

**DISEÑO Y ELABORACIÓN DE LAS GUÍAS PRÁCTICAS DE LABORATORIO
EN LOS ENSAYOS DE IDENTIFICACIÓN DE MATERIALES, DUREZA,
EMBUTIDO, DOBLEZ E IMPACTO DE LA ASIGNATURA METALURGIA
MECÁNICA DEL PROGRAMA INGENIERÍA METALÚRGICA**

JOSÉ LEONARDO CUERVO SILVA

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

2018

**DISEÑO Y ELABORACIÓN DE LAS GUÍAS PRÁCTICAS DE LABORATORIO
EN LOS ENSAYOS DE IDENTIFICACIÓN DE MATERIALES, DUREZA,
EMBUTIDO, DOBLEZ E IMPACTO DE LA ASIGNATURA METALURGIA
MECÁNICA DEL PROGRAMA INGENIERÍA METALÚRGICA**

JOSÉ LEONARDO CUERVO SILVA

**Trabajo de Grado (Modalidad, práctica en docencia) para optar al título de
Ingeniero Metalúrgico**

Director

Dr. CRISTIAN CAMILO VIÁFARA ARANGO

Ingeniero Mecánico

Codirectora.

MARÍA LILIANA MENESES RINCÓN

Ingeniera Metalúrgica

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

2018

DEDICATORIA

A mis padres...mi mayor ejemplo y orgullo.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco al Ingeniero Cristian Viáfara, y a la Ingeniera María Liliana Meneses, por guiarme durante todo el proceso de este proyecto de grado y brindarme todo su apoyo y experiencia.

Agradezco al técnico Domingo Carreño por toda su colaboración en los laboratorios y al ingeniero Carlos A. Galán por su entrega y conocimiento que me ayudó a culminar este proyecto de grado.

Agradezco a Deivis Quintero, Gabriel Mora y a Germán Rosas por ser los amigos que estuvieron siempre conmigo durante toda mi carrera universitaria y a todas las demás personas que de alguna forma influyó en mi proceso como Ingeniero Metalúrgico.

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	14
1. ANTECEDENTES Y MARCO TEÓRICO	15
1.1 ENSAYOS DE DUREZA Y MICRODUREZA	15
1.1.1 Dureza Brinell	16
1.1.2 Dureza Rockwell	16
1.1.3 Ensayos de microdureza Vickers y Knop.....	17
1.2 ENSAYO DE IMPACTO	17
2. OBJETIVOS	19
2.1 OBJETIVO GENERAL	19
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	19
3. METODOLOGÍA	20
3.1 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	20
3.2 SELECCIÓN DE LOS TEMAS Y ESTRUCTURACIÓN DE LAS GUÍAS DE LABORATORIO	21
3.3 ELABORACIÓN DE LAS GUÍAS DE LABORATORIO	22
3.4 PRUEBAS PILOTO A PARTIR DE LAS GUÍAS DE LABORATORIO PLANTEADAS	22
3.5 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS	22
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	23
4.1 IDENTIFICACIÓN DE MATERIALES DE ENSAYO.....	25
4.2 ENSAYOS DE DUREZA Y MICRODUREZAS.....	27

4.3 ENSAYO DE DOBLEZ.....	30
4.4 ENSAYO DE EMBUTIDO	32
4.5 ENSAYO DE IMPACTO.....	35
5. CONCLUSIONES	38
6. RECOMENDACIONES.....	39
CITAS BIBLIOGRÁFICAS.....	40
BIBLIOGRAFÍA.....	43
ANEXOS.....	46

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Cronograma propuesto para las prácticas de laboratorio.	24
Tabla 2. Resultados de dureza Rockwell.	27
Tabla 3. Datos registrados durante el ensayo de embutido.	33

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Penetradores para las pruebas de dureza Brinell (a) y Rockwell (b)	16
Figura 2. Resultado de una serie de pruebas de impacto de Izod	18
Figura 3. Etapas y secuencia de la metodología.	20
Figura 4. Micrografías de los materiales que se caracterizaron durante las prácticas.	26
Figura 5. Resultados de microdureza Vickers con carga de 100g.	29
Figura 6. Aditamento para ensayo de doblez de la máquina Monsanto.	30
Figura 7. Placa de aluminio luego del proceso de doblado.....	31
Figura 8. Aditamento Erichsen de la máquina Monsanto para ensayo de embutido.	32
Figura 9. Morfología de las chapas de aluminio luego de la prueba de embutido.	33
Figura 10. Morfología de las chapas de aluminio luego de la prueba de embutido vista al estereoscopio.	34
Figura 11. Probeta de acero AISI SAE 1020 a 0°C.....	35
Figura 12. Probeta de acero AISI SAE 1020 a temperatura ambiente (20-25°C). .	36
Figura 13. Morfología de las probetas de acero AISI SAE 1020 a 0°C (a) y a temperatura ambiente (b) luego de la fractura por medio del ensayo de impacto vistas en el estereoscopio.....	37

LISTA DE ANEXOS

Anexo A. PRÁCTICA: IDENTIFICACIÓN DE MATERIALES DE ENSAYOS.....	47
Anexo B. PRÁCTICA: ENSAYOS DE DUREZA Y MICRODUREZA	50
Anexo C. PRÁCTICA: ENSAYO DE DOBLEZ	55
Anexo D. PRÁCTICA: ENSAYO DE EMBUTIDO	60
Anexo E. PRÁCTICA: ENSAYO DE IMPACTO	65

RESUMEN

TÍTULO: DISEÑO Y ELABORACIÓN DE LAS GUÍAS PRÁCTICAS DE LABORATORIO EN LOS ENSAYOS DE DUREZA, EMBUTIDO, DOBLEZ E IMPACTO DE LA ASIGNATURA METALURGIA MECÁNICA DEL PROGRAMA INGENIERÍA METALÚRGICA*

AUTOR: Cuervo Silva, José Leonardo**

PALABRAS CLAVES: Metalurgia mecánica, ensayos de dureza, dobléz, embutido, impacto, guías de laboratorio

DESCRIPCIÓN: Para Colombia es de suma importancia el continuo estudio de nuevos materiales para poder estar actualizados en todo lo que se trata de infraestructura y manufactura y que estos materiales cumplan con todas las normas establecidas para que puedan cabalmente cumplir con el trabajo o función delegada. Por lo anterior es muy pertinente implementar distintos tipos de ensayos a estos materiales para poder verificar por medio de sus propiedades mecánicas si se va a lograr cumplir todas estas tareas para las cuales fueron creados estos materiales y por esto es muy importante que los ingenieros metalúrgicos egresados de la Universidad Industrial de Santander puedan poner en práctica estos diferentes ensayos y con base a su análisis crítico y argumentativo puedan inferir en la utilización o no de estos materiales. Este proyecto parte de la necesidad que tiene la escuela de Ingeniería Metalúrgica de la Universidad Industrial de Santander de diseñar y elaborar las guías prácticas del laboratorio en los ensayos de dureza, embutido, dobléz e impacto y se le pueda brindar al estudiante un medio didáctico y eficaz para que pueda aplicar estos tipos de ensayos en distintos tipos de materiales metálicos y así fortalecer sus competencias académicas en un ámbito actualizado y eficiente para la industria a nivel nacional e internacional.

*Proyecto de grado (modalidad, práctica en docencia)

** Facultad de Ingenierías Físicoquímicas. Escuela de Ingeniería Metalúrgica y Ciencia de Materiales.

Director: Dr. Cristian Camilo Viáfara. Codirectora: Ing. María Liliana Meneses Rincón

ABSTRACT

TITLE: DESIGN AND DEVELOPMENT OF THE LABORATORY PRACTICAL GUIDES IN THE TESTING OF HARDNESS, DRAWING, BENDING AND IMPACT OF THE SUBJECT MECHANICAL METALURGY OF THE METALLURGICAL ENGINEERING PROGRAM *

AUTHOR: Cuervo Silva, José Leonardo**

KEYWORDS: Mechanical metallurgy, hardness, bending, drawing, impact tests, laboratory guides

DESCRIPTION: For Colombia it is of the utmost importance the continuous study of new materials to be updated in everything that is about infrastructure and manufacturing and that these materials comply with all the established norms so that they can fully comply with the work or delegated function. Due to the above it is very pertinent to implement different types of tests to these materials to be able to verify by means of their mechanical properties if it is going to achieve all these tasks for which these materials were created and for this reason it is very important that the metallurgical engineers graduates of the Universidad Industrial de Santander can put into practice these different tests and based on their critical and argumentative analysis can infer in the use or not of these materials. This project is based on the need of the School of Metallurgical Engineering of the Universidad Industrial de Santander to design and elaborate the practical guides of the laboratory in the tests of hardness, drawing, bending and impact and the student can be given a didactic means and effective so that you can apply these types of tests in different types of metallic materials and thus strengthen your academic skills in an updated and efficient environment for industry at national and international level.

*Proyecto de grado (modalidad, práctica en docencia)

** Facultad de Ingenierías Físicoquímicas. Escuela de Ingeniería Metalúrgica y Ciencia de Materiales.

Director: Dr. Cristian Camilo Viáfara. Codirectora: Ing. María Lilibiana Meneses Rincón

INTRODUCCIÓN

La asignatura Metalurgia Mecánica de séptimo nivel del programa de Ingeniería Metalúrgica tiene como objetivo primordial identificar y entender los conceptos fundamentales del comportamiento plástico de los metales, junto con las exigencias mecánicas de la industria. Por tal motivo, los componentes teórico-prácticos de esta asignatura previstos en el programa deben promover un alto desarrollo de las competencias y logros para así poder llegar a unos excelentes resultados en el proceso de aprendizaje de los estudiantes. Por ende, el papel que posee la parte práctica como estrategia de enseñanza es de suma importancia para afianzar, percibir y exteriorizar los conocimientos teóricos.

Dentro de la programación de prácticas del laboratorio de esta asignatura se encuentran estipulados los ensayos de identificación de materiales, dureza, dobléz, embutido, e impacto, los cuales no cuentan con guías de laboratorio. Lo anterior dificulta de manera general el proceso de enseñanza ya que induce a una falta de planeación por desconocimiento de los objetivos y los contenidos de las prácticas. En consecuencia, no es posible que estos procesos experimentales tengan un desarrollo óptimo del aprendizaje por parte del estudiante.

Además, hay que tener presente que el estudiante debe tener como resultado de su proceso de aprendizaje la capacidad de diseñar y realizar experimentos, así como analizar e interpretar los datos. Es por esto que se hace necesario el diseño y la elaboración de las guías prácticas de los ensayos anteriormente mencionados, ya que proporcionan a los estudiantes una base para entender mejor los ensayos mecánicos correspondientes, con el fin de proponer sobresalientes soluciones y una nueva y actualizada visión ingenieril a todos los egresados.

1. ANTECEDENTES Y MARCO TEÓRICO

Las propiedades mecánicas de los materiales son fundamentales en aplicaciones para la industria y en muchas tecnologías emergentes de la actualidad. Estas propiedades mecánicas, las cuales se obtienen de resultados de distintas pruebas, las podemos adecuar para que el material pueda cumplir a cabalidad todas sus exigencias en su aplicación industrial [1]. Una de las propiedades mecánicas que es de suma importancia considerar es la dureza, cuyos valores se usan cualitativamente para comparar diferentes materiales metálicos, para caracterizar el diseño óptimo de un tratamiento térmico en la selección de materiales o en el control de calidad [1].

Además, la dureza está correlacionada con otras propiedades de los materiales metálicos como lo es la resistencia a la tensión [2].

Otra propiedad mecánica importante en muchas aplicaciones en la industria es la resistencia al impacto, para la cual se debe tener muy en cuenta el efecto de variables como la temperatura y la tasa de deformación que tendrán una alta influencia en los resultados obtenidos. A continuación, se presenta una breve descripción de los ensayos que permiten medir estas propiedades.

