

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA.

ESCUELA DE CIVIL.

DISERTACIÓN PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO  
CIVIL

“EVALUACIÓN EXPERIMENTAL DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE  
LOS ACEROS ESTRUCTURALES, A-36, A-572 Y A-588, PARA LA OBTENCIÓN  
DE LOS DIAGRAMAS DE ESFUERZO-DEFORMACIÓN”.

AUTORES:

KARLA MISHELLE ESPINOZA DE LA VEGA  
ESTEBAN MAURICIO PAZMIÑO GUEVARA

DIRECTOR:

ING. MAURICIO CELY

QUITO, NOVIEMBRE 2019.

## **AGRADECIMIENTO**

*Quiero agradecer a todos quienes hicieron posible este sueño, a mis padres, a mis hermanos, a mis abuelitos, a mis tías, a mis primas, a mis amigos y amigas, gracias por siempre haber estado ahí con una palabra, un abrazo, un aliento, una ayuda, sin todos ustedes no lo habría logrado.*

*Agradezco también a mis profesores que han sido el pilar fundamental para mi formación como profesional.*

*Karla Mishelle Espinoza de la Vega*

## AGRADECIMIENTO

*Agradezco primeramente a Dios por toda la bendición que me ha dado, una hermosa familia que me ha sabido apoyar a lo largo de toda mi vida, por ser guía en mi vida.*

*A mis padres, Jesi y Mesi, que han estado conmigo en todo momento, que supieron educarme de la mejor manera para ser un gran ser humano, un gran hombre y un gran hijo, sin su apoyo no podría alcanzar este sueño que he tenido desde que he sido niño.*

*A mis abuelitos, Viti y Levi, que sin ellos no podría estar donde estoy, por su amor infinito que me han entregado desde el día en que nací, llegando a ser unos segundos padres para mí.*

*A mis hermanas, Jane y Vane, que ha sido mi compañía, estando los tres siempre juntos para todo, apoyándonos y protegiéndonos mutuamente.*

*A Kathy que ha sido un apoyo para mí en gran parte de esta carrera, dándome ánimos para que no me rinda y siga adelante en este sueño que he alcanzado, estando ahí para mí en los momentos malos y buenos.*

*A mis amigos por su amistad y apoyo, con quienes he disfrutado de buenos momentos y compartido largas noches de estudio, me da alegría haberlos conocido, esperando tener una amistad duradera, en especial a mis mejores amigos Karlita, Naty y Chalo.*

*A la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, lugar que fue mi segundo hogar llevando por siempre con orgullo que fui estudiante de esta grandiosa universidad, a todos los profesores que nos han impartido todos sus conocimientos y con quien he llegado a tener una buena relación. A nuestro director Ing. Mauricio Cely y a nuestros correctores Ing. Oscar Jaramillo e Ing. Patricio Castro por toda la ayuda y guía que nos han dado en esta última etapa.*

*Esteban Mauricio Pazmiño Guevara.*

## **DEDICATORIA**

*El presente trabajo se lo dedico a mi padre, Juan, quien siempre me ha brindado su apoyo incondicional en cualquiera de las metas que me he propuesto, dando inclusive todo de sí mismo con tal de verme feliz, este logro es para ti papito.*

*Y a mi abuelita Chelita, quien siempre estará en mi corazón.*

*Karla Mishelle Espinoza de la Vega.*

*Esta disertación le dedico principalmente a cuatro personas, mis padres, Jesi y Mesi y mis abuelitos, Viti y Levi, que sin ellos no podría estar aquí, ni alcanzar todo lo que he logrado a lo largo de mi vida, es por ellos que luche por conseguir esto y que estén orgullosos del esfuerzo y la confianza que ellos siempre depositaron en mí, pero principalmente les dedico debido a todo el amor que me dieron y darán siempre, esperando que nunca me falten en mi vida.*

*Esteban Mauricio Pazmiño Guevara.*

## Tabla de Contenido

1. Capítulo 1: Generalidades .....	15
1.1. Introducción .....	15
1.2. Antecedentes .....	16
1.3. Justificación .....	16
1.4. Planteamiento del problema.....	17
1.5. Objetivos.....	18
1.5.1. Objetivos general.....	18
1.5.2. Objetivos específicos .....	18
2. Capítulo 2: Marco Teórico. ....	18
2.1. Propiedades mecánicas de los materiales .....	19
2.2. Inspección de los materiales .....	19
2.2.1. Ensayos no destructivos .....	20
2.2.1.2. Inspección Visual.....	22
2.3. Tipos de Aceros .....	23
2.3.1. Aceros por su Composición Química.....	23
2.3.1.1. Aceros al Carbono. ....	23
2.3.1.2. Aceros de alta resistencia.....	24
2.3.1.3. Aceros Aleados Tratados Térmicamente .....	25
2.3.2. Aceros Estructurales .....	26
2.3.2.1. Acero A36.....	27
2.3.2.2. Acero A572.....	30
2.3.2.3. Acero A588.....	33
2.4. Ensayos Aplicados .....	34
2.4.1. Torsión.....	34
2.4.2. Tracción .....	35

2.4.3.	Doblado .....	36
2.5.	Normas de Referencia.....	37
2.5.1.	Norma ASTM A370 .....	37
2.5.2.	Norma INEN 109:2009 .....	39
2.5.3.	Norma ASTM A36 .....	40
2.5.4.	Norma ASTM A572 .....	40
2.5.5.	Norma ASTM A588 .....	41
3.	Capítulo 3: Desarrollo Experimental.....	42
3.1.	Materiales y Métodos.....	43
3.1.1.	Placas de Acero .....	43
3.1.2.	Máquina Industrial de Oxicorte.....	43
3.1.3.	Calibrador .....	44
3.1.4.	Flexómetro.....	44
3.1.5.	Arco Sierra.....	45
3.1.6.	Máquina Universal de Ensayos .....	45
3.2.	Ensayos de Laboratorio (Procedimiento) .....	45
3.2.1.	Elaboración Probetas de Acero.....	45
3.2.2.	Preparación Muestras de Acero a Ensayarse.....	48
3.2.3.	Realización del Ensayo de Tensión .....	49
4.	Capítulo 4: Análisis de Resultados.....	54
4.1.	Resultados Obtenidos .....	54
4.2.	Análisis de Resultados .....	60
4.2.1.	Diagramas Esfuerzo-Deformación Unitaria Teóricos .....	60
4.2.2.	Correlación lineal de los Diagramas Esfuerzo-Deformación Unitaria Teóricos	65
4.2.3.	Simulación del Ensayo de Tensión del Acero (Software ANSYS).....	68

4.2.4.	Diagramas Esfuerzo-Deformación Unitaria (Software ANSYS).....	75
4.3.	Interpretación de Resultados.....	79
5.	Capítulo 5: Conclusiones y Recomendaciones .....	89
5.1.	Conclusiones.....	89
5.2.	Recomendaciones .....	90
6.	Capítulo 6: Bibliografía.....	92
7.	Capítulo 7: Anexos.....	96

## Índice de Tablas

<b>Tabla 1:</b> Propiedades mecánicas de los aceros.....	19
<b>Tabla 2:</b> Propiedades mecánicas de los aceros estructurales al carbono.....	24
<b>Tabla 3:</b> Propiedades mecánicas de los aceros estructurales de alta resistencia y baja aleación.....	25
<b>Tabla 4:</b> Propiedades mecánicas de los aceros aleados tratados térmicamente.....	25
<b>Tabla 5:</b> Tipos de aceros estructurales según la ASTM .....	26
<b>Tabla 6:</b> Descripción de las propiedades mecánicas de los aceros ASTM A-36 .....	27
<b>Tabla 7:</b> Descripción de las Propiedades Mecánicas de los Aceros, ASTM 572.....	33
<b>Tabla 8:</b> Descripción de las Propiedades Mecánicas de los Aceros, ASTM 588.....	34
<b>Tabla 9:</b> Composición Química y Propiedades Mecánicas de los Aceros Evaluados...	42
<b>Tabla 10:</b> Dimensiones para Prueba a Tensión de Especímenes Rectangulares .....	46
<b>Tabla 11:</b> Resultados de la determinación de la resistencia a la tensión de placas de acero material base: Acero ASTM A36 .....	54
<b>Tabla 12:</b> Resultados de la determinación de la resistencia a la tensión de placas de acero material base: Acero ASTM A572 .....	54
<b>Tabla 13:</b> Resultados de la determinación de la resistencia a la tensión de placas de acero material base: Acero ASTM A588 .....	55
<b>Tabla 14:</b> Resumen del porcentaje de Deformación Unitaria de los Aceros Evaluados. .....	89

## Índice de Figuras

<b>Figura 1:</b> Inspección por ultrasonido.....	21
<b>Figura 2:</b> Inspección visual .....	23
<b>Figura 3:</b> Placa simple de conexión de viga.....	28
<b>Figura 4:</b> Puente de acero. ....	29
<b>Figura 5:</b> Estructura de acero .....	29
<b>Figura 6:</b> Elementos de acero .....	30
<b>Figura 7:</b> Vigas de acero.....	31
<b>Figura 8:</b> Columna de perfil .....	32
<b>Figura 9:</b> Mezzanine.....	32
<b>Figura 10:</b> Representación Gráfica del Momento Torsor .....	35
<b>Figura 11:</b> Ensayo a tracción del acero .....	36
<b>Figura 12:</b> Ensayo de doblado del acero .....	37
<b>Figura 13:</b> Placas de acero A-36 .....	43
<b>Figura 14:</b> Maquina Industrial de Oxicorte, Empresa KUBIEC .....	44
<b>Figura 15:</b> Calibrador digital .....	44
<b>Figura 16:</b> Flexómetro.....	44
<b>Figura 17:</b> Arco Sierra.....	45
<b>Figura 18:</b> Máquina Universal de Ensayo, Laboratorio de materiales de la PUCE.....	45
<b>Figura 19:</b> Diseño del molde de probeta de acero en AutoCAD.....	46
<b>Figura 20:</b> Colocación de las placas de acero .....	47
<b>Figura 21:</b> Corte laser (maquina Oxicorte) .....	47
<b>Figura 22:</b> Probetas de acero, posterior al corte.....	47
<b>Figura 23:</b> Toma de medidas (probetas de acero) .....	48
<b>Figura 24:</b> Medición de marcas .....	48
<b>Figura 25:</b> Marcación de puntos.....	49

<b>Figura 26:</b> Proceso de deformacion de la probeta .....	50
<b>Figura 27:</b> Proceso de deformación de la probeta .....	50
<b>Figura 28:</b> Ruptura o falla de la probeta.....	51
<b>Figura 29:</b> Muestras de acero fracturadas. ....	51
<b>Figura 30:</b> Diagrama Esfuerzo – Deformación Unitaria .....	51
<b>Figura 31:</b> Diagrama Esfuerzo-Deformación .....	52
<b>Figura 32:</b> Comportamiento de la probeta durante el Ensayo .....	53
<b>Figura 33:</b> Diagrama Esfuerzo- Deformación Unitaria Acero A36 (Probeta 1) .....	55
<b>Figura 34:</b> Diagrama Esfuerzo- Deformación Unitaria Acero A36 (Probeta 2) .....	56
<b>Figura 35:</b> Diagrama Esfuerzo- Deformación Unitaria Acero A36 (Probeta 3) .....	56
<b>Figura 36:</b> Diagrama Esfuerzo- Deformación Unitaria Acero A572 (Probeta 1) .....	57
<b>Figura 37:</b> Diagrama Esfuerzo- Deformación Unitaria Acero A572 (Probeta 2) .....	57
<b>Figura 38:</b> Diagrama Esfuerzo- Deformación Unitaria Acero A572 (Probeta 3) .....	58
<b>Figura 39:</b> Diagrama Esfuerzo- Deformación Unitaria Acero A588 (Probeta 1) .....	58
<b>Figura 40:</b> Diagrama Esfuerzo- Deformación Unitaria Acero A588 (Probeta 2) .....	59
<b>Figura 41:</b> Diagrama Esfuerzo- Deformación Unitaria Acero A588 (Probeta 3) .....	59
<b>Figura 42:</b> Diagrama Esfuerzo- Deformación Unitaria Acero A36 (Probeta 1) .....	60
<b>Figura 43:</b> Diagrama Esfuerzo- Deformación Unitaria Acero A36 (Probeta 2) .....	61
<b>Figura 44:</b> Diagrama Esfuerzo- Deformación Unitaria Acero A36 (Probeta 3) .....	61
<b>Figura 45:</b> Diagrama Esfuerzo- Deformación Unitaria Acero A572 (Probeta 1) .....	62
<b>Figura 46:</b> Diagrama Esfuerzo- Deformación Unitaria Acero A572 (Probeta 2) .....	62
<b>Figura 47:</b> Diagrama Esfuerzo- Deformación Unitaria Acero A572 (Probeta 3) .....	63
<b>Figura 48:</b> Diagrama Esfuerzo- Deformación Unitaria Acero A588(Probeta 1) .....	63
<b>Figura 49:</b> Diagrama Esfuerzo- Deformación Unitaria Acero A588(Probeta 2) .....	64
<b>Figura 50:</b> Diagrama Esfuerzo- Deformación Unitaria Acero A588(Probeta 3) .....	64
<b>Figura 51:</b> Diagrama Esfuerzo- Deformación Unitaria Acero A588(Probeta 3) .....	66

<b>Figura 52:</b> Correlación del Diagrama Esfuerzo- Deformación Unitaria Acero A572 ..	66
<b>Figura 53:</b> Correlación del Diagrama Esfuerzo- Deformación Unitaria Acero A588 ..	67
<b>Figura 54:</b> Simulación del Ensayo a Tracción del Acero A36 mediante el Software ANSYS-Análisis de Esfuerzo (Probeta 1).....	69
<b>Figura 55:</b> Simulación del Ensayo a Tracción del Acero A36 mediante el Software ANSYS-Análisis de Deformación Unitaria (Probeta 1).....	69
<b>Figura 56:</b> Simulación del Ensayo a Tracción del Acero A36 mediante el Software ANSYS-Análisis de Esfuerzo (Probeta 2).....	69
<b>Figura 57:</b> Simulación del Ensayo a Tracción del Acero A36 mediante el Software ANSYS-Análisis de Deformación Unitaria (Probeta 2).....	70
<b>Figura 58:</b> Simulación del Ensayo a Tracción del Acero A36 mediante el Software ANSYS-Análisis de Esfuerzo (Probeta 3).....	70
<b>Figura 59:</b> Simulación del Ensayo a Tracción del Acero A36 mediante el Software ANSYS-Análisis de Deformación Unitaria (Probeta 3).....	70
<b>Figura 60:</b> Simulación del Ensayo a Tracción del Acero A572 mediante el Software ANSYS-Análisis de Esfuerzo (Probeta 1).....	71
<b>Figura 61:</b> Simulación del Ensayo a Tracción del Acero A572 mediante el Software ANSYS-Análisis de Deformación Unitaria (Probeta 1).....	71
<b>Figura 62:</b> Simulación del Ensayo a Tracción del Acero A572 mediante el Software ANSYS-Análisis de Esfuerzo (Probeta 2).....	71
<b>Figura 63:</b> Simulación del Ensayo a Tracción del Acero A572 mediante el Software ANSYS-Análisis de Deformación Unitaria (Probeta 2).....	72
<b>Figura 64:</b> Simulación del Ensayo a Tracción del Acero A572 mediante el Software ANSYS-Análisis de Esfuerzo (Probeta 3).....	72
<b>Figura 65:</b> Simulación del Ensayo a Tracción del Acero A572 mediante el Software ANSYS-Análisis de Deformación Unitaria (Probeta 3).....	72
<b>Figura 66:</b> Simulación del Ensayo a Tracción del Acero A588 mediante el Software ANSYS-Análisis de Esfuerzo (Probeta 1).....	73

<b>Figura 67:</b> Simulación del Ensayo a Tracción del Acero A588 mediante el Software ANSYS-Análisis de Deformación Unitaria (Probeta 1).....	73
<b>Figura 68:</b> Simulación del Ensayo a Tracción del Acero A588 mediante el Software ANSYS-Análisis de Esfuerzo (Probeta 2).....	73
<b>Figura 69:</b> Simulación del Ensayo a Tracción del Acero A588 mediante el Software ANSYS-Análisis de Deformación Unitaria (Probeta 2).....	74
<b>Figura 70:</b> Simulación del Ensayo a Tracción del Acero A588 mediante el Software ANSYS-Análisis de Esfuerzo Unitaria (Probeta 3).....	74
<b>Figura 71:</b> Simulación del Ensayo a Tracción del Acero A588 mediante el Software ANSYS-Análisis de Deformación Unitaria (Probeta 3).....	74
<b>Figura 72:</b> Diagrama Esfuerzo- Deformación Acero A36 Software ANSYS (Probeta 1) .....	75
<b>Figura 73:</b> Diagrama Esfuerzo- Deformación Acero A36 Software ANSYS (Probeta 2) .....	75
<b>Figura 74:</b> Diagrama Esfuerzo- Deformación Acero A36 Software ANSYS (Probeta 3) .....	76
<b>Figura 75:</b> Diagrama Esfuerzo-Deformación Acero A572 Software ANSYS (Probeta 1) .....	76
<b>Figura 76:</b> Diagrama Esfuerzo-Deformación Acero A572 Software ANSYS (Probeta 2) .....	77
<b>Figura 77:</b> Diagrama Esfuerzo-Deformación Acero A572 Software ANSYS (Probeta 3) .....	77
<b>Figura 78:</b> Diagrama Esfuerzo- Deformación Acero A588 Software ANSYS (Probeta 1).....	78
<b>Figura 79:</b> Diagrama Esfuerzo- Deformación Acero A588 Software ANSYS (Probeta 2).....	78
<b>Figura 80:</b> Diagrama Esfuerzo- Deformación Acero A588 Software ANSYS (Probeta 3).....	79
<b>Figura 81:</b> Diagrama de Correlación Esfuerzo- Deformación Unitaria del Acero A36 (Probeta 1) .....	80

<b>Figura 82:</b> Diagrama de Correlación Esfuerzo- Deformación Unitaria del Acero A36 (Probeta 2) .....	81
<b>Figura 83:</b> Diagrama de Correlación Esfuerzo- Deformación Unitaria del Acero A36 (Probeta 3) .....	82
<b>Figura 84:</b> Diagrama de Correlación Esfuerzo-Deformación Unitaria del Acero A572 (Probeta 1) .....	83
<b>Figura 85:</b> Diagrama de Correlación Esfuerzo-Deformación Unitaria del Acero A572 (Probeta 2) .....	84
<b>Figura 86:</b> Diagrama de Correlación Esfuerzo-Deformación Unitaria del Acero A572 (Probeta 3) .....	85
<b>Figura 87:</b> Diagrama de Correlación Esfuerzo-Deformación Unitaria del Acero A588 (Probeta 1) .....	86
<b>Figura 88:</b> Diagrama de Correlación Esfuerzo-Deformación Unitaria del Acero A588 (Probeta 2) .....	87
<b>Figura 89:</b> Diagrama de Correlación Esfuerzo-Deformación Unitaria del Acero A588 (Probeta 3) .....	88

## Índice de Anexos

<b>Anexo 1:</b> Resultados de la determinación de la resistencia de la tensión acero ASTM-A36 .....	96
<b>Anexo 2:</b> Resultados de la determinación de la resistencia de la tensión acero ASTM-A572 .....	97
<b>Anexo 3:</b> Resultados de la determinación de la resistencia de la tensión acero ASTM-A588 .....	98
<b>Anexo 4:</b> Resultados de la determinación de la resistencia de la tensión acero ASTM-A36 .....	99
<b>Anexo 5:</b> Resultados de la determinación de la resistencia de la tensión acero ASTM-A572 y ASTM-A588 .....	99
<b>Anexo 6:</b> Gráfica esfuerzo-deformación unitaria probeta #1 acero A-36.....	100
<b>Anexo 7:</b> Gráfica esfuerzo-deformación unitaria probeta #2 acero A-36.....	100
<b>Anexo 8:</b> Gráfica esfuerzo-deformación unitaria probeta #3 acero A-36.....	101
<b>Anexo 9:</b> Norma ASTM A36/36M-14.....	102
<b>Anexo 10:</b> Norma ASTM A572-79.....	105
<b>Anexo 11:</b> Norma ASTM A588/588M-15 .....	108

## 1. Capítulo 1: Generalidades

### 1.1. Introducción

En décadas recientes los ingenieros y arquitectos continuamente requieren aceros más fuertes, con mayor resistencia a la corrosión, con mejores propiedades de soldabilidad y diversas características (McCormac, 2011).

Las investigaciones realizadas por la industria acerera durante este periodo han proporcionado varios grupos de nuevos aceros que satisfacen muchas de las demandas (McCormac, 2011).

Sin embargo, el tema del acero a utilizar no ha sido objeto de investigaciones. Aunque el acero no es isótropo y homogéneo, muchos diseñadores lo siguen considerando como tal, y las propiedades de los materiales utilizados en los códigos todavía se basan en las pruebas y normalizaciones elementales (Cházaro & Alvarez, 2014).

Hay muchos tipos y grados de acero disponibles en el mercado, para su uso en la construcción, que cumplen con una amplia variedad de necesidades y demandas del cliente (Cházaro & Alvarez, 2014).

Por lo que se busca, con el presente tema de disertación, evaluar experimentalmente el comportamiento de los Aceros ASTM A36, A572 y A588 sometidos a esfuerzos de tensión, mediante ensayos basados en la normativa

Determinando con los resultados los diagramas de Esfuerzo-Deformación de cada uno, en su punto de fluencia y posteriormente realizando una correlación práctica (resultados del laboratorio) con la teórica, para conocer así sus propiedades mecánicas.

Conocer las propiedades mecánicas del acero, permitirá predecir el comportamiento mecánico del acero al estar sometido a diferentes tipos de esfuerzos o sollicitaciones. El comportamiento mecánico de un material refleja la relación entre la fuerza aplicada y la respuesta del material a dicha fuerza (Callister & Rethwisch, 2007).

## 1.2. Antecedentes

La producción, fabricación, construcción y prácticas de diseño para estructuras de acero han tenido cambios importantes en los últimos diez a quince años, debido a la evolución en la producción de los aceros (Cházaro & Alvarez, 2014).

Y al existir una amplia gama de tipos de acero estructural, con diferentes características y comportamientos, los análisis de sus propiedades mecánicas se dividen en varios grupos de investigación, las cuales deberán cumplir ciertos parámetros y requisitos para considerarlos aptos para su uso.

Existen protocolos de pruebas para establecer las propiedades mecánicas del material: límite de fluencia, resistencia a la tensión y resistencia última. Los detalles de estas pruebas están en la ASTM, principalmente (Cházaro & Alvarez, 2014).

Sin embargo, son casi nulos los análisis comparativos entre ellos, ya que, generalmente la demanda es de un mismo tipo de acero estructural, y al existir una caracterización particular de sus propiedades mecánicas la cual cumple con las especificaciones requeridas, descarta la necesidad de una evaluación conjunta.

## 1.3. Justificación

A través de los años, el uso del acero estructural en el ámbito de la construcción se ha convertido en una de las opciones más viables y seguras para la ejecución de cualquier tipo de obra civil. Es por esta razón que el análisis de las características y propiedades de este material, constituye un parámetro fundamental a realizarse para poder garantizar el desempeño del mismo (Brakefield. K, 2009).

Este análisis se lo obtiene a través del desarrollo de una serie de diferentes ensayos, tales como tracción, compresión, flexión, torsión y doblado del acero. Pero generalmente se realiza con mayor frecuencia solo los ensayos de tracción, doblado y torsión con la finalidad de verificar su comportamiento antes, durante y después de los mismos.

La selección del material está dada en las especificaciones del proyecto por los diferentes grados que son apropiados para los elementos estructurales y las conexiones. Éstas pueden incluir la necesidad de demostrar la dureza del material, la estructura metalúrgica del perfil, de las pruebas de materiales más allá de las pruebas de tensión estándar y/o requisitos de composición química específica (Brakefield. K, 2009).

Todas esas necesidades adicionales y los costos relacionados deben estar claramente delimitadas, usando otros materiales y las especificaciones de las pruebas siempre que sea posible.

Sin embargo, surge la necesidad de verificar si estos comportamientos o respuestas ante la aplicación de esfuerzos, varían de acuerdo al tipo de acero; por lo que se propone comparar tres tipos de acero (A-588, A-572 y A-36) y analizar sus propiedades mecánicas. Determinando así, que características serán las más óptimas al momento de seleccionar un tipo de acero aplicable para una obra civil.

#### 1.4. Planteamiento del problema

Se realizará la evaluación experimental de las propiedades mecánicas de los aceros estructurales, A-588, A-572 Y A-36, para obtención de los diagramas esfuerzo-deformación, a través de ensayos mecánicos realizados en el laboratorio de materiales, con el propósito de determinar propiedades mecánicas, respuestas ante la aplicación de esfuerzos y resultados de eficiencia posterior a la evaluación individual de cada uno de los aceros.

Existe la disponibilidad en el mercado, de una gran variedad de grados de acero y es fundamental para su elección, que el acero cumpla con los requerimientos de los estados límite de falla y los estados límite de servicio, los cuales nos dan una idea del uso y la resistencia para el cual podrá ser utilizado.

Al mismo tiempo, es importante tener en cuenta la fabricación y los requisitos para la compra del material y las aplicaciones de campo.

## 1.5. Objetivos

### 1.5.1. Objetivos general

Evaluar experimentalmente las propiedades mecánicas de los aceros estructurales, ASTM A-588, A-572 y A-36, para obtención de los diagramas de esfuerzo-deformación.

### 1.5.2. Objetivos específicos

- Realizar ensayos de laboratorio para determinar las propiedades mecánicas de los aceros estructurales.
- Desarrollar diagramas de esfuerzo deformación de los aceros mediante el ensayo de tracción de los aceros ASTM A-36, A-588 y A-572.
- Analizar los resultados obtenidos del desarrollo experimental de los ensayos en el laboratorio.
- Realizar las respectivas conclusiones de acuerdo a los resultados obtenidos.

## 2. Capítulo 2: Marco Teórico.

En este capítulo se plantean varios temas considerados inductores para la temática a tratarse en la presente tesis y el desarrollo de la misma.

La mecánica de materiales habla del comportamiento de los cuerpos sólidos bajo la acción de fuerza. Tal comportamiento incluye deformación, falla por separación real, falla por pandeo, los efectos del tiempo, repetición de cargas y otros fenómenos (Shanley, 1971).

El objetivo principal de la mecánica de materiales radica en determinar los esfuerzos, deformaciones unitarias y desplazamientos en estructuras y sus componentes, causadas a las cargas que actúan sobre ellas (Gere & Goodno, 2016).

Brindándole así al futuro ingeniero los conocimientos necesarios para analizar y diseñar las diversas máquinas y estructuras portadoras de carga (Beer & Johnston, 2010).

## 2.1. Propiedades mecánicas de los materiales

Las propiedades mecánicas son aquellas que tienen que ver con el comportamiento de un material bajo la acción de fuerzas aplicadas, estas dependen de la composición química y de la estructura cristalina que tenga, y se expresan en cantidades que están en función de los esfuerzos y/o las deformaciones.

Las principales propiedades mecánicas del acero son:

**Tabla 1:** Propiedades mecánicas de los aceros.

DESCRIPCION DE LA PROPIEDAD	
Resistencia	Es la oposición al cambio de forma y a las fuerzas externas que pueden presentarse como cargas de tracción, compresión, cizalle, flexión y torsión.
Elasticidad	Es la capacidad de un cuerpo para volver a su forma inicial al dejar de actuar la fuerza que lo deformó.
Plasticidad	Es la capacidad de deformación de un metal antes que se rompa; si la deformación se produce por alargamiento se denomina ductilidad y por compresión, se llama maleabilidad.
Tenacidad	Es la resistencia a la rotura por esfuerzos que deforman el metal.
Dureza	Es la capacidad que presenta el metal a ser deformado en su superficie por la acción de otro material.
Resiliencia	Es la capacidad que presentan los materiales para absorber energía por unidad de volumen en la zona elástica.
Resistencia a la rotura	Es la resistencia que opone el material a romperse por un esfuerzo mecánico exterior.
Fusibilidad	Es la facilidad de poder dar forma a los metales, fundiéndolos y colocándolos en moldes.
Soldabilidad	Es la facilidad de los metales para que dos piezas en contacto puedan unirse formando un conjunto rígido, que no tenga imperfecciones ni defectos, tan resistente como el material base.

**Fuente:** (Meléndez, 2009) (p.10).

## 2.2. Inspección de los materiales

Para entender el concepto de inspección de los materiales es necesario conocer su diferencia respecto al ensayo de los materiales, ya que el ensayo es la realización física de las operaciones para determinar las medidas cuantitativas de las propiedades de los materiales (Harmer & Troxell, 1966).

Mientras que, la inspección se encarga de cubrir la observación de los procesos y productos de fabricación o construcción con el propósito de garantizar la presencia de las cualidades deseadas (Harmer & Troxell, 1966).

En la mayoría de casos la inspección puede ser cualitativa e involucraría solamente la observación visual de la corrección de las operaciones o dimensiones, detección de defectos superficiales, o posiblemente la indicación de la presencia de condiciones indeseables, tales como la humedad, o temperatura excesiva (Harmer & Troxell, 1966)

Por otra parte, la inspección puede implicar la realización de procesos como, ensayos no destructivos o inspección de ultrasonido para averiguar si los requerimientos de las especificaciones han sido satisfechos. La inspección promueve el control de la calidad por medio de la aplicación de criterios establecidos e implica la idea de rechazar un material que no cumpla requisitos de las normas al cual fue diseñado (Harmer & Troxell, 1966).

En algunas organizaciones, las fuerzas de inspección pueden ser consideradas un grupo administrativo, el cual realiza únicamente exámenes simples y envía muestras seleccionadas al departamento de ensayos. En otras organizaciones, el ingeniero de ensayos es también el jefe de inspectores y tiene a su cargo el ensayo rutinario y la labor de investigación y desarrollo (Harmer & Troxell, 1966).

### 2.2.1. Ensayos no Destructivos

Los ensayos no destructivos son herramientas fundamentales en el control de calidad de materiales, soldaduras, equipos, piezas, además de la verificación de montajes, desarrollo de procesos y para la investigación de los mismos (Abad, Lainez, & Zelaya, 2014).

La mayor parte de estos ensayos se diseñan para descubrir discontinuidades, tras lo cual hay que decidir si éstos son significativos o no de acuerdo con estándares de aceptación o códigos (NDTLatinoamerica, 2017).

Estos ensayos son aplicables en conjunto para detectar todos los tipos de discontinuidades que ocurren en materiales determinados, eso quiere decir que el uso de un ensayo no excluye el uso de otros (NDTLatinoamerica, 2017).

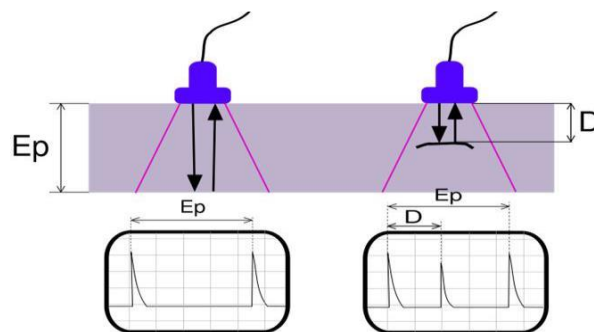
### 2.2.1.1. Inspección por Ultrasonido

Las pruebas ultrasónicas de materiales hacen uso de ondas mecánicas, en donde cada una de estas ondas está compuesta por oscilaciones de partículas discretas de materiales, a diferencia de la técnica de rayos X la cual usa ondas electromagnéticas.

Este tipo de prueba es confiable y rápida, ya que emplea ondas sonoras de alta frecuencia (0.25 a 25 MHz) producidas (NDTLatinoamerica, 2017). La realización del ensayo por ultrasonido requiere una serie de etapas, las cuales deben ser realizadas por un personal capacitado en el mismo.

Las principales ventajas de este ensayo son:

- Elevada sensibilidad de detección.
- Baja dependencia de la geometría de la pieza.
- Posibilidad de inspeccionar volumétricamente el material.
- Rapidez del examen y en el resultado.
- Uso de equipos portátiles.



**Figura 1:** Inspección por ultrasonido.

**Fuente:** (Abad et al., 2014)

#### 2.2.1.2. Inspección Visual

La detección puede realizarse mediante el uso de espejos, amplificadores o magnificadores, boroscopios y otros accesorios o instrumentos visuales.

Algunas inspecciones visuales se basan en leyes simples de óptica geométrica. Otras dependen de las propiedades complicadas de la luz.

Una ventaja única de la inspección visual, es que puede proporcionar datos cuantitativos más confiables que cualquier otra prueba no destructiva. (Grupo Sistend Testing, 2010)

Este tipo de inspección es utilizada para los siguientes propósitos:

- Inspección de superficies expuestas.
- Inspección del interior de objetos transparentes.
- Detección de errores en el proceso de manufactura.
- Obtención de información acerca de la condición de un componente que presente evidencia de un defecto.
- Valoración total de la condición de una pieza, estructura, componente o sistema.
- Detección temprana de una discontinuidad para evitar que alcance un tamaño crítico.
- Inspeccionar lugares que están fuera del alcance de los inspectores, mediante instrumentos diseñados para dicho trabajo.

El proceso de descubrir y reparar los defectos a tiempo generalmente resulta en una reducción sustancial del costo.



**Figura 2:** Inspección visual

**Fuente:** (Abad, Lainez, & Zelaya, 2014)

### 2.3. Tipos de Aceros

Los aceros se pueden clasificar de dos maneras, por su composición química y por sus características de procesamiento, dentro de los cuales se encuentran los aceros analizarse en la presente tesis.

#### 2.3.1. Aceros por su Composición Química

En este grupo se encuentran:

- Aceros al carbono.
- Alta resistencia, baja aleación (HSLA).
- Aceros tratados térmicamente.

##### 2.3.1.1. Aceros al Carbono.

Estos aceros tienen como principales elementos de resistencia al carbono y al manganeso en cantidades cuidadosamente dosificadas. Los aceros al carbono son aquellos que tienen los siguientes elementos con cantidades máximas de: 1.7% de carbono, 1.65% de manganeso, 0.60% de silicio y 0.60% de cobre. (Silva, 2005)

El acero más común de este grupo es el ASTM A36 con un esfuerzo mínimo de fluencia  $F_y=36$  kpsi (ó *klb/pulg<sup>2</sup>*) es el más adecuado para fabricar estructuras para edificios y puentes a través de procesos de soldadura o empernado (Angulo & Carvajal, 2009).

A continuación, se presenta los valores de las propiedades mecánicas de los aceros estructurales al carbono.

**Tabla 2:** Propiedades mecánicas de los aceros estructurales al carbono.

Tipo ASTM	Espesor (cm)	Esfuerzo de fluencia kg/cm <sup>2</sup>	Resistencia a la tensión kg/cm <sup>2</sup>	Elongación (%)	
				En 5 cm.	En 20 cm.
A36	hasta 20	2530	4077-5624	23-21	20
	mayor a 20	2245	4077-5624	23	20
A573					
Grado 58	hasta 3.9	2245	4077-4991	24	21
Grado 65	hasta 3.19	2461	4570-5431	23	20
Grado 70	hasta 3.9	2953	4921-6327	21	18

**Fuente:** (Angulo & Carvajal, 2009) (p. 19).

#### 2.3.1.2. Aceros de alta resistencia.

Aceros de alta resistencia, baja aleación (HSLA), fueron desarrollados durante los últimos 30 años, siendo los materiales más utilizados para las estructuras de acero en la actualidad. La mayor resistencia se consigue mediante la reducción del contenido de carbono y la adición de ciertos elementos de aleación. Todos estos aceros son soldables y algunos han aumentado la resistencia a la corrosión.

