

**ELABORACIÓN DE UNA GUÍA PARA LA OPERACIÓN, MANTENIMIENTO Y
SEGURIDAD DE LA MÁQUINA SHIMADZU MODELO AG-X PLUS DE 250 KN**

**SERGIO ANDRÉS DURÁN CORZO
CAMILO JOSÉ RODRÍGUEZ CARVAJAL**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISCOQUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA METALÚRGICA Y CIENCIA DE MATERIALES
BUCARAMANGA**

2017

**ELABORACIÓN DE UNA GUÍA PARA LA OPERACIÓN, MANTENIMIENTO Y
SEGURIDAD DE LA MAQUINA SHIMADZU MODELO AG-X PLUS DE 250 KN**

SERGIO ANDRÉS DURÁN CORZO

CAMILO JOSÉ RODRÍGUEZ CARVAJAL

**Trabajo de grado (modalidad de práctica en docencia) para optar al título de
Ingeniero Metalúrgico**

Director

MARÍA LILIANA MENESES

Ingeniera Metalúrgica

Director

Dr. CRISTIAN CAMILO VIÁFARA

Ingeniero Mecánico

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOQUÍMICAS

ESCUELA DE INGENIERÍA METALÚRGICA Y CIENCIA DE MATERIALES

BUCARAMANGA

2017

DEDICATORIA

Sergio Andrés Durán Corzo:

Este trabajo de grado lo dedico con inmensa gratitud a mis padres y hermanos, quienes han sido mi total apoyo a lo largo de esta etapa de mi vida, quienes siempre han tenido fe en mí y me han motivado a querer superarme y poder alcanzar mis metas.

Camilo José Rodríguez Carvajal:

A quien con su infinita imaginación y ternura siempre logra confortar aquel niño pequeño en mi alma, al pilar de mi vida. A quien está ahí cuando no encuentro la salida. A quien está ahí cuando la tristeza me invade. A quien de forma incondicional ha sacrificado su vida para darle valor a la mía. A ella a quién tengo la fortuna de llamar Mamá, A Nohora Carvajal Camacho.

A quien siempre está orgullosa de verme y me presume con sus amigas. A quien siempre está feliz a mi llegada y triste a mi salida. A quien siempre se acerca a la ventana y se despide como niña. A quien siempre sueña con mis sueños, vibra con mis alegrías y guarda mis cuadernos de primaria como tesoros invaluables. A quien es un ejemplo de integridad. A quien con su amor y ternura ha alimentado mi vida. A mi mejor amiga. A mi abuela. A Beatriz Camacho

A aquel que se levantó todos los días para llevarme al colegio. A aquel que me enseñó a afeitarme y a manejar. A aquel que le presente mi primera novia. A aquel que siempre estuvo allí para respaldarme. A aquel que me dio un ejemplo de excelencia y tenacidad. A mi orgullo, a mi abuelo. A Gumercindo Carvajal.

Al director Cristian Camilo Viáfara por enseñarnos el método, la precisión y la pasión de la ingeniería; que se ven reflejadas en estas páginas. A la directora María Liliana Meneses por enseñarnos el valor del trabajo en grupo y el dialogo.

A aquellos que se interpusieron en mi camino, a aquellos que me dijeron no, a aquellos que me cerraron la puerta, a aquellos que me dieron la espalda. Porque me retaron y motivaron más de lo que jamás podrán saber.

A mi familia. A mis amigos. A mí.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos especialmente a los profesores Cristian Camilo Viáfara y María Liliana Meneses por su valiosa colaboración y su tiempo, por todas las enseñanzas y por habernos brindado su amistad.

A la directora de la Escuela de Ingeniería Metalúrgica, Elcy María Córdoba por su cordialidad y disposición constante para escuchar, orientar y ayudar.

Al personal de la Escuela de Ingeniería Metalúrgica. Alcira Navas, Yaddy Gómez y Andrea Pabón por su disponibilidad para el servicio más allá del deber.

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN.....	17
1. ANTECEDENTES.....	19
2. OBJETIVOS.....	21
2.1 OBJETIVO GENERAL.....	21
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	21
3. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.....	22
3.1 ENSAYOS MECÁNICOS.....	22
3.1.1 Ensayo de Tracción.....	23
3.1.2 Ensayo de Flexión.....	28
3.1.3 Ensayo de Compresión.....	29
4. METODOLOGÍA.....	31
4.1 CONSULTA BIBLIOGRÁFICA.....	31
4.2 REVISIÓN DEL MANUAL DEL USUARIO.....	31
4.3 TRADUCCIÓN Y ADAPTACIÓN DEL MANUAL DEL USUARIO.....	32
4.4 ELABORACIÓN DE LA GUÍA PARA LA OPERACIÓN, MANTENIMIENTO Y SEGURIDAD DE LA MÁQUINA Y DEL LIBRO DE TRABAJO DE GRADO.....	32
5. RESULTADOS.....	33

5.1 GUÍA PARA LA OPERACIÓN, MANTENIMIENTO Y SEGURIDAD DE LA MÁQUINA.....	33
5.2 AVISOS DE SEGURIDAD.....	41
6. CONCLUSIONES.....	42
7. RECOMENDACIONES.....	43
BIBLIOGRAFÍA.....	45

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1 Guía de seguridad.....	34
Tabla 2 Descripción general.....	34
Tabla 3 Partes principales.....	35
Tabla 4 Nombre y función de cada parte.....	36
Tabla 5 Instrucciones básicas.....	36
Tabla 6. Preparación para los ensayos.....	37
Tabla 7. Realización de un ensayo.....	38
Tabla 8. Operación de la máquina.....	39
Tabla 9. Inspección, rendimiento y mantenimiento.....	40
Tabla 10. Traslado o almacenamiento de la máquina.....	40
Tabla 11. Solución de problemas.....	40

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Máquina universal de ensayos Shimadzu (250 kN/350kN).....	22
Figura 2. Esquema de un elemento sometido a tensión.....	23
Figura 3. Probetas de tensión de metales.....	24
Figura 4. Curva esfuerzo deformación para una aleación de aluminio.....	25
Figura 5. Curva esfuerzo deformación típica de un metal.....	27
Figura 6. Aplicación de la carga y deflexión provocada (δ) en el ensayo de flexión.....	28
Figura 7. Flexión en tres y cuatro puntos.....	29
Figura 8. Elemento sometido a compresión.....	30
Figura 9. Probetas para compresión.....	30

LISTA DE ANEXOS⁺

Anexo A. Guía para la Operación, Mantenimiento y Seguridad de la máquina Shimadzu modelo AG-X Plus de 250 kN

Anexo B. Avisos de seguridad

⁺ “Ver anexos en la carpeta del cd”.

