

INTRODUCCIÓN

El documento presentado a continuación es el resultado de un **proyecto de investigación** realizado en el departamento mecánico del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez, como parte de mi titulación profesional y está contemplado bajo la opción III, indicada en el Instructivo de Titulación vigente para el Sistema Nacional de Educación Superior Tecnológica.

Somos los ingenieros los que diseñamos la mayoría de los productos facturados y los procesos necesarios para su fabricación y puesto que la producción necesita materiales, los ingenieros debemos conocer la estructura interna y propiedad de los materiales, de modo que seamos capaces de seleccionar el más adecuado para cada aplicación y también capaces de desarrollar los mejores métodos de procesado.

De aquí, la importancia para desarrollar, investigar y experimentar un material, tan importante para la ingeniería, como es **EI ACERO**, Ya que entre los materiales de construcción, como es de conocimiento general, el acero tiene una posición relevante; combina la resistencia mecánica, su capacidad de ser trabajado, disponibilidad y su bajo costo. Siendo así, es fácil comprender la importancia y el amplio uso de los aceros en todos los campos de la ingeniería, en las estructuras, sean éstas fijas, como los edificios, puentes, etc., o sean móviles, en la industria ferroviaria, automotriz, naval, aeronáutica, etc.

En este trabajo se realizarán pruebas con el **ACERO A-36** y se indicarán las propiedades mecánicas más relevantes de la aleación para la comprensión absoluta de las propiedades de este material primordial en las construcciones. Así como también se realizarán los cálculos necesarios y las gráficas de las pruebas de laboratorio que se realizarán con probetas estándar de dicho material.

JUSTIFICACIÓN

En la formación de un Ingeniero Mecánico, es muy importante el conocimiento de la resistencia y el desempeño físico de los materiales, ya que ésta proporciona las herramientas necesarias para comprender el comportamiento general de cualquier material, lo cual es necesario a la hora de desarrollar adecuadamente diseños de componentes, sistemas y procesos que sean confiables y económicos.

Este proyecto de investigación es realizado con el fin de conocer ciertas propiedades mecánicas, como la ductilidad, rigidez y resistencia, del acero A-36 al ser sometido a una fuerza de tensión ejercida gradualmente por una maquina especializada.

OBJETIVOS

El presente proyecto de investigación tiene como **objetivo general** determinar y conocer las propiedades mecánicas de un material, realizando pruebas en este caso con probetas de acero estructural A-36 cuando se somete a esfuerzos de tensión (resistencia y alargamiento del acero).

El objetivo específico:

- Determinar la resistencia a la rotura y las principales propiedades mecánicas del acero estructural A-36 (límite elástico, punto de fluencia, límite de fluencia, resistencia a la fatiga, punto de fractura.)
- Conocer las definiciones y métodos comúnmente utilizados y aprobados por la ASTM para el ensayo o prueba de tracción.
- Interpretar correctamente los datos obtenidos en las pruebas para realizar el diagrama de esfuerzo - deformación.

FUNDAMENTO TEÓRICO

A continuación se presentan, de manera general, los aspectos más importantes que se deben tener presentes para realizar la prueba a tensión.

1.1 GENERALIDADES DEL ENSAYO DE TENSIÓN

En general, la única forma para determinar cómo se comportan los materiales cuando se someten a cargas es realizar experimentos en el laboratorio. El procedimiento usual es colocar muestras pequeñas del material en máquinas de ensayo, aplicar las cargas y luego medir las deformaciones resultantes (como cambios de longitud y diámetro). La mayor parte de los laboratorios de pruebas de materiales están equipados con máquinas capaces de cargar las muestras de diversas maneras, incluyendo cargas estáticas y dinámicas en tensión y compresión.

La muestra se coloca entre dos mordazas grandes de la máquina y luego se carga a tensión. Los extremos de la muestra circular del material deseado se amplían en la región donde se colocan en las mordazas para que no ocurra la falla cerca de éstas. Una falla en los extremos no producirá la información deseada acerca del material, debido a que la distribución del esfuerzo cerca de las mordazas no es uniforme. En una muestra apropiadamente diseñada, la falla sucederá en su parte prismática donde la distribución del esfuerzo es uniforme y la barra está sometida solo a tensión pura.

A fin de que se puedan comparar los resultados de los ensayos, se deben estandarizar las dimensiones de las muestras para ensayo y los métodos de aplicación de las cargas. Una de las principales organizaciones normativas en estados unidos es la American Society for Testing and Materials (ASTM), una

sociedad técnica que publica especificaciones y normas para materiales y pruebas

Utilizando sistemas estandarizados de ensayo, la prueba se puede convertir en un criterio de aceptación o rechazo de un producto después de establecer si el material posee determinadas propiedades mecánicas y tendrá un buen comportamiento durante el tiempo de servicio.

Este ensayo se lleva a cabo a temperatura ambiente entre 10°C y 35°C . Un esquema de la máquina de ensayo de tensión se muestra en la siguiente figura:

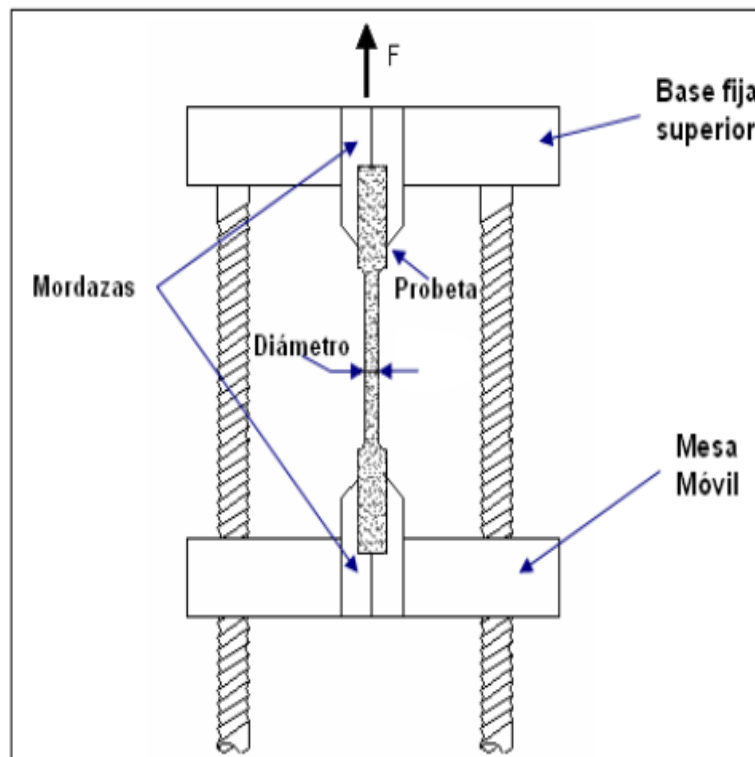


Fig. 1.1 Máquina para ensayo de tensión

La máquina de ensayo impone la deformación desplazando el cabezal móvil a una velocidad seleccionable.

El comportamiento de los distintos materiales frente al ensayo se encuentra ilustrado en la figura 1.2 la cual muestra en forma cualitativa las curvas de esfuerzo-deformación unitaria normales para un metal, un material termoplástico, un elastómero y un cerámico.

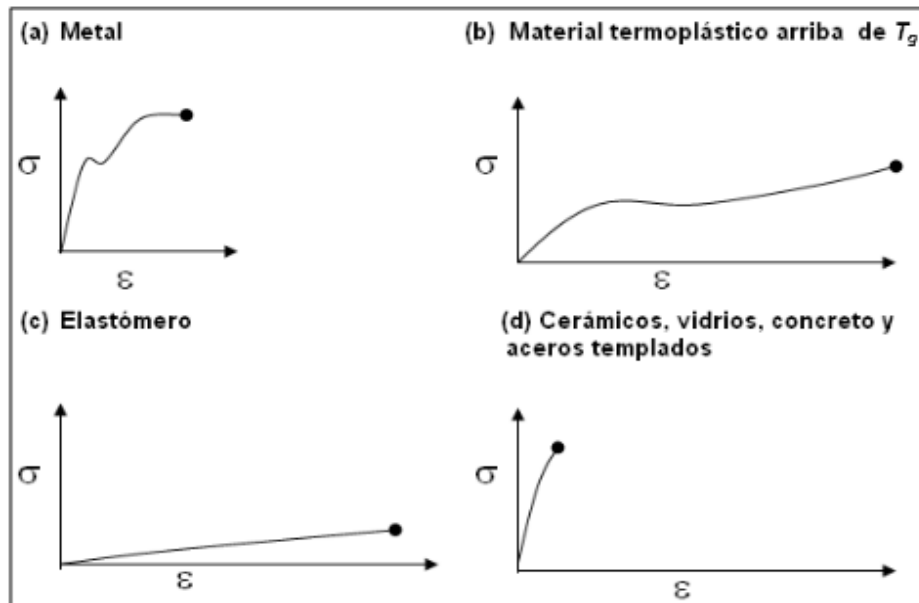


Fig. 1.2 Diagrama esfuerzo deformación de distintos materiales

1.2 PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS MATERIALES

Las principales propiedades mecánicas de los materiales que se observan en el campo de las pruebas de tensión, como su nombre lo indica, son la tensión, la deformación, la carga, la deformación en sus formas plástica y elástica, así como características físicas de los materiales, tales como el módulo de Young, el punto de cedencia y la resistencia máxima de tensión.

1.2.1 ESFUERZO

Las fuerzas internas de un elemento están ubicadas dentro del material por lo que se distribuyen en toda el área; justamente se denomina esfuerzo a la fuerza por unidad de área, la cual se denota con la letra griega sigma (σ). En general, los esfuerzos σ que actúan sobre una superficie plana pueden ser uniformes en toda el área o bien variar en intensidad de un punto a otro. Supongamos que los esfuerzos que actúan sobre la sección transversal de la figura 1.3 están distribuidos uniformemente sobre el área.

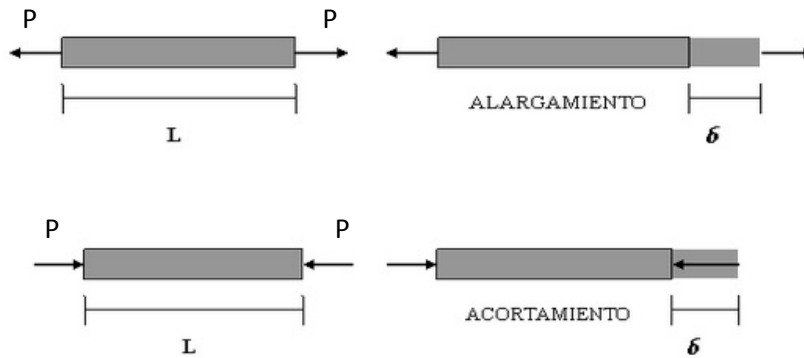


Fig.1.3 Barra en tensión y compresión respectivamente

Entonces la resultante de estos esfuerzos deben ser iguala a la magnitud del esfuerzo por el área de la sección transversal de la barra es decir, $P = \sigma A$. Por lo tanto, obtenemos la expresión siguiente para la magnitud de los esfuerzos:

$$\sigma = P/A$$

Donde:

P = Fuerza axial

A = Área de la sección transversal

Cuando la barra es estirada por las fuerzas P, los esfuerzos son de tensión; si se invierten la dirección de las fuerzas, la barra se comprime y tenemos esfuerzo de compresión.

Las unidades de esfuerzo son:

SI: Newtons por Metro Cuadrado (N/m^2) o Pascales (Pa), donde $1 N/m^2 = 1 Pa$.

U.S.: Libra fuerza por pulgada cuadrada (lbf/plg^2 , o PSI).

1.2.2 DEFORMACIÓN UNITARIA

La resistencia del material no es el único parámetro que debe utilizarse al diseñar o analizar una estructura; controlar las deformaciones para que la estructura cumpla con el propósito para el cual se diseñó tiene la misma

o mayor importancia. El análisis de las deformaciones se relaciona con los cambios en la forma de la estructura que generan las cargas aplicadas.