1.1 ENSAYOS DE DUREZA Y MICRODUREZA

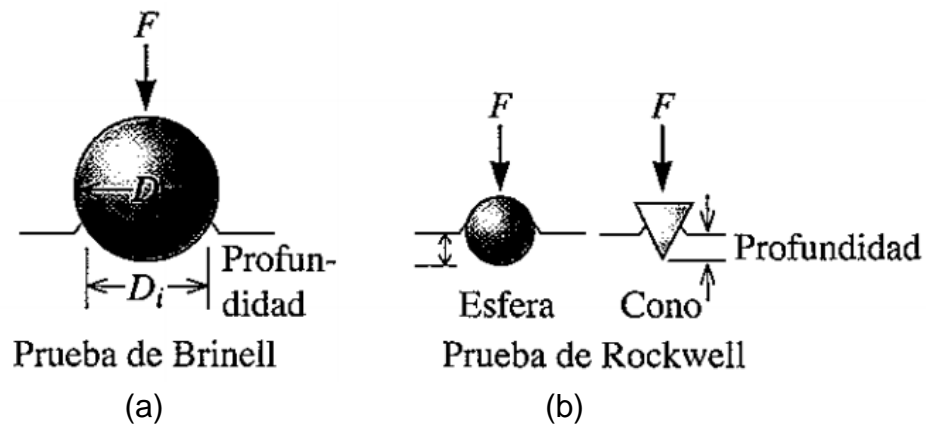
El ensayo de dureza es el método más usado para medir la resistencia mecánica de un material, el cual consiste en la penetración de un cuerpo muy duro sobre la superficie del material ensayado. Se pueden utilizar diferentes tipos de ensayos que provienen de la utilización de distintas combinaciones de penetradores y cargas, lo cual permite ensayar cualquier metal o aleación desde el más duro al más blando, teniendo siempre en mente las bases teóricas que permiten analizar y comparar los diferentes resultados.

1.1.1 Dureza Brinell En este tipo de ensayo se usa un penetrador esférico que es de carburo de tungsteno con un diámetro de 10 mm, Ver figura 1(a). A partir de la magnitud de la carga y del diámetro de la huella resultante se obtiene un número de dureza. Posteriormente el diámetro medido se convierte a un número HB usando una tabla de valores correlacionados de diámetro y número HB. Los materiales más duros requieren de cargas mayores [2].

Durante el ensayo la carga se mantiene constante durante un tiempo especificado.

1.1.2 Dureza Rockwell Es el método más usado para medir la dureza porque su implementación es muy sencilla. Este ensayo utiliza penetradores que pueden tener forma esférica o cónica de diferentes dimensiones. Por medio de este sistema, se determina un número de dureza a partir de la profundidad de penetración que resulta al aplicar la carga como se puede ver en la figura 1(b) [2]. En la figura 1b también se presenta un esquema de los indentadores.

Figura 1. Penetradores para las pruebas de dureza Brinell (a) y Rockwell (b) [1].



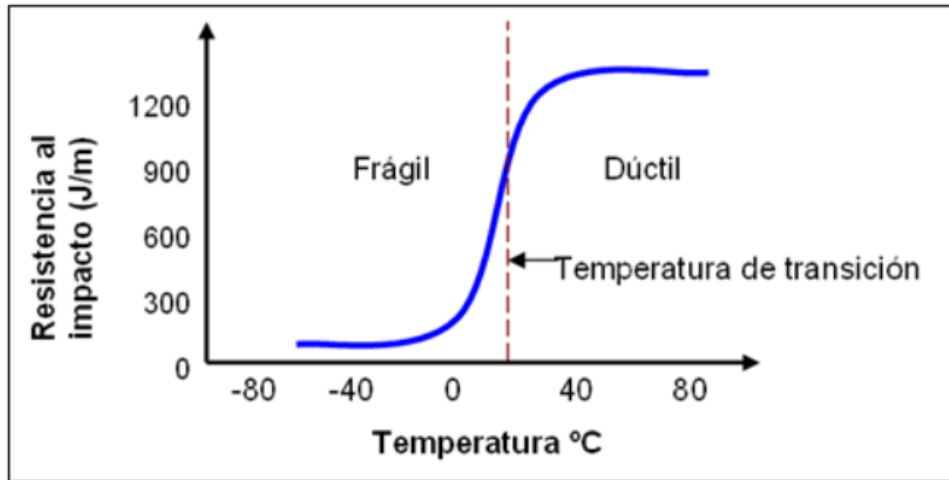
1.1.3 Ensayos de microdureza Vickers y Knop Los ensayos de microdureza son equivalentes al ensayo de dureza, pero las magnitudes de cargas utilizadas son mucho más pequeñas y estas varían entre 1 y 1000 g [2]. En estos ensayos un penetrador de diamante de geometría piramidal con 136° de ángulos de cara es forzado contra la superficie de la muestra [8]. La huella dejada por el penetrador se observa al microscopio y se mide; esta medida es entonces convertida en un número de dureza [1].

1.2 ENSAYO DE IMPACTO

La tenacidad al impacto es la habilidad de un material para almacenar la energía de un impacto por medio de la deformación plástica sin romperse. Con frecuencia se utiliza una prueba de impacto para evaluar la tenacidad al impacto de un material bajo ciertas condiciones. En esta prueba un péndulo pesado se eleva hasta una altura h_0 , se deja caer a través de su arco, golpea y rompe el espécimen y alcanza una elevación final h_f menor que h_0 . Esta diferencia de altura representa la energía de impacto absorbida por la muestra durante la falla. Existen dos ensayos normalizados, los ensayos de Charpy e Izod.

Un aspecto fundamental en los ensayos de impacto es la temperatura de transición, la cual es aquella temperatura en donde el modo de falla de un material cambia de fractura dúctil a frágil [1]. Esta temperatura puede definirse mediante la energía promedio entre las regiones dúctil y frágil, o una energía absorbida específica, o por medio de alguna fractura característica. Un material sujeto a un golpe de impacto durante el servicio debe tener una temperatura de transición por debajo de la temperatura de entorno del material. En la figura 2 se puede observar una gráfica típica de energía de impacto vs temperatura.

Figura 2. Resultado de una serie de pruebas de impacto de Izod [1].



2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Diseñar y elaborar las guías prácticas de laboratorio para los ensayos de identificación de materiales, dureza, embutido, dobléz e impacto de la asignatura Metalurgia Mecánica del programa Ingeniería Metalúrgica que favorece el aprendizaje significativo y el desarrollo de un aprendizaje basado en nuevas competencias.

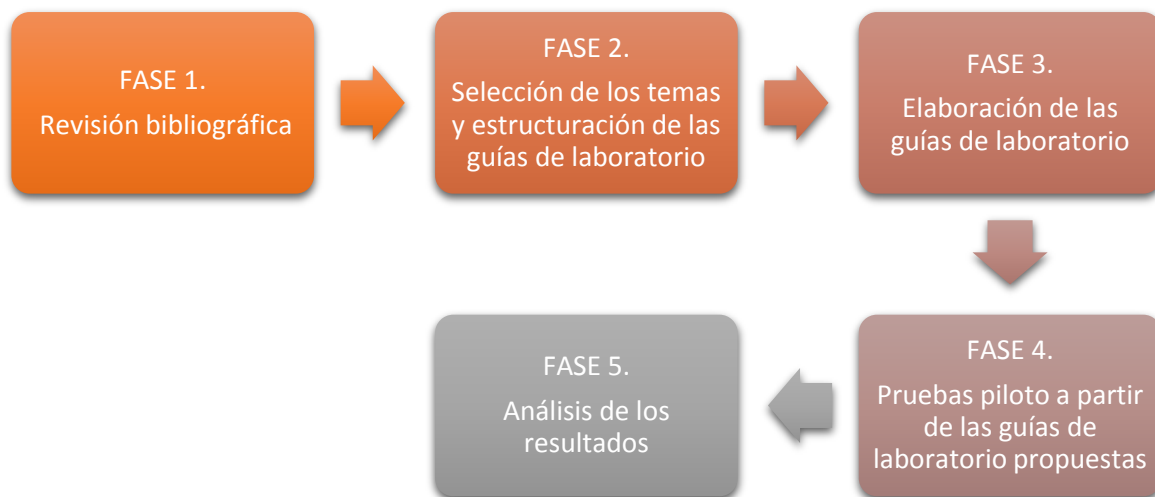
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar e incluir en las guías de las prácticas las normas de seguridad para cada uno de los ensayos a realizar.
- Realizar una revisión bibliográfica de las propiedades mecánicas de dureza e impacto con sus respectivos ensayos
- Revisar los fundamentos teóricos del conformado plástico y en particular de los procesos de embutido y dobléz junto con su ejecución en el laboratorio
- Desarrollar una guía estructurada y ordenada para incentivar en el estudiante un aprendizaje significativo por medio de las prácticas de los ensayos planteados en este proyecto.

3. METODOLOGÍA

A continuación se presentan las actividades de la metodología que se aplicó para la realización del trabajo propuesto, como se observa en la figura 3.

Figura 3. Etapas y secuencia de la metodología.



3.1 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

Para iniciar el desarrollo del presente proyecto, en la fase 1 se realizó una revisión de las diferentes fuentes bibliográficas de los temas a tratar, y se tomó como soporte para diseñar y estructurar las guías de laboratorio. Por otro lado, se examinaron las diferentes normas ASTM correspondientes a los ensayos estudiados en las guías, así como el estudio de los equipos utilizados.

También se tuvieron en cuenta libros de referencia importantes en el área de la ingeniería de materiales de autores como Askeland [1], Callister [2] y Dieter [5], y

demás libros en el área de manufactura de materiales de autores como Groover [3] y Kalpakjian [4].

3.2 SELECCIÓN DE LOS TEMAS Y ESTRUCTURACIÓN DE LAS GUÍAS DE LABORATORIO

En la fase 2 se ejecutó la etapa de selección de los temas y principios que se analizan en las guías prácticas y la estructuración de estas mismas.

En primera instancia se tuvieron en cuenta los propósitos de la asignatura para orientar las guías hacia los mismos objetivos. Con base en lo anterior se escogieron los siguientes temas para las guías de las prácticas para apoyar el método de aprendizaje propuesto por dicha asignatura.

1. Identificación de materiales
2. Ensayo de dureza
3. Ensayo de dobléz
4. Ensayo de embutido
5. Ensayo de impacto

En un trabajo de grado anterior [16] se realizaron las demás prácticas que integran el laboratorio de la asignatura metalurgia mecánica, las cuales consistieron en los ensayos de tracción, flexión y compresión.

Seguidamente se desarrolló un análisis de seguridad industrial del laboratorio, en el cual se determinaron los requisitos mínimos de seguridad que este exige, y así al conocer cómo prevenir los riesgos se puede garantizar la seguridad de los estudiantes, los profesores y los técnicos. Por esto mismo se identificaron las instalaciones en las que se van a desarrollar dichas prácticas, los elementos de protección personal (EPP) y las rutas de evacuación presentes en el área.

3.3 ELABORACIÓN DE LAS GUÍAS DE LABORATORIO

En esta fase 3 se detallaron las secciones anteriores de tal forma que se pudieran cumplir los objetivos planteados por la asignatura.

Los procedimientos de cada práctica se plantearon con base en toda la recopilación bibliográfica que se hizo durante la realización del proyecto y también teniendo en cuenta el contenido teórico de la asignatura y en las descripciones de los ensayos dados en los libros de referencia.

3.4 PRUEBAS PILOTO A PARTIR DE LAS GUÍAS DE LABORATORIO PLANTEADAS

En la fase 4 se realizaron las pruebas piloto aplicando las guías previamente elaboradas. En el semestre 2018-I se realizaron las prácticas de laboratorio previstas con el fin de evaluar la pertinencia de las guías propuestas. Gracias a estos análisis se lograron modificar aspectos importantes en las guías como inconvenientes y limitaciones que se distinguían durante el desarrollo de estas pruebas. A pesar de que no se cumplieron las normas, se intentó establecer un procedimiento para que estos ensayos fueran reproducibles.