RESUMEN

TITULO: ELABORACIÓN DE UNA GUÍA PARA LA OPERACIÓN, MANTENIMIENTO Y SEGURIDAD DE LA MAQUINA SHIMADZU MODELO AG-X PLUS DE 250 KN.

AUTORES: SERGIO ANDRÉS DURÁN CORZO, CAMILO JOSÉ RODRÍGUEZ CARVAJAL^{**}

PALABRAS CLAVE: ENSAYOS MECANICOS, MAQUINA UNIVERSAL DE ENSAYOS, OPERACIÓN MANTENIMIENTO Y SEGURIDAD DE UNA MAQUINA DE ENSAYOS.

Las propiedades mecánicas de los materiales dependen de su composición y microestructura, así como de su proceso de manufactura. Para determinar la respuesta de los materiales expuestos a diferentes tipos de esfuerzos mecánicos, se realizan diversos ensayos mecánicos, a probetas o muestras del material, mediante procedimientos y especificaciones establecidos según normas internacionales. La Escuela de Ingeniería Metalúrgica y Ciencia de Materiales posee una máquina universal de ensayos mecánicos modelo AG X-plus de 250 kN de capacidad, la cual es usada para actividades de docencia, investigación y extensión. Este equipo cuenta con un manual del usuario suministrado por el fabricante, donde se especifican los procedimientos e información necesaria para la operación, mantenimiento y seguridad de la máquina. El fabricante tradujo el manual del japonés al inglés, lo que dificulta la comprensión total del manual. En este trabajo de grado se realizó una traducción y adaptación del manual suministrado por el fabricante en el que se especifican los procedimientos y la información necesaria para garantizar el buen uso y estado de la máquina, así como advertencias y recomendaciones para promover la seguridad de quienes la utilicen permitiendo el desarrollo de las prácticas de laboratorio del Plan de Estudios de la Escuela y la apropiada caracterización de los materiales.

[†]Trabajo de grado (Modalidad práctica en docencia)

^{**} Facultad de Ingenierías Físico-Químicas. Escuela de Ingeniería Metalúrgica y Ciencia de Materiales. Directores: María Liliana Meneses, Ingeniera Metalúrgica y Dr. Cristian Camilo Viáfara, Ingeniero Mecánico.

ABSTRACT

TITLE: DEVELOPMENT OF A GUIDE FOR THE OPERATION, MAINTENANCE AND SAFETY OF THE SHIMADZU MACHINE MODEL AG-X PLUS OF 250 KN.

AUTHORS: SERGIO ANDRÉS DURÁN CORZO, CAMILO JOSÉ RODRÍGUEZ CARVAJAL.**

KEYWORDS: MECHANICAL ESSAYS, UNIVERSAL TESTING MACHINE, OPERATION, MAINTENANCE AND SAFETY OF A TESTING MACHINE

The mechanical properties of the materials depend on their composition and microstructure, as well as their manufacturing process. In order to determine the response of materials exposed to different types of mechanical stresses, samples of the material are mechanically tested, using procedures and specifications established according to international standards. The faculty of Metallurgical Engineering and Materials Science at the Industrial University of Santander in Colombia has a universal machine for mechanical testing, model AG X-plus with 250 kN of capacity, which is used for activities of instruction, investigation and extension. This equipment has a user manual supplied by the manufacturer, which specifies the procedures and information necessary for the operation, maintenance and safety of the machine. The manufacturer translated the manual from Japanese to English, what makes difficult to native Spanish speakers to fully understanding the instructions given in the manual. In this degree project, the authors perform a translation and adaptation of the manual supplied by the manufacturer. This manual specifies the procedures and information necessary to ensure the proper use and condition of the machine, as well as warnings and recommendations to promote the safety of the users; this is necessary for the development of laboratory practices in the career curriculum and for the accurate characterization of materials.

[†] Bachelor thesis

^{**} Facultad de Ingenierías Físico-Químicas. Escuela de Ingeniería Metalúrgica y Ciencia de Materiales. Directores: María Liliana Meneses, Ingeniera Metalúrgica y Dr. Cristian Camilo Viáfara, Ingeniero Mecánico.

INTRODUCCIÓN

El conocimiento de la capacidad de los materiales para resistir una carga antes de fracturarse ha sido de gran importancia para el hombre desde que las primeras estructuras fueron construidas. Para esto, a través de la historia se fueron estandarizando los ensayos para medir las propiedades mecánicas de los materiales y de esta manera predecir su comportamiento frente a diferentes cargas, asegurando su servicio adecuado en las distintas aplicaciones, evitando pérdidas humanas y económicas.

Los ensayos mecánicos se especifican y estandarizan mediante procedimientos establecidos según normas internacionales como la ASTM (American Society of Testing Materials), NTC (Norma Técnica Colombiana), DIN (Instituto Alemán de Normalización), entre otras. Estas normas indican cómo deben ser realizadas las pruebas para poder determinar las propiedades de los materiales con precisión, asegurando su servicio en las mejores condiciones de seguridad, economía y durabilidad.

