



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 TIPO UV DE ACERO A36, PARA ESPESORES
DE 6 mm y 8 mm”**

AUTORES: Edward Joel Mayancha Vargas

Boris Alexander Quizhpe Bustamante

TUTOR: Ing. Francisco Agustín Peña Jordán, Mg.

AMBATO - ECUADOR

Febrero - 2024

APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de Tutor de 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 TIPO UV DE ACERO A36, PARA ESPEORES DE 6 mm Y 8 mm”**, elaborado por los señores EDWARD JOEL MAYANCHA VARGAS, portador de la cédula de ciudadanía: C.I. 1600464018 Y BORIS ALEXANDER QUIZHPE BUSTAMANTE, portador de la cédula de ciudadanía C.I. 1726507898, estudiantes de la Carrera de Mecánica de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

Certifico:

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

Ambato, febrero 2024

.....
Ing. Francisco Agustín Peña Jordán, Mg.

TUTOR

AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, Edward Joel Mayancha Vargas, con C.I. 1600464018 y Boris Alexander Quizhpe Bustamante, con C.I. 1726507898, declaramos que todas las actividades y contenidos expuestos en el presente Trabajo Experimental con el tema: “**MODELO DE MATERIAL PARA PERFILES CONFORMADO EN FRÍO DE SECCIÓN TRANSVERSAL TIPO UV DE ACERO A36, PARA ESPEORES DE 6 mm Y 8 mm**”, así como también los 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

.....
Edward Joel Mayancha Vargas

C.I. 1600464018

AUTOR

.....
Boris Alexander Quizhpe Bustamante

C.I. 1726507898

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

.....
Edward Joel Mayancho Vargas

C.I. 1600464018

AUTOR

.....
Boris Alexander Quizhpe Bustamante

C.I. 1726507898

AUTOR

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los miembros del tribunal de grado aprueban el informe del Trabajo Experimental, realizado por los estudiantes Edward Joel Mayancho Vargas y Boris Alexandre Quizhpe Bustamante, de la Carrera de Mecánica bajo el tema: **“MODELO DE MATERIAL PARA PERFILES CONFORMADO EN FRÍO DE SECCIÓN TRANSVERSAL TIPO UV DE ACERO A36, PARA ESPESORES DE 6 mm Y 8 mm”**.

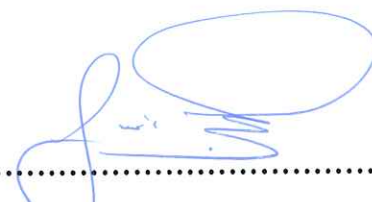
Ambato, febrero 2024

Para constancia firman:



.....
Ing. Wilson Henry Vaca Ortega, Mg.

MIEMBRO CALIFICADOR



.....
Ing. Juan Gilberto Paredes Salinas, Mg.

MIEMBRO CALIFICADOR

DEDICATORIAS

A mi familia, mi refugio y fuente inagotable de amor, cuyas raíces de amor y apoyo han nutrido mi crecimiento. Cada logro en este camino académico es también suyo. Gracias por ser mi ancla en las tormentas y mi faro en la oscuridad. A ustedes, que han compartido conmigo cada desafío y triunfo.

A todos aquellos que, de una u otra manera, contribuyeron a mi crecimiento y desarrollo durante este viaje universitario. Cada palabra de aliento, gesto de apoyo y momento de comprensión ha dejado una marca imborrable en mi experiencia.

Cada uno de ustedes ha dejado una huella imborrable en mi corazón, y este título es tan suyo como mío. Gracias por ser parte esencial de mi viaje y por celebrar conmigo cada paso hacia el éxito

Mayancho Vargas Edward Joel

DEDICATORIAS

En primer lugar, quiero dedicar esto a Dios por ayudarme a conseguir este logro con mucha perseverancia y esfuerzo.

A mi padre Eduardo que me guía y bendice desde el cielo y sé que se sentirá muy orgulloso, a mi madre Miriam que me ha guiado como un lucero cada día y es por ella y a su amor diario que dedico mi vida entera y en especial este logro que es más suyo que mío.

A mi abuelo Manuel Antonio y a mis Dos abuelas Esterlina y Luz María que siempre me han querido y apoyado. Y con su sabiduría me han guiado y motivado para conseguir esta meta en mi vida.

Quiero también dedicárselo a mis hermanas Gabriela y Carolina que me han sabido apoyar incondicionalmente.

Finalmente, pero menos importante a mis Padrinos Héctor e Ilda que han sido como mis segundos padres desde niño y a mi familia y personas que han estado a mi lado creyendo en mí.

Quizhpe Bustamante Boris Alexander

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi profundo agradecimiento a mi familia en especial a mi madre Sandrita Vargas y mi padre Pedro Mayancha, quienes fueron el pilar fundamental en mi crecimiento y mi vida. Su apoyo incondicional y amor han sido mi fuente de fortaleza. Cada sacrificio que han hecho y cada palabra de aliento han sido combustible para mi perseverancia.

A mis amigos, quienes han sido más que compañeros de estudios. Gracias por compartir risas, alegrías y desafíos a lo largo de estos años. Su amistad ha enriquecido mi vida de maneras invaluable. Les estoy agradecido por ser parte esencial de este capítulo.

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a mi estimado tutor, Ing. Francisco Peña MSc., cuya dedicación y orientación han sido fundamentales. Su experiencia, paciencia y compromiso fueron la brújula que guio mi investigación y desarrollo académico. Agradezco sinceramente su compromiso, tiempo y conocimiento compartido, elementos clave que han enriquecido no solo este proyecto, sino también mi desarrollo académico en su totalidad. Estoy agradecido por la invaluable mentoría proporcionada a lo largo de este viaje académico.

Mayancha Vargas Edward Joel

AGRADECIMIENTOS

En este día después de un camino largo quiero agradecer a Dios por la fuerza y sabiduría que siempre me supo brindar para poder cumplir mis metas pese a los obstáculos. Agradecer a mi familia que son un pilar fundamental en mi vida y gracias a ese amor y unión hoy puedo dar este gran paso en mi vida académica. En especial quiero agradecer a mi padre y madre por enseñarme a no rendirme y demostrarme que nada es imposible en la vida con amor y mucho sacrificio, gracias por haberme enseñado a elegir siempre el camino del bien y por todo el apoyo y amor incondicional.

Agradezco a la Universidad Técnica de Ambato y a la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica por haberme abierto las puertas de sus aulas y brindado el conocimiento y sabiduría por medio de los docentes que día a día fueron sembrando una semilla con mucho esfuerzo y dedicación para mi excelente formación académica ayudándome así a desarrollar mis talentos en este proceso, muchas gracias...

Agradecer a nuestro tutor de tesis que nos ha brindado la confianza y la oportunidad de realizar este trabajo experimental, gracias a su dedicación, esfuerzo, conocimiento y correcciones que con ello nos ha ayudado a desarrollar este proyecto para el desarrollo de la ingeniería y ayudarnos de igual manera culminar esta meta con mucho éxito.

Agradecer a mis amigos, compañeros de clase y mi compañero de tesis sin ustedes nada de esto sería lo mismo, gracias por las historias y los días compartidos muchas gracias por haber formado parte de este proceso.

Quizhpe Bustamante Boris Alexander

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDO

PORTADA.....	i
APROBACIÓN DEL TUTOR.....	ii
AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	iii
DERECHOS DEL AUTOR	iv
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO	v
DEDICATORIAS	vi
AGRADECIMIENTOS	viii
ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDO	x
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xii
ÍNDICE DE TABLAS	xiv
RESUMEN EJECUTIVO	xvii
ABSTRACT.....	xviii
CAPÍTULO I.....	1
MARCO TEÓRICO	1
1.1 Antecedentes investigativos	1
1.1.1 Justificación.....	3
1.1.2 Fundamentación teórica	4
1.1.2.1 Conformado en frío	4
1.1.2.2 Necesidad de uso de perfiles conformados en frío.....	5
1.1.2.3 Proceso de conformado de metales	6
1.1.2.4 Deformación en frío y en caliente	6
1.1.2.5 Laminado en caliente.....	7
1.1.2.6 Formas del conformado en frío	8
1.1.2.9 Aplicación de los perfiles conformados en frío.....	14
1.1.2.10 Cortes en frío y caliente.....	15
1.1.2.11 Ensayo de dureza.....	16
1.1.2.12 Ensayo de Tracción	17
1.1.2.13 Descripción de las curvas de tensión-deformación: reales y de ingeniería.....	19
1.1.2.14 Modelos existentes de tensión-deformación	22
1.1.2.15 Metalografía	24
1.2 Objetivos.....	25
1.2.1 Objetivo General	25
1.2.2 Objetivos Específicos.....	25
1.3 Planteamiento de la hipótesis.....	26

1.3.1 Variable independiente	26
1.3.2 Variable dependiente	26
CAPÍTULO II.....	27
METODOLOGÍA.....	27
2.1 Materiales	27
2.1.1 Propiedades mecánicas del acero estructural ASTM A36	30
2.2 Métodos	31
2.2.1 Nivel y tipo de investigación.....	31
2.2.3 Operacionalización de variables	32
2.2.4 Recolección de la información.....	32
2.2.6 Procedimiento para el ensayo de dureza	37
2.2.7 Procedimiento para el ensayo de tracción.....	41
2.2.6.1 Dimensionamiento de probetas para el ensayo de tracción	42
2.2.6.2 Identificación de probetas.....	42
2.2.8 Ensayo metalográfico e identificación de los granos del material antes y después del proceso de conformado en frío.....	47
CAPITULO III.....	52
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	52
3.1 Análisis y discusión de resultados	52
3.1.1 Resultados de los ensayos de dureza del material virgen y doblado del perfil tipo UV de acero A36 de 6 mm y 8 mm de espesor.	52
3.1.1.1 Interpretación de resultados del ensayo de dureza	59
3.1.2 Resultados de los ensayos de tracción	65
3.1.2.1 Interpretación de resultados de los ensayos de tracción.....	81
3.1.3 Resultados del ensayo metalográfico	83
3.1.3.1 Interpretación de resultados de los ensayos metalográficos	93
3.2 Verificación de la hipótesis.....	94
CAPITULO IV.....	101
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	101
4.1 Conclusiones.....	101
4.2 Recomendaciones	102
BIBLIOGRAFÍA.....	103
ANEXOS.....	106

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Conformado por deformación plástica	6
Figura 1.2 Temperaturas de conformado en caliente y en frío	7
Figura 1.3 Acabado superficial y margen de tolerancia para diversos procesos de fabricación	7
Figura 1.4 Proceso de laminado en frío de planchas de acero	9
Figura 1.5 Formado de perfiles con rodillos de contorno	9
Figura 1.6 Perfiles laminados en frío y caliente	10
Figura 1.7 Algunas formas de conformado	12
Figura 1.8 Región de esquina extendida	12
Figura 1.9 valores método de cálculo del límite elástico de esquina/ límite elástico de la esquina.....	14
Figura 1.10 Cubierta de acero diseñada con aceros conformados en frío.....	14
Figura 1.11 Esquema de boquilla de corte por chorro de agua.....	15
Figura 1.12 Ensayo de dureza	17
Figura 1.13 Esquema ensayo de dureza Brinell	17
Figura 1.14 Probeta sometida a ensayo de tracción, dimensiones iniciales y finales [.....	18
Figura 1.15 Curva tensión-deformación (material dúctil)	20
Figura 1.16 Curva tensión-deformación (material suave)	20
Figura 1.17 Comparación de la curva de esfuerzo-deformación de ingeniería y la real.....	21
Figura 1.18 Método de designación de la ubicación del área mostrada en la microfotografía	24
Figura 1.19 Ejemplo de granos de austenita en acero.....	25
Figura 2. 1 Diagrama de flujo general del proceso para la recolección de la información.	33
Figura 2. 2 Distribución de los puntos para el ensayo de dureza Brinell (Parte interna-externa)	38
Figura 2. 3 Dimensiones de la longitud de la sección de agarre de la probeta [58]..	42
Figura 2. 4 Distribución de las probetas en el perfil UV (ejemplo 6 mm de espesor)	43

Figura 2. 5 procedimiento planimétrico para número de granos basado en la norma ASTM E112	48
Figura 2. 6 Distribución de las zonas 1T y 2T del perfil de sección UV	49
Figura 3. 1 Material Virgen, espesor 6 mm	59
Figura 3. 2 Material Virgen, espesor 8 mm	59
Figura 3. 3 Dureza Brinell del material conformado en frio de sección UV, espesor 6 mm parte interna	60
Figura 3. 4 Dureza Brinell del material conformado en frio de sección UV, espesor 6 mm parte externa.....	61
Figura 3. 5 Dureza Brinell del material conformado en frio de sección UV, espesor 8 mm parte interna.	62
Figura 3. 6 Dureza Brinell del material conformado en frio de sección UV, espesor 8 mm parte interna.	63
Figura 3. 7 Dureza parte interna, 6 mm de espesor.....	64
Figura 3. 8 Dureza Brinell parte externa, 8 mm.....	64
Figura 3. 9 Esfuerzo máximo y porcentaje de elongación del perfil de sección UV, 8 mm de espesor.....	81
Figura 3. 10 Curva Esfuerzo-Deformación (Ingenieril-Real).....	82
Figura 3. 11 Distribución Normal de los esfuerzos de fluencia de la parte plana del perfil de sección UV (6 mm de espesor).....	82
Figura 3. 12 Distribución Normal de los esfuerzos de fluencia de la parte curva del perfil de sección UV (6 mm de espesor).....	83
Figura 3. 13 Probetas planas del perfil de sección UV, 6 mm de espesor.	95
Figura 3. 14 Probetas planas del perfil de sección UV, 8 mm de espesor.	96
Figura 3. 15 Probetas curvas del perfil de sección UV, 6 mm de espesor.....	97
Figura 3. 16 Probetas curvas del perfil de sección UV, 8 mm de espesor.....	98

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1	Laminaciones bajo alta deformación plástica	13
Tabla 1.2	Diversas Pruebas de ensayo de dureza.....	16
Tabla 2. 1	Materiales y equipos utilizados.....	27
Tabla 2. 2	Composición química y propiedades mecánicas del acero ASTM A36 .	30
Tabla 2. 3	Variable independiente.....	32
Tabla 2. 4	Procedimiento para doblado del material.....	35
Tabla 2. 5	Procedimiento para ensayo de dureza Brinell.....	38
Tabla 2. 6	Identificación de probetas (6 mm) para el ensayo de tracción.....	43
Tabla 2. 7	identificación de probetas (8 mm) para el ensayo de tracción.	44
Tabla 2. 8	Procedimiento para ensayo de tracción.....	45
Tabla 2. 9	Procedimiento para la ejecución del ensayo de metalográfico	49
Tabla 3. 1	Reporte de dureza del material virgen de acero A36 espesor de 6 mm. ..	53
Tabla 3. 2	Reporte ensayo de dureza del material virgen de acero A36 de 8 mm....	54
Tabla 3. 3	Reporte ensayo de dureza del material conformado en frío de acero A36 de 6 mm parte interna.....	55
Tabla 3. 4	Reporte ensayo de dureza del material conformado en frío de acero A36 de 6 mm parte externa.	56
Tabla 3. 5	Reporte ensayo de dureza del material conformado en frío de acero A36 de 8 mm parte interna.....	57
Tabla 3. 6	Reporte ensayo de dureza del material conformado en frío de acero A36 de 8 mm parte externa.	58
Tabla 3. 7	Distribución de la dureza Brinell en el perfil conformado en frío de sección UV parte interna (6 mm de espesor)	60
Tabla 3. 8	Distribución de la dureza Brinell en el perfil conformado en frío de sección UV parte externa (6 mm de espesor).....	61
Tabla 3. 9	Distribución de la dureza Brinell en el perfil conformado en frío de sección UV parte interna (8 mm de espesor)	62
Tabla 3. 10	Distribución de la dureza Brinell en el perfil conformado en frío de sección UV parte interna (8 mm de espesor)	63
Tabla 3. 11	Dureza Brinell del perfil con sección UV	64

Tabla 3. 12 Resultados de probetas del ala derecha (parte plana) del perfil tipo UV-1	65
Tabla 3. 13 Resultados de probetas de la parte curva del perfil tipo UV-1	67
Tabla 3. 14 Resultados de probetas de la espalda (parte plana) del perfil tipo UV-1	69
Tabla 3. 15 Resultados de probetas del ala izquierda (parte plana) del perfil tipo UV-1	71
Tabla 3. 16 Resultados de probetas del ala derecha (parte plana) del perfil tipo UV-2	73
Tabla 3. 17 Resultados de probetas de la parte curva del perfil tipo UV-2	75
Tabla 3. 18 Resultados de probetas de la espalda (parte plana) del perfil tipo UV-2	77
Tabla 3. 19 Resultados de probetas del ala izquierda (parte plana) del perfil tipo UV-2	79
Tabla 3. 20 Esfuerzo máximo y porcentaje de elongación (6 mm de espesor)	81
Tabla 3. 21 Esfuerzo máximo y porcentaje de elongación (8 mm de espesor)	81
Tabla 3. 22 Reporte de ensayo metalográfico del material virgen	84
Tabla 3. 23 Reporte de ensayo metalográfico zona 1T lado derecho del perfil de sección UV	85
Tabla 3. 24 Reporte de ensayo metalográfico del área cercana a la curva derecha del perfil de sección UV	86
Tabla 3. 25 Reporte de ensayo metalográfico zona 2T lado izquierdo del perfil de sección UV	87
Tabla 3. 26 Reporte de ensayo metalográfico del área cercana a la curva izquierda del perfil de sección UV	88
Tabla 3. 27 Reporte de ensayo metalográfico de la curva derecha del perfil de sección UV, 8 mm de espesor	89
Tabla 3. 28 Reporte de ensayo metalográfico de la curva izquierda del perfil de sección UV	90
Tabla 3. 29 Reporte de ensayo metalográfico de la zona cercana a 1T izquierda del perfil de sección UV	91
Tabla 3. 30 Reporte de ensayo metalográfico de la zona 2T lado derecho del perfil de sección UV, 8 mm de espesor	92
Tabla 3. 31 Esfuerzo de fluencia de probetas planas del perfil de sección UV	94

Tabla 3. 32 Valor de t para los Esfuerzos de Fluencia de las probetas planas del perfil de sección UV.....	95
Tabla 3. 33 Esfuerzo de fluencia de probetas curvas del perfil tipo UV.....	97
Tabla 3. 34 Valor de t para los Esfuerzos de Fluencia de las probetas curvas del perfil de sección UV.....	97
Tabla 3. 35 Valor de t para probetas de las alas del perfil de sección UV.....	98
Tabla 3. 36 Valor de t para probetas de las curvas del perfil de sección UV.....	99
Tabla 3. 37 Valor de t para probetas de la espalda del perfil de sección UV.....	99

RESUMEN EJECUTIVO

Con el fin de poder determinar la variación de las propiedades mecánicas como dureza, esfuerzo de fluencia, módulo de elasticidad, carga máxima, variación de tamaño de grano y porcentaje de elongación, comparando las mismas en áreas curvas y áreas planas de un perfil conformado en frío de sección tipo UV.

Se desarrollaron ensayos de tracción, dureza y micrografía, se utilizó material de acero ASTM A-36 con espesores de 6 mm y 8 mm, obteniendo probetas para sus respectivos ensayos bajo las normas ASTM E8 para ensayos de tracción, ASTM E112 para micrografía y el método de dureza utilizado fue Brinell HBW para los ensayos de dureza con la norma ASTM E10, al realizar los ensayos y las pruebas en el material virgen y el material conformado en frío de sección tipo UV, se determinó que hay mejores resultados de propiedades mecánicas en las áreas curvas del perfil conformado en frío debido a su concentración de esfuerzos, esto mucho más específicamente para el espécimen de espesor más alto por su sección de área transversal, después de comparar todos los resultados obtenidos se observó que el valor máximo de esfuerzos de fluencia en su parte curva fue de 482,81 MPa en comparación con sus alas que tienen un valor mínimo de 210,93 MPa.

Como resultado se comprobó de que si existe una variación de propiedades mecánicas después de un proceso de conformado en frío para un material de acero A-36 mismo que será de mucha ayuda para futuras investigaciones.

Palabras clave: Propiedades mecánicas, chorro de agua, conformado en frío, módulo de elasticidad, esfuerzo de fluencia, porcentaje de elongación.

ABSTRACT

In order to determine the variation of mechanical properties such as hardness, yield stress, modulus of elasticity, maximum load, grain size variation and elongation percentage, comparing them in curved areas and flat areas of a cold-formed profile of UV type section.

Tensile, hardness and micrographic tests were developed, ASTM A-36 steel material was used with thicknesses of 6 mm and 8 mm, obtaining specimens for their respective tests under ASTM E8 standards for tensile tests, ASTM E112 for micrographic and the hardness method used was Brinell HBW for hardness tests with ASTM E10 standard, when performing the tests and trials on the virgin material and the cold-formed material of UV type section, it was determined that there are better results of mechanical properties in the curved areas of the cold-formed profile due to its stress concentration, this much more specifically for the specimen of higher thickness for its cross-sectional area, after comparing all the results obtained it was observed that the maximum value of yield stresses in its curved part was 482.81 MPa compared to its wings that have a minimum value of 210.93 MPa.

As a result, it was proved that there is a variation of mechanical properties after a cold forming process for an A-36 steel material, which will be very helpful for future research.

Keywords: Mechanical properties, water jet, cold forming, modulus of elasticity, yield stress, elongation percentage.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1 Antecedentes investigativos

El análisis de los modelos de perfiles tipo UV de aceros de paredes gruesas conformados en frío de estructuras de torres de telecomunicaciones tiene como finalidad evidenciar el cambio en las propiedades mecánicas del material después de aplicar el proceso de conformado, con el objetivo de determinar el comportamiento estructural del acero utilizado.

Según se menciona en [1], el acero conformado en frío es cada vez más requerido en la construcción, debido a su estabilidad dimensional y facilidad de conformado en una amplia gama de componentes estructurales. En estructuras de edificios ligeros los ensayos experimentales con vigas de acero conformado en frío, demostraron mejores propiedades que el acero conformado en caliente [2].

Según se menciona en [3], las propiedades mecánicas de las partes planas y angulares de los perfiles huecos conformados en frío de más de 6 mm y hasta 16 mm de espesor, denominados "perfiles de acero de pared gruesa", comparados con espesores inferiores a 6 mm denominados "perfiles de acero de pared delgada", estas secciones de acero conformadas en frío son vulnerables a la deformación del alma en los puntos de cargas concentradas o apoyos debido a su elevada relación ancho/espesor. También están sometidos a mayores tensiones de flexión, además de la deformación del alma a medida que aumentan las distancias [4].

Con los resultados obtenidos experimentalmente de las esquinas y de las zonas adyacentes de las secciones, observaron un aumento de la resistencia tanto en el límite elástico como en el límite de fluencia de la esquina, en comparación con las partes planas de la misma sección [3].

Los límites elásticos se compararon con los valores de los resultados de los ensayos de tracción de la misma sección, también aplicando los códigos de diseño AS/NZS [5], ER3 [6] y GB 50018-2002 de China [7]. La diferencia entre los resultados experimentales con los valores previstos demostraron, que las condiciones correspondientes de a las especificaciones vigentes no son adecuadas para estimar el aumento de la resistencia de los perfiles huecos de acero de pared gruesa conformados en frío [3].

Como se menciona en [8], estudia las propiedades mecánicas de los aceros de pared gruesa conformados en frío a temperaturas elevadas y el efecto de la conformación en el rendimiento a alta temperatura de los aceros. Se presentan resultados de una serie de ensayos realizados en aceros Q345, en su investigación se determinó el límite elástico, la resistencia a la rotura, resistencia a la tracción y las curvas de tensión deformación, también se investigó la influencia de la conformación en frío de los aceros a temperaturas ambiente y elevadas mediante la comparación de los modos de fallo.

Como se demuestra en [9], proporcionan un estudio experimental y teórico de las propiedades de los aceros conformados en frío, se evaluaron sistemáticamente el comportamiento del material, se muestra también una fórmula para predecir la carga última en columnas de sección transversal cuadradas de aceros de pared gruesa, aproximadamente de 800 mm x 800 mm con espesores superiores a 22 mm. Los resultados obtenidos demuestran la distribución de las tensiones residuales y las propiedades de compresión para aceros estructurales conformados en frío.

Xiang Yun y Leroy Garnerd en su artículo titulado **“NUMERICAL MODELLING AND DESIGN OF HOT-ROLLED AND COLD-FORMED STEEL CONTINUOUS BEAMS WITH TUBULAR CROSS-SECTIONS”**, mencionan en su estudio los efectos favorables del endurecimiento del material y a la redistribución de momentos, también desarrollaron modelos por elementos finitos (MEF) [10], se llevaron a cabo análisis estadísticos para evaluar el nivel de fiabilidad de los dos métodos de diseño según la norma EN 1990 (2002) [11].

Hong-Xia Wan, Bin Huang y Mahen Mahendran en su estudio con el tema **“EXPERIMENTS AND NUMERICAL MODELLING OF COLD-FORMED STEEL BEAMS UNDER BENDING AND TORSION”** detallan que, los métodos de diseño son limitados, el comportamiento estructural, la resistencia y el diseño de vigas de acero conformadas en frío de sección C y Z sometidas a pruebas de flexión y torsión. Utilizaron una configuración de ensayo especial para simular las diferentes excentricidades de carga y proporcionar condiciones de contorno precisas [12].

1.1.1 Justificación

El uso de elementos de acero conformado en frío en la construcción de edificios comenzó a mediados de los años 50 del siglo XVIII en EE. UU. y el Reino Unido. Sin embargo, este tipo de acero no se popularizó hasta los años 40 del siglo XIX. En el campo de la construcción de estructuras metálicas, existen dos categorías importantes de elementos estructurales, los aceros conformados en frío y conformados en caliente [13].

En la construcción como en la ingeniería civil los perfiles conformados en frío son ampliamente utilizados por la relación resistencia-peso [9]. Estos perfiles permiten que la producción de estructuras sea más eficiente, los cuales son usados en aviones y el diseño de carrocerías [14]. Estos tienen un comportamiento influenciado por diferentes factores, como lo es la geometría de sus secciones transversales, el espesor y las propiedades mecánicas presentes en cada material [9].

Estos aceros con sus propiedades características como el comportamiento elástico, el pandeo y su plasticidad, fundamentales en comprender como reaccionan ante la aplicación de cargas y diferentes condiciones como las ambientales. Es necesario reforzar los componentes estructurales debido al incremento en el número de aplicaciones que tiene en la construcción [15]. Es importante destacar que en su mayoría estos perfiles son desarrollados con modelos de secciones transversales comunes dentro de la industria [16]. En la fabricación de los aceros conformados en frío, se los obtiene mediante procesos de plegado en prensas y plegado por rodillos [17].

Muchos de los estudios que se realizaron principalmente se centraron en secciones de paredes delgadas [9]. En el caso de aceros de paredes delgadas la distribución de las tensiones residuales y la obtención de los cambios en la estructura del material se han obtenido teórica o experimentalmente [17]. En los estudios realizados a secciones de paredes gruesas, el proceso de conformado en frío aumenta el límite elástico y la resistencia a la tracción significativamente del acero. Aunque, en comparación con el módulo de elasticidad su efecto no es muy significativo [8].

En Ecuador, la evolución de la comunicación ha cambiado desde sus inicios, de forma tradicional pasando a sistemas más sofisticados, generando la necesidad de mejorar la infraestructura para su funcionamiento de manera más eficiente [18], sobre todo en torres estructurales de internet móvil y dispositivos móviles para mejorar la cobertura de comunicación en todo el país [19]. En su mayoría las estructuras de acero de torres de telecomunicaciones son fabricadas con perfiles de sección transversal tipo UV, principalmente columnas, debido a su forma triangular y ángulos hasta los 120 grados de sus alas respectivamente, lo que permite formar una geometría triangular con mayor facilidad en su base de cimentación [20].

El objetivo principal es determinar los cambios que presenta el material con sección transversal tipo UV después de un proceso de conformado en frío, sometiendo a probetas obtenidas del perfil a ensayos de dureza, tracción y verificar los granos mediante metalografía para comprender el comportamiento de las propiedades mecánicas del material de acero ASTM A36 para espesores de 6 mm y 8 mm. Este estudio permitirá al desarrollo de nuevas investigaciones.

1.1.2 Fundamentación teórica

1.1.2.1 Conformado en frío

En la construcción metálica existen dos grandes familias de elementos estructurales. Una es el conocido grupo de piezas laminadas en caliente. La otra, pero cada vez más importante, se compone de secciones conformadas en frío a partir de chapa, fleje, placa o barra plana de acero en o mediante operaciones de plegado [21].

A pesar de que las estructuras de acero con perfiles en frío empezaron a construirse en EE. UU. e Inglaterra en la década de 1850, su uso como elementos portantes había sido limitado hasta la década de 1930. Estos perfiles se utilizaron ampliamente en ingeniería estructural a principios de la década de 1950, tras la publicación de la primera norma del Instituto Americano del Hierro y el Acero (AISI) en 1946 [22].

El acero conformado en frío debe su nombre al hecho de que los elementos se conforman en frío, en rollos o prensas, a partir de acero plano, generalmente de un grosor no superior a 1/2 pulgada y tan fino como 0,0149 pulgadas [23]. El proceso de conformado en frío aprovecha las propiedades elásticas y plásticas de los materiales metálicos. Al aplicar fuerzas externas, como presión o estiramiento, a una pieza de metal, se induce una deformación permanente sin dañar la estructura cristalina del material [24].

Los perfiles conformados en frío, a diferencia de los perfiles más pesados laminados en caliente, se utilizan esencialmente en tres situaciones:

- 1 Cuando las cargas y luces moderadas hacen que las formas más gruesas laminadas en caliente no sean rentables.
- 2 Cuando, independientemente del espesor, se necesitan elementos con configuraciones de sección transversal que no pueden fabricarse económicamente mediante laminado en caliente o soldadura de chapas planas.
- 3 Y cuando se desea que los elementos portantes proporcionen también superficies útiles, como en paneles de piso y pared, cubiertas de techo, y similares.

En consecuencia, se puede en secciones estructurales individuales, por un lado, y en paneles y cubiertas, por otro [23].

1.1.2.2 Necesidad de uso de perfiles conformados en frío

En la actualidad existe un alto interés por parte de ingenieros, arquitectos, constructoras y diseñadores de edificaciones como torres, puentes o estructuras metálicas lo cual provoca un enfoque con demanda en nuevas secciones de perfiles

conformados en frío, que sean económicos además de contribuir con el medio ambiente, con un fin de economizar presupuestos o ejecutar diseños más livianos. Esto lleva a que se conozca sobre los tipos de procesos de fabricación de diferentes perfiles conformados en frío y sus variaciones propiedades mecánicas después de su obtención tras el proceso de conformado [25].

1.1.2.3 Proceso de conformado de metales

Los procesos de conformado se definen como la fabricación mediante la modificación tridimensional o plástica de una forma conservando su cohesión, y la cohesión del material, se observa en la Figura 1.1. A diferencia de la deformación, el conformado es la modificación de una forma con geometría controlada. [26].

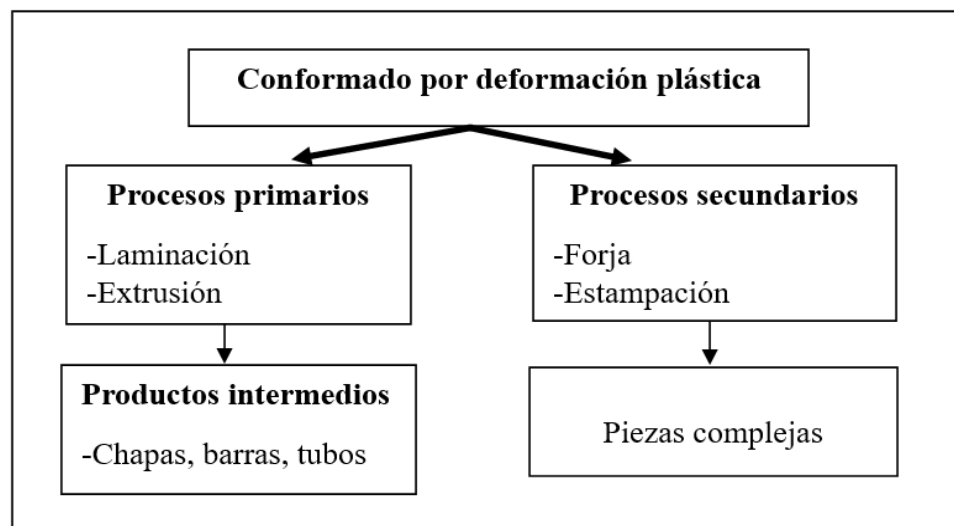


Figura 1.1 Conformado por deformación plástica [27]

1.1.2.4 Deformación en frío y en caliente

La deformación plástica se puede realizar en caliente o en frío, dependiendo si la temperatura de trabajo es superior o inferior a la temperatura de recristalización, se observa con la Figura 1.2. Esto no significa necesariamente una separación estricta, ya que casi todos los procesos pueden realizarse de una forma u otra como se muestra en la Figura 1.3 dependiendo del resultado que se requiera, en donde se pueden definir la temperatura, el acabado superficial y márgenes de tolerancia en los procesos de fabricación [27].

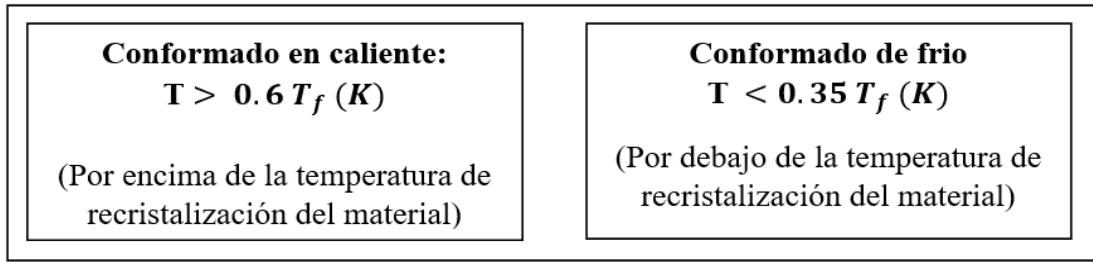


Figura 1.2 Temperaturas de conformado en caliente y en frío [27]

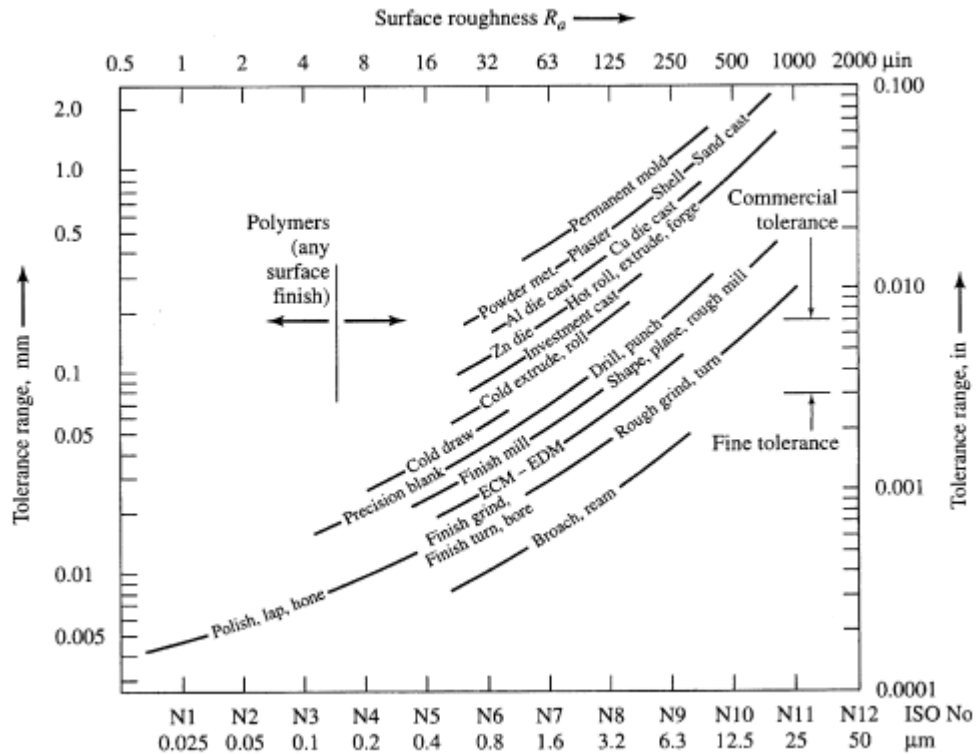


Figura 1.3 Acabado superficial y margen de tolerancia para diversos procesos de fabricación [28]

1.1.2.5 Laminado en caliente

El laminado en caliente es un proceso de conformado de metales que implica calentar el material a altas temperaturas y luego pasarlo a través de rodillos para obtener láminas o perfiles [29]. La composición química de estos aceros se modifica de forma que la formación de martensita pueda garantizarse a velocidades de enfriamiento que pueden alcanzarse con matrices refrigeradas por agua. La tecnología de estampación en caliente, varios grados de acero conformable en caliente, los recubrimientos especiales utilizados para estos aceros con el fin de evitar la formación de cascarilla y la descarbonación, y las aplicaciones típicas en la industria del automóvil. Por último,

también los formatos soldados a medida, laminados a medida y templados a medida [30].

- **La forja**

Un sistema de forja comprende todas las variables de entrada, como el tocho o la pieza en bruto (geometría y material), el utillaje (geometría y material), las condiciones en la interfaz herramienta/material, la mecánica de la deformación plástica, el equipo característico del producto final y, por último, el entorno de la planta en la que proceso [28].

Cabe recalcar que el acabado superficial y las tolerancias son generalmente menores en comparación con el conformado en frío, y las piezas mecanizadas exhiben un comportamiento anisotrópico. Además, registrar el control de la precisión dimensional es más difícil debido a la combinación de deformación elástica y contracción térmica del metal, por lo que se deben considerar dimensiones mayores en las primeras etapas del proceso de diseño de cualquier pieza [31].

1.1.2.6 Formas del conformado en frío

- **Laminado en frío**

La laminación adicional de placas y láminas que han sido trabajadas en caliente generalmente se realiza mediante laminación en frío para prepararlas en operaciones de laminación posteriores [32]. El laminado en frío fortalece el metal [33] y proporciona tolerancias de espesor más estrictas. Este proceso implica la deformación plástica del metal mediante la aplicación de fuerzas externas, como se observa en la Figura 1.4, por ejemplo, la compresión o la flexión [34].

