

Análisis De Propiedades Mecánicas De Desgarro De Un Adhesivo Epóxico  
Con Diferentes Concentraciones De Lignina

Juan Manuel Bonilla Correa, Sebastián Campo Bello

Trabajo de Grado para Optar al Título de Ingeniero Mecánico

Director

William Pinto Hernández

Doctor en Ingeniería Mecánica

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingeniería Fisicomecánicas

Escuela de Ingeniería Mecánica

Bucaramanga

2024

### **Agradecimientos**

Primeramente, a Dios Todopoderoso, por darme la fortaleza, sabiduría y perseverancia para llegar hasta este momento importante en mi vida. Sin su guía esto no habría sido posible.

A mi padre, Luis Alfonso Bonilla Blanco, por el gran apoyo que ha sido para mí. Por el cariño y ser mi más grande ejemplo de perseverancia y esfuerzo. A mi madre, Daliris Milena Correa Daza, por ser esa mujer luchadora, amorosa y comprensiva, por los consejos y por ser ese ejemplo de mujer capaz con los obstáculos que se imponen a diario. A mis hermanos, Daniel Santiago y Joan Alfonso, por todo el cariño y apoyo recibido en cada paso de este camino. Gracias por estar pendientes y por compartir conmigo esta alegría.

A mi Lau, que desde que nos conocimos me ha brindado mucha alegría, apoyo, comprensión. Su compañía y paciencia en los momentos más difíciles me ayudaron a seguir adelante con confianza.

A mi familia y amigos por los momentos, consejos y conversaciones que me ayudaron a no desfallecer.

A mi compañero de tesis Sebastián Campo, por confiar en mi desde el principio.

Por último, a mis angelitos Pedro, Alicita, Alfonso y Manuel que desde el cielo me guiaron día a día para salir adelante.

Con gratitud Juan Manuel Bonilla Correa.

### **Agradecimientos**

En primer lugar, agradecerle a Dios que me permitió conseguir este gran logro para mi vida, a mis padres, Sebastián Campo Alvarino y Nancy Bello Baldovino por la enseñanza, el esfuerzo, el sacrificio hecho a mi nombre y su constante amor, a mis hermanos que influyeron con cada aporte dado con mucho valor para mí, a mis sobrinos por brindarme su más sincero cariño.

A todos mis docentes y amigos que de una u otra forma aportaron en mi crecimiento personal y profesional.

SEBASTIÁN CAMPO BELLO.

**Tabla de Contenido**

	<b>Pág.</b>
Introducción .....	13
1. Objetivos.....	14
1.1. Objetivo General.....	14
1.2. Objetivos Específicos.....	14
2. Marco Teórico .....	15
3. Metodología .....	25
3.1. Diseño y Construcción del Accesorio Desplegable.....	25
3.1.1. Definición De Requisitos y Objetivos .....	25
3.9. Diseño en detalle del accesorio .....	29
3.10. Construcción del accesorio.....	47
4. Procedimiento Experimental .....	53
4.1. Materiales Y Equipos.....	53
5. Preparación De Muestras .....	58
6. Análisis De Varianza (ANOVA).....	62
7. Resultados .....	63
8. Conclusiones .....	72
Referencias.....	73
Anexos .....	77
3.2. Investigación Preliminar .....	77
3.4. Requisitos técnicos .....	79
3.5. Generación de Ideas Iniciales.....	80

3.6. Selección del material para el accesorio .....	87
3.7. Evaluación de Alternativas Matriz de Calidad.....	87
3.8. Especificaciones de la mejor alternativa.....	89
3.8.1. Bocetado Detallado y Posible Diseño Final a Modo de Despiece .....	89
3.8.2. Modelado del accesorio en SolidWorks.....	89
3.8.2.1. Subsistema de Bastidor .....	91
3.8.2.2. Subsistema de Desplazamiento.....	93
3.8.2.3. Subsistema de Tensión.....	94
3.8.2.3.1. Subsistema de Tensión Superior.....	94
3.8.2.3.2. Subsistema de Tensión Inferior .....	95
3.9. Simulaciones de esfuerzos .....	96

**Lista de Tablas**

	<b>Pág.</b>
Tabla 1. Dimensiones de placa.....	57
Tabla 2. Cantidad de placas por cada porcentaje de lignina .....	57
Tabla 3. Valores De Rugosidad.....	60
Tabla 4. Datos de fuerza de pelado en Newton de cada grupo. ....	63
Tabla 5. Datos para obtener valor crítico en las diferencias de medias.....	69
Tabla 6. Ponderación de los criterios para la matriz QFD.....	88
Tabla 7. Método de selección de alternativas QFD.....	88
Tabla 8. Nombres de subsistemas de la Fig. 20 .....	91
Tabla 9. Nombres de las Piezas Subsistema de Bastidor.....	92
Tabla 10. Nombres de las Piezas del Subsistema de Desplazamiento. ....	94
Tabla 11. Nombres de las Piezas del Subsistema de Tensión Superior. ....	95
Tabla 12. Nombres de las Piezas del Subsistema de Tensión Inferior.....	96

**Lista de Figuras**

	<b>Pág.</b>
Figura 1. Ilustración del ensayo de resistencia al desgarro.....	17
Figura 2. Resina Epoxy Bonder marca LOCTITE.....	20
Figura 3. Lignina.....	20
Figura 4. Cinta reforzada marca TESA.....	21
Figura 5. Balanza analítica.....	21
Figura 6. Máquina de ensayos mecánicos BIONIX MTS.....	22
Figura 7. Plano Subsistema de Bastidor.....	30
Figura 8. Dimensiones Placa deslizante.....	35
Figura 9. Dimensiones Lámina Porta-Cintas.....	36
Figura 10. Dimensiones tensor superior.....	40
Figura 11. Dimensiones tensor inferior.....	40
Figura 12. Ensamble bastidor a 90°.....	47
Figura 13. Refuerzo de soldadura bastidor.....	48
Figura 14. Instalación de rodamientos y poleas.....	48
Figura 15. Bastidor antes de la capa de pintura.....	49
Figura 16. Bastidor pintado.....	49
Figura 17. Matriz para lámina Porta-Cintas.....	50
Figura 18. Taladrado de la matriz.....	50
Figura 19. Roscado agujeros placa deslizante.....	51
Figura 20. Prueba de deslizamiento.....	51
Figura 21. Placas tensor superior.....	52

Figura 22. Resina epoxica LOCTITE.....	53
Figura 23. Ficha técnica de resina epóxica LOCTITE.....	54
Figura 24. Lignina en polvo.....	54
Figura 25. Cintra dacrón.....	55
Figura 26. Máquina MTS BIONIX con accesorio de despegue.....	55
Figura 27. Balanza analítica.....	56
Figura 28. Rugosímetro.....	57
Figura 29. Lignina al 1%, 3% y 5%.....	58
Figura 30. Mezcla de lignina con resina epoxica.....	58
Figura 31. Toma de valores de rugosidad.....	59
Figura 32. Preparación de adhesivo.....	60
Figura 33. Unión entre adherente rígido y flexible (1%, 3% y 5%).....	61
Figura 34. Prueba de pelado.....	62
Figura 35. Promedio y desviación estándar de cada concentración de lignina.....	64
Figura 36. Media y desviación estándar de cada grupo.....	66
Figura 37. Resultados de análisis de varianza por MiniTab.....	66
Figura 38. Valores críticos de la distribución F (0.05).....	67
Figura 39. Gráfica de aceptación y rechazo de ANOVA.....	68
Figura 40. Cuantiles de distribución De Tukey.....	70
Figura 41. Tabla de Resultados Método Tukey.....	71
Figura 42. Accesorio TestResources.....	77
Figura 43. Accesorio Universal Grip Company.....	78
Figura 44. Accesorio Retrofitmach.....	79
Figura 45. Rodillos de avance.....	81

Figura 46. Mordaza para máquinas de medición .....	81
Figura 47. Lámina galvanizada .....	82
Figura 48. Boceto de la Alternativa 1.....	82
Figura 49. Rodamientos para el avance de la placa .....	83
Figura 50. Placas de sujeción de la lámina .....	83
Figura 51. Modelo de tensor del cable para la placa .....	84
Figura 52. Boceto Alternativa 2 .....	84
Figura 53. Rodamientos de bolas .....	85
Figura 54. Poleas .....	85
Figura 55. Tornillos cabeza de botón. ....	86
Figura 56. Placas .....	86
Figura 57. Boceto Alternativa 3. ....	87
Figura 58. Diseño de concepto por matriz QFD .....	89
Figura 59. Modelado del Accesorio en SolidWorks .....	90
Figura 60. Explosionado del accesorio por subsistemas .....	90
Figura 61. Explosionado del Subsistema de Bastidor. ....	92
Figura 62. Explosionado del Subsistema de Desplazamiento. ....	93
Figura 63. Subsistema de Tensión Superior. ....	95
Figura 64. Subsistema de Tensión Inferior. ....	96
Figura 65. Análisis estático accesorio .....	97
Figura 66. Análisis estático.....	97

**Lista de Anexos**

**Pág.**

**Anexo A.** Diseño Conceptual numerales del 2-7 ..... 77

## Resumen

**Título:** Análisis De Propiedades Mecánicas De Desgarro De Un Adhesivo Epóxico Con Diferentes Concentraciones De Lignina\*

**Autor:** Juan Manuel Bonilla Correa, Sebastián Campo Bello\*\*

**Palabras Clave:** Lignina, Adhesivos, Resina Epóxica, Norma ASTM D6862.

**Descripción:** Este estudio analiza las propiedades mecánicas de un adhesivo epóxico modificado con lignina en concentraciones del 0%, 1%, 3% y 5%. Para ello, se diseñó un accesorio especializado para pruebas de desgarro según la norma ASTM D6862 y se evaluaron distintas muestras con variaciones de lignina. Se utilizó un análisis estadístico (ANOVA) para examinar la relación entre la concentración de lignina y la resistencia al desgarro. Los resultados muestran que una concentración del 3% optimiza la resistencia del adhesivo sin comprometer su funcionalidad. Este trabajo destaca el uso de la lignina como una alternativa sostenible para reducir el impacto ambiental en la industria de adhesivos.

---

\* Trabajo de Grado

\*\* Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería mecánica. Director: William Pinto Hernández, Doctor en Ingeniería mecánica.

**Abstract**

**Title:** Analysis of Tear Mechanical Properties of an Epoxy Adhesive with Different Lignin Concentrations\*

**Authors:** Juan Manuel Bonilla Correa, Sebastián Campo Bello\*\*

**Keywords:** Lignin, Adhesives, Epoxy Resin, ASTM D6862 Standard.

**Description:** This study analyzes the mechanical properties of a lignin-modified epoxy adhesive at concentrations of 0%, 1%, 3%, and 5%. A specialized accessory was designed for tear tests according to ASTM D6862, and various samples with different lignin variations were evaluated. Statistical analysis (ANOVA) was used to examine the relationship between lignin concentrations and tear strength. Results show that a 3% concentration optimizes adhesive strength without compromising functionality. This work highlights lignin as a sustainable alternative to reduce environmental impact in the adhesives industry.

---

\*Degree Work

\*\* Faculty of Engineering. School of Mechanical Engineering. Director: William Pinto Hernández. Doctor in Mechanical Engineering.

## Introducción

La industria manufacturera produce una variedad de adhesivos para la fabricación de diversos productos de automóviles hasta dispositivos electrónicos y productos de consumo, también afronta innumerables problemas en la búsqueda de alternativas sostenibles a los adhesivos convencionales derivados del petróleo. La lignina una sustancia natural abundante, surge como una viable solución. Es un recurso versátil y su uso sigue expandiéndose a medida que se desarrollan nuevas tecnologías y aplicaciones. Además, la producción de lignina en el mundo llega a 50 millones de toneladas de sólido por año procedente de los diferentes procesos de pulpeo (Gosselink y col., 2004, p. 82). Y su aplicación en la industria de adhesivos contribuye a la sostenibilidad al aprovecharlo como subproducto, reduciendo así los residuos y el impacto ambiental.

En un futuro cercano, la lignina tendrá, entre otras muchas capacidades, la de sustituir muchos materiales plásticos derivados del petróleo, además de ser utilizada en diversas aplicaciones de la industria farmacéutica, agroquímica, alimenticia, cosmética, entre otras (Campusa, 2017).

En esta investigación se plantea evaluar el comportamiento mecánico de adhesivos tipo epoxi con diferentes concentraciones de lignina en condiciones de desgarre y su posible uso en cintas. Los datos para la evaluación del análisis experimental serán obtenidos a partir de ensayos de resistencia al despegue de una unión adhesiva entre un adherente rígido y un adherente flexible según la norma ASTM D6862 (Método de prueba estándar para la resistencia al despegue de adhesivos a 90 grados) cuando se prueba en un ángulo de 90 grados bajo condiciones específicas de preparación.

## 1. Objetivos

### 1.1. Objetivo General

Analizar las propiedades mecánicas de desgarro de una resina epóxica con diferentes concentraciones de lignina, con el propósito de impulsar e implementar el reutilizamiento de este subproducto en la industria para uso de adhesivos tipo cinta.

### 1.2. Objetivos Específicos

- Diseñar y construir el accesorio desplegable para la máquina de ensayos mecánicos MTS BIONIX la cual dispone de una capacidad de carga de hasta 25kN, que soporte cintas con dimensiones mínimas de 25 mm de ancho y 150 mm de largo requeridas en la norma ASTM D6862 (Método de prueba estándar para la resistencia al desgarro de adhesivos a 90 grados).
- Realizar el análisis experimental de una resina epóxica con 0%, 1%, 3% y 5% de concentraciones de lignina según lo establecido en la norma ASTM D6862 (Método de prueba estándar para la resistencia al desgarro de adhesivos a 90 grados).
- Llevar a cabo un análisis de varianza (ANOVA) que permita relacionar las concentraciones de lignina con las propiedades mecánicas de desgarro obtenidas del ensayo con la norma ASTM D6862 (Método de prueba estándar para la resistencia al desgarro de adhesivos a 90 grados).

## 2. Marco Teórico

### 2.1. Lignina

La lignina es una clase de polímero orgánico complejo que forma estructuras importantes en los tejidos de soporte de plantas vasculares, junto con la celulosa y hemicelulosa son importantes en la formación de las paredes celulares en una disposición regulada a nivel nano-estructural, ya que brinda rigidez y resistencia.

La lignina es un elemento notable en todas las plantas de tipo vasculares y que puede variar según la especie de la planta. La extracción y el aprovechamiento de la lignina son de investigación activa debido a su potencial como materia prima renovable y sostenible

#### *La lignina como fuente de materia prima renovable y sostenible*

En la actualidad la lignina es una de las sustancias más abundantes en las plantas que gana importancia por su potencial como fuente de materias primas renovables, sostenibilidad en diversas industrias y que no tiene uso comercial, su reutilizamiento incluye la producción de adhesivos y resinas, también auxilia a la mitigación del cambio climático.

### 2.2. Adhesivos

Los adhesivos son sustancias que se utilizan para unir dos superficies. Se utilizan comúnmente en diversas industrias, como la construcción, la automoción, la atención sanitaria y el embalaje de consumo (Instron, 2022). Se puede probar la fuerza de unión de los adhesivos mediante pruebas de resistencia al desgarro (*Complete Guide to peel Testing - Industrial Physics*, 2023) (Yalcin, 2023). La durabilidad de la unión formada entre sustratos por el adhesivo depende en gran

medida de las propiedades del adhesivo particular, específicamente de su adhesión y cohesión (Ronquillo. R, 2023).

Existen adhesivos de diferente naturaleza, no obstante, los más utilizados son los de tipo estructural y reactivos.

### ***2.2.1. Adhesivos Estructurales***

Son fuertes y generalmente se usan por debajo de su temperatura de transición vítrea (Tg), la temperatura a la que el polímero se transforma en un material blando y viscoso. Algunos adhesivos estructurales bien conocidos son los epoxis, cianoacrilatos, uretanos y acrílicos (Admin, 2020) (Ronquillo. R, 2023).

