. Probetas del perfil UV del acero ASTM A36 de 12 mm.

Ala derecha	Angulo	Espalda	Ala Izquierda
P1-A1-12-01	P1-1C-12-01	P1-I-12-01	P1-A2-12-01
P1-A1-12-02	P1-2C-12-02	P1-I-12-02	P1-A2-12-02
P1-A1-12-03	P1-1C-12-03	P1-I-12-03	P1-A2-12-03
P1-A1-12-04	P1-2C-12-04	P1-I-12-04	P1-A2-12-04
P1-A1-12-05	P1-1C-12-05	P1-I-12-05	P1-A2-12-05

Distribución de probetas para el ensayo de Tracción

En la Figura 2.9 se muestran la distribución de probetas en las distintas secciones del perfil UV conformado en frío del acero ASTM A36 para 10 mm y 12 mm.

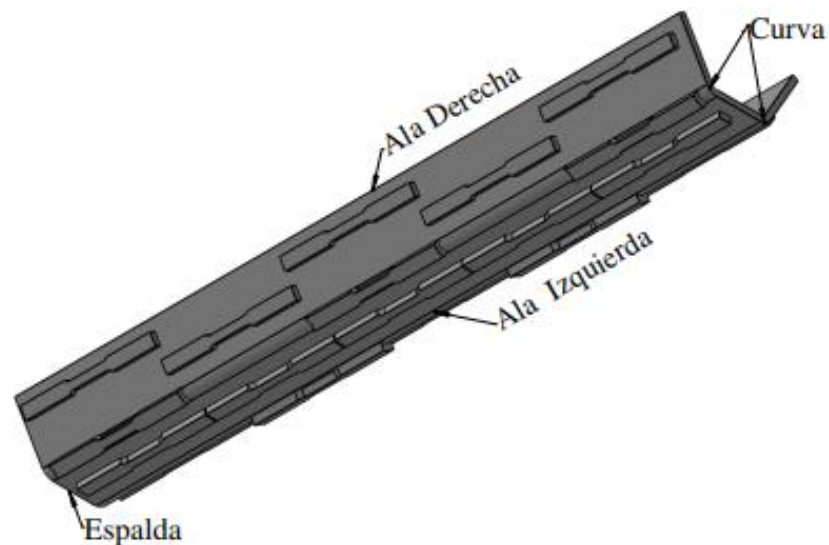


Figura 2.9. Distribución de secciones del perfil UV.

2.13.2 Ensayo de Dureza

Codificación de puntos para el ensayo de Dureza

Tabla 2. 15. Codificación de puntos para la obtención de dureza del acero ASTM A36 como material virgen con espesor de 10 mm.

P1-20-10-01	P1-120-10-06	P1-220-10-11
P1-40-10-02	P1-140-10-07	P1-240-10-12
P1-60-10-03	P1-160-10-08	P1-260-10-13
P1-80-10-04	P1-180-110-09	P1-280-10-14
P1-100-10-05	P1-200-10-10	P1-300-10-15

Tabla 2. 16. Codificación de puntos para la obtención de dureza del acero ASTM A36 como material virgen con espesor de 12 mm.

P1-20-12-01	P1-120-12-06	P1-220-12-11
P1-40-12-02	P1-140-12-07	P1-240-12-12
P1-60-12-03	P1-160-12-08	P1-260-12-13
P1-80-12-04	P1-180-12-09	P1-280-12-14
P1-100-12-05	P1-200-12-10	P1-300-12-15

Tabla 2. 17. Codificación de puntos para la obtención de dureza en la parte interna y externa del perfil UV del acero ASTM A36 de 10 mm.

P1-AI-10-01	P1-AI-10-9	P1-I-10-17	P1-AD-10-25
P1-AI-10-02	P1-C-10-10	P1-I-10-18	P1-AD-10-26
P1-AI-10-03	P1-1C-10-11	P1-C-10-19	P1-AD-10-27
P1-AI-10-04	P1-C-10-12	P1-C-10-20	P1-AD-10-28
P1-AI-10-05	P1-I-10-13	P1-C-10-21	P1-AD-10-29
P1-AI-10-06	P1-I-10-14	P1-AD-10-22	P1-AD-10-30
P1-AI-10-07	P1-I-10-15	P1-AD-10-23	
P1-AI-10-08	P1-I-10-16	P1-AD-10-24	

Tabla 2. 18. Codificación de puntos para la obtención de dureza en la parte interna y externa del perfil UV del acero ASTM A36 de 12 mm.

P1-AI-12-01	P1- AI -12-9	P1- I -12-17	P1- AD -12-25
P1-AI-12-02	P1-C-12-10	P1- I -12-18	P1- AD -12-26
P1-AI-12-03	P1- C -12-11	P1- C -12-19	P1- AD -12-27
P1-AI-12-04	P1- C -12-12	P1- C -12-20	P1- AD -12-28
P1- AI -12-05	P1- I -12-13	P1- C -12-21	P1- AD -12-29
P1- AI -12-06	P1- I -12-14	P1-AD-12-22	P1- AD -12-30
P1- AI -12-07	P1- I -12-15	P1- AD -12-23	
P1- AI -12-08	P1- I -12-16	P1- AD -12-24	

Distribución de puntos para el ensayo de Dureza del material virgen

La Figura 2.10 muestra una distribución de un conjunto de 15 puntos para la medición de dureza, con una separación estándar de 200 mm pertenecientes al material virgen.

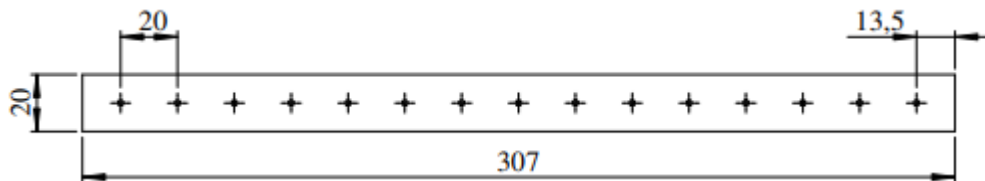


Figura 2.10. Distribución de puntos para el ensayo de dureza en el material virgen para espesores de 10 mm y 12 mm.

Distribución de puntos para el ensayo de Dureza del perfil UV

Para la distribución de puntos en el perfil UV se considera la referencia el punto del centro de la curva para establecer una distribución uniforme separados equidistantemente por 10 mm en toda la sección del perfil. Esta distribución uniforme se extiende en dirección a las alas y la espalda como se muestra en la Figura 2.11 (a) y 2.12 (b).

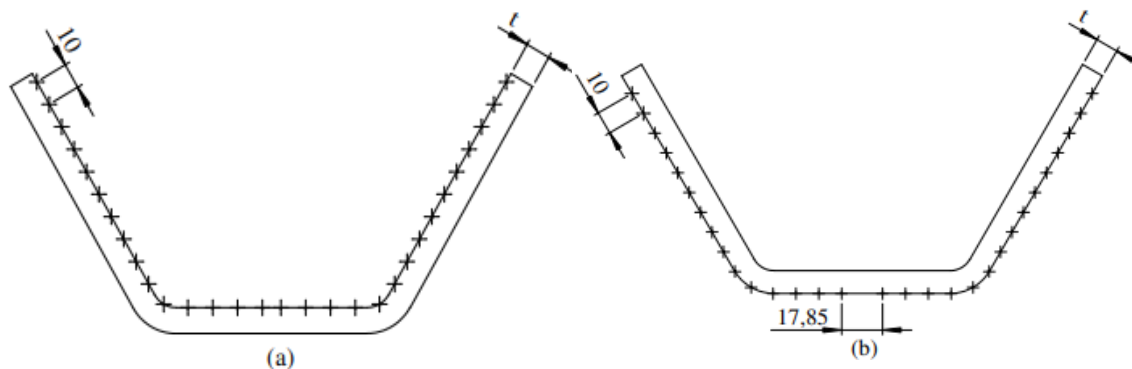


Figura 2.11. Distribución de puntos para el ensayo de dureza del perfil UV para t: 10 mm y t: 12 mm, (a) distribución interna, (b) distribución externa.

2.13.3 Tamaño de grano

Codificación de probetas para la obtención del tamaño de grano

La codificación utilizada para identificar la probeta y obtener del tamaño de grano en el material virgen de la placa de acero ASTM A36, con espesores de 10 mm y 12 mm, se da por la siguiente designación: P1-MV-t-01

Para la codificación de probetas en la determinación del cambio de tamaño de grano para el perfil UV, se toma como referencia el punto final de la curva como se muestra en la figura 2.13.

Tabla 2.19. Codificación probetas para la obtención de tamaño de grano en el perfil UV del acero ASTM A36 para espesores de 10 mm y 12 mm.

Centro de la curva	Alas	Espalda
P1-CD-t-01	P1-AD-t-01	P1-I-t-01
P1-CI-t-02	P1-AI-t-02	P1-I-t-02

Probeta para la obtención del tamaño de grano

Para la observación del tamaño de grano se obtiene una probeta por espesor del material virgen como se muestra en la Figura 2.12.

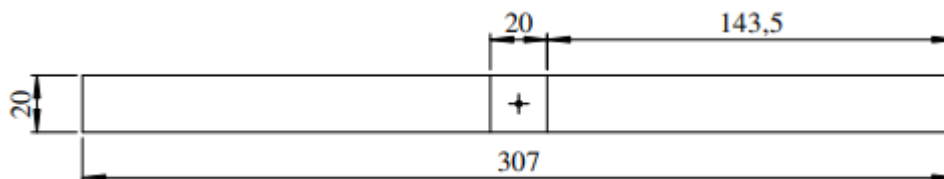


Figura 2.12. Distribución de la probeta para la observación del tamaño de grano del material virgen para espesores de 10 mm y 12 mm.

En la Figura 2.13 se muestra la distribución de muestras tomadas para la observación del tamaño de grano en el perfil UV para el espesor de 10 mm y 12 mm.

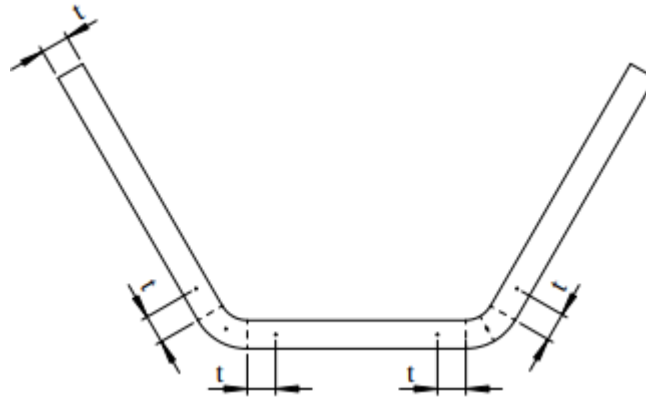


Figura 2.13. Distribución de puntos para la observación de tamaño de grano en el perfil UV.

2.14 Procesos del desarrollo

Proceso de conformado en frío

Para realizar el proceso de conformado en frío se utilizó una dobladora hidráulica capaz de ejercer una fuerza de compresión ajustada y controlada permitiendo aplicar presiones específicas sobre la placa a conformar. En la Tabla 2.19 se muestra la configuración de parámetros para realizar el proceso de conformado en frío. A continuación, en la tabla 2.20 se muestra el proceso de conformado.

Tabla 2.20. Configuración de parámetros de la dobladora para el conformado en frío.

Designación	Fuerza de dobléz
Perfil UV de Acero ASTM A36 de 10 mm.	75 Toneladas
Perfil UV de Acero ASTM A36 de 12 mm.	108 Toneladas

Tabla 2.21. Proceso del desarrollo de conformado en frío.

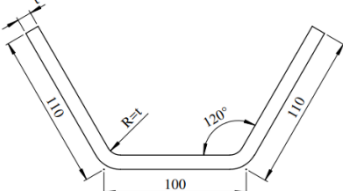



Proceso	
<p>1. Se diseña el perfil UV de acuerdo nuestras especificaciones, teniendo en cuenta la forma final deseada</p>	
<p>2. Se elige la empresa “STEELINOX” para la obtención de las placas de acero A36.</p>	
<p>3. Se prepara el material señalando las especificaciones y limpiando cualquier suciedad, oxido o impurezas que pueden afectar el proceso de conformado en frío.</p>	
<p>4. Se realiza el proceso de conformado utilizando una dobladora hidráulica a temperatura ambiente aplicando presión mecánica al material para dar la forma deseada.</p>	

Tabla 2.21. Proceso del desarrollo de conformado en frío de la placa (continuación).

5. Con la obtención del perfil conformado se realiza una inspección del cumplimiento de las especificaciones.



Proceso de corte de las probetas para el ensayo de Tracción

Es importante identificar los parámetros de calibración, dado que pueden variar según los equipos y procedimientos utilizados en un laboratorio o entorno de trabajo particular. Además, es fundamental adherirse a las normas de seguridad y seguir las directrices propuestas por la misma, junto con las recomendaciones del fabricante de la máquina de corte por chorro de agua.

El método de corte por chorro de agua es seleccionado por su capacidad de cortar metales sin alterar sus propiedades. La principal ventaja radica en la ausencia de deformación térmica del material durante el proceso de corte, lo que resulta en la obtención e bordes libres de derretimientos y rebabas.

Configuración del equipo para el corte de probetas

Para el corte de probetas del perfil conformado en acero ASTM A36 de 10 mm y 12 mm se realiza las siguientes configuraciones mostrada en la Tabla 2.22.

Tabla 2.22. Configuración en la máquina de corte

Velocidad de corte	83.33 mm / min
Presión máxima de corte	24.000 Psi
Tiempo de corte de la probeta de 12 mm	4.8 min/Probeta
Tiempo de corte de la probeta de 10 mm	3.6 min/Probeta

El proceso de corte de probetas para realizar el ensayo de tracción utilizando chorro de agua involucra varias etapas mostradas en la tabla 2.22.

Tabla 2.23. Proceso del desarrollo del corte de probetas mediante chorro de agua.

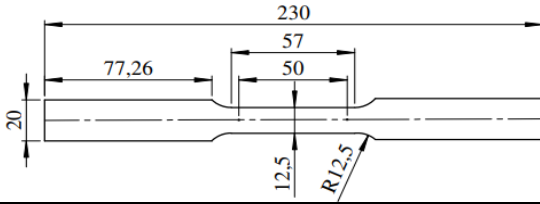



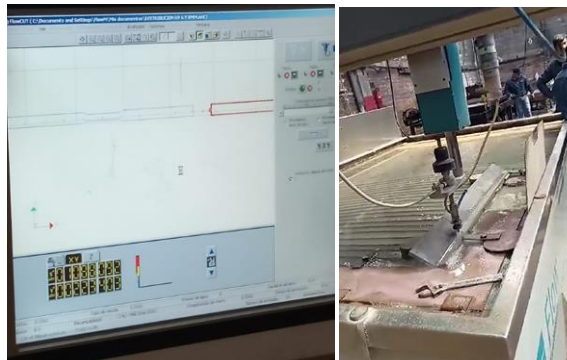
Proceso
<p>1. Determinar las dimensiones requeridas de acuerdo con las especificaciones de la norma ASTM E8 y las dimensiones del material.</p> 
<p>2. Asegurar que la máquina de corte por chorro de agua esté configurada y calibrada adecuadamente para cortar materiales metálicos.</p> 
<p>3. Preparar la muestra, asegurando que esté libre de contaminantes, y marcar las ubicaciones precisas de corte.</p> 
<p>4. Fijar la muestra en la máquina de corte por chorro de agua de manera segura para evitar movimientos durante el proceso de corte.</p> 

Tabla 2.23. Proceso del desarrollo del corte de probetas mediante chorro de agua (continuación).

5. Configurar los parámetros de corte, como la presión y velocidad del chorro de agua, de acuerdo a la especificación de la probeta.



6. Iniciar el corte de la probeta siguiendo las marcas previamente realizadas.



7. Inspeccionar las probetas tras el corte para garantizar el cumplimiento con las dimensiones y la calidad exigidas por la norma.



Tabla 2.23. Proceso del desarrollo del corte de probetas mediante chorro de agua (continuación).

8. Codificar cada probeta de acuerdo a su ubicación y espesor.



Preparación de probetas para realizar el ensayo de Tracción

Tabla 2.24. Proceso de preparación de probetas para el ensayo de tracción.

Proceso

1. Definir las especificaciones del material como codificación, espesor, ancho, tipo de material de la zona de calibración de la probeta y otras características solicitadas por el ingeniero responsable del ensayo.

TIPO DE MATERIAL:	PROBETA NORMALIZADA				
MATERIAL:	ACERO A36				
NORMA UTILIZADA:	ASTM E8				
FECHA DE ENSAYO:	18-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	P1-1C-10-01	P1-2C-10-02	P1-1C-10-03	P1-1C-10-04	P1-2C-10-05
CARACTERÍSTICA	PROBETA	PROBETA	PROBETA	PROBETA	PROBETA
ESPESOR [mm]	9,75	9,89	9,85	9,79	9,81
ANCHURA [mm]	12,97	12,85	12,88	12,93	13,13
LONGITUD INICIAL [mm]	50	50	50	50	50

2. Marcar la zona de calibración sugerida por la norma.



Tabla 2.24. Proceso de preparación de probetas para el ensayo de tracción (continuación).

3. Ubicar y fijar la probeta en la máquina universal de ensayos WA W600B, asegurando una alineación adecuada que garantice una distribución uniforme de fuerza en toda la probeta.



4. Se ubica y se fija el extensómetro modelo FEE-5 en la zona de calibración sugerida por la norma.



5. Se verifica las especificaciones del material en el equipo y se anula los valores de formación obtenidas al momento de la ubicación del extensómetro en la zona de calibración de la probeta.

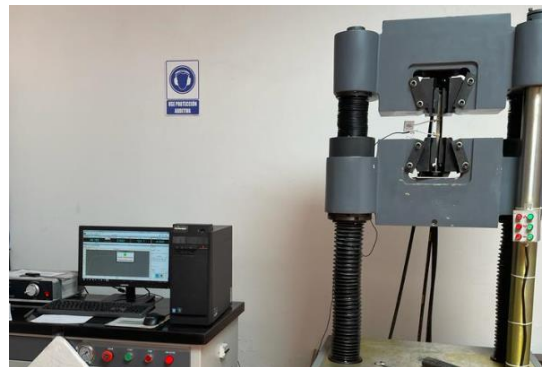


Tabla 2.24. Proceso de preparación de probeta para el ensayo de tracción (continuación).

6. Se aplica gradualmente una carga de tracción a la probeta hasta que se produce la ruptura. Durante este proceso se registran los valores de carga aplicada y la deformación de la muestra.

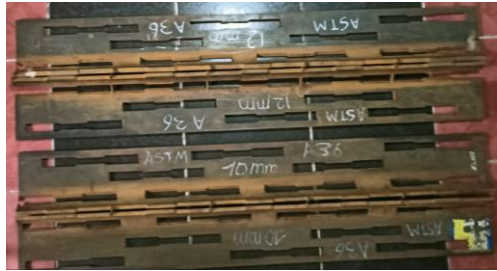


Ensayo de Dureza

Tabla 2.25. Proceso del desarrollo de preparación de probetas para el ensayo de dureza.

Proceso

1. Clasificación de los perfiles UV por espesor.



2. Corte en frío de muestras del material virgen y del perfil UV conformado.



Tabla 2.25. Proceso del desarrollo de preparación de probetas para el ensayo de dureza (Continuación).

3. Clasificación e identificación de las muestras por espesor



1. Limpieza de superficies en las probetas evitando afectaciones térmicas.



2. Selección del indentador (Diámetro de indentador de 2.5 mm)

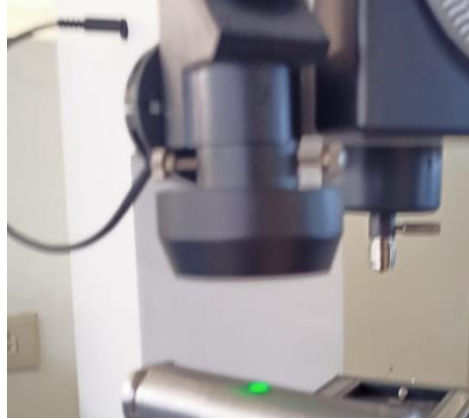


3. Aplicación de carga en 187.5 Kgf para observar la huella del indentador.



Tabla 2.25. Proceso del desarrollo de preparación de probetas para el ensayo de dureza (continuación).

4. Medición del diámetro de indentación en microscopio



Ensayo Metalográfico

Tabla 2.26. Proceso del desarrollo de preparación de probetas para la observación del tamaño de grano.



Proceso
<p>1. Clasificación de los perfiles UV por espesor.</p>  Una fotografía que muestra una colección de perfiles UV (ultravioleta) clasificados por espesor. Los perfiles están etiquetados con 'ASTM' y '12mm', 'ASTM' y '10mm', y 'ASTM' y '8mm'. Los perfiles están dispuestos en una fila y están etiquetados con 'ASTM' y '12mm', 'ASTM' y '10mm', y 'ASTM' y '8mm'.
<p>2. Identificación de la sección y corte de la muestra del material con enfriamiento.</p>  Una fotografía que muestra una máquina de corte de muestra (metallográfica) que está cortando una muestra de material. La máquina es roja y tiene un eje de corte que está girando y cortando la muestra.

Tabla 2.26. Proceso del desarrollo de preparación de probetas para la observación del tamaño de grano (continuación).

3. Clasificación de las muestras por espesor



4. Lijado en banco húmedo con distintos grosores de lija (100, 400, 600, 1000, 1500, 2000, 2500 y 3000)



5. Pulido en paño con alúmina para desaparecer los últimos defectos que influyen en la observación del tamaño de grano y secado de la muestra.

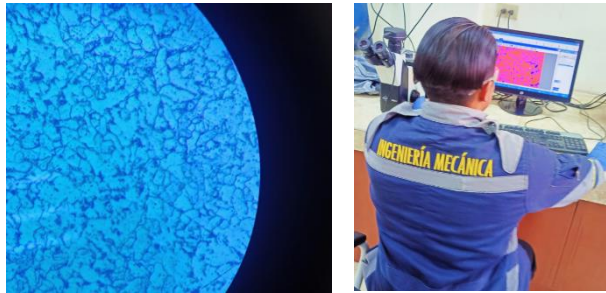


Tabla 2.26. Proceso del desarrollo de preparación de probetas para la observación del tamaño de grano (continuación).

6. Aplicación de reactivo (Nital 4%) por cuatro segundos y lavado inmediatamente con agua y secado de la muestra.



7. Observación del tamaño de grano en el microscopio óptico con un aumento de 100X



CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Interpretación de resultados

3.1.1 Resultados del ensayo de Tracción

Las fichas técnicas proporcionan información relevante de los resultados obtenidos durante los ensayos de tracción realizados en perfiles conformados en frío tipo UV en acero ASTM A36 con espesores de 10 mm y 12 mm. Estos informes detallan las propiedades mecánicas obtenidas en las diversas secciones del perfil: alas, curvas y espaldas. Además, incluyen datos informativos relevantes, diagramas Esfuerzo-Deformación ingenieril-real y una fotografía del resultado del ensayo por cada probeta evaluada. Esta información permite evaluar las características mecánicas en diferentes áreas del perfil, brindando una visión integral de la respuesta del material a las pruebas de tracción de los perfiles conformados.

Tabla 3.1. Reporte del ensayo de tracción en el perfil UV del acero ASTM A36 de 10 mm. Probeta P1-A1-10-01.



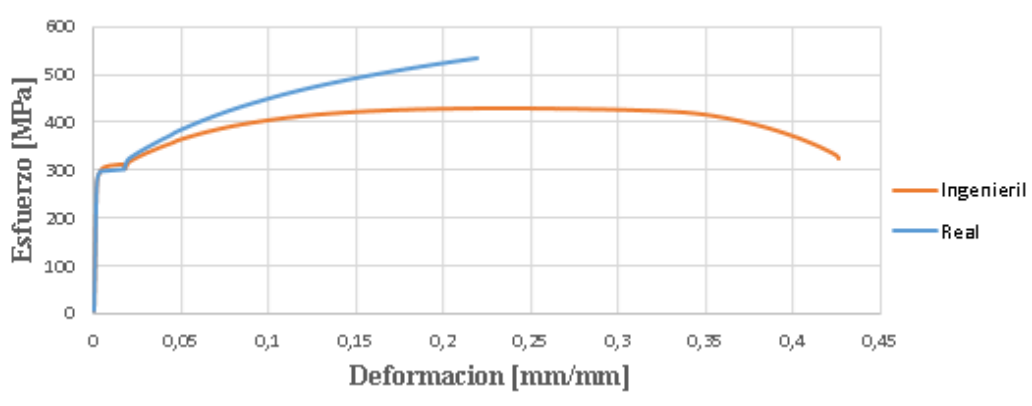

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
ENSAYO DE TRACCIÓN			
Datos informativos:			
Probeta:	P1-A1-10-01	Fecha:	15/01/2023
Material:	Acero ASTM A36	Espesor:	10 mm
Características del ensayo:	Sección Transversal	Velocidad de aplicación	
	130.05 mm ²	2 mm/min	
	Longitud de Calibración	Tiempo de ejecución	
	50 mm	188.007 seg	
Norma Aplicable:	E8/E8M	Laboratorio:	LenMav
Instrumento:	Máquina Universal de ensayos –WAW600B	Capacidad:	500 KN
Revisado por:	Ing. Francisco Peña Mg.	Realizado por:	Caiza E – Pullutasig D
RESULTADOS:			
<p>Curva Esfuerzo - Deformación</p> 			
RESULTADOS REGISTRADOS:			
Esfuerzo Máximo [MPa]	429.68	Fotografía de la probeta posterior al ensayo 	
Esfuerzo de Fluencia [MPa]	296.19		
Módulo de elasticidad [GPa]	211.1		
Carga Máxima [KN]	55.88		
Carga de fluencia [KN]	38.52		
Porcentaje de Elongación [%]	38		

Tabla 3.2. Reporte del ensayo de tracción en el perfil UV del acero ASTM A36 de 10 mm. Probeta P1-A1-10-02.



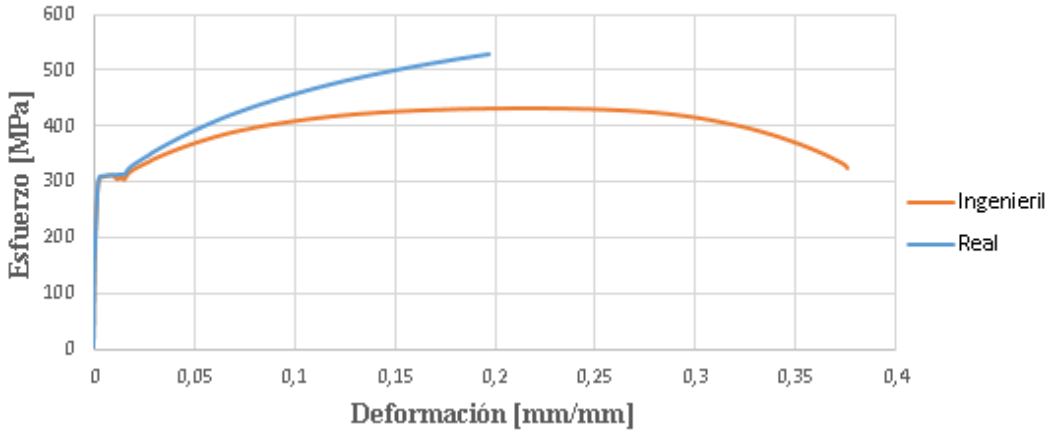

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
ENSAYO DE TRACCIÓN			
Datos informativos:			
Probeta:	P1-A1-10-02	Fecha:	15/01/2023
Material:	Acero ASTM A36	Espesor:	10 mm
Características del ensayo:	Sección Transversal	Velocidad de aplicación	
	130.02 mm ²	2 mm/s	
	Longitud de Calibración	Tiempo de ejecución	
	50 mm	172.356 seg	
Norma Aplicable:	E8/E8M	Laboratorio:	LenMav
Instrumento:	Máquina Universal de ensayos –WAW600B	Capacidad:	500 KN
Revisado por:	Ing. Francisco Peña Mg.	Realizado por:	Caiza E – Pullutasig D
RESULTADOS:			
Curva Esfuerzo - Deformación			
			
RESULTADOS REGISTRADOS:			
Esfuerzo Máximo [MPa]	432.72	Fotografía de la probeta posterior al ensayo 	
Esfuerzo de Fluencia [MPa]	307.81		
Módulo de elasticidad [GPa]	188.6		
Carga Máxima [KN]	56,26		
Carga de fluencia [KN]	40.02		
Porcentaje de Elongación [%]	32		

Tabla 3.3. Reporte del ensayo de tracción en el perfil UV del acero ASTM A36 de 10 mm. Probeta P1-A1-10-03.



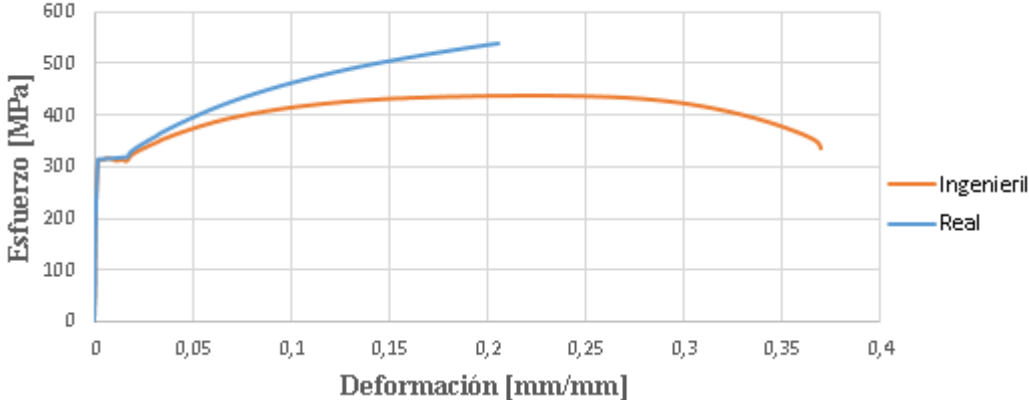

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
ENSAYO DE TRACCIÓN			
Datos informativos:			
Probeta:	P1-A1-10-03	Fecha:	15/01/2023
Material:	Acero ASTM A36	Espesor:	10 mm
Características del ensayo:	Sección Transversal	Velocidad de aplicación	
	129.67 mm ²	2 mm/s	
	Longitud de Calibración	Tiempo de ejecución	
	50 mm	173.356 seg	
Norma Aplicable:	E8/E8M	Laboratorio:	LenMav
Instrumento:	Máquina Universal de ensayos –WAW600B	Capacidad:	500 KN
Revisado por:	Ing. Francisco Peña Mg.	Realizado por:	Caiza E – Pullutasig D
RESULTADOS:			
<p>Curva Esfuerzo - Deformación</p> 			
RESULTADOS REGISTRADOS:			
Esfuerzo Máximo [MPa]	439.27	Fotografía de la probeta posterior al ensayo 	
Esfuerzo de Fluencia [MPa]	314.49		
Módulo de elasticidad [GPa]	314.8		
Carga Máxima [KN]	56.96		
Carga de fluencia [KN]	40.78		
Porcentaje de Elongación [%]	33		

Tabla 3.4. Reporte del ensayo de tracción en el perfil UV del acero ASTM A36 de 10 mm. Probeta P1-A1-10-04.



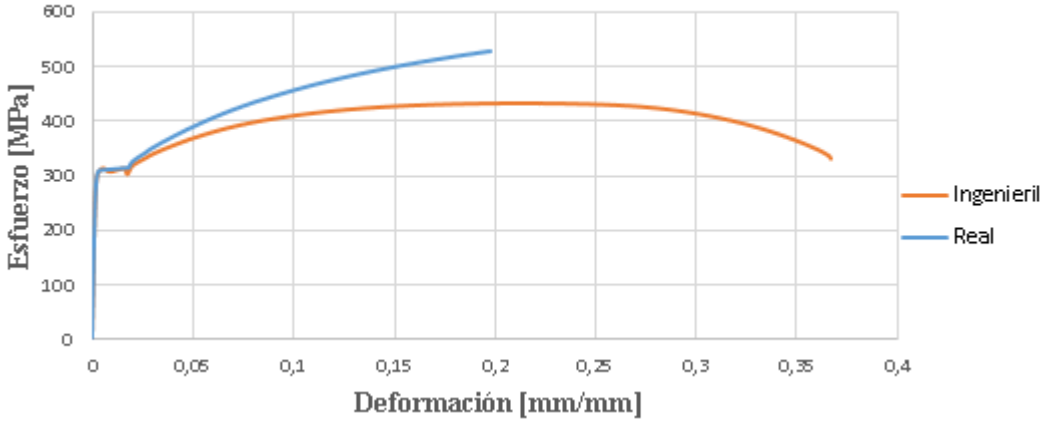

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
ENSAYO DE TRACCIÓN			
Datos informativos:			
Probeta:	P1-A1-10-04	Fecha:	15/01/2023
Material:	Acero ASTM A36	Espesor:	10 mm
Características del ensayo:	Sección Transversal	Velocidad de aplicación	
	130.44 mm ²	2 mm/s	
	Longitud de Calibración	Tiempo de ejecución	
	50 mm	174.406 seg	
Norma Aplicable:	E8/E8M	Laboratorio:	LenMav
Instrumento:	Máquina Universal de ensayos –WAW600B	Capacidad:	500 KN
Revisado por:	Ing. Francisco Peña Mg.	Realizado por:	Caiza E – Pullutasig D
RESULTADOS:			
Curva Esfuerzo - Deformación			
			
RESULTADOS REGISTRADOS:			
Esfuerzo Máximo [MPa]	433.00	Fotografía de la probeta posterior al ensayo 	
Esfuerzo de Fluencia [MPa]	308.96		
Módulo de elasticidad [GPa]	176.5		
Carga Máxima [KN]	56.48		
Carga de fluencia [KN]	40.30		
Porcentaje de Elongación [%]	35.5		

Tabla 3.5. Reporte del ensayo de tracción en el perfil UV del acero ASTM A36 de 10 mm. Probeta P1-A1-10-05.



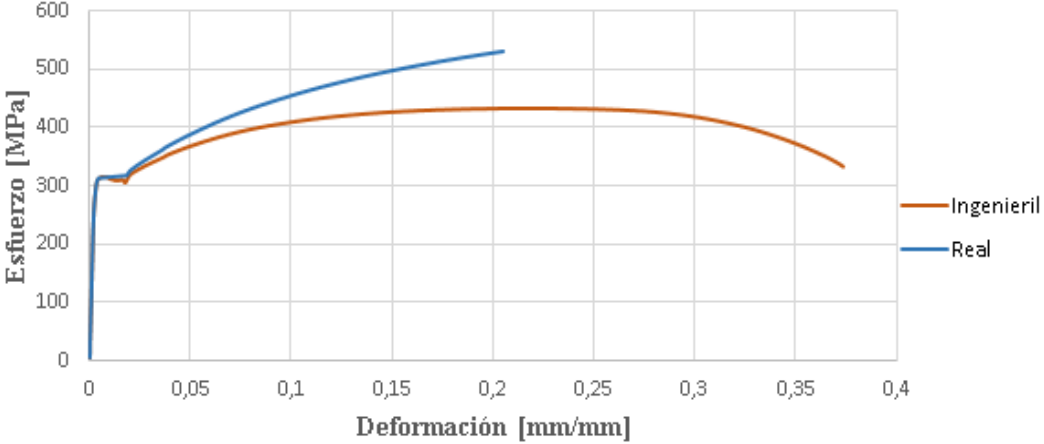

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA 			
ENSAYO DE TRACCIÓN			
Datos informativos			
Probeta:	P1-A1-10-05	Fecha:	15/01/2023
Material:	Acero ASTM A36	Espesor:	10 mm
Características del ensayo:	Sección Transversal	Velocidad de aplicación	
	130.28 mm ²	2 mm/s	
	Longitud de Calibración	Tiempo de ejecución	
	50 mm	175.256 seg	
Norma Aplicable:	E8/E8M	Laboratorio:	LenMav
Instrumento:	Máquina Universal de ensayos –WAW600B	Capacidad:	500 KN
Revisado por:	Ing. Francisco Peña Mg.	Realizado por:	Caiza E – Pullutasig D
RESULTADOS:			
Curva Esfuerzo - Deformación			
			
RESULTADOS REGISTRADOS:			
Esfuerzo Máximo [MPa]	432.31	Fotografía de la probeta posterior al ensayo 	
Esfuerzo de Fluencia [MPa]	311.34		
Módulo de elasticidad [GPa]	132.5		
Carga Máxima [KN]	56.32		
Carga de fluencia [KN]	40.56		
Porcentaje de Elongación [%]	33.00		

Tabla 3.6. Reporte del ensayo de tracción en el perfil UV del acero ASTM A36 de 10 mm. Probeta P1-A2-10-01.



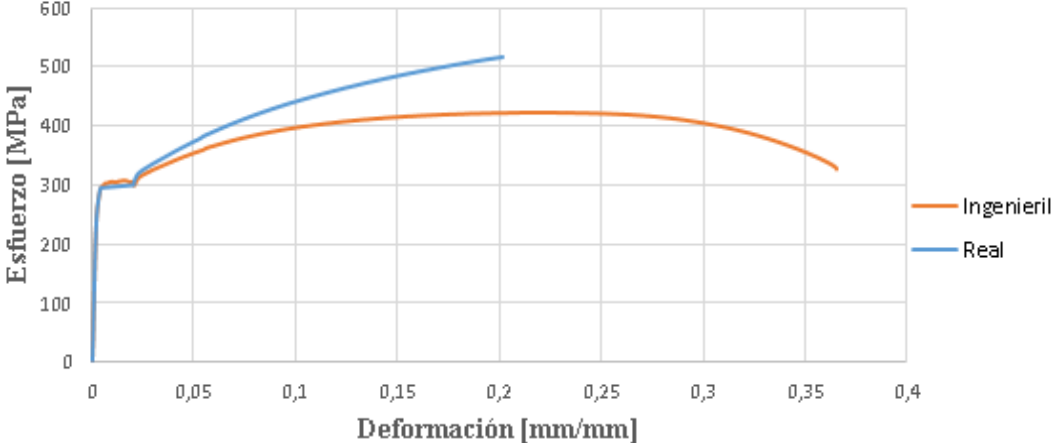

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
ENSAYO DE TRACCIÓN			
Datos informativos:			
Probeta:	P1-A2-10-01	Fecha:	15/01/2023
Material:	Acero ASTM A36	Espesor:	10 mm
Características del ensayo:	Sección Transversal	Velocidad de aplicación	
	131.13 mm ²	2 mm/s	
	Longitud de Calibración	Tiempo de ejecución	
	50 mm	185.557 seg	
Norma Aplicable:	E8/E8M	Laboratorio:	LenMav
Instrumento:	Máquina Universal de ensayos –WAW600B	Capacidad:	500 KN
Revisado por:	Ing. Francisco Peña Mg.	Realizado por:	Caiza E – Pullutasig D
RESULTADOS:			
Curva Esfuerzo - Deformación			
			
RESULTADOS REGISTRADOS:			
Esfuerzo Máximo [MPa]	423.55	Fotografía de la probeta posterior al ensayo 	
Esfuerzo de Fluencia [MPa]	295.28		
Módulo de elasticidad [GPa]	146.5		
Carga Máxima [KN]	55.54		
Carga de fluencia [KN]	38.72		
Porcentaje de Elongación [%]	32.00		

Tabla 3.7. Reporte del ensayo de tracción en el perfil UV del acero ASTM A36 de 10 mm. Probeta P1-A2-10-02.



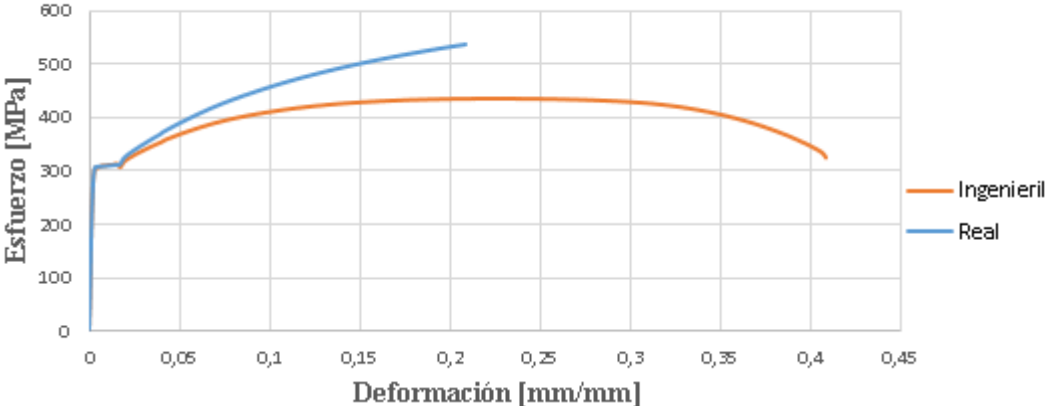

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
ENSAYO DE TRACCIÓN			
Datos informativos:			
Probeta:	P1-A2-10-02	Fecha:	15/01/2023
Material:	Acero ASTM A36	Espesor:	10 mm
Características del ensayo:	Sección Transversal	Velocidad de aplicación	
	129.77 mm ²	2 mm/s	
	Longitud de Calibración	Tiempo de ejecución	
	50 mm	189.757 seg	
Norma Aplicable:	E8/E8M	Laboratorio:	LenMav
Instrumento:	Máquina Universal de ensayos –WAW600B	Capacidad:	500 KN
Revisado por:	Ing. Francisco Peña Mg.	Realizado por:	Caiza E – Pullutasig D
RESULTADOS:			
<p>Curva Esfuerzo - Deformación</p> 			
RESULTADOS REGISTRADOS:			
Esfuerzo Máximo [MPa]	434.92	Fotografía de la probeta posterior al ensayo 	
Esfuerzo de Fluencia [MPa]	306.08		
Módulo de elasticidad [GPa]	171.7		
Carga Máxima [KN]	56.44		
Carga de fluencia [KN]	3972		
Porcentaje de Elongación [%]	37.50		

Tabla 3.8. Reporte del ensayo de tracción en el perfil UV del acero ASTM A36 de 10 mm. Probeta P1-A2-10-03.



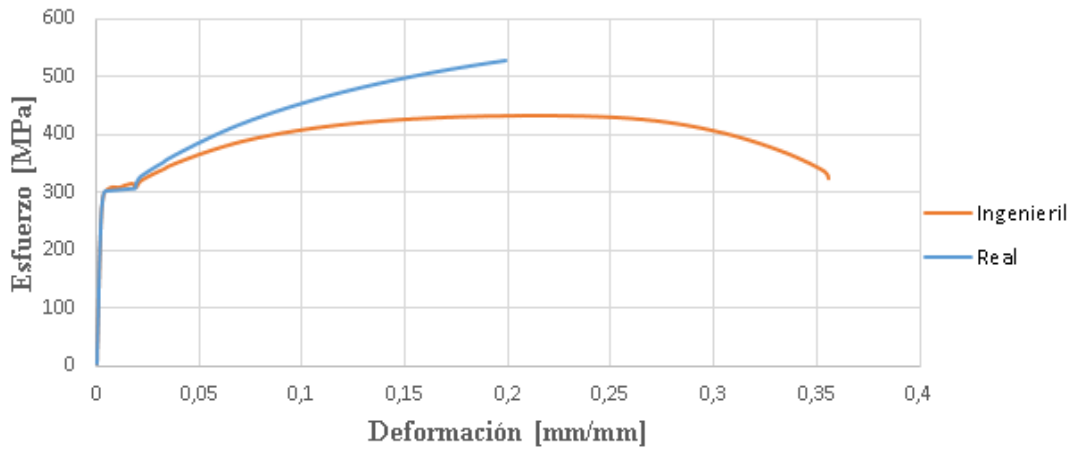

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
ENSAYO DE TRACCIÓN			
Datos informativos:			
Probeta:	P1-A2-10-03	Fecha:	15/01/2023
Material:	Acero ASTM A36	Espesor:	10 mm
Características del ensayo:	Sección Transversal	Velocidad de aplicación	
	130.41 mm ²	2 mm/s	
	Longitud de Calibración	Tiempo de ejecución	
	50 mm	165.156 seg	
Norma Aplicable:	E8/E8M	Laboratorio:	LenMav
Instrumento:	Máquina Universal de ensayos –WAW600B	Capacidad:	500 KN
Revisado por:	Ing. Francisco Peña Mg.	Realizado por:	Caiza E – Pullutasig D
RESULTADOS:			
Curva Esfuerzo - Deformación			
			
RESULTADOS REGISTRADOS:			
Esfuerzo Máximo [MPa]	431.86	Fotografía de la probeta posterior al ensayo 	
Esfuerzo de Fluencia [MPa]	300.58		
Módulo de elasticidad [GPa]	150.4		
Carga Máxima [KN]	56.32		
Carga de fluencia [KN]	39.20		
Porcentaje de Elongación [%]	31.50		

Tabla 3.9. Reporte del ensayo de tracción en el perfil UV del acero ASTM A36 de 10 mm. Probeta P1-A2-10-04.



