



# POSGRADOS

MAGISTER EN

INGENIERÍA MECÁNICA CON MENCIÓN EN  
MODELAMIENTO DE MATERIALES Y  
PROCESOS DE PRODUCCIÓN

RPC-SO-24-NO.540-2020

OPCIÓN DE TITULACIÓN:

PROYECTO DE TITULACIÓN CON  
COMPONENTES DE INVESTIGACIÓN  
APLICADA Y/O DE DESARROLLO

TEMA:

PROPUESTA DE MEJORA DEL  
RECUBRIMIENTO DE LOS  
RODILLOS ALIMENTADORES  
UTILIZADOS EN PLANTA  
PAPELERA

AUTOR:

VÍCTOR ANDRÉS VÁZQUEZ ZHINDÓN

DIRECTOR:

LUIS EDUARDO GARZÓN MUÑOZ

CUENCA – ECUADOR

2023

**Autor:**



**Víctor Andrés Vázquez Zhindón**

Ingeniero Mecánico mención Diseño de Máquinas.  
Candidato a Magíster en Ingeniería Mecánica con  
mención en Modelamiento De Materiales Y  
Procesos De Producción por la Universidad  
Politécnica Salesiana – Sede Cuenca.  
vvazquezz@est.ups.edu.ec

**Dirigido por:**



**Luis Eduardo Garzón Muñoz**

Físico  
Máster Universitario en Biofísica  
Doctorado en Ciencias de Materiales  
lgarzon@ups.edu.ec

Todos los derechos reservados.

Queda prohibida, salvo excepción prevista en la Ley, cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública y transformación de esta obra para fines comerciales, sin contar con autorización de los titulares de propiedad intelectual. La infracción de los derechos mencionados puede ser constitutiva de delito contra la propiedad intelectual. Se permite la libre difusión de este texto con fines académicos investigativos por cualquier medio, con la debida notificación a los autores.

**DERECHOS RESERVADOS**

2023 © Universidad Politécnica Salesiana.

CUENCA – ECUADOR – SUDAMÉRICA

VÍCTOR ANDRÉS VÁZQUEZ ZHINDÓN

Propuesta de mejora del recubrimiento de los rodillos alimentadores utilizados en planta papelera

## **DEDICATORIA**

El trabajo desarrollado, en primer lugar, va dedicado al ser más hermoso que Dios puso a mi lado, mi amada esposa Elsa, que por su gentileza, carácter, acompañamiento y amor me impulsó para la culminación del mismo, gracias por ser parte de mi vida, a mis tesoros Salome y Bryanna que cada día me apoyan y motivan para ser una mejor persona, a mi madre por sus ejemplos, cariño y guía que me cultivo el interés por el estudio, a mi padre que a la distancia sé que me desea lo mejor, a mis hermanos por amistad y respeto hacia mí, a toda mi familia de sangre y política, que todos ellos son pilar fundamental en mis labores cotidianas.

A todos ellos va dedicado el logro conseguido siempre les tendré presentes.

## **AGRADECIMIENTO**

En primer lugar mi agradecimiento a Dios y la Santísima Virgen María por protegerme bajo su manto, a mis abuelitos(Lolito y Lalita) que desde el cielo me guían a cada momento, a mi esposa e hijas por su apoyo y amor incondicional, a mi madre y familia pilar importante en mi vida, al Doctor Luis Garzón que con su experiencia y amistad supo guiar el presente trabajo, al Ingeniero Freddy Moncayo por la colaboración en el manejo del Software ANSYS, a los Ingenieros Alfredo Viñanzaca y Rómulo Guiracocha por su aporte documental, de manera especial al Doctor Nelson Jara Director de la Maestría y al personal docente de Posgrados de la UPS: Ing. Olena Naidiuk, Dr. Cesar Nieto, Ing. Fernando Toapanta, Dr. José Alvarado, Ing. Jonnathan Santos, Dr. Vinicio Sánchez, Dr. Fabián Narváez, Ing. Víctor Cabrera, Dr. Jorge Fajardo, Ing. Nancy Moreno, Dr. Edwin Charrasquero, Ing. Juan Vázquez, Dr. Alfredo Valarezo, Ing. César Paltán, Ing. Marco Amaya, Ing. Frank Reinoso; a mis compañeros por su apoyo y comentarios.

Gracias a todos, que Dios les pague ahora y siempre.

# TABLA DE CONTENIDO

Resumen .....	9
Abstract .....	10
1. Introducción .....	11
2. Determinación del Problema.....	12
3. Marco teórico referencial.....	14
3.1 ANÁLISIS DEL ESTADO ACTUAL DE LOS RODILLOS ALIMENTADORES USADOS	14
3.1.1. Introducción. ....	14
3.1.2. Funcionamiento.....	15
3.1.3. Mantenimiento.....	15
3.1.4. Vida Útil del Rodillo. ....	16
3.1.5. Manipulación y Almacenamiento Adecuado. ....	17
3.1.6. Rodillos de la Empresa Papelera. ....	17
3.1.6.1. Rodillo Alimentador Neopreno Acanalado Flexo. ....	18
3.1.6.2. Rodillo Alimentador Poliuretano TCY2.....	18
3.1.6.3. Rodillo Alimentador Neopreno PS83A Acanalado Flexo.....	19
3.1.6.4. Rodillo Alimentador Poliuretano PS83A-340 Acanalado TCY2. ....	19
3.1.6.5. Rodillo Alimentador Neopreno Acanalado 2 Capas Hooper.....	20
3.1.6.6. Rodillo Alimentador Poliuretano PS83A-340 TCY1. ....	21
3.1.6.7. Rodillo Alimentador Poliuretano PS83A-340 Acanalado TCY3. ....	21
3.1.6.8. Rodillo Alimentador Poliuretano TCY3.....	22
3.1.6.9. Rodillo Alimentador Poliuretano Texo. ....	23
3.1.6.10. Rodillo Alimentador Poliuretano Texo 2. ....	23
3.1.7. Dureza.....	24
3.1.7.1. Dureza Shore.....	24
3.1.7.2. Dureza Vickers .....	25
3.2 ESTUDIOS DEL TIPO DE MATERIALES EN LOS RECUBRIMIENTOS DE LOS RODILLOS ALIMENTADORES.....	25
3.2.1. Introducción. ....	25
3.2.2. Neopreno.....	26
3.2.2.1. Propiedades. ....	27
3.2.3. Poliuretano.....	28