### ***2.2.2. Adhesivos Reactivos***

Son adhesivos que reaccionan químicamente para endurecerse. Se pueden dividir a su vez en adhesivos reactivos mono componente y bicomponente. Ejemplos de adhesivos reactivos incluyen adhesivos epoxi y cianoacrilato (UHU | *Adhesive types*, s. f.).

## **2.3. Norma ASTM D6862 (Método De Prueba Estándar Para La Resistencia Al Desgarro De Adhesivos a 90 Grados)**

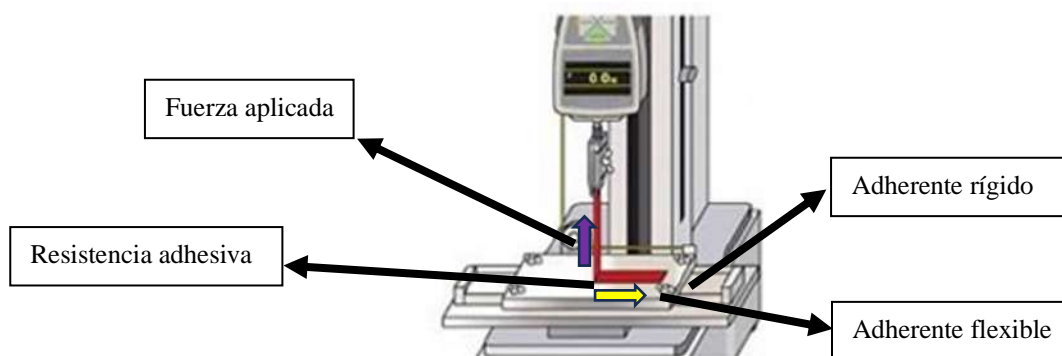
La norma ASTM D6862 es una especificación estándar que establece los procedimientos y criterios para la realización de ensayos de desgarro de cintas adhesivas.

La norma describe el procedimiento detallado para realizar el ensayo de desgarro a 90 grados, incluyendo la preparación de muestras, la aplicación de la cinta adhesiva, el montaje en el equipo de ensayo y la aplicación de la fuerza de desgarro. Todo con el fin de garantizar la calidad

e idoneidad de las cintas. Una variación en el espesor de los adherentes generalmente influirá en los valores de prueba.

La prueba de 90 grados requiere de un accesorio desplegable de prueba de desgarro o plataforma que se conduce suavemente horizontalmente a la misma velocidad que la mordaza se mueva verticalmente, de modo que se mantenga el ángulo de 90 grados entre el adherente flexible y el adherente rígido o fijo. La plataforma debe disponer de medios para sujeción del adherente fijo a la superficie y así poder determinar la resistencia adhesiva.

**Figura 1.** Ilustración del ensayo de resistencia al desgarro



*Nota: Imagen tomada de <https://www.mexpolimeros.com/lab/peeling.html>.*

Algunas propiedades y parámetros que son destacados a la hora de evaluar la calidad y el rendimiento del adhesivo son:

#### **2.4. Fuerza De Desgarro a 90 Grados (Peel Strength):**

Representa la fuerza necesaria para separar el adhesivo del sustrato cuando se aplica la fuerza en un ángulo de 90 grados en unidades de Newtons por unidad de ancho (N/mm). La fuerza de pelado se calcula dividiendo la fuerza máxima registrada durante el ensayo sobre el ancho de la muestra. (Yalcin, 2023).

$$\text{fuerza de pelado} = \frac{\text{Fuerza Máxima Registrada}}{\text{Ancho de la Muestra}} \quad (1)$$

#### **2.4.1. Energía De Desgarro (Peel Energy):**

Es el trabajo realizado para separar el adhesivo del sustrato de ensayo, se calcula como el área bajo la curva de carga-desplazamiento en el gráfico de resultados del ensayo. Esta proporciona una visión más completa de la resistencia al desgarro y tenacidad del adhesivo. (Wool, R, P., & Sun, X, S., 2005).

#### **2.4.2. Velocidad De Desgarro (Peel Rate):**

La velocidad a la que se aplica la fuerza durante el ensayo puede afectar los resultados, registrar la velocidad para que permita hacer las comparaciones válidas.

#### **2.4.3. Curva De Carga Vs Desplazamiento:**

El gráfico generado durante el ensayo muestra como varia la fuerza a medida que se aplica el pelado, esto es útil para entender el comportamiento del adhesivo y su capacidad para resistir cargas de desgarro. (Yalcin, 2023).

### **2.5. Análisis De Varianza ANOVA**

El análisis de varianza ANOVA, es una técnica estadística usada para comparar las medias entre dos o más grupos, con la meta de establecer si existen diferencias significativas en la media entre los grupos que se están comparando o si cualquier diferencia que se observa se deba solamente al azar, esto nos permite investigar la variabilidad y la influencia de múltiples factores en los datos. (Cárdenas, 2015).

Para aplicación de un análisis ANOVA de un factor es necesario la recopilación de datos que permita hallar valores como la suma de cuadrado (SCT), obtener los grados de libertad (GLT)

y obtener el cálculo del valor estadístico F, que se obtiene al dividir la media cuadrática entre grupos (MCG) sobre la media cuadrática dentro de grupos (MCD) y así comparar el valor de F con el valor crítico seleccionado. (ANOVA de un factor, s. f.).

$$F = \frac{MCG}{MCD} \quad (2)$$

Si el valor de F es mayor, se rechaza la hipótesis nula y se determina que hay diferencias significativas entre las medias de los grupos. Si es menor, se acepta la hipótesis y se deduce que no hay diferencias significativas entre la media de los grupos.

**Hipótesis Nula (H0):** Esta hipótesis establece que no hay diferencias significativas entre las medias de los grupos analizados.

**Hipótesis Alternativa (H1):** Esta hipótesis sugiere que al menos dos de las medias de los grupos son diferentes entre sí. (ANÁLISIS DE LA VARIANZA CON UN FACTOR (ANOVA), s. f.)

**Suma De Cuadrados (SCT):** La suma de cuadrados es una medida de variación o desviación con respecto a la media, que se calcula como una suma de los cuadrados de las diferencias con respecto a la media. (Explicación de las sumas de los cuadrados - *Minitab*, s. f.)

**Grados De Libertad (GLT):** En el análisis de varianza (ANOVA), los grados de libertad se utilizan para calcular la variabilidad de los datos y determinar si las diferencias observadas entre los grupos son estadísticamente significativas. (*OpenIntro Statistics: Fourth Edition*, s. f.)

## 2.6. Materiales

### 2.6.1. Resina epóxica LOCTITE

LOCTITE Epoxy Bonder es un adhesivo transparente extra fuerte de uso comercial que se solidifica en 5 min y puede ponerse en operación en una hora, aporta cualidades de fuerza extrema, resistente al agua, a altas temperaturas y puede funcionar en cualquier tipo de material

**Figura 2.** Resina Epoxy Bonder marca LOCTITE



*Nota:* tomado de [https://www.loctite-consumidor.co/products/central-pdp.html/loctite-epoxi-bonder-transparente/SAP\\_0201OIL02KC5.html](https://www.loctite-consumidor.co/products/central-pdp.html/loctite-epoxi-bonder-transparente/SAP_0201OIL02KC5.html)

### 2.6.2. Lignina

La lignina utilizada para el análisis experimental es proveniente de la madera, con una textura de polvo fino y de coloración marrón, la materia o elemento fue proporcionada por la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Universidad Industrial de Santander.

**Figura 3.** Lignina



*Nota:* elaboración propia

### **2.6.3. Cinta**

Es un tipo de poliéster utilizado en diferentes aplicaciones, su uso principal es en la industria textil, como ropa, sabanas, cortinas, sillas y tapicería, brinda gran resistencia a la tracción y con baja elongación.

**Figura 4.** *Cinta reforzada marca TESA*



*Nota: (Tela Dacron Blanco Nacional Sofitex 150 Ancho X Metros, s. f.)*

### **2.6.4. Balanza Analítica**

Las concentraciones de lignina fueron medidas mediante una balanza analítica marca *OHAUS* para capacidad de carga de 220 g, utilizado para el pesaje básico, conteo de piezas y pesaje porcentual.

**Figura 5.** *Balanza analítica*

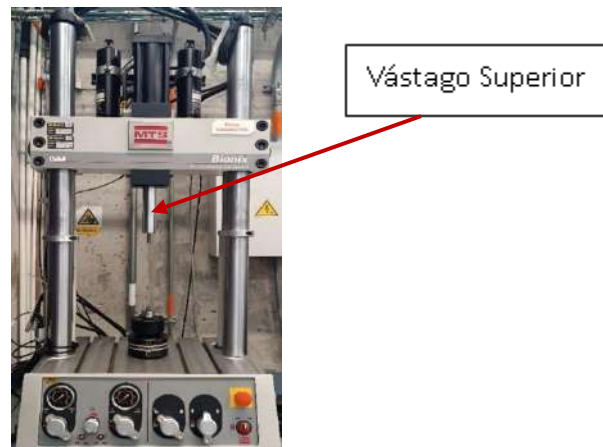


*Nota: tomado de <https://mx.ohaus.com/es-MX/Products/Balances-Scales/Analytical-Balances>.*

### 2.6.5. Máquina De Pruebas Mecánicas

Para la realización de las pruebas y determinar las propiedades mecánicas de desgarro bajo la norma ASTM D6862 (Método de prueba estándar para la resistencia al desgarro de adhesivos a 90 grados) se empleó el equipo MTS BIONIX con una capacidad de carga de 25KN, equipo fue brindado por la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Universidad Industrial de Santander.

**Figura 6.** Máquina de ensayos mecánicos BIONIX MTS



*Nota: fotografía tomada en el laboratorio de Ensayos Mecánicos Escuela de Ingeniería Mecánica UIS.*

### 2.6.6. Accesorio Desplegable

Según la norma ASTM D6862 exige la utilización de un accesorio desplegable de prueba de desgarro para realizar los ensayos de pelado, este accesorio será diseñado de modo que cumpla con los parámetros y requisitos establecidos en dicha norma.

## 2.7. Recolección De Datos y Análisis ANOVA

Para el análisis ANOVA de un factor será necesario una serie de cálculos para al final evaluar el termino F y determinar si existen diferencias significativas.

1. Seleccionar un nivel de significancia (alpha) para el análisis. Este valor determinará si se rechaza o no la hipótesis nula en el análisis estadístico. Normalmente, el nivel es 0.05.
2. Se juntarán los datos de la muestra.
3. Calcular la suma de cuadrados total (SCT), la suma de cuadrados entre grupos (SCG) y la suma de cuadrados dentro de grupos (SCD).

$$SCT = \Sigma(X_i - X)^2 \quad (3) \quad SCG = \Sigma(n_i(X_{i'} - X)^2) \quad (4) \quad SCD = \Sigma(X_i - X_{i'})^2 \quad (5)$$

Donde:  $X_i$  es el valor de la observación i,  $X$  es la media de todas las observaciones,  $n_i$  es el número de observaciones en el grupo i y  $X_{i'}$  es la media del grupo i.

4. Se calcula los grados de libertad total (GLT), entre grupos (GLG) y dentro de los grupos (GLD) y la media cuadrática entre grupos (MCG) y la media cuadrática dentro de grupos (MCD).

$$GLT = N - 1 \quad (6) \quad GLG = K - 1 \quad (7) \quad GLD = N - K \quad (8)$$

$$MCG = \frac{SCG}{GLG} \quad (9) \quad MCD = \frac{SCD}{GLD} \quad (10)$$

Donde:  $N$  = es el número total de observaciones,  $K$  = es el número de grupos.

5. Calcular el valor F, obtenido al dividir la media cuadrática entre grupos (MCG) sobre la media cuadrática dentro de grupos (MCD) (Ver Ecuación 2).

El valor F obtenido será comparado con el nivel de significancia establecido (0.05), si es mayor que el nivel, se rechaza la hipótesis nula, y se define que hay diferencias significativas entre las medias de los grupos y si F es menor, se asume como que no hay diferencias significativas. (Métodos y fórmulas para el análisis de varianza en ANOVA de un solo factor - *MiniTAB*, s. f.)

### 3. Metodología

#### 3.1. Diseño y Construcción del Accesorio Desplegable

Este accesorio es esencial para las pruebas de resistencia al desgarro de adhesivos según la norma ASTM D6862, ofreciendo una plataforma confiable. Debe ser compatible con la máquina de ensayos, resistente al desgaste y seguro. A continuación, se detallan los pasos clave para desarrollar el diseño conceptual del accesorio.

##### 3.1.1. Definición De Requisitos y Objetivos

###### 3.1.1.1. Requisitos y Objetivos de la Norma

El ensayo de desgarro de adhesivos a 90 grados mide la fuerza necesaria para despegar una cinta adhesiva o un recubrimiento de un sustrato, proporcionando información sobre la adhesión del material (Propiedades de Desgarro, Pelado y Adhesión de Films y Láminas Plásticas, s. f.).

La norma ASTM D6862 establece los siguientes requisitos para determinar la resistencia al desgarro de adhesivos (Consultoría y Pruebas de Materiales S.A. de C.V., 2021). A continuación, se describen algunos requisitos aplicados a los ensayos según esta norma:

- El espesor del adherente rígido (lámina de acero) debe estar en un rango de 0.8 mm a 1.60 mm y el adherente flexible debe tener un espesor en el rango de 0.13 mm a 0.60 mm (Consultoría y Pruebas de Materiales S.A. de C.V., 2021).
- El método de ensayo se utiliza para determinar la resistencia al desgarro de un adhesivo entre un adherente rígido y un adherente flexible cuando se ensaya a una velocidad de separación constante de 12 mm/min (0.5 in/min) a 300 mm/min (12 in/min) (Kumar. V, 2023). Aunque este parámetro lo controla la máquina.

- El ensayo se realiza a una temperatura de  $23 \pm 2^{\circ}\text{C}$  y una humedad relativa del  $50 \pm 5\%$  (Kumar. V, 2023).
- El tamaño de la muestra debe ser de al menos 25 mm de ancho y 150 mm de largo (Kumar. V, 2023).
- El ensayo se debe realizar a un ángulo de 90 grados (Kumar. V, 2023).
- El accesorio debe cumplir con los requisitos de la norma ASTM D3330 para la preparación de muestras y la realización de ensayos de adhesión.
- Por lo general el adherente flexible es una tela pesada, como lona (Consultoría y Pruebas de Materiales S.A. de C.V., 2021).
- Proporcionar un método de prueba estandarizado para la determinación de la resistencia al desgarro de adhesivos (Kumar. V, 2023).
- Establecer requisitos específicos para la preparación de muestras y la realización de ensayos de adhesión.
- Proporcionar una forma de evaluar la calidad del adhesivo y su capacidad para mantener una unión fuerte entre un adherente rígido y un adherente flexible.

Los estándares para esta prueba incluyen las siguientes normas:

### ***3.1.1.2. Norma ASTM D6252.***

Es un método de prueba estándar que se utiliza para medir la adherencia al despegado de etiquetas sensibles a la presión en un ángulo de 90 grados (Compass, 2019).

Algunos puntos clave sobre esta norma incluyen:

- La prueba se realiza utilizando un método de prueba de despegue de 90 grados con posición controlada para cuantificar la adherencia de un material para etiquetas sensibles a la

presión a un sustrato de acero estándar (ASTM D6252 *Pressure-Sensitive Labels 90° Peel Adhesion Test*, 2023).

- La prueba es útil en el control de calidad para garantizar que el material de etiquetas tenga el valor de adhesivo despegable requerido y también puede evaluar la uniformidad del recubrimiento adhesivo (Compass, 2019).

#### **3.1.1.3. Norma ASTM D3330.**

La norma describe los requisitos para determinar las propiedades de adherencia al pelado de las cintas sensibles a la presión, incluidas las cintas de una y dos caras. El estándar consta de seis métodos diferentes, del A al F, que identifican formas de medir la adhesión al pelado con métodos de pelado de 180 grados y 90 grados. Para este caso, se tomó como referencia el Método F “Prueba de desgarro a 90° para medir las propiedades de adhesión de cintas de una sola capa” (ASTM D3330. *Peel Adhesion Pressure Sensitive Adhesive Tapes*, s. f.).