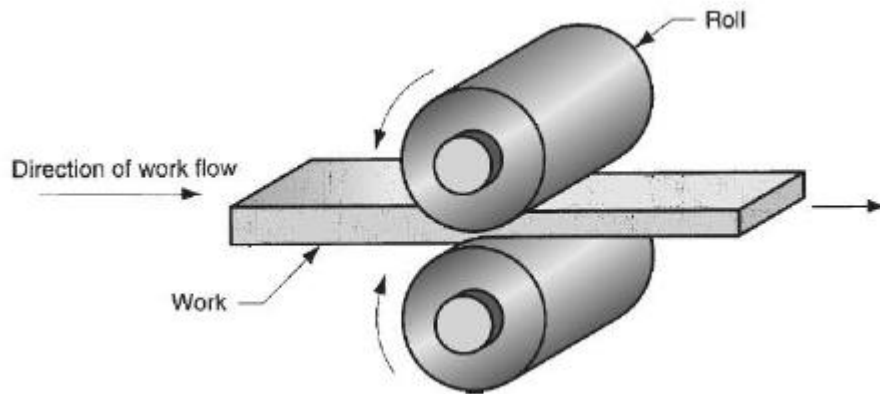


Figura 1.4 Proceso de laminado en frío de planchas de acero [32]

- **Formando con rodillos de contorno**

Este procedimiento es utilizado para producir secciones largas de planchas o rollos del material laminar, se observa en la Figura 1.5. Los productos que se obtienen incluyen: canales, tuberías soldadas y diversos perfiles estructurales. Este proceso se lo realiza a temperatura ambiente [32].



Figura 1.5 Formado de perfiles con rodillos de contorno [32]

Como dato adicional, la Norma de Estructuras de Antenas [35], en el diseño de modelos de perfiles, en el diseño de perfiles conformados en frío, la Norma AISI S100-16 aplica ciertos criterios en la utilización de aceros que no superen 25,4 mm (1 pulgada) de espesor, esto en los procesos para la obtención de perfiles conformados en frío, aplicando los requerimientos y especificaciones técnicas [36]. La Figura 1.6 muestra diferentes ejemplos de perfiles conformados en frío.

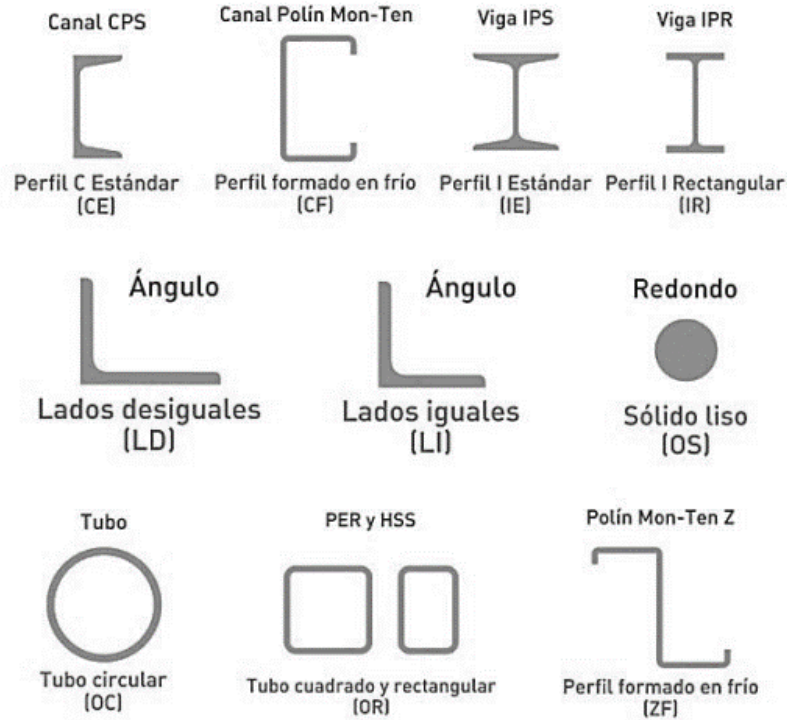


Figura 1.6 Perfiles laminados en frío y caliente [37]

1.1.2.7 Formulas disponibles para una mejora de resistencia mediante trabajo de conformado en frío

Toda una sección transversal se puede dividir en dos partes, estas son su sección plana y la sección de esquinas. El método para la obtención del límite elástico promedio de toda la sección completa se expresa en una ecuación simplificada. La cual fue obtenida de normas como la AISI [36].

$$f_{ya} = C f_{yc} + (1 - C) f_y \quad (1)$$

En donde:

f_{ya} = límite elástico promedio de la (en MPa)

f_{yc} = límite elástico de esquina (en MPa)

f_y = límite elástico (en MPa)

C = La relación del área de esquina (en mm²)

$\frac{A_c}{A}$ = Área de sección completa (en mm²)

La región de esquina extendida es una porción del área plana cercana a la esquina, como se muestra en la Figura 1.7-1.8. Con base en el comportamiento de flexión en la

esquina, el límite elástico de la zona plana junto a la esquina también mejora sus propiedades. Pese a esto en las zonas lejanas a las esquinas no mejora el límite elástico. Lo que quiere decir que el límite elástico en esas zonas es comparado con el límite elástico del acero virgen. Por esta razón la mejora en la resistencia cerca del área cerca de la esquina y en la esquina debe considerarse el límite elástico promedio de la sección completa [38].

En base a pruebas con muestras de sección completa donde t (mm) es el espesor de la sección. Se puede recomendar una extensión de longitud de esquina de $2t$. Estos experimentos se realizaron con perfiles de secciones cuadradas y tipo C con $\theta = \frac{\pi}{2}$ y secciones octogonales con $\theta = \frac{3\pi}{4}$. En donde θ es el ángulo central de la esquina.

Esta vez se tomará según las investigaciones una longitud de extensión como $2t$ [38]. En AISI [36], el límite elástico promedio del acero se determina mediante el método de cálculo computacional que se indica en la ecuación (14). Y el método de cálculo del límite elástico para la esquina f_{yc} se determina a continuación en las siguientes ecuaciones.

$$f_{ya} = Cf_{yc} + (1 - C)f_y \leq f_u \quad (2)$$

$$f_{yc} = \frac{B_c}{\left(\frac{r}{t}\right)^m} f_y \quad (3)$$

$$B_c = 3.69 \left(\frac{f_u}{f_y}\right) - 0.819 \left(\frac{f_u}{f_y}\right)^2 - 1.79 \quad (4)$$

$$m = 0.192 \left(\frac{f_u}{f_y}\right) - 0.068 \quad (5)$$

En donde:

B_c y m = coeficientes

f_u = resistencia última a la tracción (MPa)

r = radio de la esquina interior

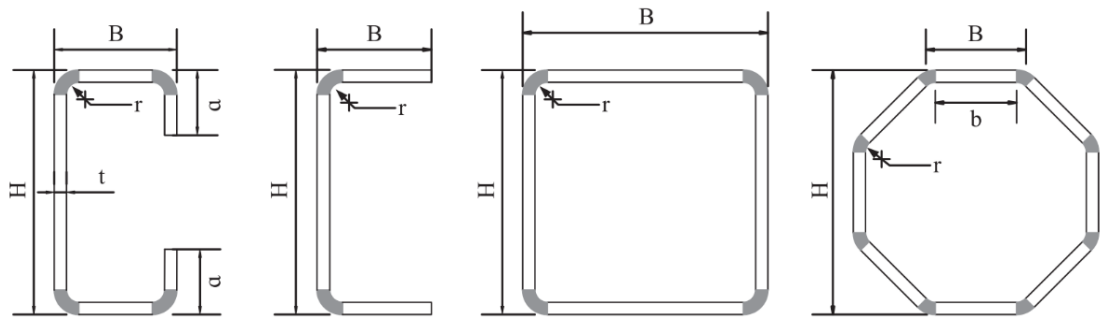


Figura 1.7 Algunas formas de conformado [38]

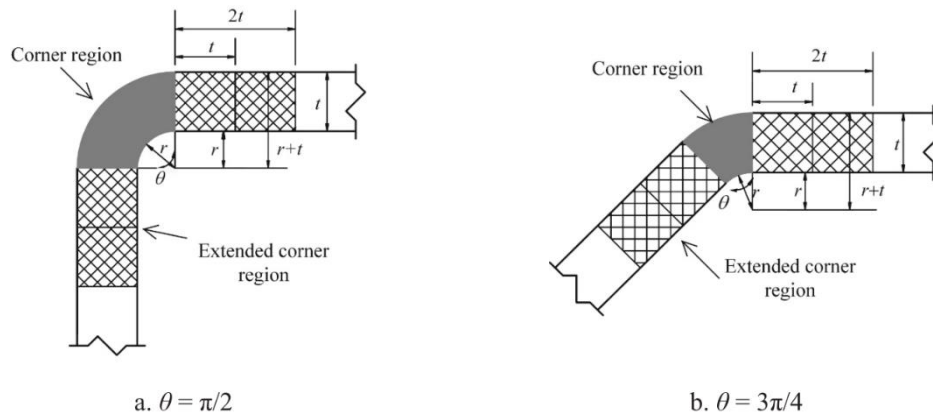


Figura 1.8 Región de esquina extendida [38]

- **Base de datos experimentales**

Para este análisis se estableció una base de datos con 102 propiedades de materiales de acero al carbono basados en estudios experimentales existentes como se menciona en la Tabla 1.2. Estos datos que se obtuvieron son, el límite elástico de secciones de acero conformado en frío incluyendo, secciones huecas cuadradas (SHS), perfiles huecos rectangulares (RHS), perfiles huecos circulares (CHS), perfiles de canal liso y con reborde, perfiles en C y perfiles octogonales. Estos datos que han sido recopilados se mantienen en grados de acero con un límite elástico nominal entre 235 N/mm^2 y 1100 N/mm^2 [38].

Para el límite elástico de la esquina f_{yc} se debe depender de los parámetros de la sección como, el espesor de sección (t), radio interior de la esquina (r), también es necesario tener en cuenta las propiedades del material, como, la resistencia máxima a la tracción (f_u) y su límite elástico (f_y). Estas propiedades se muestran en el Anexo A.

El límite elástico de la esquina F_{yc} se puede obtener a partir del ensayo con cupón de esquina o modelo de cálculo del límite elástico de las esquinas si no se ha ensayado, f_y y f_u se pueden obtener a partir de acero virgen o acero sin formar si ha sometido a un ensayo [38].

Si no se ha ensayado, f_y y f_u se pueden obtener a partir de las propiedades del material del área plana de la sección completa. Debido a que el efecto conformado en frío no puede afectar el área alejada del área de la esquina, se pueden usar las propiedades del material del área plana alejada del área de la esquina porque las propiedades son parecidas a las del área plana y al acero virgen o sin ensayar [38].

1.1.2.8 Comparación de modelos predictivos y datos experimentales para el límite elástico de esquina

En la siguiente Tabla 1.1 y la Figura 1.9, se muestra limitaciones bajo alta deformación plástica obtenidas mediante ensayos realizados.

Tabla 1.1 Laminaciones bajo alta deformación plástica [39]

Productive models	Mean	COV	Max.	Min.
AISI [4] and AS [5]	1.107	0.092	1.399	0.916
Eurocode 3 [6]	1.147	0.116	1.597	0.884
GB 50018 [7]	1.125	0.101	1.374	0.930
Abdel-Rahman et al. [11]	0.997	0.074	1.150	0.852
Gardner et al. [20]	0.973	0.111	1.203	0.799
New-1 [Eq. (15)]	0.998	0.063	1.150	0.852
New-2 and New-3 [Eq. (16)]	0.998	0.075	1.167	0.776

Siendo

Mean: el valor medio de la relación del límite elástico calculado a partir de modelos experimentales

COV: valor del coeficiente de variación.

Max: método de cálculo del límite elástico de esquina / límite elástico de la esquina máxima

Min: método de cálculo del límite elástico de esquina / límite elástico de la esquina mínimo

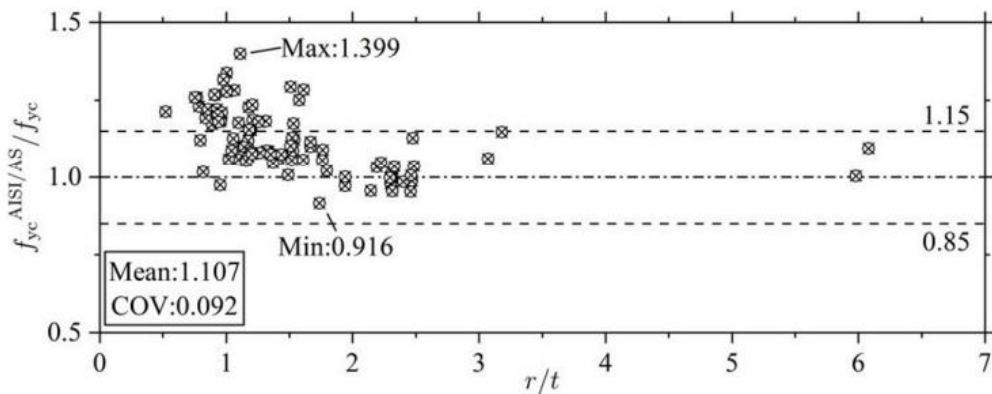


Figura 1.9 valores método de cálculo del límite elástico de esquina/ límite elástico de la esquina [39]

1.1.2.9 Aplicación de los perfiles conformados en frío

Como ya se mencionó anteriormente, los perfiles conformados en frío son ampliamente usados en muchos ámbitos de construcción, debido a sus propiedades mecánicas que los caracterizan, ampliando su utilidad en diversas industrias como lo son la aeronáutica, automotriz, civil, entre otras.

- **Edificios metálicos y viviendas industriales**

Los edificios metálicos de un solo piso se utilizan ampliamente en los campos industrial, comercial y agrícola [21]. Uno de los elementos estructurales más comunes que se utilizan en los edificios asimétricos de varias plantas son los núcleos de hormigón armado (c/c) con sección abierta de pared delgada, que también se utilizan muy a menudo en rascacielos u otras estructuras altas [40].



Figura 1.10 Cubierta de acero diseñada con aceros conformados en frío [21]

Los sistemas de construcción metálicos, como se observa en la Figura 1.10, también se utilizan en instalaciones comunitarias como instalaciones recreativas, escuelas e iglesias. Las construcciones metálicas tienen las siguientes ventajas [21].

1.1.2.10 Cortes en frío y caliente

La mecanización del proceso de corte en materiales ha evolucionado notablemente en comparación con periodos anteriores. No fue sino hasta la Revolución Industrial que se produjo un verdadero impulso para mejorar la eficiencia de los procesos de mecanizado. En el siglo XVIII, cuando la madera era el material más utilizado, se empleaban herramientas de acero con alto contenido de carbón para eliminar secciones de las piezas de trabajo en forma de virutas. [41].

- **Corte por chorro de agua con abrasivo**

El corte por chorro de agua con abrasivo (AWJ por sus siglas en inglés) es una tecnología emergente para el procesamiento de materiales con las claras ventajas de ausencia de distorsión térmica, gran versatilidad de mecanizado y pequeñas fuerzas de corte [42]. Se ha aplicado a materiales difíciles de cortar, sobre todo metales, que se utilizan en diversos procesos de fabricación en la industria manufacturera [43]. Se comercializó por primera vez a finales de la década de 1980 como un avance pionero en el ámbito de las tecnologías de procesamiento no tradicionales [44]. La Figura 1.11, nos presenta un esquema del contenido interno de la boquilla de corte por chorro de agua.

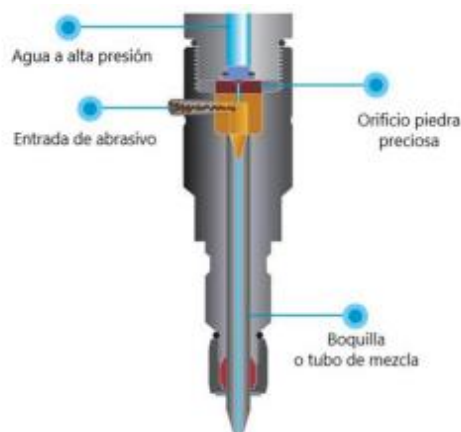
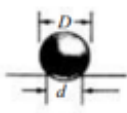



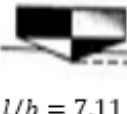
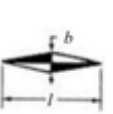




Figura 1.11 Esquema de boquilla de corte por chorro de agua [45]

1.1.2.11 Ensayo de dureza

La dureza del material es la propiedad que permite resistir la deformación elástica y plástica en la superficie que puede ocasionar el contacto con otro material, por ejemplo, un objeto penetrador [46]. La dureza también depende de la velocidad con la que el objeto se toca. Cuanto más rápido se mueve el objeto, más duro se percibe [47]. Las pruebas de dureza sirven para determinar la resistencia a la deformación de un metal, son muy sencillas de realizar en piezas de producción como controles de calidad sin destruir piezas. Dependen de medir la cantidad de deformación causada cuando se presiona un penetrador o indentador duro contra una superficie en un punto fijo generando una deformación puntual [48]. La Tabla 1.2, muestra los tipos de penetradores utilizados para los diferentes tipos de prueba de dureza del acero [48].

Tabla 1.2 Diversas Pruebas de ensayo de dureza [48]

Ensayo	Indentador	Vista lateral	Vista superior	Carga	Fórmula para el número de dureza	
Brinell	Esfera de 10 mm de acero o carburo de tungsten o			P	$BHN = \frac{2P}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$	
Vickers	Pirámide de diamante			P	$VHN = 1,72P/d_1^2$	
Knoop micro dureza	Pirámide de diamante	 $l/b = 7,11$ $b/t = 4,00$		P	$KHN = 14,2P/t^2$	
Rockwell A C D	Cono de diamante			P	$100 - 500t \begin{cases} R_A \\ R_C \\ R_D \end{cases}$	
B F G	1/16 plg. de diámetro de esfera de acero			60 kg		100 - 500t $\begin{cases} R_B \\ R_F \\ R_G \end{cases}$
				150 kg		
				100 kg		
E	1/8 plg. de diámetro de esfera de acero			100 g		130 - 500t $\{R_E\}$
		60 kg				
				150 kg		
				100 kg		

Las pruebas Rockwell implican medir la profundidad de la sangría como se muestra en la Figura 1.12. Hay varias escalas de Rockwell diferentes, cada una de las cuales utiliza una forma y tamaño diferente de penetrador y una carga diferente [48].

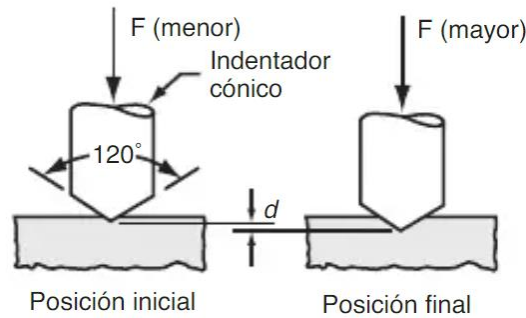


Figura 1.12 Ensayo de dureza [49]

La dureza Brinell se determina presionando una bola de 10 mm de diámetro contra una superficie bajo una carga fija de 500 a 3000 kg, como se muestra en la Tabla 1.2 ya la Figura 1.13. El diámetro de la impresión se mide con un ocular y convertido a dureza, la escala es tal que el número de dureza viene dado por, HBW [48].

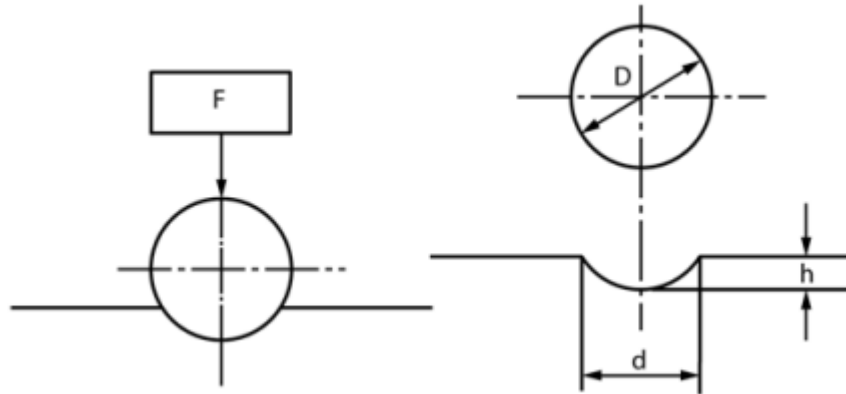


Figura 1.13 Esquema ensayo de dureza Brinell [50]

$$HB = \frac{F}{A}$$

Siendo:

F = fuerza expresada en kg

A = superficie esférica de impresión en mm²

1.1.2.12 Ensayo de Tracción

Los resultados de las pruebas de tracción tienen muchos usos. Las propiedades de tracción se utilizan en la selección de muchos de los materiales para diversas

aplicaciones. Las especificaciones de los materiales suelen incluir propiedades mínimas de tracción para garantizar su calidad. Se deben realizar pruebas para garantizar que estos materiales cumplan dichas especificaciones [48].

Con la teoría de plasticidad, las curvas tensión-deformación de tracción se pueden utilizar para predecir el comportamiento de un material bajo formas de carga distintas a la tensión uniaxial. El nivel de tensión que causa una deformación plástica apreciable de un material se denomina límite elástico. La tensión de tracción máxima que soporta un material se llama resistencia a la tracción (o resistencia máxima o resistencia máxima a la tracción). La ductilidad de un material también es de interés.

La ductilidad es una medida de cuánto puede llevar a deformarse un material antes de su fractura [48]. Se observa en la Figura. 1.14, el esquema de una probeta sometida a ensayo de tracción.

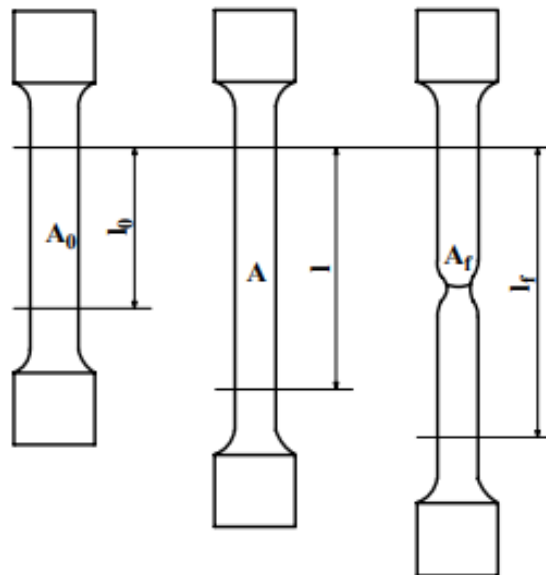


Figura 1.14 Probeta sometida a ensayo de tracción, dimensiones iniciales y finales [46].

Una prueba de tensión implica montar una muestra en una máquina, extenderla y registrar como cambia la fuerza de tracción a medida que se alarga la muestra. Para deformaciones pequeñas las deformaciones serán elástica y podrán invertirse y eliminarse las cargas. Con tensiones más altas se produce la deformación plástica, esto ya no se recupera cuando se retira la carga [48].

1.1.2.13 Descripción de las curvas de tensión-deformación: reales y de ingeniería

- **Curvas Tensión-Deformación**

Son representaciones gráficas de los diferentes ensayos realizados a los metales, por ejemplo, los ensayos de compresión, esfuerzo cortante y de tracción. Para los ensayos de tracción estas gráficas son las más utilizadas [51].

1.- Curva tensión-deformación en ingeniería: Son formas similares de los diferentes metales ensayados a tracción [51]. Se define como la relación entre el área y la longitud original de la probeta. La tensión de ingeniería en cualquier punto de la curva se define como la fuerza dividida por el área original [52].

$$s = \frac{F}{A_0} \quad (6)$$

Donde:

s = esfuerzos de ingeniería, MPa

F = fuerza aplicada en el ensayo, N

A_0 = superficie original de la muestra de ensayo, mm^2

La deformación mecánica viene definida por:

$$e = \frac{l - l_0}{l_0} \quad (7)$$

Donde:

e = tensión en ingeniería

l = longitud en cualquier punto durante la elongación, mm

l_0 = longitud inicial de la pieza

- **Para materiales dúctiles**

La Figura. 1.15, muestra como las fuerzas P menores tiene cierta proporcionalidad con los esfuerzos a aplicar y los alargamientos que se obtienen, mientras la fuerza aplicada va incrementando, dicha proporcionalidad varía significativamente. Al aplicar una fuerza P_{max} al material se produce la rotura, como se observó en la Figura. 1.14 [51].

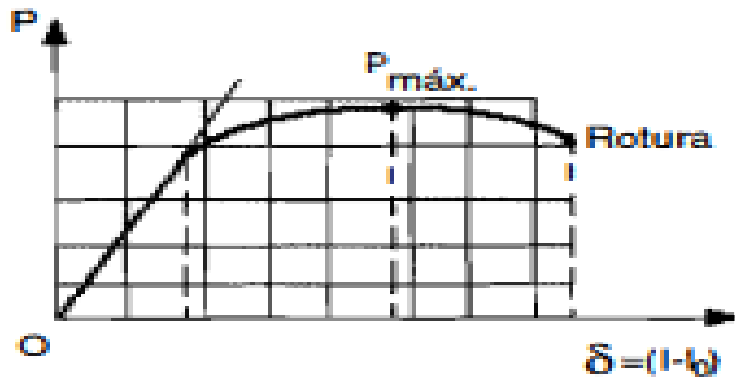


Figura 1.15 Curva tensión-deformación (material dúctil) [51]

- **Para materiales suaves**

La representación de la curva es diferente a la anterior como se observa en la Figura. 1.16.

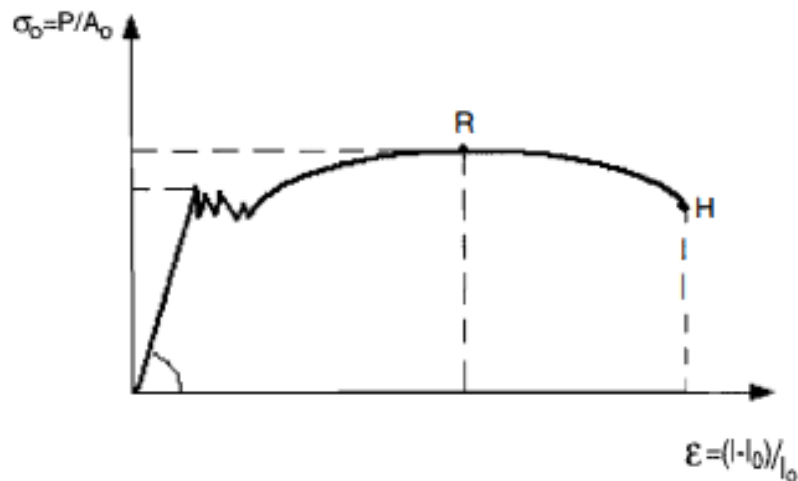


Figura 1.16 Curva tensión-deformación (material suave) [51]

En la zona elástica, existe una relación lineal entre tensión y deformación, y cuando se libera la carga de tensión (deformación), el material vuelve a su longitud original y exhibe un comportamiento elástico [52]. La relación está determinada por la ley de Hooke:

$$s = Ee \tag{8}$$

Donde:

E= módulo de elasticidad, MPa

2.- Curva de tensión real-deformación: son distintas a los mencionados anteriormente, ya que los parámetros son diferentes [51]. Si se utilizara el área real, el valor de tensión calculado sería mayor. El valor de tensión obtenido dividiendo el área entre la carga aplicada se define como la tensión verdadera [52]:

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (9)$$

Donde:

σ = tensión real, MPa

F = fuerza, N

A = superficie real que resiste la carga, mm^2

El valor de la deformación real en un ensayo de tracción puede estimarse dividiendo el alargamiento total en pequeños incrementos. La deformación va definida por:

$$\epsilon = \int_{l_0}^l \frac{dL}{L} = \ln \frac{L}{L_0} \quad (10)$$

Donde:

L = longitud instantánea en cualquier momento de la elongación

La Figura 1.17, presenta una comparativa entre los diagramas de la curva tensión-deformación real y nominal (ingeniería). Estos diagramas se obtienen del ensayo de tracción de los metales.

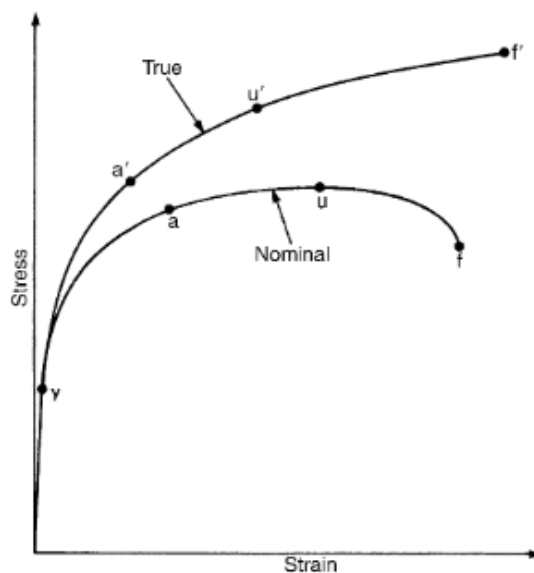


Figura 1.17 Comparación de la curva de esfuerzo-deformación de ingeniería y la real [28]

1.1.2.14 Modelos existentes de tensión-deformación

- **El modelo Ramberg-Osgood**

Se utiliza ampliamente para describir la respuesta redondeada de tensión-deformación (ecuación (11)) y se define utilizando tres parámetros básicos: Módulo de Young E , límite elástico del material f_y y el exponente por el endurecimiento por deformación n . El exponente de endurecimiento n puede determinarse utilizando una prueba de tensión adicional de 0,05% [53].

$$\varepsilon = \frac{f}{E} + 0,002 \left(\frac{f}{f_Y} \right)^n \quad (11)$$

$$n = \frac{\ln(4)}{\ln(f_y/\sigma_{0,05})} \quad (12)$$

Donde:

n : Primer exponente de endurecimiento por deformación

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

Utilizando la relación convencional Ramberg-Osgood (ecuación (11)) hasta el límite elástico e introduciendo una segunda curva Ramberg-Osgood que comienza en el límite elástico f_y y continúa hasta la resistencia última a la tracción f_u , según la Ec. (3). La continuidad de posición y pendiente se consigue en el punto de transición (es decir, el límite elástico f_y) entre las dos etapas (es decir, entre las Ecuaciones. (11) y (13)).

$$\varepsilon = \frac{f - f_y}{E_{0,2}} + \left(\varepsilon_u - \varepsilon_{0,2} - \frac{f_u - f_y}{E_{0,2}} \right) \left(\frac{f - f_y}{f_u - f_y} \right)^m + \varepsilon_{0,2}; \quad (13)$$

para $f_y < f \leq f_u$

Donde:

ε_u : deformación en la resistencia última f_u

$\varepsilon_{0,2}$: es la deformación total en el límite elástico f_y

$E_{0,2}$: es el modulo tangente de la curva tensión-deformación en el límite elástico

m : es el segundo exponente de endurecimiento por deformación

Definición de parámetros de la ecuación (13)

- **Módulo tangente de la curva tensión-deformación en el límite elástico $E_{0,2}$ se define como:**

$$E_{0,2} = \frac{E}{1 + 0,002n \frac{E}{f_y}} \quad (14)$$

- **Tensión máxima ε_u**

La deformación ε_u correspondiente a la resistencia última a la tracción f_u puede obtenerse a partir de:

$$\varepsilon_u = 0,6 \left(1 - \frac{f_y}{f_u} \right) \quad (15)$$

La ecuación (15) nos permite calcular la predicción de la deformación límite tanto para aceros laminados en caliente como para aceros conformados en frío [53].

Se ha establecido la ecuación (16) para describir la variación de f_u/f_y con el límite elástico f_y . Si se desconoce la resistencia última a la tracción f_u , se determina utilizando la siguiente expresión predictiva, para aceros conformados en frío:

$$\frac{f_u}{f_y} = 1 + (130/f_y)^{1,4} \quad (16)$$

- **Segundo exponente de endurecimiento por deformación m**

El valor de m puede determinarse imponiendo que la segunda etapa de la curva tensión-deformación pase por un punto intermedio definido. El segundo exponente de endurecimiento por deformación m puede determinarse:

$$m = 1 + 3,3 \frac{f_y}{f_u} \quad (17)$$

Cuando la medida de tensión de prueba es de 1% $\sigma_{1,0}$:

$$m = \frac{\ln\left(0,008 + \frac{\sigma_{1,0} - f_y}{E}\right) - \ln\left(\varepsilon_u - \varepsilon_{0,2} - \frac{f_u - f_y}{E_{0,2}}\right)}{\ln(\sigma_{1,0} - f_y) - \ln(f_u - f_y)} \quad (18)$$

$$\text{Para } \varepsilon_u > \max\left(\varepsilon_{0,2} + \frac{f_u - f_y}{E_{0,2}}, \varepsilon_{1,0}\right)$$

1.1.2.15 Metalografía

El objetivo principal de los exámenes metalográficos es revelar los constituyentes y la estructura de los metales y sus aleaciones mediante un microscopio óptico o electrónico de barrido en casos especiales, como se observa en la Figura 1.18, para el examen se puede requerir el desarrollo de menos detalles que en otros, pero, en casi todas las condiciones, la correcta selección y de la muestra es de gran importancia [54].

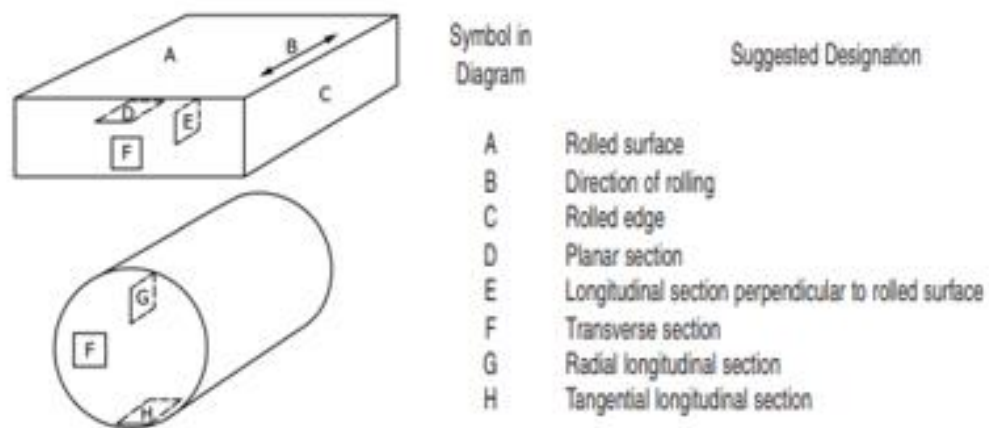


Figura 1.18 Método de designación de la ubicación del área mostrada en la microfotografía [51].

La Figura 1.19 muestra un ejemplo de lo que se quiere al realizar el ensayo metalográfico en los materiales metálicos.

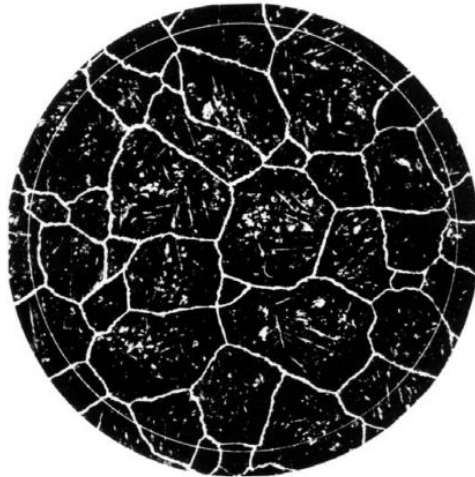


Figura 1.19 Ejemplo de granos de austenita en acero [55]

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo General

Obtener un modelo de material para perfiles conformado en frío de sección transversal tipo UV de acero A36, para espesores de 6 mm y 8 mm.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Realizar ensayos de dureza para determinar la modificación estructural del material por el proceso de conformado en frío del perfil de 6 mm y 8 mm.
- Ejecutar el ensayo de tracción a las probetas obtenidas y determinar las tensiones residuales de los perfiles conformado en frío tipo UV para espesores de 6 mm y 8 mm.
- Obtener imágenes de la micrografía de la sección transversal para visualizar la deformación de los granos por el proceso de conformado en frío.

1.3 Planteamiento de la hipótesis

Existen diferencias significativas de las propiedades mecánicas (dureza, esfuerzo de fluencia, módulo de elasticidad, carga máxima, variación de tamaño de grano y porcentaje de elongación) del acero después del proceso de conformado en frío.

1.3.1 Variable independiente

Proceso de conformado en frío

1.3.2 Variable dependiente

Propiedades mecánicas del acero (dureza, esfuerzo de fluencia, módulo de elasticidad, carga máxima, variación de tamaño de grano y porcentaje de elongación)

CAPÍTULO II

METODOLOGÍA

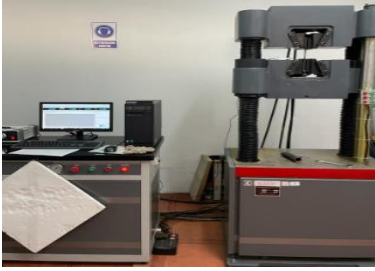




2.1 Materiales




Los materiales y equipos utilizados para la implementación del presente trabajo serán descritos en la Tabla 2.1, que se presenta a continuación.

Tabla 2. 1 Materiales y equipos utilizados

Materiales	Imagen	Descripción
Calibrador pie de rey		Instrumento para medir las dimensiones de las probetas.
Franela		Elemento utilizado para la limpieza de las probetas
Lijas # 360, 400, 600, 100, 1200, 1500, 2000		Elemento utilizado para la preparación de las muestras para micrografía
EPP		Equipo de protección personal usado para realizar los ensayos
PL320X6X1200 Acero A36		Las propiedades del material se muestran en la Tabla 2.2

<p>PL320X8X1200 Acero A36</p>		
<p>Máquina plegadora hidráulica DURMA SB-60300</p>		<p>Máquina para realizar el conformado en frío de un perfil tipo UV.</p>
<p>Máquina por chorro de agua Flow Mach 2 203lb</p>		<p>Utilizada para la obtención de las probetas para los ensayos de tracción</p>
<p>Amoladora</p>		<p>Con este equipo pulimos las probetas para realizar el ensayo de micrografía.</p>
<p>Durómetro</p>		<p>Equipo utilizado para determinar la dureza Brinell del material</p>

<p>Máquina Universal de ensayos WAW600B</p>		<p>Equipo para realizar los ensayos de tracción</p>
<p>Prensa montadora para muestras metalográficas</p>		<p>Esta máquina nos ayuda a encapsular material para obtención de probetas.</p>
<p>Baquelita</p>		<p>Material de apoyo para poder encapsular las muestras metalográficas.</p>
<p>Microscopio</p>		<p>Observar la micrografía del material</p>
<p>Lijadora</p>		<p>En este equipo se realiza el proceso de lijado en probetas para micrografía.</p>

Máquina pulidora		Esta máquina nos ayuda a dar un pulido con agua riguroso antes de realizar el ataque químico en las probetas.
Máquina de secado		Nos ayudó a secar las probetas después del pulido con agua y ataque químico.
Computadora		Se utilizó para determinar el tamaño de grano y ver la microestructura en conjunto con el microscopio.

2.1.1 Propiedades mecánicas del acero estructural ASTM A36

Designación ASTM A36. Es el material de construcción más utilizado en estructuras de edificación en el mundo. Es esencialmente una aleación de hierro (al menos 98%) con menos de un 1% de carbono y contiene otras pequeñas cantidades de minerales como manganeso, que aumenta su resistencia, y fósforo, azufre, silicio y vanadio para mejorar su soldabilidad y resistencia a la corrosión [56].

