



# ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**Estudio del acero dulce y madera sometidos a corte directo utilizando laboratorios  
virtuales y software CAD bajo normas internacionales**

Méndez Salas, Ricardo Mathew

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 del 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 y madera sometidos a corte directo utilizando laboratorios virtuales y software CAD bajo normas internacionales”** fue realizado por el señor **Méndez Salas, Ricardo Mathew** 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 verificación de contenido**



Identical Words	0
Words with Minor Changes	0
Paraphrased Words	0
Ommited Words	1754



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

Ing. Carvajal Naranjo Miguel Alberto, Mgs.

C.C.: 1801711936



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

**Autoría de responsabilidad**

Yo, **Méndez Salas, Ricardo Mathew** con cedula de ciudadanía N°**1003054036**, declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de Unidad de Integración Curricular: **“Estudio del acero dulce y madera sometidos a corte directo utilizando laboratorios virtuales y software CAD bajo normas internacionales”** es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales 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

---

Méndez Salas, Ricardo Mathew

C.C:1003054036



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

**Autorización**

Yo, **Méndez Salas Ricardo Mathew** con cedula de ciudadanía N° **1003054036**, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de Unidad de Integración Curricular: **“Estudio del acero dulce y madera sometidos a corte directo 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



---

Méndez Salas, Ricardo Mathew

C.C: 1003054036

### **Dedicatoria**

A mi madre Mercedes la cual me apoyo de forma incondicional durante todo el transcurso de mi carrera y que ha sido mi principal motivación para suportar todos los obstáculos con los que me enfrentado hasta el día de hoy.

A mi hermana Kathy la cual ha sido siempre mi ejemplo a seguir, motivándome a caminar hacia adelante y la cual quiero con todo mi corazón por todo lo que significó para mi durante todos mis años de vida.

A todos aquellos que me apoyaron incondicionalmente durante todos estos años a cumplir una de las mayores metas en mi vida.

**Méndez Salas, Ricardo Mathew**

## **Agradecimiento**

En primer lugar, a mi madre Mercedes Salas por ser quien más me apoyo durante todo este largo trayecto y quien me brindo la motivación de seguir adelante pese a todas las adversidades que juntos como familia pasamos.

A mi hermana Katherine Méndez la cual me motiva siempre a seguir sus pasos y que siempre vela por mi seguridad y bienestar.

A Pablo quien representa de mejor manera los términos de compañero y amigo durante toda nuestra vida universitaria.

A Pao por apoyarme de manera incondicional durante todo el tiempo que llevamos de conocernos.

Mis mayores grandes agradecimientos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE por permitirme formarme en sus aulas, a sus ingenieros que supieron motivarme a ser mejor cada día y al Ing. Miguel Carvajal por fungir de guía y asesor en el desarrollo de este proyecto.

## Tabla de contenidos

Carátula.....	1
Certificación.....	2
Reporte verificación de contenido .....	3
Autoría de responsabilidad .....	4
Autorización.....	5
Dedicatoria.....	6
Agradecimiento .....	7
Tabla de contenidos .....	8
Índice de tablas .....	11
Índice de figuras .....	12
Resumen .....	15
Abstract.....	16
Generalidades.....	17
Antecedentes .....	17
Planteamiento del problema .....	19
Justificación e importancia .....	20
<i>Objetivo general</i> .....	20
<i>Objetivos específicos</i> .....	20
Hipótesis.....	21
Variables de investigación .....	21
<i>Variables independientes</i> .....	21
<i>Variables dependientes</i> .....	21
Marco teórico.....	22
Laboratorios virtuales .....	22
Software CAD.....	25
<i>SOLIDWORKS</i> .....	26
<i>Autodesk Inventor</i> .....	26
<i>Ansys</i> ... ..	27
Propiedades mecánicas .....	27
<i>Esfuerzo</i> .....	28
<i>Deformación unitaria</i> .....	28
<i>Esfuerzos normales</i> .....	28



<i>Esfuerzo cortante</i> .....	29
<i>Deformación elástica</i> .....	31
<i>Curva esfuerzo deformación</i> .....	32
<i>Módulo de Young</i> .....	32
<i>Módulo cortante</i> .....	33
<i>Deformación plástica</i> .....	34
<i>Rapidez de deformación</i> .....	34
<i>Máquina universal de ensayos</i> .....	34
Ensayo de corte directo .....	37
<i>Comportamiento de los materiales bajo esfuerzo de corte</i> .....	37
<i>Objeto y aplicabilidad de los ensayos de corte</i> .....	39
<i>Ensayo de corte directo</i> .....	39
Normativas para ensayos de corte directo .....	41
<i>Normativa ASTM D 143 - 14</i> .....	42
<i>Normativa IS: 1708 (Parte 11) – 1986</i> .....	43
<i>Normativa IS: 5242 – 1979</i> .....	44
<i>Normativa para el ensayo de corte directo en placas de acero dulce</i> .....	46
Metodología .....	48
Laboratorio virtual .....	48
<i>Ensayo de corte directo en una placa de acero dulce</i> .....	48
<i>Ensayo de corte directo en una varilla de acero dulce</i> .....	53
<i>Ensayo de corte directo en una probeta de madera</i> .....	58
Software CAD.....	63
<i>Acero dulce</i> .....	63
<i>Acero de alta dureza</i> .....	64
<i>Madera</i> .....	65
<i>Interpretación de resultados</i> .....	65
<i>Ensayo de corte directo en una placa de acero dulce</i> .....	67
<i>Ensayo de corte directo en una varilla de acero dulce</i> .....	71
<i>Ensayo de corte directo en una probeta de madera</i> .....	75
Análisis e interpretación de resultados .....	82
Análisis de resultados .....	82
<i>Obtención de porcentaje de error entre el laboratorio virtual y software CAD (Autodesk Inventor)</i> .....	82

<b>Conclusiones y recomendaciones .....</b>	<b>85</b>
<b>Conclusiones .....</b>	<b>85</b>
<b>Recomendaciones .....</b>	<b>86</b>
<b>Bibliografía.....</b>	<b>87</b>
<b>Anexos .....</b>	<b>91</b>

## Índice de tablas

<b>Tabla 1</b>	<i>Resultados del ensayo de corte doble en una placa de acero dulce en el laboratorio virtual.....</i>	51
<b>Tabla 2</b>	<i>Resultados de los ensayos de resistencia al corte doble promedio en una placa de acero dulce.....</i>	52
<b>Tabla 3</b>	<i>Resultados del ensayo de corte doble en placa de acero dulce calculados.....</i>	52
<b>Tabla 4</b>	<i>Resultados del ensayo de corte doble en una varilla de acero dulce en el laboratorio virtual.....</i>	56
<b>Tabla 5</b>	<i>Resultados de los ensayos de resistencia al corte doble promedio en una varilla de acero dulce.....</i>	57
<b>Tabla 6</b>	<i>Resultados del ensayo de corte doble en placa de acero dulce calculados.....</i>	57
<b>Tabla 7</b>	<i>Resultados del ensayo de corte simple en una probeta de madera.....</i>	61
<b>Tabla 8</b>	<i>Resultados de los ensayos de resistencia al corte simple promedio en una probeta de madera.....</i>	62
<b>Tabla 9</b>	<i>Resultados del ensayo de corte simple en una probeta de madera calculados.....</i>	62
<b>Tabla 10</b>	<i>Propiedades Mecánicas del acero para herramientas AISI tipo W1.....</i>	64
<b>Tabla 11</b>	<i>Propiedades típicas de las maderas.....</i>	65
<b>Tabla 12</b>	<i>Resultados de la simulación en una placa de acero dulce.....</i>	82
<b>Tabla 13</b>	<i>Resultados de la simulación en una varilla de acero dulce.....</i>	83
<b>Tabla 14</b>	<i>Resultados de la simulación en una probeta de madera.....</i>	83

## Índice de figuras

<b>Figura 1</b>	<i>Simulador automotriz Electude</i> .....	18
<b>Figura 2</b>	<i>Interfaz del laboratorio de ensayo de corte directo de Virtual Labs</i> .....	23
<b>Figura 3</b>	<i>Colocación de la probeta en la herramienta de corte</i> .....	24
<b>Figura 4</b>	<i>Rotura de la probeta</i> .....	24
<b>Figura 5</b>	<i>Datos obtenidos</i> .....	25
<b>Figura 6</b>	<i>Cinta de opciones de Inventor</i> .....	26
<b>Figura 7</b>	<i>Simulación realizada en Ansys 2021 R2 Student</i> .....	27
<b>Figura 8</b>	<i>Esfuerzos de tensión, compresión y corte</i> .....	28
<b>Figura 9</b>	<i>Fuerzas cortantes en una barra</i> .....	29
<b>Figura 10</b>	<i>Corte en un perno pasador que conecta dos placas</i> .....	30
<b>Figura 11</b>	<i>Corte doble en un perno</i> .....	31
<b>Figura 12</b>	<i>Diagrama de esfuerzo-deformación convencional y verdadero para un material dúctil</i> .....	32
<b>Figura 13</b>	<i>Diagrama esfuerzo cortante-deformación cortante</i> .....	33
<b>Figura 14</b>	<i>Diagrama esfuerzo deformación</i> .....	34
<b>Figura 15</b>	<i>Tipos de máquinas universales</i> .....	35
<b>Figura 16</b>	<i>Máquina de ensayos universal hidráulica</i> .....	36
<b>Figura 17</b>	<i>Corte directo doble en un remache</i> .....	37
<b>Figura 18</b>	<i>Corte en una viga homogénea de sección rectangular</i> .....	38
<b>Figura 19</b>	<i>Corte producido por carga torsionante</i> .....	38
<b>Figura 20</b>	<i>Herramienta Johnson de corte para ensayo de corte sencillo (a doble) de secciones redondas o rectangulares</i> .....	40
<b>Figura 21</b>	<i>Punzón para ensayo de corte en placas</i> .....	40
<b>Figura 22</b>	<i>Método de ensayo de corte de la madera en corte directo</i> .....	41
<b>Figura 23</b>	<i>Muestra de prueba para el ensayo de corte paralelo a la fibra</i> .....	42

<b>Figura 24</b>	<i>Configuración de la prueba de corte paralelo a la fibra</i>	43
<b>Figura 25</b>	<i>Equipo de ensayo para realizar ensayo de corte bajo carga de compresión</i>	45
<b>Figura 26</b>	<i>Medición de la probeta</i>	48
<b>Figura 27</b>	<i>Preparación del equipo de ensayo de corte de placa</i>	49
<b>Figura 28</b>	<i>Máquina universal con el equipo para ensayo de corte de placa</i>	49
<b>Figura 29</b>	<i>Aplicación de carga hasta la rotura en el ensayo de corte en una placa de acero dulce</i>	50
<b>Figura 30</b>	<i>Medición de la probeta</i>	53
<b>Figura 31</b>	<i>Preparación del equipo de ensayo de corte en varilla</i>	54
<b>Figura 32</b>	<i>Máquina universal con el equipo de ensayo de corte en varilla</i>	54
<b>Figura 33</b>	<i>Aplicación de carga hasta la rotura en el ensayo de corte doble en una varilla de acero dulce</i>	55
<b>Figura 34</b>	<i>Medición de la probeta</i>	58
<b>Figura 35</b>	<i>Preparación del equipo de ensayo de corte en una probeta de madera</i>	59
<b>Figura 36</b>	<i>Máquina universal con el equipo de ensayo de corte en una probeta de madera</i>	59
<b>Figura 37</b>	<i>Aplicación de carga hasta la rotura en el ensayo de corte simple en una probeta de madera</i>	60
<b>Figura 38</b>	<i>Características del acero dulce (ASTM A36)</i>	63
<b>Figura 39</b>	<i>Tensión YZ en Autodesk Inventor</i>	67
<b>Figura 40</b>	<i>Accesorios para el ensayo de corte de una placa</i>	67
<b>Figura 41</b>	<i>Modelo ensamblado para la simulación</i>	68
<b>Figura 42</b>	<i>Aplicación de carga</i>	68
<b>Figura 43</b>	<i>Restricción fija</i>	69

<b>Figura 44</b>	<i>Contactos establecidos</i> .....	69
<b>Figura 45</b>	<i>Probeta mallada</i> .....	70
<b>Figura 46</b>	<i>Tensiones cortantes YZ</i> .....	70
<b>Figura 47</b>	<i>Accesorios para el ensayo de corte en una varilla</i> .....	71
<b>Figura 48</b>	<i>Modelo ensamblado para la simulación</i> .....	72
<b>Figura 49</b>	<i>Aplicación de la carga</i> .....	72
<b>Figura 50</b>	<i>Restricciones aplicadas</i> .....	73
<b>Figura 51</b>	<i>Contactos de bloqueo establecidos</i> .....	73
<b>Figura 52</b>	<i>Contactos deslizantes/sin separación establecidos</i> .....	74
<b>Figura 53</b>	<i>Mallado de la probeta</i> .....	74
<b>Figura 54</b>	<i>Tensiones cortantes YZ</i> .....	75
<b>Figura 55</b>	<i>Accesorios para el ensayo de corte en madera</i> .....	76
<b>Figura 56</b>	<i>Modelo ensamblado para la simulación</i> .....	77
<b>Figura 57</b>	<i>Aplicación de carga</i> .....	78
<b>Figura 58</b>	<i>Restricción fija</i> .....	78
<b>Figura 59</b>	<i>Contactos deslizantes/sin separación establecidos</i> .....	79
<b>Figura 60</b>	<i>Contactos separación establecidos</i> .....	79
<b>Figura 61</b>	<i>Contacto de bloqueo establecido</i> .....	80
<b>Figura 62</b>	<i>Mallado de la probeta</i> .....	80
<b>Figura 63</b>	<i>Tensiones cortante YZ</i> .....	81

## Resumen

El presente trabajo de investigación se enfoca en obtener las propiedades mecánicas mediante ensayos de corte directo de los materiales acero dulce (ASTM A36) y madera (Pino Douglas) por medio del uso del laboratorio virtual “Virtual Labs” y del software CAD Autodesk Inventor, mediante el análisis de elementos finitos. Para lo cual se hace uso de probetas sometidas a corte directo simple y corte directo doble en concordancia de la norma IS 5242 (1979) y la norma IS 1708: Parte 11 (1986); ambas normas utilizadas en el laboratorio virtual. El uso del laboratorio virtual será respaldado por el empleo del software de simulación antes mencionado a partir de los valores entregados por el laboratorio virtual, para así obtener los resultados de resistencia al corte doble promedio en el caso del acero dulce y resistencia al corte simple promedio en el caso de la madera. Dichos valores obtenidos variaran en función de la geometría de la probeta, el material de fabricación y el valor máximo de carga entregado por el laboratorio virtual al momento de la rotura de las distintas probetas. Adicionalmente se verificarán dichos resultados por medio del software excel obteniendo bajos márgenes de error y comprobando los resultados del laboratorio en concordancia con los de la simulación.

Palabras clave:

- **ENSAYO DE MATERIALES**
- **CORTE DIRECTO**
- **AUTODESK INVENTOR**
- **LABORATORIO VIRTUAL**

### **Abstract**

The present research work focuses on obtaining the mechanical properties through direct shear tests of the materials mild steel (ASTM A36) and wood (Douglas Pine) through the use of the virtual laboratory "Virtual Labs" and the Autodesk Inventor CAD software, using finite element analysis. For which use is made of specimens subjected to simple direct shear and double direct shear in accordance with standard IS 5242 (1979) and standard IS 1708: Part 11 (1986); both standards used in the virtual laboratory. The use of the virtual laboratory will be supported by the use of the aforementioned simulation software based on the values provided by the virtual laboratory, in order to obtain the average double shear strength results in the case of mild steel and average single shear strength. in the case of wood. These values obtained will vary depending on the geometry of the specimen, the manufacturing material and the maximum load value delivered by the virtual laboratory at the time of the breakage of the different specimens. Additionally, these results will be verified by means of excel software, obtaining low margins of error and checking the results of the laboratory in accordance with those of the simulation.

Keywords:

- **MATERIAL TESTING**
- **DIRECT SHEAR**
- **AUTODESK INVENTOR**
- **VIRTUAL LABORATORY**



## Capítulo I

### 1. Generalidades

#### 1.1 Antecedentes

Dentro de las carreras técnicas e ingeniería es fundamental la práctica con equipos de laboratorio para lograr fortalecer y afianzar las temáticas aprendidas durante las clases. No obstante, durante los periodos académicos pueden ocurrir sucesos inesperados que limiten el acceso a los laboratorios, lo cual se traduce a grandes limitaciones en el proceso de formación de los estudiantes. (Lorandi Medina y otros, 2011)

Favorablemente es posible sustituir la falta de laboratorios gracias a la virtualización, el internet y las mejoras constantes de estas tecnologías además de nutrir al desarrollo de los entornos virtuales con nuevas características que favorecen a los estudiantes. (Lorandi Medina y otros, 2011)

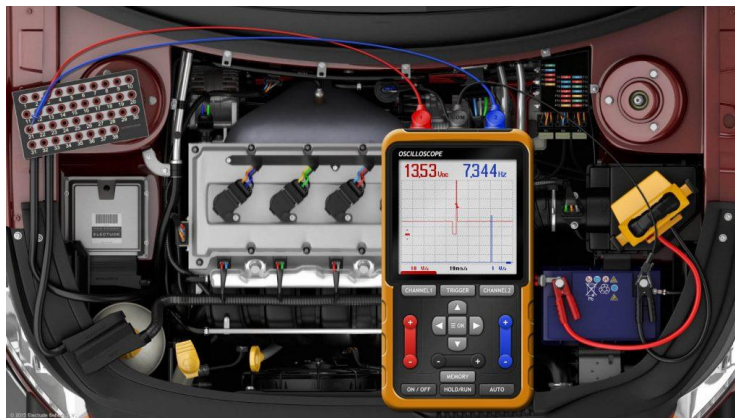
En el Ecuador el uso de las plataformas virtuales ha sido una tendencia generalizada en las instituciones de educación superior, con la llegada de la pandemia del COVID-19 dicha tendencia se ha extendido gracias al uso de aplicaciones como Meet, Zoom, Moodle entre otros. (Diario El Universo , 2021)

De tal forma varias universidades han realizado convenios con distintas empresas para la introducción de laboratorios virtuales como es la UTPPL con lo cual los estudiantes de dicha institución pueden continuar con su proceso de formación vía online con procedimientos certificados y de última tecnología. (Universidad Técnica Particular de Loja, 2021)

Dentro de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, el uso de laboratorios virtuales no ha sido muy extendido salvo el caso al inicio del primer periodo académico durante el confinamiento donde se hizo uso de la plataforma Electude la cual proporciona

un entorno interactivo en distintos cursos lleno de aplicaciones y animaciones para la enseñanza de los conceptos automotrices; logrando a ser una pieza fundamental en la consolidación de conocimientos prácticos. En la Figura 1 se puede observar la interfaz de la plataforma Electude mostrando el uso del osciloscopio en el motor.

**Figura 1**  
*Simulador automotriz Electude*



*Nota.* Adaptado de Simulador Automotriz de Electude es uno de los más avanzados.

[Imagen], por SENATI, 2020, Conexión Senati Blog

(<https://www.senati.edu.pe/conexionsenati/mas/estos-son-los-software-mas-avanzados-para-la-educacion-profesional-tecnica-virtual/>) Copyright.

Existen evidencias acerca de la utilización de software CAD para la complementación de laboratorios para el proceso de aprendizaje con el objetivo de fortalecer los conocimientos teóricos adquiridos en el aula de clase todo esto por medio de la creación de guías de procedimientos de modelado en tres dimensiones (3D), practicas simuladas y diagramas eléctricos. (Cunalata Toapanta, 2015)

Las simulaciones usadas en los laboratorios virtuales para ingeniería nacen a partir de métodos numéricos los cuales dan cabida a la realización de ensayos experimentales con el uso de un computador para describir la conducta de fenómenos o sistemas naturales, físicos, químicos en función de la variable tiempo. (Aguilar Juárez & HEREDIA ALONSO, 2013)

El uso de estas tecnologías puede suponer grandes ventajas en comparación al uso de laboratorios reales principalmente en términos de costos y mantenimiento de las maquinas usadas para dichos propósitos. Todo esto teniendo en cuenta los estragos producidos por pandemia del COVID-19 que ha afectado a la economía del país en general.

