



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**Estudio del acero dulce sometido a torsión e impacto Izod y Charpy utilizando
laboratorios virtuales y software CAD bajo normas internacionales**

Casanova Cumbal, Mauricio Xavier

Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Ingeniería Automotriz

Trabajo de Unidad de Integración Curricular, previo a la obtención del título de Ingeniero
Automotriz

Ing. Carvajal Naranjo, Miguel Alberto

4 de febrero de 2022

Latacunga



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA CARRERA DE
INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

Certificación

Certifico que el trabajo de Unidad de Integración Curricular, **“Estudio del acero dulce sometido a torsión e impacto Izod y Charpy utilizando laboratorios virtuales y software CAD bajo normas internacionales”** fue realizado por el señor **Casanova Cumbal, Mauricio Xavier** el mismo que ha sido revisado en su totalidad, analizado por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto, cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Latacunga, 04 de febrero del 2022



Firmado electrónicamente por:
**MIGUEL ALBERTO
CARVAJAL NARANJO**

Ing. Carvajal Naranjo, Miguel Alberto

C.C: 1801711936



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

Reporte de verificación de contenido

Trabajo de UIC MAURICIO CASANOVA.docx

Scanned on: 19:38 January 31, 2022 UTC



Overall Similarity Score



Results Found



Total Words in Text

| | |
|--------------------------|------|
| Identical Words | 113 |
| Words with Minor Changes | 0 |
| Paraphrased Words | 276 |
| Ommited Words | 1620 |



Firmado electrónicamente por:
**MIGUEL ALBERTO
CARVAJAL NARANJO**

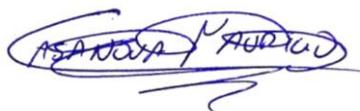


**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA CARRERA DE
INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

Autoría de responsabilidad

Yo, **Casanova Cumbal, Mauricio Xavier** con cedula de ciudadanía N°**1727339002**, declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de Unidad de Integración Curricular: **“Estudio del acero dulce sometido a torsión e impacto Izod y Charpy utilizando laboratorios virtuales y software CAD bajo normas internacionales”** es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos teóricos legales, teóricos, científicos, técnicos, y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Latacunga, 04 de febrero del 2022



Casanova Cumbal, Mauricio Xavier

C.C:1727339002

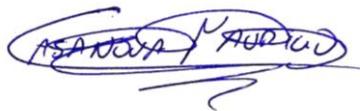


**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA CARRERA DE
INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

Autorización de publicación

Yo, **Casanova Cumbal Mauricio Xavier** con cedula de ciudadanía N° **1727339002**, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de Unidad de Integración Curricular: **“Estudio del acero dulce sometido a torsión e impacto Izod y Charpy utilizando laboratorios virtuales y software CAD bajo normas internacionales”** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.

Latacunga, 04 de febrero del 2022



Casanova Cumbal, Mauricio Xavier

C.C:1727339002

Dedicatoria

A mi abuelita y mi ángel María Sebastiana, que tal vez ya no me acompaña, pero fue el principal pilar en mi vida quien me inculco todos los valores que me forjaron como persona, y que me acompañó durante 20 años de mi vida y siempre tuvo el anhelo de verme culminar mi carrera de Ingeniería.

A mi madre Ana, que ha sido la mujer más fuerte que he conocido y que me ha apoyado toda mi vida enseñándome a ser mejor cada día.

Y a mi hermano Julio, que ha sido como un padre quien me inculco el amor por los vehículos y ha estado a mi lado enseñándome como desenvolverme en la vida.

Agradecimientos

En primer lugar, a mi madre Ana Cumbal, por ser la mejor madre, que me apoyo y me brindo la motivación para poder continuar con mis estudios y siempre preocuparse por mí y brindarme su amor. A mi hermano Julio Casanova que siempre me brinda su apoyo en momentos difíciles y es un guía de vida con sus consejos, y además por inculcarme el amor a los vehículos.

A mis tíos Rosario Cumbal y Víctor Plazarte, que fueron como unos segundos padres en mi vida y me han brindado sus consejos y apoyo en momentos difíciles de mi vida.

A mis compañeros de universidad en especial a Jorge y Franklin, quienes fueron de gran apoyo en momentos de ocio, juega y aprendizaje durante la carrera universitaria, y que siempre supieron darme una mano.

Gracias a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE por permitirme formarme en sus aulas, y al igual al Ing. Miguel Carvajal por guiarme y asesorarme en el desarrollo de este proyecto.

Tabla de contenidos

| | |
|---|----|
| Carátula..... | 1 |
| Certificación..... | 2 |
| Reporte de verificación de contenido..... | 3 |
| Autoría de responsabilidad | 4 |
| Autorización de publicación..... | 5 |
| Dedicatoria..... | 6 |
| Agradecimientos | 7 |
| Tabla de contenidos..... | 8 |
| Índice de tablas | 11 |
| Índice de figuras..... | 12 |
| Resumen | 15 |
| Abstract..... | 16 |
| Introducción..... | 17 |
| Antecedentes | 17 |
| Planteamiento del problema | 20 |
| Justificación e importancia..... | 21 |
| Objetivos | 23 |
| <i>Objetivo general</i> | 23 |
| <i>Objetivos específicos</i> | 23 |
| Hipótesis | 23 |
| Variables de investigación | 23 |
| <i>Variables independientes</i> | 23 |
| <i>Variables dependientes</i> | 23 |
| Fundamentación Teórica | 24 |
| Laboratorios virtuales | 24 |
| Software CAD..... | 28 |

| | |
|---|-----------|
| Ensayo de materiales | 30 |
| <i>Ensayo de torsión</i> | 33 |
| Torsión. | 33 |
| Generalidades ensayo de torsión. | 36 |
| <i>Ensayo de impacto</i> | 38 |
| <i>Normativa para ensayos de Torsión</i> | 42 |
| ASTM A938. | 42 |
| IS-1717. | 45 |
| <i>Normativas para ensayos de impacto Charpy e Izod</i> | 49 |
| ASTM-E23. | 49 |
| IS-1499. | 52 |
| IS-1598. | 55 |
| Metodología | 59 |
| Laboratorios Virtuales | 59 |
| <i>Ensayo de torsión</i> | 59 |
| <i>Ensayo de impacto Charpy</i> | 65 |
| <i>Ensayo de impacto Izod</i> | 70 |
| Software CAD | 73 |
| <i>Ensayo de torsión</i> | 73 |
| <i>Ensayo de impacto Charpy</i> | 78 |
| <i>Ensayo de impacto Izod</i> | 83 |
| Resultados y discusión | 89 |
| Laboratorios Virtuales | 89 |
| <i>Resultados ensayo de torsión</i> | 89 |
| <i>Resultados ensayo de impacto Charpy</i> | 93 |
| <i>Resultados ensayo de impacto Izod</i> | 95 |
| Software CAD (ANSYS) | 96 |

| | |
|---|-----|
| <i>Resultados ensayo de torsión</i> | 96 |
| <i>Resultados ensayo de impacto Charpy</i> | 102 |
| <i>Resultados ensayo de impacto Izod</i> | 102 |
| Análisis de resultados entre laboratorios virtuales y software CAD (ANSYS) .. | 103 |
| Conclusiones y recomendaciones | 106 |
| Conclusiones | 106 |
| Recomendaciones | 108 |
| Bibliografía..... | 109 |
| Anexos | 115 |

Índice de tablas

| | | |
|-----------------|--|-----|
| Tabla 1 | <i>Cargas aplicadas en función del diámetro</i> | 43 |
| Tabla 2 | <i>Velocidades máximas de torsión recomendadas</i> | 45 |
| Tabla 3 | <i>Simbología y designaciones según la norma IS-1717</i> | 46 |
| Tabla 4 | <i>Tipos de agarres recomendados</i> | 47 |
| Tabla 5 | <i>Relación entre la longitud entre las mordazas y el diámetro de la probeta</i> | 47 |
| Tabla 6 | <i>Relación entre la longitud de las mordazas y el diámetro nominal de la probeta</i> | 48 |
| Tabla 7 | <i>Tolerancias para muestras de impacto Charpy tipo A, B y C</i> | 50 |
| Tabla 8 | <i>Tolerancias para muestras de impacto tipo Izod</i> | 51 |
| Tabla 9 | <i>Referencias ensayo Charpy</i> | 52 |
| Tabla 10 | <i>Dimensiones y tolerancias para materiales ferrosos y no ferrosos en ensayos Charpy</i> | 54 |
| Tabla 11 | <i>Dimensiones y tolerancias para materiales ferrosos y no ferrosos en ensayos Izod</i> | 57 |
| Tabla 12 | <i>Propiedades acero dulce según el laboratorio virtual</i> | 74 |
| Tabla 13 | <i>Propiedades acero dulce</i> | 79 |
| Tabla 14 | <i>Grados de deformación en función del torque aplicado</i> | 89 |
| Tabla 15 | <i>Resultados ensayo de torsión Virtual Labs</i> | 92 |
| Tabla 16 | <i>Dimensiones ensayo de impacto Charpy</i> | 94 |
| Tabla 17 | <i>Resultados ensayo de impacto Charpy Virtual Labs</i> | 94 |
| Tabla 18 | <i>Dimensiones ensayo de impacto Izod</i> | 95 |
| Tabla 19 | <i>Resultados ensayo de impacto Izod Virtual Labs</i> | 96 |
| Tabla 20 | <i>Resultados ensayo de torsión con el uso del software ANSYS</i> | 97 |
| Tabla 21 | <i>Resultados ensayo de torsión en el software CAD</i> | 101 |
| Tabla 22 | <i>Resultados ensayo Charpy</i> | 102 |
| Tabla 23 | <i>Resultados ensayo Izod</i> | 102 |
| Tabla 24 | <i>Análisis ensayo de torsión</i> | 103 |
| Tabla 25 | <i>Resultados ensayo de impacto Charpy e Izod en los laboratorios virtuales y software CAD</i> | 104 |

Índice de figuras

| | | |
|------------------|---|----|
| Figura 1 | <i>Laboratorio Virtual</i> | 24 |
| Figura 2 | <i>Interfaz laboratorio Virtual Labs</i> | 25 |
| Figura 3 | <i>Resultados gráficos y cálculos del ensayo de torsión</i> | 26 |
| Figura 4 | <i>Ensayo de impacto Charpy</i> | 27 |
| Figura 5 | <i>Ensayo de impacto Izod</i> | 27 |
| Figura 6 | <i>Interfaz software ANSYS</i> | 28 |
| Figura 7 | <i>Interfaz apartado SpaceClaim Design Modeler</i> | 29 |
| Figura 8 | <i>Explicit Dynamics en ANSYS Workbench</i> | 30 |
| Figura 9 | <i>Clasificación de los ensayos de materiales</i> | 32 |
| Figura 10 | <i>Análisis físico del efecto de la torsión en un elemento</i> | 34 |
| Figura 11 | <i>Gráfica esfuerzo vs deformación</i> | 36 |
| Figura 12 | <i>Colapso de materiales dúctiles y frágiles a torsión</i> | 37 |
| Figura 13 | <i>Ensayo de torsión</i> | 38 |
| Figura 14 | <i>Ensayo de impacto</i> | 39 |
| Figura 15 | <i>Disposición de la probeta para ensayos de Charpy e Izod</i> | 40 |
| Figura 16 | <i>Probetas utilizadas en el ensayo de impacto</i> | 40 |
| Figura 17 | <i>Energía absorbida en función de la temperatura</i> | 42 |
| Figura 18 | <i>Probeta para ensayo de torsión según norma IS-1717</i> | 46 |
| Figura 19 | <i>Tipos de especímenes de probeta para ensayo de impacto tipo Charpy</i> | 49 |
| Figura 20 | <i>Probeta para ensayo de impacto tipo Izod</i> | 51 |
| Figura 21 | <i>Ensayo de impacto tipo Charpy</i> | 53 |
| Figura 22 | <i>Pieza de prueba cuadrada de muesca simple</i> | 55 |
| Figura 23 | <i>Pieza de prueba cuadrada de muesca triple</i> | 56 |
| Figura 24 | <i>Pieza de prueba cuadrada de muesca doble</i> | 56 |
| Figura 25 | <i>Vista a detalle de la muesca de pieza de prueba cuadrada</i> | 57 |
| Figura 26 | <i>Interfaz laboratorio virtual de torsión</i> | 60 |
| Figura 27 | <i>Procedimiento de medida del diámetro de la probeta</i> | 61 |
| Figura 28 | <i>Procedimiento de medida de la distancia entre ejes</i> | 61 |
| Figura 29 | <i>Trazado de línea recta</i> | 62 |
| Figura 30 | <i>Posicionamiento de la probeta</i> | 62 |
| Figura 31 | <i>Encendido de la máquina de torsión</i> | 63 |

| | |
|---|----|
| Figura 32 <i>Apagado de la máquina de torsión</i> | 64 |
| Figura 33 <i>Grafica torque vs ángulo de giro</i> | 64 |
| Figura 34 <i>Resultados ensayo de torsión</i> | 65 |
| Figura 35 <i>Interfaz laboratorio virtual de impacto Charpy</i> | 66 |
| Figura 36 <i>Comprobación de la pérdida por fricción</i> | 67 |
| Figura 37 <i>Detalles geométricos de la probeta</i> | 67 |
| Figura 38 <i>Posicionamiento de la muestra</i> | 68 |
| Figura 39 <i>Caída del péndulo para empezar con el impacto</i> | 69 |
| Figura 40 <i>Resultados primer intento</i> | 69 |
| Figura 41 <i>Interfaz laboratorio virtual impacto Izod</i> | 70 |
| Figura 42 <i>Comprobación de la pérdida de fricción</i> | 71 |
| Figura 43 <i>Obtención de la pérdida de fricción</i> | 71 |
| Figura 44 <i>Posicionamiento de la probeta en la máquina</i> | 72 |
| Figura 45 <i>Intento 1</i> | 72 |
| Figura 46 <i>Presentación de resultados</i> | 73 |
| Figura 47 <i>Probeta diseñada en SpaceClaim</i> | 74 |
| Figura 48 <i>Espacio para edición de materiales</i> | 75 |
| Figura 49 <i>Mallado mediante el método “esfera de influencia”</i> | 76 |
| Figura 50 <i>Mallado</i> | 76 |
| Figura 51 <i>Soporte fijo</i> | 77 |
| Figura 52 <i>Desplazamiento</i> | 77 |
| Figura 53 <i>Resultados ensayo de torsión</i> | 78 |
| Figura 54 <i>Probeta diseñada en SpaceClaim</i> | 79 |
| Figura 55 <i>Mallado</i> | 80 |
| Figura 56 <i>Mallado por el método esfera de influencia</i> | 80 |
| Figura 57 <i>Velocidad del péndulo</i> | 81 |
| Figura 58 <i>Soporte fijo</i> | 81 |
| Figura 59 <i>Energía para el fallo de la probeta-intento 2</i> | 82 |
| Figura 60 <i>Energía para el fallo de la probeta-intento 3</i> | 83 |
| Figura 61 <i>Probeta diseñada en SpaceClaim</i> | 84 |
| Figura 62 <i>Mallado</i> | 85 |
| Figura 63 <i>Mallado por el método esfera de influencia</i> | 85 |
| Figura 64 <i>Velocidad del péndulo</i> | 86 |
| Figura 65 <i>Soporte fijo</i> | 86 |

| | |
|---|----|
| Figura 66 <i>Energía para el fallo de la probeta-intento 2</i> | 87 |
| Figura 67 <i>Energía para el fallo de la probeta-intento 3</i> | 88 |
| Figura 68 <i>Grafica torque vs ángulo de deformación</i> | 93 |

Resumen

El presente trabajo se orientó en la obtención de propiedades mecánicas mediante ensayos de torsión e impacto tanto Charpy e Izod del material acero dulce mediante la utilización de laboratorios virtuales y software CAD ANSYS, mediante el análisis de elementos finitos. Para la realización de esto se tomó en cuenta dimensiones, condiciones y procedimientos de normas internacionales, en esta caso la normativa IS que es la utilizada en los laboratorios virtuales “Virtual Labs”, y así poder obtener porcentajes de error entre los valores obtenidos en el laboratorio virtual y el software CAD. En el ensayo de torsión se realizará énfasis en obtener propiedades tales como el momento polar de inercia, esfuerzo de fluencia al corte, módulo de ruptura (esfuerzo cortante máximo) y módulo de rigidez, mientras tanto en el ensayo de impacto tanto Charpy e Izod, se hará énfasis en obtener la energía necesaria para el fallo o ruptura de la probeta. En cambio, en el software ANSYS será posible obtener valores como el esfuerzo cortante que mediante la ecuación de la torsión se podrá obtener los mismos valores presentados en el laboratorio virtual, mientras tanto en el análisis del ensayo de impacto en ANSYS se podrá obtener de manera directa la energía en el punto de ruptura de la probeta.

Palabras clave:

- **ENSAYO DE MATERIALES**
- **ENSAYO DE TORSIÓN**
- **LABORATORIO VIRTUAL**
- **SOFTWARE CAD**

Abstract

The present work was focused on obtaining mechanical properties through torsion and impact tests, both Charpy and Izod, of the mild steel material through the use of virtual laboratories and ANSYS CAD software, through finite element analysis. To carry out this, dimensions, conditions and procedures of normal internationalization were considered, in this case the IS standard, which is used in virtual laboratories "Virtual Labs", and thus be able to obtain percentages of error between the values obtained in the virtual lab and CAD software. In the torsion test, emphasis will be placed on obtaining properties such as the polar moment of inertia, shear yield stress, modulus of rupture (maximum shear stress) and rigidity modulus, meanwhile, in the impact test, both Charpy and Izod, Emphasis will be placed on obtaining the energy necessary for the failure or rupture of the specimen. On the other hand, in the ANSYS software it will be possible to obtain values such as the shear stress that, through the torsion equation, will be able to obtain the same values presented in the virtual laboratory, meanwhile in the analysis of the impact test in ANSYS it will be possible to obtain direct energy at the breaking point of the specimen.

Key words:

- **MATERIAL TESTING**
- **VIRTUAL LABORATORY**
- **SOFTWARE CAD**
- **TORSION TEST**

Capítulo 1

1. Introducción

1.1. Antecedentes

En una carrera de Ingeniería la presencia de laboratorios es de suma importancia, ya que permitirá a los estudiantes aprender mediante la experiencia y poner en práctica los conocimientos teóricos, pero por diversos factores es posible que un estudiante no reciba los laboratorios lo que puede causar déficits de aprendizaje en el estudiante, y desde finales del 2019 el mundo ha enfrentado una pandemia causada por el COVID-19 (Coronavirus) que tiene todas las actividades laborales presenciales suspendidas luego de un confinamiento parcial, así todas las actividades se han realizado mediante el teletrabajo como es el caso de la educación virtual. (Tonguino, 2021)

Es por eso que las instituciones educativas han tenido que adaptarse a la problemática actual modificando su proceso de enseñanza, utilizando los diferentes avances tecnológicos como base de enseñanza, esto ha hecho que los estudiantes basen su educación en el autoaprendizaje con ayuda de los conocimientos impartidos por sus docentes o tutores que se generan mediante la utilización de laboratorios virtuales. (Tonguino, 2021)

Los laboratorios virtuales han permitido desarrollar un sistema por el cual se puede acceder vía internet mediante un navegador, donde se puede recrear un laboratorio tradicional donde los ensayos se realizan siguiendo un procedimiento parecido al de un laboratorio tradicional y además teniendo la posibilidad de observar los instrumentos, por último, mediante el uso de aplicaciones privativas o libres que se

pueden ejecutar vía Internet, se pueden obtener resultados ya sean numéricos o gráficos. (Lorandi y otros, 2011)

Según (Menese & Ordosgoitia, 2009) un laboratorio virtual es una herramienta multimedia e interactiva que sirve para mejorar y complementar el proceso de aprendizaje, con las siguientes características principales:

- Tiene una interfaz que permite una fácil utilización para el usuario.
- Utiliza instrumentos simulados e interactivos que funciona de una forma simular a los reales.
- Mediante experimentos diseñados de manera adecuada, se pueden relacionar los conceptos teóricos y prácticos.
- Existe la posibilidad de generar experimentos destructivos con lo cual se puede contribuir a evitar daños en equipamientos de los laboratorios reales.

En varias universidades se han implementado laboratorios virtuales con éxito, donde se destaca Carnegie Mellon University (USA) en donde los estudiantes de Ingeniería Eléctrica realizan prácticas remotas, es por eso que los estudiantes tienen la oportunidad de acceder y manipular los equipos. Una de las universidades que más ha impulsado la educación virtual es el Instituto Real de Tecnología KTH (Estocolmo, Suecia), ya que ha brindado estudios a distancia desde el año 1997, por lo que ha desarrollado diversos sistemas, como lo es el CompEduHPT que es un programa que ayuda al aprendizaje en las áreas de energía, turbomáquinas y otras que incluye simulaciones, visitas virtuales y que además ha migrado a teléfonos inteligentes. (Moreno & Dagino, 2014)

A nivel de Ecuador existen diversas instituciones educativas ya sean públicas o privadas que han implementado un nivel de enseñanza virtual, entre ellas: Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Universidad Internacional del Ecuador, Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Universidad Regional Autónoma de los Andes entre otras, y en la actualidad cuentan con laboratorios virtuales con los últimos adelantos, teniendo en cuenta la participación geográfica e institucional así como las aplicaciones de las técnicas de aula virtual. (Zuñiga y otros, 2019)

En la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE se ha incluido los laboratorios virtuales en algunos procesos, como fue al inicio del primer periodo académico durante el confinamiento con la utilización de la plataforma Electude, plataforma utilizada para la realización de prácticas en la carrera de Ingeniera Automotriz. Además, en varios trabajos de titulación realizados en la Universidad se han podido observar diferentes diseños de laboratorios virtuales como son el Diseño e Implementación de un laboratorio Virtual y Remoto para el Desarrollo de Practicas de Control de Procesos (Arrieta & Piedra, 2015) trabajo desarrollado en el año 2015.

Junto a los laboratorios virtuales se pueden utilizar herramientas CAE, donde se pueden tratar problemas de manera matemática, pudiendo así obtener las competencias necesarias y las experiencias educativas. (Lorandi y otros, 2011)

Haciendo énfasis a las propiedades mecánicas de un material varios constructores y diseñadores se encuentran en continua investigación acerca de las propiedades mecánicas que puede brindar un material, para así garantizar que los diferentes productos manufacturados puedan cumplir con las expectativas.

De esta necesidad de optimizar los materiales nacen diferentes equipos y empresas que se dedicaron al análisis y construcción de máquinas para ensayos de

materiales, que permiten simular condiciones de trabajo a las que se exponen normalmente los materiales o elementos de máquinas. (Angel et al., 2015)

Aunque en condiciones de laboratorio es difícil reproducir con exactitud las condiciones de trabajo, pero por medio de pruebas normalizadas se puede determinar las características y propiedades que den una aproximación al comportamiento que tendrá un material durante el trabajo. (Angel y otros, 2015)

La realización de estos ensayos son muy importantes, ya que permiten clasificar los materiales de acuerdo a diferentes propiedades mecánicas como resistencia a la rotura, límite de elasticidad, etc., lo que da una caracterización a los materiales que permite el diseño de piezas. (Figueroa & Laguna, 2012)

A partir de toda la información revisada de diferentes autores se puede inferir que es de suma importancia realizar una investigación detallada para brindar un método que pueda permitir a los estudiantes realizar laboratorios virtuales, para así poder tener la experiencia de cómo obtener las propiedades mecánicas de un material aplicando procedimientos normados, ya que en caso de no realizar estos laboratorios los estudiantes se encontrarían con vacíos académicos que podrían afectar a su desarrollo laboral.