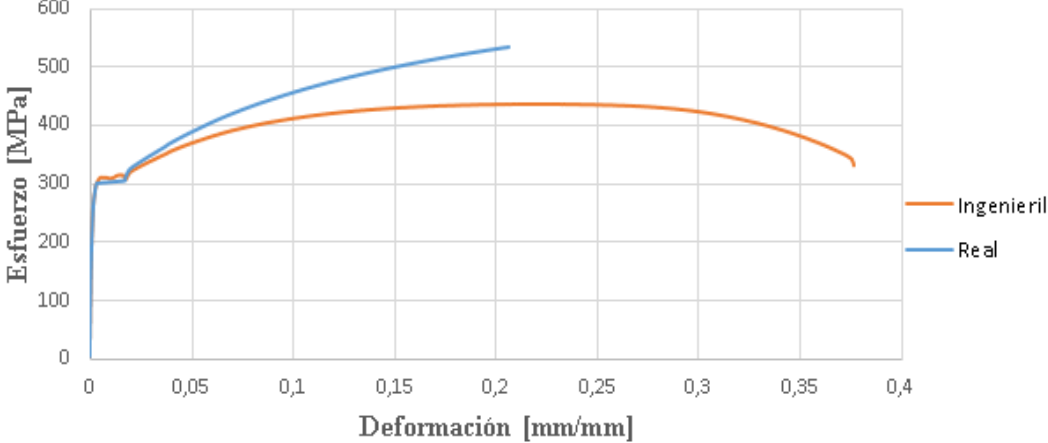

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
ENSAYO DE TRACCIÓN			
Datos informativos:			
Probeta:	P1-A2-10-04	Fecha:	15/01/2023
Material:	Acero ASTM A36	Espesor:	10 mm
Características del ensayo:	Sección Transversal	Velocidad de aplicación	
	129.77 mm ²	2 mm/s	
	Longitud de Calibración	Tiempo de ejecución	
	50 mm	195.907 seg	
Norma Aplicable:	E8/E8M	Laboratorio:	LenMav
Instrumento:	Máquina Universal de ensayos –WAW600B	Capacidad:	500 KN
Revisado por:	Ing. Francisco Peña Mg.	Realizado por:	Caiza E – Pullutasig D
RESULTADOS:			
Curva Esfuerzo - Deformación			
			
RESULTADOS REGISTRADOS:			
Esfuerzo Máximo [MPa]	435.54	Fotografía de la probeta posterior al ensayo	
Esfuerzo de Fluencia [MPa]	300.38		
Módulo de elasticidad [GPa]	184.8		
Carga Máxima [KN]	56.52		
Carga de fluencia [KN]	38.98		
Porcentaje de Elongación [%]	34.50		

Tabla 3.10. Reporte del ensayo de tracción en el perfil UV del acero ASTM A36 de 10 mm. Probeta P1-A2-10-05.



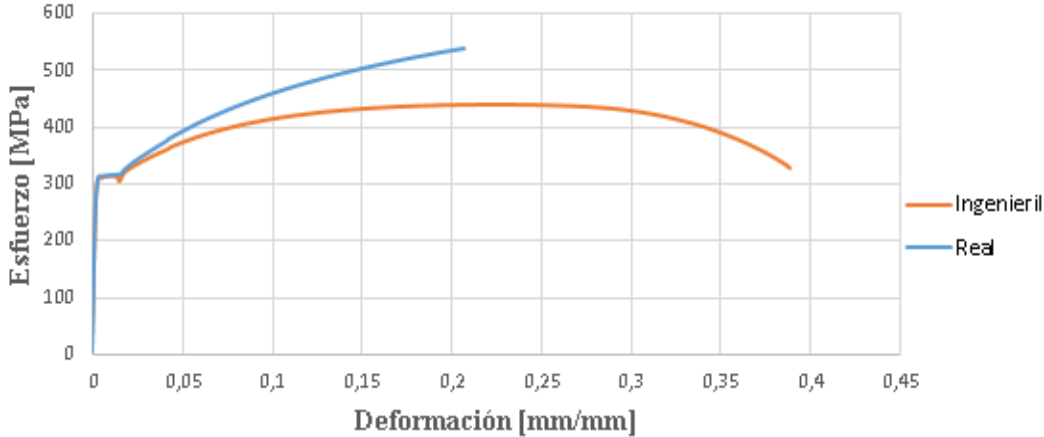

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
ENSAYO DE TRACCIÓN			
Datos informativos:			
Probeta:	P1-A2-10-05	Fecha:	15/01/2023
Material:	Acero ASTM A36	Espesor:	10 mm
Características del ensayo:	Sección Transversal	Velocidad de aplicación	
	129.12 mm ²	2 mm/s	
	Longitud de Calibración	Tiempo de ejecución	
	50 mm	185.807 seg	
Norma Aplicable:	E8/E8M	Laboratorio:	LenMav
Instrumento:	Máquina Universal de ensayos –WAW600B	Capacidad:	500 KN
Revisado por:	Ing. Francisco Peña Mg.	Realizado por:	Caiza E – Pullutasig D
RESULTADOS:			
<p>Curva Esfuerzo - Deformación</p> 			
RESULTADOS REGISTRADOS:			
Esfuerzo Máximo [MPa]	438.66	Fotografía de la probeta posterior al ensayo	
Esfuerzo de Fluencia [MPa]	312.27		
Módulo de elasticidad [GPa]	146.3		
Carga Máxima [KN]	56.64		
Carga de fluencia [KN]	40.32		
Porcentaje de Elongación [%]	35.50		

Tabla 1.11. Reporte del ensayo de tracción en el perfil UV del acero ASTM A36 de 10 mm. Probeta P1-1C-10-01.



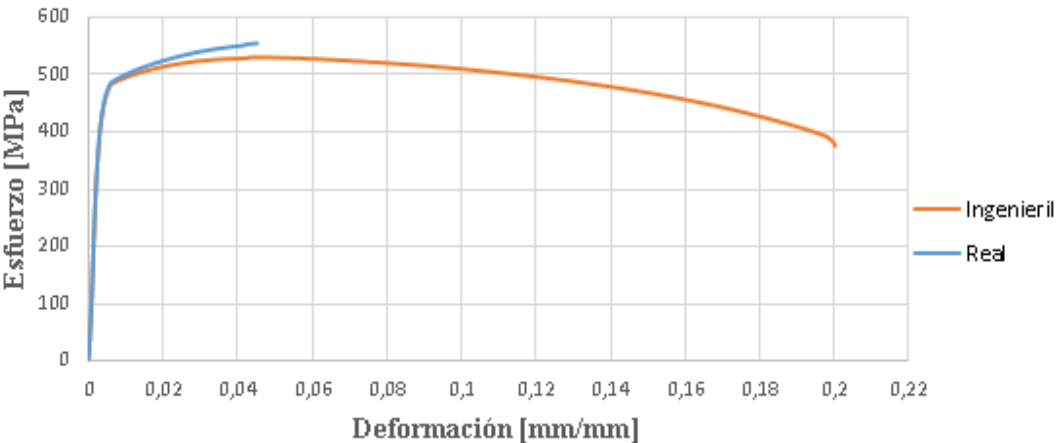

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA 			
ENSAYO DE TRACCIÓN			
Datos informativos:			
Probeta:	P1-1C-10-01	Fecha:	15/01/2023
Material:	Acero ASTM A36	Espesor:	10 mm
Características del ensayo:	Sección Transversal	Velocidad de aplicación	
	126.46 mm ²	2 mm/s	
	Longitud de Calibración	Tiempo de ejecución	
	50 mm	313.297 seg	
Norma Aplicable:	E8/E8M	Laboratorio:	LenMav
Instrumento:	Máquina Universal de ensayos –WAW600B	Capacidad:	500 KN
Revisado por:	Ing. Francisco Peña Mg.	Realizado por:	Caiza E – Pullutasig D
RESULTADOS:			
Curva Esfuerzo - Deformación			
			
RESULTADOS REGISTRADOS:			
Esfuerzo Máximo [MPa]	529.82	Fotografía de la probeta posterior al ensayo 	
Esfuerzo de Fluencia [MPa]	463.71		
Módulo de elasticidad [GPa]	189.2		
Carga Máxima [KN]	67		
Carga de fluencia [KN]	48.64		
Porcentaje de Elongación [%]	19.50		

Tabla 3.12. Reporte del ensayo de tracción en el perfil UV del acero ASTM A36 de 10 mm. Probeta P1-2C-10-02.



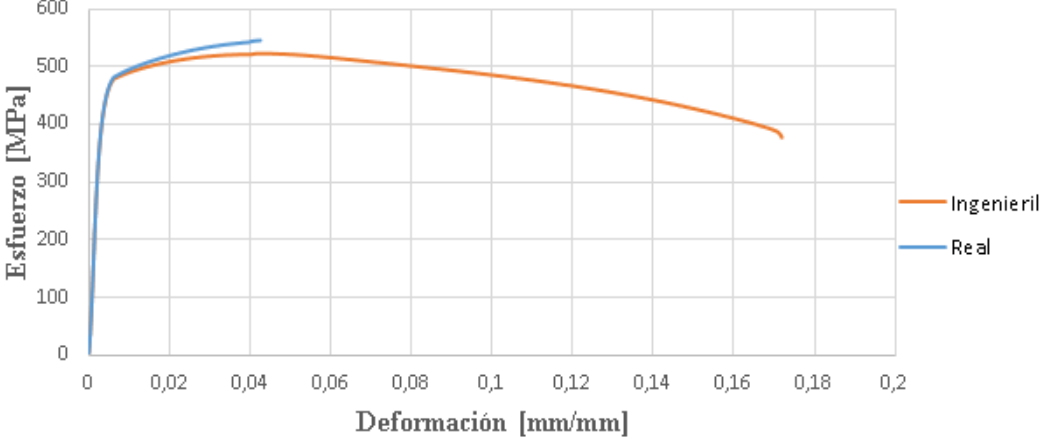

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
ENSAYO DE TRACCIÓN			
Datos informativos:			
Probeta:	P1-2C-10-02	Fecha:	15/01/2023
Material:	Acero ASTM A36	Espesor:	10 mm
Características del ensayo:	Sección Transversal	Velocidad de aplicación	
	127.09 mm ²	2 mm/s	
	Longitud de Calibración	Tiempo de ejecución	
	50 mm	273.507 seg	
Norma Aplicable:	E8/E8M	Laboratorio:	LenMav
Instrumento:	Máquina Universal de ensayos –WAW600B	Capacidad:	500 KN
Revisado por:	Ing. Francisco Peña Mg.	Realizado por:	Caiza E – Pullutasig D
RESULTADOS:			
Curva Esfuerzo - Deformación			
			
RESULTADOS REGISTRADOS:			
Esfuerzo Máximo [MPa]	522.32	Fotografía de la probeta posterior al ensayo 	
Esfuerzo de Fluencia [MPa]	459.69		
Módulo de elasticidad [GPa]	174.1		
Carga Máxima [KN]	66.38		
Carga de fluencia [KN]	58.42		
Porcentaje de Elongación [%]	19.00		

Tabla 3.13. Reporte del ensayo de tracción en el perfil UV del acero ASTM A36 de 10 mm. Probeta P1-1C-10-03.



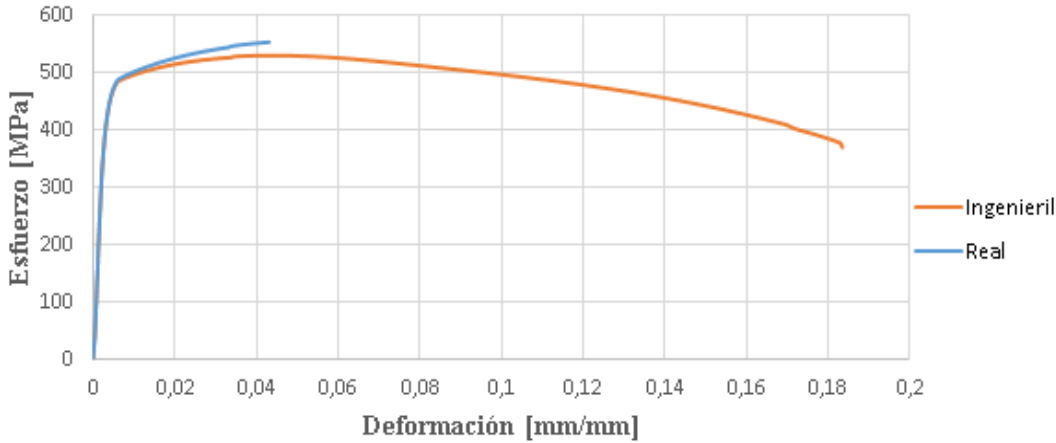

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
ENSAYO DE TRACCIÓN			
Datos informativos:			
Probeta:	P1-1C-10-03	Fecha:	15/01/2023
Material:	Acero ASTM A36	Espesor:	10 mm
Características del ensayo:	Sección Transversal	Velocidad de aplicación	
	126.87 mm ²	2 mm/s	
	Longitud de Calibración	Tiempo de ejecución	
	50 mm	319.546 seg	
Norma Aplicable:	E8/E8M	Laboratorio:	LenMav
Instrumento:	Máquina Universal de ensayos –WAW600B	Capacidad:	500 KN
Revisado por:	Ing. Francisco Peña Mg.	Realizado por:	Caiza E – Pullutasig D
RESULTADOS:			
Curva Esfuerzo - Deformación			
			
RESULTADOS REGISTRADOS:			
Esfuerzo Máximo [MPa]	528.27	Fotografía de la probeta posterior al ensayo 	
Esfuerzo de Fluencia [MPa]	466.47		
Módulo de elasticidad [GPa]	177.2		
Carga Máxima [KN]	67.02		
Carga de fluencia [KN]	59.18		
Porcentaje de Elongación [%]	18.00		

Tabla 3.14. Reporte del ensayo de tracción en el perfil UV del acero ASTM A36 de 10 mm. Probeta P1-2C-10-04.



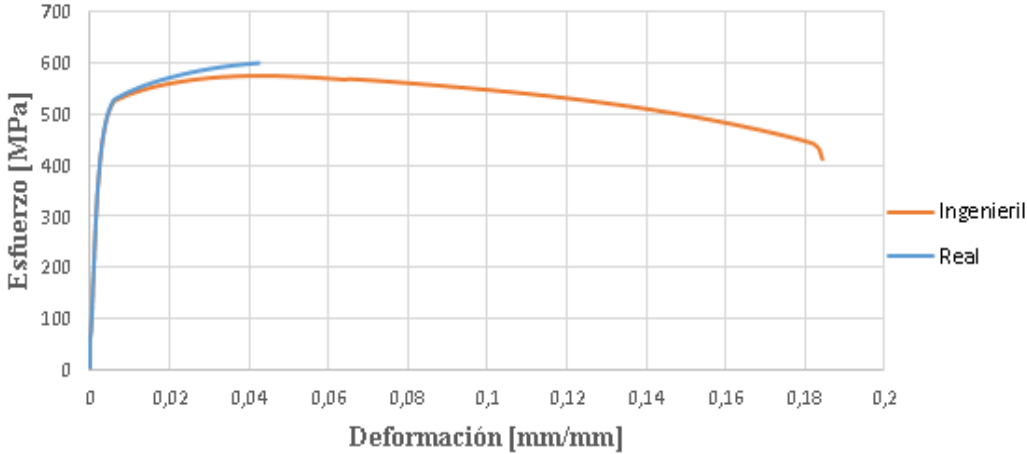

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
ENSAYO DE TRACCIÓN			
Datos informativos:			
Probeta:	P1-2C-10-04	Fecha:	15/01/2023
Material:	Acero ASTM A36	Espesor:	10 mm
Características del ensayo:	Sección Transversal	Velocidad de aplicación	
	126.58 mm ²	2 mm/s	
	Longitud de Calibración	Tiempo de ejecución	
	50 mm	315.846 seg	
Norma Aplicable:	E8/E8M	Laboratorio:	LenMav
Instrumento:	Máquina Universal de ensayos –WAW600B	Capacidad:	500 KN
Revisado por:	Ing. Francisco Peña Mg.	Realizado por:	Caiza E – Pullutasig D
RESULTADOS:			
<p>Curva Esfuerzo - Deformación</p> 			
RESULTADOS REGISTRADOS:			
Esfuerzo Máximo [MPa]	573.69	Fotografía de la probeta posterior al ensayo 	
Esfuerzo de Fluencia [MPa]	517.28		
Módulo de elasticidad [GPa]	185.2		
Carga Máxima [KN]	72.62		
Carga de fluencia [KN]	65.48		
Porcentaje de Elongación [%]	17		

Tabla 3.15. Reporte del ensayo de tracción en el perfil UV del acero ASTM A36 de 10 mm. Probeta P1-1C-10-05.



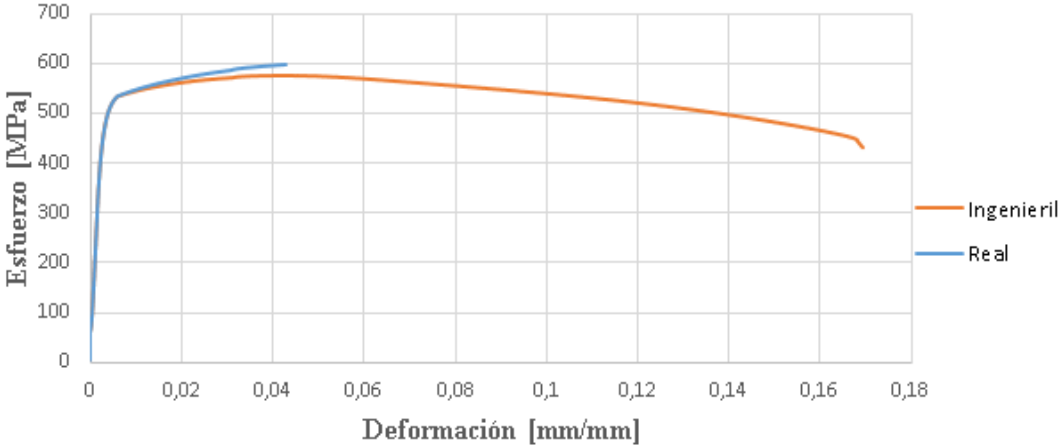

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
ENSAYO DE TRACCIÓN			
Datos informativos:			
Probeta:	P1-1C-10-05	Fecha:	15/01/2023
Material:	Acero ASTM A36	Espesor:	10 mm
Características del ensayo:	Sección Transversal	Velocidad de aplicación	
	128.81 mm ²	2 mm/s	
	Longitud de Calibración	Tiempo de ejecución	
	50 mm	288.403 seg	
Norma Aplicable:	E8/E8M	Laboratorio:	LenMav
Instrumento:	Máquina Universal de ensayos –WAW600B	Capacidad:	500 KN
Revisado por:	Ing. Francisco Peña Mg.	Realizado por:	Caiza E – Pullutasig D
RESULTADOS:			
Curva Esfuerzo - Deformación			
			
RESULTADOS REGISTRADOS:			
Esfuerzo Máximo [MPa]	574.67	Fotografía de la probeta posterior al ensayo 	
Esfuerzo de Fluencia [MPa]	495.79		
Módulo de elasticidad [GPa]	202.23		
Carga Máxima [KN]	74.02		
Carga de fluencia [KN]	63.86		
Porcentaje de Elongación [%]	20.00		

Tabla 3.16. Reporte del ensayo de tracción en el perfil UV del acero ASTM A36 de 10 mm. Probeta P1-I-10-01.



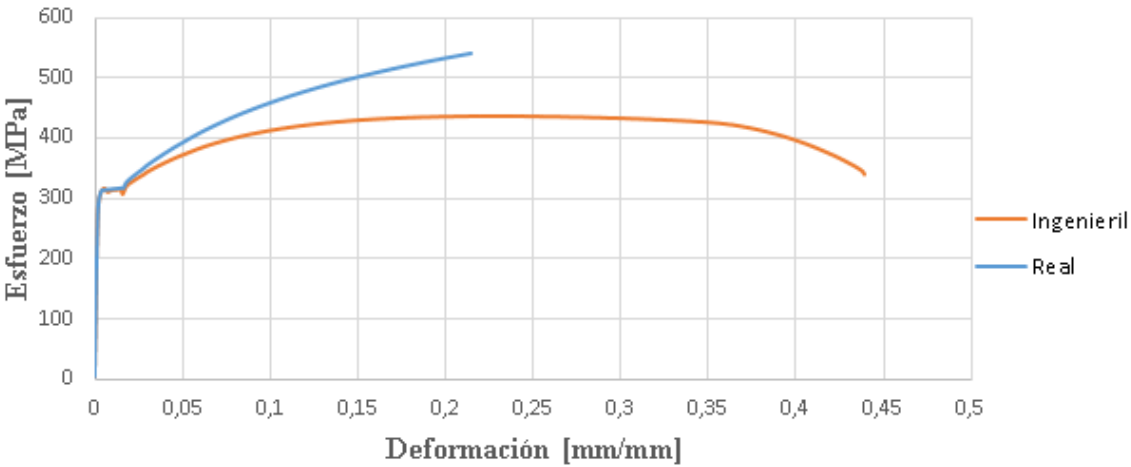

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
ENSAYO DE TRACCIÓN			
Datos informativos:			
Probeta:	P1-I-10-01	Fecha:	15/01/2023
Material:	Acero ASTM A36	Espesor:	10 mm
Características del ensayo:	Sección Transversal	Velocidad de aplicación	
	129.04 mm ²	2 mm/s	
	Longitud de Calibración	Tiempo de ejecución	
	50 mm	199.908 seg	
Norma Aplicable:	E8/E8M	Laboratorio:	LenMav
Instrumento:	Máquina Universal de ensayos –WAW600B	Capacidad:	500 KN
Revisado por:	Ing. Francisco Peña Mg.	Realizado por:	Caiza E – Pullutasig D
RESULTADOS:			
Curva Esfuerzo - Deformación			
			
RESULTADOS REGISTRADOS:			
Esfuerzo Máximo [MPa]	436.14	Fotografía de la probeta posterior al ensayo 	
Esfuerzo de Fluencia [MPa]	311.22		
Módulo de elasticidad [GPa]	168.1		
Carga Máxima [KN]	56.28		
Carga de fluencia [KN]	40.16		
Porcentaje de Elongación [%]	39.50		

Tabla 3.17. Reporte del ensayo de tracción en el perfil UV del acero ASTM A36 de 10 mm. Probeta P1-I-10-02.



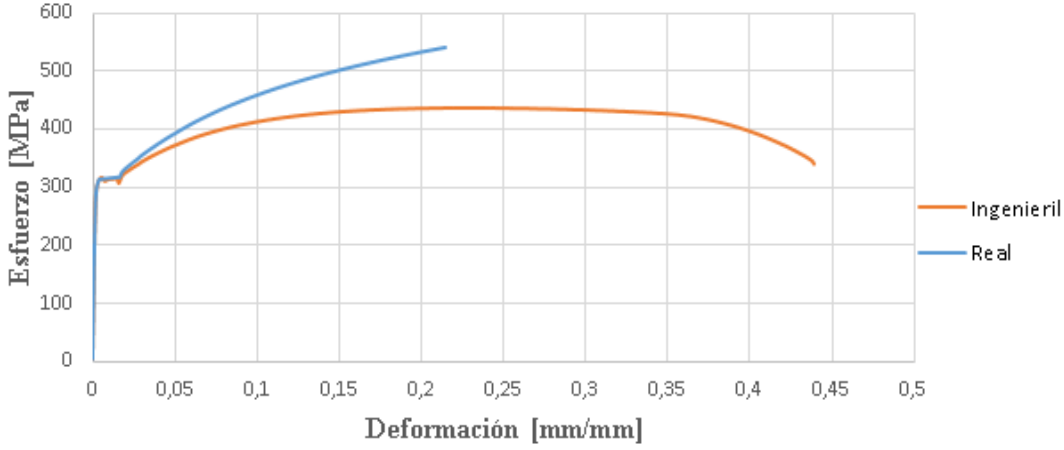

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
ENSAYO DE TRACCIÓN			
Datos informativos:			
Probeta:	P1-I-10-02	Fecha:	15/01/2023
Material:	Acero ASTM A36	Espesor:	10 mm
Características del ensayo:	Sección Transversal	Velocidad de aplicación	
	445.76 mm ²	2 mm/s	
	Longitud de Calibración	Tiempo de ejecución	
	50 mm	179.106 seg	
Norma Aplicable:	E8/E8M	Laboratorio:	LenMav
Instrumento:	Máquina Universal de ensayos –WAW600B	Capacidad:	500 KN
Revisado por:	Ing. Francisco Peña Mg.	Realizado por:	Caiza E – Pullutasig D
RESULTADOS:			
Curva Esfuerzo - Deformación			
			
RESULTADOS REGISTRADOS:			
Esfuerzo Máximo [MPa]	436.14	Fotografía de la probeta posterior al ensayo 	
Esfuerzo de Fluencia [MPa]	321.12		
Módulo de elasticidad [GPa]	138.2		
Carga Máxima [KN]	56.22		
Carga de fluencia [KN]	40.50		
Porcentaje de Elongación [%]	32.50		

Tabla 3.18. Reporte del ensayo de tracción en el perfil UV del acero ASTM A36 de 10 mm. Probeta P1-I-10-03.



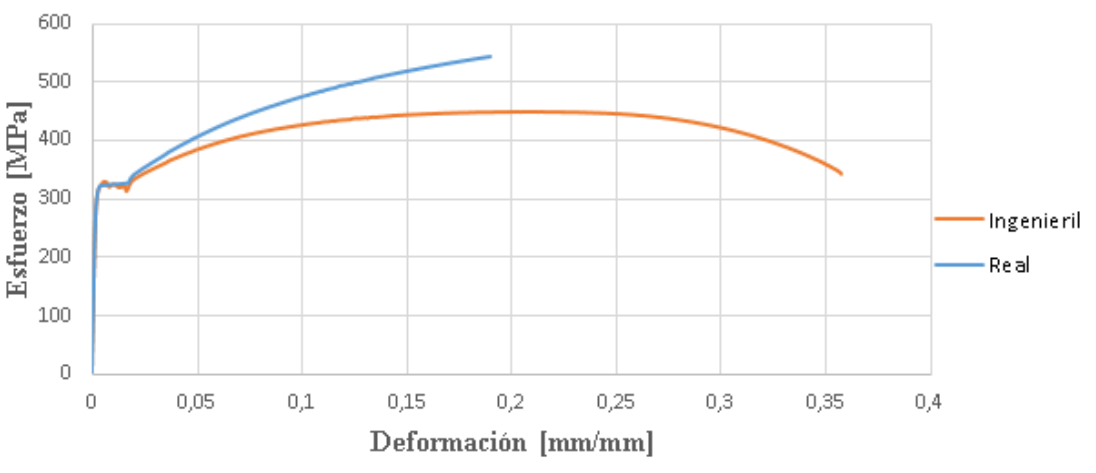

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
ENSAYO DE TRACCIÓN			
Datos informativos:			
Probeta:	P1-I-10-03	Fecha:	15/01/2023
Material:	Acero ASTM A36	Espesor:	10 mm
Características del ensayo:	Sección Transversal	Velocidad de aplicación	
	124.92 mm ²	2 mm/s	
	Longitud de Calibración	Tiempo de ejecución	
	50 mm	161.505 seg	
Norma Aplicable:	E8/E8M	Laboratorio:	LenMav
Instrumento:	Máquina Universal de ensayos –WAW600B	Capacidad:	500 KN
Revisado por:	Ing. Francisco Peña Mg.	Realizado por:	Caiza E – Pullutasig D
RESULTADOS:			
Curva Esfuerzo - Deformación			
			
RESULTADOS REGISTRADOS:			
Esfuerzo Máximo [MPa]	448.77	Fotografía de la probeta posterior al ensayo 	
Esfuerzo de Fluencia [MPa]	320.53		
Módulo de elasticidad [GPa]	170.5		
Carga Máxima [KN]	56.06		
Carga de fluencia [KN]	40.04		
Porcentaje de Elongación [%]	32.00		

Tabla 3.19. Reporte del ensayo de tracción en el perfil UV del acero ASTM A36 de 10 mm. Probeta P1-I-10-04.



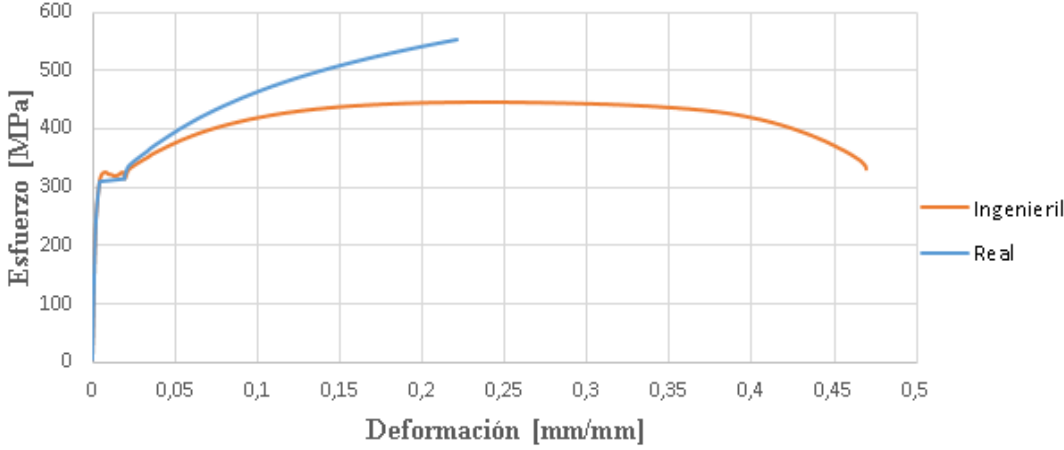

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA 			
ENSAYO DE TRACCIÓN			
Datos informativos:			
Probeta:	P1-I-10-04	Fecha:	15/01/2023
Material:	Acero ASTM A36	Espesor:	10 mm
Características del ensayo:	Sección Transversal	Velocidad de aplicación	
	126.44 mm ²	2 mm/s	
	Longitud de Calibración	Tiempo de ejecución	
	50 mm	206.508 seg	
Norma Aplicable:	E8/E8M	Laboratorio:	LenMav
Instrumento:	Máquina Universal de ensayos –WAW600B	Capacidad:	500 KN
Revisado por:	Ing. Francisco Peña Mg.	Realizado por:	Caiza E – Pullutasig D
RESULTADOS:			
Curva Esfuerzo - Deformación			
			
RESULTADOS REGISTRADOS:			
Esfuerzo Máximo [MPa]	444.17	Fotografía de la probeta posterior al ensayo 	
Esfuerzo de Fluencia [MPa]	308.77		
Módulo de elasticidad [GPa]	130.1		
Carga Máxima [KN]	56.16		
Carga de fluencia [KN]	39.04		
Porcentaje de Elongación [%]	43.00		

Tabla 3.20. Reporte del ensayo de tracción en el perfil UV del acero ASTM A36 de 10 mm. Probeta P1-I-10-05.



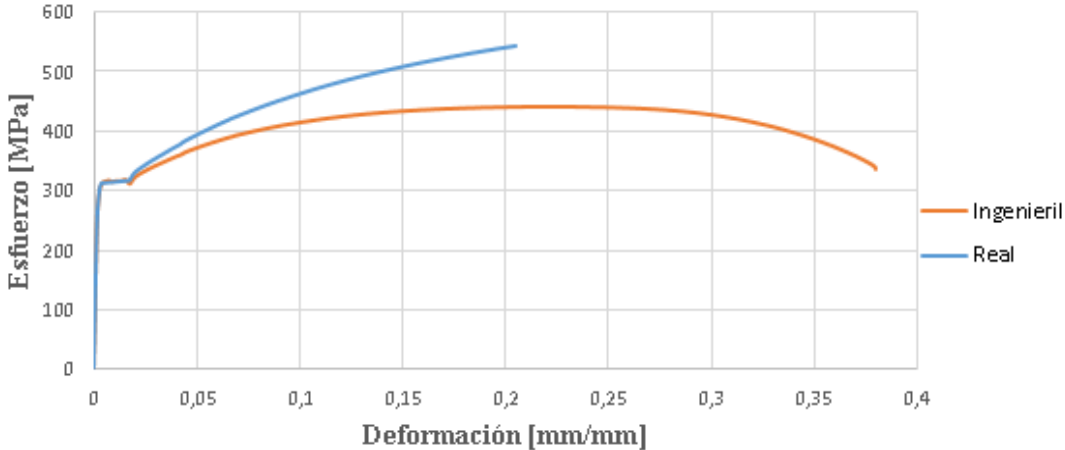

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
ENSAYO DE TRACCIÓN			
Datos informativos:			
Probeta:	P1-I-10-05	Fecha:	15/01/2023
Material:	Acero ASTM A36	Espesor:	10 mm
Características del ensayo:	Sección Transversal	Velocidad de aplicación	
	127.41 mm ²	2 mm/s	
	Longitud de Calibración	Tiempo de ejecución	
	50 mm	192.357 seg	
Norma Aplicable:	E8/E8M	Laboratorio:	LenMav
Instrumento:	Máquina Universal de ensayos –WAW600B	Capacidad:	500 KN
Revisado por:	Ing. Francisco Peña Mg.	Realizado por:	Caiza E – Pullutasig D
RESULTADOS:			
Curva Esfuerzo - Deformación			
			
RESULTADOS REGISTRADOS:			
Esfuerzo Máximo [MPa]	441.56	Fotografía de la probeta posterior al ensayo	
Esfuerzo de Fluencia [MPa]	311.43		
Módulo de elasticidad [GPa]	171.3		
Carga Máxima [KN]	56.26		
Carga de fluencia [KN]	39.68		
Porcentaje de Elongación [%]	34.00		

Tabla 3.21. Reporte del ensayo de tracción en el perfil UV del acero ASTM A36 de 12 mm. Probeta P1-A1-12-01.



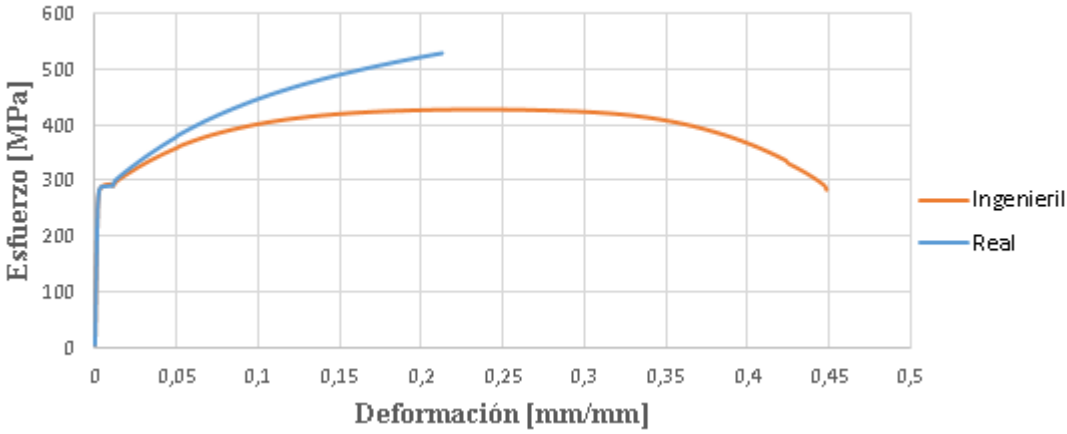

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
ENSAYO DE TRACCIÓN			
Datos informativos:			
Probeta:	P1-A1-12-01	Fecha:	15/01/2023
Material:	Acero ASTM A36	Espesor:	12 mm
Características del ensayo:	Sección Transversal	Velocidad de aplicación	
	155.54 mm ²	2 mm/s	
	Longitud de Calibración	Tiempo de ejecución	
	50 mm	528.195 seg	
Norma Aplicable:	E8/E8M	Laboratorio :	LenMav
Instrumento:	Máquina Universal de ensayos –WAW600B	Capacidad:	500 KN
Revisado por:	Ing. Francisco Peña Mg.	Realizado por:	Caiza E – Pullutasig D
RESULTADOS:			
Curva Esfuerzo - Deformación			
			
RESULTADOS REGISTRADOS:			
Esfuerzo Máximo [MPa]	427.27	Fotografía de la probeta posterior al ensayo 	
Esfuerzo de Fluencia [MPa]	286,99		
Módulo de elasticidad [GPa]	152.7		
Carga Máxima [KN]	66.46		
Carga de fluencia [KN]	44,64		
Porcentaje de Elongación [%]	39.50		

Tabla 3.22. Reporte del ensayo de tracción en el perfil UV del acero ASTM A36 de 12 mm. Probeta P1-A1-12-02.



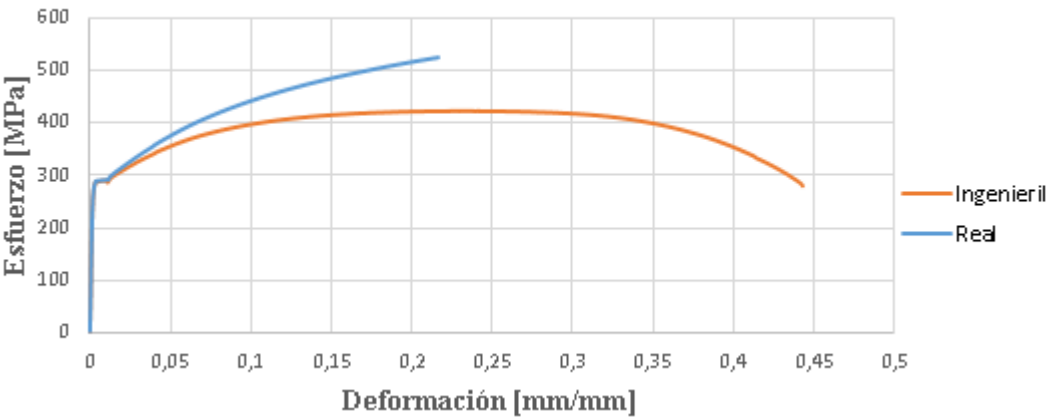

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
ENSAYO DE TRACCIÓN			
Datos informativos:			
Probeta:	P1-A1-12-02	Fecha:	15/01/2023
Material:	Acero ASTM A36	Espesor:	12 mm
Características del ensayo:	Sección Transversal	Velocidad de aplicación	
	157.50 mm ²	2 mm/s	
	Longitud de Calibración	Tiempo de ejecución	
	50 mm	468.209 seg	
Norma Aplicable:	E8/E8M	Laboratorio:	LenMav
Instrumento:	Máquina Universal de ensayos –WAW600B	Capacidad:	500 KN
Revisado por:	Ing. Francisco Peña Mg.	Realizado por:	Caiza E – Pullutasig D
RESULTADOS:			
Curva Esfuerzo - Deformación			
			
RESULTADOS REGISTRADOS:			
Esfuerzo Máximo [MPa]	421.84	Fotografía de la probeta posterior al ensayo 	
Esfuerzo de Fluencia [MPa]	287.87		
Módulo de elasticidad [GPa]	173.00		
Carga Máxima [KN]	66.44		
Carga de fluencia [KN]	45.34		
Porcentaje de Elongación [%]	40.50		

Tabla 3.23. Reporte del ensayo de tracción en el perfil UV del acero ASTM A36 de 12 mm. Probeta P1-A1-12-03.



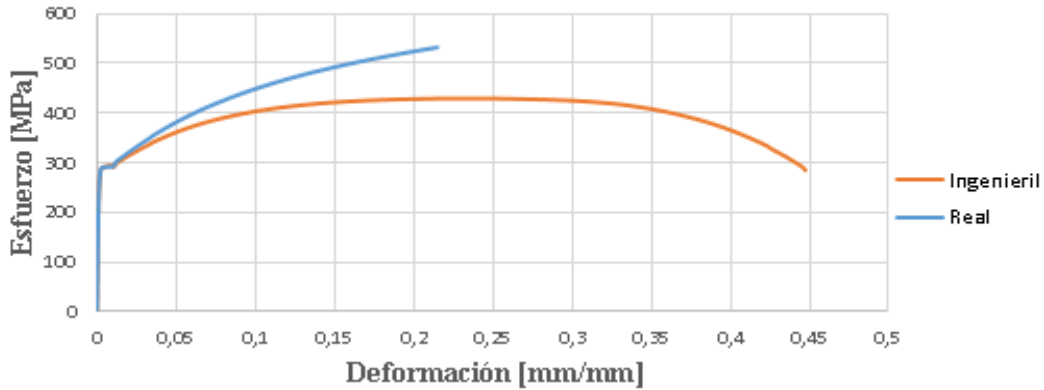

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
ENSAYO DE TRACCIÓN			
Datos informativos:			
Probeta:	P1-A1-12-03	Fecha:	15/01/2023
Material:	Acero ASTM A36	Espesor:	12 mm
Características del ensayo:	Sección Transversal	Velocidad de aplicación	
	152.74 mm ²	2 mm/s	
	Longitud de Calibración	Tiempo de ejecución	
	50 mm	402.075 seg	
Norma Aplicable:	E8/E8M	Laboratorio:	LenMav
Instrumento:	Máquina Universal de ensayos –WAW600B	Capacidad:	500 KN
Revisado por:	Ing. Francisco Peña Mg.	Realizado por:	Caiza E – Pullutasig D
RESULTADOS:			
Curva Esfuerzo - Deformación			
			
RESULTADOS REGISTRADOS:			
Esfuerzo Máximo [MPa]	428.58	Fotografía de la probeta posterior al ensayo 	
Esfuerzo de Fluencia [MPa]	288.73		
Módulo de elasticidad [GPa]	225.7		
Carga Máxima [KN]	65.46		
Carga de fluencia [KN]	44.10		
Porcentaje de Elongación [%]	40.00		

Tabla 3.24. Reporte del ensayo de tracción en el perfil UV del acero ASTM A36 de 12 mm. Probeta P1-A1-12-04.