3.5 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

En último lugar en la fase 5 se realizó un análisis de resultados de todo lo realizado en las prácticas de laboratorio. En estos análisis se vio reflejado todo el trabajo realizado en las guías por medio de sus pruebas piloto ejecutadas y los registros que se lograban tomar de estas.

Igualmente se analiza si estos resultados cumplieron con los objetivos de la asignatura

Con esta última actividad se elaboró el libro que será presentado en la sustentación final.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos que se expondrán a continuación corresponden a las pruebas piloto realizadas a partir de las guías elaboradas que se encuentran en los anexos.

A continuación se indican los propósitos tanto de la asignatura como del laboratorio con el fin de evaluar la conformidad y el cumplimiento de estos objetivos con las guías propuestas.

Propósito de la asignatura

- Ofrecer experiencias de formación para que estudiante pueda comprender el comportamiento mecánico de los metales y sus aleaciones cuando se les aplica fuerzas o cargas teniendo en cuenta su microestructura y su procesamiento.

Propósito del laboratorio

- Familiarizar al estudiante con los conceptos de caracterización mecánica de materiales metálicos mediante ensayos mecánicos con el objeto de determinar sus propiedades mecánicas para así predecir su comportamiento bajo ciertas exigencias de servicio y apoyar el control de calidad.

Se definió la estructura de las guías que contiene las siguientes secciones con su respectiva descripción

- Introducción: Se enuncia la teoría fundamental y justificación de la práctica.
- Materiales: Se indican los materiales que son necesarios para la ejecución de la práctica y sus dimensiones.
- Marco teórico: Se incluyen los temas de importancia para la realización de la práctica, los cuales deberán ser consultados por los estudiantes para elaborar el informe.

- Equipos: Se presentan los equipos y las herramientas que se utilizarán durante la ejecución de la práctica.
- Procedimiento: Se indican los pasos que serán seguidos para el desarrollo de la práctica.

A partir de las pruebas piloto realizadas se pudieron identificar varios inconvenientes con los cuales los estudiantes se podrían encontrar en lo que se refiere a equipos y materiales utilizados.

En la tabla 1 se expone el cronograma propuesto para la realización de las prácticas de acuerdo al número de semanas.

Tabla 1. Cronograma propuesto para las prácticas de laboratorio.

		SEMANAS								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
Prácticas de laboratorio Metalurgia Mecánica	Introducción: Normas de laboratorio y equipos a usar									
	Identificación de materiales de ensayo									
	Ensayo de dureza y microdureza									
	Ensayo de tracción I									
	Ensayo de tracción II									
	Ensayo de dobléz									
	Ensayo de embutido									
	Ensayo de impacto									
	Ensayo de compresión									

Las prácticas en negrita corresponden a las elaboradas en este trabajo de grado.

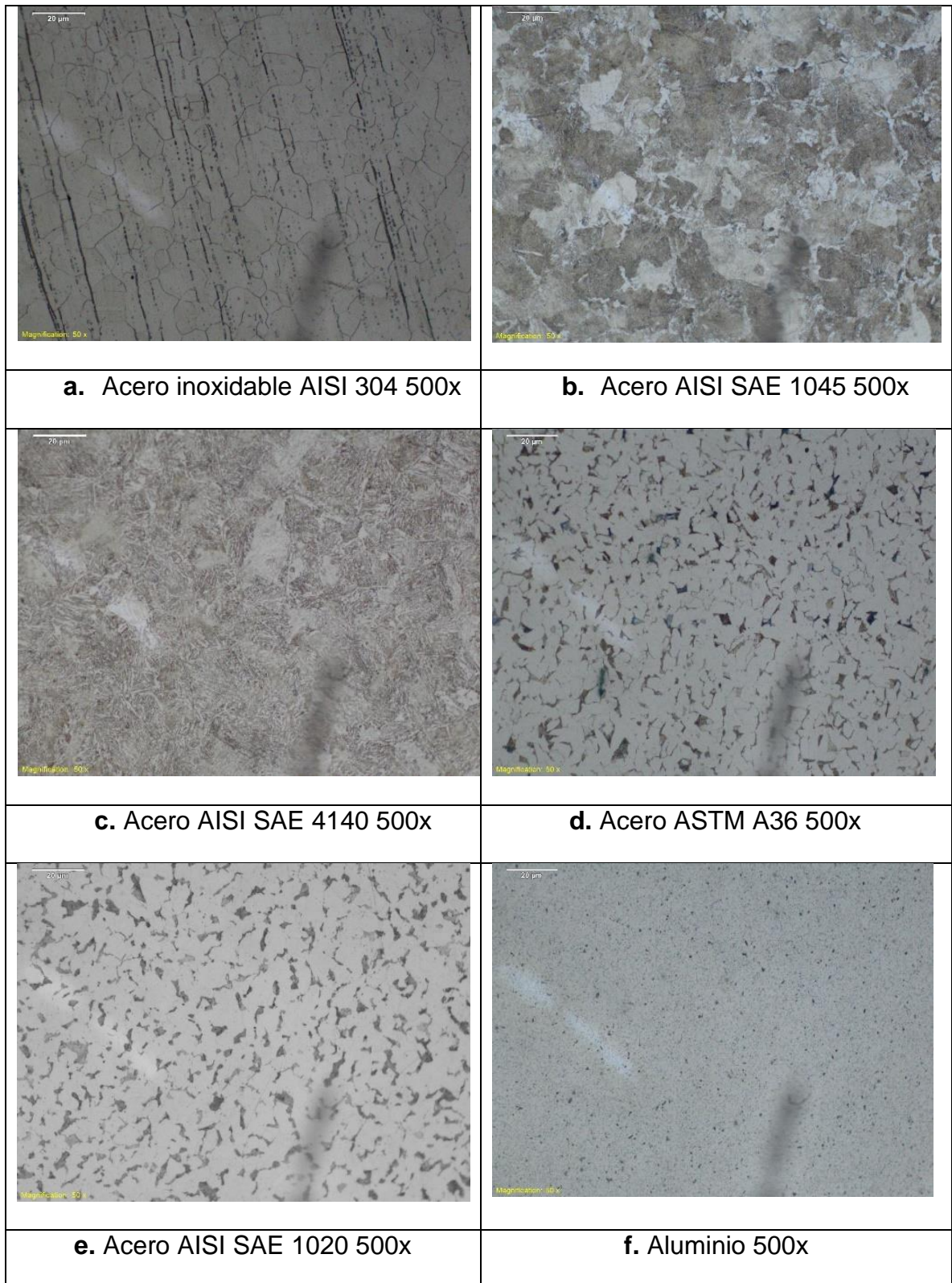
4.1 IDENTIFICACIÓN DE MATERIALES DE ENSAYO

Las propiedades mecánicas de un metal o de una aleación dependen de las propiedades de las fases y de su morfología y distribución [1]. Por ende, es de suma importancia conocer el estado de suministro de los materiales a trabajar en el laboratorio, ya que cualquier transformación o tratamiento térmico que se le haya dado al material determinarán las propiedades físicas, químicas y mecánicas de los materiales. De acuerdo a lo anterior, la motivación al desarrollar esta práctica surge de que el estudiante pueda determinar el tipo de material y su estado de suministro, así como reconocer los microconstituyentes de las aleaciones metálicas y su composición, y luego se relacionen estas características con su comportamiento mecánico.

En el laboratorio de metalografía se logró determinar las características microestructurales de todos los materiales a trabajar en las prácticas. En figura 4 se presentan los resultados de las micrografías obtenidas en donde se pueden apreciar las microestructuras de los materiales. En la micrografía del acero inoxidable austenítico AISI SAE 304 (ver figura 4(a)), se observa una forma alargada de los carburos, mientras que los granos se presentan en una forma equiaxial. Por lo anterior se puede suponer que este acero fue sometido a un laminado en caliente.

Los tres aceros hipoeutectoides caracterizados como lo son el AISI SAE 1020, AISI SAE 1045 y el ASTM A36 presentan una matriz (región blanca) que está constituida por ferrita proeutectoide y una región oscura comprendida por colonias de perlita. El acero AISI SAE 1045 contiene una mayor cantidad de perlita debido a su mayor porcentaje de carbono. El acero AISI SAE 1020, por su menor contenido de perlita, evidencia menor dureza que el acero AISI SAE 1045. Para el acero estructural ASTM A36 de la figura 4(d), con un 0.26% máximo de carbono, el cual tiene una matriz ferrítica (región blanca) y colonias de perlita (región oscura) presenta una microestructura similar al acero AISI SAE 1020.

Figura 4. Micrografías de los materiales que se caracterizaron durante las prácticas.



Para el acero AISI SAE 4140, el cual tuvo un previo tratamiento térmico de bonificado, se logra observar en la figura 4(c) la presencia de una microestructura fina (martensita revenida) con zonas grandes de ferrita de color blanco dando como resultado una heterogeneidad en toda su microestructura.

Por último, se observa la micrografía obtenida del aluminio (ver figura 4(f)) del cual no se tiene la composición química, pero se pueden apreciar varios precipitados de compuestos intermetálicos, de dimensiones y morfología variable, lo cual nos indica que el material es posiblemente una aleación de aluminio.

Para esta práctica sería ventajoso conocer la composición química de los materiales para poder realizar un análisis más completo y también se hace inadecuado el uso del acero AISI SAE 4140 ya que tiene una estructura muy heterogénea, y por lo tanto también sus propiedades y no ayuda a los análisis.

4.2 ENSAYOS DE DUREZA Y MICRODUREZAS

En la tabla 2 se exponen los resultados de las durezas Rockwell de los materiales en donde se distinguen dos tipos de escala Rockwell, siendo la escala Rockwell B para los materiales más blandos, y la escala Rockwell A para los más duros.

Tabla 2. Resultados de dureza Rockwell.

Material	A36	Al	304	1020	1045	4140
Dureza promedio	71 [HRB]	62 [HRB]	86 [HRB]	91 [HRB]	62 [HRA]	65 [HRA]
Desviación estándar	11.2	15.7	21	19.5	25.2	32

Para los aceros más duros como el AISI SAE 1045 y el AISI SAE 4140 se logra registrar una dureza superior debido a su mayor composición de carbono. Por el contrario, los demás aceros y el aluminio se caracterizan por su mayor ductilidad y su menor resistencia mecánica, por lo tanto, se registran menores valores de dureza.

En esta parte de la práctica es muy importante que los estudiantes logren entender la importancia de la influencia de los microconstituyentes en cuanto a la dureza que se registra. En la figura 5 se pueden ver los resultados de microdurezas de los materiales ensayados en donde se puede apreciar la ubicación de la indentación. Esta ubicación constituye un parámetro de suma importancia en esta técnica ya que puede alterar de manera significativa el valor de microdureza. Por este motivo es importante que la indentación sea realizada totalmente dentro del microconstituyente a medir.

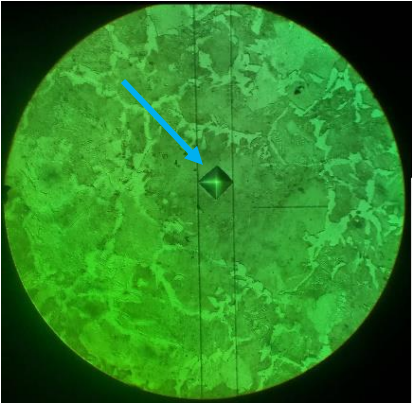
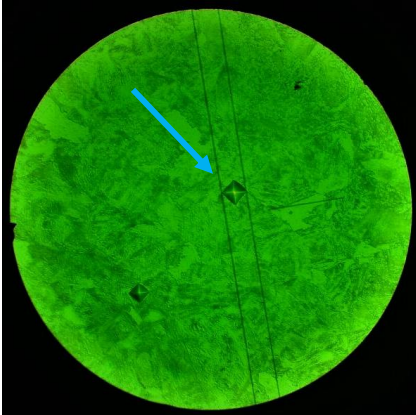
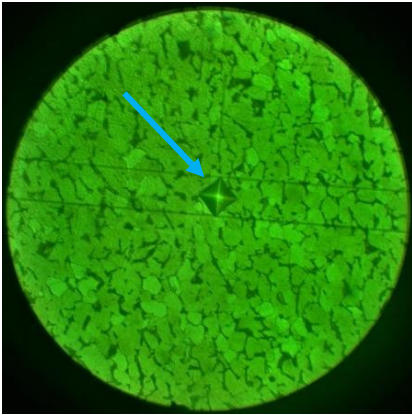
En la micrografía del acero AISI SAE 1045 la microindentación se encuentra en una zona oscura que corresponde a las colonias de perlita, siendo esta zona la que cubre gran parte de la micrografía. Por otro lado, las zonas blancas de ferrita son de menor área, y, por lo tanto, es difícil que el indentador caiga sobre esta zona, ya que el tamaño de la huella es mayor al tamaño de la ferrita.