1.2. Planteamiento del problema

¿Se puede determinar las propiedades mecánicas de los materiales sometidas a torsión en acero dulce e impacto bajo normas utilizando laboratorios virtuales y software CAD?

1.3. Justificación e importancia

La utilización de laboratorios virtuales permitirá que los estudiantes puedan desarrollar mejores aptitudes profesionales acerca de los ensayos generados para la obtención de las propiedades mecánicas de materiales, y es necesario recalcar que en el ámbito automotriz es importante conocer estas propiedades de los materiales que se utilizan en este medio.

De acuerdo a (Lorandi y otros, 2011) al comparar un laboratorio virtual frente a un convencional se tienen una gran cantidad de ventajas, donde principalmente se puede citar a las siguientes:

- Permite que un gran número de estudiantes puedan realizar laboratorios de manera asíncrona.
- Permite a los estudiantes experimentar sin ningún riesgo, y, además, permite que las practicas sean realizadas en un horario flexible, evitando el problema de cruces horarios con otras materias educativas.
- Brinda un ambiente adecuado para el autoaprendizaje, ya que el estudiante tiene la libertad de modificar las variables de entrada y la configuración del sistema previo a un análisis, además que puede aprender el uso y manejo de instrumentos, ofreciendo casi una personalización del experimento.
- El estudiante puede experimentar libremente las veces que quiera sin el miedo a provocar algún tipo de accidente, sin tener que avergonzarse de no entender un tema, y con la capacidad de realizar la práctica varias veces, hasta obtener la competencia necesaria.

Igualmente, esta metodología evitaría que se realice una inversión significativa en máquinas para realizar este tipo de ensayos. Cabe recalcar que estas máquinas necesitan de un mantenimiento continuo, lo cual se podrá evitar con la utilización de laboratorios virtuales, además que brindan una facilidad de acceso para los estudiantes.

De igual manera en varias instituciones educativas, como lo es la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE extensión Latacunga se cuentan con equipos que han cumplido su vida útil y por ende es necesario una renovación lo cual representa una gran inversión, que podría ser evitada con la implementación de laboratorios virtuales.

A parte de todo lo ya mencionado se debe tomar en cuenta que dado el panorama mundial actual en donde se encuentra vigente una pandemia (COVID-19) ha hecho que la concurrencia a aulas y laboratorios se vea afectada, por lo cual el desarrollo de esta investigación permitirá generar un apoyo académico a los estudiantes.

En consecuencia, este estudio está centrado en la búsqueda bibliográfica de normas y procedimientos necesarios para poder determinar las propiedades mecánicas de los materiales sometidas a torsión e impacto con la utilización de laboratorios virtuales y software CAD.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Determinar las propiedades mecánicas de los materiales sometidas a torsión e impacto bajo normas utilizando laboratorios virtuales y software CAD.

1.4.2. Objetivos específicos

- Determinar las propiedades mecánicas del acero dulce sometidos a torsión bajo normas utilizando laboratorios virtuales.
- Determinar las propiedades mecánicas del acero dulce sometidos a impacto bajo normas utilizando laboratorios virtuales.
- Determinar las propiedades mecánicas del acero dulce sometidos a torsión bajo normas utilizando software CAD.
- Determinar las propiedades mecánicas del acero dulce sometidos a impacto bajo normas utilizando software CAD.

1.5. Hipótesis

La utilización de laboratorios virtuales y software CAD serán viables para determinar propiedades mecánicas de los materiales sometidas a torsión en acero dulce e impacto bajo normas.

1.6. Variables de investigación

1.6.1. Variables independientes

Laboratorios virtuales, software CAD.

1.6.2. Variables dependientes

Propiedades mecánicas de los materiales sometidas a torsión e impacto en el acero dulce bajo normas.

Capítulo 2

2. Fundamentación Teórica

2.1. Laboratorios virtuales

Los Laboratorios Virtuales son prácticas guiadas asociadas al plan educativo de la institución educativa, que pasan por todos los laboratorios de ingeniería y salud y siguen con un alto grado de fidelidad los experimentos realizados en los equipos físicos. En esta plataforma, el alumno podrá aprender, a través de un lenguaje moderno, todos los conceptos de las clases prácticas en una disciplina en particular a través de una interfaz gráfica como se puede observar en la figura 1. (Velasco y otros, 2013)

Figura 1

Laboratorio Virtual



Nota. Adaptado de *Laboratorio de Ingeniería y Ciencia de los Materiales en realidad virtual* [Fotografía] por SAV Universidad De Sevilla, 2020, SAV (<https://ra.sav.us.es/images/LVM/LVM2.jpg>), Copyright.

El entorno que presenta la facilidad de utilizar ensayos de materiales y en este caso ensayos de impacto y torsión es Virtual Labs que es un software que permite realizar experimentos con las principales características de un laboratorio presencial.

Al hacer referencia a los ensayos de torsión, el entorno Virtual Labs permite realizar prácticas con cierto nivel de interactividad, donde se pueden utilizar procesos normados, que se basan en la normativa IS-1717 (Materiales metálicos- alambre- prueba de torsión simple), norma que será explicada a detalle más adelante.

Este entorno virtual brinda varias opciones para familiarizarse con este ensayo como se observa en la figura 2, ya que permite realizar una revisión teórica acerca de la torsión, el procedimiento que se debe seguir para realizar el ensayo con éxito, la revisión de videos de ensayos reales, y además una autoevaluación y un examen para validar los conocimientos adquiridos con esta herramienta.

Figura 2

Interfaz laboratorio Virtual Labs



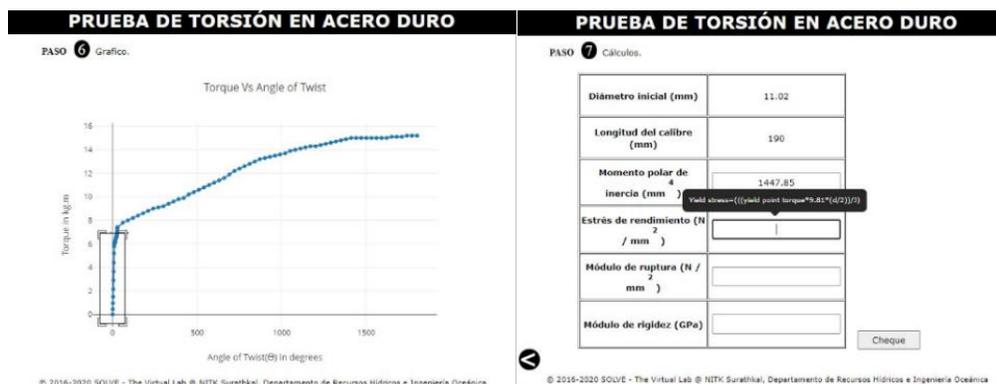
Nota. Adaptado de *Torsion Test on Mild Steel* [Fotografía], de Virtual Labs, 2021, (<https://sm-nitk.vlabs.ac.in/exp/torsion-test-mild-steel/simulation.html>). CC BY-NC-SA

4.0.

Aparte de los puntos ya mencionados, dentro del laboratorio se permite la visualización de resultados gráficos y hace que el estudiante participe de esto, presentando un punto de cálculos que tendrá que realizar el estudiante con las fórmulas brindadas en la pestaña de teoría, como se puede observar en la figura 3.

Figura 3

Resultados gráficos y cálculos del ensayo de torsión



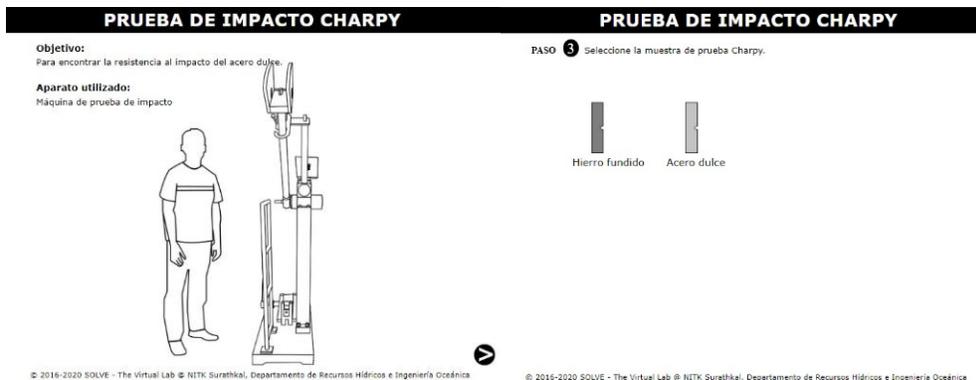
Nota. Adaptado de *Torsion Test on Mild Steel* [Fotografía], de Virtual Labs, 2021, (<https://sm-nitk.vlabs.ac.in/exp/torsion-test-mild-steel/simulation.html>). CC BY-NC-SA 4.0.

Ocurre de igual manera para los ensayos de impacto Charpy e Izod, debido a que en el entorno existen las mismas facilidades para estos ensayos, ya que presenta los puntos de teoría, procedimiento, videos guía, y apartados de evaluación. Para este caso este laboratorio se fundamenta en la normativa IS-1499 para ensayos Charpy, y la IS-1598 para ensayos Izod, normas que se explicaran a detalle más adelante.

Una ventaja que se permite en estos ensayos es que existe la posibilidad de elegir el material para la prueba, teniendo como opciones el acero dulce y el hierro fundido, como se puede observar en las figuras 4 y 5.

Figura 4

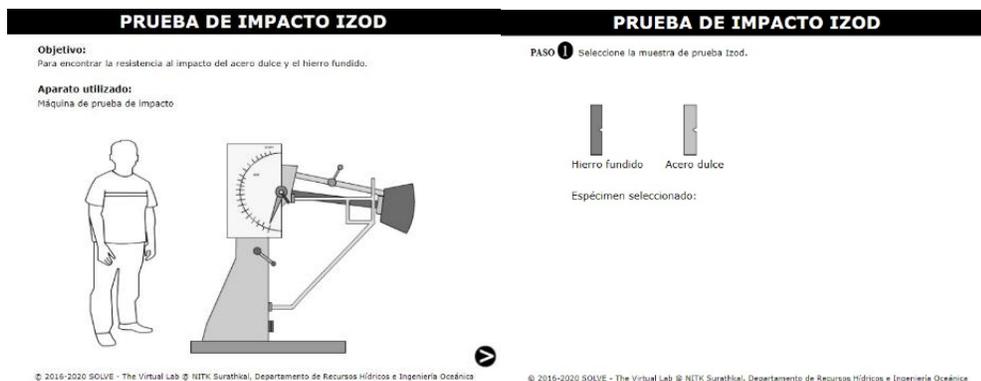
Ensayo de impacto Charpy



Nota. Adaptado de *Charpy Impact Test* [Fotografía], de Virtual Labs, 2021, (<https://sm-nitk.vlabs.ac.in/exp/charpy-impact-test/>). CC BY-NC-SA 4.0.

Figura 5

Ensayo de impacto Izod



Nota. Adaptado de *Izod Impact Test* [Fotografía], de Virtual Labs, 2021, (<https://sm-nitk.vlabs.ac.in/exp/izod-impact-test/>). CC BY-NC-SA 4.0.

2.2. Software CAD

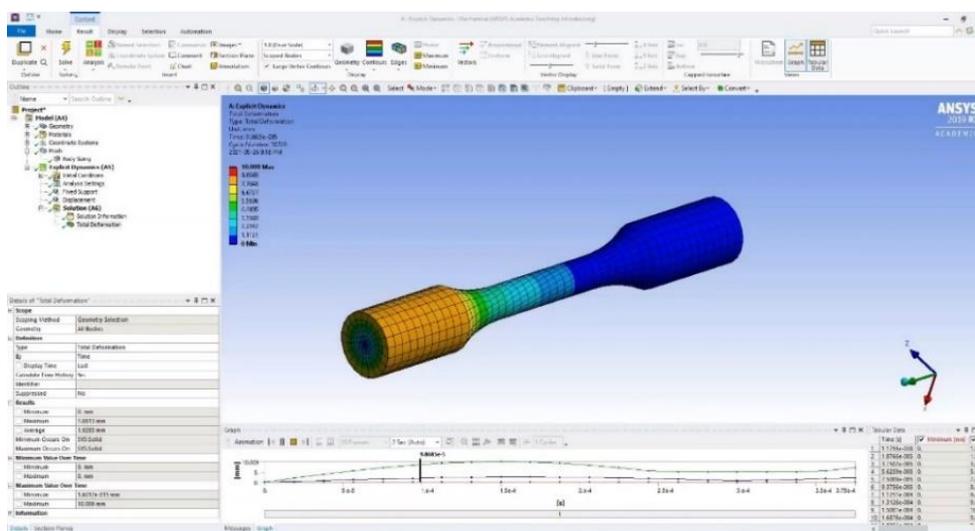
El diseño asistido por computadora (CAD) se basa en la utilización de softwares que permiten crear, modificar, analizar y documentar representaciones gráficas en dos o tres dimensiones (2D o 3D) como una alternativa a los borradores manuales y a prototipos. (SIEMENS, 2021)

El software a utilizar es el ANSYS proporcionado por la empresa ANSYS, Inc. que presta soporte para ingeniería mediante software de simulación para así poder predecir el funcionamiento y reacción bajo condiciones reales como se puede observar en la figura 6. El análisis y cálculo en este software se basa en tres pasos:

- Pre-procesado. Se establece el modelo, geometría, materiales y mallado.
- Procesador. Aplicación de cargas y obtención de la solución.
- Post-Procesador. Finalmente, la visualización de resultados y animaciones.

Figura 6

Interfaz software ANSYS

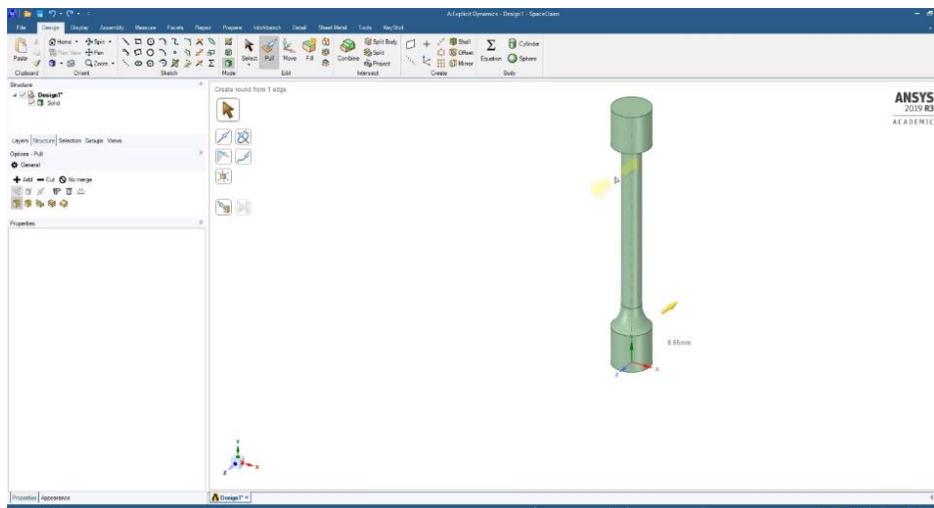


Nota. Espacio para la realización de simulaciones en el software ANSYS Workbench.

En este software es posible realizar los ensayos de materiales, con el producto ANSYS Workbench, que es una herramienta de simulación, análisis estructural, térmico de fluidos y electromagnético, aquí existirá la sección “Explicit Dynamics” donde se podrá observar todos los pasos necesarios para realizar una simulación, empezando por adjuntar la geometría de análisis y especificar el material de la geometría, pasos que se realizarán en otro producto conocido como SpaceClaim Design Modeler que se puede observar en la figura 7, que permite el diseño CAD y la realización de geometrías antes de un proceso de mallado. Siendo el mallado el método que tiene este software para conectar nodos y para formar elementos finitos que juntos forman el volumen del material.

Figura 7

Interfaz apartado SpaceClaim Design Modeler



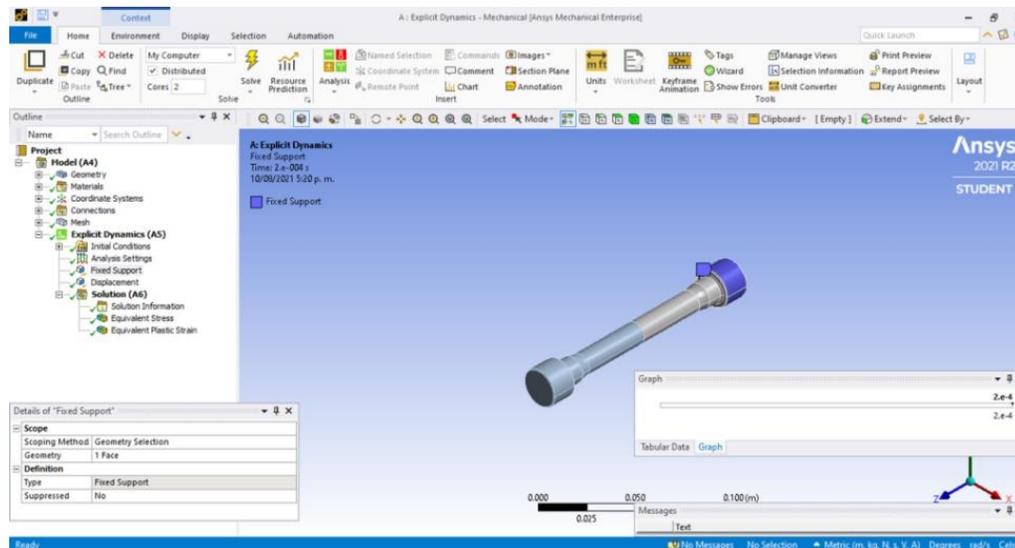
Nota. Espacio para el modelaje de piezas en SpaceClaim.

Una vez especificadas las dimensiones y el material de la geometría se podrá pasar al análisis mediante el método de elementos finitos, donde se podrá colocar las fuerzas que intervienen, puntos de sujeción, tiempo de simulación como se puede

observar en la figura 8. Y como último se puede interactuar con los diferentes resultados a analizar dependiendo del ensayo, ya sea los esfuerzos del material, esfuerzos de ruptura, etc.

Figura 8

Explicit Dynamics en ANSYS Workbench



Nota. Espacio de simulación en Explicit Dynamics.

Finalizando se pueden adjuntar demostraciones de las simulaciones, ya sea con animaciones o mediante videos, observando así el comportamiento del material a condiciones reales.

2.3. Ensayo de materiales

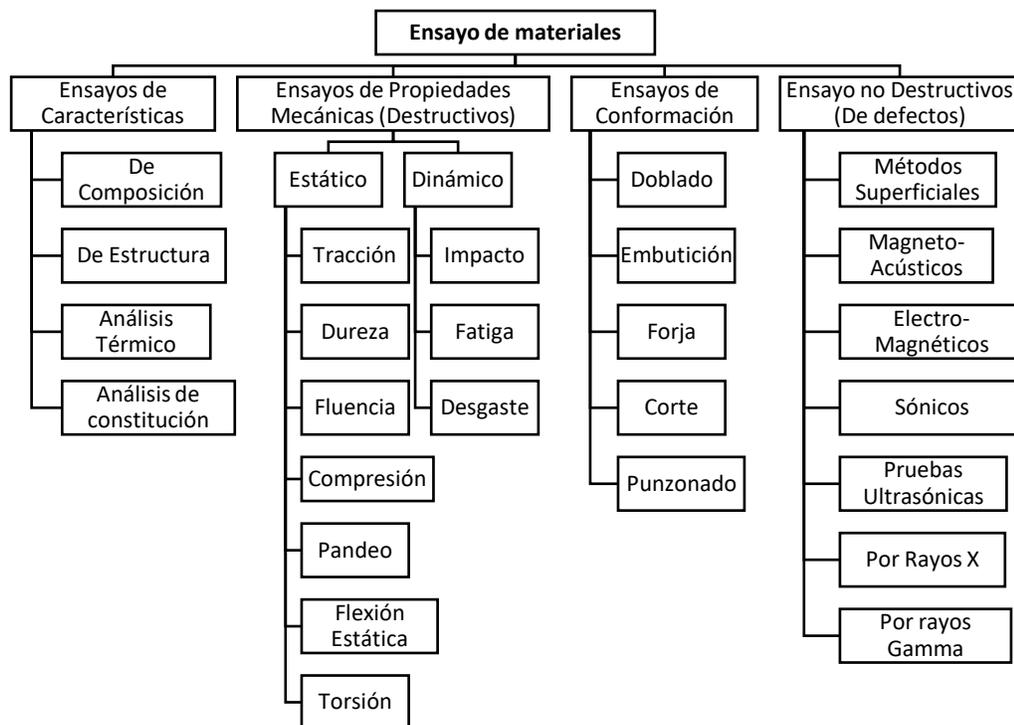
Es un conjunto de procedimientos que se realizan para conocer o comprobar las propiedades, características y defectos de un material. Esto se realiza a la materia prima, durante el proceso de fabricación o al producto ya manufacturado. Esto permite clasificar los materiales de acuerdo a diferentes propiedades como lo son la resistencia a la rotura, elasticidad, plasticidad, dureza, ductilidad, propiedades que permiten

obtener información acerca de la calidad de un material y que permitirá prever el comportamiento del mismo a diferentes condiciones. Según (Morales, 2013) los ensayos pueden ser de dos tipos, destructivos y no destructivos. Los ensayos como el de tracción son ensayos destructivos típicos del cual se obtiene la curva de comportamiento del material. Mientras tanto los ensayos no destructivos son más aptos para realizar controles de calidad del material.

Por otro lado, los ensayos también se pueden clasificar como físicos, químicos o mecánicos. En el campo de la ingeniería es de suma importancia los ensayos mecánicos y los ensayos de inspección que detectan cualquier tipo de discontinuidad en la superficie o en el interior del material. En resumen, la clasificación de los ensayos se realiza a partir de los diferentes tipos de materiales, y para su mejor entendimiento se clasifican en cuatro grupos presentados en la figura 9.

Figura 9

Clasificación de los ensayos de materiales



Nota. Adaptado de ENSAYOS Y ANÁLISIS DE MATERIALES PARA INGENIERÍA (p. 6), por A. Morales, 2013, Globus Global Bussines.

Según los ensayos practicados en el material se podrán obtener las diferentes características del material, y se pueden obtener resultados de manera numérica y gráfica, como son las gráficas esfuerzo-deformación. Estos resultados dependerán de las condiciones del ensayo (como se toma y se prepara la muestra) así como de los procedimientos utilizados en el ensayo. Es por eso que cada uno de estos procedimientos se encuentran normados, para así obtener resultados fiables, y se encuentran regulados por entes como son: la ASTM en Estados Unidos, la DIN en

Alemania, en Inglaterra por la BS, y en Ecuador el ente encargado es el Servicio Ecuatoriano de Normalización INEN.

Algo importante a tomar en cuenta en este tipo de estudios es que los datos detallados en los resultados de los ensayos tendrán una variación cuantitativa con respecto a las propiedades normalizadas. Esto puede ser debido a que no existe una precisión absoluta de las operaciones del ensayo y los materiales utilizados no son homogéneos. (Fuentes, 1982)

A continuación, se explicarán de manera detallada los ensayos de torsión e impacto.