Los aceros HSLA más comunes son ASTM A 992, A 572 y A 588, con un límite elástico mínimo de 50 ksi (3,515 kg/cm<sup>2</sup>), aunque el A 572 y A 588 están disponibles también en otras resistencias (Cházaro & Alvarez, 2014).

A continuación, se presenta los valores de las propiedades mecánicas de los aceros estructurales de alta resistencia y baja aleación.

**Tabla 3:** Propiedades mecánicas de los aceros estructurales de alta resistencia y baja aleación.

Tipo ASTM	Espesor (cm)	Esfuerzo de fluencia kg/cm <sup>2</sup>	Resistencia a la tensión kg/cm <sup>2</sup>	Elongación (%)	
				En 5 cm.	En 20 cm.
A242	hasta 1.9	3515	4921	21	18
	más de 1.9 a 3.8	3234	4710	21	18
	más de 3.8	2953	4423	21	18
A588	hasta 10	3515	4921	21	18
	más de 10 a 13	3234	4710	21	18
	más de 13 a 20	2953	4423	21	-
A572					
Grado 42	hasta 15	2953	4218	24	20
Grado 50	hasta 10	3515	4570	21	18
Grado 60	hasta 3	4218	5273	18	16
Grado 65	hasta 3	4570	5624	17	15

**Fuente:** (Angulo & Carvajal, 2009) (p. 19).

#### 2.3.1.3. Aceros Aleados Tratados Térmicamente

El tratamiento térmico, incluye calentar y enfriar la pieza de trabajo para alterar su estructura interna. Para evitar o minimizar los efectos indeseables de la configuración de la pieza de trabajo, en el acabado de la superficie y en las tolerancias dimensionales, la preparación del trabajo y el tipo de pieza de trabajo antes del tratamiento, son factores que deben considerarse.

Se ha encontrado que la forma física o el diseño de una pieza se refleja en el tratamiento térmico. Por tanto, se debe tener en cuenta factores básicos a considerar, como el equilibrio de las áreas de masa, evitar esquinas agudas y cortes internos como cuñeros y mantener el mismo espesor de los cubos de engranes poleas y herramientas de corte (Pérez, 1996).

**Tabla 4:** Propiedades mecánicas de los aceros aleados tratados térmicamente.

Tipo ASTM	Espesor (cm)	Esfuerzo de fluencia kg/cm <sup>2</sup>	Resistencia a la tensión kg/cm <sup>2</sup>	Elongación (%)	
				En 5 cm.	En 20 cm.
A514	hasta 6.4	7030	7733-9139	18	-
	mas de 6.4 a 15	6327	7030-9139	16	-

**Fuente:** (Angulo & Carvajal, 2009) (p. 19).

### 2.3.2. Aceros Estructurales

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

**Tabla 5:** Tipos de aceros estructurales según la ASTM

DESCRIPCION DE LOS TIPOS DE ACERO	
ASTM A36/A36M	Acero Estructural de Carbono.
ASTM A242/A242M	Acero Estructural de Alta Resistencia y Baja Aleación.
ASTM A283/A283M	Placas de Acero de Carbono de Resistencia a la Tensión Baja e Intermedia.
ASTM A500	Tubulares Estructurales Redondos y de Otros Perfiles Laminados en Frío de Acero de Carbono.
ASTM A529/A529M	Acero de Calidad Estructural de Manganeso y Carbono de Alta Resistencia.
ASTM A570/A570M	Acero de Calidad Estructural de Carbono para Láminas y Cintas Laminadas en Caliente.
ASTM A572/A572M	Acero Estructural de Columbio y Vanadio de Alta Resistencia y Baja Aleación.
ASTM A588/A588M	Acero Estructural de Alta Resistencia y Baja Aleación con Esfuerzo de Fluencia Mínimo de 50 ksi (3514 kg/cm <sup>2</sup> ) y espesor hasta 4 plg. (100 mm).
ASTM A606	Acero Estructural de Alta Resistencia y Baja Aleación para Láminas y Cintas Laminadas en Caliente y en Frío con Resistencia Mejorada a la Corrosión Atmosférica.
ASTM A607	Acero Estructural de Columbio o Vanadio, o ambos, de Alta Resistencia y Baja Aleación para Láminas y Cintas Formadas en Caliente y en Frío.
ASTM A611 (Grados A, B, C y D)	Acero Estructural (SS, "Structural Steel") de Carbono para Láminas Formadas en Frío.
ASTM A653/A653M (SS, Grados 33, 37, 40 y 50)	Láminas de Acero con Recubrimiento de Zinc (Galvanizado) o con Recubrimiento de Aleación Zinc-Hierro realizado por medio del Proceso de Inmersión en Caliente (Galvanizado y Endurecido).
ASTM A715 (Grados 50, 60, 70 y 80)	Acero de Alta Resistencia y Baja Aleación para Láminas y Cintas Formadas en Caliente y de Acero de Alta Resistencia y Baja Aleación para Láminas y Cintas Formadas en Frío con Propiedades Mejoradas de Formabilidad.
ASTM A792/A792M (Grados 33, 37, 40 y 50A)	Láminas de Acero con Recubrimiento de Aleación 55% Aluminio-Zinc realizado por medio del Proceso de Inmersión en Caliente.

**Fuente:** (AISI, 1996)

### 2.3.2.1. Acero A36

El acero A36 es una aleación de acero al carbono de propósito general muy comúnmente usado en los Estados Unidos, aunque existen muchos otros aceros, superiores en resistencia, cuya demanda está creciendo rápidamente (Gudiño, 2004).

Tiene un esfuerzo de fluencia teórico de 2530 kg/cm<sup>2</sup> (250 MPa, 36 ksi), y su soldabilidad es adecuada. Se desarrolló desde hace muchos años en Estados Unidos para la fabricación de estructuras remachadas, atornilladas y soldadas, mejorando el contenido de carbono de los aceros disponibles en aquella época, como el ASTM A-7. Con la innovación de este tipo de acero, las conexiones soldadas empezaron a desplazar a las remachadas que pronto desaparecieron (Díaz, 2019).

Como todo material el acero A36 posee propiedades y características que lo diferencian del resto, sus principales propiedades son: eléctricas, magnéticas, mecánicas, químicas físicas y térmicas.

**Tabla 6:** Descripción de las propiedades mecánicas de los aceros ASTM A-36

Designación del ASTM.	Producto	Grado	Fy (min) kg/cm	Fu (min/max) kg/cm <sup>2</sup>	% Elongación 5,08 cm	Fu/Fy (min)
A36/A36M-94						
Esta especificación cubre perfiles, placas y barras de acero de carbono de calidad estructural para construcción remachada, atornillada o soldada de puentes y edificios y para aplicaciones estructurales generales.	Placas y Barras	-	2530	4076/5622	23	1.61
En casos de soldadura, se proveen requisitos adicionales, especificados por el comprador en su orden.						

**Fuente:** (AISI, 1996)

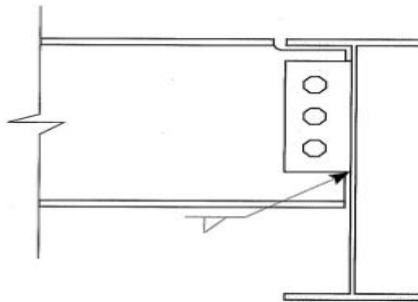
### 2.3.2.1.1. Uso en la Industria

El acero A36, es el material más común usado en la construcción, pero a su vez es un material usado generalmente en la industria. Se lo puede encontrar desde formas simples a maquinaria compleja, como, por ejemplo, utensilios, equipos mecánicos, como partes de electrodomésticos y maquinaria en general, en las estructuras de viviendas y edificios previamente dicho.

También es usado para la fabricación de armamento pesado, vehículos blindados y acorazados. En la construcción de barcos y sobre todo en la industria petrolera (Cházaro & Alvarez, 2014).

Aplicaciones:

- Placas de Conexión: Este tipo de conexiones se utiliza para conectar vigas simplemente apoyadas a otras vigas o al patín o alma de alguna columna (Altamira, 2005).



**Figura 3:** Placa simple de conexión de viga

**Fuente:** (AISC, 1986)

- Puentes: En la figura presentada a continuación se observa un puente tipo armadura que consta de distintos perfiles metálicos, cuyo acero predominante para la fabricación de los mismos, es el acero A-36.



**Figura 4:** Puente de acero.

**Fuente:** (Gutiérrez, 2016)

- Edificios: La siguiente imagen presenta un edificio de estructura metálica, vigas y columnas de acero estructural. En el Ecuador este tipo de estructura emplea regularmente el acero A-36 para la fabricación de estos elementos estructurales.



**Figura 5:** Estructura de acero

**Fuente:** (Leon, 2017)

- Atornillados, remachados y soldados: Este tipo de elementos generalmente son utilizados en acabados estructurales o en juntas mecánicas, brindando un mejor agarre a los elementos estructurales entre sí o ya también entre el elemento estructural y un soporte.



**Figura 6:** Elementos de acero

**Fuente:** (iStock, 2017)

#### 2.3.2.2. Acero A572

La especificación del material base (acero a soldar), es importante saber tanto al grupo que pertenece, como los elementos que lo componen. También, estas características permiten diseñar cualquier tipo de estructura según los procesos de soldadura que su composición permita (Sánchez & Rincón, 2017).

El acero estructural ASTM A572, se caracteriza por tener diferentes tipos de grados, cada uno de ellos se diferencian por los elementos aleantes que le aportan al material distintos tipos de propiedades como el límite de elasticidad, rangos de tracción, resistencia a la fluencia, entre otros. Según la norma ASTM que regula este acero, su grado nos permitirá saber el esfuerzo que soporta y su elongación mínima (Sánchez & Rincón, 2017).

Cubre cuatro grados de formas de acero estructural de baja aleación de alta resistencia, placas, tablestacas y barras son, 42, 50, 60 y 65.

Grado 60 indica las barras de construcción con un Límite de Fluencia mínimo de 60 000 libras por pulgada cuadrada (Gamonal, 2016).

Grado 50 indica que el Límite de Fluencia mínimo de este acero estructural es de 50 000 libras por pulgadas al cuadrado (Gamonal, 2016),

- Grados 42 y 50

Propuestos para puentes remachados, atornillados o soldados, edificios y otras estructuras.

- Grados 60 y 65

Destinado a puentes remachados o atornillados y otras estructuras que puedan atornillarse, remacharse o soldarse.

Aplicaciones:

- Vigas principales y secundarias: Las vigas principales son las que dan soporte del techo y a los cimientos para los pisos, mientras que las vigas secundarias actúan de manera complementaria, soportando el peso de la viga principal que se genera.

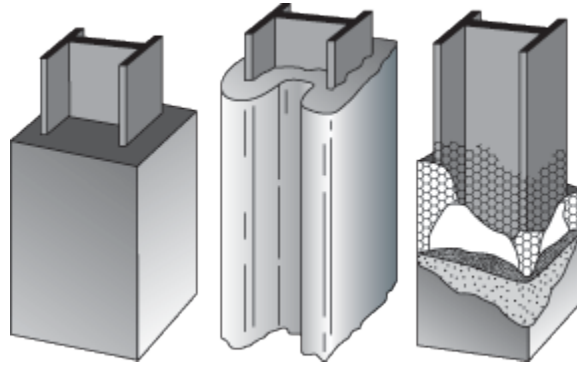
El acero tiene la ventaja de ser un material con una relación resistencia/peso superior a la del hormigón, además de que puede resistir tanto tracciones como compresiones mucho más elevadas (Navichoc, 2015).



**Figura 7:** Vigas de acero

**Fuente:** (Vigacero, 2018)

- Columnas de perfiles: Las propiedades de diseño de estos perfiles son proporcionadas por los fabricantes en base a normas establecidas por asociaciones tales como: AISC, fáciles de obtener, ya sea por medio de los manuales, internet o en los apéndices de la mayor parte de libros dedicados a estos temas (Díaz, 2019).



**Figura 8:** Columna de perfil

**Fuente:** (Cahum, 2012)

- Mezzanines: Elementos estructurales elaborados con perfiles de acero A36 o A572, generalmente utilizados en fábricas o industrias para almacenamiento de productos.



**Figura 9:**Mezzanine

**Fuente:** (SIMMA, 2014)

**Tabla 7:** Descripción de las Propiedades Mecánicas de los Aceros, ASTM 572

Designación del ASTM. Descripción	Producto	Grado	Fy (min) kg/cm2	Fu (min/max) kg/cm2	% Elongación 5,08 cm (mínimo)	Fu/Fy (min)
<b>A572/A572M-94c</b>						
Esta especificación cubre perfiles, placas y barras de acero de alta resistencia y baja aleación. Los Grados 42 y 50 se recomiendan sean usados en construcción remachada, atornillada y soldada de edificios, puentes y otras aplicaciones.	Placas y Barras	42	2951	4216	24	1.43
		50	3514	4568	21	1.30
Los Grados 60 y 65 se recomiendan sean usados para construcción remachada y atornillada de puentes y para construcción remachada, atornillada y soldada para otras aplicaciones.	Placas y Barras	60	4216	5270	18	1.25
		65	4568	5622	17	1.23
Para construcción soldada de puentes la tenacidad de muesca es un requisito importante. Para esta u otras aplicaciones donde los requisitos de tenacidad de muesca sean indicados, estos serán negociados entre el productor y comprador.						

**Fuente:** (AISI, 1996)

### 2.3.2.3. Acero A588

El acero ASTM A588 es un acero estructural de alta resistencia y baja aleación. Este acero es muy utilizado en la construcción de edificaciones y puentes debido a sus importantes cualidades de ahorro de peso y durabilidad. Estas estructuras anteriormente nombradas se pueden construir electro soldadas, remachadas o atornilladas. En comparación a otros aceros estructurales, como por ejemplo al carbono, el acero ASTM A588 tiene una excelente resistencia a la corrosión en diferentes ambientes (Y. Medina, 2015)

**Tabla 8:** Descripción de las Propiedades Mecánicas de los Aceros, ASTM 588

Designación del ASTM.	Producto	Grado	Fy (min) kg/cm <sup>2</sup>	Fu (min/max) kg/cm <sup>2</sup>	% Elongación 5,08 cm (mínimo)	Fu/Fy (min)
Descripción	A588/A588M-94					
Esta especificación cubre perfiles, placas y barras de acero de alta resistencia y baja aleación para construcción remachada, atornillada y soldada a ser usado principalmente en miembros estructurales. Cuando se expone apropiadamente a la atmósfera este acero puede ser usado sin pintura para muchas aplicaciones.	Placas y Barras	-	3514	4919	21	1.40

**Fuente:** (AISI, 1996)

## 2.4. Ensayos Aplicados

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

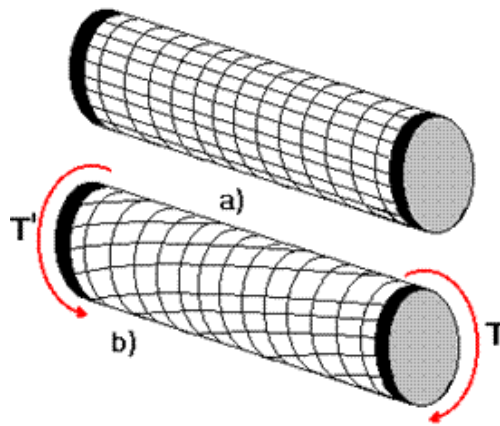
### 2.4.1. Torsión

La torsión se refiere a un desplazamiento circular de una determinada sección transversal de un elemento cuando se aplica sobre este un momento torsión o una fuerza que produce un momento torsión alrededor del eje (E. Medina, 2002).

Con este ensayo mecánico se pretende establecer los esfuerzos a los que se encuentra sometido una muestra de acero en la prueba de torsión, y generalmente se lo aplica en la industria para determinar sus constantes elásticas y propiedades de los materiales (E. Medina, 2002).

La torsión se puede medir observando la deformación que produce en un objeto un par determinado. Para esto, se fija un objeto cilíndrico o probeta de longitud determinada, por ambos extremos, aplicando un par de fuerzas en los extremos que van aumentando gradualmente a través de la máquina de torsión, midiendo así el número de revoluciones necesarias para la fractura de nuestra muestra (E. Medina, 2002)

La obtención del diagrama de momento torsor en función del ángulo de torsión, para una probeta cilíndrica sometida a torsión, es fundamental para determinar el módulo de rigidez al corte, el esfuerzo cortante de proporcionalidad y el esfuerzo cortante de fluencia (E. Medina, 2002).



**Figura 10:** Representación Gráfica del Momento Torsor

**Fuente:** (Castillo, 2013)

#### 2.4.2. Tracción

Este ensayo es utilizado para medir la resistencia del acero al ser sometido a una fuerza estática aplicada lentamente, que ejerce una fuerza de tensión gradualmente hasta producir la rotura de la varilla (Garavito, 2016).

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

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

Cuyo proceso inicia instalando la probeta en la máquina y una vez ajustados los respectivos seguros se inicia el ensayo, comenzando a registrarse las fuerzas y la deformación de la probeta en la máquina, indicando de manera numérica y gráficamente lo que va sucediendo (Garavito, 2016).

Este proceso concluye al momento que una carga determinada provoca la fractura de la probeta requiriéndose el registro de la misma y el alargamiento alcanzado de la muestra.



**Figura 11:** Ensayo a tracción del acero

#### 2.4.3. Doblado

En este ensayo se analiza el comportamiento del acero al ser sometidos a un esfuerzo de flexión pura, mediante el doblado de la barra en condiciones predefinidas, donde se trata de determinar el efecto sobre la superficie exterior de la porción doblada.

Midiendo la capacidad de la barra para doblarse hasta llegar a un doblez de radio mínimo sin agrietarse, obteniendo así una idea aproximada sobre el comportamiento del acero a la flexión, necesaria para prevenir roturas frágiles durante las manipulaciones de doblado y transporte (UTN, 2012).

El ensayo comienza colocando la pieza sobre dos apoyos, posteriormente se aplica una fuerza controlada que aumenta paulatinamente hasta que la barra se dobla completamente o comienzan a aparecer las primeras grietas (UTN, 2012).

El ensayo se realiza de forma lenta y constante para permitir el deslizamiento de la barra y a su vez, controlando que el eje de la barra permanezca perpendicular al eje del doblamiento, con el propósito de evaluar el agrietamiento o rotura de la parte exterior de la zona doblada (UTN, 2012).



**Figura 12:** Ensayo de doblado del acero

**Fuente:** (NDE, 2014)

## 2.5. Normas de Referencia

Son aquellas normas elaboradas por las entidades de la administración pública, en aquellos casos en que las normas nacionales o internacionales, no cubran sus requerimientos, o bien las especificaciones que se contengan se consideren inaplicables u obsoletas, cuando dichas entidades requieran adquirir, arrendar o contratar bienes o servicios (PEMEX, 2014).

### 2.5.1. Norma ASTM A370

Estos métodos de prueba cubren los procedimientos y definiciones para las pruebas mecánicas de aceros, aceros inoxidable y aleaciones relacionadas en donde, las diversas pruebas mecánicas que se describen, son utilizadas para determinar las propiedades requeridas en las especificaciones del producto (ASTM, 2016).

Se deben evitar las variaciones en los métodos de prueba y se deben seguir los métodos estándar de prueba para obtener resultados reproducibles y comparables. En aquellos

casos en que los requisitos de prueba para ciertos productos son únicos o en desacuerdo con estos procedimientos generales, los requisitos de prueba de la especificación del producto deben ser controlados (ASTM, 2016).

El uso principal de estos métodos de prueba, es determinar las propiedades mecánicas especificadas del acero, acero inoxidable y productos de aleaciones relacionadas, para la evaluación de la conformidad de dichos productos; los cuales pueden ser utilizados por otros comités de la ASTM y ciertos organismos de redacción de normas (ASTM, 2016).

La condición del material al momento de la prueba, la frecuencia de muestreo, la ubicación y la orientación de la muestra, los requisitos de informe y otros parámetros de prueba, se encuentran en la especificación del material pertinente o en una especificación de requisitos generales para el formulario del producto en particular (ASTM, 2016).

Existe una variación estadística en todos los aspectos de las pruebas mecánicas y se esperan variaciones en los resultados de las pruebas de pruebas anteriores. Por lo que se debe aplicar una comprensión de las posibles razones de la desviación de los valores de prueba especificados o esperados en la interpretación de los resultados de la prueba.(ASTM, 2016)

Al igual que con cualquier prueba mecánica, las desviaciones de los límites de especificación o de las propiedades de fabricación esperadas pueden ocurrir por razones válidas, además de la deficiencia del producto original fabricado. (ASTM, 2016)

Estas razones incluyen, pero no se limitan a: la degradación posterior del servicio debido a la exposición ambiental; efectos de tensión de servicio estática o cíclica, daño inducido mecánicamente, falta de homogeneidad del material, estructura anisotrópica, envejecimiento natural de las aleaciones seleccionadas, procesamiento adicional no incluido en la especificación, limitaciones de muestreo y medición de la incertidumbre de calibración del equipo.(ASTM, 2016)

### 2.5.2. Norma INEN 109:2009

Esta norma nos especifica el método a usarse, para el ensayo de tracción de materiales metálicos, en donde se definen las propiedades mecánicas que se pueden determinar a temperatura ambiente (INEN, 2009).

Dentro de la misma se detalla el proceso a llevarse a cabo para la evaluación de nuestra muestra, contando con una serie de parámetros tales como el fundamento teórico, la preparación de la muestra, el procedimiento en sí y un detalle de resultados. (INEN, 2009)

Por lo que se aplica el ensayo de tracción a todos los productos de acero de sección transversal constante mientras que, para ciertos materiales metálicos y aplicaciones particulares, el ensayo de tracción debe estar sujeto a normas específicas o requerimientos particulares (INEN, 2009).

El ensayo comprende el estiramiento de una probeta por una fuerza axial de tracción proporcional a sus dimensiones, mediante una máquina para ensayo de tracción para determinar durante su deformación una o más características mecánicas. El cual se llevará a cabo a temperatura ambiente comprendida entre + 10°C y + 35°C, a menos que se especifique de otra manera (INEN, 2009).

En cuanto a la forma y las dimensiones de las probetas, dependerán de la forma y dimensiones de los productos metálicos de los cuales se tomó la probeta y de las propiedades mecánicas que se van a determinar (INEN, 2009).

Sin embargo, los productos de sección transversal uniforme (perfiles, barras, alambres, etc.) y también los elementos fundidos (fundiciones de hierro y aleaciones no ferrosas) pueden ser sometidas a ensayo sin maquinado (INEN, 2009).

Las probetas de ensayo se deben tomar y preparar de acuerdo con los requerimientos de las normas para los diferentes materiales que se indica en la Norma ISO - INEN 377. (INEN, 2009).

### 2.5.3. Norma ASTM A36

Esta especificación cubre las formas, placas y barras de acero al carbono de calidad estructural para su uso en la construcción de puentes y edificios remachados, empernados o soldados, y para fines estructurales generales (ASTM, 2005).

Se proporcionan requisitos complementarios para su uso cuando el comprador requiere pruebas adicionales o restricciones adicionales, en donde dichos requisitos se aplican solo cuando se especifica en la orden de compra (ASTM, 2005).

Para los productos estructurales producidos a partir de bobinas y suministrados sin tratamiento térmico o solo con alivio del estrés, se aplican los requisitos adicionales, incluidos los requisitos de prueba adicionales y el informe de resultados de prueba adicionales, de A6 / A6M (ASTM, 2005).

### 2.5.4. Norma ASTM A572

Esta especificación abarca cuatro grados de formas, placas, tablestacas y barras de acero estructural de baja aleación de alta resistencia. En donde los grados 42 y 50 están diseñados para la construcción de puentes, edificios y otras estructuras remachadas, empernadas o soldadas (ASTM, 2019).

Mientras que los grados 60 y 65 están diseñados para la construcción de puentes remachados o empernados, y para la construcción remachada, empernada o soldada en otras aplicaciones (ASTM, 2019).

Cuando el acero se utiliza en la construcción soldada, el procedimiento de soldadura debe ser adecuado para el acero y el servicio previsto (ASTM, 2019).

Para la construcción de puentes soldados, la resistencia de la rotura es un requisito importante. Para esta u otras aplicaciones donde se indiquen los requisitos de resistencia a la rotura, deberán negociarse entre el comprador y el productor (ASTM, 2019).

### 2.5.5. Norma ASTM A588

Esta especificación cubre formas, placas y barras de acero estructural de baja aleación de alta resistencia para construcción soldada, remachada o atornillada, pero está diseñada principalmente para su uso en puentes y edificios soldados donde el ahorro de peso o la durabilidad adicional son importantes (ASTM, 2013).

La resistencia a la corrosión atmosférica de este acero en la mayoría de los entornos es sustancialmente mejor que la de los aceros estructurales al carbono con o sin adición de cobre (ASTM, 2013).

Cuando se expone adecuadamente a la atmósfera, este acero es adecuado para muchas aplicaciones en el estado desnudo (sin pintar). Pero para cuando se debe soldar el acero, se debe utilizar un procedimiento de soldadura adecuado para el grado del acero y el uso o servicio previsto (ASTM, 2013).

A continuación, se presenta en la siguiente tabla a manera de resumen las propiedades químicas y mecánicas de cada uno de los aceros evaluados:

**Tabla 9:** Composición Química y Propiedades Mecánicas de los Aceros Evaluados

Composición Química y Propiedades Mecánicas			
ASTM	A36	A572	A588
Composición Química			
Carbono %	0,26 max	0,23 max	0,20 max
Manganeso %	-	1,35 max	0,75-1,35
Fósforo %	0,04 max	0,04 max	0,03 max
Silicio %	0,40 max	0,40 max	0,15-0,5
Azufre	0,05 max	0,05 max	0,03 max
Propiedades Mecánicas			
Resistencia a la Tensión (Mpa)	400-550	450 min	485 min
Límite de Fluencia (Mpa)	250 min	345 min	345 min
Elongación en 50 mm (%)	23 min	21 min	21 min

**Fuente:** (ASTM. 2005)

### 3. Capítulo 3: Desarrollo Experimental

El Desarrollo Experimental, consiste en trabajos sistemáticos que aprovechan los conocimientos existentes obtenidos de la investigación y/o la experiencia práctica, y está dirigido a la producción de nuevos materiales, productos o dispositivos; a la puesta en marcha de nuevos procesos, sistemas y servicios, o a la mejora sustancial de los ya existentes. (CONCYTEC, s.f)

El desarrollo experimental de esta tesis abarca los materiales y métodos utilizados en la producción y obtención del material (aceros ASTM A36, A572, A588), de sus elementos de ensayo, y su respectivo procedimiento efectuado para la evaluación de los mismos.

### 3.1. Materiales y Métodos

#### 3.1.1. Placas de Acero

En la presente tesis se evaluaron nueve placas en forma de probetas de medidas 100x500x8 mm, de acero estructural A-36, A-572 y A-588.

Las placas de acero A-36 presentaron un material más factible de encontrar en el mercado, debido a su habitual uso. Se obtuvieron las placas A-36 en la empresa “Aceros Industriales HGB”.

Las placas de acero A-572 y A-588 presentan menor presencia en el mercado, tan solo grandes empresas se encargan de su importación y venta, las placas se consiguieron en la empresa “KUBIEC”, una de las empresas más grandes del país en procesos de importación y fabricación de metales y aceros para la construcción, entre otros.



**Figura 13:** Placas de acero A-36

#### 3.1.2. Máquina Industrial de Oxicorte

Esta máquina de plasma de alta definición de la marca Oxysser, modelo Delta, del año 2013, está equipada de un equipo informático de control en entorno Windows y control de altura, un generador de corte y control de gases automático, un sistema anti-colisión.



**Figura 14:** Maquina Industrial de Oxicorte, Empresa KUBIEC

### 3.1.3. Calibrador

Un calibrador es un instrumento muy utilizado y apropiado para medir longitudes, espesores, diámetros interiores, diámetros exteriores y profundidades en una pieza. Consiste en una regla graduada, con una barra fija sobre la cual se desliza un cursor. Por lo general es utilizado en talleres y a nivel industrial para medir piezas mecánicas. (Gallegos, 2015)



**Figura 15:** Calibrador digital

**Fuente:** (Gallegos, 2015)

### 3.1.4. Flexómetro

Instrumento de medición de longitudes.



**Figura 16:** Flexómetro

**Fuente:** (Stanley, 2008)

### 3.1.5. Arco Sierra

Utilizada en el corte de materiales metálicos de preferencia y plásticos.



**Figura 17:** Arco Sierra

**Fuente:** (Herramientas, 2018)

### 3.1.6. Máquina Universal de Ensayos

Somete al material a una carga uniaxial gradualmente creciente, hasta el punto de falla.



**Figura 18:** Máquina Universal de Ensayo, Laboratorio de materiales de la PUCE

## 3.2. Ensayos de Laboratorio (Procedimiento)

### 3.2.1. Elaboración Probetas de Acero

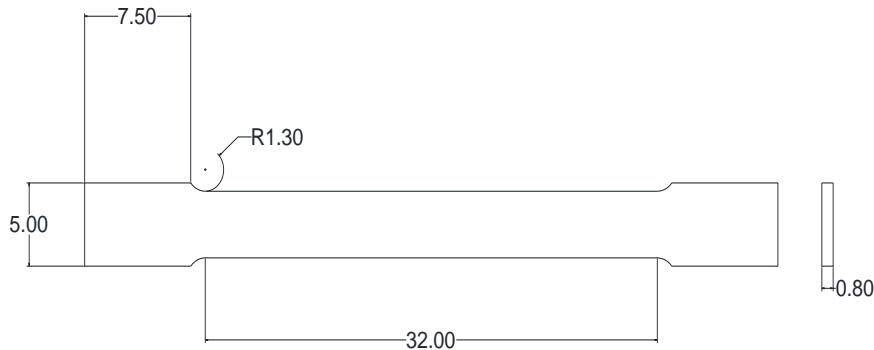
Para la elaboración de las probetas de acero se realiza el diseño del prototipo de la probeta en AutoCAD, basándose para las medidas de la probeta con la norma internacional ASTM A370-18 “Métodos de prueba estándar y definiciones para pruebas mecánicas de

productos de acero”, las medidas se tomaron basados en la tabla de la página 6 para, prueba a tensión de especímenes rectangulares.

**Tabla 10:** Dimensiones para Prueba a Tensión de Especímenes Rectangulares

	DIMENSIONES							
	standard especimen				subtamaño de especimen			
	placa tipo 1 1/2-in. (40-mm) ancho							
	8-in (200-mm) longitud de referencia		2-in (50-mm) longitud de referencia		Tipo de hoja, 1/2 in. (12.5-mm) ancho		1/4-in (6-mm) ancho	
in	mm	in	mm	in	mm	in	mm	
G- Longitud de referencia	8.00 + - 0.01	200 + - 0.25	2.000 + - 0.005	50.0 + - 0.10	2.000 + - 0.005	50.0 + - 0.10	1.000 + - 0.003	25.0 + - 0.08
W-Ancho	1 1/2 + 1/8 - 1/4	40 + 3 - 6	1 1/2 + 1/8 - 1/4	40 + 3 - 6	0.500 + - 0.010	12.5 + - 0.25	0.250 + - 0.002	6.25 + - 0.05
T-Espesor	Espesor del Material							
R- Radio de filete, min	1/2	13	1/2	13	1/2	13	1/4	6
L-Longitud total, min	18	450	8	200	8	200	4	100
A-Longitud de la sección reducida, min	9	225	2 1/4	60	2 1/4	60	1 1/4	32
B-Longitud de la sección de agarre, min	3	75	2	50	2	50	1 1/4	32
C-Ancho de la sección de agarre, approximate	2	50	2	50	3/4	20	3/8	10

**Fuente:** (ASTM A370-18, 2005)

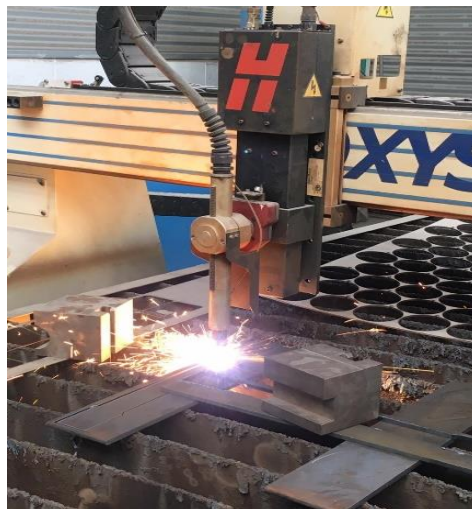


**Figura 19:** Diseño del molde de probeta de acero en AutoCAD

Se coloca las placas de acero a la máquina de oxicorte a laser para obtener las probetas, la maquina realiza un corte a laser preciso, basado en las medidas exactas tomadas del diseño en AutoCAD.



**Figura 20:** Colocación de las placas de acero.



**Figura 21:** Corte laser (maquina Oxicorte)



**Figura 22:** Probetas de acero, posterior al corte.

### 3.2.2. Preparación Muestras de Acero a Ensayarse

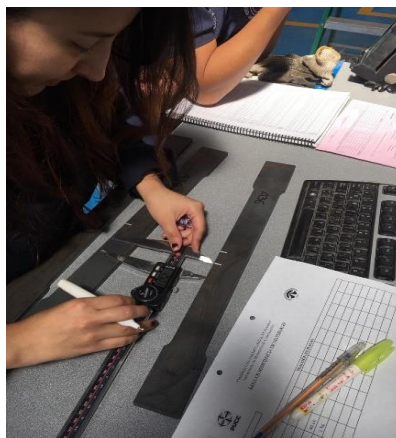
Con el calibrador se toma las medidas dimensionales de la probeta, su ancho y espesor en el centro de la misma, aplicando bien el instrumento de calibración.

La toma de medidas será en unidades del sistema métrico internacional (SI) las medidas están en milímetros (mm).



**Figura 23:** Toma de medidas (probetas de acero)

Se mide el centro exacto de la probeta a lo largo de su longitud total, y partiendo desde este punto se realiza medidas cada 50 milímetros (elongación inicial) en ambos lados, marcando cada una de ellas. Por recomendación se lo realizó cada 25 milímetros, para resultados más precisos al momento de la medición de su elongación final.



**Figura 24:** Medición de marcas.

Posteriormente se resalta los puntos marcados con un arco sierra en caso de que, durante el ensayo a tensión, las marcas desaparezcan.



**Figura 25:** Marcación de puntos

### 3.2.3. Realización del Ensayo de Tensión

- a) Se calibra la máquina universal de ensayos con la ayuda del encargado de laboratorio, programando su software para iniciar el ensayo a tracción de las muestras de acuerdo a los parámetros establecidos.
- b) Posteriormente se procede a colocar la probeta o muestra a evaluarse en la máquina universal, la misma que estará sostenida por un par de mordazas.
- c) Finalmente, comienza el ensayo a través de la máquina universal, la cual genera de manera gradual el desplazamiento del cabezal móvil en la parte superior a una velocidad seleccionable, mientras que la parte conectada a la mordaza fija entrega una señal que representa la carga aplicada en Newton (N).

En este punto la máquina universal toma los datos de posición en milímetros (mm) mediante el potenciómetro lineal, permitiendo así observar el desarrollo del ensayo a tensión, reflejado en la computadora a través de la formación del diagrama de esfuerzo deformación.

- d) Una vez que la muestra de acero alcanza su esfuerzo máximo esta se fractura en su punto de falla y da por concluido el ensayo.