La pandemia del COVID-19 ha traído efectos negativos al mundo entero en especial al sector educativo y de salud, lo cual provocó el cierre a gran escala de las actividades presenciales en centros educativos en más de 190 países con el fin de evitar el contagio del virus. (Comisión Económica para América Latina y el Caribe, 2020)

A partir de ellos con el objetivo de no frenar la preparación académica de los estudiantes ecuatorianos se optó por continuar con las actividades por medio de las clases virtuales haciendo uso de plataformas como son Zoom o Google Meet. Lo cual ha permitido un avance en cuanto a los conocimientos teóricos de las carreras de ingeniería, pero dejando grandes vacíos en los conocimiento prácticos y experimentales.

Esto plantea la necesidad de realizar cambios en el enfoque de la educación virtual y es en donde la incorporación de los laboratorios virtuales en carreras técnicas e ingenierías pueden convertirse en una solución a los efectos producidos por la pandemia del COVID-19 como es el peligro de contagio por las aglomeraciones en centros educativos; convirtiéndose en una alternativa didáctica accesible para muchos estudiantes.

En caso de no realizar estos cambios los perjudicados serían los estudiantes al no poder contar con las herramientas de aprendizaje necesarias para su formación.

## **1.2 Planteamiento del problema**

¿Se puede determinar las propiedades mecánicas de los materiales sometidos a corte directo bajo normas utilizando laboratorios virtuales y software CAD?

### **1.3 Justificación e importancia**

La importancia de realizar este proyecto de investigación se radica en la necesidad de crear nuevas herramientas profesionales y pedagogías dentro del área de ensayos de mecánica de los materiales.

Esta investigación podrá beneficiar a estudiantes e ingenieros con la realización de ensayos con valores bastante aproximados a los reales que al mismo tiempo servirá de capacitación acerca del procedimiento a realizar.

Entre las razones mencionada anteriormente también se debe tomar en cuenta el escenario actual mundial de la pandemia del covid-19 el cual a generado que dentro de los centros educativos no se permitan las reuniones ni aglomeraciones debido al peligro de contagio, dentro de este contexto no es plausible que los estudiantes sean capaces de acceder al conocimiento de forma adecuada, por lo cual la investigación también los beneficiará.

### **1.4 Objetivos**

#### **1.4.1 *Objetivo general***

Determinar las propiedades mecánicas de los materiales sometidos a corte directo bajo normas utilizando laboratorios virtuales y software CAD.

#### **1.4.2 *Objetivos específicos***

- Determinar las propiedades mecánicas del acero dulce y madera sometidos a corte directo bajo normas utilizando laboratorios virtuales.
- Determinar las propiedades mecánicas del acero dulce y madera sometidos a corte directo bajo normas utilizando software CAD.

## **1.5 Hipótesis**

La utilización de los laboratorios virtuales y software CAD serán viables para determinar las propiedades mecánicas de los materiales sometidos a corte directo 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 sometidos a esfuerzo de corte directo bajo normas.

## Capítulo II

### 2. Marco teórico

#### 2.1 Laboratorios virtuales

Los laboratorios virtuales se definen como sistemas computacionales en los cuales es posible simular laboratorios convencionales, siguiendo el mismo procedimiento y secuencia, ofreciendo además la visualización de los fenómenos estudiados en el laboratorio con animaciones dinámicas, las herramientas a usar, siendo estos programados en Java, PHP, Flash, entre otros. (Lorandi Medina y otros, 2011)

Dentro de la gran variedad de laboratorios virtuales de resistencia de materiales se destaca Virtual Labs, un software que aparece como una iniciativa del ministerio de educación de la India, desarrollado para el instituto nacional de tecnología de Karnataka, Suranthkal (Virtual Labs, 2021)

Dicho laboratorio virtual es el escogido para este proyecto de investigación.

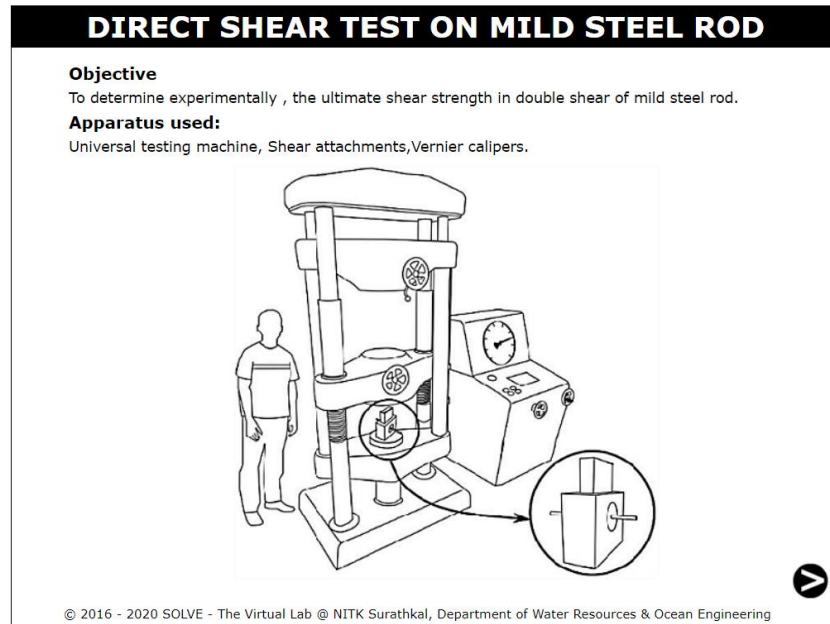
El laboratorio está disponible para el público vía navegador web y se encuentra en idioma inglés, y con las respectivas normativas pertinentes para los distintos ensayos, además cuenta con una completa lista de experimentos entre los cuales se encuentra los ensayos de corte directo para materiales.

Dentro del simulador se cuentan con distintas aplicaciones interactivas para comprender el proceso a seguir para la realización de los ensayos tal como se presenta en la Figura 2 la interfaz para el ensayo de corte directo en una varilla de acero dulce.

**Figura 2**

*Interfaz del laboratorio de ensayo de corte directo de Virtual Labs*

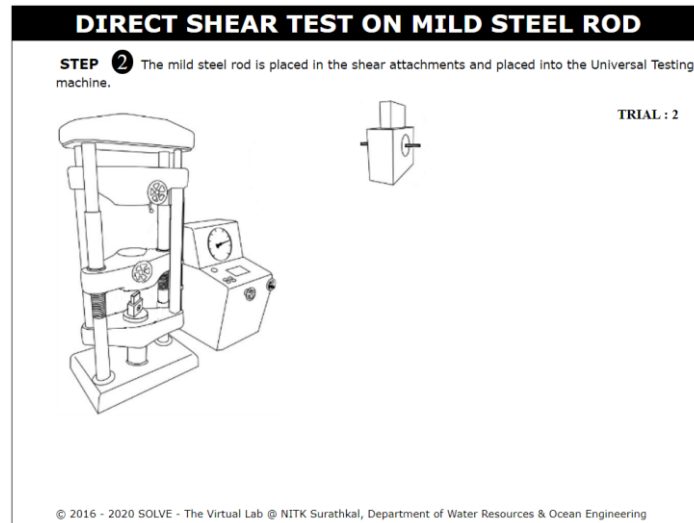
Simulator



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

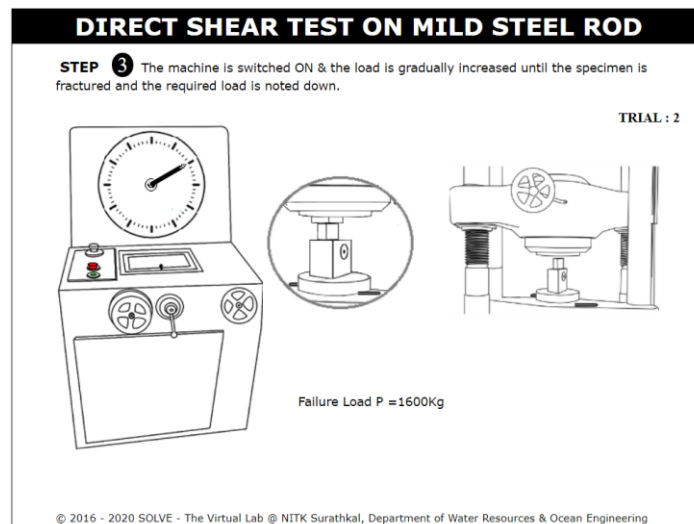
Dentro del simulador se encuentra el procedimiento detallado desde la medición de la probeta a ensayar, la colocación de probeta en las herramientas de corte como se aprecia en la Figura 3 y sobre la máquina universal para ensayos. Además, la activación de la carga, el valor de fuerza aplicada hasta la rotura de la misma como se aprecia en la Figura 4 y finalmente un resumen de los valores obtenidos al realizar la prueba como se aprecia en la Figura 5.

**Figura 3**  
Colocación de la probeta en la herramienta de corte



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

**Figura 4**  
Rotura de la probeta



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



**Figura 5**  
*Datos obtenidos*

<b>DIRECT SHEAR TEST ON MILD STEEL ROD</b>			
<b>STEP 4</b> Calculate the double shear strength on mild steel rod.			
TRIAL : 1			
Diameter(mm)	Area of cross-section ( $A=nd^2/4$ ) mm <sup>2</sup>	Failure Load P (kg)	Double Shear Strength ( $P * 9.81$ )/2 A (N/mm <sup>2</sup> )
5.91	27.42	1300	232.55

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

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

De igual forma el proceso detallado para los ensayos de corte directo en madera y para corte directo en una placa de acero dulce se detallan en el laboratorio virtual. Dichos ensayos se repiten con probetas de iguales características para al final obtener un valor promedio de esfuerzo de corte de todos los ensayos y materiales.

## 2.2 Software CAD

El software CAD (Diseño asistido por computador) dentro del ámbito de la ingeniería brinda una gran cantidad de herramientas desde la representación de piezas o ensamblajes para su diseño y fabricación, hasta el análisis y simulación por medio de elementos finitos. Por lo cual el software CAD se convierte en una gran forma de análisis para determinar el comportamiento que tendrá un producto antes de que este sea llevado a la vida real. (Rojas Lazo & Rojas Rojas, 2006)

En el caso de este proyecto de investigación, se propone utilizar los softwares

Anys y Autodesk Inventor para las simulaciones respectivas de los ensayos de corte directo.

### 2.2.1 SOLIDWORKS

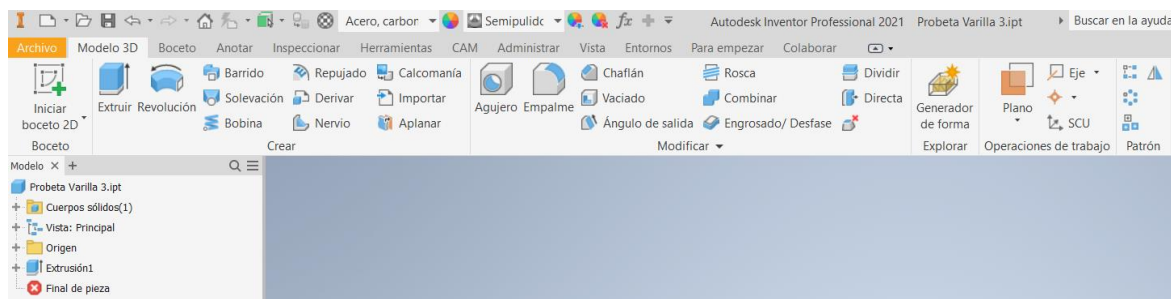
SOLIDWORKS es un software de diseño asistido por computador (CAD) que permite el modelado 3D de piezas y ensamblajes, además de planos en 2D. Además de aquello dicho software presente una gran variedad de características con las que soluciona todo el proceso que implica el desarrollo de un producto, entre dichas características están, el diseño, simulación, fabricación, publicación y gestión de datos involucrados en dichos procesos. (SOLIDBI, 2018)

### 2.2.2 Autodesk Inventor

Autodesk Inventor es un software CAD el cual ofrece una variedad de herramientas con el fin de realizar la fabricación de un producto, entre dichas herramientas se encuentran herramientas de diseño de estructuras, tuberías y transmisión de potencia.

Las funcionalidades de inventor se basan en el diseño de piezas a partir de sus características y operaciones los cuales comienzan por medio de bocetos en dibujos 2D y terminan con la realización de planos para su producción. (NKE, 2021) Dichas herramientas se pueden presentar en la Figura 6.

**Figura 6**  
*Cinta de opciones de Inventor*



*Nota.* En la figura se puede observar las operaciones que permite realizar inventor en el

apartado de modelado 3D

La razón de usar el Software Autodesk Inventor como una de las alternativas radica en la licencia estudiantil que brinda el programa para estudiantes de ingeniería.

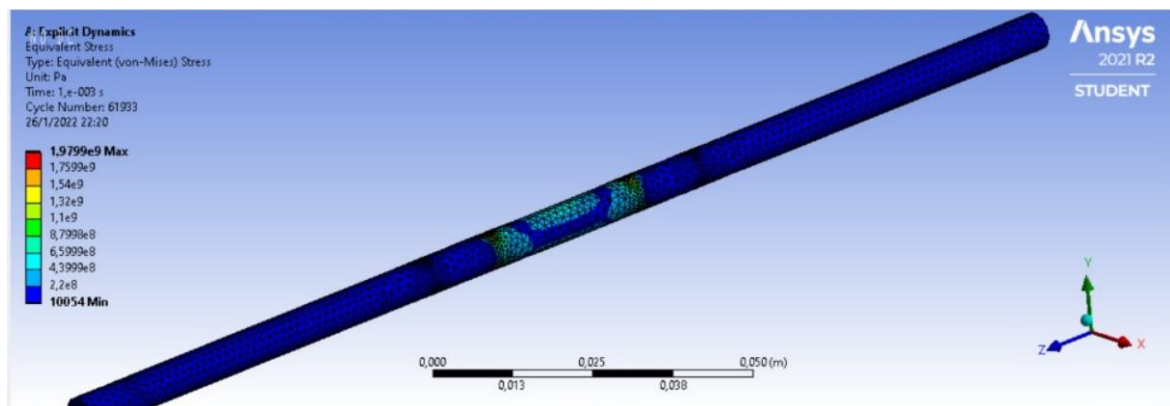
Es posible realizar la simulación del ensayo de corte dentro de la herramienta de análisis estático y con la consiguiente aplicación de cargas en las ubicaciones que se plantearán más adelante y la determinación de los materiales de las herramientas de corte y de las probetas.

### 2.2.3 Ansys

Ansys es un software CAE (Ingeniería asistida por computador) especializado en el análisis y simulación con FEA (Análisis de Elementos Finitos), este software nos permite ejecutar análisis a piezas o ensamblajes de diseño mecánico e ingeniería los cuales se encuentran bajo una serie de fenómenos físicos. (nys Navarro y Soler CAD-PLM Software, 2016) Se puede apreciar un ejemplo de simulación en la Figura 7.

#### Figura 7

*Simulación realizada en Ansys 2021 R2 Student.*



*Nota.* En la figura se puede observar los resultados de una simulación de esfuerzo realizados en el software Ansys.

### 2.3 Propiedades mecánicas

Según (Askeland y otros, 2013) Las propiedades mecánicas de los materiales son características dependientes en gran parte de la composición, microestructura del

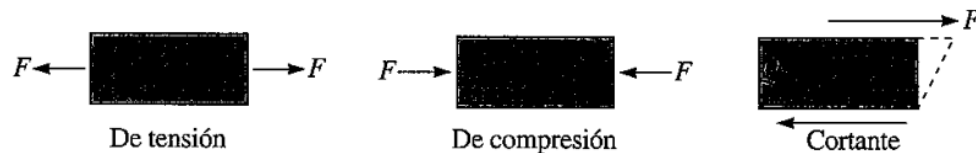
material, la naturaleza de los enlaces, la estructura cristalina y los defectos que presentan. Todas estas características influyen en la resistencia y ductilidad de los materiales metálicos. A partir de ello se generan los distintos conceptos definidos como las propiedades mecánicas que son dureza, esfuerzo deformación, deformación elástica y plástica entre otros.

### 2.3.1 Esfuerzo

Se puede definir al esfuerzo como el valor de la fuerza la cual es aplicada en una unidad de área. Se lo expresa generalmente en libras por pulgada cuadrada (psi) o en Pascales (Pa). (Askeland y otros, 2013) Principalmente se pueden considerar tres tipos de esfuerzos principales, los cuales se aprecian en la Figura 8.

**Figura 8**

*Esfuerzos de tensión, compresión y corte.*



*Nota.* Tomado de Ciencia e ingeniería de materiales (p.199), por D. R. Askeland y otros, 2013, CENGAGE Learning

### 2.3.2 Deformación unitaria

El concepto deformación unitaria se explica como la variación de una dimensión determinada en función de una unidad de longitud. La deformación unitaria no posee dimensión, pero generalmente se lo expresa en pulg/pulg o cm/cm (Askeland y otros, 2013)

### 2.3.3 Esfuerzos normales

El esfuerzo normal se define cuando la fuerza se aplica de manera perpendicular al área sometida a dicho esfuerzo, dentro de estos tipos de esfuerzo se encuentran los esfuerzos de tensión y esfuerzos de compresión. (Askeland y otros, 2013)

Los esfuerzos de tensión generan en la dirección de la aplicación de la fuerza una elongación, contrario a los esfuerzos de compresión que en dirección a la fuerza generan acortamiento. (Askeland y otros, 2013) Se puede obtener a partir de:

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad (1)$$

Donde:

*P*: Carga axial expresada en newtons (*N*)

*A*: Área transversal expresada en metros cuadrados ( $m^2$ )

$\sigma$ : Esfuerzo expresado en  $\frac{N}{m^2}$  denominado pascal (*Pa*)

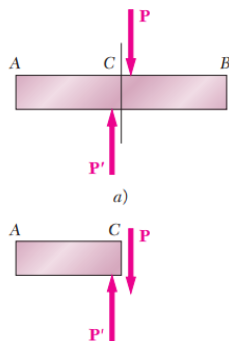
#### 2.3.4 Esfuerzo cortante

El esfuerzo cortante contrario a los esfuerzos normales se define como la fuerza aplicada de manera paralela al área sometida a dicho esfuerzo. (Askeland y otros, 2013)

El esfuerzo cortante se obtiene considerando la aplicación de fuerzas transversales *P* y *P'* en una barra *AB*, tal como se muestra en la Figura 9. Al realizar un corte en el punto *C* se determina que existen fuerzas internas dentro del plano de la sección, cuyo valor es igual a *P* y tienen el nombre de fuerzas cortantes. (Beer y otros, 2010)

#### Figura 9

*Fuerzas cortantes en una barra*



*Nota.* Adaptado de Mecánica de materiales (p.9), por Beer y otros, 2010, McGrawHill Education.

Al dividir la fuerza cortante  $P$  entre el área de la sección transversal se obtiene el esfuerzo cortante simple promedio  $\tau_{prom}$ .

$$\tau_{prom} = \frac{P}{A} \quad (2)$$

$P$ : Carga cortante expresada en newtons (N)

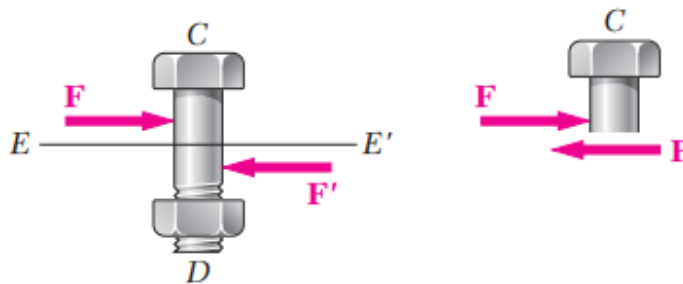
$A$ : Área transversal expresada en metros cuadrados ( $m^2$ )

$\tau_{prom}$ : Esfuerzo cortante promedio expresado en  $\frac{N}{m^2}$  denominado pascal (Pa)

De igual manera el mismo principio se aplica a pernos o remaches tal como se aprecia en la Figura 10.