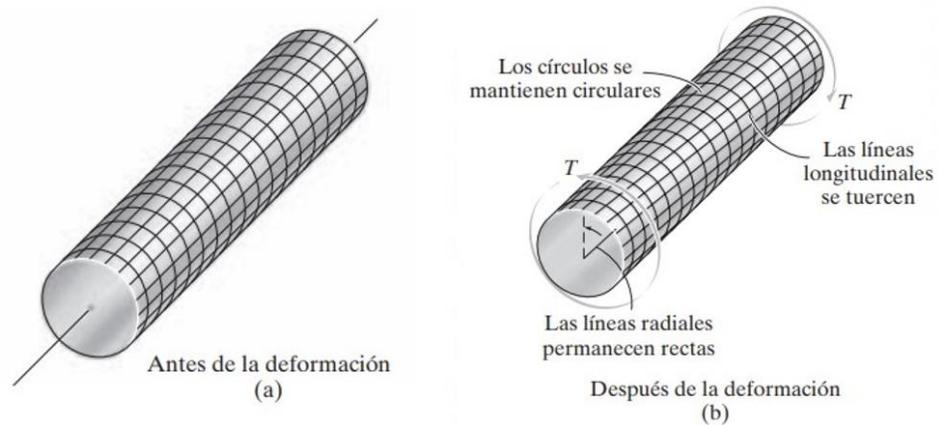
2.3.1. Ensayo de torsión

2.3.1.1. Torsión.

La torsión es un fenómeno físico que se basa en someter a un material a esfuerzos en direcciones opuestas en sus extremos, generando así esfuerzos cortantes y deformaciones angulares. En si el par de torsión tiende a torcer un elemento sobre su eje longitudinal. Esto se puede ilustrar cuando se aplican círculos líneas longitudinales en forma de cuadrícula en una probeta o eje y estos tienden a distorsionarse, como se observa en la figura 10. Esto ocasiona que los círculos se conserven y cada línea longitudinal de la cuadrícula se deforme en forma de una hélice. (Hibbeler, 2011) En la torsión se puede decir que intervienen elementos como el torque y el desplazamiento angular del eje o probeta, siendo el torque el producto de las fuerzas por la distancia perpendicular entre las líneas de fuerza, y el desplazamiento angular indica el ángulo de giro. (Haro & Laguna, 2012)

Figura 10

Análisis físico del efecto de la torsión en un elemento



Nota. La figura representa la deformación de la cuadrícula en un eje, observando las líneas perpendiculares y los círculos. Tomado de *Mecánica de Materiales 8va ed.* (p. 180), por Hibbeler, R., 2011, PEARSON EDUCACIÓN MÉXICO.

Las ecuaciones que se utilizarán en este fenómeno son:

La *torsión*:

$$\tau = G \cdot \gamma$$

Donde:

- G = Corresponde al modulo de rigidez del material
- γ = Corresponde a la deformación unitaria cortante

Es importante aclarar que estas ecuaciones solo serán aplicables para ejes y para deformaciones que se generen dentro de la zona elástica del material.

Para el *esfuerzo cortante máximo* se denotará con la siguiente ecuación:

$$\tau_{max} = \frac{T \cdot c}{J} \quad \text{ó} \quad \tau = \frac{2 \cdot T}{\pi \cdot c^3}$$

Donde:

- T = Par de torsión que actúa en el eje.
- c = Radio del eje.
- J = Momento polar de Inercia.

Para determinar el *ángulo de torsión* se tendrá la siguiente expresión:

$$\theta = \frac{T \cdot L}{J \cdot G}$$

Donde:

- L = Longitud del eje.

El *Momento Polar de Inercia* se podrá determinar con la siguiente ecuación:

$$J = \frac{\pi}{2} \cdot c^4$$

En el ensayo de torsión, se tiene como objetivo obtener la deformación unitaria y el esfuerzo cortante, para así poder obtener la gráfica esfuerzo vs deformación, que se puede observar en la figura 11.

Figura 11

Gráfica esfuerzo vs deformación



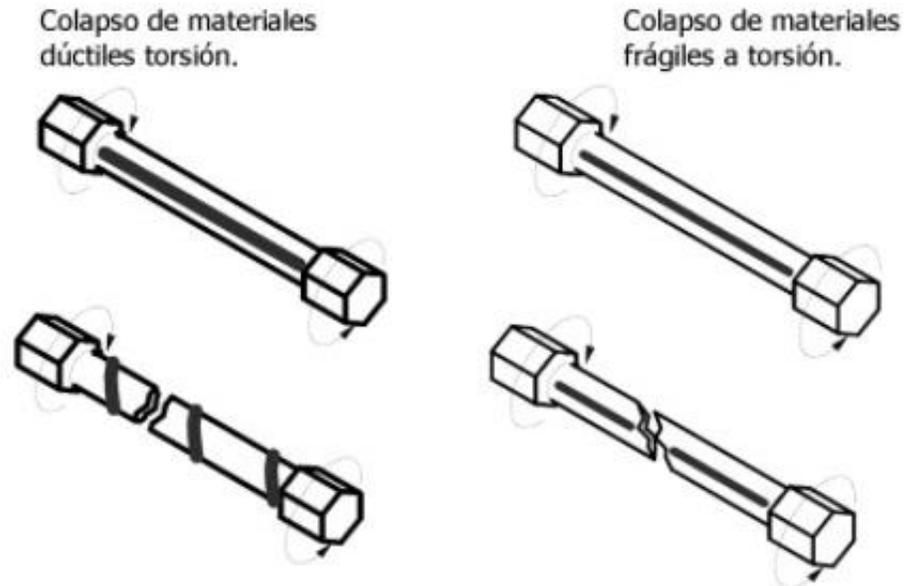
Nota. Tomado de *Ensayo de torsión* (p. 9), por Pedroza, J. 2007, UNIVERSIDAD DEL ATLÁNTICO.

2.3.1.2. Generalidades ensayo de torsión.

El ensayo de torsión se basa en la utilización de una probeta de sección circular a la cual se le aplica un par de torsión de manera continua hasta que se produzca su rotura y así determinar el comportamiento del material frente a este fenómeno. Estos ensayos son útiles ya que se puede probar la resistencia de elementos mecánicos que están sometidos a torsión, además permite observar el comportamiento entre un material dúctil y un frágil, ya que el material dúctil presenta una deformación angular plástica, previo al colapso, mientras que el frágil prácticamente no se deforma antes de colapsar como se observa en la figura 12. (Haro & Laguna, 2012)

Figura 12

Colapso de materiales dúctiles y frágiles a torsión



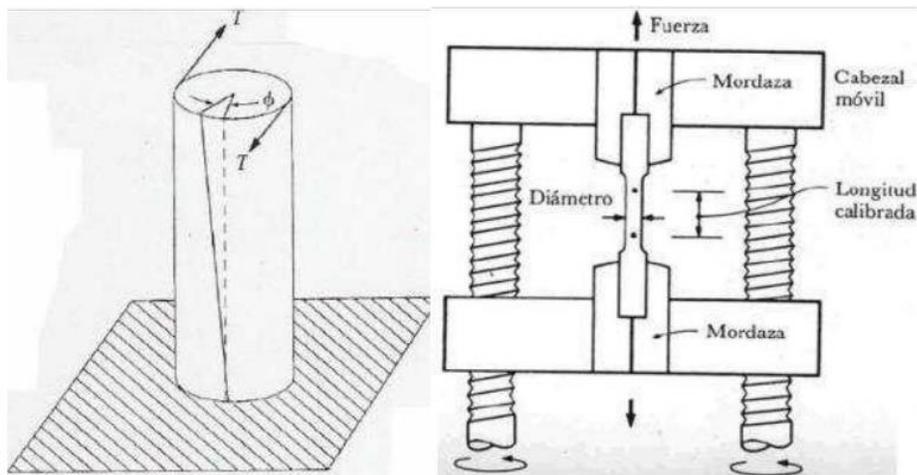
Nota. Tomado de *Apuntes de Diseño de Máquinas* (p. 36), por Marín, J., 2008, Editorial Club Universitario.

Por lo general este ensayo se realiza en materiales cilíndricos sólidos o huecos, haciendo que se produzca en el material una deformación angular.

Los criterios para la selección de la probeta de torsión se basan en que:

- Las probetas deben ser del tamaño adecuado para que se permita observar la deformación.
- La probeta debe ser del tamaño adecuado para tener el área de medición sin intervención de los extremos de sujeción.

En la figura 13 se puede observar la deformación torsional θ debido al torque que se aplica en la probeta una vez que se le somete a torsión.

Figura 13*Ensayo de torsión*

Nota. Tomado de *Mejoramiento del sistema de control y monitoreo de la máquina axial-torsional de ensayo de materiales del laboratorio de análisis de esfuerzos y vibraciones de la EPN* (p. 7), por Haro, A., & Laguna, 2012, Escuela Politécnica Nacional.

Los extremos deben ser de tal forma que la probeta pueda sujetarse sin generar esfuerzos, tomando en cuenta que se debe colocar la probeta con cuidado para evitar algún tipo de flexión. Es necesario colocarla de forma que se impida el movimiento de la probeta de un lado, mientras del otro lado gire debido al par torsor. Durante la duración del ensayo se registrarán los datos del momento torsor y el desplazamiento angular de la probeta. (Haro & Laguna, 2012)

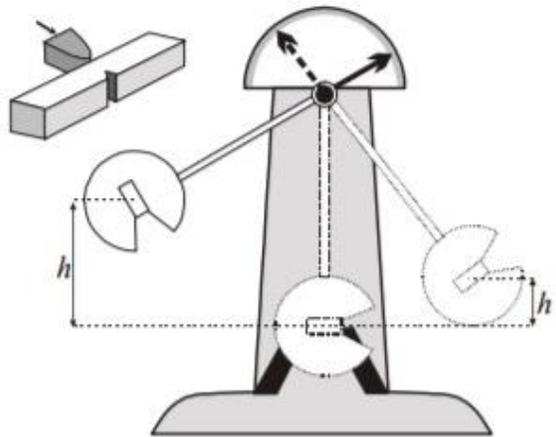
2.3.2. Ensayo de impacto

Los ensayos de impacto son pruebas de corta duración con el cual se puede determinar el comportamiento de fallo de materiales que se someten a cargas momentáneas. Por lo general para este tipo de ensayos se utilizan péndulos de impacto o máquinas de caída libre.

El ensayo se basa en dejar caer un péndulo que pasa y golpea una probeta como se observa en la figura 14. Donde el principal objetivo es obtener la tenacidad del material, que no es más que la resistencia del material a recibir un golpe. Esta tenacidad es medida mediante la energía de impacto, o la energía absorbida antes de la fractura.

Figura 14

Ensayo de impacto



Nota. Tomado de *Tecnología de proceso y transformación de materiales* (p. 51), por Ballesteros, N, 2005, Edicions UPC.

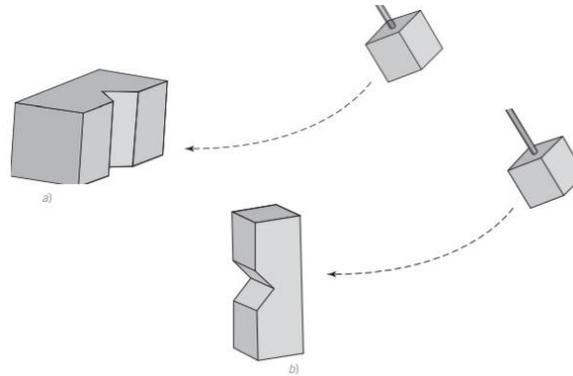
Para desarrollar esto existen dos métodos o dos tipos de ensayos:

- Ensayo Charpy.
- Ensayo Izod.

La única diferencia entre este tipo de ensayos es la disposición de la probeta en la parte inferior de la máquina, ya que en los ensayos de tipo Charpy la probeta se colocará de manera horizontal, y en los ensayos de tipo Izod se lo hará de forma vertical como se observa en la figura 15.

Figura 15

Disposición de la probeta para ensayos de Charpy e Izod

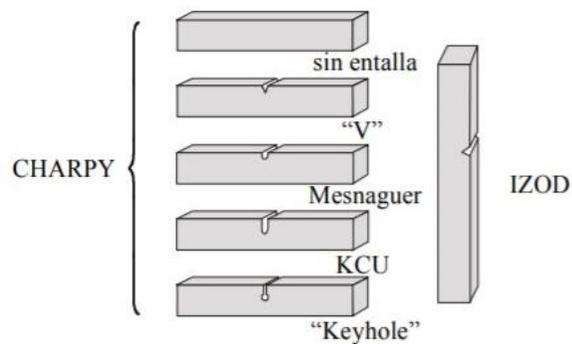


Nota. La figura representa la disposición de las probetas donde a) Charpy y b) Izod. Tomado de *Ciencia de Materiales Aplicaciones en Ingeniería* (p. 85), por Newell, J., 2010, Alfaomega Grupo Editor, S.A de C.V.

Para realizar este ensayo será necesario el uso de una probeta cuyas dimensiones y geometría se encuentra determinado por normas internacionales, las geometrías más comunes se pueden observar en la figura 16. (Ballesteros, 2005)

Figura 16

Probetas utilizadas en el ensayo de impacto



Nota. Tomado de *Tecnología de proceso y transformación de materiales* (p. 50), por Ballesteros, N., 2005, Edicions UPC.

Para empezar, se coloca la probeta en la parte inferior de la máquina, al péndulo se coloca un martillo a una altura (h_o), luego se deja caer el péndulo o martillo y la energía potencial almacenada en él se transforma en energía cinética. Al llegar a la base del arco pasará golpeando a la probeta lo cual provocará su ruptura. (Newell, 2010)

Luego de esto el martillo se eleva hacia el otro lado hasta que se detiene a una altura (h_f). Si el péndulo pasa sin ningún tipo de resistencia en su camino la altura final e inicial serían las mismas. (Newell, 2010)

Esta energía de impacto no es más que la pérdida de la energía potencial entre el estado inicial y final y se expresa mediante la siguiente ecuación:

$$e_I = m \cdot g (h_o - h_f)$$

Donde

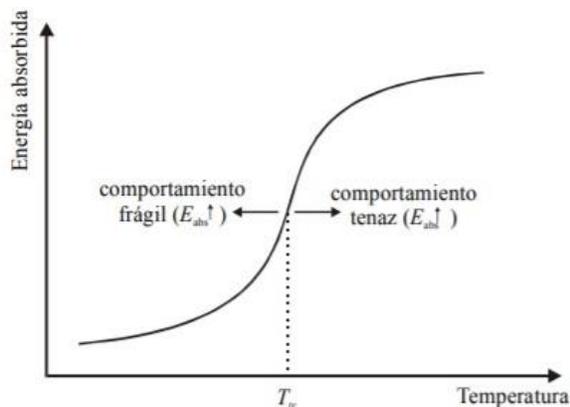
- e_I = Energía de impacto
- m = Masa del martillo
- g = Aceleración de la gravedad

Los ensayos de impacto por lo general se realizan a diferentes temperaturas y se aplican a metales, cerámicos e incluso polímeros, pero no se puede realizar en materiales compuestos debido a la naturaleza de estos materiales. (Newell, 2010)

El ensayo de impacto, de todos los ensayos es el más adecuado para en evidencia el efecto de la temperatura en un material metálico, así, estos ensayos se realizan normalmente a una temperatura constante ($20 \pm 3^\circ\text{C}$) y como se observa en la figura 17 al disminuir la temperatura la energía absorbida en el impacto desciende en forma más o menos notable. (Ballesteros, 2005)

Figura 17

Energía absorbida en función de la temperatura



Nota. En la figura se puede observar cómo afecta la temperatura en el comportamiento de un material. Tomado de *Tecnología de proceso y transformación de materiales* (p. 52), por Ballesteros, N, 2005, Edicions UPC.

2.3.3. Normativa para ensayos de Torsión

Las normativas utilizadas son la ASTM A938 y la IS-1717:

2.3.3.1. ASTM A938.

- **Equipo**

- El equipo (aparato) tiene que contar con cabezales de sujeción que permanecerán rectos durante la prueba, y de fácil desplazamiento a la probeta.
- Las cabezales deben sujetar la probeta de manera firme.
- Debe tener un contador de revoluciones.
- Se debe proporcionar un escudo protector para proteger al operador de fragmentos voladores en el caso de que la probeta se rompa. (American Society for Testing and Materials (ASTM), 2007)

- **Preparación de la probeta**
 - La probeta debe encontrarse totalmente recta antes de ser probada.
 - La longitud de prueba recomendada es de 203 mm (8 pulg) y debe contar con el material suficiente para su sujeción con un mínimo de 12.7 mm (1/2 pulg). (American Society for Testing and Materials (ASTM), 2007)

- **Procedimiento**
 - La fuerza de torsión se aplicará como se muestra en la tabla 1.

Tabla 1*Cargas aplicadas en función del diámetro*

| Diámetro de la probeta | | Carga Aplicada | | | |
|------------------------|--------------------|---------------------|--------|-------------|--------|
| | | Libras Fuerza (lbf) | | Newtons (N) | |
| Pulgadas | Milímetros | Mínimo | Máximo | Mínimo | Máximo |
| Hasta 0.010 | Hasta 0.25 | 0.5 | 2.0 | 2.2 | 8.9 |
| Más de 0,010 a 0,015 | Más de 0,25 a 0,41 | 1.0 | 4.0 | 4.4 | 18 |
| Más de 0,015 a 0,020 | Más de 0,41 a 0,51 | 1.5 | 6.0 | 6.7 | 27 |
| Más de 0,020 a 0,030 | Más de 0,51 a 0,76 | 2.0 | 8.0 | 8.9 | 36 |
| Más de 0,030 a 0,040 | Más de 0,76 a 1,02 | 3.0 | 12 | 13 | 53 |
| Más de 0,040 a 0,050 | Más de 1,02 a 1,28 | 4.0 | 16 | 18 | 71 |
| Más de 0,050 a 0,060 | Más de 1,28 a 1,53 | 5.0 | 20 | 22 | 89 |
| Más de 0,060 a 0,070 | Más de 1,53 a 1,79 | 6.0 | 24 | 27 | 107 |
| Más de 0,070 a 0,080 | Más de 1,79 a 2,04 | 7.0 | 28 | 31 | 125 |
| Más de 0,080 a 0,090 | Más de 2,04 a 2,30 | 8.0 | 32 | 36 | 142 |

| Diámetro de la probeta | | Carga Aplicada | | | |
|------------------------|--------------------|---------------------|--------|-------------|--------|
| | | Libras Fuerza (lbf) | | Newtons (N) | |
| Pulgadas | Milímetros | Mínimo | Máximo | Mínimo | Máximo |
| Más de 0,090 a 0,100 | Más de 2,30 a 2,55 | 9.0 | 36 | 40 | 160 |
| Más de 0,100 a 0,110 | Más de 2,55 a 2,80 | 10 | 40 | 44 | 178 |
| Más de 0,110 a 0,120 | Más de 2,80 a 3,06 | 11 | 44 | 49 | 196 |
| Más de 0,120 a 0,130 | Más de 3,06 a 3,31 | 12 | 48 | 53 | 214 |
| Más de 0,130 a 0,140 | Más de 3,31 a 3,57 | 13 | 52 | 58 | 231 |
| Más de 0,140 a 0,150 | Más de 3,57 a 3,82 | 14 | 56 | 62 | 249 |
| Más de 0,150 a 0,160 | Más de 3,82 a 4,07 | 15 | 60 | 67 | 267 |
| Más de 0,160 a 0,170 | Más de 4,07 a 4,33 | 16 | 64 | 71 | 285 |
| Más de 0,170 a 0,180 | Más de 4,33 a 4,58 | 17 | 68 | 76 | 302 |
| Más de 0,180 a 0,190 | Más de 4,58 a 4,84 | 18 | 72 | 80 | 320 |
| Más de 0,190 a 0,200 | Más de 4,84 a 5,09 | 19 | 76 | 85 | 338 |
| Más de 0,200 a 0,210 | Más de 5,09 a 5,34 | 20 | 80 | 89 | 356 |
| Más de 0,210 a 0,220 | Más de 5,34 a 5,60 | 21 | 84 | 93 | 374 |
| Más de 0,220 a 0,230 | Más de 5,60 a 5,85 | 22 | 88 | 98 | 391 |
| Más de 0,230 a 0,240 | Más de 5,85 a 6,10 | 23 | 92 | 102 | 409 |
| Más de 0,240 a 0,250 | Más de 6,10 a 6,35 | 24 | 96 | 107 | 427 |

Nota. Para tamaños superiores a 0,250 pulg (6,35 mm), se recomienda la fuerza de tracción del 1% de la carga máxima nominal de la probeta. Tomado de *Standard Test Method for Torsion Testing of Wire (ASTM A938-07)* (p. 3), por American Society for Testing and Materials (ASTM), 2007, ASTM.

- La velocidad de la prueba debe ser de tal forma que la probeta no se caliente. Las velocidades se muestran en la tabla 2.

Tabla 2

Velocidades máximas de torsión recomendadas

| Diámetro de la probeta pulg. (mm) | Velocidad de torsión (rpm) |
|--|-----------------------------------|
| <0.040 (1.02) | 90 |
| 0.040 a <0.142 (1.02 a <3.61) | 60 |
| 0.142 y mayores (3.61 y mayores) | 30 |

Nota. Tomado de Standard Test Method for Torsion Testing of Wire (ASTM A938-07) (p. 3), por American Society for Testing and Materials (ASTM), 2007, ASTM.

- Después de colocar la probeta en la máquina, se la hará girar a la velocidad adecuada hasta que se fracture.

2.3.3.2. IS-1717.

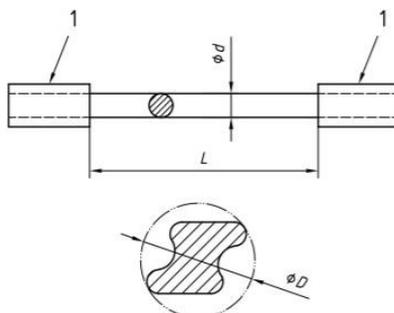
Esta norma es utilizada en el laboratorio Virtual Labs.

Esta norma específica un método para determinar la capacidad que tiene una probeta metálica de un diámetro de 0.1 mm a 10 mm para sufrir deformación plástica durante la torsión. (Indian Standard (IS), 2012)

La prueba consiste en torcer una probeta con una forma establecida como se puede observar en la figura 18, alrededor de su propio eje en una dirección.

Figura 18

Probeta para ensayo de torsión según norma IS-1717



Nota. En la figura se observan los puntos denominados con el número 1 que hacen referencia a los puntos de sujeción de la probeta Tomado de *METALLIC MATERIALS — WIRE — SIMPLE TORSION TEST*. (p. 1), por Indian Standard (IS), 2012, Bureau of Indian Standards.

La simbología y designaciones se explican en la tabla 3.

Tabla 3

Simbología y designaciones según la norma IS-1717

| Símbolo | Designación | Unidad |
|-----------------------------|--|---------------|
| <i>d</i> | Diámetro de un alambre redondo | mm |
| <i>D</i> | Dimensión característica para alambres no circulares | mm |
| <i>L</i> | Longitud libre entre empuñaduras | mm |
| <i>N_t</i> | Número de vueltas | |

Nota. Tomado de *METALLIC MATERIALS — WIRE — SIMPLE TORSION TEST*. (p. 1), por Indian Standard (IS), 2012, Bureau of Indian Standards.

- Para colocar la probeta en la maquina se recomiendan diferentes tipos de agarres que son especificados en la tabla 4. Las empuñaduras deben ser colocadas de tal que se mantengan rectas.

Tabla 4

Tipos de agarres recomendados

| $d (D)$ mm | Tipo de agarre |
|-------------------------|---------------------|
| $0.1 \leq d (D) < 0.3$ | Liso |
| $0.3 \leq d (D) \leq 3$ | Ligeramente dentado |
| $d (D) > 3$ | Ranurado en V |

Nota. Tomado de *METALLIC MATERIALS — WIRE — SIMPLE TORSION TEST*. (p. 5), por Indian Standard (IS), 2012, Bureau of Indian Standards.

- La probeta debe ser lo más recta posible, y la distancia entre mordazas será la que se indica en la tabla 5 y como máximo 300 mm.