En las imágenes presentadas a continuación se representa de manera gráfica el proceso descrito.



**Figura 26:** Proceso de deformacion de la probeta.



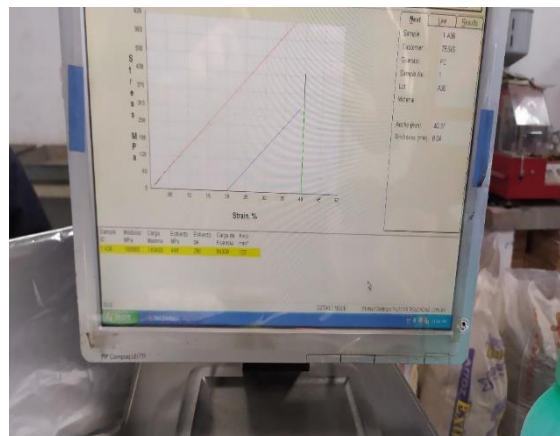
**Figura 27:** Proceso de deformación de la probeta



**Figura 28:** Ruptura o falla de la probeta



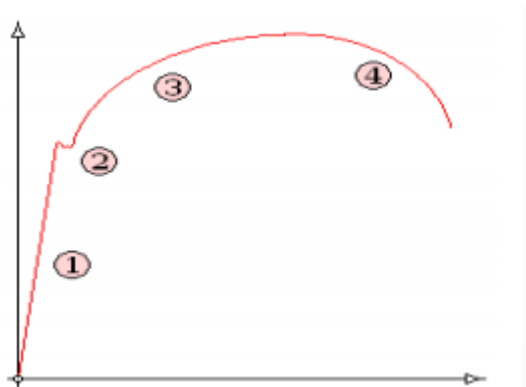
**Figura 29:** Muestras de acero fracturadas.



**Figura 30:** Diagrama Esfuerzo – Deformación Unitaria Posterior al ensayo.

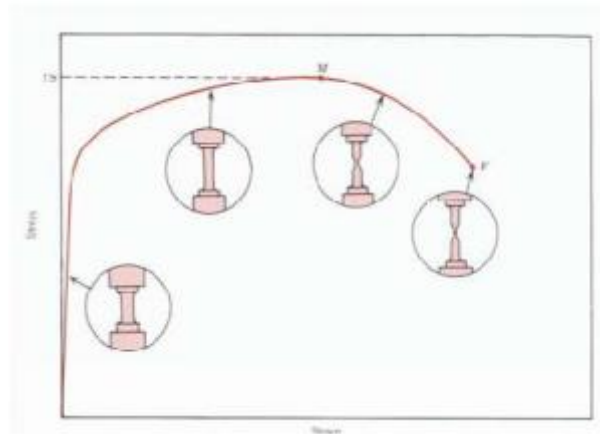
Es importante recalcar ciertos conceptos básicos que servirán como datos de entrada y mecanismo de cálculo durante la realización del ensayo.

- Deformación elástica: En esta zona las deformaciones se reparten a lo largo de la probeta, son de pequeña magnitud y, si se retirara la carga aplicada, la probeta recuperaría su forma inicial.
- Fluencia o cadencia: Es la deformación brusca de la probeta sin incremento de la carga aplicada. (E. Medina, 2002)
- Deformaciones plásticas: Si se retira la carga aplicada en dicha zona, la probeta recupera sólo parcialmente su forma quedando deformada permanentemente. (E. Medina, 2002)
- Estricción: Llegado un punto del ensayo, las deformaciones se concentran en la parte central de la probeta apreciándose una acusada reducción de la sección de la probeta, momento a partir del cual las deformaciones continuarán acumulándose hasta la rotura de la probeta por esa zona. (E. Medina, 2002)



**Figura 31:** Diagrama Esfuerzo-Deformación

**Fuente:** (E. Medina, 2002)



**Figura 32:** Comportamiento de la probeta durante el Ensayo

**Fuente:** (E. Medina, 2002)

- **Porcentaje de elongación:** La cantidad de elongación que presenta una muestra bajo tensión durante un ensayo proporciona un valor de la ductilidad de un material. La ductilidad de los materiales comúnmente se expresa como porcentaje de la elongación. (E. Medina, 2002)
- **Porcentaje de reducción del Área:** Este parámetro también da una idea acerca de la ductilidad del material. Utilizando la medida de los diámetros inicial y final, puede determinarse el porcentaje de reducción en el área a partir de la ecuación. (E. Medina, 2002)

#### 4. Capítulo 4: Análisis de Resultados

##### 4.1. Resultados Obtenidos

Una vez realizados los ensayos de resistencia a la tensión de cada una de las muestras de acero, pertenecientes a los tipos ASTM A36, A572 y A588 se obtuvo los siguientes valores y diagramas de esfuerzo deformación, presentados a continuación.

**Tabla 11:** Resultados de la determinación de la resistencia a la tensión de placas de acero material base: Acero ASTM A36

MUESTRA	1	2	3
Descripción	ASTM A36		
Fecha de Ensayo	18/7/2019	18/7/2019	18/7/2019
Espesor (mm)	8,04	7,89	7,96
Ancho (mm)	40,37	40,19	40,1
Área Mínima (mm <sup>2</sup> )	324,57	317,1	319,2
Carga Máxima (N)	145400	145300	145400
<b>Esfuerzo Máximo (Mpa)</b>	<b>448</b>	<b>458</b>	<b>456</b>
<b>Esfuerzo de Fluencia (Mpa)</b>	<b>290</b>	<b>292</b>	<b>301</b>
<b>Elongación en 50 mm(%)</b>	<b>47</b>	<b>48</b>	<b>47</b>

Fuente: (LRM-PUCE, 2019)

**Tabla 12:** Resultados de la determinación de la resistencia a la tensión de placas de acero material base: Acero ASTM A572

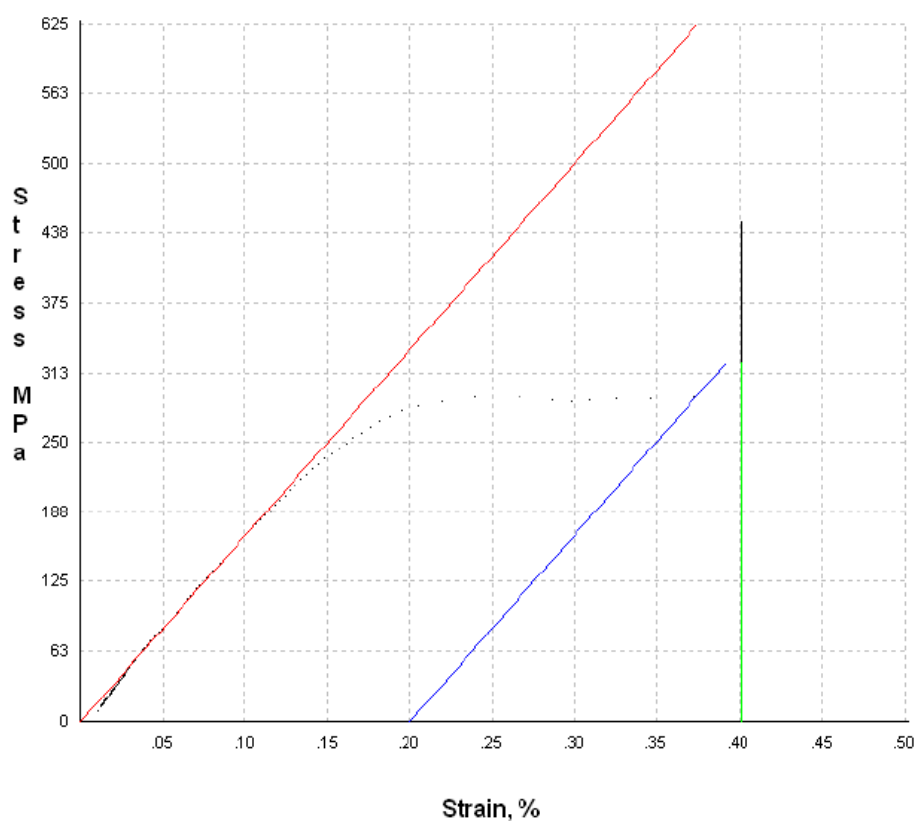
MUESTRA	1	2	3
Descripción	ASTM A572		
Fecha de Ensayo	6/8/2019	6/8/2019	6/8/2019
Espesor (mm)	8,14	8,04	8,4
Ancho (mm)	40,34	41,29	40,29
Área Mínima (mm <sup>2</sup> )	328,37	331,97	338,44
Carga Máxima (N)	186000	187200	162100
<b>Esfuerzo Máximo (Mpa)</b>	<b>556</b>	<b>564</b>	<b>479</b>
<b>Esfuerzo de Fluencia (Mpa)</b>	<b>455</b>	<b>445</b>	<b>358</b>
<b>Elongación en 50 mm(%)</b>	<b>47</b>	<b>41</b>	<b>54</b>

Fuente: (LRM-PUCE, 2019)

**Tabla 13:** Resultados de la determinación de la resistencia a la tensión de placas de acero material base: Acero ASTM A588

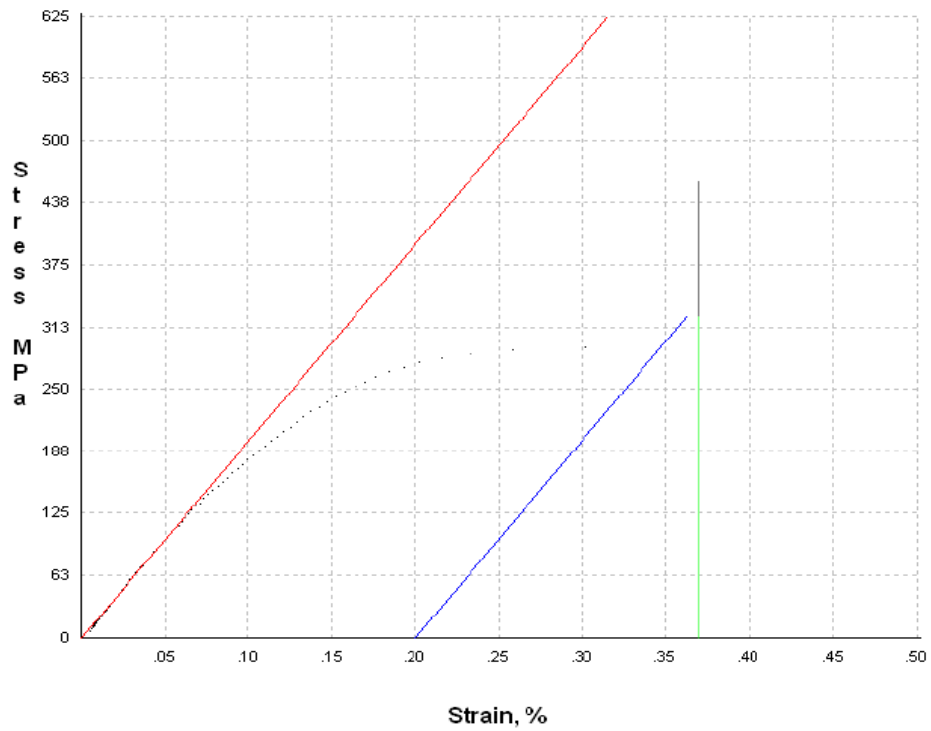
MUESTRA	1	2	3
Descripción	ASTM A588		
Fecha de Ensayo	6/8/2019	6/8/2019	6/8/2019
Espesor (mm)	8,16	7,94	7,96
Ancho (mm)	41,13	40,89	40,6
Área Mínima (mm <sup>2</sup> )	335,62	324,67	323,18
Carga Máxima (N)	184900	185200	185100
Esfuerzo Máximo (Mpa)	551	570	573
Esfuerzo de Fluencia (Mpa)	422	451	457
Elongación en 50 mm(%)	49	39	40

**Fuente:** (LRM-PUCE, 2019)



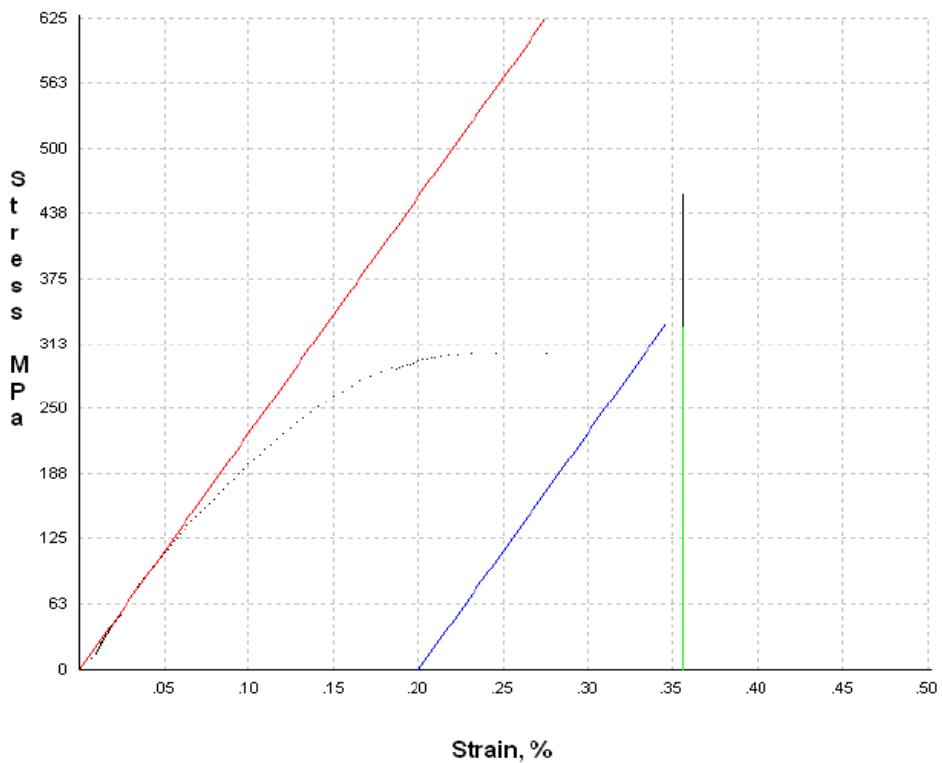
**Figura 33:** Diagrama Esfuerzo- Deformación Unitaria Acero A36 (Probeta 1)

**Fuente:** (LRM-PUCE, 2019)



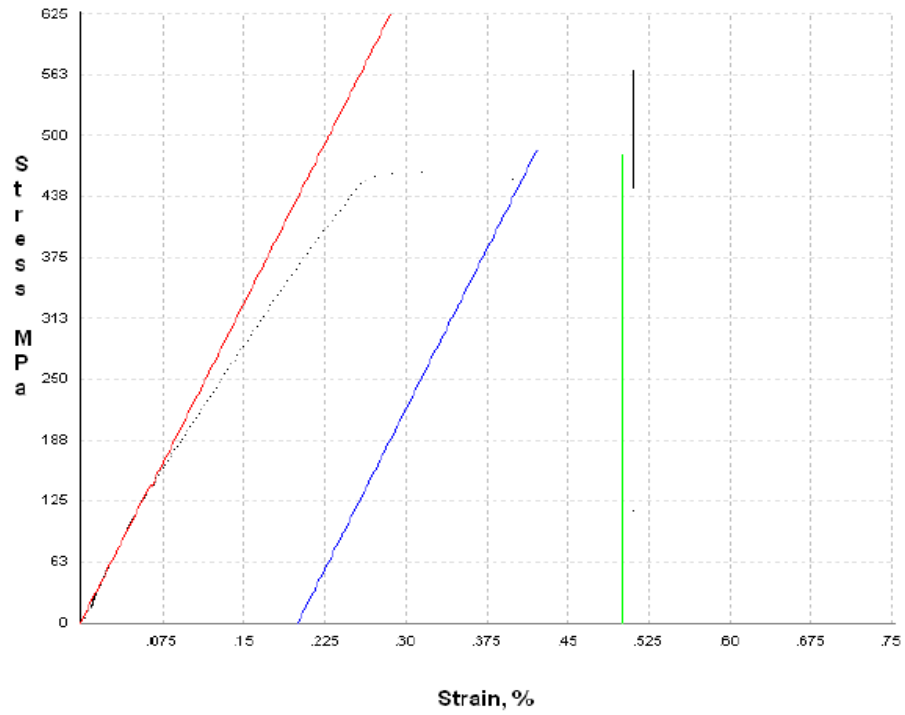
**Figura 34:** Diagrama Esfuerzo- Deformación Unitaria Acero A36 (Probeta 2)

**Fuente:** (LRM-PUCE, 2019)



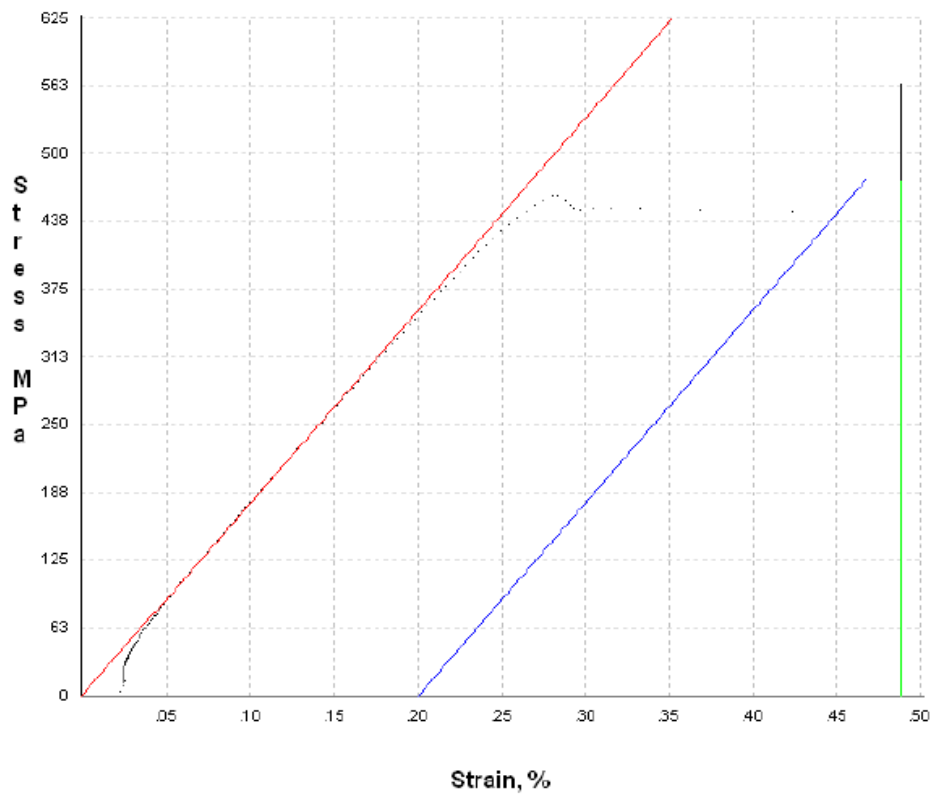
**Figura 35:** Diagrama Esfuerzo- Deformación Unitaria Acero A36 (Probeta 3)

**Fuente:** (LRM-PUCE, 2019)



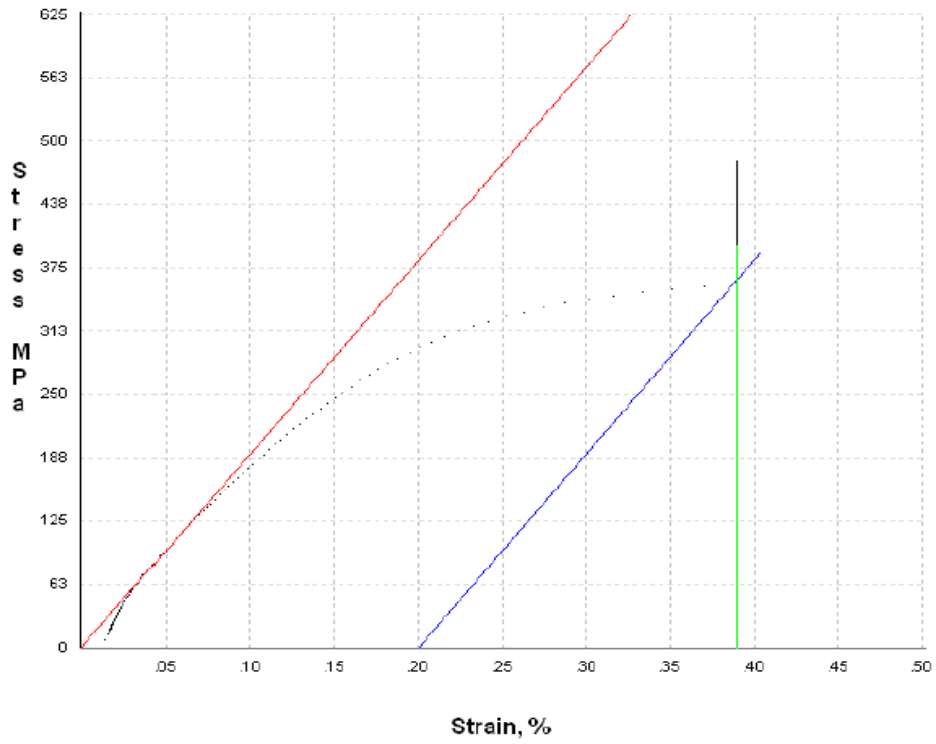
**Figura 36:** Diagrama Esfuerzo- Deformación Unitaria Acero A572 (Probeta 1)

*Fuente: (LRM-PUCE, 2019)*



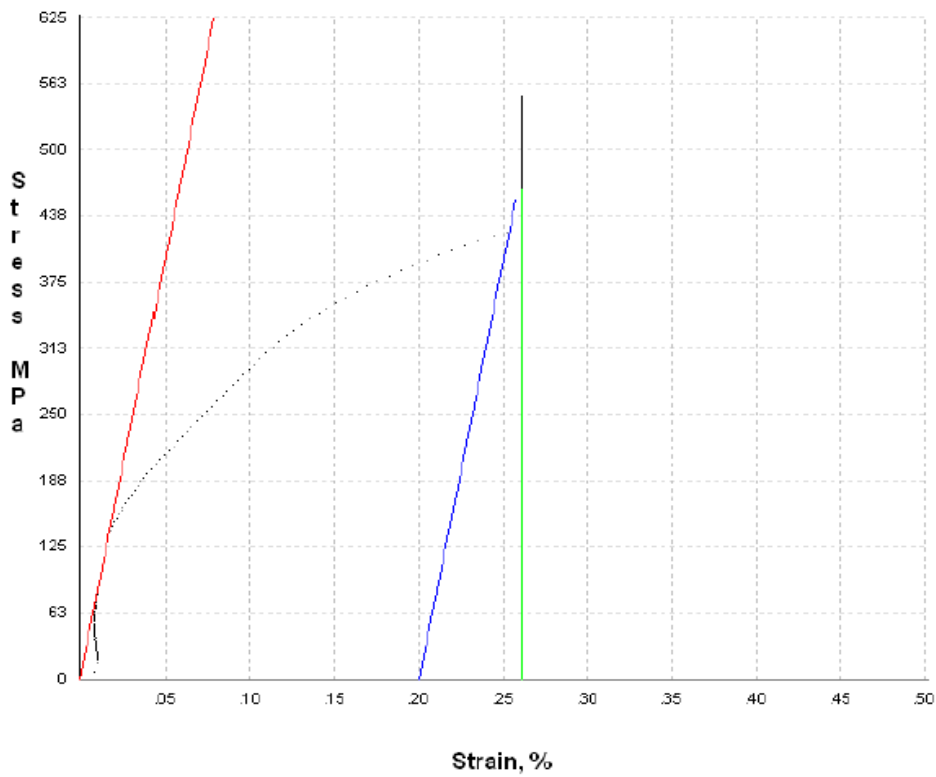
**Figura 37:** Diagrama Esfuerzo- Deformación Unitaria Acero A572 (Probeta 2)

*Fuente: (LRM-PUCE, 2019)*



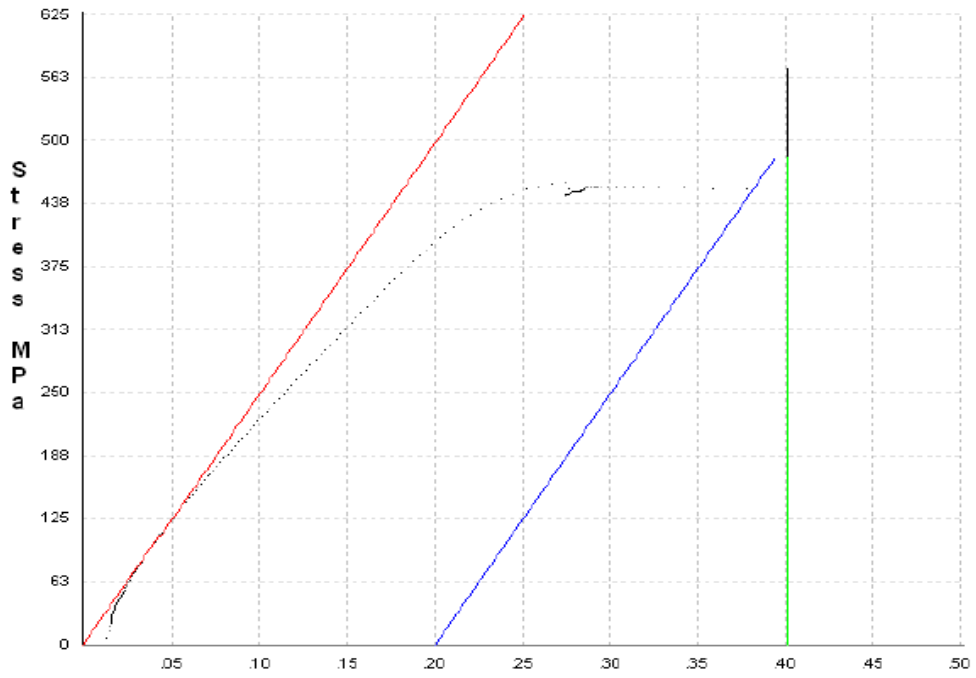
**Figura 38:** Diagrama Esfuerzo- Deformación Unitaria Acero A572 (Probeta 3)

**Fuente:** (LRM-PUCE, 2019)

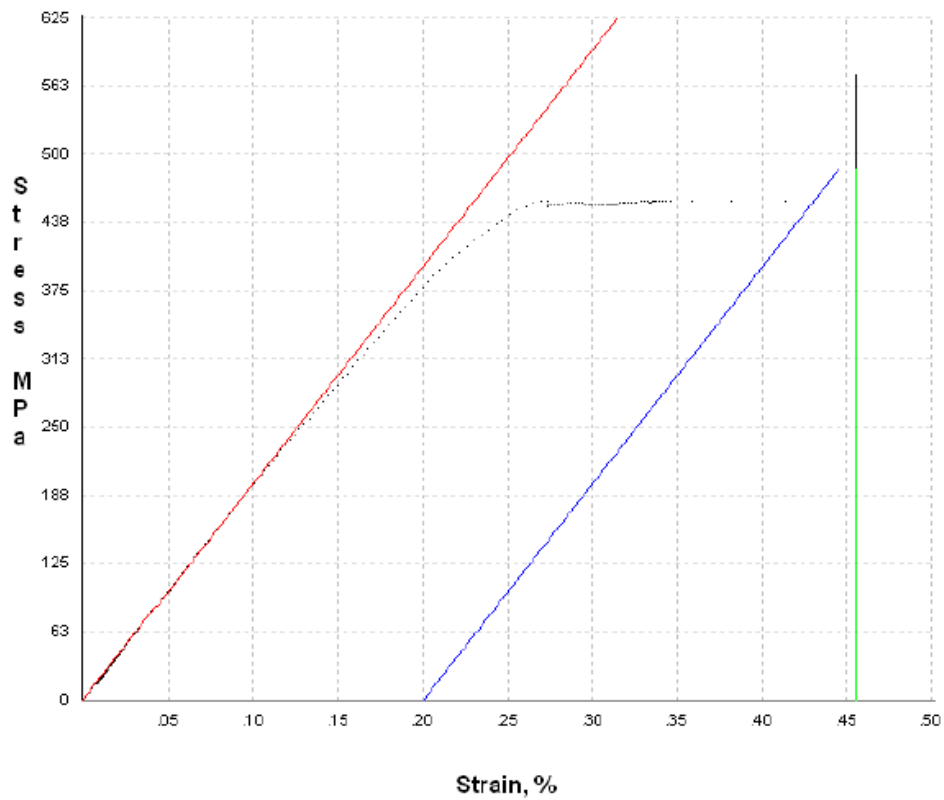


**Figura 39:** Diagrama Esfuerzo- Deformación Unitaria Acero A588 (Probeta 1)

**Fuente:** (LRM-PUCE, 2019)



**Figura 40:** Diagrama Esfuerzo- Deformación Unitaria Acero A588 (Probeta 2)  
**Fuente:** (LRM-PUCE, 2019)



**Figura 41:** Diagrama Esfuerzo- Deformación Unitaria Acero A588 (Probeta 3)  
**Fuente:** (LRM-PUCE, 2019)

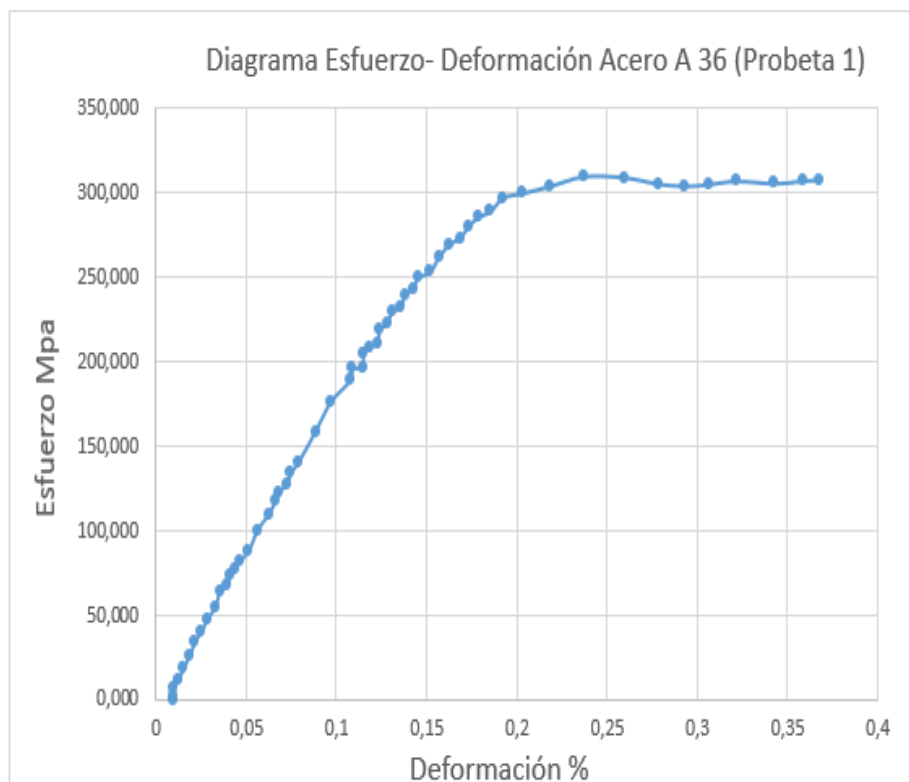
## 4.2. Análisis de Resultados

En este punto se presenta la elaboración de los diagramas Esfuerzo-Deformación teóricos, su correlación lineal y también los diagramas Esfuerzo-Deformación obtenidos mediante la simulación del ensayo de tensión del acero mediante el software ANSYS.

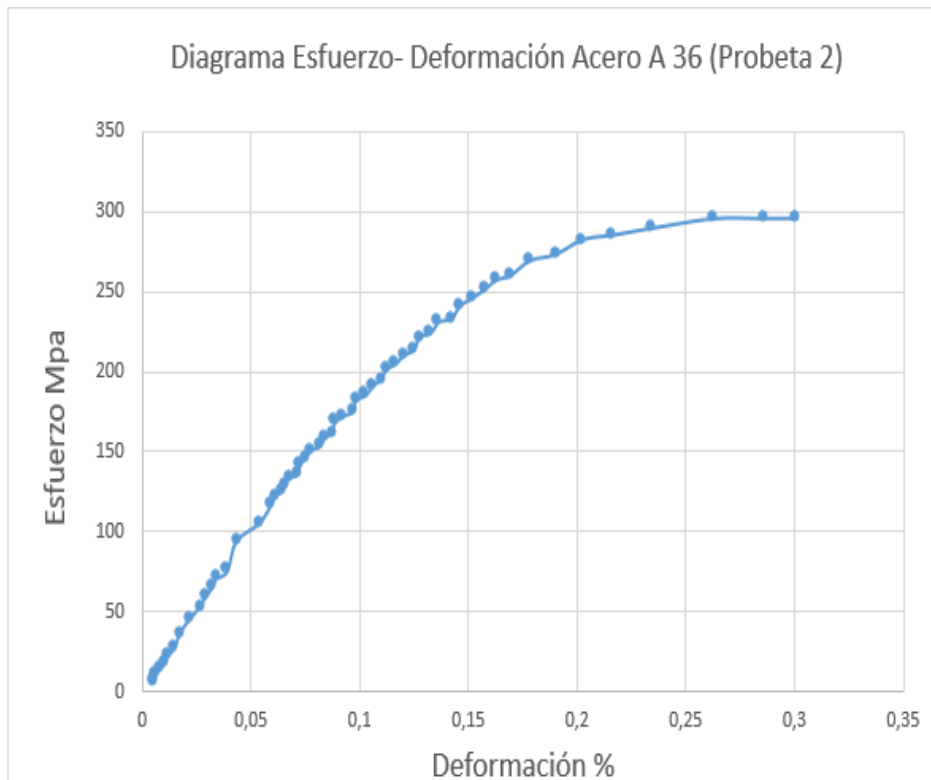
### 4.2.1. Diagramas Esfuerzo-Deformación Unitaria Teóricos

Para la obtención de las siguientes gráficas esfuerzo deformación, se tomaron de referencia las gráficas iniciales que se obtuvieron previamente en los ensayos realizados en el laboratorio con las probetas a tracción.

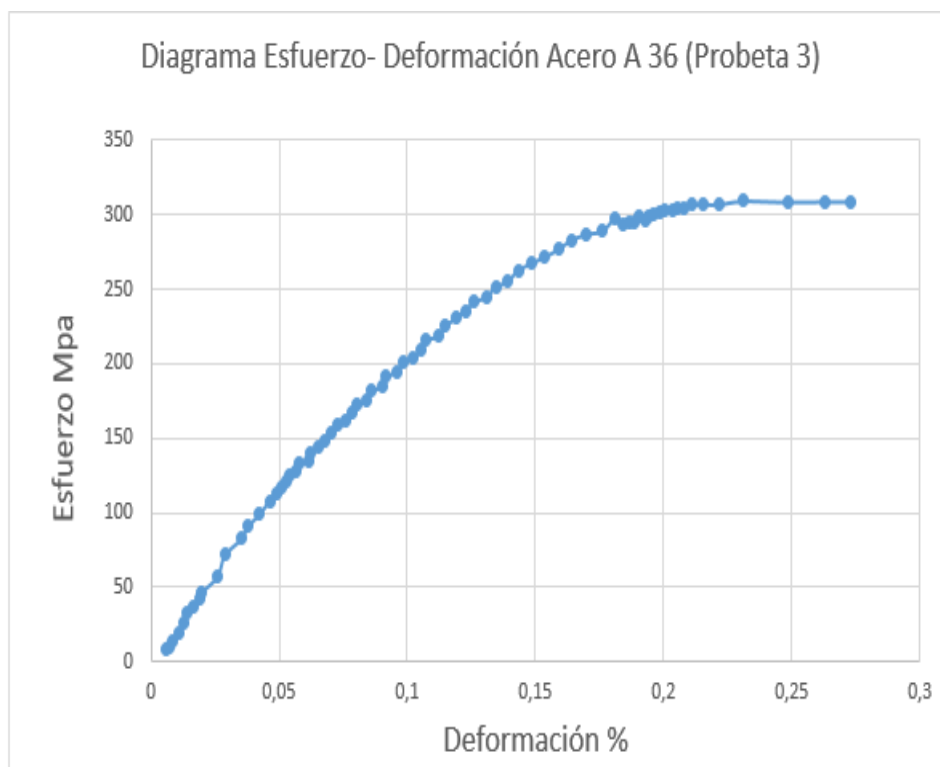
Para la determinación de los puntos obtenidos, se escaló en AutoCAD las gráficas de laboratorio tanto para el eje X como el eje Y de cada una. Ya obtenido los puntos, se los pasa a Excel donde deformación va en el eje X y esfuerzo en el eje Y y se obtiene el diagrama.