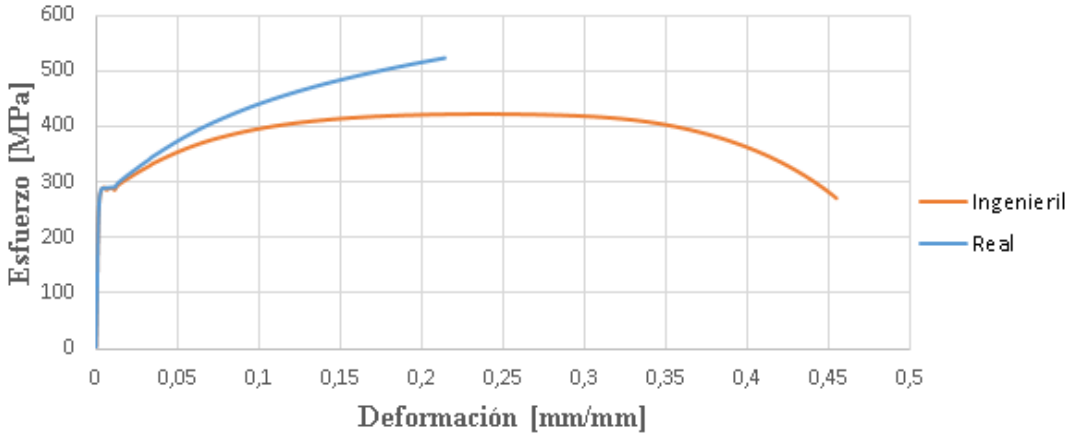

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
ENSAYO DE TRACCIÓN			
Datos informativos:			
Probeta:	P1-A1-12-04	Fecha:	15/01/2023
Material:	Acero ASTM A36	Espesor:	12 mm
Características del ensayo:	Sección Transversal	Velocidad de aplicación	
	156.53 mm ²	2 mm/s	
	Longitud de Calibración	Tiempo de ejecución	
	50 mm	391.978 seg	
Norma Aplicable:	E8/E8M	Laboratorio:	LenMav
Instrumento:	Máquina Universal de ensayos –WAW600B	Capacidad:	500 KN
Revisado por:	Ing. Francisco Peña Mg.	Realizado por:	Caiza E – Pullutasig D
RESULTADOS:			
Curva Esfuerzo - Deformación			
			
RESULTADOS REGISTRADOS:			
Esfuerzo Máximo [MPa]	422.02	Fotografía de la probeta posterior al ensayo 	
Esfuerzo de Fluencia [MPa]	287.10		
Módulo de elasticidad [GPa]	183.9		
Carga Máxima [KN]	66.06		
Carga de fluencia [KN]	44.94		
Porcentaje de Elongación [%]	40.50		

Tabla 3.25. Reporte del ensayo de tracción en el perfil UV del acero ASTM A36 de 12 mm. Probeta P1-A1-12-05.



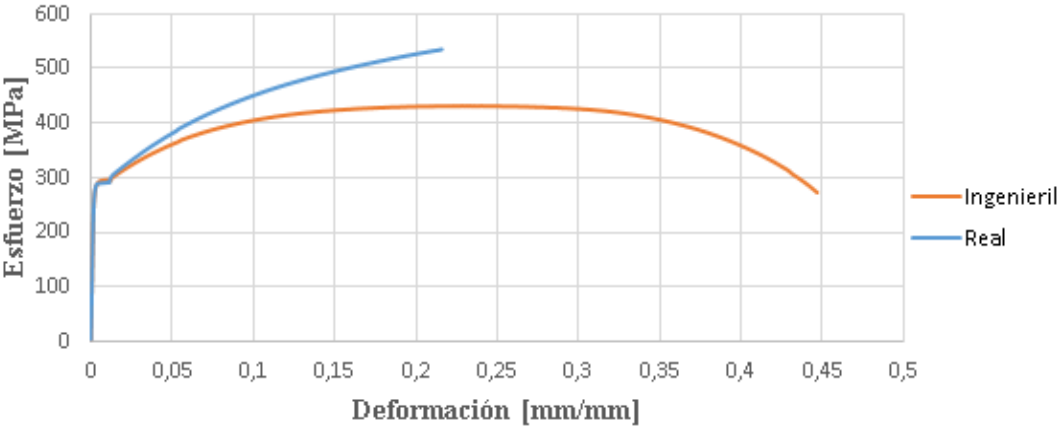

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
ENSAYO DE TRACCIÓN			
Datos informativos:			
Probeta:	P1-A1-12-05	Fecha:	15/01/2023
Material:	Acero ASTM A36	Espesor:	12 mm
Características del ensayo:	Sección Transversal	Velocidad de aplicación	
	151.89 mm ²	2 mm/s	
	Longitud de Calibración	Tiempo de ejecución	
	50 mm	393.078 seg	
Norma Aplicable:	E8/E8M	Laboratorio:	LenMav
Instrumento:	Máquina Universal de ensayos –WAW600B	Capacidad:	500 KN
Revisado por:	Ing. Francisco Peña Mg.	Realizado por:	Caiza E – Pullutasig D
RESULTADOS:			
Curva Esfuerzo - Deformación			
			
RESULTADOS REGISTRADOS:			
Esfuerzo Máximo [MPa]	430.44	Fotografía de la probeta posterior al ensayo 	
Esfuerzo de Fluencia [MPa]	287.31		
Módulo de elasticidad [GPa]	157.4		
Carga Máxima [KN]	65.38		
Carga de fluencia [KN]	43.64		
Porcentaje de Elongación [%]	41.00		

Tabla 3.26. Reporte del ensayo de tracción en el perfil UV del acero ASTM A36 de 12 mm. Probeta P1-A2-12-01.



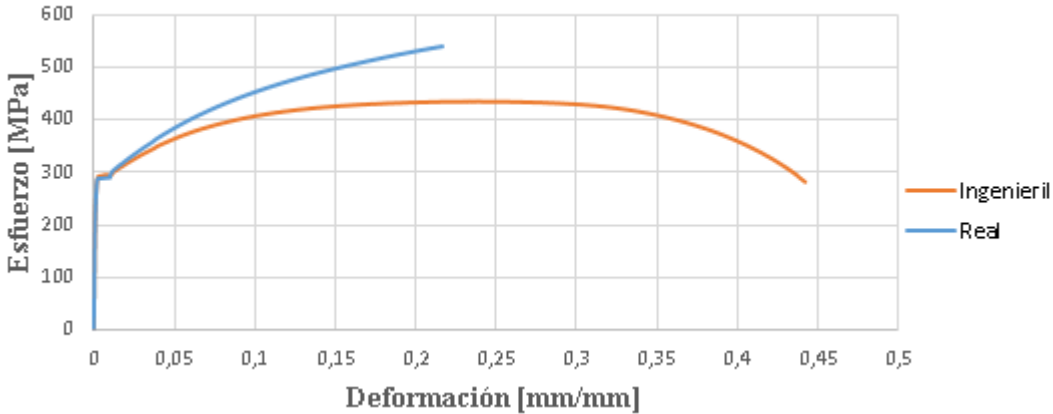

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
ENSAYO DE TRACCIÓN			
Datos informativos:			
Probeta:	P1-A2-12-01	Fecha:	15/01/2023
Material:	Acero ASTM A36	Espesor:	12 mm
Características del ensayo:	Sección Transversal	Velocidad de aplicación	
	154.92 mm ²	2 mm/s	
	Longitud de Calibración	Tiempo de ejecución	
	50 mm	410.673 seg	
Norma Aplicable:	E8/E8M	Laboratorio:	LenMav
Instrumento:	Máquina Universal de ensayos –WAW600B	Capacidad:	500 KN
Revisado por:	Ing. Francisco Peña Mg.	Realizado por:	Caiza E – Pullutasig D
RESULTADOS:			
Curva Esfuerzo - Deformación			
			
RESULTADOS REGISTRADOS:			
Esfuerzo Máximo [MPa]	434.17	Fotografía de la probeta posterior al ensayo 	
Esfuerzo de Fluencia [MPa]	292.42		
Módulo de elasticidad [GPa]	275.1		
Carga Máxima [KN]	67.26		
Carga de fluencia [KN]	45.30		
Porcentaje de Elongación [%]	39.50		

Tabla 3.27. Reporte del ensayo de tracción en el perfil UV del acero ASTM A36 de 12 mm. Probeta P1-A2-12-02.



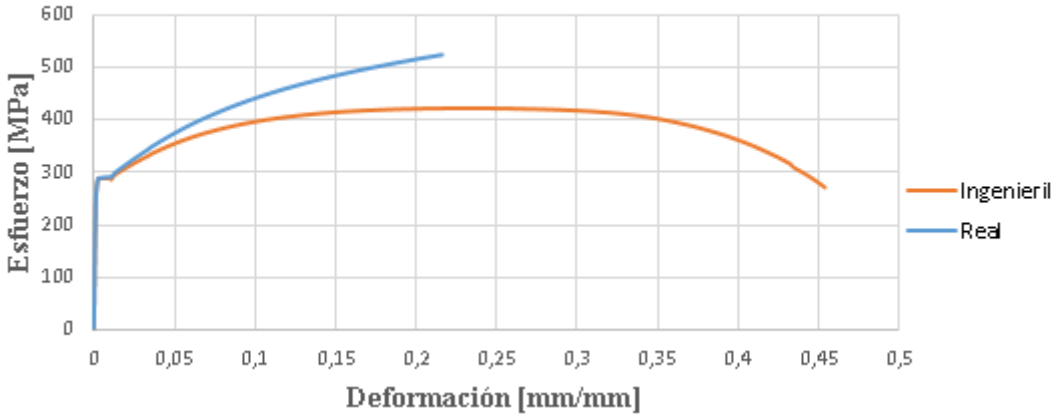

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
ENSAYO DE TRACCIÓN			
Datos informativos:			
Probeta:	P1-A2-12-02	Fecha:	15/01/2023
Material:	Acero ASTM A36	Espesor:	12 mm
Características del ensayo:	Sección Transversal	Velocidad de aplicación	
	157.90 mm ²	2 mm/s	
	Longitud de Calibración	Tiempo de ejecución	
	50 mm	450.014 seg	
Norma Aplicable:	E8/E8M	Laboratorio:	LenMav
Instrumento:	Máquina Universal de ensayos –WAW600B	Capacidad:	500 KN
Revisado por:	Ing. Francisco Peña Mg.	Realizado por:	Caiza E – Pullutasig D
RESULTADOS:			
<p>Curva Esfuerzo - Deformación</p> 			
RESULTADOS REGISTRADOS:			
Esfuerzo Máximo [MPa]	421.53	Fotografía de la probeta posterior al ensayo 	
Esfuerzo de Fluencia [MPa]	288.79		
Módulo de elasticidad [GPa]	222.3		
Carga Máxima [KN]	66.56		
Carga de fluencia [KN]	45.60		
Porcentaje de Elongación [%]	42.00		

Tabla 3.28. Reporte del ensayo de tracción en el perfil UV del acero ASTM A36 de 12 mm. Probeta P1-A2-12-03.



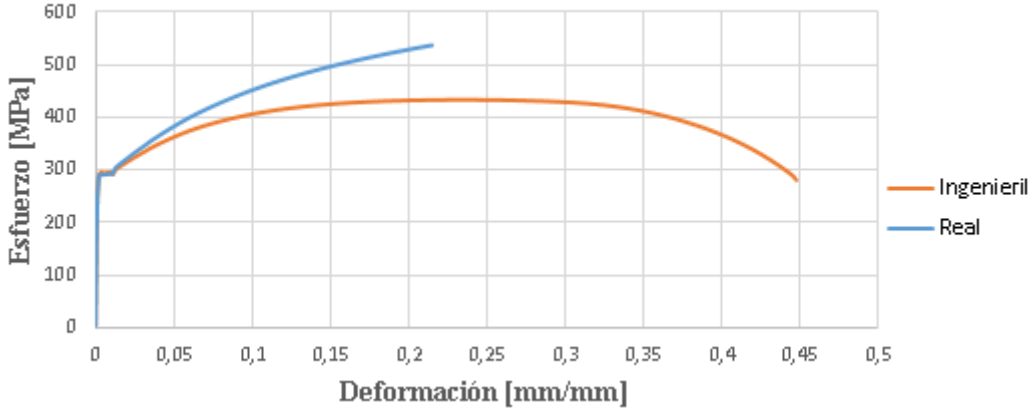

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
ENSAYO DE TRACCIÓN			
Datos informativos:			
Probeta:	P1-A2-12-03	Fecha:	15/01/2023
Material:	Acero ASTM A36	Espesor:	12 mm
Características del ensayo:	Sección Transversal	Velocidad de aplicación	
	154.47 mm ²	2 mm/s	
	Longitud de Calibración	Tiempo de ejecución	
	50 mm	395.977 seg	
Norma Aplicable:	E8/E8M	Laboratorio:	LenMav
Instrumento:	Máquina Universal de ensayos –WAW600B	Capacidad:	500 KN
Revisado por:	Ing. Francisco Peña Mg.	Realizado por:	Caiza E – Pullutasig D
RESULTADOS:			
Curva Esfuerzo - Deformación			
			
RESULTADOS REGISTRADOS:			
Esfuerzo Máximo [MPa]	432.70	Fotografía de la probeta posterior al ensayo 	
Esfuerzo de Fluencia [MPa]	294.29		
Módulo de elasticidad [GPa]	240.2		
Carga Máxima [KN]	66.84		
Carga de fluencia [KN]	45.46		
Porcentaje de Elongación [%]	38.50		

Tabla 3.29. Reporte del ensayo de tracción en el perfil UV del acero ASTM A36 de 12 mm. Probeta P1-A2-12-04.



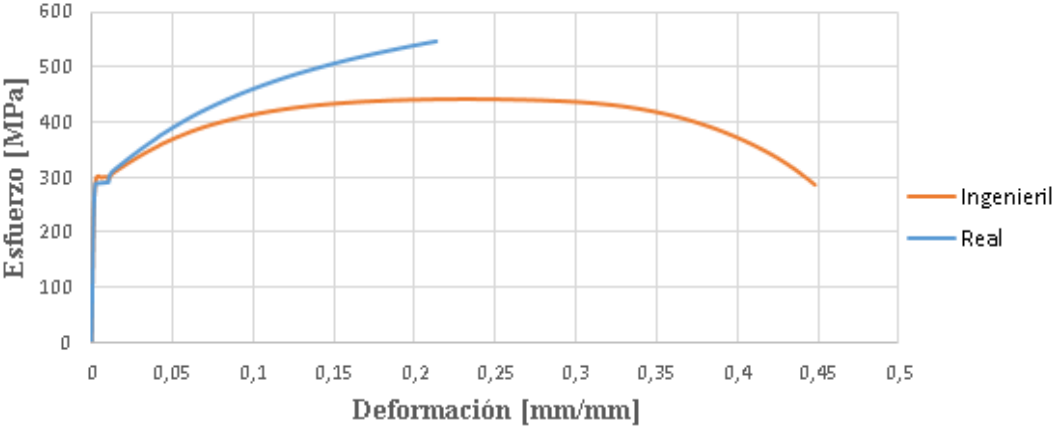

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
ENSAYO DE TRACCIÓN			
Datos informativos:			
Probeta:	P1-A2-12-04	Fecha:	15/01/2023
Material:	Acero ASTM A36	Espesor:	12 mm
Características del ensayo:	Sección Transversal	Velocidad de aplicación	
	151.38 mm ²	2 mm/s	
	Longitud de Calibración	Tiempo de ejecución	
	50 mm	426.070 seg	
Norma Aplicable:	E8/E8M	Laboratorio:	LenMav
Instrumento:	Máquina Universal de ensayos –WAW600B	Capacidad:	500 KN
Revisado por:	Ing. Francisco Peña Mg.	Realizado por:	Caiza E – Pullutasig D
RESULTADOS:			
Curva Esfuerzo - Deformación			
			
RESULTADOS REGISTRADOS:			
Esfuerzo Máximo [MPa]	441.13	Fotografía de la probeta posterior al ensayo 	
Esfuerzo de Fluencia [MPa]	300.43		
Módulo de elasticidad [GPa]	196.7		
Carga Máxima [KN]	66.78		
Carga de fluencia [KN]	45.48		
Porcentaje de Elongación [%]	38.50		

Tabla 3.30. Reporte del ensayo de tracción en el perfil UV del acero ASTM A36 de 12 mm. Probeta P1-A2-12-05.



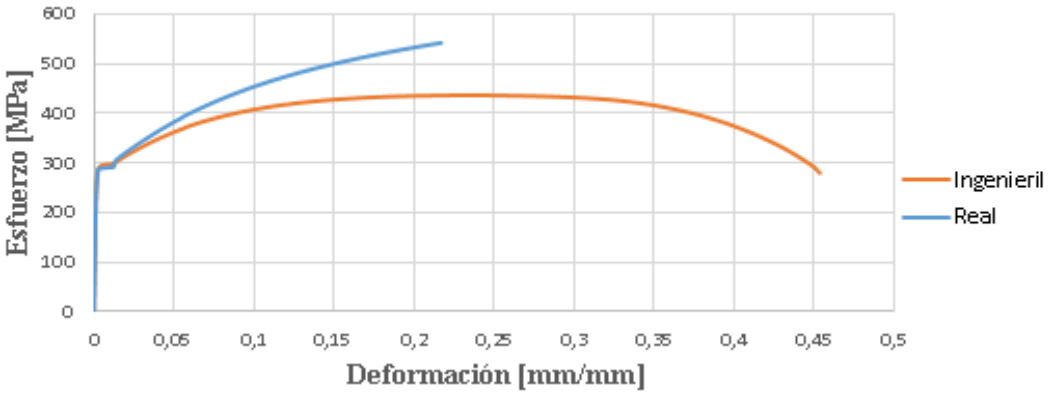

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
ENSAYO DE TRACCIÓN			
Datos informativos:			
Probeta:	P1-A2-12-05	Fecha:	15/01/2023
Material:	Acero ASTM A36	Espesor:	12 mm
Características del ensayo:	Sección Transversal	Velocidad de aplicación	
	155.05 mm ²	2 mm/s	
	Longitud de Calibración	Tiempo de ejecución	
	50 mm	407.724 seg	
Norma Aplicable:	E8/E8M	Laboratorio:	LenMav
Instrumento:	Máquina Universal de ensayos –WAW600B	Capacidad:	500 KN
Revisado por:	Ing. Francisco Peña Mg.	Realizado por:	Caiza E – Pullutasig D
RESULTADOS:			
Curva Esfuerzo - Deformación			
			
RESULTADOS REGISTRADOS:			
Esfuerzo Máximo [MPa]	435.48	Fotografía de la probeta posterior al ensayo 	
Esfuerzo de Fluencia [MPa]	291.27		
Módulo de elasticidad [GPa]	205.5		
Carga Máxima [KN]	67.52		
Carga de fluencia [KN]	45.16		
Porcentaje de Elongación [%]	41.00		

Tabla 3.31. Reporte del ensayo de tracción en el perfil UV del acero ASTM A36 de 12 mm. Probeta P1-1C-12-01.



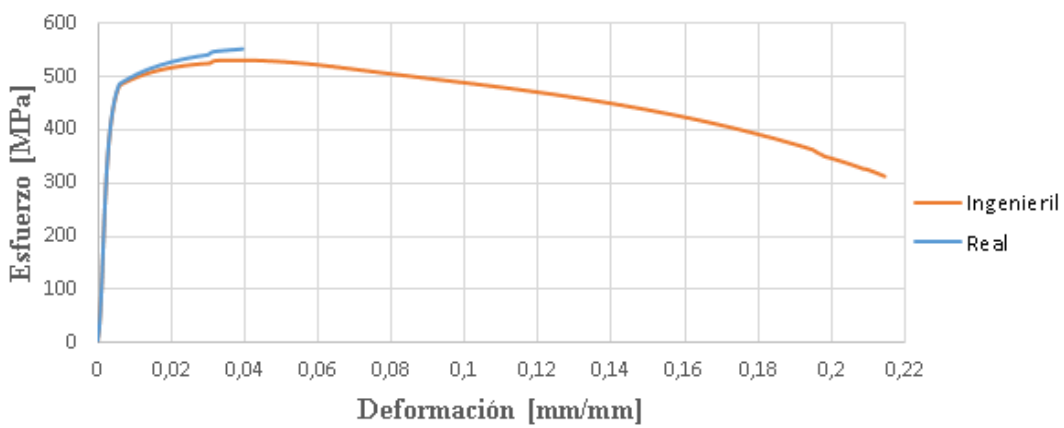

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA 			
ENSAYO DE TRACCIÓN			
Datos informativos:			
Probeta:	P1-1C-12-01	Fecha:	15/01/2023
Material:	Acero ASTM A36	Espesor:	12 mm
Características del ensayo:	Sección Transversal	Velocidad de aplicación	
	154.26 mm ²	2 mm/s	
	Longitud de Calibración	Tiempo de ejecución	
	50 mm	363.935 seg	
Norma Aplicable:	E8/E8M	Laboratorio:	LenMav
Instrumento:	Máquina Universal de ensayos –WAW600B	Capacidad:	500 KN
Revisado por:	Ing. Francisco Peña Mg.	Realizado por:	Caiza E – Pullutasig D
RESULTADOS:			
Curva Esfuerzo - Deformación			
			
RESULTADOS REGISTRADOS:			
Esfuerzo Máximo [MPa]	530.52	Fotografía de la probeta posterior al ensayo 	
Esfuerzo de Fluencia [MPa]	469.33		
Módulo de elasticidad [GPa]	172.2		
Carga Máxima [KN]	81.84		
Carga de fluencia [KN]	72.40		
Porcentaje de Elongación [%]	21.00		

Tabla 3.32. Reporte del ensayo de tracción en el perfil UV del acero ASTM A36 de 12 mm. Probeta P1-2C-12-02.



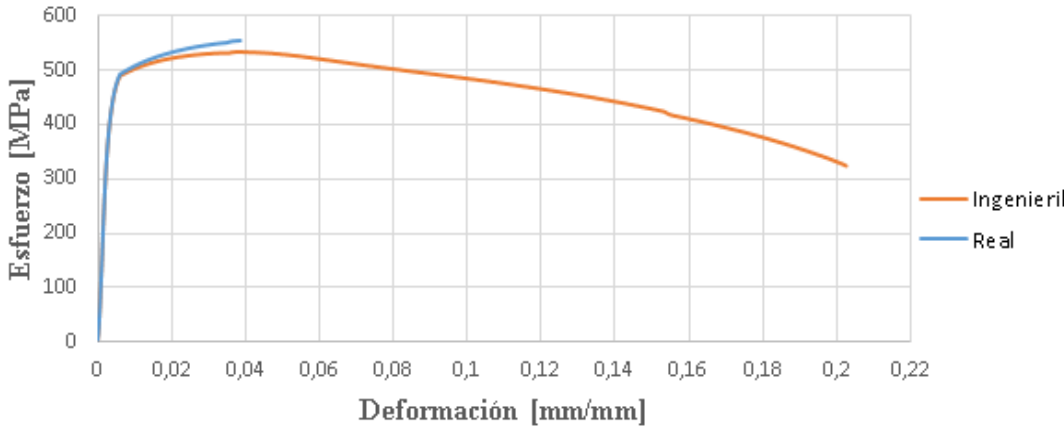

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
ENSAYO DE TRACCIÓN			
Datos informativos:			
Probeta:	P1-2C-12-02	Fecha:	15/01/2023
Material:	Acero ASTM A36	Espesor:	12 mm
Características del ensayo:	Sección Transversal	Velocidad de aplicación	
	153.37 mm ²	2 mm/s	
	Longitud de Calibración	Tiempo de ejecución	
	50 mm	253.861 seg	
Norma Aplicable:	E8/E8M	Laboratorio:	LenMav
Instrumento:	Máquina Universal de ensayos –WAW600B	Capacidad:	500 KN
Revisado por:	Ing. Francisco Peña Mg.	Realizado por:	Caiza E – Pullutasig D
RESULTADOS:			
Curva Esfuerzo - Deformación			
			
RESULTADOS REGISTRADOS:			
Esfuerzo Máximo [MPa]	533.22	Fotografía de la probeta posterior al ensayo 	
Esfuerzo de Fluencia [MPa]	471.54		
Módulo de elasticidad [GPa]	167.8		
Carga Máxima [KN]	81.78		
Carga de fluencia [KN]	72.32		
Porcentaje de Elongación [%]	19.50		

Tabla 3.33. Reporte del ensayo de tracción en el perfil UV del acero ASTM A36 de 12 mm. Probeta P1-1C-12-03.



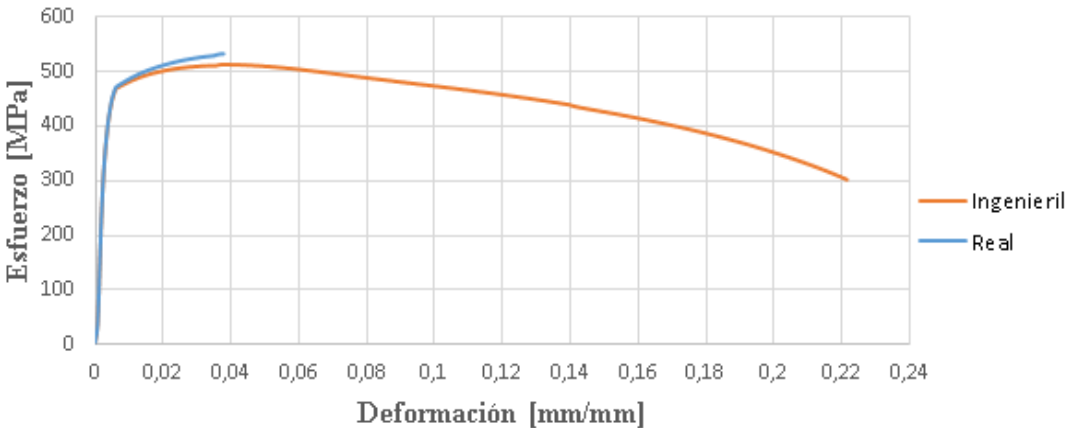

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA 			
ENSAYO DE TRACCIÓN			
Datos informativos:			
Probeta:	P1-1C-12-03	Fecha:	15/01/2023
Material:	Acero ASTM A36	Espesor:	12 mm
Características del ensayo:	Sección Transversal	Velocidad de aplicación	
	159.20 mm ²	2 mm/s	
	Longitud de Calibración	Tiempo de ejecución	
	50 mm	269.458 seg	
Norma Aplicable:	E8/E8M	Laboratorio:	LenMav
Instrumento:	Máquina Universal de ensayos –WAW600B	Capacidad:	500 KN
Revisado por:	Ing. Francisco Peña Mg.	Realizado por:	Caiza E – Pullutasig D
RESULTADOS:			
Curva Esfuerzo - Deformación			
			
RESULTADOS REGISTRADOS:			
Esfuerzo Máximo [MPa]	512.57	Fotografía de la probeta posterior al ensayo 	
Esfuerzo de Fluencia [MPa]	446.49		
Módulo de elasticidad [GPa]	190.5		
Carga Máxima [KN]	81.60		
Carga de fluencia [KN]	71.08		
Porcentaje de Elongación [%]	22.50		

Tabla 3.34. Reporte del ensayo de tracción en el perfil UV del acero ASTM A36 de 12 mm. Probeta P1-2C-12-04.



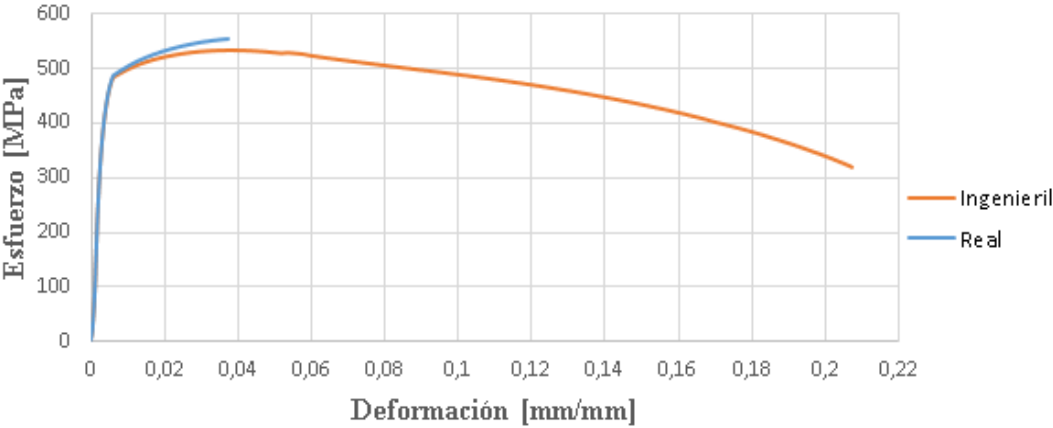

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
ENSAYO DE TRACCIÓN			
Datos informativos:			
Probeta:	P1-2C-12-04	Fecha:	15/01/2023
Material:	Acero ASTM A36	Espesor:	12 mm
Características del ensayo:	Sección Transversal	Velocidad de aplicación	
	152.16 mm ²	2 mm/s	
	Longitud de Calibración	Tiempo de ejecución	
	50 mm	212.008 seg	
Norma Aplicable:	E8/E8M	Laboratorio:	LenMav
Instrumento:	Máquina Universal de ensayos –WAW600B	Capacidad:	500 KN
Revisado por:	Ing. Francisco Peña Mg.	Realizado por:	Caiza E – Pullutasig D
RESULTADOS:			
Curva Esfuerzo - Deformación			
			
RESULTADOS REGISTRADOS:			
Esfuerzo Máximo [MPa]	533.24	Fotografía de la probeta posterior al ensayo 	
Esfuerzo de Fluencia [MPa]	460.95		
Módulo de elasticidad [GPa]	191.9		
Carga Máxima [KN]	81.14		
Carga de fluencia [KN]	70.14		
Porcentaje de Elongación [%]	21.50		

Tabla 3.35. Reporte del ensayo de tracción en el perfil UV del acero ASTM A36 de 12 mm. Probeta P1-1C-12-05.



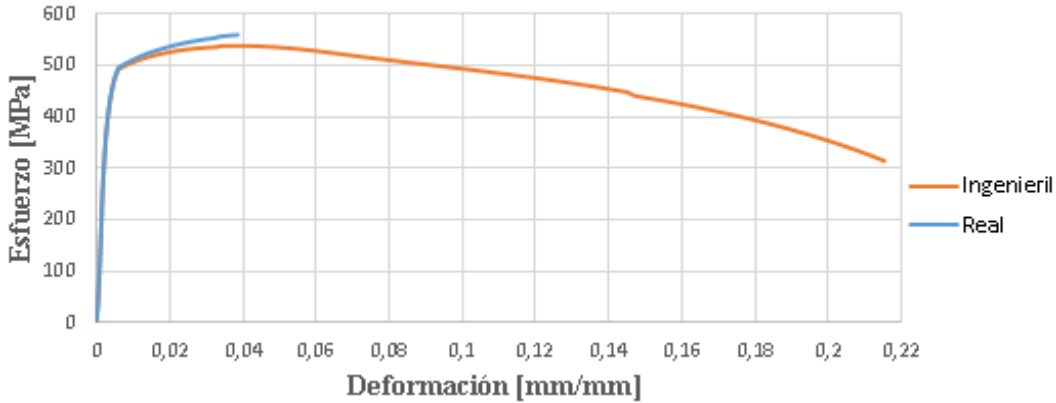

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
ENSAYO DE TRACCIÓN			
Datos informativos:			
Probeta:	P1-1C-12-05	Fecha:	15/01/2023
Material:	Acero ASTM A36	Espesor:	12 mm
Características del ensayo:	Sección Transversal	Velocidad de aplicación	
	150.86 mm ²	2 mm/s	
	Longitud de Calibración	Tiempo de ejecución	
	50 mm	266.958 seg	
Norma Aplicable:	E8/E8M	Laboratorio:	LenMav
Instrumento:	Máquina Universal de ensayos –WAW600B	Capacidad:	500 KN
Revisado por:	Ing. Francisco Peña Mg.	Realizado por:	Caiza E – Pullutasig D
RESULTADOS:			
Curva Esfuerzo - Deformación			
			
RESULTADOS REGISTRADOS:			
Esfuerzo Máximo [MPa]	538.25	Fotografía de la probeta posterior al ensayo 	
Esfuerzo de Fluencia [MPa]	471.57		
Módulo de elasticidad [GPa]	179.0		
Carga Máxima [KN]	81.20		
Carga de fluencia [KN]	71.14		
Porcentaje de Elongación [%]	21.50		

Tabla 3.36. Reporte del ensayo de tracción en el perfil UV del acero ASTM A36 de 12 mm. Probeta P1-I-12-01.



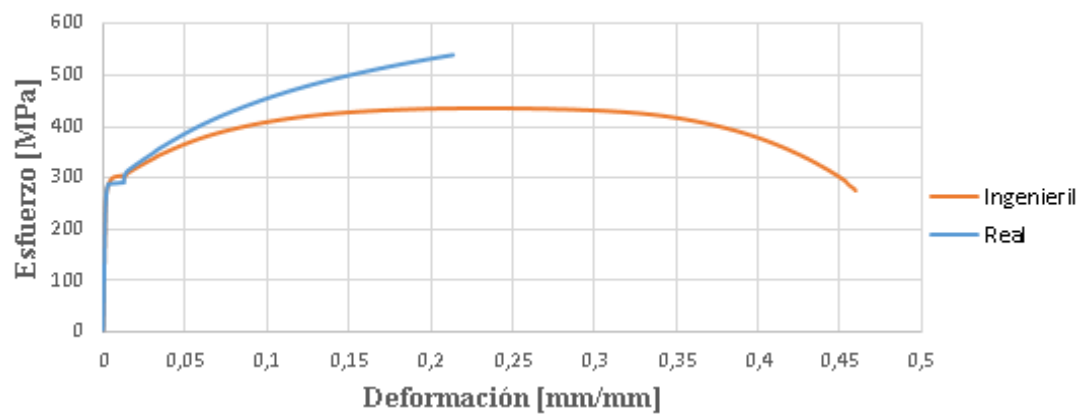

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
ENSAYO DE TRACCIÓN			
Datos informativos:			
Probeta:	P1-I-12-01	Fecha:	15/01/2023
Material:	Acero ASTM A36	Espesor:	12 mm
Características del ensayo:	Sección Transversal	Velocidad de aplicación	
	435.23 mm ²	2 mm/s	
	Longitud de Calibración	Tiempo de ejecución	
	50 mm	400.026 seg	
Norma Aplicable:	E8/E8M	Laboratorio:	LenMav
Instrumento:	Máquina Universal de ensayos –WAW600B	Capacidad:	500 KN
Revisado por:	Ing. Francisco Peña Mg.	Realizado por:	Caiza E – Pullutasig D
RESULTADOS:			
<p>Curva Esfuerzo - Deformación</p> 			
RESULTADOS REGISTRADOS:			
Esfuerzo Máximo [MPa]	435.23	Fotografía de la probeta posterior al ensayo 	
Esfuerzo de Fluencia [MPa]	288.39		
Módulo de elasticidad [GPa]	209.3		
Carga Máxima [KN]	65.68		
Carga de fluencia [KN]	43.52		
Porcentaje de Elongación [%]	41.00		

Tabla 3.37. Reporte del ensayo de tracción en el perfil UV del acero ASTM A36 de 12 mm. Probeta P1-I-12-02.



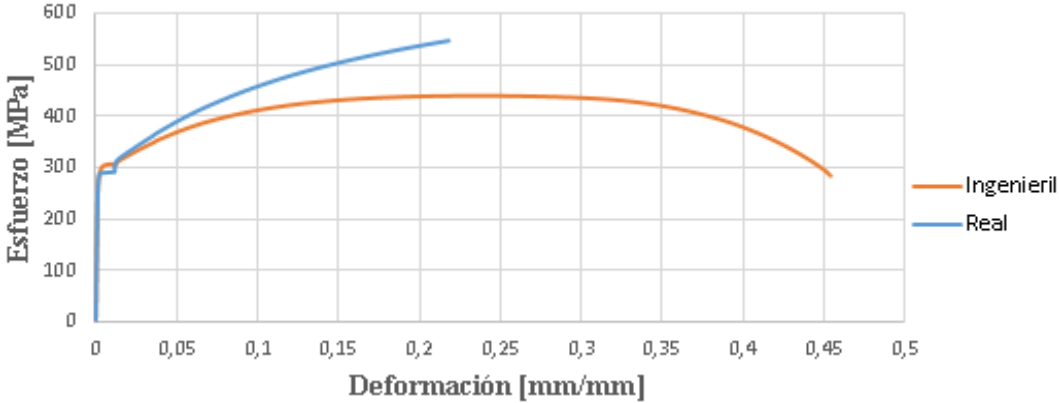

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
ENSAYO DE TRACCIÓN			
Datos informativos:			
Probeta:	P1-I-12-02	Fecha:	15/01/2023
Material:	Acero ASTM A36	Espesor:	12 mm
Características del ensayo:	Sección Transversal	Velocidad de aplicación	
	150.68 mm ²	2 mm/s	
	Longitud de Calibración	Tiempo de ejecución	
	50 mm	414.872 seg	
Norma Aplicable:	E8/E8M	Laboratorio:	LenMav
Instrumento:	Máquina Universal de ensayos –WAW600B	Capacidad:	500 KN
Revisado por:	Ing. Francisco Peña Mg.	Realizado por:	Caiza E – Pullutasig D
RESULTADOS:			
Curva Esfuerzo - Deformación			
			
RESULTADOS REGISTRADOS:			
Esfuerzo Máximo [MPa]	439.49	Fotografía de la probeta posterior al ensayo 	
Esfuerzo de Fluencia [MPa]	297.99		
Módulo de elasticidad [GPa]	209.3		
Carga Máxima [KN]	66.22		
Carga de fluencia [KN]	44.90		
Porcentaje de Elongación [%]	40.50		

Tabla 3.38. Reporte del ensayo de tracción en el perfil UV del acero ASTM A36 de 12 mm. Probeta P1-I-12-03.



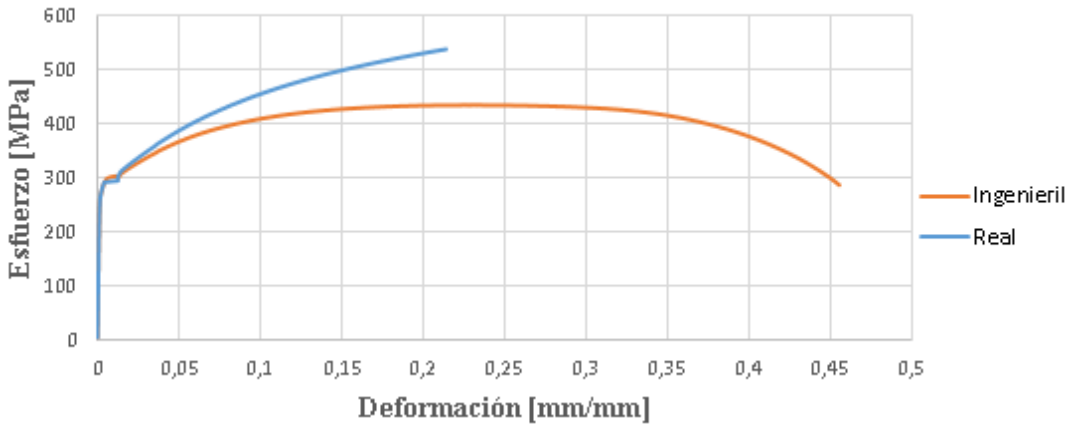

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA 			
ENSAYO DE TRACCIÓN			
Datos informativos:			
Probeta:	P1-I-12-03	Fecha:	15/01/2023
Material:	Acero ASTM A36	Espesor:	12 mm
Características del ensayo:	Sección Transversal	Velocidad de aplicación	
	152.70 mm ²	2 mm/s	
	Longitud de Calibración	Tiempo de ejecución	
	50 mm	392.978 seg	
Norma Aplicable:	E8/E8M	Laboratorio:	LenMav
Instrumento:	Máquina Universal de ensayos –WAW600B	Capacidad:	500 KN
Revisado por:	Ing. Francisco Peña Mg.	Realizado por:	Caiza E – Pullutasig D
RESULTADOS:			
Curva Esfuerzo - Deformación			
			
RESULTADOS REGISTRADOS:			
Esfuerzo Máximo [MPa]	432.10	Fotografía de la probeta posterior al ensayo 	
Esfuerzo de Fluencia [MPa]	281.61		
Módulo de elasticidad [GPa]	227.6		
Carga Máxima [KN]	65.98		
Carga de fluencia [KN]	43.00		
Porcentaje de Elongación [%]	40.00		

Tabla 3.39. Reporte del ensayo de tracción en el perfil UV del acero ASTM A36 de 12 mm. Probeta P1-I-12-04.



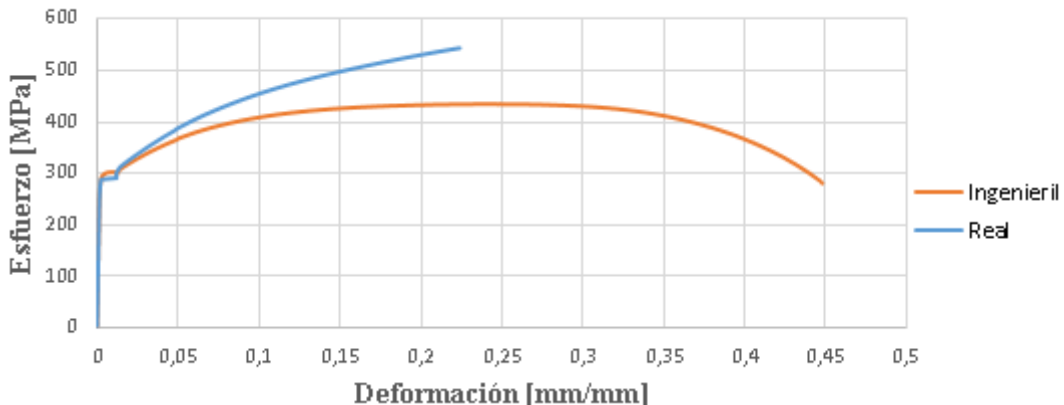



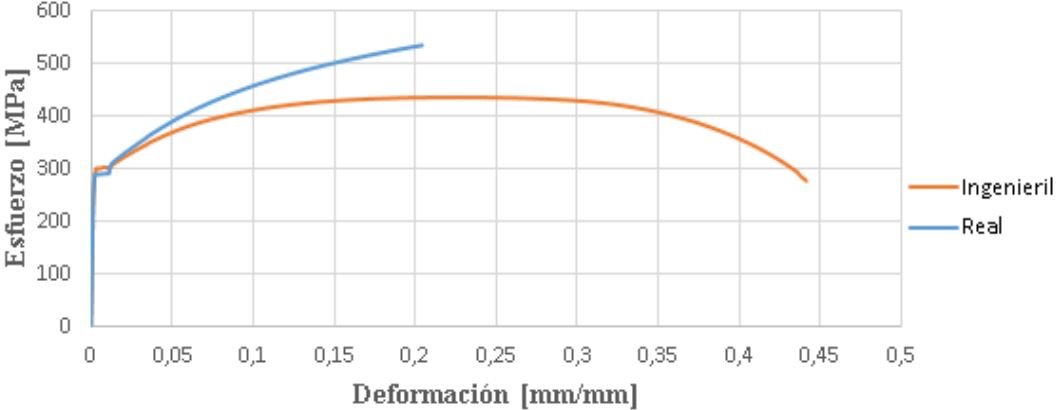

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
ENSAYO DE TRACCIÓN			
Datos informativos:			
Probeta:	P1-I-12-04	Fecha:	15/01/2023
Material:	Acero ASTM A36	Espesor:	12 mm
Características del ensayo:	Sección Transversal	Velocidad de aplicación	
	152.59 mm ²	2 mm/s	
	Longitud de Calibración	Tiempo de ejecución	
	50 mm	411.673 seg	
Norma Aplicable:	E8/E8M	Laboratorio:	LenMav
Instrumento:	Máquina Universal de ensayos – WAW600B	Capacidad:	500 KN
Revisado por:	Ing. Francisco Peña Mg.	Realizado por:	Caiza E – Pullutasig D
RESULTADOS:			
Curva Esfuerzo - Deformación			
			
RESULTADOS REGISTRADOS:			
Esfuerzo Máximo [MPa]	433.96	Fotografía de la probeta posterior al ensayo 	
Esfuerzo de Fluencia [MPa]	295.69		
Módulo de elasticidad [GPa]	188.6		
Carga Máxima [KN]	66.22		
Carga de fluencia [KN]	45.12		
Porcentaje de Elongación [%]	37.50		

Tabla 3.40. Reporte del ensayo de tracción en el perfil UV del acero ASTM A36 de 12 mm. Probeta P1-I-12-05.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
ENSAYO DE TRACCIÓN			
Datos informativos:			
Probeta:	P1-I-12-05	Fecha:	15/01/2023
Material:	Acero ASTM A36	Espesor:	12 mm
Características del ensayo:	Sección Transversal	Velocidad de aplicación	
	152.61 mm ²	2 mm/s	
	Longitud de Calibración	Tiempo de ejecución	
	50 mm	426.970 seg	
Norma Aplicable:	E8/E8M	Laboratorio:	LenMav
Instrumento:	Máquina Universal de ensayos –WAW600B	Capacidad:	500 KN
Revisado por:	Ing. Francisco Peña Mg.	Realizado por:	Caiza E – Pullutasig D
RESULTADOS:			
Curva Esfuerzo - Deformación			
			
RESULTADOS REGISTRADOS:			
Esfuerzo Máximo [MPa]	434.70	Fotografía de la probeta posterior al ensayo 	
Esfuerzo de Fluencia [MPa]	300.37		
Módulo de elasticidad [GPa]	195.6		
Carga Máxima [KN]	66.34		
Carga de fluencia [KN]	45.84		
Porcentaje de Elongación [%]	36.50		

3.1.2 Resultados del ensayo de Dureza

Las fichas técnicas abarcan los resultados obtenidos en los ensayos de dureza para el material virgen como en el perfil UV conformado en frío de acero ASTM A36, con espesores de 10 mm y 12 mm. Estos informes proporcionan datos informativos esenciales para llevar a cabo este tipo de ensayo, junto con los resultados, destacando la ubicación del punto de medición, el diámetro de indentación y los valores de dureza obtenidos. Además, presentan gráficos ilustrativos de la variación de dureza en las distintas secciones del perfil, tales como el ala, la curva y la espalda. A continuación de estas fichas técnicas se obtiene los esfuerzos (fluencia- máximos) obtenidos en base a la dureza Brinell con sus gráficos ilustrativos. Estos informes brindan una perspectiva detallada y estructurada de la variación de la dureza de toda su sección transversal, permitiendo comprender cómo el proceso de conformado en frío afecta las propiedades de dureza del acero ASTM A36.