Tabla 2. 2 Composición química y propiedades mecánicas del acero ASTM A36 [56]

Composición química [%] del acero ASTM A36				
Carbono	Manganeso	silicio	Fósforo	Azufre
C	Mn	Si	P	S
0.25-0.29	0.16-1.2	0.15-0.4	0.04	0.05
Propiedades mecánicas del acero ASTM A36				
Módulo de elasticidad	Relación de Poisson	Límite de fluencia	Resistencia máxima a la tracción	Falla ante la deformación plástica
[GPa] 200	- 0.3	[MPa] 250	[MPa] 450-500	- 0.23

2.2 Métodos

En el presente estudio, prevalecen las variables cuantitativas continuas, puesto que los resultados abarcan cualquier valor dentro de un intervalo en particular. De manera similar, las variables cualitativas también tienen gran importancia, ya que se analizarán las características propias de los ensayos experimentales llevados a cabo.

2.2.1 Nivel y tipo de investigación

Nivel

En este análisis, se emplearon los niveles documental, bibliográfico y experimental.

- ✓ La metodología de investigación bibliográfica se utilizó para adquirir conceptos sobre el tema y obtener información relevante para el desarrollo de los ensayos.
- ✓ Respecto a la metodología experimental, se aplicó para derivar conclusiones y comparar los resultados obtenidos experimentalmente con la documentación bibliográfica.

Tipo

Para este análisis se aplicarán los enfoques correlacional, descriptivo y explicativo.

- ✓ Se utilizará un enfoque descriptivo para las comparaciones entre diversos resultados y características obtenidas durante el estudio.
- ✓ El enfoque explicativo se empleará para verificar la hipótesis planteada mediante la aplicación de diversos ensayos experimentales.
- ✓ También se empleará un enfoque correlacional, ya que en la investigación se examinó el impacto que tienen ciertas propiedades cuando se produce la variación producto del proceso de conformado.

2.2.2 Población y muestra

Población

Dado que se trata de una investigación experimental centrada en ensayos a tracción, se llevarán a cabo pruebas con el objetivo de determinar posibles cambios en las propiedades en función de la ubicación de las muestras en el perfil de sección UV del acero A36.

Muestra

Las muestras para realizar los ensayos respectivos se detallan en las Tablas 2,9 y 2,10.

2.2.3 Operacionalización de variables

Variable independiente

Tabla 2. 3 Variable independiente

Conceptualización	Categoría	Indicadores	Índice	Técnicas e instrumentación
Mediante la ejecución de los ensayos se verificará el comportamiento del material después del proceso de conformado en frío	Carga aplicada Ensayo de tracción	Resistencia única a la tracción Esfuerzo máximo de tracción Los ensayos deben cumplir con la normativa	Deformaciones máximas Esfuerzos Intervalos de carga	Bibliografía Fichas Técnicas Norma ASTM E8

2.2.4 Recolección de la información

En el siguiente diagrama se muestra el proceso general respecto al desarrollo del trabajo experimental para la evaluación del perfil de sección transversal UV de los espesores de 6 mm y 8 mm

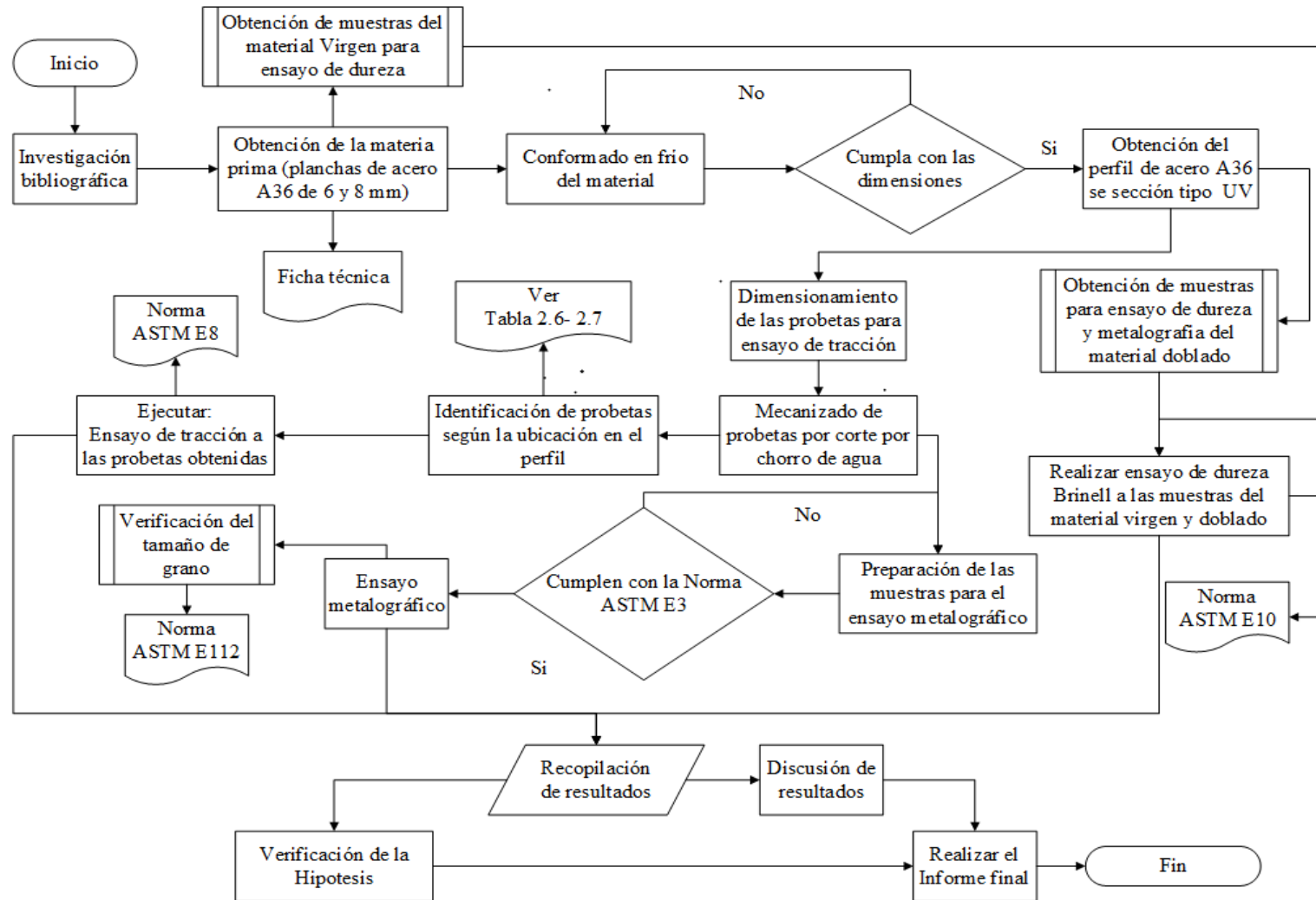


Figura 2. 1 Diagrama de flujo general del proceso para la recolección de la información.

2.2.5 Proceso de doblado (obtención del perfil tipo UV)

El conformado en frío se realizará bajo parámetros establecidos en la norma ISO 100-16, se realizará este proceso de conformado en frío para la posterior obtención del perfil tipo UV. El procedimiento para el ensayo de dureza del acero A36 para espesores de 6 mm y 8 mm se muestra en la Tabla 2. 4.

- **Presión de doblado en toneladas**

$$P = \frac{1,42 * \nabla * S^2 * L}{1000V} \quad (19)$$

Donde

P = Capacidad, Ton

∇ = Resistencia a la tracción, kg/mm^2

S = Espesor de la plancha, mm

L = Longitud de plancha, mm

V = Abertura de molde, mm (Anexo A.1)

Para espesor de 6 mm

$$\nabla = 58 \text{ ksi} \approx 48,78 \text{ kg/mm}^2$$

$$P = \frac{1,42(48,78)(6)^2(1200)}{1000(45)}$$

$$P = 66,49 \text{ Ton}$$

Para espesor de 8 mm

$$\nabla = 58 \text{ ksi} \approx 48,78 \text{ kg/mm}^2$$

$$P = \frac{1,42(48,78)(8)^2(1200)}{1000(60)}$$

$$P = 88,66 \text{ Ton}$$

Tabla 2. 4 Procedimiento para doblado del material

Paso

1. Verificar las dimensiones de la plancha (320mmx1200mm) para los espesores de 6 mm y 8 mm del acero A36.



2. Obtener las muestras del material virgen para realizar el ensayo de dureza, respectivamente para los espesores de 6 mm y 8 mm del acero A36.



3. Separa las muestras de los espesores respectivos del material virgen del acero A36.



4. Marcar las líneas para realizar el doblado del material cumplimento las dimensiones del perfil.



5. Preparar la máquina de doblado y colocar las planchas de acero según la línea de referencia.



6. Aplicar las cargas respectivas según el espesor y ejecutar el proceso de doblado para obtener el modelo de perfil tipo UV deseado.



7. Verificar los ángulos (120 grados) del perfil tipo UV después del proceso de doblado, si no cumple repetir el proceso.



2.2.6 Procedimiento para el ensayo de dureza

Se determina la dureza del material virgen y doblado del acero A36 de los espesores de 6 mm y 8 mm respectivamente, aplicando lo estipulado en la Norma ASTM E10 [50]. Los pasos para considerar son:

- En primer lugar, se aplica una carga de ensayo previa, conocida como precarga, para asegurar un buen contacto entre el indentador y la muestra.
- Después de aplicar la precarga, se aplica la carga total del ensayo. Esta carga se mantiene durante un período de tiempo específico para permitir que el indentador penetre en la muestra y luego se retira.
- Una vez que se retira la carga total, se mide la profundidad de penetración del indentador remanente utilizando un dispositivo de medición adecuado. Esta medición se realiza en una escala de referencia y se utiliza para determinar la dureza Brinell del material.

La Figura 2.2 muestra la distribución de los puntos para determinar la dureza del perfil tipo UV.

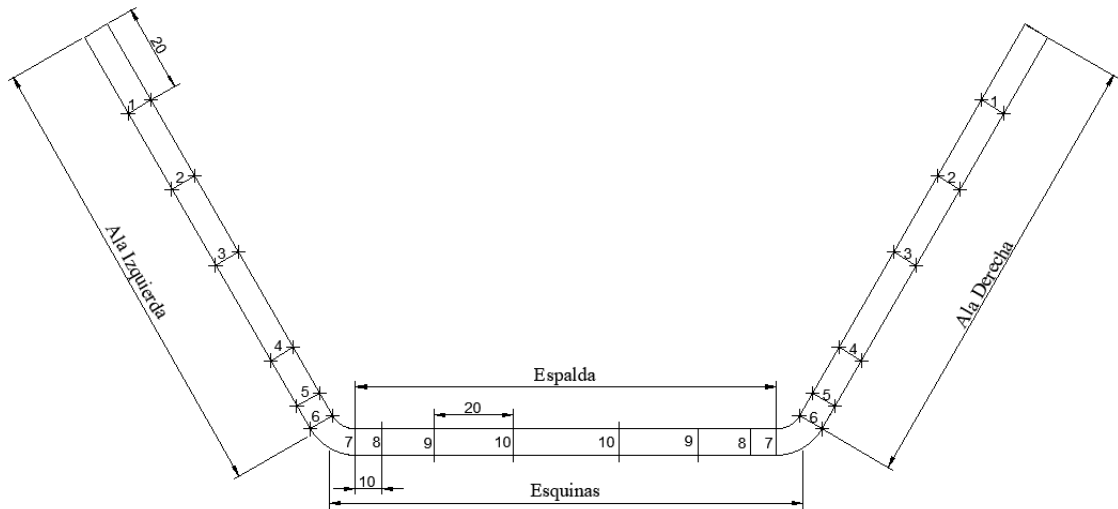


Figura 2. 2 Distribución de los puntos para el ensayo de dureza Brinell (Parte interna-externa)

En la Tabla 2.7 se detalla el procedimiento realizado para determinar la dureza Brinell del material virgen y doblado del acero A36 para los espesores de 6 mm y 8 mm, respectivamente.

Tabla 2. 5 Procedimiento para ensayo de dureza Brinell

Material Virgen

1. Limpieza de las muestras del material virgen y material doblado de los espesores de 6 mm y 8 mm del acero A36.



2. Marcamos los puntos en donde se quiera medir la dureza en las muestras del material virgen y doblado del acero A36

Material Virgen



Material doblado

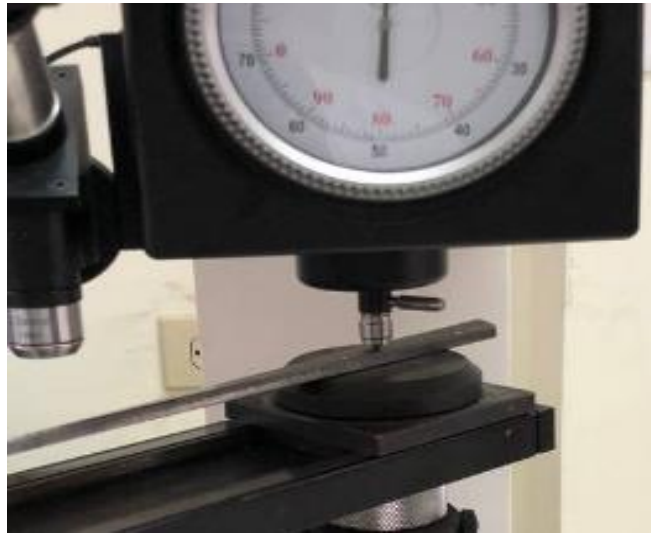


3. Una vez marcado los puntos, se coloca la muestra en la máquina de ensayos y ajustamos hasta que el indentador este junto a la muestra del material.



4. Iniciamos el ensayo aplicando la carga en cada punto en el que se dividieron las muestras para los espesores de 6 mm y 8 mm.

Material Virgen

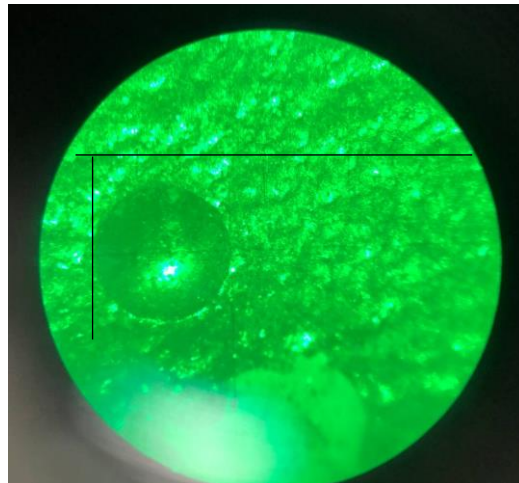


Para el material doblado requirió de cortes en secciones del perfil para poder ejecutar el ensayo con mayor facilidad.

Material doblado



5. Verificar en el microscopio los diámetros que se produjeron una vez concluido el ensayo. Determinar la dureza Brinell (Anexo 3) del acero A36 del material virgen y doblado, para los espesores de 6 mm y 8 mm respectivamente.



2.2.7 Procedimiento para el ensayo de tracción

Antes de ejecutar los ensayos se deberá verificar que el estado de las probetas sean los ideales y que cumplan con los parámetros correspondientes.

Este ensayo de tracción se realizará en condiciones establecidas bajo la norma ASTM E8, esta nos indica las condiciones como la longitud de la parte que será el agarre para realizar el ensayo. La recolección e interpretación de datos deberá ser analizada muy

detalladamente ya que de esto dependerán los resultados obtenidos en los ensayos de tracción. Estos métodos cubren todos los tipos de pruebas de ensayos de tracción de materiales metálicos a temperatura ambiente [57]. Esta Norma especifica y define las propiedades mecánicas que pueden determinarse a temperatura ambiente [58].

2.2.6.1 Dimensionamiento de probetas para el ensayo de tracción

La norma ASTM E8 proporciona el dimensionamiento óptimo para la obtención de las probetas según el espesor del material a ensayar., como se observa en la Figura 2.5 y la Tabla 2.8.

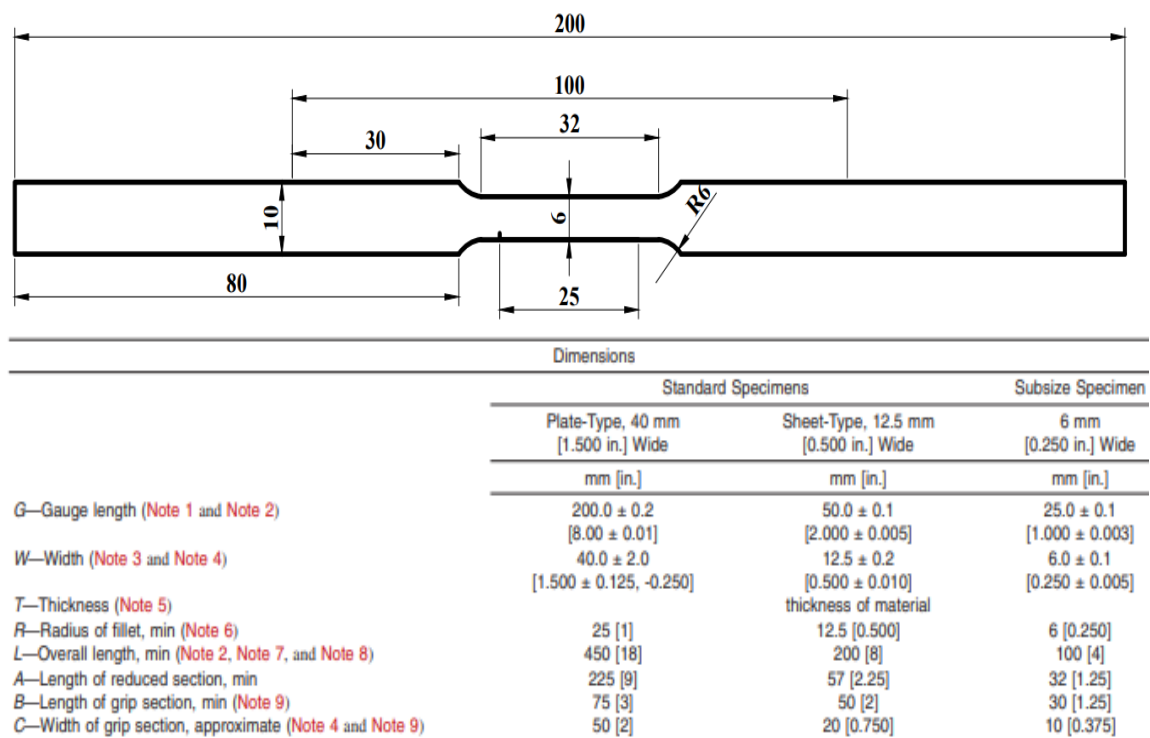


Figura 2. 3 Dimensiones de la longitud de la sección de agarre de la probeta [57]

2.2.6.2 Identificación de probetas

La distribución de las probetas en el perfil tipo UV debe ser de forma alternada en diferentes partes de las alas y partes curvas, como se muestra en la Figura 2. 4. Esta distribución es la misma para los espesores de 6 mm y 8 mm del material.

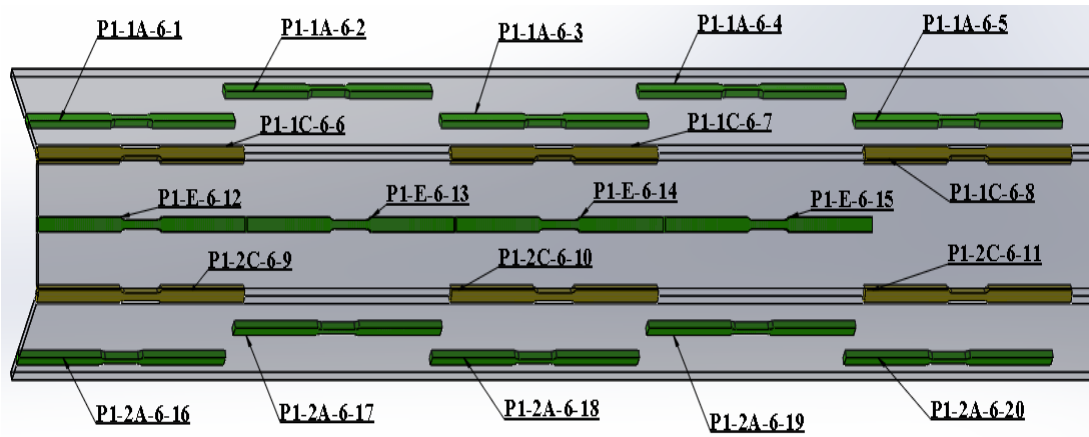
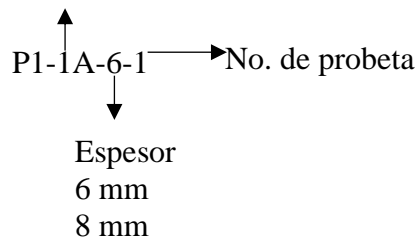


Figura 2. 4 Distribución de las probetas en el perfil UV (ejemplo 6 mm de espesor)

Todas las probetas deben contener una codificación que los identifique. Las codificaciones se describen en la Tabla 2. 6 y la

Tabla 2. 7.

Ala
1: izquierda
2: derecha



P: Probeta

1: Acero A36

Parte plana

E: espalda

A: ala

I: Interna; E: externa

Parte curva

C: Curva

Tabla 2. 6 Identificación de probetas (6 mm) para el ensayo de tracción.

Probeta	Descripción	Tipo de prueba
P1-1A-I-6-1	Probeta del ala 1 del perfil	Ensayo experimental
P1-1A-E-6-2	Probeta del ala 1 del perfil	Ensayo experimental
P1-1A-I-6-3	Probeta del ala 1 del perfil	Ensayo experimental
P1-1A-E-6-4	Probeta del ala 1 del perfil	Ensayo experimental
P1-1A-I-6-5	Probeta del ala 1 del perfil	Ensayo experimental

P1-1C-6-6	Probeta parte curva del perfil	Ensayo experimental
P1-1C-6-7	Probeta parte curva del perfil	Ensayo experimental
P1-1C-6-8	Probeta parte curva del perfil	Ensayo experimental
P1-2C-6-9	Probeta de la espalda del perfil	Ensayo experimental
P1-2C-6-19	Probeta de la espalda del perfil	Ensayo experimental
P1-2C-6-11	Probeta de la espalda del perfil	Ensayo experimental
P1-E-6-12	Probeta de la espalda del perfil	Ensayo experimental
P1-E-6-13	Probeta de la espalda del perfil	Ensayo experimental
P1-E-6-14	Probeta parte curva del perfil	Ensayo experimental
P1-E-6-15	Probeta parte curva del perfil	Ensayo experimental
P1-E-6-16	Probeta del ala 2 del perfil	Ensayo experimental
P1-2A-I-6-17	Probeta del ala 2 del perfil	Ensayo experimental
P1-2A-E-6-18	Probeta del ala 2 del perfil	Ensayo experimental
P1-2A-I-6-19	Probeta del ala 2 del perfil	Ensayo experimental
P1-2A-E-6-20	Probeta del ala 2 del perfil	Ensayo experimental

Tabla 2. 7 identificación de probetas (8 mm) para el ensayo de tracción.

Probeta	Descripción	Tipo de prueba
P1-1A-I-8-1	Probeta del ala 1 del perfil	Ensayo experimental
P1-1A-E-8-2	Probeta del ala 1 del perfil	Ensayo experimental
P1-1A-I-8-3	Probeta del ala 1 del perfil	Ensayo experimental
P1-1A-E-8-4	Probeta del ala 1 del perfil	Ensayo experimental
P1-1A-I-8-5	Probeta del ala 1 del perfil	Ensayo experimental
P1-1C-8-6	Probeta parte curva del perfil	Ensayo experimental
P1-1C-8-7	Probeta parte curva del perfil	Ensayo experimental
P1-1C-8-8	Probeta parte curva del perfil	Ensayo experimental
P1-2C-8-9	Probeta de la espalda del perfil	Ensayo experimental
P1-2C-8-19	Probeta de la espalda del perfil	Ensayo experimental
P1-2C-8-11	Probeta de la espalda del perfil	Ensayo experimental
P1-E-8-12	Probeta de la espalda del perfil	Ensayo experimental
P1-E-8-13	Probeta de la espalda del perfil	Ensayo experimental
P1-E-8-14	Probeta parte curva del perfil	Ensayo experimental
P1-E-8-15	Probeta parte curva del perfil	Ensayo experimental
P1-2A-I-8-16	Probeta del ala 2 del perfil	Ensayo experimental
P1-2A-I-8-17	Probeta del ala 2 del perfil	Ensayo experimental
P1-2A-E-8-18	Probeta del ala 2 del perfil	Ensayo experimental
P1-2A-I-8-19	Probeta del ala 2 del perfil	Ensayo experimental
P1-2A-E-8-20	Probeta del ala 2 del perfil	Ensayo experimental

- **Proceso para realizar el ensayo de tracción**

Los pasos a para realizar el ensayo de tracción se describen a continuación en la Tabla 2.8.

Tabla 2. 8 Procedimiento para ensayo de tracción

1. Obtener el perfil tipo UV del acero A36 de los espesores correspondientes



2. Colocar el perfil tipo UV en la mesa de corte.



3. Según la distribución (Figura 2.6), realizar el corte para obtener las probetas del perfil tipo UV de los espesores de 6 mm y 8 mm.



4. Identificar las probetas del material (Tabla 2.9 y 2.10) y verificar que cumplan las dimensiones según la Norma ASTM E8 (Figura 2.5)

8 mm de espesor



6 mm de espesor



5. Colocar las probetas en las mordazas de sujeción de la máquina de ensayo y colocar el deformímetro en la probeta.



6. Realizar el ensayo de tracción cumpliendo lo establecido en la Norma ASTM E8.



2.2.8 Ensayo metalográfico e identificación de los granos del material antes y después del proceso de conformado en frío.

Ya que en este procedimiento metalográfico nos centraremos en el tamaño de grano nos hemos basado en el método de planimétrico según la norma ASTM E112 para la determinación del tamaño de grano. Esta Norma cubre la medición del tamaño de grano de materiales metálicos [55].

Método planimétrico: El enfoque planimétrico consiste en realizar un recuento directo del número de granos dentro de un área específica. El número de granos por unidad de área, denominado como N_A , se emplea para calcular el tamaño de grano ASTM. La precisión de este método está directamente relacionada con la cantidad de granos contados [55].

En el procedimiento del método planimétrico, se deberá inscribir un círculo de zona conocida, como se observa en la Figura (por lo general $5,000 \text{ mm}^2$ para simplificar los cálculos $79,8 \text{ mm}$ de diámetro) en una micrografía [55].

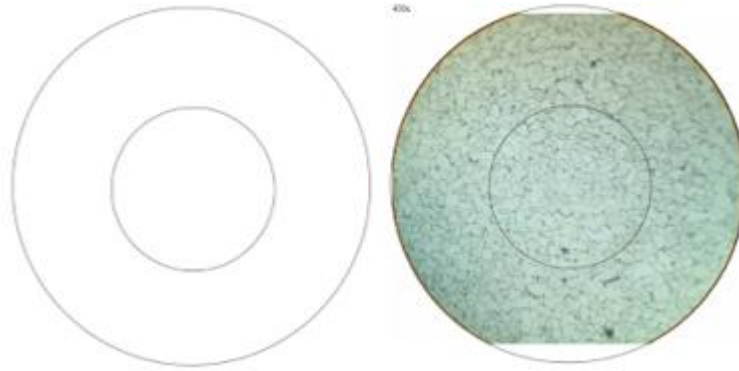


Figura 2. 5 procedimiento planimétrico para número de granos basado en la norma ASTM E112 [55]

Podemos determinar el número de grano con la siguiente formula:

$$N_A = f \left(N_{Interno} + \frac{N_{Interceptado}}{2} \right)$$

En donde

$N_A =$ granos por mm^2

$N_{Interno} =$ número de granos dentro del círculo

$N_{Interceptados} =$ número de granos interceptados por el círculo

$f =$ número de Jeffries

Para un área de $5000mm^2 \rightarrow f = 0.0002 \cdot M^2$

$M =$ magnificación

$G =$ Número de granos, Anexo D

Para la preparación de las muestras es necesario seguir la guía que se describen en la Norma ASTM E3-11 [54]. En este estudio se evaluarán las muestras del material virgen para verificar el tamaño de grano y comparar con el tamaño de grano de las zonas planas y cercanas a la curva 1T y 2T del perfil de sección UV del acero A36, como se muestra en la Figura 2.6, el procedimiento para realizar el ensayo metalográfico se describe en la Tabla 2.9.

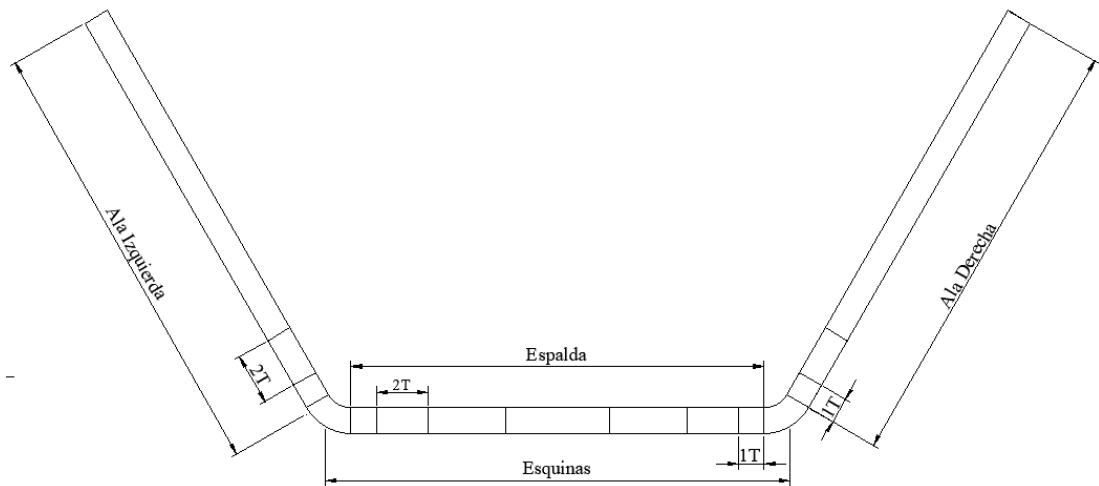
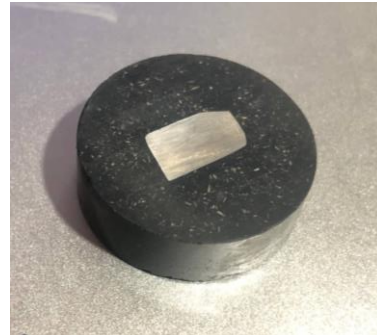


Figura 2. 6 Distribución de las zonas 1T y 2T del perfil de sección UV

Tabla 2. 9 Procedimiento para la ejecución del ensayo de metalográfico

1. Obtención de probetas del material virgen y del material conformado en frío, en el caso del material virgen su obtención de probetas es mediante encapsulación por baquelita.



2. Para el material conformado en frío su obtención de probetas fue por medio de corte de sierra eléctrica con refrigerante el mismo que garantiza que su temperatura no se eleve y así garantizar un corte del material por un proceso en frío.



3. Para obtener una superficie lisa en la superficie de las probetas se usan lijas de diferente tamaño de grano desde 300 hasta la 2500 progresivamente para su correcto pulido.



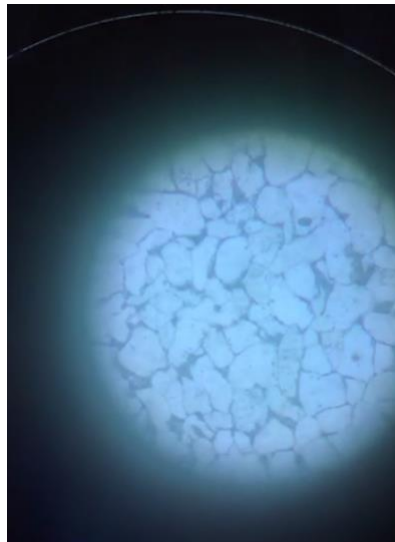
4. Después de realizar el lijado superficial se pule con la ayuda de una máquina para que con la velocidad a la que gira su superficie en paño delicado y agua deje las probetas listas para un ataque químico el mismo que se realiza con Nital #4 durante un rango de tiempo entre 5 y 7 segundos.



5. Se coloca la parte atacada a estudiar en el microscopio de barrido en una magnificación de 100X y se procede a recolectar la información necesaria para su respectivo análisis.



6. Se debe analizar la estructura atómica para determinar la variación del grano y a que distancia sufres estos cambios.



CAPITULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Análisis y discusión de resultados

3.1.1 Resultados de los ensayos de dureza del material virgen y doblado del perfil tipo UV de acero A36 de 6 mm y 8 mm de espesor.

Tabla 3. 1 Reporte de dureza del material virgen de acero A36 espesor de 6 mm.





 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		
DATOS INFORMATIVOS ENSAYO DE DUREZA		
Probeta: Material virgen (sin proceso de conformado en frío) P1 6mm	Fecha de inicio:	
Material: Acero ASTM A36	Realizado por: Mayancha Edward-Quizhpe Boris	
Supervisado por: Ing. Francisco Peña Mg.	Lugar: Laboratorio de la FICM	
PARAMETROS DE ENSAYO		
Método: Dureza Brinell		
Tipo de penetrador: 2,5 mm de diámetro		
Carga: 187.5 N		
Resultados del ensayo		
 		
N.º de ensayo P1	Medición de diámetro real (mm) ϕr $n = 0.4$	Medición de dureza Brinell HBW
1	1,20	156
2	1,28	135
3	1,21	153
4	1,20	154,5
5	1,22	150
6	1,27	138
7	1,24	145
8	1,21	153
9	1,23	148
10	1,26	140
11	1,24	145
12	1,25	143
13	1,24	145
14	1,21	153
15	1,24	144
Media	1,23	146,57

Tabla 3. 2 Reporte ensayo de dureza del material virgen de acero A36 de 8 mm




 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA 		
DATOS INFORMATIVOS ENSAYO DE DUREZA		
Probeta: Material virgen (sin proceso de conformado en frío) P1 8 mm	Fecha de inicio:	
Material: Acero ASTM A36	Realizado por: Mayancha Edward-Quizhpe Boris	
Supervisado por: Ing. Francisco Peña Mg.	Lugar: Laboratorio de la FICM	
PARAMETROS DE ENSAYO		
Método: Dureza Brinell		
Tipo de indentador: 2,5 mm de diámetro		
Carga: 187.5 N		
Tiempo de aplicación: 10s		
Resultados del ensayo		
 		
N.º de ensayo P2	Medición de diámetro real (mm) ϕr	Medición de dureza Brinell HBW
1	1,28	135
2	1,24	144
3	1,25	143
4	1,26	141,6
5	1,26	140
6	1,24	145,8
7	1,23	147
8	1,25	142,2
9	1,26	140
10	1,25	143
11	1,26	141
12	1,27	137,23
13	1,24	145
14	1,26	141,4
15	1,28	135
Media	1,26	141,33

Tabla 3. 3 Reporte ensayo de dureza del material conformado en frío de acero A36 de 6 mm parte interna.



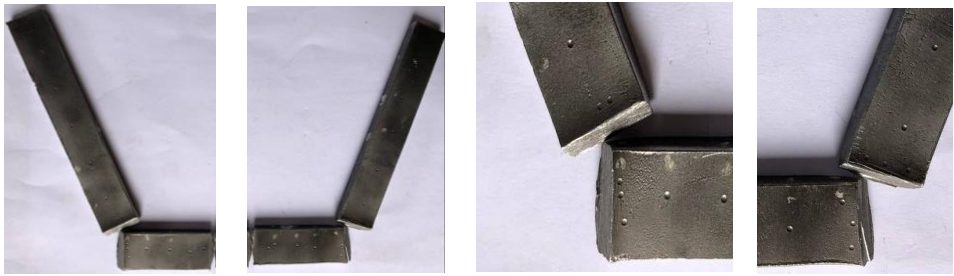
 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA 					
DATOS INFORMATIVOS ENSAYO DE DUREZA					
Probeta: Material conformado en frío P2 6mm parte interna	Fecha de inicio:				
Material: Acero ASTM A36	Realizado por: Mayancha Edward-Quizhpe Boris				
Supervisado por: Ing. Francisco Peña Mg.	Lugar: Laboratorio de la FICM				
PARAMETROS DE ENSAYO					
Método: Dureza Brinell					
Tipo de indentador: 2,5 mm de diámetro					
Carga: 187.5 N					
Tiempo de aplicación: 10s					
Resultados del ensayo					
					
Perfil conformado en frío de sección UV parte interna					
N.º de ensayo P2	Medición de diámetro real (mm) $\varnothing r$	Medición de dureza Brinell HBW	N.º de ensayo P2	Medición de diámetro real (mm) $\varnothing r$	Medición de dureza Brinell HBW
1	1,232	147	11	1,286	134
2	1,244	144	12	1,28	135
3	1,272	137	13	1,278	135,6
4	1,268	138	14	1,112	183
5	1,236	146	15	1,152	170
6	1,08	195	16	1,24	145
7	1,076	196,5	17	1,244	144
8	1,274	137	18	1,208	153,6
9	1,266	138,5	19	1,224	149,5
10	1,286	134	20	1,22	150

Tabla 3. 4 Reporte ensayo de dureza del material conformado en frío de acero A36 de 6 mm parte externa.




 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA 					
DATOS INFORMATIVOS ENSAYO DE DUREZA					
Probeta: Material conformado en frío P2 6mm	Fecha de inicio:				
Material: Acero ASTM A36	Realizado por: Mayancha Edward-Quizhpe Boris				
Supervisado por: Ing. Francisco Peña Mg.	Lugar: Laboratorio de la FICM				
PARAMETROS DE ENSAYO					
Método: Dureza Brinell					
Tipo de indentador: 2,5 mm de diámetro					
Carga: 187.5 N					
Tiempo de aplicación: 10s					
Resultados del ensayo					
					
Perfil conformado en frío de sección UV parte externa					
N.º de ensayo P2	Medición de diámetro real (mm) $\varnothing r$	Medición de dureza Brinell HBW	N.º de ensayo P2	Medición de diámetro real (mm) $\varnothing r$	Medición de dureza Brinell HBW
1	1,26	140	11	1,242	144
2	1,268	138	12	1,2448	144
3	1,256	141	13	1,27	138
4	1,248	143	14	1,2	158
5	1,228	148	15	1,148	170,5
6	1,185	160	16	1,252	142
7	1,195	157	17	1,2712	137,5
8	1,258	140,5	18	1,261	141
9	1,256	141	19	1,236	146
10	1,244	143,5	20	1,226	148

Tabla 3. 5 Reporte ensayo de dureza del material conformado en frío de acero A36 de 8 mm parte interna.