Este método mide la adherencia de cintas de una sola capa a un panel de acero estándar (o al sustrato elegido) cuando se pelan en un ángulo de 90 grados. La placa se coloca horizontalmente en la máquina de prueba y el extremo libre de la cinta se sujeta por las empuñaduras de la máquina (ASTM D3330. *Peel Adhesion Pressure Sensitive Adhesive Tapes*, s. f.).

#### **3.1.1.4. Norma ASTM B571.**

La norma cubre pruebas cualitativas simples para evaluar la adhesión de recubrimientos metálicos sobre diversos sustratos. Las pruebas incluyen pruebas de doblar, bruñir, cincelar, limar, cuchillo, pelar y raspar (ASTM B571-97, 2008). La prueba de pelado a 90 grados es una de las pruebas solicitadas en esta norma.

### **3.1.2. *Requerimientos del Accesorio***

**Aspecto:** El tamaño del accesorio debe ser compacto, compatible con la máquina de ensayos mecánicos, fácil de transportar y con aspecto técnico y funcional.

**Eficiencia en el Avance de la Placa:** Durante el funcionamiento, la velocidad de avance no debe verse significativamente afectada por variaciones, asegurando de este modo un movimiento uniforme y constante de la placa.

**Facilidad de Ajuste y Sujeción de Láminas:** El accesorio debe permitir un ajuste rápido y sencillo de láminas con diferentes espesores, garantizando el intercambio inmediato de las láminas con las diferentes probetas.

**Operación y Uso:** El accesorio debe ser capaz de operar de manera continua y mantener buen rendimiento a lo largo del tiempo. Adicional a esto, asegurar que los resultados se obtengan sin alteraciones significativas durante un uso prolongado.

**Seguridad y Mantenimiento:** El accesorio debe ser diseñado de manera que facilite la limpieza y el ajuste. Los repuestos deben ser de fácil obtención en caso de avería. El diseño debe enfocarse en minimizar los riesgos de accidentes o daños durante su uso.

**Vida Útil:** El accesorio debe demostrar resistencia y durabilidad a través de múltiples ensayos, con piezas de contacto que muestren un desgaste mínimo.

**Costo:** El accesorio debe ser económicamente viable, manteniendo costos de fabricación dentro de un presupuesto razonable sin comprometer la calidad y funcionalidad.

### ***3.9. Diseño en detalle del accesorio***

Durante la investigación que se realizó, acerca de los accesorios existentes se notó que los parámetros más importantes para el diseño son: la velocidad constante de la placa de deslizamiento, la fuerza necesaria para despegar la cinta y mover la placa de deslizamiento ya que son los parámetros más críticos que definen el dimensionamiento del accesorio.

#### ***3.9.1. Dimensionamiento del bastidor***

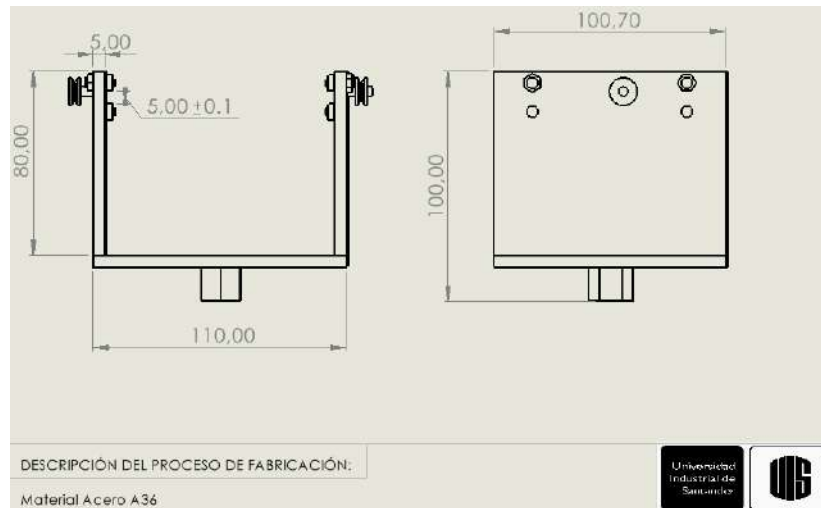
Las dimensiones de este subsistema se basan principalmente en las dimensiones del espacio disponible de la máquina de ensayos MTS BIONIX, así como en los requisitos de adaptación al espárrago inferior. A continuación, se detallan las especificaciones obtenidas del manual o *MTS BIONIX Tabletop Test Systems* (MTS, 2023):

- Recorrido del vástago superior (Ver Fig. 30): 114 mm.
- Distancia entre los cilindros laterales (Ver Fig. 30): 460 mm.
- Especificaciones del espárrago: espárrago negro 12 mm.

Con base en lo anterior, y conociendo el tipo de bastidor que se generó en la alternativa escogida en el ítem 7, se realizó una revisión detallada de algunos accesorios que tienen bastidores similares. Esto permitió identificar las dimensiones clave y características de diseño que debían ser modificadas o se debían mantener. Esta revisión incluyó la funcionalidad y facilidad de uso con la máquina de ensayos.

A partir de la la revisión, se ajustaron las dimensiones del nuevo bastidor, para garantizar que éste no interfiera con elementos pertenecientes a la máquina.

A continuación, se presenta el plano del bastidor con el dimensionamiento (medidas en mm):

**Figura 7.** *Plano Subsistema de Bastidor*

*Nota: elaboración propia.*

Este bastidor tiene una fácil instalación en la máquina, y a su vez, garantizará el menor movimiento posible durante el ensayo, y la tolerancia de los rodamientos será mínima para que el movimiento tenga una mínima alteración.

A continuación, se procede a realizar los cálculos del bastidor

### **3.9.2. Esfuerzos en el bastidor**

#### **Carga máxima**

El soporte debe soportar un rango de fuerza de pelado de 0.4 a 200N (IMADA, 2023), por lo tanto, se harán los cálculos con la máxima fuerza requerida.

#### **Distribución de la carga**

Parte de la fuerza se aplicará en la placa de deslizamiento, y se va a transferir a través de los rodamientos al bastidor.

Los cálculos son los siguientes:

### Cálculo del Momento Flector (M)

Este cálculo nos permite saber lo que soporta la carga aplicada desde la placa de deslizamiento a través de los rodamientos.

#### Datos:

- Fuerza máxima (F) = 200 N
- Ancho del soporte (b) = 11 cm = 0.11 m
- Profundidad del soporte (d) = 10.7 cm = 0.107 m

$$M = F \cdot d \quad (11)$$

$$M = 200 \cdot 0.107 = 21.4 Nm$$

Entonces, el momento flector en el soporte es **21.4 Nm**.

### Cálculo del Esfuerzo de Flexión ( $\sigma$ ) en el Soporte

Teniendo el momento flector, se procede a calcular el esfuerzo de flexión en el soporte

#### Datos adicionales:

- Altura del soporte (h) = 10 cm = 0.1 m
- Espesor del soporte (t) = Suponemos 0.5 cm = 0.005 m
- Momento de inercia para una sección rectangular (I):

$$I = \frac{b \cdot h^3}{12} \quad (12)$$

$$I = \frac{0.1 \cdot (0.1)^3}{12} = 8.33 \times 10^{-6} m^4$$

El esfuerzo de flexión es:

$$\sigma = \frac{M \cdot c}{I} \quad (13)$$

Donde:

- M es el momento flector (21.4 Nm)
- c es la distancia desde el eje neutro hasta el extremo de la sección  
( $c=h/2=0.1/2=0.05\text{ m}$ )
- I es el momento de inercia ( $8.33 \times 10^{-6}\text{ m}^4$ )

Ahora se sustituye:

$$\sigma = \frac{20\text{ Nm} \cdot 0.05\text{ m}}{8.33 \times 10^{-6}\text{ m}^4} = 120000\text{ Pa} = 120\text{ MPa}$$

El esfuerzo de flexión en el soporte es 120 MPa, por lo tanto es capaz de resistir las cargas generadas en el ensayo y transferidas a través de la placa deslizante.

### **Verificación para el Acero A36**

Teniendo en cuenta las siguientes propiedades del acero A36:

- **Resistencia a la tracción:** 250 MPa
- **Límite elástico:** 152 MPa

Comparando el esfuerzo de flexión calculado (120 MPa) con el límite elástico del acero, podemos ver que el esfuerzo es menor que el límite elástico, lo que indica que el soporte no sufrirá deformación plástica bajo esa carga.

### **Coefficiente de seguridad para el bastidor**

- Resistencia a la tracción del acero A36 ( $\sigma_{max}$ ) = 250 MPa
- Esfuerzo máximo calculado ( $\sigma$ ) en el soporte = 120 MPa

$$FS_{soporte} = \frac{\sigma_{max}}{\sigma} \quad (14)$$

$$FS_{soporte} = \frac{250MPa}{120MPa} = 2.08$$

### **Esfuerzo cortante para la parte inferior del bastidor**

Como la sujeción del bastidor es mediante el sistema tuerca-espárrago, se calculan las fuerzas transmitidas desde el accesorio hacia el espárrago, empezando por el esfuerzo cortante:

#### **Datos:**

- **Fuerza máxima** (F) = 200 N
- **Diámetro de la varilla** (d) = 12 mm = 0.012 m
- **Área de sección efectiva para la zona roscada** ( $A_s$ ): Podemos aproximar el área efectiva al 75% del área total.

$$A_s = 0.75 \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} \quad (15)$$

$$A_s = 0.75 \cdot \frac{3.1416 \cdot (0.012)^2}{4}$$

$$A_s = 8.48 \times 10^{-5} m^2$$

Por lo tanto, el esfuerzo cortante es:

$$\tau = \frac{F}{A_s} \quad (16)$$

$$\tau = \frac{200 \text{ N}}{8.48 \times 10^{-5} \text{ m}^2} = 2.36 \text{ MPa}$$

Este resultado está muy por debajo de los límites del acero A36, lo que garantiza que el diseño del bastidor está en rango aceptable.

### Cálculo de fatiga para el bastidor

**Esfuerzo máximo:** el bastidor soporta las cargas de compresión generadas por la placa deslizante y la guaya, por lo tanto el esfuerzo máximo es:

**Área del soporte:**  $A=0.01 \text{ m} \times 0.01 \text{ m}=0.0001 \text{ m}^2$

**Esfuerzo máximo:**  $S_{m\acute{a}x} = \frac{200}{0.0001} = 2 \text{ MPa}$

**Resistencia a la fatiga modificada ( $S'_f$ ):** El límite elástico del acero es de 250 MPa, por lo que la fatiga modificada es:

$$S'_f \approx 0.5 \times \text{Lim. elástico} \quad (17)$$

$$S'_f = 0.5 \times 250 = 125 \text{ MPa}$$

### Ecuación de Basquin

$$N_f = \left( \frac{S'_f}{S_{max}} \right)^b \quad (18)$$

Donde, el exponente de la curva de fatiga para el acero A36 es aproximadamente  $-0.08$

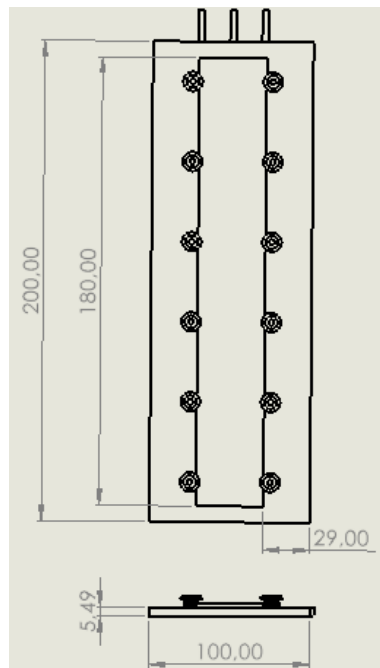
$$N_f = \left( \frac{125}{2} \right)^{-0.08} = (62.5)^{-0.08} \approx 0.895$$

Como el número de ciclos por cada prueba son 10, o sea es bajo, se dice que para el bastidor, el material está en los límites seguros de resistencia a la fatiga.

### 3.9.2. Dimensionamiento de la placa deslizante

Esta pieza es en la que se va a sujetar la lámina porta-cinta y garantizará que a medida que avance uniformemente, se mantenga el ángulo de 90 grados durante los ensayos de desgarro de la cinta. Ya conociendo las dimensiones del bastidor, se procede a realizar el dimensionamiento de la placa de deslizamiento para que se asegure como mínimo la especificación del desplazamiento del vástago superior.

**Figura 8.** Dimensiones Placa deslizante



*Nota: elaboración propia*

Con base en esto se dimensionó la lámina porta-cintas, la cual deberá tener una longitud mínima de 100 mm para que en el avance del vástago se garantice el desgarro total de la cinta, para

mejores resultados, por lo tanto, ésta debe tener dimensiones mayores de largo y ancho. A continuación se presenta el plano de la lámina porta cinta.

**Figura 9.** Dimensiones Lámina Porta-Cintas



Nota: elaboración propia

A continuación, se procede a realizar los cálculos de la placa de deslizamiento:

### **Esfuerzo de tracción en la placa deslizante**

La placa deslizante soporta la fuerza de desgarro mientras la cinta adherida a la lámina porta-cintas se despegue. Por lo tanto para este esfuerzo de tracción se necesita calcular el área transversal de la placa con los siguientes datos:

- Ancho de la placa ( $b$ ) = 10 cm = 0.1 m
- Espesor de la placa ( $t$ ) = 0.5 cm = 0.005 m

Área transversal de la placa ( $A$ ):

$$A = b \cdot t = 0.1m \cdot 0.005m = 5 \times 10^{-4}m^2$$

Con el área transversal, se procede a calcular el esfuerzo de tracción; para ello hace falta la fuerza de desgarro:

- Fuerza de desgarro ( $F$ ) = 200 N

- Esfuerzo de tracción ( $\sigma_t$ ):

$$\sigma_t = \frac{F}{A} \quad (19)$$

$$\sigma_t = \frac{200N}{5 \times 10^{-4}m^2} = 400kPa$$

El esfuerzo para la placa deslizante está por debajo del límite del acero A36, por lo tanto se dice que está en un rango seguro.

### **Cálculo de la deflexión en la placa deslizante**

Dado que la placa soporta una carga distribuida cuando se despega la cinta, se requiere verificar la deflexión máxima para que no se deforme en exceso. Para ello, se hacen los siguientes cálculos:

- Longitud de la placa ( $L$ ) = 30 cm = 0.3 m
- Fuerza de pelado ( $F$ ) = 200 N
- Módulo de Young para el acero A36 ( $E$ ) = 210 GPa =  $210 \times 10^9$  Pa
- Momento de inercia ( $I$ ) calculado previamente para la placa:

$$I = \frac{b \cdot t^3}{12} \quad (20)$$

$$I = \frac{0.1 \cdot (0.005)^3}{12} = 1.041 \times 10^{-9}m^4$$

Se verifica la deflexión sustituyendo en la fórmula de deflexión máxima para vigas simplemente apoyadas, considerando que los puntos de contacto de los rodamientos son los puntos de apoyo.

$$\delta_{max} = \frac{5qL^4}{384EI} \quad (21)$$

Donde: q es la carga distribuida por unidad de longitud (N/m)

$$q = \frac{F}{L} \quad (22)$$

$$q = \frac{200 \text{ N}}{0.1} = 2000 \frac{\text{N}}{\text{m}}$$

La carga aplicada en la placa deslizante es la fuerza de despegue aplicada sobre la cinta. Esta fuerza es transmitida a través de la placa deslizante y los rodamientos. La carga total será distribuida entre los cuatro rodamientos.

Sustituyendo los valores:

$$\delta_{max} = \frac{5 \cdot 2000 \frac{\text{N}}{\text{m}} \cdot (0.1 \text{ m})^4}{384 \cdot 210 \times 10^9 \text{ Pa} \cdot 1.041 \times 10^{-9} \text{ m}^4}$$

$$\delta_{max} = 0.000012 \text{ m}$$

Este valor indica que el nivel de deformación que actúa sobre la placa no es significativo bajo la carga máxima y puede soportar las cargas durante los ensayos.