Tabla 3.41. Reporte del ensayo de dureza del material virgen del acero ASTM A36 de 10 mm.



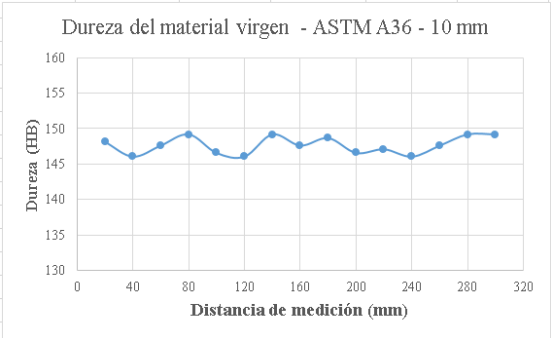
 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA				
ENSAYO DE DUREZA				
Datos informativos:				
Probeta:	Material virgen	Fecha de inicio: 15/01/2023		
Material:	Acero ASTM A36	Espesor:	10 mm	
Características del ensayo:	Fuerza Máxima	Velocidad de aplicación		
	187.5 Kgf	10 seg		
	Método	Tipo de penetrador		
	Brinell	Indentador de 2.5 mm		
Norma Aplicable:	E10-15	Laboratorio:	FICM	
Instrumento:	Laizhou Lyric Tensting Equipment Co. Ltd			
Revisado por:	Ing. Francisco Peña Mg.	Realizado Por:	Caiza E – Pullutasig D	
RESULTADOS:				
N ^o	Distancia de medición (mm)	Diámetro de indentación (mm)	Dureza Brinell (HB)	 <p style="text-align: center;">Dureza del material virgen - ASTM A36 - 10 mm</p>
1	20	1,228	148,105	
2	40	1,236	146,052	
3	60	1,23	147,588	
4	80	1,224	149,146	
5	100	1,234	146,561	
6	120	1,236	146,052	
7	140	1,224	149,146	
8	160	1,23	147,588	
9	180	1,226	148,624	
10	200	1,234	146,561	
11	220	1,232	147,073	
12	240	1,236	146,052	
13	260	1,23	147,588	
14	280	1,224	149,146	
			Promedio de Dureza (HB)	147,628
			Desviación Estándar	1,209

Tabla 3.42. Reporte del ensayo de dureza del material virgen en el acero ASTM A36 de 12 mm.



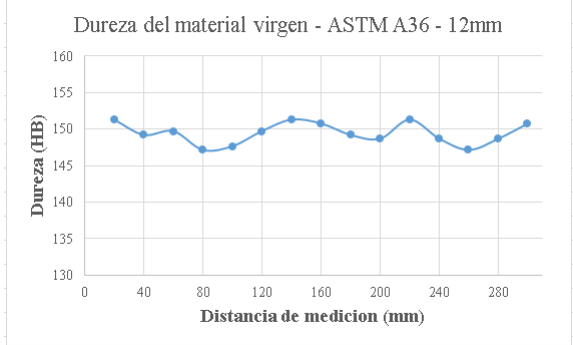
 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA					
ENSAYO DE DUREZA					
Datos informativos:					
Probeta:	Material virgen	Fecha de inicio: 15/01/2023			
Material:	Acero ASTM A36	Espesor:	12 mm		
Características del ensayo:	Fuerza Máxima	Velocidad de aplicación			
	187.5 Kgf	10 seg			
	Método	Tipo de penetrador			
	Brinell	Indentador de 2.5 mm			
Norma Aplicable:	E10-15	Laboratorio:	FICM		
Instrumento:	Laizhou Lyric Tensting Equipment Co. Ltd				
Revisado por:	Ing. Francisco Peña Mg.	Realizado por:	Caiza E – Pullutasig D		
RESULTADOS:					
N ^o	Distancia de medición (mm)	Diámetro de indentación (mm)	Dureza Brinell (HB)	 <p style="text-align: center;">Dureza del material virgen - ASTM A36 - 12mm</p>	
1	20	1,216	151,259		
2	40	1,224	149,146		
3	60	1,222	149,670		
4	80	1,232	147,073		
5	100	1,23	147,588		
6	120	1,222	149,670		
7	140	1,216	151,259		
8	160	1,218	150,727		
9	180	1,224	149,146		
10	200	1,226	148,624		
11	220	1,216	151,259		
12	240	1,226	148,624		
13	260	1,232	147,073		
14	280	1,226	148,624		
15	300	1,218	150,727	Promedio de Dureza (HB)	149,365
				Desviación Estándar	1,465

Tabla 3.43. Reporte del ensayo de dureza del perfil conformado en frío en el acero ASTM A36 de 10 mm parte interna.



 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA							
ENSAYO DE DUREZA							
Datos informativos:							
Probeta:	Perfil UV parte interna			Fecha de inicio: 15/01/2023			
Material:	Acero ASTM A36			Espesor:	10 mm		
Características del ensayo:	Fuerza			Velocidad de aplicación			
	187.5 Kgf			10 seg			
	Método			Tipo de penetrador			
	Brinell			Indentador de 2.5 mm			
Norma Aplicable:	E10-15			Laboratorio:	FICM		
Instrumento:	Laizhou Lyric Tensting Equipment Co. Ltd						
Revisado por:	Ing. Francisco Peña Mg.			Realizado por:	Caiza E – Pullutasig D		
RESULTADOS:							
N°	Ubicación	Diámetro de indentación (mm)	Dureza Brinell (HB)	N°	Ubicación	Diámetro de indentación (mm)	Dureza Brinell (HB)
01	AI	1,232	147,0732	16	I	1,23	147,5876
02	AI	1,236	146,0519	17	I	1,234	146,5613
03	AI	1,232	147,0732	18	I	1,216	151,2592
04	AI	1,234	146,5613	19	C	1,148	171,0311
05	AI	1,224	149,1458	20	C	1,118	180,9157
06	AI	1,228	148,1045	21	C	1,132	176,2056
07	AI	1,234	146,5613	22	AD	1,204	154,5079
08	AI	1,22	150,1973	23	AD	1,224	149,1458
9	AI	1,198	156,1688	24	AD	1,234	146,5613
10	C	1,128	177,5335	25	AD	1,222	149,6703
11	C	1,114	182,2940	26	AD	1,228	148,1045
12	C	1,156	168,5237	27	AD	1,234	146,5613
13	I	1,22	150,1973	28	AD	1,23	147,5876
14	I	1,228	148,1045	29	AD	1,224	149,1458
15	I	1,232	147,0732	30	AD	1,234	146,5613

Tabla 3.43 Reporte del ensayo de dureza del perfil conformado en frío en el acero ASTM A36 de 10 mm parte interna (continuación).

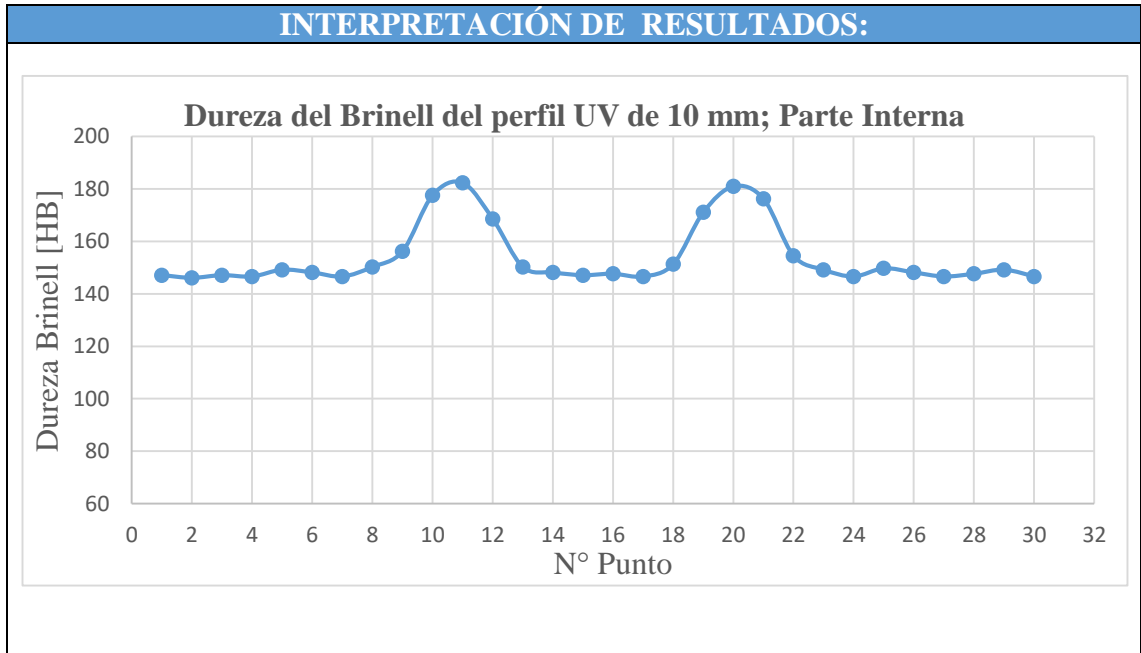


Tabla 3.44. Reporte del ensayo de dureza del perfil conformado en frío en el acero ASTM A36 de 10 mm parte externa.



 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA							
ENSAYO DE DUREZA							
Datos informativos:							
Probeta:	Perfil UV parte externa			Fecha de inicio: 15/01/2023			
Material:	Acero ASTM A36			Espesor:	10 mm		
Características del ensayo:	Fuerza			Velocidad de aplicación			
	187.5 Kgf			10 seg			
	Método			Tipo de penetrador			
Brinell			Indentador de 2.5 mm				
Norma Aplicable:	E10-15			Laboratorio:	FICM		
Instrumento:	Laizhou Lyric Tensting Equipment Co. Ltd						
Revisado por:	Ing. Francisco Peña Mg.			Realizado por:	Caiza E – Pullutasig D		
RESULTADOS:							
N°	Ubicación	Diámetro de indentación (mm)	Dureza Brinell (HB)	N°	Ubicación	Diámetro de indentación (mm)	Dureza Brinell (HB)
1	AI	1,234	146,5613	16	I	1,232	147,0732
2	AI	1,234	146,5613	17	I	1,224	149,1458
3	AI	1,236	146,0519	18	I	1,216	151,2592
4	AI	1,232	147,0732	19	C	1,172	163,6612
5	AI	1,228	148,1045	20	C	1,142	172,9462
6	AI	1,226	148,6239	21	C	1,164	166,0675
7	AI	1,232	147,0732	22	AD	1,2	155,6124
8	AI	1,228	148,1045	23	AD	1,226	148,6239
9	AI	1,2	155,6124	24	AD	1,22	150,1973
10	C	1,152	169,7709	25	AD	1,234	146,5613
11	C	1,144	172,3045	26	AD	1,224	149,1458
12	C	1,166	165,4613	27	AD	1,232	147,0732
13	I	1,218	150,7270	28	AD	1,23	147,5876
14	I	1,23	147,5876	29	AD	1,224	149,1458
15	I	1,228	148,1045	30	AD	1,232	147,0732

Tabla 3.44. Reporte del ensayo de dureza del perfil conformado en frío en el acero ASTM A36 de 10 mm parte externa (continuación).

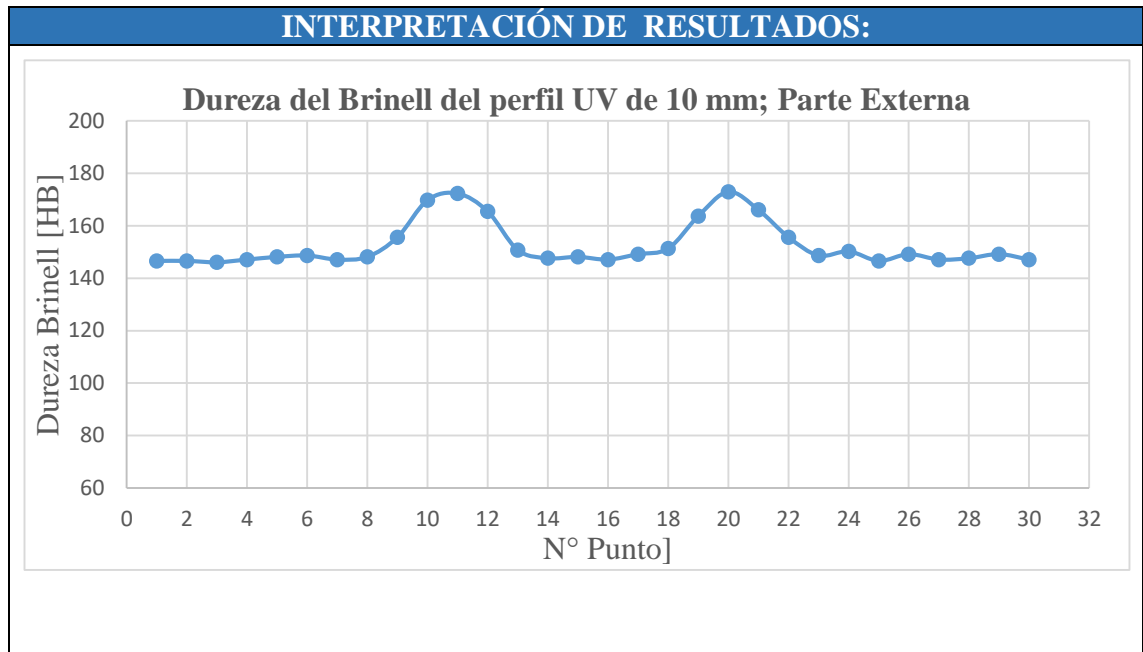


Tabla 3.45. Resistencia a la tracción y el límite de fluencia [MPa] en función de la dureza Brinell.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA 									
ENSAYO DE DUREZA									
Datos informativos:									
Probeta:	Perfil UV				Fecha de inicio: 15/01/2023				
Material:	Acero ASTM A36				Espesor:	10 mm			
Características del ensayo:	Fuerza				Velocidad de aplicación				
	187.5 Kgf				10 seg				
	Método				Tipo de penetrador				
	Brinell				Indentador de 2.5 mm				
Norma Aplicable:	E10-15				Laboratorio:	FICM			
Instrumento:	Laizhou Lyric Tensting Equipment Co. Ltd								
Revisado por:	Ing. Francisco Peña Mg.				Realizado por:	Caiza E – Pullutasig D			
RESULTADOS:									
N°	Interna		Externa		N°	Interna		Externa	
	Sy	Su	Sy	Su		Sy	Su	Sy	Su
1	322,62	507,40	321,20	505,64	16	324,04	509,18	322,62	507,40
2	319,80	503,88	321,20	505,64	17	321,20	505,64	328,37	514,55
3	322,62	507,40	319,80	503,88	18	334,27	521,84	334,27	521,84
4	321,20	505,64	322,62	507,40	19	391,15	590,06	369,59	564,63
5	328,37	514,55	325,48	510,96	20	420,73	624,16	396,82	596,66
6	325,48	510,96	326,92	512,75	21	406,54	607,91	376,59	572,93
7	321,20	505,64	322,62	507,40	22	343,41	533,05	346,53	536,86
8	331,30	518,18	325,48	510,96	23	328,37	514,55	326,92	512,75
9	348,11	538,78	346,53	536,86	24	321,20	505,64	331,30	518,18
10	410,53	612,49	387,44	585,71	25	329,83	516,36	321,20	505,64
11	424,92	628,91	394,92	594,45	26	325,48	510,96	328,37	514,55
12	383,77	581,41	374,82	570,84	27	321,20	505,64	322,62	507,40
13	331,30	518,18	332,78	520,01	28	324,04	509,18	324,04	509,18
14	325,48	510,96	324,04	509,18	29	328,37	514,55	328,37	514,55
15	322,62	507,40	325,48	510,96	30	321,20	505,64	322,62	507,40

Tabla 3.45. Resistencia a la tracción y el límite de fluencia [MPa] en función de la dureza Brinell (continuación).

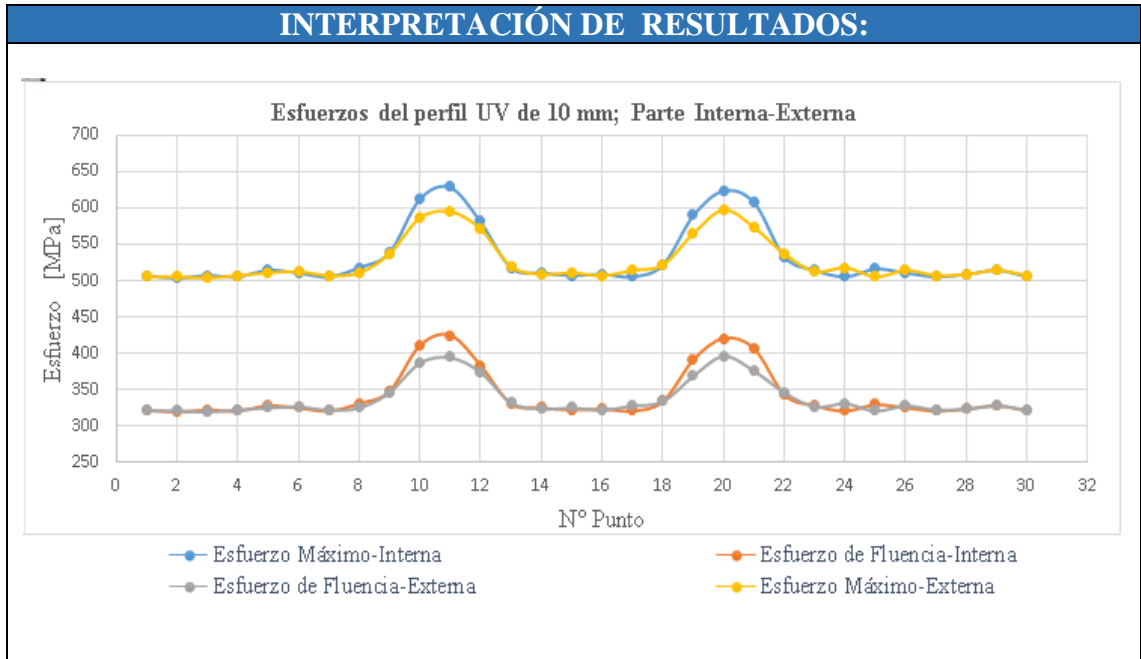


Tabla 3.46. Reporte del ensayo de dureza del perfil conformado en frío del acero ASTM A36 de 12 mm parte interna.



 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA							
ENSAYO DE DUREZA							
Datos informativos:							
Probeta:	Perfil UV parte interna			Fecha de inicio: 15/01/2023			
Material:	Acero ASTM A36			Espesor:	12 mm		
Características del ensayo:	Fuerza			Velocidad de aplicación			
	187.5 Kgf			10 seg			
	Método			Tipo de penetrador			
Brinell			Indentador de 2.5 mm				
Norma Aplicable:	E10-15			Laboratorio:	FICM		
Instrumento:	Laizhou Lyric Tensting Equipment Co. Ltd						
Revisado por:	Ing. Francisco Peña Mg.			Realizado por:	Caiza E – Pullutasig D		
RESULTADOS:							
N°	Ubicación	Diámetro de indentación (mm)	Dureza Brinell (HB)	N°	Ubicación	Diámetro de indentación (mm)	Dureza Brinell (HB)
01	AI	1,216	151,2592	16	I	1,216	151,2592
02	AI	1,21	152,8715	17	I	1,228	148,1045
03	AI	1,212	152,3314	18	I	1,212	152,3314
04	AI	1,224	149,1458	19	C	1,14	173,5913
05	AI	1,218	150,7270	20	C	1,108	184,3894
06	AI	1,222	149,6703	21	C	1,176	162,4763
07	AI	1,216	151,2592	22	AD	1,21	152,8715
08	AI	1,22	150,1973	23	AD	1,222	149,6703
9	AI	1,196	156,7280	24	AD	1,216	151,2592
10	C	1,156	168,5237	25	AD	1,224	149,1458
11	C	1,1	187,2366	26	AD	1,22	150,1973
12	C	1,148	171,0311	27	AD	1,226	148,6239
13	I	1,216	151,2592	28	AD	1,226	148,6239
14	I	1,22	150,1973	29	AD	1,222	149,6703
15	I	1,224	149,1458	30	AD	1,222	149,6703

Tabla 3.46. Reporte del ensayo de dureza del perfil conformado en frío del acero ASTM A36 de 12 mm parte interna (continuación).

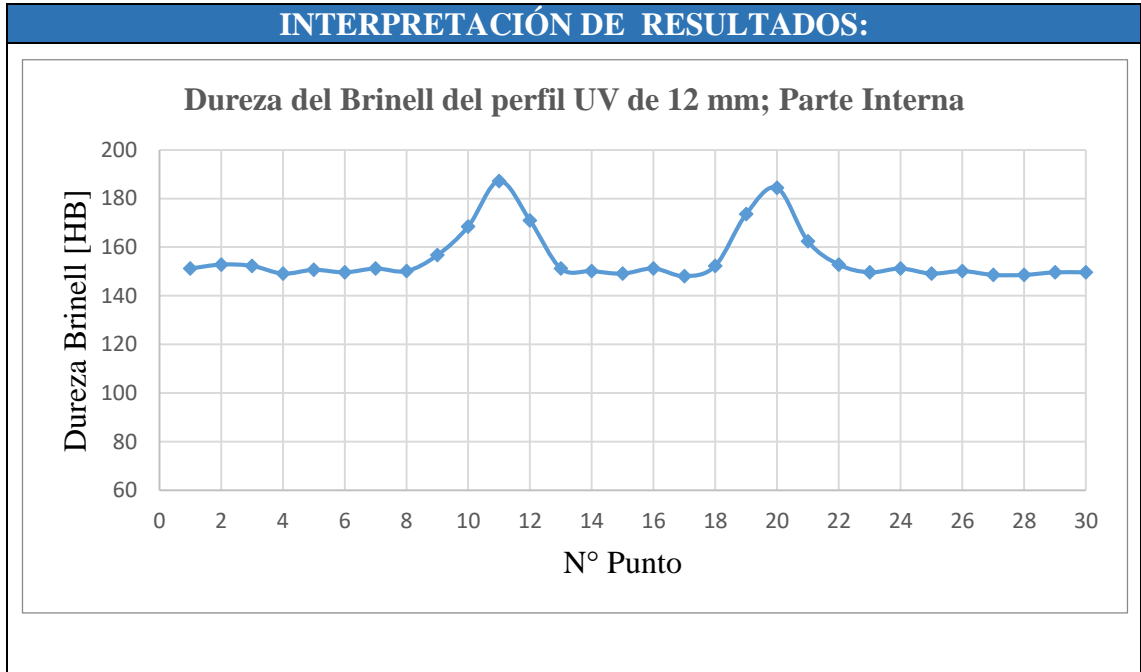


Tabla 3.47. Reporte del ensayo de dureza del perfil conformado en frío del acero ASTM A36 de 12 mm parte externa.



 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA							
ENSAYO DE DUREZA							
Datos informativos:							
Probeta:	Perfil UV parte externa			Fecha de inicio: 15/01/2023			
Material:	Acero ASTM A36			Espesor:	12 mm		
Características del ensayo:	Fuerza			Velocidad de aplicación			
	187.5 Kgf			10 seg			
	Método			Tipo de penetrador			
Brinell			Indentador de 2.5 mm				
Norma Aplicable:	E10-15			Laboratorio:	FICM		
Instrumento:	Laizhou Lyric Tensting Equipment Co. Ltd						
Revisado por:	Ing. Francisco Peña Mg.			Realizado por:	Caiza E – Pullutasig D		
RESULTADOS:							
N°	Ubicación	Diámetro de indentación (mm)	Dureza Brinell (HB)	N°	Ubicación	Diámetro de indentación (mm)	Dureza Brinell (HB)
01	AI	1,226	148,6239	16	I	1,224	149,1458
02	AI	1,23	147,5876	17	I	1,222	149,6703
03	AI	1,224	149,1458	18	I	1,216	151,2592
04	AI	1,216	151,2592	19	C	1,186	159,5660
05	AI	1,222	149,6703	20	C	1,134	175,5468
06	AI	1,224	149,1458	21	C	1,174	163,0672
07	AI	1,22	150,1973	22	AD	1,204	154,5079
08	AI	1,216	151,2592	23	AD	1,22	150,1973
9	AI	1,22	150,1973	24	AD	1,228	148,1045
10	C	1,176	162,4763	25	AD	1,23	147,5876
11	C	1,128	177,5335	26	AD	1,23	147,5876
12	C	1,188	158,9927	27	AD	1,232	147,0732
13	I	1,212	152,3314	28	AD	1,224	149,1458
14	I	1,222	149,6703	29	AD	1,232	147,0732
15	I	1,226	148,6239	30	AD	1,228	148,1045

Tabla 3.47. Reporte del ensayo de dureza del perfil conformado en frío del acero ASTM A36 de 12 mm parte externa (continuación).

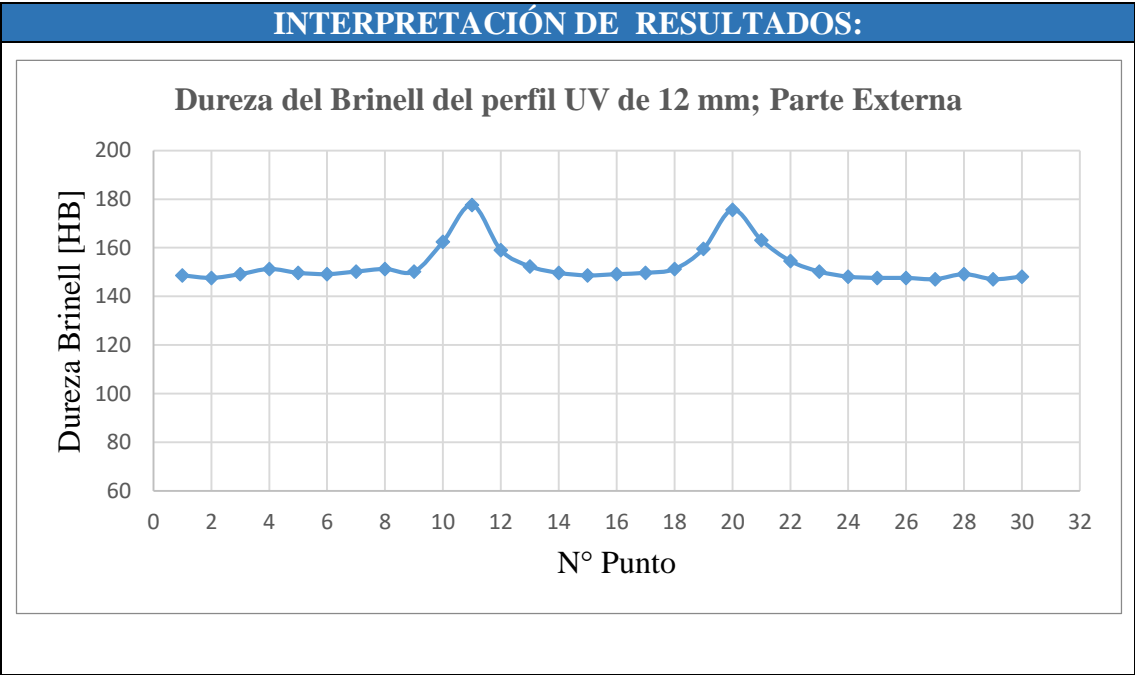
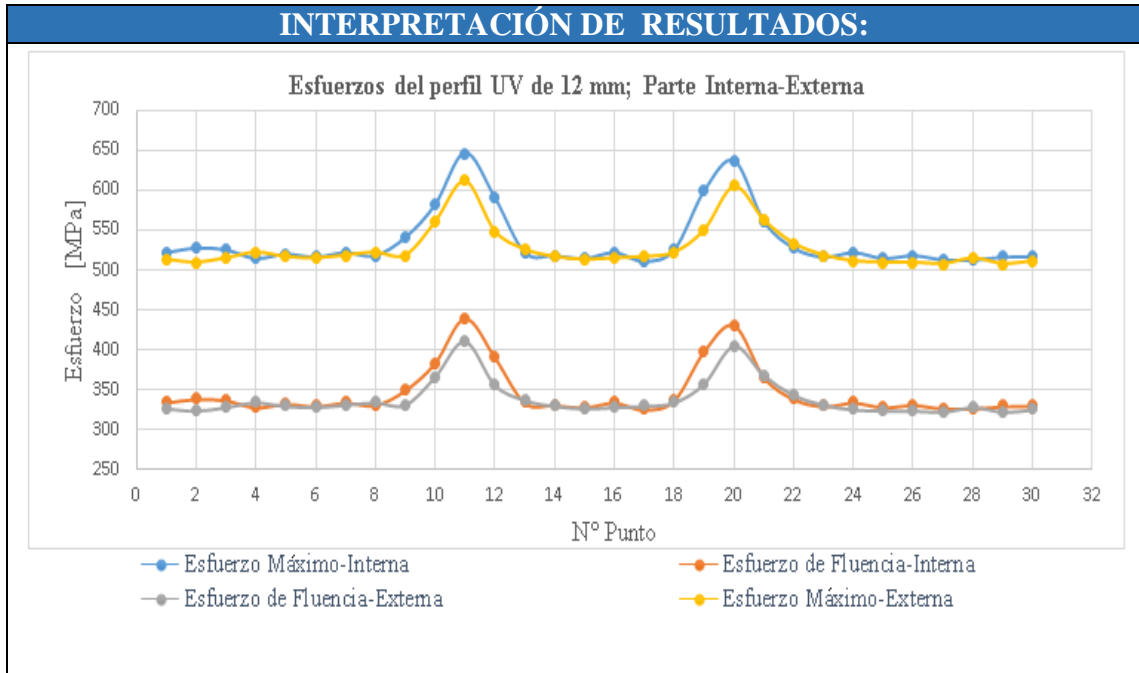


Tabla 3.48. Resistencia a la tracción y el límite de fluencia [MPa] en función de la dureza Brinell.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA 									
ENSAYO DE DUREZA									
Datos informativos:									
Probeta:	Perfil UV				Fecha de inicio: 15/01/2023				
Material:	Acero ASTM A36				Espesor:	12 mm			
Características del ensayo:	Fuerza				Velocidad de aplicación				
	187.5 Kgf				10 seg				
	Método				Tipo de penetrador				
	Brinell				Indentador de 2.5 mm				
Norma Aplicable:	E10-15				Laboratorio:	FICM			
Instrumento:	Laizhou Lyric Tensting Equipment Co. Ltd								
Revisado por:	Ing. Francisco Peña Mg.				Realizado por:	Caiza E – Pullutasig D			
RESULTADOS:									
N°	Interna		Externa		N°	Interna		Externa	
	Sy	Su	Sy	Su		Sy	Su	Sy	Su
1	334,27	521,84	326,92	512,75	16	334,27	521,84	328,37	514,55
2	338,79	527,41	324,04	509,18	17	325,48	510,96	329,83	516,36
3	337,28	525,54	328,37	514,55	18	337,28	525,54	334,27	521,84
4	328,37	514,55	334,27	521,84	19	398,74	598,89	357,80	550,50
5	332,78	520,01	329,83	516,36	20	431,31	636,14	404,57	605,64
6	329,83	516,36	328,37	514,55	21	366,17	560,54	367,87	562,58
7	334,27	521,84	331,30	518,18	22	338,79	527,41	343,41	533,05
8	331,30	518,18	334,27	521,84	23	329,83	516,36	331,30	518,18
9	349,70	540,71	331,30	518,18	24	334,27	521,84	325,48	510,96
10	383,77	581,41	366,17	560,54	25	328,37	514,55	324,04	509,18
11	440,05	645,97	410,53	612,49	26	331,30	518,18	324,04	509,18
12	391,15	590,06	356,15	548,52	27	326,92	512,75	322,62	507,40
13	334,27	521,84	337,28	525,54	28	326,92	512,75	328,37	514,55
14	331,30	518,18	329,83	516,36	29	329,83	516,36	322,62	507,40
15	328,37	514,55	326,92	512,75	30	329,83	516,36	325,48	510,96

Tabla 3.48. Resistencia a la tracción y el límite de fluencia [MPa] en función de la dureza Brinell (continuación).



3.1.3 Resultados del ensayo de Metalografía

Las fichas técnicas proporcionan informes de los resultados obtenidos en los ensayos metalográficos realizados en el material virgen y en el perfil UV conformado en frío del Acero ASTM A36, con espesores de 10 mm y 12 mm. Estos informes contienen datos y parámetros esenciales necesarios para realizar estos ensayos, proporcionando una guía de ejecución de los mismos. Además, incluyen imágenes que permiten con la observación visual evidenciar el grano del material virgen y la alteración del mismo como resultado del conformado. Estas fotografías no solo muestran la variación en la estructura del grano, sino que también facilitan el cálculo del tamaño de grano utilizando el método de interceptos. Evidenciado cómo el proceso de conformado en frío impacta la microestructura del perfil, ofreciendo una representación visual clara y cuantitativa de la alteración en la estructura del grano.

Tabla 3.49. Reporte del ensayo metalográfico en el perfil UV del acero ASTM A36 de 10 mm. Probeta P1-MV-10-01.



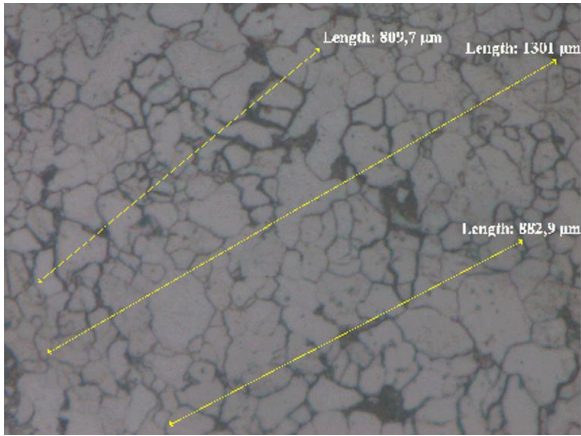
 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA				
ENSAYO METALOGRAFICO				
Datos informativos:				
Probeta :	P1-MV-10-01	Fecha	15/01/2023	
Material:	Acero ASTM A36	Espesor	10 mm	
Tipo de estudio:	Laboratorio	Ensayo N°:	01	
Norma Aplicable	ASTM E 112:96	Laboratorio	FICM	
Revisado por.	Ing. Francisco Peña Mg.	Realizado por:	Caiza E – Pullutasig D	
PARÁMETROS DEL ENSAYO METALOGRAFICO				
Acondicionamiento de la superficie:		Pulido Mecánico		
Temperatura durante el pulido:	20 °C	Superficie preparada en:	50 min	
Ataque químico de la superficie con:	Nital4	Durante:	4 seg	
EVALUACIÓN DE LA MICROESTRUCTURA:				
Magnificación:		100x		
Cálculo:				
				
Recta	Longitud [μm]	Granos	Diámetro aproximado [mm]	N° ASTM
1	882.9	11	0.0803	3.991
2	1301	15	0.0867	3.767
3	809,7	12	0.0674	4.491
Tamaño de Grano Promedio: $4.1 \cong 4$				
Diámetro aproximado del grano: 0.078 mm				

Tabla 49. Reporte del ensayo metalográfico en el perfil UV del acero ASTM A36 de 10 mm. Probeta P1-MV-10-01 (continuación).

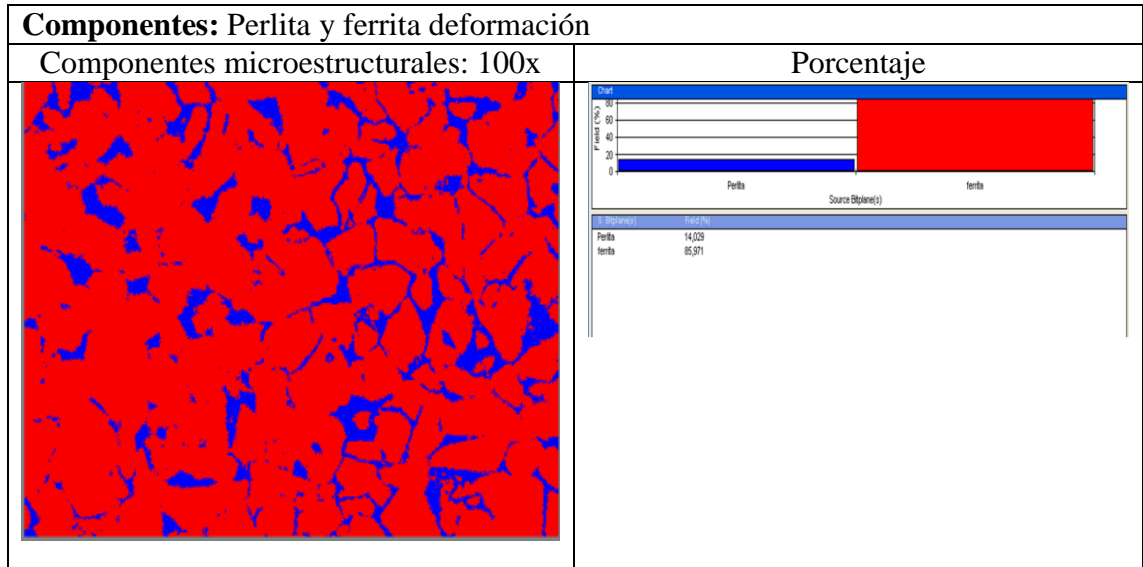


Tabla 3.50. Reporte del ensayo metalográfico en el perfil UV del acero ASTM A36 de 12 mm. Probeta P1-MV-12-01.



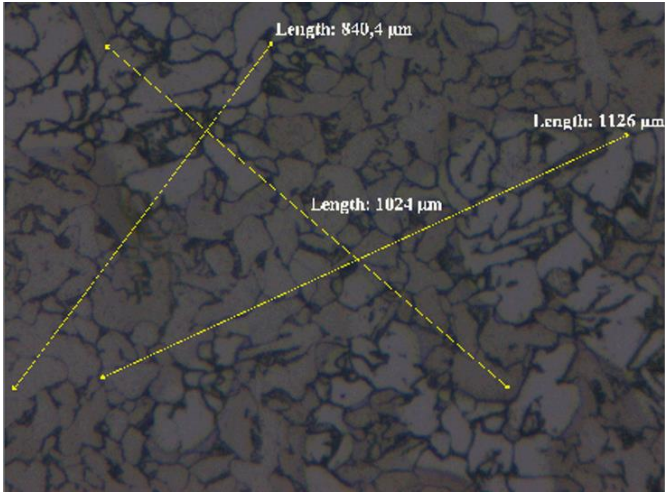
 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA				
ENSAYO METALOGRAFICO				
Datos informativos:				
Probeta :	P1-MV-12-01	Fecha	15/01/2023	
Material:	Acero ASTM A36	Espesor	12 mm	
Tipo de estudio:	Laboratorio	Ensayo N°:	02	
Norma Aplicable	ASTM E 112:96	Laboratorio	FICM	
Revisado por.	Ing. Francisco Peña Mg.	Realizado por:	Caiza E – Pullutasig D	
PARÁMETROS DEL ENSAYO METALOGRAFICO				
Acondicionamiento de la superficie:		Pulido Mecánico		
Temperatura durante el pulido:	20 °C	Superficie preparada en:	50 min	
Ataque químico de la superficie con:	Nital4	Durante:	4 seg	
EVALUACIÓN DE LA MICROESTRUCTURA:				
Magnificación:		100x		
Cálculo:				
				
Recta	Longitud [µm]	Granos	Diámetro aproximado [mm]	N° ASTM
1	840,4	13	0.0656	4.615
2	1126	14	0.0804	3.985
3	1024	14	0.0731	4.259
Tamaño de Grano Promedio: $4.3 \cong 4$				
Diámetro aproximado del grano: 0.073 mm				

Tabla 3.50. Reporte del ensayo metalográfico en el perfil UV del acero ASTM A36 de 10 mm. Probeta P1-MV-12-01. (continuación).

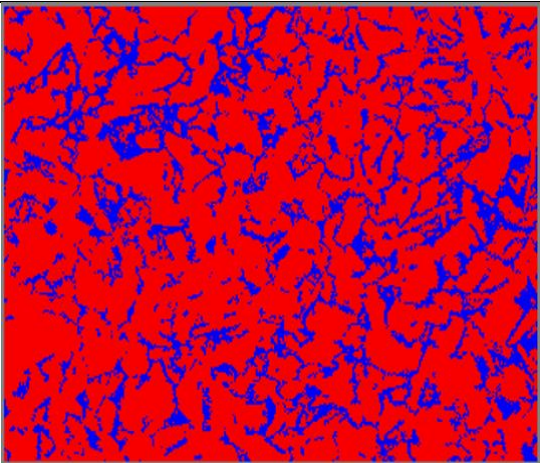
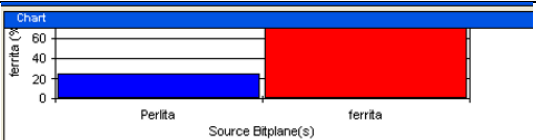
Componentes: Perlita y ferrita deformación							
Componentes microestructurales: 100x	Porcentaje						
	<p>Chart</p> 						
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>S. Bitplane(s)</th> <th>ferrita (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Perlite</td> <td>25,029</td> </tr> <tr> <td>ferrita</td> <td>100</td> </tr> </tbody> </table>	S. Bitplane(s)	ferrita (%)	Perlite	25,029	ferrita	100
	S. Bitplane(s)	ferrita (%)					
Perlite	25,029						
ferrita	100						

Tabla 3.51. Reporte del ensayo metalográfico en el perfil UV del acero ASTM A36 de 10 mm. Probeta P1-CD-10-01.