### Figura 10

Corte en un perno pasador que conecta dos placas



*Nota.* Adaptado de Mecánica de materiales (p.10), por Beer y otros, 2010, McGrawHill Education.

Con lo cual se puede obtener la siguiente expresión.

$$\tau_{prom} = \frac{P}{A} = \frac{F}{A} \quad (3)$$

$P$  y  $F$ : Carga cortante expresada en newtons (N)

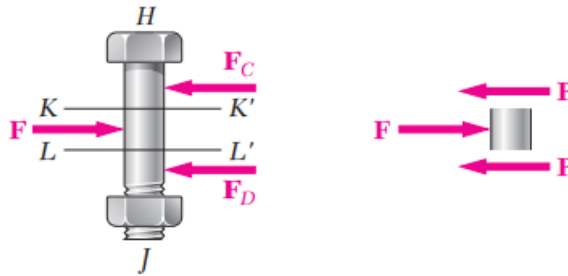
$A$ : Área transversal expresada en metros cuadrados ( $m^2$ )

$\tau_{prom}$ : Esfuerzo cortante simple promedio expresado en  $\frac{N}{m^2}$  denominado pascal (Pa)

En caso de tener dos apoyos al momento de ejercer la fuerza transversal o en su defecto dos fuerzas paralelas contrarias a la fuerza ejercida, se dice que la pieza se

encuentra en corte doble. Se realiza un diagrama de cuerpo libre de las fuerzas ubicadas entre los planos tal como se aprecia en la Figura 11.

**Figura 11**  
*Corte doble en un perno*



*Nota.* Adaptado de Mecánica de materiales (p.11), por Beer y otros, 2010, McGrawHill Education.

Con lo cual se obtiene la siguiente expresión de esfuerzo cortante doble promedio:

$$\tau_{prom} = \frac{P}{A} = \frac{F/2}{A} = \frac{F}{2A} \quad (4)$$

*P:* Carga cortante expresada en newtons (N)

*A:* Área transversal expresada en metros cuadrados ( $m^2$ )

$\tau_{prom}$ : Esfuerzo cortante doble promedio expresado en  $\frac{N}{m^2}$  denominado pascal (Pa)

### 2.3.5 Deformación elástica

La deformación elástica se define cuando la deformación es recuperable la cual es el resultado de la aplicación del esfuerzo. Se considera la deformación como elástica cuando se desarrolla de manera instantánea o mientras se aplique el esfuerzo, y recupera su forma original cuando el esfuerzo deja de ser aplicado. (Askeland y otros, 2013)

### 2.3.6 Curva esfuerzo deformación

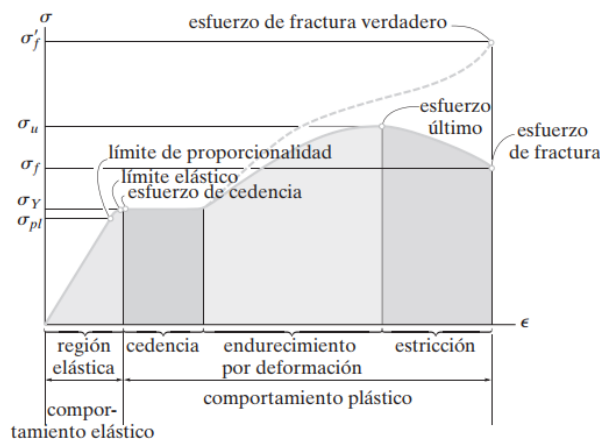
La curva esfuerzo deformación se define como un diagrama en donde se representa gráficamente la relación entre el esfuerzo y la deformación de un material. La obtención de este diagrama es gracias al ensayo de tensión realizado en una probeta fabricada del material a caracterizar. (Beer y otros, 2010)

Los diagramas varían dependiendo de muchos factores como puede ser la tensión del ensayo, temperatura de la probeta y velocidad de aplicación de la carga. Gracias a lo cual se pueden dividir los materiales en dos grupos, los materiales dúctiles y los materiales frágiles. (Beer y otros, 2010)

En la Figura 12 se puede apreciar la curva esfuerzo deformación para el acero.

#### Figura 12

*Diagrama de esfuerzo-deformación convencional y verdadero para un material dúctil.*



*Nota.* Adaptado de Mecánica de materiales (p.84), por Hibbeler, 2011, PEARSON EDUCACIÓN

### 2.3.7 Módulo de Young

El módulo de Young (E), también conocido como módulo de elasticidad se puede definir como la pendiente que existe en la curva esfuerzo de tensión-deformación durante la zona lineal. Este valor se puede medir en libras por pulgada cuadrada (psi) o en



pascales (Pa) (Askeland y otros, 2013)

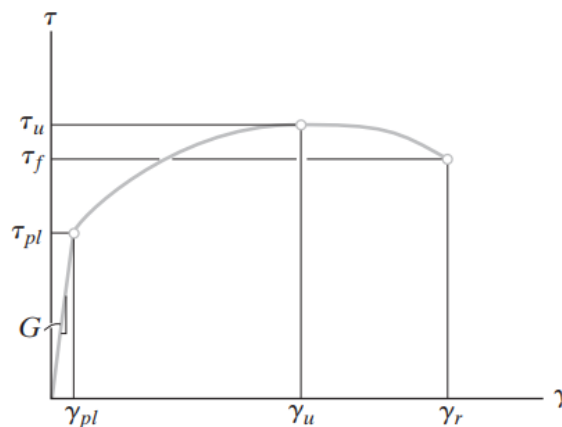
### 2.3.8 Módulo cortante

El módulo cortante (G) se lo puede definir como la pendiente que existe en la curva esfuerzo cortante-deformación cortante. (Askeland y otros, 2013)

Se puede determinar el comportamiento de un material sometido a corte puro por medio del ensayo de torsión, con lo cual es posible graficar el diagrama esfuerzo cortante-deformación cortante. (Hibbeler, 2011) Tal como se aprecia en la Figura 13.

#### Figura 13

Diagrama esfuerzo cortante-deformación cortante



Nota. Adaptado de Mecánica de materiales (p.104), por Hibbeler, 2011, PEARSON EDUCACIÓN

Tal como se aprecia en la siguiente ecuación las 3 constantes de un material se relacionan por:

$$G = \frac{E}{2(1 + \nu)} \quad (5)$$

Donde:

$G$ : Módulo Cortante expresado en  $N/m^2$  denominado pascal(Pa)

$E$ : Módulo de Young expresado en  $N/m^2$  denominado pascal(Pa)

$\nu$ : Coeficiente de Poisson

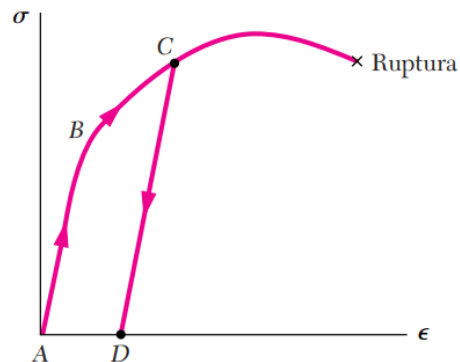
### 2.3.9 Deformación plástica

La deformación plástica se define como la deformación permanente de un material. Esta deformación aparece cuando al retirar el esfuerzo el material no recupera su forma original (Askeland y otros, 2013).

Como se parecía en la Figura 14 si el esfuerzo aplicado supera el punto de cedencia C y la deformación no regresa a sus condiciones iniciales indica que el material se a deformado permanentemente. Sobrepasando dicho punto se encuentra el punto de ruptura que representa la fractura del material. (Beer y otros, 2010)

#### Figura 14

Diagrama esfuerzo deformación



Nota. Adaptado de Mecánica de materiales (p.58), por Beer y otros, 2010, McGrawHill Education.

### 2.3.10 Rapidez de deformación

La rapidez de deformación se define como la rapidez a la cual un material se deforma, las unidades en las que se expresa son ( $s^{-1}$ ) (Askeland y otros, 2013)

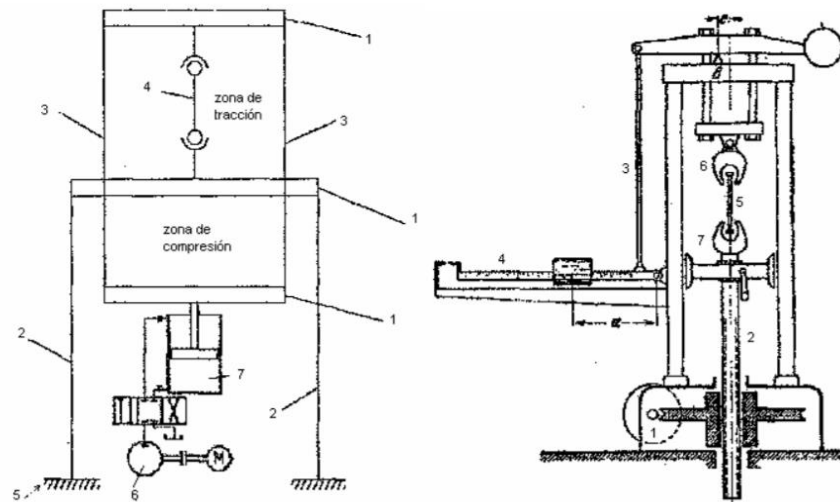
### 2.3.11 Máquina universal de ensayos

Una máquina de ensayos se define como un dispositivo que se utiliza en la determinación de las propiedades de los materiales, en esta máquina se pueden realizar ensayos a partir de probetas o muestras de un material sometiéndolas a esfuerzos de compresión, tracción flexión, entre otros. Para este fin las probetas son sujetadas por

mordazas para evitar su movimiento antes de la aplicación de la carga. (Alarcon Pupiales, 2018)

Existen principalmente dos tipos de máquinas universales, las cuales se diferencian en su accionamiento. Este puede ser tanto accionamiento hidráulico el cual se basa en el uso de un sistema de bomba y cilindro o accionamiento mecánico el cual se basa en el uso de un motor eléctrico y tornillos de potencia. El esquema de ambos tipos de funcionamiento se puede apreciar en la Figura 15. (Gallego Botero & Claros Claros, 2007)

**Figura 15**  
*Tipos de máquinas universales*



*Nota.* En la izquierda se aprecia el esquema de funcionamiento de una máquina universal del tipo hidráulico y a la derecha una del tipo mecánico Tomado de Diseño mecánico de una máquina universal de ensayos para polímeros (p.28), por Gallego Botero & Claros Claros, 2007, Universidad Tecnológica de Pereira.

Actualmente existen máquinas universales que combinan ambas tecnologías y que son ampliamente comercializadas. Por lo general una máquina de ensayos hidráulica cuenta con un indicador dinamométrico, una estructura metálica y un panel de control. Estas máquinas pueden ser accionadas por cadena o tonillo sin fin para la

realización de los ensayos. (Gallego Botero & Claros Claros, 2007) Incluso también existen otras que cuentan con un software propio incluido para facilitar la obtención de los datos tal como se muestra en la Figura 16.

**Figura 16**  
*Máquina de ensayos universal hidráulica*



*Nota.* Adaptado de Máquina de ensayo universal hidráulica – Serie IBMU4. [Fotografía], por S.A.E IBERTEST, 2013, ibertest ADVANCED TESTING SOLUTIONS (<https://www.ibertest.es/products/maquina-de-ensayos-universal-hidraulica-serie-ibmu4/>) Copyright.

La estructura de la maquina universal se basa en vigas fijas verticales y vigas horizontales móviles que viene a denominarse cabezal intermedio, el cual por medio de tornillos de potencia convierten el movimiento giratorio en lineal desplazándolo hacia arriba o hacia abajo dependiendo el tipo de modelo, de esta forma obteniendo una gran ventaja mecánica lo cual permite la aplicación de grandes cargas. (Gallego Botero & Claros Claros, 2007)

## 2.4 Ensayo de corte directo

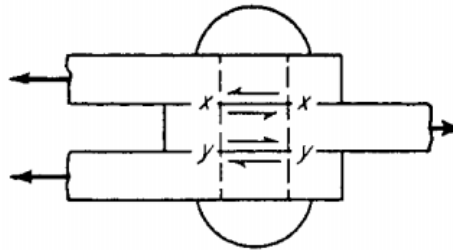
### 2.4.1 Comportamiento de los materiales bajo esfuerzo de corte

El esfuerzo de corte actúa paralelamente a un plano de aplicación, existen ciertas cargas que producen las condiciones de corte que son de interés durante el ensayo, las cuales se detallan a continuación.

Las fuerzas resultantes de la aplicación de fuerzas opuestas pero paralelas actúan en los centroides de las secciones que están espaciadas con distancias infinitamente pequeñas, en este caso se considera que las secciones están sometidos a esfuerzo de corte uniforme. Un ejemplo se puede apreciar en la Figura 17.

#### Figura 17

*Corte directo doble en un remache*

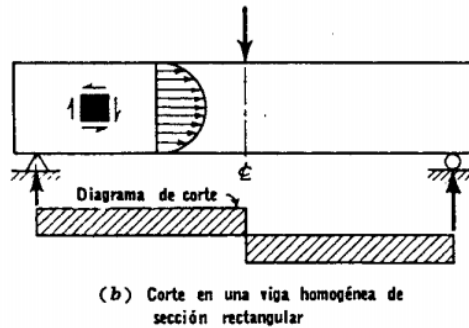


*Nota.* En la figura podemos considerar que el corte directo se genera dentro del remache en los planos  $xx$  y  $yy$ . Tomado de Ensayo e inspección de los materiales de ingeniería (p.200), por Davis y otros, 1982, Editorial Continental

Las fuerzas que se aplican son paralelas entre sí, pero actúan normalmente a un eje longitudinal, estando espaciadas a distancias finitas. Por lo cual se producen esfuerzos flexionantes. En la Figura 18 se puede apreciar un ejemplo tomando en cuenta una viga rectangular.

**Figura 18**

*Corte en una viga homogénea de sección rectangular.*

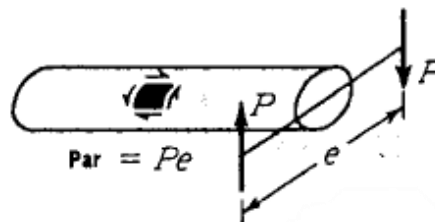


*Nota.* Los esfuerzos cortantes sobre secciones transversales varían su intensidad desde cero en las superficies inferiores y superiores hasta un valor máximo en el eje neutro. Tomado de Ensayo e inspección de los materiales de ingeniería (p.200), por Davis y otros, 1982, Editorial Continental

Las fuerzas que se aplican son opuestas y paralelas, pero no se encuentran en un plano que contenga al eje longitudinal del cuerpo, por lo cual se establece un par que produce torsión alrededor del eje longitudinal. En la Figura 19 se puede apreciar un ejemplo con una pieza sometida a un torque.

**Figura 19**

*Corte producido por carga torsionante*



*Nota.* Los esfuerzos cortantes de torsión sobre la sección transversal varían desde cero en el eje de torsión hasta un valor máximo en las fibras extremas. Tomado de Ensayo e inspección de los materiales de ingeniería (p.200), por Davis y otros, 1982, Editorial Continental

En el caso del presente proyecto la carga a la cual tomará el principal interés en

la investigación es la carga que produce la condición de corte directo.

#### **2.4.2 Objeto y aplicabilidad de los ensayos de corte**

El ensayo de corte directo se realiza sujetando un prisma del material a través de un plano a lo largo del cual la carga cortante se aplique, de tal forma que los esfuerzos flexionantes sean mínimos. Dicho método permite obtener la resistencia al esfuerzo de principalmente en remaches, pernos de palanca y bloques de madera. (Davis y otros, 1982)

Se debe tener en cuenta que debido a la flexión o la fricción entre las piezas de la herramienta el valor obtenido es un aproximado y no el real. Por lo cual la fiabilidad de los datos dependerá en gran parte de la dureza y el filo de los bordes de las placas en donde descansa la probeta. (Davis y otros, 1982)

El ensayo de corte así mismo es inútil para determinar datos acerca de la resistencia elástica y el módulo de rigidez debido a que no es posible medir las deformaciones que produce dicho ensayo. (Davis y otros, 1982)

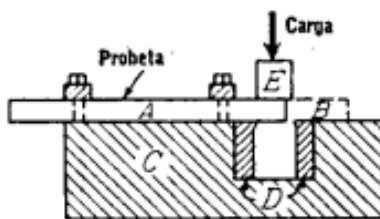
#### **2.4.3 Ensayo de corte directo**

Para la realización del ensayo se coloca una barra sobre un dispositivo que apriete o asegure el espécimen durante el ensayo, a continuación, una parte de la probeta es sometida a carga por medio de dados con características adecuadas para soportar las cargas a las que son sometidas. (Davis y otros, 1982)

La herramienta cortante tipo Johnson permite usar una barra de sección rectangular de 1x2 pulgadas o varillas cilíndricas de 1 pulgada de diámetros. En la Figura 20 se puede apreciar la herramienta con la probeta.

### Figura 20

*Herramienta Johnson de corte para ensayo de corte sencillo (a doble) de secciones redondas o rectangulares*



*Nota.* Tomado de Ensayo e inspección de los materiales de ingeniería (p.208), por Davis y otros, 1982, Editorial Continental

La fuerza que se aplica en el dado E rompe la probeta con un corte simple, si se extiende la probeta hasta el punto B, se tendrá un corte doble. Para la aplicación de la carga se puede utilizar una maquina universal para ensayos mecánico (Davis y otros, 1982)

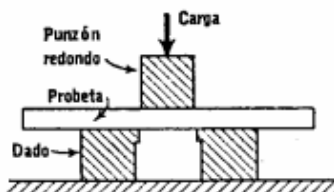
En caso de utilizar un equipo Johnson se debe tener en cuenta que la probeta se extienda adecuadamente por debajo de la carga E. De igual manera si se realiza un ensayo de corte doble en el lado B este debe asentarse correctamente sobre a ambos lados del dado D. (Davis y otros, 1982)

Los dados y herramientas se fabrican de acero templado con esquinas afiladas.

Para placas metálicas se utilizan punzones redondeados tal como se puede ver en la Figura 21.

### Figura 21

*Punzón para ensayo de corte en placas*



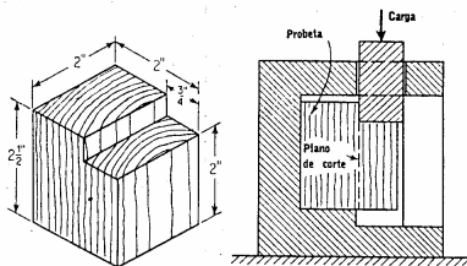
*Nota.* Tomado de Ensayo e inspección de los materiales de ingeniería (p.208), por Davis y otros, 1982, Editorial Continental



Para la realización de ensayos de esfuerzo directo en madera se utilizan una herramienta y probeta especial tal como se ve en la figura 12. Siguiendo la norma ASTM D143. La falla suele suscitarse en el plano de corte mostrado en la Figura 22. (Davis y otros, 1982)

### Figura 22

*Método de ensayo de corte de la madera en corte directo*



*Nota.* Tomado de Ensayo e inspección de los materiales de ingeniería (p.210), por Davis y otros, 1982, Editorial Continental

Para la realización del ensayo, el dispositivo debe sostener firmemente la probeta y al mismo tiempo mantener una buena alineación. La carga se aplica de forma perpendicular y uniforme al eje de la pieza.

La velocidad de aplicación de la carga no debe ser superior a 0.05 pulg/min en metales, piedra y concreto, y de 0.0024 pulg/min en madera.

Con la realización del ensayo de corte directo, es posible obtener el valor crítico de la carga máxima  $P$ , la cual está sometida sobre un área transversal  $A$ , se tiene que la resistencia promedio a corte es  $P/A$ . (Davis y otros, 1982)

### 2.5 Normativas para ensayos de corte directo

Los ensayos de corte directo que han sido normalizados únicamente son los de corte directo de la madera y la piedra para la construcción, por lo cual muy pocas veces se utilizan como ensayos de aceptación. (Davis y otros, 1982)

Las normas usadas en los laboratorios virtuales son de origen hindú, las cuales tiene su correspondencia en normas internacionales como son la norma ASTM.