3.2.3.1.	Propiedades. ....	29
3.2.4.	Precios Actuales de Recubrimientos. ....	30
3.3	ALTERNATIVAS DE MATERIALES CON LA APLICACIÓN DE SOFTWARE GRANTAS EDUPACK.....	31
3.3.1.	Introducción. ....	31
3.3.2.	Propiedades para alternativa de materiales. ....	32
3.3.2.1.	Flexión.....	32
3.3.3.	Resultados de alternativa de materiales.....	35
3.3.3.1.	Polietileno PE. ....	41
3.3.3.2.	Polímero PVC. ....	42
3.3.3.3.	Polímero ABS.....	43
3.3.3.4.	Poliéster. ....	44
3.4	MODELACION DEL COMPORTAMIENTO DEL NUEVO MATERIAL DURANTE EL TRABAJO EN LOS RODILLOS.....	45
3.4.1	Introducción. ....	45
3.4.2	Simulación con los materiales resultantes.....	46
3.4.2.1.	Geometría.....	46
3.4.2.2.	Mallado.....	47
3.4.2.3.	Análisis Estructural. ....	48
3.4.2.4.	Resultados. ....	49
3.4.2.4.1	Esfuerzo Equivalente Von Mises Rodillo Neopreno. ....	50
3.4.2.4.2	Total Deformación Rodillo Neopreno. ....	50
3.4.2.4.3	Esfuerzo Equivalente Von Mises Recubrimiento Neopreno. ....	51
3.4.2.4.4	Total Deformación Recubrimiento Neopreno.....	51
3.4.2.4.5	Esfuerzo Equivalente Von Mises Rodillo Poliuretano. ....	52
3.4.2.4.6	Total Deformación Rodillo Poliuretano.....	52
3.4.2.4.7	Esfuerzo Equivalente Von Mises Recubrimiento Poliuretano.....	53
3.4.2.4.8	Total Deformación Recubrimiento Poliuretano. ....	53
3.4.2.4.9	Esfuerzo Equivalente Von Mises Rodillo Polietileno. ....	54
3.4.2.4.10	Total Deformación Rodillo Polietileno. ....	54
3.4.2.4.11	Esfuerzo Equivalente Von Mises Recubrimiento Polietileno. ....	55
3.4.2.4.12	Total Deformación Recubrimiento Polietileno.....	55
3.4.2.4.13	Esfuerzo Equivalente Von Mises Rodillo Poliéster. ....	56
3.4.2.4.14	Total Deformación Rodillo Poliéster. ....	56
3.4.2.4.15	Esfuerzo Equivalente Von Mises Recubrimiento Poliéster. ....	57
3.4.2.4.16	Total Deformación Recubrimiento Poliéster.....	58

3.4.2.4.17 Esfuerzo Equivalente Von Mises Rodillo Polímero ABS. ....	58
3.4.2.4.18 Total Deformación Rodillo Polímero ABS. ....	59
3.4.2.4.19 Esfuerzo Equivalente Von Mises Recubrimiento Polímero ABS. ....	59
3.4.2.4.20 Total Deformación Recubrimiento Polímero ABS. ....	60
3.4.2.4.21 Esfuerzo Equivalente Von Mises Rodillo Polímero PVC. ....	60
3.4.2.4.22 Total Deformación Rodillo Polímero PVC. ....	61
3.4.2.4.23 Esfuerzo Equivalente Von Mises Recubrimiento Polímero PVC. ....	61
3.4.2.4.24 Total Deformación Recubrimiento Polímero PVC. ....	62
4. Materiales y metodología.....	63
5. Resultados y discusión.....	64
5.1. Propiedades resultantes de los materiales resultantes. ....	64
5.1. 2. Precio. ....	65
5.1. 3. Modulo Young. ....	66
5.1. 4. Limite Elástico. ....	66
5.2. Dureza de los recubrimientos.....	67
5.3. Esfuerzo de Von Mises en los recubrimientos. ....	68
5.4. Deformación en los recubrimientos. ....	68
6. Conclusiones.....	70
Referencias.....	72

PROPUESTA DE  
MEJORA DEL  
RECUBRIMIENTO DE  
LOS  
RODILLOS  
ALIMENTADORES  
UTILIZADOS EN  
PLANTA  
PAPELERA

AUTOR(ES):

VÍCTOR ANDRÉS VÁZQUEZ ZHINDÓN



## RESUMEN

---

En una empresa papelera, para la transportación del papel/cartón a las diferentes secciones (para despacho al proveedor o pendiente de proceso) se requiere la utilización de rodillos alimentadores que son elementos mecánicos basados en normas, generalmente su material es el acero Assab 705 en todo su cuerpo, apoyado en sus extremos mediante un juego de chumaceras (las cuales van definidas según el tipo de máquina). Para evitar que el material se adhiera al acero, su superficie se encuentra cubierta con un material conocido como recubrimiento, que hoy en día se utiliza de dos clases: neopreno y poliuretano.

¿Pero qué ocurre si no se llegara a contar con dichos materiales por varias razones (sin stock, costos altos, manipulación errónea, etc.)? Se tendrían máquinas sin trabajar aumentando el tiempo muerto (perjudicial para toda empresa), el objetivo del presente trabajo, es investigar sobre posibles materiales que puedan reemplazar a los recubrimientos iniciales.

Se empezó analizando las características del neopreno y poliuretano, con el fin de utilizar sus valores en el software Granta Edu Pack para así determinar posibles candidatos, que puedan reemplazar a los indicados y son: polietileno, poliéster, polímero ABS y polímero PVC.

Con todos los recubrimientos analizados y obtenidos, mediante el software ANSYS Static Structural, se procedió a realizar la simulación tanto en esfuerzos equivalentes Von Mises y deformación total, para el rodillo y el recubrimiento; donde sus resultados son similares y se puede concluir que los materiales escogidos son capaces de realizar la labor correctamente de los recubrimientos originales y así brindar a la industria más opciones para la fabricación.

### **Palabras clave:**

Rodillo, recubrimiento, software, características.

## ABSTRACT

---

In a paper company, in order to transport the paper/cardboard to different sections (for dispatch to the supplier or pending processing), the use of feed rollers is required. These are mechanical elements based on standards, generally made of Assab 705 steel throughout their body, supported at their ends by a set of bearings (which are defined according to the type of machine). To prevent the material from adhering to the steel, its surface is covered with a material known as a coating, which today is used in two types: neoprene and polyurethane.

But what would happen if these materials were not available for various reasons (no stock, high costs, incorrect handling, etc.)? The objective of the present work is to investigate possible materials that could replace the initial coatings.

We started by analyzing the characteristics of neoprene and polyurethane, in order to use their values in the Granta Edu Pack software to determine possible candidates that could replace the indicated ones, which are: polyethylene, polyester, ABS polymer and PVC polymer.

With all the coatings analyzed and obtained, using ANSYS Static Structural software, we proceeded to perform the simulation in both Von Mises equivalent stresses and total deformation, for the roller and the coating; where their results are similar and it can be concluded that the chosen materials are able to perform the work correctly of the original coatings and thus provide the industry with more options for manufacturing.