Para el acero aleado AISI SAE 4140 es similar su valor de microdureza al del acero AISI SAE 1045. Este resultado no es el esperado dado las diferencias microestructurales de los materiales, sin embargo, hay que tener en cuenta la heterogeneidad observada en la microestructura del acero AISI SAE 4140.

Por último, para el acero ASTM A36 se registró una menor dureza debido a su mayor zona de ferrita. Algunos datos que se obtuvieron de mayor microdureza se debe a la ubicación de la huella en una región con mayor cantidad de límites de grano.

Esta práctica de dureza y microdureza se concluye como una práctica que le otorga valiosa información al estudiante acerca de la relación entre la resistencia mecánica de los materiales y su microestructura.

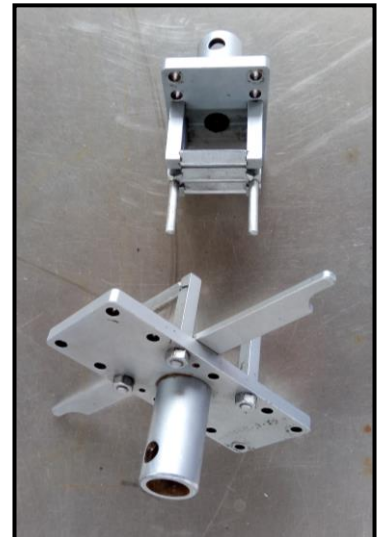
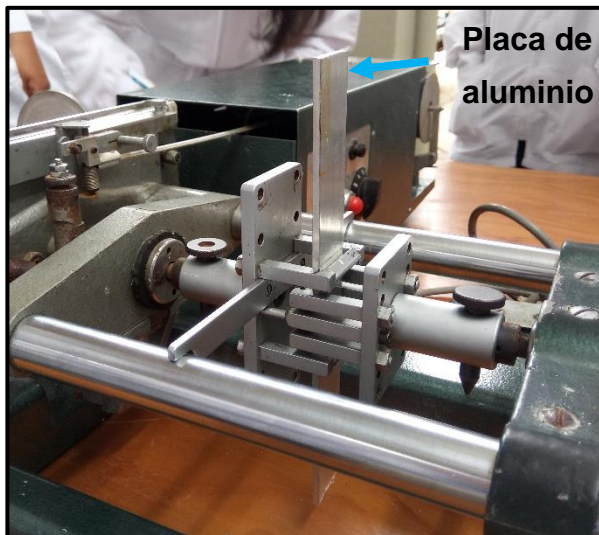
Figura 5. Resultados de microdureza Vickers con carga de 100g.

Material	Microdureza [HV]	Desviación estándar
<p style="text-align: center;">AISI SAE 1045</p> 	365.4	40
<p style="text-align: center;">AISI SAE 4140</p> 	294.8	28.7
<p style="text-align: center;">ASTM A36</p> 	148.8	31

4.3 ENSAYO DE DOBLEZ

Para la guía práctica que corresponde al ensayo de doblez (ver anexo C) se utilizó la máquina Monsanto y se trabajaron placas de aluminio de medidas 200 x 25 x 3 mm. Esta máquina se encarga de aplicar una carga de flexión a la placa de aluminio, la cual va sujeta por medio de un aditamento especial como se puede ver en la figura 6. En esta práctica se espera que los estudiantes entiendan el comportamiento de una placa al ser doblada. Estas diferencias se evidencian en la obtención de un mayor o menor ángulo o radio de doblado. La práctica busca que por medio de estos resultados se pueda seleccionar un material para un proceso de doblado y con la guía de la norma ASTM E290 que brinda unos procedimientos para evaluar la ductilidad de un material metálico a través de la observación de defectos en la superficie.

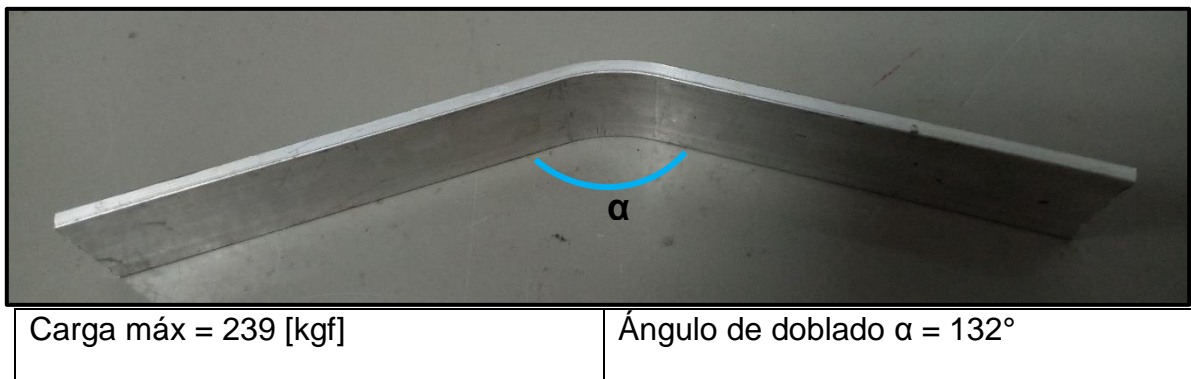
Figura 6. Aditamento para ensayo de doblez de la máquina Monsanto.



Luego de realizar la actividad propuesta se determinó que el ángulo máximo que permite el aditamento de la máquina es muy pequeño, como se logra apreciar en la figura 7. Teniendo en cuenta la alta ductilidad del aluminio, no se pudo observar ningún agrietamiento del material en la superficie convexa, tal y como lo indica la

norma ASTM E290. El procedimiento que se planteó en esta práctica también requirió que los estudiantes registraran la carga máxima de doblado como una variable que depende de varias propiedades del material a ensayar como lo es el espesor y el ancho de la placa de metal que se dobla, así como también su módulo de elasticidad y su resistencia a la fluencia que repercutirá en el diseño de un proceso de conformado eficiente.

Figura 7. Placa de aluminio luego del proceso de doblado.



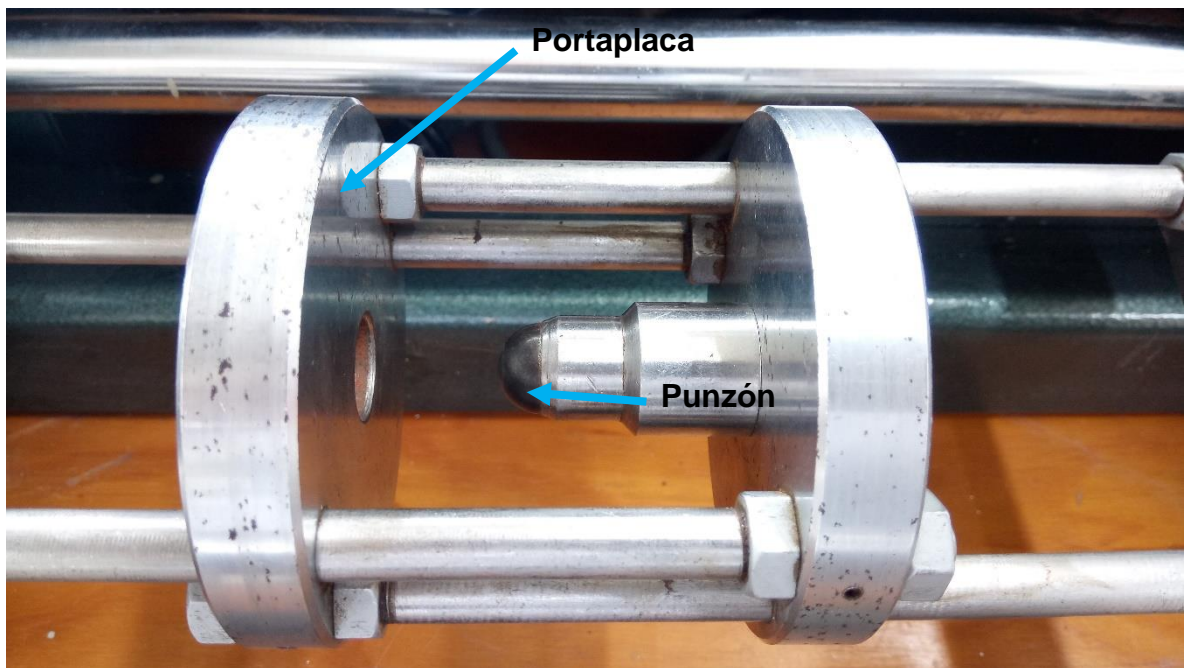
En la guía propuesta para este ensayo se recomienda trabajar con otros materiales con menor ductilidad, como por ejemplo en aceros con mayor contenido de carbono y mayor dureza, que por sus propiedades se puede llegar a revelar defectos en su superficie por el doblado como consecuencia de la baja ductilidad.

4.4 ENSAYO DE EMBUTIDO

La práctica de embutido consistió en una observación y evaluación cualitativa de las grietas producidas de acuerdo a la norma ASTM E643.

En el desarrollo de esta práctica se desea que los estudiantes observen como por medio de la fuerza de un punzón del aditamento Erichsen se logra dar forma de copa a una chapa metálica, como se puede ver en la figura 8.

Figura 8. Aditamento Erichsen de la máquina Monsanto para ensayo de embutido.



La única variable que se cambió en esta práctica fue el ancho de las chapas de aluminio manteniendo constantes el espesor y el largo de estas dando como resultado diferentes cargas máximas como se puede ver en la tabla 3.

Otra variable que se desea que los estudiantes analicen bajo este experimento es la forma y la profundidad de la copa que adquiere la chapa. El aumento gradual del ancho de la chapa tiene una importante influencia en la forma y profundidad de esta, como también en la carga máxima mostrada por la maquina como se logra ver en los resultados plasmados en la tabla 3 y en la figura 9.

Tabla 3. Datos registrados durante el ensayo de embutido.

Ancho Inicial (mm)	Carga Máxima (kgf)	Profundidad Alcanzada (mm)
25	24,5	3,45
30	21,5	3,18
35	23,5	3,23
40	22,5	3,3
45	27,5	3,4
50	29,5	3,6

Uno de los propósitos de los ensayos de embutido es que el estudiante analice el estiramiento y adelgazamiento producido en las paredes de la copa (ver figura 9), debido al movimiento progresivo del punzón que ocasiona la falta de continuidad del material, causando el estirado y la compresión en donde se pueden apreciar algunas fracturas del material embutido.