### 2.5.1 Normativa ASTM D 143 - 14

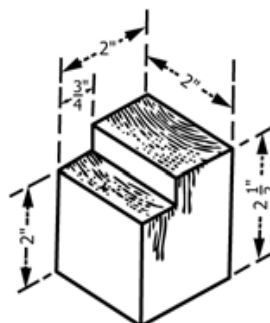
Esta norma especifica un método para realizar el ensayo de corte en madera paralelo a la veta, la cual ha sido ampliamente usada y con resultados satisfactorios.

(American Society for Testing and Materials, 2014)

Tamaño de las muestras: Los ensayos de cizallamiento paralelo a la veta se deben realizar en una superficie de 2 x 2 x 2 ½ pulgadas con su respectiva muesca tal como se aprecia en la Figura 23 con el fin de obtener un área de falla de 2 x 2 pulgadas. Se deben medir las dimensiones reales de la superficie de corte. (American Society for Testing and Materials, 2014)

#### Figura 23

*Muestra de prueba para el ensayo de corte paralelo a la fibra*



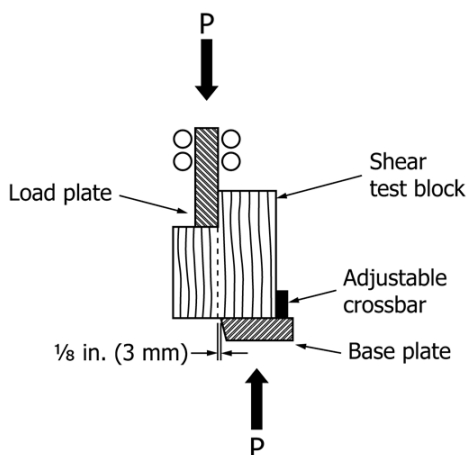
Metric Equivalents			
in.	¾	2	2½
mm	20	50	63

*Nota.* Tomado de Standard Test Methods for Small Clear Specimens of Timber (ASTM D143-14) (p.16), por American Society for Testing and Materials, 2014, ASTM International

Procedimiento: Se debe hacer uso de una herramienta de corte que proporcione un desplazamiento de 1/8 pulgadas entre el borde inferior de la superficie de apoyo y el plano del borde adyacente de la probeta en donde se aplica la carga tal como se aprecia en la Figura 24.

**Figura 24**

*Configuración de la prueba de corte paralelo a la fibra*



*Nota.* Tomado de Standard Test Methods for Small Clear Specimens of Timber (ASTM D143-14) (p.16), por American Society for Testing and Materials, 2014, ASTM International

Se aplica la carga de forma que esta se apoye la en las superficies de los extremos de la probeta. Se toma en cuenta únicamente la carga máxima. (American Society for Testing and Materials, 2014)

Mediciones: Las mediciones de las muestras de ensayo se deben realizar con una precisión de no menos del 0.3%, excepto en caso de que las mediciones realizadas sean menores de 0.01 pulg. (0.25 mm). (American Society for Testing and Materials, 2014)

Contenido de humedad: Se debe tomar una la porción de la pieza de prueba como muestra de humedad. (American Society for Testing and Materials, 2014)

### **2.5.2 Normativa IS: 1708 (Parte 11) – 1986**

La normativa a la cual hace referencia el laboratorio virtual de ensayo de corte directo en una probeta de madera es la IS: 1708 (Parte11) – 1986 Métodos de ensayo de pequeñas muestras claras de madera. Parte 11 Determinación del esfuerzo de corte paralelo a la veta. Dicha norma tiene concordancia con la norma ASTM D143. (Indian

Standard Institution, 2005)

Esta norma cubre el método para determinar la resistencia al corte paralelo a la veta de la madera.

Tasa de carga: La carga debe ser aplicada continuamente durante el ensayo de forma que el dado en donde se aplica la carga se desplace a una velocidad de 0.4mm por minuto (Indian Standard Institution, 2005)

Se debe registrar la carga máxima necesaria para cortar el área. La carga dividida por el área da el esfuerzo cortante máximo en el plano en cuestión. (Indian Standard Institution, 2005)

### **2.5.3 Normativa IS: 5242 – 1979**

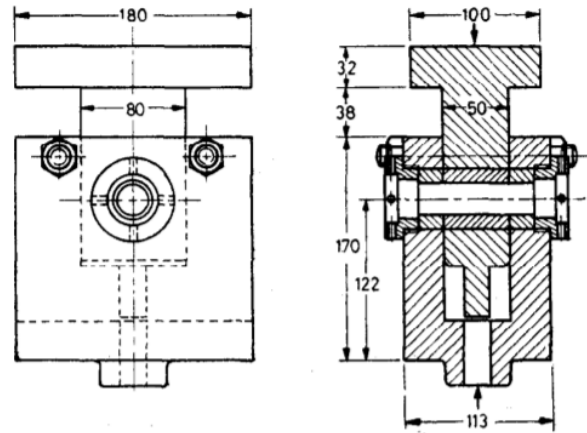
La normativa a la cual hace referencia el laboratorio virtual de ensayo de corte directo en una placa de acero dulce y del ensayo de corte directo en una varilla de acero dulce es la IS: 5242 - 1979 - Métodos de ensayo para determinar la resistencia al corte de los metales. Dicha norma tiene concordancia con las normas UNE 7246 - 74 y la DIN 50141:1982-01, siendo ambas normas las vigentes actualmente (SAI GLOBAL, 2021)

Esta norma establece el método para el ensayo de corte de productos metálicos cilíndricos, como alambres y varillas de estampación en frío y pasadores. (Indian Standard, 2006)

Principio del Ensayo: La resistencia al corte se determina insertando la probeta cilíndrica a través de orificios redondo en tres bloques de acero endurecido, al bloque del medio se le aplica carga a través de una maquina universal entre los otros dos bloques para cortar la probeta en dos planos tal como se muestra en la Figura 25. (Indian Standard, 2006)

**Figura 25**

*Equipo de ensayo para realizar ensayo de corte bajo carga de compresión*



All dimensions in millimetres.

*Nota.* Tomado de Method of test for determining shear strenght of metals (IS 5242-1979) (p.6), por Indian Standard, 2006, INDIAN STANDARDS INSTITUTION.

El ensayo consiste en someter una longitud adecuada de probeta a una carga de corte doble usando los accesorios adecuados para el ensayo en una máquina universal bajo carga de compresión y registrar el valor de la carga máxima hasta la fractura. La carga máxima divide entre el área de sección transversal de los dos planos es la resistencia al corte la cual se calcula usando la siguiente expresión: (Indian Standard, 2006)

$$R_s = \frac{F}{2 * \frac{\pi * d^2}{4}} = \frac{2F}{\pi * d^2} \quad (6)$$

*F: Carga cortante expresada en kilogramo fuerza (kp)*

*d: Diámetro de la probeta en milímetros (mm<sup>2</sup>)*

*RS: Resistencia a la cizalladura expresado en  $\frac{kp}{mm^2}$*

Espécimen de prueba: Los especímenes de prueba deben consistir en tramos cortos de alambre, varilla, remaches o pasadores cuyos diámetros mantengan al menos

una diferencia de 0.05mm de los orificios del equipo de prueba.

Por lo cual el diámetro de la probeta dependerá la muestra que se desee ensayar. Para el La longitud mínima de la probeta esta debe ser al menos el doble del diámetro, para la longitud máxima no existe especificación. (Indian Standard, 2006)

El espécimen usado en el ensayo debe mantener una sección transversal completa cilíndrica de hasta 25mm de diámetro, en caso de usar una muestra de mayores tamaños esta puede reducirse a 25mm para realizar el ensayo. (Indian Standard, 2006)

Los bordes cortantes de los bujes deben tener una dureza no menor a 530 HV.

La velocidad del ensayo no debe superar los 10mm/min.

#### **2.5.4 Normativa para el ensayo de corte directo en placas de acero dulce**

El ensayo propuesto en el laboratorio virtual está basado en la norma IS 5242 (1979) expuesta anteriormente la cual explica que los resultados de las pruebas de corte dependen en gran medida de la geometría de la muestra y de las longitudes de la que se cortan y soportan. Este método está diseñado únicamente para la prueba de corte de productos cilíndricos como alambres, varillas, remaches y pasadores de cabeza fría y generalmente no se recomienda para la determinación de la resistencia al corte de otros productos. (Indian Standard, 2006)

Por lo cual no existe medidas normalizadas para la probeta; en este caso el laboratorio virtual propone probetas de sección rectangular de 20 mm de ancho y 2.5 mm de espesor, teniendo en cuenta los parámetros establecidos anteriormente. (Virtual Labs, 2021)

Para el cálculo de la resistencia al corte doble el laboratorio virtual propone la siguiente expresión la cual está basada con los principios del ensayo de la norma IS: 5242 - 1979. (Virtual Labs, 2021):

$$\tau = \frac{P * 9.81}{2 * w * d} \quad (7)$$

*P*: Carga cortante expresada en kilogramos (kg)

*w*: Ancho de la probeta en milímetros (mm)

*d*: Espesor de la probeta en milímetros (mm)

$\tau$ : Resistencia a la cizalladura expresado en  $\frac{N}{mm^2}$

(Virtual Labs, 2021)

## Capítulo III

### 3. Metodología

Para la comprobación de la hipótesis planteada se hace uso del laboratorio virtual. A continuación, se detallan los procedimientos a seguir.

#### 3.1 Laboratorio virtual

##### 3.1.1 *Ensayo de corte directo en una placa de acero dulce*

El objetivo del ensayo es determinar experimentalmente el esfuerzo máximo de corte doble en una placa de acero dulce, para lo cual se usan las siguientes herramientas:

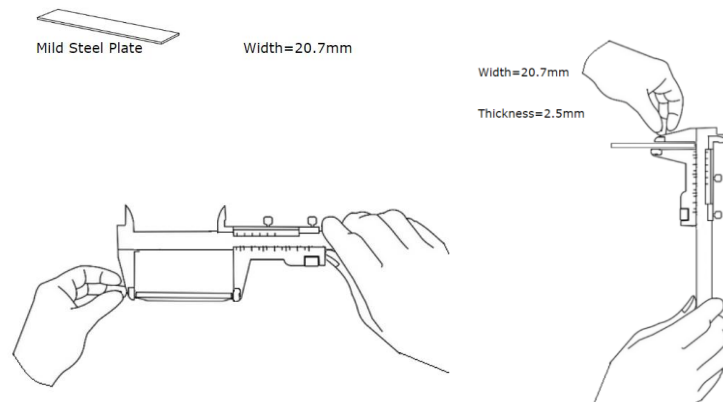
- Máquina de ensayo universal
- Accesorios para ensayo de corte de una placa
- Calibrador vernier

#### Paso 1:

Se toma la muestra de placa de acero dulce y por medio del calibrador se toman sus medidas de ancho “w” y de su espesor “d” en milímetros tal como se ve en la Figura 26. Las medidas propuestas en el laboratorio para la probeta son de 20 mm de ancho y 2.5 mm de espesor aproximadamente.

#### Figura 26

*Medición de la probeta*



*Nota.* Adaptado de Direct Shear Test on Mild Steel Plate [Fotografía], de Virtual Labs,



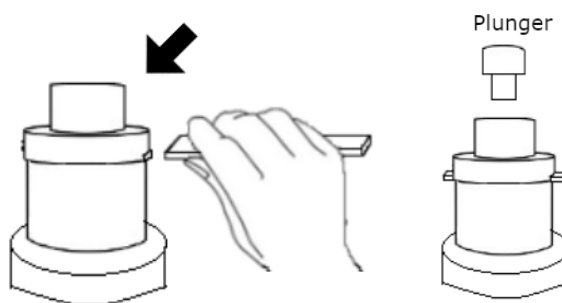
2021, (<https://sm-nitk.vlabs.ac.in/exp/direct-shear-test-steel-plate/simulation.html>). CC BY-NC-SA 4.0

**Paso 2:**

Se toma la muestra de placa de acero dulce y se la introduce entre la abertura que posee el accesorio para ensayos de corte, una vez introducida se coloca el émbolo o dado en el orificio superior del accesorio para ensayos de corte tal como se aprecia en la Figura 27.

**Figura 27**

*Preparación del equipo de ensayo de corte de placa*

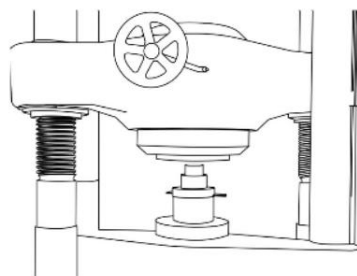


*Nota.* Adaptado de Direct Shear Test on Mild Steel Plate [Fotografía], de Virtual Labs, 2021, (<https://sm-nitk.vlabs.ac.in/exp/direct-shear-test-steel-plate/simulation.html>). CC BY-NC-SA 4.0

A continuación, se coloca todo el conjunto encima de la máquina de ensayo universal tal como se aprecia en la Figura 28.

**Figura 28**

*Máquina universal con el equipo para ensayo de corte de placa*



*Nota.* Adaptado de Direct Shear Test on Mild Steel Plate [Fotografía], de Virtual Labs,

2021, (<https://sm-nitk.vlabs.ac.in/exp/direct-shear-test-steel-plate/simulation.html>). CC BY-NC-SA 4.0

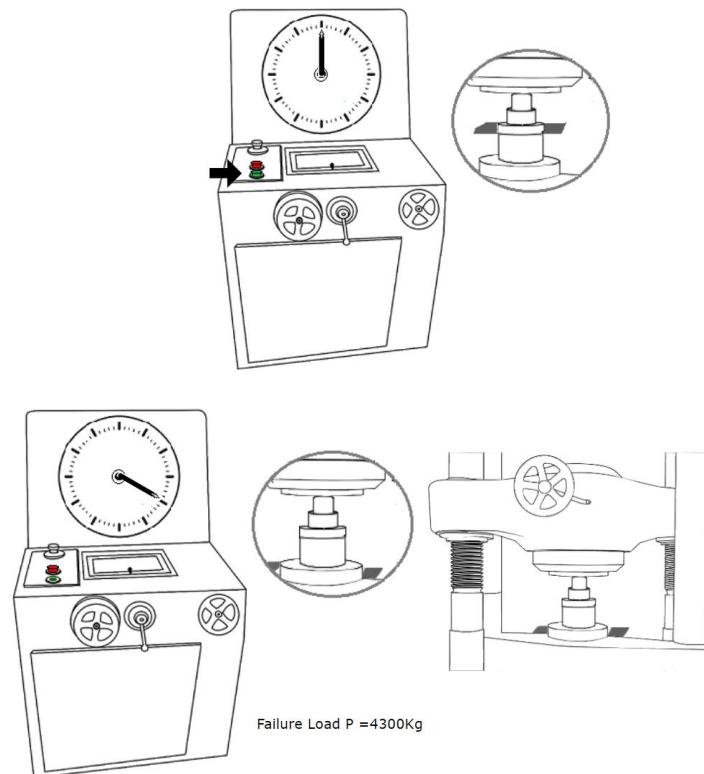
**Paso 3:**

Se enciende la maquina y la carga se aplica aumentando de forma gradual hasta la fractura, tal como se ve en la Figura 29. A continuación, se toma nota del valor de aplicación de carga en el momento de la fractura.

La máquina aplica la carga, a una velocidad especificada por la norma IS 5242 (1979) la cual es no mayor a 10mm/min

**Figura 29**

*Aplicación de carga hasta la rotura en el ensayo de corte en una placa de acero dulce*



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

**Paso 4:**

Se procede a calcular la resistencia al corte doble de la placa de acero dulce.

Para lo cual se hace uso de la ecuación 7.

$$\tau = \frac{P * 9.81}{2 * w * d}$$

La carga que entrega el laboratorio se encuentra en kilogramos fuerza por lo que multiplicamos por la 9.81N/kgf para pasarla a Newtons.

$$\tau = \frac{4300 \text{ kgf}}{2 * 20.7\text{mm} * 2.5 \text{ mm}} * \frac{9.81 \text{ N}}{1 \text{ kgf}} = 407.57 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} = 407.57 \text{ MPa}$$

Con lo cual se obtienen los resultados que se parecían en la Tabla 1.

**Tabla 1**

*Resultados del ensayo de corte doble en una placa de acero dulce en el laboratorio virtual*

Width of the failure plane "w" (mm)	Thickness of the failure plane "d" (mm)	Area of cross-section (A=w*d) mm <sup>2</sup>	Failure Load P (kg)	Double Shear Strength (P*9.81)/2 A (N/mm <sup>2</sup> )
20.7	2.5	51.75	4300	407.57

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

El ensayo se lo repite en total 3 veces y a continuación se guardan dichos resultados.

**Paso 5:**

Con los datos obtenidos se procede a calcular la resistencia al corte doble promedio de una placa de acero dulce que se pueden apreciar en la Tabla 2.

**Tabla 2**

Resultados de los ensayos de resistencia al corte doble promedio en una placa de acero dulce

Width of the failure plane "w" (mm)	Thickness of the failure plane "d" (mm)	Area of cross-section (A=w*d) mm <sup>2</sup>	Failure Load P (kg)	Double Shear Strength (P*9.81)/2 A (N/mm <sup>2</sup> )		Percentage Error
				Actual Value	Entered Value	
20.7	2.5	51.75	4300	407.57	407.57	0.00
21.2	2.6	55.12	4800	427.14	427.14	0.00
21.4	2.6	55.12	4800	315.16	315.16	0.00
<b>Average Double Shear Strength = 383.29 N/mm<sup>2</sup></b>						

Nota. Adaptado de Direct Shear Test on Mild Steel Plate, de Virtual Labs, 2021,

(<https://sm-nitk.vlabs.ac.in/exp/direct-shear-test-steel-plate/simulation.html>). CC BY-NC-

SA 4.0

Los datos obtenidos en el laboratorio se verifican por medio de cálculos

realizados en Excel. Tal como se muestra en la Tabla 3.

**Tabla 3**

Resultados del ensayo de corte doble en placa de acero dulce calculados

Dimensión	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3
Ancho (mm)	20,7	21,2	21,4
Espesor (mm)	2,5	2,6	2,4
Área (mm <sup>2</sup> )	51,75	55,12	51,36
Carga de Fallas (kg)	4300	4800	3300
Carga de Fallas (N)	42183	47088	32373
Resistencia al corte doble (MPa)	407,565	427,141	315,158
	<b>Resistencia al corte doble Promedio (MPa)</b>		383,288

Nota. Cálculos realizados en Excel.

La resistencia al corte doble promedio obtenida se viene a considerar como el esfuerzo de fractura al corte de la probeta.

### 3.1.2 *Ensayo de corte directo en una varilla de acero dulce*

El objetivo del ensayo es determinar experimentalmente el esfuerzo máximo de corte doble en una varilla de acero dulce, para lo cual se usan las siguientes herramientas:

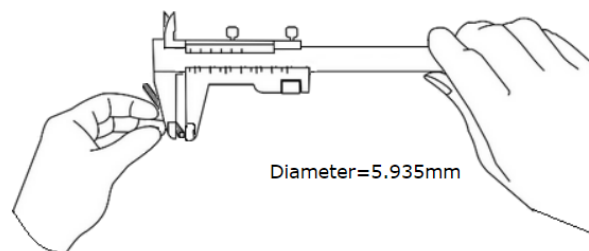
- Máquina de ensayo universal
- Accesorios para ensayo de corte de una probeta cilíndrica
- Calibrador vernier

#### **Paso 1:**

Se toma la muestra de varilla de acero dulce y por medio del calibrador se toma la medida de su diámetro tal como se muestra en la Figura 30. En este caso se utilizarán probetas de aproximadamente 6mm.

#### **Figura 30**

*Medición de la probeta*



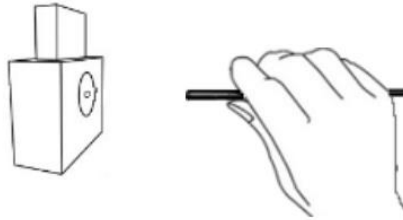
*Nota.* Adaptado de Direct Shear Test on Mild Steel Rod [Fotografía], de Virtual Labs, 2021, (<https://sm-nitk.vlabs.ac.in/exp/direct-shear-test-steel-rod/simulation.html>). CC BY-NC-SA 4.0

#### **Paso 2:**

Se toma la muestra de varilla de acero dulce y se la introduce entre la abertura que posee el accesorio para ensayos de corte tal como se muestra en la Figura 31.