Como ya vimos, una barra recta cambiará su longitud al cargarla axialmente, haciéndose más larga en tensión y más corta en compresión. Por ejemplo, considere de nuevo la barra de la imagen anterior (esfuerzo). El alargamiento δ de esta barra es el resultado acumulativo del alargamiento de todos los elementos del material en todo el volumen de la barra. Supongamos que el material es el mismo en toda la barra. Entonces, si consideramos la mitad de la barra (longitud $L/2$), tendrá un alargamiento $\delta/2$ y si consideramos un cuarto de la barra, tendrá un alargamiento igual a $\delta/4$.

En general, el alargamiento de un segmento es igual a su longitud dividida entre la longitud total L y multiplicada por el alargamiento δ . Por tanto, una longitud unitaria de la barra tendrá un alargamiento igual a $1/L$ por δ . Esta cantidad se denomina *alargamiento por unidad de longitud*, o **deformación unitaria** y se denota con la letra griega ϵ (épsilon).

$$\epsilon = \delta/L$$

En la mayoría de los ensayos a tensión, la deformación se determina mediante el uso de una pequeña longitud, normalmente de 2 pulgadas, que se denomina longitud de calibración.

La deformación resulta una magnitud adimensional. En la práctica industrial, es común convertir la deformación en un porcentaje de deformación o porcentaje de elongación:

$$\% \text{ deformación} = \text{deformación} \times 100\% = \% \text{ elongación}$$

1.2.3 MÓDULO DE ELASTICIDAD O MÓDULO DE YOUNG

La relación lineal entre el esfuerzo y la deformación unitaria para una barra en tensión o compresión simple se expresa por la ecuación:

$$\sigma = E \varepsilon$$

Donde σ es el esfuerzo axial, ε es la deformación unitaria axial y E es una constante de proporcionalidad conocida como módulo de elasticidad del material. El módulo de elasticidad es la pendiente del diagrama esfuerzo-deformación unitaria en la región linealmente elástica. Como la deformación unitaria es adimensional, las unidades de E son las mismas que la del esfuerzo. Las unidades típicas de E son psi o ksi en unidades inglesas y pascales (o sus múltiplos) en SI.

El módulo de elasticidad tiene valores relativamente grandes para materiales que son muy rígidos, como los metales estructurales. El acero tiene un módulo de la elasticidad de aproximadamente 30000 ksi (210 Gpa) y el aluminio tiene valores típicos alrededor de 10600 ksi (73 Gpa).

1.2.4 DEFORMACIÓN ELÁSTICA Y PLÁSTICA

Si las deformaciones causadas en una probeta por la aplicación de una carga dada desaparecen cuando se retira la carga, se dice que el material se comporta elásticamente. El máximo valor de esfuerzo para el que el material se comporta elásticamente se denomina límite elástico del material.

Si las deformaciones en la probeta cuando la carga ha sido retirada no desaparecen, ocurre una deformación permanente o deformación plástica en el material. Para la mayor parte de los materiales, la deformación plástica depende no tan sólo del máximo valor alcanzado por el esfuerzo, sino también del tiempo que pasa antes de que se retire la carga.

1.2.5 CARACTERÍSTICAS DE LA CURVA ESFUERZO-DEFORMACIÓN DE UN ACERO

Después de realizar un ensayo de tensión o compresión y de determinar el esfuerzo y la deformación unitaria para varias magnitudes de la carga, podemos trazar un diagrama del esfuerzo en función de la deformación unitaria. Ese **diagrama esfuerzo-deformación unitaria** es una característica del material particular que se ensaya y contiene información importante sobre sus propiedades mecánicas y el tipo de comportamiento.

Un diagrama de esfuerzo-deformación unitaria para un acero estructural común en tensión se muestra en la siguiente figura:

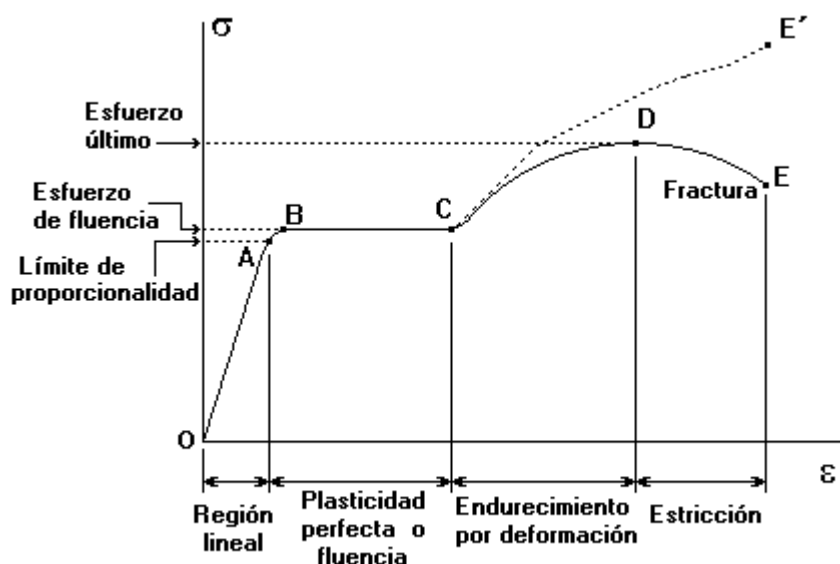


Fig. 1.4 Diagrama de esfuerzo-deformación unitaria para un acero estructural

Las deformaciones unitarias están trazadas en el eje horizontal y los esfuerzos en el eje vertical.

El diagrama empieza con una línea recta desde O hasta A. En esta región, el esfuerzo y la deformación son directamente proporcionales, y se dice que el comportamiento del material es lineal. Después del punto A ya no existe una relación lineal entre el esfuerzo y la deformación, por lo que el esfuerzo en el punto A se denomina **límite de proporcionalidad**. La relación lineal entre el

esfuerzo y la deformación puede expresarse mediante la ecuación $\sigma = Ee$, donde E es una constante de proporcionalidad conocida como el módulo de elasticidad del material. El módulo de elasticidad es la pendiente del diagrama esfuerzo-deformación en la región linealmente elástica y su valor depende del material particular que se utilice.

Al incrementar la carga más allá del límite de proporcionalidad, la deformación empieza a aumentar más rápidamente para cada incremento en esfuerzo. La curva de esfuerzo deformación asume luego una pendiente cada vez más pequeña, hasta que el punto B de la curva se vuelve horizontal. A partir de este punto se presenta un alargamiento considerable, con un incremento prácticamente inapreciable en la fuerza de tensión (desde B hasta C en el diagrama). Este fenómeno se conoce como **cedencia o fluencia del material**, y el esfuerzo en el punto B se denomina **esfuerzo de cedencia o punto de cedencia** (o bien, esfuerzo de fluencia o punto de fluencia). En la región de B hasta C, el material se vuelve perfectamente plástico, lo que significa que puede deformarse sin un incremento en la carga aplicada.

Después de sufrir las grandes deformaciones que se presentan durante la fluencia en la región BC el material empieza a mostrar un endurecimiento por deformación. Durante este proceso, el material sufre cambios en sus estructuras cristalina y atómica, lo que origina un incremento en la resistencia del material a futuras deformaciones. Por tanto, un alargamiento adicional requiere de un incremento en la carga de tensión, y el diagrama esfuerzo-deformación toma una pendiente positiva desde C hasta D. Finalmente la carga alcanza su valor máximo y el esfuerzo correspondiente (en el punto D) se denomina **esfuerzo último**. De hecho, el alargamiento posterior de la barra se acompaña de una reducción en la carga y finalmente se presenta la **fractura** en un punto E, tal como se indica en el diagrama.

Se presenta una contracción lateral de la muestra cuando se alarga, lo que origina una reducción en el área de la sección transversal. La reducción en el área es muy pequeña como para tener un efecto apreciable en el valor de los esfuerzos calculados antes del punto C, pero más allá de este punto la reducción comienza a modificar el perfil del diagrama. Desde luego, el esfuerzo

real es mayor que el esfuerzo nominal debido a que se calcula con un área menor.

En la cercanía del esfuerzo último, la disminución del área se aprecia claramente y ocurre un estrechamiento pronunciado de la barra, conocido como estricción. Si para el cálculo del esfuerzo se emplea el área de la sección transversal en la parte estrecha del cuello ocasionado por la estricción, la curva real esfuerzo-deformación seguirá la línea punteada CE'. La carga total que puede resistir la probeta se ve efectivamente disminuida después de que se alcanza el esfuerzo último (curva DE), pero esta disminución se debe al decremento en área de la probeta y no a una pérdida de la resistencia misma del material. En realidad, el material soporta un aumento de esfuerzo hasta el punto de falla (punto E').

Sin embargo, con fines prácticos la curva esfuerzo-deformación convencional OABCDE, basada en el área transversal original de la muestra y que, por lo tanto, se calcula fácilmente, suministra información satisfactoria para emplearla en el diseño de ingeniería. La ductilidad de un material a tensión puede caracterizarse por su alargamiento total y por la disminución de área en la sección transversal donde ocurre la fractura.

ACERO AL CARBONO ESTRUCTURAL

2.1 DEFINICION

Es el material más usado para construcción de estructuras en el mundo. Es fundamentalmente una aleación de hierro (mínimo 98 %), con contenidos de carbono menores del 1 % y otras pequeñas cantidades de minerales como manganeso, para mejorar su resistencia, y fósforo, azufre, silicio y vanadio para mejorar su soldabilidad y resistencia a la intemperie. Es un material de gran resistencia, producido a partir de materiales muy abundantes en la naturaleza. Entre sus ventajas está la gran resistencia a tensión y compresión y el costo razonable.



Fig 2.1 Estructura de acero

Las aplicaciones comunes del acero estructural en la construcción incluyen perfiles estructurales de secciones: I, H, L, T, 0, usadas en edificios e instalaciones para industrias; cables para puentes colgantes, atirantados y concreto preesforzado; varillas y mallas electrosoldadas para el concreto reforzado; láminas plegadas usadas para techos y pisos.



Fig. 2.2 Perfiles de acero estructural

Como el acero tiene propiedades prácticamente idénticas a tensión y compresión, por ello su resistencia se controla mediante el ensayo de probetas pequeñas a tensión. Los elementos de acero pueden unirse fácilmente, mediante soldadura, pernos o remaches.

La “fatiga” puede reducir la resistencia del acero a largo plazo, cuando se le somete a gran número de cambios de esfuerzos y aún fallarlo frágilmente, por lo que en estos casos deben limitarse los esfuerzos máximos. El acero más comúnmente usado es el denominado A-36.

Los requisitos fundamentales que deben cumplir estos aceros, son los siguientes:

- Ductilidad y homogeneidad. De hecho, un contenido relativamente bajo de Carbono y el trabajado en caliente de laminación de los perfiles estructurales, garantizan la ductilidad necesaria, además de la homogeneidad en todo el producto. La ductilidad de estos aceros garantiza una excelente trabajabilidad en operaciones como el corte, doblado, perforado, etc., sin que se originen fisuras u otros defectos.
- Valor elevado de la relación resistencia mecánica/límite de fluencia. El límite de fluencia, así como el módulo de elasticidad, son las características del acero que se utilizan en el proyecto y el cálculo de una estructura.

- Soldabilidad. La soldabilidad por otra parte, es otra característica muy importante en este tipo de material de construcción, ya que la soldadura de los elementos y piezas en una estructura, es práctica común. Los aceros al Carbono comunes también satisfacen este requisito, pues deben ser soldados sin alterar su microestructura.
- Apto para ser cortado por llama, sin endurecimiento. Del mismo modo, el corte por llama, muy empleado en piezas estructurales, poco afecta a estos aceros, desde el punto de vista de sus alteraciones microestructurales en las proximidades de la zona de corte.
- Resistencia a la corrosión, razonable. Finalmente, la resistencia a la corrosión sólo es alcanzada por la adición de pequeñas cantidades de cobre, elemento que adicionado en cantidades muy bajas (0,25%) mejora esta propiedad en dos veces en relación al mismo acero sin cobre.

Con excepción de la resistencia a la corrosión, los otros requisitos son satisfechos en mayor o menor grado, por los aceros de bajo a medio Carbono, que son obtenidos por laminación y cuyos límites de resistencia varían de 40 a 50 Kgf/mm² y alargamientos que están en torno al 20%.

Para la mayoría de las aplicaciones estructurales, la cantidad de Carbono de estos aceros varía entre 0,15% a 0,40%, con otros elementos (Mn, Si, P y S) en cantidades consideradas normales. Un acero con Carbono y Manganeso de un 0,20% y 0,50% respectivamente, presenta un límite de fluencia de 25 Kgf/mm² y una resistencia mecánica de 42 Kgf/mm².