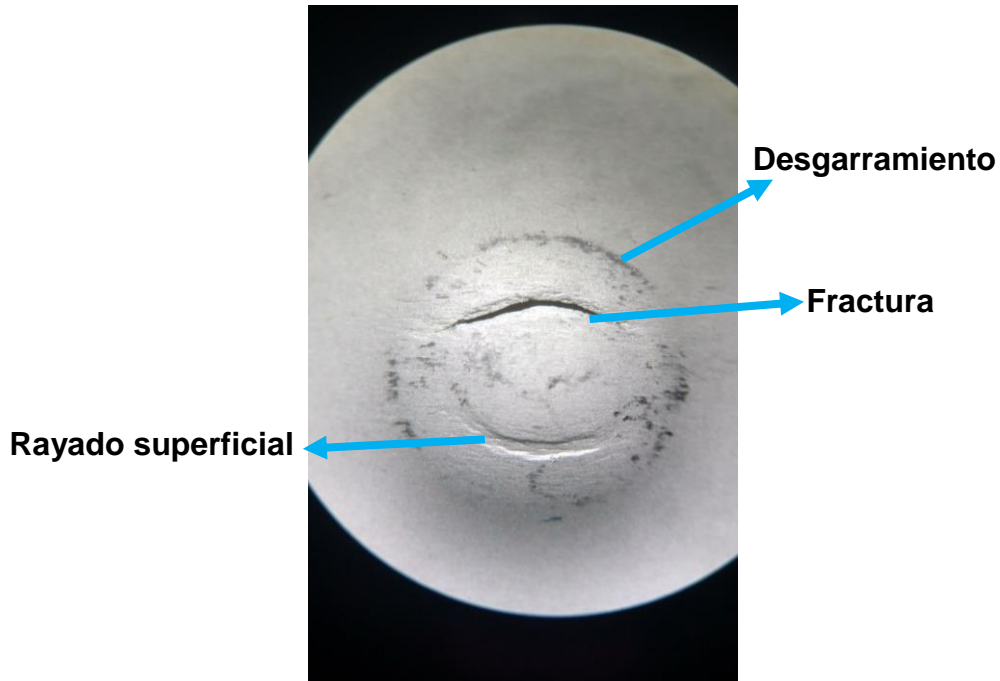
Figura 9. Morfología de las chapas de aluminio luego de la prueba de embutido.



El embutido de chapa metálica es una operación más compleja que el corte o el doblado, y por lo tanto hay una mayor exigencia de ductilidad en el material, y por lo anterior se pueden presentar numerosos defectos en un producto de embutido.

La parte final de la práctica consistió en una experiencia en el uso del estereoscopio y la formación en análisis de falla para que el estudiante pudiera apreciar con más **detalle estos defectos** (ver figura 10).

Figura 10. Morfología de las chapas de aluminio luego de la prueba de embutido vista al estereoscopio.



En esta figura 10 se pueden apreciar los defectos característicos de un proceso de embutido como lo son los desgarramientos, los rayados superficiales y por último la fractura [3]. Los defectos son debidos a varios factores como a la lubricación insuficiente y a altos esfuerzos locales que causan el adelgazamiento y rotura del metal.

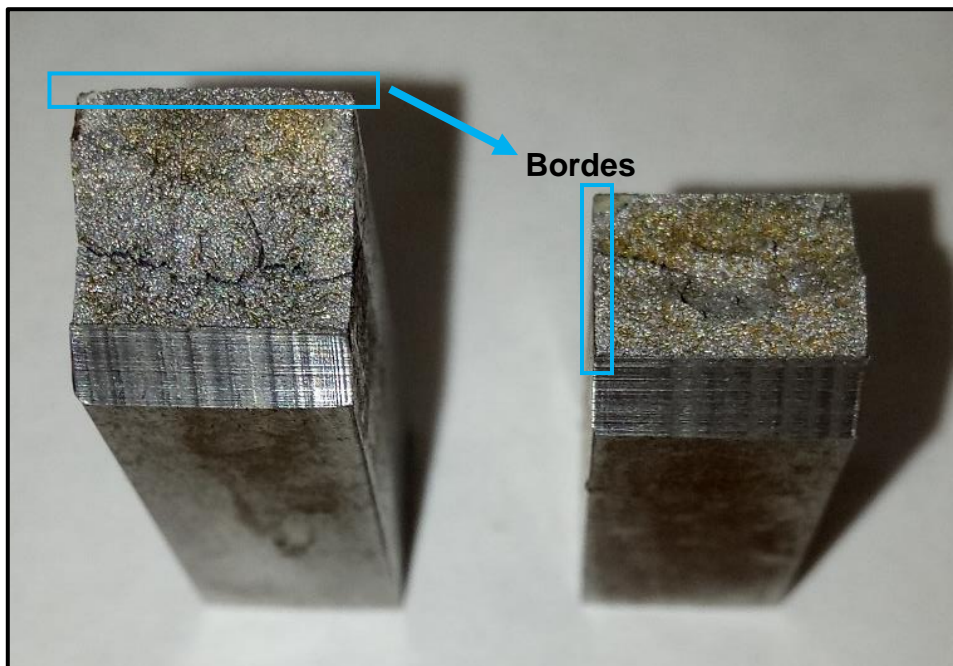
Para esta práctica se establece una relación entre la ductilidad del material y sus posibles aplicaciones para procesos de embutido.

4.5 ENSAYO DE IMPACTO

La guía práctica realizada para la experiencia que corresponde al ensayo de impacto (ver anexo E) busca dar una perspectiva a los estudiantes sobre los requisitos que son contemplados en la norma ASTM E23 para la realización de este ensayo. Por consiguiente, se plantearon actividades que permitieron analizar y determinar la energía absorbida por el acero AISI SAE 1020 durante el ensayo de impacto. A partir del planteamiento de la práctica se tuvo en cuenta las normas de seguridad necesarias para llevar a cabo esta práctica y así determinar que el procedimiento propuesto se pudiera llevar a cabo de forma efectiva y segura.

La primera parte de la actividad propuesta en la guía práctica corresponde a la ruptura de una probeta de acero AISI SAE 1020 a 0°C usando la máquina de impacto (ver figuras 11 y 13a). Esta probeta registró una energía absorbida de 0.8mkg, exponiendo una fractura explosiva totalmente frágil y unos bordes relativamente planos típicos de la morfología de una fractura frágil. Este comportamiento está de acuerdo a la teoría de la temperatura de transición.

Figura 11. Probeta de acero AISI SAE 1020 a 0°C.



También tenemos que tener en cuenta la rapidez de la aplicación de energía al espécimen, que nos demuestra que el acero AISI SAE 1020 a temperaturas tan bajas tiene un comportamiento evidentemente frágil y quebradizo que se debe tener presente al trabajar este acero en aplicaciones estructurales.

En la segunda parte de la práctica se realizó la fractura del mismo acero AISI SAE 1020 a temperatura ambiente (20 – 25°C). Las probetas ensayadas mostraron 3.25mkg de energía absorbida. Esta probeta presentó una mayor absorción de energía que la probeta ensayada a 0°C, presentando una fractura dúctil con una morfología con bordes ondulados con deformación plástica y con una superficie de fractura con apariencia fibrosa muy distintos a la morfología de la fractura frágil (ver figura 12 y 13b).

Figura 12. Probeta de acero AISI SAE 1020 a temperatura ambiente (20-25°C).

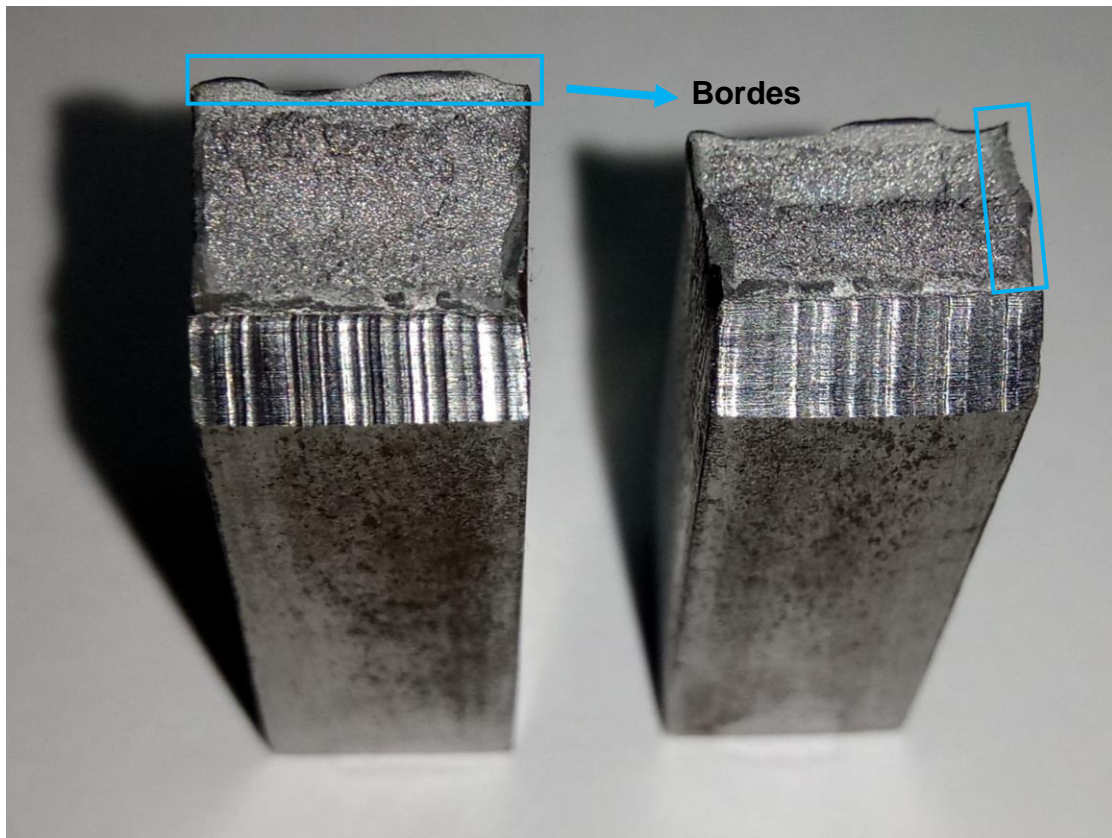
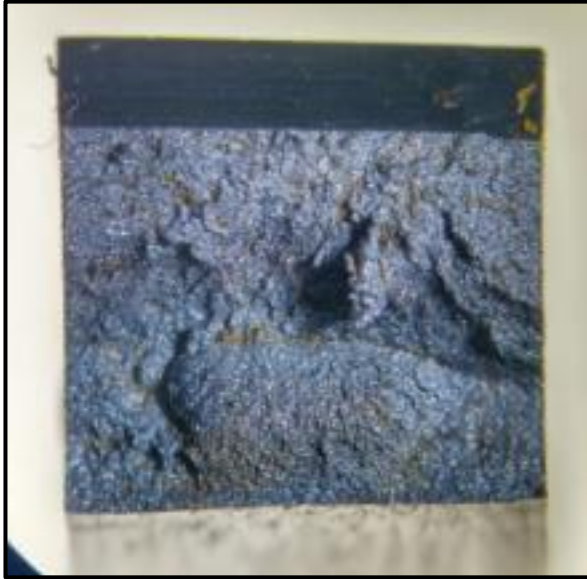
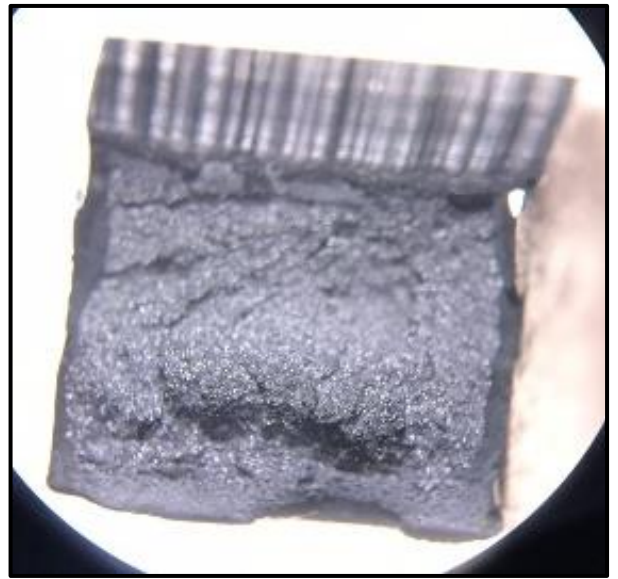


Figura 13. Morfología de las probetas de acero AISI SAE 1020 a 0°C (a) y a temperatura ambiente (b) luego de la fractura por medio del ensayo de impacto vistas en el estereoscopio.