 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA					
DATOS INFORMATIVOS ENSAYO DE DUREZA					
Probeta: Material conformado en frío P2 8mm		Fecha de inicio:			
Material: Acero ASTM A36		Realizado por: Mayancha Edward-Quizhpe Boris			
Supervisado por: Ing. Francisco Peña Mg.		Lugar: Laboratorio de la FICM			
PARAMETROS DE ENSAYO					
Método: Dureza Brinell					
Tipo de indentador: 2,5 mm de diámetro					
Carga: 187.5 N					
Tiempo de aplicación: 10s					
Resultados del ensayo					
					
Perfil conformado en frío de sección UV parte interna					
N.º de ensayo P2	Medición de diámetro real (mm) ϕr	Medición de dureza Brinell HBW	N.º de ensayo P2	Medición de diámetro real (mm) ϕr	Medición de dureza Brinell HBW
1	1,264	139,5	11	1,244	144
2	1,272	137	12	1,276	136,5
3	1,264	139,5	13	1,28	135
4	1,244	144	14	1,1364	174,5
5	1,248	143	15	1,2	156
6	1,2	181,5	16	1,232	147
7	1,136	174,5	17	1,248	143
8	1,28	135	18	1,26	140
9	1,276	136,5	19	1,26	140
10	1,244	144	20	1,272	137

Tabla 3. 6 Reporte ensayo de dureza del material conformado en frío de acero A36 de 8 mm parte externa.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA					
DATOS INFORMATIVOS ENSAYO DE DUREZA					
Probeta: Material conformado en frío P2 8 mm		Fecha de inicio:			
Material: Acero ASTM A36		Realizado por: Mayancha Edward-Quizhpe Boris			
Supervisado por: Ing. Francisco Peña Mg.		Lugar: Laboratorio de la FICM			
PARAMETROS DE ENSAYO					
Método: Dureza Brinell					
Tipo de indentador: 2,5 mm de diámetro					
Carga: 187.5 N					
Tiempo de aplicación: 10s					
Resultados del ensayo					
					
Perfil conformado en frío de sección UV parte externa					
N.º de ensayo P2	Medición de diámetro real (mm) ϕr	Medición de dureza Brinell HBW	N.º de ensayo P2	Medición de diámetro real (mm) ϕr	Medición de dureza Brinell HBW
1	1,282	135	11	1,26	140
2	1,248	143	12	1,288	133,5
3	1,256	141	13	1,24	158,5
4	1,274	137	14	1,12	180
5	1,276	136,5	15	1,056	156
6	1,175	163	16	1,306	129,5
7	1,206	154	17	1,262	140
8	1,2688	138	18	1,272	137
9	1,268	138	19	1,244	144
10	1,256	141	20	1,252	142

3.1.1.1 Interpretación de resultados del ensayo de dureza

Material Virgen

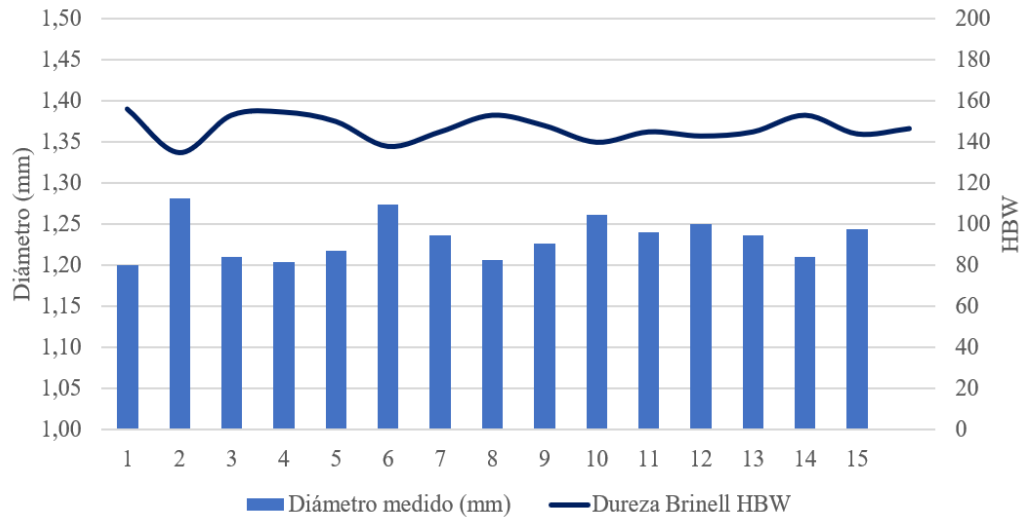


Figura 3. 1 Material Virgen, espesor 6 mm

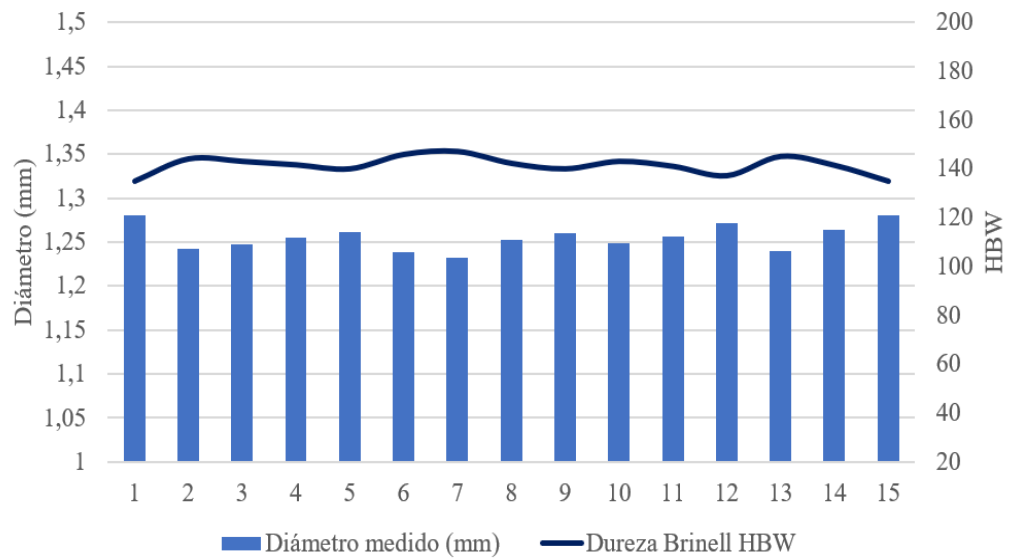


Figura 3. 2 Material Virgen, espesor 8 mm

Como se observa en la Figura 3.1 y 3.2 la dureza Brinell varía entre un rango de 140 a 160 HBW en el material virgen de los espesores de 6 mm y 8 mm. Según las propiedades del acero A36, la dureza Brinell es de 119-162 HBW.

Análisis e interpretación de los ensayos de dureza en el Perfil tipo UV

Tabla 3. 7 Distribución de la dureza Brinell en el perfil conformado en frío de sección UV parte interna (6 mm de espesor)

N.º	Parte interna P1	Diámetro medido (mm)	Dureza Brinell HBW
1	Ala izquierda	1,232	147
2		1,244	144
3		1,272	137
4		1,268	138
5	Área cercana a la curva	1,236	146
6	Curva izquierda	1,08	195
7		1,076	196,5
8	Área cercana a la curva	1,274	137
9	Espalda	1,266	138,5
10		1,286	134
11		1,286	134
12		1,28	135
13	Área cercana a la curva	1,278	135,6
14	Curva derecha	1,112	183
15		1,152	170
16	Área cercana a la curva	1,24	145
17	Ala derecha	1,244	144
18		1,208	153,6
19		1,224	149,5
20		1,22	150

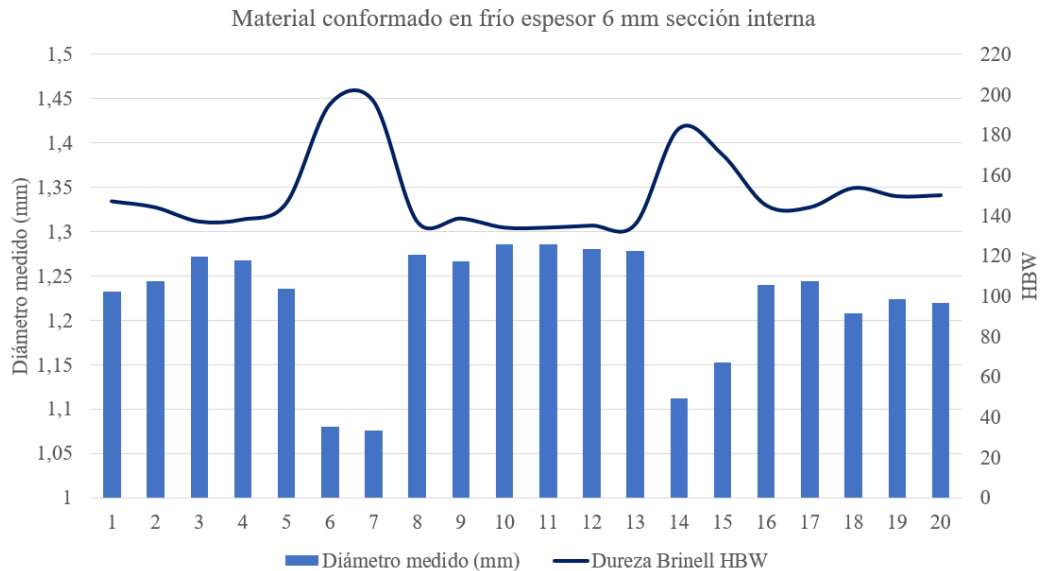


Figura 3. 3 Dureza Brinell del material conformado en frío de sección UV, espesor 6 mm parte interna

Entre los puntos 6 -7 y 14-15 la dureza Brinell va entre 170-196 HBW, presenta un incremento en comparación a las otras partes del perfil que tienen una dureza entre 134-153,6 HBW, como se demuestra en la Tabla 3.7 y la Figura 3.3.

Tabla 3. 8 Distribución de la dureza Brinell en el perfil conformado en frío de sección UV parte externa (6 mm de espesor)

N.º	Parte externa P1	Diámetro medido (mm)	Dureza Brinell HBW
1	Ala izquierda	1,26	140
2		1,268	138
3		1,256	141
4		1,248	143
5	Área cercana a la curva	1,228	148
6	Curva izquierda	1,185	160
7		1,195	157
8	Área cercana a la curva	1,258	140,5
9	Espalda	1,256	141
10		1,244	143,5
11		1,242	144
12		1,2448	144
13	Área cercana a la curva	1,27	138
14	Curva derecha	1,2	158
15		1,148	170,5
16	Área cercana a la curva	1,252	142
17	Ala derecha	1,2712	137,5
18		1,261	141
19		1,236	146
20		1,226	148

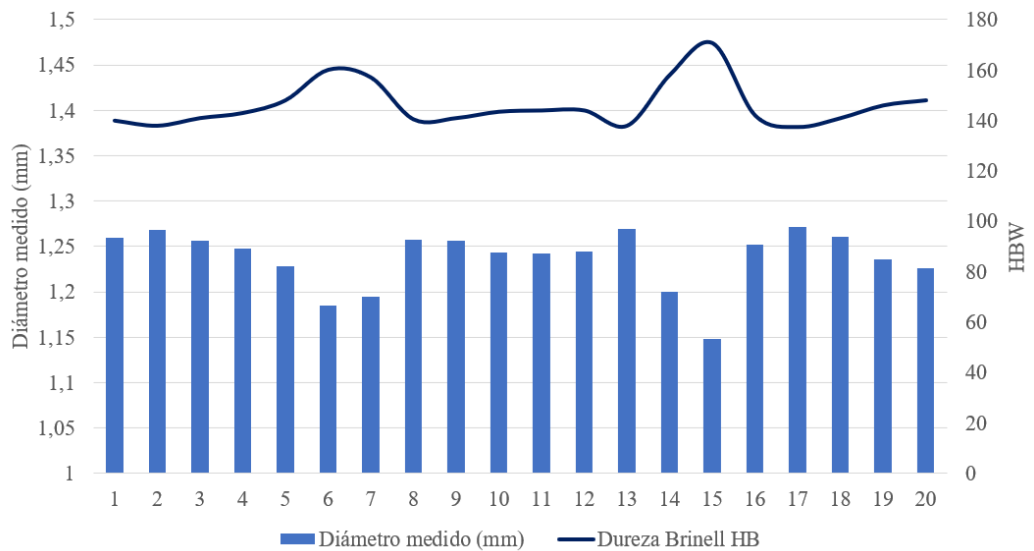


Figura 3. 4 Dureza Brinell del material conformado en frío de sección UV, espesor 6 mm parte externa

Entre los puntos 6 -7 y 14-15 la dureza Brinell va entre 158-170,5 HBW, presenta un incremento en comparación a las otras partes del perfil que tienen una dureza entre 137,5-148 HBW, como se demuestra en la Tabla 3.8 y la Figura 3.4.

Tabla 3. 9 Distribución de la dureza Brinell en el perfil conformado en frío de sección UV parte interna (8 mm de espesor)

N.º	Parte interna P2	Diámetro medido (mm)	Dureza Brinell HBW
1	Ala izquierda	1,264	139,5
2		1,272	137
3		1,264	139,5
4		1,244	144
5	Área cercana a la curva	1,248	143
6	Curva izquierda	1,2	181,5
7		1,136	174,5
8	Área cercana a la curva	1,28	135
9	Espalda	1,276	136,5
10		1,244	144
11		1,244	144
12	Área cercana a la curva	1,276	136,5
13		1,28	135
14		1,1364	174,5
15	Curva derecha	1,2	156
16	Área cercana a la curva	1,232	147
17	Ala derecha	1,248	143
18		1,26	140
19		1,26	140
20		1,272	137

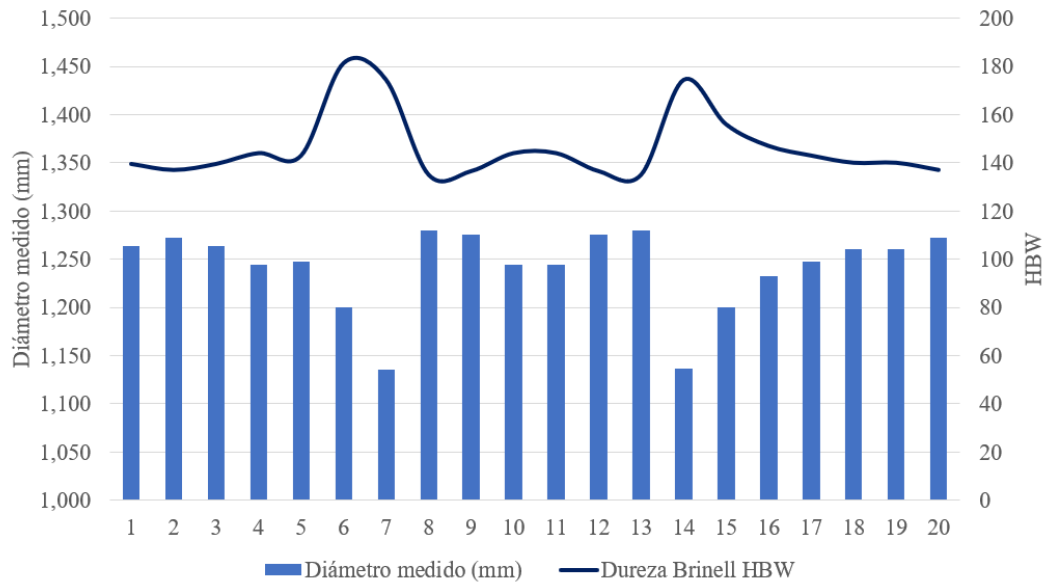


Figura 3. 5 Dureza Brinell del material conformado en frío de sección UV, espesor 8 mm parte interna.

Entre los puntos 6 -7 y 14-15 la dureza Brinell va entre 158-170,5 HBW, presenta un incremento en comparación a las otras partes del perfil que tienen una dureza entre 137,5-148 HBW, como se demuestra en la Tabla 3.8 y la Figura 3.4.

Tabla 3. 10 Distribución de la dureza Brinell en el perfil conformado en frío de sección UV parte interna (8 mm de espesor)

N.º	Parte externa P2	Diámetro medido (mm)	Dureza Brinell HBW
1	Ala izquierda	1,282	135
2		1,248	143
3		1,256	141
4		1,274	137
5	Área cercana a la curva	1,276	136,5
6	Curva izquierda	1,175	163
7		1,206	154
8	Área cercana a la curva	1,2688	138
9	Espalda	1,268	138
10		1,256	141
11		1,26	140
12		1,288	133,5
13	Área cercana a la curva	1,24	158,5
14	Curva derecha	1,12	180
15		1,056	156
16	Área cercana a la curva	1,306	129,5
17	Ala derecha	1,262	140
18		1,272	137
19		1,244	144
20		1,252	142

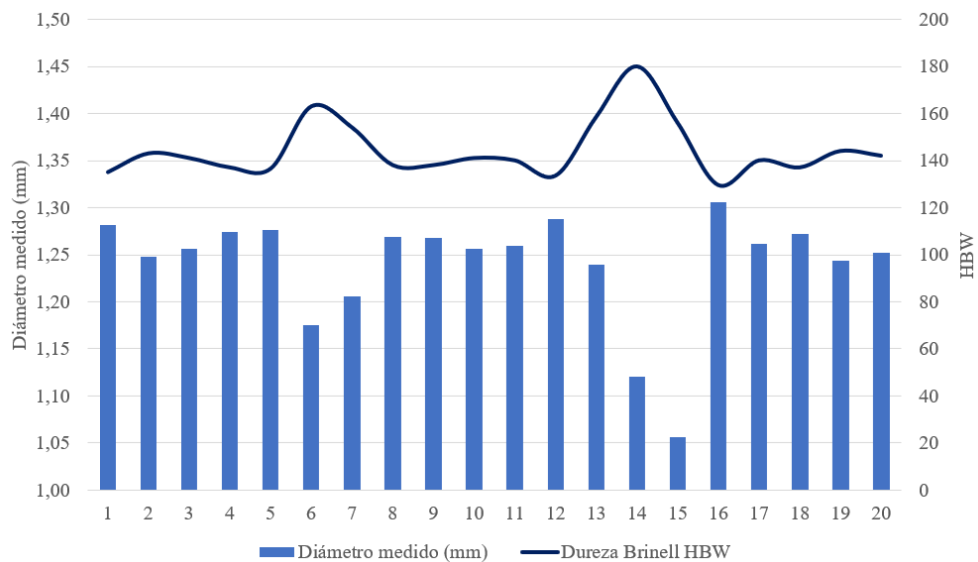


Figura 3. 6 Dureza Brinell del material conformado en frío de sección UV, espesor 8 mm parte interna.

Entre los puntos 6 -7 y 14-15 la dureza Brinell va entre 158-170,5 HBW, presenta un incremento en comparación a las otras partes del perfil que tienen una dureza entre 137,5-148 HBW, como se observa en la Tabla 3.8 y la Figura 3.

Tabla 3. 11 Dureza Brinell del perfil con sección UV

Perfil tipo UV	HBW (6 mm)		HBW (8 mm)	
	Interna	Externa	Interna	Externa
Ala izquierda	141,5	140,5	140	139
Cercana a la curva	146	148	143	136,5
Curva Izquierda	195,8	158,5	178	158,5
Cercana a la curva	137	140,5	135	138
Espalda	135,4	143,1	140,3	138,6
Cercana a la curva	135,6	138	135	158,5
Curva Derecha	176,5	164,3	165,3	168
Cercana a la curva	145	142	147	130
Ala derecha	149,2	143,1	140	140,8

Durante el conformado en frío, el acero experimenta deformación plástica significativa. Este tipo de trabajo en frío puede introducir tensiones internas en el material y cambiar su microestructura, lo que resulta en un aumento de dureza del material como se observa en la Figura 3.7 y Figura 3.8.

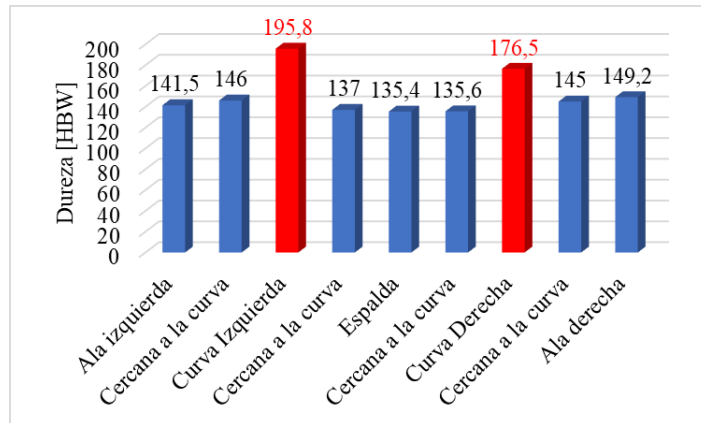


Figura 3. 7 Dureza parte interna, 6 mm de espesor

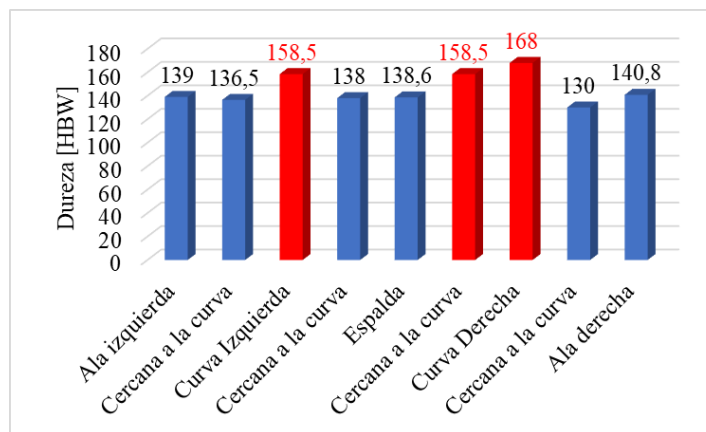


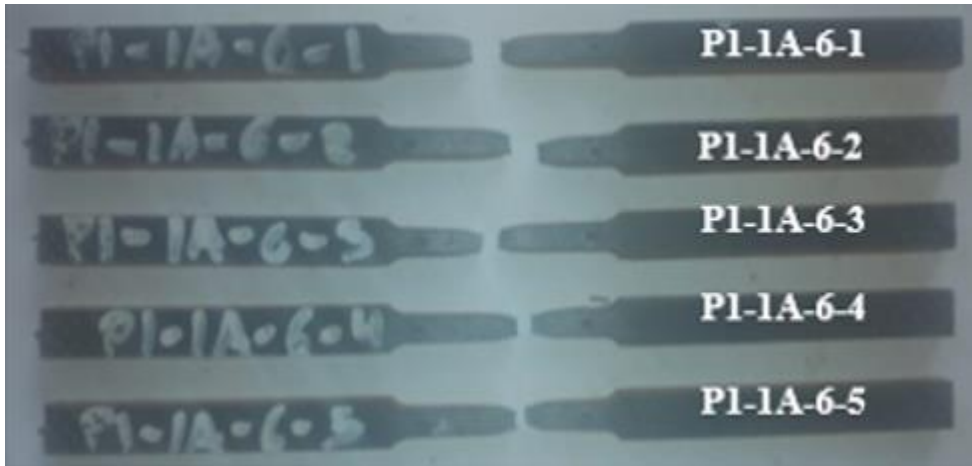
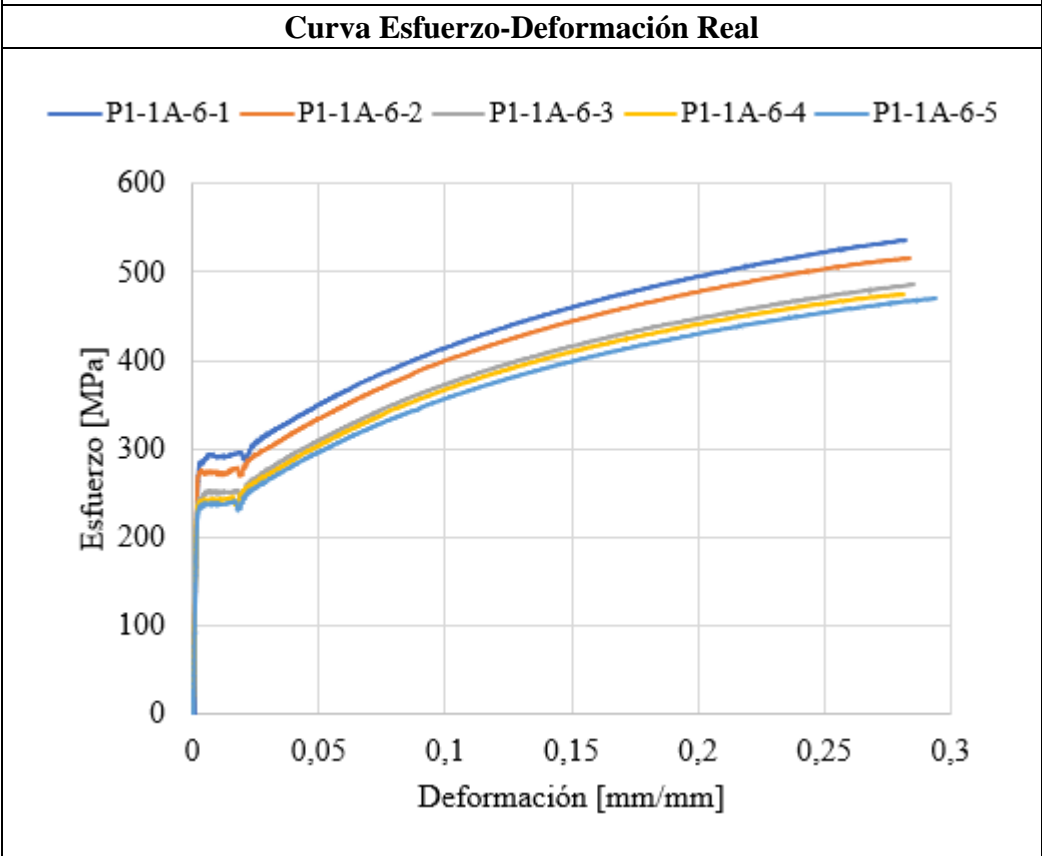
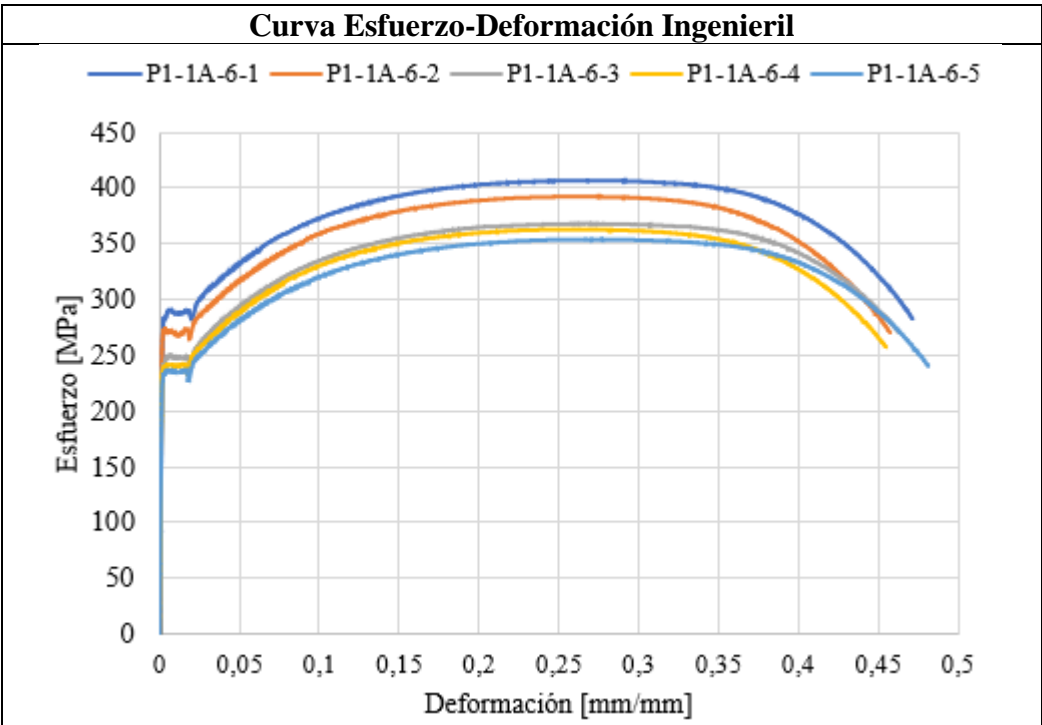


Figura 3. 8 Dureza Brinell parte externa, 8 mm

3.1.2 Resultados de los ensayos de tracción

Tabla 3. 12 Resultados de probetas del ala derecha (parte plana) del perfil tipo UV-1



		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE MECÁNICA REPORTE DE ENSAYO A TRACCIÓN			
DATOS DE ENSAYO A TRACCIÓN					
Fecha de inicio:	18/11/2023	Fecha de finalización:	23/11/2023		
Ciudad:	Riobamba	Codificación:	P1-1A-6		
Laboratorio:	LenMaV Laboratorio Ensayo de Materiales				
Máquina:	Máquina Universal de Ensayos-WAW600B				
Marca:	JINAN LIANGONG TECHNOLOGY CO., LTD				
Serie:	7136	Certificado:	LNN-F2016500064D		
Norma:	ASTM E8	No de probetas:	5		
Material:	Acero ASTM A36	Longitud de probeta:	200 mm		
		Longitud inicial:	25 mm		
RESULTADOS DE ENSAYO A TRACCIÓN					
Probeta	Módulo de elasticidad	Esfuerzo de fluencia	Esfuerzo máx.	Porcentaje de elongación	Tipo de fractura
	[GPa]	[MPa]	[MPa]	[%]	
P1-1A-6-1	1,602E+02	282,99	405,94	39,50	T. C.
P1-1A-6-2	1,643E+02	273,57	392,28	39,50	T. C.
P1-1A-6-3	1,730E+02	244,09	368,02	41,00	T. C.
P1-1A-6-4	1,640E+02	239,86	361,61	43,50	T. C.
P1-1A-6-5	1,500E+02	234,86	354,13	43,50	T. C.
Promedio	1,620E+02	255,05	255,05	41,40	
Observaciones: T. C. = Taza y Cono					
Gráfico					
					

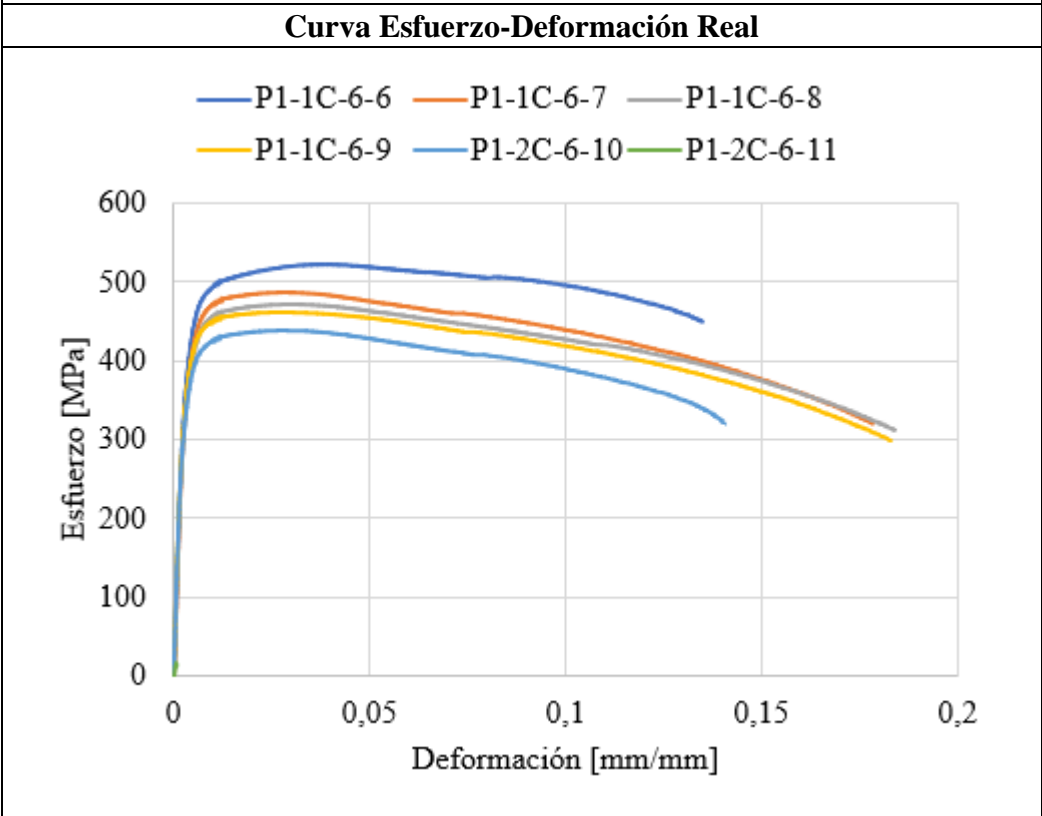
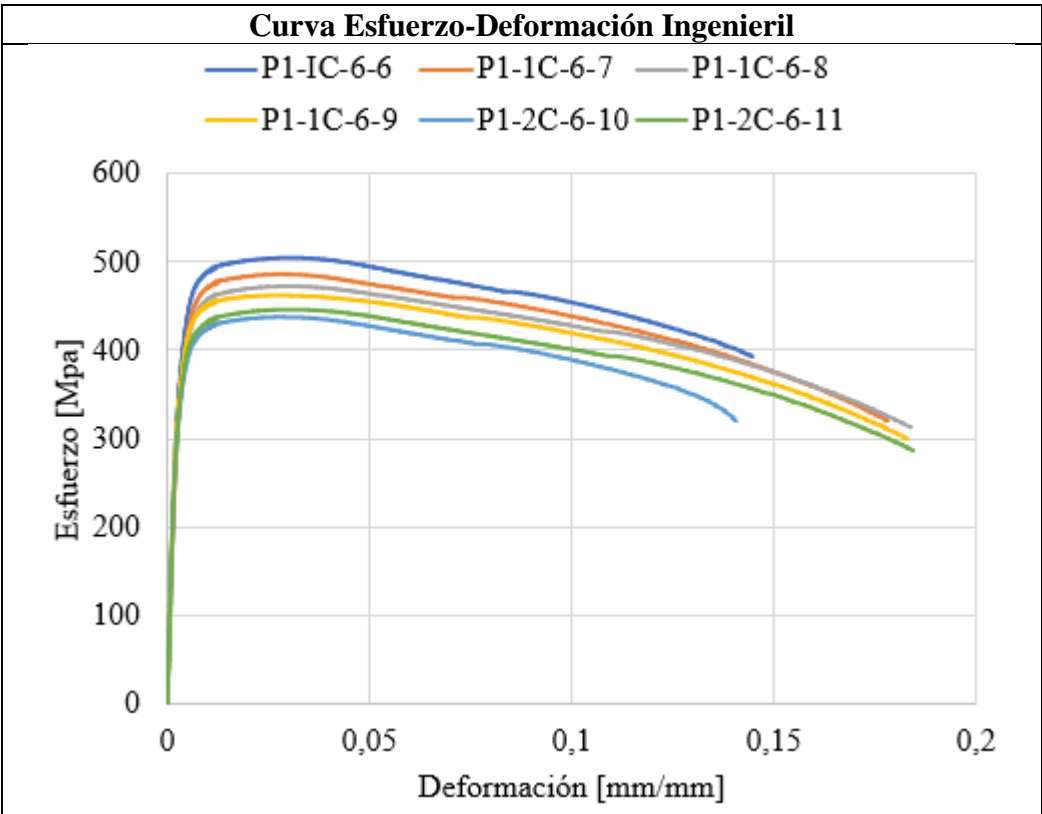


Realizado por: MayanCHA Edward-Quizhpe Boris

Supervisado por: Ing. Francisco Peña Mg.