2.2 ACERO AL CARBONO ESTRUCTURAL ASTM A-36

El acero A36 es la designación de la Sociedad Estadounidense para Pruebas y Materiales (ASTM, siglas en inglés) para el acero al carbono. El acero ASTM A36 es el tipo de uso más común en la construcción. Sus propiedades permiten que se use el acero en muchas aplicaciones, a diferencia de otras aleaciones de mayor rendimiento.

Las aplicaciones comunes del acero estructural A36 es en la construcción, y es moldeado en perfiles y láminas, usadas en edificios e instalaciones industriales; cables para puentes colgantes, atirantados y concreto reforzado; varillas y mallas electrosoldada para el concreto reforzado; láminas plegadas usadas para techos y pisos.

El ASTM A36 se puede hacer en varias formas para la construcción de edificios. Éstas incluyen tubos de acero; flancos anchos, o formas en W; vigas estándar estadounidenses con forma de I, o con forma en S; formas en T estructurales; canales, o formas en C; ángulos, o formas en L; placas de acero; y barras de acero. Los tubos de acero se suelen usar como columnas. Los flancos anchos tienen un perfil que parece una "I" o una "H", y se usan para columnas o vigas. Las vigas en forma de I sólo deberían usarse como vigas, y las formas en T y en C se pueden usar como vigas o como abrazaderas. Los ángulos se suelen usar únicamente para abrazaderas o como elementos de acabado, mientras que las placas de acero y las barras tienen muchos usos en la construcción.

El acero estructural A36 o acero estructural con carbono, es hasta hace poco tiempo, el acero estructural básico más utilizado.

Cuando el acero estructural está identificado con la designación ASTM pero los productos no se encuentran moldeados bajo el ámbito de esa especificación (ASTM A6/A6M), los productos son fabricados en aceros de acuerdo a su forma y su uso, el acero utilizado es el siguiente:

MATERIAL	DESIGNACIÓN ASTM
Remaches de acero	A 502, Grado 1
Pernos	A 307, Grado A o F 568M, Clase 4.6
Pernos de alta resistencia	A 325 o A 325M
Tuercas de acero	A 563 o A 563M
Fundición de acero	A 27 / A 27M Grado, 65-35 [450-240]
Piezas de forja (acero al carbono)	A 668, clase D
Chapas laminadas en caliente unas tiras	A 570 / A 570M, Grado 36
Tubos conformados en frío	A 500, Grado B
Tubos conformados en caliente	A 501
Pernos de anclaje	F 1554

2.4 PROPIEDADES DEL ACERO ESTRUCTURAL A-36

Esta especificación cubre las placas y barras en acero al carbón de calidad estructural para los usos de remacho, soldado y empernado en construcciones de puentes y edificios y para algunos otros usos estructurales.

Requerimientos químicos

PRODUCTO	PLACA				
Espeores (pulg.)	Hasta 3/4	de 3/4 a 1-1/2	De 1-1/2 a 2-1/2	De 2-1/2 a 4	Arriba de 4
Carbón (max) %	0.25	0.25	0.26	0.27	0.29
Manganeso		0.80-1.20	0.80-1.20	0.85-1.20	0.85-1.20
Fósforo (max) %	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
Sulfuro (max) %	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
silicio	0.40 max	0.40 max	0.15-0.40	0.15-0.40	0.15-0.40
Cobre (min) %	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20

PRODUCTO	BARRAS			
Espeores (pulg.)	Hasta 3/4	de 3/4 a 1-1/2	De 1-1/2 a 4	Arriba de 4
Carbón (max) %	0.26	0.27	0.28	0.29
Manganeso		0.60-0.90	0.60-0.90	0.60-0.90
Fósforo (max) %	0.04	0.04	0.04	0.04
Sulfuro (max) %	0.05	0.05	0.05	0.05
silicio	0.40 max	0.40 max	0.40 max	0.40 max
Cobre (min) %	0.20	0.20	0.20	0.20

Nota: Por cada reducción de 0,01% por debajo del máximo especificado de carbono, un aumento del 0,06% de manganeso por encima de la cantidad máxima prevista será permitido, hasta el máximo de 1,35%.

Requerimientos mecánicos

Tensión Ksi (Mpa)	58-80 (400-500)
Punto de cedencia min, Ksi (Mpa)	36 (250)
Elongación en 8 pulg. Min. %	20
Elongación en 2 pulg. Min. %	23

Nota: Es el único acero que puede obtenerse en espesores mayores a 8 pulgadas (200 mm), aunque estas placas como excepción, solo están disponibles con esfuerzo de fluencia mínimo inferior especificado, siendo este 32ksi (220 Mpa).

SOLDABILIDAD.

Según la norma ASTM A36/A36M-8, cuando el acero vaya a ser soldado, tiene que ser utilizado un procedimiento de soldado adecuado para el grado de acero y el uso o servicio previsto. Por lo que se recomienda consultar el Apéndice X3 de la Especificación A 6/A6M para obtener información sobre soldabilidad.

No obstante el acero A36 es conocido como un acero de fácil soldabilidad, por lo que se recomienda utilizar las siguientes tipos de soldaduras Lincoln Electric disponibles en Aceros Carazo: 6010, 6011, 6013, 7018, 7024, 308, 309, 312, 316, ER70S-6, ER70S-3, E71T-1.

PROBETA A UTILIZAR SEGÚN LA NORMA ASTM

3.1 PROBETAS REDONDAS ESTÁNDAR PARA PRUEBAS A TENSIÓN

La probeta de redonda de prueba estándar de 12.5 mm de diámetro se muestra en la siguiente figura y se utiliza generalmente para probar materiales metálicos, tanto fundidos como forjados.

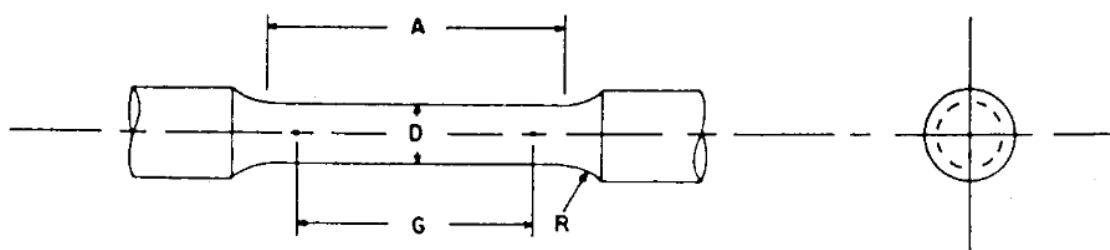


Fig. 3.1 Probeta redonda para prueba a tensión estándar de 12,5 mm con longitudes de prueba (G) cinco veces el diámetro (5D)

El siguiente recuadro señala las dimensiones de una probeta redonda estándar y otras probetas de menores dimensiones cuyas medidas son proporcionales a la de una estándar.

En cualquier ejemplo de menor tamaño de la probeta, es importante que la longitud de referencia para la medición de la elongación deba de ser cinco veces mayor al diámetro de la misma.

	Dimensiones, mm		Probetas de menor tamaño proporcionales a una estándar		
	Probeta estándar				
	12.5	9	6	4	2.5
G- Longitud de prueba (referencia)	62.5	45	30	20	12.5
D- Diámetro (Nota 1)	12.5	9	6	4	2.5
R- Radio del filete	10	8	6	4	2
A- Longitud de sección reducida (nota 2)	75	54	36	24	20

NOTA 1- La sección reducida puede tener una conicidad gradual desde los extremos hacia el centro, con los extremos no más de 1% mayor en diámetro que el centro (dimensión de referencia).

NOTA 2- Si se desea, la longitud de la sección reducida puede ser incrementada para un extensómetro de cualquier longitud de referencia conveniente. Las marcas de referencia para la medición de la elongación deben, sin embargo, estar espaciadas a la longitud de prueba indicada.

NOTA 3- La longitud de la galga y filetes será como se muestra, pero los extremos pueden ser de cualquier forma para adaptarse a los soportes de la máquina de ensayo de tal manera que la carga puede ser axial.

Si los extremos se colocaran en mordazas de cuña es deseable, si es posible, hacer la longitud de la sección de agarre lo suficientemente grande como para permitir que la muestra se extienda dentro de las empuñaduras de una distancia igual a dos tercios o más de la longitud de las mordazas.

NOTA 4- En las probetas redondas en las Figs. 1 y 2, las longitudes de prueba son igual a cinco veces el diámetro nominal. En algunas especificaciones de otras muestras se pueden hacer equivalentes, pero la relación de 5 a 1 se mantiene dentro de las tolerancias dimensionales, los valores de elongación pueden no ser comparables con los obtenidos a partir de la muestra de ensayo estándar.

NOTA 5- El uso de probetas menores de 6 mm de diámetro se limitará a los casos en que el material a ensayar es de tamaño insuficiente para obtener especímenes más grandes. Probetas más pequeñas requieren equipo adecuado y una mayor habilidad tanto en el mecanizado como en las pruebas.

La forma de los extremos de la probeta fuera de la longitud calibrada será la adecuada para el material y de una forma para adaptarse a los soportes o mordazas de la máquina de ensayo de modo que las fuerzas pueden aplicarse axialmente. La siguiente figura muestra las probetas con diversos tipos de extremos que han dado resultados satisfactorios.

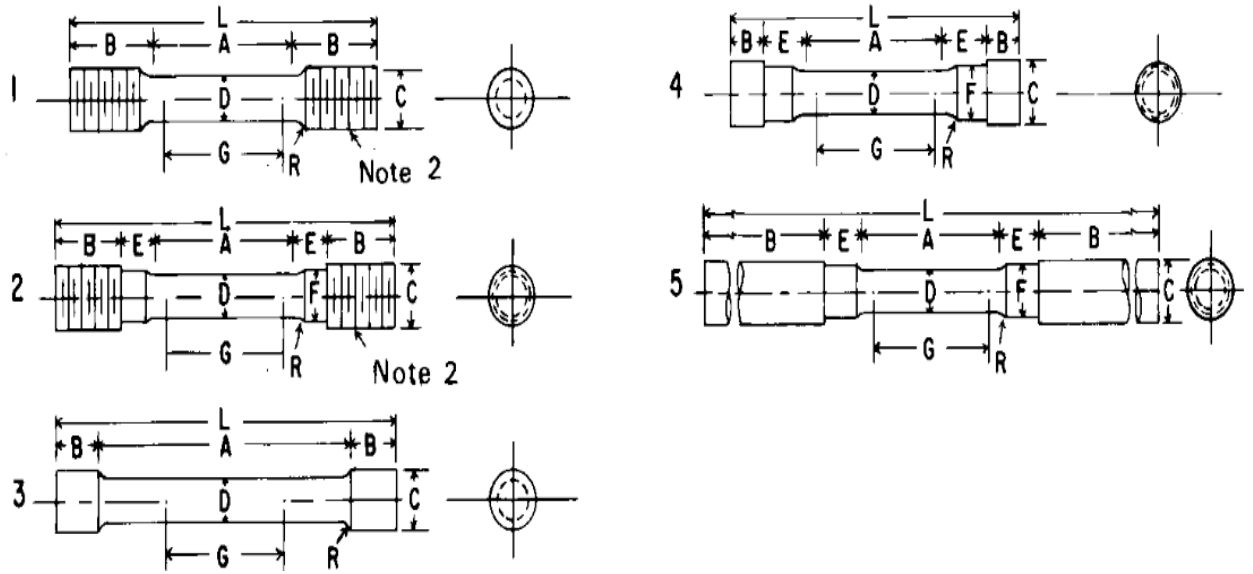


Fig. 3.2 Tipos de extremos para las probetas redondas estándar para una prueba a tensión.

