



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN

**REINGENIERÍA DE UNA MÁQUINA DIDÁCTICA PARA PRUEBA DE
TENSIÓN**

TESIS PROFESIONAL

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**

PRESENTA:

EFRÉN MARTÍNEZ GARCÍA

ASESOR:

M. en I. FELIPE DÍAZ DEL CASTILLO RODRÍGUEZ



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN
UNIDAD DE ADMINISTRACIÓN ESCOLAR
DEPARTAMENTO DE EXÁMENES PROFESIONALES**

U. N. A. M.
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN
ASUNTO: VOTO APROBATORIO

**M. en C. JORGE ALFREDO CUÉLLAR ORDAZ
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLÁN
PRESENTE**

ATN: I.A. LAURA MARGARITA CORTAZAR FIGUEROA
Jefa del Departamento de Exámenes Profesionales de la FES Cuautitlán.

Con base en el Reglamento General de Exámenes, y la Dirección de la Facultad, nos permitimos comunicar a usted que revisamos el: **Trabajo de Tesis**

Reingeniería de una máquina didáctica para prueba de tensión

Que presenta el pasante: **EFREN MARTÍNEZ GARCÍA**
Con número de cuenta: **41101138-7** para obtener el Título de la carrera: **Ingeniería Mecánica Eléctrica**

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el **EXAMEN PROFESIONAL** correspondiente, otorgamos nuestro **VOTO APROBATORIO**.

ATENTAMENTE
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"
Cuautitlán Izcalli, Méx. a 23 de agosto de 2017.

PROFESORES QUE INTEGRAN EL JURADO

	NOMBRE	FIRMA
PRESIDENTE	Ing. Enrique Cortes González	
VOCAL	I M. en I. Felipe Díaz Del Castillo Rodríguez	
SECRETARIO	Ing. Eusebio Reyes Carranza	
1er. SUPLENTE	Ing. José Armando González Urbina	
2do. SUPLENTE	Ing. Cesar Augusto Morales Mendoza	

NOTA: los sinodales suplentes están obligados a presentarse el día y hora del Examen Profesional (art. 127).

AGRADECIMIENTOS

Le agradezco a Dios por la oportunidad de despertar cada día, de tener salud, de sentir, de poder ser y hacer lo que me gusta. Porque cada momento es un nuevo comienzo y el éxito siempre está ahí, esperándonos sin importar las veces que hayamos fallado antes de llegar.

Le doy gracias a mis padres Efrén y Vicenta por su apoyo incondicional en todo momento de mi vida, por su esfuerzo y el gran sacrificio para permitir desarrollarme como una persona profesional y con buenos valores. También el apoyo moral, motivacional, económico y el hecho de haber estado siempre que los necesitara.

Gracias Ing. Felipe Díaz del Castillo, por todo su apoyo y el tiempo brindado durante el largo trayecto de la realización de éste proyecto, por su siempre gustosa disposición en ayudar a los estudiantes a ser mejores y superarse y por sus enseñanzas tanto en las aulas como fuera de ellas.

Gracias a esas personas importantes en mi vida, mis hermanos, familiares y amigos, de los cuales con sus consejos se aprende siempre una forma distinta para afrontar los problemas y superarse, que sirven como motivación para ser siempre mejor que el día anterior.

Sinceramente

EFRÉN.

ÍNDICE

	Pág.
OBJETIVO.....	1
INTRODUCCIÓN	2
CAPÍTULO 1 PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS MATERIALES	
1.1.- INTRODUCCIÓN.....	3
1.2.- DESCRIPCIÓN DE ESFUERZO.....	4
1.3.- DEFORMACIÓN ELÁSTICA Y PLÁSTICA.....	5
1.4.- ESFUERZO NORMAL.....	7
1.4.1.- Definición de carga normal.....	7
1.4.2.- Esfuerzo normal promedio.....	9
1.4.3.- Esfuerzo normal uniforme en una barra con carga axial.....	10
1.5.- ESFUERZO CORTANTE.....	10
1.6.- DEFORMACIÓN UNITARIA DE EXTENSIÓN.....	12
1.7.- EL CÁLCULO ELÁSTICO Y SUS LIMITACIONES.....	13
1.7.1.- Propiedades micro-estructurales.....	14
1.7.2.- Propiedades macro-estructurales.....	14
1.7.3.- Criterios de aceptabilidad en el dominio elástico.....	15
CAPÍTULO 2 PRUEBA DE TENSIÓN	
2.1.- NORMAS ASTM.....	17
2.2.- ENSAYOS PRINCIPALES.....	18
2.3.- PRUEBA DE TENSIÓN. DESCRIPCIÓN.....	20
2.4.- ESFUERZO Y DEFORMACIÓN INGENIERILES.....	23
2.4.1.- Unidades usadas en pruebas de tensión.....	23
2.5.- PROPIEDADES OBTENIDAS A PARTIR DE LA PRUEBA DE TENSIÓN.....	24

2.5.1.- Resistencia a la fluencia.....	24
2.5.2.- Resistencia a la tensión.....	26
2.5.3.- Tenacidad a la tensión.....	28
2.6.- PROPIEDADES ELÁSTICAS.....	28
2.7.- DUCTILIDAD.....	32

CAPÍTULO 3 ESTADO PREVIO DE LA MÁQUINA

3.1.- DESCRIPCIÓN DEL ESTADO PREVIO DE LA MÁQUINA.....	33
3.2.- FALTA DE MANTENIMIENTO GENERAL.....	36
3.2.1.- Deterioro de materiales metálicos.....	37
3.3.- FALLAS EN EL DISPOSITIVO HIDRÁULICO.....	38
3.3.1.- Problema de pérdida de líquido (fuga de aceite).....	38
3.4.- PROBLEMAS CON LAS MORDAZAS DE SUJECIÓN.....	39
3.5.- FALTA DE UN DISPOSITIVO PARA SUJECIÓN DEL EXTENSÓMETRO.....	41

CAPÍTULO 4 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL DISPOSITIVO Y PROCESO DE RE- INGENIERÍA DE LAS MORDAZAS

4.1.- COMPONENTES PRINCIPALES DE LA MÁQUINA.....	42
4.1.1.- Gato hidráulico.....	44
4.1.2.- Mordazas de sujeción.....	45
4.1.3.- Dispositivo de medición extensómetro.....	47
4.2.- PROCESO DE REINGENIERÍA DE LAS MORDAZAS.....	50
4.2.1.- Selección de materiales y diseño de nuevas mordazas.....	50
4.2.2.- Diseño de piezas individuales para formar la mordaza.....	53
4.2.3.- Proceso de cementado para mejora de propiedades físicas.....	55
4.2.4.-Soldadura y unión de las piezas componentes de las mordazas.....	56
4.3.- DIBUJOS CAD.....	58

CAPÍTULO 5 REALIZACIÓN DE PRUEBAS Y ANÁLISIS DE DATOS

5.1.- PROBETAS UTILIZADAS EN LAS PRUEBAS.....	65
5.2.- CONSIDERACIONES PARA LA REALIZACIÓN DE PRUEBAS	66
5.3.- PROCEDIMIENTO PARA REALIZACIÓN DE PRUEBAS.	68
5.4.- ANÁLISIS DE DATOS.....	72
CAPÍTULO 6 REALIZACIÓN DE PRÁCTICA DE LABORATORIO “PRUEBA DE TENSIÓN” Y CONCLUSIONES	
6.1.- SEGURIDAD DURANTE LAS PRUEBAS Y EN LA PRÁCTICA.....	80
6.2.- REALIZACIÓN DE PRÁCTICA DE LABORATORIO.....	81
CONCLUSIONES.	87
BIBLIOGRAFÍA	91
CIBERGRAFÍA	92

OBJETIVO

- Describir el procedimiento de una prueba de tensión y su importancia en la selección de materiales.
- Analizar el comportamiento de varios materiales mediante la prueba de tensión.
- Recuperar y rediseñar una máquina para pruebas de tensión para su uso didáctico existente en el laboratorio de Tecnología de Materiales.
- Desarrollar la posible práctica que se puede realizar con el equipo en el laboratorio de materiales.

INTRODUCCIÓN

La resistencia de un material depende de su habilidad para soportar una carga sin una deformación excesiva o una falla. Esta propiedad es inherente al propio material y debe determinarse por experimentos. Como resultado se han desarrollado varios tipos de pruebas para evaluar la resistencia del material bajo cargas estáticas, cíclicas, de duración prolongada o producidas por impulsos.

En la prueba de tracción, cuando una pieza está sometida a la acción de una fuerza, se deforma, por pequeña que sea la fuerza. Una probeta o muestra de ensayo sometida a un esfuerzo creciente, experimentará una deformación creciente. Por deformación, entendemos la deformación unitaria (por unidad de longitud de medición, cm por cm, o bien pulgada por pulgada).

La importancia de la reingeniería de la máquina para prueba de tensión permitirá a los alumnos realizar la práctica de ensayo de tracción de manera correcta y eficaz, ya que el equipo actualmente existente en el laboratorio presenta serias fallas.

CAPÍTULO 1

PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS MATERIALES

1.1.- INTRODUCCIÓN

Las propiedades mecánicas de los materiales dependen básicamente de su composición y micro-estructura, ya que éstas tienen una influencia profunda en la resistencia y ductilidad de los materiales metálicos.

En muchas de las tecnologías emergentes actuales, el enfoque principal está en las propiedades mecánicas de los materiales utilizados. Por ejemplo, en la fabricación de los aviones, las aleaciones de aluminio o los compuestos reforzados con carbono que se emplean para los componentes del avión, deben ser ligeros, resistentes y capaces de soportar la carga mecánica cíclica por un periodo largo e impredecible. Otro ejemplo, los aceros utilizados en la construcción de estructuras como edificios y puentes, deben tener la resistencia adecuada para que estas estructuras puedan construirse sin comprometer la seguridad.

La importancia de las propiedades mecánicas de los materiales es fácil de apreciar en muchas de estas aplicaciones de “soporte de carga”.

En muchas otras aplicaciones, las propiedades mecánicas también desempeñan un papel muy importante aun cuando la función primaria sea de otro tipo, como eléctrica, magnética, óptica o biológica. Por ejemplo, una aleación de titanio bio-compatible utilizada para un implante óseo debe tener la resistencia y dureza suficientes para sobrevivir dentro del cuerpo humano por muchos años sin fallar. Una aleación de aluminio o un sustrato vidrio cerámico utilizado como base para la fabricación de discos duros magnéticos, debe poseer la suficiente resistencia mecánica para que no se rompa durante la operación que requiere altas velocidades. De manera similar, los empaques electrónicos utilizados para encapsular chips semiconductores y las estructuras de película delgada creadas sobre el chip deben ser capaces de soportar los esfuerzos encontrados en varias aplicaciones, al igual que los hallados durante el calentamiento y enfriamiento de los dispositivos electrónicos.

Para aplicaciones de soporte de carga se seleccionan los materiales de ingeniería comparando sus propiedades mecánicas con las especificaciones de diseño y las condiciones de servicio

requeridas del componente. La primera etapa del proceso de selección requiere un análisis de la aplicación del material para determinar sus características más importantes. Tomar en cuenta las propiedades como la resistencia, rigidez o ductilidad, además si estará sujeto a una aplicación que involucre un esfuerzo alto o condiciones corrosivas o abrasivas.

Una vez conociendo las propiedades requeridas, se puede realizar una selección preliminar del material apropiado utilizando varias bases de datos. Sin embargo, se debe conocer cómo se obtuvieron las propiedades enlistadas en los manuales, conocer que significan las propiedades y comprender que éstas se obtienen a partir de pruebas idealizadas que no pueden destinarse de manera exacta a aplicaciones de ingeniería en el mundo real. Un punto importante es que los materiales con la misma composición química nominal y otras propiedades, pueden mostrar propiedades mecánicas significativamente distintas dictaminadas por su micro-estructura. Además, los cambios en la temperatura, la naturaleza cíclica de los esfuerzos aplicados, los cambios químicos debidos a la oxidación, corrosión o erosión, los cambios micro-estructurales debidos a la temperatura, el efecto de los defectos posibles introducidos durante las operaciones de maquinado también pueden tener un efecto trascendental en el comportamiento mecánico de los materiales.

1.2.- DESCRIPCIÓN DE ESFUERZO

El concepto de las fuerzas estudiadas en el campo de la mecánica se amplía con la resistencia de materiales, pero existe una diferencia obvia entre ambas materias, el campo de la mecánica abarca fundamentalmente las relaciones entre las fuerzas que actúan sobre un sólido indeformable, la estática comprende los sólidos en equilibrio, mientras que la dinámica a los sólidos acelerados, aunque se puede establecer el equilibrio dinámico a partir de la introducción de las fuerzas de inercia.

En contraste con la mecánica, la resistencia de materiales estudia y establece las relaciones entre las cargas exteriores aplicadas y sus efectos en el interior de los sólidos. Además no plantea que los sólidos son idealmente indeformables, si no que las deformaciones por pequeñas que sean tienen gran interés. Las propiedades del material del que se construye una estructura o una máquina afectan tanto a su elección como a su diseño ya que se deben satisfacer las condiciones de resistencia y de rigidez.

Para determinar las diferencias se muestra el siguiente ejemplo: la determinación de una fuerza (P) que se requiere en el extremo de una palanca para levantar un peso dado es un simple problema de estática. La suma de momentos respecto del punto de apoyo determina el valor de P. Esta solución de la estática supone que la palanca es lo bastante rígida y lo suficientemente fuerte para permitir su funcionamiento. Sin embargo, con la resistencia de materiales se amplía la solución. Es necesario estudiar la barra en sí misma, para estar seguros de que no se romperá y tampoco será tan flexible que se doble sin levantar la carga, estos dos principios se rigen por los conceptos fundamentales de resistencia y rigidez.

1.3.- DEFORMACIÓN ELÁSTICA Y PLÁSTICA.

Durante aplicaciones que involucran más a detalle el comportamiento interno de los materiales se tiene el concepto de deformación elástica, la cual se define como la deformación recuperable por completo que resulta a partir de un esfuerzo aplicado. La deformación es “elástica” si se desarrolla de manera instantánea (es decir, la deformación ocurre tan pronto como se aplica la fuerza), la deformación permanece mientras se aplique el esfuerzo y se recupera cuando se retira la fuerza. Un material sujeto a una deformación elástica, no muestra ninguna deformación permanente.

Considerando el estiramiento de un resorte metálico rígido por un corto tiempo para después soltarlo. Si el resorte regresa de inmediato a sus dimensiones originales, la deformación desarrollada en el resorte fue elástica.

En muchos materiales, el esfuerzo elástico y la deformación elástica están relacionados de manera lineal. La pendiente en una curva de Esfuerzo-Deformación, en el régimen lineal define el módulo de Young o módulo de elasticidad de un material (ver figura 1.1).

Las deformaciones elásticas grandes pueden observarse en los elastómeros, para los cuales la relación entre la deformación elástica y el esfuerzo es no lineal.

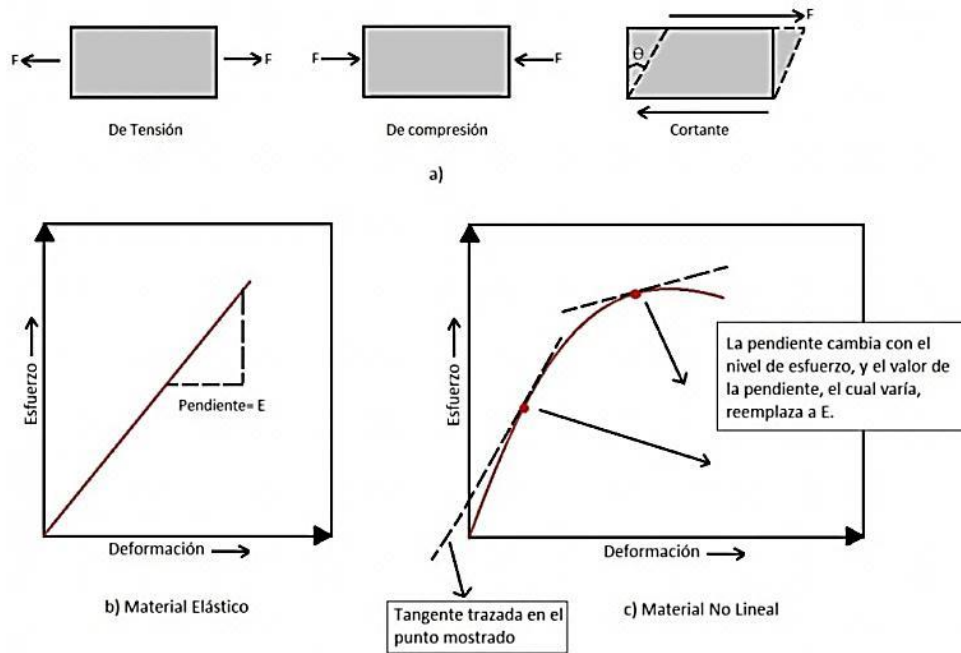


Figura 1.1. El esfuerzo elástico y la deformación elástica están relacionados de manera lineal.

A la deformación permanente de un material se le conoce como deformación plástica. En este caso, cuando se elimina el esfuerzo, el material no regresa a su forma original. Una abolladura de un automóvil es una deformación plástica. Aquí se puede observar que la palabra “plástica” no se refiere a la deformación en un material plástico, si no a la deformación permanente de cualquier material.

La rapidez a la que se desarrolla la deformación en un material se define como la rapidez de deformación. Las unidades de la rapidez de deformación son s^{-1} . Muchos materiales considerados como dúctiles se comportan como sólidos quebradizos cuando la rapidez de deformación es alta. Cuando los materiales se someten a rapidezces de deformación altas se refiere a este tipo de carga como carga de impacto.

1.4- ESFUERZO NORMAL.

Para presentar los conceptos de esfuerzo y deformación comenzaremos con el caso relativamente sencillo de una barra recta sometida a una carga axial, como se observa en las figuras 1.2.

Las fuerzas iguales y opuestas, de magnitud P , que actúan sobre una barra recta hacen que la barra se alargue, como se puede ver al comparar las figuras 1.2a y 1.2b. Se dice que la barra está en tensión. Si se hubieran aplicado las fuerzas en sentido contrario, es decir, apuntando una hacia la otra, la barra se hubiera acortado, y entonces se diría que se encuentra bajo compresión.

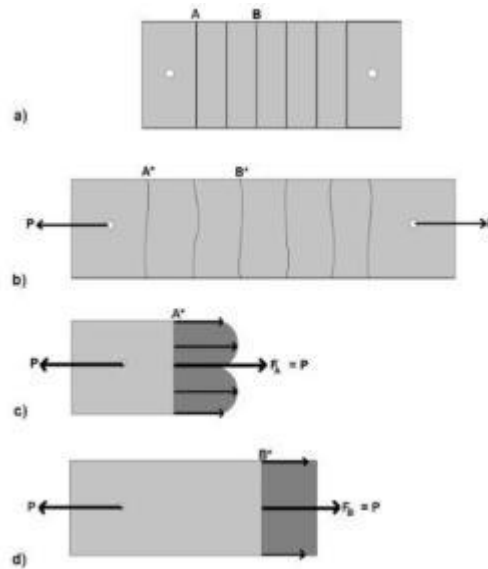


Figura 1.2. a) Se muestra un punto A y B dentro de la barra, b) Aplicación de fuerzas de magnitud P , c) Distribución de fuerzas en secciones transversales, d) Distribución uniforme de fuerzas.

1.4.1.- Definición de carga normal.

Las flechas más pequeñas de las figuras 1.2c y 1.2d mostradas en la imagen anterior, representan la distribución de las fuerzas en las secciones transversales en los puntos A y B, respectivamente (una sección transversal, es un plano perpendicular al eje de la barra). Cerca de los extremos de la barra, por ejemplo en el corte A, la fuerza normal resultante, F_A , no está uniformemente distribuida en esa sección transversal, pero en la sección B, más lejos del punto P de aplicación de la fuerza, la distribución de fuerzas es uniforme. En mecánica se usa el

término “esfuerzo” para describir la distribución de una fuerza sobre el área en la que actúa, y se expresa como intensidad de fuerza, esto es, como fuerza por unidad de área (ecuación 1.1).

$$Esfuerzo = \frac{Fuerza}{Área} \dots\dots\dots (1.1)$$

Las unidades de esfuerzo son las unidades de fuerza divididas entre unidades de área.

En el sistema inglés, el esfuerzo se suele expresar en libras por pulgada cuadrada (psi) o en miles de libras por pulgada cuadrada (Kilolibras por pulgada cuadrada, ksi). En el sistema internacional de unidades (SI), se especifica con las unidades básicas de fuerza (N) y de longitud (m), en Newton por metro cuadrado (N/m²). Esta unidad se llama Pascal y es muy pequeña, por lo que en ingeniería se suele expresar en KiloPascuales (1kPa= 10³N/m²).

En equivalencia, un psi, es igual a 6895 Pa.

Hay dos tipos de esfuerzos llamados esfuerzo normal y esfuerzo cortante. Analizando primero el esfuerzo normal, se tiene la ecuación 1.2:

$$Esfuerzo\ normal = \frac{Fuerza\ normal}{Área\ sobre\ la\ que\ actúa\ la\ fuerza} \dots\dots\dots (1.2)$$

El símbolo que se usa para representar el esfuerzo normal es la sigma griega minúscula σ . El esfuerzo normal en un punto se define con la ecuación 1.3:

$$\sigma(x, y, z) = \lim_{\Delta A \rightarrow 0} \frac{\Delta F}{\Delta A} \dots\dots\dots (1.3)$$

Donde, como se puede observar en la figura 1.2a, el incremento de F es la fuerza normal (se supone positiva cuando es de tensión) que actúa sobre un área elemental (Δa) que contiene al punto (x, y, z) donde se ha determinado el esfuerzo.

La convención de signos para el esfuerzo normal se toma de la siguiente forma:

- Un valor positivo de σ indica esfuerzo de tensión, esto es, el esfuerzo debido a una fuerza (F) que tira sobre el área en la que actúa.
- Un valor negativo de sigma indica esfuerzo de compresión.

Como ejemplo de la convención de signos, si tenemos $\sigma = 6.50$ MPa, quiere decir que σ es un esfuerzo de tensión cuya magnitud es de 6.50 MPa, y la ecuación $\sigma = -32.6$ ksi indica que es un esfuerzo de compresión cuya magnitud es de 32.6 ksi.

1.4.2.- Esfuerzo normal promedio.

Aun cuando el esfuerzo normal varía en una sección transversal, como lo hace en la figura 1.2c mostrada anteriormente, se puede calcular el esfuerzo normal promedio en una sección si se define a partir de la ecuación 1.4:

$$\sigma_{prom} = \frac{F}{A} \dots\dots\dots (1.4)$$

Así, para las figuras 1.2c y 1.2d se tienen las ecuaciones 1.5 y 1.6:

$$(\sigma_{prom})_A = \frac{F_A}{A} = \frac{P}{A} \dots\dots\dots (1.5)$$

$$(\sigma_{prom})_B = \frac{F_B}{A} = \frac{P}{A} \dots\dots\dots (1.6)$$

Por consiguiente, si el esfuerzo normal es uniforme sobre una sección transversal, el esfuerzo normal en esa sección, llamado también esfuerzo axial se expresa como en la ecuación 1.7:

$$\sigma(x) = \frac{F(x)}{A(x)} \dots\dots\dots (1.7)$$

Y corresponde a una fuerza F_x positiva de tensión, que actúa en el centroide de la sección transversal.

Desde luego cabría esperar que un esfuerzo uniforme en una barra circular corresponda a una fuerza que actúa a lo largo de su eje, y de igual forma parecida para una barra cuadrada o rectangular. Por consiguiente, es “razonable” que una distribución uniforme de esfuerzo normal que actúe sobre una sección transversal en una forma general produzca una fuerza resultante que actúe sobre el centroide de esa sección. En la mayor parte de los casos, el área transversal es constante en la longitud del miembro.

1.4.3.- Esfuerzo normal uniforme en una barra con carga axial.