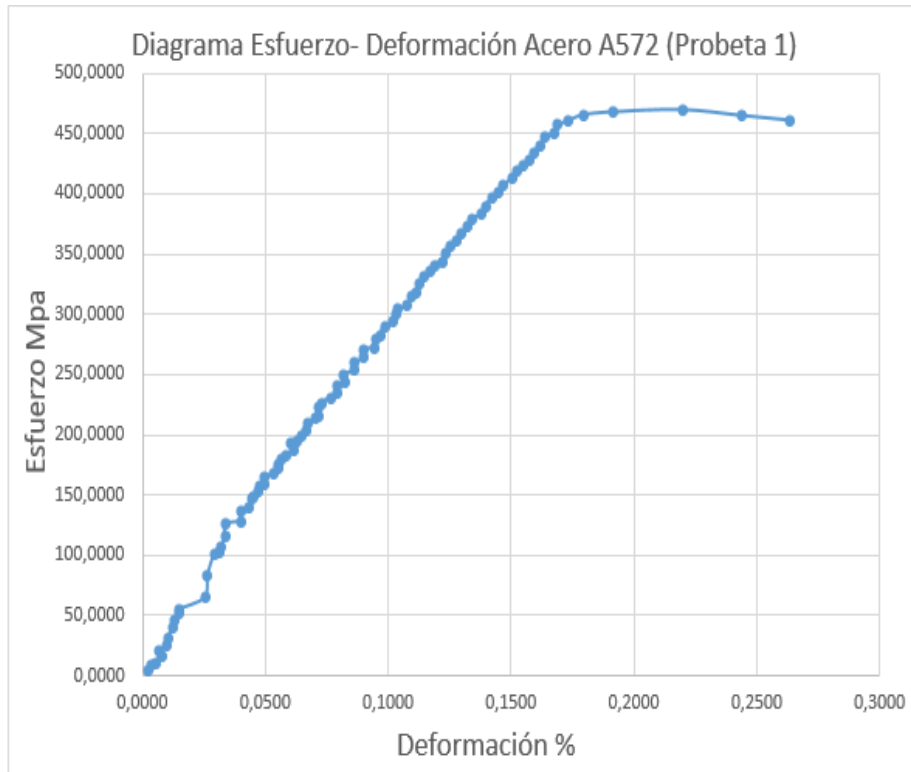
**Figura 42:** Diagrama Esfuerzo- Deformación Unitaria Acero A36 (Probeta 1)



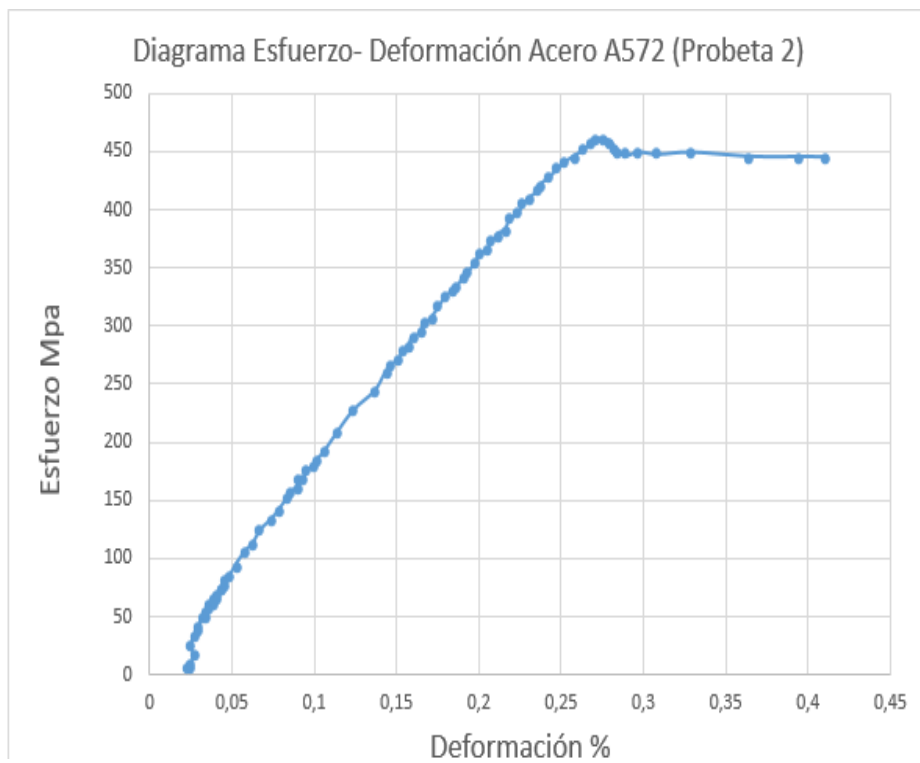
**Figura 43:** Diagrama Esfuerzo- Deformación Unitaria Acero A36 (Probeta 2)



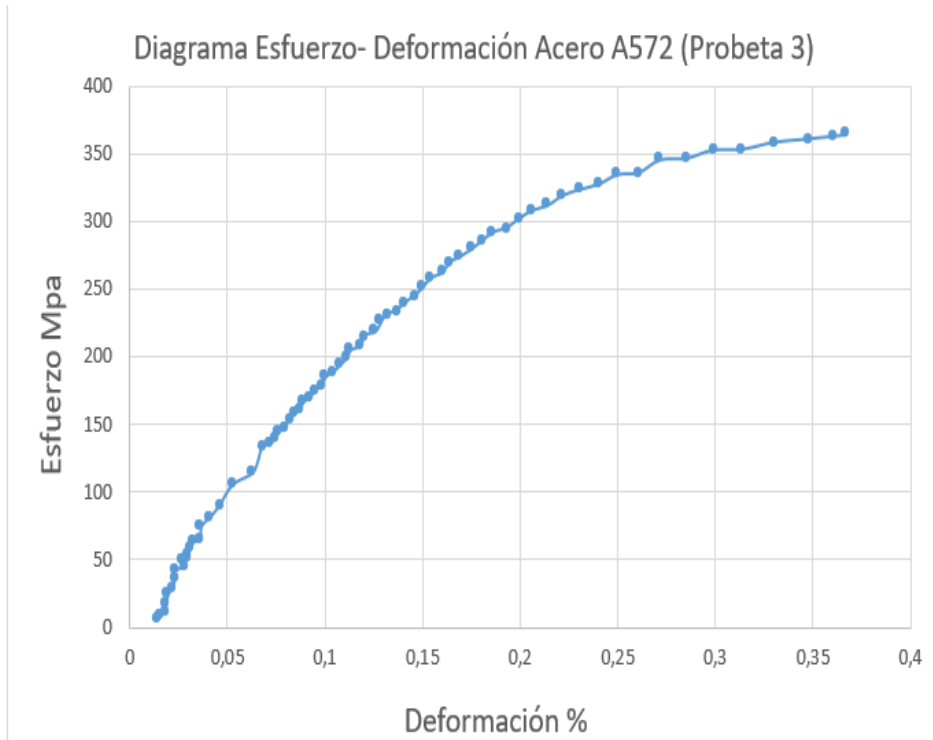
**Figura 44:** Diagrama Esfuerzo- Deformación Unitaria Acero A36 (Probeta 3)



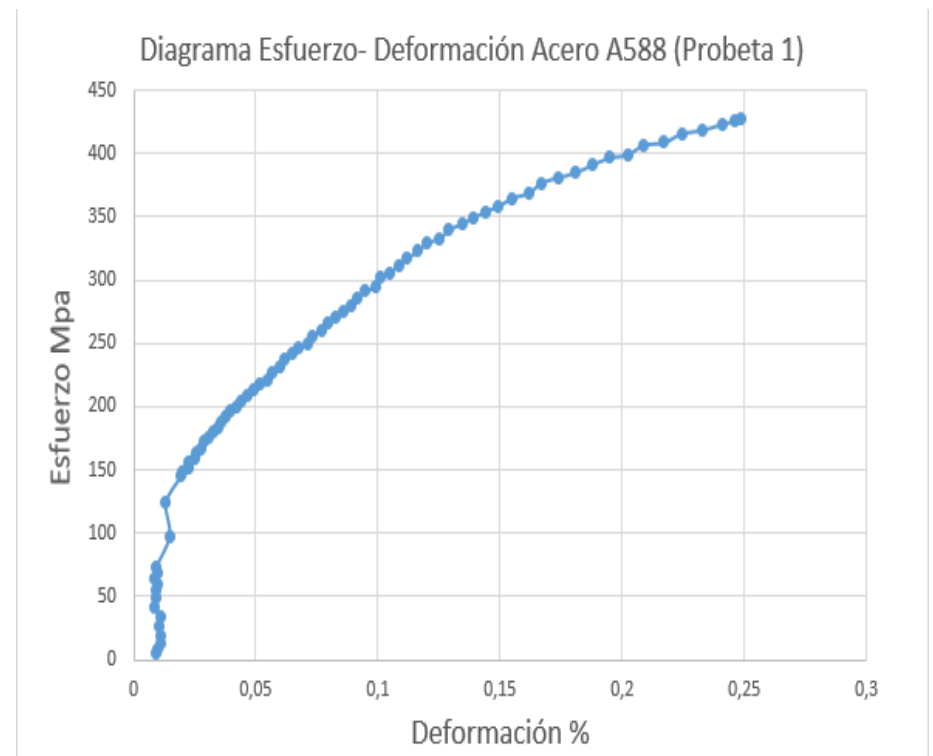
**Figura 45:** Diagrama Esfuerzo- Deformación Unitaria Acero A572 (Probeta 1)



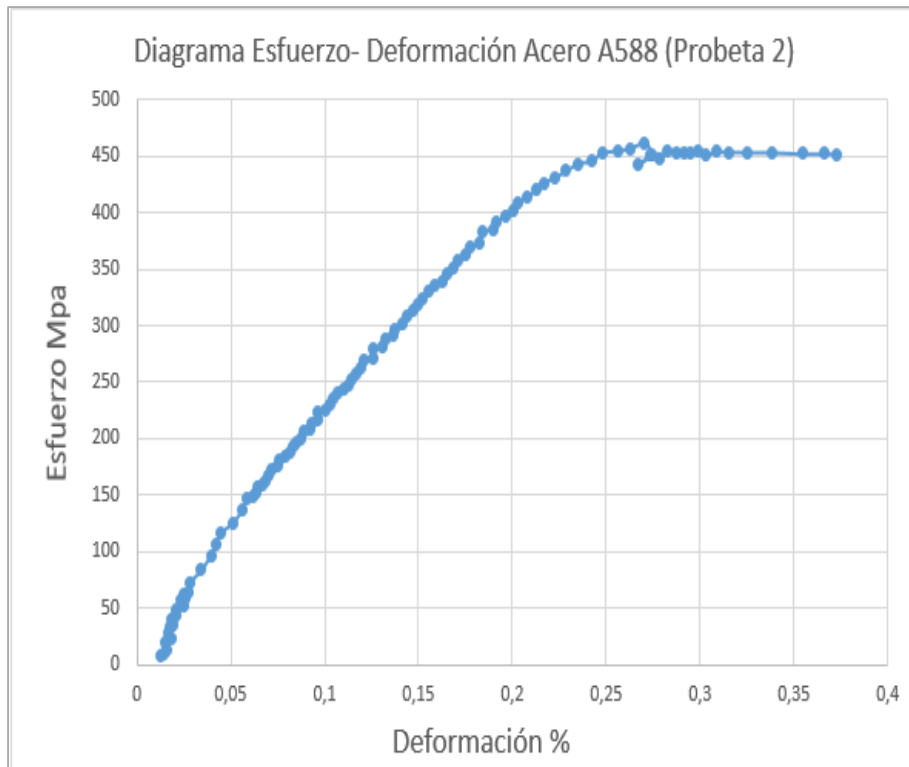
**Figura 46:** Diagrama Esfuerzo- Deformación Unitaria Acero A572 (Probeta 2)



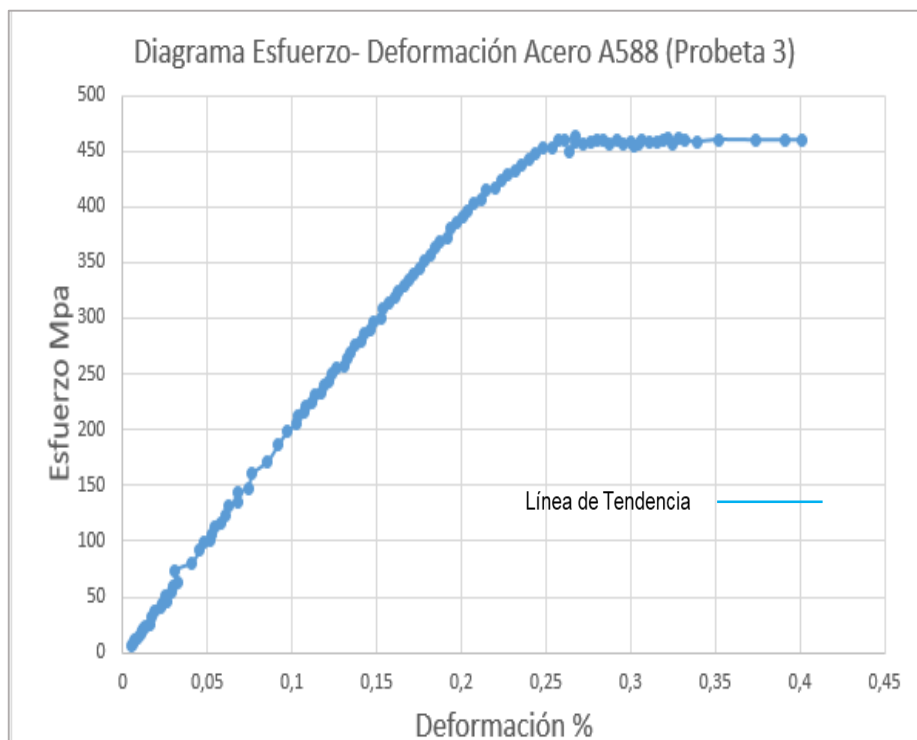
**Figura 47:** Diagrama Esfuerzo- Deformación Unitaria Acero A572 (Probeta 3)



**Figura 48:** Diagrama Esfuerzo- Deformación Unitaria Acero A588(Probeta 1)



**Figura 49:** Diagrama Esfuerzo- Deformación Unitaria Acero A588(Probeta 2)



**Figura 50:** Diagrama Esfuerzo- Deformación Unitaria Acero A588(Probeta 3)

#### 4.2.2. Correlación lineal de los Diagramas Esfuerzo-Deformación Unitaria Teóricos

La correlación es la forma numérica en la que la estadística ha podido evaluar la relación de dos o más variables, es decir, mide la dependencia de una variable con respecto de otra variable independiente.

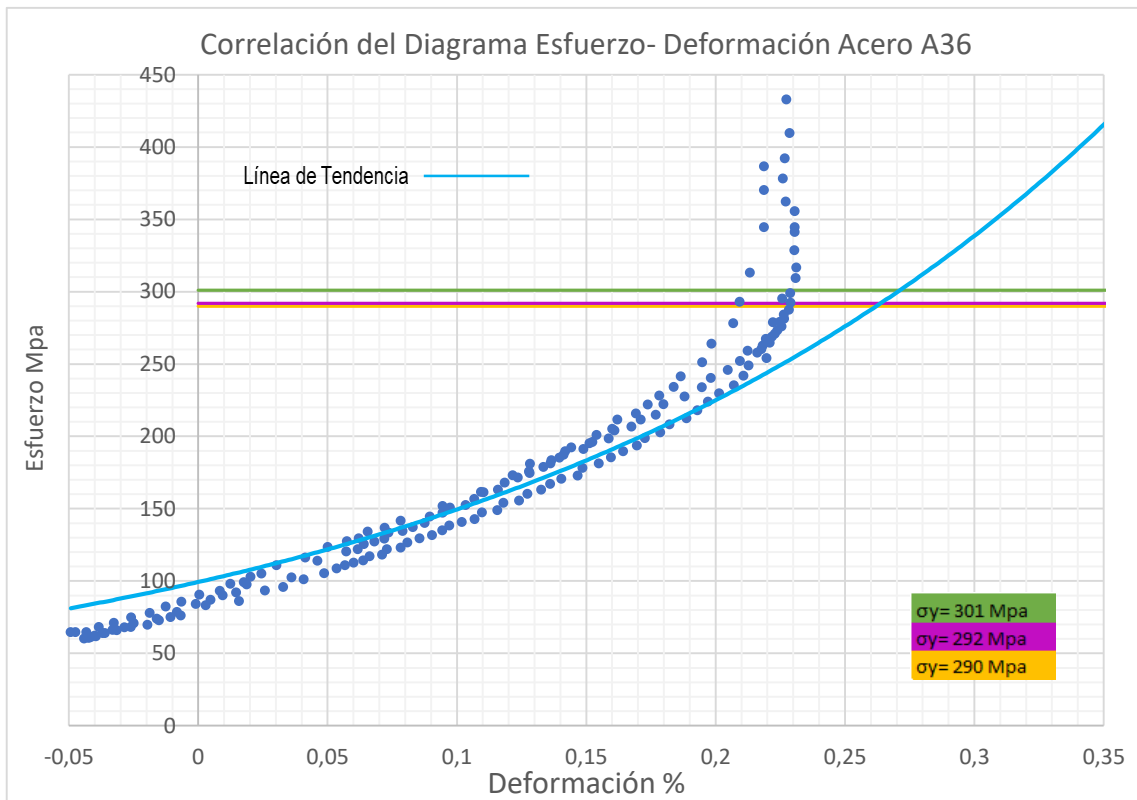
Para la realización de las gráficas de correlación lineal de los diagramas Esfuerzo-Deformación de los aceros evaluados, se tomó como punto de partida los valores de esfuerzo y de deformación obtenidos en el punto anterior de acuerdo a los resultados del ensayo de tracción a las probetas.

Estos datos de Esfuerzo-Deformación de las tres probetas evaluadas de cada tipo de acero fueron agrupados en tres conjuntos para que posteriormente, aplicando el método de la correlación lineal conjunto con la ecuación de la recta  $y = ax + b$ , se obtuvieran los nuevos valores de Esfuerzo y Deformación que formarían entre ellos tres tipos diferentes de curvas.

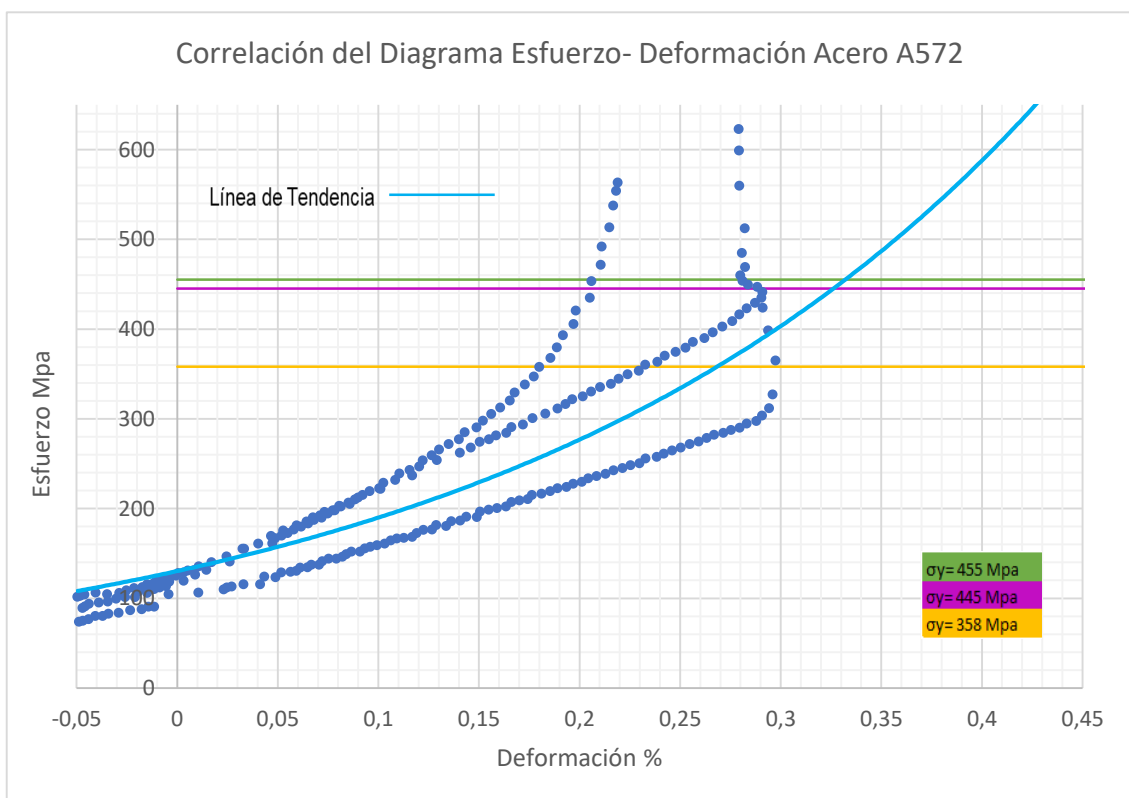
De las cuales se obtuvo una curva de tendencia que toma en cuenta todos los valores arrojados en el programa, reflejándola de forma individual como la más aproximada a las tres.

Posteriormente se buscó determinar el valor de deformación que presenta la intersección de la curva de tendencia del diagrama Esfuerzo-Deformación y la recta en el punto de fluencia de cada una de las probetas evaluadas en laboratorio.

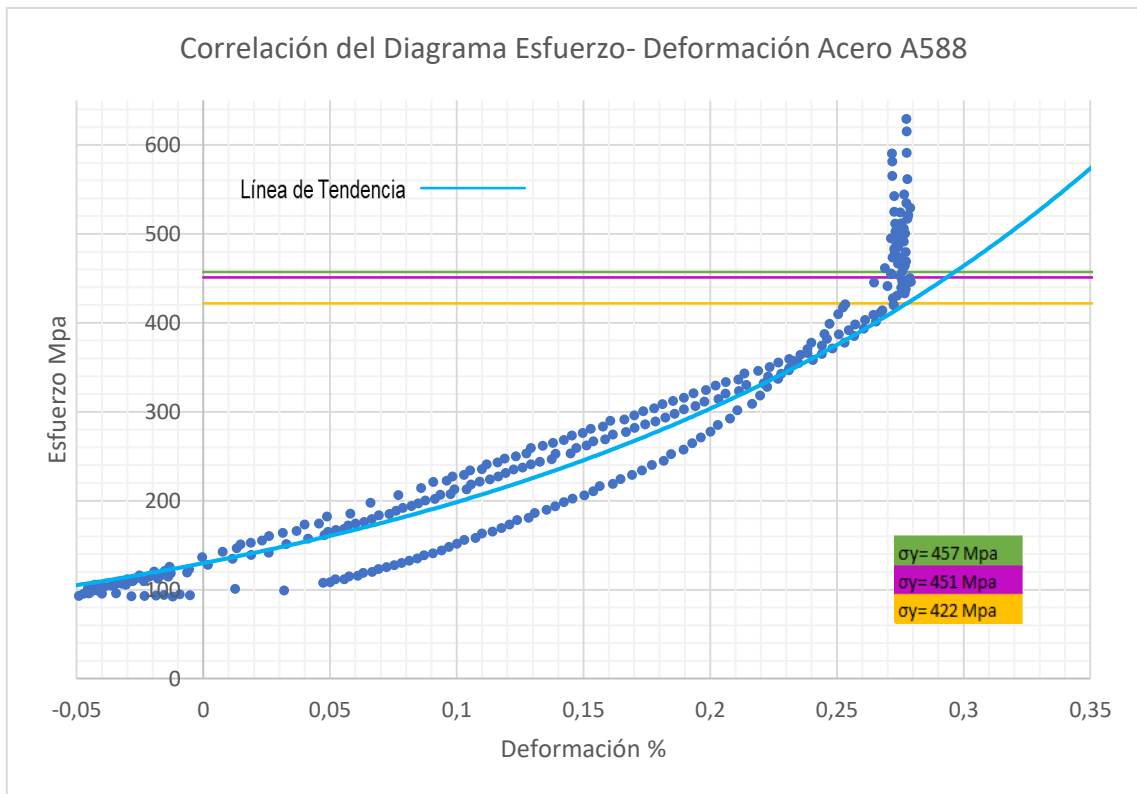
A continuación, se presentan las gráficas y resultados obtenidos:



**Figura 51:** Diagrama Esfuerzo- Deformación Unitaria Acero A588(Probeta 3)



**Figura 52:** Correlación del Diagrama Esfuerzo- Deformación Unitaria Acero A572



**Figura 53:** Correlación del Diagrama Esfuerzo- Deformación Unitaria Acero A588

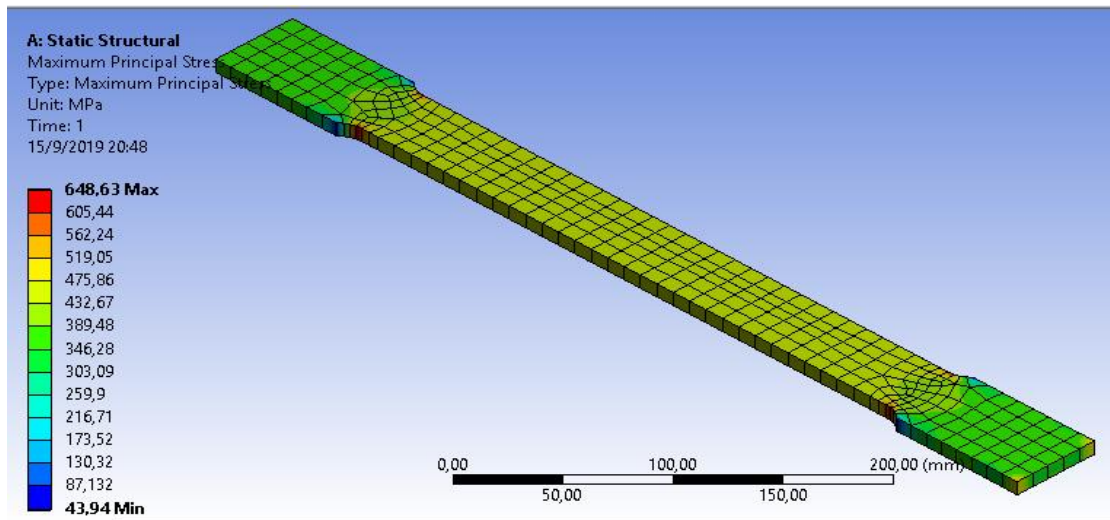
#### 4.2.3. Simulación del Ensayo de Tensión del Acero (Software ANSYS)

ANSYS desarrolla, comercializa y presta soporte a la ingeniería a través de software de simulación para predecir cómo funcionará y reaccionará determinado producto bajo un entorno real. ANSYS continuamente desarrolla tecnología enfocada en la simulación y a través del tiempo ha adquirido otro software para ofrecer un paquete de aplicaciones que pueden ser unificadas para los problemas más complejos. Además, presta soporte a la industria. (ANSYS, Inc, 2019)

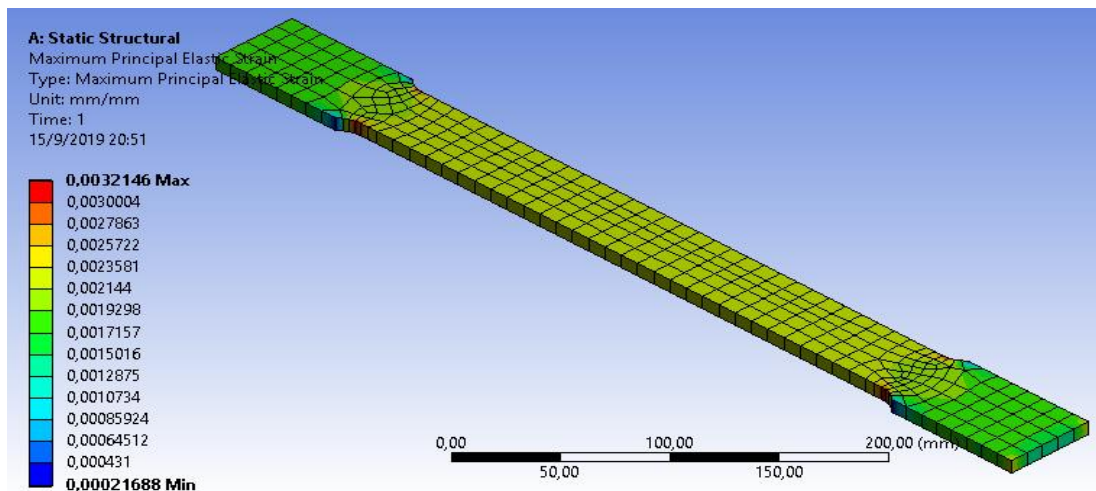
Para la simulación del ensayo a tracción en ANSYS, primero se tuvieron que modelar las probetas en AutoCAD 3D, basándose en las medidas de ancho y espesor de las probetas utilizadas en laboratorio, en ANSYS se utiliza la función “static structural” donde la primera opción es la de editar el material, allí se cambiara densidades, módulos, esfuerzos, entre otros (datos obtenidos en laboratorio), para así tener una simulación apegada a los datos de laboratorio.

La segunda opción es la de importar la geometría que se realizó previamente en AutoCAD, de ahí se continua en la tercera opción (modal), donde se realiza la modelación de cada probeta, se le crea primero un mallado se le acopla un tamaño adecuado para obtener un mejor resultado, ya que ANSYS trabaja bajo la teoría de elemento finito (es un método numérico general otorga un aproximado para ciertas soluciones en ecuaciones diferenciales, utilizado en diversos problemas de ingeniería).

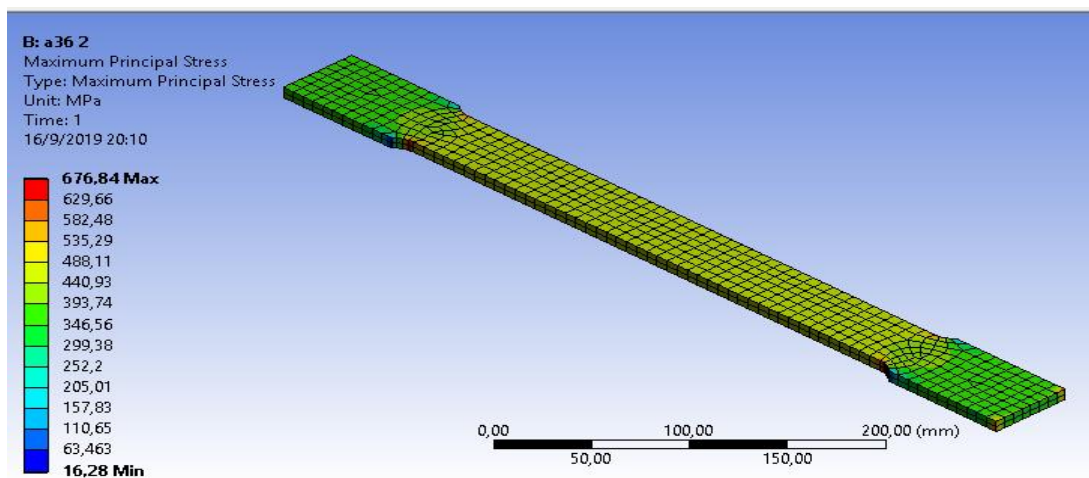
Para simular el ensayo a tracción se le da un soporte a un extremo de la probeta y una fuerza al otro extremo de la misma, la fuerza aplicada es la carga máxima en Nétwtons que se obtuvo en el ensayo de laboratorio. Se define los resultados que se quiere obtener, que para el ensayo a tracción son, esfuerzo y deformación y así se obtiene los puntos dados en el programa para la obtención de las gráficas.