**Keywords:**

Roller, coating, software, characteristics.

# 1. INTRODUCCIÓN

---

En el Ecuador, las empresas industriales apuntan a un solo destino competitivo, cumpliendo sus labores de manera correcta, con la finalidad que sus productos lleguen a tener un estándar industrial. Para lograrlo es indispensable:

- Producción excelente
- Ventas crecientes
- Personal capacitado
- Gerencias con liderazgo

Son puntos muy importantes, pero sin desmerecer los manejos económicos (libros contables) una parte fundamental es el ahorro, especialmente hoy en día con la pandemia que ha causado desbalance mundial. Debido a la alta demanda de papel y cartón prensado que está experimentando la industria del papel (Diario el Universo, 2021), la empresa papelera dispone de un nuevo Corrugador Fosber, el cual ha sido específicamente diseñado para garantizar la máxima flexibilidad del proceso de producción en términos de nivel de rendimiento, así como la calidad del producto terminado. Gracias a su innovador diseño modular, el Corrugador Fosber, se puede configurar fácilmente, en varios niveles de rendimiento que comprende un alto nivel de la línea de alta productividad, para las producciones mega volumen a una máquina "nivel de entrada" más simple, pero fácilmente actualizable para menor capacidad de requerimientos. Dentro de la planta papelera, se dispone de impresoras para el acabado del cartón, para el funcionamiento y ahorro se analiza volver a utilizar los rodillos usados, pero sin antes realizar un proceso de mejoras con la finalidad que su operabilidad sea casi de un 100%, con esto la empresa realizará una tarea similar, como el reciclaje para reutilizar los mismos que ya se los daba como chatarra, dicha investigación será un plus para que las demás secciones, no solo del corrugador, sino también en la preparación de la materia prima.

## 2. DETERMINACIÓN DEL PROBLEMA

Los rodillos alimentadores son parte de los componentes más importantes de una planta corrugadora figura 1, ya que cumplen funciones esenciales en el desempeño de toda la línea de producción. A pesar de su importancia, se presentan casos donde los operarios o personal de mantenimiento desconocen su funcionamiento. En las empresas papeleras para la alimentación de materia prima a las diferentes máquinas (impresores, parafinadoras, transportadores) en la planta papelera aproximadamente se dispone de 100 unidades de elementos nuevos, que van aproximadamente entre 5000 a 40000 dólares dependiendo de las dimensiones.

Figura 1

*Rodillo alimentador con recubrimiento de neopreno durante revisión de rodamientos.*



A los rodillos usados se los desecha, estos elementos trabajan con altas temperaturas, humedad, fatiga durante las 24 horas, los 7 días a la semana; se paraliza su funcionamiento aproximadamente 20 días al año debido a: mantenimientos bimensuales (aproximadamente 16 horas) y mantenimiento anual (aproximadamente 48 horas).

**Paradas correctivas.-** Cuando se tiene planeado un cambio de rodillo (generalmente en la parada anual meses septiembre/octubre dependiendo de la demanda de papel), el

elemento usado se lo tiende a reingresar a bodegas con un valor de 0.01 dólares (el sistema no permite el ingreso de valores cero), ocupando espacio físico de otro repuesto, con el pasar del tiempo el destino de los rodillos alimentadores usados es desecharlos como chatarra, que bien podría ser utilizado en otras labores, pero lo ideal es la recuperación de dichos elementos, con esto se evitaría un gasto extra.

### **Problema General.**

¿Es factible establecer una propuesta de mejora del recubrimiento de los rodillos alimentadores utilizados en la planta papelera?

### **Problemas específicos.**

¿Es posible diagnosticar el estado actual de los rodillos alimentadores, usados de la planta papelera y que se encuentran reingresados a bodega en condición de dañados?

¿Existe información para estudiar el estado de la técnica de los materiales utilizados, para los recubrimientos de rodillos?

¿Se puede analizar alternativas de materiales para el recubrimiento de los rodillos alimentadores y sus procesos de fabricación?

¿Es factible modelar el comportamiento del nuevo material bajo las condiciones normales de trabajo?

## 3. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

### 3.1 ANÁLISIS DEL ESTADO ACTUAL DE LOS RODILLOS ALIMENTADORES USADOS

#### 3.1.1. INTRODUCCIÓN.

Los rodillos alimentadores son componentes muy importantes de una planta papelera, los cuales cumplen con una tarea esencial en su proceso productivo. A pesar de su importancia, se presentan casos donde los operarios o personal de mantenimiento desconocen su funcionamiento.

Los rodillos son elementos modulares que se ensamblan para formar transportadores para el desplazamiento de papel y cartón terminado a lo largo de un sistema de embalaje o logística. Cada rodillo consta de un eje giratorio y un eje de cojinete que permiten el movimiento de la pieza y, por supuesto, el movimiento de las mercancías en el paquete o cinta logística. Por lo general, los rodillos están fabricados en metal de alta calidad, en la Figura 2 se indica la gama de rodillos existentes en una planta papelera, donde sus características dependen del correcto funcionamiento de toda la correa, para evitar el rozamiento y el desgaste excesivo del revestimiento.

Figura 2

*Gama rodillos utilizados en planta papelera.*



### 3.1.2. FUNCIONAMIENTO.

Siendo este un tema muy extenso y difícil de abarcar en una sola nota, se analizará únicamente los diferentes tipos de rodillos alimentadores desde el punto de vista constructivo.

Con una buena selección de rodillos de alimentación, se pueden obtener muchas ventajas: las relacionadas con el ahorro y el consumo de papel, las relacionadas con las especificaciones y la calidad de la caja. El producto final y los beneficios asociados con la eficiencia de la producción. Las principales innovaciones en este campo durante los últimos 25 años, se han centrado en la búsqueda incesante de un intercambio de calor más eficiente entre el rollo y el papel. Obviamente, esto se debe a que los spoilers han aumentado sus tasas de producción, los tipos de papel utilizados han disminuido y los costos de energía han aumentado significativamente. Los proveedores que buscan un mejor intercambio de temperatura entre el rollo y el papel han adoptado diferentes enfoques y han creado formas distintas. Era necesario dividirlo entre aquellos que perseguían este objetivo esforzándose por mejorar el flujo de vapor y el grupo de fabricantes de cilindros que inventaron y desarrollaron el "sistema de calefacción periférica".

### 3.1.3. MANTENIMIENTO.

Los métodos y herramientas de reducción de costos, van desde la optimización de los procesos de producción, hasta la reutilización de desechos y la reducción costosa de la plantilla. Sin embargo, a partir del trabajo del día a día se pueden idear estrategias para aprovechar mejor la capacidad instalada de la planta.