Tomando en cuenta ciertas hipótesis, una barra con carga axial tendrá el mismo esfuerzo normal uniforme en cualquiera de sus secciones transversales; esto es, $\sigma(x,y,z) = \sigma = \text{cte}$. Estas hipótesis son:

- La barra es prismática, es decir, es recta y tiene la misma sección transversal en toda su longitud.
- La barra es homogénea; es decir, está hecha del mismo material.
- La carga se aplica en forma de distribuciones de esfuerzos iguales y opuestos en los dos cortes transversales de los extremos de la barra.

Mientras la fuerza resultante en cada extremo de la barra se aplique en los centroides de las secciones transversales en los extremos, se puede considerar la última hipótesis, que las cargas se apliquen en forma de distribuciones de esfuerzos normales en las secciones transversales de los extremos. Como se apreció en las figuras 1.2a-d, el esfuerzo es uniforme en toda la sección transversal, excepto en los que están muy cerca de los puntos de aplicación de la carga.

1.5.- ESFUERZO CORTANTE.

Un tipo diferente de esfuerzo se obtiene cuando se aplican fuerzas transversales P y P' a un elemento AB (figura 1.3). Al efectuar un corte en C entre los puntos de aplicación de las dos fuerzas (figura 1.3a), obtenemos el diagrama de la porción AC que se muestra en la figura 1.3b.

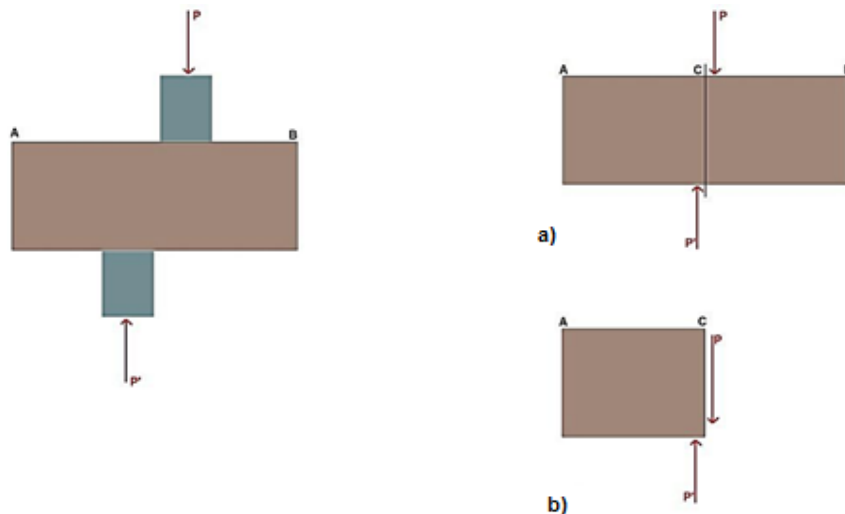


Figura 1.3. Aplicación de fuerzas transversales a una barra.

Con esto se concluye que deben existir fuerzas internas en el plano de la sección, y que su resultante es igual a P. Estas fuerzas internas elementales se conocen como fuerzas internas cortantes y la magnitud de P de su resultante es el cortante en la sección. Al dividir el cortante P entre área A de la sección transversal, se obtiene el esfuerzo cortante promedio en la sección. Representando el esfuerzo cortante con la letra griega τ (tau), se observa en la ecuación 1.8.

$$\tau_{prom} = \frac{P}{A} \dots\dots\dots (1.8)$$

Se debe enfatizar que el valor obtenido es un valor promedio para el esfuerzo cortante sobre toda la sección. Al contrario de lo dicho para los esfuerzos normales, en este caso no puede suponerse que la distribución de los esfuerzos cortantes a través de una sección sea uniforme. El valor real de τ del esfuerzo cortante varía de 0 en la superficie del elemento, hasta un valor máximo τ_{max} que puede ser mucho mayor que el valor promedio, τ_{prom} .

Los esfuerzos cortantes se encuentran comúnmente en pernos, pasadores y remaches utilizados para conectar diversos elementos estructurales y componentes de máquinas. Considerando 2 placas A y B conectadas por un perno CD (figura 1.4). Si a las placas se les somete a fuerzas de tensión de magnitud F, se desarrollarían esfuerzos en la sección del perno que corresponde al plano EE'.

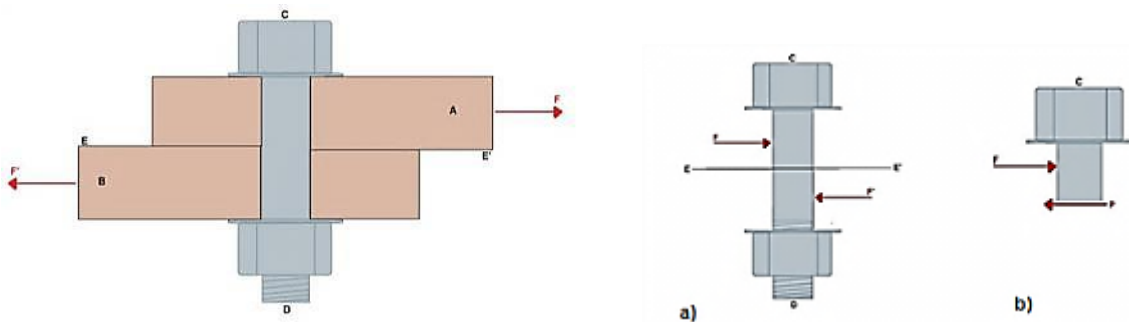


Figura 1.4. Dos placas conectadas por un perno, a) Esfuerzos desarrollados en el perno, b) Diagrama de fuerzas en el perno.

Al dibujar los diagramas del perno y de la porción localizada por encima del plano EE' (figura 1.4b), se concluye que el cortante P en esa sección es igual a F. Se obtiene el esfuerzo cortante promedio en la sección, y de acuerdo con la ecuación 1.8, dividiendo el cortante $P=F$ entre el área A de la sección transversal se obtiene la ecuación 1.9:

$$\tau_{prom} = \frac{P}{A} = \frac{F}{A} \dots\dots\dots (1.9)$$

El perno que se ha considerado, está en lo que se conoce como cortante simple. Sin embargo, pueden surgir diferentes condiciones de carga. Por ejemplo, si las placas de empalme C y D se emplean para conectar A y B (figura 1.5), el corte tendrá lugar en el perno HJ en cada uno de los dos planos KK' y LL' (al igual que el perno EG). Se dice que los pernos están en corte doble. Para determinar el esfuerzo cortante promedio en cada plano, se dibujan los diagramas de cuerpo libre del perno HJ y de la porción del perno localizada entre los dos planos (figura 1.5b). Observando que el corte P en cada una de las secciones es P= F/2, se concluye que el esfuerzo cortante promedio es como se aprecia en la ecuación 1.10:

$$\tau_{prom} = \frac{P}{A} = \frac{F/2}{A} = \frac{F}{2A} \dots\dots\dots (1.10)$$

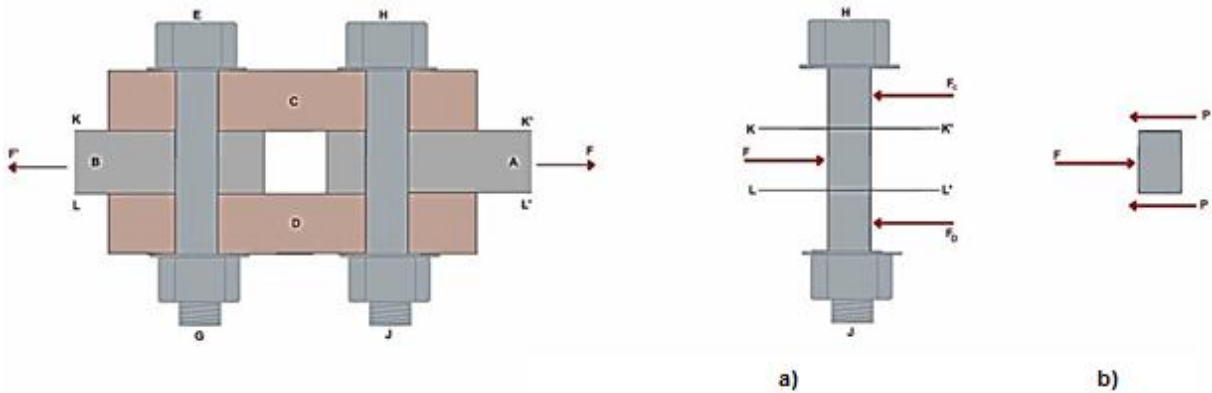


Figura 1.5. Diferentes condiciones de cargas, a) Pernos en corte doble, b) Diagrama de cuerpo libre en el perno HJ.

1.6.- DEFORMACIÓN UNITARIA DE EXTENSIÓN.

Para definir deformación unitaria de extensión examinaremos de nuevo el caso de la deformación axial que se mostró en la figura 1.2. El alargamiento total de la barra se representa por ΔL, y la deformación unitaria de extensión, o deformación unitaria normal se representa por la letra griega epsilon minúscula (ε). La deformación unitaria promedio de extensión se define como la relación del alargamiento total ΔL entre la longitud original L, como se observa en la ecuación 1.11:

$$\epsilon_{prom} = \frac{\Delta L}{L} = \frac{L^* - L}{L} \dots\dots\dots (1.11)$$

Si la barra se estira, es decir, si $L^* > L$, la deformación unitaria épsilon (ϵ), es positiva y se llama deformación unitaria de tensión. Un acortamiento de la barra produce un valor negativo de ϵ y se llama deformación unitaria de compresión. Aunque la deformación unitaria es una cantidad adimensional se suelen mencionar sus valores con unidades de metro/metro o micrómetro/metro. La magnitud de la deformación unitaria de extensión es, por lo general, muy pequeña, por ejemplo menor a 0.001, por lo que las unidades de micro deformación son adecuadas. Con frecuencia solo se usa el símbolo mu (μ), como por ejemplo 100 micras, que se lee como micro deformación unitaria.

Este tipo de deformación unitaria uniforme también se llama deformación unitaria axial. Así, la deformación unitaria axial se define por la ecuación 1.12:

$$\epsilon = \epsilon_{prom} = \frac{\Delta L}{L} \dots\dots\dots (1.12)$$

No obstante, en ciertas condiciones se puede suponer que la deformación es constante, estas condiciones son:

- 1.- El elemento sometido a tensión debe tener una sección transversal o recta constante.
- 2.- El material debe ser homogéneo.
- 3.- La carga debe ser axial, es decir, producir un esfuerzo uniforme.

1.7.- EL CÁLCULO ELÁSTICO Y SUS LIMITACIONES.

Para establecer las ecuaciones generales que gobiernan el comportamiento mecánico de los sólidos deformables, es necesario complementar las ecuaciones de elasticidad, cinética y dinámica con las ecuaciones que relacionan las tensiones y deformaciones en el entorno del punto.

La deformación también se define cuando actúan fuerzas externas sobre un sólido deformable y varían las posiciones relativas de las partículas que lo componen.

En cuanto a la elasticidad, se puede complementar con las propiedades Micro-estructurales y Macro-estructurales.

1.7.1.- Propiedades micro-estructurales.

1.- Existe linealidad entre tensiones axiales, σ , y deformaciones longitudinales ϵ_x , a través del denominado Módulo de elasticidad longitudinal o de Young, E, así como entre las tensiones tangenciales, τ , aplicadas sobre un entorno del punto (figura 1.6).

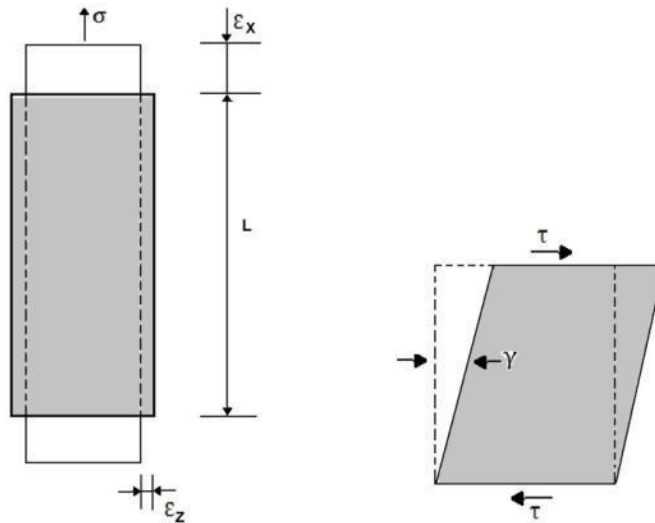


Figura 1.6. Relaciones elásticas micro-estructurales

1.7.2.- Propiedades macro-estructurales.

Conociendo las propiedades de la Elasticidad, en cuanto a la macro-estructura se puede resumir:

1. En el caso de una pieza sometida a tracción, la distribución de tensiones en cualquier sección es uniforme (figura 1.7a).
2. En el caso de flexión pura la distribución de tensiones es lineal, siendo nula en la fibra neutra (figura 1.7b).
3. En la torsión, la distribución de tensiones tangenciales también es lineal (figura 1.7c).
4. En el caso de pandeo producido por compresión, también se considera que la distribución de tensiones es uniforme en cualquier sección (figura 1.7d).

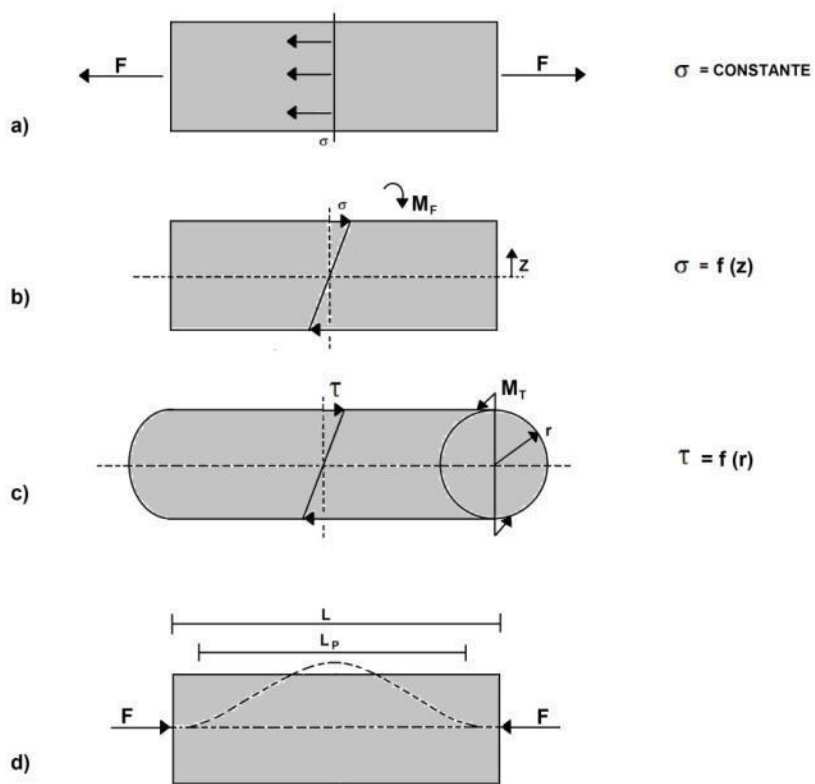


Figura 1.7. Distribución de tensiones en una pieza sometida a fuerzas de: a) Tracción, b) Distribución de tensiones lineales, c) Torsión, d) Pandeo producido por compresión.

1.7.3.- Criterios de aceptabilidad en el dominio elástico.

Durante el diseño y calculo en el dominio elástico se establecen unos valores de tensiones que si son sobrepasados se produce el fallo o, más generalmente, ya no son válidas las hipótesis de cálculo anteriores. Estas condiciones son las siguientes:

1. Tanto en tracción como en compresión, flexión o torsión, las tensiones máximas han de ubicarse en el campo elástico, es decir, han de ser inferiores al límite elástico, en tensión axial, o en cortadura.
2. En el caso de compresión, las fuerzas han de ser también inferiores a la fuerza crítica de inestabilidad por pandeo dado por la ecuación de Euler (ecuación 1.13):

$$F_C = \pi^2 \cdot \frac{I}{L_p^2} \cdot E \dots\dots\dots (1.13)$$

Esta ecuación depende de los siguientes factores:

a. Características geométricas:

I = Momento de inercia de la sección.

L_P = Longitud de cálculo de pandeo correlacionado con la longitud de L .

b. Características resistentes:

E = Módulo de elasticidad.

CAPÍTULO 2

PRUEBA DE TENSIÓN

2.1.- NORMAS ASTM.

La medición de las propiedades mecánicas es un factor esencial para determinar la adaptabilidad de un material específico a función específica. Sin embargo, cuando las propiedades son medidas por diferentes investigadores en diferentes laboratorios, existe la posibilidad de inconsistencias en las técnicas y en los resultados. Buscando reducir este problema, se han establecido normas para llevar a cabo los ensayos, medir los datos y reportar los resultados de manera más estandarizada.

La ASTM International, antes conocida como la American Society for Testing and Materials (ASTM), ha publicado más de 12000 normas para las pruebas de materiales. Aunque el cumplimiento de estas normas es voluntario, éstas proporcionan una descripción detallada de los procedimientos para las pruebas, donde aseguran que los resultados de diferentes laboratorios sean directamente comparables. Las normas ASTM se pueden encontrar y comprar en línea, constan de un libro anual de 77 volúmenes sobre normas.

En la tabla 2.1 se muestra una lista representativa sobre las normas para las técnicas de ensayo principales.

Las normas ASTM se describen con un comentario acerca de su campo, seguida por una lista de documentos requeridos. Definen la terminología y resumen los métodos de ensayo incluyendo el significado, uso e interferencias. La mayoría incluyen una descripción detallada de aparatos de ensayo con ilustraciones. También se proporcionan las instrucciones para preparar especímenes de prueba, la calibración del equipo y el acondicionamiento del ambiente. Así mismo, se proporcionan los procedimientos experimentales detallados y las instrucciones para realizar los cálculos.

TABLA 2.1 NORMAS ASTM más representativas para los métodos de ensayo

TIPO DE ENSAYO	NORMA ASTM CORRESPONDIENTE
Tracción, superficie de concreto	C1355
Tracción, materiales metálicos	E8M
Tracción, compuestos de matriz metálica	D3552
Tracción, compuestos de matriz polimérica	D4762
Tracción, fibras textiles sencillas	D3822
Compresión, metales	E209
Compresión, cerámica de fibras reforzada	WK3484
Compresión, concreto	C116
Compresión, compuestos	D3410
Ensayo de plegado, cerámicas	C1421
Dureza Brinell	E10
Dureza Rockwell	E18
Fluencia, cerámicas	C1291
Fractura de fluencia, metales	E139
Crecimiento de una grieta por fluencia, metales	E1457
Impacto Izod, plásticos mellados	D256
Impacto de Charpi, plásticos mellados	D6110
Prueba de fatiga en materiales homogéneos	E606

2.2.- ENSAYOS PRINCIPALES.

Los 8 ensayos más comunes e importantes realizados en amplia variedad de materiales son: ensayos de tracción o tensión, ensayo de compresión, ensayo de plegado, ensayo de dureza, ensayo de fluencia, ensayo de impacto, ensayo de fatiga y ensayo de envejecimiento acelerado. Incluso en estos 8 ensayos fundamentales existen infinidad de variaciones en la operación dependiendo del equipo disponible, del material a ensayar y de muchos otros factores.

A continuación se muestra un resumen de los 8 ensayos principales, comenzando con el ensayo de tensión.

1. Ensayo de tracción o tensión.

El material de muestra se asegura entre un par de abrazaderas o mordazas. La abrazadera superior está sujeta a una barra fija y a una celda de carga. La abrazadera inferior está sujeta a una barra móvil que lentamente empuja el material hacia abajo. La celda de carga registra la fuerza y extensómetro registra el alargamiento de la muestra.

2. Ensayo de compresión.

Generalmente utiliza el mismo aparato que en el ensayo de tracción, pero en vez de separar la muestra, ésta se encuentra sujeta a una carga aplastante. Varios materiales muestran módulos y resistencias de compresión y tracción similares, por lo que las pruebas de compresión muchas veces no se realizan, excepto en casos en los que se espera que el material soporte grandes fuerzas de compresión. Sin embargo, la resistencia a la compresión de muchos polímeros y compuestos es significativamente diferente de su resistencia a la tracción.

3. Ensayo de plegado.

Se utiliza para probar materiales frágiles y su ductilidad. En el momento que la muestra comienza su deformación bajo una fuerza aplicada, la parte inferior experimenta una fuerza de tracción mientras que la parte superior experimenta una de compresión.

4. Ensayo de dureza.

Existen docenas de técnicas para medir la dureza, pero la más común es el ensayo Brinell, en donde una esfera de carburo de tungsteno de 10mm de diámetro se empuja hacia la superficie del material de ensayo utilizando una fuerza controlada. El tamaño de la hendidura se usa para determinar la dureza del material.

5. **Ensayo de fluencia.**

La fluencia se refiere a la deformación plástica de un material con el paso del tiempo (generalmente a elevadas temperaturas). Cuando una tensión continua se aplica al material a elevadas temperaturas, se podrá estirar hasta fallar bajo la resistencia a la tensión.

Finalmente la fluencia ocurre debido a dislocaciones del material. Muchos materiales, incluyendo algunos polímeros y soldaduras, experimentan fluencia a temperaturas relativamente bajas.

6. **Ensayo de impacto.**

La tenacidad se define como la resistencia del material a un golpe. En un ensayo de impacto, un martillo se asegura a un péndulo a una altura inicial y es liberado. La orientación de la muestra varía dependiendo de las técnicas específicas del ensayo.

7. **Ensayo de fatiga.**

Un material se pasa a través de varios ciclos de tracción y compresión bajo la resistencia a la compresión, hasta que finalmente resulte la falla.

8. **Estudio de envejecimiento acelerado.**

El horizonte de tiempo de la durabilidad de un material se acorta al incrementar la intensidad de la exposición a otras variables como la temperatura. La meta de este estudio es utilizar un tiempo de propiedad equivalente (EPT) para lograr que ocurra el mismo proceso en un tiempo más corto.

2.3.- PRUEBA DE TENSIÓN. DESCRIPCIÓN.

La prueba de tensión es importante dado que las propiedades obtenidas pueden aplicarse al diseño de distintos componentes. Dicha prueba mide la resistencia de un material a una fuerza estática o aplicada de manera lenta. Las rapidezces de deformación en una prueba de tensión por lo general son pequeñas (10^{-4} a 10^{-2} s⁻¹). En la figura 2.1 se muestra una configuración de la prueba; un espécimen común tiene un diámetro de 0.505 pulgadas y una longitud calibrada de 2cm. El espécimen se coloca en la máquina de pruebas y se aplica una fuerza F llamada carga.

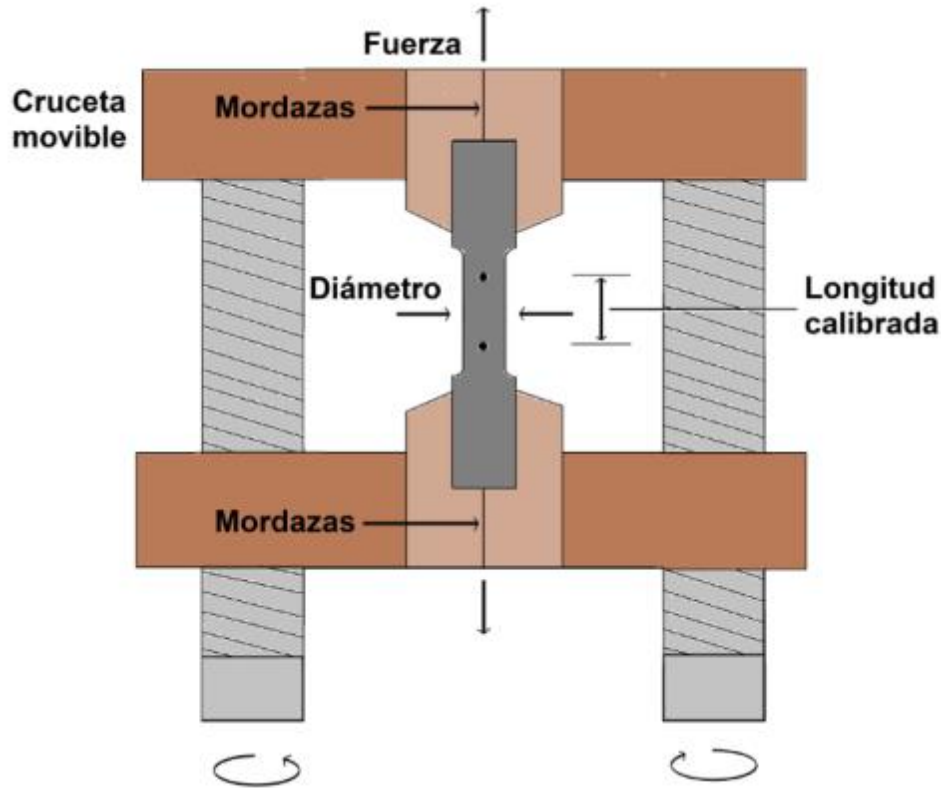


Figura 2.1. Configuración de una prueba de tensión.