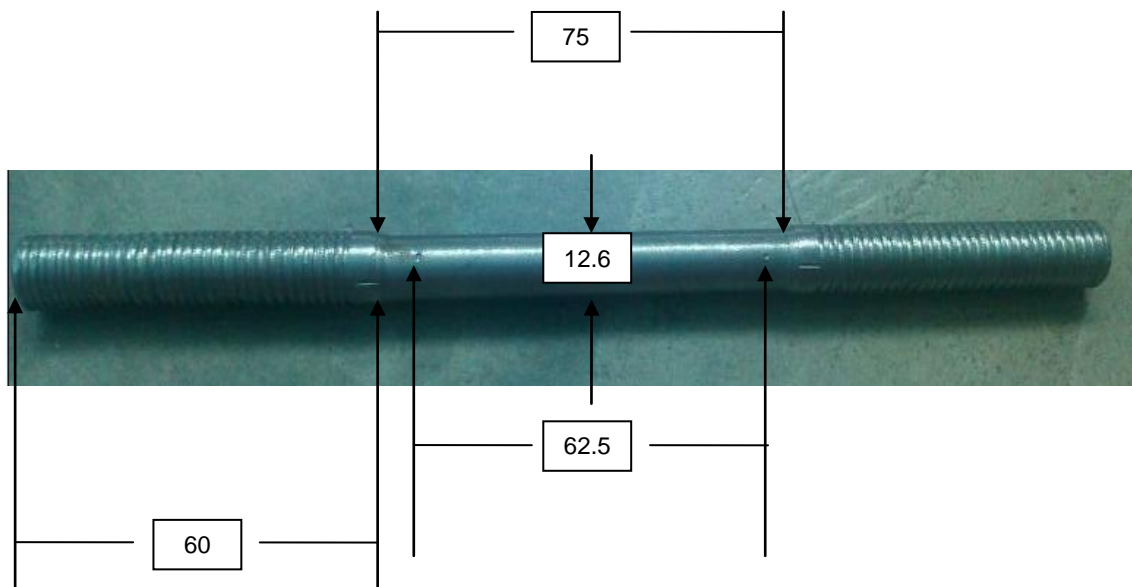
	Dimensiones, mm				
	1	2	3	4	5
	PROBETAS				
G- Longitud de prueba (referencia)	62.5	62.5	62.5	62.5	62.5
D- Diámetro (Nota 1)	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5
R- Radio del filete	10	10	2	10	10
A- Longitud de sección reducida	75	75	100	75	75
L- Largo total	145	145	145	145	145
B- Longitud de la sección final (Nota 3)	35	25	20	15	75
C- Diámetro de la sección final	20	20	20	22	20
E- Longitud de hombro y sección del filete	....	15	....	20	15
F- Diámetro del hombro	....	15	....	15	15

NOTA 1- La sección reducida puede tener una conicidad gradual desde los extremos hacia el centro, con los extremos no más de 1% mayor en diámetro que el centro.

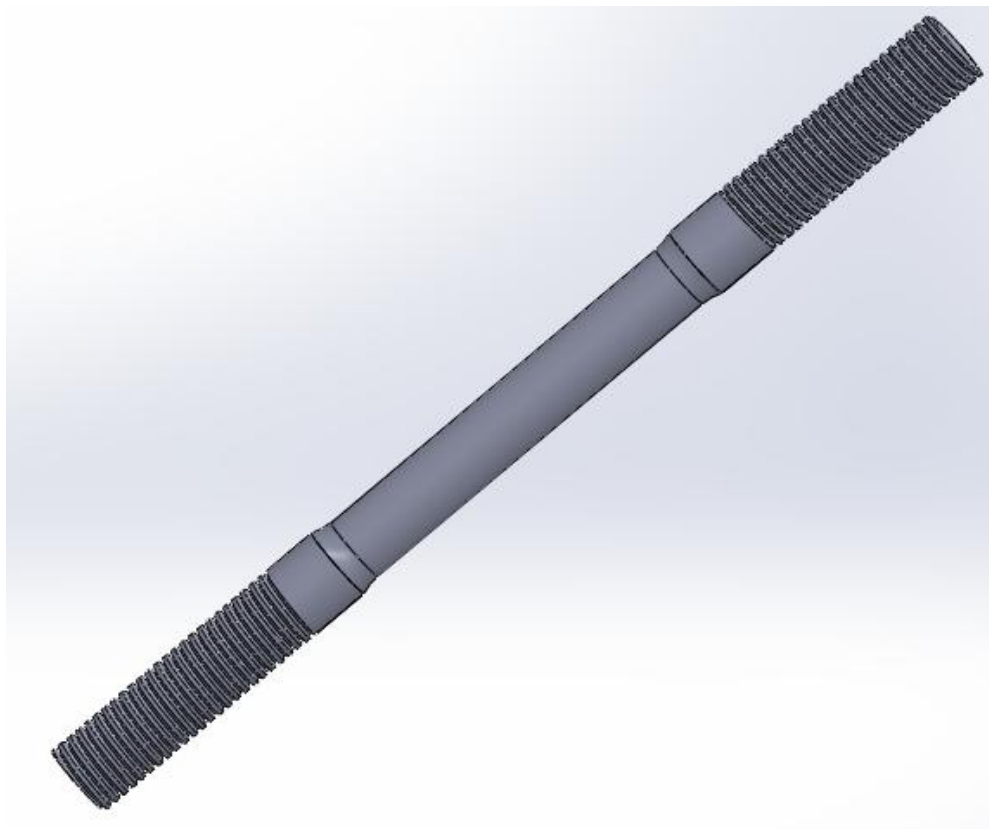
NOTA 2- En las probetas 1 y 2, cualquier rosca estándar es permisible para proporcionar la alineación apropiada y ayuda en asegurar que la probeta se rompa dentro de la sección reducida.

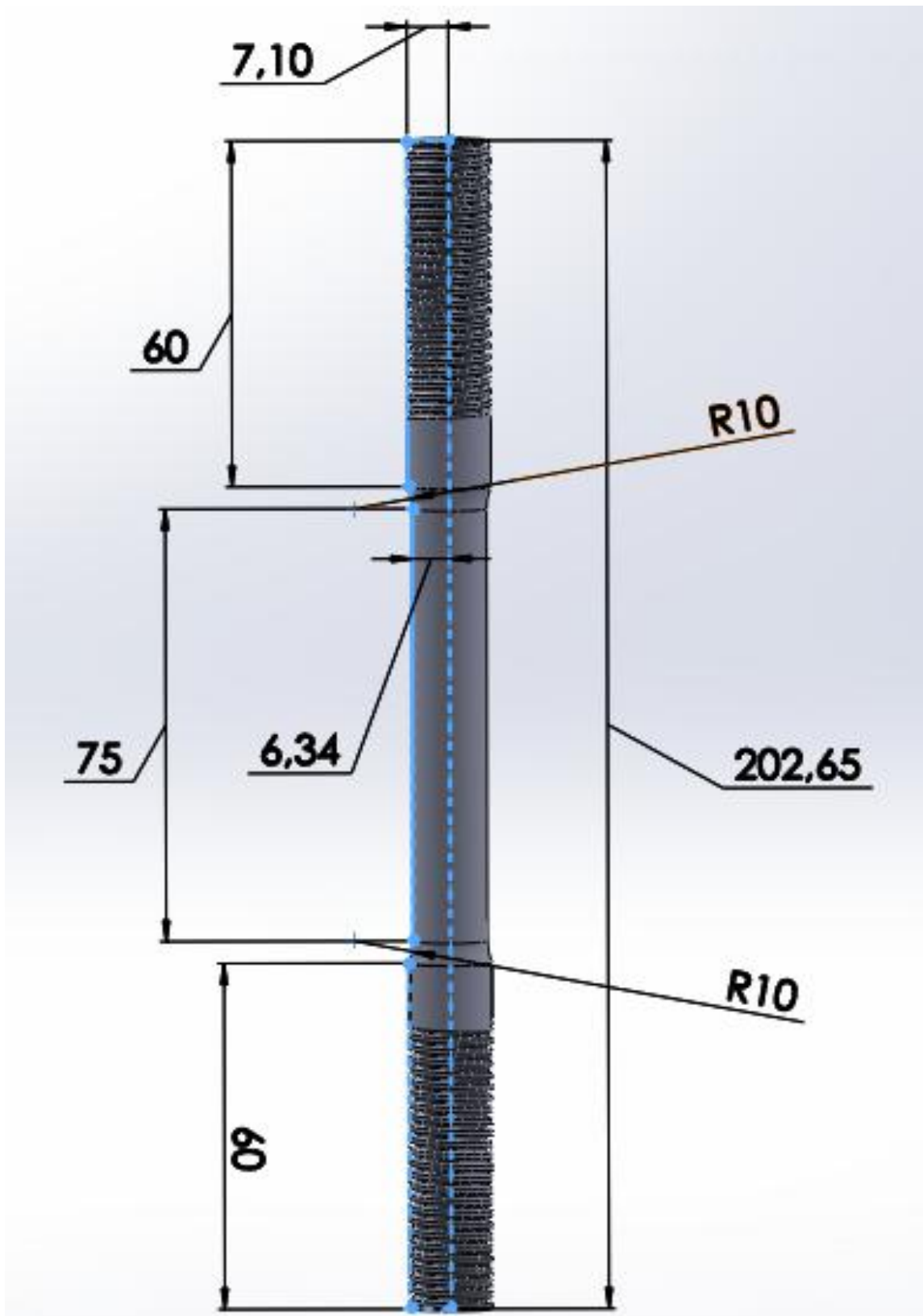
NOTA 3- En la pieza 5 es deseable, si es posible, hacer la longitud de la sección de agarre lo suficientemente grande como para permitir que la muestra se extienda dentro de las empuñaduras de una distancia igual a dos tercios o más de la longitud de las mordazas.

Imagen real de la probeta a utilizar en el ensayo a tensión:



3.2 PROBETA ESTÁNDAR ELABORADA EN SOLIDWORK:





ACTIVIDADES REALIZADAS

4.1 PROCEDIMIENTO DE LA PRUEBA A TENSIÓN

Paso 1: Se seleccionan y enumeran las probetas a utilizar.



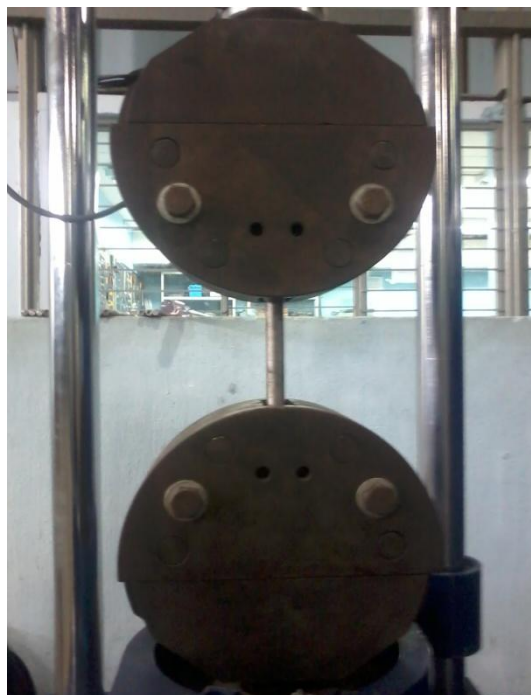
Paso 2: Se anotan las medidas iniciales de la probeta a ensayar y se le hacen las marcas en la zona indicada para observar las deformaciones correspondientes debido a la carga sometida.



Paso 3: Se prepara la máquina de ensayo y se colocan los aditamentos correspondientes para sujetar la probeta.



Paso 4: Se procede a bajar la máquina para que se sujeten ambos extremos de la probeta de la manera correcta comprobando que esté lo mas lineal posible.



Paso 5: Colocando correctamente el sujetador superior e inferior, se procede a poner en marcha la máquina de tensión. En esta prueba se tomó medidas cada 500 Kg (1/2 tonelada) de carga.



Paso 6: Mientras la carga va en aumento veremos como la probeta se deforma poco a poco.



Paso 7: Conforme el tiempo y la carga aumentan la probeta terminará por fracturada obteniendo así los resultados de su carga máxima, tipo de fractura y con esto datos poder realizar la grafica de deformación.