**Figura 31**

*Preparación del equipo de ensayo de corte en varilla*

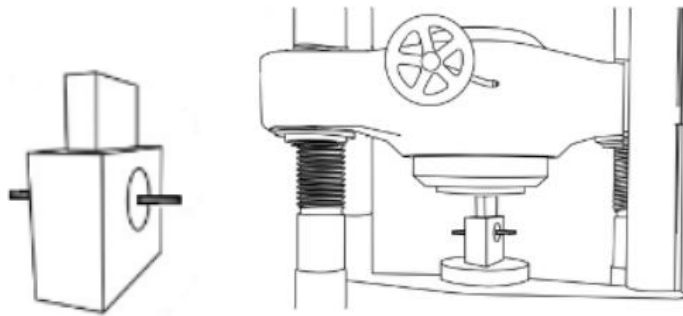


*Nota.* Adaptado de Direct Shear Test on Mild Steel Rod [Fotografía], de Virtual Labs, 2021, (<https://sm-nitk.vlabs.ac.in/exp/direct-shear-test-steel-rod/simulation.html>). CC BY-NC-SA 4.0

Una vez introducida se coloca el émbolo o dado en el orificio superior del accesorio para ensayos de corte y se coloca todo esto encima de la máquina de ensayo universal tal como se muestra en la Figura 32.

**Figura 32**

*Máquina universal con el equipo de ensayo de corte en varilla*



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

**Paso 3:**

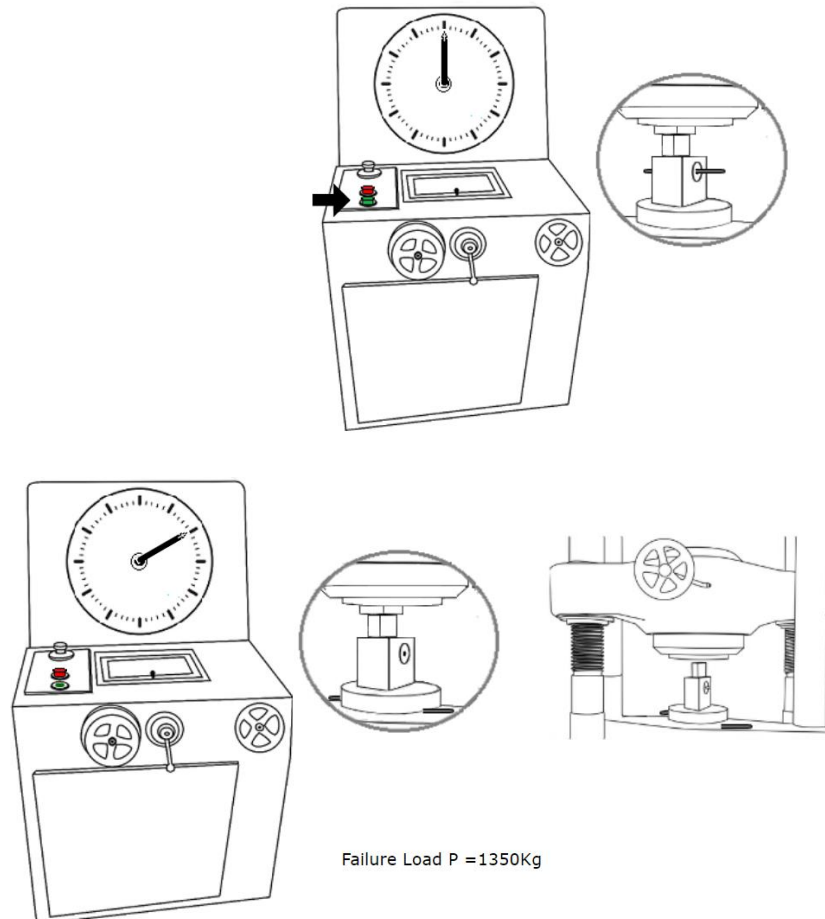
Se enciende la maquina y la carga se aplica aumentando de forma gradual hasta la fractura y se toma nota del valor de aplicación de carga en el momento de la fractura

tal como se aprecia en la Figura 33.

La máquina aplica la carga, a una velocidad especificada por la norma IS 5242 (1979) la cual es no mayor a 10mm/min.

**Figura 33**

*Aplicación de carga hasta la rotura en el ensayo de corte doble en una varilla de acero dulce*



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

**Paso 4:**

Se procede a calcular la resistencia al corte doble de la varilla de acero dulce. Para lo cual se hace uso de la ecuación 6.

$$R_s = \frac{F}{2 * \frac{\pi * d^2}{4}} = \frac{2F}{\pi * d^2}$$

La carga que entrega el laboratorio se encuentra en kilogramos fuerza por lo que multiplicamos por la 9.81N/kgf para pasarla a Newtons.

$$R_s = \frac{2 * 1350 \text{ kgf}}{\pi * (5.935\text{mm})^2} * \frac{9.81 \text{ N}}{1 \text{ kgf}} = 239.354 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} = 239.354 \text{ MPa}$$

Con lo cual se obtienen los resultados que se aprecian en la Tabla 4.

**Tabla 4**

*Resultados del ensayo de corte doble en una varilla de acero dulce en el laboratorio virtual*

<b>Diameter (mm)</b>	<b>Area of cross-section (A=πd<sup>2</sup>/4) mm<sup>2</sup></b>	<b>Failure Load P (kg)</b>	<b>Double Shear Strenght (P*9.81)/2 A (N/mm<sup>2</sup>)</b>
5.935	27.67	1350	239.31

*Nota.* Adaptado de Direct Shear Test on Mild Steel Rod, de Virtual Labs, 2021,

(<https://sm-nitk.vlabs.ac.in/exp/direct-shear-test-steel-rod/simulation.html>). CC BY-NC-SA

#### 4.0

El ensayo se lo repite en total 3 veces y a continuación se guardan dichos resultados.

#### **Paso 5:**

Con los datos obtenidos se procede a calcular la resistencia al corte doble promedio de una varilla de acero dulce que se pueden apreciar en la Tabla 5.



**Tabla 5**

Resultados de los ensayos de resistencia al corte doble promedio en una varilla de acero dulce

Diameter (mm)	Area of cross-section ( $A=\pi d^2/4$ ) mm <sup>2</sup>	Failure Load P (kg)	Double Shear Strenght ( $P*9.81)/2 A$ (N/mm <sup>2</sup> )		Percentage Error
			Actual Value	Entered Value	
5.935	27.67	1350	239.31	239.31	0.00
5.91	27.43	1300	232.46	232.46	0.00
6.06	28.84	1700	289.13	289.13	0.00
<b>Average Double Shear Strenght = 253.63 N/mm<sup>2</sup></b>					

Nota. Adaptado de Direct Shear Test on Mild Steel Rod, de Virtual Labs, 2021,

(<https://sm-nitk.vlabs.ac.in/exp/direct-shear-test-steel-rod/simulation.html>). CC BY-NC-SA

4.0

Los datos obtenidos en el laboratorio se verifican por medio de cálculos realizados en Excel. Tal como se muestra en la Tabla 6.

**Tabla 6**

Resultados del ensayo de corte doble en placa de acero dulce calculados

Dimensión	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3
<b>Diámetro (mm)</b>	5,935	5,91	6,06
<b>Área (mm<sup>2</sup>)</b>	27,665	27,432	28,843
<b>Carga de Fallas (kg)</b>	1350,000	1300,000	1700
<b>Carga de Fallas (N)</b>	13243,500	12753,000	16677,000
<b>Resistencia al corte doble (MPa)</b>	239,354	232,444	289,103
	<b>Resistencia al corte doble Promedio (MPa)</b>		253,634

Nota. Cálculos realizados en Excel.

La resistencia al corte doble promedio obtenida se viene a considerar como el esfuerzo de fractura al corte de la probeta.

### 3.1.3 Ensayo de corte directo en una probeta de madera

El objetivo del ensayo es determinar experimentalmente el esfuerzo máximo de corte simple en una probeta de madera, para lo cual se usan las siguientes herramientas

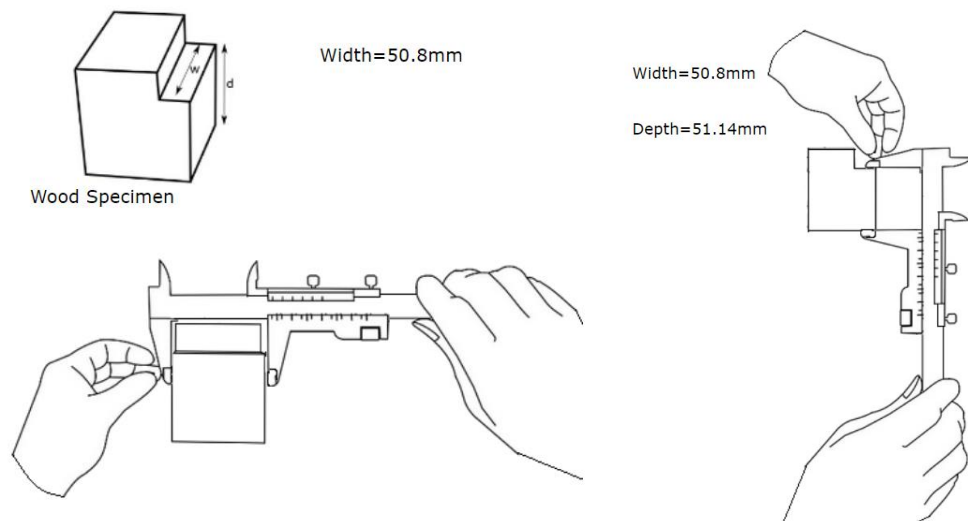
- Máquina de ensayo universal
- Accesorios para ensayo de corte de una probeta de madera
- Calibrador vernier

#### Paso 1:

Se toma la muestra de madera y se determina su ancho “w” y la profundidad “d” en milímetros del plano de falla usando el calibrador Tal como se muestra en la Figura 34.

#### Figura 34

*Medición de la probeta*



*Nota.* Adaptado de Direct Shear Test on Timber Specimen [Fotografía], de Virtual Labs, 2021, (<https://sm-nitk.vlabs.ac.in/exp/direct-shear-test-timber/simulation.html>). CC BY-NC-SA 4.0

*Nota.* Tomado de: (Virtual Labs, 2021)

Las medidas de la probeta se encuentran normalizadas según la norma IS 1708-1

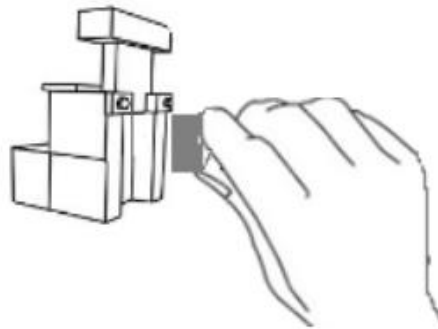
teniendo una sección transversal de 50 x 50 mm y una longitud de 63 mm con una muesca de 20 mm la cual se encuentra arriba de la sección transversal.

**Paso 2:**

Se coloca la muestra de madera (con las vetas en vertical y paralelas a la dirección del corte) en el accesorio para ensayo de corte de madera tal como se muestra en la Figura 35.

**Figura 35**

*Preparación del equipo de ensayo de corte en una probeta de madera*

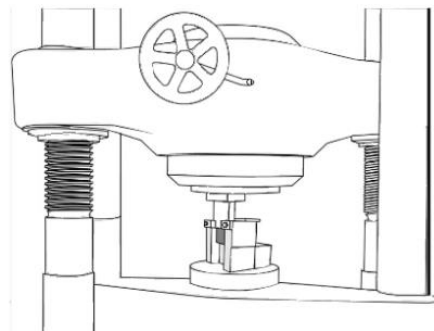


*Nota.* Adaptado de Direct Shear Test on Timber Specimen [Fotografía], de Virtual Labs, 2021, (<https://sm-nitk.vlabs.ac.in/exp/direct-shear-test-timber/simulation.html>). CC BY-NC-SA 4.0

Se coloca el equipo en la máquina de ensayos universal tal como se muestra en la Figura 36

**Figura 36**

*Máquina universal con el equipo de ensayo de corte en una probeta de madera*



*Nota.* Adaptado de Direct Shear Test on Timber Specimen [Fotografía], de Virtual Labs,

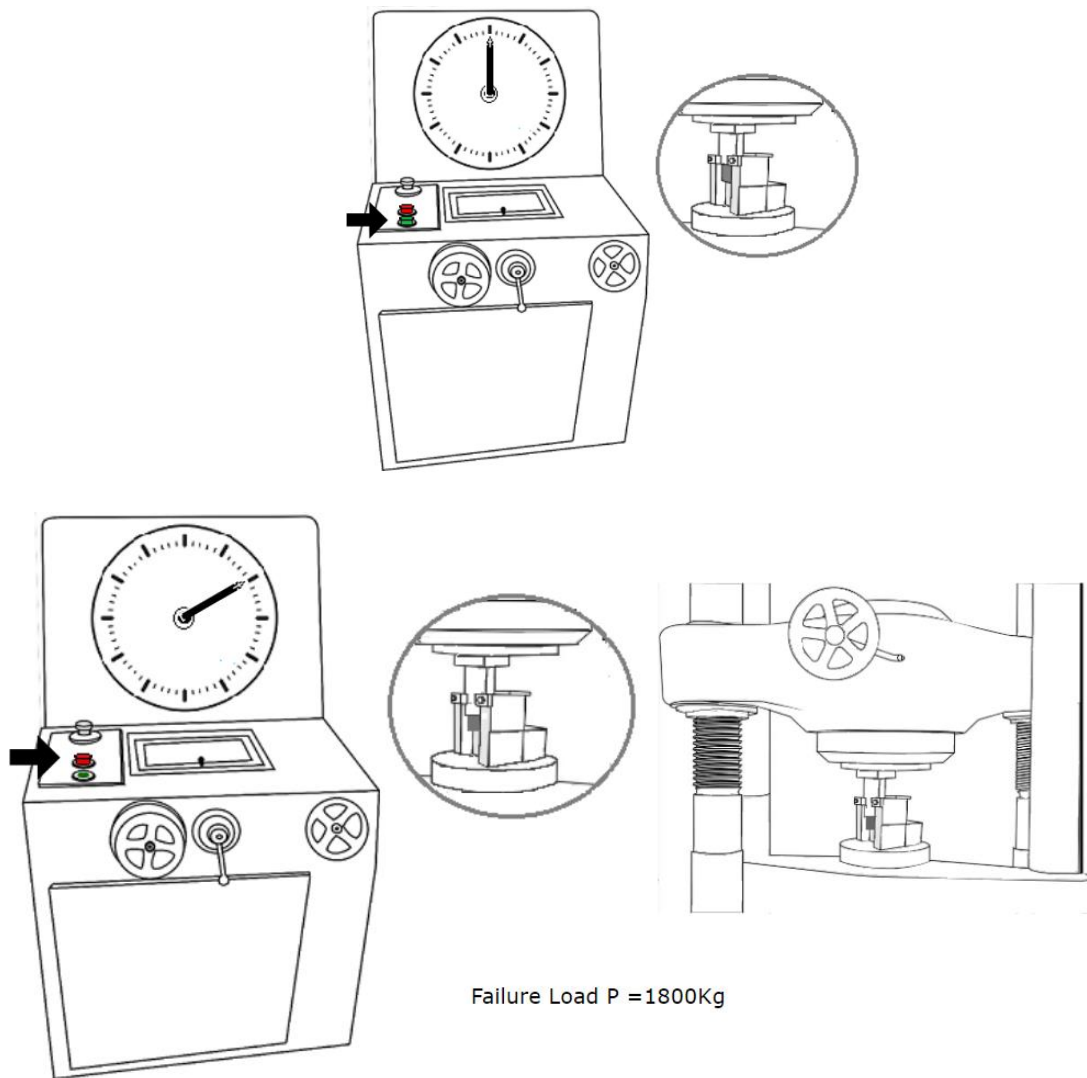
2021, (<https://sm-nitk.vlabs.ac.in/exp/direct-shear-test-timber/simulation.html>). CC BY-NC-SA 4.0

### Paso 3:

Se enciende la maquina y la carga se aplica aumentando de forma gradual hasta la fractura y se toma nota del valor de aplicación de carga en el momento de la fractura tal como se muestra en la Figura 37.

### Figura 37

*Aplicación de carga hasta la rotura en el ensayo de corte simple en una probeta de madera*



*Nota.* Adaptado de Direct Shear Test on Timber Specimen [Fotografía], de Virtual Labs,

2021, (<https://sm-nitk.vlabs.ac.in/exp/direct-shear-test-timber/simulation.html>). CC BY-NC-SA 4.0

**Paso 4:**

Se procede a calcular la resistencia al corte simple de muestra de madera. Para lo cual se hace uso de la ecuación 2

$$\tau = \frac{P}{A}$$

La carga que entrega el laboratorio se encuentra en kilogramos fuerza por lo que multiplicamos por la 9.81N/kgf para pasarla a Newtons.

$$\tau = \frac{1800 \text{ kgf}}{50.8 \text{ mm} * 51.14 \text{ mm}} * \frac{9.81 \text{ N}}{1 \text{ kgf}} = 6.797 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} = 6.797 \text{ MPa}$$

Con lo cual se obtienen los resultados que se aprecian en la Tabla 7

**Tabla 7**

*Resultados del ensayo de corte simple en una probeta de madera*

Width of the failure plane "w" (mm)	Thickness of the failure plane "d" (mm)	Area of cross-section (A=w*d) mm <sup>2</sup>	Failure Load P (kg)	Single Shear Strength (P*9.81)/2 A (N/mm <sup>2</sup> )
50.8	51.14	2597.91	1800	6.8

*Nota.* Adaptado de Direct Shear Test on Timber Specimen, de Virtual Labs, 2021, (<https://sm-nitk.vlabs.ac.in/exp/direct-shear-test-timber/simulation.html>). CC BY-NC-SA 4.0

El ensayo se lo repite en total 3 veces y a continuación se guardan dichos resultados.

**Paso 5:**

Con los datos obtenidos se procede a calcular la resistencia al corte simple promedio de una probeta de madera que se pueden apreciar en la Tabla 8.

**Tabla 8**

Resultados de los ensayos de resistencia al corte simple promedio en una probeta de madera

Width of the failure plane "w" (mm)	Thickness of the failure plane "d" (mm)	Area of cross-section (A=w*d) mm <sup>2</sup>	Failure Load P (kg)	Single Shear Strength (P*9.81)/2 A (N/mm <sup>2</sup> )		Percentage Error
				Actual Value	Entered Value	
50.8	51.14	2597.91	1800	6.8	6.8	0.00
51.84	50.84	2635.55	2450	9.12	9.12	0.00
50.5	50.5	2550.25	2400	9.23	9.23	0.00
<b>Average Double Shear Strength = 8.38 N/mm<sup>2</sup></b>						

Nota. Adaptado de Direct Shear Test on Timber Specimen, de Virtual Labs, 2021,

(<https://sm-nitk.vlabs.ac.in/exp/direct-shear-test-timber/simulation.html>). CC BY-NC-SA

4.0

Los datos obtenidos en el laboratorio se verifican por medio de cálculos realizados en Excel. Tal como se muestra en la Tabla 9.

**Tabla 9**

Resultados del ensayo de corte simple en una probeta de madera calculados

Dimensión	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3
Ancho (mm)	50,8	51,84	50,5
Profundidad (mm)	51,14	50,84	50,5
Área (mm <sup>2</sup> )	2597,912	2635,5456	2550,25
Carga de Fallas (kg)	1800	2450	2400
Carga de Fallas (N)	17658	24034,5	23544
Resistencia al corte simple (MPa)	6,797	9,119	9,232
	<b>Resistencia al corte simple Promedio (MPa)</b>		8,383

Nota. Cálculos realizados en Excel.

La resistencia al corte simple promedio obtenida se viene a considerar como el esfuerzo de fractura al corte de la probeta.