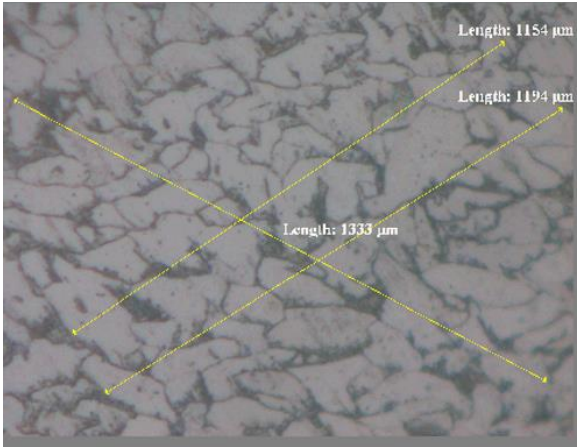
 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA				
ENSAYO METALOGRAFICO				
Datos informativos:				
Probeta :	P1-CD-10-01	Fecha	15/01/2023	
Material:	Acero ASTM A36	Espesor	10 mm	
Tipo de estudio:	Laboratorio	Ensayo N°:	03	
Norma Aplicable	ASTM E 112:96	Laboratorio	FICM	
Revisado por.	Ing. Francisco Peña Mg.	Realizado por:	Caiza E – Pullutasig D	
PARÁMETROS DEL ENSAYO METALOGRAFICO				
Acondicionamiento de la superficie:		Pulido Mecánico		
Temperatura durante el pulido:	20 °C	Superficie preparada en:	50 min	
Ataque químico de la superficie con:	Nital4	Durante:	4 seg	
EVALUACIÓN DE LA MICROESTRUCTURA:				
Magnificación:		100x		
Cálculo:				
				
Recta	Longitud [μm]	Granos	Diámetro aproximado [mm]	N° ASTM
1	1154	7	0.1649	1.914
2	1194	10	0.1194	2.844
3	1333	9	0.1481	2.222
Tamaño de Grano Promedio: $2.3 \cong 2$				
Diámetro aproximado del grano: 0.144 mm				

Tabla 3.51. Reporte del ensayo metalográfico en el perfil UV del acero ASTM A36 de 10 mm. Probeta P1-CD-10-01 (continuación).

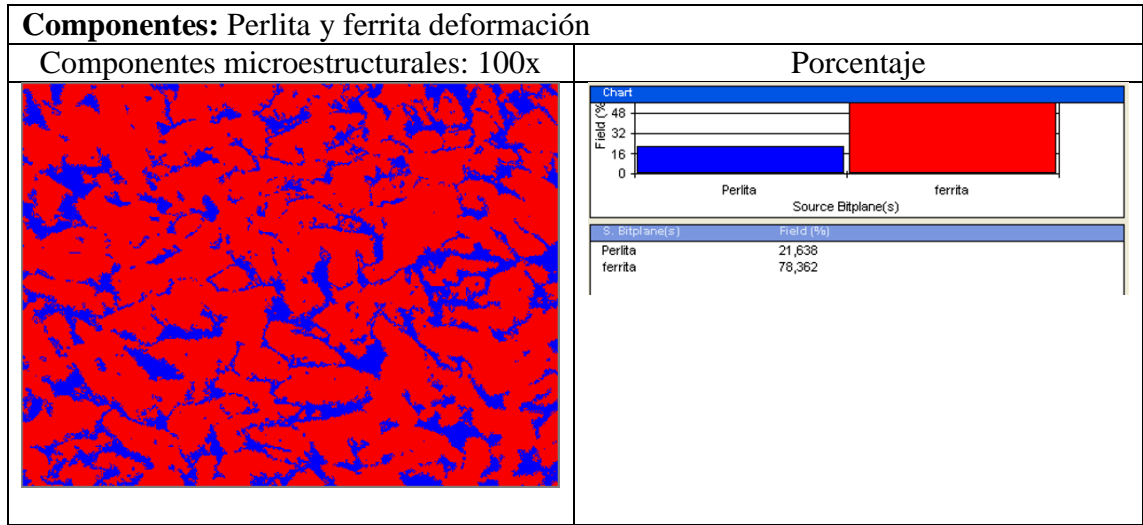


Tabla 3.52. Reporte del ensayo metalográfico en el perfil UV del acero ASTM A36 de 10 mm. Probeta P1-CI-10-02.



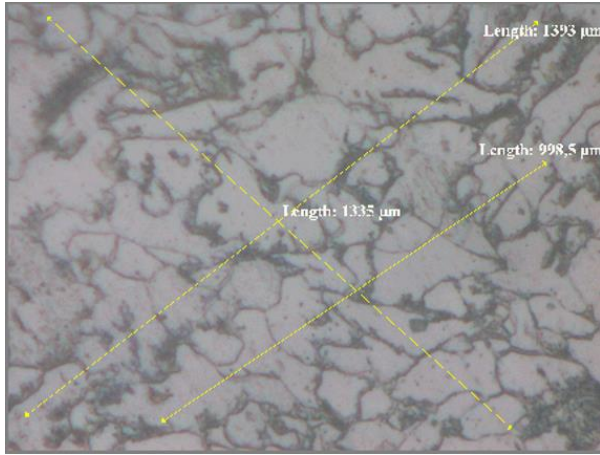
 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA				
ENSAYO METALOGRAFICO				
Datos informativos:				
Probeta:	P1-CI-10-02	Fecha	15/01/2023	
Material:	Acero ASTM A36	Espesor	10 mm	
Tipo de estudio:	Laboratorio	Ensayo N°:	04	
Norma Aplicable	ASTM E 112:96	Laboratorio	FICM	
Revisado por.	Ing. Francisco Peña Mg.	Realizado por:	Caiza E – Pullutasig D	
PARÁMETROS DEL ENSAYO METALOGRAFICO				
Acondicionamiento de la superficie:		Pulido Mecánico		
Temperatura durante el pulido:	20 °C	Superficie preparada en:	50 min	
Ataque químico de la superficie con:	Nital4	Durante:	4 seg	
EVALUACIÓN DE LA MICROESTRUCTURA:				
Magnificación:		100x		
Cálculo:				
				
Recta	Longitud [µm]	Granos	Diámetro aproximado [mm]	N° ASTM
1	1393	8	0.1741	1.755
2	998.5	7	0.1426	2.331
3	1335	10	0.1335	2.522
Tamaño de Grano Promedio: 2.2				
Diámetro aproximado del grano: 0.150 mm				

Tabla 3.52. Reporte del ensayo metalográfico en el perfil UV del acero ASTM A36 de 10 mm. Probeta P1-CI-10-02 (continuación).

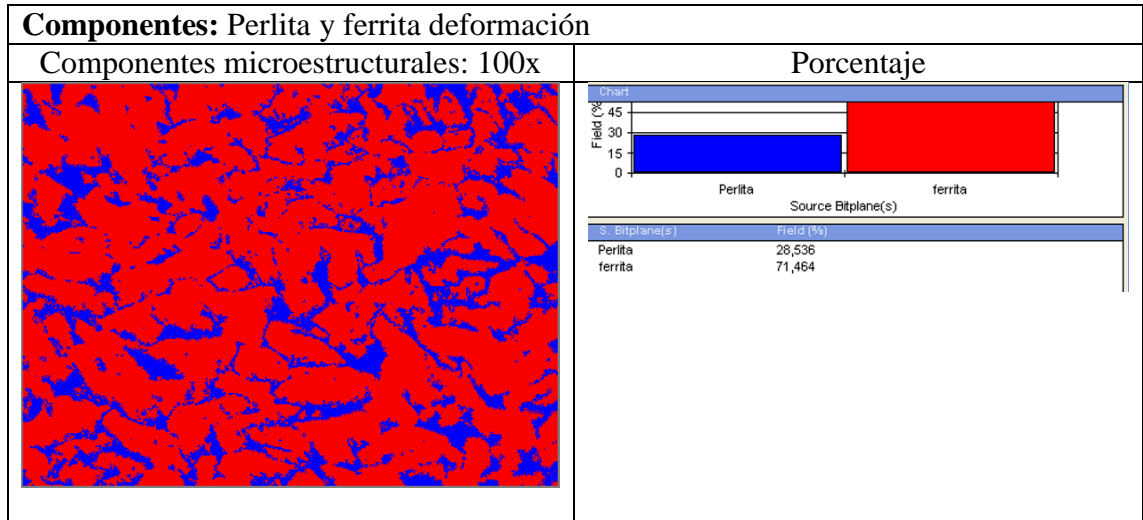


Tabla 3.53. Reporte del ensayo metalográfico en el perfil UV del acero ASTM A36 de 10 mm. Probeta P1-AI-10-02.



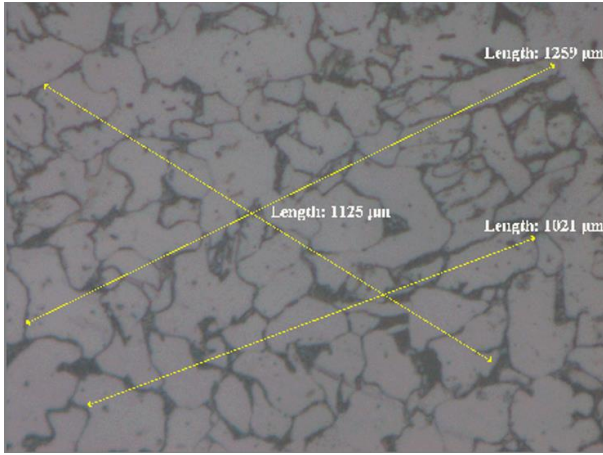
 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA				
ENSAYO METALOGRAFICO				
Datos informativos:				
Probeta:	P1-AI-10-02	Fecha	15/01/2023	
Material:	Acero ASTM A36	Espesor	10 mm	
Tipo de estudio:	Laboratorio	Ensayo N°:	05	
Norma Aplicable	ASTM E 112:96	Laboratorio	FICM	
Revisado por.	Ing. Francisco Peña Mg.	Realizado por:	Caiza E – Pullutasig D	
PARÁMETROS DEL ENSAYO METALOGRAFICO				
Acondicionamiento de la superficie:		Pulido Mecánico		
Temperatura durante el pulido:	20 °C	Superficie preparada en:	50 min	
Ataque químico de la superficie con:	Nital4	Durante:	4 seg	
EVALUACIÓN DE LA MICROESTRUCTURA:				
Magnificación:		100x		
Cálculo:				
				
Recta	Longitud [µm]	Granos	Diámetro aproximado [mm]	N° ASTM
1	1259	9	0.1398	2.388
2	1125	9	0.125	2.712
3	1021	8	0.1276	2.652
Tamaño de Grano Promedio: 2.5				
Diámetro aproximado del grano: 0.131 mm				

Tabla 3.53. Reporte del ensayo metalográfico en el perfil UV del acero ASTM A36 de 10 mm. Probeta P1-AI-10-02 (continuación).

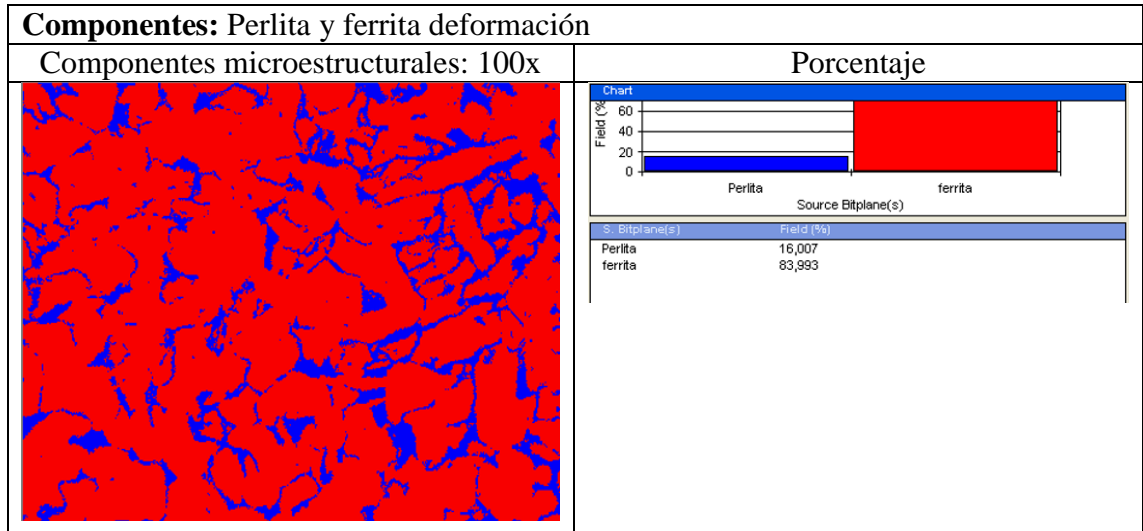


Tabla 3.54. Reporte del ensayo metalográfico en el perfil UV del acero ASTM A36 de 10 mm. Probeta P1-AD-10-01.



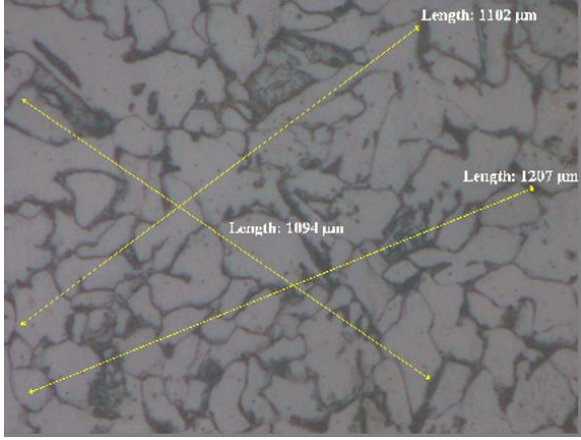
 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA				
ENSAYO METALOGRAFICO				
Datos informativos:				
Probeta:	P1-AD-10-01	Fecha	15/01/2023	
Material:	Acero ASTM A36	Espesor	10 mm	
Tipo de estudio:	Laboratorio	Ensayo N°:	06	
Norma Aplicable	ASTM E 112:96	Laboratorio	FICM	
Revisado por.	Ing. Francisco Peña Mg.	Realizado por:	Caiza E – Pullutasig D	
PARÁMETROS DEL ENSAYO METALOGRAFICO				
Acondicionamiento de la superficie:		Pulido Mecánico		
Temperatura durante el pulido:	20 °C	Superficie preparada en:	50 min	
Ataque químico de la superficie con:	Nital4	Durante:	4 seg	
EVALUACIÓN DE LA MICROESTRUCTURA:				
Magnificación:		100x		
Cálculo:				
				
Recta	Longitud [µm]	Granos	Diámetro aproximado [mm]	N° ASTM
1	1102	5	0.2204	1.075
2	1207	12	0.1005	3.339
3	1094	9	0.1215	2.793
Tamaño de Grano Promedio: 2.4				
Diámetro aproximado del grano: 0.147 mm				

Tabla 3.54. Reporte del ensayo metalográfico en el perfil UV del acero ASTM A36 de 10 mm. Probeta P1-AD-10-01 (continuación).

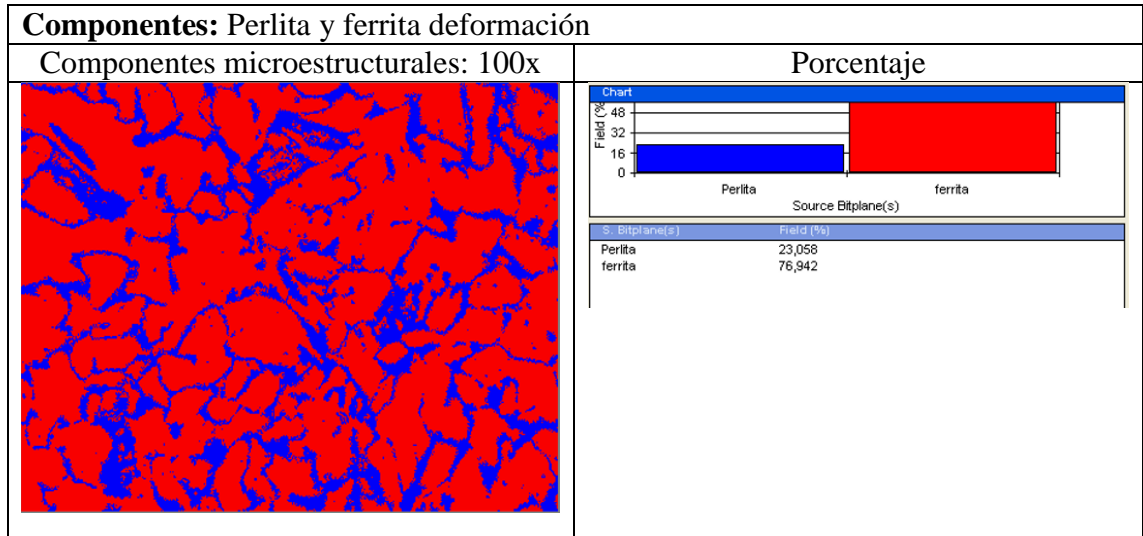


Tabla 3.55. Reporte del ensayo metalográfico en el perfil UV del acero ASTM A36 de 10 mm. Probeta P1-I-10-01.



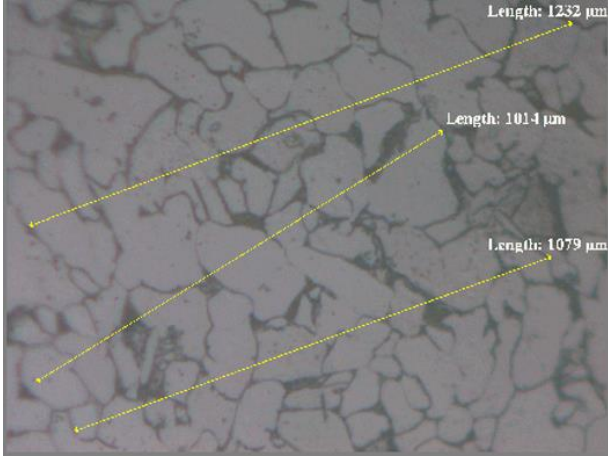
 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA				
ENSAYO METALOGRAFICO				
Datos informativos:				
Probeta:	P1-I-10-01	Fecha	15/01/2023	
Material:	Acero ASTM A36	Espesor	10 mm	
Tipo de estudio:	Laboratorio	Ensayo N°:	07	
Norma Aplicable	ASTM E 112:96	Laboratorio	FICM	
Revisado por.	Ing. Francisco Peña Mg.	Realizado por:	Caiza E – Pullutasig D	
PARÁMETROS DEL ENSAYO METALOGRAFICO				
Acondicionamiento de la superficie:		Pulido Mecánico		
Temperatura durante el pulido:	20 °C	Superficie preparada en:	50 min	
Ataque químico de la superficie con:	Nital4	Durante:	4 seg	
EVALUACIÓN DE LA MICROESTRUCTURA:				
Magnificación:		100x		
Cálculo:				
				
Recta	Longitud [μm]	Granos	Diámetro aproximado [mm]	N° ASTM
1	1232	11	0.112	3.029
2	1014	7	0.1448	2.287
3	1079	10	0.1079	3.136
Tamaño de Grano Promedio: $2.8 \approx 2.5$				
Diámetro aproximado del grano: 0.122 mm				

Tabla 3.55 Ensayo metalográfico P1-I-10-01 del Acero ASTM A36 (continuación).

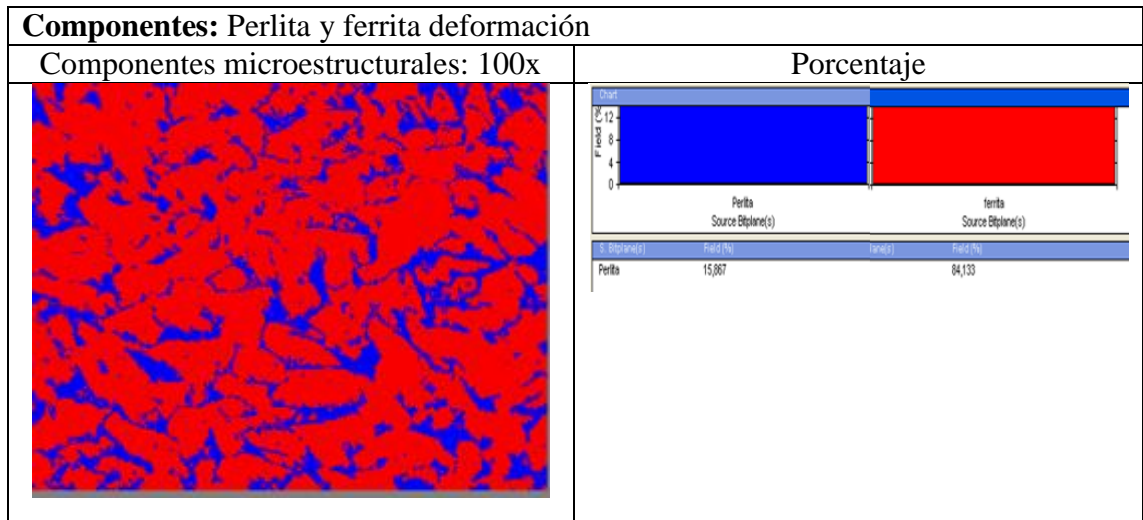


Tabla 3.56. Reporte del ensayo metalográfico en el perfil UV del acero ASTM A36 de 10 mm. Probeta P1-I-10-02.



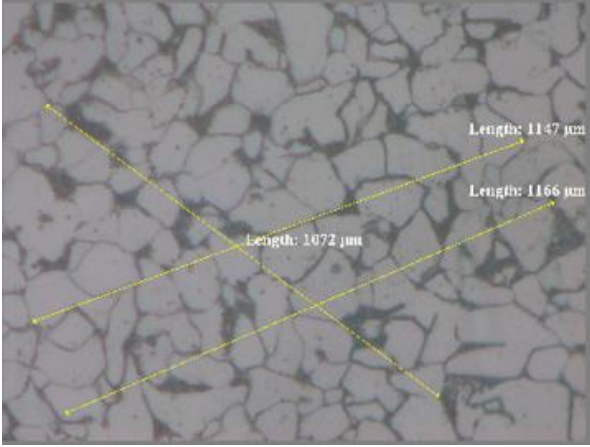
 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA				
ENSAYO METALOGRAFICO				
Datos informativos:				
Probeta:	P1-I-10-02	Fecha	15/01/2023	
Material:	Acero ASTM A36	Espesor	10 mm	
Tipo de estudio:	Laboratorio	Ensayo N°:	08	
Norma Aplicable	ASTM E 112:96	Laboratorio	FICM	
Revisado por.	Ing. Francisco Peña Mg.	Realizado por:	Caiza E – Pullutasig D	
PARÁMETROS DEL ENSAYO METALOGRAFICO				
Acondicionamiento de la superficie:		Pulido Mecánico		
Temperatura durante el pulido:	20 °C	Superficie preparada en:	50 min	
Ataque químico de la superficie con:	Nital4	Durante:	4 seg	
EVOLUCIÓN DE LA MICROESTRUCTURA:				
Magnificación:		100x		
Cálculo:				
				
Recta	Longitud [µm]	Granos	Diámetro aproximado [mm]	N° ASTM
1	1147	9	0.1274	2.656
2	1166	13	0.0897	3.670
3	1072	9	0.1191	2.852
Tamaño de Grano Promedio: $3.1 \cong 3$				
Diámetro aproximado del grano: 0.112 mm				

Tabla 3.56. Reporte del ensayo metalográfico en el perfil UV del acero ASTM A36 de 10 mm. Probeta P1-I-10-02 (continuación).

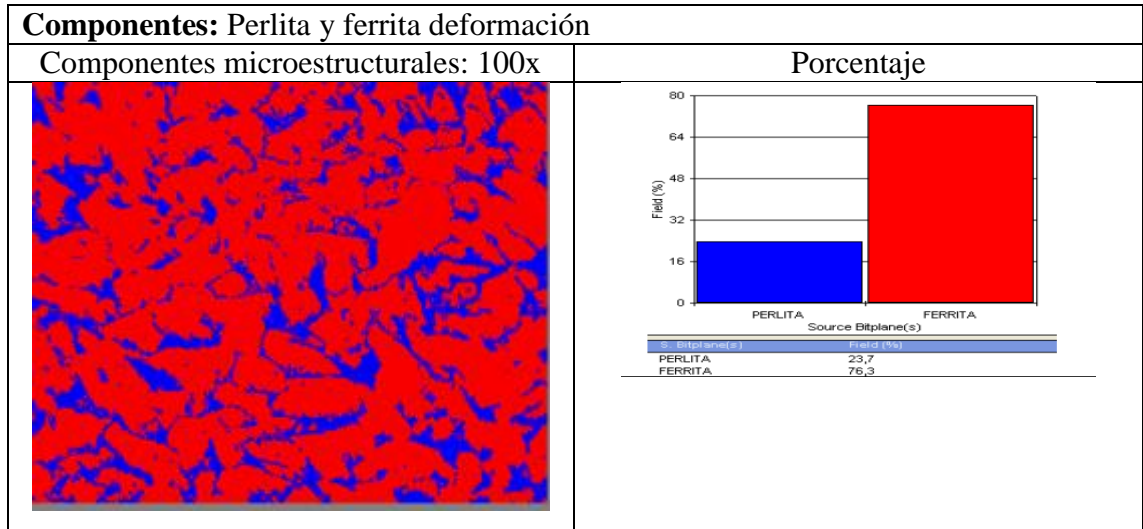


Tabla 3.57. Reporte del ensayo metalográfico en el perfil UV del acero ASTM A36 de 12 mm. Probeta P1-CD-12-01.



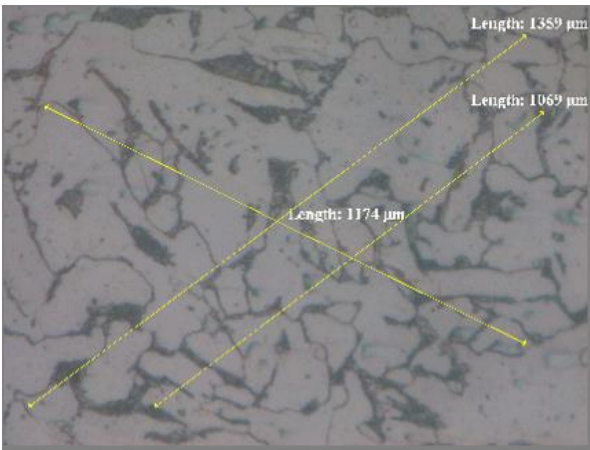
 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA				
ENSAYO METALGRÁFICO				
Datos informativos:				
Probeta:	P1-CD-12-01	Fecha	15/01/2023	
Material:	Acero ASTM A36	Espesor	12 mm	
Tipo de estudio:	Laboratorio	Ensayo N°:	09	
Norma Aplicable	ASTM E 112:96	Laboratorio	FICM	
Revisado por.	Ing. Francisco Peña Mg.	Realizado por:	Caiza E – Pullutasig D	
PARÁMETROS DEL ENSAYO METALGRÁFICO				
Acondicionamiento de la superficie:		Pulido Mecánico		
Temperatura durante el pulido:	20 °C	Superficie preparada en:	50 min	
Ataque químico de la superficie con:	Nital4	Durante:	4 seg	
EVOLUCIÓN DE LA MICROESTRUCTURA:				
Magnificación:		100x		
Cálculo:				
				
Recta	Longitud [µm]	Granos	Diámetro aproximado [mm]	N° ASTM
1	1359	8	0.1698	1.827
2	1069	9	0.1188	2.860
3	1174	9	0.1304	2.589
Tamaño de Grano Promedio: $2.4 \cong 2$				
Diámetro aproximado del grano: 0.140 mm				

Tabla 3.57. Reporte del ensayo metalográfico en el perfil UV del acero ASTM A36 de 12 mm. Probeta P1-CD-12-01 (continuación).

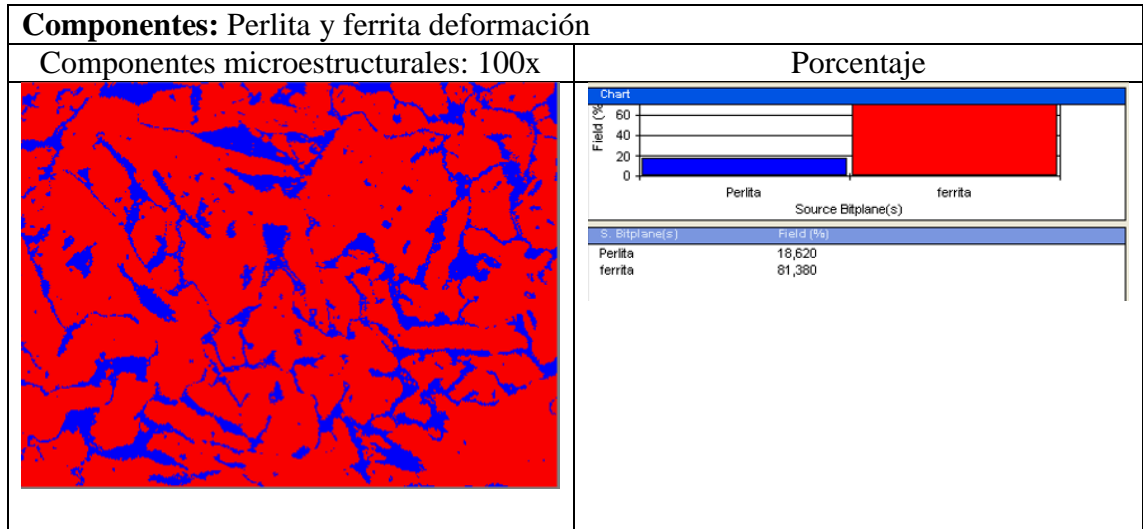


Tabla 3.58. Reporte del ensayo metalográfico en el perfil UV del acero ASTM A36 de 12 mm. Probeta P1-CI-12-02.



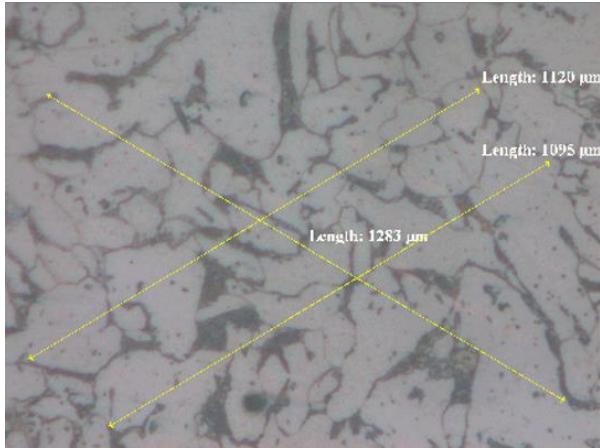
 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA				
ENSAYO METALOGRAFICO				
Datos informativos:				
Probeta:	P1-CI-12-02	Fecha	15/01/2023	
Material:	Acero ASTM A36	Espesor	12 mm	
Tipo de estudio:	Laboratorio	Ensayo N°:	10	
Norma Aplicable	ASTM E 112:96	Laboratorio	FICM	
Revisado por.	Ing. Francisco Peña Mg.	Realizado por:	Caiza E – Pullutasig D	
PARÁMETROS DEL ENSAYO METALOGRAFICO				
Acondicionamiento de la superficie:		Pulido Mecánico		
Temperatura durante el pulido:	20 °C	Superficie preparada en:	50 min	
Ataque químico de la superficie con:	Nital4	Durante:	4 seg	
EVOLUCIÓN DE LA MICROESTRUCTURA:				
Magnificación:		100x		
Cálculo:				
				
Recta	Longitud [µm]	Granos	Diámetro aproximado [mm]	N° ASTM
1	1120	8	0.1400	2.385
2	1095	6	0.1825	1.620
3	1283	8	0.1604	1.993
Tamaño de Grano Promedio: $1.9 \cong 2$				
Diámetro aproximado del grano: 0.161 mm				

Tabla 3.58. Reporte del ensayo metalográfico en el perfil UV del acero ASTM A36 de 12 mm. Probeta P1-CI-12-02 (continuación).

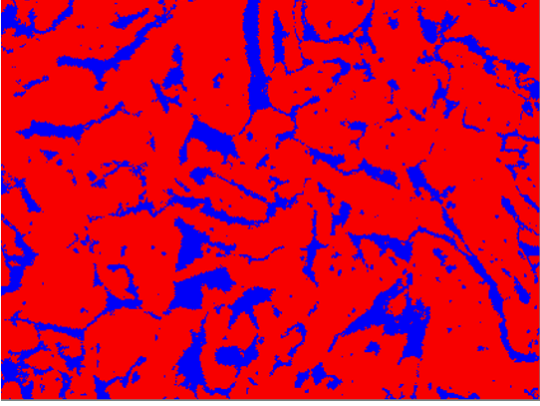

Componentes: Perlita y ferrita deformación						
Componentes microestructurales: 100x	Porcentaje					
	<p>Chart</p> 					
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>S. Bitplane(s)</th> <th>ferrita (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Perita</td> <td>22,999</td> </tr> <tr> <td>ferrita</td> <td>100</td> </tr> </tbody> </table>	S. Bitplane(s)	ferrita (%)	Perita	22,999	ferrita
S. Bitplane(s)	ferrita (%)					
Perita	22,999					
ferrita	100					

Tabla 3.59. Reporte del ensayo metalográfico en el perfil UV del acero ASTM A36 de 12 mm. Probeta P1-AI-12-02.



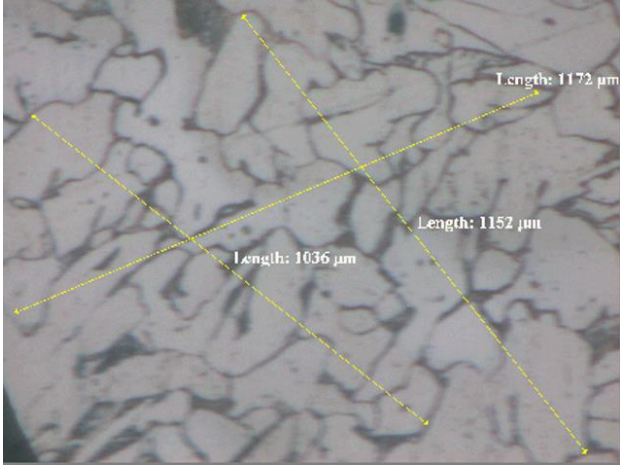
 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA				
ENSAYO METALOGRAFICO				
Datos informativos:				
Probeta:	P1-AI-12-02	Fecha	15/01/2023	
Material:	Acero ASTM A36	Espesor	12 mm	
Tipo de estudio:	Laboratorio	Ensayo N°:	11	
Norma Aplicable	ASTM E 112:96	Laboratorio	FICM	
Revisado por.	Ing. Francisco Peña Mg.	Realizado por:	Caiza E – Pullutasig D	
PARÁMETROS DEL ENSAYO METALOGRAFICO				
Acondicionamiento de la superficie:		Pulido Mecánico		
Temperatura durante el pulido:	20 °C	Superficie preparada en:	50 min	
Ataque químico de la superficie con:	Nital4	Durante:	4 seg	
EVOLUCIÓN DE LA MICROESTRUCTURA:				
Magnificación:		100x		
Cálculo:				
				
Recta	Longitud [µm]	Granos	Diámetro aproximado [mm]	N° ASTM
1	1172	9	0.1674	1.869
2	1152	8	0.1645	1.918
3	1036	9	0.0841	3.529
Tamaño de Grano Promedio: $2.4 \cong 2$				
Diámetro aproximado del grano: 0.142 mm				

Tabla 3.59. Reporte del ensayo metalográfico en el perfil UV del acero ASTM A36 de 12 mm. Probeta P1-AI-12-02 (continuación).

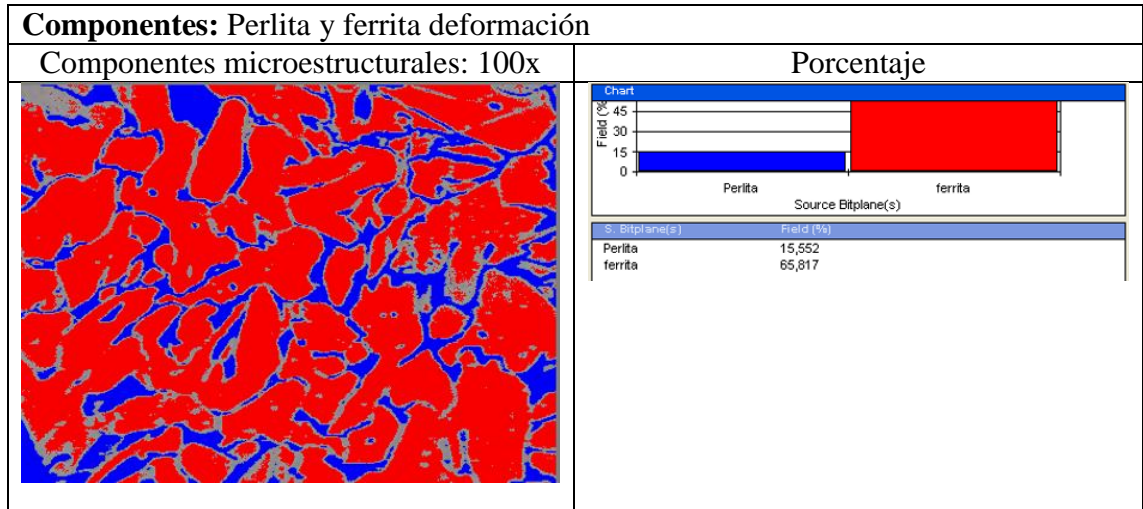


Tabla 3.60. Reporte del ensayo metalográfico en el perfil UV del acero ASTM A36 de 12 mm. Probeta P1-AD-12-01.



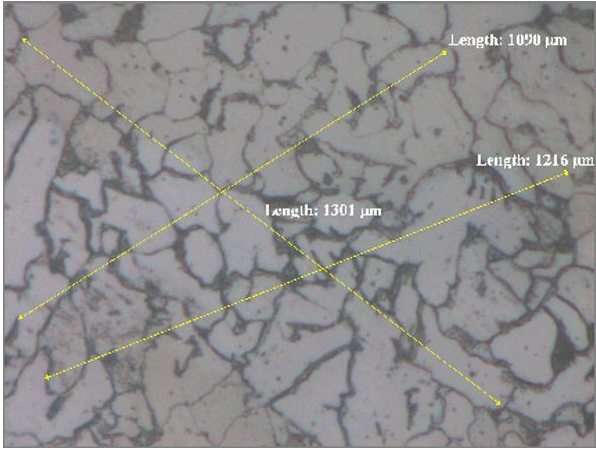
 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA				
ENSAYO METALOGRAFICO				
Datos informativos:				
Probeta:	P1-AD-12-01	Fecha	15/01/2023	
Material:	Acero ASTM A36	Espesor	12 mm	
Tipo de estudio:	Laboratorio	Ensayo N°:	12	
Norma Aplicable	ASTM E 112:96	Laboratorio	FICM	
Revisado por.	Ing. Francisco Peña Mg.	Realizado por:	Caiza E – Pullutasig D	
PARÁMETROS DEL ENSAYO METALOGRAFICO				
Acondicionamiento de la superficie:		Pulido Mecánico		
Temperatura durante el pulido:	20 °C	Superficie preparada en:	50 min	
Ataque químico de la superficie con:	Nital4	Durante:	4 seg	
EVOLUCIÓN DE LA MICROESTRUCTURA:				
Magnificación:		100x		
Cálculo:				
				
Recta	Longitud [μm]	Granos	Diámetro aproximado [mm]	N° ASTM
1	1090	11	0.0999	3.382
2	1216	9	0.1351	2.488
3	1301	9	0.1446	2.292
Tamaño de Grano Promedio: $2.7 \cong 3$				
Diámetro aproximado del grano: 0.127 mm				

Tabla 3.60. Reporte del ensayo metalográfico en el perfil UV del acero ASTM A36 de 12 mm. Probeta P1-AD-12-01 (continuación).

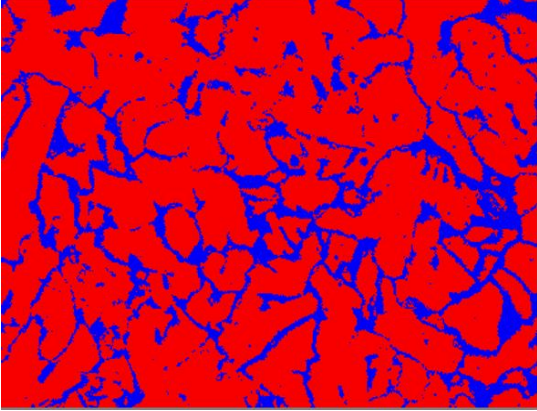
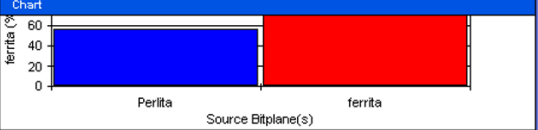
Componentes: Perlita y ferrita deformación						
Componentes microestructurales: 100x	Porcentaje					
	<p>Chart</p> 					
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>S. Bitplane(s)</th> <th>ferrita (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Perlita</td> <td>56,781</td> </tr> <tr> <td>ferrita</td> <td>100</td> </tr> </tbody> </table>	S. Bitplane(s)	ferrita (%)	Perlita	56,781	ferrita
S. Bitplane(s)	ferrita (%)					
Perlita	56,781					
ferrita	100					

Tabla 3.61. Reporte del ensayo metalográfico en el perfil UV del acero ASTM A36 de 12 mm. Probeta P1-I-12-01.



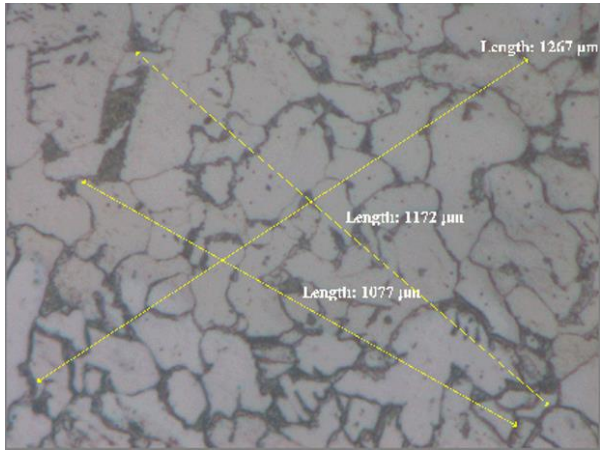
 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA				
ENSAYO METALOGRAFICO				
Datos informativos:				
Probeta:	P1-I-12-01	Fecha	15/01/2023	
Material:	Acero ASTM A36	Espesor	12 mm	
Tipo de estudio:	Laboratorio	Ensayo N°:	13	
Norma Aplicable	ASTM E 112:96	Laboratorio	FICM	
Revisado por.	Ing. Francisco Peña Mg.	Realizado por:	Caiza E – Pullutasig D	
PARÁMETROS DEL ENSAYO METALOGRAFICO				
Acondicionamiento de la superficie:		Pulido Mecánico		
Temperatura durante el pulido:	20 °C	Superficie preparada en:	50 min	
Ataque químico de la superficie con:	Nital4	Durante:	4 seg	
EVOLUCIÓN DE LA MICROESTRUCTURA:				
Magnificación:		100x		
Cálculo:				
				
Recta	Longitud [µm]	Granos	Diámetro aproximado [mm]	N° ASTM
1	1267	11	0.1152	2.948
2	1172	8	0.1465	2.254
3	1077	10	0.1077	3.1442
Tamaño de Grano Promedio: $2.78 \cong 3$				
Diámetro aproximado del grano: 0.123 mm				

Tabla 3.61. Reporte del ensayo metalográfico en el perfil UV del acero ASTM A36 de 12 mm. Probeta P1-I-12-01 (continuación).