4.2 EQUIPO UTILIZADO



VERNIER ELECTRÓNICO



PUNTO DE GOLPE
PROBETA ESTANDARIZADA
MARTILLO



MÁQUINA DE TENSIÓN-COMPRESIÓN

4.3 DATOS Y CÁLCULOS

DIÁMETRO INICIAL DE LAS PROBETAS (mm)	ÁREAS DE LAS PROBETAS (mm ²) $A = \pi D^2 / 4$
Probeta 1 = 12.68	126.2782
Probeta 2 = 12.68	126.2782
Probeta 3 = 12.65	125.6813
Probeta 4 = 12.65	125.6813
Probeta 5 = 12.65	125.6813
Probeta 6 = 12.64	125.4827
Probeta 7 = 12.64	125.4827
Probeta 8 = 12.64	125.4827
Probeta 9 = 12.68	126.2782
Probeta 10 = 12.64	125.4827
Probeta 11 = 12.68	126.2782
Probeta 12 = 12.64	125.4827
Probeta 13 = 12.64	125.4827
Probeta 14 = 12.64	125.4827

Datos reales de la práctica:

NUM. DE PROBETA	CARGA (kg)	CARGA (Newtons)	LONGITUD DE PRUEBA INICIAL (mm)	LONGITUD DE PRUEBA FINAL (mm)
1	1600	15 691.2	62.5	62.60
2	1810	17 750.67	62.5	62.70
3	2080	20 398.56	62.5	62.82
4	3320	32 559.24	62.5	62.92
5	2600	25 498.2	62.5	62.86
6	4680	45 896.76	62.5	63.85
7	4490	44 033.43	62.5	63.04
8	4480	43 935.36	62.5	63.00
9	4630	45 406.41	62.5	63.29
10	5230	51 290.61	62.5	65.30
11	5770	56 586.39	62.5	65.89
12	6690	65 608.83	62.5	66.62
13	6710	65 804.97	62.5	71.10
14	6980	68 452.86	62.5	84.80

Deformación unitaria:

$$\epsilon = (l_f - l_o) / (l_o)$$

$$\text{Probeta 1: } \frac{62.60 - 62.5}{62.5} = 0.0016$$

$$\text{Probeta 2: } \frac{62.70 - 62.5}{62.5} = 0.0032$$

$$\text{Probeta 3: } \frac{62.82 - 62.5}{62.5} = 0.00512$$

$$\text{Probeta 4: } \frac{62.92 - 62.5}{62.5} = 0.00672$$

$$\text{Probeta 5: } \frac{62.86 - 62.5}{62.5} = 0.00576$$

$$\text{Probeta 6: } \frac{63.85 - 62.5}{62.5} = 0.0216$$

$$\text{Probeta 7: } \frac{63.04 - 62.5}{62.5} = 0.00864$$

$$\text{Probeta 8: } \frac{63.00 - 62.5}{62.5} = 0.008$$

$$\text{Probeta 9: } \frac{63.29 - 62.5}{62.5} = 0.01264$$

$$\text{Probeta 10: } \frac{65.30 - 62.5}{62.5} = 0.0448$$

$$\text{Probeta 11: } \frac{65.89 - 62.5}{62.5} = 0.05424$$

$$\text{Probeta 12: } \frac{66.62 - 62.5}{62.5} = 0.06592$$

$$\text{Probeta 13: } \frac{71.10 - 62.5}{62.5} = 0.1376$$

$$\text{Probeta 14: } \frac{84.80 - 62.5}{62.5} = 0.3568$$

Esfuerzos:

$$\sigma = P/A \text{ (kg/mm}^2\text{)}$$

$$\text{Probeta 1: } \frac{1600}{126.2782} = 12.6704$$

$$\text{Probeta 2: } \frac{1810}{126.2782} = 14.3334$$

$$\text{Probeta 3: } \frac{2080}{125.6813} = 16.5498$$

$$\text{Probeta 4: } \frac{3320}{125.6813} = 26.4160$$

$$\text{Probeta 5: } \frac{2600}{125.6813} = 20.6872$$

$$\text{Probeta 6: } \frac{4680}{125.4827} = 37.2959$$

$$\text{Probeta 7: } \frac{4490}{125.4827} = 35.7818$$

$$\text{Probeta 8: } \frac{4480}{125.4827} = 35.7021$$

$$\text{Probeta 9: } \frac{4630}{126.2782} = 36.6650$$

$$\text{Probeta 10: } \frac{5230}{125.4827} = 41.6790$$

$$\text{Probeta 11: } \frac{5770}{126.2782} = 45.6927$$

$$\text{Probeta 12: } \frac{6690}{125.4827} = 53.3141$$

$$\text{Probeta 13: } \frac{6710}{125.4827} = 53.4735$$

$$\text{Probeta 14: } \frac{6980}{125.4827} = 55.6251$$

PARA CONVERTIR DE	A	MULTIPLICAR POR
Kg / mm ²	MPA	9.807

Por lo tanto:

Probeta 1: $12.6704 \text{ kg/mm}^2 \times 9.807 = 124.2586 \text{ MPA}$

Probeta 2: $14.3334 \text{ kg/mm}^2 \times 9.807 = 140.5676 \text{ MPA}$

Probeta 3: $16.5498 \text{ kg/mm}^2 \times 9.807 = 162.3038 \text{ MPA}$

Probeta 4: $26.4160 \text{ kg/mm}^2 \times 9.807 = 259.0617 \text{ MPA}$

Probeta 5: $20.6872 \text{ kg/mm}^2 \times 9.807 = 202.8793 \text{ MPA}$

Probeta 6: $37.2959 \text{ kg/mm}^2 \times 9.807 = 365.7608 \text{ MPA}$

Probeta 7: $35.7818 \text{ kg/mm}^2 \times 9.807 = 350.9121 \text{ MPA}$

Probeta 8: $35.7021 \text{ kg/mm}^2 \times 9.807 = 350.1304 \text{ MPA}$

Probeta 9: $36.6650 \text{ kg/mm}^2 \times 9.807 = 359.5736 \text{ MPA}$

Probeta 10: $41.6790 \text{ kg/mm}^2 \times 9.807 = 408.7459 \text{ MPA}$

Probeta 11: $45.6927 \text{ kg/mm}^2 \times 9.807 = 448.1083 \text{ MPA}$

Probeta 12: $53.3141 \text{ kg/mm}^2 \times 9.807 = 522.8513 \text{ MPA}$

Probeta 13: $53.4735 \text{ kg/mm}^2 \times 9.807 = 524.4146 \text{ MPA}$

Probeta 14: $55.6251 \text{ kg/mm}^2 \times 9.807 = 545.5153 \text{ MPA}$

4.4 TABLA DE RESULTADOS

Ordenando los esfuerzos respecto a las cargas, se obtienen los siguientes resultados para realizar el diagrama de esfuerzo deformación:

NÚM. DE PROBETA	ESFUERZO (σ)	DEFORMACIÓN (ϵ)	MÓDULO DE ELASTICIDAD $E = \sigma/\epsilon$ (MPA)
1	124.2586 MPA	0.0016	77661.625
2	140.5676 MPA	0.0032	43927.375
3	162.3038 MPA	0.00512	31699.96
5	202.8793 MPA	0.00576	35222.10
4	259.0617 MPA	0.00672	38550.84
8	350.1304 MPA	0.008	43766.3
7	350.9121 MPA	0.00864	40614.82
9	359.5736 MPA	0.01264	28447.27
6	365.7608 MPA	0.0216	16933.37
10	408.7459 MPA	0.0448	9123.79
11	448.1083 MPA	0.05424	8261.58
12	522.8513 MPA	0.06592	7931.60
13	524.4146 MPA	0.1376	3811.15
14	545.5153 MPA	0.3568	1528.91

$$\text{Porcentaje de alargamiento} = \frac{L1-L0}{L0} \times (100)$$

$$\% \text{ de alargamiento} = \frac{84.80-62.5}{62.5} \times (100) = 35.68 \%$$

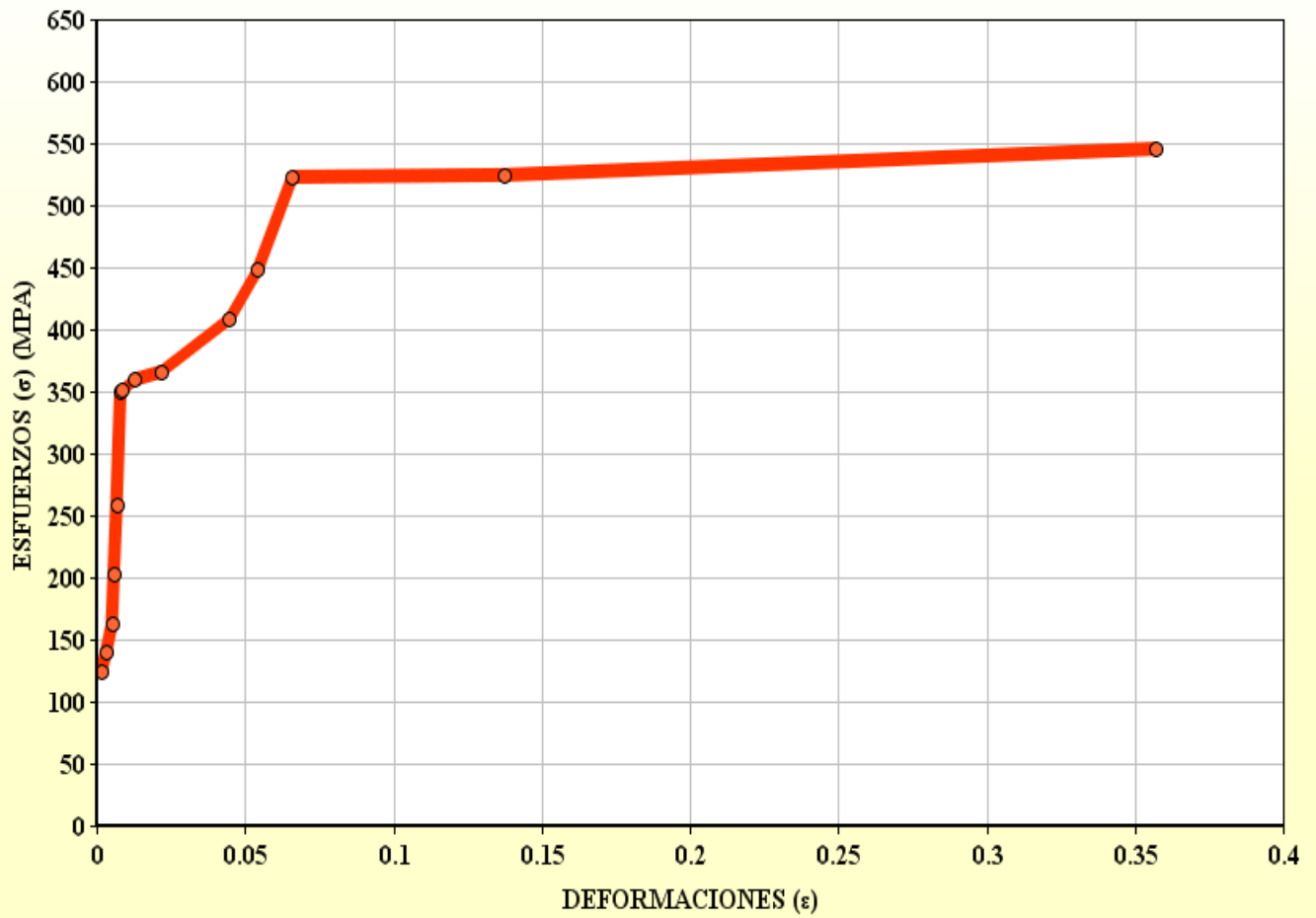
$$\text{Porcentaje de reducción de área} = \frac{A0-A1}{A0} \times (100)$$

$$A_0 = 125.4827 \quad A_1 = \pi (7.64)^2 / 4 = 45.84 \text{ mm}^2$$

$$\% \text{ de reducción de área} = \frac{125.4827-45.84}{125.4827} \times (100) = 63.46 \%$$

4.5 GRAFICA DE ESFUERZO-DEFORMACIÓN DEL ACERO A-36

DIAGRAMA ESFUERZO-DEFORMACION DEL ACERO A-36



CONCLUSIÓN

De la experiencia se puede concluir, en primer lugar, que el ensayo de tracción es un método sencillo y práctico y que este procedimiento se hace mucho más sencillo, seguro y preciso, si se contara con la tecnología más moderna que puede tener la máquina universal de tensión-compresión, pues ésta realiza la operación completa, registrando los datos de forma automática y elaborando las respectivas gráficas.

En la práctica, al igual que como se menciona en el libro de mecánica de materiales de HIBBELER, debemos aclarar que nunca serán exactamente iguales dos diagramas de esfuerzo-deformación unitaria para un material en particular, ya que los resultados dependen entre otras variables de la composición del material, de imperfecciones microscópicas, de la manera en que este fabricado, de la velocidad de carga y de la temperatura durante la prueba.