Con frecuencia se utiliza una máquina universal de prueba en la que pueden llevarse a cabo pruebas de tensión y compresión. Se utiliza un deformímetro o extensómetro para medir la distancia que se estira el espécimen entre las marcas calibradas cuando se aplica una fuerza. Por tanto, se mide el cambio en longitud del espécimen (Δl) con respecto a la longitud original (l_0). La información que concierne a la resistencia, al módulo de Young y a la ductilidad de un material puede obtenerse a partir de la prueba de tensión. Por lo regular se conduce este tipo de pruebas sobre metales, aleaciones y plásticos. Las pruebas de tensión pueden utilizarse para las cerámicas, sin embargo no son muy populares debido a que la muestra puede fracturarse cuando se está alineando. La siguiente explicación se aplica principalmente a la prueba de tensión de metales y aleaciones.

La figura 2.2 muestra de manera cualitativa las curvas de esfuerzo- deformación unitaria para un:

- a) Metal, b) un material termoplástico, c) elastómero y d) una cerámica o vidrio.

Todos, bajo rapidez de deformación relativamente pequeñas. Las escalas en esta figura son cualitativas y distintas para cada material. En la práctica, la magnitud real de los esfuerzos y deformaciones es muy diferente. Se supone que la temperatura del material termoplástico está por encima de su temperatura de transición vítrea (T_v). También se supone que la temperatura del metal es a la temperatura ambiente. Los materiales cerámicos y termoplásticos muestran una región elástica inicial seguida por una región plástica no lineal. También se incluye una curva separada para los elastómeros (por ejemplo caucho y silicona) dado que el comportamiento de estos materiales es distinto al de otros materiales poliméricos. Para los elastómeros, una gran porción de la deformación es elástica y no lineal. Por otro lado, las cerámicas y los vidrios a temperatura ambiente sólo muestran una región elástica lineal y casi ninguna deformación plástica a temperatura ambiente.

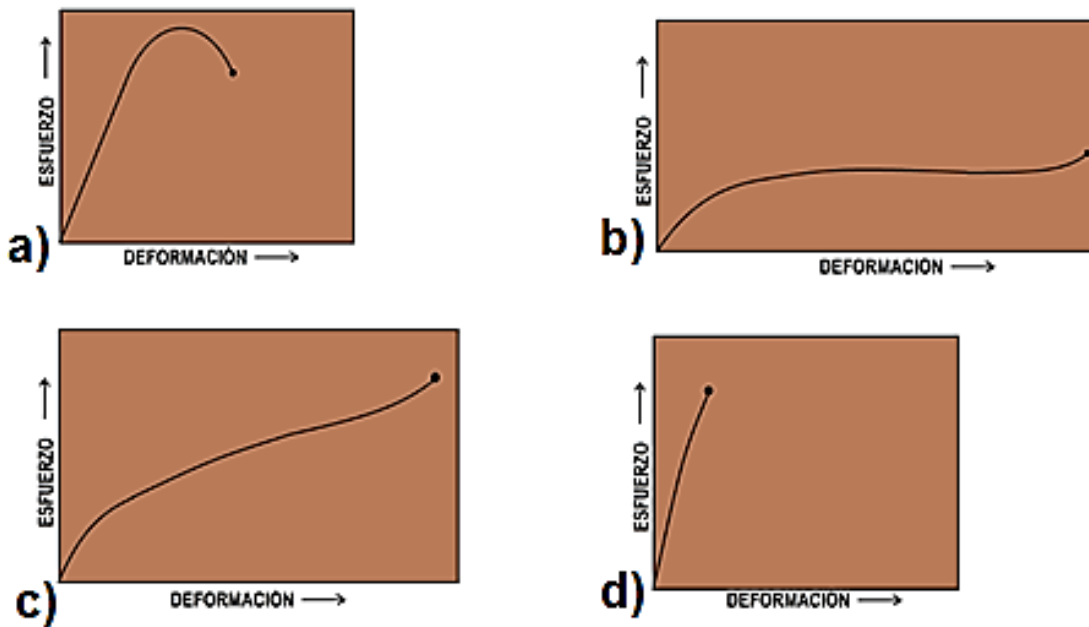


Figura 2.2. Curvas esfuerzo- deformación unitaria para varios materiales.

Cuando se conduce una prueba de tensión, la información registrada incluye la carga o fuerza como una función en cambio de longitud (Δl). Esta información se convierte de manera subsecuente a esfuerzo y deformación. Posteriormente se analiza la curva esfuerzo-deformación unitaria para inferir las propiedades de los materiales (por ejemplo módulo de Young, resistencia a la fluencia, etc).

2.4.- ESFUERZO Y DEFORMACIÓN INGENIERILES.

Los resultados de una sola prueba se aplican a todos los tamaños y secciones transversales de los especímenes para un material dado si se convierte la fuerza a esfuerzo y la distancia entre las marcas calibradas a deformación. El esfuerzo ingenieril y la deformación ingenieril se definen por medio de las siguientes ecuaciones:

$$\text{Esfuerzo ingenieril} = S = \frac{F}{A_0} \dots\dots\dots(2.1)$$

$$\text{Deformación ingenieril} = e = \frac{\Delta l}{l_0} \dots\dots\dots(2.2)$$

Donde A_0 es el área de la sección transversal original del espécimen antes de que comience la prueba, l_0 es la distancia original entre las marcas calibradas y Δl es el cambio en la longitud después de que se aplica la fuerza F .

Se utiliza la curva esfuerzo-deformación (ver figura 2.3) para registrar los resultados de una prueba de tensión.

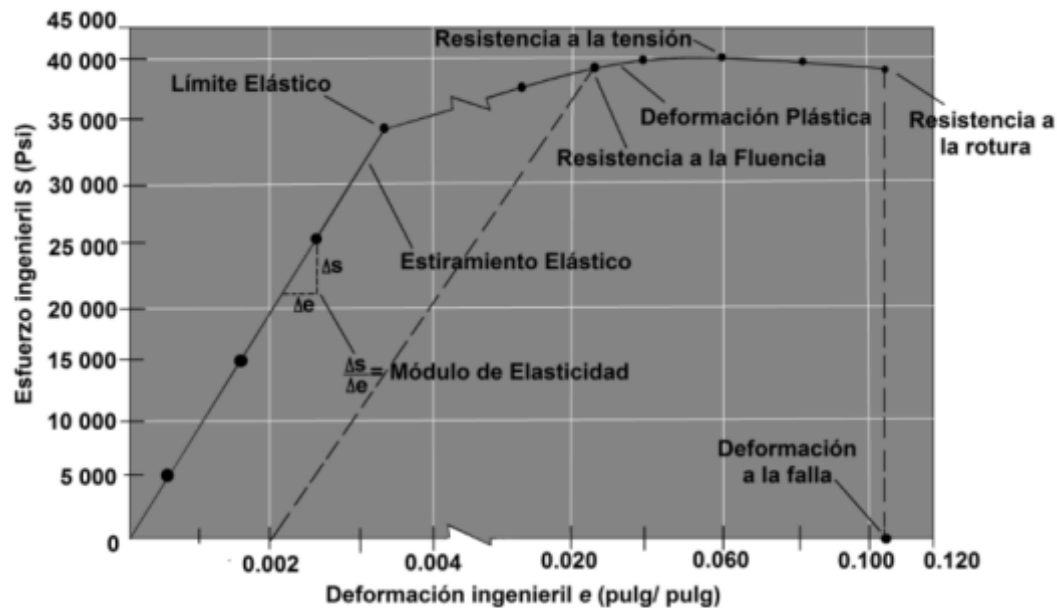


Figura 2.3. Curva esfuerzo- deformación ingenieril para una aleación de aluminio.

2.4.1.- Unidades usadas en pruebas de tensión.

Se utilizan distintas unidades para reportar los resultados de la prueba de tensión. Las unidades más comunes para el esfuerzo son Libras por pulgada cuadrada (psi) y Megapascales (MPa).

Las unidades para la deformación incluyen pulgada/ pulgada, centímetro/ centímetro y metro/ metro y, por tanto, la deformación con frecuencia se escribe sin unidades.

Debido a que la deformación es adimensional, no se requieren factores de conversión para cambiar el sistema de unidades.

2.5.- PROPIEDADES OBTENIDAS A PARTIR DE LA PRUEBA DE TENSIÓN.

2.5.1.- Resistencia a la fluencia.

Cuando se le aplica un esfuerzo a un material, el material exhibe inicialmente una deformación elástica. La deformación que desarrolla se recupera por completo cuando se elimina el esfuerzo aplicado. A medida que se continúa incrementando dicho esfuerzo, el material con el tiempo “fluye” al esfuerzo aplicado y exhibe deformación elástica y plástica. El valor del esfuerzo crítico necesario para iniciar la deformación plástica se define como el límite elástico del material. En los materiales metálicos, por lo regular es el esfuerzo requerido para que se inicie el movimiento de las dislocaciones o deslizamiento. En los materiales poliméricos, este esfuerzo corresponderá al desenredado de las cadenas de las moléculas de polímeros o al deslizamiento de las cadenas entre sí. El límite proporcional se define como el nivel de esfuerzo sobre el cual la relación entre el esfuerzo y la deformación no es lineal.

En la mayoría de los materiales, el límite elástico y el límite proporcional están bastante cercanos; sin embargo, los valores del límite elástico y del límite proporcional pueden determinarse con precisión. Los valores medidos dependen de la sensibilidad del equipo utilizado. Por tanto, se define a un valor de deformación compensado (por lo regular, pero no siempre, de 0.002 o 0.2%). Después se traza una línea que comienza con el valor de deformación compensado y se traza una línea paralela a la porción lineal de la curva esfuerzo-deformación ingenieriles. El valor del esfuerzo que corresponde a la intersección de esta línea y la curva de esfuerzo-deformación ingenieriles se define como la resistencia a la fluencia compensada, también enunciada con frecuencia como la resistencia a la fluencia.

Por ejemplo la resistencia a la fluencia compensada al 0.2% para el hierro colado gris es de 40000 Psi como se muestra en la figura 2.4a. Los ingenieros por lo regular prefieren utilizar la

resistencia a la fluencia compensada para propósitos de diseño debido a que puede determinarse de manera fiable.

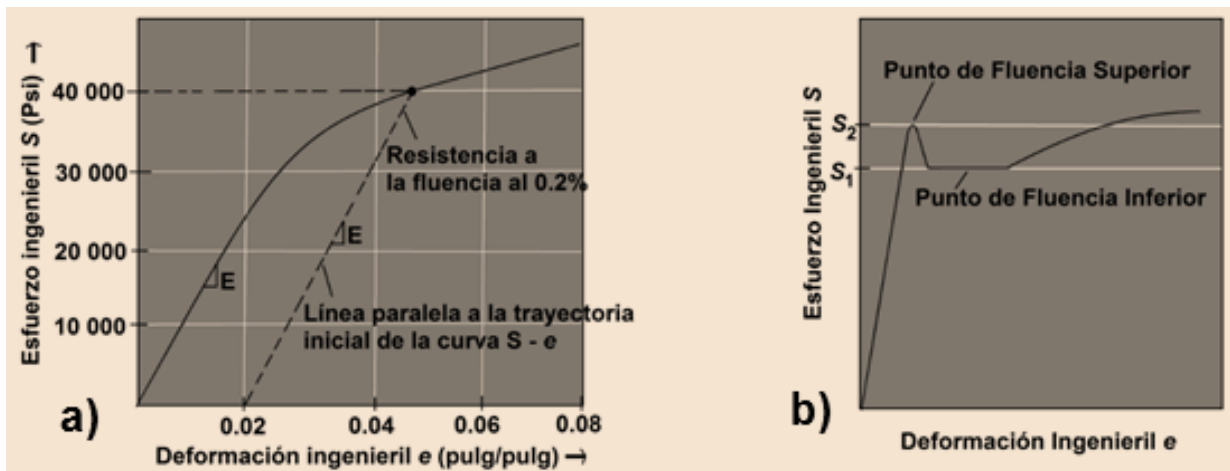


Figura 2.4. a) Determinación de la resistencia a la fluencia al 0.2% en el hierro fundido gris y b) El comportamiento del punto de fluencia superior e inferior en un acero al bajo carbono.

Para algunos materiales la transición de la deformación elástica al flujo plástico es bastante abrupta. Esta transición se le conoce como el fenómeno del punto de fluencia. En estos materiales, a medida que comienza la deformación plástica, el valor del esfuerzo cae primero en el punto de fluencia superior (S_2). El valor del esfuerzo después oscila alrededor de un valor promedio definido como punto de fluencia inferior (S_1). Para estos materiales, la resistencia a la fluencia se define por lo regular a partir de la deformación compensada al 0.2%.

La curva esfuerzo-deformación para ciertos aceros al bajo carbono muestra el fenómeno de punto de fluencia. Se espera que el material se deforme de manera plástica al esfuerzo S_1 ; sin embargo, los átomos intersticiales pequeños aglomerados alrededor de las dislocaciones interfieren con el deslizamiento y elevan el punto de fluencia S_2 . Solo después de que se aplica el esfuerzo más alto S_2 las dislocaciones se deslizan. Después de que comienza el deslizamiento a S_2 , las dislocaciones se alejan de las aglomeraciones de átomos pequeños y continúan moviéndose más rápido al esfuerzo más bajo S_1 (figura 2.4b).

Cuando se diseñan partes para aplicaciones de soporte de carga, se prefiere que haya poca o ninguna deformación plástica. Como resultado se debe seleccionar un material tal que el

esfuerzo de diseño sea considerablemente menor que la resistencia a la fluencia a la temperatura a la que se utilizara el material. También se puede hacer más grande la sección transversal del componente para que la fuerza aplicada produzca un esfuerzo que estará muy por debajo de la resistencia a la fluencia. Por otro lado, cuando se desean moldear materiales y componentes (por ejemplo, tomar una hoja de acero y formar el chasis de un automóvil), se necesita aplicar esfuerzos que estarán muy por encima a la resistencia a la fluencia.

2.5.2.- Resistencia a la Tensión.

El esfuerzo obtenido en la fuerza aplicada más alta es la resistencia a la tensión (S_{Tt}), la cual es el esfuerzo máximo en la curva de esfuerzo-deformación ingenieriles. Este valor es también conocido de manera común como la resistencia máxima a la tracción. En muchos materiales dúctiles, la deformación no permanece uniforme. En algún punto, una región se deforma más que las otras y ocurre un gran decrecimiento local en el área de la sección transversal (figura 2.5). A esta región deformada de manera local se le llama “cuello”. Este fenómeno se le conoce como rebajo (estricción). Debido a que el área de la sección transversal se vuelve más pequeña en este punto, se requiere una fuerza menor para continuar su deformación y el esfuerzo ingenieril calculado a partir del área original A_0 , disminuye. La resistencia a la tensión es el esfuerzo a la que comienza el rebajo en los materiales dúctiles. En la prueba de compresión los materiales se abultaran; por tanto el rebajo solo se observa en una prueba de tensión.

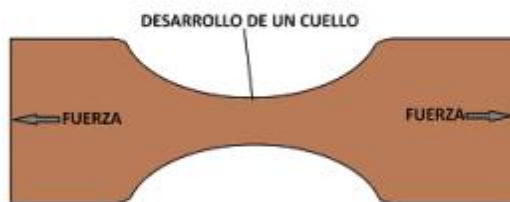


Figura 2.5. Decrecimiento local en el área de la sección transversal.

La figura 2.6 muestra los valores de la resistencia a la fluencia comunes para varios materiales de ingeniería. Los metales ultra puros tienen una resistencia a la fluencia de aproximadamente 1-10 MPa.

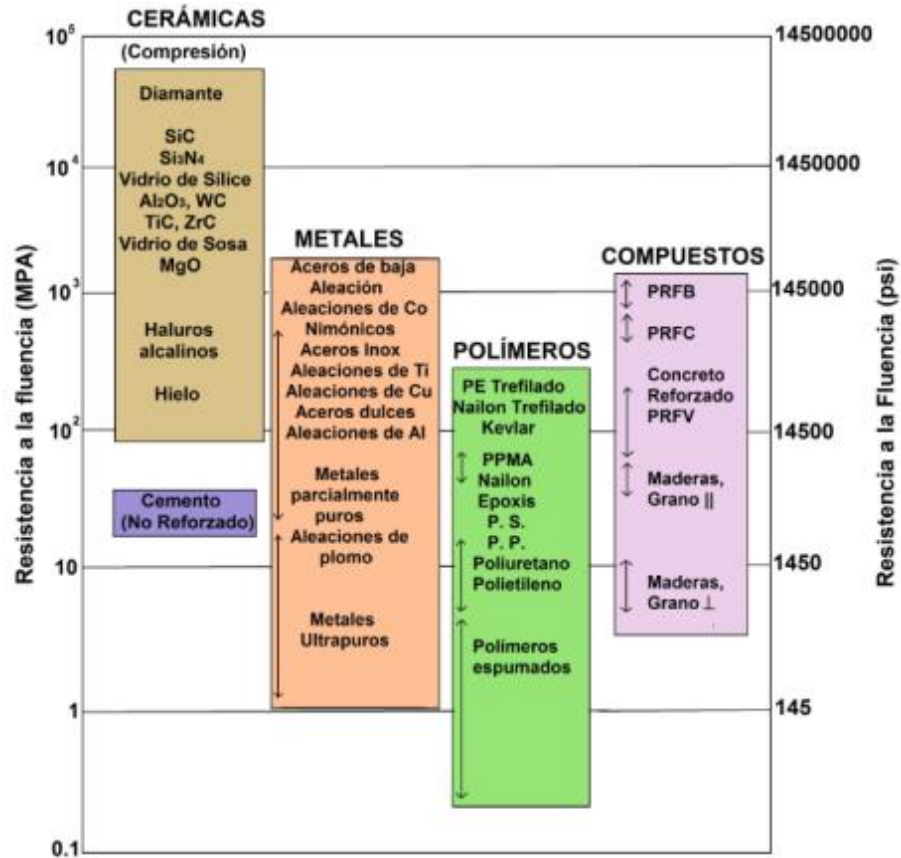


Figura 2.6. Valores de la resistencia a la fluencia comunes para distintos materiales de ingeniería. Los valores mostrados están de MPa y psi.

Por otro lado, la resistencia a la fluencia de las aleaciones es mayor. El endurecimiento en las aleaciones se logra utilizando distintos mecanismos.

La resistencia a la fluencia de un metal o una aleación en particular, por lo general es la misma para la tensión y compresión. La resistencia a la fluencia de los plásticos y elastómeros por lo general es menor que la de los metales y aleaciones, de hasta alrededor de 10-100 MPa. Los valores mostrados en la figura 2.6 para las cerámicas, son respecto a la resistencia de compresión. La resistencia a la tensión de la mayoría de las cerámicas es mucho menor,

aproximadamente 100-200 MPa. La resistencia a la tensión de los vidrios es alrededor de 70 MPa y depende de las fisuras en la superficie.

2.5.3.- Tenacidad a la Tensión.

A la energía absorbida por un material antes de fracturarse se le conoce como tenacidad a la tensión y en algunas ocasiones se mide como el área bajo la curva de esfuerzo-deformación verdaderos (también llamada trabajo de fractura). Dado que es más sencillo medir el esfuerzo-deformación ingenieril, los ingenieros con frecuencia igualan la tenacidad a la tensión con el área bajo la curva de esfuerzo- deformación ingenieriles.

2.6.- PROPIEDADES ELÁSTICAS.

El módulo de elasticidad, o módulo de Young “E”, es la pendiente de la curva esfuerzo-deformación unitaria en la región elástica. A esta relación entre el esfuerzo y la deformación en la región elástica se le conoce como Ley de Hooke:

$$E = \frac{S}{e} \dots \dots \dots (2.3)$$

El módulo de elasticidad está estrechamente relacionado con las energías de unión de los átomos.

Una pendiente pronunciada en la gráfica fuerza-distancia en el espacio de equilibrio, indica que se requieren fuerzas altas para separar los átomos y ocasionar que el material se estire de manera elástica. Por tanto el material tiene un módulo de elasticidad alto.

Las fuerzas de unión, y por tanto el módulo de elasticidad por lo regular son mayores para los materiales con puntos de fusión altos (ver tabla 2.2).

Tabla 2.2 Propiedades elásticas de materiales con puntos de fusión altos.

Material	T_f (°C)	E (psi)	Razón de Poisson (ν)
Pb	327	2.0×10^6	0.45
Mg	650	6.5×10^6	0.29
Al	660	10.0×10^6	0.33
Cu	1085	18.1×10^6	0.36
Fe	1538	30.0×10^6	0.27
W	3410	59.2×10^6	0.28
Al_2O_3	2020	55.0×10^6	0.26
Si_3N_4	1900	44.0×10^6	0.24

En los materiales metálicos el módulo de elasticidad se considera una propiedad “insensible” a la microestructura dado que el valor está dominado por la rigidez de los enlaces atómicos. El tamaño de los granos u otras características micro estructurales no tienen un gran efecto sobre el módulo de Young. Observe que este depende de tales factores como la orientación de un material monocristalino (es decir, depende de la dirección cristalográfica). Para las cerámicas, el módulo de Young depende del nivel de porosidad. El módulo de Young de un compuesto depende de la rigidez y de las cantidades de los componentes individuales.

La rigidez de un componente es proporcional a su módulo de Young. (La rigidez también depende de las dimensiones de los componentes). Un componente con un módulo de elasticidad alto mostrará cambios mucho menores en las dimensiones si el esfuerzo aplicado sólo ocasiona una deformación elástica cuando se compara con un componente con un módulo de elasticidad menor. En la figura 2.7 se muestra una comparación del comportamiento elástico entre el acero y el aluminio. Si se aplica un esfuerzo de 30000 psi a cada material, el acero se deforma de manera elástica 0.001 pulg/pulg; al mismo esfuerzo, el aluminio se deforma 0.003 pulg/pulg. El módulo elástico del acero es casi 3 veces mayor que el del aluminio.

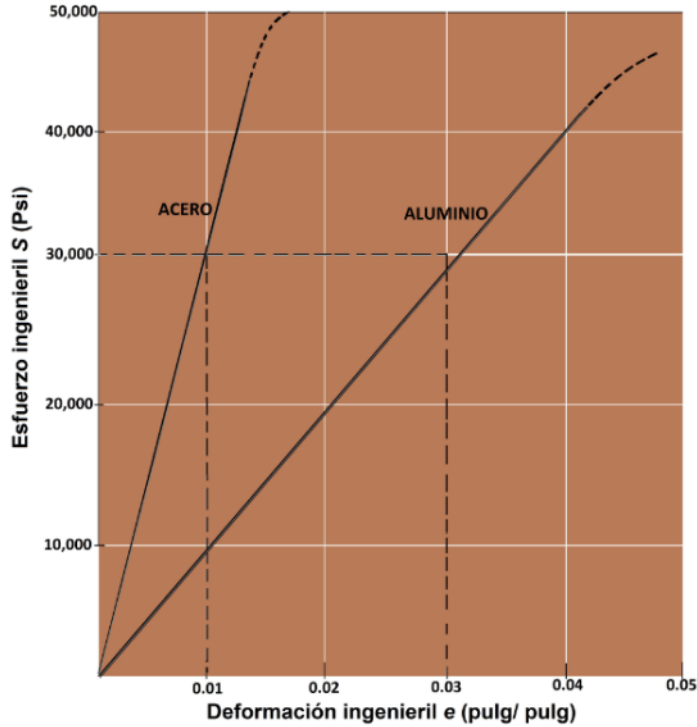


Figura 2.7. Comparación del comportamiento elástico del acero y el aluminio. Para un esfuerzo dado el aluminio se deforma de manera elástica tres veces más que el acero (es decir, el módulo elástico del aluminio es casi tres veces menor que el del acero).