En la industria del papel, cada vez más empresas invierten en sistemas modernos para llevar a los clientes una impresión de alta calidad a precios asequibles, ya que la competencia no depende únicamente de la calidad del producto. Para evitar que este valor agregado se convierta en una fuente de desperdicios y pérdidas, se

deben implementar políticas de mantenimiento preventivo y correctivo, adecuadas para todos los componentes de la impresora.

La clave para aumentar la productividad, comienza con la compra del rodillo, cuyo fabricante da instrucciones precisas sobre su manejo durante el transporte y la instalación.

La instalación es el paso a seguir, es importante que el proceso sea realizado por personal calificado, ya que cualquier manipulación descuidada puede llegar a dañar la estructura del elemento, afectando la calidad del producto y limitando su vida útil.

Desde el inicio del proceso de producción en la empresa papelera, la limpieza diaria se ha convertido en un factor determinante en el rendimiento del rodillo alimentador y tiene un impacto directo en su vida útil. Si la limpieza se realiza correctamente, se puede evitar la acumulación de tinta seca que obstruye las celdas.

Si no se cumplen las recomendaciones sugeridas, el rodillo será sometido a un procedimiento de mantenimiento correctivo, que amerita una parada de producción, que es perjudicial para los objetivos de la empresa.

#### 3.1.4. VIDA ÚTIL DEL RODILLO.

Existen rodillos en mal estado cuando llegan a la fábrica y hay rodillos que se dañan en el transcurso de 1 a 2 meses o en un año en la planta. Algunas veces esto ocurre por factores mecánicos de las máquinas: presión excesiva de la rasqueta o doctor blade hacia el rodillo o cuando el sistema dosificador no permite la lubricación adecuada al cilindro para que la rasqueta no genere ningún tipo de desgaste prematuro.

Se ha detectado que hay materiales de rasquetas que no son los adecuados, contaminantes de la tinta que quedan estancados debajo de ellas, rayando los rodillos y causando taponamiento.



### 3.1.5. MANIPULACIÓN Y ALMACENAMIENTO ADECUADO.

Las cubiertas de los rodillos brindan resistencia a los impactos y brindan una forma económica de prolongar su vida útil. Se deben usar tapas al manipular o almacenarlos. Los daños accidentales pueden ocasionarse por las siguientes causas: presencias de ganchos del cabrestante, botellas de tinta, contacto con otros rodillos y residuos en la caja.

### 3.1.6. RODILLOS DE LA EMPRESA PAPELERA.

Para el análisis de rodillos alimentadores que funcionan en la planta papelera, se presenta un cuadro con análisis sistemático que se indica en la tabla 1 de su estado actual, los cuales se interpretan a continuación con su debido plano constructivo:

Tabla 1

*Lista rodillos alimentadores planta papelera.*

RODILLO	MAQUINA	Ø EXT	Ø INT	LONG	DUREZA
RODILLO ALIMENTADOR NEOPRENO ACANALADO	FLEXO	5 5/8 in	4 5/8 in	64 1/4 in	33-35 SHORE A
RODILLO ALIMENTADOR POLIURETANO	TCY 2	123 mm	114 mm	1310 mm	30-35 SHORE A
RODILLO ALIMENTADOR NEOPRENO PS83A ACANALADO	TCY 2	136 mm	117 mm	2190 mm	SHORE 30 A
RODILLO ALIMENTADOR POLIURETANO PS83A-340 ACANALADO	TCY 2	123 mm	114 mm	1310 mm	30-35 SHORE A
RODILLO ALIMENTADOR NEOPRENO ACANALADO 2 CAPAS	HOOPER	6 1/4 in	5 1/2 in	108 1/2 in	SHORE A 45
RODILLO ALIMENTADOR POLIURETANO PS83A-340	TCY 1	145 mm	118 mm	1769 mm	30-35 SHORE A
RODILLO ALIMENTADOR POLIURETANO PS83A-340 ACANALADO	TCY 3	174 mm	136 mm	3150 mm	30-35 SHORE A
RODILLO ALIMENTADOR POLIURETANO	TCY 3	175 mm	136 mm	2670 mm	SHORE 40 A
RODILLO ALIMENTADOR POLIURETANO	TEXO	183 mm	162 mm	2550 mm	SHORE 42 A

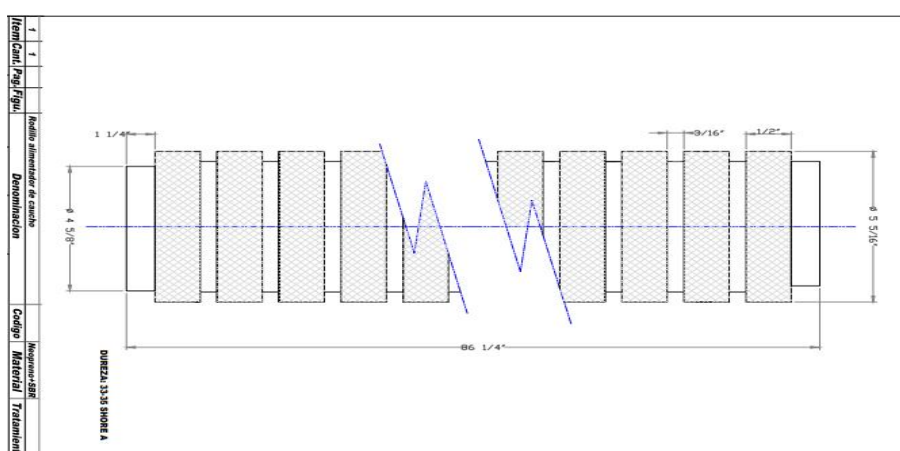
RODILLO ALIMENTADOR POLIURETANO	TEXO	183 mm	165 mm	1800 mm	35/40 SHORE A
------------------------------------	------	-----------	-----------	------------	------------------

### 3.1.6.1. RODILLO ALIMENTADOR NEOPRENO ACANALADO FLEXO.

En la figura 3 se indica el plano constructivo del rodillo alimentador neopreno acanalado, el cual tiene una dureza de 30-35 shore A, que se utiliza en la máquina flexo de la planta papelera. Como resultado de la revisión del rodillo se indica que es necesario el cambio del recubrimiento.