(a)



(b)

Se recomienda para esta práctica utilizar materiales a otras temperaturas mayores a 25°C para lograr una mayor rango de resultados.

5. CONCLUSIONES

Durante el desarrollo de las prácticas se mejoró los procedimientos para entender mejor el comportamiento mecánico de los materiales metálicos con el propósito de complementar la formación y fortalecer un enfoque analítico en los estudiantes.

Se diseñaron las guías prácticas de laboratorio con el fin de aclarar los procedimientos de los ensayos de identificación de materiales, dureza, dobléz, embutido e impacto considerando parámetros de gran importancia expuestos en el contenido de clases generando habilidades en el estudiante que se lograron poner en práctica en las pruebas piloto realizadas.

Se pudieron identificar algunas limitaciones en cuanto a equipos, materiales y procedimientos de ensayo que deben ser mejorados para optimizar estos ensayos y se pueda lograr un mayor aprendizaje significativo en el estudiante.

6. RECOMENDACIONES

Para la compra de los materiales se recomienda que el distribuidor pueda exponer la composición química exacta del material, así como su tratamiento térmico para que los análisis puedan dar resultados afines con estas características.

Se recomienda hacer la compra de aditamentos especiales para la máquina universal y así poder hacer más eficiente las prácticas de doblado y embutido logrando observar mejores resultados acorde a las normas establecidas para cada ensayo.

Se recomienda cambiar de lugar a la máquina Monsanto a un espacio cerrado y con mejor iluminación, ya que esta se encuentra en una zona muy expuesta haciendo cada vez más difícil su calibración y operatividad.

Para la prueba de impacto se recomienda hacer la compra por parte de la Escuela de Ingeniería Metalúrgica de una máquina de impacto e instalarla en sus propios laboratorios, ya que actualmente esta práctica se realiza en los laboratorios de la escuela de Ingeniería Civil generando inconvenientes de tiempo y desplazamiento tanto para los estudiantes como para los docentes de ambas escuelas.

CITAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] ASKELAND, Donald R., FULAY, Pradeep P. y Wright, Wendelin J. Ciencia e ingeniería de materiales. 6 ed. México D.F.: Cengage Learning. 2012. ISBN 978-607-481-620-4.

[2] CALLISTER, William D. Introducción a la Ciencia e Ingeniería de los Materiales. 9 ed. Miami: WileyPLUS. 2013. ISBN 978-1-118-32457-8.

[3] GROOVER, Mikell P. Fundamentos de manufactura moderna. 3 ed. México D.F.: McGraw-Hill. 2007. ISBN 978-970-10-6240-1.

[4] KALPAKJIAN, Serope, SCHMID, Steven. Manufactura, Ingeniería y Tecnología. 5 ed. México: Pearson Education. 2008. ISBN 978-970-26-1026-7.

[5] DIETER, George E. Mechanical Metallurgy. 3 ed. San Francisco: Mc Graw Hill. 1986. ISBN 0-07-016893-8.

[6] AVNER, Sydney. Introducción a la metalurgia física. 2 ed. Mexico D.F.: McGraw-Hill. 1988. ISBN 968-6046-01-1.

[7] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. Standard Test Methods for Rockwell Hardness of Metallic Materials. ASTM E18. United States: 2017.

[8] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. Standard Test Methods for Microindentation Hardness of Materials. ASTM 384. United States: 2017.

[9] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. Standard Hardness Conversion Tables for Metals Relationship Among Brinell Hardness, Vickers Hardness, Rockwell Hardness, Superficial Hardness, Knopp Hardness, Scleroscope Hardness and Lebb Hardness. ASTM E140. United States: 2017.

[10] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. Standard. Guide for Preparation of Metallographic Specimens. ASTM E3. United States: 2017.

[11] NORMA TÉCNICA COLOMBIANA. Materiales metálicos. Ensayo de dureza. Ensayo superficial rockell (escalas 15n, 30n, 45n, 15t, 30t y 45t). NTC 3996.

[12] NORMA TÉCNICA COLOMBIANA. Materiales metálicos. Ensayo de dureza. Ensayo de rockell (escalas A – B – C – D – E – F – G – H – K). NTC 19.

[13] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. Standard Test Methods for Bend Testing of Material for Ductility ASTM E290. United States: 2017.

[14] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. Standard Test Methods for Bend Testing of Material for Ductility ASTM E290. United States: 2017.

[15] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. Standard Test Methods for Notched Bar Impact Testing of Metallic Materials. ASTM E-23. United States: 2017.

[16] QUINTERO OSPINO, Deivis Andrés. Diseño de las guías prácticas de los laboratorios de tracción, compresión y flexión de la asignatura metalurgia mecánica del programa ingeniería metalúrgica. Tesis de Ingeniero Metalúrgico. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, 2018, 89p.

BIBLIOGRAFÍA

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. Standard Hardness Conversion Tables for Metals Relationship Among Brinell Hardness, Vickers Hardness, Rockwell Hardness, Superficial Hardness, Knopp Hardness, Scleroscope Hardness and Leeb Hardness. ASTM E140. United States: 2017.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. Standard Test Methods for Rockwell Hardness of Metallic Materials. ASTM E18. United States: 2017.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. Standard Test Methods for Microindentation Hardness of Materials. ASTM 384. United States: 2017.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. Standard Test Methods for Bend Testing of Material for Ductility ASTM E290. United States: 2017.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. Standard Test Methods for Bend Testing of Material for Ductility ASTM E290. United States: 2017.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. Standard Test Methods for Notched Bar Impact Testing of Metallic Materials. ASTM E-23. United States: 2017.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. Standard. Guide for Preparation of Metallographic Specimens. ASTM E3. United States: 2017.

ASKELAND, Donald R., FULAY, Pradeep P. y Wright, Wendelin J. Ciencia e ingeniería de materiales. 6 ed. México D.F.: Cengage Learning. 2012. ISBN 978-607-481-620-4.

AVNER, Sydney. Introducción a la metalurgia física. 2 ed. Mexico D.F.: McGraw-Hill. 1988. ISBN 968-6046-01-1.

CALLISTER, William D. Introducción a la Ciencia e Ingeniería de los Materiales. 9 ed. Miami: WileyPLUS. 2013. ISBN 978-1-118-32457-8.

DIETER, George E. Mechanical Metallurgy. 3 ed. San Francisco: Mc Graw Hill. 1986. ISBN 0-07-016893-8.

GROOVER, Mikell P. Fundamentos de manufactura moderna. 3 ed. México D.F.: McGraw-Hill. 2007. ISBN 978-970-10-6240-1.

KALPAKJIAN, Serope, SCHMID, Steven. Manufactura, Ingeniería y Tecnología. 5 ed. México: Pearson Education. 2008. ISBN 978-970-26-1026-7.

NORMA TÉCNICA COLOMBIANA. Materiales metálicos. Ensayo de dureza. Ensayo superficial rockell (escalas 15n, 30n, 45n, 15t, 30t y 45t). NTC 3996.

NORMA TÉCNICA COLOMBIANA. Materiales metálicos. Ensayo de dureza. Ensayo de rockell (escalas A – B – C – D – E – F – G – H – K). NTC 19.

QUINTERO OSPINO, Deivis Andrés. Diseño de las guías prácticas de los laboratorios de tracción, compresión y flexión de la asignatura metalurgia mecánica del programa ingeniería metalúrgica. Tesis de Ingeniero Metalúrgico. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, 2018, 89p.

ANEXOS



FACULTAD DE INGENIERÍAS FISCOQUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA METALÚRGICA Y CIENCIA DE MATERIALES
LABORATORIO DE METALURGIA MECÁNICA

Anexo A. PRÁCTICA: IDENTIFICACIÓN DE MATERIALES DE ENSAYOS

INTRODUCCIÓN

Las propiedades mecánicas de un metal o de una aleación dependen de las propiedades de las fases y de la forma en que estas últimas estén ordenadas para formar la estructura [1]. Por ende, es de suma importancia conocer el estado de suministro de los materiales a trabajar en el laboratorio, ya que cualquier transformación o tratamiento térmico que se le haya dado a estas fases, determinarán las propiedades físicas, químicas y mecánicas de estos materiales para las distintas aplicaciones.

Gracias a la metalografía podemos determinar las características estructurales de un metal o aleación y así verificar diferencias en su tamaño de grano o la forma y distribución de varias fases, las cuales tienen gran efecto sobre las propiedades de dicho material [2].

Para esto, se va a llevar a cabo la práctica bajo la norma ASTM E3, la cual nos indica una serie de pasos y condiciones para preparar adecuadamente una muestra metalográfica y poder observar bajo un microscopio óptico toda la

microestructura que nos revelará el tratamiento mecánico y térmico de los materiales a trabajar en el laboratorio.

OBJETIVOS

- Determinar el tipo de material y su estado de materiales ferrosos y no ferrosos que serán evaluados en los ensayos mecánicos.
- Reconocer los microconstituyentes de las aleaciones metálicas y su composición.
- Relacionar las medidas de dureza y microdureza con la microestructura correspondiente a partir de fuentes bibliográficas.

MARCO TEÓRICO

El marco teórico de esta práctica consiste en revisar la teoría de los materiales de la práctica: aceros al carbono, de bajo y medio carbono, aceros inoxidables, aceros estructurales y aceros de baja aleación, así como su microestructura y composición. Además, se debe tener en cuenta la teoría de la dureza como propiedad mecánica [1,2].

MATERIALES Y EQUIPOS

- Microscopio óptico Olympus 6X71
- Durómetro

- Aceros AISI SAE 1020, 1045, y 4140, AISI 304, ASTM A36 y aluminio

PROCEDIMIENTO

El procedimiento de esta práctica consiste en realizar la observación de las microestructuras (fases, constituyentes, tamaño de grano) de los materiales en un microscopio óptico y posteriormente realizar un análisis y comparación de las mediciones de dureza y microdureza a los diferentes microconstituyentes de las microestructuras de los materiales.

INFORME DE LA PRÁCTICA

Este informe deberá incluir las imágenes de las micrografías de todos los materiales trabajados con el respectivo aumento al cual fueron tomadas, junto con una breve descripción de sus fases y microconstituyentes. Además se debe incluir su pertinente comparación en tablas de las durezas y microdurezas adquiridas en el laboratorio.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] ASKELAND, Donald R., FULAY, Pradeep P. y Wright, Wendelin J. Ciencia e ingeniería de materiales. 6 ed. México D.F.: Cengage Learning. 2012. ISBN 978-607-481-620-4.

[2] CALLISTER, William D. Introducción a la Ciencia e Ingeniería de los Materiales. 9 ed. Miami: WileyPLUS. 2013. ISBN 978-1-118-32457-8.

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISCOQUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA METALÚRGICA Y CIENCIA DE MATERIALES
LABORATORIO DE METALURGIA MECÁNICA

Anexo B. PRÁCTICA: ENSAYOS DE DUREZA Y MICRODUREZA

INTRODUCCIÓN

Una de las propiedades mecánicas que es de suma importancia considerar es la dureza, cuyos valores se usan cualitativamente para comparar diferentes materiales metálicos y para caracterizar el diseño óptimo de un tratamiento térmico en la selección de materiales o en el control de calidad [1]. Además, la dureza está correlacionada con una propiedad importante de los materiales metálicos como lo es la resistencia a la tensión [2].

El ensayo de dureza es el método más usado para medir la resistencia mecánica de un material, el cual consiste en la penetración de un cuerpo muy duro sobre la superficie del material ensayado.

OBJETIVOS

- Reconocer la importancia del ensayo de dureza como procedimiento simple, económico y no destructivo para obtener una estimación de la resistencia mecánica de los materiales.
- Familiarizar al estudiante con el procedimiento seguido para realizar ensayos de dureza y microdureza.
- Evaluar y comparar las durezas y las microdurezas obtenidas de los microconstituyentes dentro de un mismo material.