### **Coefficiente de seguridad para la placa deslizante**

Conociendo el esfuerzo de tracción aplicado sobre la placa y la resistencia a la tracción del acero A36 se tiene el siguiente resultado:

$$\sigma_{\max A36} = 250 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\max placa} = 0.4 \text{ MPa}$$

Sustituyendo los valores para el factor de seguridad:

$$FS = \frac{\sigma_{\max A36}}{\sigma_{\max placa}} \quad (23)$$

$$FS = \frac{250 \text{ MPa}}{0.4 \text{ MPa}} = 625$$

Este valor indica que la placa soporta de una muy buena manera en términos de resistencia y durabilidad.

### Cálculo de fatiga para la placa deslizante

**Cálculo del esfuerzo máximo:** hallado anteriormente y es equivalente a 0.404 MPa

**Resistencia a la fatiga modificada ( $S'_f$ ):** El límite elástico del acero es de 250 MPa, por lo que la fatiga modificada es:

$$S'_f \approx 0.5 \times \text{Lim. elástico} = 0.5 \times 250 = 125 \text{ MPa}$$

### Ecuación de Basquin

$$N_f = \left( \frac{S'_f}{S_{max}} \right)^b$$

Donde, el exponente de la curva de fatiga para el acero A36 es aproximadamente  $-0.08$

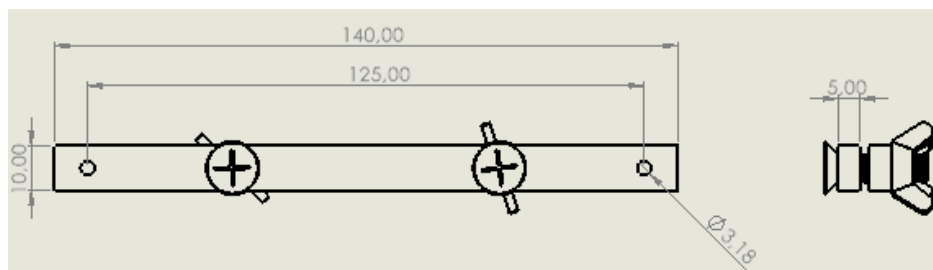
$$N_f = \left( \frac{125}{0.404} \right)^{-0.08} = (309.9)^{-0.08} \approx 0.412$$

Como el número de ciclos por cada prueba son 10, o sea es bajo, se dice que para esta placa el material está en los límites seguros de resistencia a la fatiga.

### 3.9.3. Dimensionamiento de los tensores superior e inferior

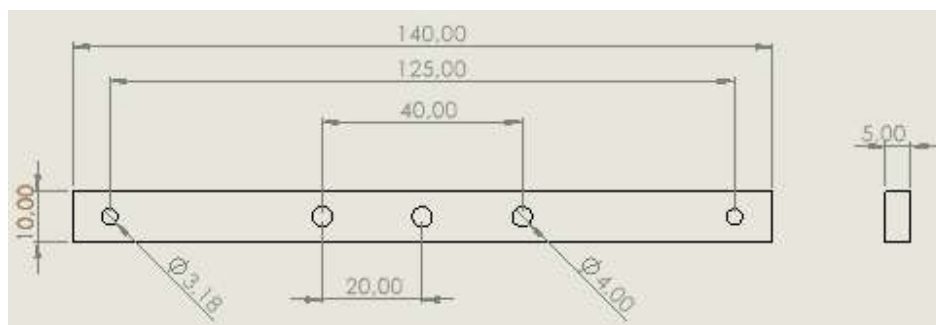
Estos dos subsistemas (tensor superior y tensor inferior) son los encargados de brindarle el avance a la placa de deslizamiento, el tensor superior va sujeto junto con el extremo de la cinta al vástago de la máquina MTS BIONIX, y el tensor inferior va sujeto a la parte posterior de la placa de deslizamiento para así en conjunto hacer el correcto desplazamiento durante los ensayos.

**Figura 10.** Dimensiones tensor superior



*Nota: elaboración propia.*

**Figura 11.** Dimensiones tensor inferior



*Nota: elaboración propia*

### Cálculo de pandeo en los tensores

Dado a que estos están sometidos a cargas de tracción, es importante verificar que no sufrirán de pandeo. Para ello se utiliza la fórmula de Euler:

$$F_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{(K \cdot L)^2} \quad (24)$$

Donde:

- $F_{cr}$  es la carga crítica de pandeo
- $E$  es el módulo de elasticidad del acero A36
- $I$  es el momento de inercia de la sección transversal del tensor

$$I = \frac{b \cdot h^3}{12} = \frac{0.14 \text{ m} (0.01 \text{ m})^3}{12}$$

$$I = 1.167 \times 10^{-8} \text{ m}^4$$

- $L$  es la longitud efectiva del tensor
- $K$  es un factor de seguridad efectiva, dependiendo de cómo están soportados los extremos del tensor (generalmente es 1 para tensores empotrados en ambos extremos)

$$F_{cr} = \frac{(3.1416)^2 \cdot 200 \times 10^9 \text{ Pa} \cdot 1.167 \times 10^{-8} \text{ m}^4}{(1 \cdot 0.14 \text{ m})^2}$$

$$F_{cr} = 1.17 \times 10^6 \text{ N}$$

La carga crítica de pandeo para los tensores es muy alta comparando las cargas a las que estará sometido el accesorio (hasta de 200 N) lo que indica que los tensores tendrán una gran resistencia al pandeo.

### **Análisis de concentración de esfuerzos en los tensores**

Con este análisis se asegura que los agujeros no generen una concentración de esfuerzos alta y pueda comprometer la resistencia de los tensores.

**Dimensiones de los tensores:** es igual tanto en el superior como en el inferior.

- **Ancho:** 14 cm, **Alto:** 1 cm, **Espesor:** 0.5 cm.

**Agujeros de los tensores:**

- **Tensor superior:** 2 agujeros de 3.18 mm en los extremos
- **Tensor inferior:** 2 agujeros de 3.18 mm en los extremos y 3 agujeros de 4 mm en el centro del tensor.

**Fuerza aplicada:** 200 N que es la máxima

A continuación, se procede con los cálculos:

**Esfuerzo nominal ( $\sigma_{nom}$ )**

$$\sigma_{nom} = \frac{F}{A} \quad (25)$$

F es la fuerza aplicada de 200 N y A es el área efectiva del tensor sin agujeros, calculada como:

$$A = \text{Ancho} \times \text{Espesor}$$

$$A = 14 \text{ cm} \times 0.5 \text{ cm} = 7 \text{ cm}^2 = 700 \text{ mm}^2$$

Por lo tanto, el esfuerzo nominal es:

$$\sigma_{nom} = \frac{200 \text{ N}}{700 \text{ mm}^2} = 0.2857 \text{ MPa}$$

**Factor de concentración de esfuerzos ( $K_t$ ):** Es una medida de cuánto se incrementa el esfuerzo en la zona cercana al agujero, depende de la geometría del agujero y su ubicación. Para tensores con agujeros circulares, el Factor se puede aproximar usando la siguiente fórmula:

$$K_t = 1 + 2 \left( \frac{d}{w} \right) \quad (26)$$

Donde  $d$  es el diámetro del agujero y  $w$  es el ancho de la pieza en la zona donde se encuentra el agujero.

### *$K_t$ del Tensor Superior*

El diámetro de los agujeros es de 3.18 mm y el ancho es 140 mm. Sustituyendo se tiene:

$$K_t = 1 + 2 \left( \frac{4}{140} \right) = 1 + 2(0.0286)$$

$$K_t = 1.0454$$

### *$K_t$ del Tensor Inferior*

El diámetro de los agujeros de los extremos es de 3.18, por lo tanto, el factor es el mismo que en el tensor superior. Sin embargo, para los agujeros centrales de 4 mm el factor será:

$$K_t = 1 + 2 \left( \frac{4}{140} \right) = 1 + 2(0.0286)$$

$$K_t = 1.0572$$

**Esfuerzo Máximo ( $\sigma_{max}$ ):** Este se obtiene multiplicando el esfuerzo nominal por el factor de concentración de esfuerzos:

- **Tensor superior:**

$$\sigma_{max} = \sigma_{nom} \times K_t \quad (27)$$

$$\sigma_{max} = 0.2857 \text{ MPa} \times 1.0454$$

$$\sigma_{max} = 0.2987 \text{ MPa}$$

- **Tensor inferior:**

Para los agujeros de los extremos:

$$\sigma_{max} = \sigma_{nom} \times K_t = 0.2857 \text{ MPa} \times 1.0454$$

$$\sigma_{max} = 0.2987 \text{ MPa}$$

Para los agujeros del centro:

$$\sigma_{max} = \sigma_{nom} \times K_t = 0.2857 \text{ MPa} \times 1.0572$$

$$\sigma_{max} = 0.3019 \text{ MPa}$$

El límite de fluencia del acero A36 es 250 MPa. Al comparar con los esfuerzos máximos calculados, estos son muy inferiores al límite del acero. Esto indica que no hay riesgo de fallo por esfuerzo en las zonas cercanas a los agujeros, ya que los valores son considerablemente bajos. Por lo tanto, el diseño de los tensores es seguro.

### **Cálculo de fatiga para los tensores**

#### **Esfuerzo máximo en los tensores**

Dado que los tensores soportan la carga de tensión de las guayas, calculamos el esfuerzo en el área de los tensores.

**Área de los tensores:**  $A=0.01 \times 0.005 = 0.00005 \text{ m}^2$

**Esfuerzo máximo:**

$$S_{max} = \frac{200}{0.00005} = 4 \text{ MPa}$$

#### **Ecuación de Basquin**

$$N_f = \left( \frac{125}{4} \right)^{-0.08} = 31.25^{-0.08} \approx 0.77$$

El tensor soporta adecuadamente la carga aplicada durante los ciclos de prueba.

### 3.9.4. Análisis en poleas y rodamientos

#### Cálculos para las poleas

- **Diámetro de la polea:** 20 mm
- **Velocidad de operación:** 200 mm/min (0.20m/min)
- **Carga sobre cada polea:**

$$F_r = T_{guaya}$$

$$F_r = \frac{F_{total}}{2} \quad (28)$$

$$F_r = \frac{200}{2} = 100 \text{ N}$$

Esta corresponde a la carga radial que cada polea soporta.

- **Material de la guaya:** Cábano
- **Coefficiente de fricción:** Aproximado entre acero niquelado y cáano  $\mu = 0.3$

#### Esfuerzo cortante en el eje de la polea

Para esto se calcula primero el par torsional T aplicado a la polea. Esto depende de la fuerza tangencial aplicada por la guaya.

$$T = F_t \cdot r \quad (29)$$

Donde,  $F_t$  es la fuerza tangencial sobre la polea y r el radio de la polea

Sustituyendo se obtiene:

$$T = 100 \text{ N} \cdot 0.01 \text{ m} = 1 \text{ N} \cdot \text{m}$$

El momento polar de inercia del eje J dependerá del diámetro del eje que es 5 mm.

Sustituyendo para un J de un eje circular se obtiene:

$$J = \frac{\pi}{32} \cdot d^4 \quad (30)$$

$$J = \frac{\pi}{32} \cdot (0.005)^4 = 3.07 \times 10^{-11} m^4$$

Finalmente. El esfuerzo cortante es:

$$\tau = \frac{T}{J} \quad (31)$$

$$\tau = \frac{1 N \cdot m}{3.07 \times 10^{-11} m^4} = 3.26 \times 10^7 Pa = 32.6 MPa$$

### Desgaste

Se calcula la fuerza de fricción entre la guaya y polea

$$F_{fricción} = \mu \cdot F_t \quad (32)$$

$$F_{fricción} = 0.3 \cdot 100 N = 30 N$$

Este valor indica que la fuerza de fricción es baja, y considerando la velocidad de 200 mm/min, el desgaste en la polea es mínimo.

### Cálculos para los rodamientos

- **Tipo de rodamiento:** rodamientos de bolas pequeños
- **Velocidad de operación:** 200 mm/min
- **Carga radial:**

$$F_r = \frac{F_{total}}{8} \quad (33)$$

$$F_r = \frac{200}{8} = 25 N,$$

Esto equivale a la carga que soporta cada rodamiento.

- **Capacidad de carga dinámica:** para un rodamiento pequeño el valor típico.

### ***3.10. Construcción del accesorio***

En este ítem, se menciona el modo de fabricación y ensamblaje del accesorio, donde se denotan los métodos para la construcción de las piezas en específico.

#### ***3.10.1. Fabricación del bastidor***

Para fabricar el bastidor se consigue una placa de acero A36 calibre 18, de la cual se recortan 3 rectángulos con las medidas mostradas en la Figura 30 las cuales son: uno de 100.7 mm de largo por 110 mm de ancho (parte inferior del bastidor) y dos de 100.7 mm ancho por 80 mm de alto.

Seguidamente, se sueldan los dos rectángulos iguales a 90° en los bordes de la base inferior del soporte como se observa en la Figura 36, esto se hace con soldadura 6013 que es la más común en los talleres convencionales, posterior a esto, se procede a realizarle un refuerzo con una varilla de 4,76 mm de diámetro en las paredes internas de las paredes laterales del bastidor como se muestra en la Figura 35, esto con el fin de brindarle rigidez al momento de usarlo y no se deforme alguna de las paredes durante los ensayos.

**Figura 12.** *Ensamble bastidor a 90°*



Nota: elaboración propia.

**Figura 13.** *Refuerzo de soldadura bastidor*



Nota: elaboración propia

En la parte interna de las paredes del soporte se sueldan los rodamientos por donde se desliza la placa con la lámina porta-cintas como se muestra en la Figura 37, los rodamientos que se usaron son de fresa de madera y las poleas son de acero niquelado y estas van ubicadas en la parte externa de las paredes.

**Figura 14.** *Instalación de rodamientos y poleas*



Nota: elaboración propia

Finalmente, se ajusta, se revisa y se aplica una capa de anticorrosivo para proteger del ambiente y el óxido. A continuación, se muestra el antes y después del bastidor.

**Figura 15.** *Bastidor antes de la capa de pintura*



Nota: elaboración propia

**Figura 16.** *Bastidor pintado*



Nota: elaboración propia

### ***3.10.2. Fabricación de la placa de deslizamiento***

Para la placa se tienen las siguientes características:

- Ancho del bastidor: 110 mm – 10 mm del espesor de las placas = 100 mm
- Largo de la placa: 300 mm
- Dimensiones de la lámina Porta-Cintas: 56 mm de ancho x 280 mm de largo

Con base en estos datos se procede a cortar un rectángulo de acero A36 de 300 mm de largo por 100 mm de ancho. Luego, se procede a usar la lámina Porta-Cintas para hacer la matriz de los agujeros de los tornillos de sujeción de esta última, como se observa en la Figura 40.

**Figura 17.** *Matriz para lámina Porta-Cintas*



Nota: elaboración propia

**Figura 18.** *Taladrado de la matriz*



Nota: elaboración propia

Por medio de un taladro de árbol se hacen los agujeros ya marcados para después hacerle rosca por medio de un macho de roscar. Posterior a esto, se revisa, ajusta y se le aplica una capa de pintura anticorrosiva, para probarlo entre el bastidor y revisar que no exista alguna interferencia que pueda afectar el funcionamiento del accesorio al momento del ensayo como se muestra en la Figura 43.

**Figura 19.** *Roscado agujeros placa deslizante*



Nota: elaboración propia

**Figura 20.** *Prueba de deslizamiento*



Nota: elaboración propia

### ***3.10.3. Fabricación de los tensores superior e inferior***

Para los tensores se utilizó acero A36 al igual que en el bastidor y placa. Las dimensiones ya mencionadas anteriormente: 140 mm de ancho por 10 mm de alto.

Para el tensor superior, se hicieron 2 agujeros en los extremos de 3.18 mm por donde pasará la guaya para tensionar y brindarle el movimiento a la placa, y dos agujeros en el centro de 4 mm para poder unir las dos placas con la mordaza del cilindro de la máquina MTS

BIONIX. Para el tensor inferior se hacen los mismos agujeros del tensor superior, más 3 agujeros de 4 mm de diámetro que servirán de unión entre este último y la placa de deslizamiento. A continuación se muestra el tensor superior.