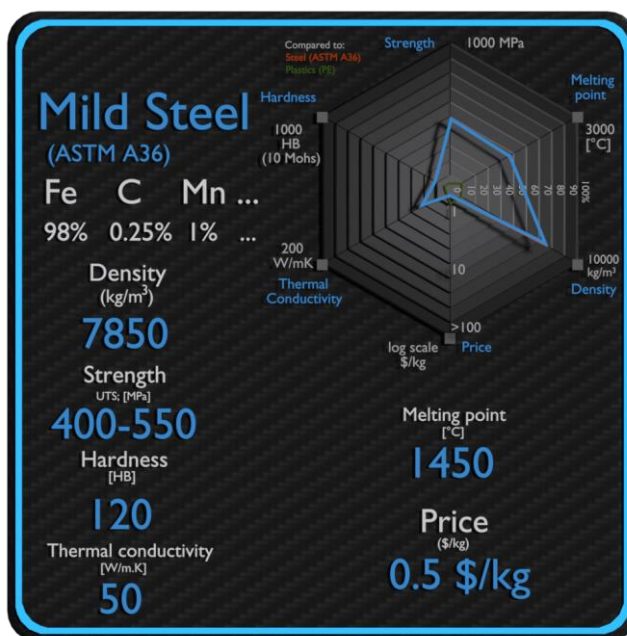
## 3.2 Software CAD

### 3.2.1 Acero dulce

Para la realización de la simulación se requiere utilizar acero dulce también conocido como acero con bajo contenido de carbono tanto en las probetas de placa como las de varilla, en tal caso se procede a utilizar el acero ASTM A 36 el cual cumple con las características que presentan los aceros dulces tal como se presenta en la Figura 38.

**Figura 38**

*Características del acero dulce (ASTM A36)*



*Nota.* El acero dulce contiene un porcentaje aproximadamente entre 0.05 a 0.25% de carbono, razón por la cual tiene características de maleabilidad y ductilidad. Adaptado de Mild Steel [Imagen], por Material Properties, 2021, Acero dulce – Densidad – Resistencia – Dureza – Punto de fusión (<https://material-properties.org/es/acero-dulce-densidad-resistencia-dureza-punto-de-fusion/>) Copyright.

A partir de aquello se utilizará el Acero ASTM A36 que se encuentra dentro de la biblioteca de Autodesk Inventor y que cuenta con las mismas propiedades mostradas

anteriormente.

### 3.2.2 Acero de alta dureza

Para realizar la simulación de los ensayos se requiere utilizar un acero de alta dureza en los accesorios para los ensayos de corte tal como lo especifica la norma IS: 5242 -1979 para lo cual se realiza la búsqueda de un acero que posea una dureza mayor a 530 HV.

El material seleccionado es el Acero para herramientas AISI tipo W1, templado en agua a 775 °C, revenido a 350 °C UNS T72301 (Unified Numbering System) que posee las siguientes propiedades que se aprecian en la Tabla 10.

**Tabla 10**

*Propiedades Mecánicas del acero para herramientas AISI tipo W1*

<b>Physical Properties</b>	<b>Metric</b>	<b>English</b>	<b>Comments</b>
<b>Density</b>	7.83 g/cc	0.283 lb/in <sup>3</sup>	
<b>Mechanical Properties</b>	<b>Metric</b>	<b>English</b>	<b>Comments</b>
<b>Hardness, Brinell</b>	498	498	Converted from Rockwell C Hardness
<b>Hardness, Knoop</b>	558	558	Converted from Rockwell C Hardness
<b>Hardness, Rockwell C</b>	50 – 51	50 – 51	370 °C temper
<b>Hardness, Vickers</b>	531	531	Converted from Rockwell C Hardness
<b>Tensile Strength, Ultimate</b>	1680 MPa	244000 psi	
<b>Tensile Strength, Yield</b>	1500 MPa	218000 psi	
<b>Elongation at Break</b>	3.5 %	3.5 %	
<b>Modulus of Elasticity</b>	205 GPa	29700 ksi	
<b>Bulk Modulus</b>	160 GPa	23200 ksi	Typical for steels
<b>Poissons Ratio</b>	0.28	0.28	
<b>Machinability</b>	40%	40 %	Based on AISI 1212 steel = 100%
<b>Shear Modulus</b>	80.0 GPa	11600 ksi	
<b>Charpy Impact, Unnotched</b>	86.0 J	63.4 ft-lbs	

*Nota.* Adaptado de AISI Type W1 Tool Steel, por MatWeb, 2016, MatWeb MATERIAL

PROPERTY DATA

(<http://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=29bd5fccff234a4ea7b458f86>)



5323afd&ckck=1) Copyright

### 3.2.3 Madera

Para realizar la simulación de los ensayos con probeta de madera se parte de el valor obtenido de resistencia al corte simple promedio que es de 8.383 MPa valor el cual se aproxima a la madera Pino Douglas Número 1, la cual posee un esfuerzo permisible de compresión de 8.62 MPa tal como se aprecia en la Tabla 11.

**Tabla 11**  
*Propiedades típicas de las maderas*

Tipo y grado	Esfuerzo Permisible					
	Compresión				Módulo de elasticidad	
	Perpendicular a la veta		Paralela a la veta			
	lb/in <sup>2</sup>	MPa	lb/in <sup>2</sup>	MPa	ksi	GPa
<b>Pino Douglas---- 2 a 4 in de espesor, 6 in o más de ancho</b>						
Núm. 1	385	2.65	1250	8.62	1800	12.4
Núm. 2	385	2.65	1000	6.90	1700	11.7
Núm. 3	385	2.65	600	4.14	1500	10.3
<b>Abeto--- 2 a 4 in de espesor, 6 in o más de ancho</b>						
Núm. 1	245	1.69	1000	6.90	1500	10.3
Núm. 2	245	1.69	800	5.52	1400	9.7
Núm. 3	245	1.69	500	3.45	1200	8.3
<b>Pino del sur --- 2.5 a 4 in de espesor, 6 in o más de ancho</b>						
Núm. 1	270	1.86	850	5.86	1600	11.0
Núm. 2	230	1.59	550	3.79	1300	9.0
Núm. 3	230	1.59	400	2.76	1300	9.0

*Nota.* Tomado de Resistencia de Materiales (p.719) por: R. L. Mott, 2009, PEARSON EDUCACIÓN.

Por lo cual se utilizarán dichas propiedades para realizar la simulación.

### 3.2.4 Interpretación de resultados

Para la realización de la simulación en el software Autodesk Inventor se procede en primera instancia al modelado de las piezas necesarias como son la probeta y los accesorios para el ensayo de corte y luego se realiza la simulación estableciendo

fuerzas, restricciones y el mallado de los componentes.

Para obtener la interpretación de datos correcta se toma en cuenta ciertos criterios que el software Autodesk Inventor otorga en su interfaz.

El software después de realizada la simulación otorga valores de tensión de Von Mises, primera tensión principal, tercera tensión principal, desplazamiento, coeficiente de seguridad, entre los más principales.

Aparte de los resultados mencionados anteriormente también nos da valores acerca de las tensiones en función de los ejes cartesianos, siendo estas XX, XY, XZ, YY, YZ y ZZ. Estos valores de tensiones se interpretan de la siguiente forma:

Para la tensión XX, la primera X indica la dirección del eje de coordenadas al que hace referencia y la segunda X indica el plano sobre el cual se hace referencia.

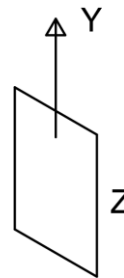
Con eso se logran evidenciar los esfuerzos de tensión como positivos y los de compresión como negativos. Se usa la misma lógica para los esfuerzos YY y ZZ (Autodesk , 2014)

Para la tensión XY, la primera X indica la dirección del eje al que empuja la fuerza y Y en segundo lugar hace referencia al plano sobre el cual dicha fuerza es aplicada para así evidenciar los esfuerzos cortantes. Se usa la misma lógica para los esfuerzos XZ y YZ. (Autodesk , 2014)

Además, si se intercambian la posición de las letras los valores en magnitud obtenidos vienen a ser las mismas por ejemplo  $XY \equiv YX$

En tal caso para la obtención de los valores de esfuerzo de corte se tomaron los valores máximos positivos que entregan las tensiones YZ tal como se aprecia en la Figura 39.

**Figura 39**  
*Tensión YZ en Autodesk Inventor*

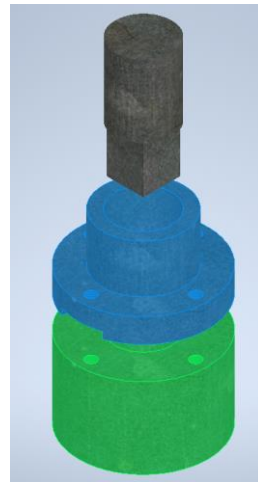


*Nota.* En la figura se puede observar el plano z transversal y la dirección Y en la cual las fuerzas son empujadas.

### **3.2.5 Ensayo de corte directo en una placa de acero dulce**

En primer lugar, se realiza el modelado de los accesorios para el ensayo de corte de una placa, los cuales cuentan con una base inferior, una superior y el dado que ejercerá la fuerza en la placa a ensayar, las cuales se aprecian en la siguiente Figura 40.

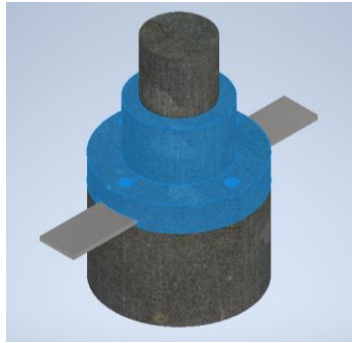
**Figura 40**  
*Accesorios para el ensayo de corte de una placa*



El material usado para los accesorios es el Acero para herramientas AISI tipo W1

A continuación, se procede a ensamblar las piezas tal como se presenta en el laboratorio virtual con las restricciones respectivas junto con la probeta en su lugar para la realización del ensayo de corte tal como se muestra en la Figura 41.

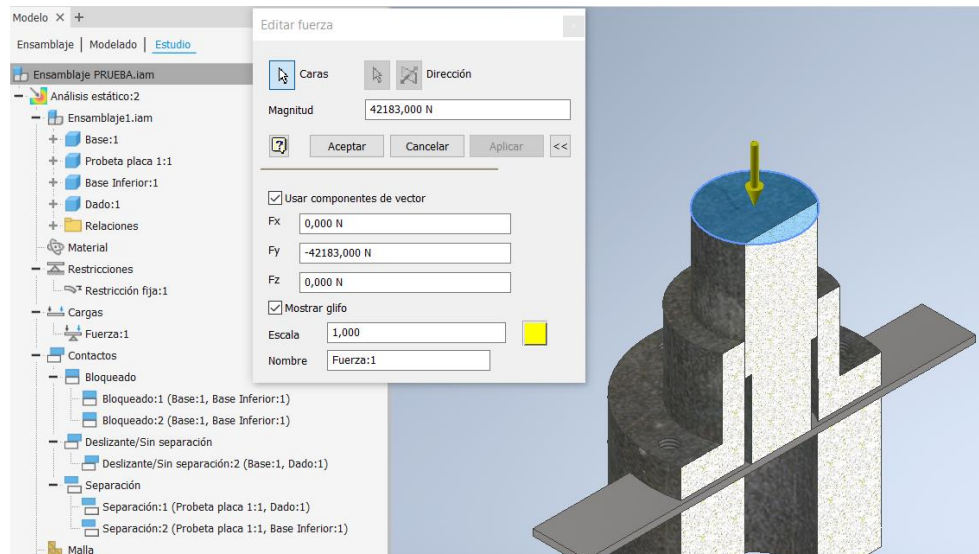
**Figura 41**  
Modelo ensamblado para la simulación



El material utilizado en la probeta es el Acero ASTM A36 proporcionado en el software Autodesk Inventor.

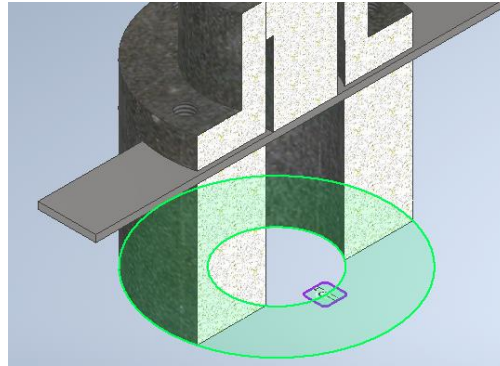
A continuación, se procede a colocar la carga en este caso viene a ser el valor de aplicación de carga al cual se produjo la fractura (N), ésta se aplica sobre el dado en donde la máquina universal aplica la carga tal como se ve en la Figura 42.

**Figura 42**  
Aplicación de carga



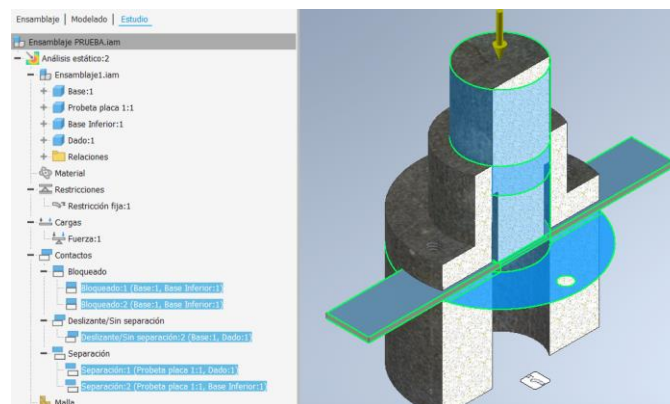
A continuación, se determinan las restricciones en este caso solamente se coloca una restricción fija en la base inferior del ensamblaje tal como se muestra en la Figura 43.

**Figura 43**  
*Restricción fija*



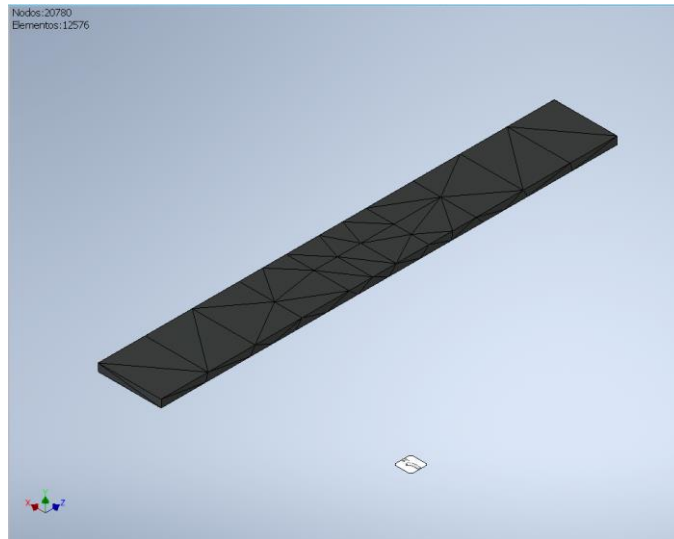
A continuación, se establecen los contactos que existirán entre las piezas del ensamblaje tal como se presenta en la Figura 44, destacando que la base inferior con respecto a la superior se encuentra bloqueada, entre la base superior y el dado se define un contacto deslizante y entre la probeta, el dado y la base inferior se define un contacto de separación.

**Figura 44**  
*Contactos establecidos*



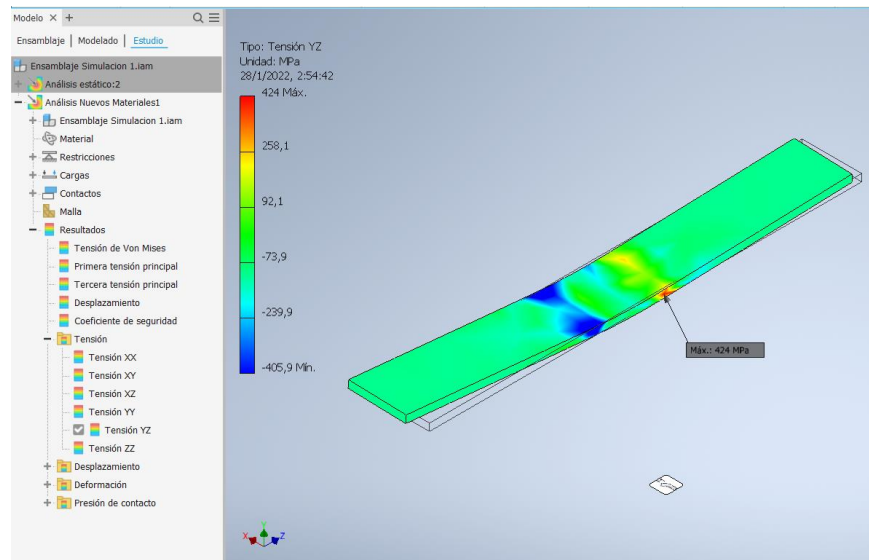
A continuación, se realiza el mallado del ensamblaje haciendo énfasis en la probeta por lo cual se oculta la visualización de los demás accesorios para que al obtener los resultados solo se muestren los deseados en cuestión tal como se aprecia en la Figura 45 y corremos la simulación.

**Figura 45**  
*Probeta mallada*



Con la simulación realizada se procede a activar los resultados de tensión YZ y tomamos el valor máximo positivo como el esfuerzo de corte doble tal como se muestra la Figura 46.

**Figura 46**  
*Tensiones cortantes YZ*



*Nota.* En la figura se puede observar el valor máximo de esfuerzo de corte doble siendo de 424 MPa.

Se repite el ensayo variando las medidas de la probeta y de la carga tal como en

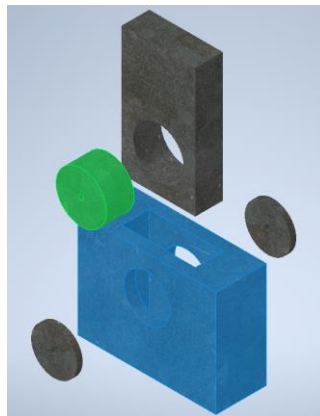
el laboratorio virtual.

### 3.2.6 *Ensayo de corte directo en una varilla de acero dulce*

En primer lugar, se realiza el modelado de los accesorios para el ensayo de corte de una varilla, los cuales cuentan con una base perforada, un dado rectangular perforado que contiene un disco central y dos discos laterales que van acoplados en la base, las cuales se aprecian en la Figura 47.

#### **Figura 47**

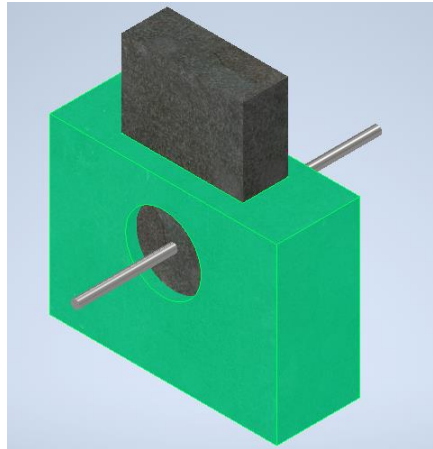
*Accesorios para el ensayo de corte en una varilla*



El material usado para los accesorios es el Acero para herramientas AISI tipo W1

A continuación, se procede a ensamblar las piezas tal como se presenta en el laboratorio virtual con las restricciones respectivas junto con la probeta en su lugar para la realización del ensayo de corte tal como se muestra en la Figura 48.

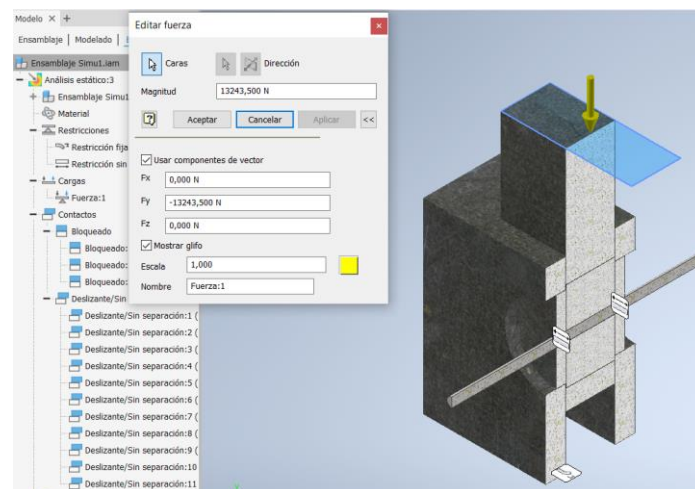
**Figura 48**  
*Modelo ensamblado para la simulación*



El material utilizado en la probeta es el Acero ASTM A36 proporcionado en el software Autodesk Inventor.