Tabla 3. 13 Resultados de probetas de la parte curva del perfil tipo UV-1

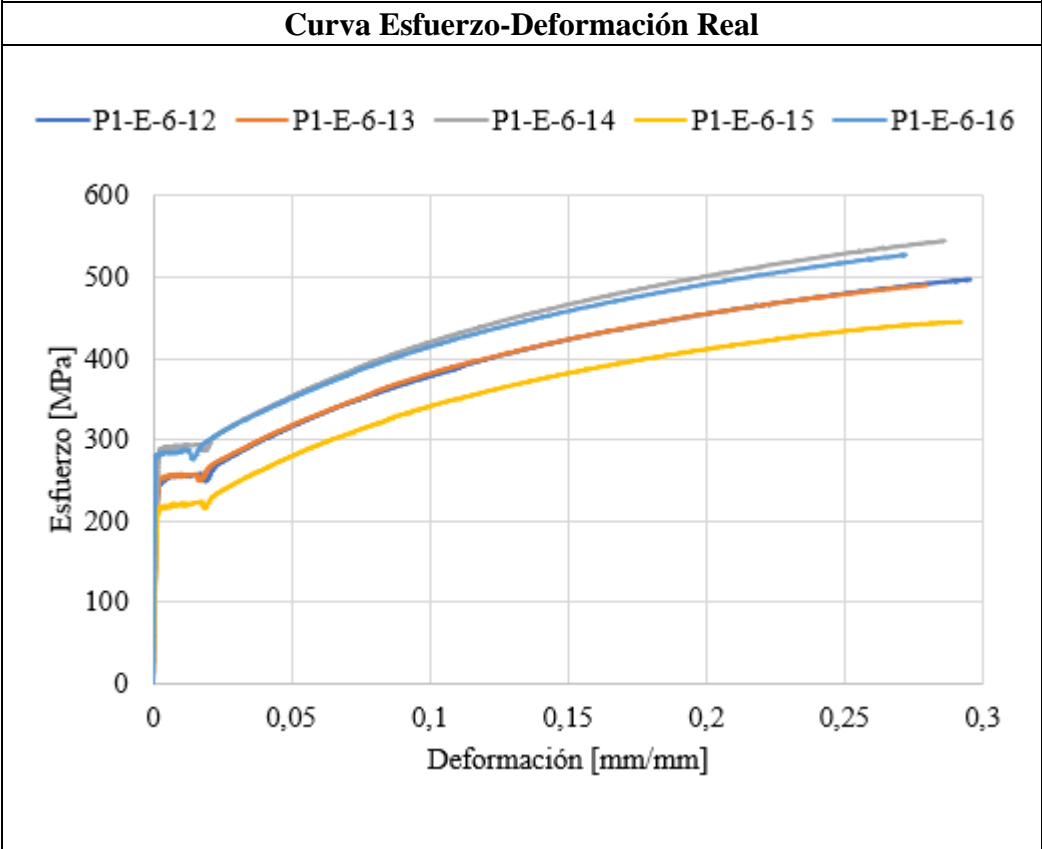
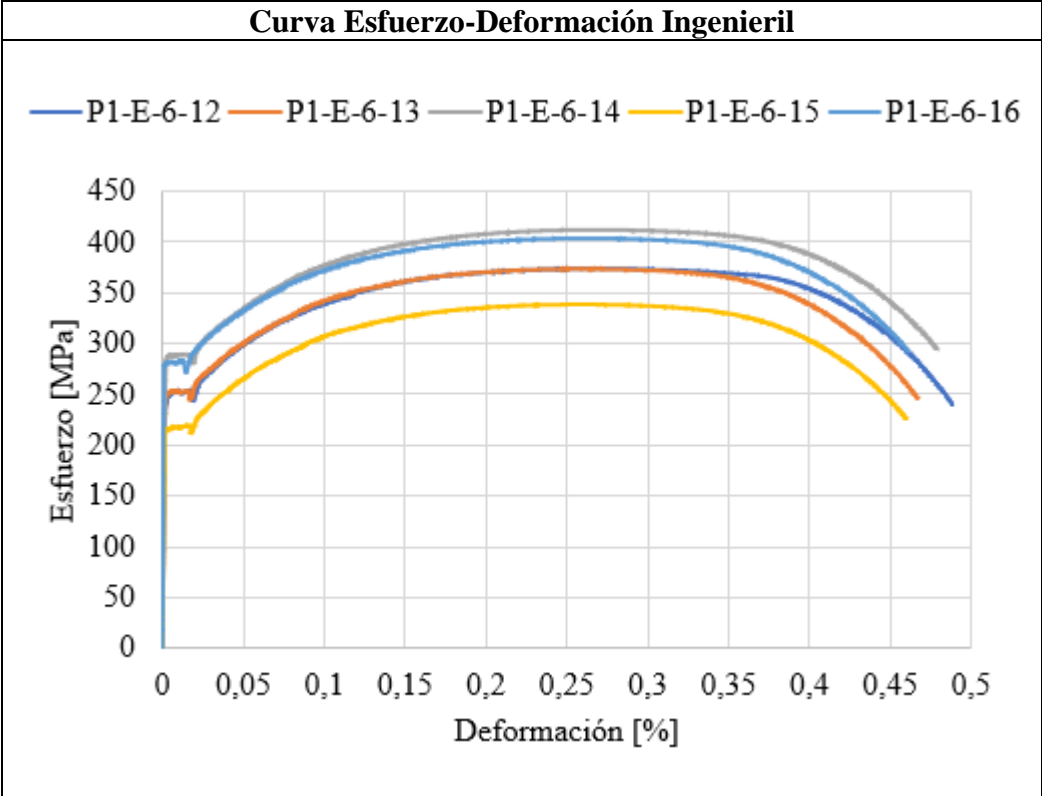
		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE MECÁNICA REPORTE DE ENSAYO A TRACCIÓN			
DATOS DE ENSAYO A TRACCIÓN					
Fecha de inicio:	18/11/2023	Fecha de finalización:	23/11/2023		
Ciudad:	Riobamba	Codificación:	P1-C-6		
Laboratorio:	LenMaV Laboratorio Ensayo de Materiales				
Máquina:	Máquina Universal de Ensayos-WAW600B				
Marca:	JINAN LIANGONG TECHNOLOGY CO., LTD				
Serie:	7136	Certificado:	LNN-F2016500064D		
Norma:	ASTM E8	No de probetas:	6		
Material:	Acero ASTM A36	Longitud de probeta:	200 mm		
		Longitud inicial:	25 mm		
RESULTADOS DE ENSAYO A TRACCIÓN					
Probeta	Módulo de elasticidad [GPa]	Esfuerzo de fluencia [MPa]	Esfuerzo máx. [MPa]	Porcentaje de elongación [%]	Tipo de fractura
P1-1C-6-6	1,507E+02	436,84	504,59	16,00	T. C.
P1-1C-6-7	1,449E+02	414,30	486,19	17,00	T. C.
P1-1C-6-8	1,423E+02	399,51	472,52	20,50	T. C.
P1-2C-6-9	1,519E+02	404,90	462,13	24,50	T. C.
P1-2C-6-10	1,483E+02	378,80	437,80	17,50	T. C.
P1-2C-6-11	1,519E+02	389,93	445,92	19,00	T. C.
Promedio	1,483E+02	403,93	468,19	19,08	
Observaciones: T. C. = Taza y Cono					
Gráfico					
					



Realizado por: Mayancha Edward-Quizhpe Boris	Supervisado por: Ing. Francisco Peña Mg.
---	---



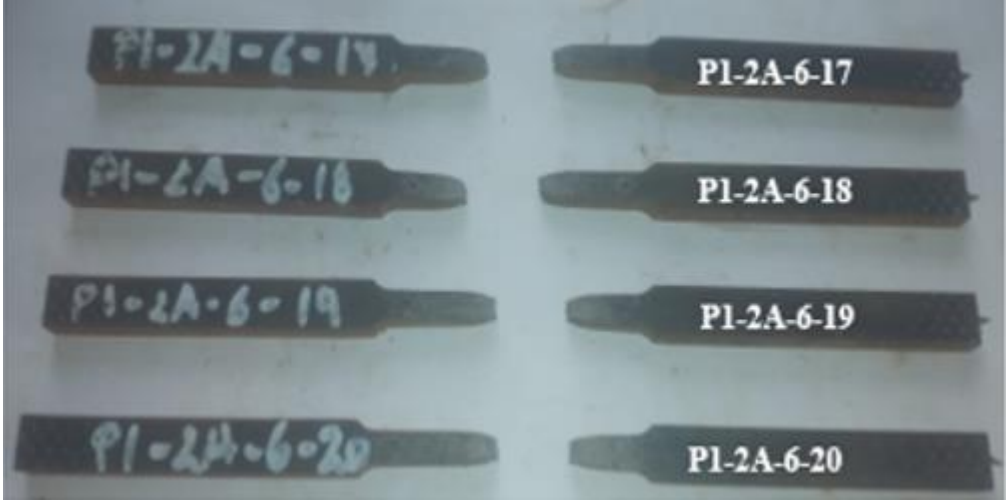
Tabla 3. 14 Resultados de probetas de la espalda (parte plana) del perfil tipo UV-1

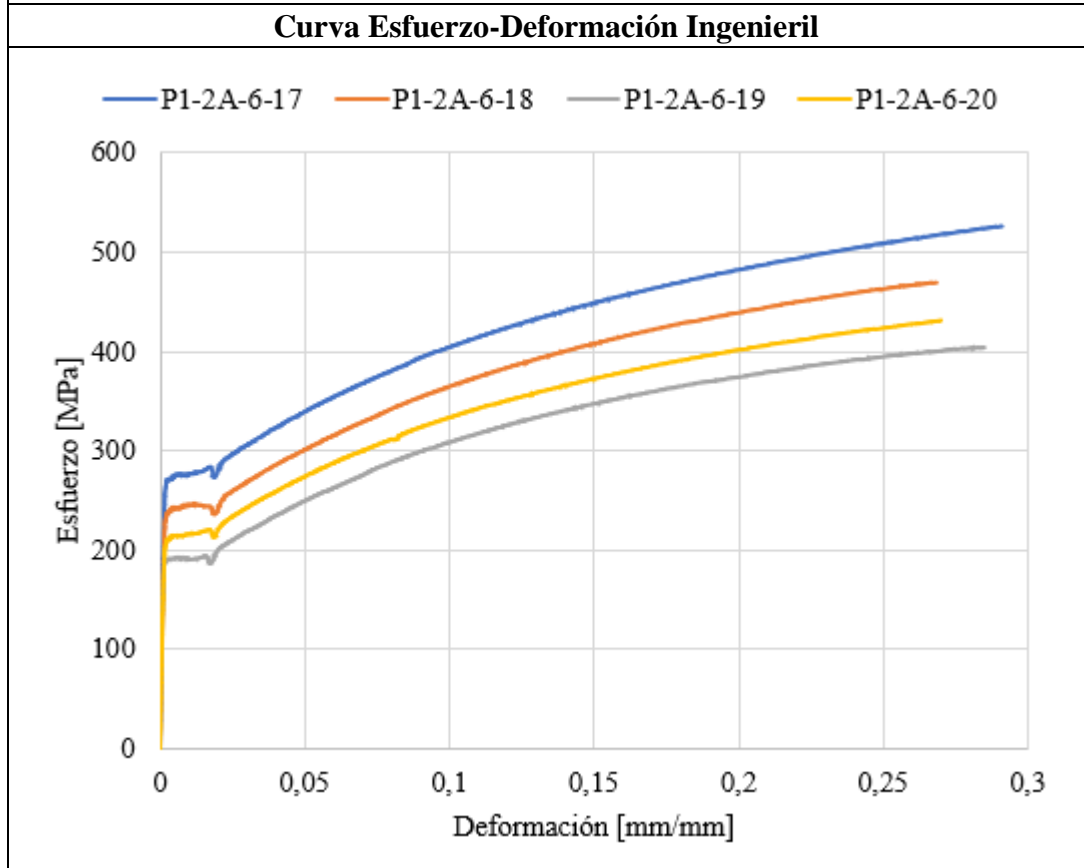
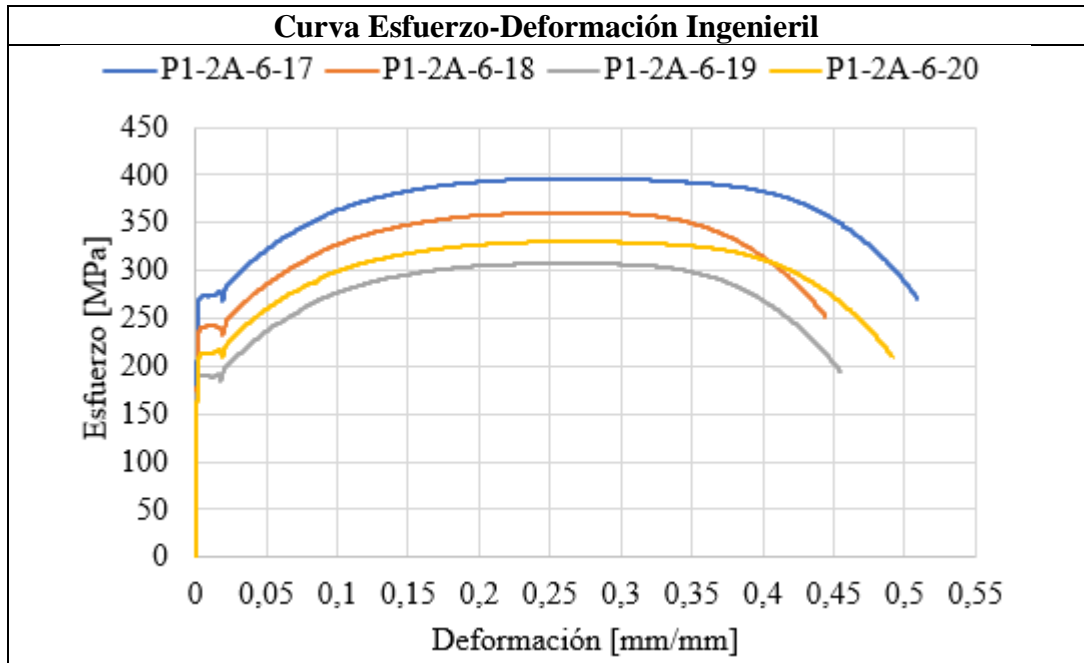
		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE MECÁNICA REPORTE DE ENSAYO A TRACCIÓN			
DATOS DE ENSAYO A TRACCIÓN					
Fecha de inicio:	18/11/2023	Fecha de finalización:	23/11/2023		
Ciudad:	Riobamba	Codificación:	P1-E-6		
Laboratorio:	LenMaV Laboratorio Ensayo de Materiales				
Máquina:	Máquina Universal de Ensayos-WAW600B				
Marca:	JINAN LIANGONG TECHNOLOGY CO., LTD				
Serie:	7136	Certificado:	LNN-F2016500064D		
Norma:	ASTM E8	No de probetas:	5		
Material:	Acero ASTM A36	Longitud de probeta:	200 mm		
		Longitud inicial:	25 mm		
RESULTADOS DE ENSAYO A TRACCIÓN					
Probeta	Módulo de elasticidad [GPa]	Esfuerzo de fluencia [MPa]	Esfuerzo máx. [MPa]	Porcentaje de elongación [%]	Tipo de fractura
P1-E-6-12	1,693E+02	248,41	373,70	42,50	T.C
P1-E-6-13	1,541E+02	251,75	373,70	43,00	T.C
P1-E-6-14	1,661E+02	287,48	411,98	43,00	T.C
P1-E-6-15	1,526E+02	215,88	338,70	40,50	T.C
P1-E-6-16	1,153E+02	281,50	403,66	43,50	T.C
Promedio	1,515E+02	257,00	380,35	42,50	
Observaciones: T. C. = Taza y Cono					
Gráfico					
					



Realizado por: Mayancha Edward-Quizhpe Boris	Supervisado por: Ing. Francisco Peña Mg.
---	---

Tabla 3. 15 Resultados de probetas del ala izquierda (parte plana) del perfil tipo UV-1




		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE MECÁNICA REPORTE DE ENSAYO A TRACCIÓN			
DATOS DE ENSAYO A TRACCIÓN					
Fecha de inicio:	18/11/2023	Fecha de finalización:	23/11/2023		
Ciudad:	Riobamba	Codificación:	P1-2A-6		
Laboratorio:	LenMaV Laboratorio Ensayo de Materiales				
Máquina:	Máquina Universal de Ensayos-WAW600B				
Marca:	JINAN LIANGONG TECHNOLOGY CO., LTD				
Serie:	7136	Certificado:	LNN-F2016500064D		
Norma:	ASTM E8	No de probetas:	4		
Material:	Acero ASTM A36	Longitud de probeta:	200 mm		
		Longitud inicial:	25 mm		
RESULTADOS DE ENSAYO A TRACCIÓN					
Probeta	Módulo de elasticidad [GPa]	Esfuerzo de fluencia [MPa]	Esfuerzo máx. [MPa]	Porcentaje de elongación [%]	Tipo de fractura
P1-2A-6-17	1,765E+02	269,88	396,47	45,50	T. C.
P1-2A-6-18	1,487E+02	239,04	360,95	39,50	T. C.
P1-2A-6-19	1,559E+02	189,74	307,93	39,50	T. C.
P1-2A-6-20	1,464E+02	210,93	330,26	39,00	T. C.
Promedio	1,569E+02	227,40	348,90	40,88	
Observaciones: T. C. = Taza y Cono					
Gráfico					
					

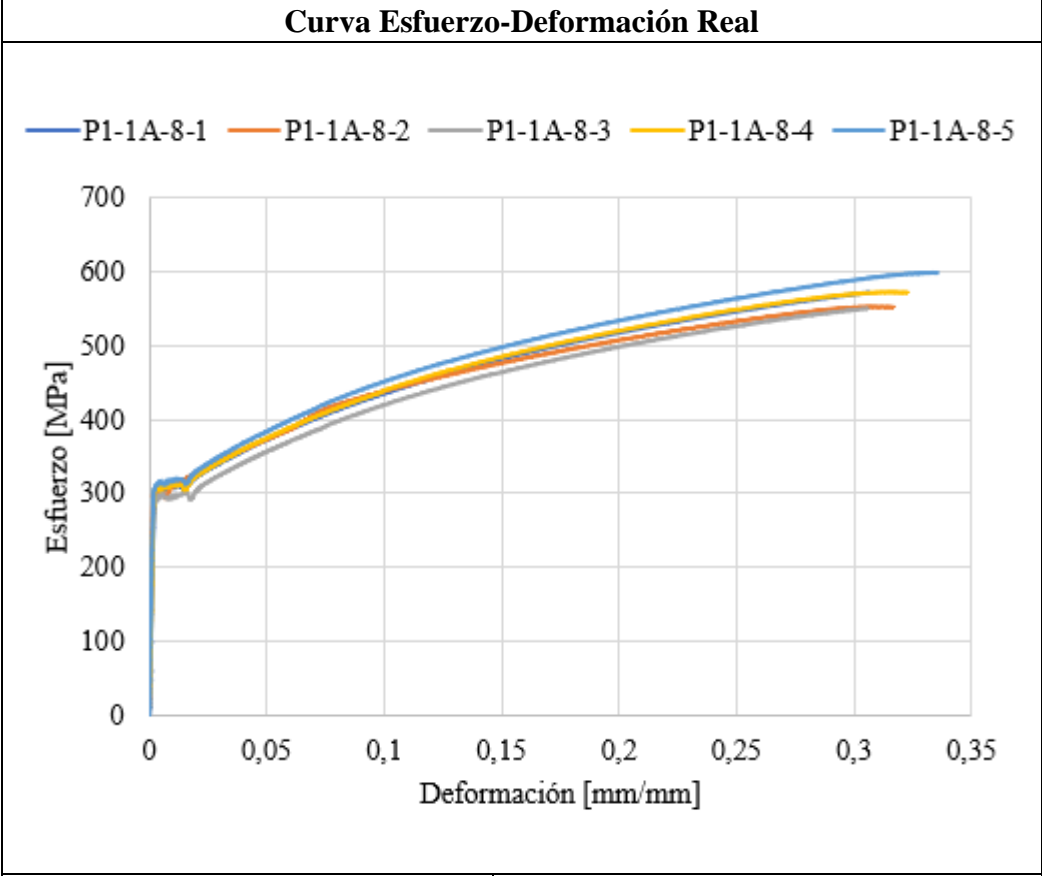
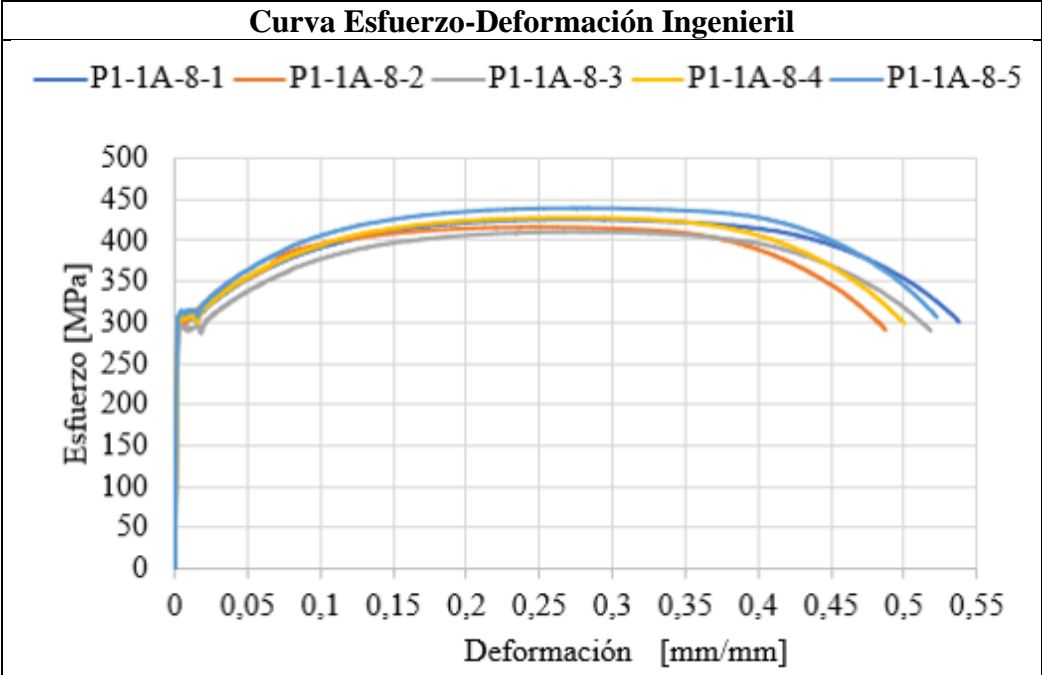


Realizado por: Mayanacha Edward-Quizhpe Boris	Supervisado por: Ing. Francisco Peña Mg.
--	---

- 8 mm de espesor



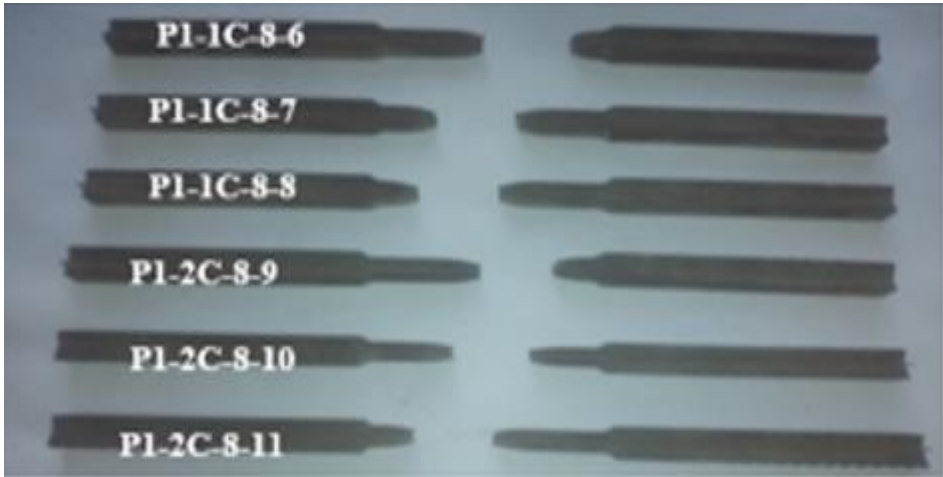
Tabla 3. 16 Resultados de probetas del ala derecha (parte plana) del perfil tipo UV-2

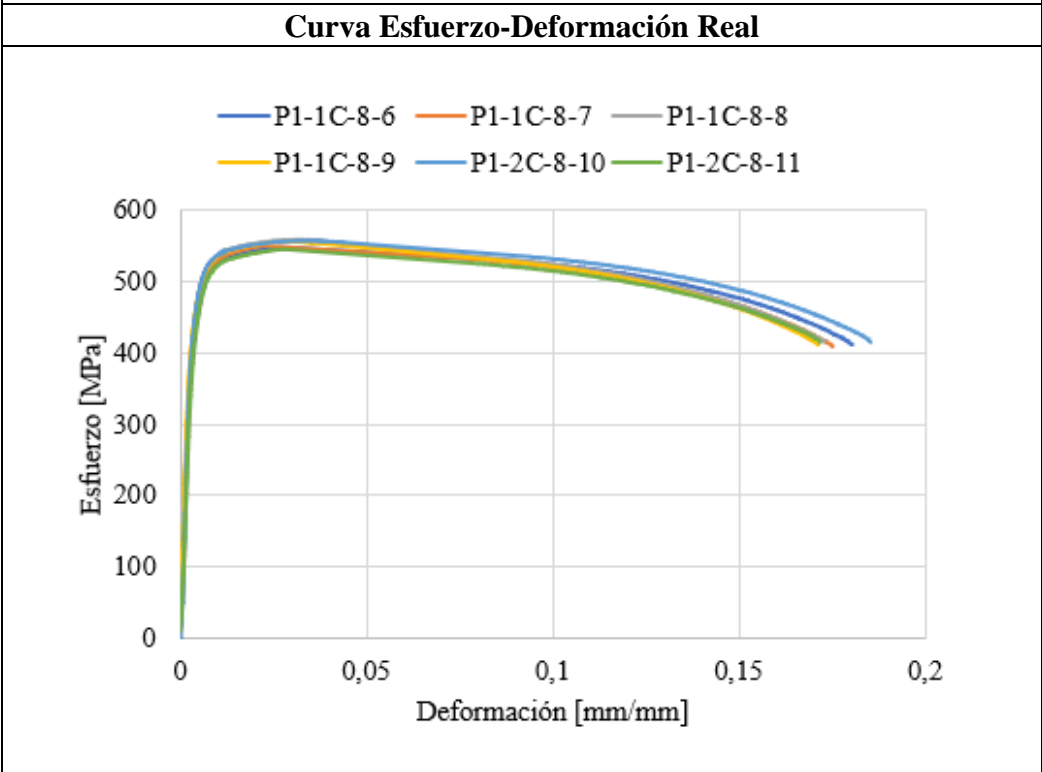
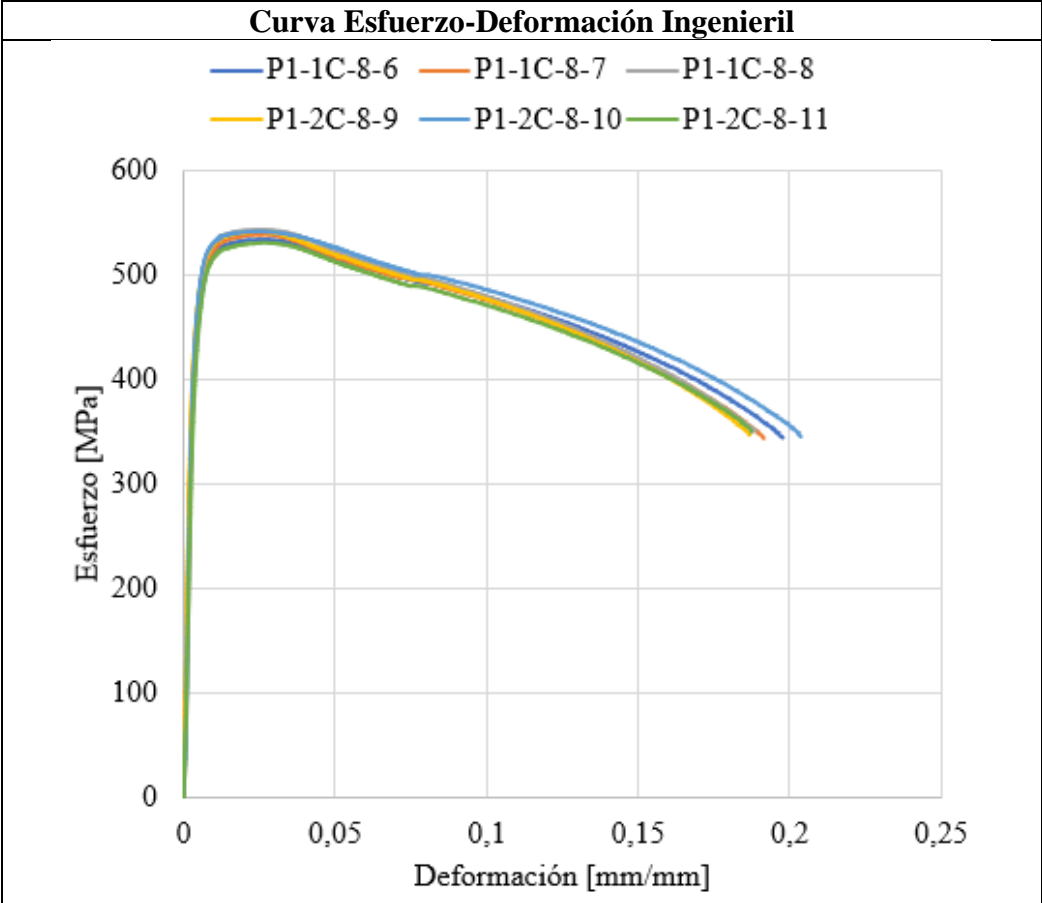
		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE MECÁNICA REPORTE DE ENSAYO A TRACCIÓN			
DATOS DE ENSAYO A TRACCIÓN					
Fecha de inicio:	18/11/2023	Fecha de finalización:	23/11/2023		
Ciudad:	Riobamba	Codificación:	P1-1A-8		
Laboratorio:	LenMaV Laboratorio Ensayo de Materiales				
Máquina:	Máquina Universal de Ensayos-WAW600B				
Marca:	JINAN LIANGONG TECHNOLOGY CO., LTD				
Serie:	7136	Certificado:	LNN-F2016500064D		
Norma:	ASTM E8	No de probetas:	5		
Material:	Acero ASTM A36	Longitud de probeta:	200 mm		
		Longitud inicial:	25 mm		
RESULTADOS DE ENSAYO A TRACCIÓN					
Probeta	Módulo de elasticidad [GPa]	Esfuerzo de fluencia [MPa]	Esfuerzo máx. [MPa]	Porcentaje de elongación [%]	Tipo de fractura
P1-1A-8-1	1,546E+02	303,69	425,81	49,00	T. C.
P1-1A-8-2	1,580E+02	297,08	416,22	44,50	T. C.
P1-1A-8-3	1,502E+02	293,84	410,45	46,00	T. C.
P1-1A-8-4	1,386E+02	304,42	427,77	45,0	T. C.
P1-1A-8-5	1,688E+02	311,38	439,53	45,00	T. C.
Promedio	1,540E+02	302,08	423,96	45,90	
Observaciones: T. C. = Taza y Cono					
Gráfico					
					



Realizado por: Mayancha Edward-Quizhpe Boris	Supervisado por: Ing. Francisco Peña Mg.
---	---



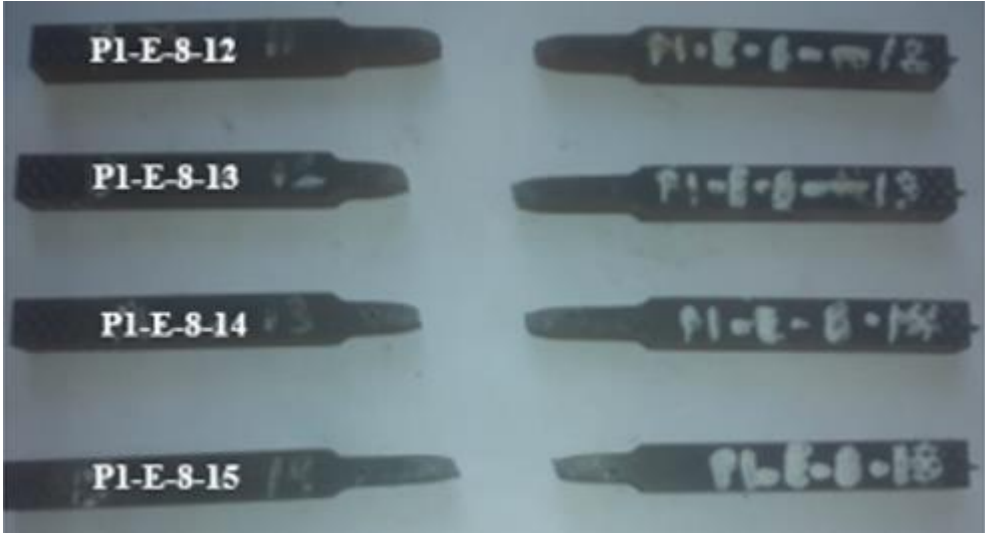
Tabla 3. 17 Resultados de probetas de la parte curva del perfil tipo UV-2

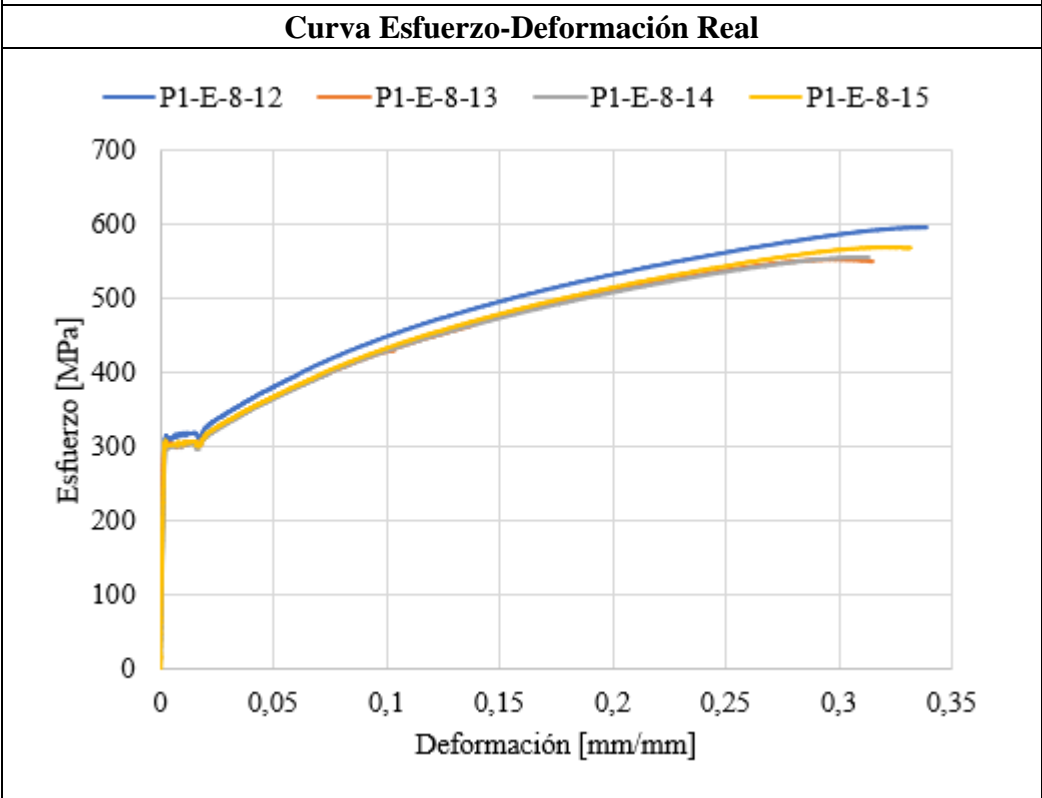
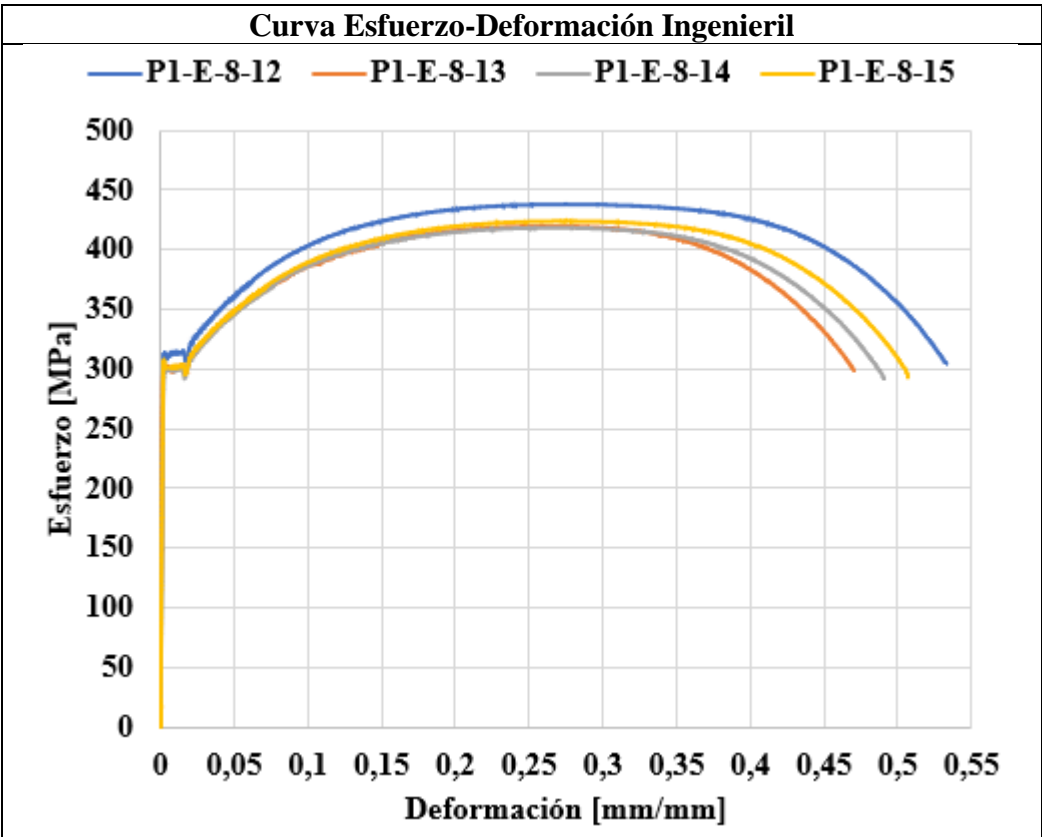
		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE MECÁNICA REPORTE DE ENSAYO A TRACCIÓN			
DATOS DE ENSAYO A TRACCIÓN					
Fecha de inicio:	18/11/2023	Fecha de finalización:	23/11/2023		
Ciudad:	Riobamba	Codificación:	P1-C-8		
Laboratorio:	LenMaV Laboratorio Ensayo de Materiales				
Máquina:	Máquina Universal de Ensayos-WAW600B				
Marca:	JINAN LIANGONG TECHNOLOGY CO., LTD				
Serie:	7136	Certificado:	LNN-F2016500064D		
Norma:	ASTM E8	No de probetas:	6		
Material:	Acero ASTM A36	Longitud de probeta:	200 mm		
		Longitud inicial:	25 mm		
RESULTADOS DE ENSAYO A TRACCIÓN					
Probeta	Módulo de elasticidad [GPa]	Esfuerzo de fluencia [MPa]	Esfuerzo máx. [MPa]	Porcentaje de elongación [%]	Tipo de fractura
P1-1C-8-6	1,696E+02	450,14	534,17	20,00	T. C.
P1-1C-8-7	1,658E+02	461,80	539,17	22,50	T. C.
P1-1C-8-8	1,807E+02	481,36	543,72	20,50	T. C.
P1-2C-8-9	1,696E+02	477,26	541,85	17,00	T. C.
P1-2C-8-10	1,855E+02	482,81	542,09	27,00	T. C.
P1-2C-8-11	1,378E+02	469,88	531,06	20,50	T. C.
Promedio	1,681E+02	470,54	538,68	21,25	
Observaciones: T. C. = Taza y Cono					
Gráfico					
					



Realizado por: Mayancha Edward-Quizhpe Boris	Supervisado por: Ing. Francisco Peña Mg.
---	---




Tabla 3. 18 Resultados de probetas de la espalda (parte plana) del perfil tipo UV-2

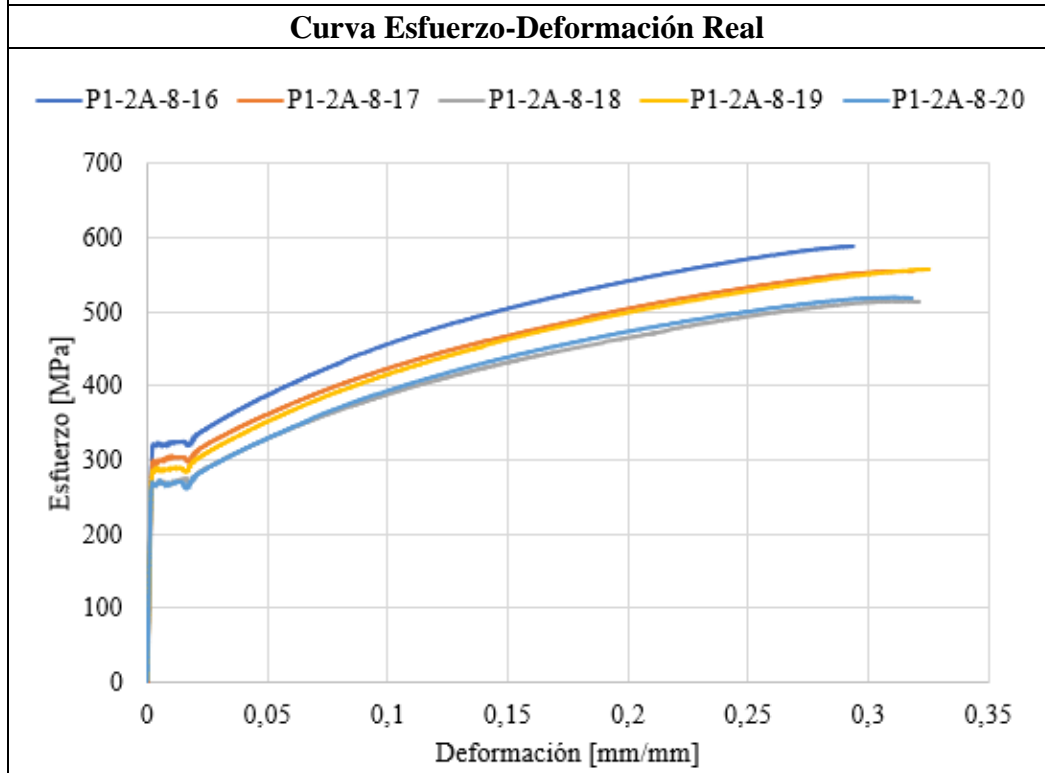
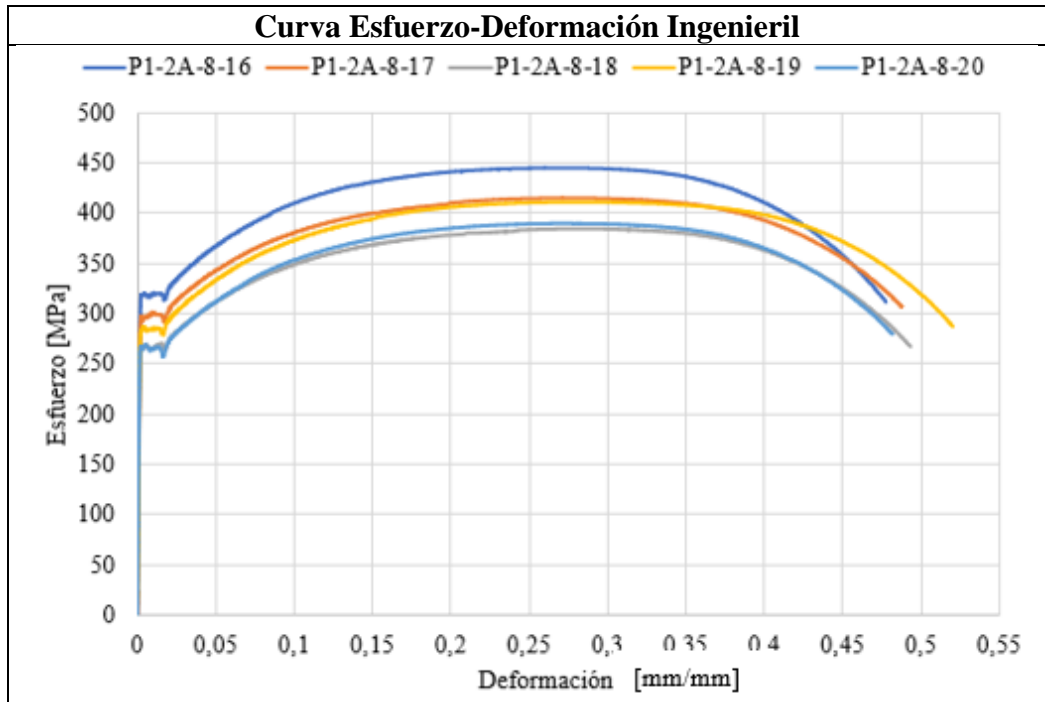
		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE MECÁNICA REPORTE DE ENSAYO A TRACCIÓN			
DATOS DE ENSAYO A TRACCIÓN					
Fecha de inicio:	18/11/2023	Fecha de finalización:	23/11/2023		
Ciudad:	Riobamba	Codificación:	P1-E-8		
Laboratorio:	LenMaV Laboratorio Ensayo de Materiales				
Máquina:	Máquina Universal de Ensayos-WAW600B				
Marca:	JINAN LIANGONG TECHNOLOGY CO., LTD				
Serie:	7136	Certificado:	LNN-F2016500064D		
Norma:	ASTM E8	No de probetas:	4		
Material:	Acero ASTM A36	Longitud de probeta:	200 mm		
		Longitud inicial:	25 mm		
RESULTADOS DE ENSAYO A TRACCIÓN					
Probeta	Módulo de elasticidad [GPa]	Esfuerzo de fluencia [MPa]	Esfuerzo máx. [MPa]	Porcentaje de elongación [%]	Tipo de fractura
P1-E-8-12	1,580E+02	469,88	531,06	47,50	T.C
P1-E-8-13	1,768E+02	309,17	438,17	44,50	T.C
P1-E-8-14	1,676E+02	300,49	418,24	44,50	T.C
P1-E-8-15	1,706E+02	344,61	423,91	43,00	T.C
Promedio	1,683E+02	344,61	452,85	44,88	
Observaciones: T. C. = Taza y Cono					
Gráfico					
					



Realizado por: Mayancha Edward-Quizhpe Boris	Supervisado por: Ing. Francisco Peña Mg.
---	---

Tabla 3. 19 Resultados de probetas del ala izquierda (parte plana) del perfil tipo UV-2

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE MECÁNICA REPORTE DE ENSAYO A TRACCIÓN			
DATOS DE ENSAYO A TRACCIÓN					
Fecha de inicio:	18/11/2023	Fecha de finalización:	23/11/2023		
Ciudad:	Riobamba	Codificación:	P1-2A-6		
Laboratorio:	LenMaV Laboratorio Ensayo de Materiales				
Máquina:	Máquina Universal de Ensayos-WAW600B				
Marca:	JINAN LIANGONG TECHNOLOGY CO., LTD				
Serie:	7136	Certificado:	LNN-F2016500064D		
Norma:	ASTM E8	No de probetas:	5		
Material:	Acero ASTM A36	Longitud de probeta:	200 mm		
		Longitud inicial:	25 mm		
RESULTADOS DE ENSAYO A TRACCIÓN					
Probeta	Módulo de elasticidad [GPa]	Esfuerzo de fluencia [MPa]	Esfuerzo máx. [MPa]	Porcentaje de elongación [%]	Tipo de fractura
P1-2A-8-16	1,700E+02	319,31	445,05	44,50	T. C.
P1-2A-8-17	1,728E+02	293,50	415,08	42,50	T. C.
P1-2A-8-18	1,606E+02	266,12	384,18	45,50	T. C.
P1-2A-8-19	1,874E+02	285,73	410,76	47,50	T. C.
P1-2A-8-20	1,899E+02	264,47	389,54	42,00	T. C.
Promedio	1,761E+02	285,83	408,92	44,40	
Observaciones: T. C. = Taza y Cono					
Gráfico					
					



Realizado por: Mayancha Edward-Quizhpe Boris

Supervisado por: Ing. Francisco Peña Mg.