En el área de la metalurgia adaptiva, la medición de las propiedades mecánicas en el laboratorio es de suma importancia para el estudio de los materiales. El componente práctico afianza el aprendizaje de los estudiantes, permitiendo el estudio y la evaluación de las propiedades mecánicas, en donde la experiencia es la base y la culminación de la teoría. Dicho de otra forma, las hipótesis experimentales no describen la realidad en su totalidad sino que modelan de manera aproximada los fenómenos que ocurren en esta. Por este motivo los cálculos teóricos para el diseño y la selección de materiales deben retroalimentarse con la medición de las propiedades mecánicas. Así, los ensayos mecánicos facilitan el control de la calidad de los materiales, permiten conocer datos de la resistencia mecánica de un material a través del análisis de su comportamiento elástico, plástico y rotura, bajo un tipo específico de esfuerzo en constante aumento.

La Escuela de Ingeniería Metalúrgica y Ciencia de Materiales de la Universidad Industrial de Santander cuenta una máquina universal de ensayos modelo Shimadzu AG XPlus de 250 kN de capacidad, la cual es usada para caracterizar materiales por sus propiedades mecánicas. Esta máquina no posee un manual que facilite su operación por parte de los diferentes usuarios, ya que los documentos suministrados por el fabricante se encuentran en inglés. Debido a la complejidad del equipo y su sensibilidad a la descalibración o daño debido a una inadecuada manipulación, se hizo necesario la realización de un trabajo de grado de modalidad práctica en docencia, donde se realizó una traducción y adaptación del manual del usuario original para elaborar una guía que facilite y promueva la seguridad en el laboratorio, la buena operación y el mantenimiento de la máquina.

1. ANTECEDENTES

El Programa académico de Ingeniería Metalúrgica de la Escuela de Ingeniería Metalúrgica y Ciencia de los Materiales perteneciente a la Facultad de Ingenierías Físicoquímicas de la Universidad Industrial de Santander, tiene dentro de su plan de estudios una línea formativa en el área de metalurgia adaptiva con las siguientes asignaturas: Ciencia de Materiales, Resistencia de Materiales, Metalurgia Física, Metalurgia mecánica y Conformado de Metales. Para esta línea formativa es de vital importancia la caracterización de las propiedades mecánicas de los materiales. Teniendo en cuenta que materiales con composición química igual pueden tener propiedades mecánicas diferentes, dependiendo de su microestructura, proceso de fabricación, tratamiento térmico, entre otras variables, se hace necesario contar con equipos de caracterización mecánica.

En la asignatura Metalurgia Mecánica se imparte un laboratorio donde se realizan los ensayos de caracterización mecánica más usados en la industria. La Escuela cuenta con una máquina universal de ensayos marca SHIMADZU modelo AUTOGRAPH AG-X PLUS de 250 (kN) de capacidad para ejecutar dichos ensayos. Esta máquina se encuentra ubicada en el Laboratorio de Metalurgia Mecánica en el edificio de Planta de Aceros, y actualmente está bajo supervisión de los técnicos asignados por la Escuela. Debido a la complejidad del equipo, al riesgo que pueden correr los usuarios y a la sensibilidad a la descalibración, se hace necesario contar con una guía para la operación, el mantenimiento y la seguridad de la máquina. Este documento describe el procedimiento llevado a cabo para la elaboración de la guía del usuario.

Como punto de referencia del presente trabajo de grado, se puede tomar el caso de la máquina universal de ensayos de la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica de la Universidad Veracruzana de México, la cual por falta de un uso adecuado, motivó la realización de un proyecto de grado para elaborar un manual

actualizado del usuario. Este manual requirió de la traducción y adaptación del inglés al español de los documentos entregados por el fabricante.

Un caso similar ocurre con la máquina de la Escuela de Ingeniería Metalúrgica y Ciencia de los Materiales, la cual cuenta con documentación en inglés en donde se describe los aspectos para la operación, mantenimiento, seguridad. Sin embargo, estos documentos requieren de una interpretación y adaptación que facilite el uso de la máquina por parte de los usuarios y promueva las prácticas de seguridad y mantenimiento requeridas.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Elaborar una guía para la operación, mantenimiento y seguridad de la máquina Shimadzu AG-X plus de 250 KN.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Incentivar el uso y la manipulación adecuados de la máquina Shimadzu AG-X plus de 250 KN por parte de los técnicos, profesionales y estudiantes a través de un documento guía.
2. Proporcionar la información relativa al mantenimiento de la máquina Shimadzu AG-X plus de 250 KN para evitar fallas y deterioros prematuros.
3. Promover las normas de seguridad para el uso de la máquina por medio de avisos y material de apoyo gráfico.
4. Realizar una traducción y adaptación del manual suministrado por el fabricante de la máquina organizando su contenido de una forma simplificada y accesible.

3. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

3.1 ENSAYOS MECÁNICOS

Las propiedades mecánicas de los materiales dependen de su composición y microestructura, así como del proceso de manufactura. Para determinar las propiedades mecánicas de los materiales, en respuesta a diferentes tipos de esfuerzo aplicados, se realizan diversos ensayos mecánicos, a probetas o muestras del material, mediante procedimientos y especificaciones establecidos según normas internacionales. Los ensayos son realizados con una máquina universal de ensayos como la que se muestra en la figura 1. Con esta máquina se pueden realizar ensayos de tracción, flexión, compresión, entre otros.

Figura. 1 Máquina universal de ensayos Shimadzu (250 kN/350kN).



Fuente: SHIMADZU CORPORATION. AGX-Plus series.