Tabla 5

Relación entre la longitud entre las mordazas y el diámetro de la probeta

| <i>Diámetro nominal, d, o dimensión característica D</i> | <i>Longitud entre empuñaduras</i> |
|--|-----------------------------------|
| $0.3 \leq d (D) < 1$ | $200 d (D)$ |
| $1 \leq d (D) \leq 5$ | $100 d (D)$ |
| $5 \leq d (D)$ | $50 d (D)$ |

Nota. Tomado de *METALLIC MATERIALS — WIRE — SIMPLE TORSION TEST*. (p. 2), por Indian Standard (IS), 2012, Bureau of Indian Standards.

- En general estas pruebas se realizan en temperaturas entre 10° y 35°C. Cuando sea necesario se realizará a una temperatura de (23 ± 5) °C.
- Después de colocar la probeta en la máquina, se gira a una velocidad constante hasta que se rompa o hasta que se alcanza un número especificado de vueltas. El número de vueltas no debe exceder los valores de la tabla 6.
- Se hará girar la probeta a la velocidad indicada en la tabla 6 hasta que se fracture.

Tabla 6

Relación entre la longitud de las mordazas y el diámetro nominal de la probeta

| Diámetro nominal, d, o dimensión característica D mm | Número máximo de vueltas por segundo |
|---|---|
| | Acero |
| $d (D) < 1$ | 1 |
| $1 \leq d (D) < 1.5$ | |
| $1.5 \leq d (D) < 3$ | 0.5 |
| $3 \leq d (D) < 3.6$ | |
| $3.6 \leq d (D) < 5$ | |
| $5 \leq d (D) \leq 10$ | 0.25 |

Nota. Tomado de *METALLIC MATERIALS — WIRE — SIMPLE TORSION TEST*. (p. 3), por Indian Standard (IS), 2012, Bureau of Indian Standards.

2.3.4. Normativas para ensayos de impacto Charpy e Izod

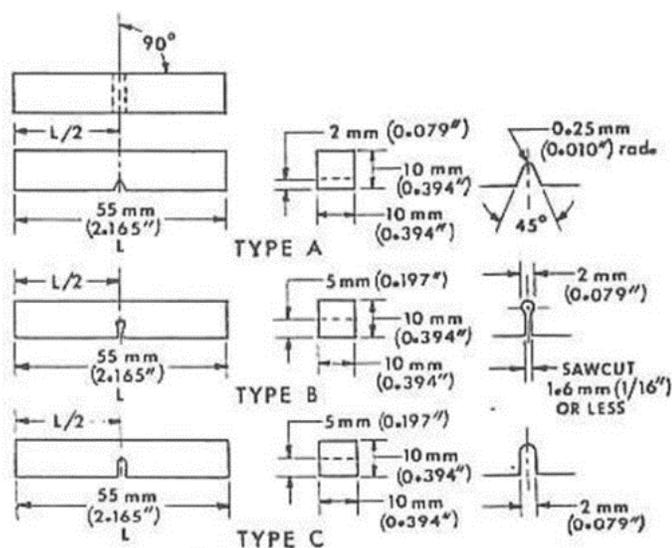
Para este tipo de ensayos se utilizan las normativas ASTM-E23 tanto para ensayos Charpy e Izod, mientras que en los laboratorios Virtual Labs se usan las normas IS-1499 para ensayos Charpy y para el ensayo Izod la norma IS-1598.

2.3.4.1. ASTM-E23.

- La máquina para el ensayo debe estar nivelada, y así evitar un error de la lectura. (American Society for Testing and Materials (ASTM), 1998)
- La posición de la muestra en la maquina dependerá del ensayo a utilizar, para tipo Charpy será en sentido horizontal, y tipo Izod en sentido vertical. (American Society for Testing and Materials (ASTM), 1998)
- Existen tres especímenes que se explican en la figura 19.

Figura 19

Tipos de especímenes de probeta para ensayo de impacto tipo Charpy



Nota. Tomado de *Standard Test Methods for Notched Bar Impact Testing of Metallic Materials*, (p. 139), por American Society for Testing and Materials (ASTM), 1998, ASTM.

- Para mecanizar estas probetas existen variaciones permisibles y se presentan en la tabla 7.

Tabla 7

Tolerancias para muestras de impacto Charpy tipo A, B y C

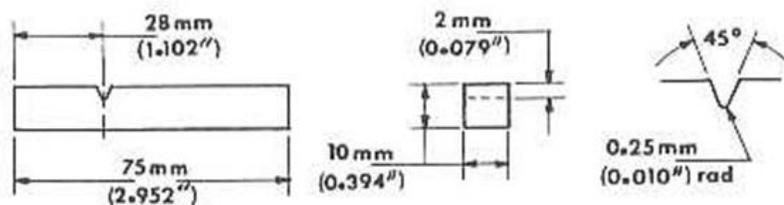
| | |
|--|--|
| Longitud de la muesca al borde | 90 ± 2° |
| Los lados adyacentes estarán en | 90° ± 10 min. |
| Dimensiones de la sección transversal | ±0.075 mm (±0.003 in.) |
| Longitud de la muestra (L) | +0, -2.5 mm (+0, -0.100 in.) |
| Centrado de la muesca | ±1 mm (±0.039 in) |
| Angulo de la muesca | ±1° |
| Radio de la muesca | ±0.025 mm (±0.001 in) |
| Profundidad de la muesca tipo A | ±0.025 mm (±0.001 in) |
| Profundidad de la muesca tipo B y C | ±0.075 mm (±0.003 in) |
| Requerimientos de terminado | 2 µm (63 µin) en la superficie de la muesca y en su cara opuesta, en las otras dos caras 4 µm (125 µin). |

Nota. Tomado de *Standard Test Methods for Notched Bar Impact Testing of Metallic Materials*, (p. 139), por American Society for Testing and Materials (ASTM), 1998, ASTM.

- Mientras tanto para la probeta del ensayo de impacto tipo Izod se presentan las características geométricas en la figura 20.

Figura 20

Probeta para ensayo de impacto tipo Izod



Nota. Tomado de *Standard Test Methods for Notched Bar Impact Testing of Metallic Materials*, (p. 140), por American Society for Testing and Materials (ASTM), 1998, ASTM.

- Las variaciones permisibles para el mecanizado se presentan en la tabla 8.

Tabla 8

Tolerancias para muestras de impacto tipo Izod

| | |
|---------------------------------------|----------------------------------|
| Longitud de la muesca al borde | $90 \pm 2^\circ$ |
| Longitud de la muestra (L) | +0, -2.5 mm (+0, -0.100 in.) |
| Centrado de la muesca | ± 1 mm (± 0.039 in) |
| Angulo de la muesca | $\pm 1^\circ$ |
| Radio de la muesca | ± 0.025 mm (± 0.001 in) |
| Profundidad de la muesca | ± 0.025 mm (± 0.001 in) |
| Requerimientos de terminado | 2 μ m (63 μ in) |

Nota. Tomado de *Standard Test Methods for Notched Bar Impact Testing of Metallic Materials*, (p. 140), por American Society for Testing and Materials (ASTM), 1998, ASTM.

- Se recomienda realizar el ensayo a una temperatura de 20 ± 5 °C.

2.3.4.2. IS-1499.

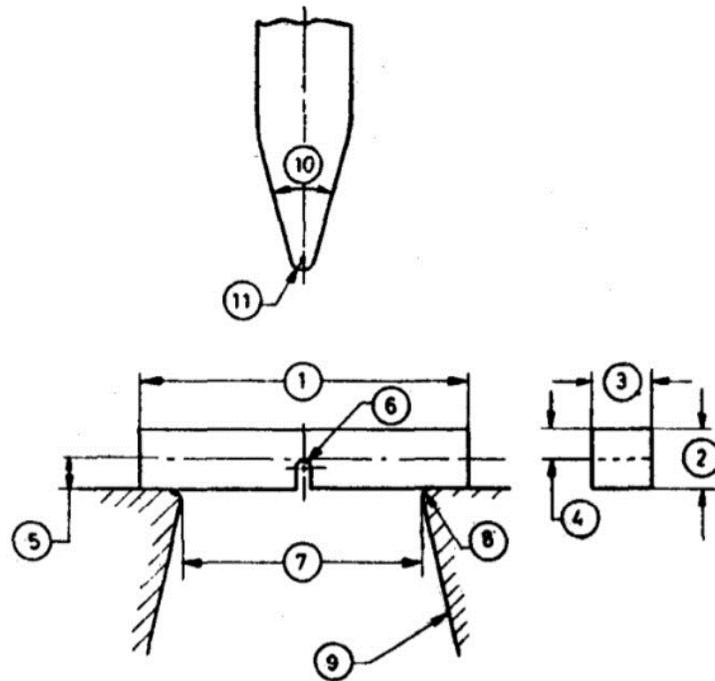
- La prueba consiste en medir la energía absorbida por la probeta.
- En la tabla 9 se indican los números de referencia para la ilustración del ensayo Charpy presentado en la figura 21. (Indian Standard (IS), 1978)

Tabla 9

Referencias ensayo Charpy

| Numero de referencia | Designación |
|-----------------------------|---|
| 1 | Longitud de la probeta |
| 2 | Espesor de la pieza de prueba |
| 3 | Ancho de la probeta |
| 4 | Espesor de la pieza de prueba menos la profundidad de la muesca |
| 5 | Profundidad de la muesca |
| 6 | Radio de curvatura de la base de muesca |
| 7 | Distancia entre soportes |
| 8 | Radio de curvatura de los soportes |
| 9 | Cono de soportes |
| 10 | Ángulo en la punta del martillo |
| 11 | Radio de curvatura de la punta del martillo |

Nota. Tomado de *Method for Charpy Impact Test (U-Notch) for Metals IS-1499*, (p. 4), Indian Standard (IS)., 1978, Bureau of Indian Standard.

Figura 21*Ensayo de impacto tipo Charpy*

Nota. Tomado de *Method for Charpy Impact Test (U-Notch) for Metals IS-1499*, (p. 5), Indian Standard (IS), 1978, Bureau of Indian Standard.

- La velocidad del martillo al momento del impacto será de 4.5 a 7 m/s.
- La probeta se maquinará por completo y tendrá una longitud de 55 mm, y en una cara al centro de la longitud tendrá una muesca en U de profundidad especificada y con un radio de 1 mm. Las tolerancias se especifican en la tabla 10. (Indian Standard (IS), 1978)

Tabla 10

Dimensiones y tolerancias para materiales ferrosos y no ferrosos en ensayos Charpy

| ÍTEM | Dimensión Nominal (mm) | Tolerancia de mecanizado | |
|---|-----------------------------------|----------------------------------|-------------------------------------|
| | | <i>Probeta Ferrosas (mm)</i> | <i>Probeta no ferrosas (mm)</i> |
| Longitud | 55 | ± 0.6 | ± 0.05 |
| Ancho de pieza de prueba estándar | 10 | ± 0.11 | ± 0.05 |
| Ancho de prueba de piezas subsidiarias | 7.5 5 | ± 0.11 ± 0.05 | ± 0.05 ± 0.025 |
| Espesor | 10 | ± 0.11 | ± 0.05 |
| Radio de raíz de muesca | 1 | ± 0.07 | ± 0.07 |
| Profundidad por debajo de la muesca | 8 (2 mm de muesca) | | |
| | 7 (3 mm de muesca) | ± 0.09 | ± 0.05 |
| | 5 (5 mm de muesca) | | |
| Distancia del centro de la muesca desde los extremos | 27.5 | ± 0.42 | ± 0.25 |
| Ángulo entre el plano de simetría de la muesca y el eje longitudinal | 90° | ± 2° | ± 2° |

Nota. Tomado de *Method for Charpy Impact Test (U-Notch) for Metals IS-1499*, (p. 6), Indian Standard (IS)., 1978, Bureau of Indian Standard.

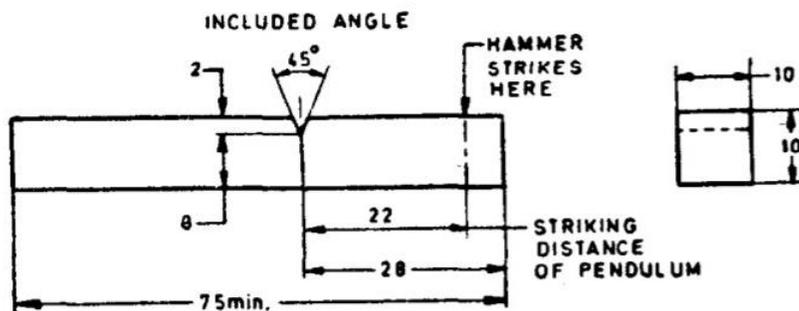
- La temperatura de la probeta no debe inferir en más de $\pm 2^{\circ}\text{C}$.
- Se deben realizar tres pruebas, cuyos valores obtenidos serán promediados.
- Si durante la prueba la pieza no es completamente rota, se tomará el valor de impacto como indefinido. (Indian Standard (IS), 1978)

2.3.4.3. IS-1598.

- La prueba consiste en medir la energía absorbida por la probeta al romperse por un martillo oscilante, en este caso con una probeta en vertical.
- El golpe se da en una posición fija de la cara que tiene la muesca. Este golpe se determinará como energía absorbida.
- Para pieza de pruebas cuadrada tanto para una de muesca simple, muesca triple y muesca doble se ajustarán a las siguientes dimensiones especificadas en la figura 22, 23 y 24 respectivamente. (Indian Standard, 1977)

Figura 22

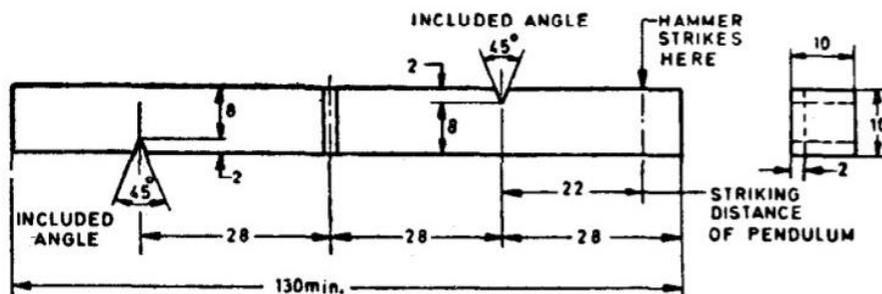
Pieza de prueba cuadrada de muesca simple



Nota. Todas las dimensiones están en milímetros. Tomado de *Method for Izod Impact Test of Metals IS-1598*, (p. 4), por Indian Standard, 1977, Indian Standards Institution.

Figura 23

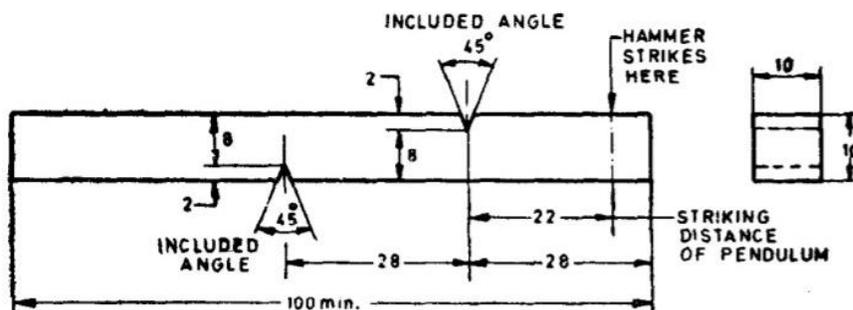
Pieza de prueba cuadrada de muesca triple



Nota. Todas las dimensiones están en milímetros. Tomado de *Method for Izod Impact Test of Metals IS-1598*, (p. 4), por Indian Standard, 1977, Indian Standards Institution.

Figura 24

Pieza de prueba cuadrada de muesca doble

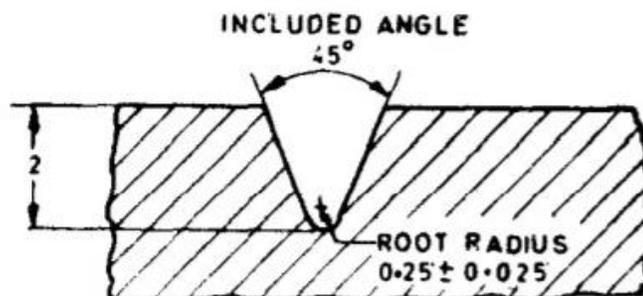


Nota. Todas las dimensiones están en milímetros. Tomado de *Method for Izod Impact Test of Metals IS-1598*, (p. 5), por Indian Standard, 1977, Indian Standards Institution.

- La superficie de la muesca debe ser liza y libre de ranuras. (Indian Standard, 1977)
- La muesca deberá tener forma de V con un ángulo de 45°. Debe tener 2 mm de profundidad y un radio de 0.25 mm como se observa en la figura 25. (Indian Standard, 1977)

Figura 25

Vista a detalle de la muesca de pieza de prueba cuadrada



Nota. Todas las dimensiones están en milímetros. Tomado de *Method for Izod Impact Test of Metals IS-1598*, (p. 5), por Indian Standard, 1977, Indian Standards Institution.

- Las tolerancias de maquinado de la probeta se especifican en la tabla 11.

Tabla 11

Dimensiones y tolerancias para materiales ferrosos y no ferrosos en ensayos Izod

| ÍTEM | Dimensión Nominal (mm) | Tolerancia de mecanizado | |
|-------------------------------|------------------------------|-----------------------------------|--|
| | | Piezas de prueba Ferrosas (mm) | Pieza de prueba no ferrosas (mm) |
| <i>Longitud muesca simple</i> | 75 | - | - |
| <i>Longitud muesca doble</i> | 100 | - | - |
| <i>Longitud muesca triple</i> | 130 | - | - |
| <i>Espesor</i> | 10 | ± 0.11 | ± 0.05 |
| <i>Ancho</i> | 10 | ± 0.11 | ± 0.05 |
| <i>Angulo de la muesca</i> | 45° | ± 2° | ± 1° |

| ÍTEM | Dimensión Nominal (mm) | Tolerancia de mecanizado | |
|---|---------------------------------------|---|---|
| | | Piezas de prueba Ferrosas (mm) | Pieza de prueba no ferrosas (mm) |
| Radio de raíz de la muesca | 0.25 mm | ± 0.025 | ± 0.025 |
| Profundidad por debajo de la muesca | 8 | ± 0.045 | ± 0.025 |
| Distancia de la muesca desde el final de la pieza y desde la muesca adyacente | 28 | ± 0.42 | ± 0.42 |
| Angulo entre el plano de simetría de la muesca y el eje longitudinal de la pieza de prueba | 90° | ± 2° | ± 2° |

Nota. Tomado de *Method for Izod Impact Test of Metals IS-1598*, (p. 7), por Indian Standard, 1977, Indian Standards Institution.

Capítulo 3

3. Metodología

3.1. Laboratorios Virtuales

3.1.1. *Ensayo de torsión*

El procedimiento para realizar este ensayo es el siguiente:

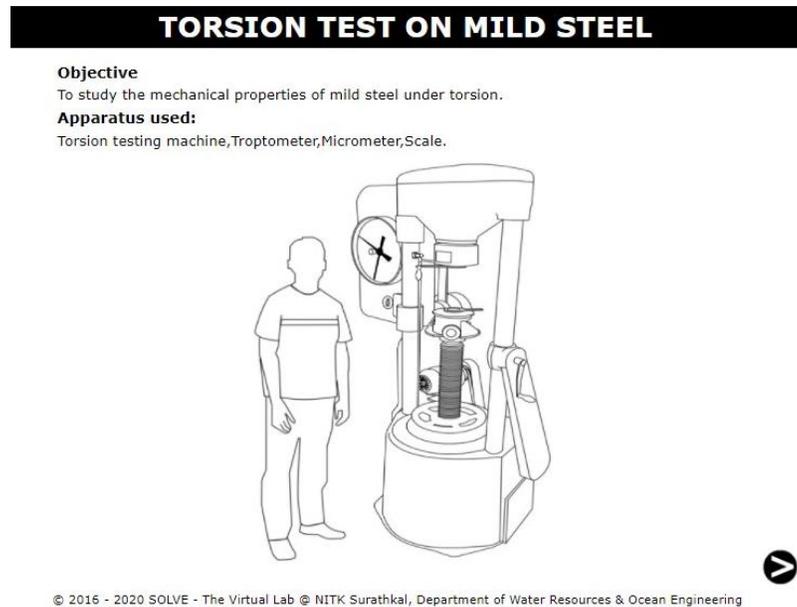
- Colocar la probeta en la máquina de ensayo asegurándose que este recta.
- Para verificar el número de vueltas, se debe trazar una línea en la superficie.
- Después se procede a girar la probeta a una velocidad constante hasta su ruptura. La velocidad del ensayo no debe sobrepasar la especificada en la tabla 6.
- En esta prueba se debe evitar el aumento de temperatura, ya que es una prueba isotérmica.

Mientras tanto para el procedimiento en el laboratorio virtual “Virtual Labs” se deberá seguir los siguientes pasos:

- En primer lugar, será necesario ingresar a la interfaz del laboratorio virtual obteniendo la pantalla de desarrollo que se puede observar en la figura 26.

Figura 26

Interfaz laboratorio virtual de torsión.



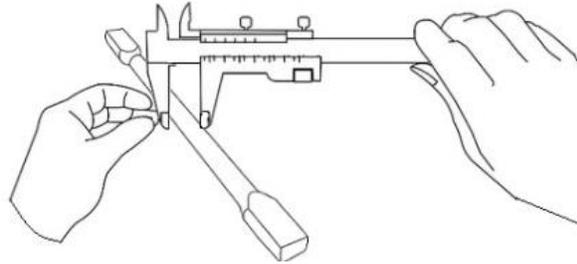
Nota. Adaptado de *Torsion Test on Mild Steel* [Fotografía], de Virtual Labs, 2021, (<https://sm-nitk.vlabs.ac.in/exp/torsion-test-mild-steel/simulation.html>). CC BY-NC-SA

4.0

- Para empezar con el ensayo será necesario tomar las dimensiones geométricas de la probeta, midiendo primero el diámetro que sufrirá la torcedura, siendo en este caso un diámetro de 11.05 mm como se puede observar en la figura 27.

Figura 27

Procedimiento de medida del diámetro de la probeta



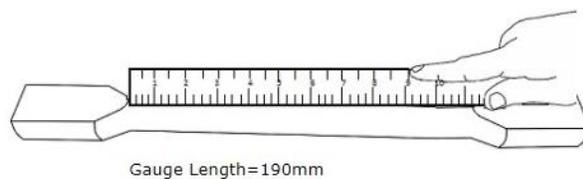
Nota. Adaptado de *Torsion Test on Mild Steel* [Fotografía], de Virtual Labs, 2021, (<https://sm-nitk.vlabs.ac.in/exp/torsion-test-mild-steel/simulation.html>). CC BY-NC-SA

4.0

- La siguiente medida que se tomará en la probeta será la distancia que existe entre los puntos de sujeción, siendo esta distancia de 190 mm, como se puede observar en la figura 28.

Figura 28.