**Figura 21.** *Placas tensor superior*



Nota: elaboración propia

## 4. Procedimiento Experimental

A continuación, se detallan los métodos y materiales utilizados para estudiar las propiedades mecánicas de la mezcla de resina epoxy con diferentes concentraciones de lignina.

### 4.1. Materiales Y Equipos

#### Adhesivo

En el estudio se empleó la resina EPOXI BONDER de la marca LOCTITE, un adhesivo comercial bicomponente compuesto por resina y endurecedor. Este adhesivo es utilizado para unir materiales como metal, madera, cerámica y vidrio. Se distingue por su alta resistencia y durabilidad una vez curado, además de tener un aspecto líquido viscoso e incoloro con densidad equivalente a  $1.1 \text{ g/cm}^3$ .

**Figura 22.** Resina epoxica LOCTITE.



*Nota: elaboración propia.*

**Figura 23.** *Ficha técnica de resina epóxica LOCTITE.*

Propiedad	Valor Típico
Elongación (%)	>1
Dureza Shore D	83
% de Sódios (peso)	100
Resistencia de tensión (Kg/cm <sup>2</sup> )	130
Resistencia de Compresión (Kg/cm <sup>2</sup> )	700

*Nota: tomado de Central PDP, s. f.*

### **Lignina**

La lignina utilizada para el análisis experimental es proveniente de la madera, uno de los polímeros más importantes junto con la celulosa y hemicelulosa, ya que brindan rigidez y resistencia en plantas, con una textura de polvo fino y de coloración marrón, el producto fue brindado por la Universidad Industrial de Santander.

**Figura 24.** *Lignina en polvo.*

*Nota: elaboración propia.*

### **Cinta Dacrón**

Para la prueba de despegue se usó la cinta dacrón, es fabricada en fibras de poliéster, por lo cual ofrece una alta resistencia y durabilidad, resistente al desgarro, a la abrasión, a la tracción y con baja elongación.

**Figura 25.** *Cintra dacrón.*



*Nota: tomada de <https://www.tmhtelaesmedellin.com/product/dacron/>*

### **Máquina De Ensayos Mecánicos**

Para la realización de las pruebas y determinar las propiedades mecánicas de desgarro bajo la norma ASTM D6862 (Método de prueba estándar para la resistencia al desgarro de adhesivos a 90 grados) se empleó el equipo MTS BIONIX con una capacidad de carga de 25KN, para realizar las pruebas bajo la norma mencionada antes, el equipo requirió el acople de un accesorio para realizar la prueba de pelado, equipo fue brindado por la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Universidad Industrial de Santander y el accesorio fue fabricado por los mismos estudiantes.

**Figura 26.** *Máquina MTS BIONIX con accesorio de despegue.*



*Nota: fotografía tomada en el laboratorio de Ensayos Mecánicos Escuela de Ingeniería Mecánica UIS.*

### **Balanza Analítica**

Los diferentes porcentajes de lignina fueron medidos por medio de balanza analítica marca OHAUS con sistema de seguridad contracorriente de aire, para capacidad de carga de 220 g, utilizado para el pesaje básico, conteo de piezas y pesaje porcentual. Equipo brindado por la escuela de Ingeniería Mecánica.

**Figura 27.** *Balanza analítica.*



*Nota: elaboración propia.*

### **Rugosímetro**

Los niveles de rugosidad fueron tomados por el equipo de marca Mitutoyo SJ-210, brindado por la escuela de ingeniería mecánica. Es un medidor de rugosidad portátil que puede medir en un rango de 360 micrómetros, cuenta con punta de diamante para mayor precisión y durabilidad.

**Figura 28.** Rugosímetro.

*Nota:* Tomado de <https://mitutoyo.com.ar/rugosimetro-portatil-surfctest-sj-210178-561-12a.html>.

### **Probetas Para Ensayo De Desgarro**

Se utilizaron 40 probetas de acero galvanizado, distribuidas en 4 grupos con 10 muestras por cada grupo, según el porcentaje de lignina. Los parámetros de medida de las placas se detallan en la Tabla 1. y la cantidad de pruebas realizadas para cada muestra en la Tabla 1.

**Tabla 1.** Dimensiones de placa.

PROBETAS	ACERO GALVANIZADO.	
LARGO	280	mm
ANCHO	56	mm
ESPESOR	1.5	mm

*Nota:* elaboración propia

**Tabla 2.** Cantidad de placas por cada porcentaje de lignina

% LIGNINA	# DE PROBETAS
0%	10
1%	10
3%	10
5%	10

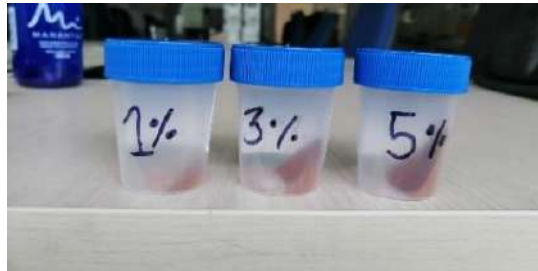
*Nota:* elaboración propia.

## 5. Preparación De Muestras

**5.1. Mezcla de adhesivo epoxi y lignina:** Para cada porcentaje de lignina (0%, 1%, 3% y 5%), se utilizó una cantidad fija de 25 gramos de resina epóxica, a la que se le añadió el porcentaje correspondiente de lignina. La cantidad de lignina en gramos se calculó en función del 100% del peso de la resina utilizada.

Con la cantidad de lignina determinada para cada grupo, se procedió a mezclarla con los dos componentes de la resina epóxica. La mezcla se realizó mediante un método mecánico para asegurar una homogeneidad adecuada.

**Figura 29.** *Lignina al 1%, 3% y 5%.*



*Nota: elaboración propia.*

**Figura 30.** *Mezcla de lignina con resina epoxica.*



*Nota: elaboración propia.*

### 5.2. Unión de adherente rígido y flexible.

Para mejorar la adherencia entre el adherente rígido (placa) y el adherente flexible (cinta de dacrón), se lijó manualmente la superficie para aumentar su rugosidad. Posteriormente las placas fueron limpiadas para mejorar la adherencia con el dacrón, estas fueron lavadas con jabón líquido fuerte y luego con paños remojados en alcohol para eliminar impurezas o residuo alguno.

Para conseguir una capa de la mezcla adhesiva semejante para todas las muestras y eliminación de rebaba de manera sencilla, se fabricó un molde en papel acetato con medidas para cada muestra que nos permitió tener una capa adhesiva dentro de los parámetros estipulados en la norma ASTM D6862 (Método de prueba estándar para la resistencia al desgarro de adhesivos a 90 grados).

La mezcla de resina y lignina fue aplicada sobre cada placa para luego superponer la tela dacrón, esparcida con la ayuda de un rodillo y dejar secar las muestras a temperatura ambiente por un tiempo de curación de 24 horas.

**Figura 31.** Toma de valores de rugosidad.



*Nota: elaboración propia*

En la Tabla 3. 3 se evidencian los valores de rugosidad tomados antes de aplicar el adhesivo y con la cual se realizó el ensayo de pelado, fueron tomados 3 datos por placa de forma longitudinal en diferentes puntos de esta.

**Tabla 3.** *Valores De Rugosidad.*

# DE PLACAS	DATO 1	DATO 2	DATO 3	Promedio
PLACA 1	0.607	1.181	1.04	0.943
PLACA 2	0.458	0.752	0.959	0.723
PLACA 3	0.811	0.873	0.789	0.824
PLACA 4	0.937	1.01	0.819	0.922
PLACA 5	0.522	0.755	0.794	0.690
PLACA 6	0.745	0.831	0.572	0.716
PLACA 7	0.67	0.62	0.839	0.710
PLACA 8	0.72	1.482	0.826	1.009

*Nota: elaboración propia.*

**Figura 32.** *Preparación de adhesivo.*



*Nota: elaboración propia.*

**Figura 33.** Unión entre adherente rígido y flexible (1%, 3% y 5%).



*Nota: elaboración propia.*

### **5.3. Ensayos de despegue en adhesivos.**

Realizadas las muestras, se ejecutó la prueba de pelado con mezcla de resina epóxica con variaciones de lignina al 0%, 1%, 3% y 5%, siguiendo lo estipulado en la norma ASTM D6862 (Método de prueba estándar para la resistencia al desgarro de adhesivos a 90 grados). El equipo fue ejecutado a una velocidad de desplazamiento de 200 mm/min (10 in/min), a temperatura ambiente de 25°C para todas las muestras.

Adicionalmente, a la máquina de ensayos le fue ensamblado el accesorio diseñado y fabricado para las pruebas de pelado que nos permite realizar el despegue de la cinta a 90° como se cita en la norma mencionada.

El propósito del ensayo de despegue es determinar la resistencia de separación entre dos superficies unidas por un adhesivo aplicando una fuerza aproximada a 90° a una de las superficies.

**Figura 34.** *Prueba de pelado.*



*Nota: elaboración propia.*

## **6. Análisis De Varianza (ANOVA)**

Para evaluar si las propiedades mecánicas de la mezcla de resina epóxica y lignina presentan algún cambio, se llevó a cabo un análisis ANOVA. Este estudio permitió comparar las medias entre los cuatro grupos evaluados y analizar la influencia de múltiples factores, con el objetivo de determinar si existen diferencias significativas entre ellos.

## 7. Resultados

El estudio de cada ensayo se realizó con base en la curva de desplazamiento vs fuerza de los datos obtenidos de cada muestra de pelado, para así determinar las propiedades mecánicas.

Las condiciones para realizar el análisis de varianza fueron.

- Nivel de significancia de 0.05 que es equivalente al 95% de probabilidad de error.
- **Hipótesis Nula (H0):** Esta hipótesis establece que no hay diferencias significativas entre las medias de los grupos analizados.
- **Hipótesis Alternativa (H1):** Esta hipótesis sugiere que al menos una de las medias de los grupos es diferentes entre sí.

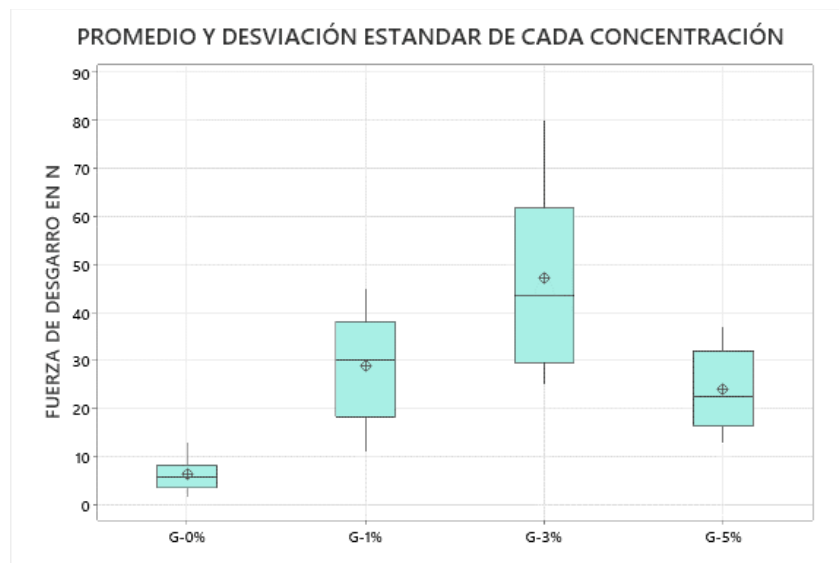
En la Tabla 4.4 se presentan los resultados obtenidos para cada muestra y cada grupo de variación de lignina, los valores son medidos en unidades Newton.

**Tabla 4.** Datos de fuerza de pelado en Newton de cada grupo.

	GRUPO 0%	GRUPO 1%	GRUPO 3%	GRUPO 5%
P1	1.494	10.951	80.129	14.578
P2	3.354	30.348	25.091	37.018
P3	12.821	23.031	37.593	12.974
P4	3.998	37.061	57.138	21.573
P5	6.172	16.718	39.878	25.557
P6	8.590	45.165	47.429	21.698
P7	7.410	29.950	27.002	23.373
P8	5.399	38.484	63.327	34.134
Promedio	6.155	28.964	47.198	23.863
Desviación estándar	3.520	11.534	18.845	8.421

*Nota: elaboración propia.*

**Figura 35.** Promedio y desviación estándar de cada concentración de lignina.



*Nota: gráfica proporcionada por MiniTab.*

Las siguientes ecuaciones representan la forma en la que se calculó la suma de cuadrados entre las muestras (1), dentro de las muestras (2) y la suma de cuadrados total (3).

$$1. \quad SCG = \sum (n_i (X_{i'} - X)^2)$$

$$2. \quad SCD = \sum (X_i - X_{i'})^2$$

$$3. \quad SCT = \sum (X_i - X)^2$$

Donde:

- $X_i$  es el valor de cada dato obtenido.
- $X$  es la media de todos los datos
- $n_i$  es el número de datos de cada grupo.
- $X_{i'}$  es la media de cada grupo.

Se calculan los grados de libertad entre grupos (GLG) (4), dentro de los grupos (GLD) (5) y los grados de libertad total (GLT) (6) a partir de la cantidad de datos evaluados y cantidad de grupos.

$$4. \quad GLG = K - 1$$

$$5. \quad GLD = N - K$$

$$6. \quad GLT = N - 1$$

Donde:

- $N$  es el número total de datos.
- $K$  es el número de grupos.

La media cuadrática entre grupos (7) y dentro de los grupos (8) se obtuvo por medio de las siguientes ecuaciones.

$$7. \quad MCG = \frac{SCG}{GLG}$$

$$8. \quad MCD = \frac{SCD}{GLD}$$

Como último paso para obtener el valor  $F$ , se realiza dividiendo la media cuadrática entre grupo y la media cuadrática dentro de los grupos.

$$9. \quad \text{Valor } F = \frac{MCG}{MCD}$$

### **Resultados de Análisis de varianza-ANOVA resuelto por MiniTab**

Utilizando el programa estadístico MiniTab para realizar el ANOVA, nos arroja los siguientes resultados.

**Figura 36.** Media y desviación estándar de cada grupo.**Medias**

Factor	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
G0	8	6,155	3,52	(-2,50; 14,81)
G1	8	28,964	11,53	(20,31; 37,62)
G3	8	47,198	18,84	(38,54; 55,85)
G5	8	23,863	8,42	(15,21; 32,52)

Desv.Est. agrupada = 11,9526

Nota: gráfica proporcionada por MiniTab.

**Figura 37.** Resultados de análisis de varianza por MiniTab**Análisis de Varianza**

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Factor	3	6842,9162	2280,9721	15,9658	0,0000030352
Error	28	4000,2405	142,8657		
Total	31	10843,1567			

Nota: tablas generadas por MiniTab.

**Cálculo De Valor Crítico F Por Medio De La Tabla De Fisher**

Con los grados de libertad entre grupos para las filas y los grados de libertad dentro de los grupos en columnas se entra a la tabla de Fisher para obtener el valor crítico de F, este valor nos va a decretar si se rechaza o no la hipótesis nula.