En la figura 2.8 se muestran los intervalos de los módulos elásticos para varios materiales de ingeniería. El módulo de elasticidad de los plásticos es mucho menor que el de los metales o cerámicas y vidrios. Por ejemplo, el módulo de elasticidad del nailon es de 2.7 GPa; el módulo de las fibras de vidrio es de 72 GPa. El módulo de Young de los compuestos como los reforzados con fibras de vidrio (CRFC) se encuentra entre los valores para el polímero de la matriz y la fase de fibra (fibras de carbono o vidrio) y depende de sus fracciones volumétricas relativas. El módulo de Young de muchas aleaciones y cerámicas es más alto, por lo general de hasta 410 Gpa.

La razón de Poisson, “ ν ”, relaciona la deformación elástica longitudinal producida por un esfuerzo de tensión sencillo o un esfuerzo de compresión con la deformación lateral que ocurre de manera simultánea (ver ecuación 2.4).

$$\nu = \frac{-e_{lateral}}{e_{longitudinal}} \dots \dots \dots (2.4)$$

Para muchos metales en la región elástica, la razón de Poisson es por lo general de alrededor de 0.3 (tabla 2.2). Durante una prueba de tensión, la razón aumenta más allá de la fluencia a alrededor de 0.5, dado que durante la deformación plástica, el volumen permanece constante.

Para el módulo de resiliencia (E_r), el área contenida bajo la porción elástica de una curva esfuerzo- deformación, es la energía elástica que absorbe un material durante la carga y que se libera de manera subsecuente cuando se elimina la carga. Para el comportamiento elástico lineal, éste módulo se define como:

$$E_r = \left(\frac{1}{2}\right) (resistencia\ a\ la\ fluencia)(deformación\ en\ la\ fluencia) \dots \dots \dots (2.5)$$

La habilidad de un resorte o de una pelota de golf para desempeñarse de manera satisfactoria depende de un módulo de resiliencia alto.

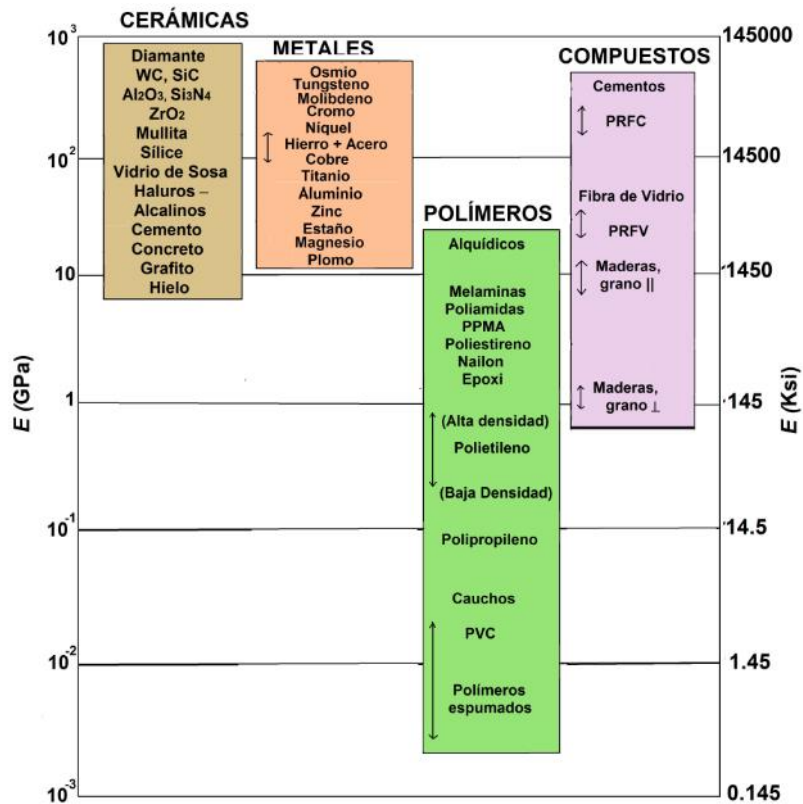


Figura 2.8. Intervalo de módulos elásticos para distintos materiales de ingeniería. Los valores se muestran en GPa y Ksi.

2.7.- DUCTILIDAD.

La ductilidad es la habilidad de un material a deformarse de manera permanente sin romperse cuando se aplica una fuerza. Existen dos medidas comunes de la ductilidad. El porcentaje de elongación cuantifica la deformación plástica permanente en la falla (es decir, no se incluye la deformación elástica recuperada después de la fractura) midiendo la distancia entre las marcas calibradas en el espécimen antes y después de la prueba. Observe que la deformación después de la falla es menor que la deformación en el punto de ruptura, debido a que el esfuerzo elástico se recupera cuando la carga se elimina. El porcentaje de elongación puede escribirse como:

$$\% \text{ de elongación} = \frac{l_f - l_o}{l_o} \times 100 \dots\dots\dots(2.6)$$

Donde l_f es la distancia entre las marcas calibradas después de que el espécimen se rompe.

Un segundo método es medir el cambio porcentual del área de la sección transversal en el punto de fractura antes y después de la prueba. La reducción porcentual en el área describe la cantidad de adelgazamiento experimentado por el espécimen durante la prueba:

$$\% \text{ de reducción en el área} = \frac{A_o - A_f}{A_o} \times 100 \dots\dots\dots(2.7)$$

Donde A_f es el área de la sección transversal final en la superficie de la fractura.

La ductilidad es importante para los diseñadores de componentes de soporte de carga y para los fabricantes de componentes (barras, varillas, alambres, placas, vigas en I, fibras, etc.) que utilizan algún procesamiento de materiales.

CAPÍTULO 3

ESTADO PREVIO DE LA MÁQUINA

Como parte del proyecto de reingeniería de la máquina de prueba de tensión con la que se cuenta en el laboratorio de Tecnología de Materiales, se buscó recuperar la máquina que actualmente se encuentra en desuso debido a diversas fallas presentes, además se busca mejorar el proceso de sujeción de las probetas para la realización de pruebas a través del rediseño de las mordazas de sujeción.

En este capítulo se describen los problemas principales presentes en la máquina y en el capítulo 4 se hace una descripción más detallada del dispositivo, así como sus partes principales y mecanismo de funcionamiento.

A continuación se describen los puntos principales por los cuales fue necesario el proyecto:

- 1.- Falta de mantenimiento general.
- 2.- Fallas en el dispositivo hidráulico
- 3.- Problemas con las mordazas de sujeción.
- 4.- Falta de un dispositivo para sujeción del extensómetro.

3.1.- DESCRIPCIÓN DEL ESTADO PREVIO DE LA MÁQUINA.

La máquina para pruebas de tensión está compuesta de dos partes principales. La estructura superior y la estructura inferior (figura 3.1). En la estructura superior se encuentran las mordazas y es donde se colocan las probetas que se someten a pruebas, además en esta zona se encuentra el dispositivo para medición de la elongación o extensómetro. En la estructura inferior se localiza el gato hidráulico, que es el dispositivo de operación manual que genera la fuerza utilizada en las pruebas, así como el manómetro para medir la fuerza aplicada por el gato hidráulico.



Figura 3.1. Estado previo de la máquina.

Estructura superior.

La estructura superior se compone de dos placas principales unidas por 4 soportes (figura 3.2). En la parte interna de las placas se encuentran colocadas las mordazas que sujetan las probetas para las pruebas. Además, en la placa inferior (placa 3) se encuentra montada la varilla que sirve como soporte del extensómetro.

Estructura inferior.

La estructura inferior consta igualmente de dos placas unidas por 4 soportes (figura 3.2). La placa inferior es la base principal de la máquina, sobre la cual se encuentra montado el gato hidráulico, al accionarlo, éste levanta la placa superior (placa 2) creando la fuerza de tensión en las placas de la estructura superior.



Figura 3.2.- Estructura superior e inferior de la máquina.

El principio del funcionamiento de la máquina se describe a continuación, de acuerdo a la figura 3.3, donde se muestra la nomenclatura de las placas componentes de la máquina.



Figura 3.3.- Nomenclatura de las placas componentes de la máquina.

- a) Las placas 1 y 3 se encuentran unidas por 4 soportes y la distancia entre éstas es siempre constante. Los soportes atraviesan la placa 2.
- b) Las placas 2 y 4 también se encuentran unidas por 4 soportes que atraviesan la placa 3. La distancia entre las placas 2 y 4 es siempre constante.
- c) Al accionar el gato hidráulico se eleva la placa 2, por ende levantando la placa 4 que es donde se encuentran las mordazas superiores, mientras que las placas 1 y 3 permanecen siempre estáticas.
- d) Al elevarse la placa 4, ésta se separa con respecto a la placa 3 que permanece sin moverse, creando la fuerza de tensión o separación (ver figura 3.4).

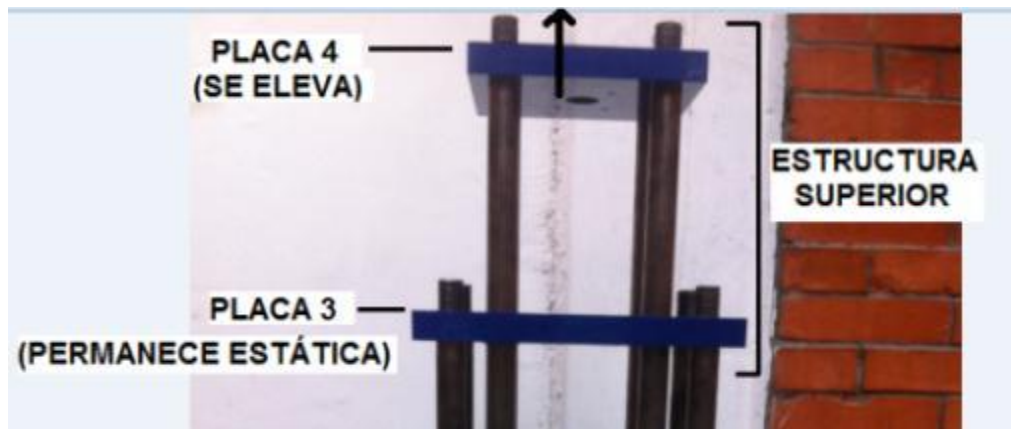


Figura 3.4.- Funcionamiento de las placas en la estructura superior.

La fuerza aplicada a través del accionamiento del gato hidráulico, genera la separación de las placas 3 y 4. Sobre estas placas se encuentran montadas las mordazas de sujeción, las cuales mantienen las probetas y aplican la fuerza, éstas se separan en forma transversal, alargando las probetas usadas en las pruebas.

3.2.- FALTA DE MANTENIMIENTO GENERAL.

Por motivos del tiempo en desuso debido a los problemas mencionados en la máquina, ésta presentaba mala apariencia a causa de problemas de deterioro en las placas principales, así como en los soportes principales.

3.2.1.- Deterioro de materiales metálicos.

Todos los materiales sufren deterioro bajo ciertas condiciones de servicio o ambientales determinados, que deben evitarse para prolongar al máximo su vida útil.

En los metales, como en este caso toda la estructura de la máquina, se presenta el desgaste y corrosión.

El desgaste es el daño superficial sufrido por los materiales después de determinadas condiciones de trabajo a los que son sometidos. Este fenómeno se manifiesta por lo general en las superficies de los materiales, llegando a afectar la sub- superficie.

El resultado del desgaste puede llegar a ser la pérdida de material y la subsiguiente disminución de las dimensiones, aunque éstas pueden ser mínimas o despreciables. En este caso, el desgaste sobre las superficies de los componentes de la máquina como las placas, no afecta su funcionalidad después del acondicionamiento.

Algunos criterios para prevenir o combatir desgaste en máquinas o dispositivos son los siguientes:

1. Mantener baja presión de contacto entre piezas.
2. Mantener baja velocidad de deslizamiento.
3. Mantener lisas las superficies de rodamientos.
4. Usar materiales duros.
5. Asegurar bajos coeficientes de fricción.
6. Usar lubricantes.

Estos son algunos métodos o sugerencias aplicables a máquinas que pueden ser usadas en el laboratorio y que pueden ayudar a prolongar la vida útil de éstas.

En cuanto al tema de corrosión, ésta se puede definir como el deterioro que sufre un material metálico en sus propiedades debido a una reacción con el medio, el fenómeno no siempre involucra un cambio de peso o deterioro visible.

La tendencia de los metales a corroerse es un hecho natural y permanente, el problema radica en controlar este efecto de la mejor manera posible.

Algunos métodos preventivos propuestos para minimizar la corrosión presente en las partes componentes de la máquina y acciones que se realizaron para el acondicionamiento de la máquina son:

- Eliminación de capas corroídas superficiales a través de lijado de las superficies.

Eliminar capas con óxido mediante el lijado de las superficies afectadas.

- Colocar una barrera entre el material y el ambiente.

Después de tener una superficie limpia se busca proteger la capa superficial a partir de una capa de pintura que aporte una mejor resistencia al medio ambiente y máxima durabilidad de las superficies para prevenir el proceso de corrosión.

3.3.- FALLAS EN EL DISPOSITIVO HIDRÁULICO.

Un problema inicial encontrado en uno de los elementos principales de la máquina se localizaba en el dispositivo de accionamiento de la carga, donde el gato hidráulico, necesario para la realización de las pruebas presentaba una fuga de aceite, lo que imposibilitaba su correcto funcionamiento (ver figura 3.5).



Figura 3.5.- Gato hidráulico en mal estado.

3.3.1.- Problema de pérdida de líquido (fuga de aceite).

El problema de fuga era visible debido a la acumulación de aceite (un pequeño charco) alrededor de la base del gato hidráulico.

Muchas veces la solución se encuentra en simplemente asegurar o apretar correctamente el tornillo de llenado. En otros casos los sellos internos pueden verse comprometidos.

La mayoría de los gatos modernos y como en este caso, el modelo con el que se cuenta de la marca Nike, utilizan una serie de sellos de uretano para sostener el interior del líquido. Algunos gatos hidráulicos más viejos utilizan una serie de anillos de empaque o de cuerda.

Este tipo de sellos tienen tendencia a fallar con el tiempo, si no se presenta el mantenimiento adecuado o indicado por el proveedor en sus instructivos de manejo.

Como solución a éste problema se realizó la sustitución de los sellos internos, para así tener el dispositivo en correcto funcionamiento.

Como cuidados generales para el mantenimiento del dispositivo también se propone:

- Mantener el pistón de interior del gato lo más limpio posible. La larga exposición al aire libre del acero descubierto puede causar que el pistón se oxide.
- Mantener el pistón en el interior del gato cuando no esté en uso.
- No utilizar líquido de frenos como aceite hidráulico. El líquido de frenos contiene alcohol y arruinará los sellos internos, por lo que se propone el uso exclusivamente de aceite hidráulico indicado por fabricante. En este caso se recomienda el uso de aceite de grado SAE 30 o aceite SAE 20.

3.4.- PROBLEMAS CON LAS MORDAZAS DE SUJECIÓN.

En general el dispositivo de mordazas presentaba problemas debido a la forma en que se sujetan las probetas, ya que no presenta un mecanismo de amarre, sino solamente al colocar las probetas, éstas estaban superpuestas dentro de la mordaza pero no sujetas de algún modo. La sujeción se produce debido a que la probeta ocupa el espacio o molde interior dentro de la mordaza. En la Figura 3.6 se muestra el juego de mordazas superior e inferior que anteriormente se usaban.

Otro problema que se buscó resolver, es la restricción en la variación del tamaño de las probetas que pueden ser utilizadas. Con éste modelo únicamente se puede utilizar un tamaño de probetas, que depende principalmente de las dimensiones interiores de las mordazas.

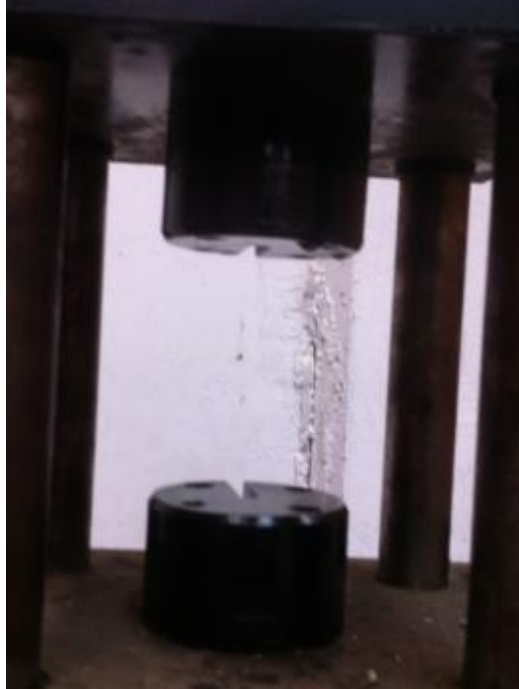


Figura 3.6. Juego anterior de mordazas.

Las dos mordazas, superior e inferior tienen las mismas dimensiones y pueden ser intercambiables (figuras 3.7 y 3.8).



Figura 3.7. Mordaza inferior.



Figura 3.8. Mordaza superior.

Como se puede apreciar en las imágenes 3.7 y 3.8, las probetas simplemente se introducen en la mordaza pero no están realmente fijadas a presión o no presentan un modo mediante el cual se sujeten a la mordaza, solamente la forma de molde interior de la mordaza es lo que mantiene la probeta fija, por lo que la probeta forzosamente tiene que ser de las medidas exactas de acuerdo a las mordazas.

3.5.- FALTA DE UN DISPOSITIVO PARA SUJECCIÓN DEL EXTENSÓMETRO.

La parte superior de la máquina, presenta una varilla sobre la cual debe estar montado el dispositivo extensómetro, por lo que se buscó la forma de diseñar un soporte que pueda sujetar el extensómetro a la varilla para poder mantener el extensómetro fijo y de este modo realizar las mediciones (figura 3.9).



Figura 3.9.- Varilla de sujeción del extensómetro.

CAPÍTULO 4

DESCRIPCIÓN GENERAL DEL DISPOSITIVO Y PROCESO DE RE- INGENIERÍA DE LAS MORDAZAS.

4.1.- COMPONENTES PRINCIPALES DE LA MÁQUINA.

La máquina para pruebas de tensión está compuesta de dos partes principales. La estructura superior y la estructura inferior (figura 4.1). En la estructura superior se encuentran las mordazas y es donde se colocan las probetas que se someterán a la prueba, además en esta zona se encuentra el dispositivo para medición de la elongación o extensómetro. En la estructura inferior se localiza el gato hidráulico, que es el dispositivo de operación manual que genera la fuerza utilizada en las pruebas, así como el manómetro para medir la fuerza aplicada por el gato hidráulico.

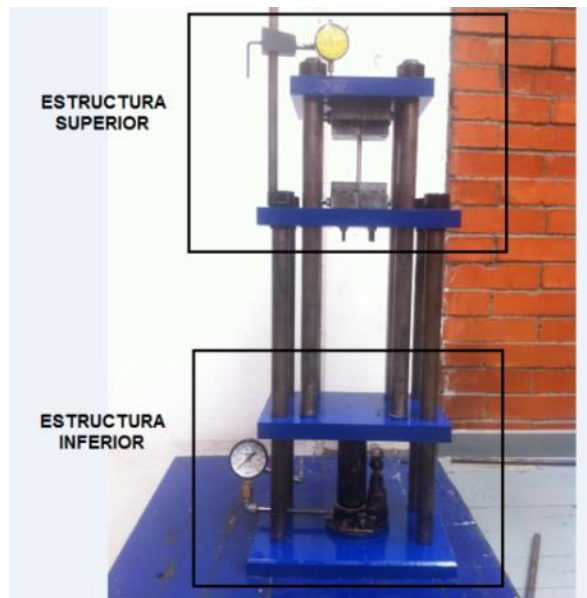


Figura 4.1.- Componentes principales de la máquina.

Estructura superior.

La estructura superior se compone de dos placas principales unidas por 4 soportes (figura 4.2). En la parte interna de las placas se encuentran colocadas las mordazas que sujetan las probetas

para las pruebas. Además, en la placa inferior se encuentra montada la varilla que sirve como soporte del extensómetro.



Figura 4.2.- Estructura superior.

Estructura inferior.

La estructura inferior consta igualmente de dos placas unidas por 4 soportes (figura 4.3). La placa inferior es la base principal de la máquina, sobre la cual se encuentra montado el gato hidráulico, al accionarlo, éste levanta la placa superior creando la fuerza de tensión en las placas de la estructura superior.



Figura 4.3.- Componentes de la estructura inferior.

Aditamentos.

Las dos estructuras principales (superior e inferior) son la base principal de la máquina, pero hay otros elementos que posibilitan su funcionamiento.

Son elementos necesarios con funciones primordiales en el desarrollo de la práctica de prueba de tensión, por lo que se menciona su descripción detallada.

Son 3 dispositivos:

- 1.- Gato Hidráulico.
- 2.- Mordazas de sujeción.
- 3.- Dispositivo de medición de elongación (Extensómetro).

4.1.1.- Gato hidráulico.

Es el dispositivo de operación manual que genera la fuerza necesaria para elevar la placa superior de la estructura inferior (placa 2) y de este modo separar las placas de la parte superior generando que las mordazas logren la tracción en las probetas (figura 4.4).



Figura 4.4.- Gato hidráulico con conexión para manómetro.

El principio del funcionamiento de la máquina se describió en el capítulo 3, donde se menciona la forma en que las placas al separarse a través de la aplicación de cargas mediante el gato hidráulico provocan la deformación en las probetas (figura 4.5).



Figura 4.5.- Placas componentes de la máquina.

El gato hidráulico marca “Nike”, modelo “13HK”, puede generar una fuerza máxima de 2 toneladas y fue necesaria una adaptación para instalar el manómetro de carátula con el fin de visualizar la fuerza aplicada y poder obtener el valor de la presión que provoca la separación de las placas.

4.1.2.- Mordazas de sujeción.

Las mordazas son dispositivos que mediante un mecanismo de apriete por compactación o cualquier otro tipo, permiten sujetar por fricción una pieza presionándola en forma de mandíbulas de manera continua.

Estas herramientas permiten la sujeción de piezas de formas especiales y tamaños variables.

Su principio de funcionamiento se basa en que permiten ajustar la separación entre las mandíbulas para adaptarlas al tamaño de la pieza. Algunas disponen de mecanismos que permiten seguir presionando las piezas sin aplicar fuerza sobre sus empuñaduras, en este caso, las mordazas están unidas por tornillos con tuerca.

Las mordazas son la parte esencial de la máquina, cuyo proceso de diseño fue necesario para una manipulación correcta y más sencilla de las probetas durante las pruebas.

En la sección 4.2 se describe el proceso de diseño de las mordazas utilizadas para la máquina.

El juego de mordazas consta de dos piezas en la parte superior y dos piezas en la parte inferior, las cuales sujetan la probeta en cada uno de sus extremos.

En la figura 4.6a se puede apreciar el sistema de mordazas en su máxima separación para poder insertar la mordaza y en la figura 4.6b se aprecia el sistema cerrado.