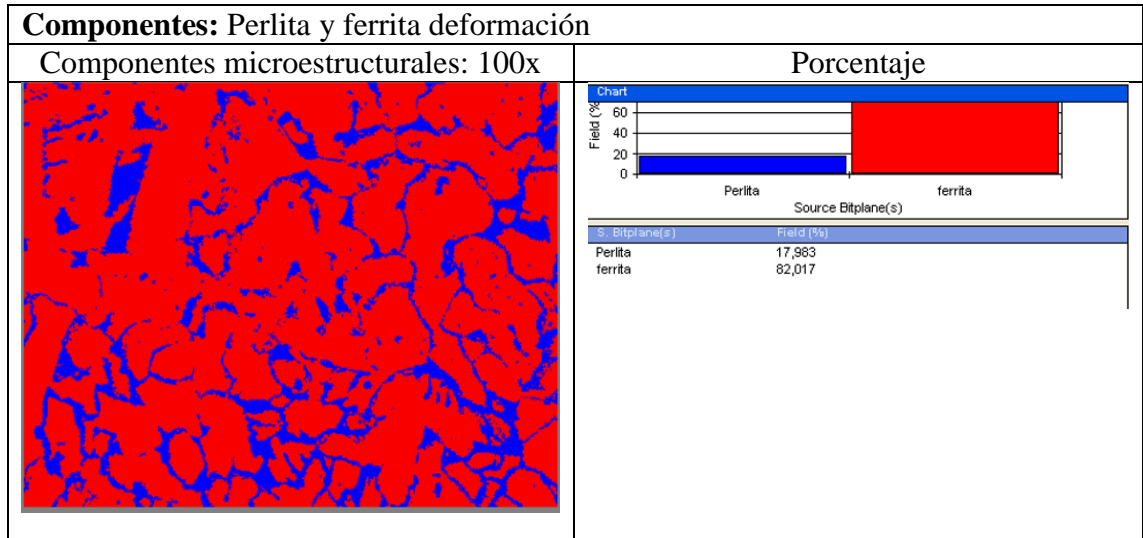


Tabla 3.62. Reporte del ensayo metalográfico en el perfil UV del acero ASTM A36 de 12 mm. Probeta P1-I-12-02.



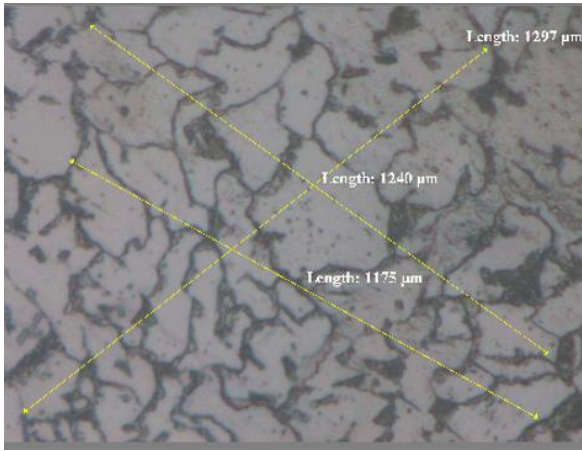
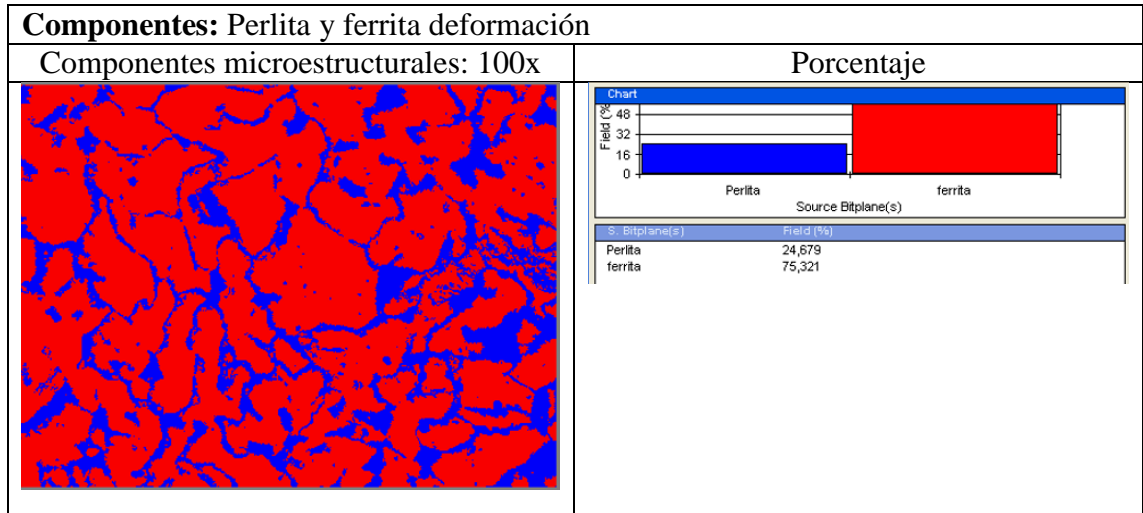
 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA				
ENSAYO METALOGRAFICO				
Datos informativos:				
Probeta:	P1-I-12-02	Fecha	15/01/2023	
Material:	Acero ASTM A36	Espesor	12 mm	
Tipo de estudio:	Laboratorio	Ensayo N°:	14	
Norma Aplicable	ASTM E 112:96	Laboratorio	FICM	
Revisado por.	Ing. Francisco Peña Mg.	Realizado por:	Caiza E – Pullutasig D	
PARÁMETROS DEL ENSAYO METALOGRAFICO				
Acondicionamiento de la superficie:		Pulido Mecánico		
Temperatura durante el pulido:	20 °C	Superficie preparada en:	50 min	
Ataque químico de la superficie con:	Nital4	Durante:	4 seg	
EVOLUCIÓN DE LA MICROESTRUCTURA:				
Magnificación:		100x		
Cálculo:				
				
Recta	Longitud [μm]	Granos	Diámetro aproximado [mm]	N° ASTM
1	1297	10	0.1297	2.606
2	1175	8	0.1468	2.247
3	1240	9	0.1377	2.432
Tamaño de Grano Promedio: $2.42 \cong 2$				
Diámetro aproximado del grano: 0.138 mm				

Tabla 3.62. Reporte del ensayo metalográfico en el perfil UV del acero ASTM A36 de 12 mm. Probeta P1-I-12-02 (Continuación).



3.2 Análisis de resultados del ensayo de Tracción

Tabla 3.63 Análisis de resultados del ensayo de tracción del perfil UV del acero ASTM A36 de 10 mm.



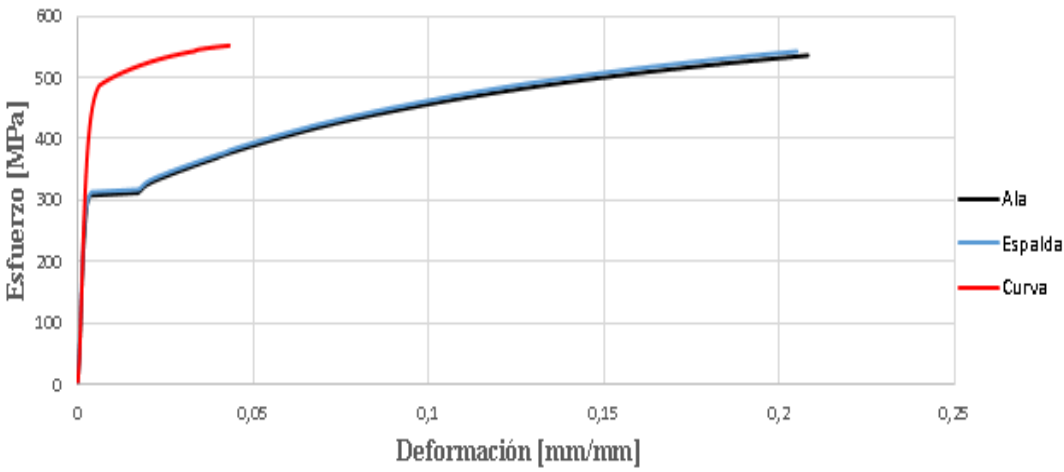
 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
ENSAYO DE TRACCIÓN			
Datos informativos:			
Perfil	UV	Fecha de inicio: 15/01/2023	
Material:	Acero ASTM A36	Espesor:	10 mm
Ubicación	Ala		
	Espalda		
	Curva		
Norma Aplicable:	E8/E8M – 13a	Laboratorio:	LenMav
Instrumento:	Máquina Universal de ensayos –WAW600B	Capacidad:	500 KN
Revisado por:	Ing. Francisco Peña Mg.	Realizado por:	Caiza E – Pullutasig D
Promedio de las curvas del perfil UV del acero ASTM A 36 con espesor de 10 mm			
<p>Curva Esfuerzo - Deformación Real del Perfil UV-10mm</p> 			

Tabla 3.63 Análisis de resultados del ensayo de tracción del perfil UV del acero ASTM A36 de 10 mm (continuación).

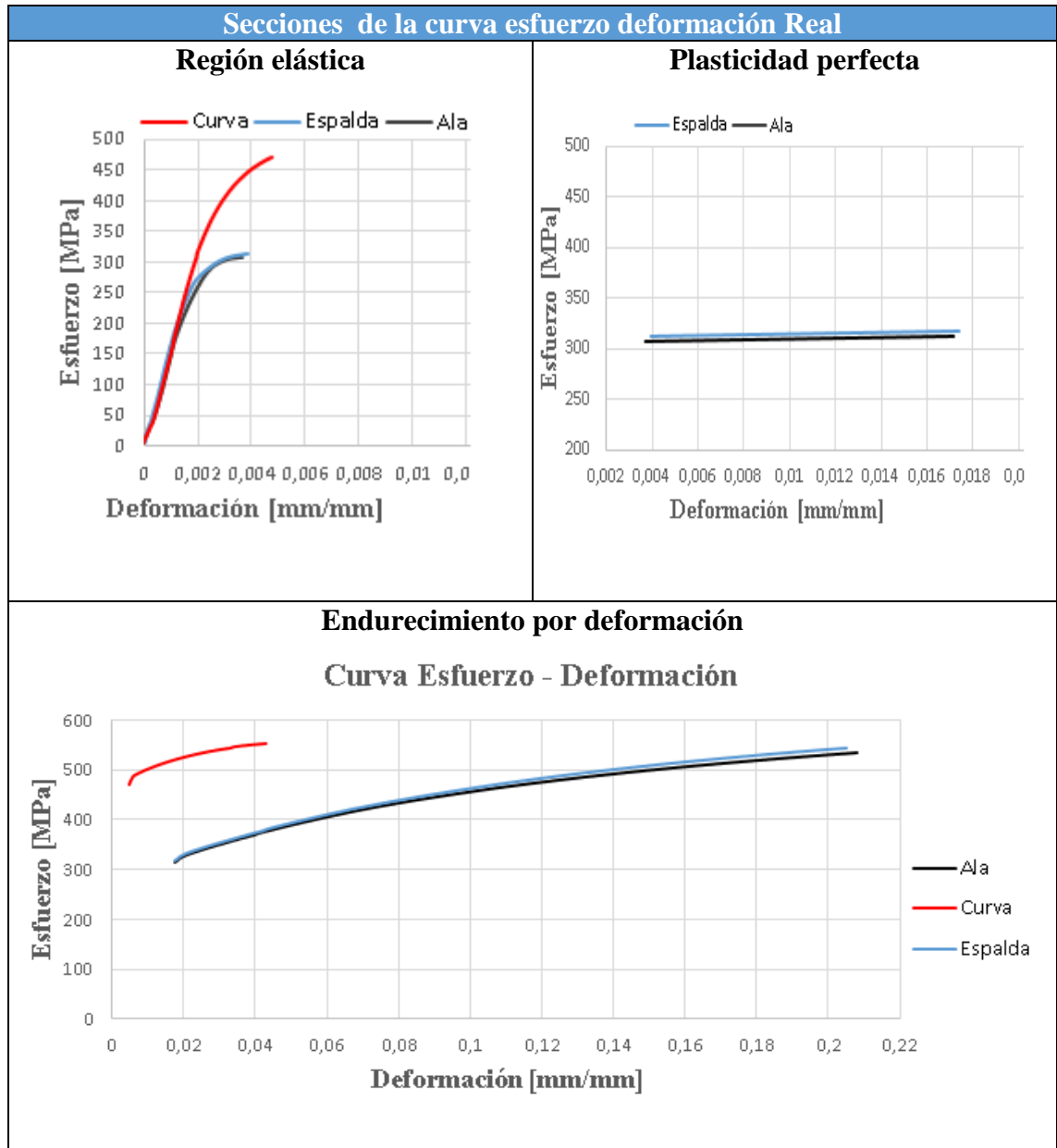


Tabla 3.64. Propiedades mecánicas reales de las secciones del perfil UV conformado en frío del acero ASTM A36 para 10 mm

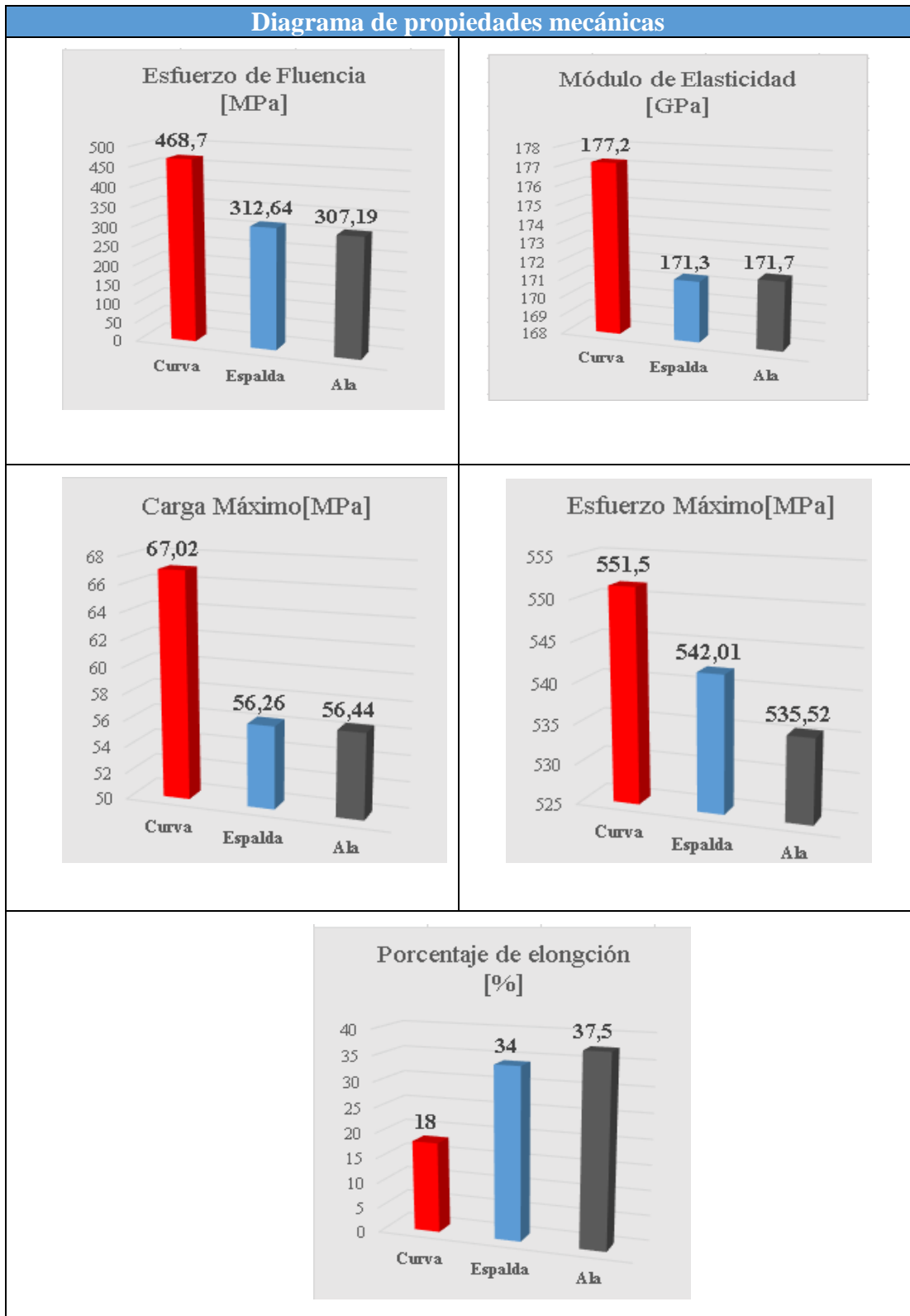


Tabla 3.65. Porcentaje de diferencias de las propiedades mecánicas de las secciones del perfil UV conformado en frío del acero ASTM A36 para 10 mm.

Propiedades Mecánicas Reales			
Propiedades del material	Porcentaje de diferencia [%]		
	Curva-Ala	Curva-Espalda	Espalda-Ala
Módulo de elasticidad	3,2	3,44	-0,23
Esfuerzo de fluencia	52,57	49,91	1,77
Esfuerzo Máximo	2,98	1,75	1,21
Carga Máxima	18,74	19,12	-0,31
Porcentaje de elongación	-52	-47,05	-9,33

El análisis de los resultados del ensayo de tracción en el perfil conformado en frío se realiza en correlación con las gráficas representadas en el diagrama esfuerzo-deformación real y las propiedades mecánicas reales mostradas en la Tabla 3.63 y 3.64. Además, se complementa con la información agregada en Tabla 3.65, que proporciona un desglose de las diferencias de las propiedades mecánicas para cada sección.

ZONA ELÁSTICA

Región Lineal (Región I)

Los resultados del ensayo para esta región muestran que, las probetas de la sección de la espalda y las alas del perfil UV conformado presenta un comportamiento similar. Este comportamiento es marcado por una relación directa y constante entre el esfuerzo aplicado y la deformación resultante, indicando un patrón de comportamiento elástico consistente y predecible dentro de esta región. Sin embargo, las probetas de la región curva muestran un notable incremento de la región lineal, al ser comparada con las probetas de las demás secciones. Estos cambios están asociados a modificaciones estructurales producidas durante el proceso de conformado en frío. Este incremento señala un mejoramiento en la capacidad del material para soportar cargas más elevadas sin entrar en deformaciones plásticas, lo que indica una efectiva modificación en sus propiedades de resistencia.

Límite de la zona elástica (Región II)

Para esta región, se tiene que la sección correspondiente a la espalda sufre un incremento mínimo del 1,77% en comparación con las alas del perfil en el esfuerzo de fluencia, a pesar de tener una misma sección transversal en sus probetas. Estos incrementos se deben a una discrepancia en la distribución de tensiones entre estas

áreas específicas, implicando que, la sección de la espalda soporte una carga adicional para empezar a demostrar comportamientos plásticos. Sin embargo, para las probetas de la sección curva, se nota un esfuerzo de fluencia creciente en un 52,57% y 49,91% en relación a las secciones de las alas y la espalda, provocado incrementos drásticos en el límite proporcional debido a un cambio geométrico en las probetas teniendo un mayor incremento de concentración de esfuerzos.

ZONA PLÁSTICA

Plasticidad perfecta o fluencia (Región III)

Los resultados indican que las probetas de la sección de la espalda y las alas del perfil presentan deformaciones similares con líneas paralelas. La diferencia radica en las probetas de las secciones de alas, dado que inicia su cedencia con un esfuerzo inicial menor, sin embargo, ambos muestran una deformación similar por variaciones de las propiedades intrínsecas del material en estas regiones. En cambio, en las probetas de las secciones curvas, no se percibe una línea clara de cedencia, obteniendo deformaciones plásticas notables que resultan en un endurecimiento creciente a causa de una mayor concentración de esfuerzos para esta sección en comparación a las demás secciones.

Endurecimiento por deformación (Región IV)

En esta región se tiene un leve incremento de endurecimiento de la sección de la espalda del perfil, pero con menor deformación, a diferencia de las secciones de las alas, donde su endurecimiento es menor con un aumento de deformación, alcanzado su esfuerzo máximo de 542,01 MPa y 535,52 MPa. Sin embargo, en las probetas de la sección de la curva el endurecimiento por deformación tiene un crecimiento del 2,98% y 1,75% en relación de las alas y la espalda del perfil con mínima deformación.

El leve incremento de endurecimiento por deformación en la sección de la espalda del perfil indica una mayor resistencia a la deformación plástica en esta región, capaz de soportar mayores cargas antes de deformarse permanentemente. Sin embargo, las secciones de las alas pueden tener menores esfuerzos, pero son más susceptible a deformaciones mayores. En cuanto en las secciones curvas, el aumento del endurecimiento por deformación con una mínima deformación indica una región con endurecimientos rápidos con el inconveniente de prestar deformarse ligeras antes de alcanzar ese punto.

Tabla 3.66. Análisis de resultados del ensayo de tracción del perfil UV del acero ASTM A36 de 12 mm.



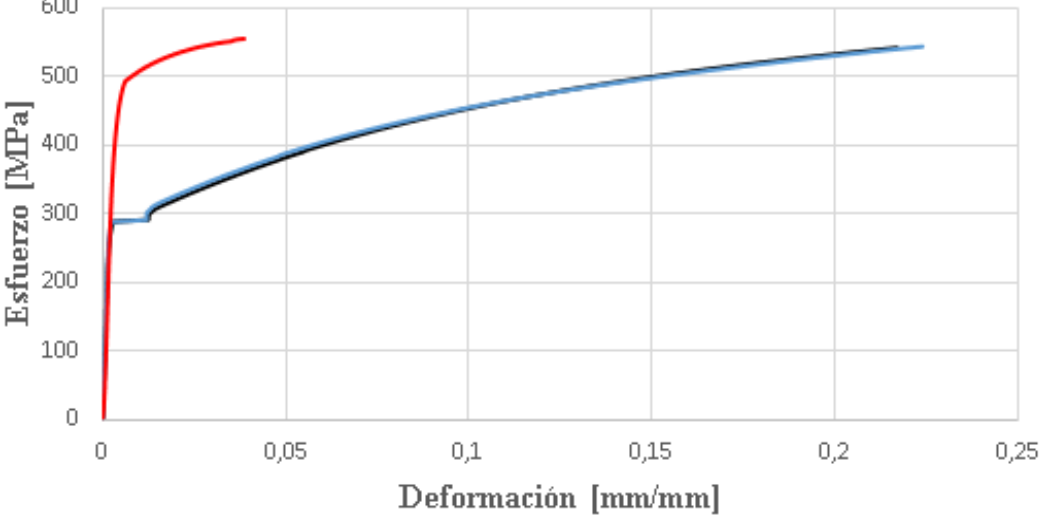
 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
ENSAYO DE TRACCIÓN			
Datos informativos:			
Perfil:	UV	Fecha de inicio: 15/01/2023	
Material:	Acero ASTM A36	Espesor:	12 mm
Ubicación:	Ala		
	Espalda		
	Curva		
Norma Aplicable:	E8/E8M – 13a	Laboratorio:	LenMav
Instrumento:	Máquina Universal de ensayos –WAW600B		
Revisado por:	Ing. Francisco Peña Mg.	Realizado por:	Caiza E – Pullutasig D
Promedio de las curvas del perfil UV del acero ASTM A 36 con espesor de 12 mm			
<p>Curva Esfuerzo - Deformación Real del perfil UV -12mm</p> 			

Tabla 3.66 Análisis de resultados del ensayo de tracción del perfil UV del acero ASTM A36 de 12 mm (continuación).

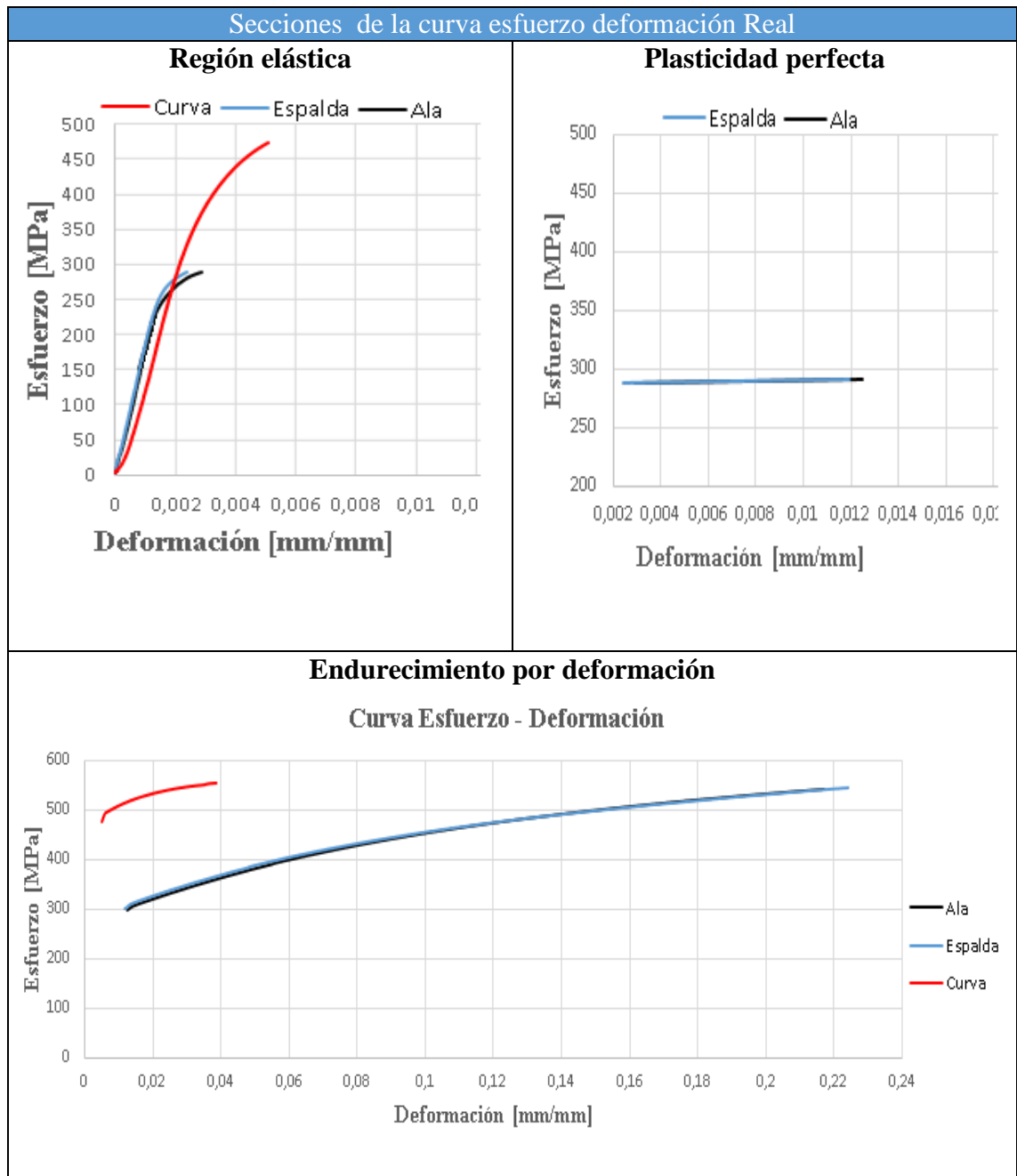


Tabla 3.67. Propiedades mecánicas reales de las secciones del perfil UV conformado en frío del acero ASTM A36 para 12 mm.

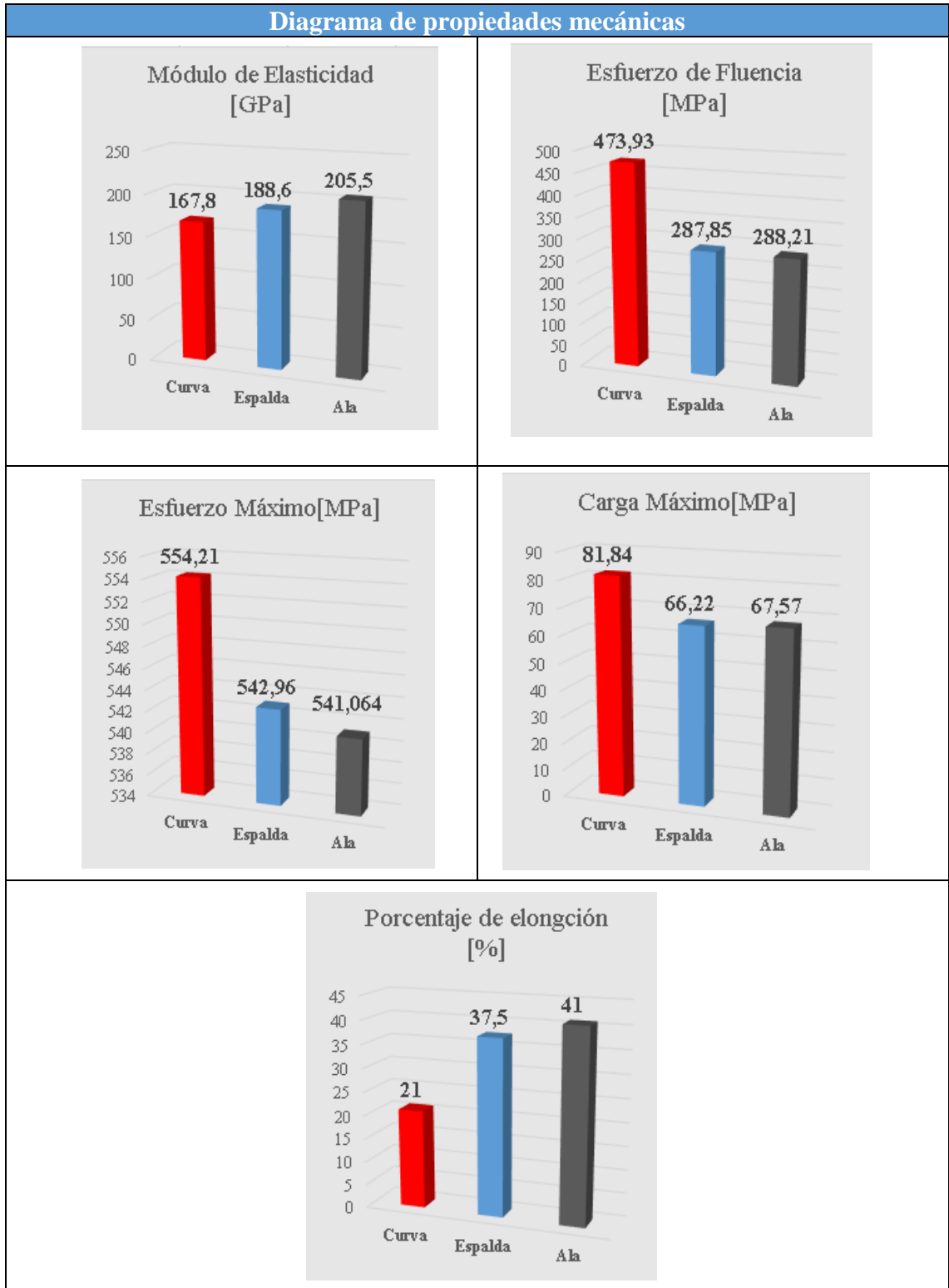


Tabla 3.68. Porcentaje de diferencias de las propiedades mecánicas de las secciones del perfil UV conformado en frío del acero ASTM A36 para 12 mm.

Propiedades Mecánicas Reales			
Propiedades del material	Porcentaje de diferencia [%]		
	Curva-Ala	Curva-Espalda	Espalda-Ala
Módulo de elasticidad	-18,34	-11,028	-8,22
Esfuerzo de fluencia	64,43	64,64	-0,12
Esfuerzo Máximo	2,42	2,07	0,35
Carga Máxima	21,11	23,58	-1,96
Porcentaje de elongación	-48	-44	-8,53

El análisis de los resultados del ensayo de tracción en el perfil conformado en frío se realiza en correlación con las gráficas representadas en el diagrama esfuerzo-deformación real y las propiedades mecánicas reales mostradas en la Tabla 3.63 y 3.64. Además, se complementa con la información agregada en Tabla 3.65, que proporciona un desglose de las diferencias de las propiedades mecánicas para cada sección.

ZONA ELÁSTICA

Región Lineal (Región I)

Los resultados del ensayo señalan que, la región lineal en las probetas de las secciones de la espalda y el ala del perfil UV no exhiben una variación notable. No obstante, se evidencia un incremento significativo en las probetas de las secciones curvas en comparación con las tras probetas analizados. Este incremento notorio indica una mayor capacidad para resistir cargas sin experimentar ningún tipo de deformaciones.

Límite de la zona elástica (Región II)

Se aprecia una reducción mínima del -0,12% en las probetas de la sección de la espalda en relación con alas del perfil, a pesar de una misma sección transversal, esta diferencia se debe a la presencia de geometrías internas, ligeramente diferentes o áreas que concentran tensiones de manera distinta producidas por el proceso de conformado en frío. Sin embargo, en las probetas de las secciones curvas se registra un incremento del 64,43% y 64,64% en comparación a las secciones de las alas y la espalda del perfil, este incremento se asocia con una mayor deformación indicando una mayor capacidad para soportar cargas antes de entrar en la fase plástica, claramente influenciado por el cambio de geometría de la sección donde existe mayor contracción de esfuerzos.

ZONA PLÁSTICA

Plasticidad perfecta o fluencia (Región III)

Se aprecia una ligera diferencia entre las probetas de las secciones de la espalda y las alas del perfil, con un punto inicial de cedencia similar, pero con diferencias mínimas en cuanto al nivel de deformación.

Esta diferencia radica en las probetas de la sección de las alas experimentando una deformación mayor antes de llegar a su límite de cedencia, lo que muestra una mayor capacidad para cambiar su forma. Sin embargo, en la probeta de la sección curva, no se evidencia una cedencia clara, apreciando deformaciones plásticas notables que resultan en un endurecimiento creciente resultados por una mayor concentración de esfuerzos en esta sección en comparación con las demás secciones del perfil conformado.

Endurecimiento por deformación (Región IV)

Se tiene un leve incremento del endurecimiento por deformación en las probetas de la sección de la espalda, acompañado de una menor deformación en comparación con las probetas de la sección de las alas del perfil. Esta diferencia del 0,35% indica una mayor resistencia al cambio de forma antes de su fractura con menor deformación. En cambio, en las secciones curvas, se detecta un endurecimiento mayor una deformación reducida. Estas características en estas secciones presentan una mayor capacidad para soportar deformaciones antes de experimentar cambios significativos en su estructura interna.

3.3 Análisis de resultados del ensayo de dureza

Tabla 3.69. Análisis de resultados del ensayo de dureza para el material virgen y el perfil UV del Acero ASTM A36 de 10 mm.



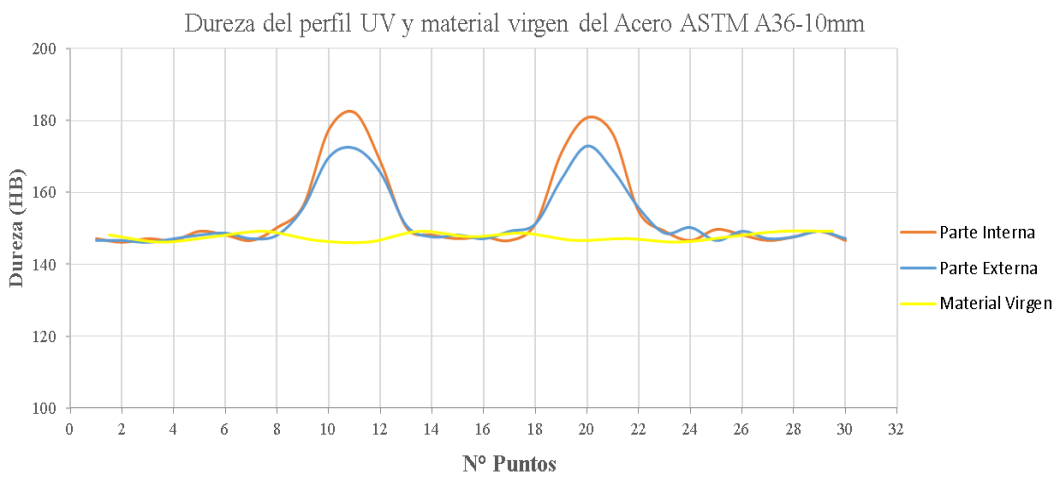
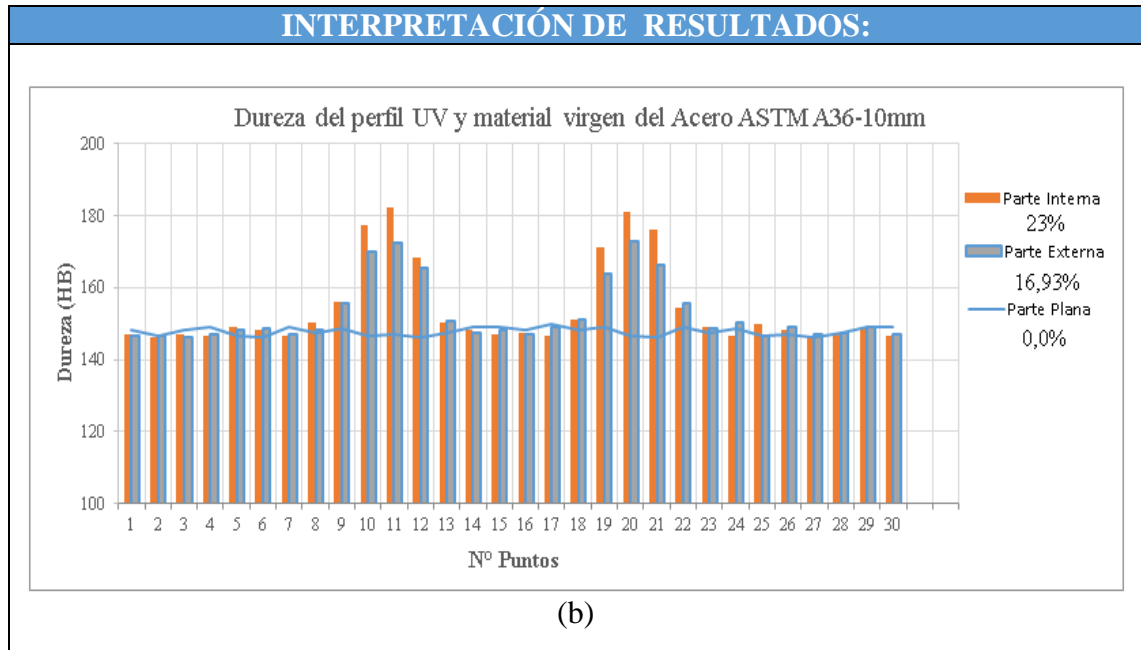
 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
ENSAYO DE DUREZA			
Datos informativos:			
Probeta:	Material Virgen – Perfil UV	Fecha de inicio: 15/01/2023	
Material:	Acero ASTM A36	Espesor:	10 mm
Características del ensayo:	Fuerza Máxima	Velocidad de aplicación	
	187.5 Kgf	10 seg	
	Método	Tipo de penetrador	
	Brinell	Indentador de 2.5 mm	
Norma Aplicable:	E10-15	Laboratorio:	FICM
Instrumento:	Laizhou Lyric Tensting Equipment Co. Ltd		
Revisado por:	Ing. Francisco Peña Mg.	Realizado por:	Caiza E – Pullutasig D
Análisis de curvas			
<p>Dureza del perfil UV y material virgen del Acero ASTM A36-10mm</p>  <p style="text-align: center;">(a)</p>			

Tabla 3.69. Análisis de resultados del ensayo de dureza para el material virgen y el perfil UV del Acero ASTM A36 de 10 mm (continuación).



En la Figura (a) de la Tabla 3.69, se muestra la dureza del material virgen mediante una línea horizontal ondulada, resultado de una variación estándar mínima en las mediciones de los diámetros de la huella del indentador. Esta prolongación también se evidencia en las secciones internas-externas de las alas y espalda del perfil conformado. Sin embargo, se registra una variación significativa en las secciones curvas, donde la dureza en la parte interna y externa experimenta notables incrementos en comparación con otras áreas.

Especialmente, el aumento en la dureza de la parte interna es excedido por el incremento de la parte externa, alcanzando sus valores máximos en el centro de la curva. Con forme nos acerquemos al centro de la curva, se muestra un incremento del 23% en la dureza de la sección interna y un 16.93% en la externa en sus puntos máximos, en relación con el promedio de las secciones planas, como lo muestra la Figura (b) de la Tabla 3.65.

Tabla 3.70. Análisis de resultados del ensayo de dureza para el material virgen y el perfil UV del Acero ASTM A36 de 12 mm.



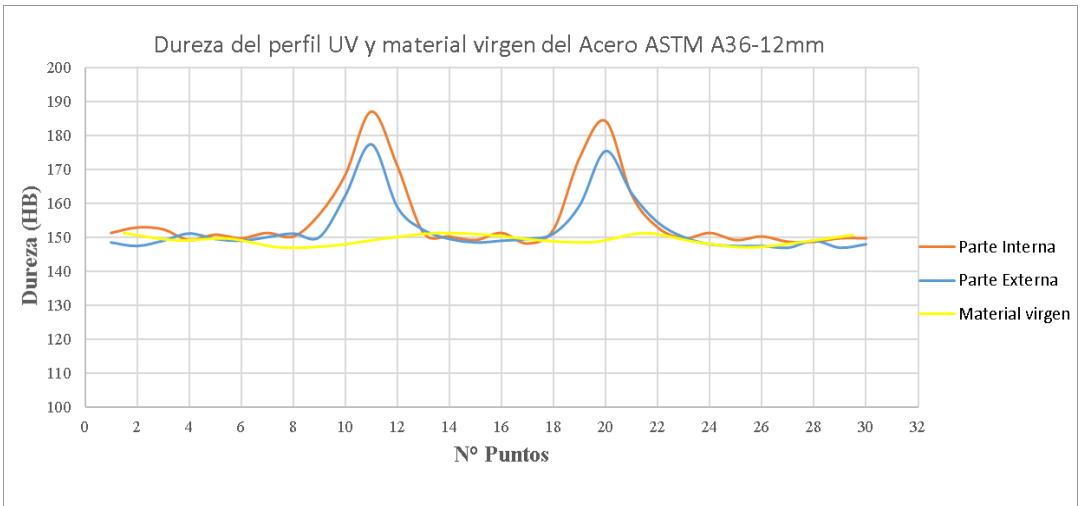
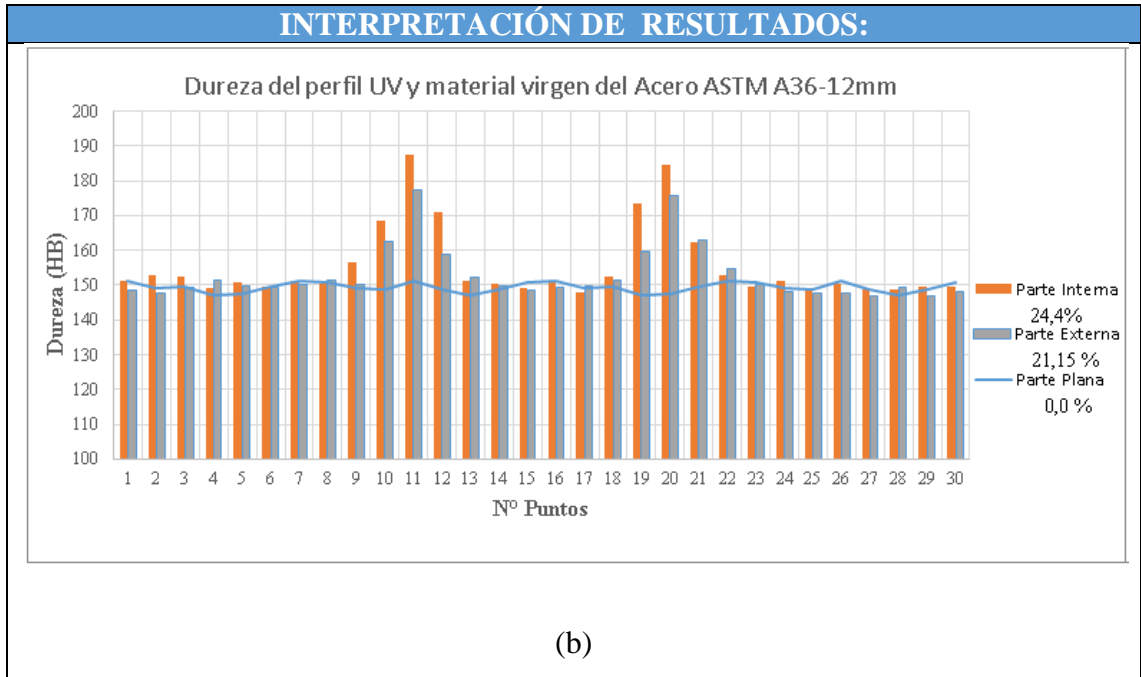
 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA 			
ENSAYO DE DUREZA			
Datos informativos:			
Probeta:	Material Virgen – Perfil UV	Fecha de inicio: 15/01/2023	
Material:	Acero ASTM A36	Espesor:	12 mm
Características del ensayo:	Fuerza Máxima	Velocidad de aplicación	
	187.5 Kgf	10 seg	
	Método	Tipo de penetrador	
	Brinell	Indentador de 2.5 mm	
Norma Aplicable:	E10-15	Laboratorio:	FICM
Instrumento:	Laizhou Lyric Tensting Equipment Co. Ltd		
Revisado por:	Ing. Francisco Peña Mg.	Realizado por:	Caiza E – Pullutasig D
RESULTADOS:			
 <p style="text-align: center;">Dureza del perfil UV y material virgen del Acero ASTM A36-12mm</p> <p style="text-align: center;">(a)</p>			

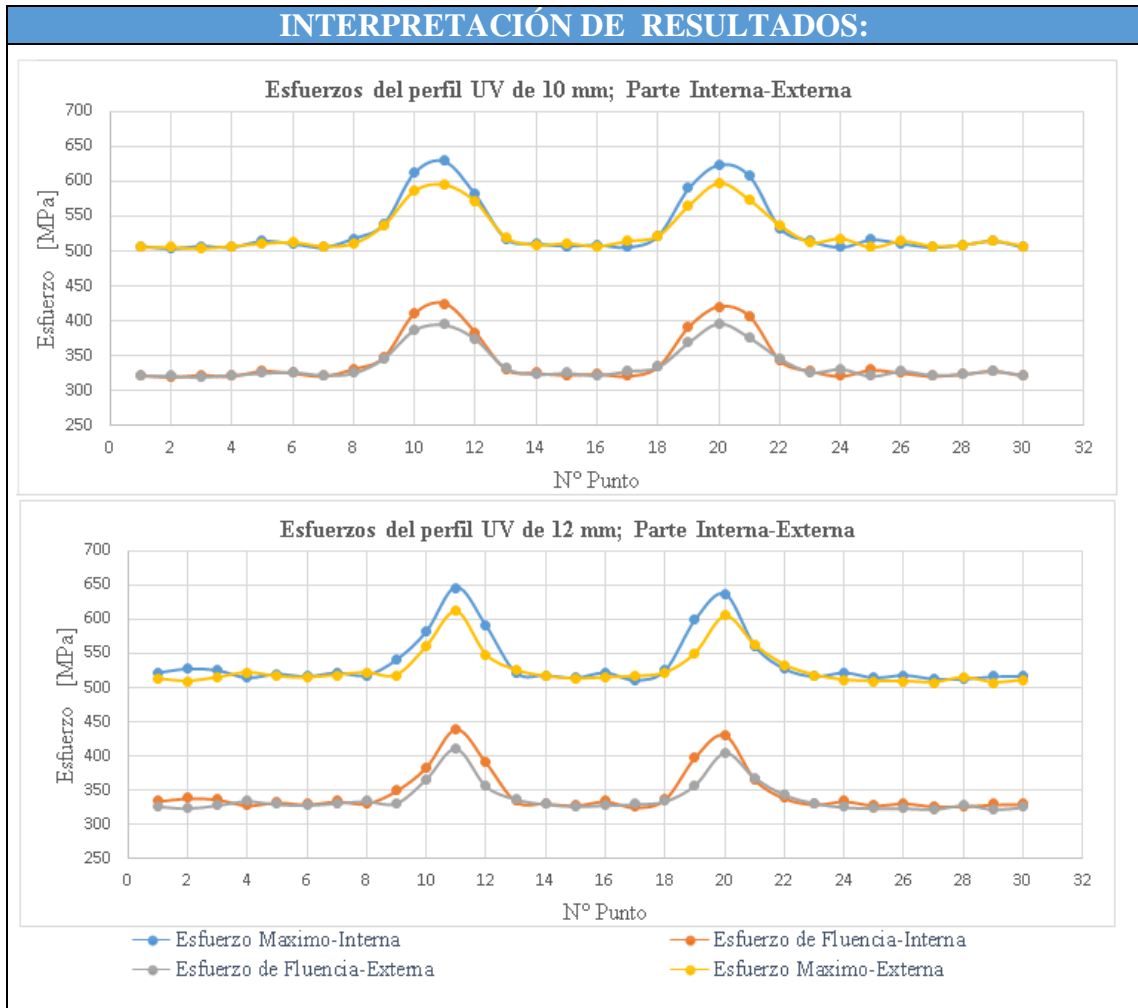
Tabla 3.70 análisis de resultados del ensayo de dureza para el material virgen y el perfil UV del Acero ASTM A36 de 12 mm (continuación).