En el diagrama de esfuerzo-deformación unitaria que se obtuvo como resultado de las pruebas, se puede observar que nuestro límite de proporcionalidad esta alrededor de los 350 Mpa, a partir de ahí nuestra probeta se deformó plásticamente hasta llegar al encuellamiento a los 524.4 Mpa y finalmente la fractura a los 545.5 Mpa, con una deformación unitaria de 0.357.

Con el programa solidwork se realizó el mismo procedimiento, desde diseñar una probeta con las medidas estándar y el mismo material correspondiente, hasta el estudio estático. Nuestros resultados varían de los obtenidos en la práctica (reales) a pesar de que la forma general de deformación fue la correcta. Algunas causas a estas variantes pueden ser:

- La escala de deformación no es 1:1.
- Carga aplicada a cada entidad en lugar de a la carga total.
- El modelo no está suficientemente restringido.
- El modelo está restringido en exceso.

- Las propiedades del material no son correctas.
- El efecto de rigidización o suavizado de tensión ocurre en la vida real.
- Las piezas no están en contacto como se esperaban o deben moverse.

A nivel de recomendaciones, se sugiere:

- Que se sigan las normas ASTM E-8 en todos los aspectos, para un mejor manejo de las mismas por parte de los estudiantes.
- Además se recomienda que a las probetas se les mida el diámetro y no que se tenga que calcular, para que los cálculos sean más cercanos.
- Finalmente se recomienda que se realice el procedimiento con dos materiales distintos, de forma que permita hacer un mejor análisis y comparación

BIBLIOGRAFÍA

Tema: 2do párrafo de la introducción
platea.pntic.mec.es/~jdelucas/materiales.htm
(Visto por última vez el 12/04/2013)

Tema: 3er párrafo de la introducción
es.scribd.com/doc/127675083/ACERO-ESTRUCTURAL1
(Visto por última vez el 12/04/2013)

Tema: MARCO TEÓRICO (generalidades del ensayo de tensión, esfuerzo, deformación unitaria, módulo de elasticidad, diagrama esfuerzo-deformación de un acero)

Mecánica de materiales. James M. Gere – Barry J. Goodno.
Séptima edición. CENGAGE Learning

Tema: DEFORMACIÓN ELÁSTICA Y PLÁSTICA

Mecánica de materiales. Ferdinand Beer – Russell Johnston
Cuarta edición. Mc graw hill

Tema: ACERO AL CARBONO ESTRUCTURAL
www.virtual.unal.edu.co/cursos/.../ACERO%20ESTRUCTURAL.htm
(Visto por última vez el 12/04/2013)

Tema: PROBETA A UTILIZAR SEGÚN LA NORMA ASTM

Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials [Metric]

Designation: E 8M – 04

www.ebah.com.br/content/.../astm-e8m-04 (visto por última vez el 12/04/2013)

Tema: ACERO AL CARBONO ESTRUCTURAL ASTM A-36 (propiedades, requerimientos químicos y mecánicos)

Standard Specification for Carbon Structural Steel

Designation: A 36/A 36M - 97a

<https://law.resource.org/pub/us/cfr/ibr/003/astm.a36.1997.pdf> (visto por última vez el 12/04/2013)

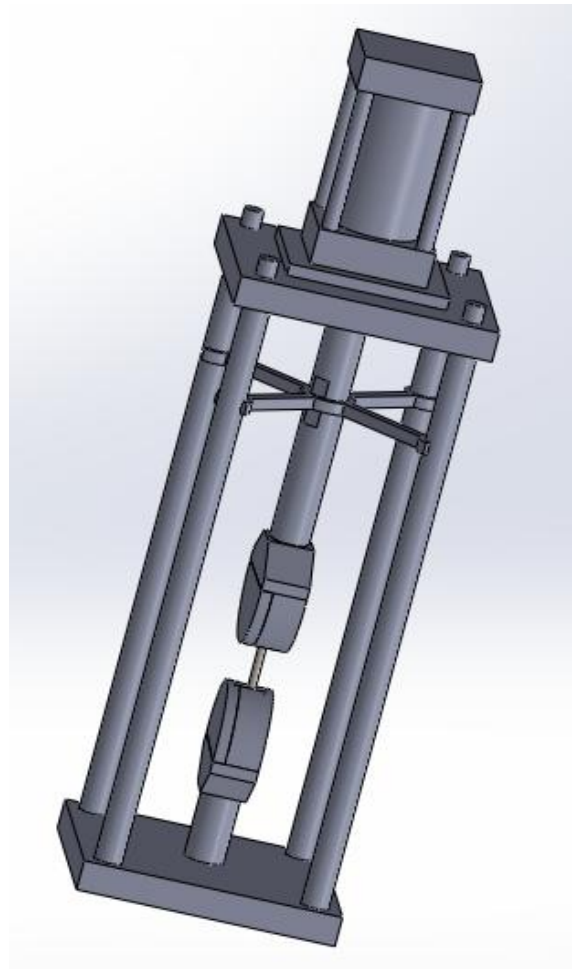
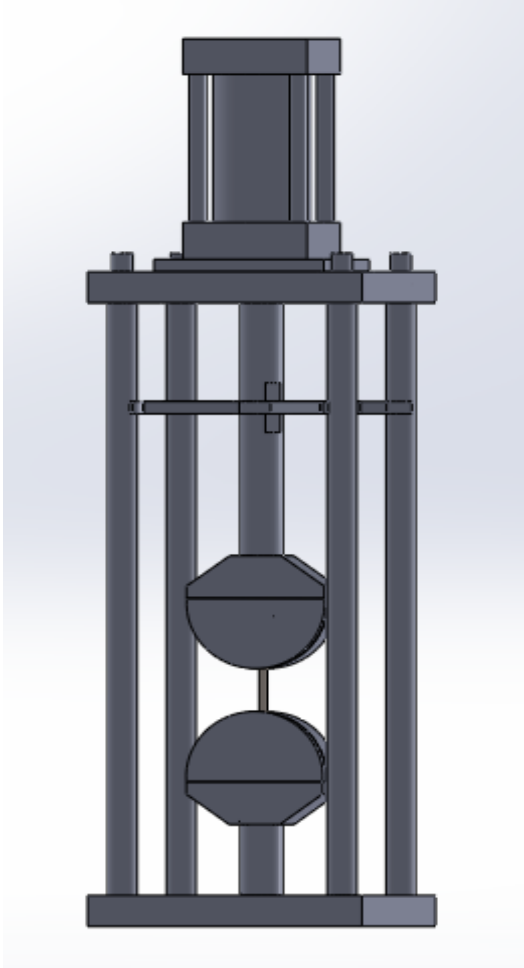
Tema: segundo párrafo de la conclusión.

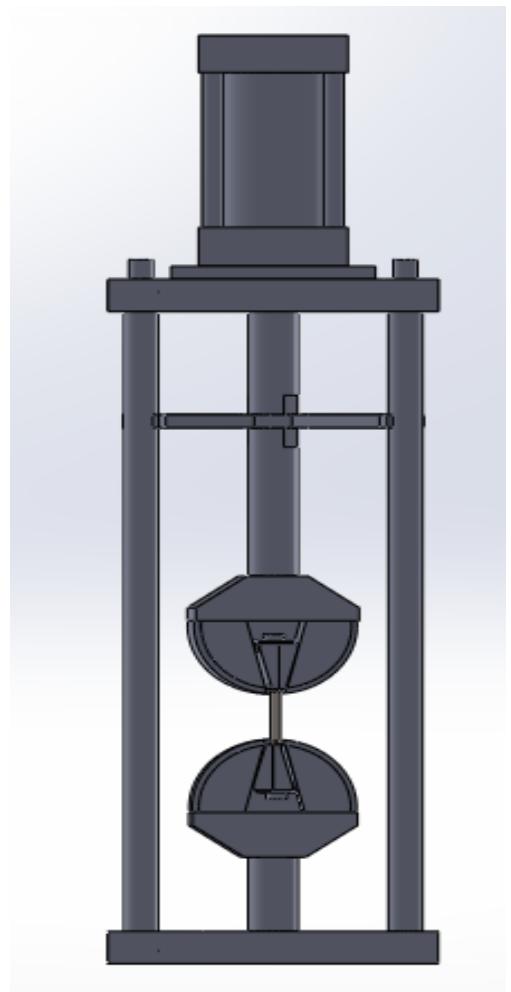
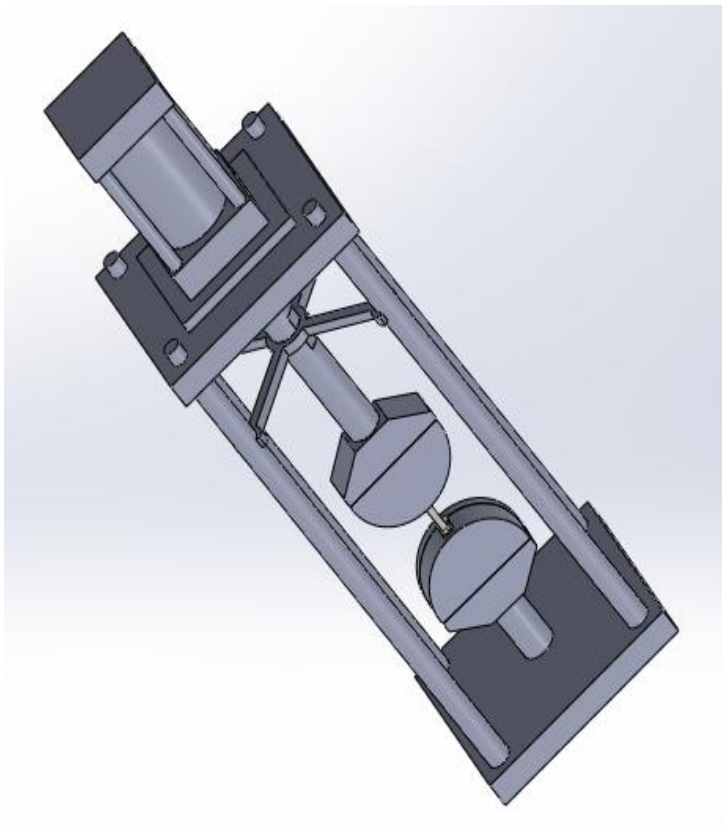
Mecánica de materiales, R. C. Hibbeler.

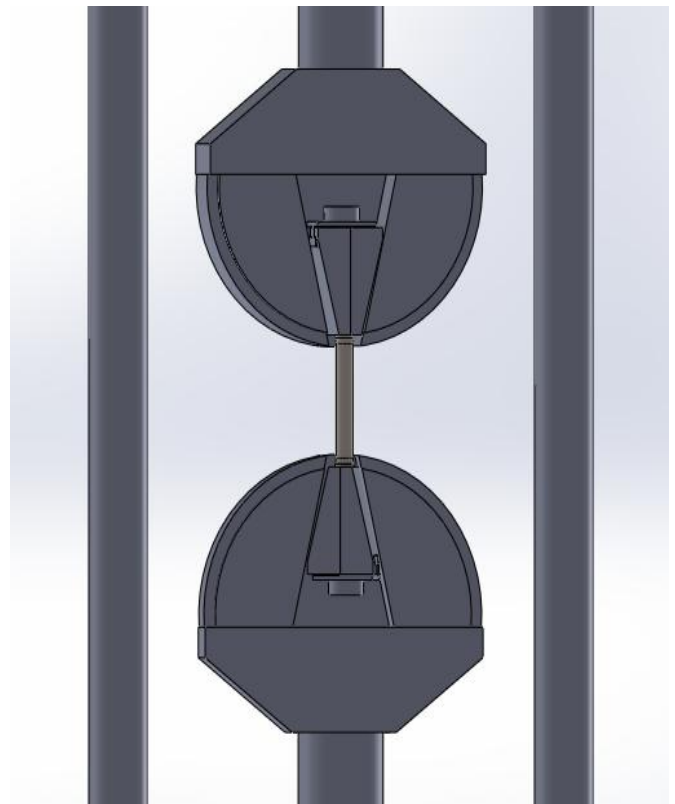
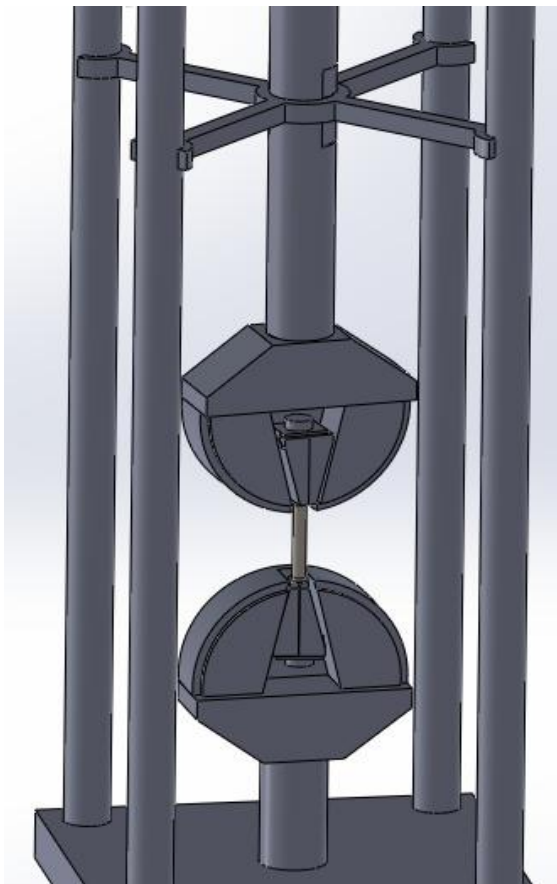
6ta edición. Editorial Pearson