Figura 3

*Plano rodillo alimentador neopreno acanalado máquina flexo.*

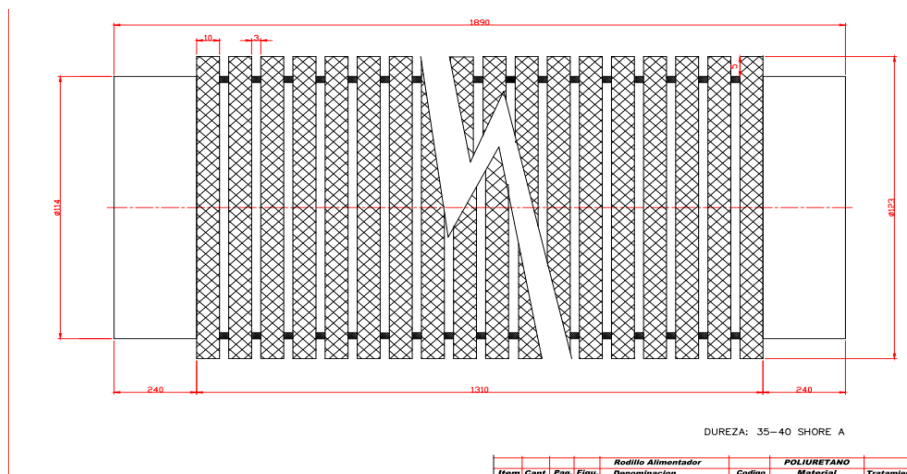


### 3.1.6.2. RODILLO ALIMENTADOR POLIURETANO TCY2.

En la figura 4 se indica el plano constructivo del rodillo alimentador poliuretano el cual tiene una dureza de 30-35 shore A, que se utiliza en la máquina TCY 2 de la planta papelera. Como resultado de la revisión del rodillo se indica que es necesario el cambio del recubrimiento y las chumaceras de apoyo.

Figura 4

*Plano rodillo alimentador poliuretano máquina TCY 2.*

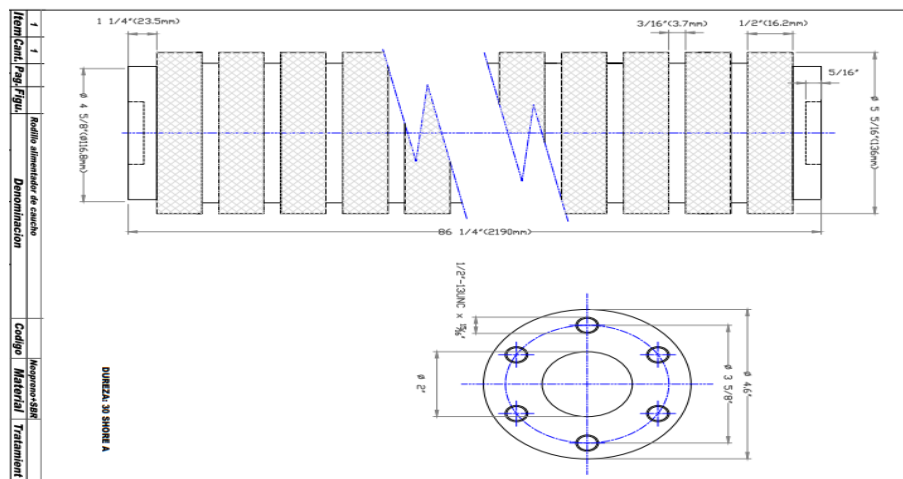


### 3.1.6.3. RODILLO ALIMENTADOR NEOPRENO PS83A ACANALADO FLEXO.

En la figura 5 se indica el plano constructivo del rodillo alimentador neopreno PS 83 acanalado el cual tiene una dureza de 30 A, que se utiliza en la máquina Flexo de la planta papelera. Como resultado de la revisión del rodillo se indica que es necesario el cambio del recubrimiento y las chumaceras de apoyo.

Figura 5

Plano rodillo alimentador neopreno PS83A acanalado máquina Flexo.



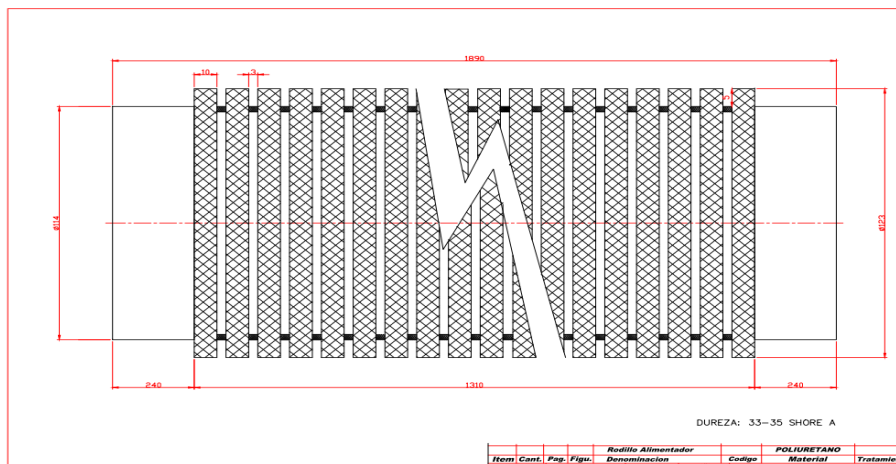
### 3.1.6.4. RODILLO ALIMENTADOR POLIURETANO PS83A-340 ACANALADO TCY2.

En la figura 6 se indica el plano constructivo del rodillo alimentador poliuretano PS 83 A-340 acanalado el cual tiene una dureza de 30-35 shore A, que se utiliza en la máquina

TCY 2 de la planta papelera. Como resultado de la revisión del rodillo se indica que es necesario el cambio del recubrimiento.

Figura 6

*Plano rodillo alimentador poliuretano PS 83 A-340 acanalado máquina TCY 2.*

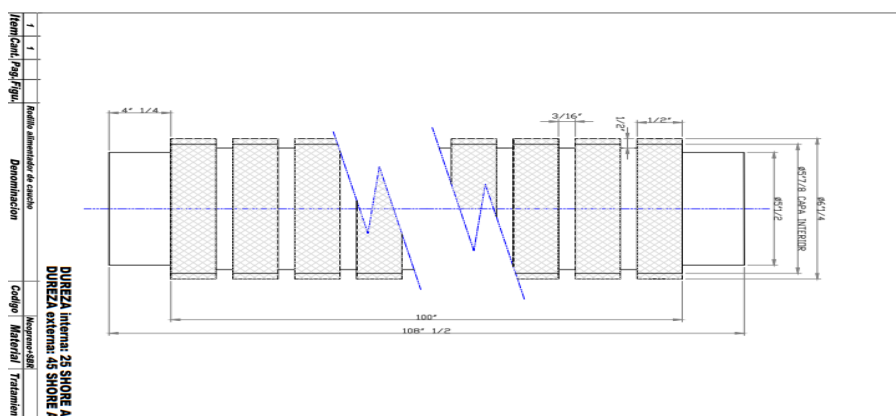


### 3.1.6.5. RODILLO ALIMENTADOR NEOPRENO ACANALADO 2 CAPAS HOOPER.

En la figura 7 se indica el plano constructivo del rodillo alimentador neopreno acanalado 2 capas, el cual tiene una dureza de 45 shore A, que se utiliza en la máquina Hooper de la planta papelera. Como resultado de la revisión del rodillo se indica que es necesario el cambio del recubrimiento.