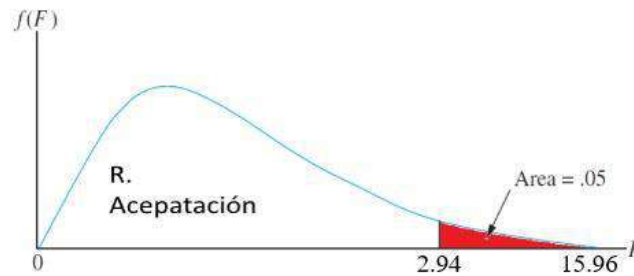
**Figura 38.** Valores críticos de la distribución  $F$  (0.05).

g.d.l	1	2	3	4
1	161,4	199,5	215,7	224,6
2	18,513	19,000	19,164	19,247
3	10,128	9,552	9,277	9,117
4	7,709	6,944	6,591	6,388
5	6,608	5,786	5,409	5,192
6	5,987	5,143	4,757	4,534
7	5,591	4,737	4,347	4,120
8	5,318	4,459	4,066	3,838
9	5,117	4,256	3,863	3,633
10	4,965	4,103	3,708	3,478
11	4,844	3,982	3,587	3,357
12	4,747	3,885	3,490	3,259
13	4,667	3,806	3,411	3,179
14	4,600	3,739	3,344	3,112
15	4,543	3,682	3,287	3,056
16	4,494	3,634	3,239	3,007
17	4,451	3,592	3,197	2,965
18	4,414	3,555	3,160	2,928
19	4,381	3,522	3,127	2,895
20	4,351	3,493	3,098	2,866
21	4,325	3,467	3,072	2,840
22	4,301	3,443	3,049	2,817
23	4,279	3,422	3,028	2,796
24	4,260	3,403	3,009	2,776
25	4,242	3,385	2,991	2,759
26	4,225	3,369	2,975	2,743
27	4,210	3,354	2,960	2,728
28	4,196	3,340	2,947	2,714
29	4,183	3,328	2,934	2,701
30	4,171	3,316	2,922	2,690

*Nota:* tomado de <https://es.slideshare.net/slideshow/tabla-fischer-una-cola-alfa-005/246793964>

### Interpretación De Datos Obtenidos.

Para interpretar los valores obtenidos, empleamos la gráfica de aceptación y rechazo del método estadístico ANOVA, básicamente es la campana de gauss, En esta gráfica, el valor crítico de  $F$  actúa como el límite entre la región de aceptación y la región de rechazo y nos indica que, si el valor  $F$  calculado se sitúa a la derecha del valor crítico, se rechaza la hipótesis nula diciendo que existen diferencias significativas, si se sitúa a lado izquierdo se acepta la hipótesis alternativa y se estipula que no hay diferencias notorias en el estudio. Con esto concluimos que, existen diferencias significativas en la fuerza de pelado entre los grupos evaluados ya que el valor  $F$  es mayor al valor crítico.

**Figura 39.** Gráfica de aceptación y rechazo de ANOVA.

*Nota: elaboración propia.*

Teniendo claro que el valor  $F$  es mayor al valor crítico de  $F$ , concluimos que se rechaza la hipótesis nula, sí existen diferencias significativas en la fuerza de despegue entre los grupos de 0%, 1%, 3% y 5% de variaciones de lignina mezclada con resina epóxica.

### **Método De Tukey**

El método Tukey es una técnica estadística utilizada para realizar comparaciones múltiples entre las medias de diferentes grupos después de haber realizado un análisis de varianza, el método en mención nos permite identificar que grupos son significativamente diferentes entre sí.

Para saber que grupos presentan diferencias significativas, se utiliza la fórmula para obtener el valor de la diferencia crítica de las medias, la Tabla 5. presenta los datos para calcular el valor.

**Tabla 5.** Datos para obtener valor crítico en las diferencias de medias.

MÉTODO TUKEY	
K	4
N-k	28
CME	142.86
$n_i$	8
$q_\alpha(k, N - k)$	3.86
$T_\alpha = q_\alpha(k, N - k) * \sqrt{\frac{CM_e}{n_i}}$	16.312

Nota: elaboración propia

Donde:

- $N$  es el número total de datos.
- $K$  es el número de grupos.
- $CM_e$  es el cuadrado de las medias dentro de las muestras.
- $n_i$  es la cantidad de datos por grupo.
- $q_\alpha(k, N - k)$  es el valor obtenido cuando se interfiere  $N$  para las filas y  $N-k$  para columnas en la tabla de Cuantiles De La Distribución De Tukey.
- $T_\alpha = q_\alpha(k, N - k) * \sqrt{\frac{CM_e}{n_i}}$  es la diferencia crítica de las medias.

**Figura 40.** Cuantiles de distribución De Tukey.

$\alpha = 0.05$	2	3	4	5
<i>m</i>				
2	6.08	8.33	9.80	10.88
3	4.50	5.91	6.82	7.50
4	3.93	5.04	5.76	6.29
5	3.64	4.60	5.22	5.67
6	3.46	4.34	4.90	5.30
7	3.34	4.16	4.68	5.06
8	3.26	4.04	4.53	4.89
9	3.20	3.95	4.41	4.76
10	3.15	3.88	4.33	4.65
11	3.11	3.82	4.26	4.57
12	3.08	3.77	4.20	4.51
13	3.06	3.73	4.15	4.45
14	3.03	3.70	4.11	4.41
15	3.01	3.67	4.08	4.37
16	3.00	3.65	4.05	4.33
17	2.98	3.63	4.02	4.30
18	2.97	3.61	4.00	4.28
19	2.96	3.59	3.98	4.25
20	2.95	3.58	3.96	4.23
21	2.94	3.56	3.94	4.21
22	2.93	3.55	3.93	4.20
23	2.93	3.54	3.91	4.18
24	2.92	3.53	3.90	4.17
25	2.91	3.52	3.89	4.15
26	2.91	3.51	3.88	4.14
27	2.90	3.51	3.87	4.13
28	2.90	3.50	3.86	4.12
29	2.89	3.49	3.85	4.11
30	2.89	3.49	3.85	4.10

*Nota: tomado de <https://es.scribd.com/document/655910231/Tabla-8-Cuantiles-de-la-distribucion-de>*

Para determinar si existen medias significativas el método de Tukey nos dice que la diferencia de las medias debe ser mayor al valor calculado  $T_\alpha$ .

En los valores obtenidos por MiniTab podemos observar la comparación entre el grupo base correspondiente a la variación de 0% de lignina contra los grupos de 1%, 3% y 5%, que, si existe una diferencia significativa, ya que cada diferencia de media es mayor al valor calculado, sin embargo, la mayor significancia se encontró en la comparación entre el grupo base de 0% y el grupo de 3% de lignina.

**Figura 41.** *Tabla de Resultados Método Tukey.***Pruebas simultáneas de Tukey para diferencias de las medias**

Diferencia de niveles	Diferencia de las medias	EE de diferencia	IC de 95%	Valor T	Valor p ajustado
G1 - G0	22,81	5,98	(6,50; 39,12)	3,82	0,004
G3 - G0	41,04	5,98	(24,73; 57,36)	6,87	0,000
G5 - G0	17,71	5,98	(1,40; 34,02)	2,96	0,030

*Nota: proporcionada por MiniTab.*

## 8. Conclusiones

Se diseñó y construyó un accesorio adaptado a la máquina de ensayos MTS BIONIX, considerando criterios de resistencia y funcionalidad. Este diseño nos permitió realizar pruebas de resistencia al desgarro de adhesivos de manera precisa, asegurando la compatibilidad con los requisitos de la norma ASTM D6862.

El diseño del accesorio para pruebas de pelado a 90° se enfocó en una fabricación simple y precisa. Con materiales como acero A36 y componentes como rodamientos y poleas, logrando así, un funcionamiento eficiente, fácil mantenimiento y adaptabilidad para futuros ajustes.

Basados en los resultados obtenidos a través del análisis ANOVA se concluye el rechazo de la hipótesis nula, dado que el valor de F calculado es superior al valor crítico. Además, las evidencias estadísticas proporcionadas por MiniTab podemos afirmar que existen diferencias en la fuerza de pelado entre los grupos de 0%, 1%, 3% y 5% de variaciones de lignina.

El análisis estadístico de Tukey identificó que el grupo con 3% de lignina presenta la mayor diferencia significativa en la carga de desgarro y carga máxima, con una diferencia de media de 44,04 frente a 16,31 de la media crítica. Con base en estos resultados, se recomienda una concentración del 3% de lignina en el diseño de cintas con resina epóxica como adhesivo, una variación mayor o igual al 5% presenta un declive en la fuerza requerida para el despegue de la cinta.

## Referencias

Achao. (2021). *5 tipos comunes de adhesivos para cada proyecto de construcción*. MT Copeland. <https://mtcopeland.com/blog/5-common-types-of-adhesives-for-every-building-project/>

Admin. (2020). *Diferentes tipos de adhesivos y sus usos*. ADFAST CORP. <https://adfastcorp.com/en/news/types-of-adhesive/>

*ANÁLISIS DE LA VARIANZA CON UN FACTOR (ANOVA)*. (s. f.-b). Recuperado de: [http://www.ub.edu/aplica\\_infor/spss/cap4-7.htm](http://www.ub.edu/aplica_infor/spss/cap4-7.htm)

ANOVA de un factor. (s. f.-b). *Introducción a la estadística | JMP*. Recuperado de: [https://www.jmp.com/es\\_co/statistics-knowledge-portal/one-way-anova.html](https://www.jmp.com/es_co/statistics-knowledge-portal/one-way-anova.html)

ASTM B571 (2023) *Standard Practice for Qualitative Adhesion Testing of Metallic Coatings*. (ASTM B571). ASTM International.

ASTM D3330 (2018). *Peel Adhesion Pressure Sensitive Adhesive Tapes*. (ASTM D3330). ASTM International.

ASTM D6252. *Pressure-Sensitive Labels 90° Peel Adhesion Test*. (2019). (ASTM D6252). ASTM International.

ASTM D6862. *90 Degree Peel Resistance Test Fixture*. (2019). (ASTM D6862). ASTM International.

*Método de prueba estándar para la resistencia al despegue de 90 grados de adhesivos ASTM D6862* - Consultoría y Pruebas de Materiales S.A. de C.V. (2021). <https://cypma.mx/mecanicas/astm-d6862/>

Campusa. (2017). *Patentan un procedimiento para convertir la lignina en producto de alto valor añadido*. Noticias de la Universidad del País Vasco. [https://www.ehu.eus/es/-/n\\_20160120\\_patente-lignina](https://www.ehu.eus/es/-/n_20160120_patente-lignina)

Cárdenas, J. (2015, 15 de noviembre). *Qué es ANOVA de un factor y cómo analizarla fácilmente*. Networkianos. Blog de Sociología. <https://networkianos.com/anova-de-un-factor-que-es-como-analizar/#toc-1>

Chambers, S. (2023). *The Different Types of Adhesive Bonding Materials I Strouse*. 7 min read. <https://www.strouse.com/blog/low-profile-adhesive-bonding-materials>

Compass. (2019). [https://compass.astm.org/document/?contentCode=ASTM%7CD6252\\_D6252M-98R19%7Cen-US&proxycl=https%3A%2F%2Fsecure.astm.org&fromLogin=true](https://compass.astm.org/document/?contentCode=ASTM%7CD6252_D6252M-98R19%7Cen-US&proxycl=https%3A%2F%2Fsecure.astm.org&fromLogin=true)

Consultoría y Pruebas de Materiales S.A. de C.V. (2021). *ASTM D6862. Método de prueba estándar para la resistencia al despegue de 90 grados de adhesivos* - Consultoría y Pruebas de Materiales S.A. de C.V. <https://cypma.mx/mecanicas/astm-d6862/>

Force Measurement. IMADA specializes in force measurement. (2023). *Force Measurement*. IMADA Specializes in Force Measurement. <https://www.forcegauge.net/en/>

Gosselink, R., De Jong, E., Güran, B., & Abächerli, A. (2004). *Coordination Network for Lignin—Standardisation, production and applications Adapted to Market requirements*

(EUROLIGNIN). *Industrial Crops and Products*, Vol. 20(2), p. 82.

<https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2004.04.015>

Industrial Physics. (2023, 31 de octubre). *Complete Guide to peel Testing - Industrial Physics*. <https://industrialphysics.com/knowledgebase/articles/peel-strength-testing/>

Instron. (2022, 19 de octubre). *¿Qué es la prueba de peeling?* [Archivo de Vídeo]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=aQJ51U0D3wQ>

Kumar, V. (2023). ASTM D6862. *Resistance-to-Peel strength of an adhesive*. *Infinity Lab*. <https://infinitalab.com/astm/astm-d6862-resistance-to-peel-strength-of-an-adhesive/>

*Laminating Epoxy resin | BioPoxy 36 from EcoPoxy*. (s. f.). EcoPoxy USA Inc. <https://www.ecopoxy.com/products/biopoxy-36>

Martínez Ribón, J. G. T. (2011). *Propuesta de metodología para la implementación de la filosofía Lean (construcción esbelta) en proyectos de construcción* [Tesis de Maestría, Universidad Nacional de Colombia], pp. 12-15. <http://bdigital.unal.edu.co/10578/>

*MTS Bionix Tabletop Test Systems*. (2023). [www.mts.com](http://www.mts.com). Recuperado 20 de septiembre de 2024, de <https://www.mts.com/-/media/biomedical/pdfs/brochures/mts-bionix-tabletop-brochure.pdf?as=1>

*OpenIntro Statistics* (4.a ed.). (2010). David Diez, Mine Çetinkaya-Rundel, Christopher Barr.

*Propiedades de desgarro, pelado y adhesión de films y láminas plásticas*. (s. f.). *Propiedades de Desgarro, Pelado y Adhesión de Films y Láminas Plásticas*.

<https://www.zwickroell.com/es/sectores/plasticos/hojas-y-laminas-plasticas/propiedades-de-desgarre-progresivo-pelado-y-adhesion/>

Retrofitmach (2020). *ASTM D6862 90 Degree Peel Resistance Test Fixtures - RetrofitMach - Test Machine Retrofit Service*. <https://retrofitmach.com/astm-d6862-90-degree-peel-resistance-test.html>

Ronquillo, R. (2023). *Resumen de Adhesivos*. Thomasnet. <https://www.thomasnet.com/articles/adhesives-sealants/overview-of-adhesives/>

Tesa® 4591. (s. f.-b). tesa. <https://www.tesa.com/en-us/industry/tesa-4591.html>

UHU. (s. f.). *Tipos de Adhesivos. La gama UHU completa*. UHU <https://www.uhu.com/en/glue-advice/adhesive-types>

Wool, R. P., & Sun, X. S. (2005). *Bio-Based Polymers and Composites*. En Elsevier eBooks (pp. 256-291). <https://doi.org/10.1016/b978-012763952-9/50009-5>

Yalcin, D. (2023, 3 de mayo). *Ensayo de resistencia al pelado*. ADMET. <https://www.admet.com/blog/peel-strength-testing/>

## Anexos

### Anexo A. Diseño Conceptual numerales del 3.2-3.7

#### 3.2. Investigación Preliminar

##### *TestResources*

Este es el Accesorio de pelado a 90 grados para adhesivos (*Degree Peel Fixture for Adhesives*), Modelo GD6862-50 que satisface los requisitos de la norma ASTM D6862. Este accesorio está calificado para 10 kN (2250 lbf) y su ángulo de trabajo únicamente es 90 grados, el cual lo mantiene durante toda la prueba (ASTM Estándar D 6862, 2004).

**Figura 42.** *Accesorio TestResources*



*Nota: ASTM D6862 90 Degree Peel Resistance Test Equipment for Adhesives. Tomado de <https://www.testresources.net/applications/standards/astm/astm-d3330-peel-adhesion-pressure-sensitive-adhesive-tapes/>*

##### *Universal Grip Company*

El diseño del accesorio para esta prueba es singular debido a la ubicación requerida para montar la celda de carga. Dado que la plataforma debe moverse sin perturbar la carga, se conecta un brazo adaptador detrás de la celda de carga. Esta configuración permite que la plataforma se

desplace de manera independiente, manteniendo un ángulo de 90 grados durante todo el ensayo (*ASTM D6862 - 90 Degree Peel Test Fixture*, s. f.)

También se encuentran disponibles etapas de ángulo ajustable. La capacidad de tracción es de 5kN (1225 lbf). Área de prueba Longitud x Anchura de 280 x 50 mm. Opciones de superficie como vidrio, acero y plástico.

**Figura 43.** *Accesorio Universal Grip Company*



*Nota: ASTM D6862 90 Degree Peel Test Fixture. Tomado de <https://www.universalgripco.com/astm-d6862>*

### ***Retrofitmach***

Esta empresa diseña y produce accesorios de prueba ASTM D6862 de acuerdo con los tamaños de muestra requeridos y las necesidades de prueba con precios competitivos, alta calidad y entrega rápida (Retrofitmach, 2020). El nombre de este es “Accesorio de pelado de 90 grados ASTM D6862 para adhesivos, lámina delgada con agarre por tracción ASTM D882, agarre en cuña mecánico”.