Procedimiento de medida de la distancia entre ejes



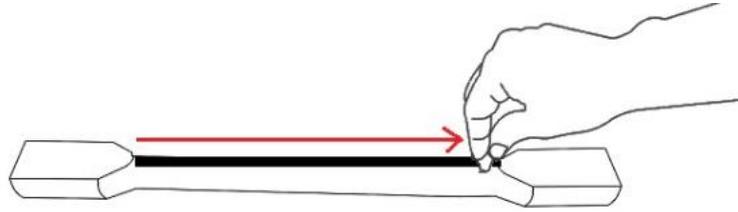
Nota. Adaptado de *Torsion Test on Mild Steel* [Fotografía], de Virtual Labs, 2021, (<https://sm-nitk.vlabs.ac.in/exp/torsion-test-mild-steel/simulation.html>). CC BY-NC-SA

4.0

- Luego se marca con una línea recta en toda la longitud de la probeta para así poder observar la torcedura de la misma, como se observa en la figura 29

Figura 29

Trazado de línea recta



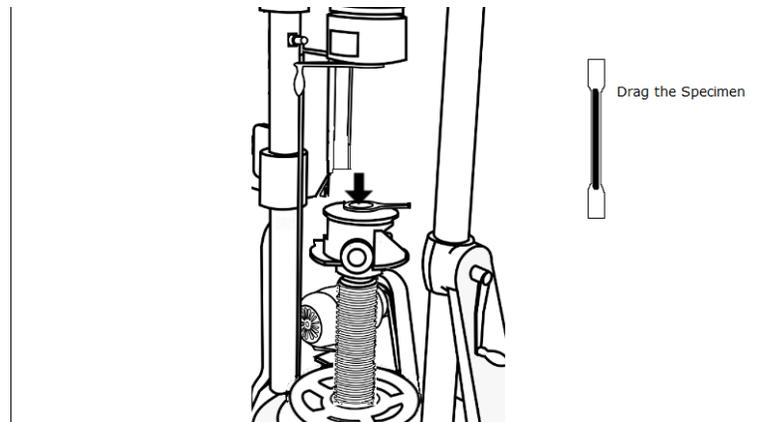
Nota. Adaptado de *Torsion Test on Mild Steel* [Fotografía], de Virtual Labs, 2021, (<https://sm-nitk.vlabs.ac.in/exp/torsion-test-mild-steel/simulation.html>). CC BY-NC-SA

4.0

- Luego se procede a colocar la probeta en la máquina de torsión, para esto será necesario arrastrar la probeta al punto indicado con la flecha, tal como se observar en la figura 30.

Figura 30

Posicionamiento de la probeta



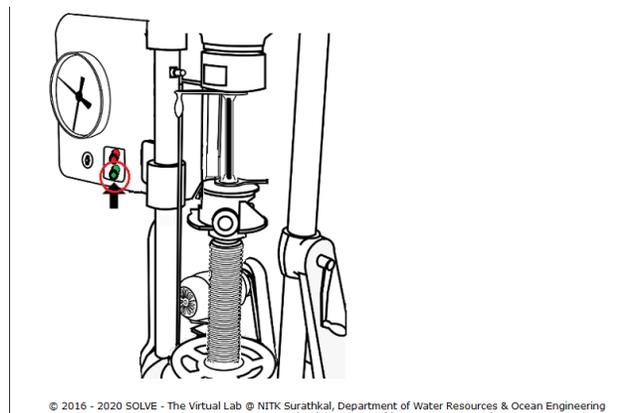
Nota. Adaptado de *Torsion Test on Mild Steel* [Fotografía], de Virtual Labs, 2021, (<https://sm-nitk.vlabs.ac.in/exp/torsion-test-mild-steel/simulation.html>). CC BY-NC-SA

4.0

- Una vez asegurada la probeta, se procede a encender la máquina y ésta empezara a girar provocando la torcedura de la probeta, como se puede observar en la figura 31.

Figura 31

Encendido de la máquina de torsión

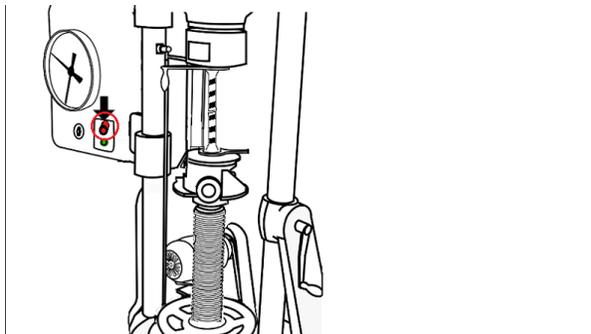


Nota. Adaptado de *Torsion Test on Mild Steel* [Fotografía], de Virtual Labs, 2021, (<https://sm-nitk.vlabs.ac.in/exp/torsion-test-mild-steel/simulation.html>). CC BY-NC-SA 4.0

- Una vez que se alcance el punto de ruptura se apagara la máquina como se observa en la figura 32.

Figura 32

Apagado de la máquina de torsión



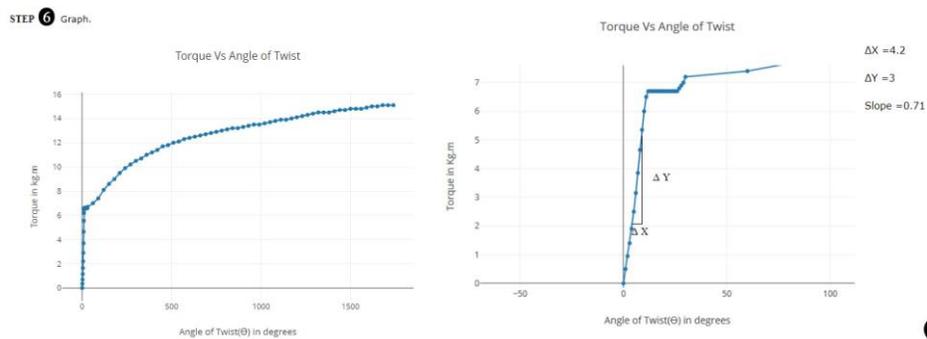
Nota. Adaptado de *Torsion Test on Mild Steel* [Fotografía], de Virtual Labs, 2021, (<https://sm-nitk.vlabs.ac.in/exp/torsion-test-mild-steel/simulation.html>). CC BY-NC-SA

4.0

- Continuando se obtiene la gráfica del torque vs ángulo de giro como se observa en la figura 33, después será necesario analizarla para realizar los cálculos.

Figura 33

Grafica torque vs ángulo de giro



Nota. Adaptado de *Torsion Test on Mild Steel* [Fotografía], de Virtual Labs, 2021, (<https://sm-nitk.vlabs.ac.in/exp/torsion-test-mild-steel/simulation.html>). CC BY-NC-SA

4.0

- Finalmente se calcularán los valores obtenidos y se tendrán los resultados del ensayo, como se observa en la figura 34.

Figura 34

Resultados ensayo de torsión

STEP 7 Calculations.

| | |
|---|----------------------|
| Initial Diameter(mm) | 11.29 |
| Gauge Length(mm) | 190 |
| Polar Moment of Inertia(mm ⁴) | <input type="text"/> |
| Yield Stress(N/mm ²) | <input type="text"/> |
| Modulus of Rupture(N/mm ²) | <input type="text"/> |
| Modulus of Rigidity(GPa) | <input type="text"/> |

Nota. Adaptado de *Torsion Test on Mild Steel* [Fotografía], de Virtual Labs, 2021, (<https://sm-nitk.vlabs.ac.in/exp/torsion-test-mild-steel/simulation.html>). CC BY-NC-SA

4.0

3.1.2. Ensayo de impacto Charpy

El procedimiento para realizar este ensayo es el siguiente:

- La probeta debe apoyarse directamente sobre los soportes.
- La temperatura de la probeta en el momento de rotura no debe diferir de la temperatura especificada en la norma IS-1499 en más 2°C.

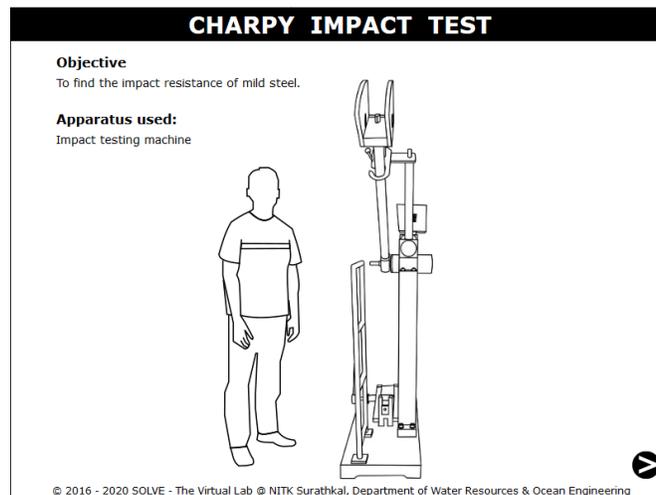
- Si durante el ensayo la probeta no se rompe por completo, el valor de impacto obtenido es indefinido. Se especificará este resultado.

Mientras tanto para el procedimiento en el laboratorio virtual “Virtual Labs” se deberá seguir los siguientes pasos:

- En primer lugar, será necesario ingresar a la interfaz del laboratorio virtual obteniendo la pantalla de desarrollo que se puede observar en la figura 35.

Figura 35

Interfaz laboratorio virtual de impacto Charpy

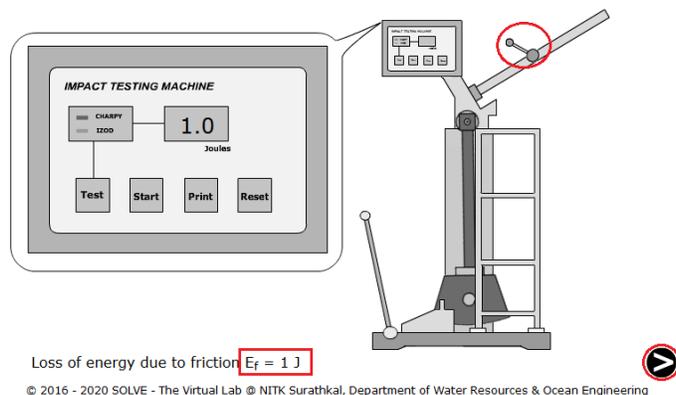


Nota. Adaptado de *Charpy Impact Test* [Fotografía], de Virtual Labs, 2021, (<https://sm-nitk.vlabs.ac.in/exp/charpy-impact-test/>). CC BY-NC-SA 4.0

- Continuando se da click en la palanca manual para verificar la pérdida por fricción, como se observa en la figura 36.

Figura 36

Comprobación de la pérdida por fricción



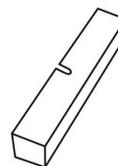
Nota. Adaptado de *Charpy Impact Test* [Fotografía], de Virtual Labs, 2021, (<https://sm-nitk.vlabs.ac.in/exp/charpy-impact-test/>). CC BY-NC-SA 4.0

- Las especificaciones de la máquina de prueba y la muestra estándar según la norma aparecerán en una ventana como se observa en la figura 37.

Figura 37

Detalles geométricos de la probeta

| Item | Dimensions |
|---|------------------|
| Distance between supports | 40mm |
| Radius of curvature of supports | 10mm |
| Taper of supports | 1±0.1 in 5 slope |
| Angle at tip of hammer | 30° |
| Radius of Curvature of the tip of the hammer | 2.0 |
| Length | 55 |
| Width | 10 |
| Thickness | 10 |
| Root radius of notch | 1.0 |
| Depth below notch | 8 |
| Distance of centre of notch from ends of test piece | 27.5 |
| Angle between plane of symmetry of notch and longitudinal axis of test piece. | 90° |



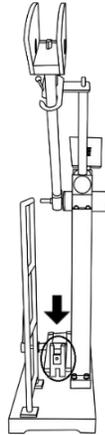
© 2016 - 2020 SOLVE - The Virtual Lab © NITK Surathkal, Department of Water Resources & Ocean Engineering

Nota. Adaptado de *Charpy Impact Test* [Fotografía], de Virtual Labs, 2021, (<https://sm-nitk.vlabs.ac.in/exp/charpy-impact-test/>). CC BY-NC-SA 4.0

- Ahora la muestra se coloca en la máquina de prueba, y se arrastra la muestra al punto indicado como se observa en la figura 38.

Figura 38

Posicionamiento de la muestra



TRIAL : 1

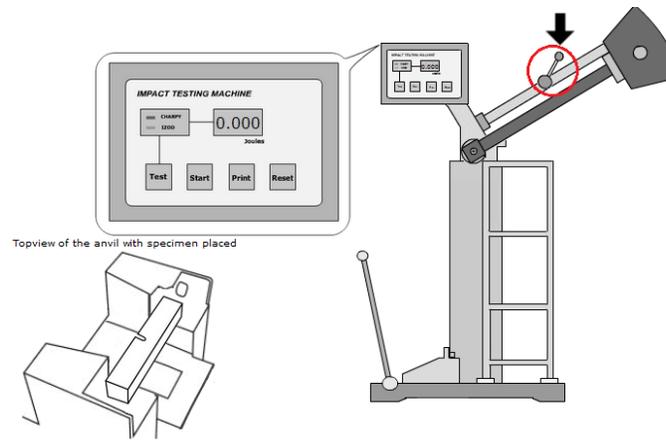
© 2016 - 2020 SOLVE - The Virtual Lab © NITK Surathkal, Department of Water Resources & Ocean Engineering

Nota. Adaptado de *Charpy Impact Test* [Fotografía], de Virtual Labs, 2021, (<https://sm-nitk.vlabs.ac.in/exp/charpy-impact-test/>). CC BY-NC-SA 4.0

- Luego se procederá a soltar el péndulo de impacto para así golpear la probeta y poder obtener la pérdida total de energía durante el ensayo como se observa en la figura 39.

Figura 39

Caída del péndulo para empezar con el impacto



© 2016 - 2020 SOLVE - The Virtual Lab © NITK Surathkal, Department of Water Resources & Ocean Engineering

Nota. Adaptado de *Charpy Impact Test* [Fotografía], de Virtual Labs, 2021, (<https://sm-nitk.vlabs.ac.in/exp/charpy-impact-test/>). CC BY-NC-SA 4.0

- Los resultados se presentan como se observa en la figura 40.

Figura 40

Resultados primer intento

Observations:

TRIAL : 1

Loss of energy due to friction $E_f = 1 \text{ J}$

Total loss of energy during transit of Hammer $E_t = 34 \text{ J}$

Energy for failure of specimen = $E_t - E_f = 33 \text{ J}$

Nota. Adaptado de *Charpy Impact Test* [Fotografía], de Virtual Labs, 2021, (<https://sm-nitk.vlabs.ac.in/exp/charpy-impact-test/>). CC BY-NC-SA 4.0

3.1.3. Ensayo de impacto Izod

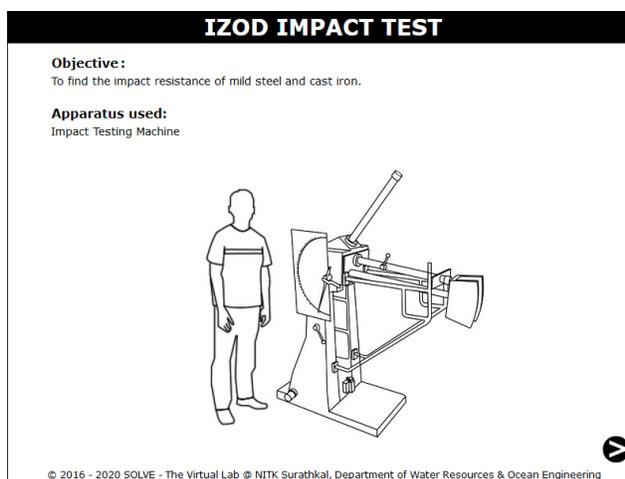
- La probeta debe apoyarse directamente sobre los soportes.
- La temperatura de la probeta en el momento de la rotura no debe diferir de la temperatura especificada en la norma IS-1598 en más de 2°C.
- Si, durante la prueba, la pieza no está completamente rota el valor obtenido es indefinido. Se especificará este resultado.

Mientras tanto para el procedimiento en el laboratorio virtual “Virtual Labs” se deberán seguir los siguientes pasos:

- En primer lugar, será necesario ingresar a la interfaz del laboratorio virtual obteniendo la pantalla de desarrollo que se puede observar en la figura 41.

Figura 41

Interfaz laboratorio virtual impacto Izod

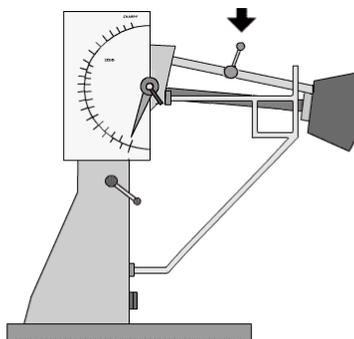


Nota. Adaptado de *Izod Impact Test* [Fotografía], de Virtual Labs, 2021, (<https://sm-nitk.vlabs.ac.in/exp/izod-impact-test/>). CC BY-NC-SA 4.0

- Continuando se da click en la palanca manual para probar la pérdida por fricción en la muestra, como se observa en la figura 42.

Figura 42

Comprobación de la perdida de fricción



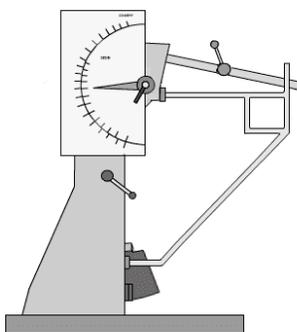
Loss of energy due to friction $E_f = \text{_____ J}$

Nota. Adaptado de *Izod Impact Test* [Fotografía], de Virtual Labs, 2021, (<https://sm-nitk.vlabs.ac.in/exp/izod-impact-test/>). CC BY-NC-SA 4.0

- Se el valor de pérdida por fricción, como se observa en la figura 43.

Figura 43

Obtención de la perdida de fricción



Loss of energy due to friction $E_f = 4 \text{ J}$

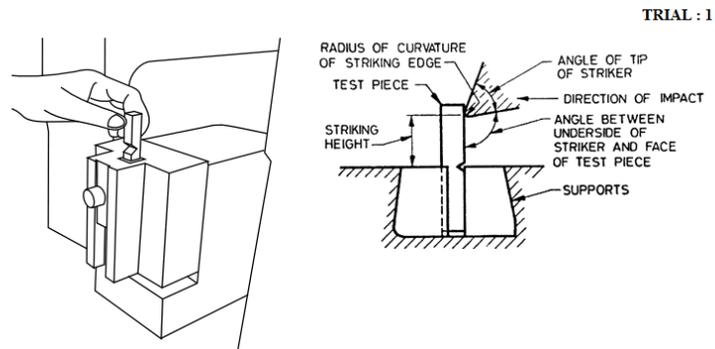


Nota. Adaptado de *Izod Impact Test* [Fotografía], de Virtual Labs, 2021, (<https://sm-nitk.vlabs.ac.in/exp/izod-impact-test/>). CC BY-NC-SA 4.0

- La muestra se coloca en la máquina, como se observa en la figura 44.

Figura 44

Posicionamiento de la probeta en la máquina

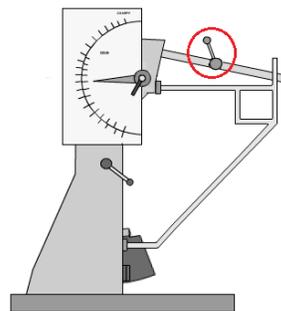


Nota. Adaptado de *Izod Impact Test* [Fotografía], de Virtual Labs, 2021, (<https://sm-nitk.vlabs.ac.in/exp/izod-impact-test/>). CC BY-NC-SA 4.0

- Se suelta el péndulo y golpea la muestra, como se observa en la figura 45.

Figura 45

Intento 1



Total loss of energy during transit of Hammer $E_t = 46 \text{ J}$

Energy for failure of specimen = $E_t - E_f = 44 \text{ J}$



© 2016 - 2020 SOLVE - The Virtual Lab @ NITK Surathkal, Department of Water Resources & Ocean Engineering

Nota. Adaptado de *Izod Impact Test* [Fotografía], de Virtual Labs, 2021, (<https://sm-nitk.vlabs.ac.in/exp/izod-impact-test/>). CC BY-NC-SA 4.0

- Los resultados se presentan como se observa en la figura 46.

Figura 46

Presentación de resultados

Observations:

TRIAL : 1

Initial energy of the hammer = 164 Joules

Average loss of energy due to friction, $E_f = 2$ J

Total Loss of energy E_t during transit of hammer = 46 J

Energy for failure of specimen = KU / Impact Value = $E_t - E_f = 44$ J

Nota. Adaptado de *Izod Impact Test* [Fotografía], de Virtual Labs, 2021, (<https://sm-nitk.vlabs.ac.in/exp/izod-impact-test/>). CC BY-NC-SA 4.0

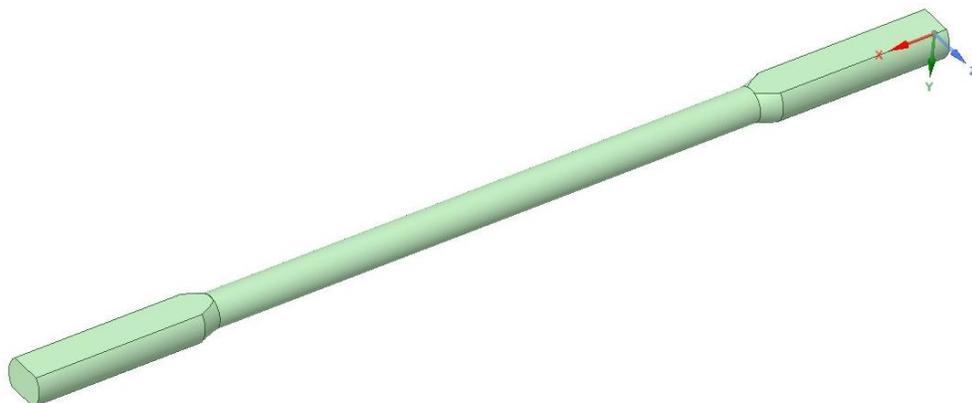
3.2. Software CAD

3.2.1. Ensayo de torsión

- En primer lugar, será necesario diseñar la probeta en el espacio SpaceClaim, donde se utilizarán las dimensiones mostradas en el laboratorio virtual, así el diámetro de 11.05 mm y una distancia entre puntos de sujeción de 190 mm, como se observa en la figura 47.

Figura 47

Probeta diseñada en SpaceClaim



Nota. En la figura se observa la probeta a utilizar en la simulación en el software CAD.

- Una vez que se generó la probeta será necesario especificar las propiedades del material a utilizar, en este caso el material a utilizar es el acero dulce, y sus propiedades mecánicas se presentan en la tabla 12.

Tabla 12

Propiedades acero dulce según el laboratorio virtual

| | Densidad (kg/m^3) | Limite Elástico (MPa) | Módulo de Young (GPa) | Resistencia a la tracción (MPa) | Radio de Poisson |
|--------------------|---------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|--|-------------------------|
| Acero Dulce | 7850 | 229.7 | 52.15 | 400-550 | 0.303 |

Nota. Los datos presentados son los mismos obtenidos a través del laboratorio virtual.

- Estas propiedades del material serán ingresadas en el espacio que se puede observar en la figura 48.