3.1.1 Ensayo de tracción El ensayo de tracción o tensión consiste en aplicar una carga de tensión de forma axial o longitudinal con velocidad constante a una probeta estándar de tensión. La muestra o probeta de material se deforma o alarga en la dirección de la fuerza aplicada hasta su rotura. La probeta tiene dimensiones establecidas por la norma, dependiendo del material que se desee ensayar. Las velocidades de deformación del ensayo son típicamente pequeñas (10^{-4} a $10^{-2} s^{-1}$)¹. El ensayo de tensión es probablemente el ensayo mecánico más importante y estandarizado. Permite encontrar el límite elástico, resistencia última a la tracción, la elongación y el porcentaje de reducción de área entre otras propiedades.

La carga aplicada aumenta gradualmente y es registrada por la máquina, junto con el desplazamiento o alargamiento de la probeta, permitiendo la construcción de la curva esfuerzo-deformación para el análisis de las propiedades mecánicas. El esfuerzo de tracción se representa en la figura 2. En la figura 3 se muestran diferentes probetas estandarizadas para el ensayo de tensión.

Figura 2. Esquema de un elemento sometido a tensión.



¹ ASKELAND, Donald y PRADEEP, P. y WENDELIN Wright. "The science and Engineering of Materials". Sixth edition, 2010. p. 204.

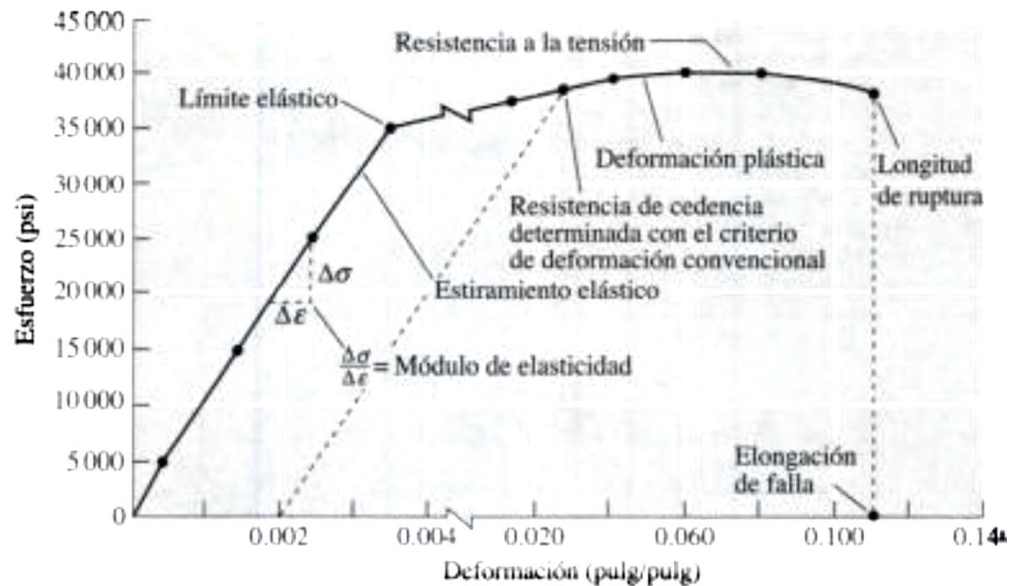
Figura 3. Probetas de tensión de metales (de izquierda a derecha): Probeta no ensayada con 9 mm de diámetro, y probetas ensayadas de fundición gris, aleación de aluminio 7075-T651 y acero laminado en caliente AISI 1020.



Fuente: DOWLING Norman. Mechanical Behavior of Materials.

A partir de los datos registrados por la máquina se estiman los esfuerzos y la deformación unitaria para construir la curva esfuerzo-deformación, como la que se ilustra en la figura 4. La zona lineal de la gráfica representa la deformación elástica, en la cual, al ser retirada la carga aplicada el material retornará a su longitud inicial. La medida de la pendiente de la recta representa el módulo de Young o elástico, el cual caracteriza el grado de deformación elástica y la rigidez del material ensayado; en la siguiente zona se inicia la deformación plástica al pasar por el límite elástico. El esfuerzo continua aumentando hasta llegar a un valor máximo, en el cual normalmente se da una estricción o encuellamiento de la probeta, y luego el esfuerzo disminuye hasta la rotura.

Figura 4. Curva esfuerzo deformación para una aleación de aluminio.



Fuente: ASKELAND y PRADEEP. The science and Engineering of Materials.

Los datos registrados por la máquina son la carga y el alargamiento. El esfuerzo nominal σ se define mediante la relación entre la carga instantánea aplicada perpendicularmente a la sección de la probeta expresada en Newton y el área inicial de la sección transversal de la probeta, como se ilustra en la siguiente ecuación:

$$\sigma = \frac{P}{A_o}$$

La deformación nominal se define en la siguiente ecuación:

$$\varepsilon = \frac{L_f - L_o}{L_o} = \frac{\Delta L}{L_o}$$

Dónde:

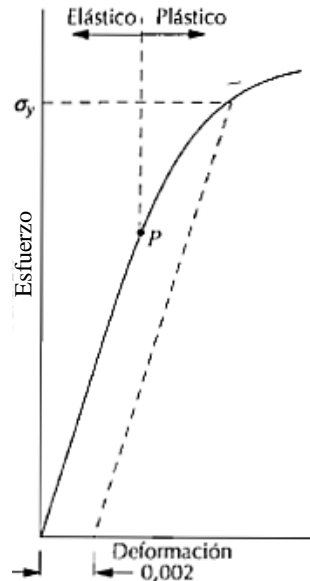
L_f : Longitud final después de la fractura. L_0 : Longitud inicial de la sección ensayada.