**Figura 44.** *Accesorio Retrofitmach*



*Nota: ASTM D6862 90 DEGREE PEEL RESISTANCE TEST FIXTURES. Tomado de <https://retrofitmach.com/astm-d6862-90-degree-peel-resistance-test.html>*

### **3.4. Requisitos técnicos**

- El accesorio debe mantener un ángulo de 90 grados constante durante todo el ensayo de desgarro, conforme a la norma ASTM D6862.
- Para la velocidad de despegue el accesorio debe trabajar en conjunto con el sistema de control de velocidad de la máquina de ensayos, asegurando una velocidad de desgarro uniforme según la norma.
- Los componentes del accesorio deben ser fabricados con materiales de alta resistencia y durabilidad, como acero comercial, acero inoxidable o aleaciones de aluminio, para soportar las condiciones tanto del ensayo como del entorno del laboratorio.
- El accesorio debe cumplir con todas las normativas de seguridad aplicables para equipos de laboratorio, incluyendo protecciones para minimizar riesgos durante montaje, operación y desmontaje.

### **3.5. Generación de Ideas Iniciales**

Durante la investigación que se realizó sobre los accesorios existentes que podrían servir como modelo para el diseño y construcción del accesorio, se observó, que de acuerdo con las dimensiones de la máquina MTS BIONIX es posible desarrollar varias alternativas que podrían ser adaptadas para cumplir con los requisitos de la máquina de ensayos. Este enfoque asegura que las alternativas de diseño propuestas mantengan varias características importantes en el tipo de ensayo, y que también se optimicen para su aplicación en los ensayos.

#### ***3.5.1. Planteamiento de Alternativas***

##### ***3.5.1.1. Alternativa 1.***

- Disposición del montaje: Horizontal
- Ubicación de la mordaza: Parte Inferior
- Ubicación del accesorio desplegable: Parte Superior
- Sistema de sujeción de la lámina: No

En esta alternativa, para el avance de la placa se van a adaptar cuatro rodillos tipo polea entre las paredes laterales del accesorio, dos en cada extremo y otros dos en el centro equidistantes; en medio de éstos últimos la cinta pasa verticalmente para poder realizar los debidos ensayos (Ver Fig. 13).

**Figura 45.** Rodillos de avance



*Nota: tomado de <https://www.ango.com.pe/product/rodillo-acero-inoxidable-43cm/>*

Para la mordaza, se va a adecuar una existente (Ver la parte inferior del Boceto en la Fig. 13) que garantice una buena sujeción del extremo de la cinta para que a medida que avance la mordaza, la placa avance horizontalmente sobre los rodillos y a su vez se mantenga el ángulo indicado en la norma.

**Figura 46.** Mordaza para máquinas de medición



*Nota: tomado de <https://www.directindustry.es/prod/thwing-albert-europe/product-17719-1860946.html>.*

Para el adherente rígido donde se ubica la cinta se van a usar láminas de acero galvanizado de espesor mínimo de 2 mm como se muestra en la siguiente imagen.

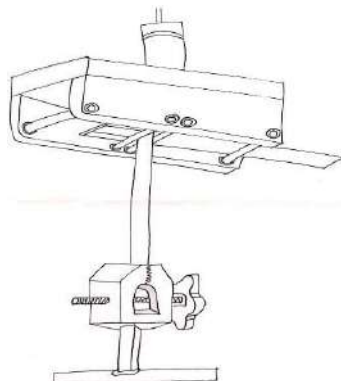
**Figura 47.** Lámina galvanizada



*Nota: tomado de <https://aceroprecio.com/lamina-y-placa-de-acero/>.*

A continuación, se muestra el boceto de la alternativa 1 para su posterior diseño.

**Figura 48.** Boceto de la Alternativa 1



*Nota: elaboración propia.*

### 3.5.1.2. Alternativa 2.

- Disposición del montaje: Horizontal
- Ubicación de la mordaza: Parte Superior
- Ubicación del accesorio desplegable: Parte Inferior
- Ubicación de las poleas de avance de la placa: Partes laterales del accesorio
- Ubicación del tensor del cable: Parte superior

- Sistema de sujeción de la lámina: Si

Para esta alternativa se intercambiará el mecanismo de avance de la placa colocando seis rodamientos en el accesorio; ubicados en las paredes laterales para el avance de la cinta y placa en conjunto Ver Figura 14.

**Figura 49.** Rodamientos para el avance de la placa



*Nota: tomado de <https://www.amazon.es/Rodamientos-industrial-DIN625-1-precisi%C3%B3n-di%C3%A1metro/dp/B00SG1RQUM>*

Para el sistema de sujeción, se ubicarán 2 placas ajustables con tornillos para diferentes espesores de láminas usadas en las pruebas.

**Figura 50.** Placas de sujeción de la lámina



*Nota: tomado de [https://www.instron.com/-/media/literaturelibrary/products/2018/10/90-degree-and-variable-angle-peel-fixture.pdf?sc\\_lang=en&ch=117](https://www.instron.com/-/media/literaturelibrary/products/2018/10/90-degree-and-variable-angle-peel-fixture.pdf?sc_lang=en&ch=117)*

Para el tensor del cable se usará una pieza adaptable a la parte superior de la máquina de ensayos mecánicos MTS BIONIX, este accesorio se basó en un modelo existente (Ver Fig. 7)

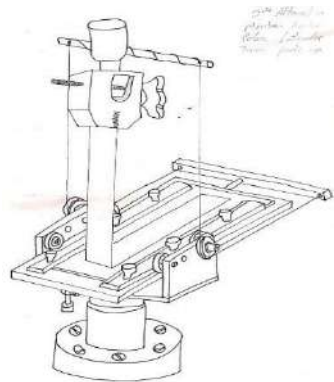
**Figura 51.** Modelo de tensor del cable para la placa



*Nota: ASTM D6862 90 Degree Peel Resistance Test Equipment for Adhesives. Tomado de <https://www.testresources.net/applications/standards/astm/astm-d6862-90-degree-peel-resistance-test-equipment-for-adhesives/>*

A continuación, se muestra el boceto de la alternativa 2 para su posterior diseño.

**Figura 52.** Boceto Alternativa 2



*Nota: elaboración propia.*

### 3.5.3. Alternativa 3.

- Disposición del montaje: Horizontal
- Ubicación de la mordaza: Parte Superior
- Ubicación del accesorio desplegable: Parte Inferior
- Ubicación de rodamientos y poleas de avance de la placa: Partes laterales del accesorio parte interna y externa.

- Ubicación del tensor del cable: Parte superior
- Sistema de sujeción de la lámina: Si

Para esta alternativa se intercambiará el mecanismo de avance de la placa colocando ocho rodamientos en el accesorio; ubicados en las paredes laterales internas para el avance de la cinta y placa en conjunto con las poleas ubicadas en la parte exterior de las paredes del accesorio (Ver Fig. 18 y Fig. 19).

**Figura 53.** *Rodamientos de bolas*



*Nota: Tomado de <https://arch.khas.edu.tr/Arneses-tipo-chaleco/11.do>*

**Figura 54.** *Poleas*



*Nota: Rodamiento de polea de ranura T22 V/U, rodamientos de bolas de acero, 8x22,5x14,5x13,5mm, rodamiento de riel guía de caminar, 10 unidades. Tomado de [aliexpress.com](https://www.aliexpress.com).*

Para el sistema de sujeción, se ubicarán unos tornillos cabeza de botón tipo Bristol a lo largo de la placa (Ver Fig. 22), de manera que con la parte inferior de la cabeza se pueda sujetar la lámina donde va la cinta a la placa del accesorio.

**Figura 55.** *Tornillos cabeza de botón.*



*Nota: Tomado de <https://destornilladoreselectricos.es/wp-content/uploads/2021/02/Tipos-de-cabezas-de-tornillos.jpg>*

Para el tensor del cable se usarán dos placas que me servirán de igual manera para el agarre del extremo de la cinta, éstas van ubicadas en el vástago superior de la máquina MTS BIONIX.

**Figura 56.** *Placas*

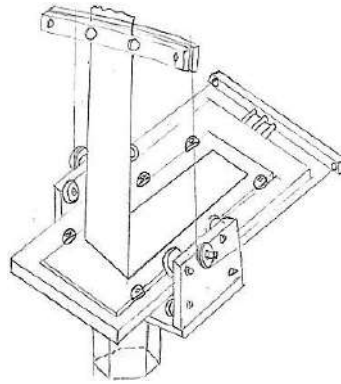


*Nota: Tomado de <https://cliparto.es/serie/677-placas-met%C3%A1licas/4/>*

Para el adherente rígido donde se ubica la cinta se van a usar unas láminas de acero galvanizado de espesor mínimo de 2mm como se mostró (Vea Fig. 12).

A continuación, se muestra el boceto de la alternativa 3 para su posterior diseño.

**Figura 57.** Boceto Alternativa 3.



*Nota: elaboración propia*

Esta fase va a garantizar que la sujeción de las muestras sea precisa, uniforme y de fácil colocación y ajuste. El objetivo no solamente será cumplir los requisitos de la norma sino también superar las expectativas en términos de usabilidad.

### **3.6. Selección del material para el accesorio**

El material debe ser capaz de soportar los requerimientos mencionados en los numerales 1.2 y 3, considerando esto, el material idóneo para este accesorio es el acero A36 ya que la facilidad de encontrarlo en diferentes talleres medianos o pequeños y su bajo costo hace que sea asequible para este tipo de accesorios.

### **3.7. Evaluación de Alternativas Matriz de Calidad**

Después de la creación de las alternativas basadas en accesorios existentes, se procede a la selección de la mejor de éstas para el diseño y construcción del accesorio que cumpla con las necesidades vistas en la máquina MTS BIONIX.

Para asignarle valor a la matriz se tienen los siguientes criterios con su correspondiente ponderación:

**Tabla 6.** Ponderación de los criterios para la matriz QFD.

Criterio	Ponderación
Impacto menor	1
Impacto bajo	3
Impacto medio	5
Impacto alto	7
Impacto mayor	9

*Nota: elaboración propia.*

**Tabla 7.** Método de selección de alternativas QFD.

			Alternativa 1		Alternativa 2		Alternativa 3	
			Ponderación	Valor	Ponderación	Valor	Ponderación	Valor
Aspecto	Tamaño compacto	9	5	45	6	54	9	81
	Aspecto técnico	3	5	15	7	21	9	27
	Económico	6	9	54	5	30	8	48
Eficiencia del funcionamiento	Velocidad constante	12	3	36	9	108	9	108
	Mov. Ctte de la Placa	11	3	33	9	99	9	99
Facilidad de Ajuste	Ajuste rápido	4	9	36	7	28	9	36
Operación y Uso	Operación continua	8	5	40	7	56	8	64
Seguridad y Mantenimiento	Fácil limpieza	1	7	7	5	5	9	9
	Repuestos de fácil obtención	2	5	10	7	14	8	16
	Minimización de Riesgos o daños	7	5	35	7	49	9	63
Vida Útil	Resistencia y durabilidad	10	7	70	9	90	9	90
	Desgaste Mínimo en piezas de contacto	5	7	35	7	35	8	40
<b>TOTAL</b>				<b>416</b>		<b>589</b>		<b>681</b>

*Nota: elaboración propia.*

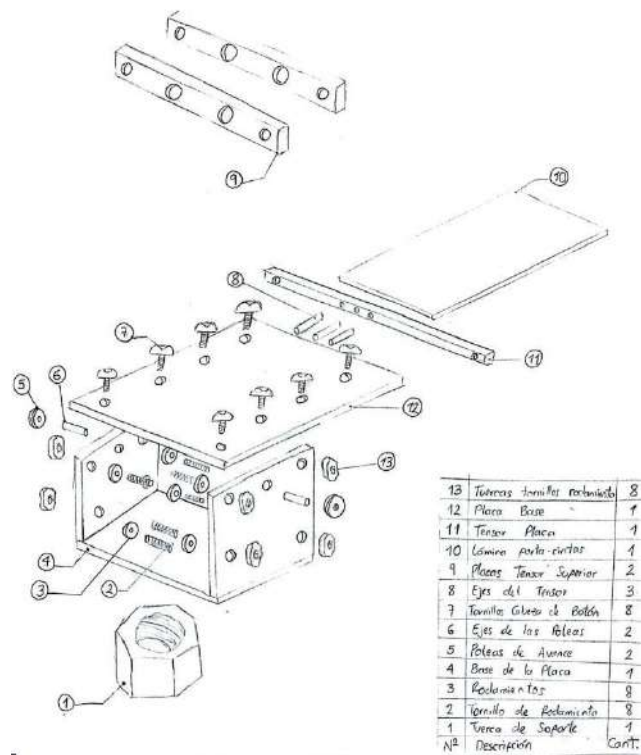
La alternativa más adecuada sería la tercera, ya que se adapta de mejor manera a los requisitos del ensayo de la máquina MTS. Tanto su armado como su instalación resultarán sencillos de realizar. Asimismo, asegura una fijación precisa y uniforme de las láminas con las muestras. El mecanismo de tensión permite mantener constante el avance y la velocidad de la placa, como lo exige la norma ASTM D6862.

### 3.8. Especificaciones de la mejor alternativa

#### 3.8.1. Bocetado Detallado y Posible Diseño Final a Modo de Despiece

En la siguiente figura se presenta el boceto detallado y las especificaciones de la mejor alternativa.

**Figura 58.** Diseño de concepto por matriz QFD

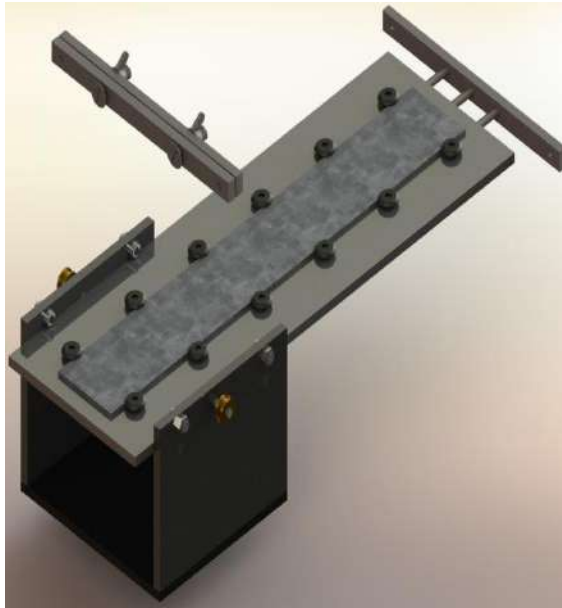


*Nota: Elaboración propia.*

#### 3.8.2. Modelado del accesorio en SolidWorks

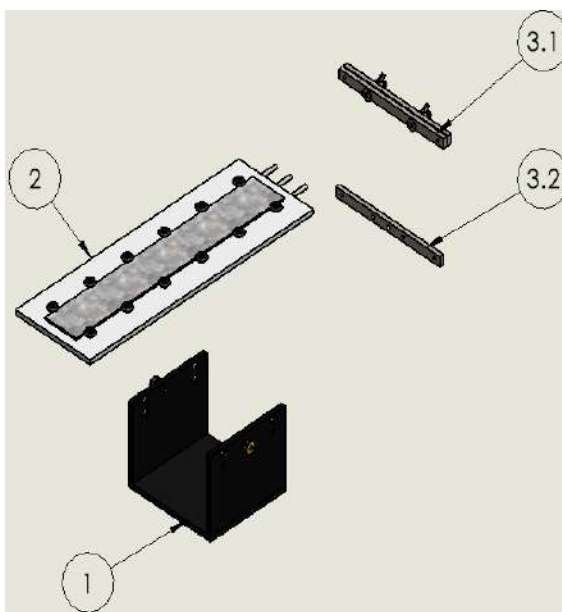
Se procede a hacer el modelado en el software de diseño 3D SolidWorks para plasmarlo de mejor manera y así hacer el dimensionamiento de todas las partes.