En la Figura (a) de la Tabla 3.70, se muestra la dureza del material virgen mediante una línea horizontal ondulada, resultado de una variación en las mediciones de los diámetros de la huella del indentador. Esta consistencia también se evidencia en las secciones internas-externas de las alas y espalda del perfil conformado en frío. Sin embargo, se registra una variación significativa en las secciones curvas, donde la dureza en la parte interna y externa experimenta notables incrementos en comparación con las secciones planas.

Al igual que el perfil conformado en frío con espesor de 10 mm, el aumento en la dureza de la parte interna es excedido por el incremento de la parte externa, alcanzando sus valores máximos en el centro de la curva con la diferencia que, en centro de la curva, se muestra un incremento del 23% en la dureza de la sección interna y un 16.93% en la externa en sus puntos máximos, en relación con el promedio de las secciones planas, como se muestra en la Figura (b) de la Tabla 3.70

Tabla 3.71. Análisis de resultados de la Resistencia a la tracción y el límite de fluencia [MPa] en función de la dureza Brinell para el perfil UV de 10 mm y 12 mm.

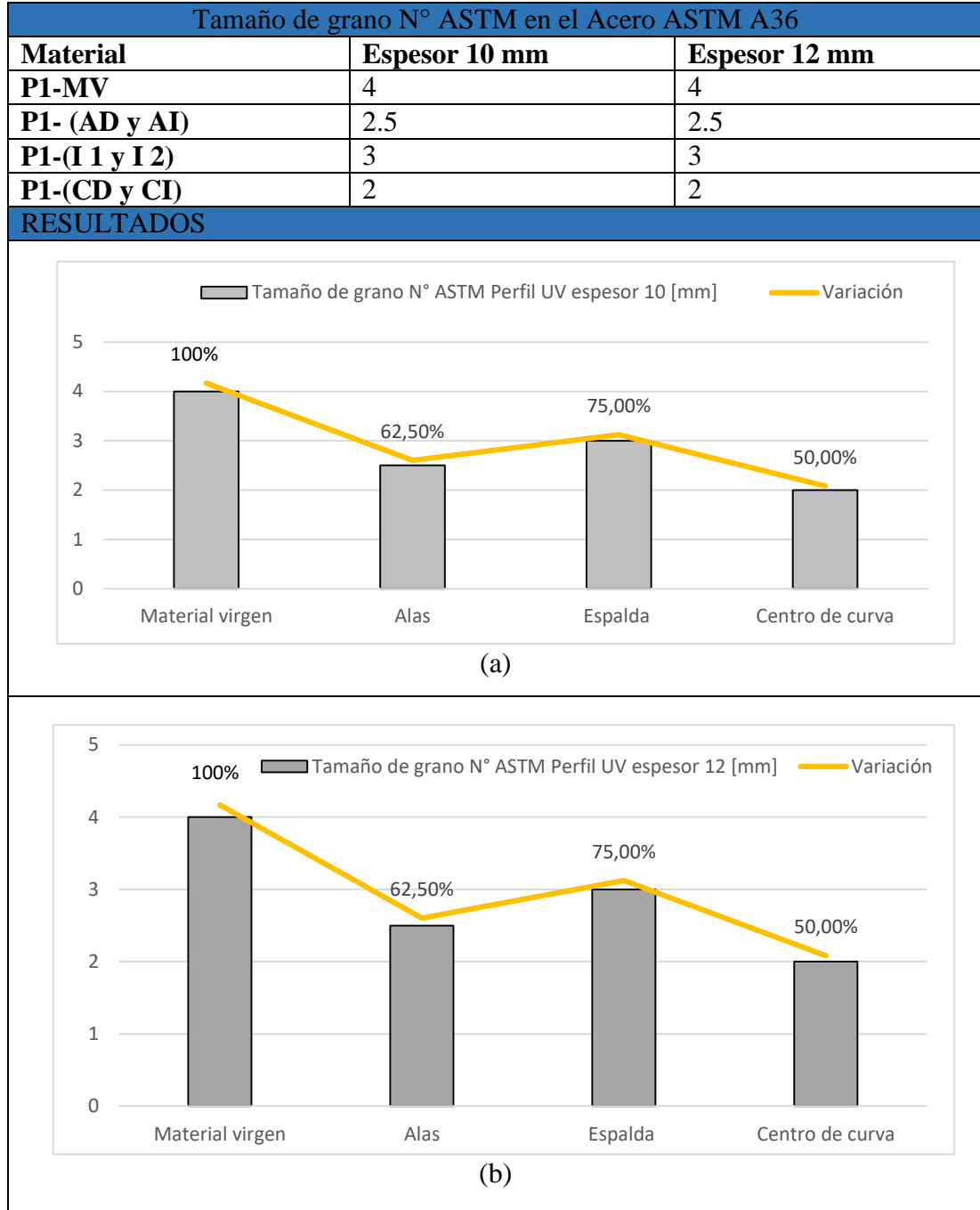


En los esfuerzos (fluencia y máximo) registrados en relación con la dureza Brinell se muestran una trayectoria consistente con los puntos de dureza obtenidos mediante el método Brinell especificado por la norma, evidenciando una relación directa entre estos factores. Se ha identificado en el perfil conformado en frío UV con espesor de 10 mm los esfuerzos de fluencia promedio entre externas e internas en el centro de la curva, alcanzan los 409.34 MPa, mientras que el esfuerzo máximo se sitúa en un 611.04 MPa. Sin embargo, para el perfil de 12 mm estos esfuerzos experimentan un incremento, llegando a un 421.61 MPa y 625,06 MPa.

Comparando los perfiles de 10 mm y 12 mm se tiene un aumento del 5.44% en el esfuerzo de fluencia y un 2.29% en el esfuerzo máximo, en relación con los esfuerzos del perfil de 10 mm.

3.4 Análisis de resultados del ensayo Metalográfico

Tabla 3.72. Interpretación de resultados del ensayo Metalográfico para el perfil UV de 10 mm y 12 mm.



Con los resultados obtenidos se puede afirmar que, el tamaño de grano tiene una reducción de un 50% (Figura (a)) en el Perfil UV de 10 mm y una reducción del 50% (Figura (b)) en el Perfil UV de 12 mm en el centro de la curva, esto implica la expansión de los granos en la zona afectada por el proceso de conformado. Por lo tanto, en la parte central de la curva existe una concentración de esfuerzo puesto que el

tamaño de grano es menor. No obstante, también existe un aumento en la resistencia por la restricción en el movimiento de dislocaciones de la microestructura, sin embargo, las propiedades mecánicas como la dureza se incrementan, pero disminuyen en ductilidad comparando con el material virgen.

3.5 Verificación de la Hipótesis

En esta investigación experimental, se empleó el método de medias muestrales para la verificación de hipótesis planteada. Este método implica el cálculo del estadístico de prueba, el cual es comparado con un valor crítico permitiendo tomar la decisión de aceptar o rechazar la hipótesis nula.

Hipótesis: Las propiedades mecánicas (Esfuerzo de Fluencia-Esfuerzo Máximo-Módulo de elasticidad-Dureza) se ven alteradas por el proceso de conformado en frío.

Hipótesis nula H_0 y Alternativa H_F

H_0 : Las propiedades mecánicas no son diferentes en el proceso de conformado en frío.

H_F : Las propiedades mecánicas son diferentes por el proceso de conformado en frío. Para la validación de hipótesis se realiza comparaciones de las propiedades mecánicas entre las secciones planas y curvas del perfil UV en los diferentes espesores.

Tabla 3.73. Comparación de esfuerzo de fluencia para las secciones plana y curva en el perfil UV del acero ASTM A36 de 10 mm.

Esfuerzos de fluencia [MPa]		
Sección curva	Sección Planas	
465.89	302.038	
461.89	312.840	
468.70	314.453	
520.18	307.220	
467.25	308.853	
Evaluación		
Media	476.8	309.08
Desv.Est.	24.4	4.90
Error.Est. de la Media	11	2.2
Diferencia	167,7	
Nivel de Confianza	95%	
Grado de Libertad	4	
Valor Crítico	2.776	
Estadística de Prueba	15.07	

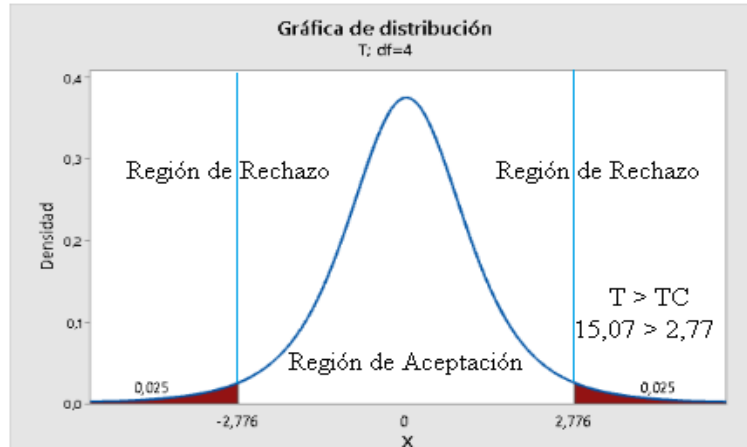


Figura 3.1. Campana de aceptación o rechazo para la hipótesis nula en el perfil UV del acero ASTM A36 de 10 mm respecto al esfuerzo de fluencia en las secciones plana y curva.

Con un nivel de confianza del 95% y un estadístico de prueba que excede el valor crítico, se rechaza la hipótesis nula. Como resultado, se acepta la hipótesis alternativa en relación con las propiedades del esfuerzo de fluencia.

Tabla 3.74. Comparación de esfuerzo máximo para las secciones plana y curva en el perfil UV del acero ASTM A36 de 10 mm.

Esfuerzos de Máximo [MPa]		
N°	Sección plana	Sección curva
1	537.96	554.31
2	535.08	545.00
3	536.34	551.50
4	539.04	599.57
5	573.54	598.83
Evaluación		
Media	544.4	569.8
Desv.Est.	16.4	27
Error.Est. de la Media	7.3	12
Diferencia	25.4	
Nivel de Confianza	95%	
Grado de Libertad	6	
Valor Crítico	2.447	
Estadística de Prueba	1.80	

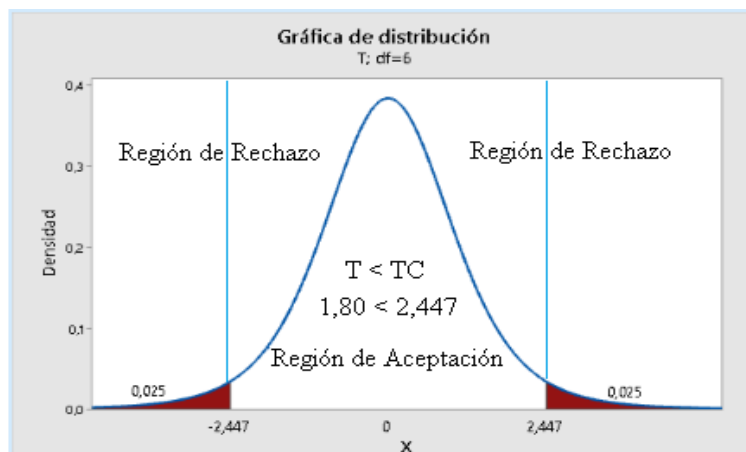


Figura 3.2. Campana de aceptación o rechazo para la hipótesis nula en el Perfil UV del acero ASTM A36 de 10 mm respecto al esfuerzo máximo en las secciones plana y curva.

Con un nivel de confianza del 95% y un estadístico de prueba que no supera el valor crítico, se acepta la hipótesis nula. Como resultado, se rechaza la hipótesis alternativa en relación con las propiedades del esfuerzo máximo.

Tabla 3.75. Comparación del módulo de elasticidad para las secciones plana y en el perfil UV del acero ASTM A36 de 10 mm.

Módulo de elasticidad [MPa]		
N°	Sección plana	Sección curva
1	175.23	189.2
2	166.17	174.1
3	211.90	177.2
4	163.80	185.2
5	150.03	202.3
Evaluación		
Media	185.6	173.4
Desv.Est.	23.3	11.1
Error.Est. de la Media	10	5
Diferencia	12.2	
Nivel de Confianza	95%	
Grado de Libertad	5	
Valor Crítico	2.571	
Estadística de Prueba	1.05	

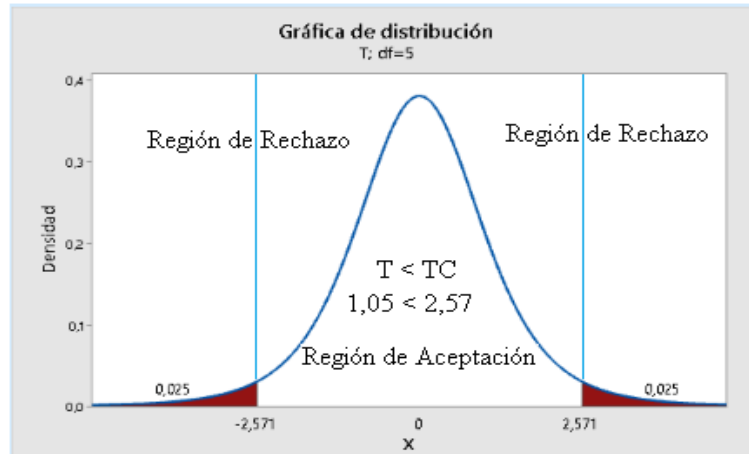


Figura 3.3. Campana de aceptación o rechazo para la hipótesis nula en el perfil UV del acero ASTM A36 de 12 mm respecto al módulo de elasticidad en las secciones plana y curva.

Con un nivel de confianza del 95% y un estadístico de prueba que no supera el valor crítico, se acepta la hipótesis nula. Como resultado, se rechaza la hipótesis alternativa en relación el módulo de elasticidad.

Tabla 3.76. Comparación de esfuerzo de fluencia para las secciones plana y curva en el perfil UV del acero ASTM de A36 de 12 mm.

Módulo de elasticidad [MPa]		
N°	Sección plana	Sección curva
1	287.81	471.77
2	288.7	473.93
3	290.45	448.68
4	287.91	463.25
5	288.97	473.88
Evaluación		
Media	288.77	466.3
Desv.Est.	1.06	10.8
Error.Est. de la Media	0.48	4.8
Diferencia	177.53	
Nivel de Confianza	95%	
Grado de Libertad	4	
Valor Crítico	2.776	
Estadística de Prueba	36.63	

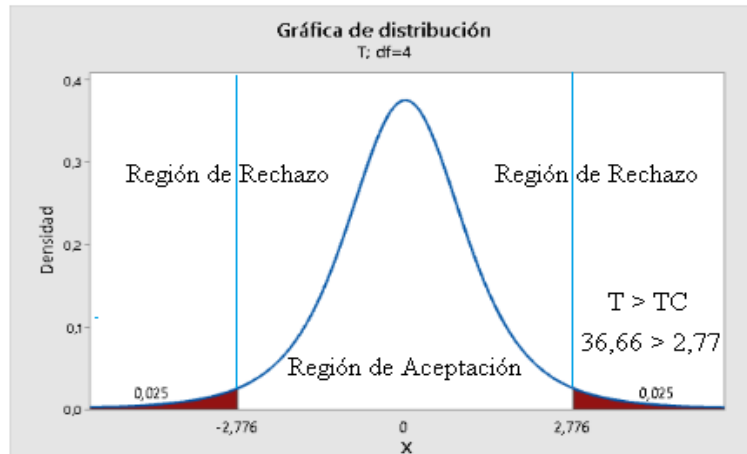


Figura 3.4. Campana de aceptación o rechazo para la hipótesis nula en el perfil UV del acero ASTM A36 de 12 mm respecto al esfuerzo de fluencia en las secciones plana y curva.

Con un nivel de confianza del 95% y un estadístico de prueba que excede el valor crítico, se rechaza la hipótesis nula. Como resultado, se acepta la hipótesis alternativa en relación con las propiedades del esfuerzo de fluencia.

Tabla 3.77. Comparación de esfuerzo máximo para las secciones plana y curva en el perfil UV del acero ASTM A36 de 12 mm.

Esfuerzo máximo [MPa]		
N°	Sección plana	Sección curva
1	535.24	551.9
2	531.23	554.22
3	528.34	532.31
4	537.3	553.46
5	536.19	559.44
Evaluación		
Media	533.66	550.3
Desv.Est.	3.75	10.4
Error.Est. de la Media	1.7	4.7
Diferencia	16.61	
Nivel de Confianza	95%	
Grado de Libertad	5	
Valor Crítico	2.571	
Estadística de Prueba	3.35	

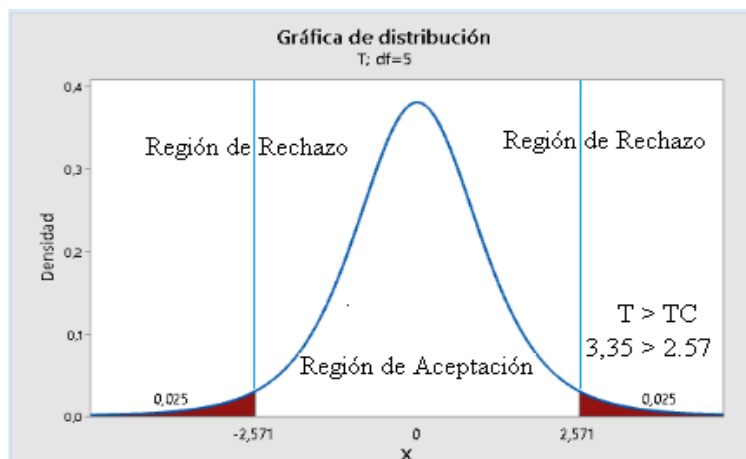


Figura 3.5. Campana de aceptación o rechazo para la hipótesis nula en el Perfil UV en el perfil UV del acero ASTM A36 de 12 mm respecto al esfuerzo máximo en las secciones plana y curva.

Con un nivel de confianza del 95% y un estadístico de prueba que excede el valor crítico, se rechaza la hipótesis nula. Como resultado, se acepta la hipótesis alternativa en relación con las propiedades del esfuerzo máximo.

Tabla 3.78. Comparación del módulo de elasticidad para las secciones plana y curva Perfil UV de 12 mm.

Módulo de elasticidad [MPa]		
N°	Sección plana	Sección curva
1	212.37	172.2
2	201.53	167.8
3	231.17	190.5
4	189.73	191.9
5	186.17	179
Evaluación		
Media	533.66	550.3
Desv.Est.	3.75	10.4
Error.Est. de la Media	1.7	4.7
Diferencia	23.91	
Nivel de Confianza	95%	
Grado de Libertad	6	
Valor Crítico	2.571	
Estadística de Prueba	2.52	

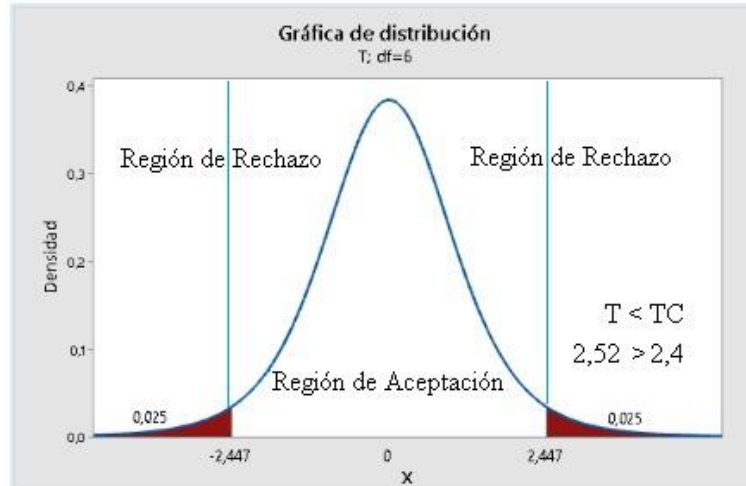


Figura 3.6. Campana de aceptación o rechazo para la hipótesis nula en el perfil UV del acero ASTM A36 de 12 mm respecto al módulo de elasticidad en las secciones plana y curva.

Con un nivel de confianza del 95% y un estadístico de prueba que excede el valor crítico, se rechaza la hipótesis nula. Como resultado, se acepta la hipótesis alternativa en relación con las propiedades del módulo de elasticidad.

HO: Las propiedades mecánicas no son diferentes en el proceso de conformado en frío en distintos espesores.

HF: Las propiedades mecánicas son diferentes por el proceso de conformado en frío en distintos espesores.

Tabla 3.79. Comparación de esfuerzo fluencia para las secciones planas y curva en el perfil UV del acero ASTM A36 de 10 mm y 12 mm.

Esfuerzo de fluencia [MPa]				
N°	Sección plana		Sección curva	
	10 mm	12 mm	10 mm	12 mm
1	302.04	287.81	465.89	471.77
2	312.84	288.7	461.88	473.93
3	314.45	290.45	468.70	448.68
4	307.22	287.91	520.19	463.25
5	308.85	288.97	467.24	473.88
Evaluación				
Media	309.08	288.77	476.8	466.3
Desv.Est.	4.90	1.06	24.4	10.8
Error.Est. de la Media	2.2	0.48	11	4.8
Diferencia	20.31		10.5	
Nivel de Confianza	95%		95%	
Grado de Libertad	4		5	
Valor Crítico	2.776		2.571	

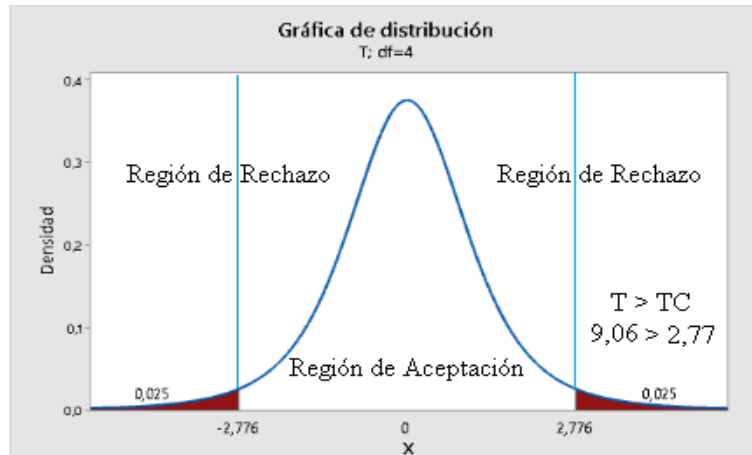


Figura 3.7. Campana de aceptación o rechazo para la hipótesis nula en el perfil UV del acero ASTM A36 de 10 mm y 12 mm respecto al el esfuerzo de fluencia en la sección plana.

Con un nivel de confianza del 95% y un estadístico de prueba que excede el valor crítico, se rechaza la hipótesis nula. Como resultado, se acepta la hipótesis alternativa en relación con las propiedades del esfuerzo de fluencia.

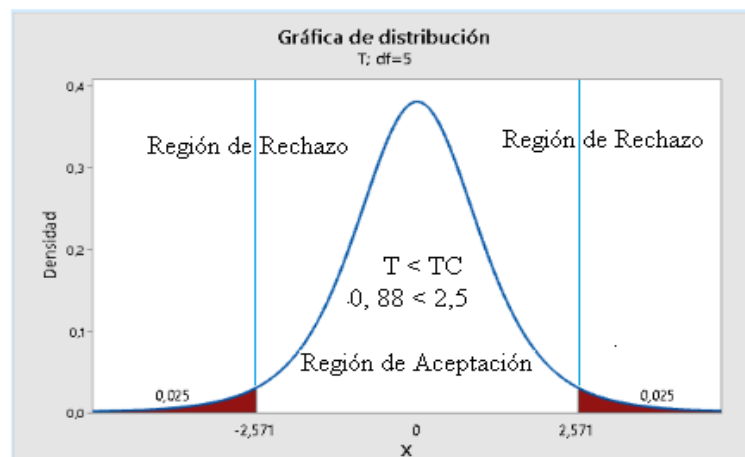


Figura 3.8. Campana de aceptación o rechazo para la hipótesis en el perfil UV del acero ASTM A36 de 10 mm y 12 mm respecto al esfuerzo de fluencia en la sección curva.

Con un nivel de confianza del 95% y un estadístico de prueba que no supera el valor crítico, se acepta la hipótesis nula. Como resultado, se rechaza la hipótesis alternativa en relación con las propiedades del esfuerzo de fluencia.

Tabla 3.80. Comparación de esfuerzo máximo para las secciones planas y curvas en el perfil UV del acero ASTM A36 de 10 mm y 12 mm.

Esfuerzo máximo [MPa]				
N°	Sección plana		Sección curva	
	10 mm	12 mm	10 mm	12 mm
1	537.96	535.24	554.32	551.90
2	535.09	531.23	545.00	554.22
3	536.35	528.34	551.50	532.31
4	539.05	537.30	599.57	553.46
5	573.54	536.19	598.84	559.44
Evaluación				
Media	544.4	533.66	569.8	550.3
Desv.Est.	16.4	3.75	27.0	10.4
Error.Est. de la Media	7.3	1.7	12	4.7
Diferencia	10.74		19.6	
Nivel de Confianza	95%		95%	
Grado de Libertad	4		5	
Valor Crítico	2.776		2.571	
Estadística de Prueba	1.43		1.51	

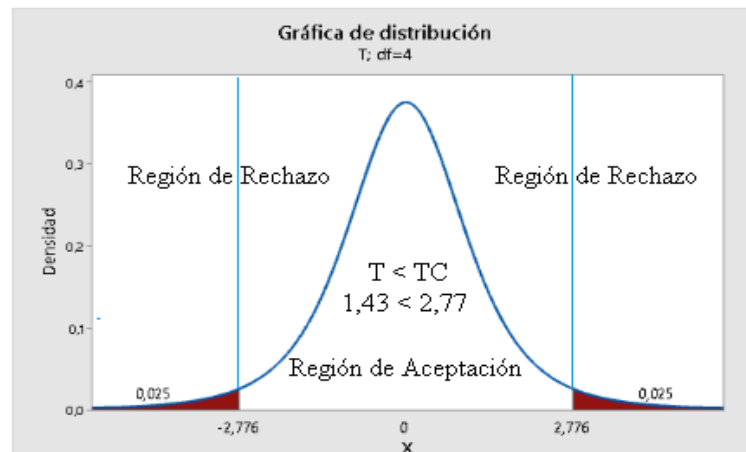


Figura 3.9. Campana de aceptación o rechazo para la hipótesis nula en el perfil UV del acero ASTM A36 de 10 mm y 12 mm sobre el esfuerzo máximo en la sección plana.

Con un nivel de confianza del 95% y un estadístico de prueba que no supera el valor crítico, se acepta la hipótesis nula. Como resultado, se rechaza la hipótesis alternativa en relación con las propiedades del esfuerzo máximo.

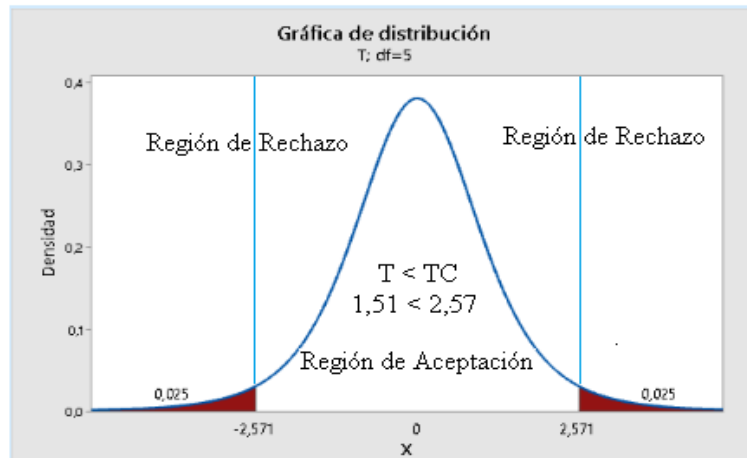


Figura 3.10. Campana de aceptación o rechazo para la hipótesis nula en el perfil UV del acero ASTM A36 de 10 mm y 12 mm sobre el esfuerzo máximo en la sección plana.

Con un nivel de confianza del 95% y un estadístico de prueba que no supera el valor crítico, se acepta la hipótesis nula. Como resultado, se rechaza la hipótesis alternativa en relación con las propiedades del esfuerzo máximo.

Tabla 3.81. Comparación módulo de elasticidad para las secciones planas y curvas en el perfil UV del acero ASTM A36 de 10 mm y 12 mm.

Módulo de elasticidad [MPa]				
N°	Sección plana		Sección curva	
	10 mm	12 mm	10 mm	12 mm
1	175.23	212.37	189.20	172.20
2	166.17	201.53	174.10	167.80
3	211.90	231.17	177.20	190.50
4	163.80	189.73	185.20	191.90
5	150.03	186.17	202.30	179.00
Evaluación				
Media	173.4	204.2	185.6	180.3
Desv.Est.	23.3	18.3	11.1	10.7
Error.Est. de la Media	10	8.2	5	4.8
Diferencia	30.8		5.32	
Nivel de Confianza	95%		95%	
Grado de Libertad	7		7	
Valor Crítico	2.365		2.365	
Estadística de Prueba	2.32		0.77	

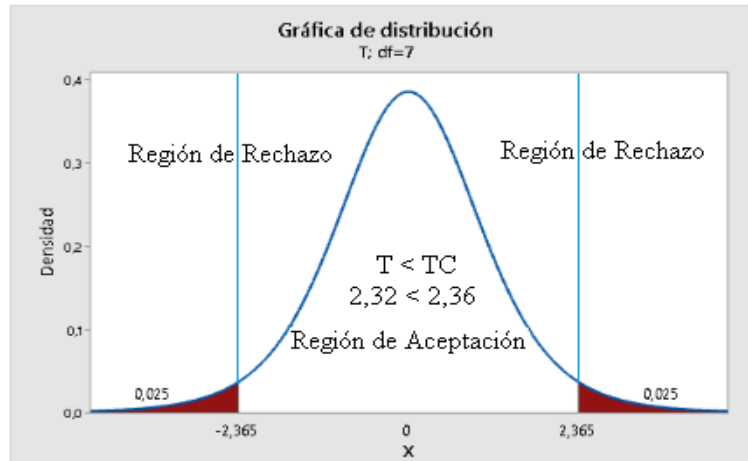


Figura 3.11. Campana de aceptación o rechazo para la hipótesis nula en el perfil UV del acero ASTM A36 de 10 mm y 12 mm sobre el módulo de elasticidad en la sección plana.

Con un nivel de confianza del 95% y un estadístico de prueba que no supera el valor crítico, se acepta la hipótesis nula. Como resultado, se rechaza la hipótesis alternativa en relación con las propiedades del esfuerzo máximo.

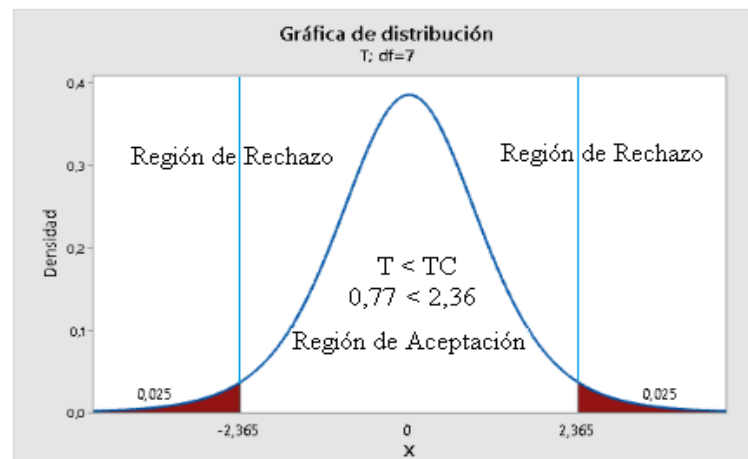


Figura 3.12. Campana de aceptación o rechazo para la hipótesis nula en el perfil UV del acero ASTM A36 de 10 mm y 12 mm sobre el módulo de elasticidad en la sección curva.

Con un nivel de confianza del 95% y un estadístico de prueba que no supera el valor crítico, se acepta la hipótesis nula. Como resultado, se rechaza la hipótesis alternativa en relación con las propiedades del esfuerzo máximo.

HO: Las propiedades mecánicas no son diferentes en el proceso de conformado en frío

HF: Las propiedades mecánicas son diferentes por el proceso de conformado en frío

Tabla 3.82. Comparación de dureza en el perfil UV del acero ASTM A36 de 10 mm en el material virgen y distintas secciones (Interna-Externa) del perfil conformado.

Dureza en el Perfil UV 10 mm [HB]			
N°	Interna	Externa	Virgen
1	147.07	146.56	148.10
2	146.05	146.56	146.05
3	147.07	146.05	147.59
4	146.56	147.07	149.15
5	149.15	148.10	146.56
6	148.10	148.62	146.05
7	146.56	147.07	149.15
8	150.20	148.10	147.59
9	156.17	155.61	148.62
10	177.53	169.77	146.56
11	182.29	172.30	147.07
12	168.52	165.46	146.05
13	150.20	150.73	147.59
14	148.10	147.59	149.15
15	147.07	148.10	149.15
16	147.59	147.07	
17	146.56	149.15	
18	151.26	151.26	
19	171.03	163.66	
20	180.92	172.95	
21	176.21	166.07	
22	154.51	155.61	
23	149.15	148.62	
24	146.56	150.20	
25	149.67	146.56	
26	148.10	149.15	
27	146.56	147.07	
28	147.59	147.59	
29	149.15	149.15	
30	146.56	147.07	

Tabla 3.83. Comparación de dureza en el perfil UV del acero ASTM A36 de 10 mm en el material virgen y distintas secciones (Interna-Externa) del perfil conformado.

Evaluación			
Datos	Interna	Externa	Virgen
Media	154.1	152.63	147.63
Desv.Est.	11.6	8.47	1.21
Error.Est. de la Media	2.1	1.5	0.31
Nivel de Confianza	95%	95%	95%
Comparación	(Virgen - Interna)	(Virgen - Externa)	(Interna - Externa)
Grado de Libertad	30	31	52
Diferencia	6.44	5	1.44
Valor Crítico	2.042	2.040	2.007
Estadística de Prueba	3	3.17	0.55

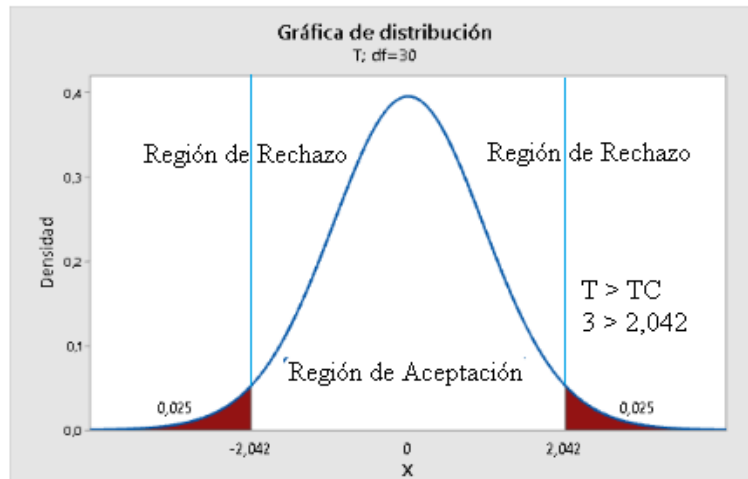


Figura 3.13. Campana de aceptación o rechazo para la hipótesis nula en el perfil UV del acero ASTM A36 de 10 mm. Comparación virgen – sección interna.

Con un nivel de confianza del 95% y un estadístico de prueba que excede el valor crítico, se rechaza la hipótesis nula. Como resultado, se acepta la hipótesis alternativa en relación con las propiedades del de dureza.

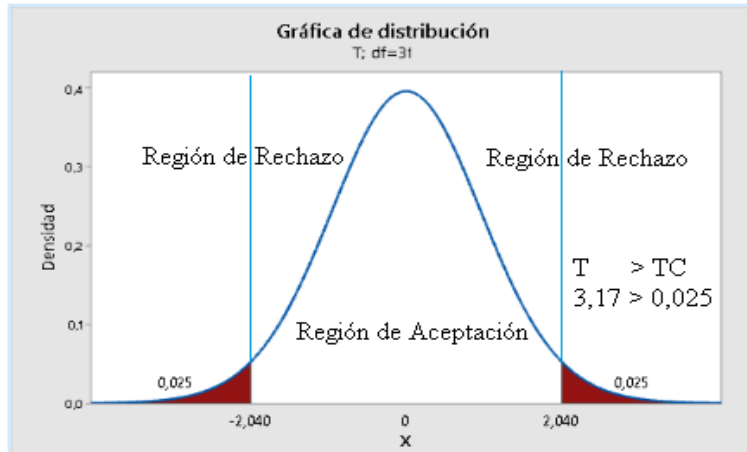


Figura 3.14. Campana de aceptación o rechazo para la hipótesis nula en el perfil UV del acero ASTM A36 de 10 mm. Comparación virgen – sección externa.

Con un nivel de confianza del 95% y un estadístico de prueba que excede el valor crítico, se rechaza la hipótesis nula. Como resultado, se acepta la hipótesis alternativa en relación con las propiedades del de dureza.

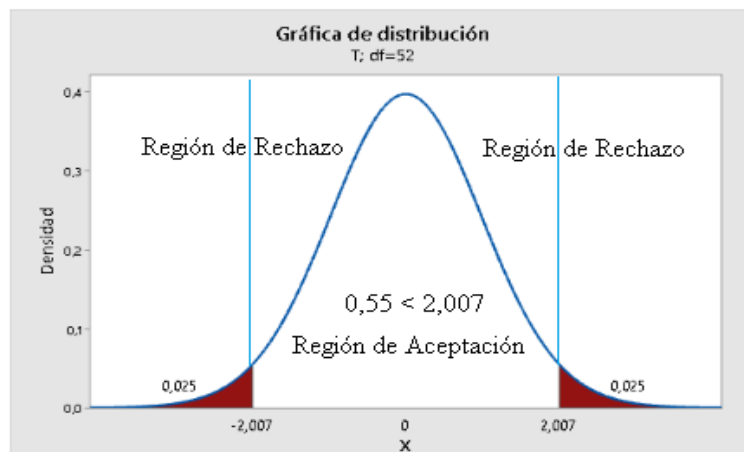


Figura 3.15. Campana de aceptación o rechazo para la hipótesis nula en el perfil UV del acero ASTM A36 de 10 mm. Comparación sección interna-externa.

Con un nivel de confianza del 95% y un estadístico de prueba que no supera el valor crítico, se acepta la hipótesis nula. Como resultado, se rechaza la hipótesis alternativa en relación con las propiedades de dureza.

Tabla 3.84. Comparación de dureza en el perfil UV del acero ASTM A36 de 12 mm en el material virgen y distintas secciones (Interna-Externa) del perfil conformado.

Dureza en el Perfil UV 12 mm [HB]			
N°	Interna	Externa	Virgen
1	151.26	148.62	151.26
2	152.87	147.59	149.15
3	152.33	149.15	149.67
4	149.15	151.26	147.07
5	150.73	149.67	147.59
6	149.67	149.15	149.67
7	151.26	150.20	151.26
8	150.20	151.26	150.73
9	156.73	150.20	149.15
10	168.52	162.48	148.62
11	187.24	177.53	151.26
12	171.03	158.99	148.62
13	151.26	152.33	147.07
14	150.20	149.67	148.62
15	149.15	148.62	150.73
16	151.26	149.15	
17	148.10	149.67	
18	152.33	151.26	
19	173.59	159.57	
20	184.39	175.55	
21	162.48	163.07	
22	152.87	154.51	
23	149.67	150.20	
24	151.26	148.10	
25	149.15	147.59	
26	150.20	147.59	
27	148.62	147.07	
28	148.62	149.15	
29	149.67	147.07	
30	149.67	148.10	

Tabla 3.85. Comparación de dureza en el perfil UV del acero ASTM A36 de 12 mm el material virgen y distintas secciones (Interna-Externa) del perfil conformado.