3.1.2.1 Interpretación de resultados de los ensayos de tracción

Tabla 3. 20 Esfuerzo máximo y porcentaje de elongación (6 mm de espesor)

Perfil tipo UV	Esfuerzo máximo [MPa]	e [%]
Ala izquierda	375,60	41,4
Curva izquierda	487,77	17,8
Espalda	380,35	42,5
Curva derecha	448,62	20,8
Ala derecha	348,90	40,9

Tabla 3. 21 Esfuerzo máximo y porcentaje de elongación (8 mm de espesor)

Perfil tipo UV	Esfuerzo máximo [MPa]	e [%]
Ala izquierda	423,95	45,9
Curva izquierda	539,02	21
Espalda	425,02	44,9
Curva derecha	538,33	21,5
Ala derecha	408,92	44,4

En la Tablas 3.20 y 3.21 y Figura 3.9 se puede apreciar los valores referentes al esfuerzo máximo. Los valores obtenidos de las curvas del perfil de sección UV, presentan un aumento entre el 20 % y el 30 % en comparación con los valores obtenidos en las partes planas del perfil, como las alas y la espalda.



Figura 3. 9 Esfuerzo máximo y porcentaje de elongación del perfil de sección UV, 8 mm de espesor

EL aumento del esfuerzo máximo indica que el material ha experimentado un endurecimiento debido al proceso de conformado. Esto significa que existen cambios en la estructura interna del acero como resultado de la deformación plástica.

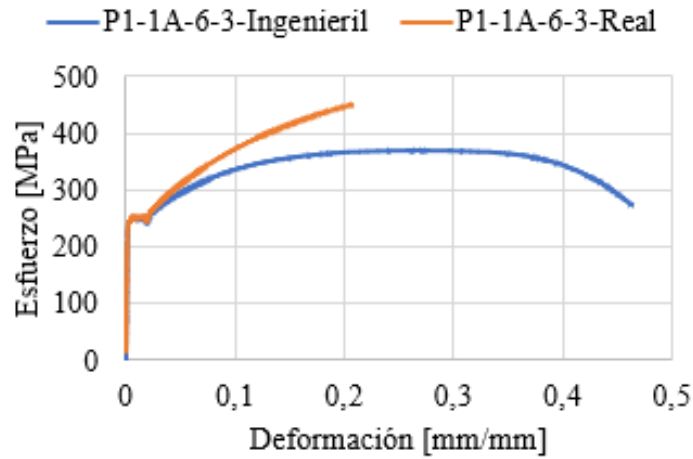


Figura 3. 10 Curva Esfuerzo-Deformación (Ingenieril-Real)

El diagrama de la Figura 3.10 nos muestra un esfuerzo de fluencia de 244.98 MPa, con una deformación de 0,0005 (0,2%), el esfuerzo máximo de fluencia se encuentra en 405.94 MPa, de los resultados de la curva de ingeniería. Para la curva real estos valores presentan un incremento.

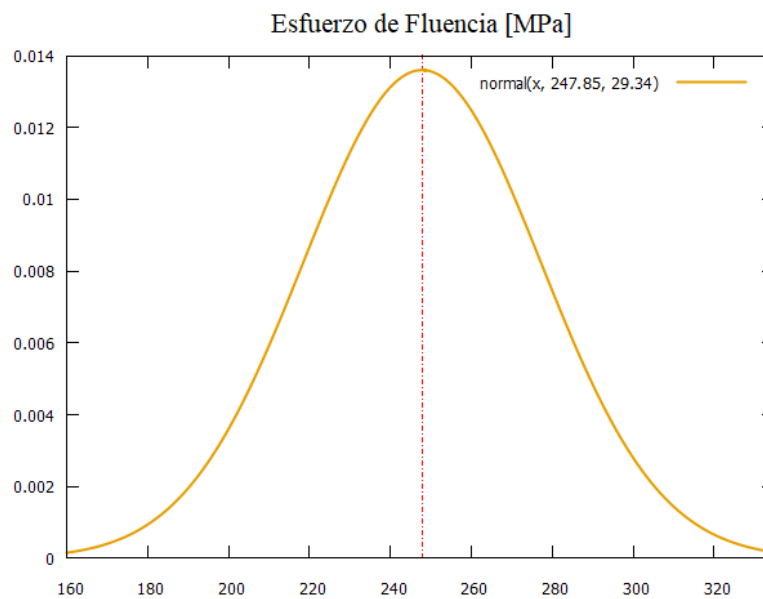


Figura 3. 11 Distribución Normal de los esfuerzos de fluencia de la parte plana del perfil de sección UV (6 mm de espesor)

Analizando el desempeño del perfil de acero A36 de sección UV en ensayos de tracción, se pudo examinar y distinguir los diversos niveles de esfuerzo a los que el material fue expuesto. Se evidenció un esfuerzo de fluencia promedio de 247,85 MPa en probetas planas y 403,82 MPa en probetas curvas, es importante destacar que el acero tiene la capacidad de deformarse aún más antes de llegar al punto de fractura.

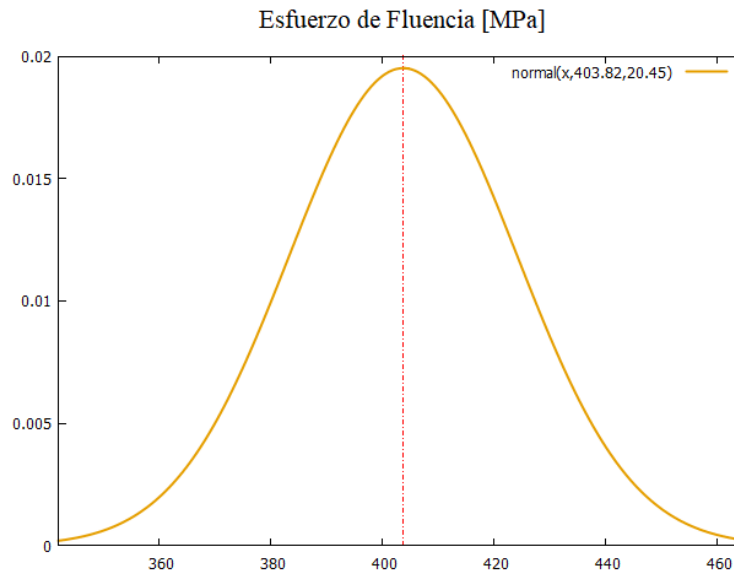


Figura 3. 12 Distribución Normal de los esfuerzos de fluencia de la parte curva del perfil de sección UV (6 mm de espesor)

El aumento del esfuerzo de fluencia, como se menciona en el contexto, indica un endurecimiento del material como consecuencia del proceso de conformado en frío.

3.1.3 Resultados del ensayo metalográfico

Tabla 3. 22 Reporte de ensayo metalográfico del material virgen

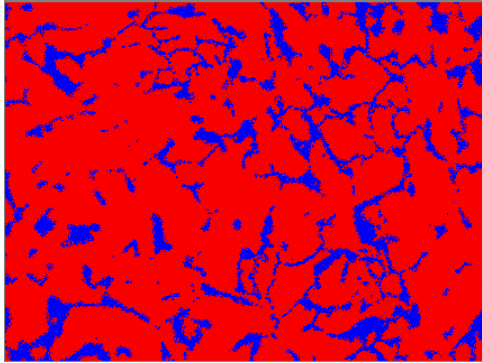
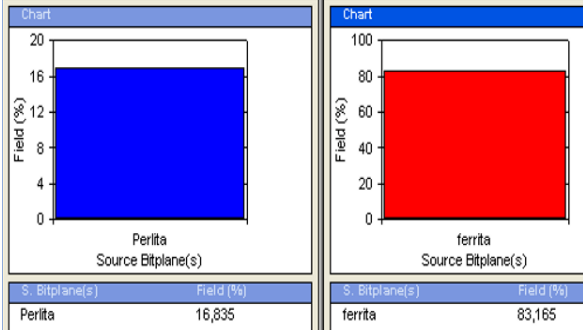
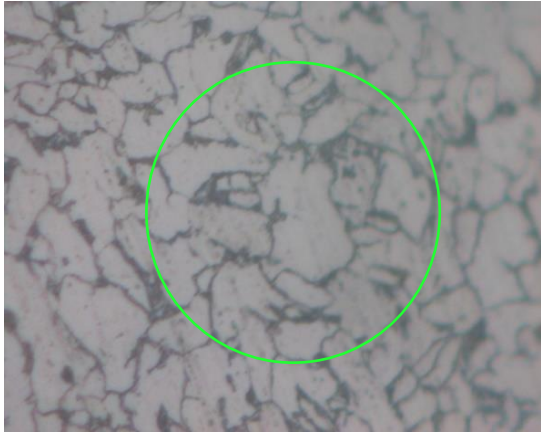
ENSAYO METALOGRAFICO	
Datos informativos	
Ensayo N.º: 01	Tipo de estudio: De laboratorio
Lugar de estudio y análisis: Laboratorio de Materiales - FICM	
Solicitado por: UTA-FICM	Fecha: 27/11/2023
Identificación de componente de estudio: Probeta N°01	
Realizado por: Mayancha Edward-Quizhpe Boris	Supervisado por: Ing. Francisco Peña
PARÁMETROS DEL ENSAYO	
Lugar: Campus Universitario-UTA	Pulido: Mecánico
Temperatura durante pulido: 22°C	Ataque químico de superficie: Nital 4
Material estudiado: Acero A36	Tiempo: 5 segundos
TAMAÑO DE GRANO	
Material virgen	
Método: ASTM E112	Componentes: Perlita y ferrita
Magnificación: 100X	Porcentaje: 0.13%
	
	<p><i>Perlita</i> = 16.83 <i>Ferrita</i> = 83.16</p>
 <p style="text-align: center;">$N_{Interno}=53$ $N_{Interceptado} = 29$</p>	$N_A = f \left(N_{Interno} + \frac{N_{Interceptado}}{2} \right)$ $f = 2 \text{ Jeffries} * M^2$ $N_A = 2 \left(53 + \frac{29}{2} \right)$ $N_A = 2 * 67.5$ $N_A = 135$ $G = 3.321918 * \log N_A - 2,954$ $G = 3.321918 * \log(32) - 2,954$ $G = 4.12 \cong 4$
<p>En el análisis de esta microestructura en el acero de fabrica o metal virgen ASTM A36, podemos indicar que sin deformación o ningún proceso de conformado en frío su porcentaje de Perlita es de 16,83% y Ferrita 83,16% con un tamaño de grano de $4,12 \cong 4$</p>	

Tabla 3. 23 Reporte de ensayo metalográfico zona 1T lado derecho del perfil de sección UV

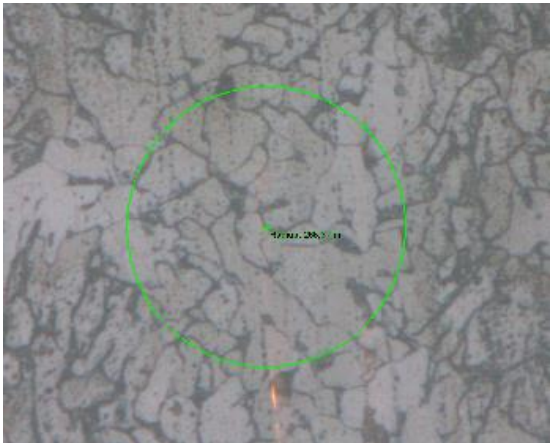
ENSAYO METALOGRAFICO	
Datos informativos	
Ensayo N.º: 02	Tipo de estudio: De laboratorio
Lugar de estudio y análisis: Laboratorio de Materiales - FICM	
Solicitado por: UTA-FICM	Fecha: 27/11/2023
Identificación de componente de estudio: Probeta N°02	
Realizado por: Mayancha Edward-Quizhpe Boris	Supervisado por: Ing. Francisco Peña
PARÁMETROS DEL ENSAYO	
Lugar: Campus Universitario-UTA	Pulido: Mecánico
Temperatura durante pulido: 22°C	Ataque químico de superficie: Nital 4
Material estudiado: Acero A36	Tiempo: 5 segundos
TAMAÑO DE GRANO	
1T de la curva derecha en dirección al ala (3)	
 <p style="text-align: center;">$N_{Interno} = 30$ $N_{Interceptado} = 26$</p>	$N_A = f \left(N_{Interno} + \frac{N_{Interceptado}}{2} \right)$ $f = 2 \text{ Jeffries} * M^2$ $N_A = 2 \left(30 + \frac{26}{2} \right)$ $N_A = 2 * 43$ $N_A = 86$ $G = 3.321918 * \log N_A - 2,954$ $G = 3.321918 * \log(86) - 2,954$ $G = 3.47 \cong 3$
<p>Realizando el análisis de la microestructura en la parte cercana a la curva aproximadamente a 1T de distancia de la curva derecha del perfil conformado en frío ASTM A36, podemos indicar que después de un proceso de conformado varía su microestructura y por ende su tamaño de grano siendo así el resultado de $3,47 \cong 3$</p>	

Tabla 3. 24 Reporte de ensayo metalográfico del área cercana a la curva derecha del perfil de sección UV


ENSAYO METALOGRAFICO	
Datos informativos	
Ensayo N.º: 03	Tipo de estudio: De laboratorio
Lugar de estudio y análisis: Laboratorio de Materiales - FICM	
Solicitado por: UTA-FICM	Fecha: 27/11/2023
Identificación de componente de estudio: Probeta N°03	
Realizado por: Mayancha Edward-Quizhpe Boris	Supervisado por: Ing. Francisco Peña
PARÁMETROS DEL ENSAYO	
Lugar: Campus Universitario-UTA	Pulido: Mecánico
Temperatura durante pulido: 22°C	Ataque químico de superficie: Nital 4
Material estudiado: Acero A36	Tiempo: 5 segundos
TAMAÑO DE GRANO	
Curva derecha (4)	
 <p style="text-align: center;"> $N_{Interno} = 27$ $N_{Interceptado} = 21$ </p>	$N_A = f \left(N_{Interno} + \frac{N_{Interceptado}}{2} \right)$ $f = 2 \text{ Jeffries} * M^2$ $N_A = 2 \left(27 + \frac{21}{2} \right)$ $N_A = 2 * 37.5$ $N_A = 75$ $G = 3.321918 * \log N_A - 2,954$ $G = 3.321918 * \log(75) - 2,954$ $G = 3.27 \cong 3$
<p>En el análisis de la microestructura en la curva derecha del perfil conformado en frío ASTM A36, se puede observar que también después del proceso de conformado en frío su microestructura varía debido a la concentración de esfuerzos en la zona y dando como resultado un tamaño de grano de $3,27 \cong 3$</p>	

Tabla 3. 25 Reporte de ensayo metalográfico zona 2T lado izquierdo del perfil de sección UV

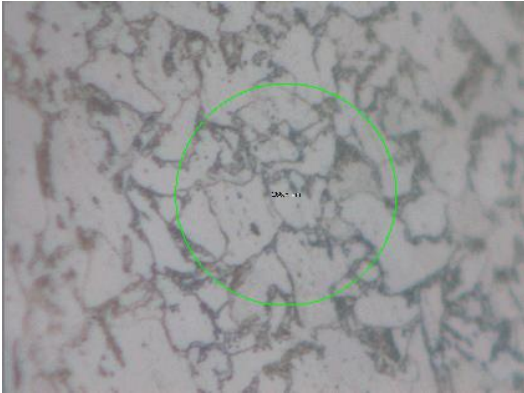
ENSAYO METALOGRAFICO	
Datos informativos	
Ensayo N.º: 04	Tipo de estudio: De laboratorio
Lugar de estudio y análisis: Laboratorio de Materiales - FICM	
Solicitado por: UTA-FICM	Fecha: 27/11/2023
Identificación de componente de estudio: Probeta N°04	
Realizado por: Mayancha Edward-Quizhpe Boris	Supervisado por: Ing. Francisco Peña
PARÁMETROS DEL ENSAYO	
Lugar: Campus Universitario-UTA	Pulido: Mecánico
Temperatura durante pulido: 22°C	Ataque químico de superficie: Nital 4
Material estudiado: Acero A36	Tiempo: 5 segundos
TAMAÑO DE GRANO	
2T curva izquierda dirección a la espalda (7)	
 <p style="text-align: center;"> $N_{Interno} = 20$ $N_{Interceptado} = 19$ </p>	$N_A = f \left(N_{Interno} + \frac{N_{Interceptado}}{2} \right)$ $f = 2 \text{ Jeffries} * M^2$ $N_A = 2 \left(20 + \frac{19}{2} \right)$ $N_A = 2 * 29.5$ $N_A = 59$ $G = 3.321918 * \log N_A - 2,954$ $G = 3.321918 * \log(59) - 2,954$ $G = 2.92 \cong 3$
<p>Para el análisis de la micrografía en la parte 2T medido desde la curva en dirección al ala izquierda podemos observar que existe una deformación en su tamaño de grano ya que debido al conformado existe una concentración de esfuerzos en comparación con el material de fábrica, teniendo como resultado un tamaño de grano de $2.92 \cong 3$ en esta sección afectada por la deformación del material.</p>	

Tabla 3. 26 Reporte de ensayo metalográfico del área cercana a la curva izquierda del perfil de sección UV


ENSAYO METALOGRAFICO	
Datos informativos	
Ensayo N.º: 05	Tipo de estudio: De laboratorio
Lugar de estudio y análisis: Laboratorio de Materiales - FICM	
Solicitado por: UTA-FICM	Fecha: 27/11/2023
Identificación de componente de estudio: Probeta N°05 (6 mm de espesor)	
Realizado por: Mayancha Edward-Quizhpe Boris	Supervisado por: Ing. Francisco Peña
PARÁMETROS DEL ENSAYO	
Lugar: Campus Universitario-UTA	Pulido: Mecánico
Temperatura durante pulido: 22°C	Ataque químico de superficie: Nital 4
Material estudiado: Acero A36	Tiempo: 5 segundos
TAMAÑO DE GRANO	
Curva izquierda (9)	
 <p style="text-align: center;">$N_{Interno} = 10$</p> <p style="text-align: center;">$N_{Interceptado} = 21$</p>	$N_A = f \left(N_{Interno} + \frac{N_{Interceptado}}{2} \right)$ $f = 2 \text{ Jeffries} * M^2$ $N_A = 2 \left(10 + \frac{21}{2} \right)$ $N_A = 2 * 20.5$ $N_A = 41$ $G = 3.321918 * \log N_A - 2,954$ $G = 3.321918 * \log(41) - 2,954$ $G = 2.4 \cong 2$
<p>Revisando la sección curva del ala izquierda después del proceso de conformado en frío en los resultados de su micrografía podemos observar que existe una deformación del tamaño de grano, es decir un estiramiento y por ende una concentración de esfuerzos teniendo como tamaño de grano de $2.4 \cong 2$ en la zona afectada.</p>	

Tabla 3. 27 Reporte de ensayo metalográfico de la curva derecha del perfil de sección UV, 8 mm de espesor

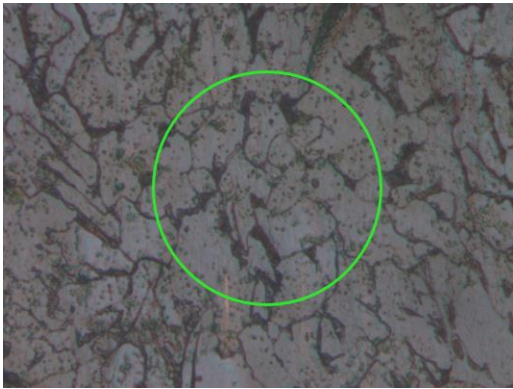
ENSAYO METALOGRAFICO	
Datos informativos	
Ensayo N.º: 06	Tipo de estudio: De laboratorio
Lugar de estudio y análisis: Laboratorio de Materiales - FICM	
Solicitado por: UTA-FICM	Fecha: 27/11/2023
Identificación de componente de estudio: Probeta N°06	
Realizado por: Mayancha Edward-Quizhpe Boris	Supervisado por: Ing. Francisco Peña
PARÁMETROS DEL ENSAYO	
Lugar: Campus Universitario-UTA	Pulido: Mecánico
Temperatura durante pulido: 22°C	Ataque químico de superficie: Nital 4
Material estudiado: Acero A36	Tiempo: 5 segundos
TAMAÑO DE GRANO	
Curva derecha	
 <p style="text-align: center;"> $N_{Interno}=16$ $N_{Interceptado}=17$ </p>	$N_A = f \left(N_{Interno} + \frac{N_{Interceptado}}{2} \right)$ $f = 2 \text{ Jeffries} * M^2$ $N_A = 2 \left(16 + \frac{17}{2} \right)$ $N_A = 2 * 24.5$ $N_A = 49$ $G = 3.321918 * \log N_A - 2,954$ $G = 3.321918 * \log(49) - 2,954$ $G = 2.66 \approx 3$
<p>En el análisis micrográfico de las probetas de 8 mm en el material ASTM A36 para la parte curva derecha del perfil después del conformado en frío podemos observar que su tamaño de grano se ha modificado por su concentración de esfuerzos en la zona dando como resultado un tamaño de grano de $2.66 \approx 3$</p>	

Tabla 3. 28 Reporte de ensayo metalográfico de la curva izquierda del perfil de sección UV

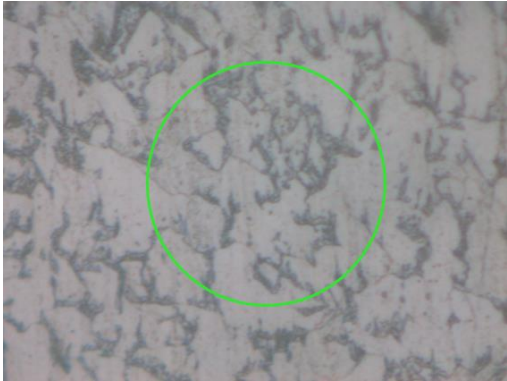
ENSAYO METALOGRAFICO	
Datos informativos	
Ensayo N.º: 07	Tipo de estudio: De laboratorio
Lugar de estudio y análisis: Laboratorio de Materiales - FICM	
Solicitado por: UTA-FICM	Fecha: 27/11/2023
Identificación de componente de estudio: Probeta N°07	
Realizado por: Mayancha Edward-Quizhpe Boris	Supervisado por: Ing. Francisco Peña
PARÁMETROS DEL ENSAYO	
Lugar: Campus Universitario-UTA	Pulido: Mecánico
Temperatura durante pulido: 22°C	Ataque químico de superficie: Nital 4
Material estudiado: Acero A36	Tiempo: 5 segundos
TAMAÑO DE GRANO	
Curva izquierda	
 <p style="text-align: center;"> $N_{Interno}=16$ $N_{Interceptado}=18$ </p>	$N_A = f \left(N_{Interno} + \frac{N_{Interceptado}}{2} \right)$ $f = 2 \text{ Jeffries} * M^2$ $N_A = 2 \left(16 + \frac{18}{2} \right)$ $N_A = 2 * 25$ $N_A = 50$ $G = 3.321918 * \log N_A - 2,954$ $G = 3.321918 * \log(50) - 2,954$ $G = 2.68 \approx 3$
<p>Realizando el análisis en la curva izquierda del perfil se determina que de igual manera existe la concentración de esfuerzo y varía el tamaño de grano en este material después del conformado en frío, dando de resultado un tamaño de grano de $2.68 \approx 3$</p>	

Tabla 3. 29 Reporte de ensayo metalográfico de la zona cercana a 1T izquierda del perfil de sección UV

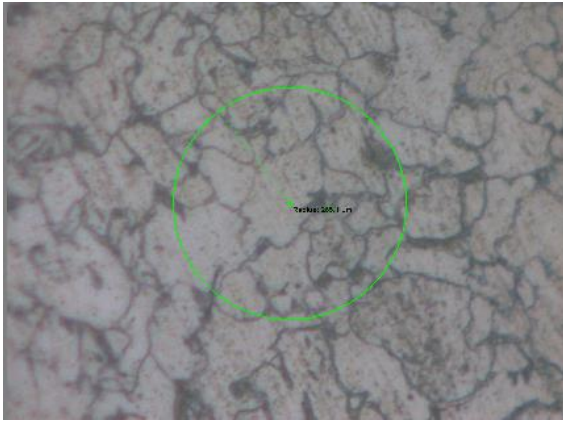
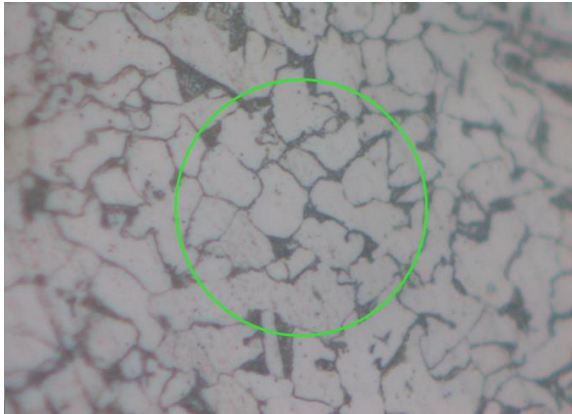
ENSAYO METALOGRAFICO	
Datos informativos	
Ensayo N.º: 08	Tipo de estudio: De laboratorio
Lugar de estudio y análisis: Laboratorio de Materiales - FICM	
Solicitado por: UTA-FICM	Fecha: 27/11/2023
Identificación de componente de estudio: Probeta N°08	
Realizado por: Mayancha Edward-Quizhpe Boris	Supervisado por: Ing. Francisco Peña
PARÁMETROS DEL ENSAYO	
Lugar: Campus Universitario-UTA	Pulido: Mecánico
Temperatura durante pulido: 22°C	Ataque químico de superficie: Nital 4
Material estudiado: Acero A36	Tiempo: 5 segundos
TAMAÑO DE GRANO	
Ala grande derecha 1T	
	$N_A = f \left(N_{Interno} + \frac{N_{Interceptado}}{2} \right)$ $f = 2 \text{ Jeffries} * M^2$ $N_A = 2 \left(16 + \frac{18}{2} \right)$ $N_A = 2 * 25$ $N_A = 50$ $G = 3.321918 * \log N_A - 2,954$ $G = 3.321918 * \log(50) - 2,954$ $G = 2.68 \approx 3$
$N_{Interno} = 16$ $N_{Interceptado} = 18$	
<p>El análisis realizado en esta sección del perfil podemos observar que empieza a existir a la distancia de 1T desde la curva en dirección a su ala una deformación de granos, es decir a esta distancia empieza a existir la deformación del material y por ende la concentración de esfuerzos de esta. Dando un tamaño de grano de $2.68 \approx 3$ en esa área específica.</p>	

Tabla 3. 30 Reporte de ensayo metalográfico de la zona 2T lado derecho del perfil de sección UV, 8 mm de espesor

ENSAYO METALOGRAFICO	
Datos informativos	
Ensayo N.º: 09	Tipo de estudio: De laboratorio
Lugar de estudio y análisis: Laboratorio de Materiales - FICM	
Solicitado por: UTA-FICM	Fecha: 27/11/2023
Identificación de componente de estudio: Probeta N°09	
Realizado por: Mayancha Edward-Quizhpe Boris	Supervisado por: Ing. Francisco Peña
PARÁMETROS DEL ENSAYO	
Lugar: Campus Universitario-UTA	Pulido: Mecánico
Temperatura durante pulido: 22°C	Ataque químico de superficie: Nital 4
Material estudiado: Acero A36	Tiempo: 5 segundos
TAMAÑO DE GRANO	
Ala grande derecha 2T	
	$N_A = f \left(N_{Interno} + \frac{N_{Interceptado}}{2} \right)$ $f = 2 \text{ Jeffries} * M^2$ $N_A = 2 \left(14 + \frac{20}{2} \right)$ $N_A = 2 * 16$ $N_A = 32$ $G = 3.321918 * \log N_A - 2,954$ $G = 3.321918 * \log(32) - 2,954$ $G = 2.04 \approx 2$
$N_{Interno} = 14$ $N_{Interceptado} = 20$	
<p>Para este perfil de espesor de 8 mm después del conformado en frío en su análisis micrográfico observamos que el tamaño de grano en su ala derecha sufrió una concentración de esfuerzos a la distancia de 2T dando como resultado un tamaño de grano de $2.04 \approx 2$, con esto se determina cómo varía su estructura en ciertas zonas después del proceso de conformado en frío.</p>	

3.1.3.1 Interpretación de resultados de los ensayos metalográficos

Tabla. 3.22 Determinación de tamaños de grano en perfiles ensayados

Nº.	Sección analizada	Espesor de 6mm	Espesor de 8mm
1	Material de fabrica	4,12	4,12
2	En 1T	3,47	2,68
3	En la curva derecha	3,27	2,66
4	En la curva izquierda	2,4	2,68
5	EN 2T	2,92	2,04

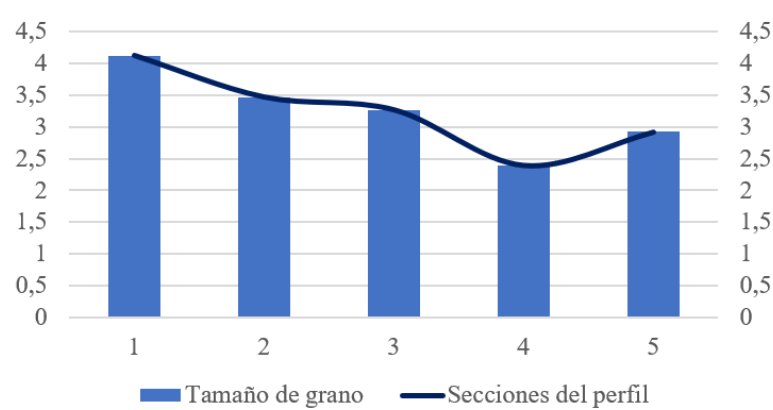


figura. 3.13 Resultados de micrografía en perfil de 6 mm

Para este análisis se determina que en las partes curvas se tiene un cambio significativo de tamaño de grano y en las áreas de 1T en espesores de 6mm encontramos que empieza a existir esa deformación de grano cuando se realiza un proceso de conformado en frío.

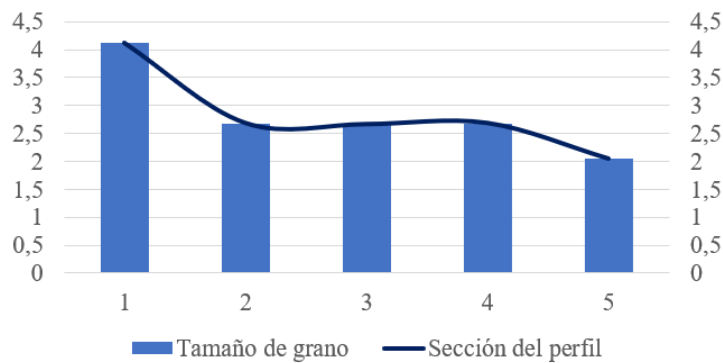


figura. 3.14 Resultados de micrografía en perfil de 8 mm

En la revisión de los resultados, podemos tener en cuenta que la variación de tamaño de grano empieza en 2T con referencia al material de fábrica.

Para el perfil de espesor en 8 mm en comparación con el espesor de 6 mm podemos decir que por su concentración de esfuerzos y el área transversal su deformación empieza a una distancia más amplia desde la curva.

3.2 Verificación de la hipótesis

Para este trabajo experimental, definimos los parámetros para evaluar la hipótesis.

H0= Existen diferencias significativas de las propiedades mecánicas (dureza, esfuerzo de fluencia, módulo de elasticidad, carga máxima, variación de tamaño de grano y porcentaje de elongación) del acero después del proceso de conformado en frío.

H1= No existen diferencias significativas de las propiedades mecánicas (dureza, esfuerzo de fluencia, módulo de elasticidad, carga máxima, variación de tamaño de grano y porcentaje de elongación) del acero después del proceso de conformado en frío.

Para validar la hipótesis se procedió el uso de la tabla *t* de Student (Anexo F), con un nivel de significancia del 5 %, de las probetas planas y curvas.

Las Tablas 3.31-32 proporcionan los resultados de los Esfuerzos de Fluencias (Anexo D) de las probetas planas y curvas del perfil de sección UV de los espesores de 6 mm y 8 mm, respectivamente.