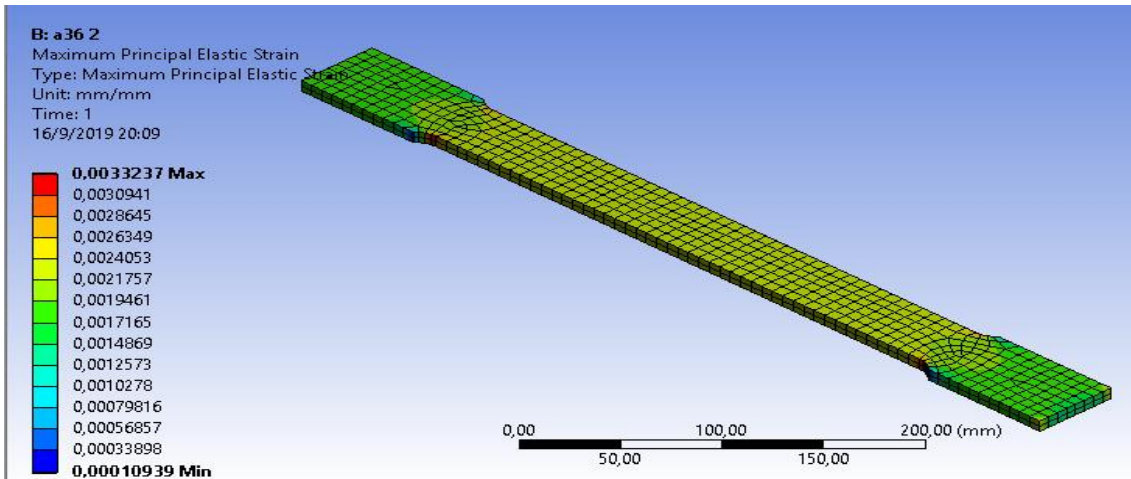
**Figura 54:** Simulación del Ensayo a Tracción del Acero A36 mediante el Software ANSYS-Análisis de Esfuerzo (Probeta 1)



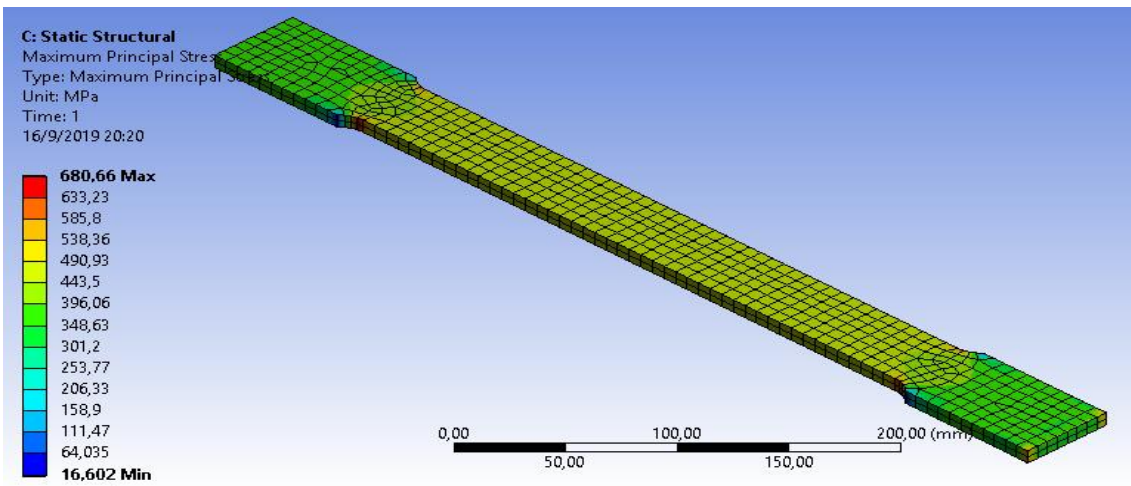
**Figura 55:** Simulación del Ensayo a Tracción del Acero A36 mediante el Software ANSYS-Análisis de Deformación Unitaria (Probeta 1)



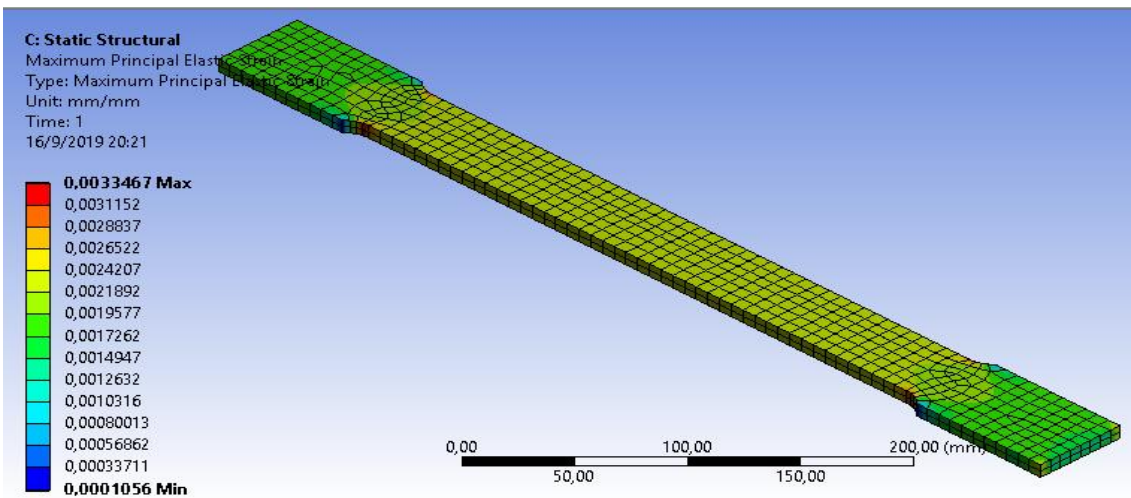
**Figura 56:** Simulación del Ensayo a Tracción del Acero A36 mediante el Software ANSYS-Análisis de Esfuerzo (Probeta 2)



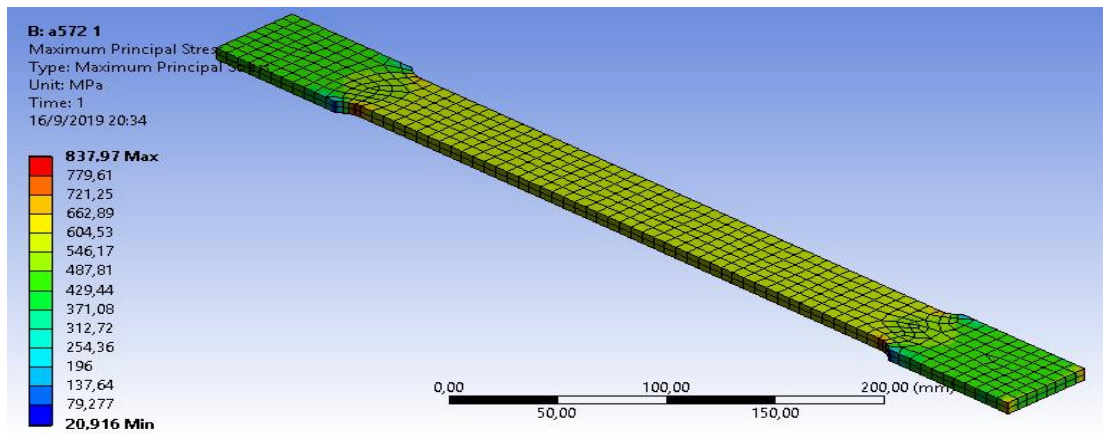
**Figura 57:** Simulación del Ensayo a Tracción del Acero A36 mediante el Software ANSYS-Análisis de Deformación Unitaria (Probeta 2)



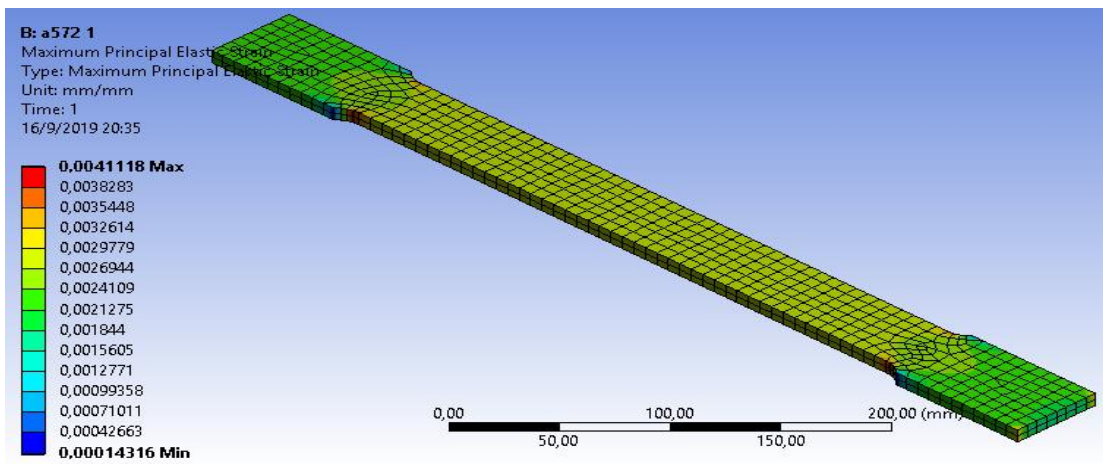
**Figura 58:** Simulación del Ensayo a Tracción del Acero A36 mediante el Software ANSYS-Análisis de Esfuerzo (Probeta 3)



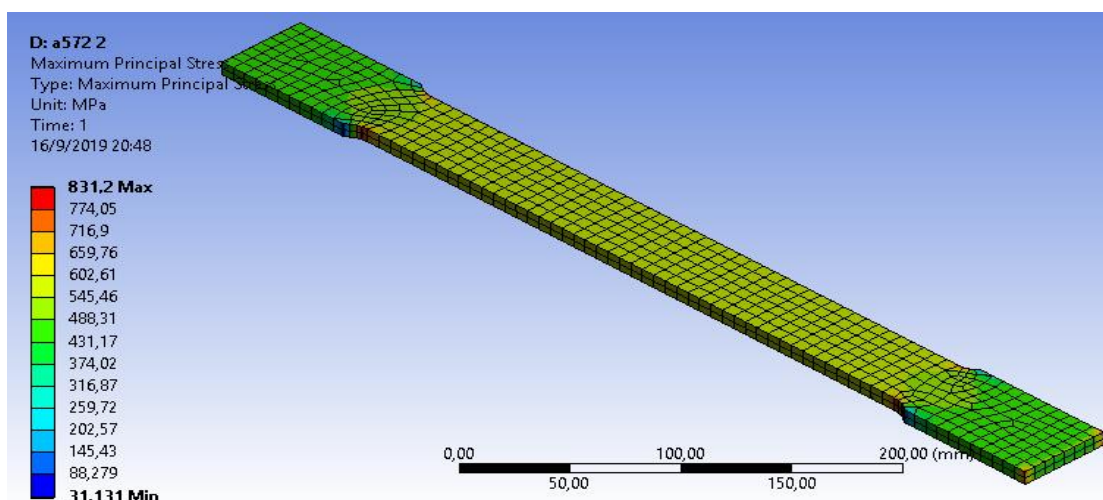
**Figura 59:** Simulación del Ensayo a Tracción del Acero A36 mediante el Software ANSYS-Análisis de Deformación Unitaria (Probeta 3)



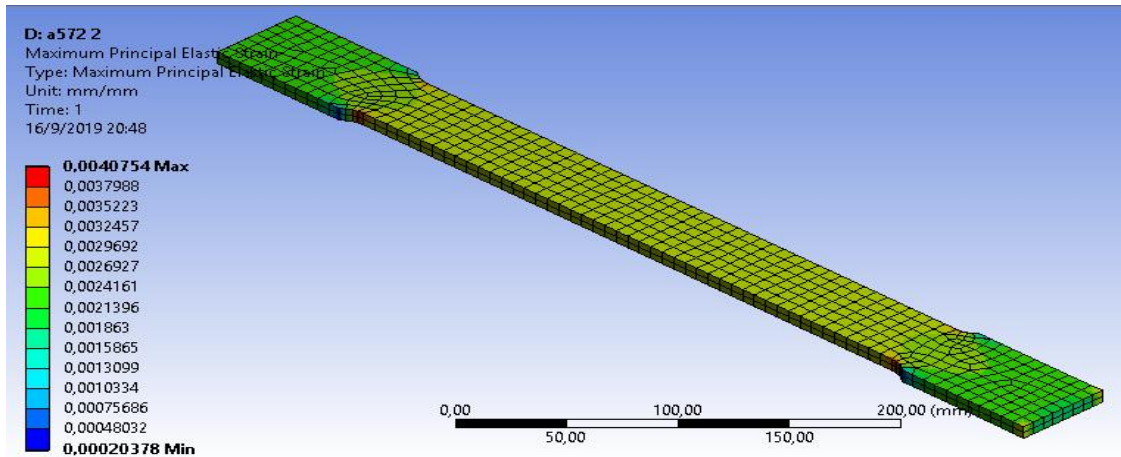
**Figura 60:** Simulación del Ensayo a Tracción del Acero A572 mediante el Software ANSYS-Análisis de Esfuerzo (Probeta 1)



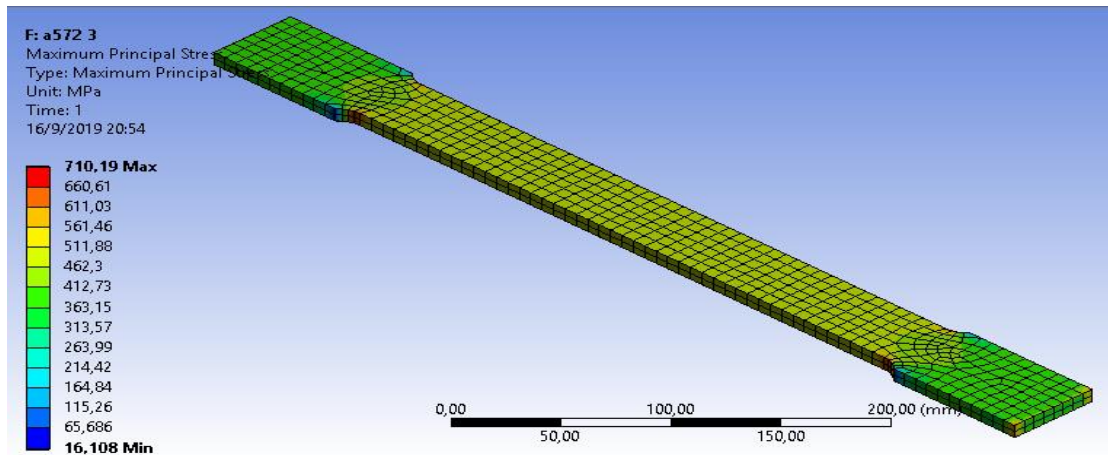
**Figura 61:** Simulación del Ensayo a Tracción del Acero A572 mediante el Software ANSYS-Análisis de Deformación Unitaria (Probeta 1)



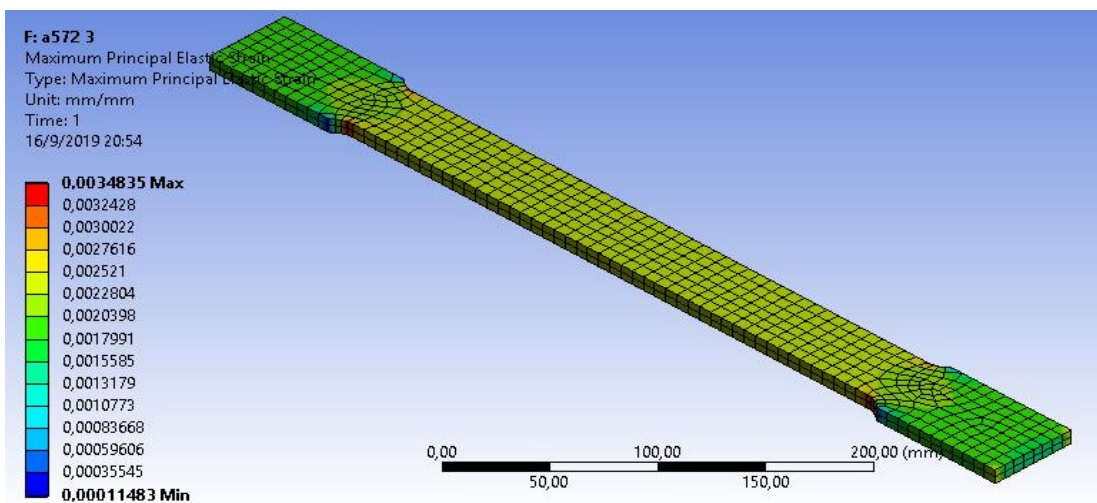
**Figura 62:** Simulación del Ensayo a Tracción del Acero A572 mediante el Software ANSYS-Análisis de Esfuerzo (Probeta 2)



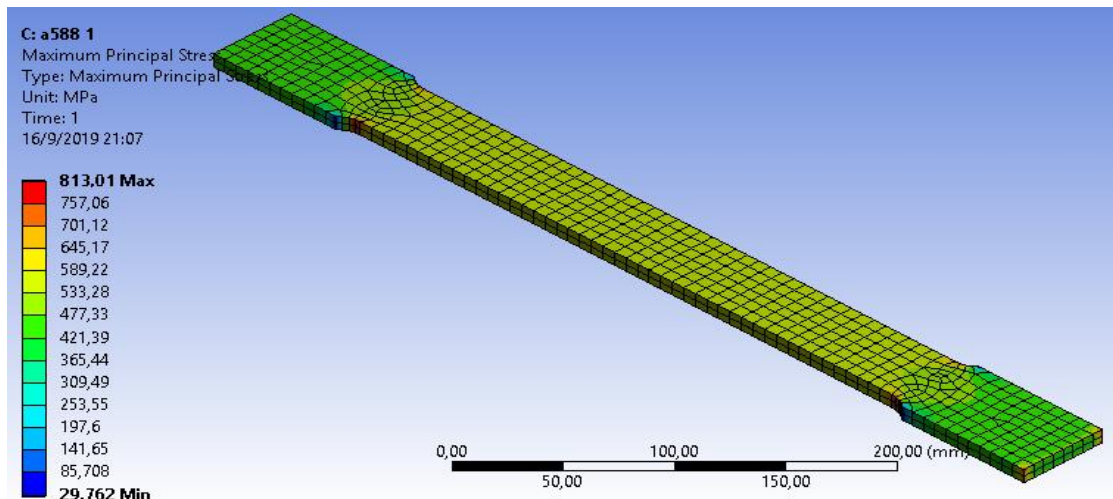
**Figura 63:** Simulación del Ensayo a Tracción del Acero A572 mediante el Software ANSYS-Análisis de Deformación Unitaria (Probeta 2)



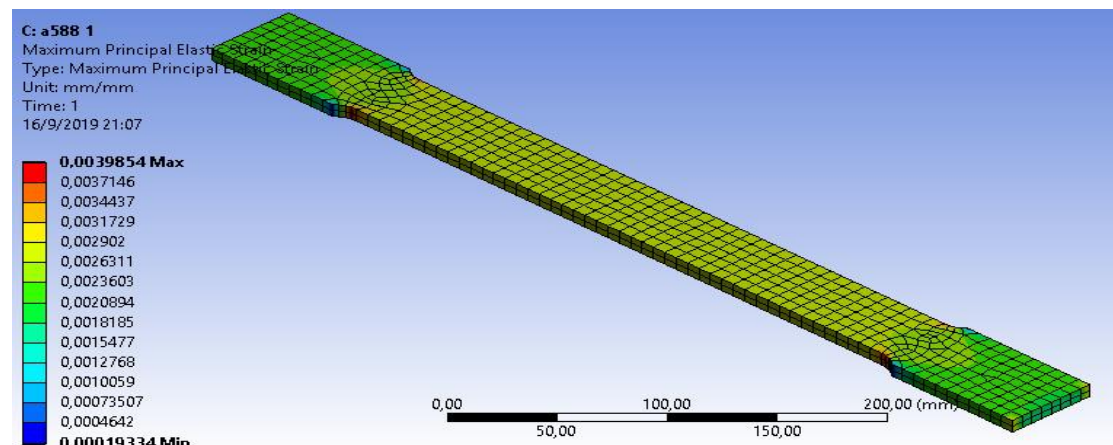
**Figura 64:** Simulación del Ensayo a Tracción del Acero A572 mediante el Software ANSYS-Análisis de Esfuerzo (Probeta 3)



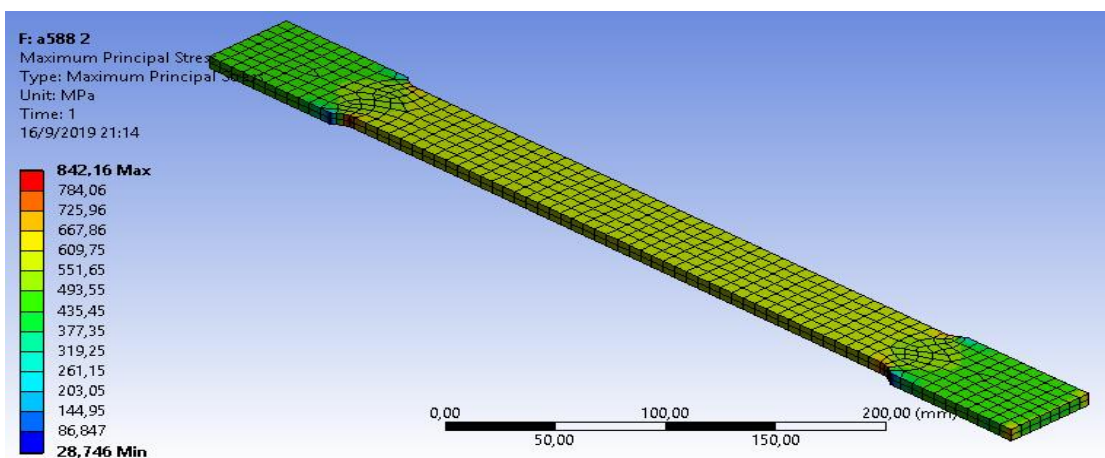
**Figura 65:** Simulación del Ensayo a Tracción del Acero A572 mediante el Software ANSYS-Análisis de Deformación Unitaria (Probeta 3)



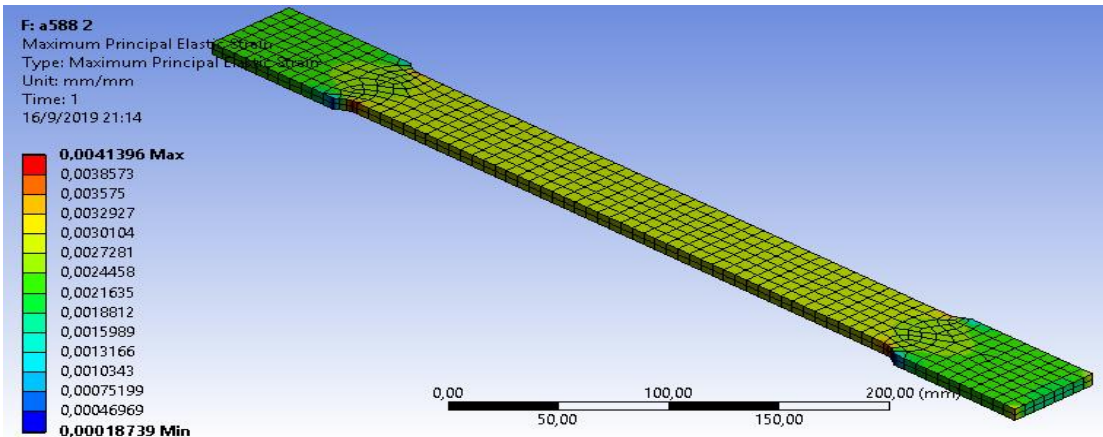
**Figura 66:** Simulación del Ensayo a Tracción del Acero A588 mediante el Software ANSYS-Análisis de Esfuerzo (Probeta 1)



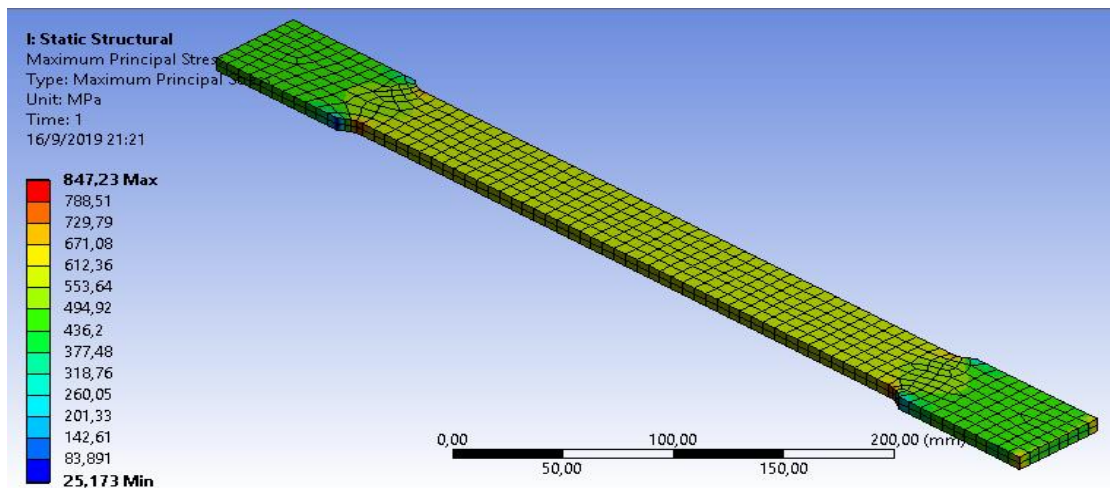
**Figura 67:** Simulación del Ensayo a Tracción del Acero A588 mediante el Software ANSYS-Análisis de Deformación Unitaria (Probeta 1)



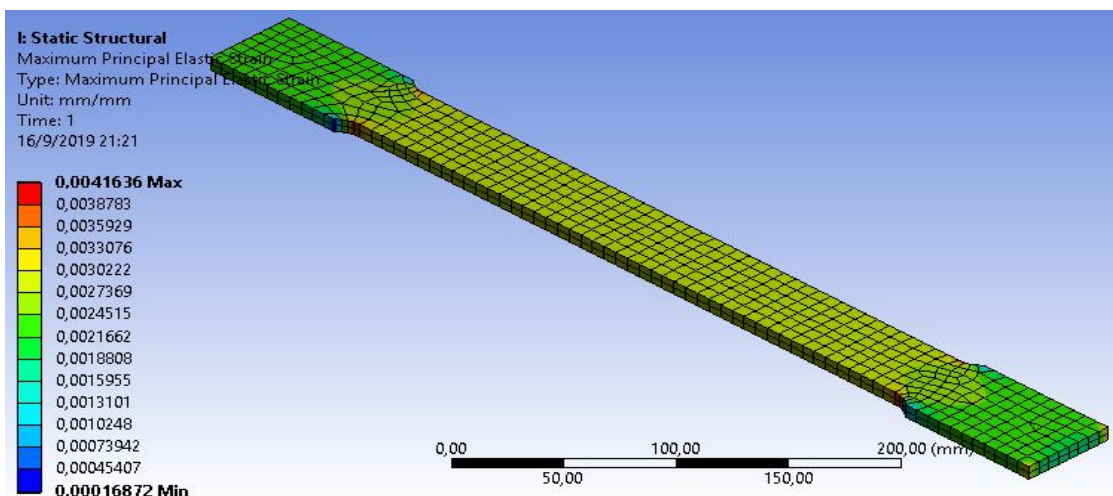
**Figura 68:** Simulación del Ensayo a Tracción del Acero A588 mediante el Software ANSYS-Análisis de Esfuerzo (Probeta 2)



**Figura 69:** Simulación del Ensayo a Tracción del Acero A588 mediante el Software ANSYS-Análisis de Deformación Unitaria (Probeta 2)



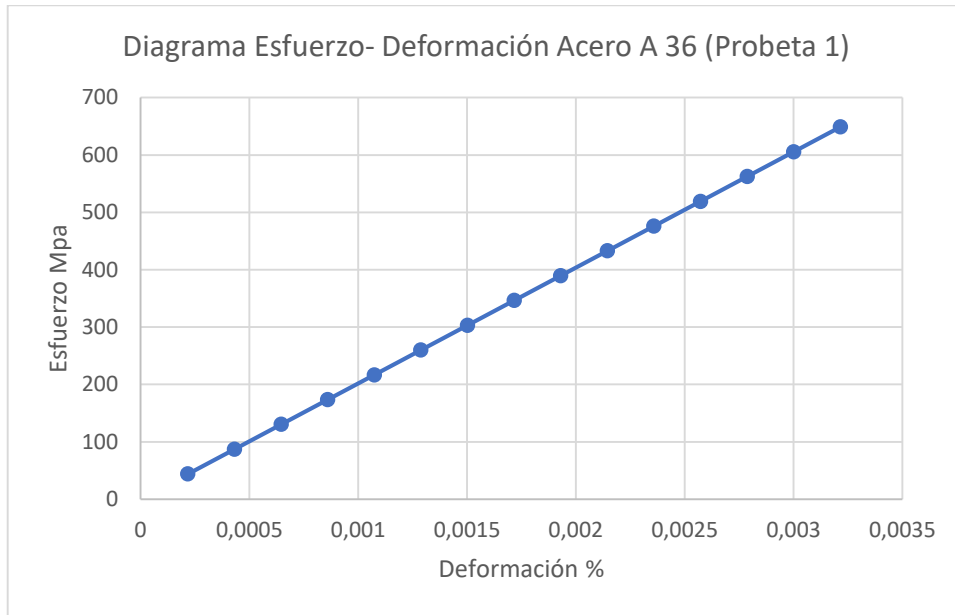
**Figura 70:** Simulación del Ensayo a Tracción del Acero A588 mediante el Software ANSYS-Análisis de Esfuerzo Unitaria (Probeta 3)



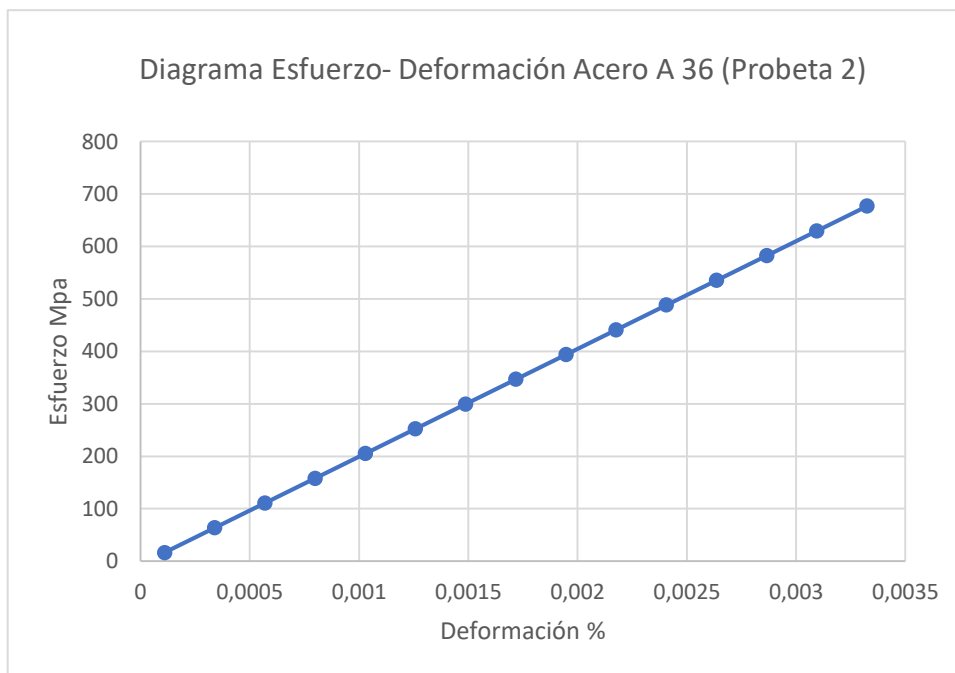
**Figura 71:** Simulación del Ensayo a Tracción del Acero A588 mediante el Software ANSYS-Análisis de Deformación Unitaria (Probeta 3)

#### 4.2.4. Diagramas Esfuerzo-Deformación Unitaria (Software ANSYS)

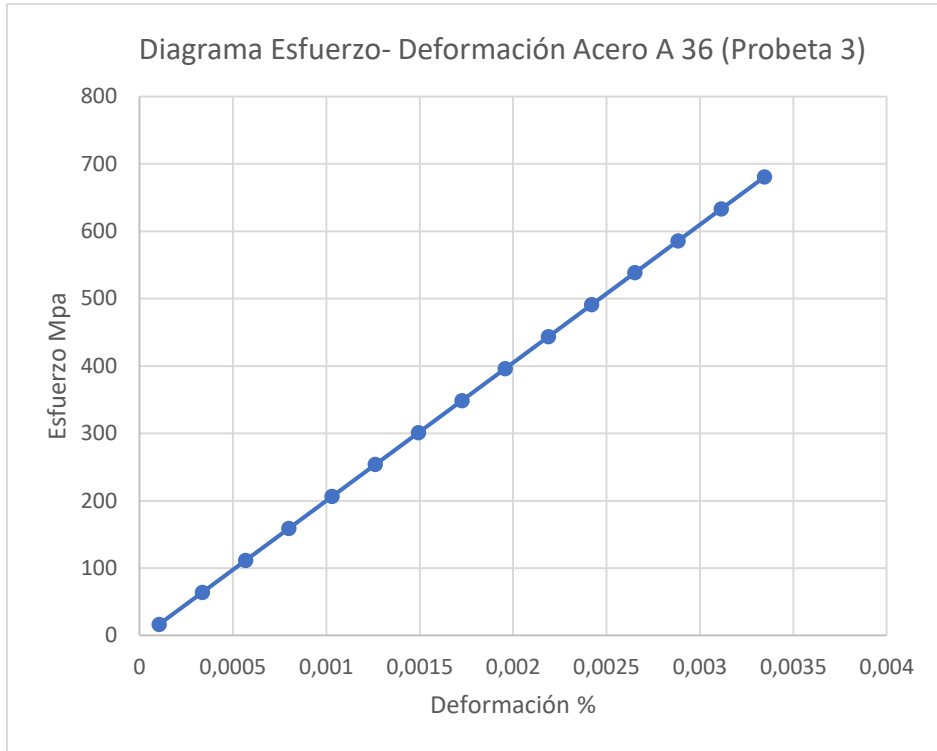
Una vez realizada la simulación del ensayo en el software previamente mencionado procedemos de acuerdo a los datos obtenidos a realizar las gráficas Esfuerzo-Deformación presentadas a continuación.