La mayoría de las estructuras se diseñan de tal manera que solamente ocurra deformación elástica cuando sean sometidas a esfuerzos. Por consiguiente, es deseable conocer el nivel de esfuerzos para el cual empieza la deformación plástica, es decir cuando ocurre el fenómeno de fluencia. Para los metales que experimentan la transición elástico-plástica de forma gradual, el punto de fluencia puede determinarse como la desviación inicial de la linealidad de la curva esfuerzo-deformación; este punto se denomina a límite proporcional y está indicado por el punto P en la figura 5. En tales casos, la posición de este punto no puede ser determinada con precisión. Por este motivo se ha establecido una convención por la cual se traza una línea recta paralela a la línea elástica del diagrama esfuerzo-deformación desplazada por una determinada deformación, normalmente 0.002. Al esfuerzo correspondiente a la intersección de esta línea con la curva esfuerzo-deformación se le denomina límite elástico. Esto es aplicable a materiales que presenten una región elástica lineal. Para los materiales con región elástica no lineal el límite elástico se define como el esfuerzo necesario para producir una determinada deformación plástica, por ejemplo del 5% ².

La resistencia última a la tracción σ_u o resistencia a la tracción es el mayor esfuerzo ingenieril alcanzado antes de que el material falle. En materiales frágiles tales como las fundiciones grises el mayor esfuerzo ocurre en el punto de fractura. Sin embargo en metales dúctiles la fuerza y por lo tanto el esfuerzo ingenieril alcanza un punto máximo y decrece antes de la fractura. En cualquier caso la resistencia última a la tracción se calcula dividiendo la carga máxima alcanzada ($P_{m\acute{a}x}$) durante el ensayo sobre el área inicial de la sección transversal de la probeta (A_i) como se muestra en la siguiente ecuación: $\sigma_u = \frac{P_{m\acute{a}x}}{A_i}$

² CALLISTER, William. "Introducción a la Ciencia e Ingeniería de los Materiales I". España. Editorial Reverte, 2003. p.125.

Figura 5. Curva de tracción típica de un metal la cual muestra las deformaciones elástica y plástica, el límite proporcional P y el límite elástico σ_y , determinado como un esfuerzo para una deformación plástica del 0.002.



Fuente: CALLISTER. Introducción a la Ciencia e Ingeniería de los Materiales I.

Otra propiedad importante que se puede obtener mediante el ensayo de tracción es la ductilidad. La ductilidad es una medida del grado de deformación plástica que puede soportar un material hasta la rotura. Un material que experimenta poca o ninguna deformación plástica se denomina frágil. La ductilidad puede expresarse mediante el porcentaje de reducción de área, el cual se calcula comparando el área transversal después de la fractura (A_f), con el área inicial, mediante la siguiente ecuación:

$$\%RA = \frac{A_o - A_f}{A_o} \times 100\%$$

Otra medida de la ductilidad es el porcentaje de elongación, se emplean marcas en la sección ensayada para establecer la longitud inicial y final. El cambio en la longitud de la probeta expresa un valor de deformación el cual da el porcentaje de elongación después de la fractura ϵ_{pf} ³. El porcentaje de elongación del material ensayado se calcula usando la siguiente ecuación:

$$\epsilon_{pf} = \frac{L_f - L_i}{L_i}, \quad \% \text{ elongación después de la fractura} = 100 \epsilon_{pf}$$

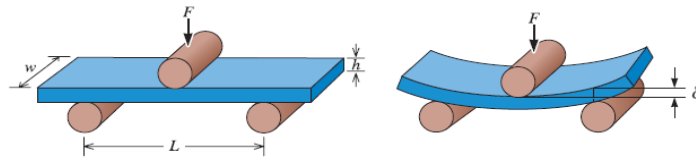
3.1.2 Ensayo de Flexión El ensayo de flexión o doblado deforma una probeta del material ensayado en el punto central, causando una superficie cóncava o doblada sin la ocurrencia de la fractura para materiales dúctiles o con fractura en materiales frágiles y es usado típicamente para determinar la ductilidad o resistencia a la fractura de los materiales . Los ensayos de flexión son usados principalmente para evaluar las resistencias a la tracción de materiales frágiles, ya que estos materiales son difíciles de ensayar en ensayos de tensión uniaxial simples debido al agrietamiento producido por el agarre con las mordazas⁴.

El ensayo se describe a continuación: una probeta de sección transversal rectangular se coloca sobre dos soportes en posición plana y es cargada por medio de una nariz de carga localizada en el centro, como se muestra en la figura 6. Existen dos tipos de ensayos de flexión, en 3 y en 4 puntos, los cuales están representados en la figura 7.

Figura 6. Aplicación de la carga y deflexión provocada (δ) en el ensayo de flexión.

³ DOWLING Norman. "Mechanical Behavior of Materials" 4th edition, Prentice Hall, 2012. p.131.

⁴ ASKELAND, Donald y PRADEEP, P. y WENDELIN Wright. "The science and Engineering of Materials". Sixth edition, 2010. p.219.



Fuente: ASKELAND. The science and Engineering of Materials.

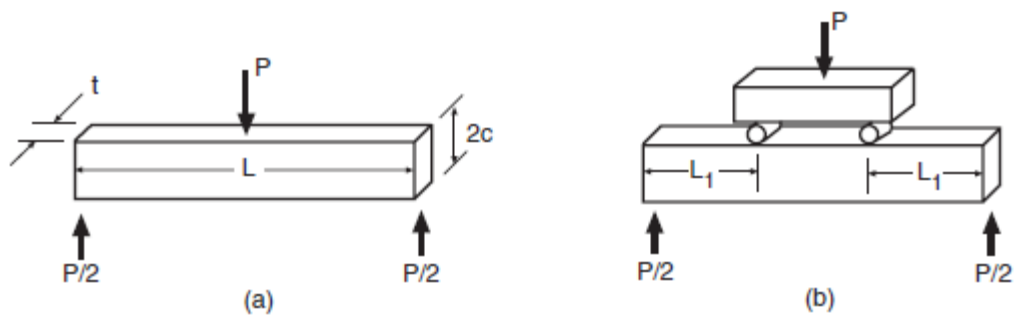
La muestra es deflactada hasta que ocurra la rotura en la superficie convexa de la probeta o hasta una deformación específica. La probeta experimenta esfuerzos de compresión en la superficie cóncava y esfuerzos de tensión en la superficie convexa una vez se ha deflactado. La resistencia a la flexión o el módulo de ruptura describe la resistencia del material. El módulo de ruptura o resistencia a la flexión para el ensayo en tres puntos es igual a:

$$\sigma_f = \frac{3FL}{2wh^2} \quad 5.$$

Dónde:

F: Carga de fractura; L: Distancia entre soportes; W: Ancho de la probeta; h: Altura de la probeta.