Tabla 3. 31 Esfuerzo de fluencia de probetas planas del perfil de sección UV

N	Espesor				Lugar en el perfil
	6 mm		8 mm		
	e [%]	Esfuerzo de fluencia [MPa]	e [%]	Esfuerzo de fluencia [MPa]	
1	0,002664	282,99	0,00612	303,69	Ala izquierda
2	0,002872	273,57	0,002184	297,08	
3	0,003448	244,09	0,003704	293,84	
4	0,003224	239,76	0,002328	304,42	
5	0,003672	234,84	0,003288	311,38	

6	0,003464	248,41	0,002296	309,39	Espalda
7	0,003512	251,75	0,003544	300,49	
8	0,003544	287,48	0,003096	298,69	
9	0,002664	215,88	0,003816	301,06	
10	0,003816	281,5	0,003864	319,31	Ala derecha
11	0,003384	269,88	0,003432	293,5	
12	0,003576	239,04	0,007032	266,12	
13	0,018848	189,74	0,003496	285,73	
14	0,003112	210,93	0,00179838	264,47	

Tabla 3. 32 Valor de t para los Esfuerzos de Fluencia de las probetas planas del perfil de sección UV

Espesor	6 mm	8 mm
Promedio	247,85 [MPa]	296,37 [MPa]
Desviación Estándar	29,34	15,55
Max.	246,25	299,59
t calculado	-4,48	-5,52
G.L.	13	
t de tabla	±2,16	

Probetas planas 6 mm de espesor

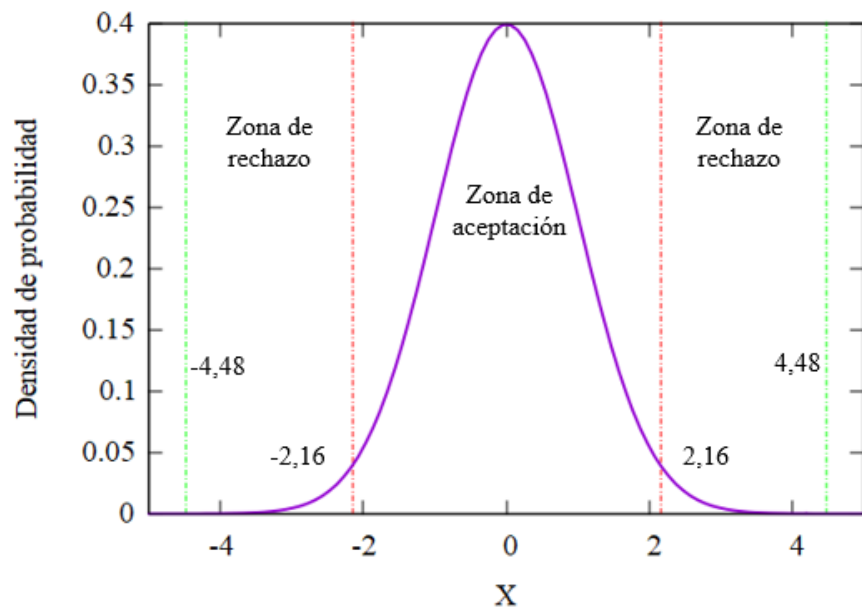


Figura 3. 13 Probetas planas del perfil de sección UV, 6 mm de espesor.

$$t_{cal} \geq t_{tab}$$

$$-4,48 \geq \pm 2,16$$

Probetas planas 8 mm de espesor

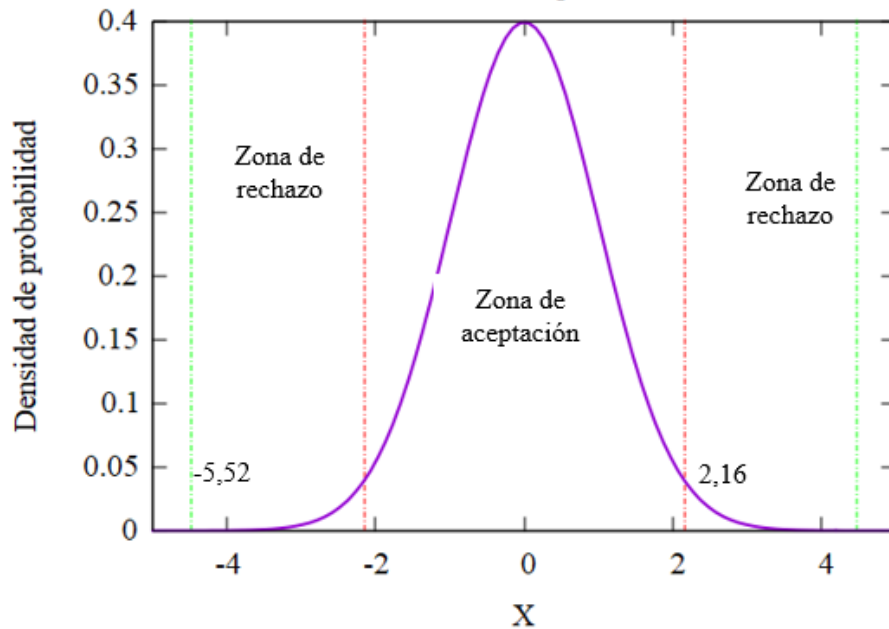


Figura 3. 14 Probetas planas del perfil de sección UV, 8 mm de espesor.

$$t_{cal} \geq t_{tab}$$

$$-5,52 \geq \pm 2,16$$

Conclusión: Se rechaza **H0**: Existen diferencias significativas de las propiedades mecánicas (dureza, esfuerzo de fluencia, módulo de elasticidad, carga máxima, variación de tamaño de grano y porcentaje de elongación) del acero después del proceso de conformado en frío.

Las Tablas 3.33-3.34 proporcionan el promedio de los resultados de las probetas curvas del lado izquierdo y derecho del perfil de sección UV

Probetas curvas 8 mm de espesor

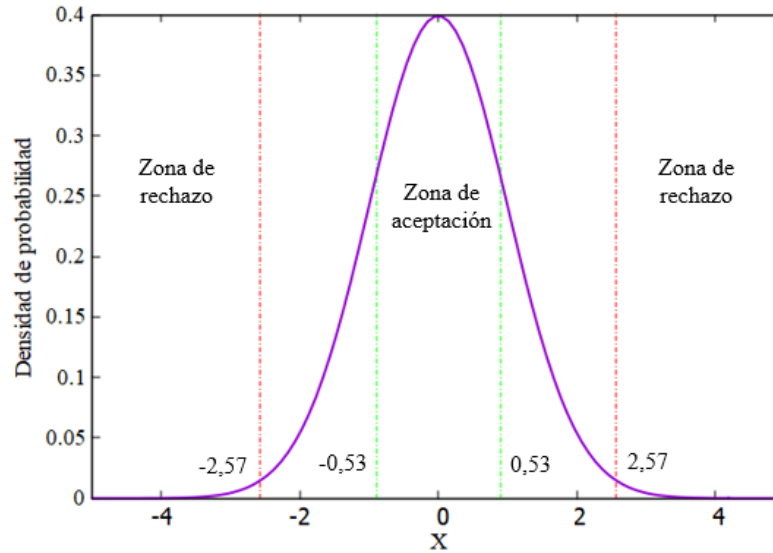


Figura 3. 16 Probetas curvas del perfil de sección UV, 8 mm de espesor.

$$t_{cal} \geq t_{tab}$$

$$-0,53 \geq \pm 2,57$$

Conclusión: Se acepta **H0**: Existen diferencias significativas de las propiedades mecánicas (dureza, esfuerzo de fluencia, módulo de elasticidad, carga máxima, variación de tamaño de grano y porcentaje de elongación) del acero después del proceso de conformado en frío.

Evaluación según el lugar en el perfil

Tabla 3. 35 Valor de t para probetas de las alas del perfil de sección UV

	6 mm Ala izquierda	8 mm Ala derecha
Promedio	255,05 [MPa]	285,826 [MPa]
Desviación estándar	21,71	22,50
t cal.	-4,81	-2,97
G. L	4	
t de tab.	±2,77	

Tabla 3. 36 Valor de t para probetas de las curvas del perfil de sección UV

	6 mm Curva Izquierda	8 mm Curva derecha
Promedio	416,88 [MPa]	476,65 [MPa]
Desviación estándar	18,80	6,50
t cal.	0,51	-0,35
G. L	2	
t de tab.	±4,30	

Tabla 3. 37 Valor de t para probetas de la espalda del perfil de sección UV

	6 mm	8 mm
Promedio	250,88 [MPa]	302,71 [MPa]
Desviación estándar	29,27	4,76
t cal.	-4,10	2,21
G. L	3	
t de tab.	±3,18	

Para el ala izquierda del perfil se sección UV (6 mm)

$$t_{cal} \geq t_{tab}$$

$$-4,81 \geq \pm 2,77$$

Para el ala derecha del perfil se sección UV (8 mm)

$$t_{cal} \geq t_{tab}$$

$$-2,97 \geq \pm 2,77$$

Conclusión: Se rechaza **H0**: Existen diferencias significativas de las propiedades mecánicas (dureza, esfuerzo de fluencia, módulo de elasticidad, carga máxima, variación de tamaño de grano y porcentaje de elongación) del acero después del proceso de conformado en frío.

Para la curva izquierda del perfil se sección UV (6 mm)

$$t_{cal} \geq t_{tab}$$
$$0,51 \geq \pm 4,30$$

Para la curva derecha del perfil se sección UV (8 mm)

$$t_{cal} \geq t_{tab}$$
$$-0,35 \geq \pm 4,30$$

Conclusión: Se acepta **H0**: Existen diferencias significativas de las propiedades mecánicas (dureza, esfuerzo de fluencia, módulo de elasticidad, carga máxima, variación de tamaño de grano y porcentaje de elongación) del acero después del proceso de conformado en frío.

Para la espalda del perfil se sección UV (6 mm)

$$t_{cal} \geq t_{tab}$$
$$-4,10 \geq \pm 3,19$$

Para la espalda del perfil se sección UV (6 mm)

$$t_{cal} \geq t_{tab}$$
$$2,21 \geq \pm 3,18$$

Conclusión: Se rechaza **H0**: Existen diferencias significativas de las propiedades mecánicas (dureza, esfuerzo de fluencia, módulo de elasticidad, carga máxima, variación de tamaño de grano y porcentaje de elongación) del acero después del proceso de conformado en frío.

Los resultados experimentales demuestran que hay cambios significativos en las propiedades mecánicas del acero después del conformado en frío, se podría considerar que la hipótesis es válida y que el proceso de conformado en frío tiene un impacto sustancial en la estructura y las características mecánicas del material.

CAPITULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

- En conclusión, realizar los ensayos de dureza reveló modificaciones estructurales significativas en el material de acero A36 después del proceso de conformado en frío. Los perfiles de 6 mm y 8 mm experimentaron cambios en su dureza, puntualmente en sus áreas curvas y cercanas a la curva, indicando así también alteraciones en la microestructura del acero después de una aplicación de un proceso de conformado en frío.
- Los ensayos de tracción a las probetas conformadas en frío permitieron determinar aumento en las tensiones residuales en los perfiles de sección tipo UV. Se observaron diferencias notables en las propiedades mecánicas entre los espesores de 6 mm y 8 mm, incrementando más en sus áreas curvas de la sección de perfil, sugiriendo que el proceso de conformado afecta de manera única dependiendo de cada espesor.
- Se concluye que mediante las imágenes obtenidas mediante el ensayo de micrografía de la sección transversal en las áreas de 1T y 2T, para el espesor de 6 mm, proporcionaron evidencia visual de la deformación de los granos en el área de 1T aproximadamente. Para el caso del perfil de 8 mm, su deformación en el área de 2T causada por el proceso de conformado en frío. Esto respalda la idea de que el material experimenta cambios microestructurales importantes durante el proceso, afectando la disposición y forma de los granos por medio de una concentración de esfuerzos.

4.2 Recomendaciones

- Se sugiere realizar un análisis más a fondo y detallado de las tensiones residuales en diferentes etapas del proceso de conformado. Esto ayudaría a comprender y entender de mejor manera como estas tensiones afectan o no las propiedades mecánicas del acero A-36 después de un proceso de conformado en frío.
- Para obtener una evaluación más completa y detallada, se aconseja validar los resultados obtenidos mediante ensayos de dureza y tracción a través de otras técnicas de caracterización y otros metales semejantes, con el fin de obtener más información para el desarrollo y construcción de estructuras confiables dentro de la ingeniería.
- Es importante evaluar cómo las variaciones en las propiedades mecánicas como la dureza, porcentaje de elongación, módulo de elasticidad, etc., del acero A-36 pueden influir en los resultados del proceso conformado en frío. Se debe tener en cuenta también que estas propiedades varían dependiendo de los distintos espesores. Esto podría implicar la selección de diferentes espesores según su aplicación o dependiendo el caso y el estudio de otras aleaciones para determinar su respuesta al proceso.
- Se recomienda proporcionar una recolección de datos y documentación detallada de la metodología utilizada en los ensayos mediante el uso de normas establecidas por entidades nacionales e internacionales. Esto incluye información sobre las condiciones ambientales, instrumentación utilizada y procedimientos exactos seguidos durante el conformado y las pruebas mecánicas, para poder ejecutar un estudio que garantice sus resultados.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] C. Mathieson, K. Roy, G. Charles Clifton, A. Ahmadi, y J. B. P. Lim, «Failure mechanism and bearing capacity of cold-formed steel trusses with HRC connectors», *Eng. Struct.*, vol. 201, p. 109741, dic. 2019, doi: 10.1016/j.engstruct.2019.109741.
- [2] Amin Ahmadi, «Development of a Novel Cold-Formed Steel Truss System». enero de 2023.
- [3] Y. Q. Li, D. H. Wen, L. P. Wang, y Z. Y. Shen, «Cold-forming Effect Investigation on Cold-formed Thick-walled Steel Hollow Sections».
- [4] B. Janarthanan y M. Mahendran, «Numerical study of cold-formed steel channel sections under combined web crippling and bending action», *Thin-Walled Struct.*, vol. 152, p. 106766, jul. 2020, doi: 10.1016/j.tws.2020.106766.
- [5] AS/NZS 4600, «Cold-Formed Steel Structures». Standards Australia/Standards New Zealand, 2005.
- [6] EN 1993-1-3, «Eurocode 3 - Design of steel structures - Part 1-3: General rules - Supplementary rules for cold-formed members and sheeting». cen, octubre de 2006.
- [7] GB 50018, «Technical code of cold-formed thin-wall steel structure». 2002.
- [8] Y. Li y Z. Nie, «Mechanical properties of cold-formed thick-walled steels at elevated temperatures», oct. 2020.
- [9] D. Liu, H. Liu, Z. Chen, y X. Liao, «Structural behavior of extreme thick-walled cold-formed square steel columns», *J. Constr. Steel Res.*, vol. 128, pp. 371-379, ene. 2017, doi: 10.1016/j.jcsr.2016.09.004.
- [10] X. Yun y L. Gardner, «Numerical modelling and design of hot-rolled and cold-formed steel continuous beams with tubular cross-sections», *Thin-Walled Struct.*, vol. 132, pp. 574-584, nov. 2018, doi: 10.1016/j.tws.2018.08.012.
- [11] EN 1990:2002+A1, «Eurocode - Basis of structural design». cen, diciembre de 2005.
- [12] H.-X. Wan, B. Huang, y M. Mahendran, «Experiments and numerical modelling of cold-formed steel beams under bending and torsion», *Thin-Walled Struct.*, vol. 161, p. 107424, abr. 2021, doi: 10.1016/j.tws.2020.107424.
- [13] Abdullah Al-Maisari, «Experimental study on the compression and stiffness behavior of a K-Span corrugated cold formed steel arch». HAMK, 2020.
- [14] A. Nassirirad, «THE EFFECTS OF CORNER RADII ON THE LOCAL BUCKLING OF COLD-FORMED SECTIONS». UMI, 1998.
- [15] I. Szewczak, K. Rzeszut, P. Rozylo, y M. Snela, «Laboratory and Numerical Analysis of Steel Cold-Formed Sigma Beams Retrofitted by Bonded CFRP Tapes—Extended Research», *Materials*, vol. 13, n.º 21, p. 4960, nov. 2020, doi: 10.3390/ma13214960.
- [16] G. J. Hancock, T. M. Murray, y D. S. Ellifritt, *Cold-formed steel structures to the AISI specification*. en Civil and environmental engineering, no. 6. New York: M. Dekker, 2001.
- [17] L. Tong, G. Hou, Y. Chen, F. Zhou, K. Shen, y A. Yang, «Experimental investigation on longitudinal residual stresses for cold-formed thick-walled square hollow sections», *J. Constr. Steel Res.*, vol. 73, pp. 105-116, jun. 2012, doi: 10.1016/j.jcsr.2012.02.004.

- [18] Muyulema Danny, «Análisis de juntas tipo bridas apernadas para estructuras de telecomunicaciones de tipo monopolo usando el método de elementos finitos». UTA, 2023.
- [19] CNT, «Historia de las telecomunicaciones en el Ecuador». 2014.
- [20] A. S. C. Gustavo, «ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE LAS TORRES DE TELECOMUNICACIÓN PARA ANTENAS DE ÚLTIMA TECNOLOGÍA».
- [21] W.-W. Yu, R. A. LaBoube, y H. Chen, *Cold-formed steel design*, Fifth edition. Hoboken, NJ: Wiley, 2019.
- [22] F. Öztürk y S. Pul, «Experimental and numerical study on a full scale apex connection of cold-formed steel portal frames», *Thin-Walled Struct.*, vol. 94, pp. 79-88, sep. 2015, doi: 10.1016/j.tws.2015.04.004.
- [23] G. Winter, «Commentary on the 1968 Edition of the Specification for the Design of Cold-formed Steel Structural Members».
- [24] W. F. Hosford y R. M. Caddell, *Metal Forming: Mechanics and Metallurgy*. Cambridge University Press, 2011.
- [25] G. A. L. Köhler, R. G. M. Concha, M. M. Segura, y E. N. Castellanos, «PERFILES CONFORMADOS EN FRÍO: CONSIDERACIONES SÍSMICAS BAJO NCh2369.Of2003».
- [26] Schuler GmbH, Ed., *Metal forming handbook*. Berlin ; New York: Springer-Verlag, 1998.
- [27] Felipe Díaz del Castillo Rodríguez, «CONFORMADO MEDIANTE DEFORMACIÓN PLÁSTICA DE METALES». UNAM, febrero de 2018.
- [28] T. Altan, G. Ngaile, y G. Shen, Eds., *Cold and hot forging: fundamentals and applications*. Materials Park, OH: ASM International, 2004.
- [29] W. L. Roberts, *Hot Rolling of Steel*. CRC Press, 1983.
- [30] R. Rana y S. B. Singh, *Automotive Steels: Design, Metallurgy, Processing and Applications*. Woodhead Publishing, 2016.
- [31] «Conformado de Metales». Escuela Colombiana de Ingeniería, enero de 2008.
- [32] Ing. Francisco Agustín Peña Jordán, «APLICACIÓN DE LA NORMA AISI 100-16 PARA EL DISEÑO DE CUBIERTAS INDUSTRIALES».
- [33] J. M. Guillen Ramón y M. Del Saz Barragán, «ACEROGRAFÍA: la plancha acero laminado en frío como soporte alternativo en los procesos de impresión litográficos y en procedimientos mixtos de estampación planográfica, en hueco y relieve», en *Libro de Actas - Congreso Internacional de Investigación en Artes Visuales*. ANIAV, Editorial Universitat Politècnica de València, Ed., Editorial Universitat Politècnica de València, jul. 2015, pp. 353-360. doi: 10.4995/ANIAV.2015.1293.
- [34] Roberts, *Cold Rolling of Steel*. Routledge, 2017.
- [35] TIA Standard, «Structural Standard for Antenna Supporting Structures and Antennas and Small Wind Turbine Support Structures». ANSI, enero de 2018.
- [36] AISI S100-16, «North American Specification for the Design of Cold-formed Steel Structural Members». AISI Standard, 2016.
- [37] Felipe diaz del Castillo Rodríguez, «Perfiles Estructurales». UNAM, enero de 2019.
- [38] C.-L. Li, H. Yuan, y H.-P. Hong, «Predicting yield strength of cold-formed carbon steel: A review and new approaches», *J. Constr. Steel Res.*, vol. 206, p. 107926, jul. 2023, doi: 10.1016/j.jcsr.2023.107926.
- [39] W. Yu, W. M. McKinney, y V. A. S. Liu, «Structural Behavior and Design of Thick, Cold-Formed Steel Members».

- [40] T. K. Makarios y A. Athanatopoulou, «Center of Stiffness, Principal Axes and Principal Start Point of Thin-Walled Open-Sections of Cores: A New Modified Calculation Technique Based on Vlasov Torsion Theory», *Buildings*, vol. 12, n.º 11, p. 1804, oct. 2022, doi: 10.3390/buildings12111804.
- [41] Alba J, «Diseño y simulación de una cortadora de materiales del tipo waterjet para uso industrial». Universidad Santo Tomas, 2019.
- [42] J. Wang, «A machinability study of polymer matrix composites using abrasive waterjet cutting technology», *J. Mater. Process. Technol.*, vol. 94, n.º 1, pp. 30-35, sep. 1999, doi: 10.1016/S0924-0136(98)00443-9.
- [43] J. M. Llanto, M. Tolouei-Rad, A. Vafadar, y M. Aamir, «Recent Progress Trend on Abrasive Waterjet Cutting of Metallic Materials: A Review», *Appl. Sci.*, vol. 11, n.º 8, p. 3344, abr. 2021, doi: 10.3390/app11083344.
- [44] P. Badgujar y M. G. Rathi, «Analysis Of Surface Roughness In Abrasive Waterjet Cutting Of Stainless Steel», *Int. J. Eng. Res.*, vol. 3, n.º 6, 2014.
- [45] Y. G. Álvarez, «Estudio de la tecnología de corte por chorro de agua».
- [46] C. A. Álvarez Vargas y Y. M. Orozco Ocampo, *Guía: laboratorio de comportamiento mecánico de materiales*. Editorial Universidad Autónoma de Manizales, 2022. Accedido: 25 de mayo de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://elibro.net/es/ereader/uta/217478>
- [47] K. Herrmann, *Hardness Testing: Principles and Applications*. ASM International, 2011.
- [48] W. F. Hosford, *Mechanical Behavior of Materials*. Cambridge University Press, 2005.
- [49] Mikell P. Groover, *Fundamentos de manufactura moderna*, Tercera. Mc Graw Hill, 2007.
- [50] E28 Committee, «Test Method for Brinell Hardness of Metallic Materials», ASTM International. doi: 10.1520/E0010-15.
- [51] Jesus del Río, *Conformación plástica de materiales metálicos (en frío y en caliente)*, Primera edición. España: Cie Inversiones Editoriales Dossat 2000, S. L., 2005.
- [52] Mikell P. Groover, *Fundamentals of Modern Manufacturing Materials, Processes, and Systems*, 4th Edition. 2010.
- [53] L. Gardner y X. Yun, «Description of stress-strain curves for cold-formed steels», *Constr. Build. Mater.*, vol. 189, pp. 527-538, nov. 2018, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2018.08.195.
- [54] E04 Committee, «Guide for Preparation of Metallographic Specimens», ASTM International. doi: 10.1520/E0003-11R17.
- [55] E04 Committee, «Test Methods for Determining Average Grain Size», ASTM International. doi: 10.1520/E0112-13.
- [56] F. M. Guzhñay Miranda, «Estudio del comportamiento del acero A36 mediante ensayos de tracción para determinar fallas en elementos estructurales, mediante la norma ASTM E-8», bachelorThesis, Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica. Carrera de Ingeniería Mecánica., 2012. Accedido: 3 de octubre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/3035>
- [57] E28 Committee, «Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials», ASTM International. doi: 10.1520/E0008_E0008M-13A.
- [58] ISO 6892-1, «Metallic materials-Tensile testing». ISO, 2019.

ANEXOS

Anexo A

Resumen del número y detalles de los datos experimentales del acero conformado en frío.

Section type	Steel grade	No. of tests	t(mm)	r(mm)	f_y (MPa)	f_u (MPa)
SHS/RHS	S700, S900, S1100 ^a	7	4.00-8.00	4.5-12.0	719-1114	834-1199
SHS	S500, S700, S960 ^a	9	3.00-7.00	3.0-11.5	567-1114	648-1207
SHS/RHS	700, 900, 1100 (MPa) ^e	11	3.92-5.96	3.5-7.5	663-1005	808-1153
SHS/RHS	235 (MPa) ^e	6	8.00-12.00	9.5-20.6	256-261	377-433
SHS/RHS	345 (MPa) ^e	5	8.00-12.00	10.5-20.6	368-511	505-604
SHS/RHS	235 (MPa) ^e	5	3.00-4.00	2.0-6.4	378-445	413-471
SHS/RHS	300 (MPa) ^e	13	1.60-5.00	1.6-5.4	373-476	450-544
SHS/RHS	S335 ^a	4	4.62-5.86	3.6-8.5	384-478	511-549
C-section	Q234, Q345 ^b	5	3.00-16.00	2.6-14.0	270-371	406-516
C-section	G450 ^f	2	1.60	3.20	505-514	535
C-section	G500 ^c	5	1.20	1.30	590-600	619-600
C-section	. ^f	3	1.50	2.50	441-450	523-525
C-section	A36, A588 ^d	4	12.4-13.8	38-84	295-416	473-576
Octagonal	Q460 ^b	4	3.04-5.83	7.0-13.5	538-582	620-670
Octagonal	Q460 ^b	10	3.03-5.83	7.0-13.5	541-581	623-669
Octagonal	355 (MPa) ^e	3	5.53-5.55	13.3-13.3	389	506
Octagonal	S690 ^a	6	5.89-9.94	13.8-15.2	753-766	795-805
		102				

a Especificación según EN 1993-1-1

b Especificación según GB 50017-2017

c Especificación según la norma australiana AS 1397

d Especificación según la norma AISI S100

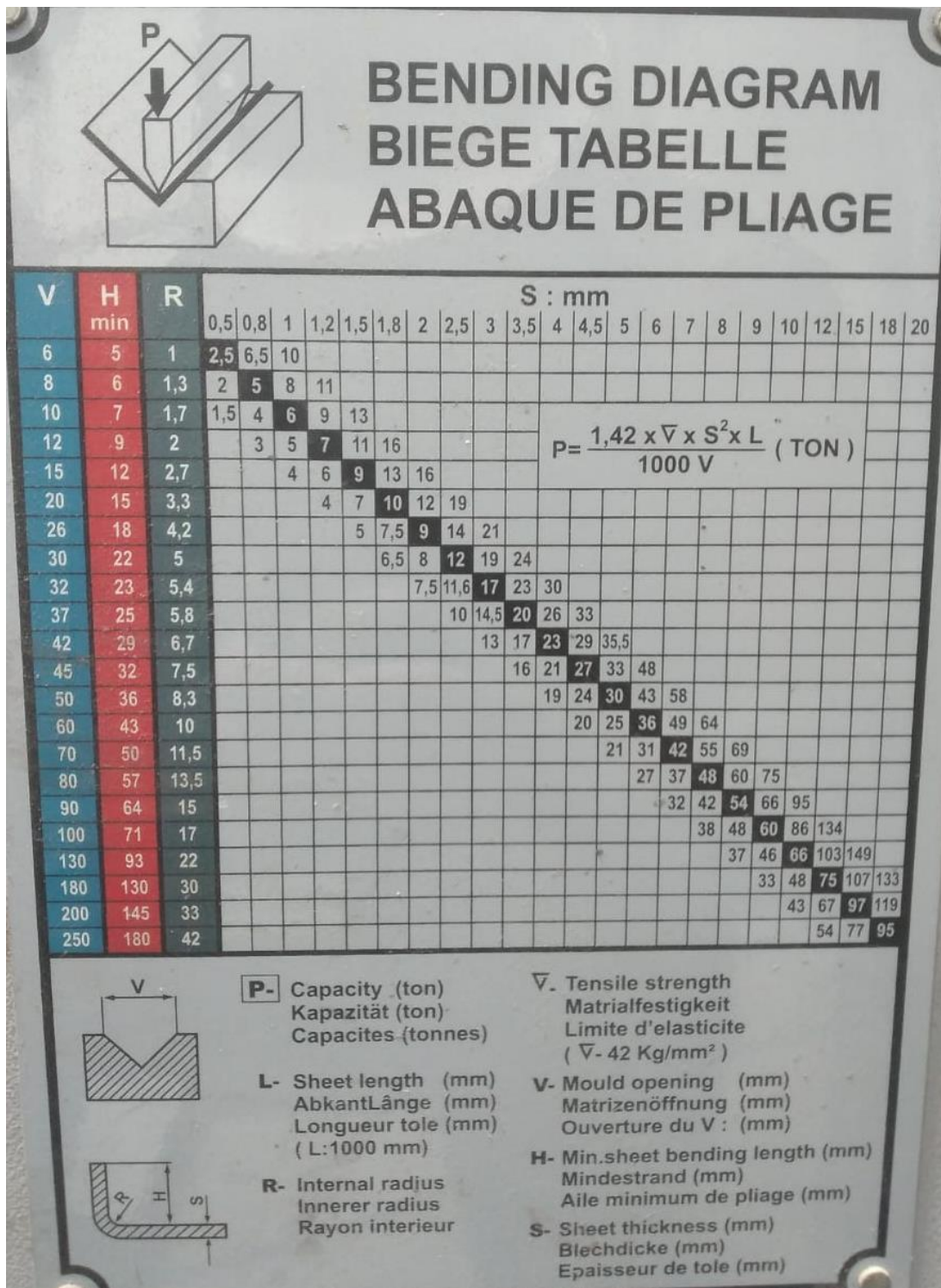
e Límite elástico nominal

f Valores no facilitados

Se realizaron cien pruebas para estudiar el aumento del límite elástico en las esquinas de secciones de canal conformadas en frío a partir de placas de acero A36 y A588 de ½ pulgada y 1 pulgada. Se encontró que la disposición de diseño AISI para el cálculo del límite elástico de las esquinas mantiene un buen resultado para láminas y placas de acero gruesas que mantienen una tensión-deformación aguda con una pequeña meseta para laminas y tiras laminadas en frío.

Anexo B

Datos para el cálculo de la presión en toneladas para el doblado de las placas



Anexo C

Tablas de tamaño de diámetro para dureza Brinell

Diameter of Ball Indenter <i>D/mm</i>				0.102×F/D ²					
				30	15	10	5	2.5	1
Testing Force <i>F/N</i>				Testing Force					
				<i>F/N</i>					
10	5	2.5	1	29420	14710	9807	4903	2452	980.7
				7355	—	2452	1226	612.9	245.2
				1839	—	612.9	306.5	153.2	61.29
				2942	—	98.07	49.03	24.52	9.807
Average Diameter of Indentation <i>D/mm</i>				Brinell Hardness Value HBW					
3.71	1.855	0.927 5	0.371	268	134	89.2	44.6	22.3	8.82
3.72	1.880	0.930 0	0.372	268	133	88.7	44.4	22.2	8.87
3.73	1.865	0.932 5	0.373	265	132	88.2	44.1	22.1	8.82
3.74	1.870	0.935 0	0.374	263	132	87.7	43.9	21.9	8.77
3.75	1.875	0.937 5	0.375	262	131	87.2	43.6	21.8	8.72
3.76	1.880	0.940 0	0.376	260	130	86.8	43.4	21.7	8.68
3.77	1.885	0.942 5	0.377	259	129	86.3	43.1	21.6	8.63
3.78	1.890	0.945 0	0.378	257	129	85.8	42.9	21.5	8.58
3.79	1.895	0.947 5	0.379	256	128	85.3	42.7	21.3	8.53
3.80	1.900	0.950 0	0.380	255	127	84.9	42.4	21.2	8.49
3.81	1.902	0.952 5	0.381	253	127	84.4	42.2	21.1	8.44
3.82	1.910	0.955 0	0.382	252	126	83.9	42.0	21.0	8.39
3.83	1.915	0.957 5	0.383	250	125	83.5	41.7	20.9	8.35
3.84	1.920	0.960 0	0.384	249	125	83.0	41.5	20.8	8.30
3.85	1.925	0.962 5	0.385	248	124	82.6	41.3	20.6	8.26
3.86	1.930	0.965 0	0.386	246	123	82.1	41.1	20.5	8.21
3.87	1.935	0.967 5	0.387	245	123	81.7	40.9	20.4	8.17
3.88	1.940	0.970 0	0.388	244	122	81.3	40.8	20.3	8.13
3.89	1.945	0.972 5	0.389	242	121	80.8	40.4	20.2	8.08
3.90	1.950	0.975 0	0.390	241	121	80.4	40.2	20.1	8.04
3.91	1.955	0.977 5	0.391	240	120	80.0	40.0	20.0	8.00
3.92	1.960	0.980 0	0.392	239	119	79.5	39.8	19.9	7.95
3.93	1.965	0.982 5	0.393	237	119	79.1	39.6	19.8	7.91
3.94	1.970	0.985 0	0.394	236	118	78.7	39.4	19.7	7.87
3.95	1.975	0.987 5	0.395	235	117	78.3	39.1	19.6	7.83
3.96	1.980	0.990 0	0.396	234	117	77.9	38.9	19.5	7.79
3.97	1.985	0.992 5	0.397	232	116	77.5	38.7	19.4	7.75
3.98	1.990	0.995 0	0.398	231	116	77.1	38.5	19.3	7.71
3.99	1.995	0.997 5	0.399	230	115	76.7	38.3	19.2	7.67
4.00	2.000	1.000 0	0.400	229	114	76.3	38.1	19.1	7.63
4.01	2.005	1.002 5	0.401	228	114	75.9	37.9	19.0	7.59
4.02	2.010	1.005 0	0.402	226	113	75.5	37.7	18.9	7.55
4.03	2.015	1.007 5	0.403	225	113	75.5	37.5	18.8	7.51
4.04	2.020	1.010 0	0.404	224	112	74.7	37.3	18.7	7.47

Diameter of Ball Indenter <i>D/mm</i>				0.102×F/D ²					
				30	15	10	5	2.5	1
				Testing Force <i>F/N</i>					
10				29420	14710	9807	4903	2452	980.7
5				7355	—	2452	1226	612.9	245.2
2.5				1839	—	612.9	306.5	153.2	61.29
1				294.2	—	98.07	49.03	24.52	9.807
Average Diameter of Indentation <i>D/mm</i>				Brinell Hardness Value HBW					
4.05	2.025	1.0125	0.405	223	111	74.3	37.1	18.6	7.43
4.08	2.030	1.0150	0.406	222	111	73.9	37.0	18.5	7.39
4.07	2.035	1.0175	0.407	221	110	73.5	36.8	18.4	7.35
4.08	2.040	1.0200	0.408	219	110	73.2	36.6	18.3	7.32
4.09	2.045	1.0225	0.409	218	109	72.8	36.4	18.2	7.28
4.10	2.050	1.0250	0.410	217	109	72.4	36.2	18.1	7.24
4.11	2.055	1.0275	0.411	218	108	72.0	36.0	18.0	7.20
4.12	2.060	1.0300	0.412	215	108	71.7	35.8	17.9	7.17
4.13	2.065	1.0325	0.413	214	107	71.3	35.7	17.8	7.13
4.14	2.070	1.0350	0.414	213	106	71.0	35.5	17.7	7.10
4.15	2.075	1.0375	0.415	212	108	70.6	35.3	17.8	7.06
4.16	2.080	1.0400	0.416	211	105	70.2	35.1	17.8	7.02
4.17	2.085	1.0425	0.417	210	105	69.9	34.9	17.5	6.99
4.18	2.090	1.0450	0.418	209	104	69.5	34.8	17.4	6.95
4.19	2.095	1.0475	0.419	208	104	69.2	34.6	17.3	6.92
4.20	2.100	1.0500	0.420	207	103	68.8	34.4	17.2	6.88
4.21	2.105	1.0525	0.421	205	103	68.5	34.2	17.1	6.85
4.22	2.110	1.0550	0.422	204	102	68.2	34.1	17.0	6.82
4.23	2.115	1.0575	0.423	203	102	67.8	33.9	17.0	6.78
4.24	2.120	1.0600	0.424	202	101	67.5	33.7	16.9	6.75
4.25	2.125	1.0625	0.425	201	101	67.1	33.6	16.8	6.71
4.26	2.130	1.0650	0.426	200	100	66.8	33.4	16.7	6.68
4.27	2.135	1.0675	0.427	199	99.7	66.5	33.2	16.6	6.65
4.28	2.140	1.0700	0.428	198	99.2	66.2	33.1	16.6	6.62
4.29	2.145	1.0725	0.429	198	98.8	65.8	32.9	16.5	6.58
4.30	2.150	1.0750	0.430	197	98.3	65.5	32.8	16.4	6.55
4.31	2.155	1.0775	0.431	198	97.8	65.2	32.6	16.3	6.52
4.32	2.160	1.0800	0.432	195	97.3	64.9	32.4	16.2	6.49
4.33	2.165	1.0825	0.433	194	96.8	64.6	32.3	16.1	6.46
4.34	2.170	1.0850	0.434	193	96.4	64.2	32.1	16.1	6.42
4.35	2.175	1.0875	0.435	192	95.9	63.9	32.0	16.0	6.39
4.36	2.180	1.0900	0.436	191	95.4	63.6	31.8	15.9	6.36
4.37	2.185	1.0925	0.437	190	95.0	63.3	31.7	15.8	6.33
4.38	2.190	1.0950	0.438	189	94.5	63.0	31.5	15.8	6.30

Diameter of Ball Indenter <i>D/mm</i>				0.102 × F/D ²					
				30	15	10	5	2.5	1
				Testing Force <i>F/N</i>					
				29420	14710	9807	4903	2452	980.7
10	5	2.5	1	7355	—	2452	1226	612.9	245.2
1839				—	612.9	306.5	153.2	61.29	
				2942	—	98.07	49.03	24.52	9.807
Average Diameter of Indentation <i>D/mm</i>				Brinell Hardness Value <i>HBW</i>					
4.39	2.195	1.0975	0.439	188	94.1	62.7	31.4	15.7	6.27
4.40	2.200	1.1000	0.440	187	93.6	62.4	31.2	15.6	6.24
4.41	2.205	1.1025	0.441	186	93.2	62.1	31.1	15.5	6.21
4.42	2.210	1.1050	0.442	185	92.7	61.8	30.9	15.5	6.18
4.43	2.215	1.1075	0.443	185	92.3	61.5	30.8	15.4	6.15
4.44	2.220	1.1100	0.444	184	91.8	61.2	30.6	15.3	6.12
4.45	2.225	1.1125	0.445	183	91.4	60.9	30.5	15.2	6.09
4.46	2.230	1.1150	0.446	182	91.0	60.6	30.3	15.2	6.06
4.47	2.235	1.1175	0.447	181	90.5	60.4	30.2	15.1	6.04
4.48	2.240	1.1200	0.448	180	90.1	60.1	30.0	15.0	6.01
4.49	2.245	1.1225	0.449	179	89.7	59.8	29.9	14.9	5.98
4.50	2.250	1.1250	0.450	179	89.3	59.5	29.8	14.9	5.95
4.51	2.255	1.1275	0.451	178	88.9	59.2	29.6	14.8	5.92
4.52	2.260	1.1300	0.452	177	88.4	59.0	29.5	14.7	5.90
4.53	2.265	1.1325	0.453	176	88.0	58.7	29.3	14.7	5.87
4.54	2.270	1.1350	0.454	175	87.6	58.4	29.2	14.6	5.84
4.55	2.275	1.1375	0.455	174	87.2	58.1	29.1	14.5	5.81
4.56	2.280	1.1400	0.456	174	86.8	57.9	28.9	14.5	5.79
4.57	2.285	1.1425	0.457	173	86.4	57.6	28.8	14.4	5.76
4.58	2.290	1.1450	0.458	172	86.0	57.3	28.7	14.3	5.73
4.59	2.295	1.1475	0.459	171	85.8	57.1	28.5	14.3	5.71
4.60	2.300	1.1500	0.460	170	85.2	56.8	28.4	14.2	5.68
4.61	2.305	1.1525	0.461	170	84.8	56.5	28.3	14.1	5.65
4.62	2.310	1.1550	0.462	169	84.4	56.3	28.1	14.1	5.63
4.63	2.315	1.1575	0.463	168	84.0	56.0	28.0	14.0	5.60
4.64	2.320	1.1600	0.464	167	83.6	55.8	27.9	13.9	5.58
4.65	2.325	1.1625	0.465	167	83.3	55.5	27.8	13.9	5.55
4.66	2.330	1.1650	0.466	166	82.9	55.3	27.6	13.8	5.53
4.67	2.335	1.1675	0.467	165	82.5	55.0	27.5	13.8	5.50
4.68	2.340	1.1700	0.468	164	82.1	54.8	27.4	13.7	5.48
4.69	2.345	1.1725	0.469	164	81.8	54.5	27.3	13.6	5.45
4.70	2.350	1.1750	0.470	163	81.4	54.3	27.1	13.6	5.43
4.71	2.355	1.1775	0.471	162	81.0	54.0	27.0	13.5	5.40
4.72	2.360	1.1800	0.472	161	80.7	53.8	26.9	13.4	5.38