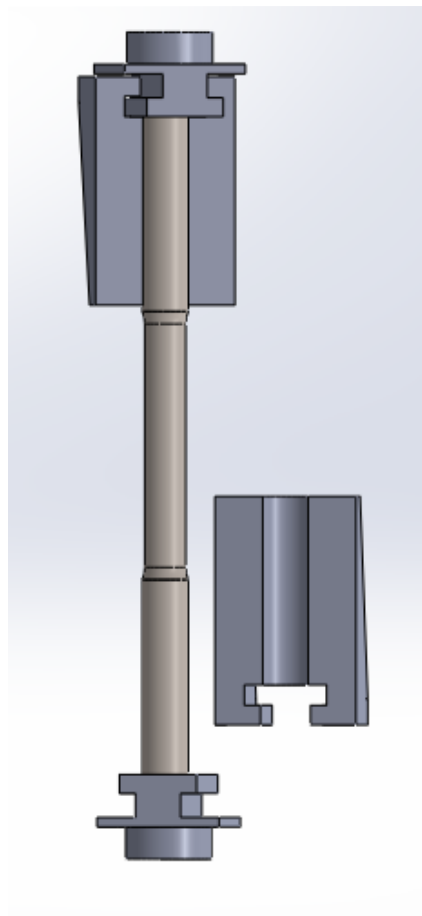
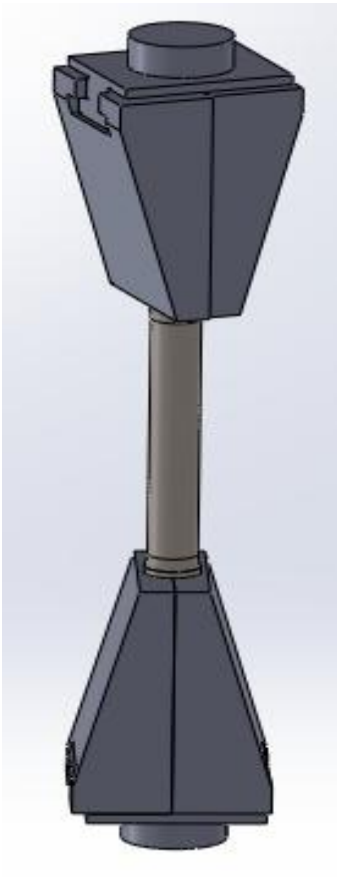
ANEXOS

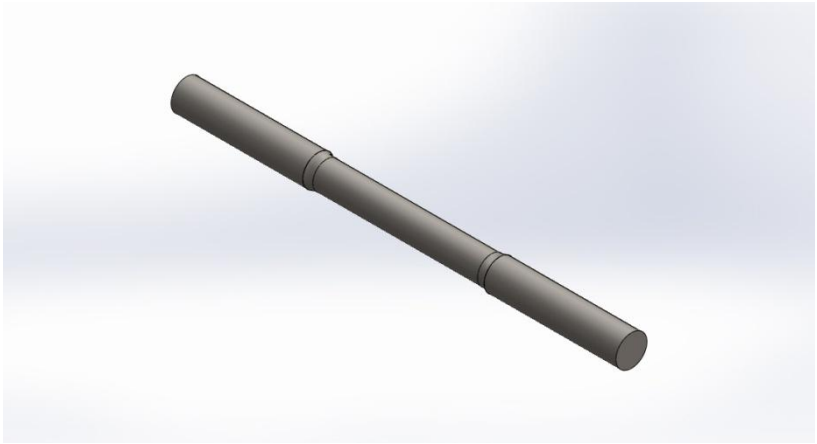
Diversos ángulos de la máquina de tensión-compresión elaborada en solidwork.











SIMULACIÓN DE PROBETA ESTÁNDAR EJE X

Fecha: martes, 06 de agosto de 2013

Diseñador: Solidworks

Nombre de estudio: probeta a tensión

Tipo de análisis: Estático

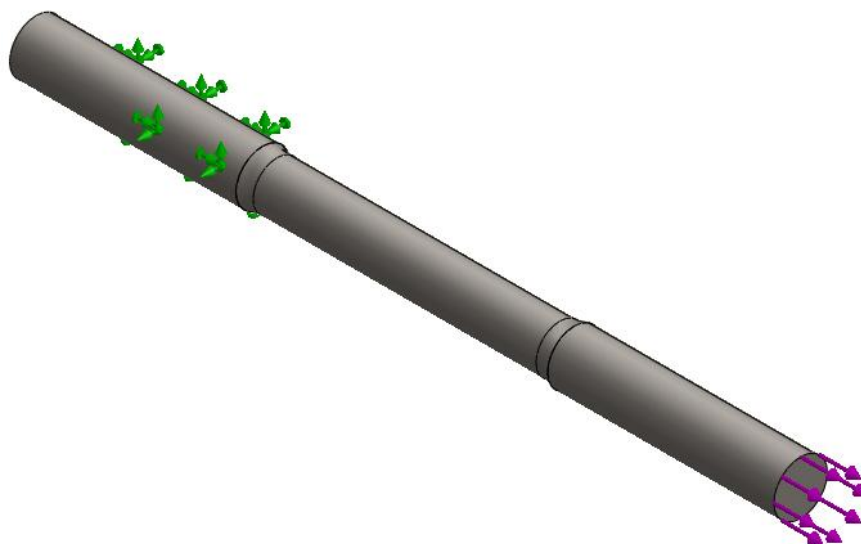
DESCRIPCIÓN

Estudio estático a tensión de una probeta estándar de acero
A-36

CONTENIDO


Descripción
Información de modelo
Propiedades del estudio
Unidades
Propiedades de material
Cargas y sujeciones
Información de malla
Fuerzas resultantes
Resultados del estudio

INFORMACIÓN DE MODELO



Nombre del modelo: probeta eje x
Configuración actual: Predeterminado

Sólidos

Nombre de documento y referencia	Tratado como	Propiedades volumétricas	Ruta al documento/Fecha de modificación
Revolución1 	Sólido	Masa:0.231728 kg Volumen:2.95195e-005 m ³ Densidad:7850 kg/m ³ Peso:2.27093 N	C:\Documents and Settings\Toño\Escritorio \probeta eje x.SLDPRT Jun 23 20:56:06 2013

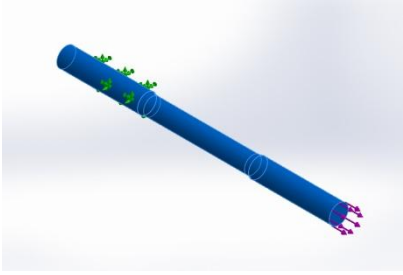
PROPIEDADES DEL ESTUDIO

Nombre de estudio	Estudio 2
Tipo de análisis	Estático
Tipo de malla	Malla sólida
Efecto térmico:	Activar
Opción térmica	Incluir cargas térmicas
Temperatura a tensión cero	298 Kelvin
Incluir los efectos de la presión de fluidos desde SolidWorks Flow Simulation	Desactivar
Tipo de solver	FFEPlus
Efecto de rigidización por tensión (Inplane):	Desactivar
Muelle blando:	Desactivar
Desahogo inercial:	Desactivar
Opciones de unión rígida incompatibles	Automática
Gran desplazamiento	Desactivar
Calcular fuerzas de cuerpo libre	Activar
Fricción	Desactivar
Utilizar método adaptativo:	Desactivar
Carpeta de resultados	Documento de SolidWorks (C:\Documents and Settings\Toño\Escritorio)

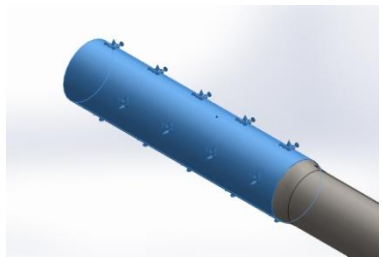
UNIDADES

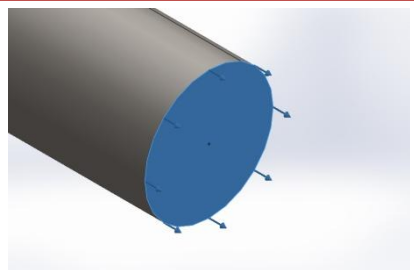
Sistema de unidades:	Métrico (MKS)
Longitud/Desplazamiento	mm
Temperatura	Kelvin
Velocidad angular	Rad/seg
Presión/Tensión	N/m ²

PROPIEDADES DE MATERIAL

Referencia de modelo	Propiedades	Componentes
	<p>Nombre: ASTM A36 Acero</p> <p>Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal</p> <p>Criterio de error predeterminado: Tensión máxima de von Mises</p> <p>Límite elástico: 2.5e+008 N/m²</p> <p>Límite de tracción: 4e+008 N/m²</p> <p>Módulo elástico: 2e+011 N/m²</p> <p>Coeficiente de Poisson: 0.26</p> <p>Densidad: 7850 kg/m³</p> <p>Módulo cortante: 7.93e+010 N/m²</p>	<p>Sólido</p> <p>1(Revolución1)(probeta eje x)</p>
Datos de curva:N/A		

CARGAS Y SUJECIONES

Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción		
Fijo-1		Entidades: Tipo:	1 cara(s) Geometría fija	
Fuerzas resultantes				
Componentes	X	Y	Z	Resultante
Fuerza de reacción(N)	-68188.7	-0.43277	0.533234	68188.7
Momento de reacción(N-m)	0	0	0	0

Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga		
Fuerza-1		Entidades: Tipo: Valor:	1 cara(s) Aplicar fuerza normal -68452.9 N	

INFORMACIÓN DE MALLA

Tipo de malla	Malla sólida
Mallador utilizado:	Malla estándar
Transición automática:	Desactivar
Incluir bucles automáticos de malla:	Desactivar
Puntos jacobianos	4 Puntos
Tamaño de elementos	3.09163 mm
Tolerancia	0.154581 mm
Calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden

INFORMACIÓN DE MALLA - DETALLES

Número total de nodos	11648
Número total de elementos	7200
Cociente máximo de aspecto	4.5669
% de elementos cuyo cociente de aspecto es < 3	99.2
% de elementos cuyo cociente de aspecto es > 10	0
% de elementos distorsionados (Jacobiana)	0
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss):	00:00:02
Nombre de computadora:	PRIVADSA