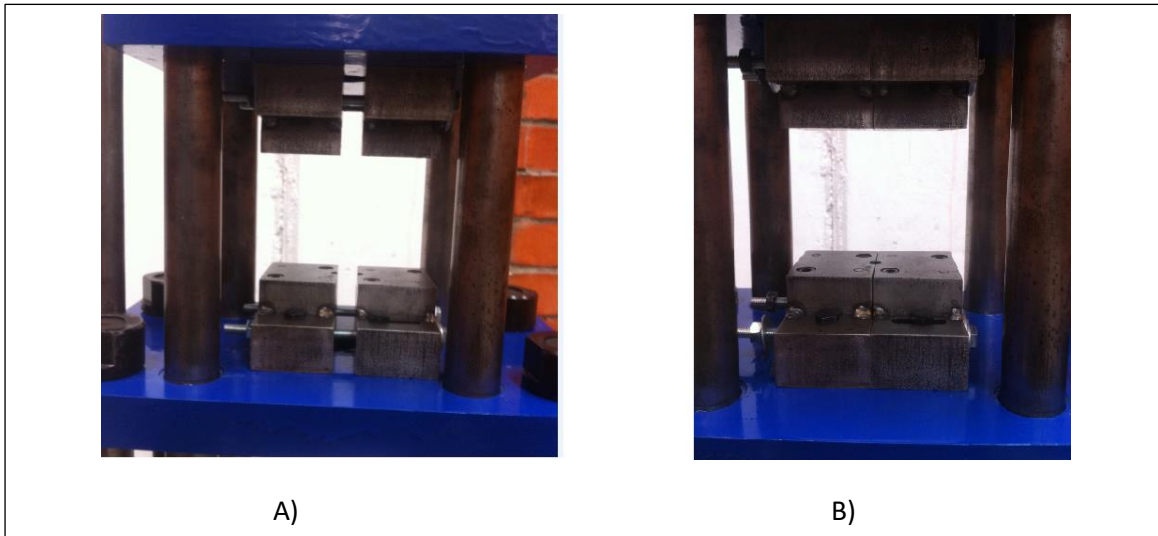


Figura 4.6. Sistema de nuevas mordazas.

Las mordazas de la parte superior están sujetas en la placa 4 por medio de tornillos de cabeza hexagonal de alta resistencia de 5/16" x 2 3/4" de largo (figura 4.7), permitiendo la movilidad para separar y cerrar las mordazas, ajustándolas a la medida de la probeta utilizada.



Figura 4.7. Vistas de las mordazas superiores.

Las mordazas de la parte inferior están sujetas en la placa 3. En la figura 4.8 se muestran las piezas atornilladas y montadas en la placa.

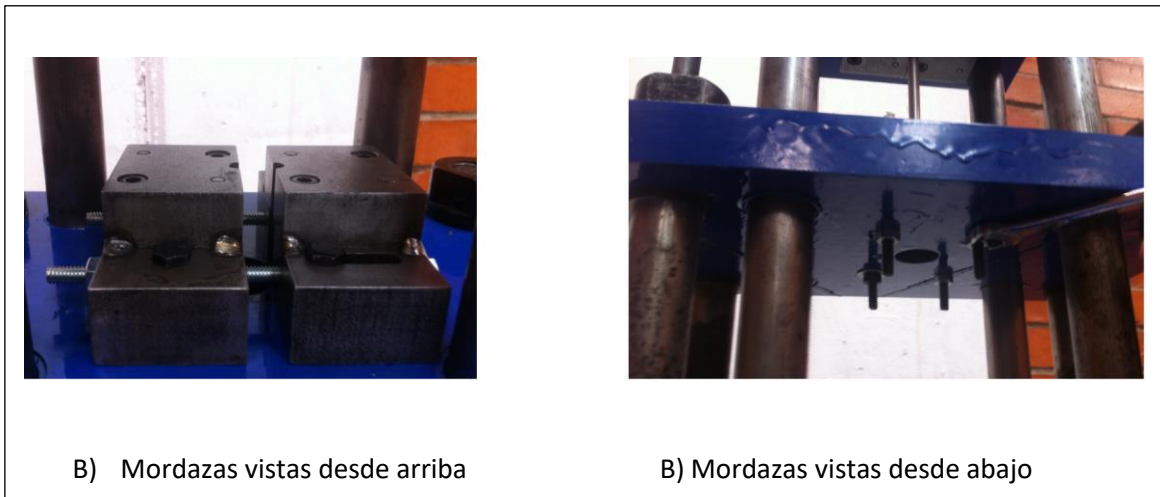


Figura 4.8.- Vistas de las mordazas inferiores.

4.1.3.- Dispositivo de medición “extensómetro”.

La varilla sobre la cual se coloca el dispositivo, está colocada sobre la placa 3. Ésta sirve como soporte del extensómetro, el cual marca la distancia que la placa superior (placa 4) se eleva con respecto a la placa inferior (placa 3), mostrando de este modo la elongación que se produce en la probeta (figura 4.9).



Figura 4.9. Varilla de sujeción del extensómetro sobre la placa 3.

El extensómetro utilizado en las prácticas es de la marca Mitutoyo, es un indicador dial modelo 2050-11.

También conocido como indicador de carátula, es un instrumento de medición que transforma movimientos lineales de un husillo móvil en movimientos circulares de un puntero. El movimiento del husillo se amplifica mediante un tren de engranes que mueven en forma angular una aguja indicadora sobre la carátula del dispositivo. La aguja indicadora puede dar tantas vueltas como lo permita el mecanismo de medición del aparato. El dispositivo no entrega valores de mediciones sino que entrega variaciones de mediciones, su exactitud está relacionada con el tipo de medidas que se desea comparar, suelen medir rangos de 0,25 mm a 300 mm (0,015 a 12,0) con resoluciones de 0,001 mm a 0,01 mm o de 0,00005 a 0,001.

El indicador usado durante la práctica es de tipo análogo y tiene una resolución de 0.01 mm.

Al ser un instrumento de comparación, es necesario que durante su uso esté sólidamente sujeto a una base de referencia, para tal efecto se usa el soporte especial con el cual se sujeta a la varilla colocada en la placa 3.

En la figura 4.10 se muestran las partes principales del extensómetro.

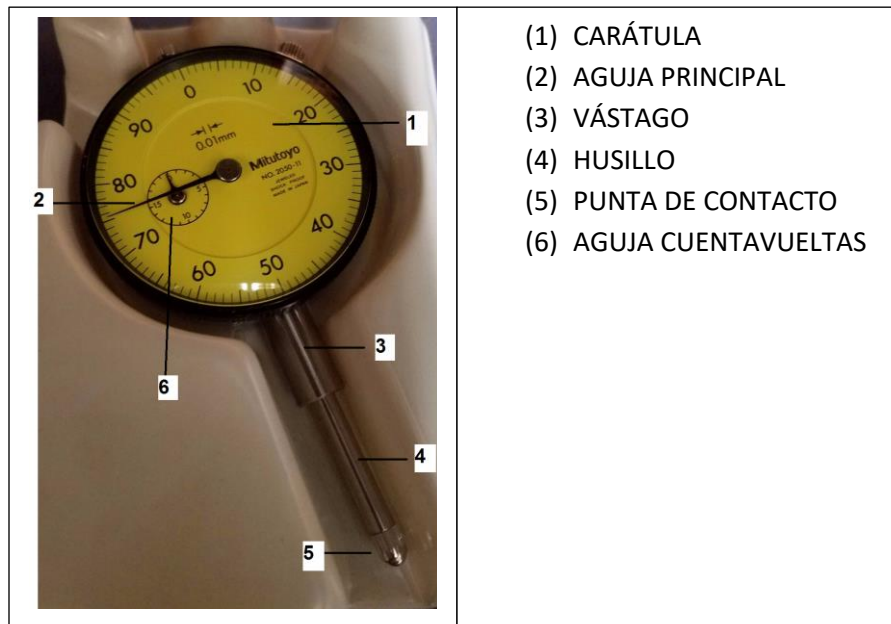


Figura 4.10. Partes principales del extensómetro.

El extensómetro está colocado sobre la varilla de sujeción como se mostró en la figura 4.9, a través de una pieza que puede ser ajustada al diámetro de la varilla moviéndose transversalmente sobre ésta y sujetándose mediante un tornillo allen de acuerdo a la medida necesaria para que el extensómetro pueda marcar “ceros” y de este modo realizar las mediciones de elongación (ver figura 4.11).



Figura 4.11. Pieza para sujeción del extensómetro.

4.2.- PROCESO DE REINGENIERÍA DE LAS MORDAZAS.

4.2.1.- Selección de materiales y diseño de nuevas mordazas.

Se planteó realizar un diseño que sea económico y funcional, considerando que las mordazas son una parte fundamental en la máquina.

Para el proceso de elaboración de las piezas se seleccionaron materiales de bajo precio y accesibles, en este caso, las mordazas están realizadas en acero 1018 “cold rolled”.

De acuerdo a la nomenclatura, el acero AISI-SAE 1018 cold rolled es un acero de bajo a medio carbón cuyas características principales son su buena soldabilidad y su ligeramente mejor maquinabilidad que los aceros con grados menores de carbón.

El tipo “cold rolled” se define de este modo debido a su proceso de laminación, que es el proceso mediante el cual se hace pasar un objeto de metal por un par de rodillos, presentado un proceso de estirado en frío, corte a medida y enderezado. Con esto se eleva la dureza del material y su resistencia a la tensión, por lo que se permite obtener calibres delgados con excelentes propiedades de excelente aptitud al conformado y buen aspecto superficial.

El juego de mordazas consta de 4 piezas, dos mordazas superiores y dos mordazas inferiores que se unen mediante tornillos sujetos con roldanas y tuercas, rodeando de este modo la probeta para crear la fuerza de sujeción. En la figura 4.12 se puede apreciar con las flechas la

fuerza aplicada sobre la probeta. Los tornillos horizontales usados son de alta resistencia de 5/16" x 5" de largo.



Figura 4.12. Fuerzas aplicadas sobre la probeta.

Cabe recalcar que las mordazas superiores son exactamente las mismas que las mordazas inferiores. Dentro de cada juego de mordazas, se pueden distinguir dos piezas diferentes. La pieza 1 y la pieza 2 (en la figura 4.13 se muestran las mordazas inferiores, mostrando cada una de las piezas).

La pieza 2 tiene las mismas medidas que la pieza 1, la única diferencia es el hojal que presenta transversalmente, y que a diferencia del barreno presente en la pieza 1, el hojal sirve para recorrer la mordaza sobre la placa a la que se sujeta de acuerdo a las distancias necesarias para colocar y ajustar la probeta. Mientras que las piezas 1, tanto superior como inferior se encuentran sujetas y fijas a las placas superior e inferior respectivamente restringiendo su movimiento.



Figura 4.13. Mordazas inferiores.

Las 4 piezas (1a, 1b, 2a y 2b) forman en conjunto el juego de mordazas, como se mencionó las piezas “1” (1a y 1b) pueden ser intercambiables entre sí, del mismo modo que las piezas “2” (2a y 2b) como se aprecia en la figura 4.14.



Figura 4.14. Nomenclatura del juego de mordazas.

4.2.2.- Diseño de piezas individuales para formar la mordaza.

Para buscar una mejor sujeción en las probetas, cada pieza principal tiene una muesca en forma de “V” en el centro, formando un cuadrado que sujeta la probeta circular, creando una mayor presión y manteniendo la probeta en su lugar (figura 4.15).

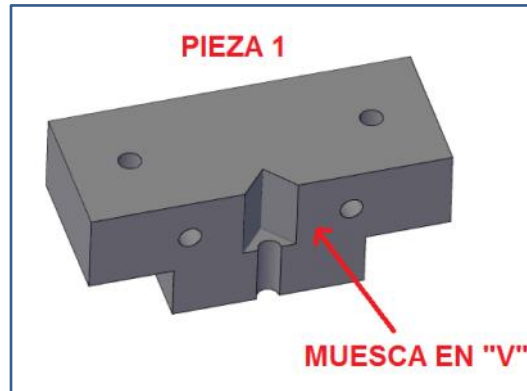


Figura 4.15. Dibujo CAD de la pieza 1.

Cada pieza se diseñó en dos partes, la forma escalonada consta de una pequeña placa superior sobre la cual en un extremo presenta la forma de muesca en “V”.

La otra pieza es una placa de menor tamaño que presenta una muesca circular, la cual también ejerce presión y mantiene en su lugar el diámetro interno de la probeta. En la figura 4.16 se aprecian las partes componentes ya unidas en la mordaza.

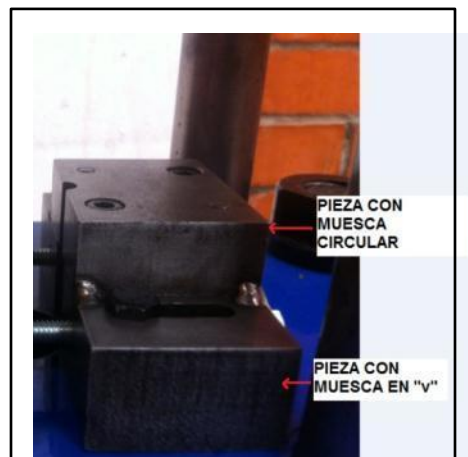


Figura 4.16. Pieza 2 con ojal y sus componentes.

Las dos piezas están unidas a presión mediante tornillos “allen” de alta resistencia, los cuales se caracterizan por que la cabeza del tornillo está dotada de un hueco axial para ser manejado con una llave allen. Los tornillos están puestos a presión y de manera interna sobre las placas para mejorar el amarre entre éstas impidiendo el movimiento entre las piezas unidas. En la figura 4.17 se muestra la configuración de los 8 tornillos que unen las 2 partes componentes de cada pieza.

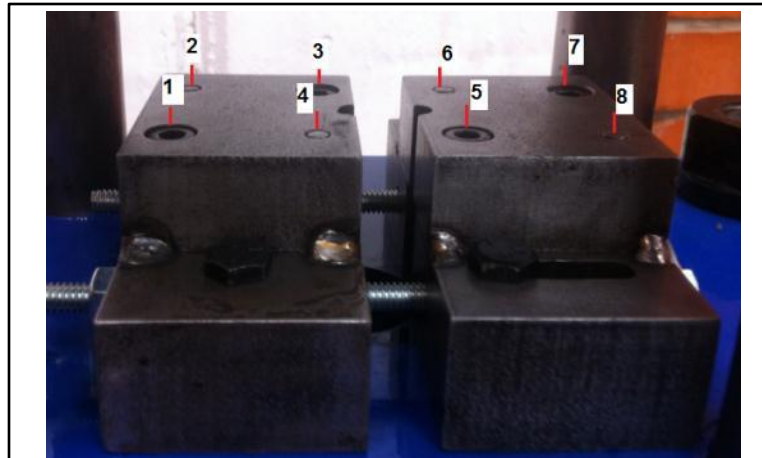


Figura 4.17. Tornillos allen componentes de cada pieza.


También conocidos como tornillos de cabeza cilíndrica con hexágono interior (allen) son comúnmente usados en uniones que necesitan grandes aprietes, en este caso las piezas lo requieren (figura 4.18). Debido a que el espacio es muy estrecho y al estar en contacto las superficies de las mordazas con las placas, se buscó que la cabeza del tornillo quede oculta, aplicando en las piezas un proceso de avellanado cilíndrico al agujero.



Figura 4.18. Tornillo allen.

En la tabla 4.1 se muestran las medidas comerciales de los tornillos allen usados en la industria.

Tabla 4.1. Medidas comerciales en tornillos allen.



1/4x1/2	5/16x1/2					
1/4x3/4	5/16x3/4	3/18x1/2				
1/4x1	5/16x1	3/8x3/4				
1/4x1 1/4	5/16x1 1/4	3/8x1	7/16x1	1/2x1		
1/4x1 1/2	5/16x1 1/2	3/8x1 1/4	7/16x1 1/4	1/2x1 1/4		
1/4x1 3/4	5/16x2	3/8x1 1/2	7/16x1 1/2	1/2x1 1/2	5/8x1 1/2	
1/4x2	5/16x2 1/2	3/8x2	7/16x2	1/2x2	5/8x2	3/4x2
1/4x2 1/2	5/16x3	3/8x2 1/2	7/16x2 1/2	1/2x2 1/2	5/8x2 1/2	3/4x2 1/2
1/4x3	5/16x3 1/2	3/8x3	7/16x3	1/2x3	5/8x3	3/4x3
1/4x3 1/2	5/16x4	3/8x3 1/2	7/16x3 1/2	1/2x3 1/2	5/8x3 1/2	3/4x3 1/2
1/4x4	5/16x4 1/2	3/8x4	7/16x4	1/2x4	5/8x4	3/4x4
1/4x5	5/16x5	3/8x5	7/16x5	1/2x5	5/8x5	3/4x5
1/4x6	5/16x6	3/8x6	7/16x6	1/2x6	5/8x6	3/4x6

4.2.3.- Proceso de cementado para mejora de propiedades físicas.

Con el objetivo de aumentar la resistencia de las mordazas y buscando que éstas tengan una superficie dura y resistente al desgaste, las piezas fueron sometidas a un proceso de cementación, el cual consiste en aumentar el contenido de carbono en la superficie de las piezas de acero mediante la exposición a un medio carburante manteniéndolas cierto tiempo a elevadas temperaturas (900°C a 950°C).

La capa de cementado en las piezas es de 1.2mm. A continuación se describen los espesores normalmente empleados en la industria.

A) Capas de menos de 0.5 mm de espesor.

Generalmente estas profundidades de cementación se utilizan para piezas pequeñas de acero al carbono, las cuales pueden ser endurecidas con sales de cianuro y templadas directamente desde la temperatura de cementación.

B) Capas entre 0.5mm a 1.5mm.

La capa presente en las mordazas tiene una profundidad de 1.2mm lo cual la sitúa en esta clasificación. Estos espesores son los más comúnmente empleados para la mayoría de las piezas que se emplean en la fabricación de máquinas y motores. Estas capas pueden ser empleadas en aceros de bajo carbono, débilmente aleados o de alta aleación y suelen utilizarse cementantes líquidos, sólidos o gaseosos.

C) Capas superiores a 1.5mm de espesor.

Generalmente se utilizan cementantes sólidos y gaseosos, las capas con estos espesores no son muy comunes.

4.2.4. Soldadura y unión de las piezas componentes de las mordazas.

Debido a que cada pieza se compone por otras 2 piezas pequeñas unidas a presión mediante tornillos allen, se buscó otra forma para prevenir que éstas puedan separarse debido a la fuerza de tensión existente entre las piezas al realizar las pruebas.

Se aplicaron 4 puntos de soldadura para temple, en cada pieza en los extremos de las uniones buscando con esto una mejor estabilidad en las piezas y que funcionen sin que lleguen a fallar. En la figura 4.19 se pueden apreciar los 4 puntos de soldadura frontales, los cuales también están presentes en la parte trasera de cada una de las piezas. Estos se colocaron en cada una de las esquinas donde se unen las dos piezas.

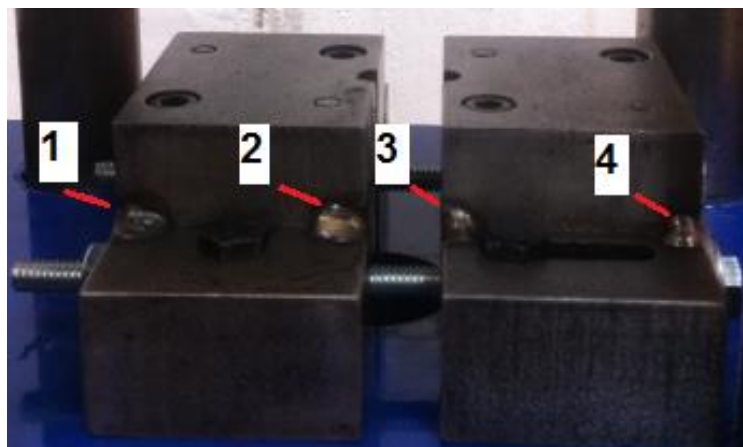


Figura 4.19. Puntos de soldadura para reforzar unión de las piezas.

Generalmente soldar aceros templados y revenidos puede ser difícil debido a su alta resistencia y endurecimiento.

Como precauciones durante el proceso de soldadura y para evitar cordones retrasados o fisuras se debe considerar:

- Utilizar consumibles de bajo hidrógeno (tales como H4 o H2) para evitar debilidad por hidrógeno en la pieza.
- Precalear. Lo cual reduce la velocidad de enfriamiento, pero también se debe considerar que el exceso de precalentamiento puede recocer el material de base.
- Se deben martillar los cordones de soldadura, en este caso sólo se aplicaron puntos. El martilleo sirve para reducir las tensiones residuales de soldadura.

Para la soldadura se emplearon electrodos Eutectrode 680, los cuales se caracterizan por su alto tenor de cromo y níquel (ver figura 4.20).



Figura 4.20. Electrodo de la marca Eutectrode 680.

Esta soldadura presenta alta resistencia a la corrosión y temperatura, es utilizada en unión de aceros especiales, altamente aleados, al manganeso y todo tipo de aceros que presentan características heterogéneas. En la tabla 4.2 se muestran sus propiedades.

Tabla 4.2. Propiedades de la soldadura empleada.

Resistencia a la tracción Rm, 20°C	850 MPa
Alargamiento A5	20%
Dureza (Según depositado)	240 HV30

Como resultado, con el proceso de cementado y la aplicación de puntos de soldadura en las uniones, las mordazas hechas en 1018 tienen alta resistencia tanto al desgaste superficial, así como a la fuerza que se ejerce en la máquina sobre éstas. Realizando su función principal, que es sujetar las probetas durante su sometimiento a la tracción, de manera estable.

4.3.- Dibujos CAD.

A continuación se muestran los dibujos principales:

Dibujo A “Máquina para pruebas de tensión”.

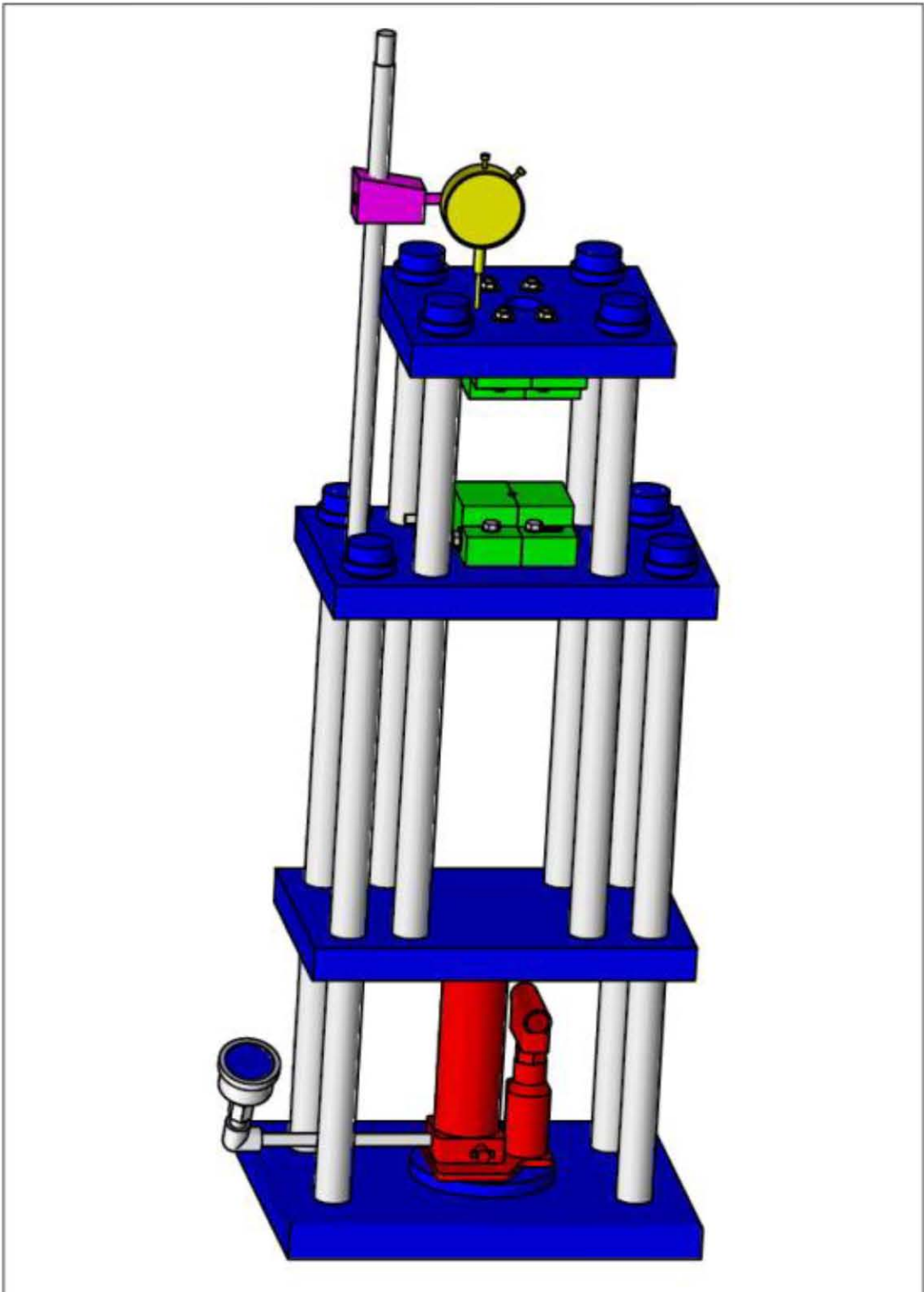
Dibujo B “Partes máquina para pruebas de tensión”.