Figura 7. Flexión en tres y cuatro puntos, respectivamente.



DOWLING. Mechanical Behavior of Materials.

⁵ ASKELAND, Donald y PRADEEP, P. y WENDELIN Wright. "The science and Engineering of Materials". Sixth edition, 2010. p.219.

4.1.3 Ensayo de Compresión Los ensayos de compresión se realizan a materiales que experimenten estos esfuerzos en servicio. Un ensayo de compresión se realiza de forma similar a un ensayo de tracción, excepto que la fuerza es compresiva (opuesta a la de tracción en dirección), y la probeta se contrae o disminuye su longitud inicial con la aplicación de la carga. Los ensayos de compresión se utilizan cuando se desea conocer el comportamiento del material bajo deformaciones plásticas grandes, tal como ocurren en los procesos de conformado, o bien cuando tiene un comportamiento frágil a tracción). El esfuerzo de compresión y su efecto en la longitud de la probeta se ilustran en la figura 8. En la figura 9 se muestran probetas de metales para el ensayo de compresión. Las porciones iniciales de las curvas esfuerzo-deformación tienen la misma naturaleza en los ensayos de compresión y tensión. Debido a esto algunas propiedades se pueden definir de igual manera para ambos ensayos, tales como el módulo elástico E y el límite elástico ⁶

Figura 8. Elemento sometido a compresión.

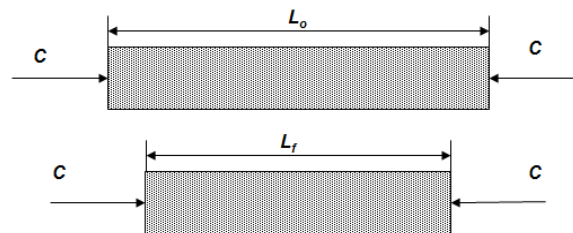
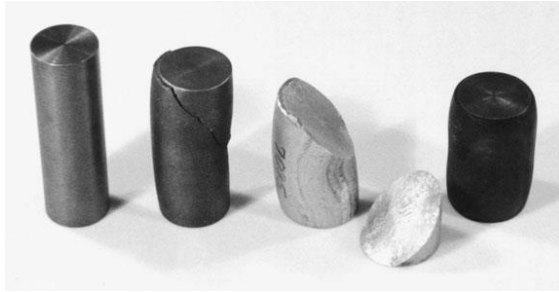


Figura 9. Probetas para compresión, (de derecha a izquierda): Probeta no ensayada, probeta de fundición gris, probeta de aleación de aluminio 7075-T651, y probeta de acero AISI 1020 laminado en caliente.

⁶ DOWLING Norman. "Mechanical Behavior of Materials" 4th edition, Prentice Hall, 2012. p.151.



Fuente: DOWLING. Mechanical Behavior of Materials.

4. METODOLOGÍA

A continuación se presenta el esquema general de la metodología utilizada para el desarrollo del proyecto.

4.1 CONSULTA BIBLIOGRÁFICA

La estructura planteada para el desarrollo de la guía del usuario se basa inicialmente en la búsqueda y el análisis de material bibliográfico pertinente. Así se consultaron diversas fuentes de literatura especializada, tales como libros con los fundamentos de los ensayos mecánicos como los de tracción, flexión y compresión para obtener una perspectiva global de los ensayos y determinación de las propiedades mecánicas. Se hizo un mayor énfasis en el ensayo de tracción, junto con su respectiva curva de esfuerzo-deformación. Además, se revisó la norma para el ensayo de tracción ASTM E8 y trabajos de grado de temática similar.

4.2 REVISIÓN DEL MANUAL DEL USUARIO

Durante esta etapa se revisó el texto en inglés del manual del usuario en lo referente al modelo SHIMADZU AG-X PLUS 250 kN haciendo énfasis especial en las recomendaciones de seguridad. De igual modo se estudiaron los procedimientos, las funciones, los accesorios, las conexiones y la operación adecuada de la máquina. Además, se verificaron los rangos de carga y de desplazamiento para su correcto desempeño. En base a la bibliografía revisada

anteriormente y a la revisión del manual de la máquina, se definieron los procesos adecuados para operación, mantenimiento y seguridad de la máquina universal de ensayos.

4.3 TRADUCCIÓN Y ADAPTACIÓN DEL MANUAL DEL USUARIO

Posterior a la revisión de la información del manual del usuario se procedió a realizar una traducción y una adaptación del manual para simplificarlo y facilitar su lectura por parte de los usuarios. Para este fin se organizó el contenido del manual de una forma más pedagógica y asequible, en otras palabras, se estructuró el contenido de los capítulos de forma que la información necesaria para entender un capítulo en la medida de lo posible se suministre en los capítulos anteriores. Por otro lado, se realizó una revisión gramatical extensiva del texto original, ya que se observó una traducción imprecisa del idioma del fabricante (japonés) al inglés. Se obviaron los contenidos que no aplicaban al modelo de la máquina adquirida por la Escuela.

4.4 ELABORACIÓN DE LA GUÍA PARA LA OPERACIÓN, MANTENIMIENTO Y SEGURIDAD DE LA MÁQUINA Y DEL LIBRO DE TRABAJO DE GRADO

Una vez realizada la traducción y la adaptación, se implementó la elaboración de la guía del usuario de la máquina, el cual se presenta como un anexo del presente trabajo. Durante este proceso se aclararon dudas sobre el montaje para los ensayos con la ayuda de los técnicos encargados de manipular la máquina. Se revisó la operación de la máquina y el manejo del software Trapezium X, así como las normas estándar para la realización de los ensayos.