MARCO TEÓRICO

El marco teórico de este ensayo debe contener una descripción de los temas a trabajar en la práctica. Los contenidos que se incluirán son:

- Ensayos de dureza y microdureza [1,2]
- Escalas de las distintas técnicas de ensayo de dureza [1,2,5]
- Relación entre la dureza y la resistencia a la tracción [1,2]
- Normas ASTM E18 [3], ASTM E384 [4], y ASTM E140 [5]

MATERIALES Y EQUIPOS

- Durómetro
- Microdurómetro INNOVATEST Modelo 412A
- Probetas de acero AISI SAE 1020, 1045, AISI 304 y ASTM A36

PROCEDIMIENTO

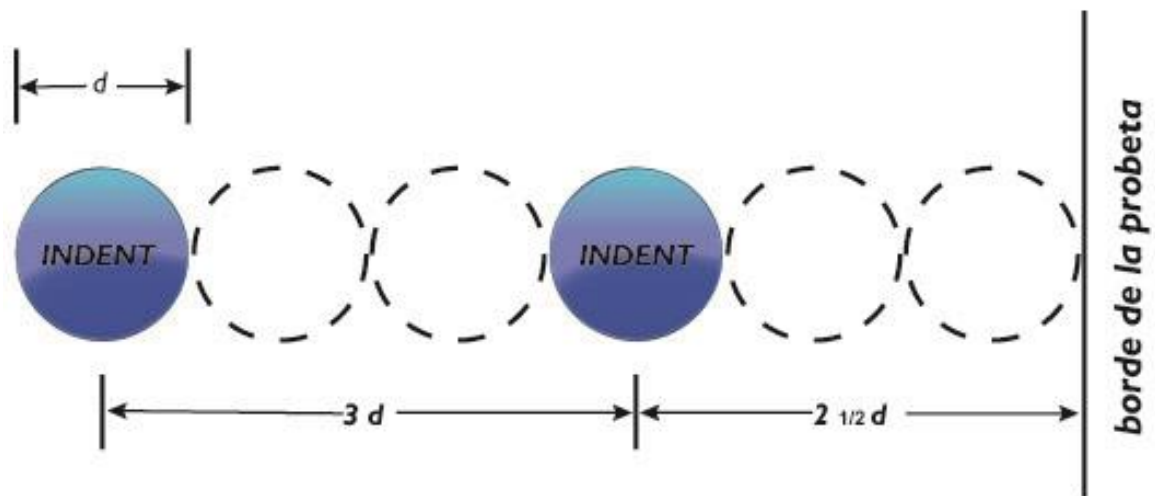
Para la correcta ejecución de los ensayos de dureza y microdureza se deben seguir los siguientes pasos recomendados por las normas mencionadas.

1. Encender el equipo y verificar la calibración del mismo usando el patrón suministrado por el fabricante.
2. Comprobar la temperatura a la cual se van a hacer los ensayos, la cual se debe encontrar dentro de los límites de 10 a 35 °C.
3. Verificar la condición de los indentadores ya que cualquier deformación permanente o astillado producirá errores en el número de dureza.
4. Verificar la condición de la superficie de la muestra, la cual debe ser plana y estar perpendicular al eje vertical del indentador.

NOTA: *Todas las probetas deben estar preparadas de acuerdo a la norma [6].*

5. La localización de las impresiones debe ser como lo indica la figura 1, con un tiempo de penetración de 2–6 segundos
6. Ejecución del ensayo siguiendo las recomendaciones del técnico a cargo.
7. Realizar un total de 5 indentaciones por probeta para obtener una dureza promedio representativa teniendo en cuenta los espaciamientos según la figura 1.
8. Registrar el valor de todas las durezas y microdurezas.

Fig 1. Esquema del espaciado mínimo entre indentaciones



INFORME DE LA PRÁCTICA

En la sección de metodología se debe incluir una descripción detallada del procedimiento que finalmente se siguió en el laboratorio, teniendo en cuenta la influencia de dichos detalles en los resultados de los ensayos.

Los resultados de la práctica consistirán en los cálculos de los valores promedio de las durezas y microdurezas, junto con sus desviaciones estándar. Adicionalmente, estimar el intervalo de confianza del 95% y realizar el correspondiente análisis estadístico.

Un aspecto importante del análisis de resultados lo constituye la comparación de los resultados con valores equivalentes ofrecidos en la literatura académica (libros y/o artículos) e incluidas en el marco teórico. En caso de encontrarse desviaciones, estas deberán ser justificadas de modo pertinente.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ASKELAND, Donald R., FULAY, Pradeep P. y Wright, Wendelin J. Ciencia e ingeniería de materiales. 6 ed. Mexico D.F.: Cengage Learning. 2012. ISBN 978-607-481-620-4.
- [2] CALLISTER, William D. Introducción a la Ciencia e Ingeniería de los Materiales. 9 ed. Miami: WileyPLUS. 2013. ISBN 978-1-118-32457-8.
- [3] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. Standard Test Methods for Rockwell Hardness of Metallic Materials. ASTM E18. United States: 2017.
- [4] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. Standard Test Methods for Microindentation Hardness of Materials. ASTM E384. United States: 2017.
- [5] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. Standard Hardness Conversion Tables for Metals Relationship Among Brinell Hardness, Vickers Hardness, Rockwell Hardness, Superficial Hardness, Knopp Hardness, Scleroscope Hardness and Leeb Hardness. ASTM E140. United States: 2017.
- [6] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. Standard. Guide for Preparation of Metallographic Specimens. ASTM E3. United States: 2017.
- [7] NORMA TÉCNICA COLOMBIANA. Materiales metálicos. Ensayo de dureza. Ensayo superficial rockell (escalas 15n, 30n, 45n, 15t, 30t y 45t). NTC 3996.

[8] NORMA TÉCNICA COLOMBIANA. Materiales metálicos. Ensayo de dureza. Ensayo de rockell (escalas A - B - C - D - E - F - G - H - K). NTC 19.

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISCOQUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA METALÚRGICA Y CIENCIA DE MATERIALES
LABORATORIO DE METALURGIA MECÁNICA

Anexo C. PRÁCTICA: ENSAYO DE DOBLEZ

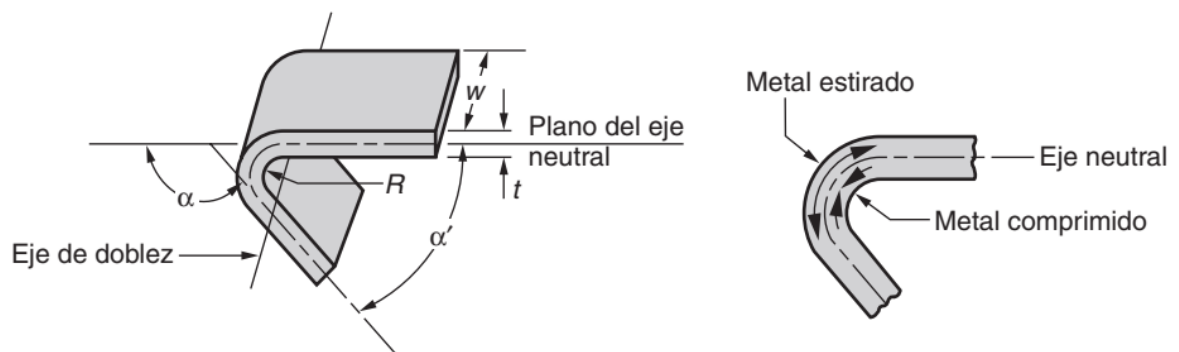
INTRODUCCIÓN

Los ensayos de doblado en frío ofrecen un sistema práctico, acertado y simple para adquirir un índice de ductilidad de un material metálico. Básicamente este ensayo consiste en doblar una barra o lámina a un ángulo

definido por medio de cargas externas para luego ser examinada en busca de evidencia de grietas o irregularidades en la superficie externa del doblado [1, 2]. Una vez removida la carga externa, el ángulo alcanzado por el material es tomado como índice de la capacidad de la deformación plástica de un material. En el momento de doblar el metal, sufre una deformación permanente que aumenta su longitud, ya que produce una disminución en su espesor, soportando una tensión en su parte externa y una compresión en su parte interna como se puede ver en la figura 1 [3].

Por medio de este resultado se puede inferir el comportamiento de un material en un proceso de doblado y quizás en otros procesos de conformado plástico.

Fig 1. Doblado de lámina metálica [4].



OBJETIVOS

- Identificar el ensayo de doblado como una práctica fundamental para constatar la ductilidad de distintos materiales metálicos.

- Estudiar y comprender las variables que afectan el ensayo de doblez y el ángulo de doblado.
- Familiarizar al estudiante con el procedimiento para realizar los ensayos de doblez como una manera práctica de evaluar la ductilidad de los materiales.

MARCO TEÓRICO

El marco teórico de este ensayo debe contener una descripción de los temas a trabajar en la práctica. Los contenidos que se incluirán son:

- Procesos de doblado: operaciones, tolerancias y recuperación elástica [2]
- Fundamentos teóricos sobre la ductilidad y propiedades mecánicas [4, 5]
- Norma ASTM E290 [1]
- Operaciones de doblado [2]

MATERIALES Y EQUIPOS

- Máquina universal Monsanto
- Calibrador Pie de Rey, transportador y marcadores
- Probetas de acero ASTM A36 y AISI 304

PROCEDIMIENTO

Para la correcta ejecución de los ensayos de doblez se deben seguir los siguientes pasos recomendados por la norma mencionada.

1. Medir las dimensiones de las láminas a ensayar.
2. Verificar que la temperatura esté dentro de los límites permitidos.
3. Montar la probeta en el equipo y establecer las distancias entre los apoyos.
4. Aplicar la deformación máxima permitida por el equipo.
5. Registrar el valor de la carga aplicada.
6. Medir el ángulo de doblez obtenido una vez la muestra haya sido removida del equipo de doblado.
7. Inspeccionar visualmente la región de la superficie convexa y registrar las características observadas como grietas e imperfecciones resultantes del proceso de doblez.

Nota: Las grietas que ocurren en las esquinas de la porción doblada no se considerara significativas si no exceden el espesor de la muestra, y por ende, no se consideran una falla [1].

INFORME DE LA PRÁCTICA

En la sección de metodología se debe incluir una descripción detallada del procedimiento que finalmente se siguió en el laboratorio, teniendo en cuenta la influencia de dichos detalles en los resultados de los ensayos.

Los resultados de la práctica consistirán en relatar el comportamiento cualitativo observado durante los ensayos y en particular comparando las respuestas de los distintos materiales. Estas respuestas se deben analizar tomando como referencia los fundamentos teóricos de los materiales relacionado con estructura, manufactura y propiedades. Finalmente, redactar las conclusiones de modo que no sean enunciados nuevamente los resultados.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. Standard Test Methods for Bend Testing of Material for Ductility ASTM E290. United States: 2017.
- [2] GROOVER, Mikell P. Fundamentos de manufactura moderna. 3 ed. México D.F.: McGraw-Hill. 2007. ISBN 978-970-10-6240-1.
- [3] DIETER, George E. Mechanical Metallurgy. 3 ed. San Francisco: Mc Graw Hill. 1986. ISBN 0-07-016893-8.
- [4] ASKELAND, Donald R., FULAY, Pradeep P. y Wright, Wendelin J. Ciencia e ingeniería de materiales. 6 ed. México D.F.: Cengage Learning. 2012. ISBN 978-607-481-620-4.
- [5] CALLISTER, William D. Introducción a la Ciencia e Ingeniería de los Materiales. 9 ed. Miami: WileyPLUS. 2013. ISBN 978-1-118-32457-8.