FUERZAS RESULTANTES

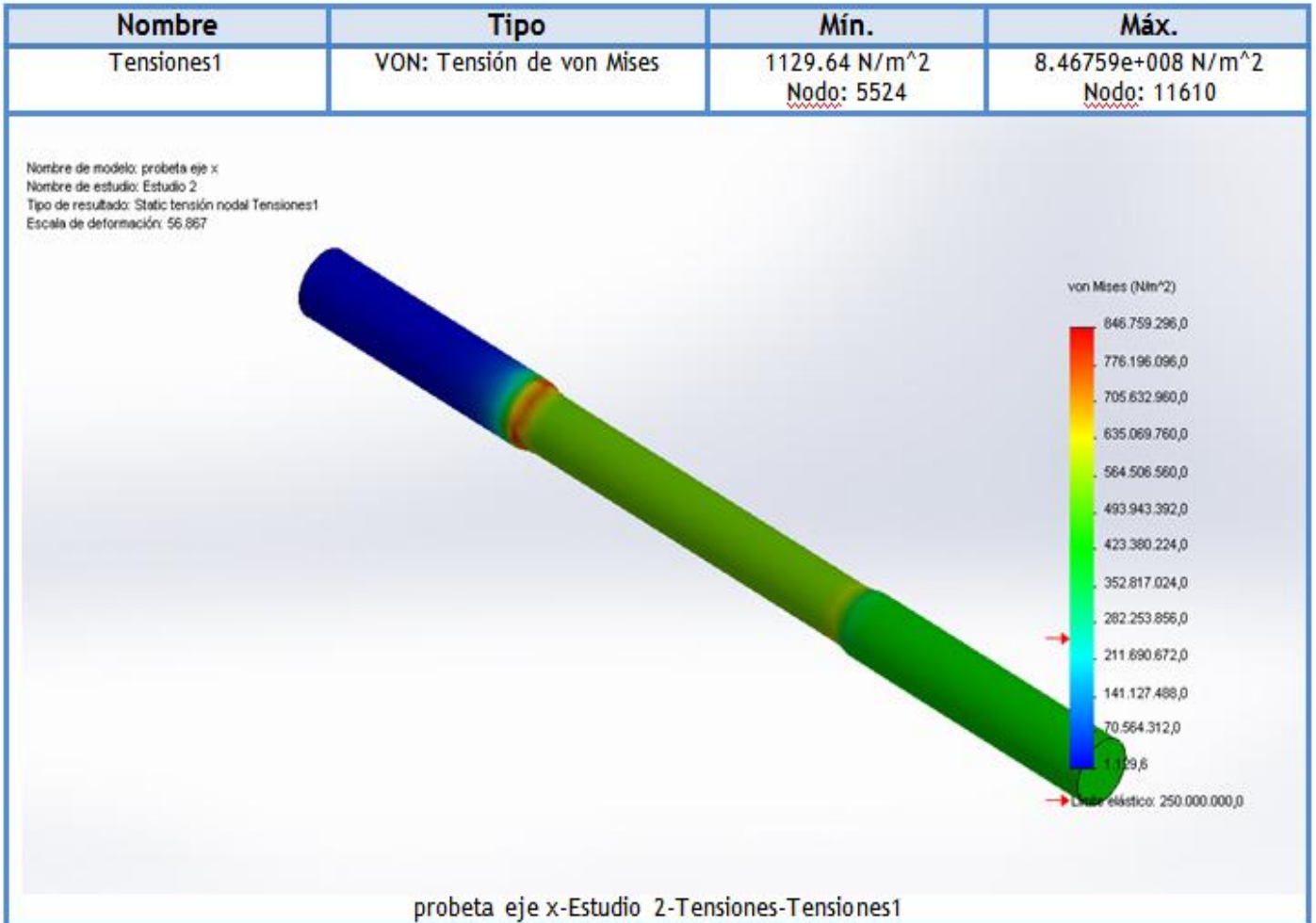
FUERZAS DE REACCIÓN

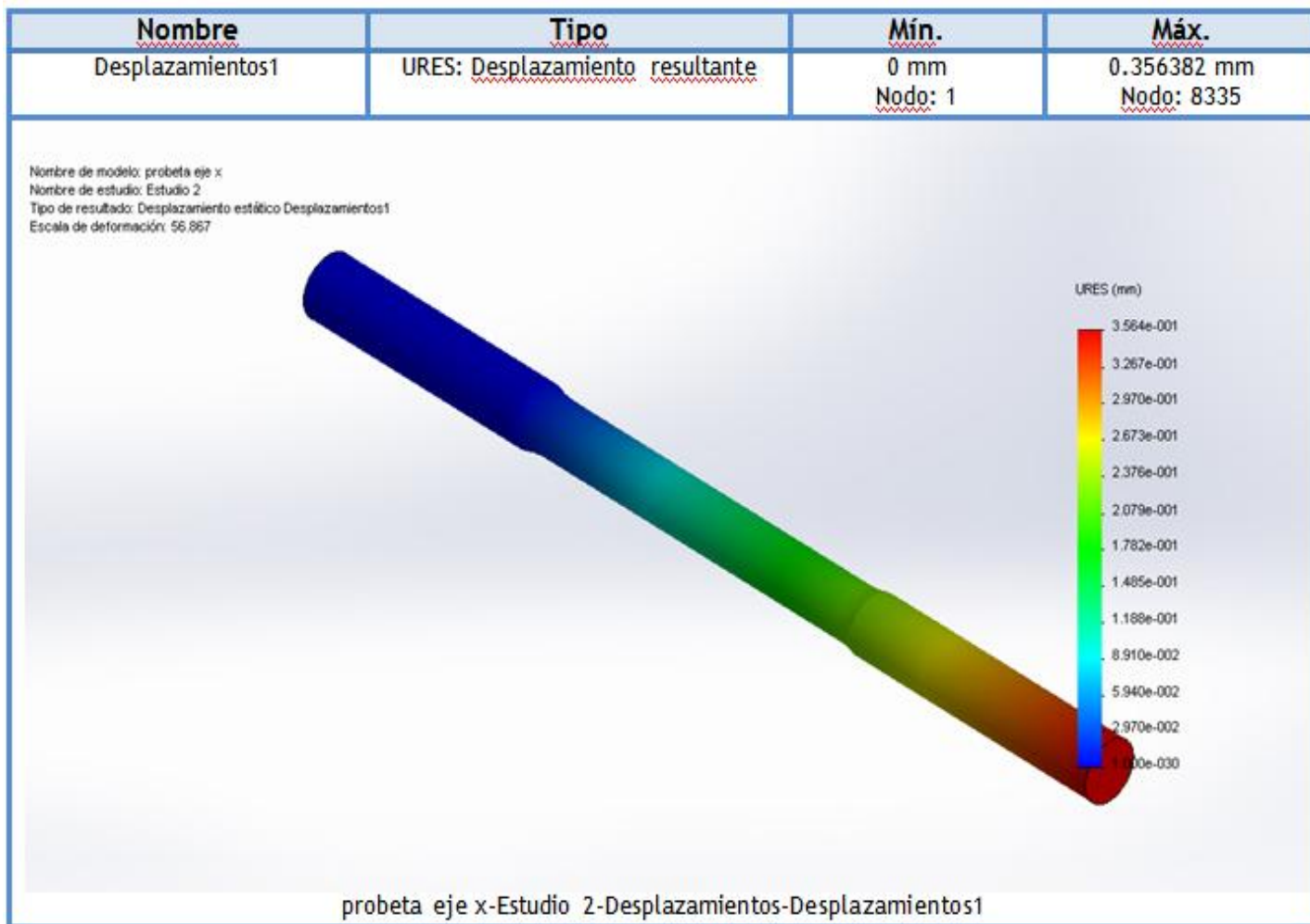
Conjunto de selecciones	Unidades	Suma X	Suma Y	Suma Z	Resultante
Todo el modelo	N	-68188.7	-0.43277	0.533234	68188.7

MOMENTOS DE REACCIÓN

Conjunto de selecciones	Unidades	Suma X	Suma Y	Suma Z	Resultante
Todo el modelo	N-m	0	0	0	0

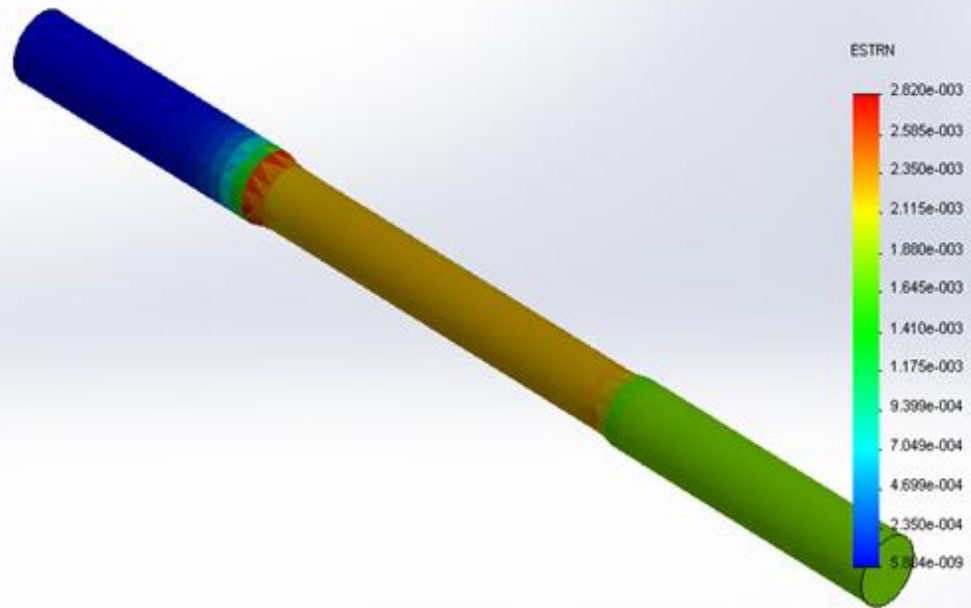
RESULTADOS DEL ESTUDIO



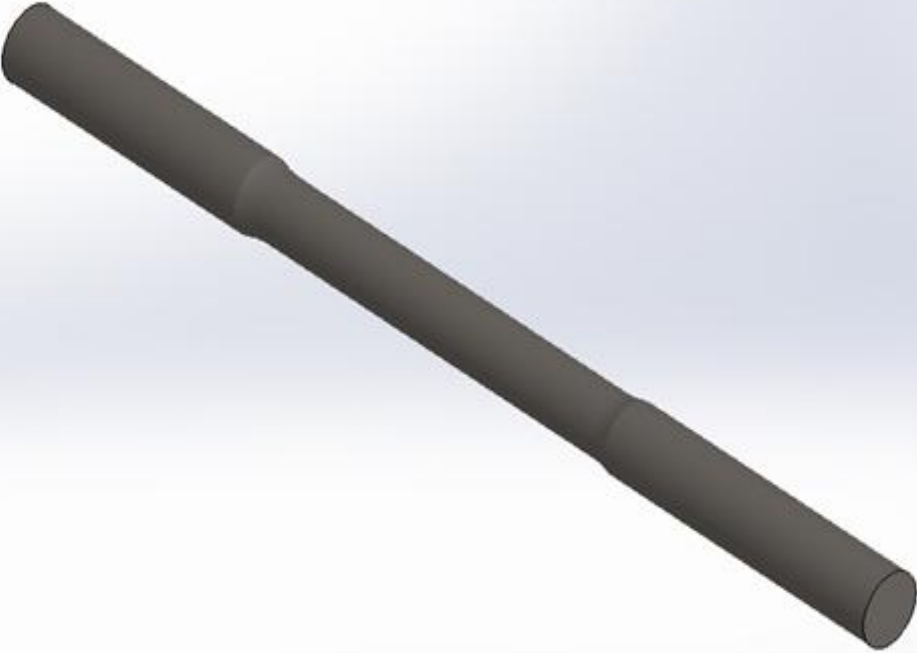


Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Deformaciones unitarias1	ESTRN: Deformación unitaria equivalente	5.88443e-009 Elemento: 6259	0.00281965 Elemento: 2123

Nombre de modelo: probeta eje x
Nombre de estudio: Estudio 2
Tipo de resultado: Deformación unitaria estática Deformaciones unitarias1
Escala de deformación: 56.867



probeta eje x-Estudio 2-Deformaciones unitarias-Deformaciones unitarias1

Nombre	Tipo
Desplazamientos1{1}	Forma deformada
<p data-bbox="92 412 470 495"> Nombre de modelo: probeta eje x Nombre de estudio: Estudio 2 Tipo de resultado: Forma deformada Desplazamientos1(1) Escala de deformación: 56.867 </p>  <p data-bbox="421 1256 1173 1294">probeta eje x-Estudio 2-Desplazamientos-Desplazamientos1{1}</p>	