Figura 48

Espacio para edición de materiales

| 1 | A | B | C | D | E |
|------------------------------|----------------------------------|--------|---|---|---|
| Contents of Engineering Data | | | | | |
| 2 | Material | Source | | | Description |
| 3 | ACERO DULCE | Ger | | | Fatigue Data at zero mean stress comes from 1998 ASME BPV Code, Section 8, Div 2, Table 5-110.1 |
| 4 | MARTILLO | Ger | | | Fatigue Data at zero mean stress comes from 1998 ASME BPV Code, Section 8, Div 2, Table 5-110.1 |
| 5 | Stainless Steel | Ger | | | Fatigue Data at zero mean stress comes from 1998 ASME BPV Code, Section 8, Div 2, Table 5-110.1 |
| 6 | Structural Steel | Ger | | | Fatigue Data at zero mean stress comes from 1998 ASME BPV Code, Section 8, Div 2, Table 5-110.1 |
| * | Click here to add a new material | | | | |

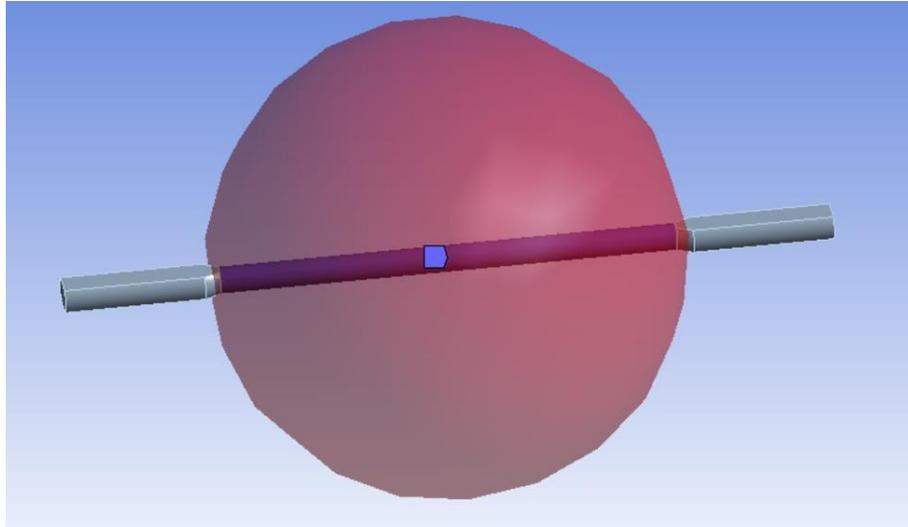
| 1 | A | B | C | D | E |
|--|---|--------------------------------|------------------------------------|---|---|
| Properties of Outline Row 3: ACERO DULCE | | | | | |
| Property | | Value | Unit | | |
| 2 | Material Field Variables | Table | | | |
| 3 | Density | 7850 | kg m ⁻³ | | |
| 4 | Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion | | | | |
| 6 | Isotropic Elastotropy | | | | |
| 7 | Derive from | Young's Modulus and Poisson... | | | |
| 8 | Young's Modulus | 200 | GPa | | |
| 9 | Poisson's Ratio | 0,303 | | | |
| 10 | Bulk Modulus | 1,692E+11 | Pa | | |
| 11 | Shear Modulus | 7,6746E+10 | Pa | | |
| 12 | Strain-Life Parameters | | | | |
| 20 | S-N Curve | Tabular | | | |
| 24 | Tensile Yield Strength | 250 | MPa | | |
| 25 | Compressive Yield Strength | 250 | MPa | | |
| 26 | Tensile Ultimate Strength | 400 | MPa | | |
| 27 | Compressive Ultimate Strength | 0 | Pa | | |
| 28 | Isotropic Thermal Conductivity | 60,5 | W m ⁻¹ C ⁻¹ | | |
| 29 | Specific Heat Constant Pressure, C _p | 434 | J kg ⁻¹ C ⁻¹ | | |
| 30 | Isotropic Relative Permeability | 10000 | | | |
| 31 | Isotropic Resistivity | 1,7E-07 | ohm m | | |

Nota. En esta ventana se ingresarán de manera manual cada una de las propiedades del material.

- Una vez que se ha seleccionado el material, se podrá continuar con el proceso de simulación, donde en primera instancia se generará un mallado. Este mallado se realizará de dos tipos, siendo el primero de tipo “esfera de influencia” como se observa en la figura 49, y un mallado de cuerpo como se observa en la figura 50. Los tamaños del mallado serán elegidos a conveniencia dependiendo de las condiciones del ordenador y del tiempo que se disponga para la simulación.

Figura 49

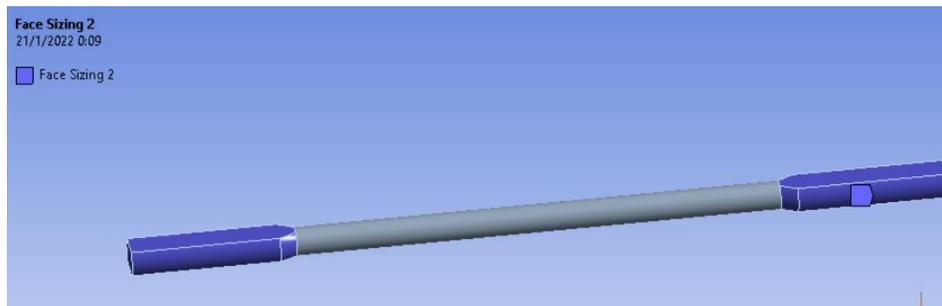
Mallado mediante el método “esfera de influencia”



Nota. En la figura se puede observar la malla para la probeta del ensayo de torsión.

Figura 50

Mallado

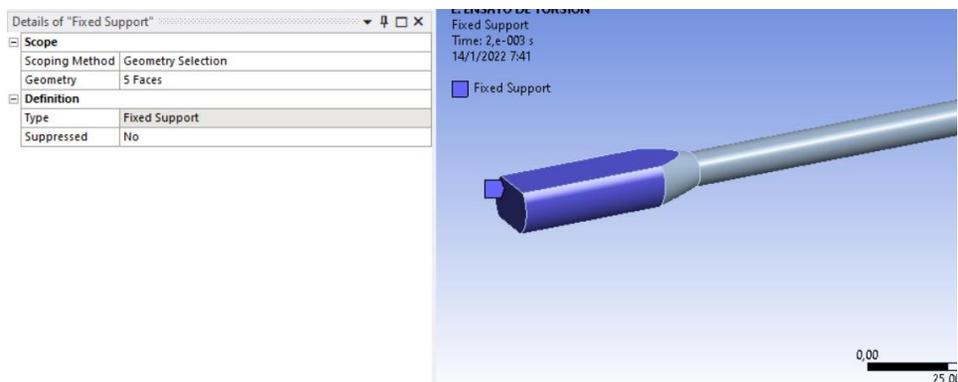


Nota. En la figura se puede observar la malla para la probeta del ensayo de torsión.

- Por último, se deberán asignar los parámetros de simulación, como lo es el soporte fijo de un lado de la probeta como se observa en la figura 51 y el punto donde se aplica el giro en el otro lado del soporte de la probeta como se observa en la figura 52.

Figura 51

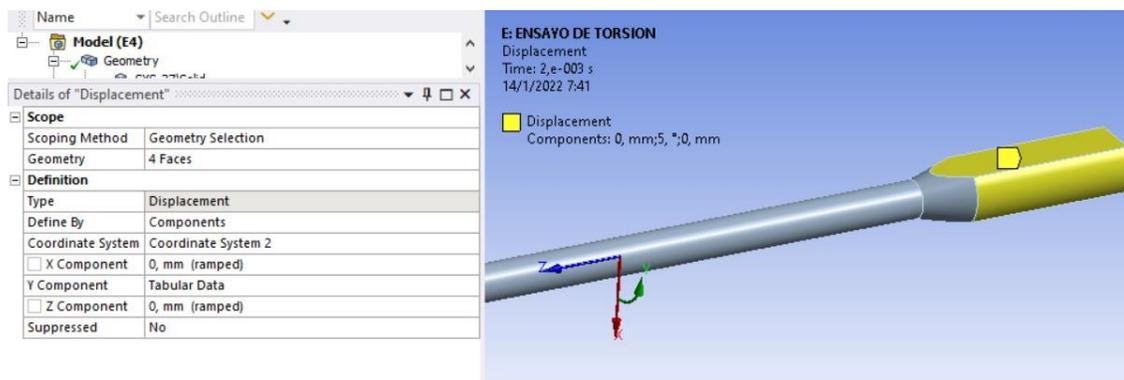
Soporte fijo



Nota. En la figura se puede observar el soporte fijo de la probeta.

Figura 52

Desplazamiento

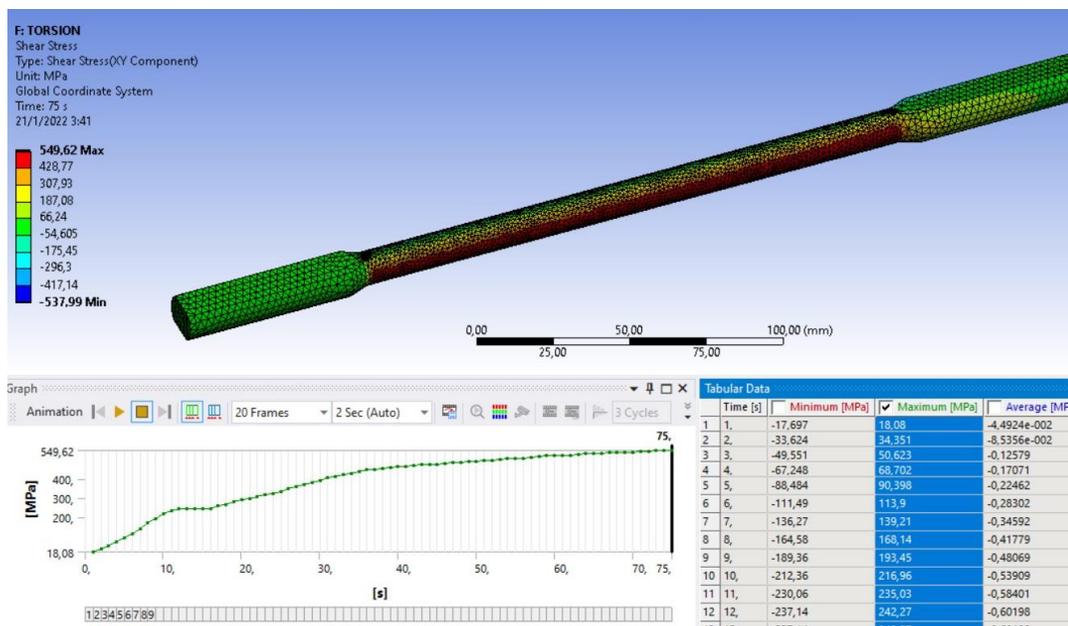


Nota. En la figura se puede observar el lado de la probeta al cual se le aplicará la deformación, siendo en este caso una deformación máxima de 1770°.

- Luego se procede a resolver el sistema y a analizar los resultados brindados por el software como se puede observar en la figura 53.

Figura 53

Resultados ensayo de torsión



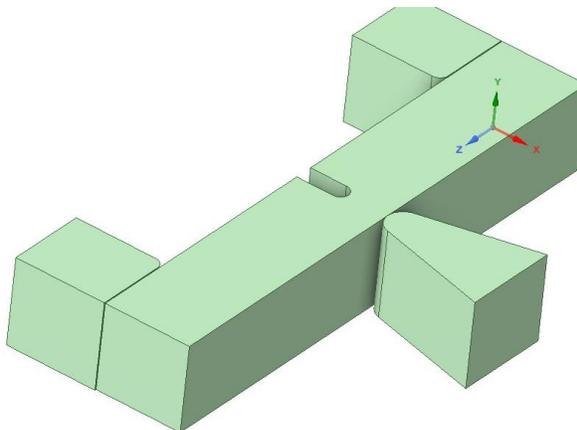
Nota. En la figura se puede observar los resultados una vez realizada la simulación.

3.2.2. Ensayo de impacto Charpy

- Para este ensayo será necesario diseñar la probeta en el espacio SpaceClaim, donde se utilizarán las dimensiones brindadas en el laboratorio virtual que se pueden observar en las tablas 13, 14 y 15. La probeta diseñada se puede observar en la figura 54.

Figura 54

Probeta diseñada en SpaceClaim



Nota. En la figura se observa la probeta a utilizar en la simulación en el software CAD.

- A diferencia del ensayo de torsión, para este ensayo se utilizarán las propiedades normalizadas del acero dulce ASTM A36 mostradas en la tabla 13.

Tabla 13

Propiedades acero dulce

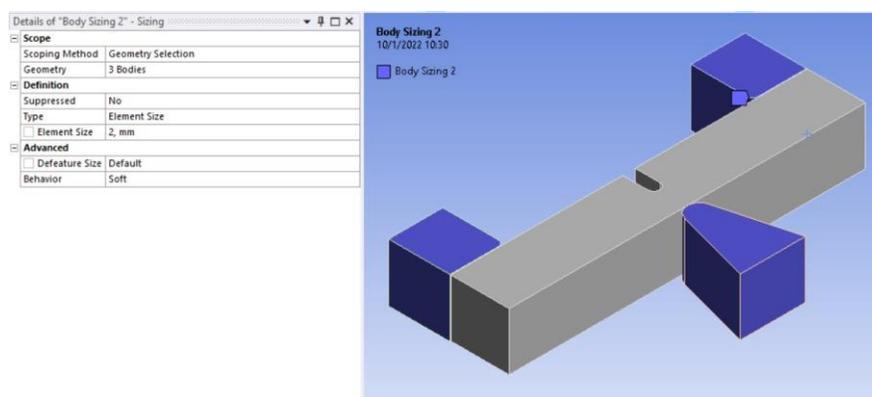
| <i>Densidad</i> (kg/m^3) | <i>Límite Elástico</i> (<i>MPa</i>) | <i>Módulo de Young</i> (<i>GPa</i>) | <i>Resistencia a la tracción</i> (<i>MPa</i>) | <i>Radio de Poisson</i> |
|---------------------------------|--|--|--|-------------------------|
| Acero Dulce 7850 | 250 | 200 | 400-550 | 0.303 |

Nota. Propiedades del acero dulce. Adaptado de *Mild Steel | Density, Strength, Hardness, Melting Point*, por Connor, N., 2021, (<https://material-properties.org/mild-steel-density-strength-hardness-melting-point/>), Material Properties.

- Una vez seleccionado el material se procederá a generar el mallado del sólido. Para este caso se generan dos tipos de mallados. Un mallado normal con un tamaño de cuerpo a elección como se observa en la figura 55 y un mallado de tipo de “esfera de influencia” en el punto de ruptura de la probeta como se observa en la figura 56.

Figura 55

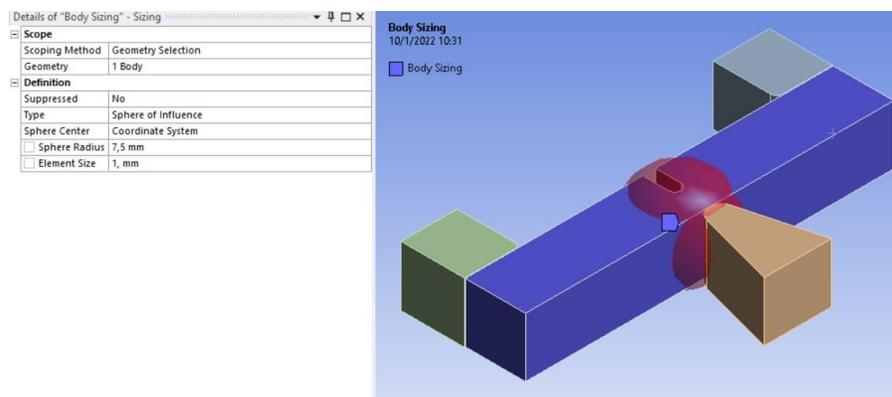
Mallado



Nota. En la figura se puede observar el mallado del modelo.

Figura 56

Mallado por el método esfera de influencia

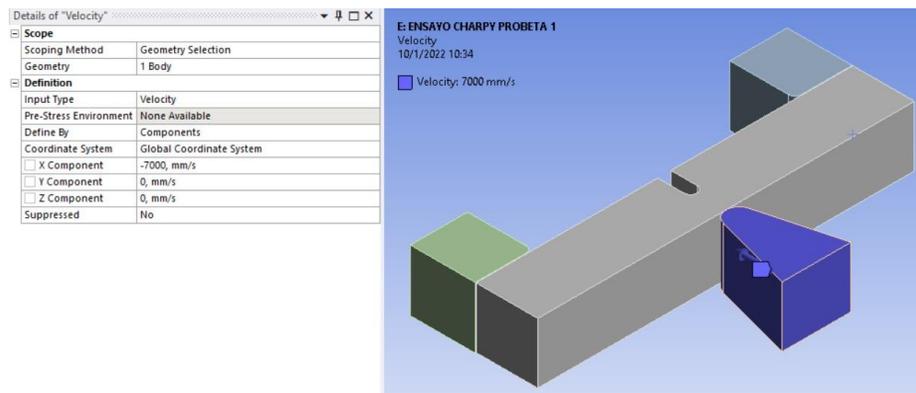


Nota. En la figura se observa el mallado mediante el tipo de “esfera de influencia”.

- Para este ensayo se debe asignar los parámetros de simulación, se incluirá la velocidad de golpeo del péndulo, que para este caso será de 7 m/s cómo se observa en la figura 57 y por último se fijará el soporte inferior del modelo CAD como se observa en la figura 58.

Figura 57

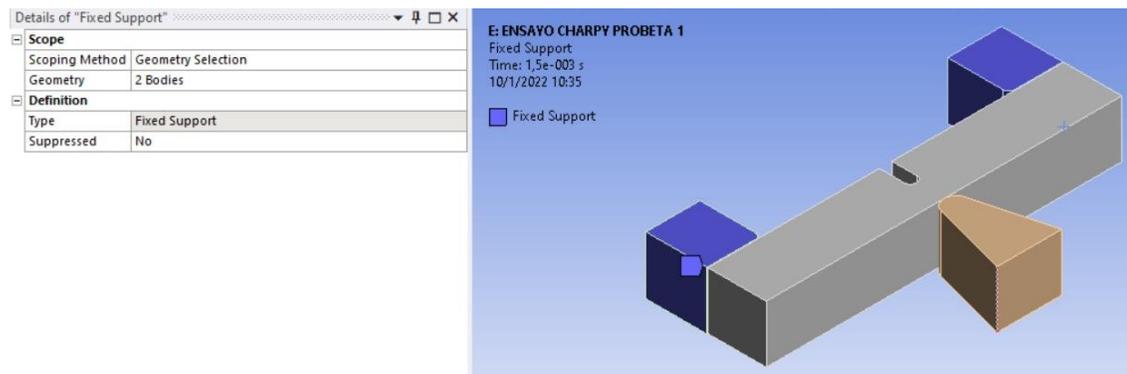
Velocidad del péndulo



Nota. En la figura se puede observar la velocidad aplicada al péndulo.

Figura 58

Soporte fijo

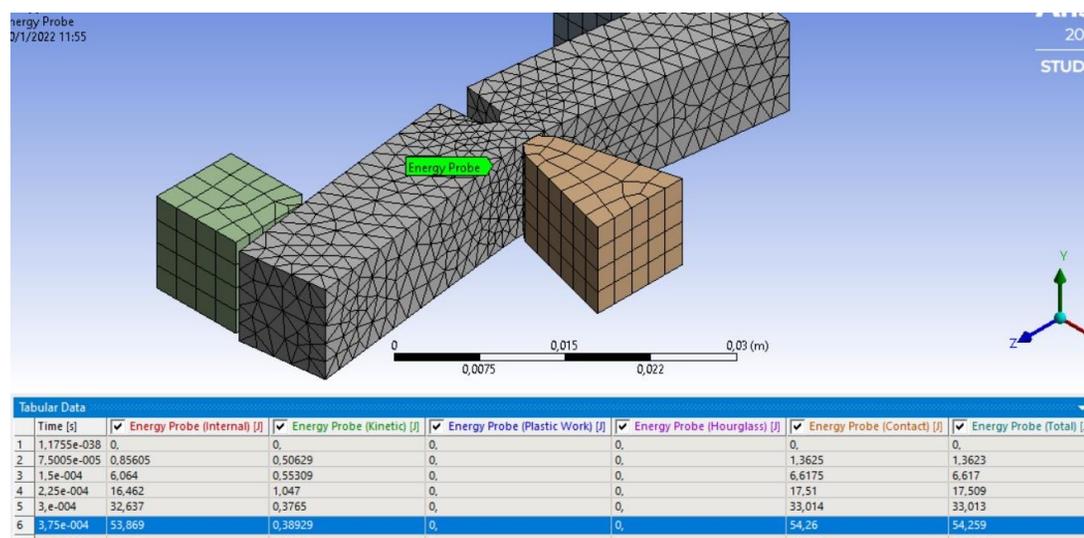


Nota. En la figura se puede observar la aplicación del soporte fijo.

- Luego se procede a resolver el sistema y a analizar los resultados brindados por el software. En este caso se podrá observar de manera directa la energía que necesita la probeta para la ruptura de la misma. Los resultados para el intento 2 y 3 se pueden observar en las figuras 59 y 60 respectivamente. Se omite el resultado del intento 1 ya que en el laboratorio virtual se entregó un resultado indefinido.

Figura 59

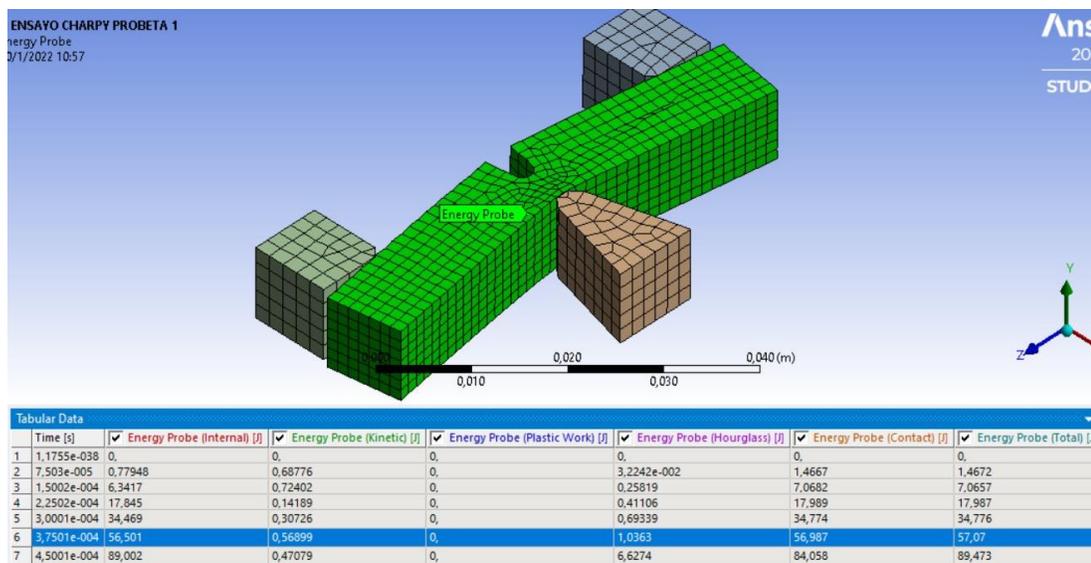
Energía para el fallo de la probeta-intento 2



Nota. En la figura se puede observar la energía necesaria para la ruptura de la probeta en el intento 2, siendo esta de 54,259 J.

Figura 60

Energía para el fallo de la probeta-intento 3



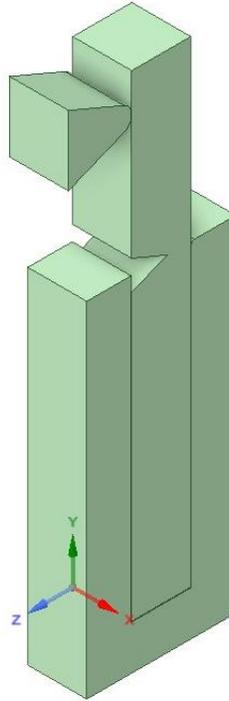
Nota. En la figura se puede observar la energía necesaria para la ruptura de la probeta en el intento 3, siendo esta de 57,07 J.

3.2.3. Ensayo de impacto Izod

- Para este ensayo en primer lugar, será necesario diseñar la probeta en el espacio SpaceClaim, donde se utilizarán las dimensiones brindadas en el laboratorio virtual para cada uno de los intentos. Estas dimensiones se pueden observar en las tablas 17, 18 y 19. La probeta diseñada se puede observar en la figura 61.