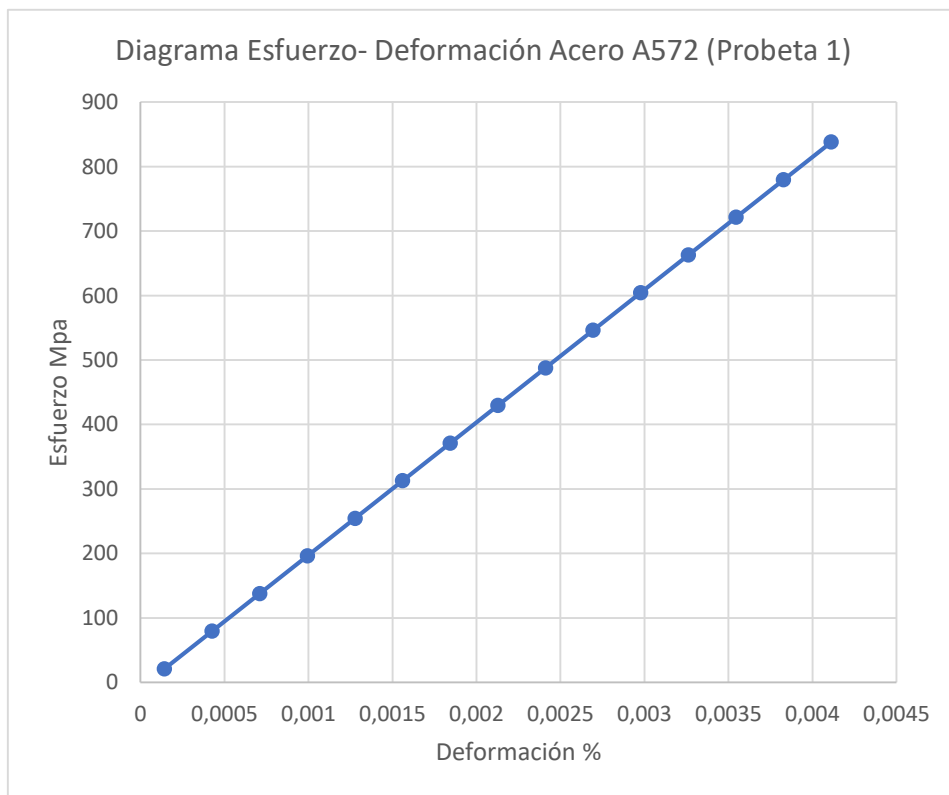
**Figura 72:** Diagrama Esfuerzo- Deformación Acero A36 Software ANSYS (Probeta 1)



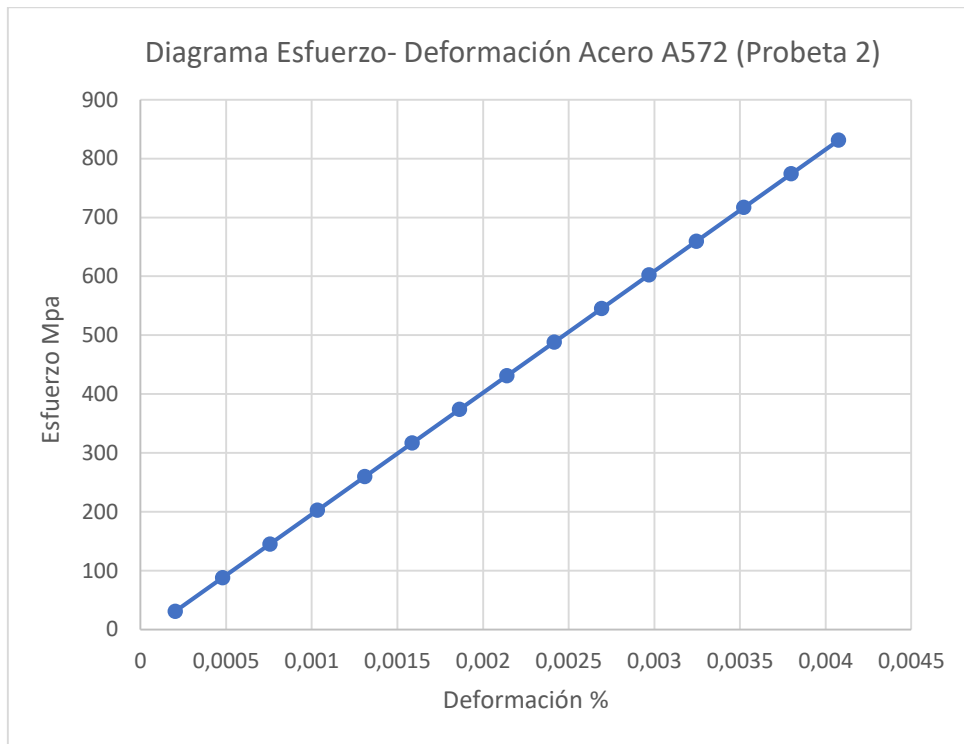
**Figura 73:** Diagrama Esfuerzo- Deformación Acero A36 Software ANSYS (Probeta 2)



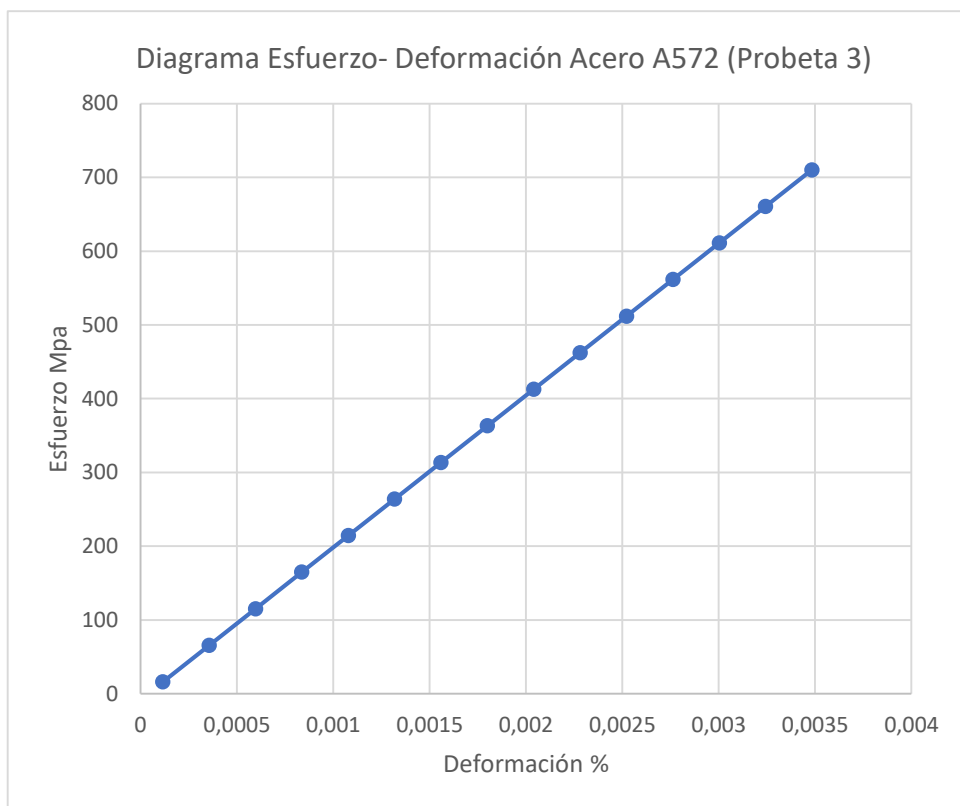
**Figura 74:** Diagrama Esfuerzo- Deformación Acero A36 Software ANSYS (Probeta 3)



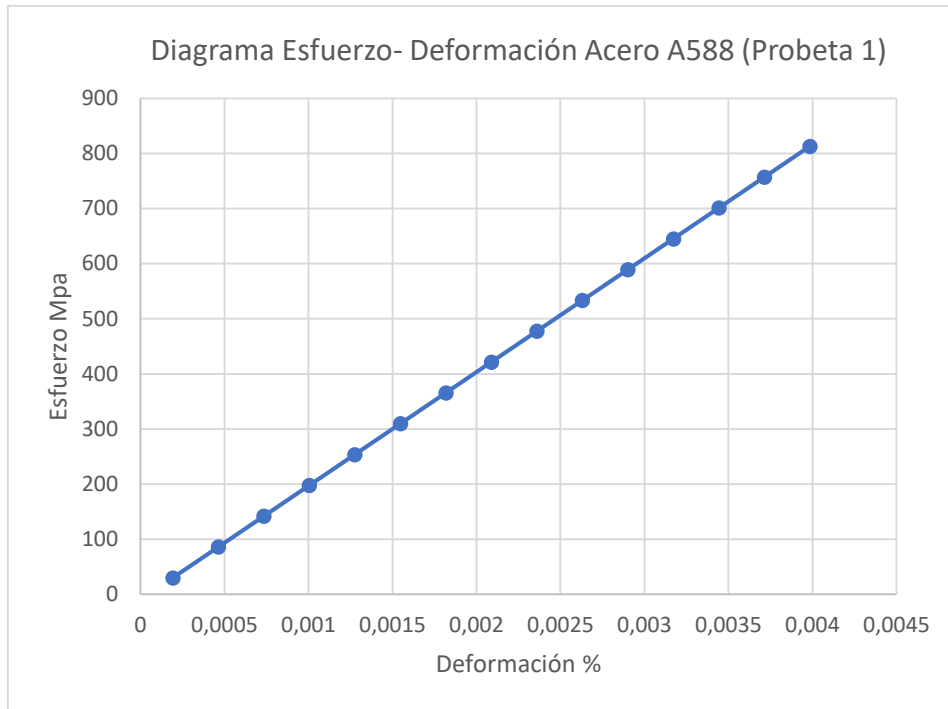
**Figura 75:** Diagrama Esfuerzo-Deformación Acero A572 Software ANSYS (Probeta 1)



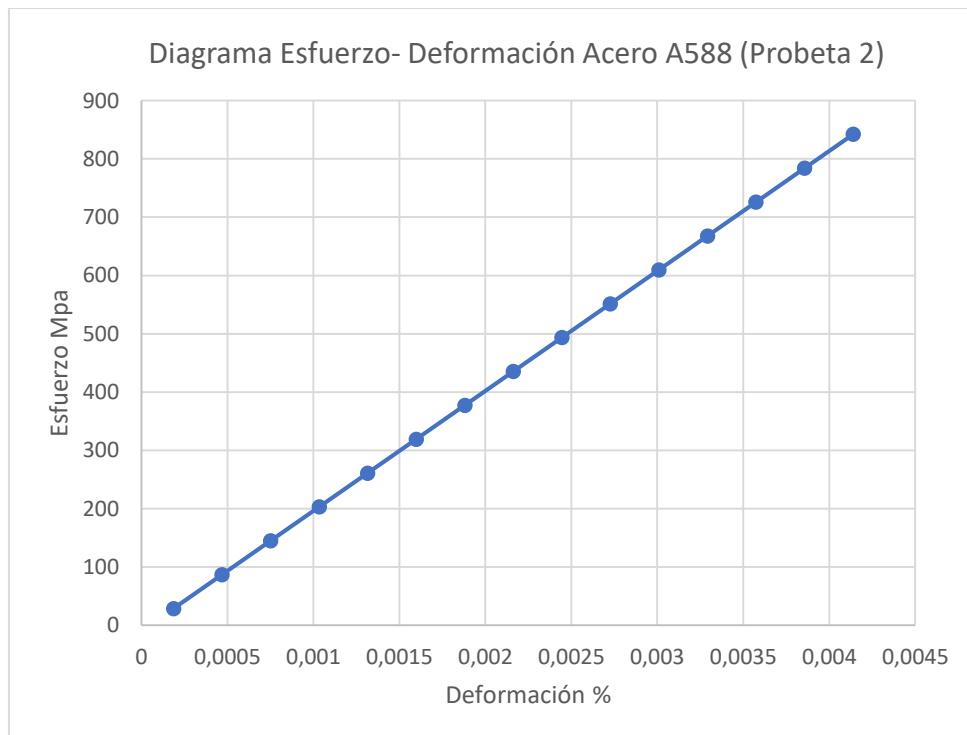
**Figura 76:** Diagrama Esfuerzo-Deformación Acero A572 Software ANSYS (Probeta 2)



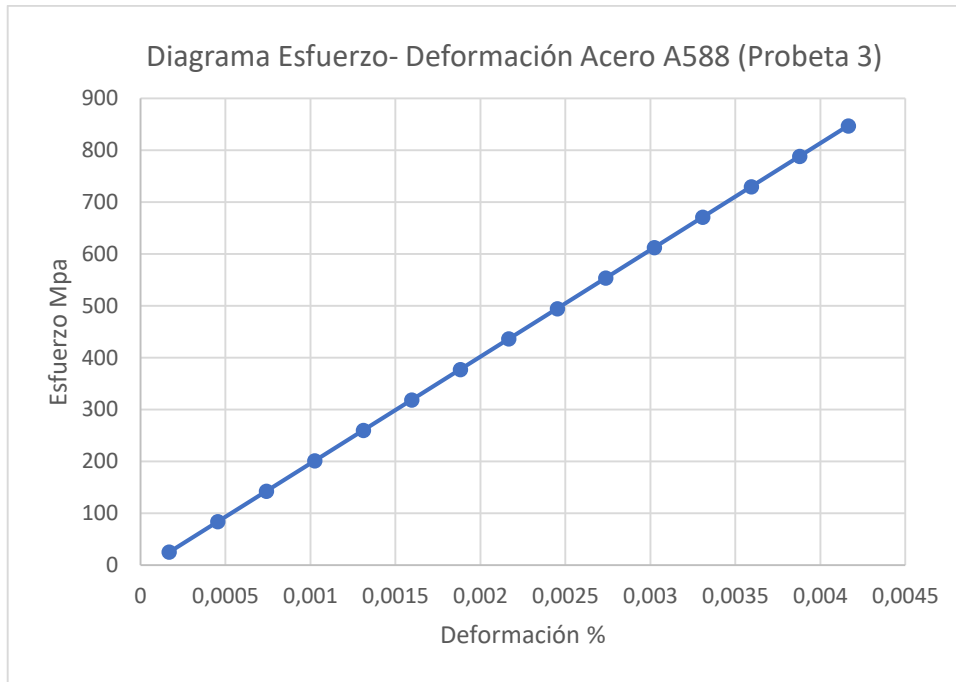
**Figura 77:** Diagrama Esfuerzo-Deformación Acero A572 Software ANSYS (Probeta 3)



**Figura 78:** Diagrama Esfuerzo- Deformación Acero A588 Software ANSYS (Probeta 1)



**Figura 79:** Diagrama Esfuerzo- Deformación Acero A588 Software ANSYS (Probeta 2)



**Figura 80:** Diagrama Esfuerzo- Deformación Acero A588 Software ANSYS (Probeta 3)

#### 4.3. Interpretación de Resultados

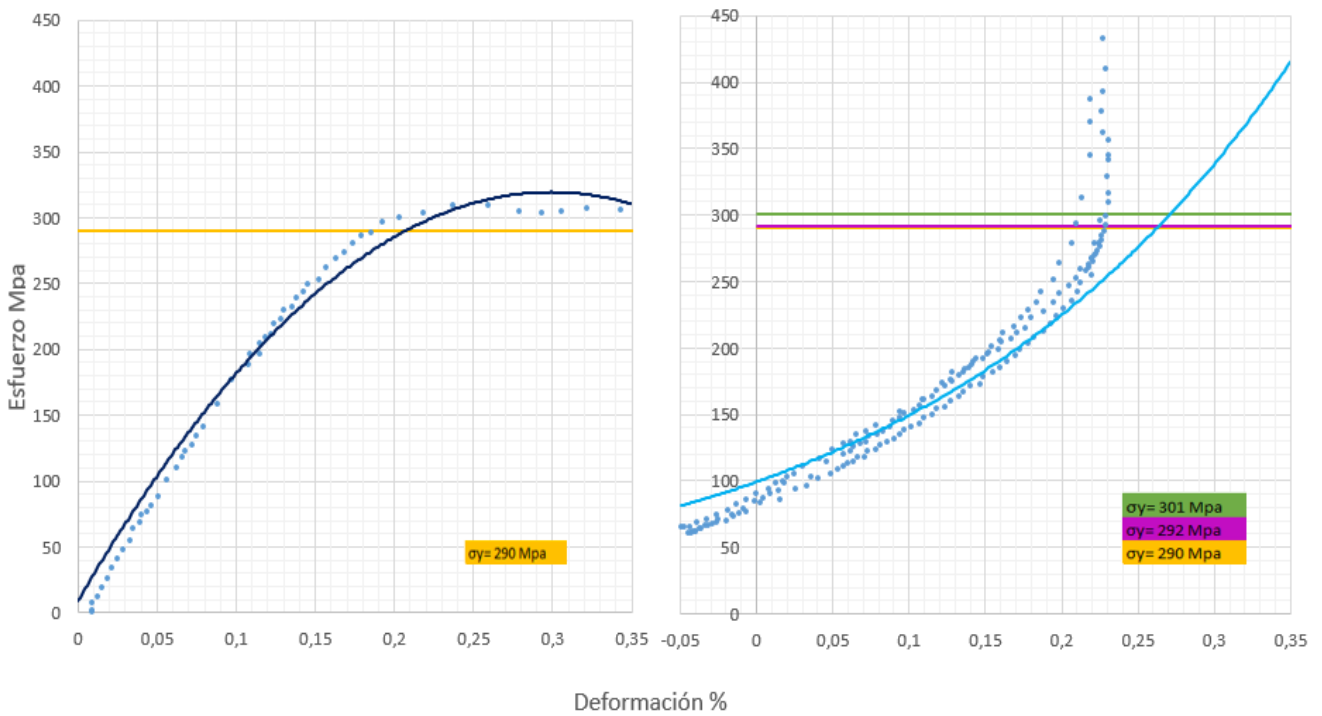
Para la interpretación de los resultados obtenidos se realizó la comparación de los diagramas Esfuerzo-Deformación teóricos con los diagramas de correlación lineal de los mismos.

Estableciendo como principal valor a evaluarse el de la Deformación (mm/mm), obtenida en la intersección de la tendencia a la curva Esfuerzo-Deformación y la recta del punto de fluencia, con la curva de tendencia de la correlación del diagrama Esfuerzo-Deformación de las tres probetas de cada acero evaluado y su recta en el punto de fluencia.

Con el propósito principal de verificar el grado de variación entre los valores de deformación unitaria (%).

A continuación, se presenta los resultados obtenidos:

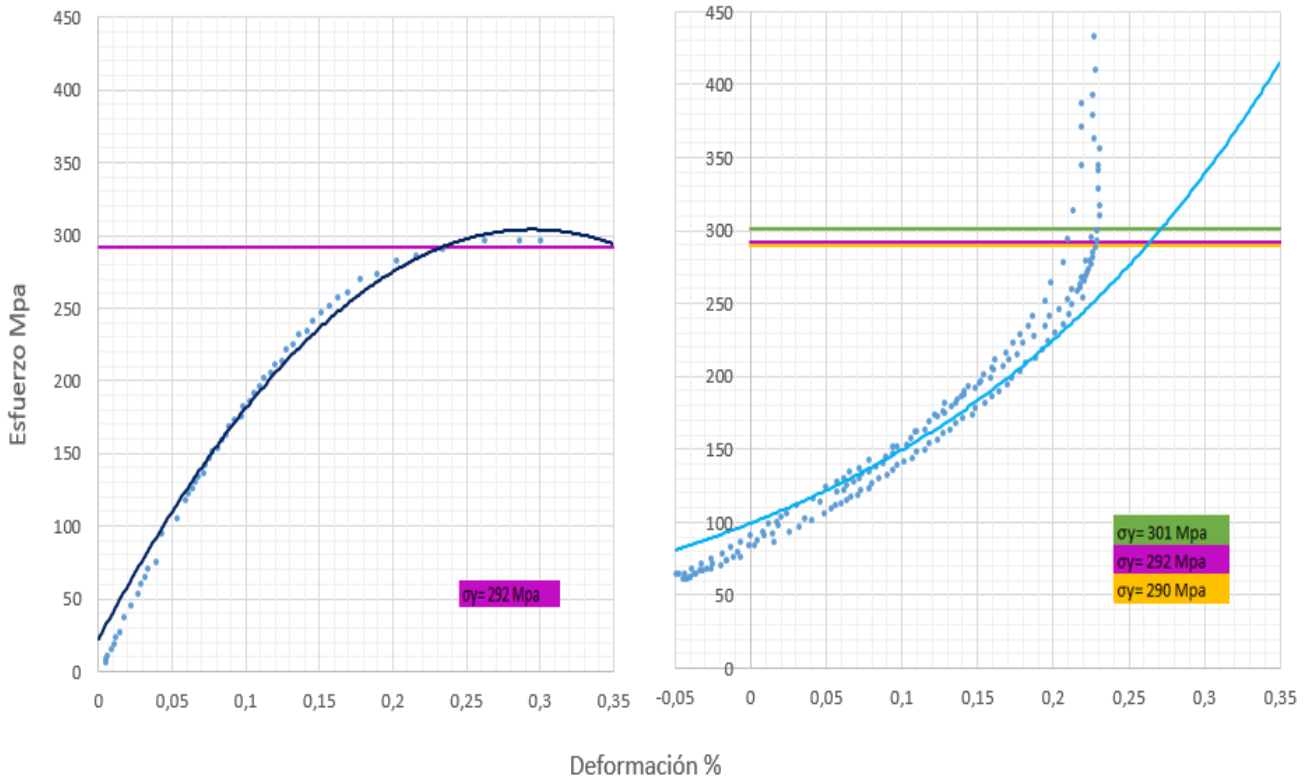
Correlación del Diagrama Esfuerzo- Deformación Acero A36 (Probeta 1)



**Figura 81:** Diagrama de Correlación Esfuerzo- Deformación Unitaria del Acero A36 (Probeta 1)

En la figura 81 se puede determinar la variación en los valores de Deformación Unitaria (%) de la primera probeta del acero ASTM A36, ya que en la parte izquierda se presenta la curva de tendencia del Diagrama Esfuerzo-Deformación, con un valor de deformación igual a 0.205 (mm/mm) mientras que a la izquierda podemos observar la Correlación Lineal del diagrama Esfuerzo-Deformación con un valor de deformación de 0.261 (mm/mm), ambos determinados en su punto de fluencia.

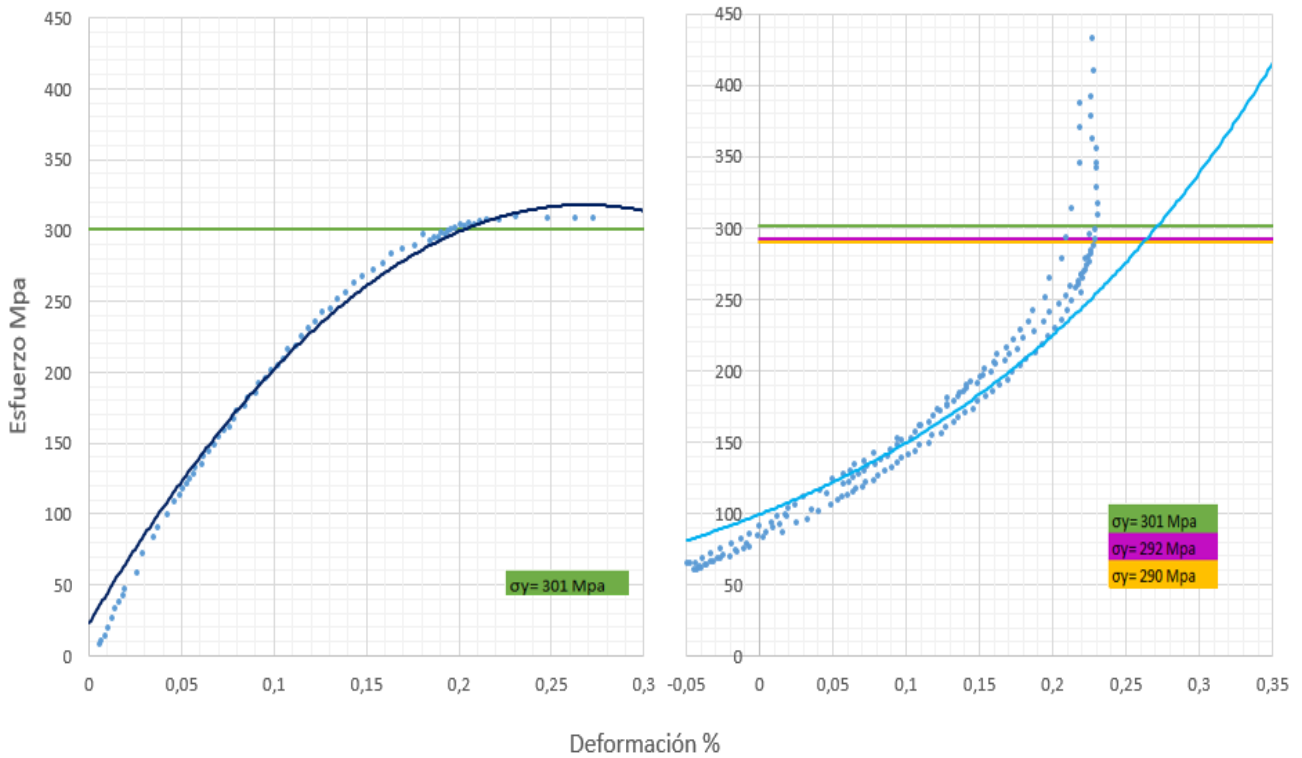
Correlación del Diagrama Esfuerzo- Deformación Acero A36 (Probeta 2)



**Figura 82:** Diagrama de Correlación Esfuerzo- Deformación Unitaria del Acero A36 (Probeta 2)

En la figura 82 se puede determinar la variación en los valores de Deformación Unitaria (%) de la segunda probeta del acero ASTM A36, ya que en la parte izquierda se presenta la curva de tendencia del Diagrama Esfuerzo-Deformación, con un valor de deformación igual a 0.235 (mm/mm) mientras que a la izquierda podemos observar la Correlación Lineal del diagrama Esfuerzo-Deformación con un valor de deformación de 0.263 (mm/mm), ambos determinados en su punto de fluencia.

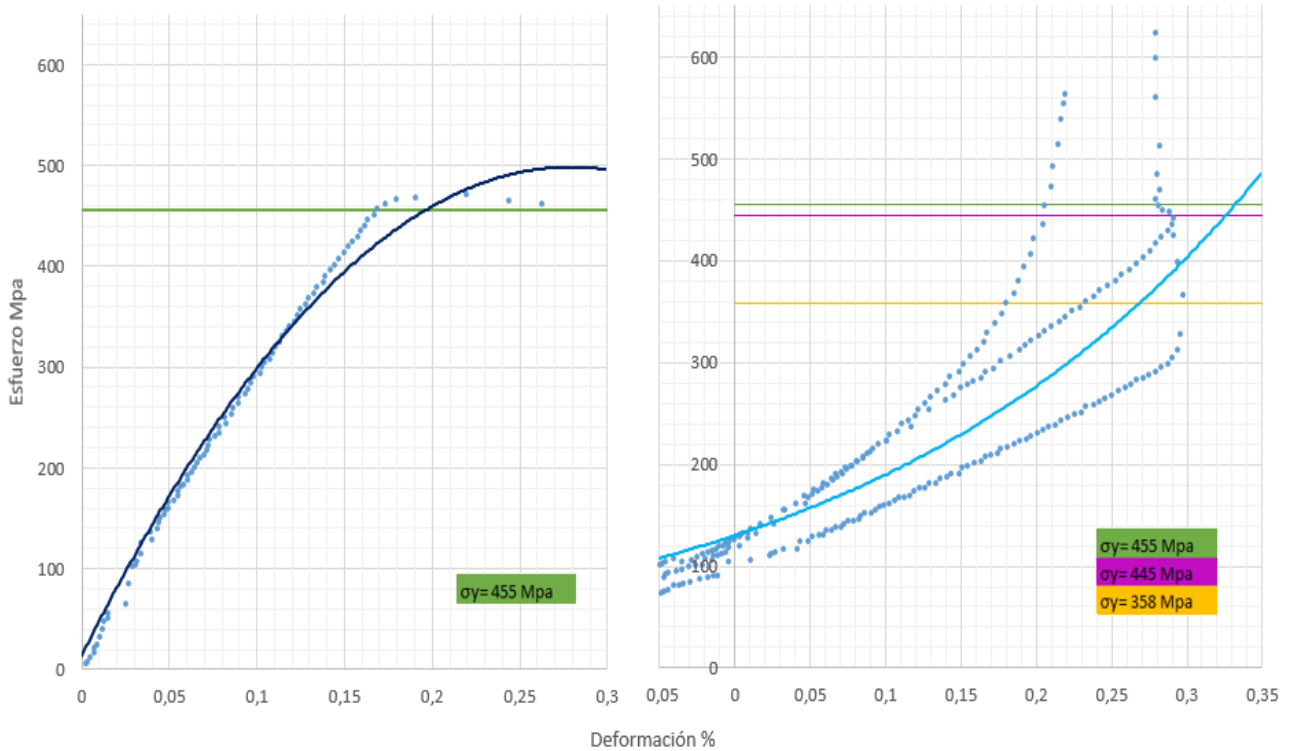
Correlación del Diagrama Esfuerzo- Deformación Acero A36 (Probeta 3)



**Figura 83:** Diagrama de Correlación Esfuerzo- Deformación Unitaria del Acero A36 (Probeta 3)

En la figura 83 se puede determinar la variación en los valores de Deformación Unitaria (%) de la tercera probeta del acero ASTM A36, ya que en la parte izquierda se presenta la curva de tendencia del Diagrama Esfuerzo-Deformación, con un valor de deformación igual a 0.205 (mm/mm) mientras que a la izquierda podemos observar la Correlación Lineal del diagrama Esfuerzo-Deformación con un valor de deformación de 0.27 (mm/mm), ambos determinados en su punto de fluencia.

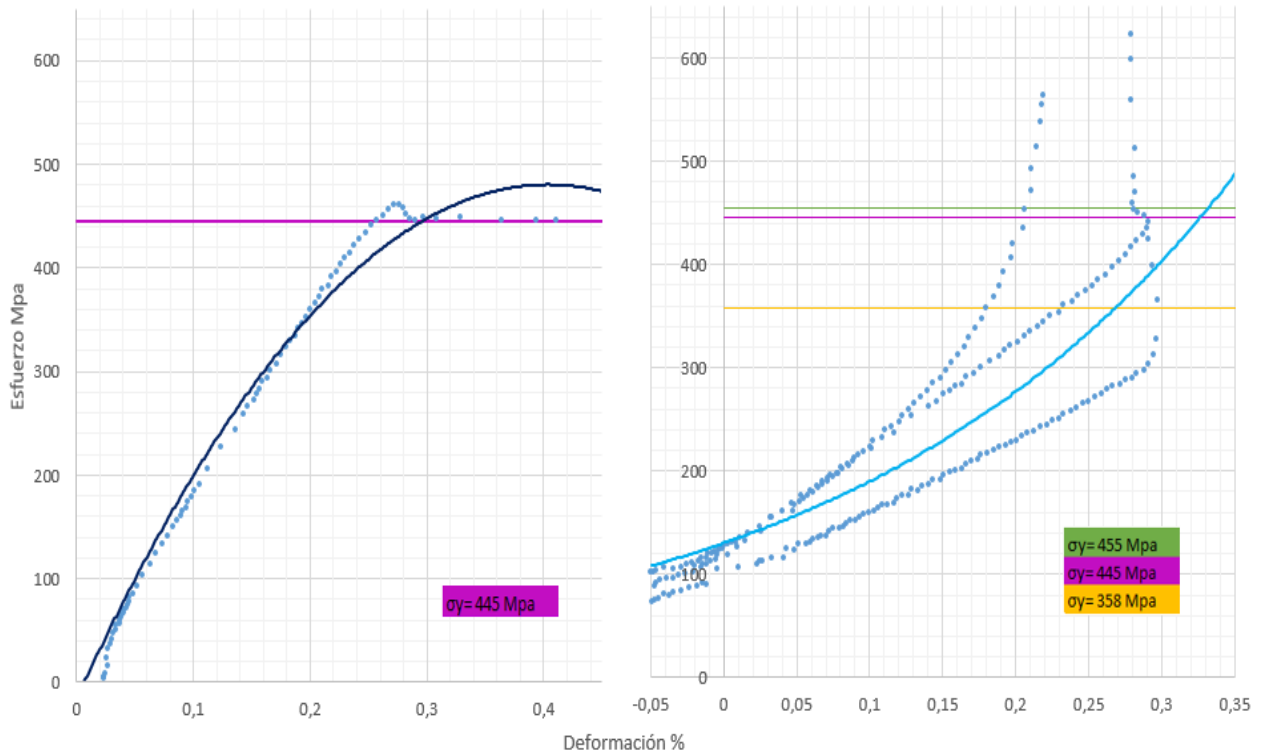
Correlación del Diagrama Esfuerzo- Deformación Acero A572 (Probeta 1)



**Figura 84:** Diagrama de Correlación Esfuerzo-Deformación Unitaria del Acero A572 (Probeta 1)

En la figura 84 se puede determinar la variación en los valores de Deformación Unitaria (%) de la primera probeta del acero ASTM A572, ya que en la parte izquierda se presenta la curva de tendencia del Diagrama Esfuerzo-Deformación, con un valor de deformación igual a 0.195 (mm/mm) mientras que a la izquierda podemos observar la Correlación Lineal del diagrama Esfuerzo-Deformación con un valor de deformación de 0.331 (mm/mm), ambos determinados en su punto de fluencia.

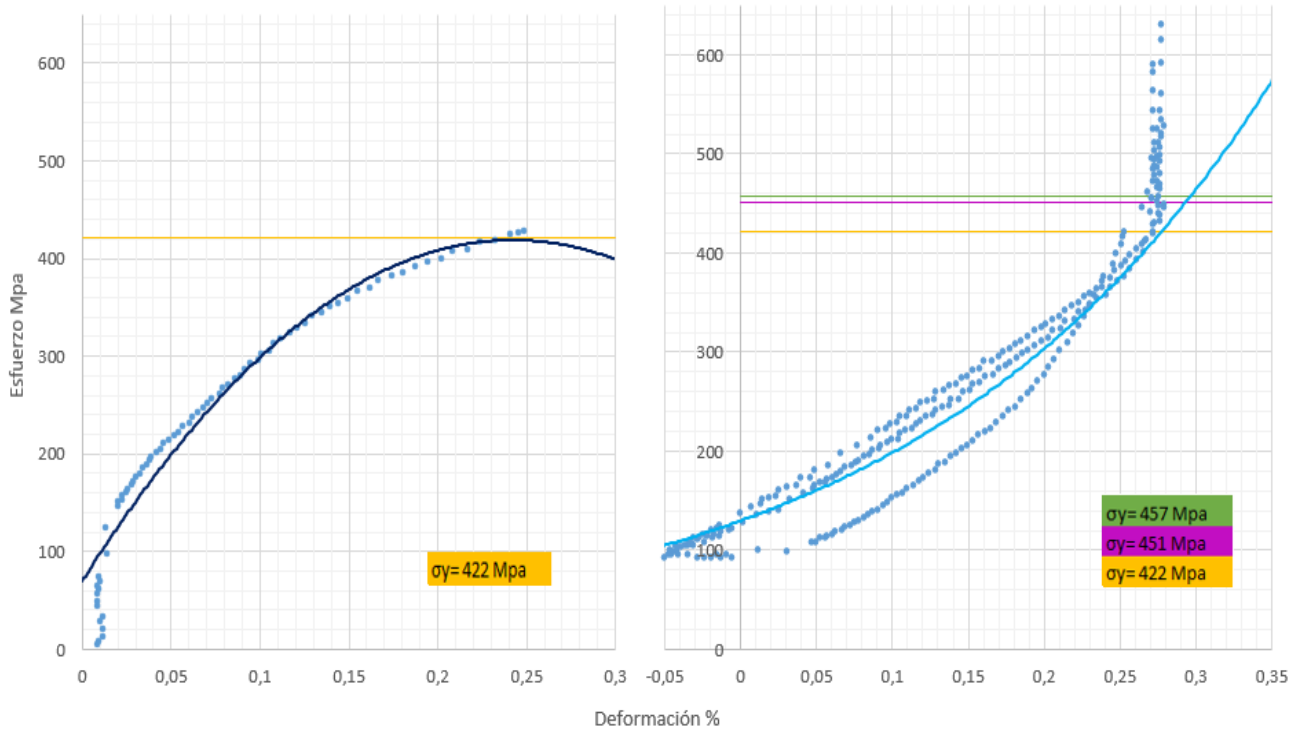
Correlación del Diagrama Esfuerzo- Deformación Acero A572 (Probeta 2 )



**Figura 85:** Diagrama de Correlación Esfuerzo-Deformación Unitaria del Acero A572 (Probeta 2)

En la figura 85 se puede determinar la variación en los valores de Deformación Unitaria (%) de la segunda probeta del acero ASTM A572, ya que en la parte izquierda se presenta la curva de tendencia del Diagrama Esfuerzo-Deformación, con un valor de deformación igual a 0.292 (mm/mm) mientras que a la izquierda podemos observar la Correlación Lineal del diagrama Esfuerzo-Deformación con un valor de deformación de 0.322 (mm/mm), ambos determinados en su punto de fluencia.