Dibujo C “Máquina para pruebas de tensión (vistas)”.

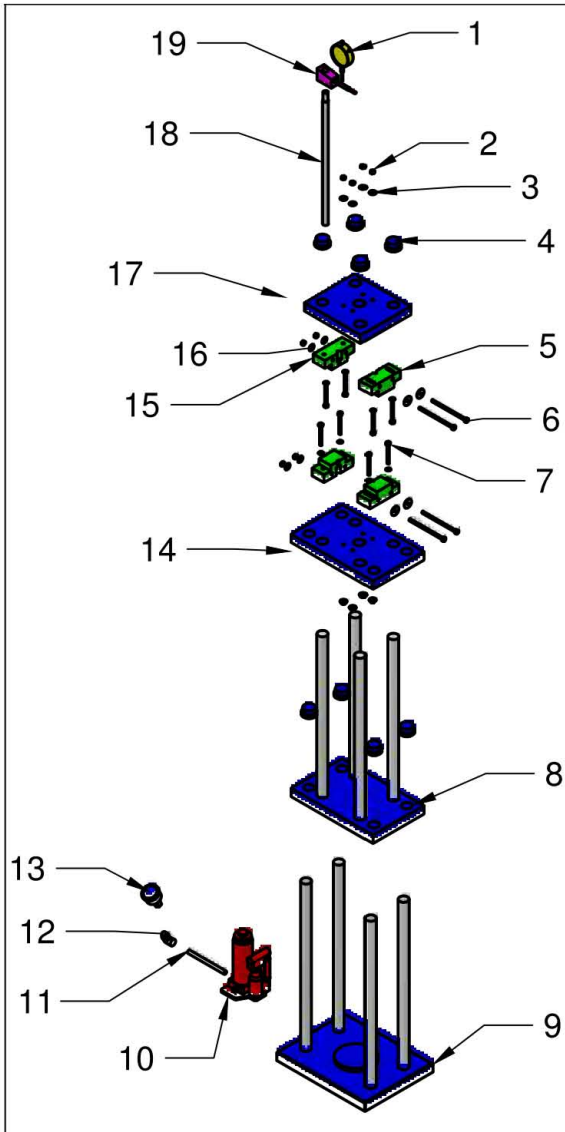
Dibujo 15 “Mordaza fija”.

Dibujo 5 “Mordaza con ojal”.

Dibujo 19 “Pieza para sujetar extensómetro”.



ESC: 1:4	FES CUAUTILÁN	FECHA: 06-05-17	DIBUJÓ: EFREN MARTÍNEZ
ACOT: mm	MÁQUINA PARA PRUEBAS DE TENSIÓN		REVISÓ: ING. FELIPE DÍAZ
			DIBUJO A



ITEM	QTY	NOMBRE	DESCRIPCION
19	1	PIEZA DE SUJECION DE EXTENSOMETRO	-
18	1	VARILLA PARA SUJECION DE EXTENSOMETRO	ACERO 1018 TEMPLADO
17	1	PLACA SUPERIOR NO.4 BARRENADA	ACERO 1018 TEMPLADO
16	4	ROLDANAS DE 5/16 X1/2"	ACERO GALVANIZADO
15	2	MORDAZA FIJA	ACERO 1018 CEMENTADO
14	1	PLACA NO.3 BARRENADA	ACERO 1018 TEMPLADO
13	1	MANOMETRO MARCA ARO MOD. 5000. CONEXION 3/4	-
12	1	CODO DE 3/4	COBRE
11	1	TUBO DE ACOPLA 3/4 PARA GATO HIDRAULICO	COBRE
10	1	GATO HIDRAULICO MARCA NIKE, MOD. 13HK, 2 TON.	-
9	1	PLACA NO.1 BASE CON SOPORTES FIJOS	ACERO 1018 TEMPLADO
8	1	PLACA NO.2 BARRENADA CON SOPORTES FIJOS	ACERO 1018 TEMPLADO
7	4	TORNILLO VERTICAL CAB. HEXAGONAL 5/16 X 2 3/4"	ACERO GALVANIZADO
6	4	TORNILLO HORIZONTAL CAB. HEXAGONAL 5/16 X 5"	ACERO GALVANIZADO
5	2	MORDAZA CON HOJAL	ACERO 1018 CEMENTADO
4	8	TAPAS DE SOPORTES PRINCIPALES	ACERO 1018 TEMPLADO
3	12	ROLDANAS DE 5/16"	ACERO GALVANIZADO
2	12	TUERCAS DE 5/16"	ACERO GALVANIZADO
1	1	EXTENSOMETRO MARCA MITUTUYO, MOD. 2050-11	-

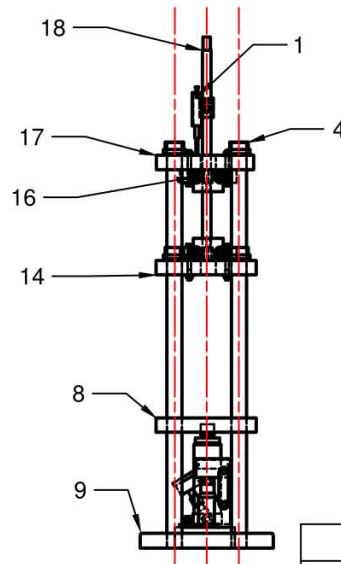
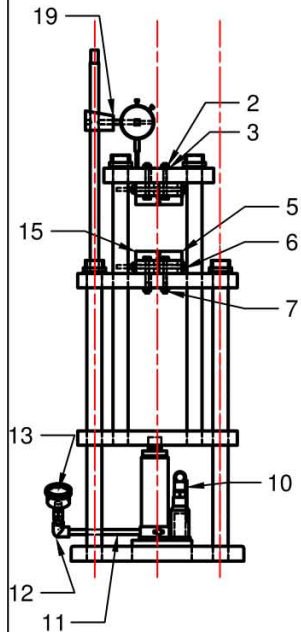
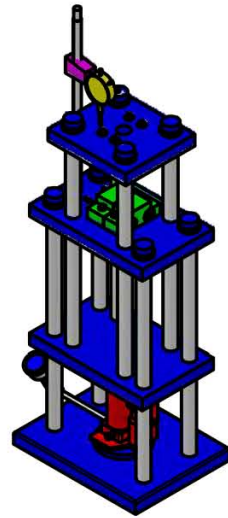
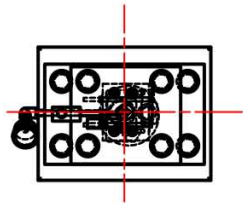
ESC:1:16
 ACOT: mm

FES CUAUTITLAN | FECHA: 06-05-17

PARTES MÁQUINA PARA PRUEBA DE TENSIÓN

DIBUJÓ: EFREN MARTÍNEZ
 REVISÓ: ING. FELIPE DÍAZ

DIBUJO B



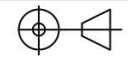
NO	CANT	NOMBRE	DESCRIPCION
19	1	PIEZA DE SUJECION DE EXTENSOMETRO	-
18	1	VARILLA PARA SUJECION DE EXTENSOMETRO	ACERO 1018 TEMPLADO
17	1	PLACA SUPERIOR NO 4 BARRENADA	ACERO 1018 TEMPLADO
16	4	ROLDANAS DE 5/16 X 1/2"	ACERO GALVANIZADO
15	2	MORDAZA FIJA	ACERO 1018 CEMENTADO
14	1	PLACA NO 3 BARRENADA	ACERO 1018 TEMPLADO
13	1	MANOMETRO MARCA ARO MOD. 5000. CONEXION 3/4"	-
12	1	CODO DE 3/4"	COBRE
11	1	TUBO DE ACOPLE 3/4 PARA GATO HIDRAULICO	COBRE
10	1	GATO HIDRAULICO MARCA NIKE, MOD. T3HK, 2 TON.	-
9	1	PLACA NO 1 BASE CON SOPORTES FIJOS	ACERO 1018 TEMPLADO
8	1	PLACA NO 2 BARRENADA CON SOPORTES FIJOS	ACERO 1018 TEMPLADO
7	4	TORNILLO VERTICAL CAB. HEXAGONAL 5/16 X 2 3/4"	ACERO GALVANIZADO
6	4	TORNILLO HORIZONTAL CAB. HEXAGONAL 5/16 X 5"	ACERO GALVANIZADO
5	2	MORDAZA CON HOJAL	ACERO 1018 CEMENTADO
4	8	TAPAS DE SOPORTES PRINCIPALES	ACERO 1018 TEMPLADO
3	12	ROLDANAS DE 5/16"	ACERO GALVANIZADO
2	12	TUERCAS DE 5/16"	ACERO GALVANIZADO
1	1	EXTENSOMETRO MARCA MITUTUYO, MOD. 2050-11	-

ESC: 1:16
ACOT: mm

FES CUAUTTLAN

FECHA: 06-05-17

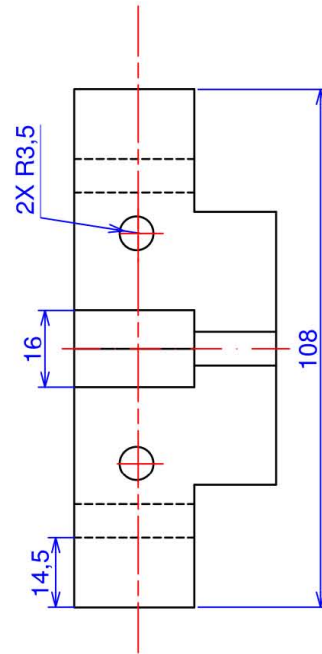
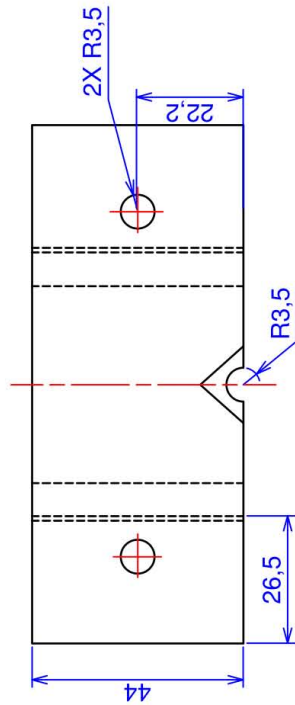
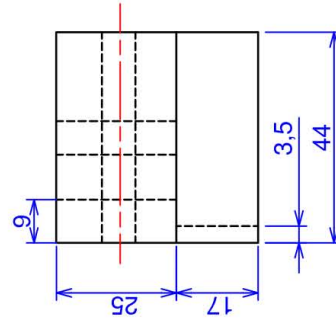
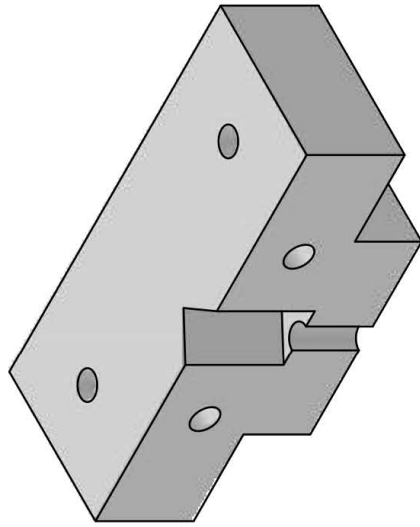
DIBUJO: EFREN MARTINEZ



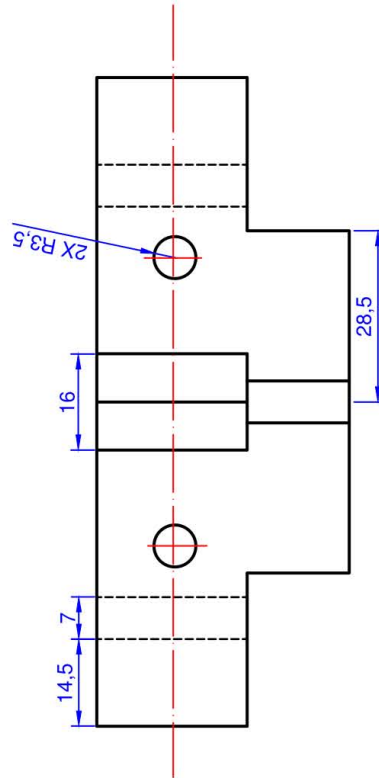
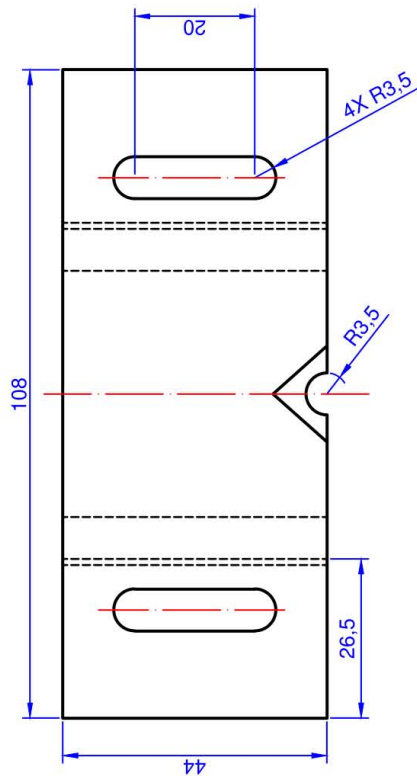
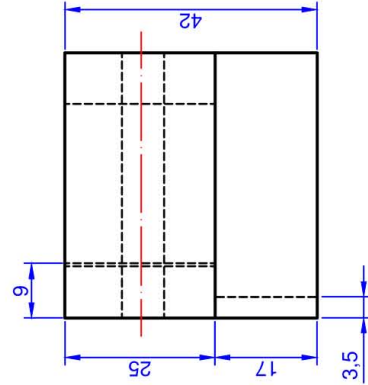
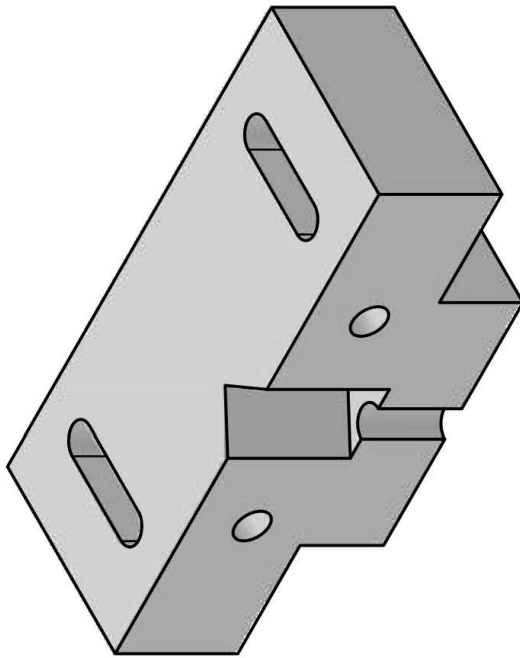
MÁQUINA PARA PRUEBA DE TENSION

REVISO: ING. FELIPE DIAZ

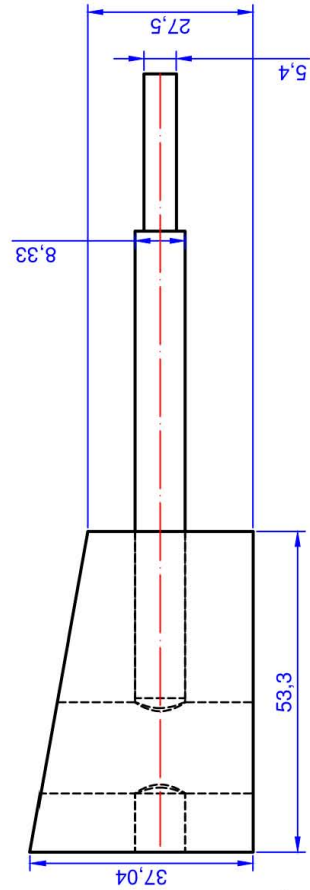
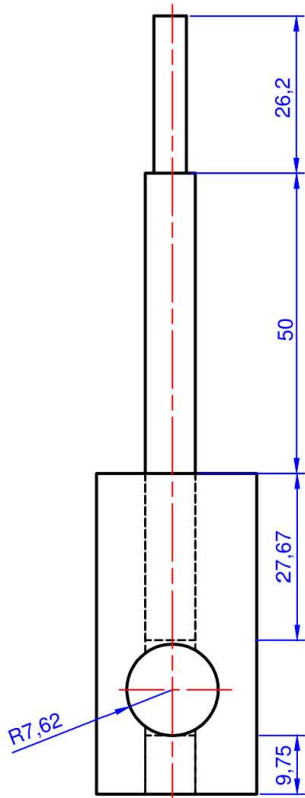
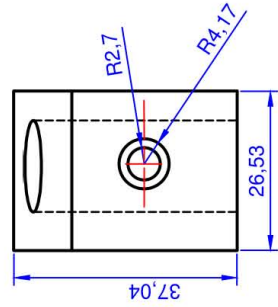
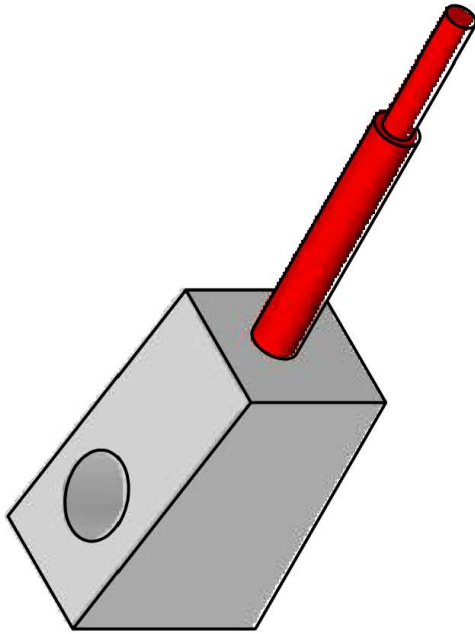
DIBUJO C



ESC: 1:1	FES CUAUTILÁN	FECHA: 06-05-17	DIBUJÓ: EFREN MARTÍNEZ
ACOT: mm	MORDAZA FIJA		REVISÓ: ING. FELIPE DÍAZ
			NO.15



ESC: 1:1	FES CUAUTILÁN	FECHA: 06-05-17	DIBUJÓ: EFREN MARTÍNEZ
ACOT: mm			REVISÓ: ING. FELIPE DÍAZ
	MORDAZA CON OJAL		NO.5



ESC: 1:1	FES CUAUTILÁN	FECHA: 06-05-17	DIBUJÓ: EFREN MARTÍNEZ
ACOT: mm			REVISÓ: ING. FELIPE DÍAZ
	PIEZA PARA SUJETAR EXTENSÓMETRO		NO. 19

CAPÍTULO 5

REALIZACIÓN DE PRUEBAS Y ANÁLISIS DE DATOS

5.1.- PROBETAS UTILIZADAS EN LAS PRUEBAS.

Para la realización de pruebas se utilizó el equipo modificado y acondicionado usando probetas de aluminio.

El aluminio utilizado en las pruebas es Aluminio 6063.

Este aluminio también conocido como aluminio aleación magnesio-silicio 6063 es frecuentemente utilizado en la fabricación de barras, tubos, perfiles y alambre, además es conocido por su gran facilidad de extrusión y usado en aplicaciones decorativas.

En la tabla 5.1 se muestran su composición química, propiedades mecánicas y propiedades físicas.

Tabla 5.1 Composición química, propiedades mecánicas y propiedades físicas del aluminio utilizado en las pruebas.

COMPOSICIÓN QUÍMICA										
%	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Otros	Al
Min Max	0,30	0,10	0,10	0,30	0,40	0,05	0,15	0,20	0,15	Resto
	0,60	0,30			0,60					
PROPIEDADES MECÁNICAS										
ESTADO	Carga de rotura	Límite elástico	Alargamiento		Resistencia de la Cizalladura		Dureza			
	Rm N/mm ²	Rp 0.2 N/mm ²	5,65 V So		N/mm ²		Brinell(HB)	Vickers		
T5	220	170	14		140		65	-		
PROPIEDADES FÍSICAS										
Módulo elástico	Peso específico	Temperatura de fusión	Coeficiente de dilatación. lineal		Conductividad térmica		Resistencia eléctrica		Conduct. eléctrica	
N/mm ²	gms/cm ³	°C	(20°-100°) 10-6/°C		w/m °C		Micro Ohm cm.		% IACS	
69	2,70	580-650	23.5		170		3.6		-	

En la figura 5.1 se muestran las medidas requeridas de las probetas utilizadas para realizar pruebas.

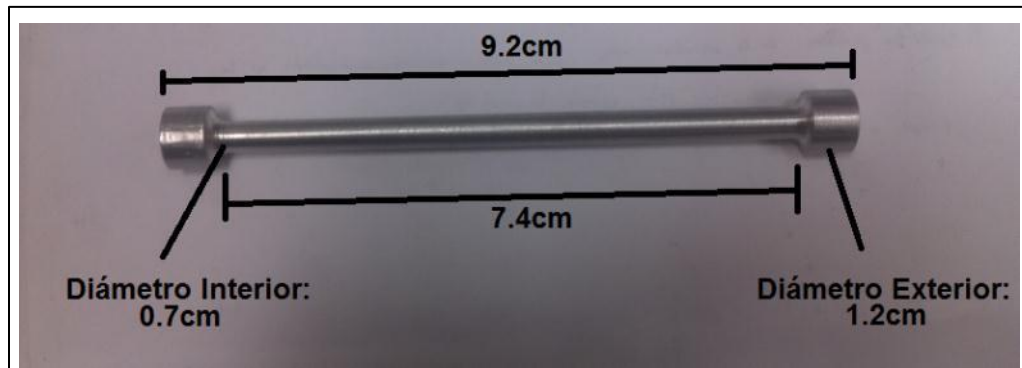


Figura 5.1. Medidas de las probetas utilizadas en las pruebas.

5.2.- CONSIDERACIONES PARA LA REALIZACIÓN DE PRUEBAS.

Previamente a la aplicación de cargas a través del gato hidráulico, se deben medir las dimensiones de las probetas. Deben ser medidos los diámetros, de la parte superior e inferior de la probeta y de la zona crítica que es el diámetro interior, es esta zona donde se produce la ruptura. Debe medirse el largo de la probeta, el cual es de primordial importancia para poder determinar el elongamiento que se produzca.

Cuando se coloca la probeta en las mordazas, debe revisarse el dispositivo de sujeción para cerciorarse de que funcione debidamente y los tornillos y tuercas de apriete de las mordazas se encuentren en buen estado.

Al utilizar el extensómetro, el valor de las divisiones del indicador y la relación de multiplicación deben determinarse antes de colocar el extensómetro sobre la placa superior. El extensómetro debe colocarse de tal forma que tenga contacto con la placa superior y revisando que se encuentre en ceros antes de comenzar a aplicar la carga.

La velocidad del ensayo no debe ser mayor que aquella a la cual las lecturas del manómetro, así como del extensómetro puedan tomarse con el grado de exactitud deseados. La velocidad del ensayo estará dada por la operación manual del gato hidráulico y si la velocidad del ensayo ejerce una influencia apreciable sobre las propiedades del material, el ritmo de deformación de

la pieza de ensayo debe quedar dentro de los límites definidos, varios estudios han demostrado que pueden ser razonablemente amplios.

Con frecuencia la carga se aplica a cualquier velocidad conveniente, hasta la mitad de la resistencia a la cedencia o el punto de cedencia especificados, o hasta una cuarta parte de la resistencia a la tensión especificada, cualquiera que sea menor. Arriba de este punto la carga es aplicada según la velocidad especificada, en este caso para la realización de las prácticas la velocidad de la aplicación de cargas no se considera influyente en los resultados, pero se busca mantener una velocidad constante entre cada aplicación de esfuerzos.