**Figura 59.** Modelado del Accesorio en SolidWorks



*Nota: elaboración propia.*

**Figura 60.** Explosionado del accesorio por subsistemas



*Nota: elaboración propia.*

**Tabla 8.** *Nombres de subsistemas de la Fig. 20*

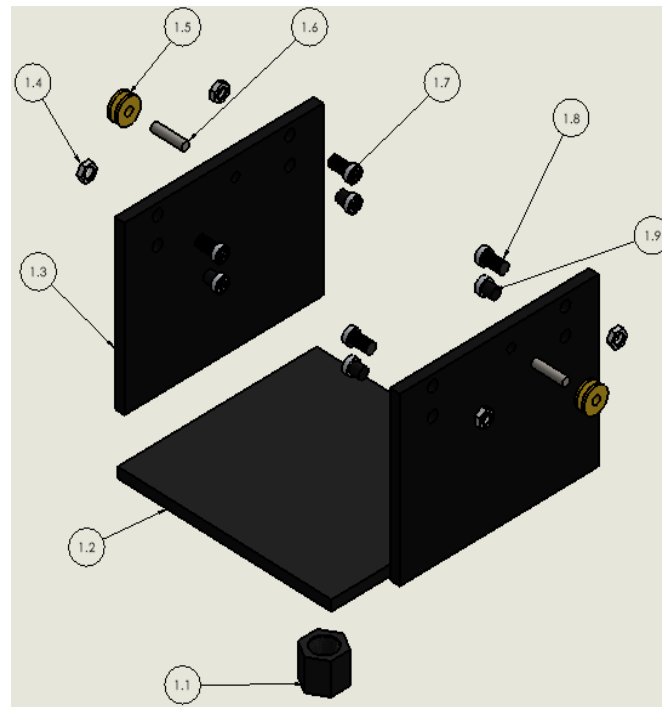
3.2	Subsistema de Tensión Inferior
3.1	Subsistema de Tensión Superior
2	Subsistema de Desplazamiento
1	Subsistema de Bastidor
CÓDIGO SUBSISTEMA	NOMBRE DEL SUBSISTEMA

*Nota: elaboración propia.*

### **3.8.2.1. Subsistema de Bastidor**

Basados en un accesorio existente (Vea Fig. 2), se planea imitar el bastidor en forma de U, mediante 3 piezas, 2 laterales y una inferior, unidas por medio de soldadura a escuadra (90°) con respecto a la horizontal. A esto va unido en la parte inferior de la U una tuerca que se acople al espárrago inferior que tiene la máquina MTS BIONIX para la correcta instalación del bastidor.

En sus paredes laterales en la parte interior van anclados los 8 rodamientos (4 en cada pared) para el deslizamiento del subsistema de desplazamiento, esto mediante unos tornillos y sus debidas tuercas de seguridad para evitar que los rodamientos se suelten o no se desplace bien la placa. Adicionalmente, irán 2 poleas en las partes posteriores de las paredes laterales para complementar el avance y tensión de la guaya del subsistema de tensión, estas irán fijas en un eje que va soldado en la posición correcta.

**Figura 61.** *Explosionado del Subsistema de Bastidor.*

*Nota: elaboración propia.*

**Tabla 9.** *Nombres de las Piezas Subsistema de Bastidor*

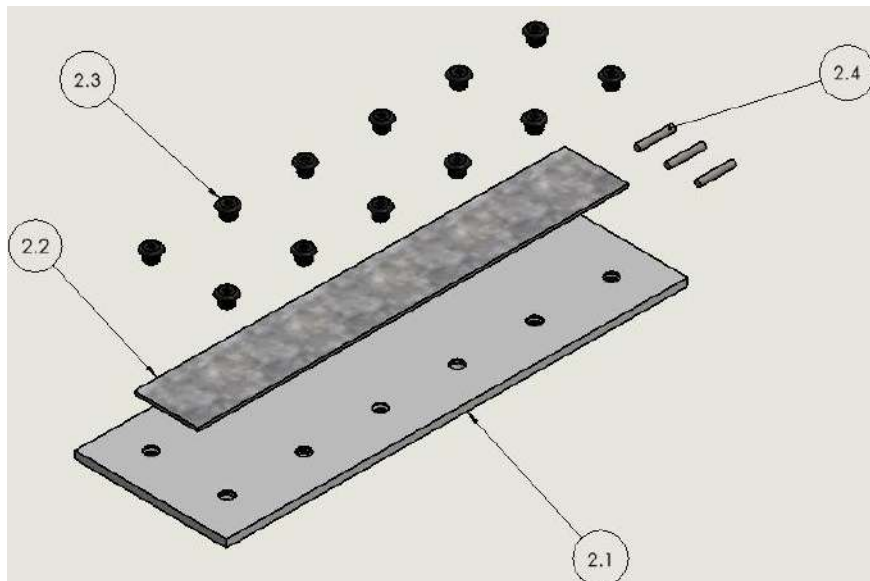
1.9	Tornillo Inf. de Rodamiento	4	Acero AISI 316
1.8	Tornillo Sup. de Rodamiento	4	Acero AISI 316
1.7	Rodamiento de Avance	8	Acero de Alta Carbono
1.6	Eje de Polea	2	Acero A36
1.5	Polea de Avance	2	Latón C36000 Niquelado
1.4	Tuerca Seg. Rodamiento	4	Acero AISI 316
1.3	Base Lateral de la Base	2	Acero A36
1.2	Placa Inferior de la Base	1	Acero A36
1.1	Tuerca de Soporte	1	Acero AISI 316
CÓDIGO PIEZA	NOMBRE DE LA PIEZA	CANT.	ESPECIFICACIÓN: DIMENSIONAL, MATERIAL, REFERENCIA TÉCNICA DE SELECCIÓN, MARCA.

*Nota: elaboración propia.*

### 3.8.2.2. Subsistema de Desplazamiento

El desplazamiento será mediante una placa de acero A36, con dimensiones tales que encaje en la U del bastidor y en el espacio de los rodamientos. A esta placa irán unos tornillos cabeza de botón equidistantes en la placa para garantizar la sujeción de distintos espesores de láminas portacintas (según el rango especificado en la norma ASTM D6862) para que en el momento del ensayo se desplace todo en conjunto. En su parte posterior, irán soldadas 3 varillas, que servirán como soporte para el subsistema de tensión inferior como se muestra en la siguiente figura.

**Figura 62.** *Explosionado del Subsistema de Desplazamiento.*



*Nota: elaboración propia.*

**Tabla 10.** *Nombres de las Piezas del Subsistema de Desplazamiento.*

2.4	Eje del Tensor Inferior	3	Acero A36
2.3	Tornillos de Sujeción Lámina	12	Acero AISI 316
2.2	Lámina Porta-Cintas	1	Acero Galvanizado
2.1	Placa Base	1	Acero A36
CÓDIGO PIEZA	NOMBRE DE LA PIEZA	CANT.	ESPECIFICACIÓN: DIMENSIONAL, MATERIAL, REFERENCIA TÉCNICA DE SELECCIÓN, MARCA.

*Nota: elaboración propia.*

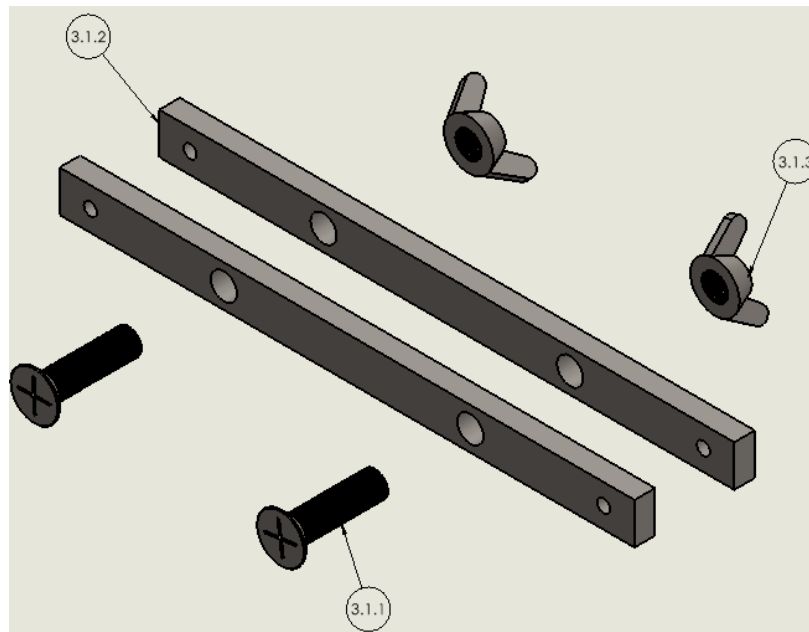
### **3.8.2.3. Subsistema de Tensión**

Este subsistema por la forma de realización del ensayo se divide en 2, que se nombrarán a continuación.

#### **3.8.2.3.1. Subsistema de Tensión Superior**

Esta parte del subsistema estará compuesta por 2 placas pequeñas de acero de iguales dimensiones, las cuales cumplirán con dos funciones en específico; la primera, es para la sujeción del extremo de la cinta la cual va a 90 grados con respecto a la horizontal, el extremo se colocará centrado, en medio de las dos placas y se apretará mediante unos tornillos y tuercas tipo mariposa (como se puede ver en la Fig. 28).

La segunda, es para la tensión de las guayas situadas en ambos extremos de las placas a 90 grados al igual que la cinta, esto con el fin de garantizar la correcta ejecución de los ensayos.

**Figura 63.** *Subsistema de Tensión Superior.*

*Nota: elaboración propia.*

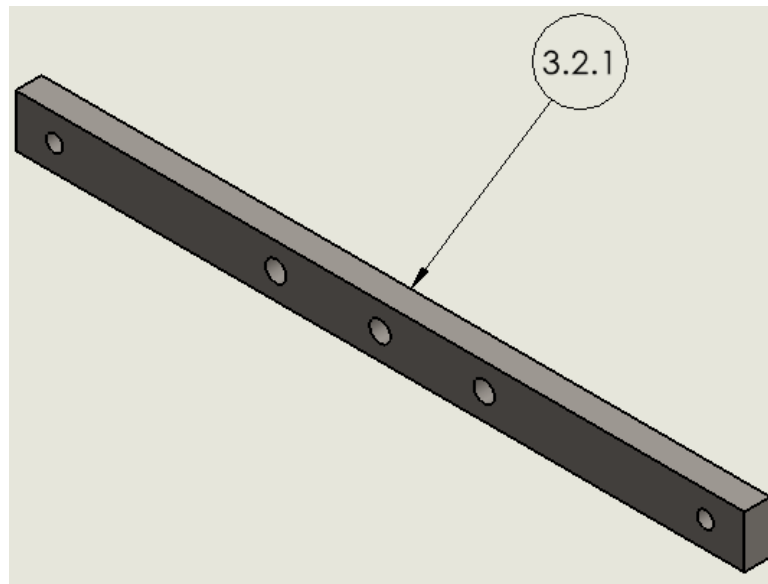
**Tabla 11.** *Nombres de las Piezas del Subsistema de Tensión Superior.*

3.1.3	Tuerca Mariposa Ten. Sup	2	Acero AISI 316
3.1.2	Placa del Tensor Superior	2	Acero A36
3.1.1	Tornillo Tensor Superior	2	Acero AISI 316
CÓDIGO PIEZA	NOMBRE DE LA PIEZA	CANT.	ESPECIFICACIÓN: DIMENSIONAL, MATERIAL, REFERENCIA TÉCNICA DE SELECCIÓN, MARCA.

*Nota: elaboración propia.*

### 3.8.2.3.2. Subsistema de Tensión Inferior

Esta parte del subsistema estará compuesta por una placa de acero ubicada en la parte posterior del subsistema de desplazamiento mediante las 3 varillas para su soporte. En sus extremos y a la misma distancia que el subsistema de tensión inferior, irán dos huecos de igual diámetro donde se ubicarán las guayas para la tensión y avance de la placa de desplazamiento.

**Figura 64.** *Subsistema de Tensión Inferior.*

*Nota: elaboración propia.*

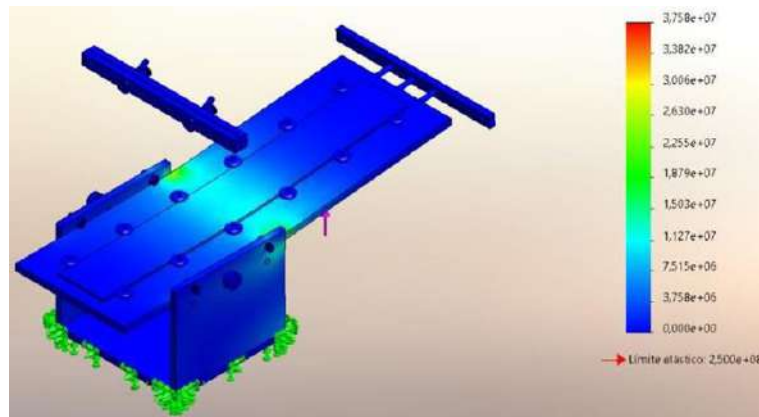
**Tabla 12.** *Nombres de las Piezas del Subsistema de Tensión Inferior.*

3.2.1	Placa del Tensor Inferior	1	Acero AISI 316
CÓDIGO PIEZA	NOMBRE DE LA PIEZA	CANT.	ESPECIFICACIÓN: DIMENSIONAL, MATERIAL, REFERENCIA TÉCNICA DE SELECCIÓN, MARCA.

*Nota: elaboración propia.*

### **3.9. Simulaciones de esfuerzos**

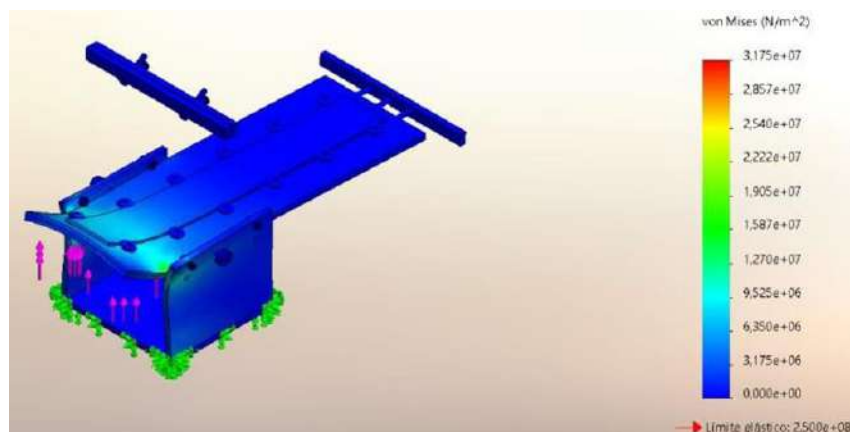
Se evalúa el comportamiento estructural del accesorio diseñado, se realizaron simulaciones estáticas usando análisis de tensiones de Von Mises. En este análisis se identificaron las zonas críticas de tensión y deformación bajo condiciones de carga esperadas. Esto con el fin de garantizar que el accesorio trabaje en conjunto de manera segura.

**Figura 65.** *Análisis estático accesorio*

*Nota: elaboración propia.*

El análisis muestra un mapa de tensiones, que demuestra unas tensiones bajas a moderadas, como lo indica el color azul. Las zonas más críticas están localizadas cerca de los puntos de contacto de los componentes (donde se ubica aproximadamente)

Las tensiones máximas alcanzadas son de aproximadamente ###MPa, lo cual significa que está significativamente por debajo del límite elástico del acero A36 (250MPa) asegurando el amplio factor de seguridad.

**Figura 66.** *Análisis estático*

*Nota: elaboración propia.*

En este análisis, se vio que las tensiones alcanzan un máximo de 31.75 MPa, lo cual está muy por debajo del límite de resistencia del material. La deformación se amplió en la imagen para destacar mejor las áreas donde el accesorio se desplaza, pero en la realidad, estas deformaciones serían muy pequeñas con las cargas aplicadas. Además, la distribución de las tensiones es uniforme, lo que indica un buen comportamiento estructural.