Figura 7

*Plano rodillo alimentador neopreno acanalado 2 capas máquina Hooper*

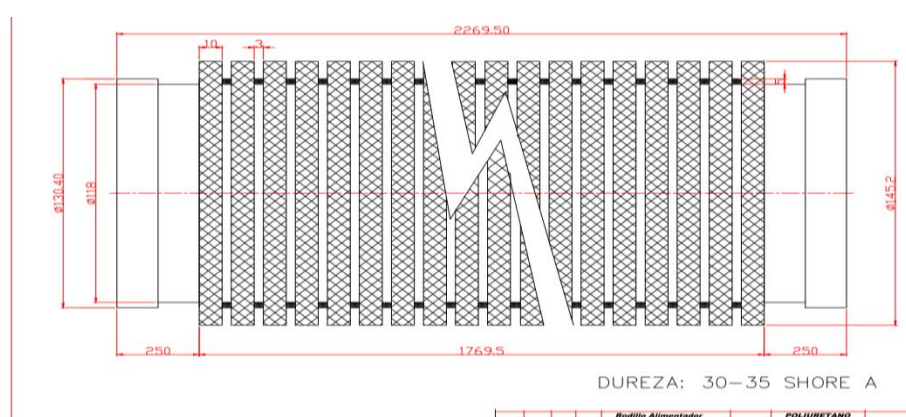


### 3.1.6.6. RODILLO ALIMENTADOR POLIURETANO PS83A-340 TCY1.

En la figura 8 se indica el plano constructivo del rodillo alimentador poliuretano PS83A-340 el cual tiene una dureza de 30-35 shore A, que se utiliza en la máquina TCY 1 de la planta papelerera. Como resultado de la revisión del rodillo se indica que es necesario el cambio del recubrimiento y chumacera de apoyo.

Figura 8

*Plano rodillo alimentador poliuretano PS83A-340 máquina TCY1.*



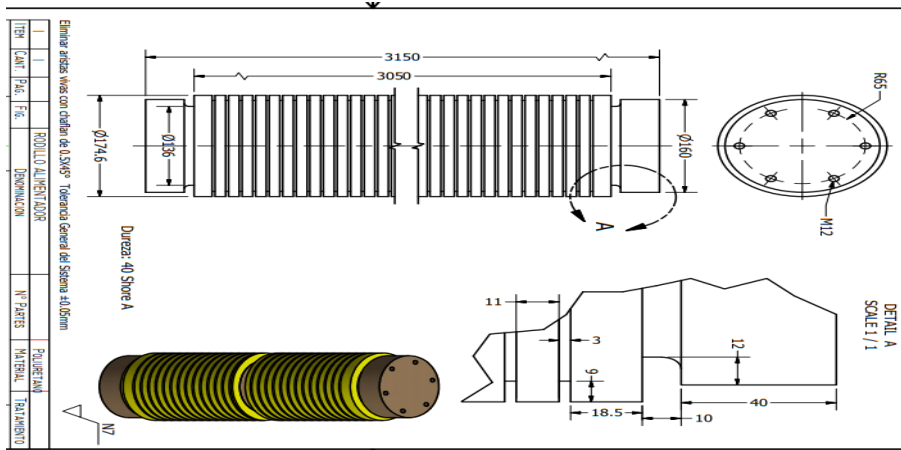
### 3.1.6.7. RODILLO ALIMENTADOR POLIURETANO PS83A-340 ACANALADO TCY3.

En la figura 9 se indica el plano constructivo del rodillo alimentador poliuretano PS83A-340 el cual tiene una dureza de 30-35 shore A, que se utiliza en la máquina TCY 3 de la planta papelerera. Como resultado de la revisión del rodillo se indica que es necesario el cambio del recubrimiento y chumaceras de apoyo.

El eje de alojamiento se encuentra desgastado debido al daño en las chumaceras, se está analizando el arreglo del eje o en su defecto, cambio de chumaceras a una medida que soporte el trabajo.

Figura 9

*Plano rodillo alimentador poliuretano PS83A-340 máquina TCY3.*

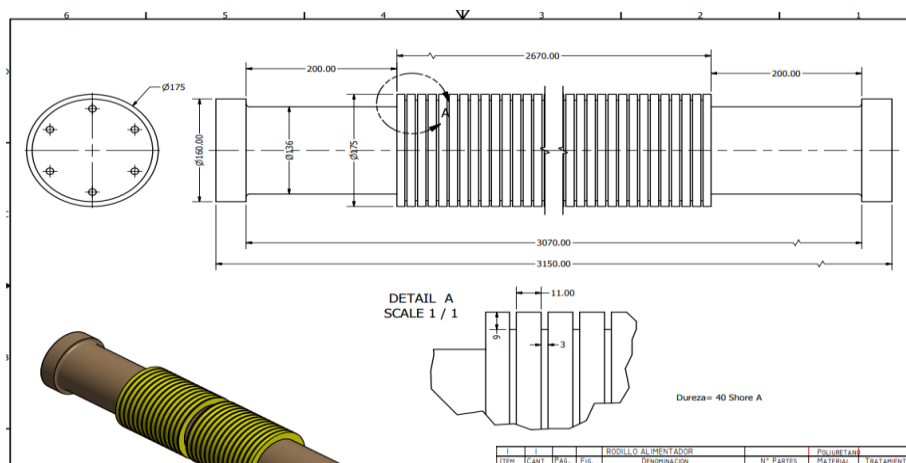


### 3.1.6.8. RODILLO ALIMENTADOR POLIURETANO TCY3.

En la figura 10 se indica el plano constructivo del rodillo alimentador poliuretano el cual tiene una dureza shore 40 A, que se utiliza en la máquina TCY 3 de la planta papelera. Como resultado de la revisión del rodillo se indica que es necesario el cambio del recubrimiento.

Figura 10

*Plano rodillo alimentador poliuretano máquina TCY3.*

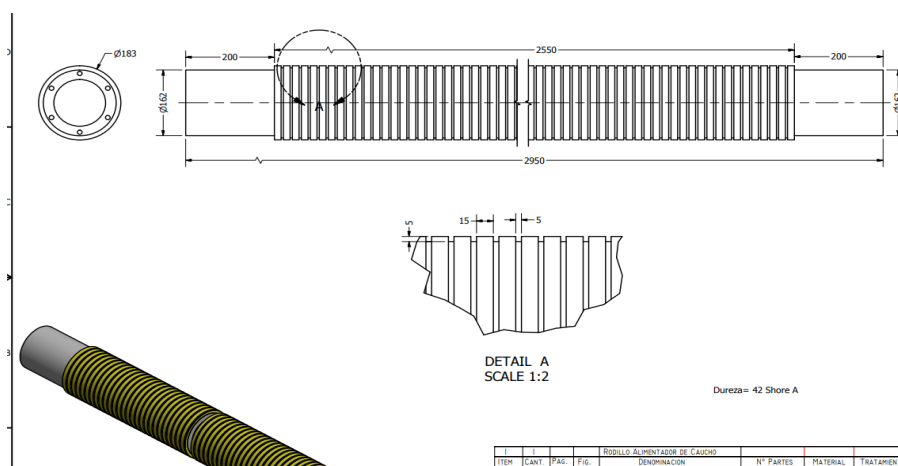


### 3.1.6.9. RODILLO ALIMENTADOR POLIURETANO TEXO.

En la figura 11 se indica el plano constructivo del rodillo alimentador poliuretano el cual tiene una dureza shore 42 A, que se utiliza en la máquina Texo de la planta papelera. Como resultado de la revisión del rodillo se indica que es necesario el cambio del recubrimiento.