5. RESULTADOS

A continuación se presentan los resultados obtenidos a partir de la elaboración de una guía para la operación, mantenimiento y seguridad de la máquina Shimadzu AG-X plus de 250 KN.

5.1 Guía para la operación, mantenimiento y seguridad de la máquina

En la elaboración de la guía se realizó una adaptación del manual del usuario entregado por Shimadzu. Se realizó la adaptación corrigiendo errores gramaticales y de sintaxis propiciando una del usuario simplificada.

Se omitieron detalles como datos sobre accesorios no incluidos en la máquina de la Escuela de Ingeniería Metalúrgica y Ciencia de Materiales, así como información que se repite en otros capítulos.

Los nombres de las partes se unificaron en toda la guía para la operación, mantenimiento y seguridad, para evitar confusiones en su lectura.

En la tabla 1 se presenta el contenido del capítulo de seguridad. En este capítulo inicial se muestran diferentes recomendaciones e información importante para promover la seguridad cuando se use la máquina. Este es un aspecto fundamental para reducir el riesgo de accidentes que pueda ocurrir a los usuarios. Se decidió no enumerar este primer capítulo siguiendo el ejemplo del manual del usuario original.

Tabla 1. Guía de seguridad.

Capítulo	Título
Guía de seguridad	Indicaciones de seguridad Advertencias Precauciones Notas Medidas de emergencia

En la tabla 2 se presenta el contenido del capítulo “Descripción General”. En este capítulo se presenta la máquina de ensayos y algunas de sus funciones y componentes. Además se muestran recomendaciones fundamentales para el uso adecuado y seguro de la máquina, las cuales se explicaran con más detalle en capítulos posteriores.

Tabla 2. Descripción general.

Capítulo	Título
1. Descripción General	1.1 Manejo de la celda de carga 1.2 Manejo de mordazas 1.3 Ensayos cíclicos

	1.4 Ajuste de los interruptores límite 1.5 Errores del sistema
--	---

Tabla 2. (Continuación).

Capítulo	Título
1. Descripción General	1.6 Función ahorro de energía 1.7 Especificaciones generales 1.8 Especificaciones detalladas

En la tabla 3 se presenta el contenido del capítulo 2. En este capítulo se brinda información general sobre las partes principales de la máquina como el marco principal, la celda de carga, los accesorios y los dispositivos para ensayos con sus respectivas capacidades y números de referencia.

Tabla 3. Partes principales.

Capítulo	Título
2. Partes principales	2.1 Unidad del marco de carga 2.2 Accesorios 2.3 Equipo complementario

La tabla 4 muestra el contenido del capítulo 3. En este capítulo se describen e ilustran las partes, los puertos y las conexiones principales. La tabla 5 presenta el contenido del capítulo 4. En este capítulo se explican generalidades de la máquina que van desde condiciones para la instalación, protocolos de seguridad, operación hasta procedimientos para el montaje de los diferentes dispositivos de la máquina y la descripción de otras funciones.

Tabla 4. Nombre y función de las partes principales.

Capítulo	Título
3. Nombre y función de las partes principales	3.1 Marco principal 3.2 Caja de controladores 3.3 Descripción de las partes principales de la máquina 3.4 Controlador digital 3.5 Descripción de las partes 3.6 Celda de carga (montaje para el ensayo de tensión)

Tabla 5. Instrucciones básicas.

Capítulo	Título
4. Instrucciones básicas	4.1 Precauciones para la instalación 4.2 Ajuste del controlador digital 4.4 Dispositivos de seguridad

	<p>4.5 Pernos de anclaje</p> <p>4.6 Cobertura de protección</p> <p>4.7 Encendido y apagado del suministro de energía</p> <p>4.8 Uso del controlador digital</p>
--	---

Tabla 5. (Continuación).

Capítulo	Título
4. Instrucciones básicas	<p>4.9 Desplazamiento del puente de carga</p> <p>4.10 Configuración del punto inicial del puente de carga</p> <p>4.11 Configuración de la máquina de ensayos</p> <p>4.12 Función ahorro de energía</p>

La tabla 6 muestra el contenido del capítulo 5, relacionado con los procesos que deben realizarse antes de llevar a cabo los ensayos como por ejemplo la estabilización del sistema de medición de la máquina. La tabla 7 presenta el contenido del capítulo 6, el cual contiene los procedimientos para realizar los ensayos de tensión, flexión y compresión. Para la elaboración de los capítulos 5 y 6 se verificó el procedimiento y el manejo de la máquina con el personal encargado de la operación de la máquina.

Tabla 6. Preparación para los ensayos.

Capítulo	Título
5.Preparacion para los ensayos	5.1 Pre calentamiento del sistema 5.2 Calibración del amplificador de carga de ensayo

Tabla 6. (Continuación).

Capítulo	Título
5.Preparacion para los ensayos	5.3 Calibración del extensómetro amplificador interno

Tabla 7. Realización de un ensayo.

Capítulo	Título
6. Realización de un ensayo	6.1 Ensayo de tensión 6.2 Ensayo de compresión y ensayo de flexión

En la tabla 8 se presenta el contenido del capítulo 7, en el cual se da información sobre configuraciones de la máquina y sus funciones. Este capítulo en el texto original se encontró con un gran número de errores del uso y redacción del inglés, los cuales para su adaptación requirió hacer una revisión del software

TRAPEZIUM X, del funcionamiento de la máquina y contenido de los capítulos anteriores. Se omitieron algunos detalles como la explicación matemática de las funciones de detección del punto de ruptura. Además se incluyeron las variables de control, la frecuencia de registro y la conexión de los dispositivos externos.

Tabla 8. Operación de la máquina.