Figura 61

Probeta diseñada en SpaceClaim

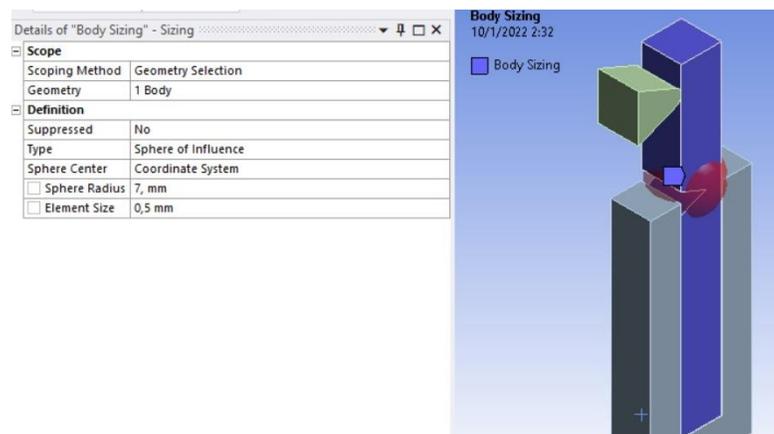


Nota. En la figura se observa la probeta a utilizar en la simulación en el software CAD.

- Al igual que en los anteriores ensayos se procederá a ingresar el material necesario para la simulación.
- Una vez seleccionado el material se procederá a generar el mallado del sólido. Para este caso se generan dos tipos de mallados. Un mallado normal con un tamaño de cuerpo a elección como se observa en la figura 62, y un mallado de tipo de “esfera de influencia” en el punto de ruptura de la probeta como se observa en la figura 63.

Figura 62*Mallado*

Nota. En la figura se puede observar el mallado del modelo.

Figura 63*Mallado por el método esfera de influencia*

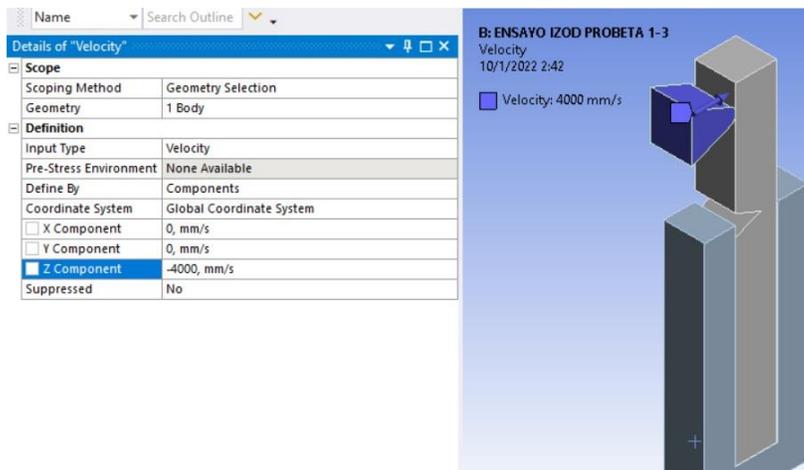
Nota. En la figura se puede observar el mallado mediante el tipo de "esfera de influencia".

- Para este ensayo se debe asignar los parámetros de simulación, se incluirá la velocidad de golpeo del péndulo, que para este caso será de

4 m/s (de acuerdo a la norma) cómo se observa en la figura 64 y por último se fijará el soporte inferior del modelo CAD como se observa en la figura 65.

Figura 64

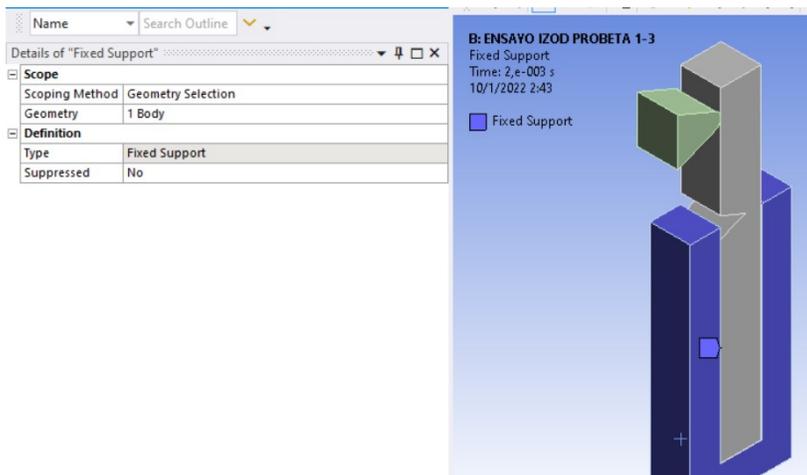
Velocidad del péndulo



Nota. En la figura se puede observar la velocidad aplicada al péndulo.

Figura 65

Soporte fijo

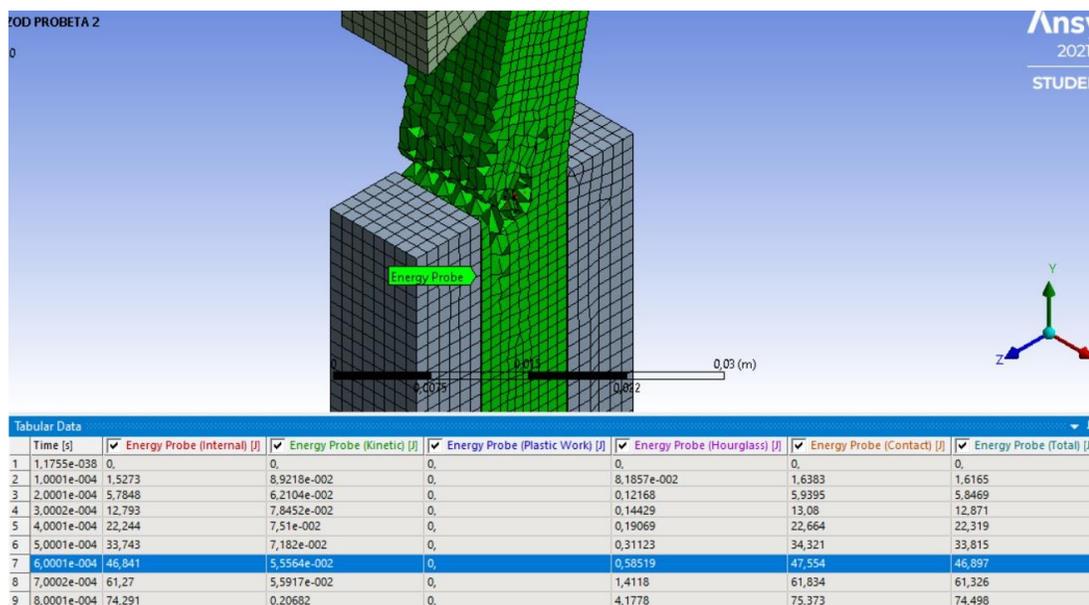


Nota. En la figura se puede observar la aplicación del soporte fijo.

- Luego se procede a resolver el sistema y a analizar los resultados brindados por el software. En este caso se podrá observar de manera directa la energía que necesita la probeta para la ruptura de la misma. Los resultados para el intento 2 y 3 se pueden observar en las figuras 66 y 67 respectivamente. Se omite el resultado del intento 1 ya que en el laboratorio virtual se verifico un resultado indefinido.

Figura 66

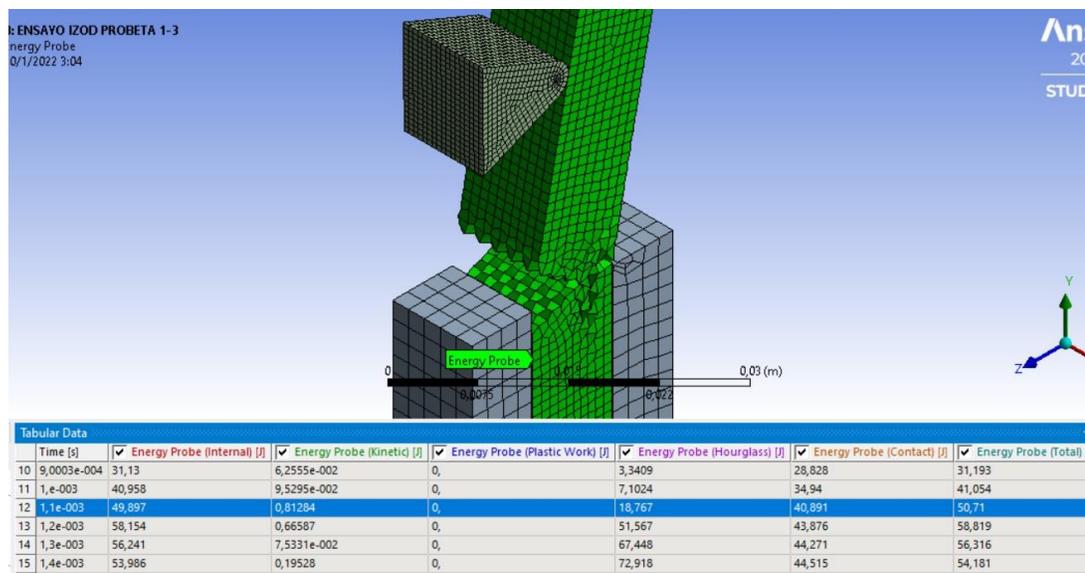
Energía para el fallo de la probeta-intento 2



Nota. En la figura se puede observar la energía necesaria para la ruptura de la probeta en el intento 2, siendo esta de 46,897 J.

Figura 67

Energía para el fallo de la probeta-intento 3



Nota. En la figura se puede observar la energía necesaria para la ruptura de la probeta en el intento 3, siendo esta de 50,71 J.

Capítulo 4

4. Resultados y discusión

En este capítulo se presentarán los resultados obtenidos que están enfocados a la obtención de las propiedades del acero dulce mediante ensayos de torsión e impacto Charpy e Izod mediante laboratorios virtuales y software CAD.

4.1. Laboratorios Virtuales

4.1.1. Resultados ensayo de torsión

Para obtener los resultados será necesario analizar la gráfica torque vs deformación del laboratorio virtual donde se obtuvieron los siguientes valores de presentados en la tabla 14.

Tabla 14

Grados de deformación en función del torque aplicado

| Grados (°) | Torque (kg · m) | Grados (°) | Torque (kg · m) |
|-------------------|------------------------|-------------------|------------------------|
| 0 | 0 | 660 | 12,6 |
| 1 | 0,5 | 690 | 12,7 |
| 2 | 0,95 | 720 | 12,8 |
| 3 | 1,4 | 750 | 12,9 |
| 4 | 1,9 | 780 | 13 |
| 5 | 2,5 | 810 | 13,1 |
| 6 | 3,15 | 840 | 13,2 |
| 7 | 3,85 | 870 | 13,2 |
| 8 | 4,65 | 900 | 13,3 |
| 9 | 5,35 | 930 | 13,4 |

| Grados (°) | Torque (<i>kg · m</i>) | Grados (°) | Torque (<i>kg · m</i>) |
|-------------------|-------------------------------|-------------------|-------------------------------|
| 10 | 6 | 960 | 13,5 |
| 11 | 6,5 | 990 | 13,6 |
| 12 | 6,7 | 1020 | 13,6 |
| 16 | 6,7 | 1050 | 13,7 |
| 19 | 6,7 | 1080 | 13,8 |
| 23 | 6,7 | 1110 | 13,9 |
| 27 | 6,8 | 1140 | 14 |
| 30 | 7,2 | 1170 | 14 |
| 60 | 7,4 | 1200 | 14,1 |
| 90 | 7,8 | 1230 | 14,2 |
| 120 | 8 | 1260 | 14,3 |
| 150 | 8,2 | 1290 | 14,4 |
| 180 | 8,5 | 1320 | 14,5 |
| 210 | 8,8 | 1350 | 14,5 |
| 240 | 8,9 | 1380 | 14,5 |
| 270 | 9,3 | 1410 | 14,6 |
| 300 | 9,6 | 1440 | 14,7 |
| 330 | 9,9 | 1470 | 14,7 |
| 360 | 10,2 | 1500 | 14,8 |
| 390 | 10,5 | 1530 | 14,9 |
| 420 | 10,8 | 1560 | 14,9 |
| 450 | 11,2 | 1590 | 14,9 |
| 480 | 11,4 | 1620 | 14,9 |
| 510 | 11,7 | 1650 | 15 |

| Grados (°) | Torque (kg · m) | Grados (°) | Torque (kg · m) |
|-------------------|------------------------|-------------------|------------------------|
| 540 | 11,9 | 1680 | 15,1 |
| 570 | 12,1 | 1710 | 15,2 |
| 600 | 12,4 | 1740 | 15,2 |
| 630 | 12,5 | 1770 | 15,2 |

Nota. Adaptado de *Torsion Test on Mild Steel*, de Virtual Labs, 2021, (<https://sm-nitk.vlabs.ac.in/exp/torsion-test-mild-steel/simulation.html>). CC BY-NC-SA 4.0

Con los estos valores se realizan los cálculos del ensayo presentados en la tabla 15 y además generar la gráfica esfuerzo vs deformación como se observa en la figura 68.

- Momento polar de inercia:

$$J = \frac{\pi \cdot (11,05)^4}{32}$$

$$J = 1463,68 \text{ mm}^4$$

- Esfuerzo de fluencia al corte:

$$\sigma_{sy} = \frac{T \cdot c}{J}$$

$$\sigma_{sy} = (6,7 \cdot 9,81) \cdot \frac{0,00525}{1,463 \times 10^{-9}}$$

$$\sigma_{sy} = 229,7 \text{ Mpa}$$

- Módulo de ruptura:

$$R_T = \frac{T \cdot c}{J}$$

$$R_T = (15,2 \cdot 9,81) \cdot \frac{0,00525}{1,463 \times 10^{-9}}$$

$$R_T = 563,11 \text{ Mpa}$$

- Módulo de rigidez:

$$G = \frac{T \cdot l}{\theta \cdot J}$$

$$G = \frac{3 \cdot 9,81 \cdot 0,190}{0,073 \cdot 1,463 \times 10^{-9}}$$

$$G = 52,15 \text{ GPa}$$

Tabla 15

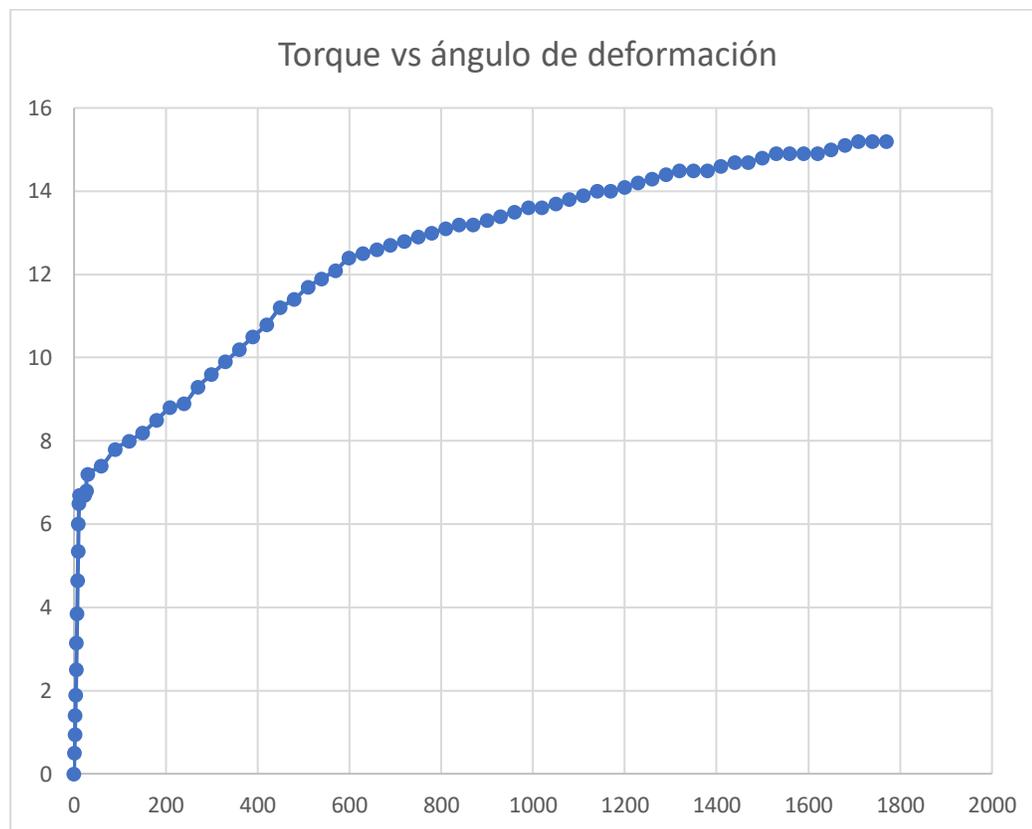
Resultados ensayo de torsión Virtual Labs

| Resultado | Unidad | Valor Obtenido |
|--|-------------------------|-----------------------|
| <i>Momento polar de inercia</i> | <i>mm⁴</i> | 1463,95 |
| Esfuerzo de fluencia al corte | <i>N/mm²</i> | 229,7 |
| Módulo de ruptura | <i>N/mm²</i> | 563,14 |
| Módulo de rigidez | <i>GPa</i> | 52,15 |

Nota. Adaptado de *Torsion Test on Mild Steel*, de Virtual Labs, 2021, (<https://sm-nitk.vlabs.ac.in/exp/torsion-test-mild-steel/simulation.html>). CC BY-NC-SA 4.0

Figura 68

Grafica torque vs ángulo de deformación



Nota. Se puede observar el torque aplicado vs los grados que girara la probeta.

4.1.2. Resultados ensayo de impacto Charpy

Para este ensayo se realizan tres intentos con las dimensiones que se pueden observar en la tabla 16.

Tabla 16

Dimensiones ensayo de impacto Charpy

| | Intento 1 | Intento 2 | Intento 3 |
|---------------------------------------|------------------|------------------|------------------|
| Longitud (mm) | 57.46 | 58.44 | 57.46 |
| Ancho B (mm) | 9.22 | 9.62 | 9.22 |
| Profundidad D (mm) | 9.42 | 9.5 | 9.42 |
| Profundidad de muesca – d (mm) | 5 | 5.66 | 5 |

Nota. Adaptado de *Charpy Impact Test*, de Virtual Labs, 2021, (<https://sm-nitk.vlabs.ac.in/exp/charpy-impact-test/>). CC BY-NC-SA 4.0

Una vez realizados todos los ensayo se obtuvieron los siguientes valores presentados en la tabla 17.

Tabla 17

Resultados ensayo de impacto Charpy Virtual Labs

| Intento | Perdida de energía por fricción E_f (J) | Pérdida total de energía E_t (J) | Energía por falla de la muestra $E_t - E_f$ (J) | Promedio de energía |
|----------------|---|--|---|----------------------------|
| 1 | 1462.95 | - | - | |
| 2 | 229.7 | 43 | 42 | 44.25 |
| 3 | 563.14 | 47.5 | 46.5 | |

Nota. Adaptado de *Charpy Impact Test*, de Virtual Labs, 2021, (<https://sm-nitk.vlabs.ac.in/exp/charpy-impact-test/>). CC BY-NC-SA 4.0

4.1.3. Resultados ensayo de impacto Izod

Las dimensiones de las tres pruebas se pueden observar en la tabla 18

Tabla 18

Dimensiones ensayo de impacto Izod

| | Intento 1 | Intento 2 | Intento 3 |
|---------------------------------------|------------------|------------------|------------------|
| Longitud (mm) | 75.3 | 76.4 | 75.3 |
| Ancho B (mm) | 9.3 | 9.3 | 9.3 |
| Profundidad D (mm) | 9.32 | 9.16 | 9.32 |
| Profundidad de muesca – d (mm) | 5.6 | 2 | 5.6 |

Nota. Adaptado de *Izod Impact Test*, de Virtual Labs, 2021, (<https://sm-nitk.vlabs.ac.in/exp/izod-impact-test/>). CC BY-NC-SA 4.0

Finalmente se obtuvieron los siguientes valores presentados en la tabla 19.

Tabla 19*Resultados ensayo de impacto Izod Virtual Labs*

| Prueba | Perdida de energía por fricción E_f (J) | Pérdida total de energía E_t (J) | Energía por falla de la muestra $E_t - E_f$ (J) | Promedio de energía |
|--------|---|------------------------------------|---|---------------------|
| 1 | 2 | - | - | |
| 2 | 2 | 46 | 44 | 49 |
| 3 | 2 | 56 | 54 | |

Nota. Adaptado de *Izod Impact Test*, de Virtual Labs, 2021, (<https://sm-nitk.vlabs.ac.in/exp/izod-impact-test/>). CC BY-NC-SA 4.0

4.2. Software CAD (ANSYS)

4.2.1. Resultados ensayo de torsión

Una vez realizado en ensayo de torsión en el software ANSYS se puede obtener el valor de esfuerzo cortante para cada uno de los valores de deformación, con este valor de esfuerzo cortante mediante la ecuación de la torsión se puede obtener los valores del torque aplicado como se observa a continuación:

$$\tau_{max} = \frac{T \cdot c}{J}$$

$$T = \frac{\tau_{max} \cdot J}{c}$$

$$T = \frac{\tau_{max} \cdot 1463.95}{5,25}$$

Los valores de torque una vez despejados se presentan en la tabla 20.