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOQUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA METALÚRGICA Y CIENCIA DE MATERIALES
LABORATORIO DE METALURGIA MECÁNICA

Anexo D. PRÁCTICA: ENSAYO DE EMBUTIDO

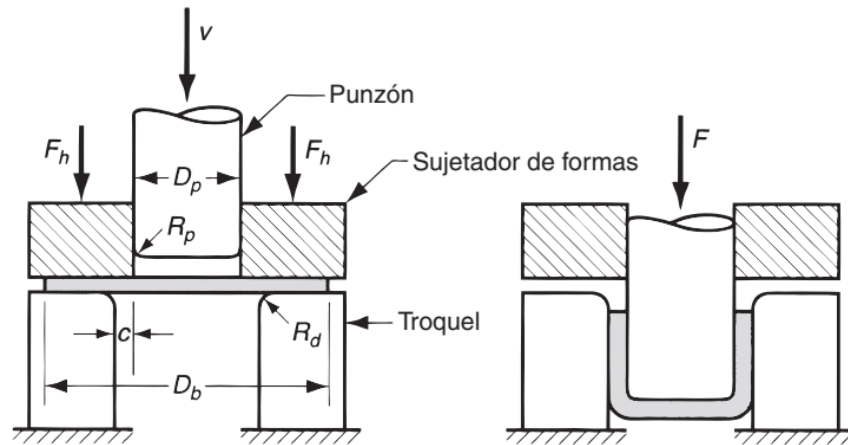
INTRODUCCIÓN

El embutido es un proceso de conformado de láminas metálicas que se utiliza para dar forma de caja tales como cubetas, aletas de automóvil, contenedores para alimentos y bebidas, tanques de combustible, etc. [1, 2]. En el proceso básico se coloca una lámina de metal sobre la cavidad de un troquel o matriz y esta es empujada por la fuerza ejercida de un punzón hacia dicha cavidad produciendo la deformación plástica requerida de la lámina que a su vez está sometida bajo la fuerza del sujetador como se puede ver en la figura 1.

Una de las variables más importantes a tener en cuenta en este proceso es la fuerza máxima de embutido, que se calcula para mejorar el desempeño del proceso y así poder disminuir defectos como el arrugado o los desgarramientos de la lámina [2,3].

Fig 1.
de una

[4].



*Embutido
pieza
acoplada*

La fuerza máxima de embutido requerida se puede estimar mediante la fórmula:

$$F = \pi D_p t (TS) \left(\frac{D_b}{D_p} - 0.7 \right)$$

Donde F es la fuerza máxima de embutido; t es el espesor original de la forma; TS es la resistencia a la tensión; D_b y D_p son los diámetros de la forma inicial y del punzón respectivamente en mm. La constante 0.7 es un factor de corrección para la fricción.

OBJETIVOS

- Reconocer la utilidad del ensayo de embutido y su aplicación en materiales metálicos.
- Conocer las especificaciones de la norma ASTM E643 sobre embutido y estar en capacidad de interpretar los datos arrojados por la práctica.
- Familiarizar al estudiante con el procedimiento para realizar el ensayo de embutido.
- Determinar la profundidad máxima de embutido mediante el ensayo Erichsen de láminas de aluminio.

MARCO TEÓRICO

A continuación se presentan de manera general los aspectos más importantes que se deben tener presentes para realizar la práctica:

- Procesos de embutido: defectos y etapas [1, 3]
- Fundamentos teóricos sobre el aluminio y sus propiedades mecánicas [4, 5]
- Normas ASTM E643 [6]

MATERIALES Y EQUIPOS

- Máquina universal Monsanto
- Calibrador Pie de Rey
- Láminas de aluminio con espesor y longitud de 0.3 y 55 mm respectivamente

PROCEDIMIENTO

Para la correcta ejecución de los ensayos de embutido se deben seguir los siguientes pasos recomendados por la norma mencionada.

1. Medir las dimensiones de las láminas a ensayar.
2. Hacer el montaje de la probeta en el equipo.
3. Ejecutar el embutido de la lámina con el punzón esférico hasta llegar a su falla con una velocidad de 0.08 y 0.40 mm/s.
4. Registrar el valor de la carga máxima aplicada.
5. Medir la profundidad máxima de la copa o deformación provocada.
6. Hacer el desmontaje de la probeta.
7. Inspeccionar visualmente la región de la superficie convexa y registrar las características observadas como grietas e imperfecciones resultantes del proceso de embutido.

INFORME DE LA PRÁCTICA

En la sección de la metodología se debe incluir una descripción detallada del procedimiento que finalmente se siguió en el laboratorio, teniendo en cuenta la influencia de dichos detalles en los resultados de los ensayos.

Los análisis de los resultados de la práctica consistirán en discutir el objetivo del ensayo, el efecto del ancho de la lámina sobre la carga máxima alcanzada

y la profundidad máxima de la copa, y la correlación entre dicha carga y las características de la falla en las superficies de las láminas.

El análisis estadístico consistirá en estimar los valores promedios junto con sus desviaciones estándar, evaluando sus magnitudes.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] GROOVER, Mikell P. Fundamentos de manufactura moderna. 3 ed. México D.F.: McGraw-Hill. 2007. ISBN 978-970-10-6240-1.

[2] KALPAKJIAN, Serope, SCHMID, Steven. Manufactura, Ingeniería y Tecnología. 5 ed. México: Pearson Education. 2008. ISBN 978-970-26-1026-7.

[3] DIETER, George E. Mechanical Metallurgy. 3 ed. San Francisco: Mc Graw Hill. 1986. ISBN 0-07-016893-8.

[4] ASKELAND, Donald R., FULAY, Pradeep P. y Wright, Wendelin J. Ciencia e ingeniería de materiales. 6 ed. México D.F.: Cengage Learning. 2012. ISBN 978-607-481-620-4.

[5] CALLISTER, William D. Introducción a la Ciencia e Ingeniería de los Materiales. 9 ed. Miami: WileyPLUS. 2013. ISBN 978-1-118-32457-8.

[6] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. Standard Test Methods for Bend Testing of Material for Ductility ASTM E290. United States: 2017.

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISCOQUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA METALÚRGICA Y CIENCIA DE MATERIALES
LABORATORIO DE METALURGIA MECÁNICA

Anexo E. PRÁCTICA: ENSAYO DE IMPACTO

INTRODUCCIÓN

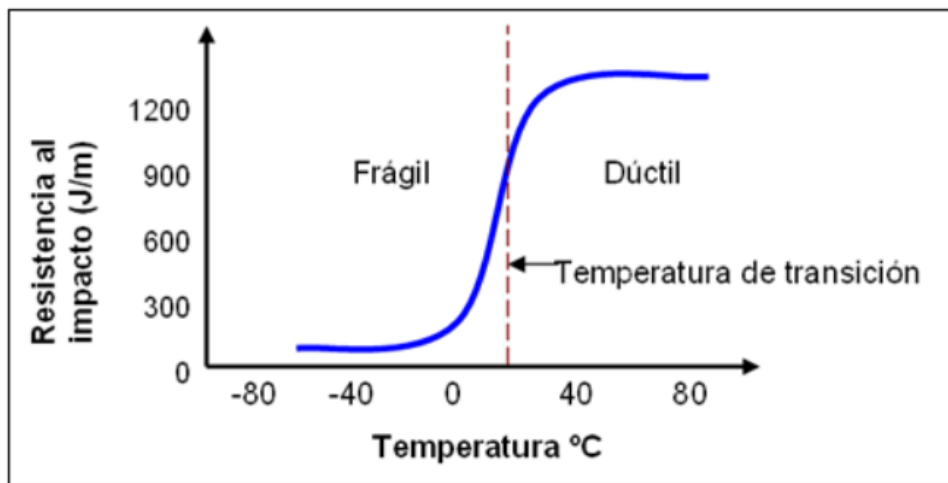
La tenacidad al impacto es la habilidad de un material para almacenar la energía cuando es sometido a un impacto por medio de la deformación plástica sin romperse. Con frecuencia se utiliza una prueba de impacto para evaluar la tenacidad al impacto de un material bajo ciertas condiciones. En esta prueba un péndulo pesado se eleva hasta una altura h_0 , se deja caer, golpea y rompe el espécimen, y luego alcanza una elevación final h_f menor que h_0 . Esta diferencia de alturas representa la energía de impacto absorbida por la muestra durante la falla. Existen dos ensayos normalizados, los ensayos de Charpy e Izod [1,2].

Un aspecto fundamental en los ensayos de impacto es la temperatura de transición, la cual es aquella temperatura en donde el modo de falla de un material cambia de fractura dúctil a frágil [1]. Esta temperatura puede definirse mediante la energía promedio entre las regiones dúctil y frágil, o una energía absorbida específica, o por medio de alguna fractura característica [2]. Un material sujeto a un golpe de impacto durante el servicio debe tener una temperatura de transición por debajo de la temperatura de entorno del material. En la figura 1 se puede observar una gráfica típica de energía de impacto vs temperatura.

Esta temperatura sirve además como referencia en la selección de materiales, debido a que asegura que la temperatura más baja a la que el

material estará expuesto esté muy por encima de la temperatura de transición de dúctil a frágil, para así evitar la rotura frágil y catastrófica [2].

Fig 1. Resultado de una serie de pruebas de impacto de Izod [1].



OBJETIVOS

1. Familiarizar al estudiante con el procedimiento seguido para realizar el ensayo de impacto.
2. Identificar los requisitos que son contemplados en la norma ASTM E23 [3] para la realización del ensayo de impacto.
3. Evaluar y determinar la energía absorbida por el material durante el ensayo de impacto.

MARCO TEÓRICO

El marco teórico de este ensayo debe contener una descripción de los temas relacionados con la práctica. Los contenidos que se incluirán son:

- Ensayos de Impacto tipo Charpy e Izod [1,2]
- Definición y diferencias entre tenacidad a la fractura, tenacidad a la tensión y tenacidad de impacto [1,2]
- Características de la fractura frágil y dúctil [1,2]
- Norma ASTM E23 [3]

MATERIALES Y EQUIPOS

- 2 Probetas normalizadas de acero AISI SAE 1020
- Máquina de impacto
- Hielo seco

PROCEDIMIENTO

Para la correcta ejecución del ensayo de impacto se deben seguir los siguientes pasos recomendados por la norma mencionada.

1. Conocer las medidas de seguridad que esta práctica exige, respetando las señales de seguridad demarcadas alrededor de la máquina de impacto.
2. Se realizarán ensayos a diferentes temperaturas, que serán a 0°C, y a temperatura ambiente. Para llegar a la temperatura de 0°C se debe utilizar el hielo seco.

3. Luego de tener la probeta lista a su respectiva temperatura, se procederá a colocarla en las respectivas mordazas lo más rápido posible para evitar un descenso en la temperatura de la probeta.
4. Se procederá a subir el péndulo e instalarlo en el soporte y colocándole el pin de seguridad.
5. Registrar el valor de las alturas iniciales y finales del péndulo.
6. Una vez que la máquina esté lista, se quitará el pin de seguridad y el péndulo golpeará la probeta.
7. Realizar el mismo procedimiento para cada temperatura de ensayo.

INFORME DE LA PRÁCTICA

En la sección de metodología se debe incluir una descripción detallada del procedimiento que finalmente se siguió en el laboratorio, teniendo en cuenta la influencia de dichos detalles en los resultados de los ensayos.

Los resultados de la práctica consistirán en relatar el comportamiento cualitativo observado durante los ensayos y en particular comparando las respuestas del material a distintas temperaturas, así como su energía absorbida y superficie de fractura. Estas respuestas se deben analizar tomando como referencia los fundamentos teóricos de los materiales relacionado con estructura, manufactura y propiedades. Finalmente, redactar las conclusiones de modo que no sean enunciados nuevamente los resultados.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ASKELAND, Donald R., FULAY, Pradeep P. y Wright, Wendelin J. Ciencia e ingeniería de materiales. 6 ed. Mexico D.F.: Cengage Learning. 2012. ISBN 978-607-481-620-4.
- [2] CALLISTER, William D. Introducción a la Ciencia e Ingeniería de los Materiales. 9 ed. Miami: WileyPLUS. 2013. ISBN 978-1-118-32457-8.
- [3] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. Standard Test Methods for Notched Bar Impact Testing of Metallic Materials. ASTM E23. United States: 2017.