Figura 11

*Plano rodillo alimentador poliuretano máquina Texo.*



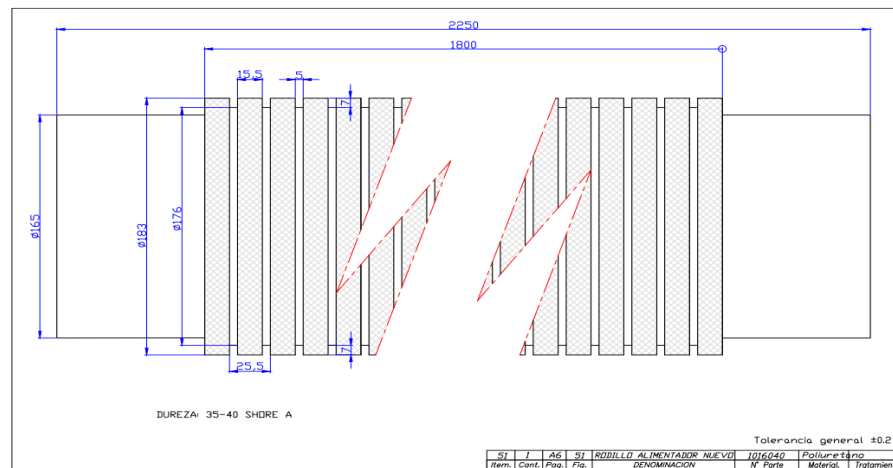
### 3.1.6.10. RODILLO ALIMENTADOR POLIURETANO TEXO 2.

En la figura 12 se indica el plano constructivo del rodillo alimentador poliuretano el cual tiene una dureza de 35-40 shore A, que se utiliza en la máquina Texo 2 de la planta papelera. Como resultado de la revisión del rodillo se indica que es necesario el cambio del recubrimiento y chumaceras de apoyo.

El eje de alojamiento se encuentra desgastado debido al daño en las chumaceras, se está analizando el arreglo del mismo, el cual se puede recuperar mediante rectificado.

Figura 12

*Plano rodillo alimentador poliuretano máquina Texo 2.*



### 3.1.7. DUREZA.

La dureza es la resistencia que poseen los materiales para evitar la deformación (Dietsche, 2005), para el caso de estudio se analizará dos tipos de durezas:

#### 3.1.7.1. DUREZA SHORE.

Hay diferentes escalas de dureza Shore para medir en los materiales, como goma blanda, plástico duro y gel ultrafino. Estas escalas de dureza se crearon, para que la gente pudiera hablar sobre estos materiales y tener un punto de referencia común para ellos (Bello, 2020).

La dureza Shore, utilizando la escala Shore A o Shore D, es el método preferido para caucho y elastómeros termoplásticos, y también se usa comúnmente para plásticos "más blandos" como poliolefinas, fluoro polímeros y vinilo. El calibre Shore A se usa para caucho "más blando", mientras que el calibre Shore D se usa típicamente para caucho "más duro". Existen otras escalas de dureza Shore, como Shore O y Shore H, pero son raras en las industrias del plástico y el caucho. Por ejemplo, 30 Shore A es más suave que 80 Shore O (Groover, 1997a).

Cuando el material llegue a Shore 95 A, se sentirá más como un plástico; en este caso, las escalas del Banco A y la Costa D se superpondrán por un corto tiempo. La segunda escala se refiere a materiales duros, mientras que la escala A se refiere al caucho blando (Álvarez & Peiró, 2011).

La dureza Shore se mide con un instrumento llamado durómetro, de ahí su término. El valor de dureza está determinado por la penetración de la contra base en la muestra de prueba (José, 2021).



### 3.1.7.2. DUREZA VICKERS

Para determinar la dureza Vickers, se utiliza un diamante con forma de pirámide cuadrangular en materiales blandos y sus resultados son similares que los obtenidos en la escala Brinell.(Moreno, 2008).

La dureza Vickers es la relación que existe entre la carga de ensayo y el área de la huella que se expresa en HV seguido del valor numérico, ejemplo:

640 HV 30/20 = dureza Vickers de 640, con una carga de 294.2 N en 20 segundos(BERCERO et al., 2010)

## 3.2 ESTUDIOS DEL TIPO DE MATERIALES EN LOS RECUBRIMIENTOS DE LOS RODILLOS ALIMENTADORES

### 3.2.1. INTRODUCCIÓN.

A través de años de experiencia, se ha llegado a la conclusión de que en los rodillos de goma se combinan la ciencia y las técnicas de fabricación. El caucho es el material ideal para muchas aplicaciones en recubrimientos de rodillos industriales, debido a su resistencia a la deformación, abrasión y daño, así como a su rápido reposicionamiento (elasticidad). Diversas durezas y flexibilidades, lo hacen resistente a los impactos y aseguran que la industria fabrique productos de alta calidad.

Se pueden aplicar diferentes tipos de caucho (elastómeros) para el revestimiento con rodillo, dependiendo del uso que se le vaya a dar, tales como: caucho

natural, SBR, neopreno, nitrilo, EPDM, butilo, silicona, entre otros. Cada uno ofrece diferentes propiedades físicas y químicas, aplicadas en una gama de dureza requerida; en algunos casos, se pueden hacer combinaciones entre ellos para obtener propiedades específicas en el archivo sintético relegible. Además en los serpentines de alimentación, su revestimiento es de neopreno y poliuretano en la figura 13, se indica un rodillo con recubrimiento de neopreno durante torneado para el cambio de rodamientos (Miravete, 1995).

Figura 13

*Rodillo alimentador proceso rectificado cambio de rodamientos.*



### 3.2.2. NEOPRENO.

El neopreno, también conocido como poli cloropreno, fue uno de los primeros productos de caucho sintético que se fabricó, desarrollados en la década de 1930 por un científico de DuPont, los elastómeros son generalmente más rígidos que el caucho natural y son más resistentes al agua, los aceites y los solventes. Hoy en día, el neopreno se usa en una variedad de aplicaciones, por ejemplo, en los sectores médico, automotriz, industrial, y de construcción (Miravete, 1995). En la figura 14 se indica una plancha de neopreno que se utiliza para el recubrimiento de rodillos.