A continuación, se procede a colocar la carga en este caso viene a ser el valor de aplicación de carga al cual se produjo la fractura (N), ésta se aplica sobre el dado en donde la máquina universal aplica la carga tal como se ve en la Figura 49.

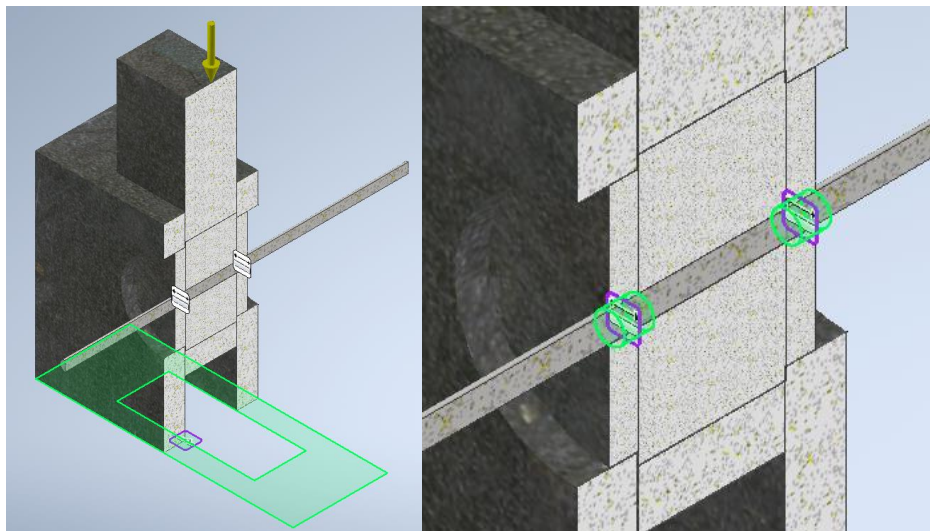
**Figura 49**  
*Aplicación de la carga*



A continuación, se determinan las restricciones en este caso se coloca una restricción fija en la base inferior del ensamblaje y dos restricciones sin fricción entre el contacto de la probeta y los discos laterales tal como se muestra en la Figura 50.

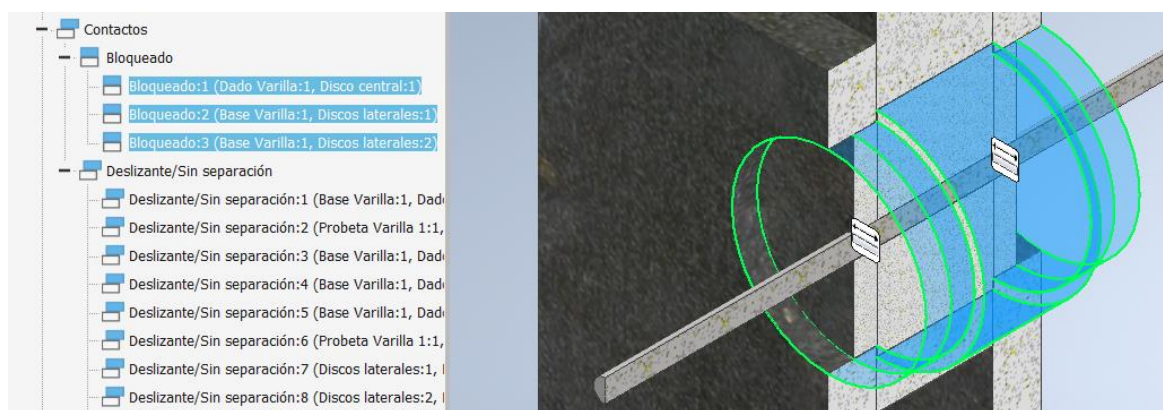


**Figura 50**  
*Restricciones aplicadas*



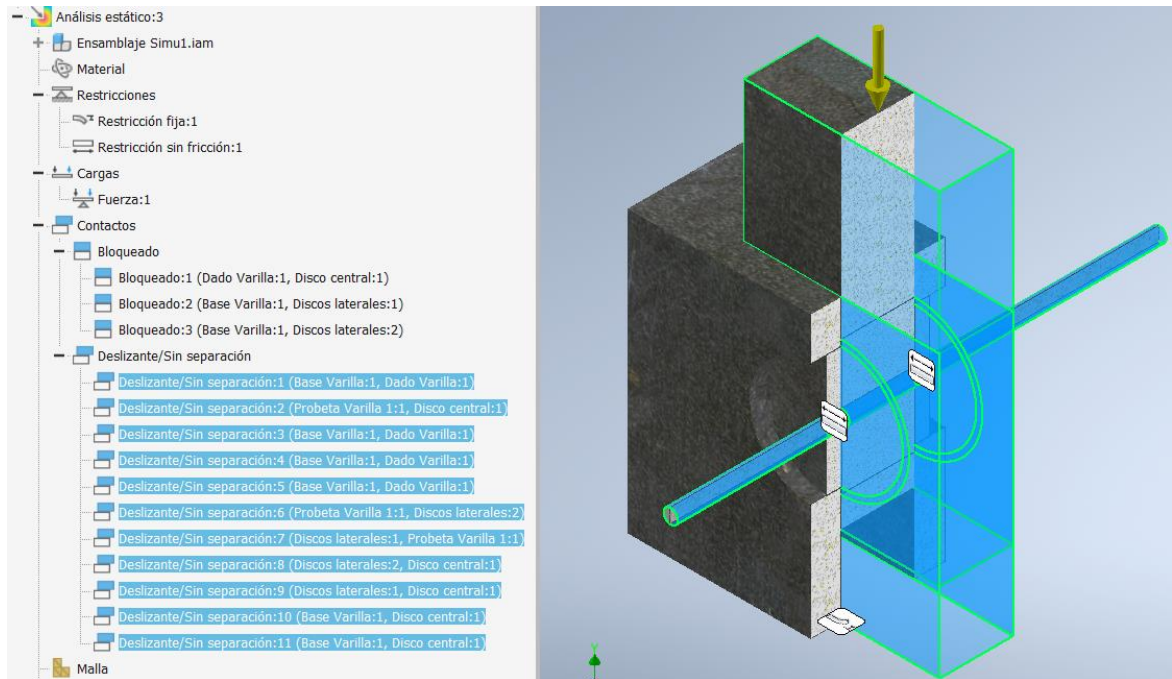
A continuación se establecen los contactos que existirán entre las piezas del ensamblaje tal como se presentan a continuación destacando por una parte los contactos de bloqueo entre los discos laterales y la base, entre el disco central y el dado tal como se aprecia en la Figura 51.

**Figura 51**  
*Contactos de bloqueo establecidos*



Por otra parte se utiliza contactos deslizante sin separación entre el dado y las paredes de la base, entre la probeta y los discos tanto centrales como laterales tal como se muestra en la Figura 52.

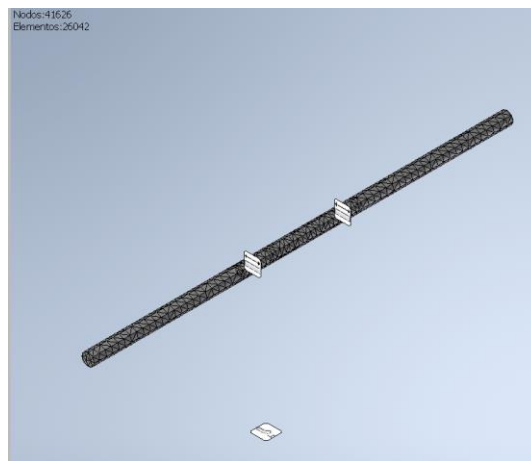
**Figura 52**  
**Contactos deslizantes/sin separación establecidos**



establecidos entre las piezas en la parte de la izquierda.

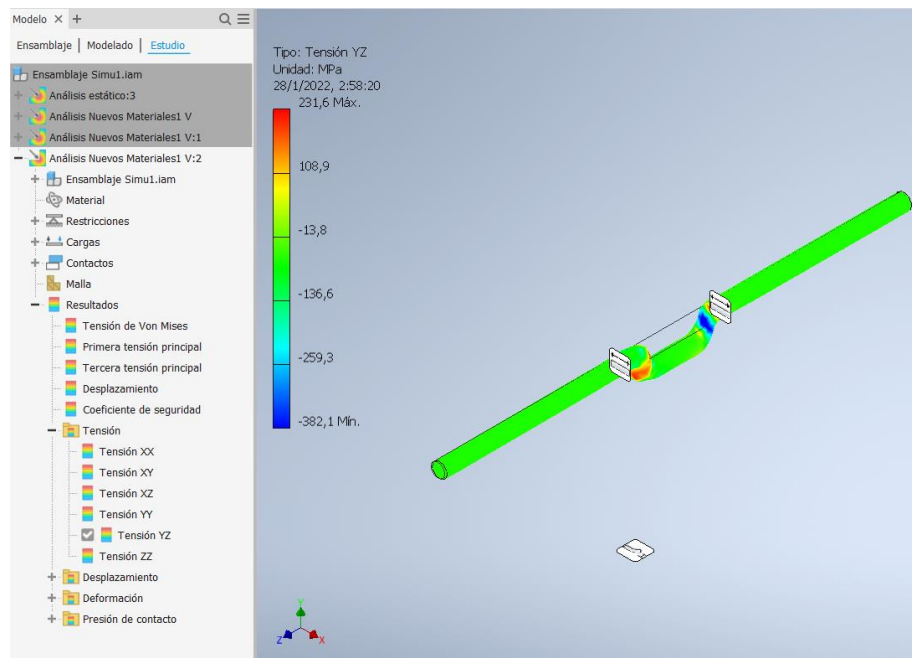
A continuación, se realiza el mallado del ensamblaje haciendo énfasis en la probeta por lo cual se oculta la visualización de los demás accesorios para que al obtener los resultados solo se muestren los deseados en cuestión tal como se aprecia en la Figura 53 y corremos la simulación.

**Figura 53**  
**Mallado de la probeta**



Con la simulación realizada se procede a activar los resultados de tensión YZ y se toma el valor máximo positivo como el esfuerzo de corte doble tal como se muestra en la Figura 54.

**Figura 54**  
*Tensiones cortantes YZ*



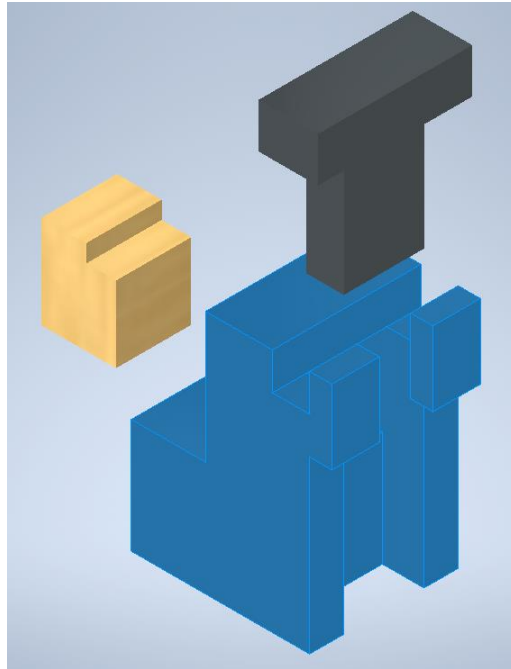
*Nota.* En la figura se puede observar el valor máximo de esfuerzo de corte doble siendo de 231.6 MPa.

Se repite el ensayo variando las medidas de la probeta y de la carga tal como en el laboratorio virtual.

### **3.2.7 Ensayo de corte directo en una probeta de madera**

En primer lugar, se realiza el modelado de los accesorios para el ensayo de corte en una probeta de madera, los cuales cuentan con un conjunto base y un dado, los cuales se aprecian en la Figura 55.

**Figura 55**  
*Accesorios para el ensayo de corte en madera*

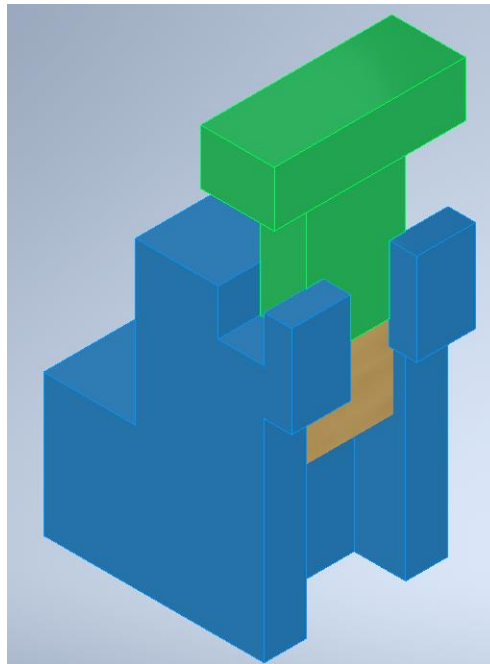


El material usado para los accesorios es el Acero para herramientas AISI tipo W1.

A continuación, se procede a ensamblar las piezas tal como se presenta en el laboratorio virtual con las restricciones respectivas junto con la probeta en su lugar para la realización del ensayo de corte tal como se muestra en la Figura 56.

**Figura 56**

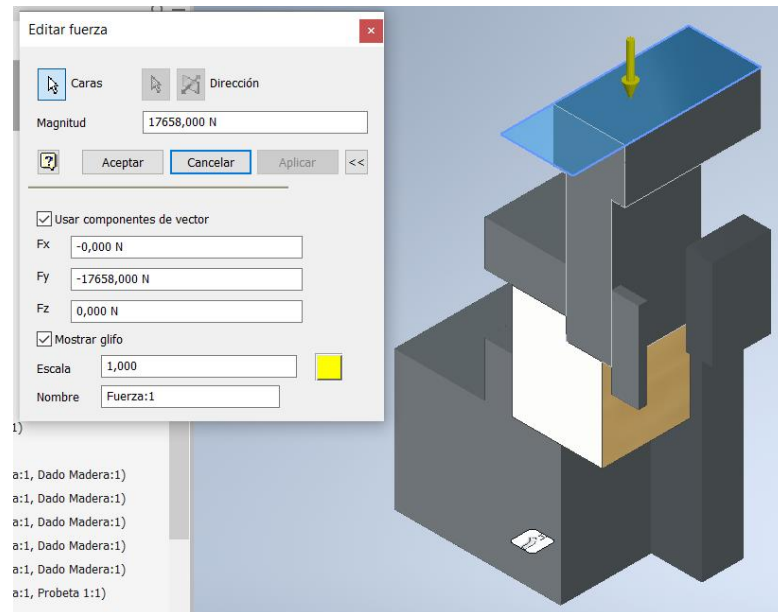
*Modelo ensamblado para la simulación*



El material usado en la probeta es el Madera Pino Douglas, cuyas características fueron añadidas a partir de las encontradas en el libro de Resistencia de Materiales de Robert Mott tal como se explicó anteriormente.

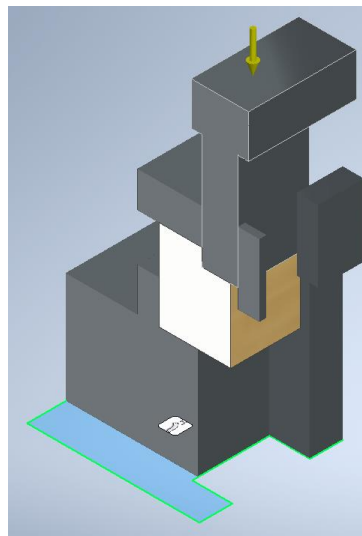
A continuación, se procede a colocar la carga en este caso viene a ser el valor de aplicación de carga al cual se produjo la fractura (N), ésta sobre el dado en donde la maquina universal realiza la aplicación tal como se ve en la Figura 57.

**Figura 57**  
*Aplicación de carga*



A continuación, se determinan las restricciones en este caso se coloca una restricción fija en la base inferior del ensamblaje tal como se muestra en la Figura 58.

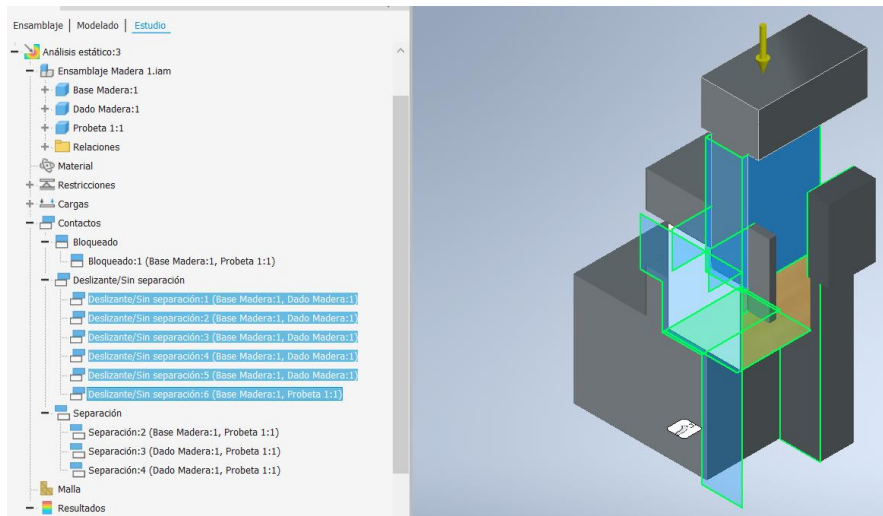
**Figura 58**  
*Restricción fija*



A continuación, se establecen los contactos que existirán entre las piezas del ensamblaje tal como se presentan destacando por una parte contactos de deslizantes sin separación entre la base y el dado; y entre la base inferior de la probeta y la base del

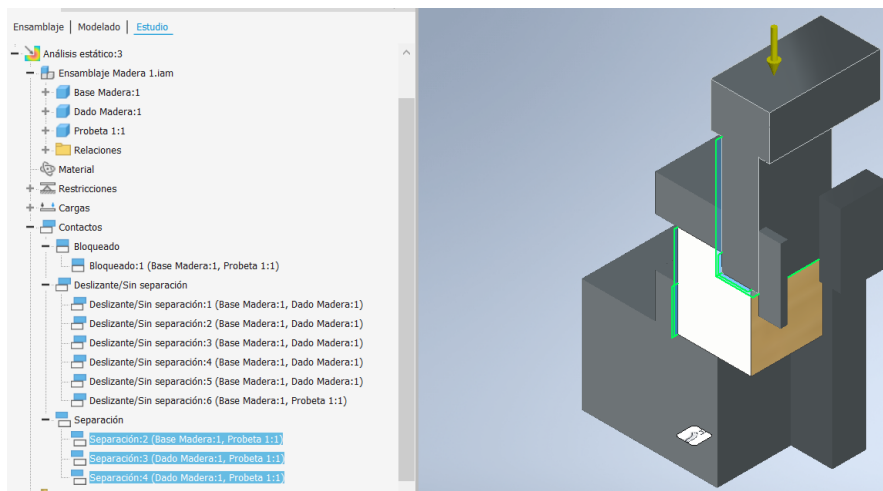
equipo tal como se aprecia en la Figura 59.

**Figura 59**  
*Contactos deslizantes/sin separación establecidos*



Por otra parte se utiliza contactos de separación entre la probeta y la base junto con el dado tal como se muestra en la Figura 60.