Evaluación			
Datos	Interna	Externa	Virgen
Media	155.4	152.81	149.36
Desv.Est.	10.6	7.77	1.47
Error.Est. de la Media	1.9	1.4	0.38
Nivel de Confianza	95%	95%	95%
Comparación	(Virgen - Interna)	(Virgen - Externa)	(Interna y Externa)
Grado de Libertad	31	32	53
Diferencia	6.08	3.45	2.64
Valor Crítico	2.040	2.037	2.006
Estadística de Prueba	3.08	2.35	1.10

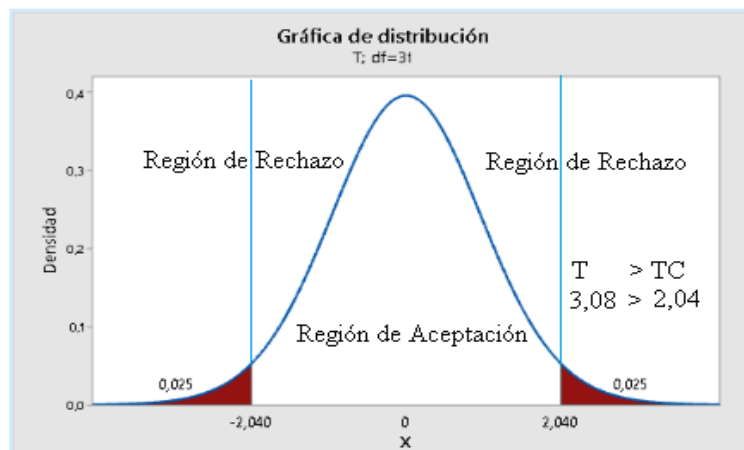


Figura 3.16. Campana de aceptación o rechazo para la hipótesis nula en el perfil UV del acero ASTM A36 de 12 mm. Comparación virgen – sección interna.

Con un nivel de confianza del 95% y un estadístico de prueba que excede el valor crítico, se rechaza la hipótesis nula. Como resultado, se acepta la hipótesis alternativa en relación con las propiedades del de dureza.

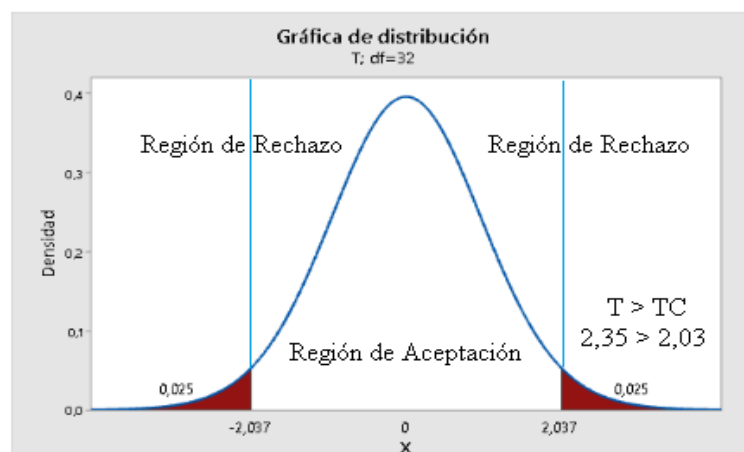


Figura 3.17. Campana de aceptación o rechazo para la hipótesis nula en el perfil UV del acero ASTM A36 de 12 mm. Comparación virgen – sección interna.

Con un nivel de confianza del 95% y un estadístico de prueba que excede el valor crítico, se rechaza la hipótesis nula. Como resultado, se acepta la hipótesis alternativa en relación con las propiedades del de dureza.

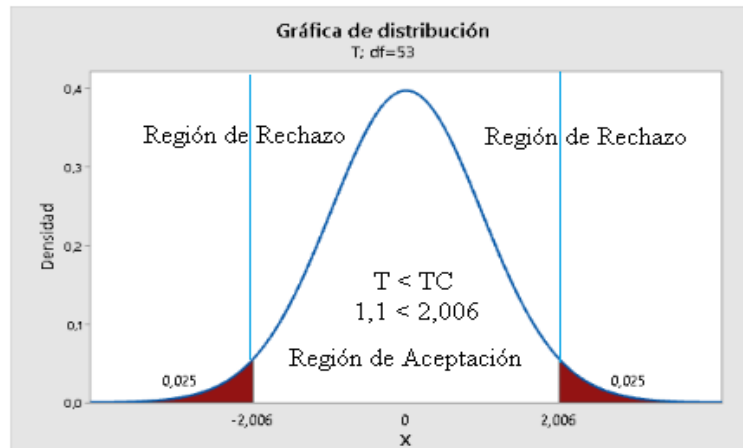


Figura 3.18. Campana de aceptación o rechazo para la hipótesis nula en el perfil UV del acero ASTM A36 de 10 mm. Comparación sección interna-externa.

Con un nivel de confianza del 95% y un estadístico de prueba que no supera el valor crítico, se acepta la hipótesis nula. Como resultado, se rechaza la hipótesis alternativa en relación con las propiedades de dureza.

HO: Las propiedades mecánicas no son diferentes en el proceso de conformado en frío en distintos espesores.

HF: Las propiedades mecánicas son diferentes por el proceso de conformado en frío en distintos espesores.

Tabla 3.86. Comparación de dureza en el perfil UV del acero ASTM A36 de 10 mm y 12 mm.

Evaluación						
Datos	Interna		Externa		Virgen	
	10 mm	12 mm	10 mm	12 mm	10 mm	12 mm
Media	154.1	155.4	152.63	152.81	147.63	149.36
Desv. Est	11.6	10.6	8.47	7.77	1.21	1.47
Err. Est. Media	2.1	1.9	1.5	1.4	0.31	0.38
Nivel de Confianza	95%		95%		95%	
Grado de libertad	57		57		27	
Diferencia	1.38		0.18		1.74	
Valor Crítico	2.052		2.002		2.002	
Estadística de Prueba	0.48		0.09		3.54	

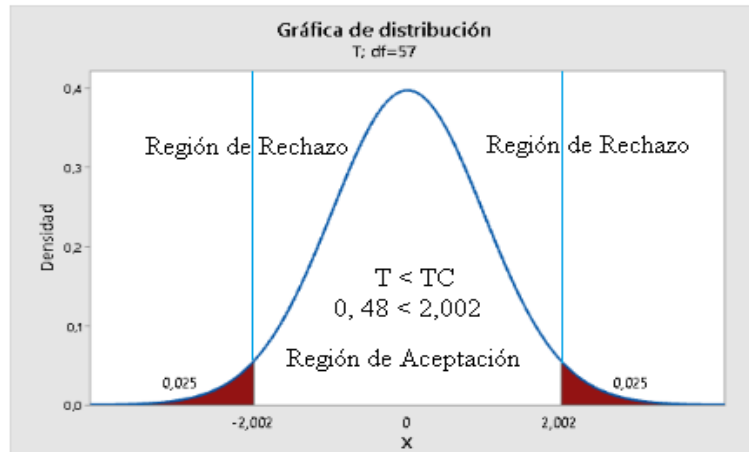


Figura 3.19. Campana de aceptación o rechazo para la hipótesis nula en el perfil UV del acero ASTM A36 de 10 mm y 12 mm. Sección interna.

Con un nivel de confianza del 95% y un estadístico de prueba que no supera el valor crítico, se acepta la hipótesis nula. Como resultado, se rechaza la hipótesis alternativa en relación con las propiedades de dureza.

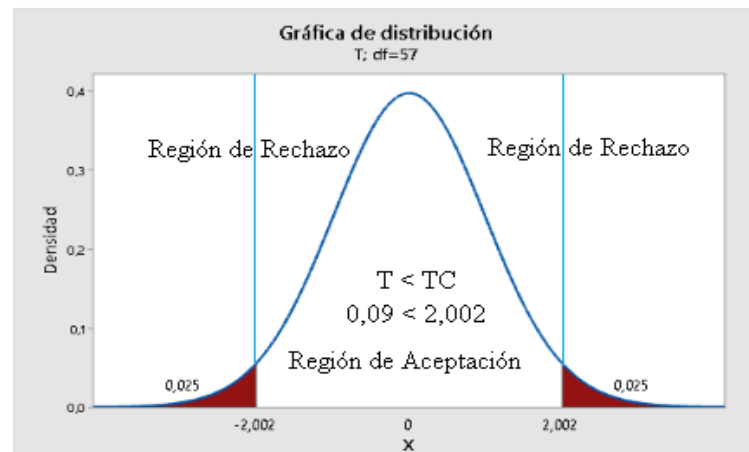


Figura 3.20. Campana de aceptación o rechazo para la hipótesis nula en el perfil UV del acero ASTM A36 de 10 mm y 12 mm. Sección externa.

Con un nivel de confianza del 95% y un estadístico de prueba que no supera el valor crítico, se acepta la hipótesis nula. Como resultado, se rechaza la hipótesis alternativa en relación con las propiedades de dureza.

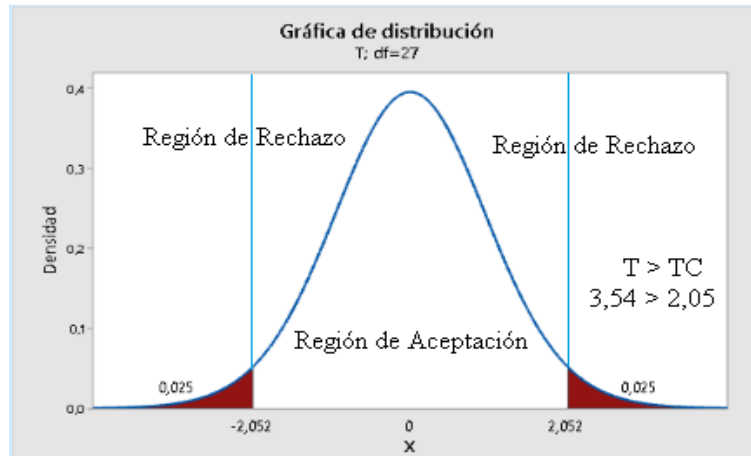


Figura 3.21. Campana de aceptación o rechazo para la hipótesis nula en el perfil UV del acero ASTM A36 de 10 mm y 12 mm. Material virgen.

Con un nivel de confianza del 95% y un estadístico de prueba que excede el valor crítico, se rechaza la hipótesis nula. Como resultado, se acepta la hipótesis alternativa en relación con las propiedades del de dureza.

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

Con los resultados obtenidos en los diversos ensayos realizados y analizados, se logró obtener un modelo de material para perfiles conformados en frío de sección transversal UV de acero A36, con espesores de 10 mm y 12 mm. Este proceso en este tipo de perfil ha generado cambios significativos en las propiedades mecánicas del material con incrementos de resistencia en las secciones curva a comparación de las secciones planas (alas y espalda) corroborada con la hipótesis planteada y verificada por el método de medias muestrales con una validación del 95 %.

Para realizar un corte preciso de las probetas, se implementó el método de corte por chorro de agua. Esta elección se sustenta en la capacidad para generar cortes precisos sin inducir calor ni alterar las propiedades del material. Logrando obtener probetas con acabados de alta calidad, siendo fundamental para mantener la integridad estructural y las características originales del material durante la preparación de las probetas para realizar los ensayos de tracción.

Los resultados obtenidos mediante los ensayos de tracción han permitido evaluar las distintas secciones del perfil tipo UV en los dos espesores, proporcionado información fundamental para comprender el comportamiento mecánico de cada sección bajo el comportamiento de carga mediante los diagramas esfuerzo-deformación, los cuales demuestran que, las secciones planas con sus esfuerzos obtenidos son más resistentes a la deformación en comparación con las secciones curvas donde, existe incrementos de esfuerzos con menor deformación.

Es evidente que, al analizar los ensayos de tracción en las probetas extraídas de las secciones curvas existe una variación notable en las propiedades mecánicas. Esta diferencia se atribuye al cambio geométrico de las probetas producidas por el proceso de conformado, generando incrementos de carga y esfuerzos en las secciones curvas del perfil, resaltando la influencia directa de la geometría con las propiedades mecánicas.

Los ensayos de tracción revelan una leve variación en las propiedades mecánicas entre los perfiles tipo UV con espesores de 10 mm y 12 mm, efecto del proceso de

conformado en frío. Estas variaciones fueron analizadas mediante la interpretación de prueba de hipótesis, verificada por el método de medias muestrales con una validación del 95%, revelando cambios estadísticos menores del 5% y validando esta leve variación en las propiedades mecánicas, conduciendo a tener una mayor rigidez en el perfil de 12 mm incidiendo en la capacidad para resistir deformaciones bajo carga en comparación con el perfil de 10 mm.

Los resultados obtenidos mediante los ensayos de tracción revelan que, las secciones planas (alas- espalda) del perfil UV conformado en frío presentan una mayor capacidad para deformarse bajo carga sin romperse a comparación de las secciones curvas. Esta cualidad se atribuye a la geometría específica de las probetas y la distribución de tensiones influyendo a tener una mayor ductilidad en las secciones planas del perfil.

Se concluye que, al realizar los ensayos de dureza en la sección transversal del perfil UV en espesores de 10 mm y 12 mm, se identificó la presencia de concentración de esfuerzos, específicamente en las secciones curvas y cercanas a ellas limitadas hasta el punto 1t en dirección a las secciones planas como lo muestra la Figura 2.13. Esta concentración de esfuerzos genera deformaciones microestructurales en el material, produciendo diferencias crecientes de dureza relacionando con las secciones planas.

Mediante los ensayos metalográficos se puede concluir la existencia de, deformaciones en los granos de la estructura interna del material, causados por los cambios microestructurales generados en el proceso de conformado en frío. Estas deformaciones generadas en los perfiles tipo UV de 10 mm y 12 mm son evidenciados inicialmente en el punto 1t como muestra la Figura 2.13, intensificándose a medida que se aproxima al centro de curva, aumentando la dureza y resistencia del material en estas secciones.

Se concluye que al analizar los ensayos de dureza y micrografía muestran una relación directa entre la dureza y la deformación de los granos, especialmente en las secciones curvas del perfil UV. Esta relación se debe a la concentración de esfuerzo y cambios microestructurales producidos en el proceso de conformado en frío, obteniendo secciones con mayor dureza y deformaciones de granos, logrando obtener un material con mayor dureza y, en consecuencia, con menor resistencia a la deformación.

4.2 Recomendaciones

Se recomienda investigar posibles ajustes que mejoren el proceso de doblado en la obtención de perfiles conformados, para optimizar aún más su precisión y eficiencia en la producción de esto tipos de perfiles, mejorando los estándares de calidad y precisión.

Para determinar la longitud precisa del área de sujeción en las probetas es recomendable realizar ensayos preliminares por la variabilidad existente en los dispositivos de sujeción en las máquinas universales de tracción. Esta variabilidad puede dificultar en la sujeción de las probetas durante los ensayos provocando resultados erróneos. En este contexto, la norma utilizada no delimita las longitudes del área de sujeción, siempre y cuando no se vea afectada la zona de calibración de las probetas.

Para el corte de probetas se recomienda realizar un proceso detallado de calibración y sujeción, especialmente para las secciones curvas evitando desviaciones en su forma y dimensión. Dado que la conservación de la forma las secciones, garantiza la integridad de los análisis posteriores, evitando alteraciones en las propiedades mecánicas resultados de las imprecisiones durante el proceso de corte.

La obtención de probetas para las mediciones de dureza se debe realizar utilizando un método de corte en frío, puesto que proporcionan datos reales y representativos preservando las condiciones reales del material.

Se debe marcar con precisión los límites correspondientes al centro de la curva para lograr una distribución uniforme de puntos de medición en toda la sección transversal del perfil. Esto garantizará una distribución equitativa, permitiendo una evaluación precisa de las características y propiedades del perfil en toda su extensión.

Se debe realizar a detalle y precisión el proceso de preparación de muestras metalográficas, puesto que cualquier tipo de imperfección afectara en la revelación de los granos del material.

REFERENCIAS

- [1] D. Liu, H. Liu, Z. Chen, and X. Liao, "Structural behavior of extreme thick-walled cold-formed square steel columns," *J. Constr. Steel Res.*, vol. 128, pp. 1–9, 2017, doi: 10.1016/j.jcsr.2016.09.004.
- [2] L. Gardner and X. Yun, "Description of stress-strain curves for cold-formed steels," *Constr. Build. Mater.*, vol. 189, pp. 527–538, 2018, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2018.08.195.
- [3] C. L. Lin, H. Yuan, and H. P. Hong, "Predicting yield strength of cold-formed carbon steel: A review and new approaches," *J. Constr. Steel Res.*, vol. 206, no. February, p. 107926, 2023, doi: 10.1016/j.jcsr.2023.107926.
- [4] M. T. Chen and B. Young, "Cross-sectional behavior of cold-formed steel semi-oval hollow sections," *Eng. Struct.*, vol. 177, no. July, pp. 318–330, 2018, doi: 10.1016/j.engstruct.2018.08.057.
- [5] M. Seif, J. Main, J. Weigand, T. P. McAllister, and W. Luecke, "Finite element modeling of structural steel component failure at elevated temperatures," *Structures*, vol. 6, pp. 134–145, 2016, doi: 10.1016/j.istruc.2016.03.002.
- [6] L. Tong, G. Hou, Y. Chen, F. Zhou, K. Shen, and A. Yang, "Experimental investigation on longitudinal residual stresses for cold-formed thick-walled square hollow sections," *J. Constr. Steel Res.*, vol. 73, pp. 105–116, 2012, doi: 10.1016/j.jcsr.2012.02.004.
- [7] F. Xiaochao, X. Wenjing, Y. Shaole, and M. Xujiang, "Experimental Research on the Cold-Foming Effect of the Cold-Formed Thick-Walled Steel," *Buildings*, pp. 1–14, 2023.
- [8] H. Amouzegar, B. . Schafer, and M. Tootkaboni, "An incremental numerical method for calculation of residual stresses and strains in cold-formed steel members," *Thin-Walled Struct.*, vol. 106, pp. 61–74, 2016, doi: 10.1016/j.tws.2016.03.019.
- [9] Y. Li and Z. Nie, "Mechanical properties of cold-formed thick-walled steels at elevated temperatures," *CFSRC Colloq.*, no. Proceedings of the Cold-Formed Steel Research Consortium Colloquium, pp. 1–20, 2020.

- [10] A. F. Arias Cantor and N. A. González Romero, “Guía de diseño estructural de torres de telecomunicaciones autosoportadas en Colombia para alturas de 20, 30 y 40 metros,” pp. 1–115, 2019.
- [11] Y. Ei-Wen, R. Laboube, and H. Chen, *Cold-Formed Steel Design*, Fifth Edit. Nueva Jersey: Nueva Jersey, 2020. doi: 10.1007/978-1-4757-0411-2_9.
- [12] X. Romero, “Elaboración de un software para el diseño de perfiles en frío de producción nacional en flexión y a compresión.,” Universidad de Cuenca, 2015.
- [13] R. Weiguo, M. Furong, C. Rigao, P. Yingbo, Z. Zhihong, and X. Zhaoran, “Experimental Research on the Effect of the Heavy Metal,” pp. 1–14, 2013.
- [14] S. M. Barrios, *Guía Práctica de Uso : Abaqus CAE Scarlet* Karina Montilla Barrios, no. June. New York, 2022.
- [15] P. Arasaratnam, K. Sivakumaran, and M. Tait, “True Stress-True Strain Models for Structural Steel Elements,” *ISRN Civ. Eng.*, vol. 1, no. Experimental Research, pp. 1–11, 2011, doi: 10.5402/2011/656401.
- [16] J. Zevallos Gomezjurado, J. Niñes Sánchez, J. Cordero Íñiguez, and F. Uyaguari Uyaguari, *Historia de las telecomunicaciones en el Ecuador*, Primera Ed. Quito: Quito-Ecuador, 2014.
- [17] V. B. Larriva Rodríguez, “Diseño y Evaluación Estructural de las Torres,” Universidad del Azuay, 2016.
- [18] American Iron and Steel Institute, “North American standard for the design of cold formed steel structures members,” *Am. Soc. Test. Mater.*, pp. 1405–1414, 2016.
- [19] I. Komara, E. Wahyuni, and P. Suprobo, “A study on Cold-formed Steel Frame Connection: A review,” *IPTEK J. Technol. Sci.*, vol. 28, no. 3, 2017, doi: 10.12962/j20882033.v28i3.3223.
- [20] V. H. Velasco Galarza, “Diseño de una Estructura de Acero Formado en Frío por El Método LRFD para un Galpón Industrial,” Escuela Superior Politécnica del Litoral, 2009.
- [21] M. Lindgren, J. Edberg, and L. Lindgren, “Roll Forming,” *Handb. Manuf. Eng. Technol.*, pp. 285–307, 2015, doi: 10.1007/978-1-4471-4670-4.

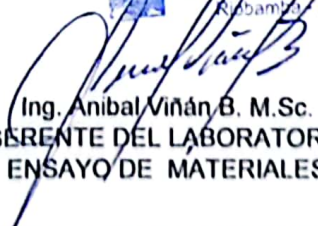
- [22] A. Al-Maisari, “Experimental Study On The Compression And Stiffness Behavior Of A K-Span Corrugated Cold Formed Steel Arch,” Universidad de Ciencias Aplicadas de Hame, 2020.
- [23] K. Venkataramaiah, J. Roorda, and K. Srinivasaiah, “Elastic Modulus of Cold-Formed Sheet Steel.,” *Oil Shale Symp. Proc.*, pp. 703–725, 1980.
- [24] J. Marík, “Mechanical properties of cold- formed stainless steel,” Czech Technical University in Prague, 2017.
- [25] C. Moen, T. Igusa, and B. W. Schafer, “Prediction of residual stresses and strains in cold-formed steel members,” *Thin-Wall Struct.*, vol. 46, pp. 1–16, 2008, doi: 10.1016/j.tws.2008.02.002.
- [26] L. Ingvarsson, “Cold-forming Residual Stresses Effect on Buckling,” *Missouri*, vol. 1–1, pp. 1–36, 1975.
- [27] K. W. Karren and G. Winter, “Effects of Cold-Forming on Light-Gage Steel Members,” *J. Struct. Div.*, vol. 93, no. 1, pp. 433–469, 1967, doi: 10.1061/jsdeag.0001591.
- [28] W. Cai, M. A. Morovat, and M. D. Engelhardt, “True stress-strain curves for ASTM A992 steel for fracture simulation at elevated temperatures,” *J. Constr. Steel Res.*, vol. 139, no. 512, pp. 272–279, 2017, doi: 10.1016/j.jcsr.2017.09.024.
- [29] D. Krajcarz, “Comparison metal water jet cutting with laser and plasma cutting,” *Procedia Eng.*, vol. 69, pp. 838–843, 2014, doi: 10.1016/j.proeng.2014.03.061.
- [30] B. Zhou, Y. J. Liu, and S. K. Tan, “Efficient simulation of oxygen cutting using a composite heat source model,” *Int. J. Heat Mass Transf.*, vol. 57, no. 1, pp. 304–311, 2013, doi: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2012.10.011.
- [31] T. J. Ko and H. S. Kim, “Mechanistic cutting force model in band sawing,” *Int. J. Mach. Tools Manuf.*, vol. 39, no. 8, pp. 1185–1197, 1999, doi: 10.1016/S0890-6955(98)00087-X.
- [32] B. Done, “Comparing Hot and Cold Rolled Steel,” *Machine Desing*, p. 5, 2023.
- [33] M. P. Groover, *Funamentals of Modern Manufacturing Materials, Processes, and Systems*, 4th edition. United States of America: United States, 2010.

- [34] A. García Romero and N. Monasterio Guisasola, “Introducción a La Ciencia De Los Materiales Y Sus Propiedades-I,” Univ. del Pais Vasco, vol. I, no. I, pp. 1–53, 2018.
- [35] S. T. Vy and M. Mahendran, “Compression tests of fixed ended CFS members with improved connectors,” Proc. Cold-Formed Steel ..., vol. 2020, no. October, pp. 1–8, 2020.
- [36] M. F. Guzñay Miranda, “Estudio del comportamiento del acero A36 mediante ensayos de tracción para determinar fallas en elementos estructurales, mediante la norma ASTM E-8”.,” Universidad Técnica de Ambato, 2012.
- [37] D. R. Askeland and W. J. Wright, Ciencia e ingeniería de materiales, Séptima ed., vol. 12, no. 1. Mexico: Cengage Learning, 2016.
- [38] J. D. Glassman, A. Gomez, M. E. M. Garlock, and J. Ricles, “Mechanical properties of weathering steels at elevated temperatures,” J. Constr. Steel Res., vol. 168, no. October, pp. 1–20, 2020, doi: 10.1016/j.jcsr.2020.105996.
- [39] J. J. R. Alonso, ensayos Físicos y Fisicoquímicos, 1a ed., 1a. Barcelona, 2009.
- [40] A. Dharanidharan, N. D. L., S. H. Ullah, and K. Ravi, “Relationship between Nano and Macroscale Properties of Postfire ASTM A36 Steels,” J. Mater. Civ. Eng., vol. 34, no. 6, p. 4022100, Jun. 2022, doi: 10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0004218.
- [41] C. Cruz, S. Olivares, and M. González, Metodología de la investigación, Primera Ed. México: Grupo Editorial Patria, 2014.
- [42] H. Martínez, Metodología de la investigación, Primera Ed. México: Cengage Learning, 2012.
- [43] R. Hernández, C. Fernández, and M. Baptista, Metodología de la Investigación, Primera Ed. México: Mc Graw Hill, 2014.
- [44] ASTM E8, “ASTM E8/E8M standard test methods for tension testing of metallic materials 1,” Annu. B. ASTM Stand. 4, no. C, pp. 1–27, 2010, doi: 10.1520/E0008.
- [45] ASTM E-112, “Standard Test Methods for Size, Determining Average Grain,” ASTM E112, pp. 1–26, 2004.
- [46] ASTM E10-15, “Standard Test Method for Brinell Hardness of Metallic Materials,” ASTM Int., no. June, pp. 1–36, 2012, doi: 10.1520/E0010-15.



INFORME DE RESULTADOS					
ENSAYO DE TRACCIÓN			Denominación: RG 18 - 1		
N° 02					
SOLICITADO POR:	Edisson Caiza - David Pullutasig				
PROYECTO DE TESIS:	"MODELO DE MATERIAL PARA PERFILES CONFORMADOS EN FRÍO DE SECCIÓN TRANSVERSAL UV DE ACERO A36 PARA ESPESORES DE 10 mm Y 12mm."				
DIRECCION:	UTA - FAC. ING. CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE ING MECÁNICA				
TIPO DE MATERIAL:	PROBETA NORMALIZADA				
MATERIAL:	ACERO A36				
NORMA UTILIZADA:	ASTM E8				
FECHA DE ENSAYO:	18-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	P1-A1-10-01	P1-A1-10-02	P1-A1-10-03	P1-A1-10-04	P1-A1-10-05
CARACTERÍSTICA	PROBETA	PROBETA	PROBETA	PROBETA	PROBETA
ESPEJOR [mm]	9,92	9,94	9,99	9,98	9,96
ANCHURA [mm]	13,11	13,08	12,98	13,07	13,08
LONGITUD INICIAL [mm]	50	50	50	50	50
SECCION TRANSVERSAL [mm ²]	130,05	130,02	129,67	130,44	130,28
MODULO DE ELASTICIDAD [GPa]	2,111,E+02	1,886,E+02	3,148,E+02	1,765,E+02	1,325,E+02
CARGA DE FLUENCIA [kN]	38,52	40,02	40,78	40,30	40,56
ESFUERZO DE FLUENCIA [MPa]	296,19	307,81	314,49	308,96	311,34
CARGA MAXIMA [kN]	55,88	56,26	56,96	56,48	56,32
ESFUERZO MAXIMO [MPa]	429,68	432,72	439,27	433,00	432,31
PORCENTAJE DE ELONGACION [%]	38,00	32,00	33,00	35,50	33,00
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:	Edisson Caiza - David Pullutasig				
PROYECTO DE TESIS:	"MODELO DE MATERIAL PARA PERFILES CONFORMADOS EN FRÍO DE SECCIÓN TRANSVERSAL UV DE ACERO A36 PARA ESPESORES DE 10 mm Y 12mm."				
DIRECCION:	UTA - FAC. ING. CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE ING MECÁNICA				
TIPO DE MATERIAL:	PROBETA NORMALIZADA				
MATERIAL:	ACERO A36				
NORMA UTILIZADA:	ASTM E8				
FECHA DE ENSAYO:	18-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	P1-A2-10-01	P1-A2-10-02	P1-A2-10-03	P1-A2-10-04	P1-A2-10-05
CARACTERÍSTICA	PROBETA	PROBETA	PROBETA	PROBETA	PROBETA
ESPESOR [mm]	10,01	9,99	9,94	9,99	9,94
ANCHURA [mm]	13,10	12,99	13,12	12,99	12,99
LONGITUD INICIAL [mm]	50	50	50	50	50
SECCION TRANSVERSAL [mm ²]	131,13	129,77	130,41	129,77	129,12
MODULO DE ELASTICIDAD [GPa]	1,465,E+02	1,717,E+02	1,504,E+02	1,848,E+02	1,463,E+02
CARGA DE FLUENCIA [kN]	38,72	39,72	39,20	38,98	40,32
ESFUERZO DE FLUENCIA [MPa]	295,28	306,08	300,58	300,38	312,27
CARGA MAXIMA [kN]	55,54	56,44	56,32	56,52	56,64
ESFUERZO MAXIMO [MPa]	423,55	434,92	431,86	435,54	438,66
PORCENTAJE DE ELONGACION [%]	32,00	37,50	31,50	34,50	35,50
TIPO DE FRACTURA	T.C	T.C	T.C	T.C	T.C
OBSERVACIONES: T.C = TAZA Y CONO					

Aprobado por:



LENMAV
LABORATORIO
ENSAYO DE MATERIALES
Riobamba, Ecuador

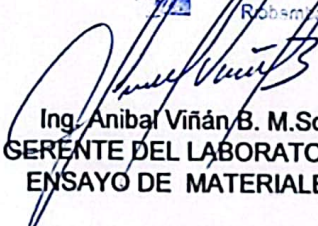
Ing. Anibal Viñan B. M.Sc.
GERENTE DEL LABORATORIO
ENSAYO DE MATERIALES

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

1/1

INFORME DE RESULTADOS					
ENSAYO DE TRACCIÓN			Denominación: RG 18 - 1		
N° 04					
SOLICITADO POR:	Edisson Caiza - David Pullutasig				
PROYECTO DE TESIS:	"MODELO DE MATERIAL PARA PERFILES CONFORMADOS EN FRÍO DE SECCIÓN TRANSVERSAL UV DE ACERO A36 PARA ESPESORES DE 10 mm Y 12mm."				
DIRECCION:	UTA - FAC. ING. CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE ING MECÁNICA				
TIPO DE MATERIAL:	PROBETA NORMALIZADA				
MATERIAL:	ACERO A36				
NORMA UTILIZADA:	ASTM E8				
FECHA DE ENSAYO:	18-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	P1-I-10-01	P1-I-10-02	P1-I-10-03	P1-I-10-04	P1-I-10-05
CARACTERÍSTICA	PROBETA	PROBETA	PROBETA	PROBETA	PROBETA
ESPESOR [mm]	9,98	9,97	9,93	9,94	9,9
ANCHURA [mm]	12,93	12,65	12,58	12,72	12,87
LONGITUD INICIAL [mm]	50	50	50	50	50
SECCION TRANSVERSAL [mm ²]	129,04	126,12	124,92	126,44	127,41
MODULO DE ELASTICIDAD [GPa]	1,681,E+02	1,382,E+02	1,705,E+02	1,301,E+02	1,713,E+02
CARGA DE FLUENCIA [kN]	40,16	40,50	40,04	39,04	39,68
ESFUERZO DE FLUENCIA [MPa]	311,22	321,12	320,53	308,77	311,43
CARGA MAXIMA [kN]	56,28	56,22	56,06	56,16	56,26
ESFUERZO MAXIMO [MPa]	436,14	445,76	448,77	444,17	441,56
PORCENTAJE DE ELONGACION [%]	39,50	32,50	32,00	43,00	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° 01					
SOLICITADO POR:	Edisson Caiza - David Pullutasig				
PROYECTO DE TESIS:	"MODELO DE MATERIAL PARA PERFILES CONFORMADOS EN FRÍO DE SECCIÓN TRANSVERSAL UV DE ACERO A36 PARA ESPESORES DE 10 mm Y 12mm."				
DIRECCION:	UTA - FAC. ING. CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE ING MECÁNICA				
TIPO DE MATERIAL:	PROBETA NORMALIZADA				
MATERIAL:	ACERO A36				
NORMA UTILIZADA:	ASTM E8				
FECHA DE ENSAYO:	18-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	P1-1C-10-01	P1-2C-10-02	P1-1C-10-03	P1-1C-10-04	P1-2C-10-05
CARACTERÍSTICA	PROBETA	PROBETA	PROBETA	PROBETA	PROBETA
ESPESOR [mm]	9,75	9,89	9,85	9,79	9,81
ANCHURA [mm]	12,97	12,85	12,88	12,93	13,13
LONGITUD INICIAL [mm]	50	50	50	50	50
SECCION TRANSVERSAL [mm ²]	126,46	127,09	126,87	126,58	128,81
MODULO DE ELASTICIDAD [GPa]	1,892,E+02	1,741,E+02	1,772,E+02	1,852,E+02	2,023,E+02
CARGA DE FLUENCIA [kN]	58,64	58,42	59,18	65,48	63,86
ESFUERZO DE FLUENCIA [MPa]	463,71	459,69	466,47	517,28	495,79
CARGA MAXIMA [kN]	67,00	66,38	67,02	72,62	74,02
ESFUERZO MAXIMO [MPa]	529,82	522,32	528,27	573,69	574,67
PORCENTAJE DE ELONGACION [%]	19,50	19,00	18,00	17,00	20,00
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:	Edisson Caiza - David Pullutasig				
PROYECTO DE TESIS:	"MODELO DE MATERIAL PARA PERFILES CONFORMADOS EN FRIO DE SECCIÓN TRANSVERSAL UV DE ACERO A36 PARA ESPESORES DE 10 mm Y 12mm."				
DIRECCION:	UTA - FAC. ING. CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE ING MECÁNICA				
TIPO DE MATERIAL:	PROBETA NORMALIZADA				
MATERIAL:	ACERO A36				
NORMA UTILIZADA:	ASTM E8				
FECHA DE ENSAYO:	17-nov-23				
EQUIPO UTILIZADO:	MÁQUINA UNIVERSAL DE ENSAYOS - WAW600B				
MARCA:	JINAN LIANGONG TESTING TECHNOLOGY CO., LTD				
SERIE:	7136	CERTIFICADO:	LNM-F-2016500064D	CÓD IDENT:	M2
NÚMERO DE LA MUESTRA	1	2	3	4	5
DESIGNACIÓN DEL MATERIAL	P1-A1-12-01	P1-A1-12-02	P1-A1-12-03	P1-A1-12-04	P1-A1-12-05
CARACTERÍSTICA	PROBETA	PROBETA	PROBETA	PROBETA	PROBETA
ESPESOR [mm]	11,91	11,95	11,97	11,94	11,96
ANCHURA [mm]	13,06	13,18	12,76	13,11	12,7
LONGITUD INICIAL [mm]	50	50	50	50	50
SECCION TRANSVERSAL [mm ²]	155,54	157,50	152,74	156,53	151,89
MODULO DE ELASTICIDAD [GPa]	1,527,E+02	1,730,E+02	2,257,E+02	1,839,E+02	1,574,E+02
CARGA DE FLUENCIA [kN]	44,64	45,34	44,10	44,94	43,64
ESFUERZO DE FLUENCIA [MPa]	286,99	287,87	288,73	287,10	287,31
CARGA MAXIMA [kN]	66,46	66,44	65,46	66,06	65,38
ESFUERZO MAXIMO [MPa]	427,27	421,84	428,58	422,02	430,44
PORCENTAJE DE ELONGACION [%]	39,50	40,50	40,00	40,50	41,00
TIPO DE FRACTURA	T.C	T.C	T.C	T.C	T.C
OBSERVACIONES:	T.C = TAZA Y CONO				

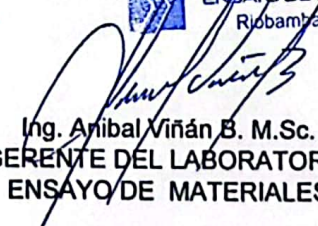
Aprobado por:

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 éste documento.

INFORME DE RESULTADOS					
ENSAYO DE TRACCIÓN			Denominación: RG 18 - 1		
N° 03					
SOLICITADO POR:	Edisson Caiza - David Pullutasig				
PROYECTO DE TESIS:	"MODELO DE MATERIAL PARA PERFILES CONFORMADOS EN FRÍO DE SECCIÓN TRANSVERSAL UV DE ACERO A36 PARA ESPESORES DE 10 mm Y 12mm."				
DIRECCION:	UTA - FAC. ING. CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE ING MECÁNICA				
TIPO DE MATERIAL:	PROBETA NORMALIZADA				
MATERIAL:	ACERO A36				
NORMA UTILIZADA:	ASTM E8				
FECHA DE ENSAYO:	17-nov-23				
EQUIPO UTILIZADO: MÁQUINA UNIVERSAL DE ENSAYOS - WAW600B					
MARCA: JINAN LIANGONG TESTING TECHNOLOGY CO., LTD					
SERIE: 7136		CERTIFICADO: LNM-F-2016500064D		CÓD IDENT: M2	
NÚMERO DE LA MUESTRA	1	2	3	4	5
DESIGNACIÓN DEL MATERIAL	P1-A2-12-01	P1-A2-12-02	P1-A2-12-03	P1-A2-12-04	P1-A2-12-05
CARACTERÍSTICA	PROBETA	PROBETA	PROBETA	PROBETA	PROBETA
ESPESOR [mm]	11,88	11,89	11,91	11,92	11,89
ANCHURA [mm]	13,04	13,28	12,97	12,7	13,04
LONGITUD INICIAL [mm]	50	50	50	50	50
SECCION TRANSVERSAL [mm ²]	154,92	157,90	154,47	151,38	155,05
MODULO DE ELASTICIDAD [GPa]	2,751,E+02	2,223,E+02	2,402,E+02	1,967,E+02	2,055,E+02
CARGA DE FLUENCIA [kN]	45,30	45,60	45,46	45,48	45,16
ESFUERZO DE FLUENCIA [MPa]	292,42	288,79	294,29	300,43	291,27
CARGA MAXIMA [kN]	67,26	66,56	66,84	66,78	67,52
ESFUERZO MAXIMO [MPa]	434,17	421,53	432,70	441,13	435,48
PORCENTAJE DE ELONGACION [%]	39,50	42,00	38,50	38,50	41,00
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		
SOLICITADO POR:			Edisson Caiza - David Pullutasig		
PROYECTO DE TESIS:			"MODELO DE MATERIAL PARA PERFILES CONFORMADOS EN FRÍO DE SECCIÓN TRANSVERSAL UV DE ACERO A36 PARA ESPESORES DE 10 mm Y 12mm."		
DIRECCION:			UTA - FAC. ING. CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE ING MECÁNICA		
TIPO DE MATERIAL:			PROBETA NORMALIZADA		
MATERIAL:			ACERO A36		
NORMA UTILIZADA:			ASTM E8		
FECHA DE ENSAYO:			17-nov-23		
EQUIPO UTILIZADO: MÁQUINA UNIVERSAL DE ENSAYOS - WAW600B					
MARCA: JINAN LIANGONG TESTING TECHNOLOGY CO., LTD					
SERIE: 7136		CERTIFICADO: LNM-F-2016500064D		CÓD IDENT: M2	
NÚMERO DE LA MUESTRA	1	2	3	4	5
DESIGNACIÓN DEL MATERIAL	P1-I-12-01	P1-I-12-02	P1-I-12-03	P1-I-12-04	P1-I-12-05
CARACTERÍSTICA	PROBETA	PROBETA	PROBETA	PROBETA	PROBETA
ESPEJOR [mm]	11,92	11,93	11,92	11,94	11,96
ANCHURA [mm]	12,66	12,63	12,81	12,78	12,76
LONGITUD INICIAL [mm]	50	50	50	50	50
SECCION TRANSVERSAL [mm ²]	150,91	150,68	152,70	152,59	152,61
MODULO DE ELASTICIDAD [GPa]	2,093,E+02	2,093,E+02	2,276,E+02	1,886,E+02	1,956,E+02
CARGA DE FLUENCIA [kN]	43,52	44,90	43,00	45,12	45,84
ESFUERZO DE FLUENCIA [MPa]	288,39	297,99	281,61	295,69	300,37
CARGA MAXIMA [kN]	65,68	66,22	65,98	66,22	66,34
ESFUERZO MAXIMO [MPa]	435,23	439,49	432,10	433,96	434,70
PORCENTAJE DE ELONGACION [%]	41,00	40,50	40,00	37,50	36,50
TIPO DE FRACTURA	T.C	T.C	T.C	T.C	T.C
OBSERVACIONES: T.C = TAZA Y CONO					

Aprobado por:



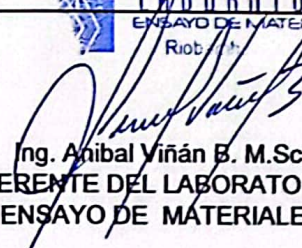
Ing. Anibal Viñan B. M.Sc.
GERENTE DEL LABORATORIO
ENSAYO DE MATERIALES

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

1/1

INFORME DE RESULTADOS					
ENSAYO DE TRACCIÓN			Denominación: RG 18 - 1		
N° 01					
SOLICITADO POR:	Edisson Caiza - David Pullutasig				
PROYECTO DE TESIS:	"MODELO DE MATERIAL PARA PERFILES CONFORMADOS EN FRÍO DE SECCIÓN TRANSVERSAL UV DE ACERO A36 PARA ESPESORES DE 10 mm Y 12mm."				
DIRECCION:	UTA - FAC. ING. CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE ING MECÁNICA				
TIPO DE MATERIAL:	PROBETA NORMALIZADA				
MATERIAL:	ACERO A36				
NORMA UTILIZADA:	ASTM E8				
FECHA DE ENSAYO:	17-nov-23				
EQUIPO UTILIZADO: MÁQUINA UNIVERSAL DE ENSAYOS - WAW600B					
MARCA: JINAN LIANGONG TESTING TECHNOLOGY CO., LTD					
SERIE: 7136		CERTIFICADO: LNM-F-2016500064D		CÓD IDENT: M2	
NÚMERO DE LA MUESTRA	1	2	3	4	5
DESIGNACIÓN DEL MATERIAL	P1-1C-12-01	P1-2C-12-02	P1-1C-12-03	P1-2C-12-04	P1-1C-12-05
CARACTERÍSTICA	PROBETA	PROBETA	PROBETA	PROBETA	PROBETA
ESPEJOR [mm]	11,74	11,88	12,36	11,66	11,74
ANCHURA [mm]	13,14	12,91	12,88	13,05	12,85
LONGITUD INICIAL [mm]	50	50	50	50	50
SECCION TRANSVERSAL [mm ²]	154,26	153,37	159,20	152,16	150,86
MODULO DE ELASTICIDAD [GPa]	1,722,E+02	1,678,E+02	1,905,E+02	1,919,E+02	1,790,E+02
CARGA DE FLUENCIA [kN]	72,40	72,32	71,08	70,14	71,14
ESFUERZO DE FLUENCIA [MPa]	469,33	471,54	446,49	460,95	471,57
CARGA MAXIMA [kN]	81,84	81,78	81,60	81,14	81,20
ESFUERZO MAXIMO [MPa]	530,52	533,22	512,57	533,24	538,25
PORCENTAJE DE ELONGACION [%]	21,00	19,50	22,50	21,50	21,50
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. 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.

1/1