Capítulo	Título
7. Operación de la máquina	7.1 Detección del punto de ruptura 7.2 Uso de la carga y de la deformación para configurar la velocidad del ensayo 7.3 Frecuencia de registro 7.4 Uso de extensómetros y medidores de amplitud 7.5 Transmisión de señales análogas a dispositivos externos

La tabla 9 presenta el contenido del capítulo 8, donde se encuentran las recomendaciones dadas por el fabricante respecto al cuidado y mantenimiento de la máquina. Esta información es de vital importancia y se debe tener presente para realizar las actividades descritas periódicamente para así garantizar la confiabilidad de los datos obtenidos mediante los diferentes ensayos y la mantener

la integridad de la máquina y sus dispositivos. En la tabla 10 se presenta el contenido del capítulo 9, donde se dan las precauciones para el cuidado y almacenamiento de la máquina.

La tabla 11 muestra el contenido del capítulo 10, en el cual se da la información sobre los distintos códigos de alarma o error que puede presentar la máquina durante un ensayo y las acciones que se deben realizar para resolverlos.

Tabla 9. Inspección, rendimiento y mantenimiento.

Capítulo	Título
8. Inspección, rendimiento y mantenimiento.	8.1 Inspección periódica 8.2 Inspección de los dispositivos de seguridad. 8.3 Inspección de carga 8.4 Mantenimiento

Tabla 10. Traslado o almacenamiento de la máquina.

Capítulo	Título
9. Traslado o almacenamiento de la máquina	9.1 Precauciones para el cuidado de la máquina 9.2 Precauciones para el

	almacenamiento de la máquina
--	------------------------------

Tabla 11. Solución de problemas

Capítulo	Título
10. Solución de problemas	10.1 Introducción 10.2 Códigos de alarma

Tabla 11. (Continuación)

Capítulo	Título
10. Solución de problemas	10.3 Otros problemas 10.4 Reinicio de la memoria RAM 10.5 Posición del interruptor de energía

5.2 Avisos de seguridad

Los avisos de seguridad se adjuntan al presente trabajo en el anexo B. Se realizó una traducción y adaptación del material suministrado por el fabricante referente a precauciones y recomendaciones para operar la máquina y la seguridad en el laboratorio.

6. CONCLUSIONES

- 1.** La traducción y adaptación del manual original de la máquina permite que los técnicos y usuarios tengan una guía para darle un uso adecuado y seguro al equipo, permitiendo mantener la integridad de la máquina de ensayos.
- 2.** El desarrollo de esta modalidad de trabajo de grado permite a los estudiantes poner en práctica los conocimientos adquiridos durante el pregrado y contribuir a las actividades desarrolladas por la escuela (docencia, investigación, extensión).
- 3.** Este trabajo de grado permitió que los estudiantes adquirieran competencias en torno a la operación, mantenimiento y seguridad de equipos de ensayo que se pueden encontrar en la industria y en otras instituciones educativas.

7. RECOMENDACIONES

1. Se recomienda colocar a disposición una copia de la guía para la operación mantenimiento y seguridad de la máquina para todos los eventuales usuarios del equipo de forma que se promueva el correcto manejo, para garantizar la seguridad de los usuarios y la integridad de la máquina.

2. Para la futura adquisición de equipos de ensayos se recomienda realizar una traducción y adaptación del manual al español dado el caso en que se entregue el manual del usuario en otro idioma.

3. Se recomienda hacer visibles los anuncios de seguridad contenidos en el anexo B, los cuales advierten sobre los principales riesgos que pueden presentar los usuarios de la máquina.

En relación a la máquina universal de ensayos marca Shimadzu AG-XPlus se recomienda:

4. Anclar la máquina al suelo con los pernos de ajuste. Actualmente la máquina se encuentra sin anclaje y esto puede provocar un accidente por volcamiento y la variación en los resultados de los ensayos debido a la falta de nivelación.

5. Revisar que las condiciones de instalación y el ambiente del laboratorio cumplan con los lineamientos recomendados para el buen funcionamiento de la máquina y garantizar la integridad de la misma. El capítulo 8 de la guía para la operación, mantenimiento y seguridad especifica las recomendaciones para la inspección, rendimiento y mantenimiento de la máquina.

6. Adquirir una cubierta protectora para la máquina ya que las piezas ensayadas, especialmente en el ensayo de compresión, pueden salir disparadas en dirección de los usuarios provocando accidentes.

7. Realizar el mantenimiento y la calibración de la máquina periódicamente como recomienda el fabricante para mantener la vida útil del equipo y obtener resultados confiables cuando se realicen los ensayos mecánicos.

BIBLIOGRAFÍA

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. "ASTM E8, Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials", 2015.

ASKELAND, Donald y PRADEEP, Phulé. "Ciencia e Ingeniería de los materiales". Cuarta edición, 2004. 1039p.

ASKELAND, Donald y PRADEEP, P. y WENDELIN Wright. "The science and Engineering of Materials". Sixth edition, 2010. 949p.

BEER y JOHNSTON y DEWOLF. "Mecánica de materiales." Sexta edición. México: McGraw-Hill/Interamericana, 2013. 839p.

CAIGNAERT G & KERGUIGNAS M. "Resistencia de materiales". Cuarta edición. España, Editorial Reverte, 1980. 580p.

CALLISTER, William. "Introducción a la Ciencia e Ingeniería de los Materiales I.España. Editorial Reverte, 2003. 803p.

DOWLING Norman. "Mechanical Behavior of Materials" 4th edition, Prentice Hall, 2012. 977p.

SHIMADZU CORPORATION. "Instruction Manual for Shimadzu Autograph AG-X plus Series, 2013.

SHIMADZU CORPORATION. "Trapezium 2 Data Processing System for Windows XP", 2013

ZÚÑIGA, José Antonio. "Manual de Pruebas y Operaciones de la Máquina Shimadzu AG-IS serie MS", 2014.