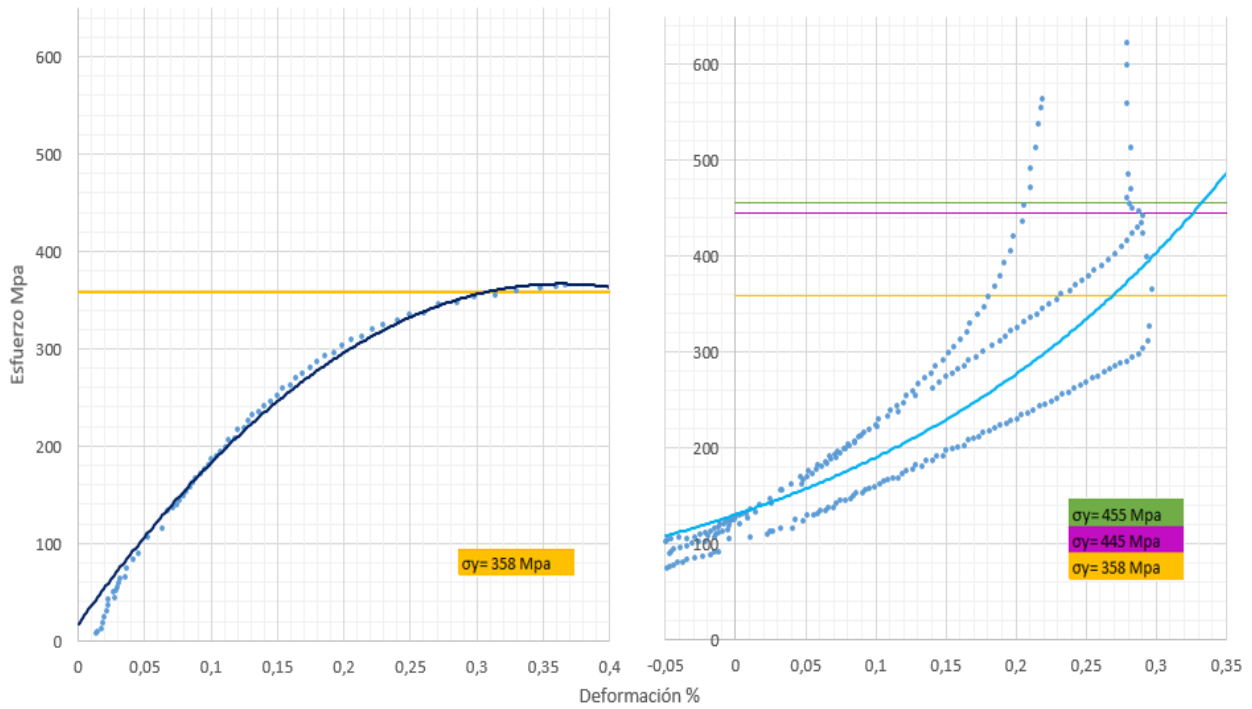
### Correlación del Diagrama Esfuerzo- Deformación Acero A588 (Probeta 1)



**Figura 86:** Diagrama de Correlación Esfuerzo-Deformación Unitaria del Acero A572 (Probeta 3)

En la figura 86 se puede determinar la variación en los valores de Deformación Unitaria (%) de la tercera probeta del acero ASTM A572, ya que en la parte izquierda se presenta la curva de tendencia del Diagrama Esfuerzo-Deformación, con un valor de deformación igual a 0.3 (mm/mm) mientras que a la izquierda podemos observar la Correlación Lineal del diagrama Esfuerzo-Deformación con un valor de deformación de 0.268 (mm/mm), ambos determinados en su punto de fluencia.

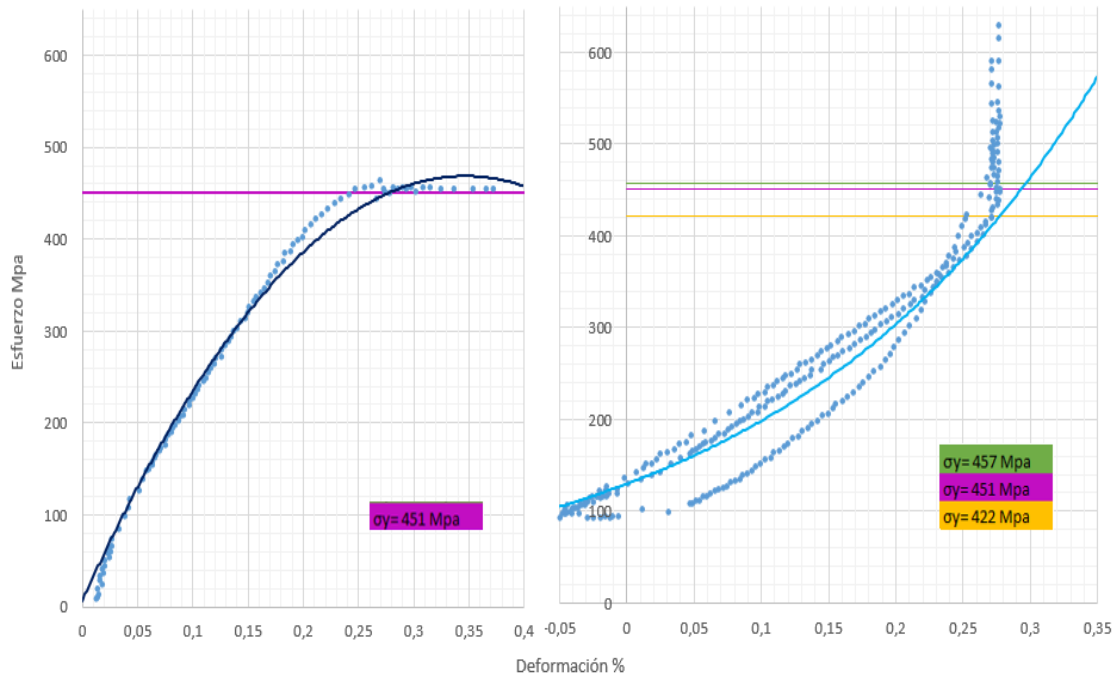
Correlación del Diagrama Esfuerzo- Deformación Acero A572 (Probeta 3)



**Figura 87:** Diagrama de Correlación Esfuerzo-Deformación Unitaria del Acero A588 (Probeta 1)

En la figura 87 se puede determinar la variación en los valores de Deformación Unitaria (%) de la primera probeta del acero ASTM A588, ya que en la parte izquierda se presenta la curva de tendencia del Diagrama Esfuerzo-Deformación, con un valor de deformación igual a 0.24 (mm/mm) mientras que a la izquierda podemos observar la Correlación Lineal del diagrama Esfuerzo-Deformación con un valor de deformación de 0.278 (mm/mm), ambos determinados en su punto de fluencia.

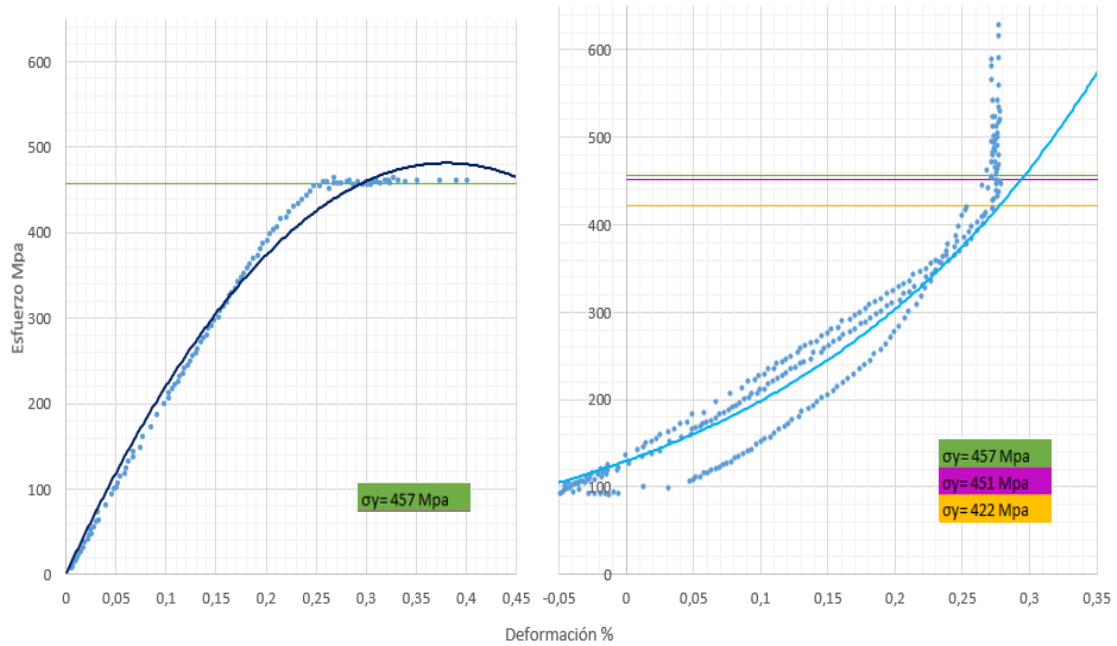
Correlación del Diagrama Esfuerzo- Deformación Acero A588 (Probeta 2)



**Figura 88:** Diagrama de Correlación Esfuerzo-Deformación Unitaria del Acero A588 (Probeta 2)

En la figura 88 se puede determinar la variación en los valores de Deformación Unitaria (%) de la segunda probeta del acero ASTM A588, ya que en la parte izquierda se presenta la curva de tendencia del Diagrama Esfuerzo-Deformación, con un valor de deformación igual a 0.279 (mm/mm) mientras que a la izquierda podemos observar la Correlación Lineal del diagrama Esfuerzo-Deformación con un valor de deformación de 0.292 (mm/mm), ambos determinados en su punto de fluencia.

Correlación del Diagrama Esfuerzo- Deformación Acero A588 (Probeta 3)



**Figura 89:** Diagrama de Correlación Esfuerzo-Deformación Unitaria del Acero A588 (Probeta 3)

En la figura 89 se puede determinar la variación en los valores de Deformación Unitaria (%) de la tercera probeta del acero ASTM A588, ya que en la parte izquierda se presenta la curva de tendencia del Diagrama Esfuerzo-Deformación, con un valor de deformación igual a 0.295 (mm/mm) mientras que a la izquierda podemos observar la Correlación Lineal del diagrama Esfuerzo-Deformación con un valor de deformación de 0.296 (mm/mm), ambos determinados en su punto de fluencia.

De acuerdo a los Diagramas de Correlación Esfuerzo-Deformación Unitaria de los aceros evaluados, presentados en el punto anterior, se presenta a continuación una tabla comparativa de resumen para mayor facilidad del lector:

**Tabla 14:** Resumen del porcentaje de Deformación Unitaria de los Aceros Evaluados.

ACERO	% Deformación Experimental	% Deformación Teórico	% Deformación Experimental	% Deformación Teórico	% Deformación Experimental	% Deformación Teórico
A36	0,205	0,261	0,235	0,263	0,205	0,27
A572	0,24	0,278	0,279	0,292	0,295	0,296
A588	0,24	0,278	0,279	0,292	0,295	0,296

## 5. Capítulo 5: Conclusiones y Recomendaciones

### 5.1. Conclusiones

- Los objetivos del presente tema de titulación, se cumplieron a cabalidad debido a que se realizó la evaluación experimental de los aceros ASTM A-36, A-572 y A-588 mediante los ensayos mecánicos de tensión, determinando así sus propiedades mecánicas de acuerdo a los valores de esfuerzo de fluencia y de ruptura obtenidos.
- Los valores obtenidos en la resistencia del acero a esfuerzos de tensión, presentados en las tablas 11, 12 y 13, entran dentro del rango de resistencias típicas de un acero estructural, los cuales se presentan en la tabla 9; además de que sus gráficas y correlaciones obtenidas corresponden a los modelos teóricos estudiados en las asignaturas de resistencia de materiales.
- De acuerdo a la correlación realizada para cada uno de los aceros estudiados, y las gráficas de esfuerzo deformación unitaria, presentadas en las figuras 81 a la 89,

se determinó que ambas siguen una tendencia creciente proporcional, similar a la curva habitual teórica.

- De acuerdo a la tabla 14, que presenta una comparación de los aceros, se puede determinar una variación entre lo experimental y lo teórico con resultados que difieren entre 0.001 a 0.06 de porcentaje de cada uno de los aceros evaluados.
- Entre muestras ensayadas de acero la variabilidad aumenta cuando existen factores externos al elemento a evaluarse tales como transporte, almacenamiento, condiciones del ensayo y sobretodo la manufactura del mismo, donde pueden diferir resultados, como en el caso del acero ensayado ASTM A572 donde existió variación en los valores de resistencia y fluencia, reflejados en la tabla 12.
- Los resultados obtenidos en la simulación del ensayo a tensión en el software ANSYS presentaron cierta variación con los resultados obtenidos en laboratorio, debido a que este software, no contempla un punto de estricción o rotura de la probeta, llegando solo hasta el punto de fluencia por la omisión del incremento de la carga inicial que se considera en el ensayo. Por ende, solo se obtienen valores de esfuerzo y deformación que forman una recta creciente en la gráfica Esfuerzo-Deformación, debido a la carga constante aplicada, y no una curva creciente como en la práctica.

## 5.2. Recomendaciones

- Se podría obtener valores más precisos de Esfuerzo-Deformación al controlarse diversos factores externos al ensayo, como pueden ser: lugar de procedencia del material, factores climáticos e incluso proceso de transportación del mismo, los cuales influyeron cierta variación en los diagramas Esfuerzo-Deformación obtenidos en los aceros evaluados.
- Es recomendable conseguir el material al mismo tiempo y del mismo distribuidor, para tener la constancia de que los tres tipos de acero, estuvieron en las mismas condiciones, lugar de almacenamiento y proceso de transportación, y así poder

reducir al mínimo los posibles errores externos al ensayo de laboratorio y no afectar los resultados finales de la práctica.

- El presente plan de disertación puede ser considerado para investigaciones de mayor alcance en la carrera de Ingeniería Civil de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, para lo cual se recomienda mejorar las condiciones en la capacidad de los equipos e instrumentos a ser empleados.
- Se recomienda contar con un equipo de ensayo, habilitado con un software avanzado, que facilite la obtención de cada uno de los datos en la gráfica Esfuerzo-Deformación unitaria, debido a que el equipo del laboratorio de la PUCE determina solo la gráfica Esfuerzo-Deformación unitaria pero no emite los puntos de la misma en forma de datos.

## 6. Capítulo 6: Bibliografía

- Abad, J., Lainez, J., & Zelaya, R. (2014). *ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS Y PROCESOS DEL ACERO*.
- AISI. *Edición 1996.* , (1996).
- Altamira, L. E. P. (2005). *Conexiones completamente restringidas* (Universidad de las Americas Puebla). Retrieved from [http://catarina.udlap.mx/u\\_dl\\_a/tales/documentos/lic/peternell\\_a\\_le/](http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lic/peternell_a_le/)
- Angulo, D., & Carvajal, E. (2009). *Análisis y resultados del comportamiento de los esfuerzos residuales y las deformaciones en juntas soldadas a tope de acero A36, aplicando el método SMAW con electrodos E6011*.
- ASTM. (2005). Standard Specification for Carbon Structural Steel ASTM A36. *Standards, 14*, 1–4. <https://doi.org/10.1520/A0036>
- ASTM. (2013). *ASTM A588*. <https://doi.org/10.1520/A0588>
- ASTM. (2016). *Technical Literature : ASTM A370 / ASME SA-370 Company Website : Standard Test Methods and Definitions for Mechanical Testing of Steel Products 1*. <https://doi.org/10.1520/A0370-16.2>
- ASTM. (2019). *ASTM A572*.
- Castillo, J. (2013). Castillo Automoción: Solicitaciones mecánicas de los materiales. Retrieved October 20, 2019, from <http://castillocaballero.blogspot.com/2013/10/solicitaciones-mecanicas-de-los.html>
- Cházaro, C. R., & Alvarez, O. V. (2014). *Elección del tipo de Acero para estructuras*. 52(55), 16. Retrieved from [http://www.gerdaucorsa.com.mx/art\\_tecnicos.html](http://www.gerdaucorsa.com.mx/art_tecnicos.html)
- Díaz, F. (2019). *Perfiles Estructurales*.
- Gallegos, P. (2015). *El Calibrador o Pie de Rey*.
- Gamonal, W. (2016). *Uso de las Normas ASTM en Corporación aceros Arequipa S.A*. 30. Retrieved from <https://www.astm.org/GLOBAL/docs/Presentacion-Walter-Gamonal-Ruiz.pdf>
- Garavito, J. (2016). *ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA*. Retrieved from [https://repositorio.escuelaing.edu.co/bitstream/001/473/1/Percy Otero%2C Andrés José - 2016.pdf](https://repositorio.escuelaing.edu.co/bitstream/001/473/1/Percy%20Otero%2C%20Andr%C3%A9s%20Jos%C3%A9%20-%202016.pdf)

- Grupo Sistend Testing, C. A. (2010). *Inspección Visual. Nivel I y II. Manual de Instrucción*. 192. Retrieved from <http://www.sistendca.com/DOCUMENTOS/MANUAL DE INSP. VISUAL.pdf>
- Gudiño, S. (2004). *ACERO A36 Y MAS*. 2004(1), 1–14.
- INEN. (2009). *Ensayo De Traccion Para Materiales Metalicos a Temperatura Ambiente*. [https://doi.org/10.1016/s0301-5629\(02\)00732-9](https://doi.org/10.1016/s0301-5629(02)00732-9)
- McCormac, J. C. S. F. C. (2011). Diseño De Estructuras De Acero. In *Diciembre*. Retrieved from <https://tulosabias.com/pdf-libro-diseno-de-estructuras-de-acero-jack-c-mccormac-stephen-f-csernak-descarga-gratuita/>
- Medina, E. (2002). *Ensayo de Tensión o Tracción*. Retrieved from [http://udistrital.edu.co:8080/c/document\\_library/get\\_file?uuid=1404d4ad-0b86-4473-8ade-8292e80b0eac&groupId=19625](http://udistrital.edu.co:8080/c/document_library/get_file?uuid=1404d4ad-0b86-4473-8ade-8292e80b0eac&groupId=19625)
- Medina, Y. (2015). *ANÁLISIS ULTRASÓNICO Y MICROESTRUCTURAL DEL ACERO ASTM A 588, TRATADO TÉRMICAMENTE POR MEDIO DE TEMPLE A TEMPERATURAS DE 900°C, 950°C Y 1000°C*. 114.
- Meléndez, A. (2009). *Análisis y resultados del comportamiento de los esfuerzos residuales y las deformaciones en juntas soldadas a tope de acero A36, aplicando el método SMAW con electrodos E6011. Capítulo 2*.
- Navichoc Francisco. (2015). *Vigas Principales y Vigas Secundarias*.
- NDE. (2014). Ensayos de Doble de Probetas. Retrieved October 20, 2019, from [http://nde-predictivo.com/servicios-ensayos\\_destruictivos-ensayos\\_de\\_doble\\_de\\_probetas.html](http://nde-predictivo.com/servicios-ensayos_destruictivos-ensayos_de_doble_de_probetas.html)
- Pérez, J. A. (1996). *TRATAMIENTOS TERMICOS DE LOS ACEROS (UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON)*. Retrieved from <http://libroelectronico.uaa.mx/capitulo-12-otras-vias/estructura-y-funcion-del.html>
- Sánchez, M., & Rincón, E. (2017). *ANÁLISIS DE SOLDABILIDAD DEL ACERO ESTRUCTURAL ASTM A572 GRADO 50 CON EL PROCESO DESOLDEO AL ARCO ELÉCTRICO CON ELECTRODO TUBULAR AUTOPROTEGIDO (FCAW-S) Y COMPARARLA CON EL PROCESO DE SOLDADURA AL ARCO CON ELECTRODO METÁLICO REVESTIDO (SMAW) (Vol. 53)*. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>

- Shanley, F. R. (1971). *Mecanica de Materiales.pdf* (p. 459). p. 459.
- Silva, S. (2005). “*TECNOLOGÍA DE NUEVA GENERACIÓN PARA LA EDIFICACIÓN CON ESTRUCTURAS METÁLICAS*” (INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura Unidad Zacatenco). Retrieved from <https://fdocumento.com/amp/document/418-tecnologia-de-nueva-generacion-para-la-edificacion-con-estructuras-metalicas.html>
- Stanley. (2008). *stanley.PDF* (p. 40). p. 40.
- UTN. (2012). *CATEDRA: TECNOLOGIA DE LOS MATERIALES -2º año Ingeniería Civil TRABAJO PRÁCTICO N°13. 2–3.*
- AISC. (1986). *Steel Construction Manual 8th Edition*. United States of America.
- Beer, F., & Johnston, R. (2010). *Mecánica de Materiales* . Mexico: McGraw-Hill/INTERAMERICANA EDITORES, S.A de C.V.
- Cahum, E. (Febrero de 2012). *Acero*. Obtenido de <http://estefaniacero.blogspot.com/2012/02/tipos-de-columnas.html>
- Callister, W., & Rethwisch, D. (2007). *Materials science and Engineering an introduction* . México: John Wiley & Sons. Inc.
- CORSA, G. (2015). *GERDAU CORSA*. Obtenido de [www.gerdaucorsa.com.mx](http://www.gerdaucorsa.com.mx)
- Gere, J. M., & Goodno, B. J. (2016). *Mecánica de Materiales 8va Edición*. Mexico D.F: Cengage.
- Gutiérrez, M. F. (2016). *Consejo Mieres*. Obtenido de <http://www.mieres.es/turismo/patrimonio/patrimonio-industrial/puentes-pomar-arnizo/>
- Harmer, E. D., & Troxell, G. (1966). *Ensaye e inspección de los materiales de Ingeniería*. México D.F.: Compañía Editorial Continental.
- Herramientas, M. y. (2018). *Demaquinasyherramientas*. Obtenido de <https://www.demaquinasyherramientas.com/herramientas-manuales/arcos-de-sierra-tipos>
- iStock. (29 de Agosto de 2017). *iStock by getty images*. Obtenido de <https://www.istockphoto.com/it/vettoriale/metal-screws-steel-bolts-nuts-nails-and-rivets-isolated-on-white-vector-set-gm840466006-136968689>
- Leon, E. (08 de Septiembre de 2017). *Estructura Leon*. Obtenido de <http://estructuraleon.blogspot.com/2017/09/estructura-introduccion-se-lleva-cabo.html?m=1>

- NDTLatinoamerica. (23 de Enero de 2017). *NDT Latinoamerica*. Obtenido de <https://ndtlatinoamerica.com/ensayos-no-destructivos/>
- PEMEX. (Julio de 2014). *Normas de Referencia*. Obtenido de <http://www.pemex.com/procura/procedimientos-de-contratacion/normas-referencia/Paginas/default.aspx>
- Producción., E. C. (02 de 2011). *ENSAYO DE TENSIÓN*. Obtenido de [https://www.escuelaing.edu.co/uploads/laboratorios/9026\\_tension.pdf](https://www.escuelaing.edu.co/uploads/laboratorios/9026_tension.pdf)
- Rosario, U. F. (Abril de 2011). *Ensayos Mecánicos del Acero*. Obtenido de [https://www.frro.utn.edu.ar/repositorio/catedras/civil/2\\_anio/tecno\\_materiales/files/TP%20N%C2%B013%20-%20Plegado.pdf](https://www.frro.utn.edu.ar/repositorio/catedras/civil/2_anio/tecno_materiales/files/TP%20N%C2%B013%20-%20Plegado.pdf)
- SIMMA. (Agosto de 2014). *Mezzanine Modular M-300*. Obtenido de <http://www.simma.co/mezzanine-modular-m-300/>
- Vigacero. (2018). *VIGACERO*. Obtenido de <http://vigacero.pe/>

**Anexo 1: Resultados de la determinación de la resistencia de la tensión acero ASTM-A36**



**PUCE**

Pontificia Universidad Católica del Ecuador  
LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES, MECÁNICA DE SUELOS,  
PAVIMENTOS Y GEOTÉCNICA DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA



**ÁREA DE RESISTENCIA DE MATERIALES  
INFORME DE ENSAYO  
DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA TENSIÓN DE PLACAS DE ACERO  
MATERIAL BASE**

PROYECTO: Tesis SOLICITADO POR : Estaban Pazmiño  
LOCALIZACIÓN: Quito FISCALIZACIÓN : .....  
NORMA DE REFERENCIA: ASTM A370 CONTRATISTA : .....  
MUESTRA: Tomada por el Cliente FECHA DE INGRESO: 2019/07/17  
ORDEN DE TRABAJO: 32943 FECHA DE EMISIÓN: 2019/08/12  
HOJA: 1 de 3  
FÁBRICA: H & KUBIEC

MUESTRA	1	2	3
DESCRIPCIÓN	ASTM A36		
FECHA DE ENSAYO	18/07/2019	18/07/2019	18/07/2019
ESPESOR ( mm )	8,04	7,89	7,96
ANCHO ( mm )	40,37	40,19	40,10
ÁREA MÍNIMA ( mm <sup>2</sup> )	324,57	317,10	319,20
CARGA MÁXIMA ( N )	145400	145300	145400
ESFUERZO MÁXIMO ( Mpa )	448	458	456
ESFUERZO DE FLUENCIA ( Mpa )	290	292	301
ELONGACIÓN EN 50 MM (%)	47	48	47

OBSERVACIONES :

**NOTA:** Este informe de ensayo no debe ser reproducido parcialmente.

Ventimilla y Av. 12 de Octubre  
Tel.: 593 2 299 1529  
Cel.: 098 704 9430  
Quito - Ecuador  
LMC-PUCE@puce.edu.ec  
www.puce.edu.ec

Ing. María Inés Calvo  
Responsable de Área.

Ing. Jorge Abujá, M.Sc.  
Director

Solidarios en la construcción, excelencia en la calidad...

JESUITAS ECUADOR

**Anexo 2: Resultados de la determinación de la resistencia de la tensión acero ASTM-A572**



**PUCE**

Pontificia Universidad Católica del Ecuador  
LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES, MECÁNICA DE SUELOS,  
PAVIMENTOS Y GEOTÉCNICA DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA



**ÁREA DE RESISTENCIA DE MATERIALES  
INFORME DE ENSAYO  
DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA TENSIÓN DE PLACAS DE ACERO  
MATERIAL BASE**

<b>PROYECTO:</b>	Tesis	<b>SOLICITADO POR :</b>	Esteban Pazmiño
<b>LOCALIZACIÓN:</b>	Quito	<b>FISCALIZACIÓN :</b>	.....
<b>NORMA DE REFERENCIA:</b>	ASTM A370	<b>CONTRATISTA :</b>	.....
<b>MUESTRA:</b>	Tomada por el Cliente	<b>FECHA DE INGRESO:</b>	2019/07/17
<b>ORDEN DE TRABAJO:</b>	32943	<b>FECHA DE EMISIÓN:</b>	2019/08/12
<b>HOJA:</b>	2 de 3		

**FÁBRICA:** H & KUBIEC

MUESTRA	1	2	3
DESCRIPCIÓN	ASTM A572		
FECHA DE ENSAYO	06/08/2019	06/08/2019	06/08/2019
ESPESOR ( mm )	8,14	8,04	8,40
ANCHO ( mm )	40,34	41,29	40,29
ÁREA MÍNIMA ( mm <sup>2</sup> )	328,37	331,97	338,44
CARGA MÁXIMA ( N )	186000	187200	182100
ESFUERZO MÁXIMO ( Mpa )	566	564	479
ESFUERZO DE FLUENCIA (Mpa)	455	445	368
ELONGACIÓN EN 50 MM (%)	47	41	54

OBSERVACIONES :

**NOTA:** Este informe de ensayo no debe ser reproducido parcialmente.

Ventimilla y Av. 12 de Octubre  
Tel.: 593 2 299 1529  
Cel.: 098 704 9430  
Quito - Ecuador  
EMC-PUCE@puce.edu.ec  
www.puce.edu.ec

Ing. María Inés Calvo  
Responsable de Área.

Ing. Jorge Albuja, M.Sc.  
Director



JESUITAS ECUADOR

Solidarios en la construcción, excelencia en la calidad...

### Anexo 3: Resultados de la determinación de la resistencia de la tensión acero ASTM-A588



Pontificia Universidad Católica del Ecuador  
LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES, MECÁNICA DE SUELOS,  
PAVIMENTOS Y GEOTÉCNICA DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA



#### ÁREA DE RESISTENCIA DE MATERIALES INFORME DE ENSAYO DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA TENSIÓN DE PLACAS DE ACERO MATERIAL BASE

PROYECTO: Tesis SOLICITADO POR : Esteban Pazmiño  
LOCALIZACIÓN: Quito FISCALIZACIÓN : .....  
NORMA DE REFERENCIA: ASTM A370 CONTRATISTA : .....  
MUESTRA: Tomada por el Cliente FECHA DE INGRESO: 2019/07/17  
ORDEN DE TRABAJO: 32943 FECHA DE EMISIÓN: 2019/08/12  
HOJA: 3 de 3  
FÁBRICA: H & KUBIEC

MUESTRA	1	2	3
DESCRIPCIÓN	ASTM A588		
FECHA DE ENSAYO	06/08/2019	06/08/2019	06/08/2019
ESPESOR ( mm)	8,16	7,94	7,96
ANCHO ( mm)	41,13	40,99	40,60
ÁREA MÍNIMA ( mm <sup>2</sup> )	335,62	324,67	323,18
CARGA MÁXIMA ( N)	184900	185200	185100
ESFUERZO MÁXIMO ( Mpa)	551	570	573
ESFUERZO DE FLUENCIA (Mpa)	422	451	457
ELONGACIÓN EN 50 MM (%)	49	39	40

OBSERVACIONES :

**NOTA:** Este informe de ensayo no debe ser reproducido parcialmente.

Ventimilla y Av. 12 de Octubre  
Telf.: 59312 299 1529  
Cél.: 098 704 9430  
Quito - Ecuador  
LMC-PUCE@puce.edu.ec  
www.puce.edu.ec


Ing. María Inés Calvo  
Responsable de Área.

Ing. Jorge Albuja, M.Sc.  
Director




Solidarios en la construcción, excelencia en la calidad...

### Anexo 4: Resultados de la determinación de la resistencia de la tensión acero ASTM-A36



Pontificia Universidad Católica del Ecuador  
Laboratorio de Materiales de Construcción



ÁREA DE RESISTENCIA DE MATERIALES


N° orden: A36

TRACCIÓN EN PLACAS										
Muestra N°	1	2	3							
Descripción										
Fecha de ensayo										
Ancho (in) (mm)	40.34	40.19	40.10							
Espesor (in) (mm)	8.04	7.89	7.96							
Carga máxima (kg)	145.400	145.300	146.400							
Long. inicial (in) (mm)	50	50	50							
Long. final (in) (mm)	73.53	74.05	73.53							


Firmas:

Laboratorista: \_\_\_\_\_ Informe: \_\_\_\_\_

### Anexo 5: Resultados de la determinación de la resistencia de la tensión acero ASTM-A572 y ASTM-A588



Pontificia Universidad Católica del Ecuador  
Laboratorio de Materiales de Construcción



ÁREA DE RESISTENCIA DE MATERIALES

N° orden: A572-A588

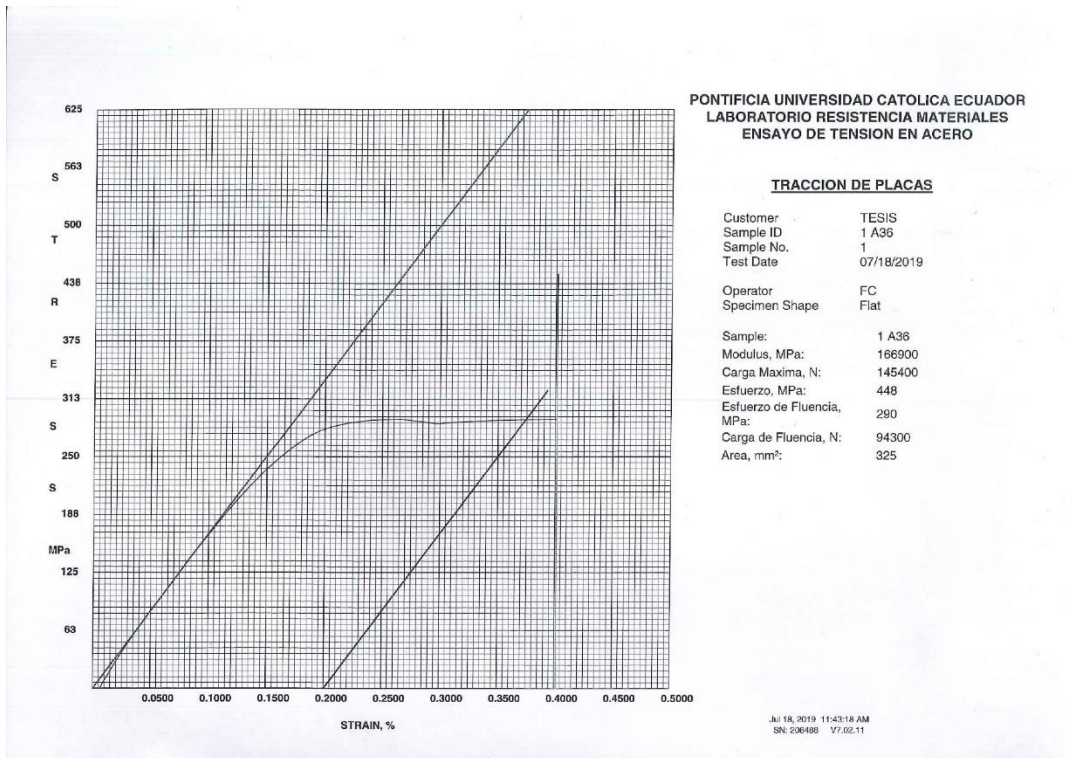
TRACCIÓN EN PLACAS SOLDADAS										
Muestra N°	1	2	3	A	B	C				
Descripción										
Procedimiento										
Proceso										
Soldador										
Fecha de ensayo										
Ancho (mm)	40.34	41.29	40.29	41.13	40.89	40.60				
Espesor (mm)	8.14	8.04	8.40	8.16	7.94	7.96				
long. inicial (mm)	50	50	50	50	50	50				
long. final (mm)	73.32	70.29	76.40	74.30	74.18	69.99				
Carga máxima (N)	186.000	187.200	162.100	184.900	185.200	185.100				
Localización de la falla						~ 69.69				

DOBLADO EN PLACAS					NICK BREAK				
Muestra N°									
Descripción									
Procedimiento									
Proceso									
Soldador									
Descripción									
Fecha de ensayo									
Espesor (mm)									
Carga de doblado (Kg)									
¿Pasa el ensayo?									