Sobre el punto de cedencia de los metales dúctiles se permiten velocidades más altas por que la variación de la velocidad no parece tener tanto efecto sobre la resistencia última, como sobre la resistencia a la cedencia; el alargamiento, sin embargo, es sensitivo a la variación a la velocidad a altas velocidades de carga.

En este caso las pruebas involucran la medición de la elongación durante cada aplicación de carga, la cual se aplica en incrementos, aquí la carga aplicada y la deformación se leen al final de cada incremento.

Después de que la probeta ha fallado se le retira de la máquina y si se requiere comparar los valores de alargamiento, los extremos rotos de la probeta se juntan y se mide la distancia entre dos puntos de referencia que se hayan marcado, o en su caso la distancia del largo de la probeta en comparación de la distancia original de ésta. En la figura 5.2 se puede observar una probeta después de la fractura. El diámetro de la sección más pequeña se puede calibrar o medir con ayuda de un vernier.

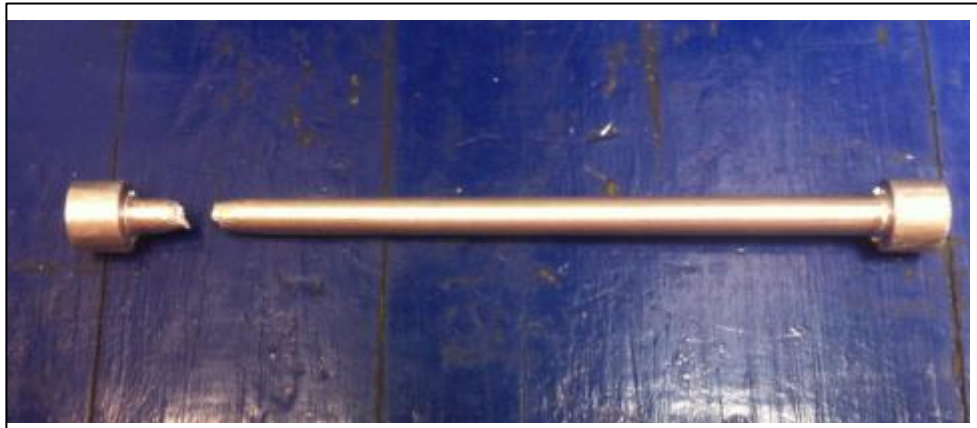


Figura 5.2 Probeta de aluminio después de la fractura.

5.3.- PROCEDIMIENTO PARA REALIZACIÓN DE PRUEBAS.

A continuación se explica de manera detallada los pasos que se llevaron a cabo para la realización de las pruebas:

1. Se tomaron las medidas de la longitud y el diámetro inicial de ambas probetas a utilizar en la prueba, con la ayuda de un calibrador Vernier (figura 5.3). Como sugerencia también se debería colocar una marca entre dos puntos de la longitud interna de la probeta, para validar la longitud final después de la fractura.



Figura 5.3. Se toman medidas de la probeta con ayuda de Vernier.

2. Es importante recordar que es necesario que las mordazas se deben ajustar convenientemente de manera manual, en el espacio disponible de las mordazas, después de colocar las probetas se asegura que éstas estén completamente fijas embonando de

manera correcta en las mordazas, es decir, hay que asegurarse que la probeta está alineada y debe coincidir el diámetro mayor de ésta con el espacio de acoplamiento entre las mordazas (ver figura 5.4).

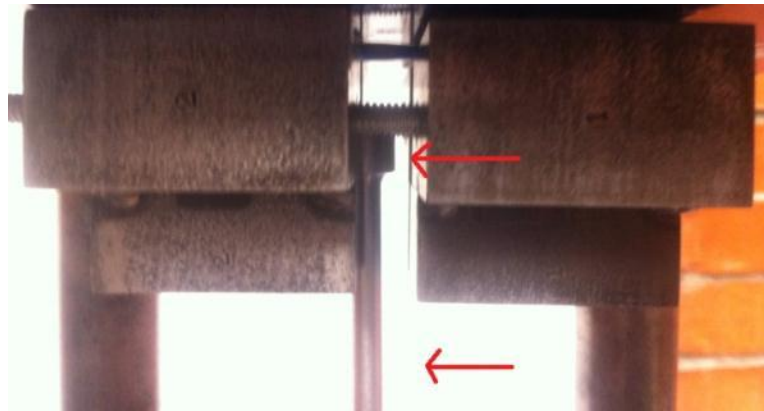


Figura 5.4. El diámetro mayor de la probeta debe embonar correctamente en las muescas de las mordazas.

3. Se coloca el extensómetro en el soporte asegurando que se encuentra en contacto con la placa superior y marcando "0" (ver figura 5.5).

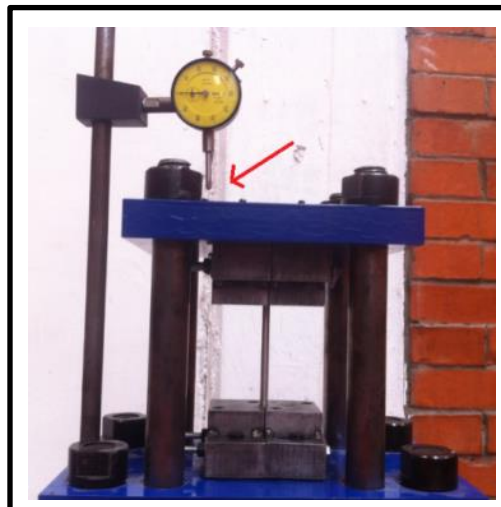


Figura 5.5. El extensómetro debe estar en contacto con la placa superior y marcando "ceros".

4. Se aplican las cargas con ayuda del gato hidráulico, de manera manual con la manija o palanca se acciona para que comience a elevarse y a provocar la fuerza de tensión sobre las probetas (ver figura 5.6).

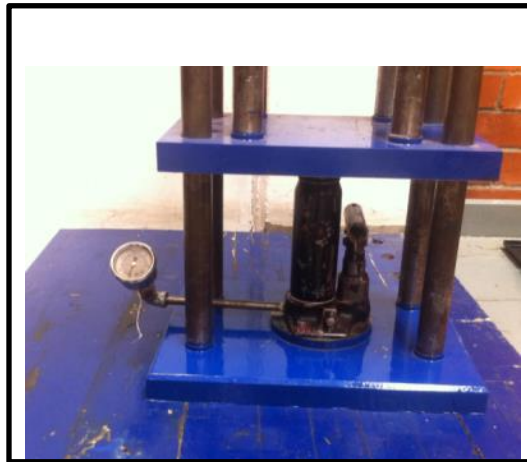


Figura 5.6. Aplicación de cargas con el gato hidráulico.

5. Para buscar aplicar cargas iguales durante cada aumento, cada lapso de aplicación de carga se aplicó realizando un movimiento hacia arriba y después regresando a su posición original el brazo de palanca (un solo movimiento; levantando el brazo de palanca y bajándolo, regresando a su posición original). Este procedimiento se repitió hasta encontrar de manera experimental el punto de fractura de la probeta. En la figura 5.7 se visualiza la aplicación de las cargas.



Figura 5.7. La carga se aplica en dos movimientos, levantando la palanca y regresándola a su posición original.

6. Después de la aplicación de cada carga, se toman las lecturas del manómetro y el extensómetro, para registrar los datos de carga aplicada y deformación en la probeta por cada incremento de fuerza.
7. Una vez teniendo la probeta fracturada se da por terminada la aplicación de cargas.
8. Se continúa elevando el gato hidráulico en el mismo sentido a la aplicación de la fuerza para separar más las placas y proceder a aflojar las mordazas de la máquina (figura 5.8).

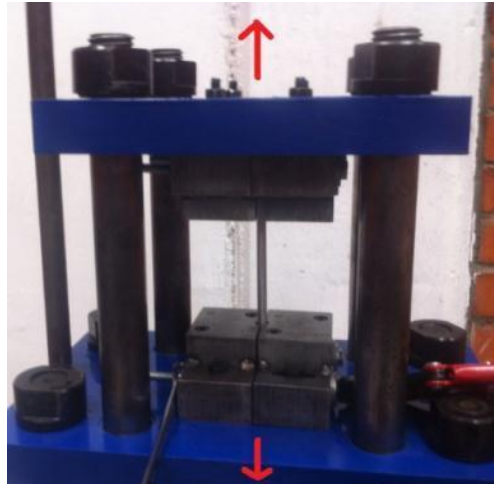


Figura 5.8. Separar las placas para poder retirar la probeta fracturada.

9. En este caso las estructura superior de las probetas quedó atorada en la placa superior, por lo que se aflojaron primero las mordazas inferiores retirando el extremo más largo de la probeta y después las mordazas superiores para retirar la otra parte de la probeta que quedó sujeta en las mordazas después de la fractura.

5.4.- ANÁLISIS DE DATOS.

Se realizaron pruebas en 2 probetas, indicándose en la tabla 5.2 los datos iniciales de las probetas, sólo se mencionan los valores de la longitud interna de la probeta y el diámetro de la sección transversal interior, ya que son los valores necesarios para obtener el valor de la carga aplicada.

Tabla 5.2. Medidas iniciales de las probetas.

Prueba	Material	Diámetro Interior (cm)	Longitud Inicial (cm)
1	Aluminio 6063	6.4	10.9
2	Aluminio 6063	6.13	10.8

Se anotaron los datos de la aplicación de cargas, registrando los datos leídos en el manómetro y extensómetro después de cada aplicación de esfuerzos.

En la tabla 5.3 se muestran los datos obtenidos de la prueba 1 y en la tabla 5.4 se muestran respectivamente los datos de la prueba 2.

Tabla 5.3. Valores de carga y deformación obtenidos en la prueba 1.

Carga (kg)	Deformación (mm)	Incremento Deformación (mm)
18	0.09	0
80	0.24	0.15
105	0.65	0.41
125	1.09	0.44
145	1.31	0.22
150	1.52	0.21
155	1.84	0.32
158	1.9	0.06
163	1.93	0.03
145	1.98	0.05
155	2.24	0.26
170	2.57	0.33
165	2.83	0.26
150	3.25	0.42
155	3.7	0.45
170	4.29	0.59
160	5	0.71
170	5.8	0.8
180	5.9	0.1
90	7.26	1.36

Tabla 5.4. Valores de carga y deformación obtenidos en la prueba 2.

PRESIÓN (kg)	DEFORMACIÓN (mm)	Incremento Deformación (mm)
90	0.48	0
120	0.6	0.12
150	0.71	0.11
170	0.97	0.26
175	1.14	0.17
180	1.26	0.12
180	2.26	1
190	3.1	0.84
195	4.03	0.93
200	4.83	0.8
180	6	1.17
205	6.69	0.69
200	7.46	0.77
180	8.38	0.92

Durante la prueba 1, la carga máxima fue de 180 kg y en 90 kg la probeta sufrió la fractura.

En la Prueba 2, la carga máxima fue de 205 kg y en 180 kg la probeta se fracturó.

A partir de los datos obtenidos, se calcula el esfuerzo (ecuación 5.1) y la deformación unitaria (ecuación 5.2) como se muestra en las fórmulas:

$$\sigma = \frac{P}{A_0} \dots \dots \dots (5.1)$$

$$\varepsilon = \frac{\delta}{L} \dots \dots \dots (5.2)$$

Donde σ es el esfuerzo, P es la fuerza axial aplicada, A_0 es el área inicial de la sección transversal de la probeta, ε es la deformación unitaria, δ es el cociente de alargamiento y L la longitud inicial de la probeta.

En las tablas 5.5 y 5.6 se muestran los valores obtenidos de esfuerzo y deformación para cada una de las pruebas.

Tabla 5.5. Datos de esfuerzo y deformación unitaria para prueba 1.

PRESIÓN (kg)	DEFORMACIÓN (mm)	INCREMENTO DEFORMACIÓN (cm)	ESFUERZO σ (Kg/cm ²)	DEFORMACIÓN UNITARIA δ
0	0	0	0	0
60	0.09	0.009	186.509263	0.000825688
80	0.24	0.015	248.679017	0.001376147
105	0.65	0.041	326.39121	0.003761468
125	1.09	0.044	388.560964	0.004036697
145	1.31	0.022	450.730718	0.002018349
150	1.52	0.021	466.273157	0.001926606
145	1.98	0.046	450.730718	0.004220183
155	2.24	0.026	481.815596	0.002385321
170	2.57	0.033	528.442911	0.003027523
165	2.83	0.026	512.900473	0.002385321
150	3.25	0.042	466.273157	0.003853211
155	3.7	0.045	481.815596	0.00412844
170	4.29	0.059	528.442911	0.005412844
160	5	0.071	497.358034	0.006513761
170	5.4	0.04	528.442911	0.003669725
180	5.9	0.05	559.527788	0.004587156
90	7.26	0.136	279.763894	0.012477064

Tabla 5.6. Datos de esfuerzo y deformación unitaria para prueba 2.

PRESIÓN (kg)	DEFORMACIÓN (mm)	INCREMENTO DEFORMACIÓN (cm)	ESFUERZO (kg/cm ²)	DEFORMACIÓN UNITARIA
0	0	0	0	0
90	0.48	0.048	304.951422	0.004444444
120	0.6	0.06	406.601897	0.001111111
150	0.71	0.071	508.252371	0.001018519
170	0.97	0.097	576.019354	0.002407407
175	1.14	0.114	592.961099	0.001574074
180	1.26	0.126	609.902845	0.001111111
180	2.26	0.226	609.902845	0.009259259
190	3.1	0.31	643.786336	0.007777778
195	4.03	0.403	660.728082	0.008611111
200	4.83	0.483	677.669828	0.007407407
205	6.69	0.669	694.611573	0.006388889
200	7.46	0.746	677.669828	0.00712963
180	8.38	0.838	609.902845	0.008518519

De acuerdo a los datos obtenidos de las tablas anteriores se puede realizar el gráfico esfuerzo-deformación, el cual es uno de los elementos principales que se puede obtener a partir de las pruebas de tensión ya que muestran gráficamente el comportamiento de los materiales.

En las gráficas de las figuras 5.9 y 5.10 se muestran los diagramas esfuerzo-deformación unitaria, para cada una de las pruebas.

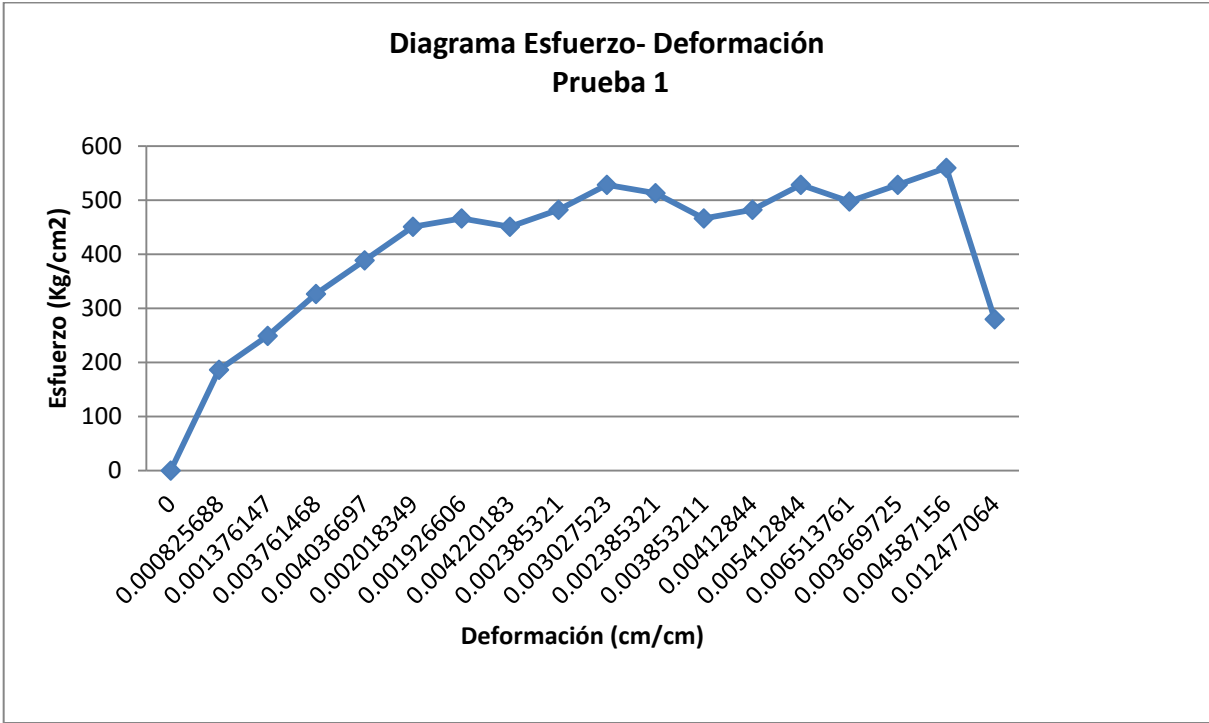


Figura 5.9. Gráfica esfuerzo- deformación para prueba 1.

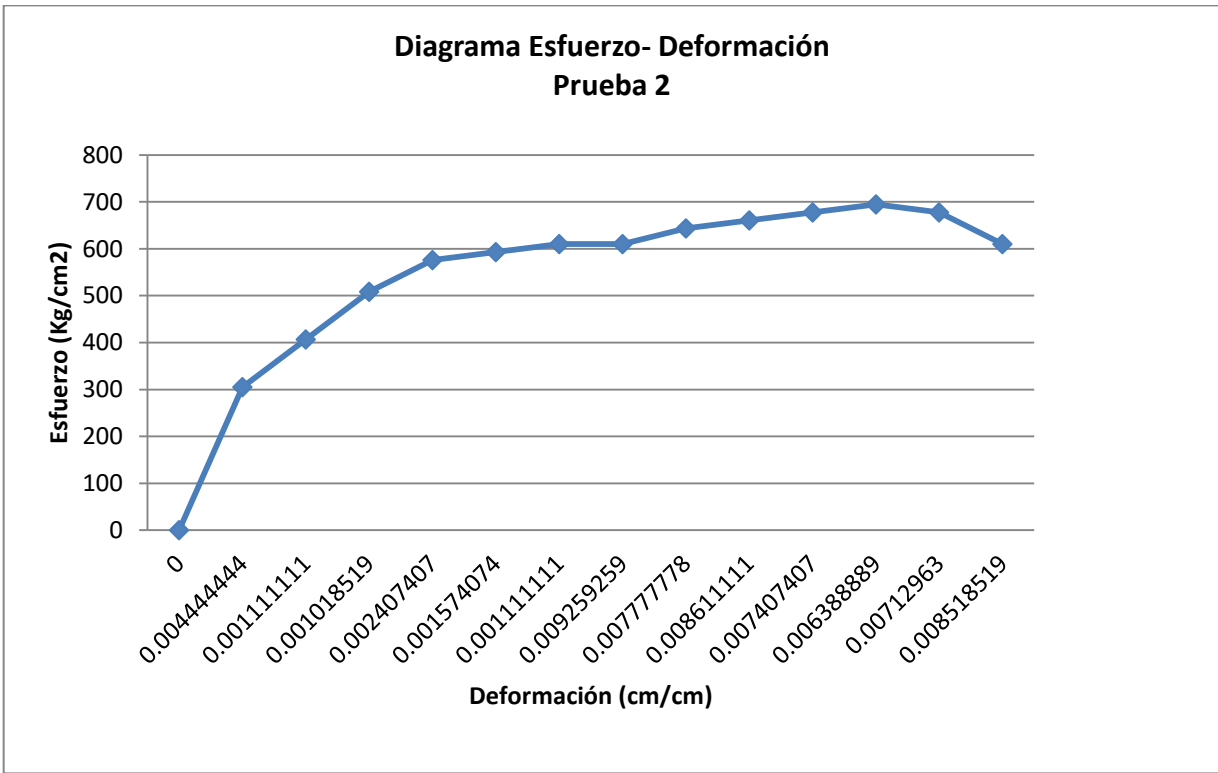


Figura 5.10. Gráfica esfuerzo- deformación para prueba 2.

Para la prueba 1, se puede observar que el comportamiento elástico se produce hasta aproximadamente 0.002 cm/cm, donde deja de observarse un comportamiento lineal y comienzan a observarse variaciones en forma de varias curvas, en este punto el esfuerzo es de 450 kg/cm², esta medida correspondería al esfuerzo de fluencia. Otro punto que se puede observar en la gráfica, es el esfuerzo máximo, que corresponde para la prueba 1 a 559.5 kg/cm² y está asociado con una deformación de 0.0045 cm/cm.

Para la prueba 2, el comportamiento elástico se produce hasta 0.0024 cm/cm, marcando en ese punto un esfuerzo de 576.01 kg/cm². El esfuerzo máximo se encontró experimentalmente a 694.61 kg/cm², con una deformación de 0.006 cm/cm.

El porcentaje de elongación se define por la ecuación 2.6 mencionada en el capítulo 2.

$$\%Elongación = \frac{L_f - L_0}{L_0} \times 100 \dots\dots\dots(2.6)$$

Donde L_0 es la longitud original de la probeta y L_f la longitud final.

El porcentaje de reducción de área se define por la fórmula 2.7 mencionada en el capítulo 2.

$$\%Reducción \text{ Área} = \frac{A_0 - A_f}{A_0} \times 100 \dots\dots\dots(2.7)$$

Donde A_0 es el área original de la sección transversal de la probeta y A_f el área final.

Se muestran los resultados obtenidos para las 2 pruebas en la tabla 5.7.

Tabla 5.7. Datos obtenidos con las pruebas.

PRUEBAS	Límite de Fluencia (kKg/cm ²)	Esfuerzo Máximo kg/cm ²	% Elongación (cm/cm)	% Reducción de área (cm/cm)
PRUEBA 1	450	559.5	7.25	38.8
PRUEBA 2	576.01	694.61	6.48	28.59

Como se puede observar en las gráficas y datos obtenidos sobre los puntos principales de las gráficas, el comportamiento de los materiales probados durante las prácticas se asemeja al comportamiento real de estos, cumpliendo la funcionalidad de la máquina para el desarrollo de pruebas con fines didácticos.

CAPÍTULO 6

REALIZACIÓN DE PRÁCTICA DE LABORATORIO “PRUEBA DE TENSION”

6.1.- SEGURIDAD DURANTE LAS PRUEBAS Y EN LA PRÁCTICA.

Durante la realización de las prácticas, debe seguirse correctamente el “Reglamento de Laboratorio”, donde se mencionan puntos importantes sobre las prácticas realizadas y consideraciones generales.

Como complemento al reglamento de laboratorio deben seguirse las siguientes indicaciones.

Para evitar lesiones y accidentes, además de fallas en la máquina e implementos de apoyo (gato hidráulico, manómetro, extensómetro), causadas durante la realización de la práctica, es necesario tener en cuenta:

- Como sugerencia, portar equipo de seguridad necesario, tales como guantes de cuero para evitar machucones o raspaduras con alguna pieza, además gafas de seguridad.
- Tener conocimientos previos sobre la práctica, conceptos sobre pruebas de tensión y todo lo relacionado con esta, como el manejo que se debe tener para operar el gato hidráulico, el tipo de materiales usados en las probetas, utilización de las mordazas al momento de asegurar las piezas, manejo de herramientas como pinzas de presión, llaves allen, llave inglesa, etc.
- Seguir precisamente las instrucciones sobre la colocación de las probetas y sujeción de estas.
- Al terminar de accionar el gato retirar inmediatamente la palanca que lo acciona.
- Con respecto a las mediciones tomadas en el manómetro e indicador de carátula, éstas deben realizarse en posición frontal al indicador para evitar error de paralelaje y debe cuidarse no golpearlos durante el acomodo de las mordazas.

Para el uso de equipos se deben tomar en consideración los siguientes puntos:

- Las herramientas manuales usadas durante la práctica deberán ser usadas sólo para sus fines específicos. Estas deben ser inspeccionadas periódicamente.
- Se debe seleccionar siempre la herramienta adecuada para el trabajo a realizar.
- Las herramientas defectuosas deben ser retiradas de uso para evitar posibles accidentes derivados por un mal funcionamiento.
- No deben ser llevadas herramientas en los bolsillos salvo que estén adaptadas para ello.
- Cuando no sea utilizada alguna de las herramientas necesarias deben ser dejadas en lugares donde no puedan producir accidentes, como sus estuches o cajas.