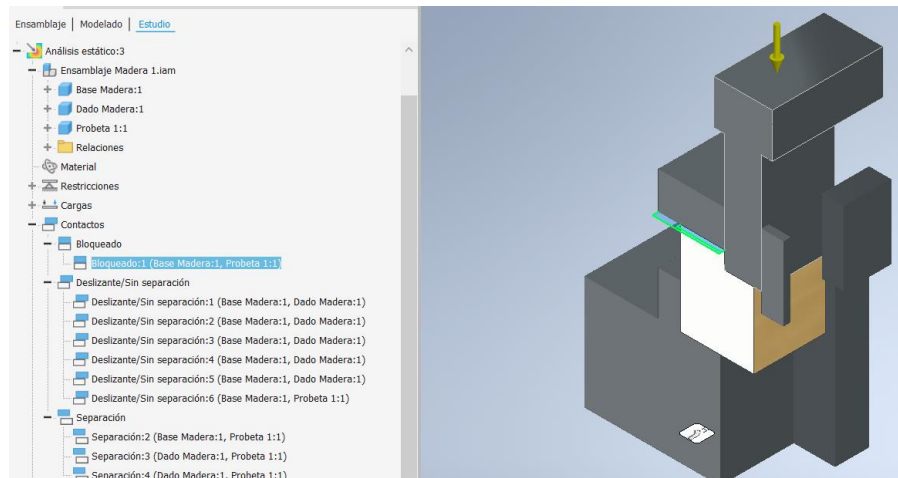
**Figura 60**  
*Contactos separación establecidos*



A continuación, se establece el contacto de bloque entre la base superior de la probeta y la base del accesorio de la herramienta de corte tal como se ve en la Figura 61.

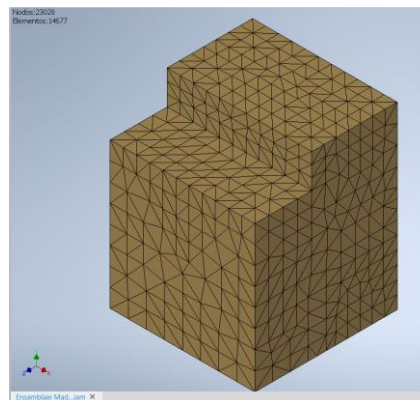


**Figura 61**  
*Contacto de bloqueo establecido*



A continuación, se realiza el mallado del ensamblaje haciendo énfasis en la probeta por lo cual se oculta la visualización de los demás accesorios para que al obtener los resultados solo se muestren los deseados en cuestión tal como se aprecia en la Figura 62 y corremos la simulación

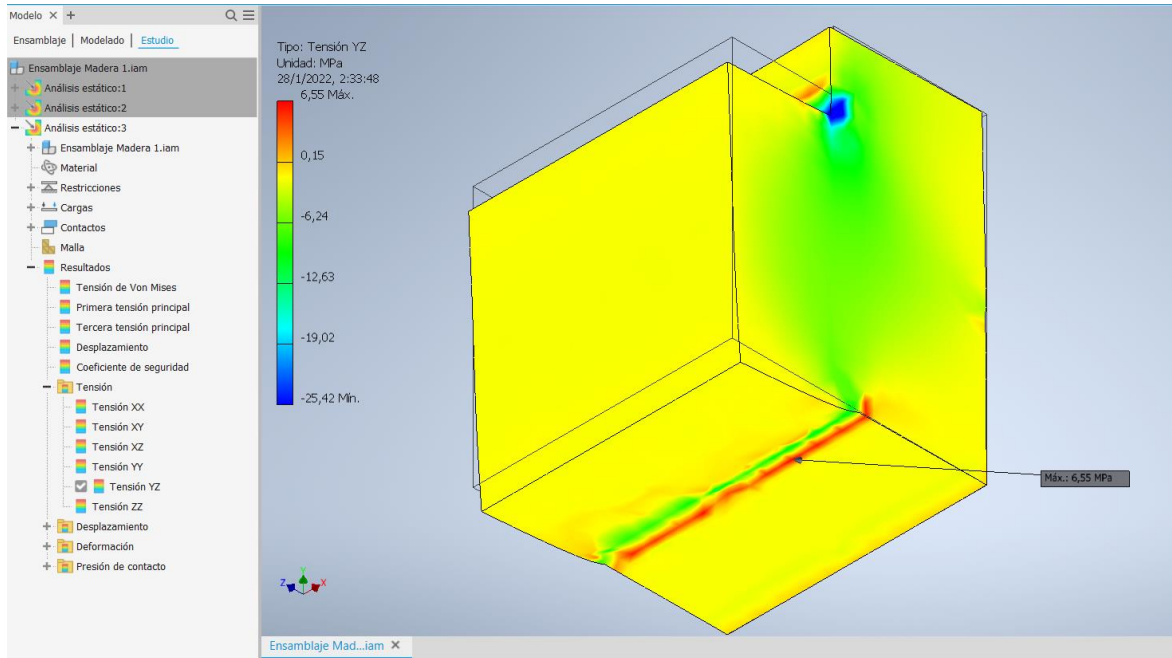
**Figura 62**  
*Mallado de la probeta*



Con la simulación realizada se procede a activar los resultados de tensión YZ y tomamos el valor máximo positivo como el esfuerzo de corte doble tal como se muestra la Figura 63.



**Figura 63**  
*Tensiones cortante YZ*



*Nota.* En la figura se aprecia el valor máximo de esfuerzo de corte doble de 6,55 MPa

Se repite el ensayo variando las medidas de la probeta y de la carga tal como en el laboratorio virtual.

## Capítulo IV

### 4. Análisis e interpretación de resultados

#### 4.1 Análisis de resultados

El análisis compara los resultados obtenidos por las simulaciones en software CAD (Autodesk Inventor) y los resultados obtenidos del laboratorio virtual, de los cuales se obtiene el porcentaje de error.

#### 4.1.1 Obtención de porcentaje de error entre el laboratorio virtual y software CAD (Autodesk Inventor)

En la Tabla 12 se aprecian los porcentajes de error de cada ensayo para la obtención de la resistencia al corte doble en la placa de acero dulce.

**Tabla 12**

*Resultados de la simulación en una placa de acero dulce*

Dimensión	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Promedio
<b>Resistencia al corte doble (MPa) Simulación</b>	424	439,4	323,3	395,567
<b>Resistencia al corte doble (MPa) Laboratorio</b>	407,565	427,141	315,158	383,288
<b>% Error</b>	<b>3,876</b>	<b>2,790</b>	<b>2,518</b>	<b>3,104</b>

*Nota.* En la tabla se presentan los valores obtenidos en la simulación comparados con los obtenidos en el laboratorio virtual

En el ensayo de corte en una placa de acero dulce, del laboratorio virtual se obtiene al final un valor de resistencia al corte doble promedio de 383,288 MPa, mientras tanto por medio de la simulación en el software Autodesk Inventor se obtiene un valor de resistencia al corte doble promedio de 395,567 MPa. Con lo cual comparando ambos valores se tiene un error de 3,104%.

En la Tabla 13 se aprecian los porcentajes de error de cada ensayo para la obtención de la resistencia al corte doble en una varilla de acero dulce.

**Tabla 13***Resultados de la simulación en una varilla de acero dulce*

<b>Dimensión</b>	<b>Ensayo 1</b>	<b>Ensayo 2</b>	<b>Ensayo 3</b>	<b>Promedio</b>
<b>Resistencia al corte doble (MPa) Simulación</b>	231,6	235,4	326,8	264,600
<b>Resistencia al corte doble (MPa) Laboratorio</b>	239,354	232,444	289,103	253,634
<b>% Error</b>	<b>3,348</b>	<b>1,256</b>	<b>11,535</b>	<b>4,144</b>

*Nota.* En la tabla se presentan los valores obtenidos en la simulación comparados con los obtenidos en el laboratorio virtual

En el ensayo de corte en una varilla de acero dulce, del laboratorio virtual se obtiene un valor de resistencia al corte doble promedio de 253,634 MPa, por otro lado, por medio de la simulación en el software Autodesk Inventor se obtiene un valor de resistencia al corte doble promedio de 264,6 MPa. A partir de dichos valores se comparan y se obtiene un error de 4,144%

En la Tabla 14 se aprecian los porcentajes de error de cada ensayo para la obtención de la resistencia al corte simple en una probeta de madera.

**Tabla 14***Resultados de la simulación en una probeta de madera*

<b>Dimensión</b>	<b>Ensayo 1</b>	<b>Ensayo 2</b>	<b>Ensayo 3</b>	<b>Promedio</b>
<b>Resistencia al corte simple (MPa) Simulación</b>	6,55	8,83	8,17	7,850
<b>Resistencia al corte simple (MPa) Laboratorio</b>	6,797	9,119	9,232	8,383
<b>% Error</b>	<b>3,771</b>	<b>3,277</b>	<b>12,999</b>	<b>6,787</b>

*Nota.* En la tabla se presentan los valores obtenidos en la simulación comparados con los obtenidos en el laboratorio virtual

En el ensayo de corte simple en madera, de laboratorio virtual se obtiene un valor de resistencia al corte simple promedio de 8.383 MPa, mientras que por medio de la simulación en el software Autodesk Inventor se obtiene un valor de resistencia corte

simple promedio de 7,850 MPa. A partir de lo cual comparando los valores se tiene un error de 6,356%

## Capítulo V

### 5. Conclusiones y recomendaciones

#### 5.1 Conclusiones

- Se determinó el valor de la resistencia al corte directo de la placa de acero dulce obteniendo un valor de 383,288 MPa, para la varilla de acero dulce un valor de 253,634 MPa y para la madera un valor de 8,383 MPa utilizando el laboratorio virtual (Virtual Labs).
- Se determinó el valor de la resistencia al corte directo de la placa de acero dulce obteniendo un valor de 395,567 MPa, para la varilla de acero dulce un valor de 264,6 MPa y para la madera un valor de 7,85 MPa. Utilizando el software Autodesk Inventor (CAD).
- El porcentaje de error del laboratorio virtual en comparación del software de simulación en el caso de la placa de acero dulce es de 3,104%, en el caso de la varilla de acero dulce es de 4,144%, en el caso de la madera es de 6,787%.
- Los errores que obtenemos del laboratorio virtual con respecto a la simulación en la placa de acero dulce se encuentran dentro del 10% de variación permitido
- Por lo tanto, el laboratorio virtual se puede utilizar para la determinación de las propiedades mecánicas de los materiales.

## 5.2 Recomendaciones

- Se deben utilizar las propiedades obtenidas en el laboratorio virtual, para realizar la simulación en el software CAD.
- Para realizar las simulaciones se debe definir los materiales de los accesorios tal como especifica la norma IS: 5242 -1979.
- Se recomienda el uso de Virtual Labs como una herramienta didáctica mas no como un remplazo de un laboratorio, debido al pequeño catálogo de materiales y geometrías a ensayar.
- Para la interpretación de resultados obtenidos por el software Inventor se recomienda tener conocimientos previos como son las disposiciones de esfuerzos que entrega el programa según las combinaciones de sus ejes coordinados.
- Se recomienda la creación tutorial en futuros trabajos de investigación relacionados a laboratorios virtuales y software de simulación.

## Bibliografía

- Aguilar Juárez, I., & HEREDIA ALONSO, J. R. (2013). *Simuladores y laboratorios virtuales para Ingeniería en Computación*. Texcoco: Centro Universitario UAEM.
- Alarcon Pupiales, Á. A. (2018). *MÁQUINA UNIVERSAL DE ENSAYOS DESTRUCTIVOS SISTEMA MÓVIL*. Ibarra: UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE.  
<http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/8561/1/04%20MEC%20239%20TRABAJO%20DE%20GRADO.pdf>
- American Society for Testing and Materials. (2014). *Standard Test Methods for Small Clear Specimens of Timber (ASTM D143-14)*. West Conshohocken: ASTM International. <https://www.astm.org/d0143-14.html>
- Askeland, D. R., Fulay, P. P., & Wright, W. J. (2013). *Ciencia e ingeniería de materiales*. México: CENGAGE Learning. <https://doi.org/978-607-481-620-4>
- Autodesk . (13 de Febrero de 2014). *Visualización de resultados*.  
[https://knowledge.autodesk.com:](https://knowledge.autodesk.com)  
<https://knowledge.autodesk.com/es/support/inventor-products/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2014/ESP/Inventor/files/GUID-A88840EF-391B-4987-A77B-5D58F19600CA-htm.html>
- Beer, F. P., Johnston, R., Dewolf, J., & Mazurek, D. (2010). *Mecánica de Materiales*. México, D. F: McGrawHill Education. <https://doi.org/0-07-722140-0>
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe. (Agosto de 2020). *La educación en tiempos de la pandemia de COVID-19*. [https://www.cepal.org:](https://www.cepal.org)  
<https://www.cepal.org/es/publicaciones/45904-la-educacion-tiempos-la-pandemia-covid-19>
- Cunalata Toapanta, G. E. (2015). *DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN LABORATORIO DE MODELADO Y DISEÑO MECÁNICO ASISTIDO POR*

*COMPUTADORA MEDIANTE SOFTWARE CAD 3D-2D Y SOLIDWORKS EN LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI SEDE LA MANÁ CANTÓN LA MANÁ PROVINCIA DE COTOPAXI AÑO 2013.* La Maná: UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI. <http://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/3411/1/T-UTC-00688.pdf>

Davis, H. E., Troxell, G. E., & Wiskocil, C. W. (1982). *Ensayo e inspección de los materiales de ingeniería.* México: Editorial Continental.

<https://biblioteca.epn.edu.ec/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=25271>

Diario El Universo . (10 de Enero de 2021). *Universidades de Ecuador se anclan a la virtualidad de la educación, pero hay incertidumbre para este 2021.* El Universo : <https://www.eluniverso.com/noticias/2021/01/10/nota/9343705/universidades-educacion-matriculas-pandemia-covid-teleduccion/>

Gallego Botero, P. A., & Claros Claros, R. F. (2007). *Diseño mecánico de una máquina universal de ensayos para polímeros.* Pereira: Universidad tecnológica de Pereira.

<http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/1113/621815G166dm.pdf;jsessionid=6745CD2863A4E3848A8B3CD46C6035FE?sequence=1>

Hibbeler, R. C. (2011). *Mecánica de Materiales.* México: PEARSON EDUCACIÓN.

<https://doi.org/978-607-32-0559-7>

Indian Standard. (2006). *Method of test for determining shear strenght of metals (IS 5242-1979).* Nueva Delhi: INDIAN STANDARDS INSTITUTION.

<https://law.resource.org/pub/in/bis/S10/is.5242.1979.pdf>

Indian Standard Institution. (2005). *METHODS OF TESTING OF SMALL CLEAR SPECIMENS OF TIMBER (IS 1708-11-1986).* Nueva Delhi: INDIAN STANDARDS INSTITUTION. <https://law.resource.org/pub/in/bis/S03/is.1708.1-18.1986.pdf>

Lorandi Medina, A. P., Hermida Saba, G., Hernández Silva, J., & Guevara Durán, E. L.



(2011). Los Laboratorios Virtuales y Laboratorios Remotos en la Enseñanza de la Ingeniería. *Revista Internacional de Educación en Ingeniería*, 24-30.

[https://www.researchgate.net/profile/Alberto-Lorandi-](https://www.researchgate.net/profile/Alberto-Lorandi-Medina/publication/267302003_Los_Laboratorios_Virtuales_1_y_Laboratorios_Remotos_en_la_Ensenanza_de_la_Ingenieria/links/598f47c8458515b87b443b5b/Los-Laboratorios-Virtuales-1-y-Laboratorios-Remotos-en-la)

[Medina/publication/267302003\\_Los\\_Laboratorios\\_Virtuales\\_1\\_y\\_Laboratorios\\_Remotos\\_en\\_la\\_Ensenanza\\_de\\_la\\_Ingenieria/links/598f47c8458515b87b443b5b/Los-Laboratorios-Virtuales-1-y-Laboratorios-Remotos-en-la](https://www.researchgate.net/profile/Alberto-Lorandi-Medina/publication/267302003_Los_Laboratorios_Virtuales_1_y_Laboratorios_Remotos_en_la_Ensenanza_de_la_Ingenieria/links/598f47c8458515b87b443b5b/Los-Laboratorios-Virtuales-1-y-Laboratorios-Remotos-en-la)

Material Properties. (17 de Junio de 2021). *Acero dulce – Densidad – Resistencia – Dureza – Punto de fusión*. <https://material-properties.org/>: <https://material-properties.org/es/acero-dulce-densidad-resistencia-dureza-punto-de-fusion/>

MatWeb. (1 de Marzo de 2016). *AISI Type W1 Tool Steel, water quenched at 775°C (1425°F), tempered 350°C (660°F)*. <http://www.matweb.com>:

<http://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=29bd5fccff234a4ea7b458f865323afd>

Mott, R. L. (2009). *RESISTENCIA DE MATERIALES*. México: PEARSON EDUCACIÓN. <https://doi.org/978-607-442-047-0>

NKE. (13 de Julio de 2021). *Autodesk Inventor: qué es y sus ventajas*. [www.nke360.es](http://www.nke360.es): <https://www.nke360.es/autodesk-inventor-que-es-y-ventajas/>

nys Navarro y Soler CAD-PLM Software. (15 de Diciembre de 2016). *Ansys*. [nysplm.com](http://www.nysplm.com): <https://www.nysplm.com/ansys/>

Rojas Lazo, O., & Rojas Rojas, L. (2006). Diseño asistido por computador. *Industrial Data*, 7-15. <https://www.redalyc.org/pdf/816/81690102.pdf>

S.A.E IBERTEST. (3 de Noviembre de 2013). *Máquina de ensayo universal hidráulica – Serie IBMU4*. <https://www.ibertest.es/>: <https://www.ibertest.es/products/maquina-de-ensayos-universal-hidraulica-serie-ibmu4/>

SAI GLOBAL. (2021). *UNE 7246 : 1974*. [infostore.saiglobal.com/](http://infostore.saiglobal.com/):

<https://infostore.saiglobal.com/en-us/Standards/UNE-7246-1974->

18729\_SAIG\_AENOR\_UNE\_AENOR\_UNE\_41375/en-us/contact\_us/

Salazar, M. F. (s.f.). *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*. Quito: Universidad Internacional SEK .

SENATI. (11 de Mayo de 2020). *Estos son los software más avanzados para la educación profesional técnica virtual*. Conexión Senati blog:

<https://www.senati.edu.pe/conexionsenati/mas/estos-son-los-software-mas-avanzados-para-la-educacion-profesional-tecnica-virtual/>

SOLIDBI. (28 de Enero de 2018). *SOLIDWORKS. Qué es y para qué sirve*. <https://solid-bi.es/>: <https://solid-bi.es/solidworks/>

UNE Normalización Española. (1974). *UNE 7246:1974 Determinación de la resistencia a cizalladura de roblones y tonrillos de acero*. Madrid: UNE Normalización Española.

Universidad Técnica Particular de Loja. (10 de Marzo de 2021). *Las prácticas en laboratorios virtuales aseguran una carrera exitosa*. [noticias.utpl.edu.ec](https://noticias.utpl.edu.ec/):

<https://noticias.utpl.edu.ec/las-practicas-en-laboratorios-virtuales-aseguran-una-carrera-exitosa>

Virtual Labs. (2021). *Direct Shear Test on Mild Steel Plate*. [sm-nitk.vlabs.ac.in/](https://sm-nitk.vlabs.ac.in/):

<https://sm-nitk.vlabs.ac.in/List%20of%20experiments.html>

Virtual Labs. (2021). *Direct Shear Test on Mild Steel Rod*. [sm-nitk.vlabs.ac.in/](https://sm-nitk.vlabs.ac.in/): <https://sm-nitk.vlabs.ac.in/exp/direct-shear-test-steel-rod/simulation.html>

Virtual Labs. (2021). *Direct Shear Test on Timber Specimen*. [sm-nitk.vlabs.ac.in](https://sm-nitk.vlabs.ac.in/):

<https://sm-nitk.vlabs.ac.in/exp/direct-shear-test-timber/simulation.html>

# ANEXOS

**Anexo 1**

Link carpeta en Drive que contiene los archivos de la simulación:

<https://drive.google.com/drive/folders/1WhRjmJw31x1dg6PWR9X3IHBqgAxro3V7?usp=sharing>

**Anexo 2**

Link documento de excel con los cálculos realizados.

<https://docs.google.com/spreadsheets/d/1Mu3UwAcKOmuBUR2BcLER5rqORu15JVV5/edit?usp=sharing&oid=101570754610199117382&rtpof=true&sd=true>