Diameter of Ball Indenter <i>D/mm</i>				0.102 × F/D ²					
				30	15	10	5	2.5	1
				Testing Force <i>F/N</i>					
10				29420	14710	9807	4903	2452	980.7
	5			7355	—	2452	1226	612.9	245.2
		2.5		1839	—	612.9	306.5	153.2	61.29
			1	294.2	—	98.07	49.03	24.52	9.807
Average Diameter of Indentation <i>D/mm</i>				Brinell Hardness Value HBW					
4.73	2.365	1.1825	0.473	161	80.3	53.5	26.8	13.4	5.35
4.74	2.370	1.1850	0.474	160	79.9	53.3	26.6	13.3	5.33
4.75	2.375	1.1875	0.475	159	79.6	53.0	26.5	13.3	5.30
4.76	2.380	1.1900	0.476	158	79.2	52.8	26.4	13.2	5.28
4.77	2.385	1.1925	0.477	158	78.9	52.6	26.3	13.1	5.26
4.78	2.390	1.1950	0.478	157	78.5	52.3	26.2	13.1	5.23
4.79	2.395	1.1975	0.479	156	78.2	52.1	26.1	13.0	5.21
4.80	2.400	1.2000	0.480	156	77.8	51.9	25.9	13.0	5.19
4.81	2.405	1.2025	0.481	155	77.5	51.6	25.8	12.9	5.16
4.82	2.410	1.2050	0.482	154	77.1	51.4	25.7	12.9	5.14
4.83	2.415	1.2075	0.483	154	76.8	51.2	25.6	12.8	5.12
4.84	2.420	1.2100	0.484	153	76.4	51.0	25.5	12.7	5.10
4.85	2.425	1.2125	0.485	152	76.1	50.7	25.4	12.7	5.07
4.88	2.430	1.2150	0.486	152	75.8	50.5	25.3	12.6	5.05
4.87	2.435	1.2175	0.487	151	75.4	50.3	25.1	12.6	5.03
4.88	2.440	1.2200	0.488	150	75.1	50.1	25.0	12.6	5.01
4.89	2.445	1.2225	0.489	150	74.8	49.8	24.9	12.5	4.98
4.90	2.450	1.2250	0.490	149	74.4	49.6	24.8	12.4	4.96
4.91	2.455	1.2275	0.491	148	74.1	49.4	24.7	12.4	4.94
4.92	2.460	1.2300	0.492	148	73.8	49.2	24.6	12.3	4.92
4.93	2.465	1.2325	0.493	147	73.5	49.0	24.5	12.2	4.90
4.94	2.470	1.2350	0.494	146	73.2	48.8	24.4	12.2	4.88
4.95	2.475	1.2375	0.495	146	72.8	48.6	24.3	12.1	4.86
4.96	2.480	1.2400	0.496	145	72.5	48.3	24.2	12.1	4.83
4.97	2.485	1.2425	0.497	144	72.2	48.1	24.1	12.0	4.81
4.98	2.490	1.2450	0.498	144	71.9	47.9	24.0	12.0	4.79
4.99	2.495	1.2475	0.499	143	71.6	47.7	23.9	11.9	4.77
5.00	2.500	1.2500	0.500	143	71.3	47.5	23.8	11.9	4.75
5.01	2.505	1.2525	0.501	142	71.0	47.3	23.7	11.8	4.73
5.02	2.510	1.2550	0.502	141	70.7	47.1	23.6	11.8	4.71
5.03	2.515	1.2575	0.503	141	70.4	46.9	23.5	11.7	4.69
5.04	2.520	1.2600	0.504	140	70.1	46.7	23.4	11.7	4.67
5.05	2.525	1.2625	0.505	140	69.8	46.5	23.3	11.6	4.65
5.06	2.530	1.2650	0.506	139	69.5	46.3	23.2	11.6	4.63

Diameter of Ball Indenter <i>D/mm</i>				0.102 × F/D ²																																			
				30	15	10	5	2.5	1																														
Testing Force <i>F/N</i>				lb																																			
				10						5						2.5						1																	
10				29420	14710	9807	4903	2452	980.7	5				7355	—	2452	1226	612.9	245.2	2.5				1839	—	612.9	306.5	153.2	61.29	1				2942	—	98.07	49.03	24.52	9.807
Average Diameter of Indentation <i>D/mm</i>				Brinell Hardness Value HBW																																			
5.07	2.535	1.267 5	0.507	138	68.2	46.1	23.1	11.5	4.61																														
5.08	2.540	1.270 0	0.508	138	68.9	45.9	23.0	11.5	4.59																														
5.09	2.545	1.272 5	0.509	137	68.6	45.7	22.9	11.4	4.57																														
5.10	2.550	1.275 0	0.510	137	68.3	45.5	22.8	11.4	4.55																														
5.11	2.555	1.277 5	0.511	136	68.0	45.3	22.7	11.3	4.53																														
5.12	2.560	1.280 0	0.512	135	67.7	45.1	22.6	11.3	4.51																														
5.13	2.565	1.282 5	0.513	135	67.4	45.0	22.5	11.2	4.50																														
5.14	2.570	1.285 0	0.514	134	67.1	44.8	22.4	11.2	4.48																														
5.15	2.575	1.287 5	0.515	134	66.9	44.6	22.3	11.1	4.46																														
5.16	2.580	1.290 0	0.516	133	66.6	44.4	22.2	11.1	4.44																														
5.17	2.585	1.292 5	0.517	133	66.3	44.2	22.1	11.1	4.42																														
5.18	2.590	1.295 0	0.518	132	66.0	44.0	22.0	11.0	4.40																														
5.19	2.595	1.297 5	0.519	132	65.8	43.8	21.9	11.0	4.38																														
5.20	2.600	1.300 0	0.520	131	65.5	43.7	21.8	10.9	4.37																														
5.21	2.605	1.302 5	0.521	130	65.2	43.5	21.7	10.9	4.35																														
5.22	2.610	1.305 0	0.522	130	64.9	43.3	21.6	10.8	4.33																														
5.23	2.615	1.307 5	0.523	129	64.7	43.1	21.6	10.8	4.31																														
5.24	2.620	1.310 0	0.524	129	64.4	42.9	21.5	10.7	4.29																														
5.25	2.625	1.312 5	0.525	128	64.1	42.8	21.4	10.7	4.28																														
5.26	2.630	1.315 0	0.526	128	63.9	42.6	21.3	10.6	4.26																														
5.27	2.635	1.317 5	0.527	127	63.6	42.4	21.2	10.6	4.24																														
5.28	2.640	1.320 0	0.528	127	63.3	42.2	21.1	10.6	4.22																														
5.29	2.645	1.322 5	0.529	126	63.1	42.1	21.0	10.5	4.21																														
5.30	2.650	1.325 0	0.530	126	62.8	41.9	20.9	10.5	4.19																														
5.31	2.655	1.327 5	0.531	125	62.6	41.7	20.9	10.4	4.17																														
5.32	2.660	1.330 0	0.532	125	62.3	41.5	20.8	10.4	4.15																														
5.33	2.665	1.332 5	0.533	124	62.1	41.4	20.7	10.3	4.14																														
5.34	2.670	1.335 0	0.534	124	61.8	41.2	20.6	10.3	4.12																														
5.35	2.675	1.337 5	0.535	123	61.5	41.0	20.5	10.3	4.10																														
5.36	2.680	1.340 0	0.536	123	61.3	40.9	20.4	10.2	4.09																														
5.37	2.685	1.342 5	0.537	122	61.0	40.7	20.3	10.2	4.07																														
5.38	2.690	1.345 0	0.538	122	60.8	40.5	20.3	10.1	4.05																														
5.39	2.695	1.347 5	0.539	121	60.6	40.4	20.2	10.1	4.04																														
5.40	2.700	1.350 0	0.540	121	60.3	40.2	20.1	10.1	4.02																														

Diameter of Ball Indenter <i>D/mm</i>				0.102 × F/D ²					
				30	15	10	5	2.5	1
				Testing Force					
				<i>F/N</i>					
10				29420	14710	9807	4903	2452	980.7
5				7355	—	2452	1226	612.9	245.2
2.5				1839	—	612.9	306.5	153.2	61.29
1				294.2	—	98.07	49.03	24.52	9.807
Average Diameter of Indentation <i>D/mm</i>				Brinell Hardness Value HBW					
5.41	2.705	1.3525	0.541	120	60.1	40.0	20.9	10.0	4.00
5.42	2.710	1.3550	0.542	120	59.8	39.9	19.9	9.97	3.99
5.43	2.715	1.3575	0.543	119	59.6	39.7	19.9	9.93	3.97
5.44	2.720	1.3600	0.544	119	59.3	39.6	19.8	9.89	3.96
5.45	2.725	1.3625	0.545	118	59.1	39.4	19.7	9.85	3.94
5.46	2.730	1.3650	0.546	118	58.9	39.2	19.6	9.81	3.92
5.47	2.735	1.3675	0.547	117	58.6	39.1	19.5	9.77	3.91
5.48	2.740	1.3700	0.548	117	58.4	38.9	19.5	9.73	3.89
5.49	2.745	1.3725	0.549	116	58.2	38.8	19.4	9.69	3.88
5.50	2.750	1.3750	0.550	116	57.9	38.6	19.3	9.66	3.88
5.51	2.755	1.3775	0.551	115	57.7	38.5	19.2	9.62	3.85
5.52	2.760	1.3800	0.552	115	57.5	38.3	19.2	9.58	3.83
5.53	2.765	1.3825	0.553	114	57.2	38.2	19.1	9.54	3.82
5.54	2.770	1.3850	0.554	114	57.0	38.0	19.0	9.50	3.80
5.55	2.775	1.3875	0.555	114	56.8	37.9	18.9	9.47	3.79
5.56	2.780	1.3900	0.556	113	56.6	37.7	18.9	9.43	3.77
5.57	2.785	1.3925	0.557	113	56.3	37.6	18.8	9.39	3.76
5.58	2.790	1.3950	0.558	112	56.1	37.4	18.7	9.35	3.74
5.59	2.795	1.3975	0.559	112	55.9	37.3	18.6	9.32	3.73
5.60	2.800	1.4000	0.560	111	55.7	37.1	18.6	9.28	3.71
5.61	2.805	1.4025	0.561	111	55.5	37.0	18.5	9.24	3.70
5.62	2.810	1.4050	0.562	110	55.2	36.8	18.4	9.21	3.68
5.63	2.815	1.4075	0.563	110	55.0	36.7	18.3	9.17	3.67
5.64	2.820	1.4100	0.564	110	54.8	36.5	18.3	9.14	3.65
5.65	2.825	1.4125	0.565	109	54.6	36.4	18.2	9.10	3.64
5.66	2.830	1.4150	0.566	109	54.4	36.3	18.1	9.06	3.63
5.67	2.835	1.4175	0.567	108	54.2	36.1	18.1	9.03	3.61
5.68	2.840	1.4200	0.568	108	54.0	36.0	18.0	8.99	3.60
5.69	2.845	1.4225	0.569	107	53.7	35.8	17.9	8.96	3.58
5.70	2.850	1.4250	0.570	107	53.5	35.7	17.8	8.92	3.57
5.71	2.855	1.4275	0.571	107	53.3	35.6	17.8	8.89	3.56
5.72	2.860	1.4300	0.572	106	53.1	35.4	17.7	8.85	3.54
5.73	2.865	1.4325	0.573	106	52.9	35.3	17.6	8.82	3.53
5.74	2.870	1.4350	0.574	105	52.7	35.1	17.6	8.79	3.51


GB/T 231.1

Diameter of Ball Indenter <i>D/mm</i>				0.102×F/D ²					
				30	15	10	5	2.5	1
Testing Force				F/N					
				lb		F/N			
10	5	2.5	1	29420	14710	9807	4903	2452	980.7
				7355	—	2452	1226	612.9	245.2
				1839	187.5	612.9	306.5	153.2	61.29
				294.2	—	98.07	49.03	24.52	9.807
Average Diameter of Indentation <i>D/mm</i>				Brinell Hardness Value HBW					
5.75	2.875	1.4375	0.575	105	52.5	35.0	17.5	8.75	3.50
5.76	2.880	1.4400	0.576	105	52.3	34.9	17.4	8.72	3.49
5.77	2.885	1.4425	0.577	104	52.1	34.7	17.4	8.68	3.47
5.78	2.890	1.4450	0.578	104	51.9	34.6	17.3	8.65	3.46
5.79	2.895	1.4475	0.579	103	51.7	34.5	17.2	8.62	3.45
5.80	2.900	1.4500	0.580	103	51.5	34.3	17.2	8.59	3.43
5.81	2.905	1.4525	0.581	103	51.3	34.2	17.1	8.55	3.42
5.82	2.910	1.4550	0.582	102	51.1	34.1	17.0	8.52	3.41
5.83	2.915	1.4575	0.583	102	50.9	33.9	17.0	8.49	3.39
5.84	2.920	1.4600	0.584	101	50.7	33.8	16.9	8.45	3.38
5.85	2.925	1.4625	0.585	101	50.5	33.7	16.8	8.42	3.37
5.86	2.930	1.4650	0.586	101	50.3	33.6	16.8	8.39	3.36
5.87	2.935	1.4675	0.587	100	50.2	33.4	16.7	8.36	3.34
5.88	2.940	1.4700	0.588	99.9	50.0	33.3	16.7	8.33	3.33
5.89	2.945	1.4725	0.589	99.5	49.8	33.2	16.6	8.30	3.32
5.90	2.950	1.4750	0.590	99.2	49.6	33.1	16.5	8.28	3.31
5.91	2.955	1.4775	0.591	98.8	49.4	32.9	16.5	8.23	3.29
5.92	2.960	1.4800	0.592	98.4	49.2	32.8	16.4	8.20	3.28
5.93	2.965	1.4825	0.593	98.0	49.0	32.7	16.3	8.17	3.27
5.94	2.970	1.4850	0.594	97.7	48.8	32.6	16.3	8.14	3.26
5.95	2.975	1.4875	0.595	97.3	48.7	32.4	16.2	8.11	3.24
5.96	2.980	1.4900	0.596	96.9	48.5	32.3	16.2	8.08	3.23
5.97	2.985	1.4925	0.597	96.6	48.3	32.2	16.1	8.05	3.22
5.98	2.990	1.4950	0.598	96.2	48.1	32.1	16.0	8.02	3.21
5.99	2.995	1.4975	0.599	95.9	47.9	32.0	16.0	7.99	3.20
6.00	3.000	1.5000	0.600	95.5	47.7	31.8	15.9	7.96	3.18

Anexos D

Ensayos de tracción

Espesor de 6mm




LenMay

LABORATORIO
ENSAYO DE MATERIALES

Ing. J. Anibal Viñan B. MsC.

INFORME DE RESULTADOS					
ENSAYO DE TRACCIÓN			Denominación: RG 18 - 1		
			N° 01		
SOLICITADO POR:	Edward Mayancha - Boris Quizhpe				
PROYECTO DE TESIS:	"MODELO DE MATERIAL PARA PERFILES CONFORMADOS EN FRÍO DE SECCIÓN TRANSVERSAL UV DE ACERO A36 PARA ESPESORES DE 6 mm Y 8mm."				
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	P1-1A-6-1	P1-1A-6-2	P1-1A-6-3	P1-1A-6-4	P1-1A-6-5
CARACTERÍSTICA	PROBETA	PROBETA	PROBETA	PROBETA	PROBETA
ESPESOR [mm]	6	5,94	5,97	5,97	5,99
ANCHURA [mm]	6,29	6,24	6,19	6,19	6,27
LONGITUD INICIAL [mm]	25	25	25	25	25
SECCION TRANSVERSAL [mm ²]	37,74	37,07	36,95	36,95	37,56
MODULO DE ELASTICIDAD [GPa]	1,602,E+02	1,643,E+02	1,730,E+02	1,640,E+02	1,500,E+02
CARGA DE FLUENCIA [kN]	10,68	10,14	9,02	8,86	8,82
ESFUERZO DE FLUENCIA [MPa]	282,99	273,57	244,09	239,76	234,84
CARGA MAXIMA [kN]	15,32	14,54	13,60	13,40	13,30
ESFUERZO MAXIMO [MPa]	405,94	392,28	368,02	362,61	354,13
PORCENTAJE DE ELONGACION [%]	39,50	39,50	41,00	43,50	43,50
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

📍 Calle Roma N° 7 y Padua, Cdla. Politécnica 📞 (03) 2 924420 - 📠 0987260955
✉️ jvinan54@yahoo.es - Riobamba - Ecuador

INFORME DE RESULTADOS					
ENSAYO DE TRACCIÓN			Denominación: RG 18 - 1		
			N° 02		
SOLICITADO POR:	Edward Mayancho - Boris Quizhpe				
PROYECTO DE TESIS:	"MODELO DE MATERIAL PARA PERFILES CONFORMADOS EN FRÍO DE SECCIÓN TRANSVERSAL UV DE ACERO A36 PARA ESPESORES DE 6 mm Y 8mm."				
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	6	7	8	9	10
DESIGNACIÓN DEL MATERIAL	P1-IC-6-6	P1-IC-6-7	P1-IC-6-8	P1-IC-6-9	P1-IC-6-10
CARACTERÍSTICA	PROBETA	PROBETA	PROBETA	PROBETA	PROBETA
ESPESOR [mm]	5,73	5,85	6,02	5,87	5,84
ANCHURA [mm]	6,44	6,42	6,37	6,37	6,43
LONGITUD INICIAL [mm]	25	25	25	25	25
SECCION TRANSVERSAL [mm ²]	36,90	37,56	38,35	37,39	37,55
MODULO DE ELASTICIDAD [GPa]	1,507,E+02	1,449,E+02	1,423,E+02	1,519,E+02	1,483,E+02
CARGA DE FLUENCIA [kN]	16,12	15,56	15,32	15,14	14,20
ESFUERZO DE FLUENCIA [MPa]	436,84	414,30	399,51	404,90	378,15
CARGA MAXIMA [kN]	18,62	18,26	18,12	17,28	16,44
ESFUERZO MAXIMO [MPa]	504,59	486,19	472,52	462,13	437,80
PORCENTAJE DE ELONGACION [%]	16,00	17,00	20,50	24,50	17,50
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° 03					
SOLICITADO POR:	Edward Mayancha - Boris Quizhpe				
PROYECTO DE TESIS:	"MODELO DE MATERIAL PARA PERFILES CONFORMADOS EN FRÍO DE SECCIÓN TRANSVERSAL UV DE ACERO A36 PARA ESPESORES DE 6 mm Y 8mm."				
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:	19-nov-23				
EQUIPO UTILIZADO: MÁQUINA UNIVERSAL DE ENSAYOS - WAW600B					
MARCA: JINAN LIANGONG TESTING TECHNOLOGY CO., LTD					
SERIE: 7136	CERTIFICADO: LNM-F-2016500064D			CÓD IDENT: M2	
NÚMERO DE LA MUESTRA	11	12	13	14	15
DESIGNACIÓN DEL MATERIAL	P1-2C-6-11	P1-E-6-12	P1-E-6-13	P1-E-6-14	P1-E-6-15
CARACTERÍSTICA	PROBETA	PROBETA	PROBETA	PROBETA	PROBETA
ESPEJOR [mm]	5,95	5,96	5,98	5,96	5,98
ANCHURA [mm]	6,46	6,16	6,39	6,28	6,29
LONGITUD INICIAL [mm]	25	25	25	25	25
SECCION TRANSVERSAL [mm ²]	38,44	36,71	38,21	37,43	37,61
MODULO DE ELASTICIDAD [GPa]	1,519,E+02	1,693,E+02	1,541,E+02	1,661,E+02	1,526,E+02
CARGA DE FLUENCIA [kN]	14,96	9,12	9,62	10,76	8,12
ESFUERZO DE FLUENCIA [MPa]	389,21	248,41	251,75	287,48	215,88
CARGA MAXIMA [kN]	17,14	13,72	14,28	15,42	12,74
ESFUERZO MAXIMO [MPa]	445,92	373,70	373,70	411,98	338,70
PORCENTAJE DE ELONGACION [%]	19,00	42,50	43,00	43,00	40,50
TIPO DE FRACTURA	T.C	T.C	T.C	T.C	T.C
OBSERVACIONES:	T.C = TAZA Y CONO				

Aprobado por:

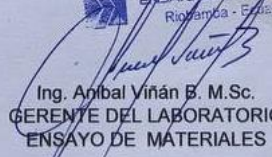

 Ing. Anibal Viñan B. M.Sc.
 GERENTE DEL LABORATORIO
 ENSAYO DE MATERIALES

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° 04		
SOLICITADO POR:	Edward Mayancha - Boris Quizhpe				
PROYECTO DE TESIS:	"MODELO DE MATERIAL PARA PERFILES CONFORMADOS EN FRÍO DE SECCIÓN TRANSVERSAL UV DE ACERO A36 PARA ESPESORES DE 6 mm Y 8mm."				
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:	19-nov-23				
EQUIPO UTILIZADO: MÁQUINA UNIVERSAL DE ENSAYOS - WAW600B					
MARCA: JINAN LIANGONG TESTING TECHNOLOGY CO., LTD					
SERIE: 7136	CERTIFICADO: LNM-F-201650064D			CÓD IDENT: M2	
NÚMERO DE LA MUESTRA	16	17	18	19	20
DESIGNACIÓN DEL MATERIAL	P1-E-6-16	P1-2A-6-17	P1-2A-6-18	P1-2A-6-19	P1-2A-6-20
CARACTERÍSTICA	PROBETA	PROBETA	PROBETA	PROBETA	PROBETA
ESPEJOR [mm]	5,93	5,95	5,98	6	5,98
ANCHURA [mm]	6,35	6,24	6,31	6,43	6,39
LONGITUD INICIAL [mm]	25	25	25	25	25
SECCION TRANSVERSAL [mm ²]	37,66	37,13	37,73	38,58	38,21
MODULO DE ELASTICIDAD [GPa]	1,153,E+02	1,765,E+02	1,487,E+02	1,559,E+02	1,464,E+02
CARGA DE FLUENCIA [kN]	10,60	10,02	9,02	7,32	8,06
ESFUERZO DE FLUENCIA [MPa]	281,50	269,88	239,04	189,74	210,93
CARGA MAXIMA [kN]	15,20	14,72	13,62	11,88	12,62
ESFUERZO MAXIMO [MPa]	403,66	396,47	360,95	307,93	330,26
PORCENTAJE DE ELONGACION [%]	43,50	45,50	39,50	39,50	39,00
TIPO DE FRACTURA	T.C	T.C	T.C	T.C	T.C
OBSERVACIONES: T.C = TAZA Y CONO					

Aprobado por:


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


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

1/1

Espesor de 8mm

INFORME DE RESULTADOS					
ENSAYO DE TRACCIÓN			Denominación: RG 18 - 1		
N° 01					
SOLICITADO POR:	Edward Mayancha - Boris Quizhpe				
PROYECTO DE TESIS:	"MODELO DE MATERIAL PARA PERFILES CONFORMADOS EN FRÍO DE SECCIÓN TRANSVERSAL UV DE ACERO A36 PARA ESPESORES DE 6 mm Y 8mm."				
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	P1-1A-8-1	P1-1A-8-2	P1-1A-8-3	P1-1A-8-4	P1-1A-8-5
CARACTERÍSTICA	PROBETA	PROBETA	PROBETA	PROBETA	PROBETA
ESPESOR [mm]	7,93	7,93	7,92	7,94	7,93
ANCHURA [mm]	6,32	6,52	6,54	6,33	6,18
LONGITUD INICIAL [mm]	25	25	25	25	25
SECCION TRANSVERSAL [mm ²]	50,12	51,70	51,80	50,26	49,01
MODULO DE ELASTICIDAD [GPa]	1,546,E+02	1,580,E+02	1,502,E+02	1,386,E+02	1,688,E+02
CARGA DE FLUENCIA [kN]	15,22	15,36	15,22	15,30	15,26
ESFUERZO DE FLUENCIA [MPa]	303,69	297,08	293,84	304,42	311,38
CARGA MAXIMA [kN]	21,34	21,52	21,26	21,50	21,54
ESFUERZO MAXIMO [MPa]	425,80	416,22	410,45	427,77	439,53
PORCENTAJE DE ELONGACION [%]	49,00	44,50	46,00	45,00	45,00
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:	Edward Mayancha - Boris Quizhpe				
PROYECTO DE TESIS:	"MODELO DE MATERIAL PARA PERFILES CONFORMADOS EN FRÍO DE SECCIÓN TRANSVERSAL UV DE ACERO A36 PARA ESPESORES DE 6 mm Y 8mm."				
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	6	7	8	9	10
DESIGNACIÓN DEL MATERIAL	P1-IC-8-6	P1-IC-8-7	P1-IC-8-8	P1-IC-8-9	P1-IC-8-10
CARACTERÍSTICA	PROBETA	PROBETA	PROBETA	PROBETA	PROBETA
ESPEJOR [mm]	7,81	7,84	7,78	7,85	7,72
ANCHURA [mm]	6,40	6,43	6,43	6,39	6,38
LONGITUD INICIAL [mm]	25	25	25	25	25
SECCION TRANSVERSAL [mm ²]	49,98	50,41	50,03	50,16	49,25
MODULO DE ELASTICIDAD [GPa]	1,696,E+02	1,658,E+02	1,807,E+02	1,696,E+02	1,855,E+02
CARGA DE FLUENCIA [kN]	22,50	23,28	24,08	23,94	23,78
ESFUERZO DE FLUENCIA [MPa]	450,14	461,80	481,36	477,26	482,81
CARGA MAXIMA [kN]	26,70	27,18	27,20	27,18	26,70
ESFUERZO MAXIMO [MPa]	534,17	539,17	543,72	541,85	542,09
PORCENTAJE DE ELONGACION [%]	20,00	22,50	20,50	17,00	27,00
TIPO DE FRACTURA	T.C	T.C	T.C	T.C	T.C
OBSERVACIONES:	T.C = TAZA Y CONO				

Aprobado por:

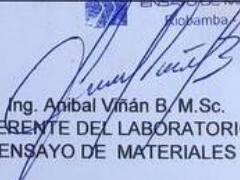

LenMaV
 LABORATORIO
 ENSAYO DE MATERIALES
 Ing. Anibal Viñan B. M.Sc.
 GERENTE DEL LABORATORIO
 ENSAYO DE MATERIALES

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:	Edward Mayancha - Boris Quizhpe				
PROYECTO DE TESIS:	"MODELO DE MATERIAL PARA PERFILES CONFORMADOS EN FRÍO DE SECCIÓN TRANSVERSAL UV DE ACERO A36 PARA ESPESORES DE 6 mm Y 8mm."				
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	11	12	13	14	15
DESIGNACIÓN DEL MATERIAL	P1-C-8-11	P1-E-8-12	P1-E-8-13	P1-E-8-14	P1-E-8-15
CARACTERÍSTICA	PROBETA	PROBETA	PROBETA	PROBETA	PROBETA
ESPEJOR [mm]	7,98	7,94	7,9	7,88	7,89
ANCHURA [mm]	6,39	6,22	6,58	6,56	6,5
LONGITUD INICIAL [mm]	25	25	25	25	25
SECCION TRANSVERSAL [mm ²]	50,99	49,39	51,98	51,69	51,29
MODULO DE ELASTICIDAD [GPa]	1,378,E+02	1,580,E+02	1,768,E+02	1,676,E+02	1,706,E+02
CARGA DE FLUENCIA [kN]	23,96	15,28	15,62	15,44	15,44
ESFUERZO DE FLUENCIA [MPa]	469,88	309,39	300,49	298,69	301,06
CARGA MAXIMA [kN]	27,08	21,64	21,82	21,62	21,74
ESFUERZO MAXIMO [MPa]	531,06	438,17	419,76	418,24	423,91
PORCENTAJE DE ELONGACION [%]	20,50	47,50	44,50	44,50	43,00
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 ^e		
N° 04					
SOLICITADO POR:	Edward Mayancha - Boris Quizhpe				
PROYECTO DE TESIS:	"MODELO DE MATERIAL PARA PERFILES CONFORMADOS EN FRÍO DE SECCIÓN TRANSVERSAL UV DE ACERO A36 PARA ESPESORES DE 6 mm Y 8mm."				
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	16	17	18	19	20
DESIGNACIÓN DEL MATERIAL	P1-2A-8-16	P1-2A-8-17	P1-2A-8-18	P1-2A-8-19	P1-2A-8-20
CARACTERÍSTICA	PROBETA	PROBETA	PROBETA	PROBETA	PROBETA
ESPESOR [mm]	7,94	7,91	7,94	7,92	7,92
ANCHURA [mm]	6,09	6,53	6,55	6,16	6,34
LONGITUD INICIAL [mm]	25	25	25	25	25
SECCION TRANSVERSAL [mm ²]	48,35	51,65	52,01	48,79	50,21
MODULO DE ELASTICIDAD [GPa]	1,700,E+02	1,728,E+02	1,606,E+02	1,874,E+02	1,899,E+02
CARGA DE FLUENCIA [kN]	15,44	15,16	13,84	13,94	13,28
ESFUERZO DE FLUENCIA [MPa]	319,31	293,50	266,12	285,73	264,47
CARGA MAXIMA [kN]	21,52	21,44	19,98	20,04	19,56
ESFUERZO MAXIMO [MPa]	445,05	415,08	384,18	410,76	389,54
PORCENTAJE DE ELONGACION [%]	44,50	42,50	45,50	47,50	42,00
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 este documento.

1/1

Anexo E

Tablas para determinar el número de grano, Norma ASTM E112

E 112

TABLE 4 Grain Size Relationships Computed for Uniform, Randomly Oriented, Equiaxed Grains

Grain Size No. <i>G</i>	\bar{N}_A Grains/Unit Area		\bar{A} Average Grain Area		\bar{d} Average Diameter		\bar{T} Mean Intercept		\bar{N}_L No./mm
	No./in. ² at 100X	No./mm ² at 1X	mm ²	μm ²	mm	μm	mm	μm	
00	0.25	3.88	0.2581	258064	0.5080	508.0	0.4525	452.5	2.21
0	0.50	7.75	0.1290	129032	0.3592	359.2	0.3200	320.0	3.12
0.5	0.71	10.96	0.0912	91239	0.3021	302.1	0.2691	269.1	3.72
1.0	1.00	15.50	0.0645	64516	0.2540	254.0	0.2263	226.3	4.42
1.5	1.41	21.92	0.0456	45620	0.2136	213.6	0.1903	190.3	5.26
2.0	2.00	31.00	0.0323	32258	0.1796	179.6	0.1600	160.0	6.25
2.5	2.83	43.84	0.0228	22810	0.1510	151.0	0.1345	134.5	7.43
3.0	4.00	62.00	0.0161	16129	0.1270	127.0	0.1131	113.1	8.84
3.5	5.66	87.68	0.0114	11405	0.1068	106.8	0.0951	95.1	10.51
4.0	8.00	124.00	0.00806	8065	0.0898	89.8	0.0800	80.0	12.50
4.5	11.31	175.36	0.00570	5703	0.0755	75.5	0.0673	67.3	14.87
5.0	16.00	248.00	0.00403	4032	0.0635	63.5	0.0566	56.6	17.68
5.5	22.63	350.73	0.00285	2851	0.0534	53.4	0.0476	47.6	21.02
6.0	32.00	496.00	0.00202	2016	0.0449	44.9	0.0400	40.0	25.00
6.5	45.25	701.45	0.00143	1426	0.0378	37.8	0.0336	33.6	29.73
7.0	64.00	992.00	0.00101	1008	0.0318	31.8	0.0283	28.3	35.36
7.5	90.51	1402.9	0.00071	713	0.0267	26.7	0.0238	23.8	42.04
8.0	128.00	1984.0	0.00050	504	0.0225	22.5	0.0200	20.0	50.00
8.5	181.02	2805.8	0.00036	356	0.0189	18.9	0.0168	16.8	59.46
9.0	256.00	3968.0	0.00025	252	0.0159	15.9	0.0141	14.1	70.71
9.5	362.04	5611.6	0.00018	178	0.0133	13.3	0.0119	11.9	84.09
10.0	512.00	7936.0	0.00013	126	0.0112	11.2	0.0100	10.0	100.0
10.5	724.08	11223.2	0.000089	89.1	0.0094	9.4	0.0084	8.4	118.9
11.0	1024.00	15872.0	0.000063	63.0	0.0079	7.9	0.0071	7.1	141.4
11.5	1448.15	22446.4	0.000045	44.6	0.0067	6.7	0.0060	5.9	168.2
12.0	2048.00	31744.1	0.000032	31.5	0.0056	5.6	0.0050	5.0	200.0
12.5	2896.31	44892.9	0.000022	22.3	0.0047	4.7	0.0042	4.2	237.8
13.0	4096.00	63488.1	0.000016	15.8	0.0040	4.0	0.0035	3.5	282.8
13.5	5792.62	89785.8	0.000011	11.1	0.0033	3.3	0.0030	3.0	336.4
14.0	8192.00	126976.3	0.000008	7.9	0.0028	2.8	0.0025	2.5	400.0

E 112

TABLA 5 Relación entre el Aumento utilizado y el Multiplicador Jeffries, f_j , para un Área de 5000 mm² (un círculo con un diámetro de 79.8-mm) ($f = 0.0002 M^2$)

Aumento Utilizado	Multiplicador Jeffries, f_j , para obtener granos/mm ²
1	0.0002
10	0.02
25	0.125
50	0.5
75 ^A	1.125
100	2.0
150	4.5
200	8.0
250	12.5
300	18.0
500	50.0
750	112.5
1000	200.0

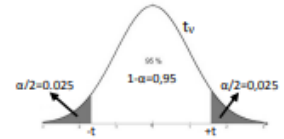
^A A un aumento de 75 diámetros, multiplicador Jeffries, f_j , se convierte en unidad si el área utilizada es 5625 mm² (un círculo de diámetro de 84.5-mm).

ANEXO F

Distribución t de Student

Distribución t de Student

Contiene los valores de t tales que $\frac{\alpha}{2} = P(t_v \geq t)$, donde v son los Grados de Libertad



v	α/2												
	0,0005	0,001	0,005	0,01	0,025	0,05	0,1	0,2	0,25	0,3	0,4	0,45	0,475
1	636,619	318,309	63,657	31,821	12,706	6,314	3,078	1,376	1,000	0,727	0,325	0,158	0,079
2	31,599	22,327	9,925	6,965	4,303	2,920	1,886	1,061	0,816	0,617	0,289	0,142	0,071
3	12,924	10,215	5,841	4,541	3,182	2,353	1,638	0,978	0,765	0,584	0,277	0,137	0,068
4	8,610	7,173	4,604	3,747	2,776	2,132	1,533	0,941	0,741	0,569	0,271	0,134	0,067
5	6,869	5,893	4,032	3,365	2,571	2,015	1,476	0,920	0,727	0,559	0,267	0,132	0,066
6	5,959	5,208	3,707	3,143	2,447	1,943	1,440	0,906	0,718	0,553	0,265	0,131	0,065
7	5,408	4,785	3,499	2,998	2,365	1,895	1,415	0,896	0,711	0,549	0,263	0,130	0,065
8	5,041	4,501	3,355	2,896	2,306	1,860	1,397	0,889	0,706	0,546	0,262	0,130	0,065
9	4,781	4,297	3,250	2,821	2,262	1,833	1,383	0,883	0,703	0,543	0,261	0,129	0,064
10	4,587	4,144	3,169	2,764	2,228	1,812	1,372	0,879	0,700	0,542	0,260	0,129	0,064
11	4,437	4,025	3,106	2,718	2,201	1,796	1,363	0,876	0,697	0,540	0,260	0,129	0,064
12	4,318	3,930	3,055	2,681	2,179	1,782	1,356	0,873	0,695	0,539	0,259	0,128	0,064
13	4,221	3,852	3,012	2,650	2,160	1,771	1,350	0,870	0,694	0,538	0,259	0,128	0,064
14	4,140	3,787	2,977	2,624	2,145	1,761	1,345	0,868	0,692	0,537	0,258	0,128	0,064
15	4,073	3,733	2,947	2,602	2,131	1,753	1,341	0,866	0,691	0,536	0,258	0,128	0,064
16	4,015	3,686	2,921	2,583	2,120	1,746	1,337	0,865	0,690	0,535	0,258	0,128	0,064
17	3,965	3,646	2,898	2,567	2,110	1,740	1,333	0,863	0,689	0,534	0,257	0,128	0,064
18	3,922	3,610	2,878	2,552	2,101	1,734	1,330	0,862	0,688	0,534	0,257	0,127	0,064
19	3,883	3,579	2,861	2,539	2,093	1,729	1,328	0,861	0,688	0,533	0,257	0,127	0,064
20	3,850	3,552	2,845	2,528	2,086	1,725	1,325	0,860	0,687	0,533	0,257	0,127	0,063
21	3,819	3,527	2,831	2,518	2,080	1,721	1,323	0,859	0,686	0,532	0,257	0,127	0,063
22	3,792	3,505	2,819	2,508	2,074	1,717	1,321	0,858	0,686	0,532	0,256	0,127	0,063
23	3,768	3,485	2,807	2,500	2,069	1,714	1,319	0,858	0,685	0,532	0,256	0,127	0,063
24	3,745	3,467	2,797	2,492	2,064	1,711	1,318	0,857	0,685	0,531	0,256	0,127	0,063
25	3,725	3,450	2,787	2,485	2,060	1,708	1,316	0,856	0,684	0,531	0,256	0,127	0,063
26	3,707	3,435	2,779	2,479	2,056	1,706	1,315	0,856	0,684	0,531	0,256	0,127	0,063
27	3,690	3,421	2,771	2,473	2,052	1,703	1,314	0,855	0,684	0,531	0,256	0,127	0,063
28	3,674	3,408	2,763	2,467	2,048	1,701	1,313	0,855	0,683	0,530	0,256	0,127	0,063
29	3,659	3,396	2,756	2,462	2,045	1,699	1,311	0,854	0,683	0,530	0,256	0,127	0,063
30	3,646	3,385	2,750	2,457	2,042	1,697	1,310	0,854	0,683	0,530	0,256	0,127	0,063
31	3,633	3,375	2,744	2,453	2,040	1,696	1,309	0,853	0,682	0,530	0,256	0,127	0,063
32	3,622	3,365	2,738	2,449	2,037	1,694	1,309	0,853	0,682	0,530	0,255	0,127	0,063
33	3,611	3,356	2,733	2,445	2,035	1,692	1,308	0,853	0,682	0,530	0,255	0,127	0,063
34	3,601	3,348	2,728	2,441	2,032	1,691	1,307	0,852	0,682	0,529	0,255	0,127	0,063
35	3,591	3,340	2,724	2,438	2,030	1,690	1,306	0,852	0,682	0,529	0,255	0,127	0,063
α	0,001	0,002	0,01	0,02	0,05	0,1	0,2	0,4	0,5	0,6	0,8	0,9	0,95