Tabla 20

Resultados ensayo de torsión con el uso del software ANSYS

| Grados (°) | Esfuerzo cortante (MPa) | Torque (N · m) | Torque (kgf · m) |
|-------------------|--------------------------------|-----------------------|-------------------------|
| 0 | 0 | 0 | 0,00 |
| 1 | 18,08 | 4,79 | 0,49 |
| 2 | 34,351 | 9,10 | 0,93 |
| 3 | 50,623 | 13,41 | 1,37 |
| 4 | 68,702 | 18,20 | 1,86 |
| 5 | 90,398 | 23,95 | 2,44 |
| 6 | 113,9 | 30,17 | 3,08 |
| 7 | 139,21 | 36,88 | 3,76 |
| 8 | 168,14 | 44,54 | 4,55 |
| 9 | 193,45 | 51,25 | 5,23 |
| 10 | 216,96 | 57,48 | 5,87 |
| 11 | 235,03 | 62,26 | 6,35 |
| 12 | 242,27 | 64,18 | 6,55 |
| 16 | 242,27 | 64,18 | 6,55 |
| 19 | 242,27 | 64,18 | 6,55 |
| 23 | 242,27 | 64,18 | 6,55 |
| 27 | 245,88 | 65,14 | 6,65 |
| 30 | 260,35 | 68,97 | 7,04 |
| 60 | 267,58 | 70,89 | 7,23 |

| Grados (°) | Esfuerzo cortante (MPa) | Torque (N · m) | Torque (kgf · m) |
|-------------------|--------------------------------|-----------------------|-------------------------|
| 90 | 282,04 | 74,72 | 7,62 |
| 120 | 289,27 | 76,63 | 7,82 |
| 150 | 296,51 | 78,55 | 8,02 |
| 180 | 307,35 | 81,42 | 8,31 |
| 210 | 318,2 | 84,30 | 8,60 |
| 240 | 321,82 | 85,26 | 8,70 |
| 270 | 336,28 | 89,09 | 9,09 |
| 300 | 347,13 | 91,96 | 9,38 |
| 330 | 357,98 | 94,84 | 9,68 |
| 360 | 368,82 | 97,71 | 9,97 |
| 390 | 379,67 | 100,58 | 10,26 |
| 420 | 390,52 | 103,46 | 10,56 |
| 450 | 404,98 | 107,29 | 10,95 |
| 480 | 412,21 | 109,20 | 11,14 |
| 510 | 423,06 | 112,08 | 11,44 |
| 540 | 430,29 | 113,99 | 11,63 |
| 570 | 437,53 | 115,91 | 11,83 |
| 600 | 448,37 | 118,78 | 12,12 |
| 630 | 451,99 | 119,74 | 12,22 |
| 660 | 455,61 | 120,70 | 12,32 |
| 690 | 459,22 | 121,66 | 12,41 |
| 720 | 462,84 | 122,62 | 12,51 |
| 750 | 466,45 | 123,57 | 12,61 |
| 780 | 470,07 | 124,53 | 12,71 |

| Grados (°) | Esfuerzo cortante (MPa) | Torque (N · m) | Torque (kgf · m) |
|-------------------|--------------------------------|-----------------------|-------------------------|
| 810 | 473,69 | 125,49 | 12,81 |
| 840 | 477,3 | 126,45 | 12,90 |
| 870 | 477,3 | 126,45 | 12,90 |
| 900 | 480,92 | 127,41 | 13,00 |
| 930 | 484,53 | 128,36 | 13,10 |
| 960 | 488,15 | 129,32 | 13,20 |
| 990 | 491,76 | 130,28 | 13,29 |
| 1020 | 491,76 | 130,28 | 13,29 |
| 1050 | 495,38 | 131,24 | 13,39 |
| 1080 | 499 | 132,20 | 13,49 |
| 1110 | 502,61 | 133,15 | 13,59 |
| 1140 | 506,23 | 134,11 | 13,68 |
| 1170 | 506,23 | 134,11 | 13,68 |
| 1200 | 509,84 | 135,07 | 13,78 |
| 1230 | 513,46 | 136,03 | 13,88 |
| 1260 | 517,08 | 136,99 | 13,98 |
| 1290 | 520,69 | 137,94 | 14,08 |
| 1320 | 524,31 | 138,90 | 14,17 |
| 1350 | 524,31 | 138,90 | 14,17 |
| 1380 | 524,31 | 138,90 | 14,17 |
| 1410 | 527,92 | 139,86 | 14,27 |
| 1440 | 531,54 | 140,82 | 14,37 |
| 1470 | 531,54 | 140,82 | 14,37 |
| 1500 | 535,16 | 141,78 | 14,47 |

| Grados (°) | Esfuerzo cortante (MPa) | Torque (N · m) | Torque (kgf · m) |
|-------------|-------------------------|----------------|------------------|
| 1530 | 538,77 | 142,73 | 14,56 |
| 1560 | 538,77 | 142,73 | 14,56 |
| 1590 | 538,77 | 142,73 | 14,56 |
| 1620 | 538,77 | 142,73 | 14,56 |
| 1650 | 542,39 | 143,69 | 14,66 |
| 1680 | 546 | 144,65 | 14,76 |
| 1710 | 549,62 | 145,61 | 14,86 |
| 1740 | 549,62 | 145,61 | 14,86 |
| 1770 | 549,62 | 145,61 | 14,86 |

Nota. Los resultados subrayados son los utilizados para realizar los cálculos.

Con estos resultados se procederán a calcular los mismos valores presentados en el laboratorio virtual que se pueden observar en la tabla 21.

- Momento polar de inercia:

$$J = \frac{\pi \cdot (11,05)^4}{32}$$

$$J = 1463,68 \text{ mm}^4$$

- Esfuerzo de fluencia al corte:

$$\sigma_{sy} = \frac{T \cdot c}{J}$$

$$\sigma_{sy} = (6,55 \cdot 9,81) \cdot \frac{0,00525}{1,463 \times 10^{-9}}$$

$$\sigma_{sy} = 242,66 \text{ Mpa}$$

- Módulo de ruptura:

$$R_T = \frac{T \cdot c}{J}$$

$$R_T = (14,86 \cdot 9,81) \cdot \frac{0,00525}{1,463 \times 10^{-9}}$$

$$R_T = 549,62 \text{ Mpa}$$

- Módulo de rigidez:

$$G = \frac{T \cdot l}{\theta \cdot J}$$

$$G = \frac{3 \cdot 9,81 \cdot 0,190}{0,073 \cdot 1,463 \times 10^{-9}}$$

$$G = 52,15 \text{ GPa}$$

Tabla 21

Resultados ensayo de torsión en el software CAD

| Resultado | Unidad | Valor Obtenido |
|---|-------------------------|-----------------------|
| <i>Momento polar de inercia</i> | <i>mm⁴</i> | 1463,95 |
| Esfuerzo de fluencia al corte | <i>N/mm²</i> | 242,66 |
| Módulo de ruptura (Esfuerzo cortante máximo) | <i>N/mm²</i> | 549,62 |
| Módulo de rigidez (G) | <i>GPa</i> | 52,15 |

Nota. Resultados una vez generada la simulación en el software CAD

4.2.2. Resultados ensayo de impacto Charpy

Los resultados obtenidos con ayuda del software CAD se presentan en la tabla 22.

Tabla 22

Resultados ensayo Charpy

| Ensayo | Unidad | Energía por falla de la muestra |
|----------------------|---------------|--|
| Ensayo Charpy | | |
| Intento 2 | <i>J</i> | 54,259 |
| Intento 3 | <i>J</i> | 57,07 |

Nota. Resultados obtenidos una vez realizada la simulación.

4.2.3. Resultados ensayo de impacto Izod

Los resultados obtenidos con ayuda del software CAD se presentan en la tabla 23.

Tabla 23

Resultados ensayo Izod

| Ensayo | Unidad | Energía por falla de la muestra |
|--------------------|---------------|--|
| Ensayo Izod | | |
| Intento 2 | <i>J</i> | 46,897 |
| Intento 3 | <i>J</i> | 50,71 |

Nota. Resultados una vez generada la simulación en el software CAD.

4.3. Análisis de resultados entre laboratorios virtuales y software CAD (ANSYS)

Al culminar con las simulaciones tanto en laboratorios virtuales como en software CAD será necesario analizar los resultados obtenidos y así obtener un porcentaje de error entre estos dos métodos.

Los resultados del ensayo de torsión se pueden observar en la tabla 24.

Tabla 24

Análisis ensayo de torsión

| Resultado | Unidad | Laboratorio | Software | Porcentaje de error |
|---|----------|-------------|-----------|---------------------|
| | | Virtual | CAD ANSYS | |
| Momento polar de inercia | mm^4 | 1463,95 | 1463,95 | 0% |
| Esfuerzo de fluencia al corte | N/mm^2 | 229,7 | 242,66 | 5,64% |
| Módulo de ruptura (Esfuerzo cortante máximo) | N/mm^2 | 563,14 | 549,62 | 2,40% |
| Módulo de rigidez | GPa | 52,15 | 52,15 | 0% |

Nota. Resultados una vez realizados los ensayos de torsión en el laboratorio virtual y el software CAD.

Para el ensayo de torsión en acero dulce en el laboratorio virtual se obtuvieron los siguientes valores mediante fórmulas: el momento de inercia de $1463,95 mm^4$, un esfuerzo de fluencia al corte de $229,7 N/mm^2$, un módulo de ruptura (esfuerzo cortante

máximo) de $563,14 \text{ N/mm}^2$ y un módulo de rigidez de $52,15 \text{ GPa}$. Mientras tanto en el software CAD (ANSYS) se obtuvieron los siguientes resultados: el momento de inercia de $1463,95 \text{ mm}^4$, un esfuerzo de fluencia al corte de $242,66 \text{ N/mm}^2$, un módulo de ruptura (esfuerzo cortante máximo) de $549,62 \text{ N/mm}^2$ y un módulo de rigidez de $52,15 \text{ GPa}$. Los porcentajes de error obtenidos con respecto al software CAD ANSYS son los siguientes: para el momento de inercia un 0%, para el esfuerzo de fluencia al corte un 5,64%, para el módulo de ruptura un 2,4% y para el módulo de rigidez un 0%.

En la tabla 25 se puede observar los resultados obtenidos para los ensayos de impacto de tipo Charpy e Izod mediante los dos métodos.

Tabla 25

Resultados ensayo de impacto Charpy e Izod en los laboratorios virtuales y software CAD

| Ensayo | Unidad | Laboratorios | Software CAD | Porcentaje de error |
|----------------------|----------|--------------|--------------|---------------------|
| | | Virtuales | ANSYS | |
| Ensayo Charpy | | | | |
| Intento 2 | <i>J</i> | 42 | 54,259 | 29,18% |
| Intento 3 | <i>J</i> | 46,5 | 57,07 | 22,73% |
| Ensayo Izod | | | | |
| Intento 2 | <i>J</i> | 44 | 46,897 | 6,58% |
| Intento 3 | <i>J</i> | 54 | 50,71 | 6,092% |

Nota. En la tabla se presentan los valores obtenidos mediante los dos métodos.

Para el ensayo de impacto Charpy en el laboratorio virtual se obtuvo un valor de energía de falla de la muestra de 42 J para el segundo intento, y de $46,5 \text{ J}$ en el tercer

intento. Mientras tanto en el software CAD (ANSYS) se obtuvo un valor de energía de falla de la muestra de 54,25 *J* para el segundo intento y de 57,07 *J* en el tercer intento. Como se observa en la tabla el ensayo de impacto tipo charpy presenta un porcentaje de error con respecto al primer intento de 29,18% y para el segundo de 22,73%. Los porcentajes de error son mayores al 10% que recomienda la norma.

En el ensayo de impacto Izod en el laboratorio virtual se obtuvo un valor de energía de falla de la muestra de 44 *J* para el segundo intento, y de 54 *J* en el tercer intento. Mientras tanto en el software CAD (ANSYS) se obtuvo un valor de energía de fallo de la muestra de 46,897 *J* para el segundo intento y de 50,71 *J* en el tercer intento. Se obtuvo un porcentaje de error de 2,52% para el segundo intento y de 6,092% para el tercer intento. Los porcentajes de error son menores al 10% que recomienda la norma.

Capítulo 5

5. Conclusiones y recomendaciones

5.1. Conclusiones

- Mediante el laboratorio virtual (Virtual Labs) se determinó propiedades mecánicas del acero dulce ASTM A36 tales como el momento de inercia con un valor de $1463,95 \text{ mm}^4$, un esfuerzo de fluencia al corte de $229,7 \text{ N/mm}^2$, un módulo de ruptura de $563,14 \text{ N/mm}^2$ y un módulo de rigidez de $52,15 \text{ GPa}$ para el ensayo de torsión.
- Mediante el laboratorio virtual (Virtual Labs) se determinó en el ensayo de impacto Charpy la energía necesaria para el fallo de la muestra de acero dulce siendo de 42 J para un primer intento y de $46,5 \text{ J}$ para un segundo, mientras tanto en el ensayo de tipo Izod se determinó una energía para el fallo de la muestra de acero dulce de 44 J en el primer intento y de 54 J para un segundo intento.
- Mediante el uso del software CAD ANSYS se determinó el esfuerzo cortante una vez realizada la simulación del ensayo de torsión, con el cual será posible obtener los mismos valores que se obtuvieron en el laboratorio virtual siendo estos el momento de inercia con un valor de $1463,95 \text{ mm}^4$, un esfuerzo de fluencia al corte de $242,66 \text{ N/mm}^2$, un módulo de ruptura de $549,62 \text{ N/mm}^2$ y un módulo de rigidez de $52,15 \text{ GPa}$.
- Con el software CAD ANSYS se realizó el ensayo de impacto tanto Charpy e Izod, obteniendo un valor de energía de fallo de la muestra de acero dulce en el ensayo Charpy de $54,259 \text{ J}$ para el segundo intento y de $57,07 \text{ J}$ mientras tanto para el ensayo de tipo Izod se obtuvo un valor

de energía de fallo de la muestra de acero dulce de 46,897 J para el segundo intento y de 50,71 J para el tercer intento.

- A partir de los resultados obtenidos en el ensayo de impacto Charpy, se concluye que no es recomendable la utilización del laboratorio virtual “Virtual Labs” ya que presenta un porcentaje de error mayor al 10% establecido por la norma.

5.2. Recomendaciones

- Es recomendable que al momento de realizar los ensayos en la página Virtual Labs se tengan conocimientos previos tales como las propiedades mecánicas del acero dulce y las ecuaciones que se involucran en el ensayo de torsión.
- Se recomienda a la página Virtual Labs en el ensayo de impacto se especifique las características de la máquina, tales como el peso del péndulo y la altura a la que estará el péndulo, ya que este valor será necesario para calcular la energía potencial y además servirán en casos de realizar una simulación en software CAD.
- Para poder realizar las simulaciones en software CAD se recomienda contar con las normativas para poder cumplir con las dimensiones, condiciones y procedimientos necesarios para cada ensayo, además será necesario utilizar las propiedades obtenidas en el laboratorio virtual para poder crear los materiales con las mismas propiedades en el software de simulación, para así poder disminuir errores.
- Para poder obtener valores cercanos entre el software ANSYS y el laboratorio virtual (Virtual Labs) se recomienda realizar un refinado adecuado de la malla siendo de este de 1 mm.
- Se recomienda utilizar otro laboratorio virtual de preferencia con licencia.
- Para futuros trabajos de investigación se recomienda la realización de tutoriales de simulación.

Bibliografía

- American Society for Testing and Materials (ASTM). (1998). *Permissible variations shall be as follows [Tabla 7]. Standard Test Methods for Notched Bar Impact Testing of Metallic Materials*. Recuperado el 16 de Diciembre de 2021
- American Society for Testing and Materials (ASTM). (1998). *Permissible variations shall be as follows [Tabla 8]. Standard Test Methods for Notched Bar Impact Testing of Metallic*. Recuperado el 16 de Diciembre de 2021
- American Society for Testing and Materials (ASTM). (1998). *Standard Test Methods for Notched Bar Impact Testing Of Metallic Materials ASTM-E23*. West Conshohocken: ASTM. Recuperado el 17 de Diciembre de 2021
- American Society for Testing and Materials (ASTM). (2007). *Applied Load for Torsion Testing [Tabla 1]. Standard Test Method for Torsion Testing of Wire*. Recuperado el 12 de Diciembre de 2021
- American Society for Testing and Materials (ASTM). (2007). *Recommended Maximum Twisting Speed [Tabla 2]. Standard Test Method for Torsion Testing of Wire*. Recuperado el 14 de Diciembre de 2021
- American Society for Testing and Materials (ASTM). (2007). *Standard Test Method for Torsion Testing of Wire (ASTM A938-07)*. West Conshohocken: ASTM. Recuperado el 17 de Diciembre de 2021
- Angel, J., Urrea, B., & Ussa, J. (2015). DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO PARA PRUEBAS DE TORSIÓN. *Trabajo presentado como requisito parcial para optar por el título de profesional en Ingeniería mecatrónica*. UNIVERSIDAD DE SAN BUENAVENTURA, Bogota. Recuperado el 17 de Diciembre de 2021, de <http://biblioteca.usbbog.edu.co:8080/Biblioteca/BDigital/137799.pdf>

- Arrieta, R., & Piedra, O. (2015). DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN LABORATORIO VIRTUAL Y REMOTO PARA EL DESARROLLO DE PRÁCTICAS DE CONTROL DE PROCESOS. *Tesis previo a la obtención del título de Ingeniero Electrónico*. Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Sangolqui. Recuperado el 18 de Diciembre de 2021, de <http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/21000/10403/T-ESPE-048916.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Ballesteros, N. (2005). *Tecnología de proceso y transformación de materiales*. Barcelona: Edicions UPC. Recuperado el 12 de Diciembre de 2021
- Connor, N. (2021). *Mild Steel | Density, Strenght, Hardness, Melting Point [Tabla 13]*. Recuperado el 20 de Diciembre de 2021, de <https://material-properties.org/mild-steel-density-strength-hardness-melting-point/>
- Figueroa, A., & Laguna, C. (2012). MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE CONTROL Y MONITOREO DE LA MAQUINA AXIAL-TORSIONAL DE ENSAYO DE MATERIALES DEL LABORATORIO DE ANALISIS DE ESFUERZOS Y VIBRACIONES DE LA EPN. *PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y CONTROL*. ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL, QUITO. Recuperado el 10 de Diciembre de 2021, de <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/4541/1/CD-4163.pdf>
- Fuentes, F. (1982). Ensayos Mecánicos en Metales. *Tesis para obtener el título de Maestro en Ciencias en Ingeniería Mecánica*. Universidad Autonoma de Nuevo León, Monterrey. Recuperado el 13 de Noviembre de 2021, de <http://eprints.uanl.mx/5993/1/1020070566.PDF>

Haro, A., & Laguna, L. (2012). Mejoramiento del sistema de control y monitoreo de la máquina axial-torsional de ensayo de materiales del laboratorio de análisis de esfuerzos y vibraciones de la EPN. *Proyecto previo a la obtención del título de Ingeniero en Electrónica y Control*. Escuela Politécnica Nacional, Quito.
Recuperado el 15 de Noviembre de 2021, de
<http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/4541>

Hibbeler, R. (2011). Mecánica de Materiales. En R. Hibbeler, *Mecánica de Materiales* (págs. 179-253). Estado de México: PEARSON EDUCACIÓN MÉXICO.
Recuperado el 18 de Noviembre de 2021

Indian Standar (IS). (1978). *Dimensions and tolerances of ferrous an non-ferrous test pieces [Tabla 10]*. METHOD FOR CHARPY IMPACT TEST (U-NOTCH) FOR METALS. Recuperado el 13 de Diciembre de 2021

Indian Standar (IS). (2012). *Rate of testing [Tabla 6]*. METALLIC MATERIALS — WIRE — SIMPLE TORSION TEST. Recuperado el 14 de Diciembre de 2021

Indian Standard (IS). (1977). *Machining tolerances on the specified dimensions shall be permitted [Tabla 11]*. METHOD FOR IZOD IMPACT TEST OF METALS.
Recuperado el 12 de Diciembre de 2021

Indian Standard (IS). (1978). *Reference numbers have been used in this standard [Tabla 9]*. METHOD FOR CHARPY IMPACT TEST (U-NOTCH) FOR METALS.
Recuperado el 20 de Diciembre de 2021

Indian Standard (IS). (2012). *Dependence of free length between the grips on nominal diameter or characteristic dimension of the wire [Tabla 5]*. METALLIC MATERIALS — WIRE — SIMPLE TORSION TEST. Recuperado el 12 de Diciembre de 2021

Indian Standard (IS). (2012). *METALLIC MATERIALS—WIRE—SIMPLE TORSION TEST IS-1717*. New Delhi: BUREAU OF INDIAN STANDARDS. Recuperado el 15 de Diciembre de 2021

Indian Standard (IS). (2012). *Recommended types of grip [Tabla 4]*. METALLIC MATERIALS — WIRE — SIMPLE TORSION TEST. Recuperado el 17 de Diciembre de 2021

Indian Standard (IS). (2012). *Symbols and designations [Tabla 3]*. METALLIC MATERIALS — WIRE — SIMPLE TORSION TEST. Recuperado el 21 de Diciembre de 2021

Indian Standard. (1977). *Method for Izod Impact Test of Metals IS-1598*. New Delhi: Indian Standards Institution. Recuperado el 15 de Diciembre de 2021

Indian Standard (IS). (1978). *Method for Charpy Impact Test (U-Notch) for Metals IS-1499*. New Delhi: Bureau of Indian Standards. Recuperado el 15 de Diciembre de 2021

Lorandi, A., Hermida, G., Hernández, J., & Durán, E. (2011). Los Laboratorios Virtuales y Laboratorios Remotos en la Enseñanza de la Ingeniería. *Revista Internacional de Educación en Ingeniería*, 4, 24-30. Recuperado el 15 de Noviembre de 2021, de https://www.researchgate.net/publication/267302003_Los_Laboratorios_Virtuales_1_y_Laboratorios_Remotos_en_la_Ensenanza_de_la_Ingenieria

Menese, G., & Ordosgoitia, C. (2009). LABORATORIO VIRTUAL BASADO EN LA METODOLOGÍA DE APRENDIZAJE BASADO EN PROBLEMAS, ABP. *Educación en Ingeniería*, 62-73. Recuperado el 18 de Noviembre de 2021, de <https://www.researchgate.net/profile/Gustavo->

Meneses/publication/277989021_Laboratorio_virtual_basado_en_la_metodologia_de_aprendizaje_basado_en_problemas_ABP/links/5c4f44fb92851c22a3972b9d/Laboratorio-virtual-basado-en-la-metodologia-de-aprendizaje-basad

- Morales, A. (2013). ENSAYOS Y ANALISIS DE MATERIALES PARA INGENIERIA (Teoria y Practicas). En A. Morales, *ENSAYOS Y ANALISIS DE MATERIALES PARA INGENIERIA (Teoria y Practicas)*. Zulia, Venezuela: Globus. Recuperado el 13 de Noviembre de 2021
- Moreno, N., & Dagino, D. (2014). Desarrollo de un Laboratorio Virtual de Turbina a Gas. *Latin American and Caribbean Conference for Engineering and Technology* (págs. 1-10). Guayaquil: LACCEI. Recuperado el 13 de Noviembre de 2021, de <http://www.laccei.org/LACCEI2014-Guayaquil/RefereedPapers/RP226.pdf>
- Newell, J. (2010). *Ciencia de Materiales Aplicaciones en Ingeniería*. México D.F.: Alfaomega Grupo Editor, S.A de C.V. Recuperado el 15 de Noviembre de 2021
- SIEMENS. (2021). *Diseño asistido por ordenador (CAD)*. Obtenido de <https://www.plm.automation.siemens.com/global/es/our-story/glossary/computer-aided-design-cad/12507>
- Tonguino, M. (2021). Diseño de un laboratorio virtual de ensayos destructivos y metalografía mediante el software sketchup y shapspark para prácticas en las asignaturas de ciencias de materiales. (*Trabajo de titulación para Ingeniería Mecánica en Diseño y Materiales*). Universidad Internacional SEK, Quito. Recuperado el 16 de Noviembre de 2021, de <https://repositorio.uisek.edu.ec/bitstream/123456789/4244/1/Marlon%20Fabricio%20Tonguino%20Salazar.pdf>

- Velasco, P., Pimentel, J., Martínez, J., & Velasco, S. (Agosto de 2013). Laboratorios virtuales: alternativa en la educación. *REVISTA DE DIVULGACIÓN CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA DE LA UNIVERSIDAD VERACRUZANA*, XXVI(2). Recuperado el 12 de Noviembre de 2021 , de <https://www.uv.mx/cienciahombre/revistae/vol26num2/editorial.html>
- Virtual Labs. (2021). *Calculations Torsion test on mild steel [Tabla 15]*. Recuperado el 15 de Diciembre de 2021, de <https://sm-nitk.vlabs.ac.in/exp/torsion-test-mild-steel/simulation.html>
- Virtual Labs. (2021). *Observations Charpy impact test [Tabla 17]*. Recuperado el 14 de Diciembre de 2021, de <https://sm-nitk.vlabs.ac.in/exp/charpy-impact-test/simulation.html>
- Virtual Labs. (2021). *Observations Izod impact test [Tabla 19]*. Recuperado el 15 de Diciembre de 2021, de <https://sm-nitk.vlabs.ac.in/exp/izod-impact-test/simulation.html>
- Zuñiga, A., Jalón, E., & Albarracín, L. (2019). Laboratorios virtuales en el proceso enseñanza-aprendizaje en Ecuador. *Dilemas Contemporáneos: Educación, Política y Valores*.(21). Recuperado el 16 de Noviembre de 2021, de <https://www.dilemascontemporaneoseducacionpoliticayvalores.com/index.php/dilemas/article/view/1462/1668>

Anexos