6.2.- REALIZACIÓN DE PRÁCTICA DE LABORATORIO.

OBJETIVO.

- Realización de la prueba de tensión.
- Conocer el significado y conceptos principales que involucran el comportamiento de los metales sometidos a esfuerzos de tensión.

INTRODUCCIÓN.

La prueba de tensión es uno de los medios más útiles empleados para determinar las propiedades mecánicas importantes de materiales ingenieriles.

En la figura 1 se ilustra una probeta cilíndrica estándar utilizada en la realización de pruebas de tensión, los extremos de la probeta deben ser sujetados por las mordazas. Este tipo de probetas deben ser maquinadas simétricamente a lo largo de su eje longitudinal, para que la carga esté distribuida uniformemente en el corte transversal.

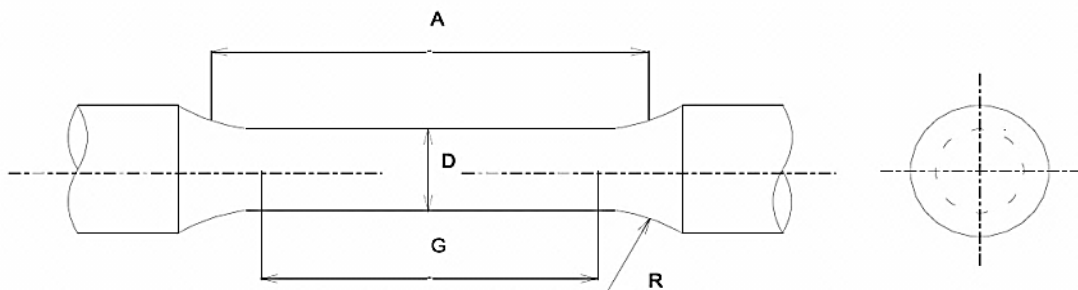


Figura 1. Probeta normalizada para la prueba de tensión.

Las cargas aplicadas para producir la deformación provienen de un sistema hidráulico el cual presenta altas capacidades de carga, con respecto a otro tipo de sistemas.

En la figura 2 se muestra esquemáticamente la máquina utilizada para la realización de pruebas.

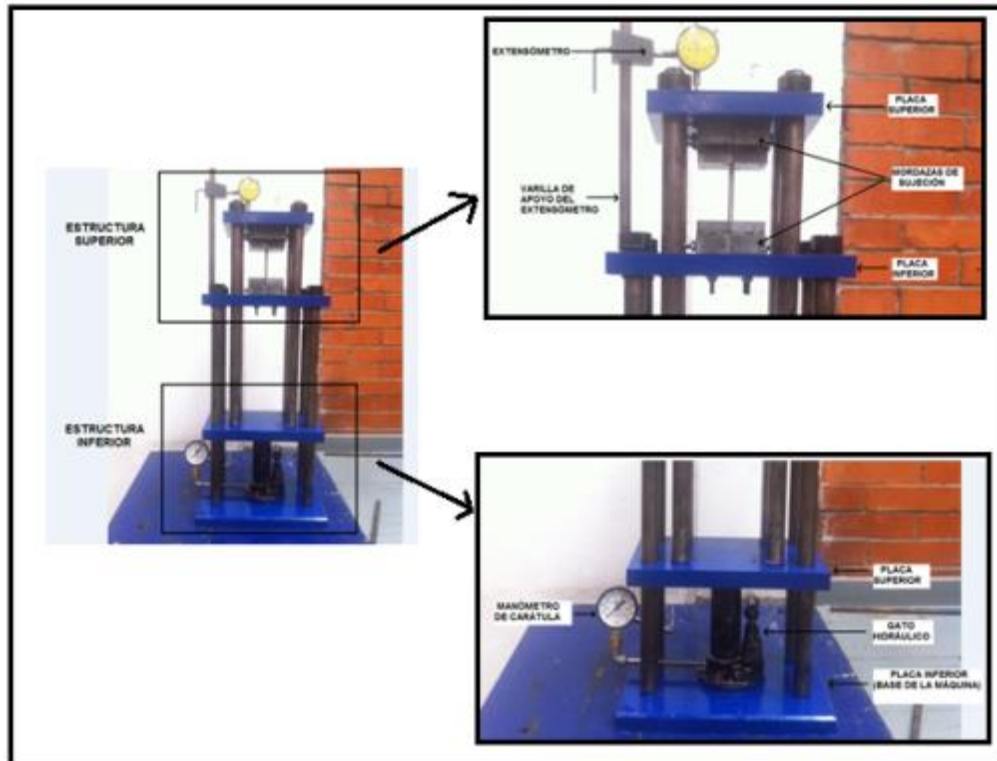


Figura 2. Máquina de tensión.

MATERIAL Y EQUIPO.

- Máquina de tensión.
- Probeta de aluminio.
- Calibrador Vernier.

PROCEDIMIENTO.

1.- Aflojar las mordazas superior e inferior hasta la máxima distancia posible (hasta donde permita el ojal) de tal manera que se separen lo suficiente para poder colocar la probeta (ver figura 3).

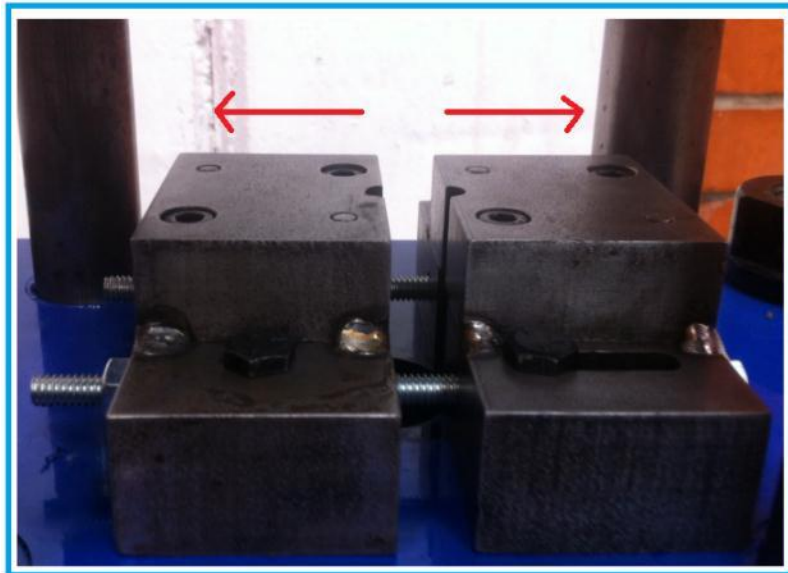


Figura 3. Mordazas inferiores.

2.- Tomar medidas iniciales de las probetas que se usarán (ver figura 4).



Figura 4. Medición de probetas.

3.- Introducir la probeta desde el orificio en la placa superior (placa 4), acomodarla sobre la zona interior de las mordazas y ajustarlas primero manualmente, después se hará con la herramienta (ver figura 5).

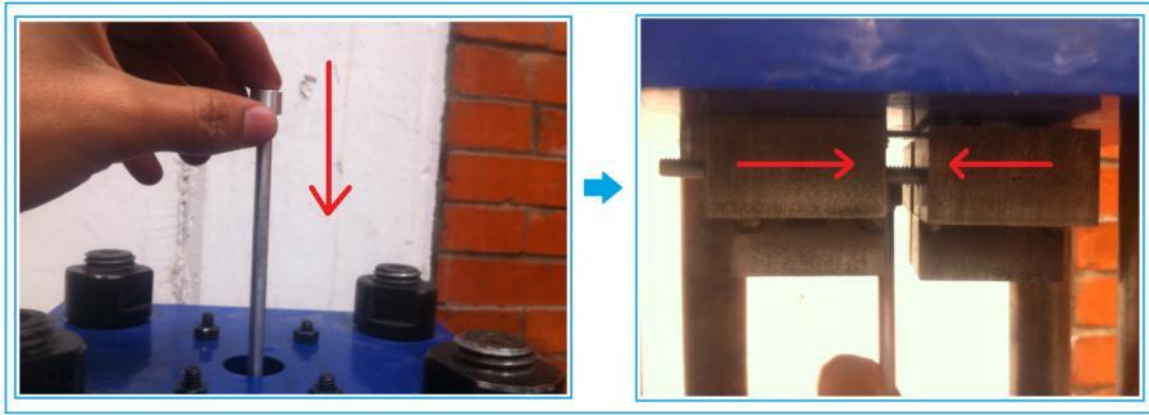


Figura 5. Insertar la probeta y ajustarla a las mordazas.

4.- Apretar las mordazas del siguiente modo:

a.- Primero se aprietan los tornillos horizontales de 5/16, esto con el fin crear el amarre en las mordazas con la probeta (primero las mordazas superiores y después en las inferiores).

b.- Teniendo la probeta sujeta en las mordazas se procede a apretar los tornillos secundarios o tornillos verticales, es decir, los tornillos superiores e inferiores que sujetan las mordazas contra las placas principales (ver figura 6).



Figura 6. Primero apretar tornillos horizontales y después los verticales.

5.- Se coloca el medidor de carátula en el soporte o varilla. Éste se ajusta quedando la punta medidora en contacto con la placa superior (placa 4). Para ajustar el medidor se usa una llave Allen de 3/16 (ver figura 7).

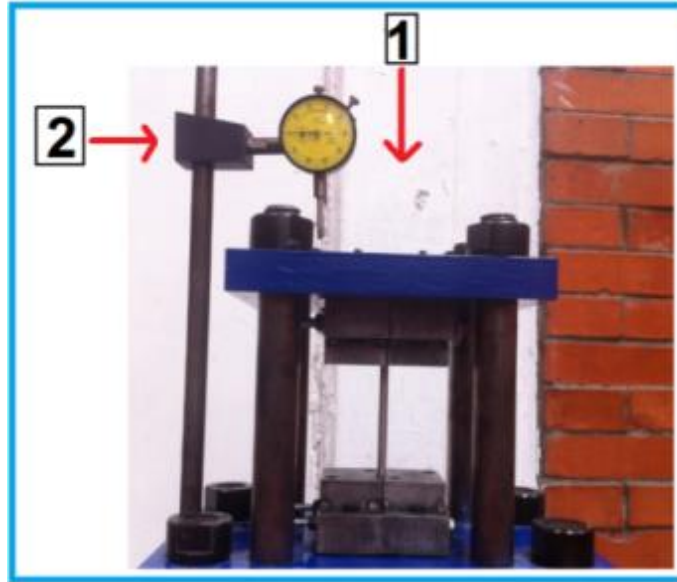


Figura 7. Insertar el extensómetro con su base en la varilla y ajustarlo a la medida.

6.- Se calibra el medidor de carátula a 0. Esto se realiza girando la carátula hasta la posición de 0 para que las mediciones sean las apropiadas (ver figura 8).

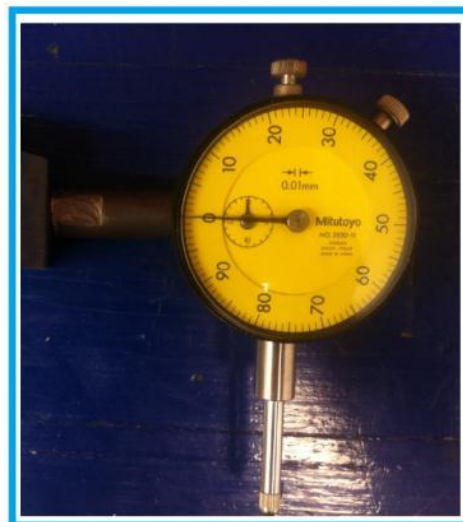


Figura 8. El extensómetro debe marcar “ceros” al estar en contacto con la placa superior.

7.- Para comenzar con la práctica, asegurarse que se encuentra activo el seguro del gato hidráulico para evitar fugas o pérdidas de presión (ver figura 9).

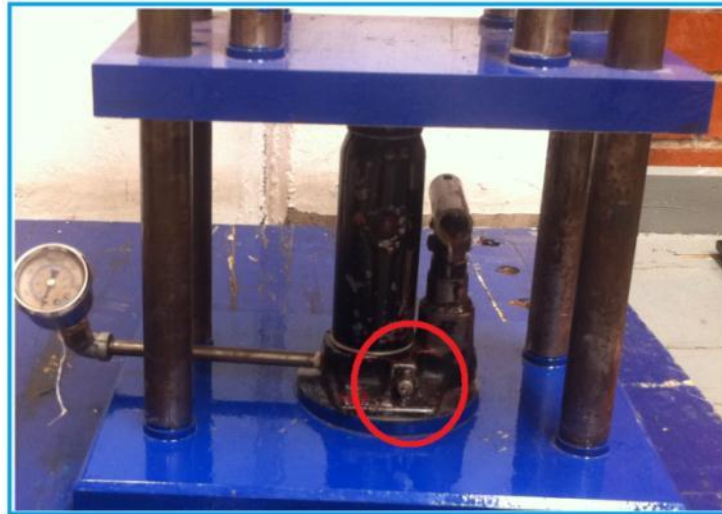


Figura 9. Seguro del gato hidráulico

8.- Aplicar la carga correspondiente ejerciendo fuerza sobre el gato hidráulico. Se miden las deformaciones que experimenta la probeta de acuerdo a las cargas graduales que se aplican, después de la aplicación de cada carga se toman y registran las medidas registradas por el extensómetro y por el manómetro instalado en el gato hidráulico.

CONCLUSIONES.

Después del trabajo realizado se pueden establecer las conclusiones siguientes:

- Todos los materiales usados en la industria actúan de manera diferente cuando son sometidos a diversas pruebas que sirven para determinar sus propiedades y validar su uso futuro.
- A través de los datos obtenidos en este trabajo se pudo apreciar el comportamiento de distintos tipos de aluminios mostrándose a través del gráfico de esfuerzo contra deformación, a partir de este gráfico también se puede apreciar el comportamiento del material, así como los puntos principales por los que pasa el material durante el sometimiento a esfuerzos. Esta parte es de gran importancia durante la realización de este tipo de pruebas ya que determinan los usos que se le puede dar a un material y bajo qué circunstancias pueden ser operados.
- Dentro de las características principales de los tipos de materiales usados en la práctica, se puede observar en las gráficas resultantes conceptos muy importantes estudiados por la tecnología de materiales, los cuales pueden ser observados durante la realización de prácticas de prueba de tensión como son:
 - Se sabe que hasta cierta carga límite el material usado, puede recobrar sus dimensiones originales cuando se le descarga. La recuperación de las dimensiones originales al eliminar la carga es lo que caracteriza al comportamiento elástico.
 - La carga límite por encima de la cual ya no se comporta elásticamente el material es el concepto conocido como límite elástico.
 - Al sobre-pasar el límite elástico la probeta sufre cierta deformación permanente al ser retirada la fuerza aplicada, por lo que se dice que ha sufrido deformación plástica.
 - La constante de proporcionalidad conocida como módulo de elasticidad puede ser interpretado como la rigidez o la resistencia del material a la deformación elástica. Dentro de la deformación plástica la Ley de Hooke y el módulo de elasticidad no tienen validez.
 - Un punto a considerar para clasificar materiales que pueden ser usados en este tipo de pruebas es que el comportamiento bajo la aplicación de carga puede ser dúctil o frágil.

Este concepto se define observando si el material muestra o no la capacidad para sufrir deformación plástica.

- De acuerdo a la clasificación sobre el comportamiento ante la carga, los materiales dúctiles exhiben una curva esfuerzo – deformación que llega a su máximo en el punto de resistencia a la tensión, que en este caso, las probetas de aluminio exhiben este tipo de comportamiento.
 - En materiales frágiles, la carga máxima o resistencia a la tensión ocurre en el punto de falla.
 - El comportamiento en materiales extremadamente frágiles como las cerámicas, el esfuerzo de fluencia, la resistencia a la tensión y el esfuerzo de fractura son los mismos.
-
- Observando el comportamiento de los dos tipos de aluminios utilizados en la práctica, se puede apreciar que el aluminio usado en la prueba 2 es más resistente que el utilizado en la prueba 1, por lo que es menos dúctil. En un diagrama esfuerzo – deformación cuando un material es más dúctil que otro se dice que su módulo de elasticidad es mayor.
 - Como punto importante, si se requiere hacer comparación entre dos materiales distintos, el área de la probeta (área de la sección transversal) influye en la cantidad de carga que puede soportar ésta, por lo que deben usarse probetas con las mismas dimensiones
 - Con respecto al proceso de re-ingeniería de la máquina se tienen las siguientes conclusiones:
- La máquina en general se encontraba en desuso debido a varios problemas, desde el mantenimiento de las placas y soportes, que se encontraban desgastados y oxidados, además de problemas con el gato hidráulico. El proceso de re-acondicionamiento se dio dando solución a estos factores, arreglando las placas con un proceso de lijado y pintado. Se solucionaron los problemas con los aditamentos, en este caso, con el gato hidráulico a través del cambio de empaques para evitar la fuga de aceite que se presentaba.
 - Toda esta parte del mantenimiento posibilitó la observación de áreas de mejora, sobre las que se trabajó durante el proyecto. El principal problema que presentaba la máquina con respecto a su funcionamiento se centraba en el uso de las mordazas, el cual era muy

complicado al insertar las probetas, además no presentaba un método efectivo de aseguramiento o “apriete”. A partir de esto se buscó un método más seguro, analizando el diseño de nuevas mordazas de sujeción. El proceso de diseño de las mordazas se llevó a cabo buscando una mejor manera para sujetar las mordazas y que sea de fácil aplicación por parte de los estudiantes, contando con la herramienta adecuada las mordazas proporcionan un mejor método de “apriete” y sujeción, lo que ayuda a tener mejores resultados y más precisos.

- Las mordazas se diseñaron de forma sencilla buscando sujetar las probetas en cada uno de sus extremos, a partir de dos mordazas superiores e inferiores apretando las probetas a través de tornillos de cabeza hexagonal, lo que mejora la rapidez al usar herramientas sencillas tales como pinzas o dardos.
- Otro problema que se tenía era la falta de un dispositivo para sujeción del extensómetro, por lo que se diseñó una pieza que pudiera sujetar el extensómetro a una varilla colocada sobre una de las placas, para de esta manera, poder ajustar el extensómetro a diferentes medidas a lo largo de la varilla y poder colocarlo en contacto con la placa superior y poder medir la deformación provocada en las probetas al elevarse ésta placa. De este modo la medición de la deformación en las probetas no se mide directamente con la probeta, sino midiendo la separación que se lleva a cabo entre las placas sobre las que están fijadas las mordazas que sujetan las probetas.
- La capacidad de los aditamentos presentes en la máquina, posibilitan su uso para metales blandos como es el caso de aluminios o aceros de bajo carbono. El gato hidráulico tiene una capacidad de 2 Toneladas, el manómetro instalado en el gato hidráulico es de un rango de 0 a 5000 psi o 0 a 350 kg/cm².
- Con respecto a los objetivos planteados para la realización del proyecto se menciona:
 - A partir la realización de las pruebas y prácticas se pudo comprender de mejor manera el comportamiento de los materiales usados en ingeniería y en la industria, ya que son una herramienta muy importante para determinar el uso de un material y saber si este es el adecuado para las aplicaciones en que se requieren.
 - Mediante la realización de pruebas en distintos materiales pero siguiendo la misma estructura en la realización de pruebas con estos, es decir “probándolos” de la misma

manera es posible obtener datos muy importantes que pueden definir mediante la comparación de sus propiedades, cual es el indicado para un uso específico. Por este motivo se debe buscar que las probetas utilizadas, los mecanismos utilizados y el método de realización de la prueba sean los mismos para obtener mejores resultados comparativos.

- Se cumplió el objetivo principal que era sacar provecho de una máquina en desuso, ya que de esta manera se ahorraron recursos teniendo las bases de la máquina y se invirtió en su acondicionamiento y mejoras, buscando mantener el equipo del Laboratorio de Materiales funcionando.
- Mediante la realización del proyecto y de las pruebas en la máquina se fue buscando una mejor manera de su utilización. A partir del tiempo desarrollando las mejoras y probando distintas alternativas se encontraron los pasos adecuados para la realización de las prácticas y esto se pudo asentar creando una práctica de laboratorio que pueda ser usada y seguida por estudiantes, dentro de su desarrollo en las aulas como ingenieros.

BIBLIOGRAFÍA

1. MECÁNICA DE MATERIALES

Ferdinand P. Beer/ E. Russel Johnston Jr
MacGraw Hill
Quinta Edición. 2009

2. INTRODUCCIÓN A LA CIENCIA DE MATERIALES PARA INGENIEROS

James P. Shackelford
Pearson
Séptima Edición. 2010.

3. CIENCIA E INGENIERÍA DE LOS MATERIALES

Donald R. Askeland/ Pradeep P. Phulé
International Thomson Editores, S.A. de C.V.
Sexta Edición. 2013.

4. MECÁNICA DE MATERIALES

Roy R. Craig Jr.
Compañía Editorial Continental
Segunda Edición. 2006.

5. TECNOLOGÍA DE MATERIALES

Carlos Gimenez/ Vicente Amigó Borrás
AlfaOmega
Primera Edición. 2005.

6. FUNDAMENTALS OF MATERIALS SCIENCE AND ENGINEERING

William D. Callister, Jr. / David G. Rethwish
John Willey & Sons, Inc.
Cuarta Edición. 2012.

7. RESISTENCIA DE MATERIALES

Andrew Pytel/ Ferdinand L. Singer

AlfaOmega.

Primera Edición. 2006.

8. DISEÑO DE ELEMENTOS DE MÁQUINAS.

Robert C. Juvinall/ Kurt M. Marshek

Limusa Wiley

Segunda Edición. 2013.

CIBERGRAFÍA

- Riofa SA. (23-10-2007). Blogger. Herramientas; Alicates y Mordazas. Junín, Perú.
Recuperado de <http://herramientas-riofoa.blogspot.mx/2007/10/alicates-y-mordazas.html>.
- Ecured. (25-09-2011). Indicador de Carátula.
Recuperado de https://www.ecured.cu/Indicador_de_car%C3%A1tula.
- Chicago Web Design and Google Blogs Templates (2015). Seguridad y Salud en el Trabajo. Uso de Herramientas Manuales.
Recuperado de <http://norma-ohsas18001.blogspot.mx/2013/02/uso-de-herramientas-manuales.html>.
- Toro Medina, Julián David. (2017). Scribd. Ensayo de Tensión: Bronce y Aluminio.
Recuperado de <https://es.scribd.com/doc/50824098/Ensayo-de-Tension-Bronce-y-Aluminio>.
- Pino, Alejandro. (29-05-20112). Monografías.com. Diagrama Esfuerzo- Deformación.
Recuperado de <http://www.monografias.com/trabajos72/diagrama-esfuerzo-deformacion/diagrama-esfuerzo-deformacion2.shtml>.
- Del Castillo Rodríguez, Felipe. (2007). Laboratorio de Tecnología de Materiales. Endurecimiento superficial del acero.

Recuperado de:

http://olimpia.cuautitlan2.unam.mx/pagina_ingenieria/mecanica/mat/mat_mec/m6/endurecimiento%20superficial%20del%20acero.pdf.

- The Lincoln Electric Company. (1999-2017). Lincoln Electric. Soluciones de Soldadura. Recuperado de <http://www.lincolnelectric.com/es-mx/support/welding-solutions/Pages/T1-steels-detail.aspx>.
- Rodriguez Galbarro, Hermenegildo. Ingemecanica. Estudios y Tipología de las uniones atornilladas. Sevilla, España.
Recuperado de: <http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn31.html>.
- Broncesval. (2015). Aluminio, Aleación Magnesio Silicio 6063.
Recuperado de <http://www.broncesval.com/productos/aluminio/93-aluminio-aleacion-magnesio-silicio-6063>.
- Rincón Caro, Mauricio. (23-02-13). Blogger. Modelos: Construcción y estructura.
Recuperado de <http://mauriciohmrc.blogspot.mx/2013/02/laminacion-proceso-mediante-el-cual-se.html>.