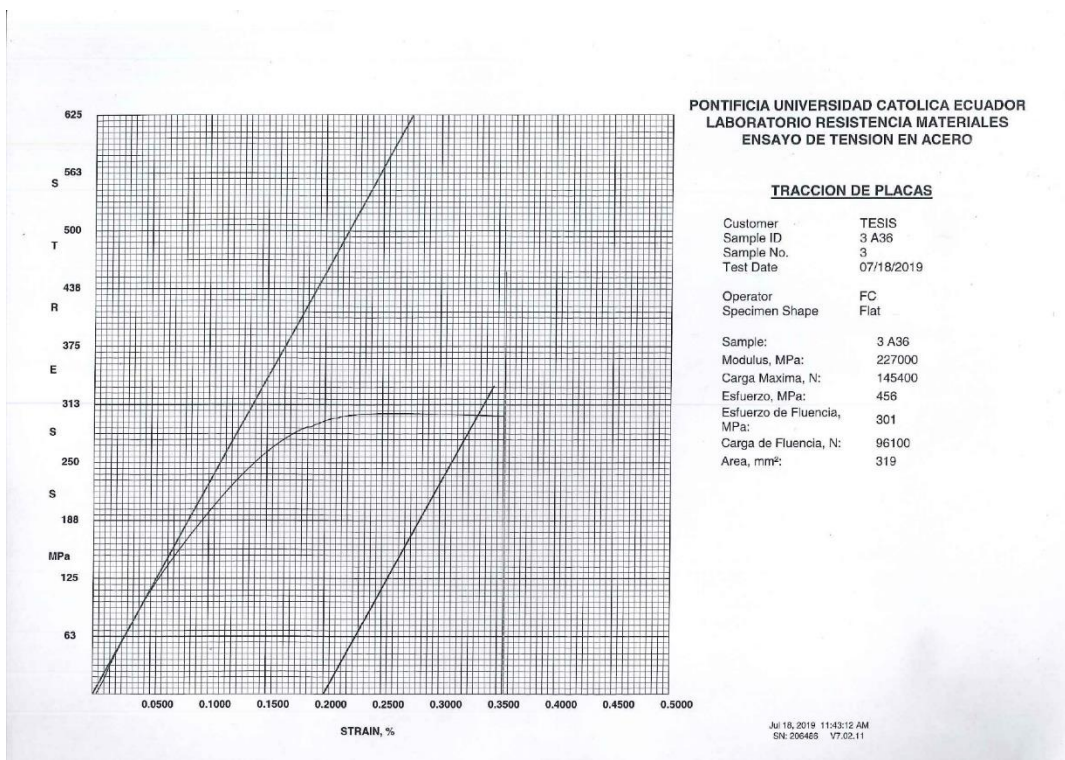
Firmas:

Laboratorista: \_\_\_\_\_ Informe: \_\_\_\_\_

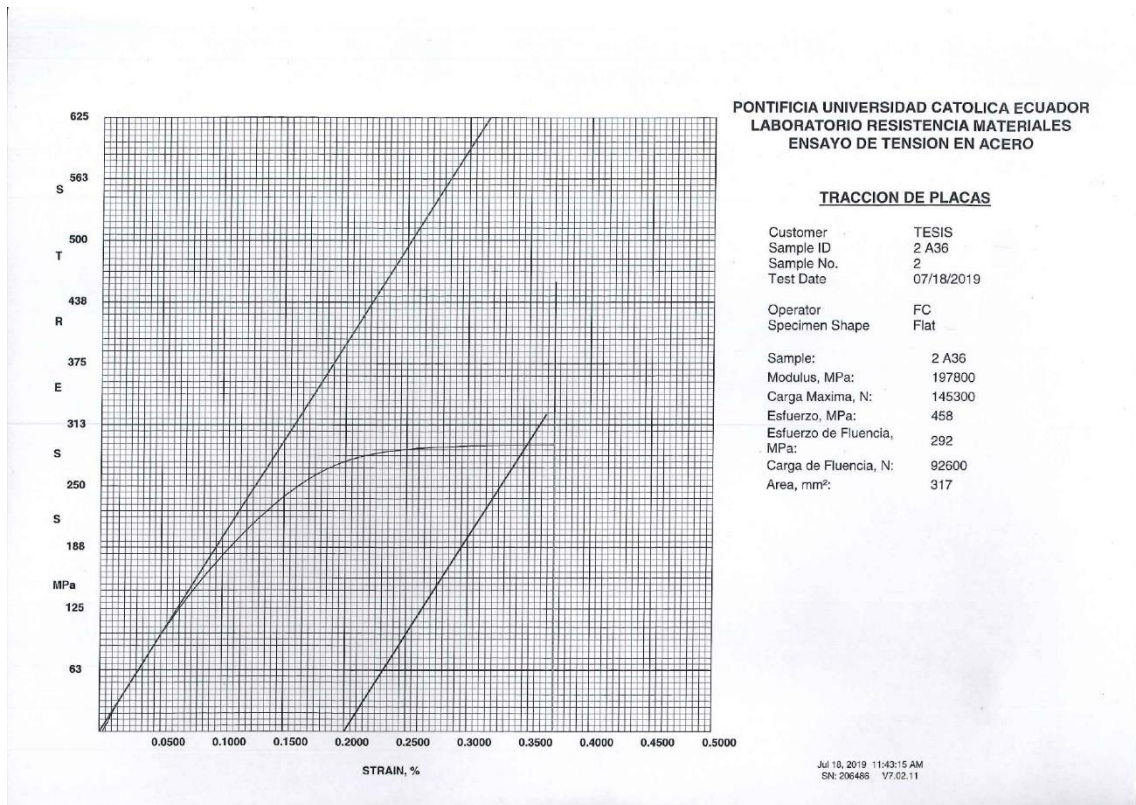
### Anexo 6: Gráfica esfuerzo-deformación unitaria probeta #1 acero A-36



### Anexo 7: Gráfica esfuerzo-deformación unitaria probeta #2 acero A-36



### Anexo 8: Gráfica esfuerzo-deformación unitaria probeta #3 acero A-36



# Anexo 9: Norma ASTM A36/36M-14

This international standard was developed in accordance with internationally recognized principles on standardization established in the Decision on Principles for the Development of International Standards, Guides and Recommendations issued by the World Trade Organization Technical Barriers to Trade (TBT) Committee.



Designation: A36/A36M – 14

## Standard Specification for Carbon Structural Steel<sup>1</sup>

This standard is issued under the fixed designation A36/A36M; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon ( $\epsilon$ ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

*This standard has been approved for use by agencies of the U.S. Department of Defense.*

### 1. Scope\*

1.1 This specification<sup>2</sup> covers carbon steel shapes, plates, and bars of structural quality for use in riveted, bolted, or welded construction of bridges and buildings, and for general structural purposes.

1.2 Supplementary requirements are provided for use where additional testing or additional restrictions are required by the purchaser. Such requirements apply only when specified in the purchase order.

1.3 When the steel is to be welded, a welding procedure suitable for the grade of steel and intended use or service is to be utilized. See Appendix X3 of Specification A6/A6M for information on weldability.

1.4 The values stated in either inch-pound units or SI units are to be regarded separately as standard. Within the text, the SI units are shown in brackets. The values stated in each system are not exact equivalents; therefore, each system is to be used independently of the other, without combining values in any way.

1.5 The text of this specification contains notes or footnotes, or both, that provide explanatory material. Such notes and footnotes, excluding those in tables and figures, do not contain any mandatory requirements.

1.6 For structural products produced from coil and furnished without heat treatment or with stress relieving only, the additional requirements, including additional testing requirements and the reporting of additional test results, of A6/A6M apply.

<sup>1</sup> This specification is under the jurisdiction of ASTM Committee A01 on Steel, Stainless Steel and Related Alloys and is the direct responsibility of Subcommittee A01.02 on Structural Steel for Bridges, Buildings, Rolling Stock and Ships.

Current edition approved Dec. 1, 2014. Published December 2014. Originally approved in 1960. Last previous edition approved in 2012 as A36/A36M – 12. DOI: 10.1520/A0036\_A0036M-14.

<sup>2</sup> For ASME Boiler and Pressure Vessel Code Applications, see related Specifications SA-36 in Section II of that Code.

### 2. Referenced Documents

2.1 *ASTM Standards*:<sup>3</sup>

A6/A6M Specification for General Requirements for Rolled Structural Steel Bars, Plates, Shapes, and Sheet Piling

A27/A27M Specification for Steel Castings, Carbon, for General Application

A307 Specification for Carbon Steel Bolts, Studs, and Threaded Rod 60 000 PSI Tensile Strength

A325 Specification for Structural Bolts, Steel, Heat Treated, 120/105 ksi Minimum Tensile Strength

A325M Specification for Structural Bolts, Steel, Heat Treated 830 MPa Minimum Tensile Strength (Metric)

A500 Specification for Cold-Formed Welded and Seamless Carbon Steel Structural Tubing in Rounds and Shapes

A501 Specification for Hot-Formed Welded and Seamless Carbon Steel Structural Tubing

A502 Specification for Rivets, Steel, Structural

A563 Specification for Carbon and Alloy Steel Nuts

A563M Specification for Carbon and Alloy Steel Nuts (Metric)

A668/A668M Specification for Steel Forgings, Carbon and Alloy, for General Industrial Use

A1011/A1011M Specification for Steel, Sheet and Strip, Hot-Rolled, Carbon, Structural, High-Strength Low-Alloy, High-Strength Low-Alloy with Improved Formability, and Ultra-High Strength

A1018/A1018M Specification for Steel, Sheet and Strip, Heavy-Thickness Coils, Hot-Rolled, Carbon, Commercial, Drawing, Structural, High-Strength Low-Alloy, High-Strength Low-Alloy with Improved Formability, and Ultra-High Strength

F568M Specification for Carbon and Alloy Steel Externally

<sup>3</sup> For referenced ASTM standards, visit the ASTM website, [www.astm.org](http://www.astm.org), or contact ASTM Customer Service at [service@astm.org](mailto:service@astm.org). For *Annual Book of ASTM Standards* volume information, refer to the standard's Document Summary page on the ASTM website.

\*A Summary of Changes section appears at the end of this standard

Copyright © ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States

Copyright by ASTM Int'l (all rights reserved); Fri Feb 15 10:39:20 EST 2019

Downloaded/printed by

Pontificia Universidad Catolica del Ecuador - PUCE (Pontificia Universidad Catolica del Ecuador - PUCE) pursuant to License Agreement. No further reproductions authorized

**TABLE 1 Appurtenant Material Specifications**

NOTE 1—The specifier should be satisfied of the suitability of these materials for the intended application. Chemical composition or mechanical properties, or both, may be different than specified in A36/A36M.

Material	ASTM Designation
Steel rivets	A502, Grade 1
Bolts	A307, Grade A or F568M, Class 4.6
High-strength bolts	A325 or A325M
Steel nuts	A563 or A563M
Cast steel	A27/A27M, Grade 65–35 [450–240]
Forgings (carbon steel)	A668/A668M, Class D
Hot-rolled sheets and strip	A1011/A1011M, SS Grade 36 [250] Type 1 or Type 2 or A1018/A1018M, SS Grade 36 [250]
Cold-formed tubing	A500, Grade B
Hot-formed tubing	A501
Anchor bolts	F1554, Grade 36

Threaded Metric Fasteners (Metric) (Withdrawn 2012)<sup>4</sup>  
 F1554 Specification for Anchor Bolts, Steel, 36, 55, and 105-ksi Yield Strength

### 3. Appurtenant Materials

3.1 When components of a steel structure are identified with this ASTM designation but the product form is not listed in the scope of this specification, the material shall conform to one of the standards listed in Table 1 unless otherwise specified by the purchaser.

### 4. General Requirements for Delivery

4.1 Structural products furnished under this specification shall conform to the requirements of the current edition of Specification A6/A6M, for the specific structural product ordered, unless a conflict exists in which case this specification shall prevail.

4.2 Coils are excluded from qualification to this specification until they are processed into a finished structural product. Structural products produced from coil means structural products that have been cut to individual lengths from a coil. The processor directly controls, or is responsible for, the operations involved in the processing of a coil into a finished structural product. Such operations include decoiling, leveling or straightening, hot-forming or cold-forming (if applicable), cutting to length, testing, inspection, conditioning, heat treatment (if applicable), packaging, marking, loading for shipment, and certification.

NOTE 1—For structural products produced from coil and furnished without heat treatment or with stress relieving only, two test results are to be reported for each qualifying coil. Additional requirements regarding structural products produced from coil are described in Specification A6/A6M.

<sup>4</sup> The last approved version of this historical standard is referenced on [www.astm.org](http://www.astm.org).

### 5. Bearing Plates

5.1 Unless otherwise specified, plates used as bearing plates for bridges shall be subjected to mechanical tests and shall conform to the tensile requirements of Section 8.

5.2 Unless otherwise specified, mechanical tests shall not be required for plates over 1½ in. [40 mm] in thickness used as bearing plates in structures other than bridges, subject to the requirement that they shall contain 0.20 to 0.33 % carbon by heat analysis, that the chemical composition shall conform to the requirements of Table 3 in phosphorus and sulfur content, and that a sufficient discard shall be made to secure sound plates.

### 6. Materials and Manufacture

6.1 The steel shall be killed

### 7. Chemical Composition

7.1 The heat analysis shall conform to the requirements prescribed in Table 3, except as specified in 5.2.

7.2 The steel shall conform on product analysis to the requirements prescribed in Table 3, subject to the product analysis tolerances in Specification A6/A6M.

### 8. Tension Test

8.1 The material as represented by the test specimen, except as specified in 5.2 and 8.2, shall conform to the requirements as to the tensile properties prescribed in Table 2.

8.2 Shapes less than 1 in.<sup>2</sup> [645 mm<sup>2</sup>] in cross section and bars, other than flats, less than ½ in. [12.5 mm] in thickness or diameter need not be subjected to tension tests by the manufacturer, provided that the chemical composition used is appropriate for obtaining the tensile properties in Table 2.

### 9. Keywords

9.1 bars; bolted construction; bridges; buildings; carbon; plates; riveted construction; shapes; steel; structural steel; welded construction

**TABLE 2 Tensile Requirements<sup>a</sup>**

Plates, Shapes, <sup>b</sup> and Bars:	
Tensile strength, ksi [MPa]	58–80 [400–550]
Yield point, min, ksi [MPa]	36 [250] <sup>c</sup>
Plates and Bars: <sup>d,e</sup>	
Elongation in 8 in. [200 mm], min, %	20
Elongation in 2 in. [50 mm], min, %	23
Shapes:	
Elongation in 8 in. [200 mm], min, %	20
Elongation in 2 in. [50 mm], min, %	21 <sup>f</sup>

<sup>a</sup> See the Orientation subsection in the Tension Tests section of Specification A6/A6M.

<sup>b</sup> For wide flange shapes with flange thickness over 3 in. [75 mm], the 80 ksi [550 MPa] maximum tensile strength does not apply and a minimum elongation in 2 in. [50 mm] of 19 % applies.

<sup>c</sup> Yield point 32 ksi [220 MPa] for plates over 8 in. [200 mm] in thickness.

<sup>d</sup> Elongation not required to be determined for floor plate.

<sup>e</sup> For plates wider than 24 in. [600 mm], the elongation requirement is reduced two percentage points. See the Elongation Requirement Adjustments subsection under the Tension Tests section of Specification A6/A6M.

**TABLE 3 Chemical Requirements**

NOTE 1—Where “. . .” appears in this table, there is no requirement. The heat analysis for manganese shall be determined and reported as described in the heat analysis section of Specification A6/A6M.

Product	Shapes <sup>A</sup>	Plates > 15-in. [380 mm] Width <sup>B</sup>					Bars; Plates ≤ 15-in. [380 mm] Width <sup>B</sup>			
		To ¾ [20], incl	Over ¾ to 1½ [20 to 40], incl	Over 1½ to 2½ [40 to 65], incl	Over 2½ to 4 [65 to 100], incl	Over 4 [100]	To ¾ [20], incl	Over ¾ to 1½ [20 to 40], incl	Over 1½ to 4 [100], incl	Over 4 [100]
Thickness, in. [mm]	All									
Carbon, max, %	0.26	0.25	0.25	0.26	0.27	0.29	0.26	0.27	0.28	0.29
Manganese, %	...	...	0.80–1.20	0.80–1.20	0.85–1.20	0.85–1.20	...	0.60–0.90	0.60–0.90	0.60–0.90
Phosphorus, max, %	0.04	0.030	0.030	0.030	0.030	0.030	0.04	0.04	0.04	0.04
Sulfur, max, %	0.05	0.030	0.030	0.030	0.030	0.030	0.05	0.05	0.05	0.05
Silicon, %	0.40 max	0.40 max	0.40 max	0.15–0.40	0.15–0.40	0.15–0.40	0.40 max	0.40 max	0.40 max	0.40 max
Copper, min, % when cop per steel is specified	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20

<sup>A</sup> Manganese content of 0.85–1.35 % and silicon content of 0.15–0.40 % is required for shapes with flange thickness over 3 in. [75 mm].

<sup>B</sup> For each reduction of 0.01 percentage point below the specified carbon maximum, an increase of 0.06 percentage point manganese above the specified maximum will be permitted, up to the maximum of 1.35 %.

### SUPPLEMENTARY REQUIREMENTS

These requirements shall not apply unless specified in the order.

Standardized supplementary requirements for use at the option of the purchaser are listed in Specification A6/A6M. Those that are considered suitable for use with this specification are listed by title:

#### S5. Charpy V-Notch Impact Test.

#### S30. Charpy V-Notch Impact Test for Structural Shapes: Alternate Core Location

#### S32. Single Heat Bundles

S32.1 Bundles containing shapes or bars shall be from a single heat of steel.

### SUMMARY OF CHANGES

Committee A01 has identified the location of selected changes to this standard since the last issue (A36/A36M – 12) that may impact the use of this standard. (Approved Dec. 1, 2014.)

(1) Revised Table 3 to modify phosphorus and sulfur limits for plate products greater than 15 in. [380 mm] in width.

*ASTM International takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.*

*This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM International Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, at the address shown below.*

*This standard is copyrighted by ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States. Individual reprints (single or multiple copies) of this standard may be obtained by contacting ASTM at the above address or at 610-832-9585 (phone), 610-832-9555 (fax), or service@astm.org (e-mail); or through the ASTM website (www.astm.org). Permission rights to photocopy the standard may also be secured from the Copyright Clearance Center, 222 Rosewood Drive, Danvers, MA 01923, Tel: (978) 646-2600; http://www.copyright.com/*

## Anexo 10: Norma ASTM A572-79

NOTICE: This standard has either been superseded and replaced by a new version or withdrawn  
Contact ASTM International ([www.astm.org](http://www.astm.org)) for the latest information



AMERICAN NATIONAL  
STANDARD

ANSI/ASTM A 572 - 79

American Association State  
Highway and Transportation  
Officials Standard  
AASHTO No.: M 223

### Standard Specification for HIGH-STRENGTH LOW-ALLOY COLUMBIUM- VANADIUM STEELS OF STRUCTURAL QUALITY<sup>1</sup>

This Standard is issued under the fixed designation A 572; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval.

*This specification has been approved for use by agencies of the Department of Defense and for listing in the DoD Index of Specifications and Standards.*

#### 1. Scope

1.1 This specification covers four grades of high-strength low-alloy structural steel shapes, plates, sheet piling, and bars. Grades 42 and 50 are intended for riveted, bolted, or welded construction of bridges, buildings, and other structures. Grades 60 and 65 are intended for riveted or bolted construction of bridges, and for riveted, bolted, or welded construction in other applications. When the steel is used in welded construction, welding procedure shall be suitable for the steel and the intended service.

1.2 For welded bridge construction notch toughness is an important requirement. For this or other applications where notch-toughness requirements are indicated, they shall be negotiated between the purchaser and the producer.

1.3 The use of columbium, vanadium, and nitrogen, or combinations thereof, within the limitations noted in Section 5, shall be at the option of the producer unless otherwise specified. Where designation of one of these elements or combination of elements is desired, reference is made to Supplementary Requirement S1 in which these elements and their common combinations are listed as to type. When such a designation is desired, both the grade and type must be specified.

1.4 The maximum thicknesses available in the grades and products covered by this specification are shown in Table 1.

NOTE—The values stated in inch-pound units are to be regarded as the standard.

Copyright by ASTM Int'l (all rights reserved); Fri Feb 15 10:41:58 EST 2019  
Downloaded/printed by

Pontificia Universidad Catolica del Ecuador - PUCE (Pontificia Universidad Catolica del Ecuador - PUCE) pursuant to License Agreement. No further reproductions authorize

#### 2. Applicable Documents

##### 2.1 ASTM Standard:

A 6 Specification for General Requirements for Rolled Steel Plates, Shapes, Sheet Piling, and Bars for Structural Use<sup>2</sup>

#### 3. General Requirements for Delivery

3.1 Material furnished under this specification shall conform to the applicable requirements of the current edition of Specification A 6.

#### 4. Process

4.1 The steel shall be made by one or more of the following processes: open-hearth, basic-oxygen, or electric-furnace.

#### 5. Chemical Requirements

5.1 The heat analysis shall conform to the requirements prescribed in Table 2 and in 5.3.

5.2 The steel shall conform on product analysis to the requirements prescribed in Table 2 and 5.3 subject to the product analysis tolerances in Specification A 6.

5.3 Alloy content shall be in accordance with one of the following types:

<sup>1</sup> This specification is under the jurisdiction of ASTM Committee A-1 on Steel, Stainless Steel and Related Alloys, and is the direct responsibility of Subcommittee A01.02 on Structural Steel.

Current edition approved Nov. 5, 1979. Published January 1980. Originally published as A 572 - 66. Last previous edition A 572 - 78.

<sup>2</sup> Annual Book of ASTM Standards, Part 4.



Elements	Heat Analysis, %
Type 1—Columbium <sup>a</sup>	0.005–0.05 <sup>b</sup>
Type 2—Vanadium	0.01–0.15
Type 3—Columbium <sup>a</sup> (0.05 max, %) plus vanadium <sup>c</sup>	0.02–0.15
Type 4—Nitrogen <sup>d</sup> (with vanadium)	0.015 max

<sup>a</sup> Columbium when added either singly or in combination with vanadium shall be restricted to the following unless killed steel is furnished:

Grades	Maximum Plate and Bar Thicknesses, in. (mm)	Structural Shape Size Groupings (Specification A 6, Table A)
42 and 50	3/4 (19)	Groups 1 and 2
60 and 65	1/2 (13)	Group 1

<sup>b</sup> Product analysis limits = 0.004–0.060 %.

<sup>c</sup> Product analysis limits = 0.01 to 0.16 when columbium and vanadium are used in combination.

<sup>d</sup> Nitrogen (0.015 max %) when added as a supplement to vanadium shall be reported, and the minimum ratio of vanadium to nitrogen shall be 4 to 1.

## 6. Mechanical Requirements

### 6.1 Tensile Properties:

6.1.1 The material as represented by the test specimens shall conform to the tensile properties given in Table 3.

6.1.2 For material under 3/16 in. (7.5 mm) in thickness or diameter, a deduction from the percentage of elongation in 8 in. (200 mm), specified in Table 3, of 1.25 % shall be made for each decrease of 1/32 in. (0.8 mm) of the specified thickness or diameter below 3/16 in.

## SUPPLEMENTARY REQUIREMENTS

The following supplementary requirement shall apply when specified in the order or contract:

### S1. Types

S1.1 When a purchaser prefers to designate the specific elements (columbium, vanadium, nitrogen, or combinations thereof), one of the types listed below shall be specified. The type in addition to the grade must be shown on the

order.

Type 1—Columbium

Type 2—Vanadium

Type 3—Columbium and vanadium

Type 4—Vanadium and nitrogen

S1.2 The composition limits of Section 5 shall apply for any of these types.

Standardized supplementary requirements for use at the option of the purchaser are listed in Specification A 6. Those which are considered suitable for use with this specification are listed below by title.

### S14. Bend Test.

### S18. Maximum Tensile Strength.

TABLE 1 Maximum Product Thickness

Grade	Yield Point, min		Maximum Thickness or Size			
			Plates and Bars		Structural Shapes Groups <sup>b</sup>	Sheet Piling
	psi	MPa	in.	mm		
42 <sup>a</sup>	42 000	290	6	152.4	all	all
50 <sup>a</sup>	50 000	345	2	50.8	all	all
60 <sup>a</sup>	60 000	415	1 1/4	31.8	1 and 2	not available
65	65 000	450	1 1/4	31.8	1	not available

<sup>a</sup> In the above tabulation, Grades 42, 50, and 60 are the yield point levels most closely approximating a geometric progression pattern between 36 000 psi, min, yield point steels covered by Specification A 36, for Structural Steel<sup>2</sup> and 100 000 psi, min, yield strength steels covered by Specification A 514, for High-Yield-Strength, Quenched and Tempered Alloy Steel Plate, Suitable for Welding.<sup>2</sup>

<sup>b</sup> See Specification A 6.

**TABLE 2 Chemical Requirements<sup>a</sup>**  
(Heat Analysis)

Diameter Thick- ness, or Distance Between Parallel Faces, in. (mm)	Grade	Carbon, max, %	Manganese, <sup>b</sup> max, %	Phosphorus, max, %	Sulfur, max, %	Silicon <sup>f</sup>	
						Plates to 1 1/2-in. (38.1-mm) Thick, Shapes to 426 lb/ft (634 kg/m), Sheet Piling, and Bars <sup>d</sup>	Plates Over 1 1/2- in. (38.1 mm) Thick and Shapes Over 426 lb/ft (634 kg/m)
						max, %	range, %
6 (152)	42	0.21	1.35	0.04	0.05	0.40	0.15-0.40
2 (51)	50	0.23	1.35	0.04	0.05	0.40	0.15-0.40
1 1/4 (31.8)	60	0.26	1.35	0.04	0.05	0.40	...
> 1/2-1 1/4 (12.7-31.8)	65	0.23	1.65	0.04	0.05	0.40	...
≤ 1/2 (12.7) <sup>e</sup>	65	0.26	1.35	0.04	0.05	0.40	...

<sup>a</sup> Copper when specified shall have a minimum content of 0.20 % by heat analysis (0.18 % product analysis).  
<sup>b</sup> Manganese, minimum by heat analysis of 0.80 % (0.75 % product analysis) shall be required for all plates over 3/8 in. (9.5 mm) in thickness; a minimum of 0.50 % (0.45 % product analysis) shall be required for plates 3/8 in. and less in thickness, and for all other products. The manganese to carbon ratio shall not be less than 2 to 1.  
<sup>c</sup> Silicon content in excess of 0.40 % by heat analysis must be negotiated.  
<sup>d</sup> Bars over 1 1/2 in. (38.1 mm) in diameter, thickness, or distance between parallel faces, shall be made by a killed steel practice.  
<sup>e</sup> An alternative chemical requirement with a maximum carbon of 0.21 % and a maximum manganese of 1.65 % is permissible with the balance of the elements as shown in Table 2.

**TABLE 3 Tensile Requirements<sup>a</sup>**

Grade	Yield Point, min		Tensile Strength, min		Minimum Elongation, <sup>b,c,d</sup> %	
	psi	MPa	psi	MPa	in 8 in.	in 2 in.
					or 200 mm	or 50 mm
42	42 000	290	60 000	415	20	24
50	50 000	345	65 000	450	18	21
60	60 000	415	75 000	520	16	18
65	65 000	450	80 000	550	15	17

<sup>a</sup> For plates wider than 24 in. (610 mm), the test specimen is taken in the transverse direction. See 11.2 of Specification A 6.  
<sup>b</sup> Elongation not required to be determined for floor plate.  
<sup>c</sup> For wide flange shapes over 426 lb/ft elongation in 2 in. (50 mm) of 19 % minimum applies.  
<sup>d</sup> For plates wider than 24 in. (610 mm), the elongation requirement is reduced two percentage points for Grades 42 and 50, and three percentage points for Grades 60 and 65.

*The American Society for Testing and Materials takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, is entirely their own responsibility.*

*This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, 1916 Race St., Philadelphia, Pa. 19103, which will schedule a further hearing regarding your comments. Failing satisfaction there, you may appeal to the ASTM Board of Directors.*

# Anexo 11: Norma ASTM A588/588M-15

This international standard was developed in accordance with internationally recognized principles on standardization established in the Decision on Principles for the Development of International Standards, Guides and Recommendations issued by the World Trade Organization Technical Barriers to Trade (TBT) Committee.



Designation: A588/A588M – 15

American Association State  
Highway and Transportation Officials Standard  
AASHTO No.: M 222

## Standard Specification for High-Strength Low-Alloy Structural Steel, up to 50 ksi [345 MPa] Minimum Yield Point, with Atmospheric Corrosion Resistance<sup>1</sup>

This standard is issued under the fixed designation A588/A588M; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon ( $\epsilon$ ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

*This standard has been approved for use by agencies of the U.S. Department of Defense.*

### 1. Scope\*

1.1 This specification covers high-strength low-alloy structural steel shapes, plates, and bars for welded, riveted, or bolted construction but intended primarily for use in welded bridges and buildings where savings in weight or added durability are important. The atmospheric corrosion resistance of this steel in most environments is substantially better than that of carbon structural steels with or without copper addition (see **Note 1**). When properly exposed to the atmosphere, this steel is suitable for many applications in the bare (unpainted) condition. This specification is limited to material up to 8 in. [200 mm] inclusive in thickness.

**NOTE 1**—For methods of estimating the atmospheric corrosion resistance of low-alloy steels, see Guide **G101**.

1.2 When the steel is to be welded, a welding procedure suitable for the grade of steel and intended use or service is to be utilized. See Appendix X3 of Specification **A6/A6M** for information on weldability.

1.3 The values stated in either inch-pound units or SI units are to be regarded separately as standard. Within the text, the SI units are shown in brackets. The values stated in each system are not exact equivalents; therefore, each system is to be used independently of the other, without combining values in any way.

1.4 The text of this specification contains notes, footnotes, or both, that provide explanatory material. Such notes and footnotes, excluding those in tables and figures, do not contain any mandatory requirements.

1.5 For structural products produced from coil and furnished without heat treatment or with stress relieving only, the

additional requirements, including additional testing requirements and the reporting of additional test results, of Specification **A6/A6M** apply.

### 2. Referenced Documents

2.1 *ASTM Standards*:<sup>2</sup>

**A6/A6M** Specification for General Requirements for Rolled Structural Steel Bars, Plates, Shapes, and Sheet Piling  
**G101** Guide for Estimating the Atmospheric Corrosion Resistance of Low-Alloy Steels

### 3. General Requirements for Delivery

3.1 Structural products furnished under this specification shall conform to the requirements of the current edition of Specification **A6/A6M**, for the specific structural product ordered, unless a conflict exists, in which case this specification shall prevail.

3.2 Coils are excluded from qualification to this specification until they are processed into a finished structural product. Structural products produced from coil means structural products that have been cut to individual lengths from a coil. The processor directly controls, or is responsible for, the operations involved in the processing of a coil into a finished structural product. Such operations include decoiling, leveling or straightening, hot-forming or cold-forming (if applicable), cutting to length, testing, inspection, conditioning, heat treatment (if applicable), packaging, marking, loading for shipment, and certification.

**NOTE 2**—For structural products produced from coil and furnished without heat treatment or with stress relieving only, two test results are to be reported for each qualifying coil. Additional requirements regarding structural products produced from coil are described in Specification **A6/A6M**.

<sup>1</sup> This specification is under the jurisdiction of ASTM Committee **A01** on Steel, Stainless Steel and Related Alloys and is the direct responsibility of Subcommittee **A01.02** on Structural Steel for Bridges, Buildings, Rolling Stock and Ships.

Current edition approved March 1, 2015. Published March 2015. Originally approved in 1968. Last previous edition approved in 2010 as A588/A588M – 10. DOI: 10.1520/A0588\_A0588M-15.

<sup>2</sup> For referenced ASTM standards, visit the ASTM website, [www.astm.org](http://www.astm.org), or contact ASTM Customer Service at [service@astm.org](mailto:service@astm.org). For *Annual Book of ASTM Standards* volume information, refer to the standard's Document Summary page on the ASTM website.

\*A Summary of Changes section appears at the end of this standard

Copyright © ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States

Copyright by ASTM Int'l (all rights reserved), Fri Feb 15 10:39:53 EST 2019  
Downloaded/printed by

Pontificia Universidad Catolica del Ecuador - PUCE (Pontificia Universidad Catolica del Ecuador - PUCE) pursuant to License Agreement. No further reproductions authorized

**TABLE 1 Chemical Requirements (Heat Analysis)**

NOTE 1—Where “. . .” appears in this table, there is no requirement.

Element	Composition, %		
	Grade A	Grade B	Grade K
Carbon <sup>A</sup>	0.19 max	0.20 max	0.17 max
Manganese <sup>A</sup>	0.80–1.25	0.75–1.35	0.50–1.20
Phosphorus <sup>C</sup>	0.030 max	0.030 max	0.030 max
Sulfur <sup>C</sup>	0.030 max	0.030 max	0.030 max
Silicon	0.30–0.65	0.15–0.50	0.25–0.50
Nickel	0.40 max	0.50 max	0.40 max
Chromium	0.40–0.65	0.40–0.70	0.40–0.70
Molybdenum	...	...	0.10 max
Copper	0.25–0.40	0.20–0.40	0.30–0.50
Vanadium	0.02–0.10	0.01–0.10	...
Columbium	...	...	0.005–0.05 <sup>B</sup>

<sup>A</sup> For each reduction of 0.01 percentage point below the specified maximum for carbon, an increase of 0.06 percentage point above the specified maximum for manganese is permitted, up to a maximum of 1.50 %.

<sup>B</sup> For plates under ½ in. [13 mm] in thickness, the minimum columbium is waived.

<sup>C</sup> A maximum phosphorus content of 0.04 % and a maximum sulfur content of 0.05 % are permitted for the following materials:

- Structural shapes
- Bars
- Plates with widths up to and including 15 in. [380 mm]

#### 4. Materials and Manufacture

4.1 The steel shall be made to fine grain practice.

#### 5. Chemical Composition

5.1 The heat analysis shall conform to the requirements prescribed in Table 1.

5.2 The steel shall conform on product analysis to the requirements prescribed in Table 1, subject to the product analysis tolerances in Specification A6/A6M.

5.3 The atmospheric corrosion-resistance index, calculated on the basis of the heat analysis of the steel, as described in Guide G101—Predictive Method Based on the Data of Larabee and Coburn, shall be 6.0 or higher.

NOTE 3—The user is cautioned that the Guide G101 predictive equation (Predictive Method Based on the Data of Larabee and Coburn) for calculation of an atmospheric corrosion-resistance index has only been verified for the composition limits stated in the guide.

### SUPPLEMENTARY REQUIREMENTS

Supplementary requirements shall not apply unless specified in the order or contract. Standardized supplementary requirements for use at the option of the purchaser are listed in Specification A6/A6M. Those that are considered suitable for use with this specification are listed by title:

- S2. Product Analysis,
- S3. Simulated Post-Weld Heat Treatment of Mechanical Test Coupons,
- S5. Charpy V-Notch Impact Test,
- S6. Drop-Weight Test (for Material 0.625 in. [16 mm] and over in Thickness),

**TABLE 2 Tensile Requirements<sup>A</sup>**

NOTE 1—Where “. . .” appears in this table, there is no requirement.

	Plates and Bars			Structural Shapes
	For Thick- nesses 4 in. [100 mm] and Under	For Thick- nesses Over 4 in. [100 mm] to 5 in. [125 mm] incl	For Thick- nesses Over 5 in. [125 mm] to 8 in. [200 mm] incl	
Tensile strength, min,ksi [MPa]	70 [485]	67 [460]	63 [435]	70 [485]
Yield point, min, ksi [MPa]	50 [345]	46 [315]	42 [290]	50 [345]
Elongation in 8 in. [200 mm], min, %	18 <sup>B,C</sup>	...	...	18 <sup>C</sup>
Elongation in 2 in. [50 mm], min, %	21 <sup>B,C</sup>	21 <sup>B,C</sup>	21 <sup>B,C</sup>	21 <sup>D</sup>

<sup>A</sup> See specimen orientation under the Tension Tests section of Specification A6/A6M.

<sup>B</sup> Elongation not required to be determined for floor plate.

<sup>C</sup> For plates wider than 24 in. [600 mm], the elongation requirement is reduced two percentage points. See elongation requirement adjustments in the Tension Tests section of Specification A6/A6M.

<sup>D</sup> For wide flange shapes with flange thickness over 3 in. [75 mm], elongation in 2 in. [50 mm] of 18 % minimum applies.

5.4 When required, the manufacturer shall supply evidence of corrosion resistance satisfactory to the purchaser.

#### 6. Tensile Requirements

6.1 The material as represented by the test specimens shall conform to the requirements for tensile properties prescribed in Table 2.

#### 7. Keywords

7.1 atmospheric corrosion resistance; bars; bolted construction; bridges; buildings; durability; high-strength; low-alloy; plates; riveted construction; shapes; steel; structural steel; weight; welded construction

- S8. Ultrasonic Examination,
- S15. Reduction of Area Measurement,
- S18. Maximum Tensile Strength,
- S30. Charpy V-Notch Impact Test for Structural Shapes: Alternate Core Location, and
- S32. Single Heat Bundles.



## A588/A588M – 15

### SUMMARY OF CHANGES

Committee A01 has identified the location of selected changes to this standard since the last issue (A588/A588M – 10) that may impact the use of this standard. (Approved March 1, 2015.)

(1) Revised phosphorus and sulfur levels for wide plates in **Table 1**.

*ASTM International takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.*

*This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM International Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, at the address shown below.*

*This standard is copyrighted by ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States. Individual reprints (single or multiple copies) of this standard may be obtained by contacting ASTM at the above address or at 610-832-9585 (phone), 610-832-9555 (fax), or [service@astm.org](mailto:service@astm.org) (e-mail); or through the ASTM website ([www.astm.org](http://www.astm.org)). Permission rights to photocopy the standard may also be secured from the Copyright Clearance Center, 222 Rosewood Drive, Danvers, MA 01923, Tel: (978) 646-2600; <http://www.copyright.com/>*