Figura 14

*Plancha de neopreno que se utiliza en los recubrimientos tomada de la bodega de empresa papelera.*



Las grandes innovaciones en este sector durante los últimos 25 años, se han focalizado en la búsqueda incansable de un intercambio más eficiente de temperatura entre los rodillos y el papel. Obviamente esto se debe a que los cabezales corrugadores han incrementado sus velocidades de producción, se han reducido los gramajes de papel utilizados, y el costo de la energía ha aumentado notablemente.

### 3.2.2.1. PROPIEDADES.

El neopreno se clasifica en diferentes grados según su contenido de policloropreno. Cada fabricante decide sobre diferentes grados, pero los grados más comunes son: CR (100% policloropreno), CVS (a veces llamado CS, una mezcla de policloropreno y caucho de estireno-butadieno, SBR) y SBR (100% caucho de estireno-butadieno), los mencionados son derivados del petróleo. Su aplicación principal en la industria papelera es para adhesivos y recubrimientos, por ser dotado de propiedades garantizadas dentro de su aplicación. En la tabla 2 se indica las principales propiedades, que corresponden a la base de datos de Granta Edu Pack.

Tabla 2

*Propiedades máximas y mínimas del neopreno.*

PROPIEDAD	MINIMA	MAXIMA
Densidad (Kg/m <sup>3</sup> )	1.22 e3	1.3 e3
Precio (USD/Kg)	3.65	4.28
Módulo Yong (GPa)	0.00165	0.007

Limite elástico (MPa)	12	24
Max temp servi (°C)	102	112
Min temp servi (°C)	-55.2	-40.2
Tolerancia hasta 150°C	Excelente	

En el neopreno el proceso mecánico del cizallamiento mantiene su peso molecular, pero puede disminuir su viscosidad, lo cual beneficia para aplicaciones en recubrimientos; además por su formación tiene buena resistencia térmica al envejecimiento (Nutsch, 1996a).

### 3.2.3. POLIURETANO.

El poliuretano ha conseguido superar a otros materiales, las materias primas (HDPE, LDPE, PP, PVC, PET, PS) son las primeras en el sector del plástico, el poliuretano es superior a éste en cuanto a facilidad y alcance de los procesos de conversión, ya que se puede obtener: espumas, mangueras de alta presión y aplicaciones médicas. Se encuentra poliuretano en pinturas y adhesivos, debido a su excelente resistencia química y un rango de polimerización muy especial, para brindar productos con excelente adherencia. (Romeva, 2010). En la figura 15 se observa el rectificado del recubrimiento de poliuretano.

#### Figura 15

*Torneado del recubrimiento en poliuretano de un rodillo usado tomado del taller de mantenimiento de la empresa papelera.*



De acuerdo a lo mencionado, el poliuretano se ha dividido en dos grandes áreas:

Termoplásticos:

- Piezas transformadas
  - Inyectadas
  - Extruidas
- Sopladas

Termo fijo:

- Espuma
  - Flexible
  - Rígida
  - Piel integral
- Piezas sólidas
- Recubrimientos
- Adhesivos

### 3.2.3.1. PROPIEDADES.

Probablemente se haya escuchado la palabra "poliuretano" como ingrediente en innumerables productos y aplicaciones en la vida cotidiana. Es un material muy polivalente e importante, porque está presente en procesos industriales. El poliuretano

es en esencia un polímero que se obtiene de la mezcla de polioli e isocianato, con la mezcla de estos materiales se obtiene un plástico fuerte, que presenta las siguientes propiedades (Liesa et al., 1990)

- Excelente tenacidad
- Flexibilidad, alta capacidad de alargamiento
- Gran resistencia a aceites y grasas
- Excelente resistencia al desgarro y a la abrasión
- Muy buenas propiedades mecánicas, las cuales se indican en la tabla 3
- Buenos aislantes térmicos y acústicos

Es flexible y fácil de moldear, lo que permite fabricar diferentes productos y generar menos desechos.

Tabla 3

*Valores propiedades del poliuretano base de datos Granta Edu Pack.*

PROPIEDAD	MINIMA	MAXIMA
Densidad kg/m <sup>3</sup>	1.19 e3	1.21 e3
Precio USD/kg	1.2	1.64
Módulo Yong GPa	0.0025	0.003
Limite elástico MPa	40	51
Max temp servi °C	79.9	105
Min temp servi °C	-65.2	-30.2
Tolerancia hasta 150°C	Excelente	

### 3.2.4. PRECIOS ACTUALES DE RECUBRIMIENTOS.

El neopreno muestra una buena estabilidad química y conserva la flexibilidad en un amplio rango de temperaturas. Su precio al ser material de distintas aplicaciones, varía según el uso requerido. En el caso de estudio, su valor es constante, el mismo que no se incluye en los costos de importación, también se analizará la ubicación y el tipo de envío.

El poliuretano al ser un material plástico, su presentación es rígida o espumosa, sus valores son más comerciales, para su estudio tiene un valor constante. En la tabla 4 se compara los precios del neopreno y poliuretano.

Tabla 4

*Información disponibilidad del Neopreno y Poliuretano en el mercado 2022*

MATERIAL	COSTO	CANTIDAD	DIMENSIÓN	COLOR
NEOPRENO	277 USD	1	1/16" x 36" X 50"	NEGRO
POLIURETANO	250 USD	1 a 30	1500 x 8200 mm	ROJO, NEGRO, BLANCO
	200 USD	31 EN ADELANTE		

### 3.3 ALTERNATIVAS DE MATERIALES CON LA APLICACIÓN DE SOFTWARE GRANTA CES EDUPACK

#### 3.3.1. INTRODUCCIÓN.

CES-Edupack es una base de datos de materiales actualizada. Granta Desigh (2019) contiene un total de 4.026 sustancias diferentes que, estableciendo límites y

rangos, se pueden observar gráficamente las propiedades de estas sustancias. CES-Edupack es una herramienta de clase mundial, en la tabla 5 se indica la descripción de las fases del programa, debido a sus numerosas publicaciones en revistas internacionales, donde se ha utilizado de manera efectiva para evaluar y comparar las propiedades de otros materiales innovadores en conjunto(Ashby,2018).

Tabla 5

*Se indica los niveles de aplicación del software, para el estudio del presente trabajo se utilizará el nivel 2.*

NIVEL	ALCANCE	CONTENIDO
Uno	70 procesos y materiales utilizados: metales, polímeros, espumas, compuestos y materiales compuestos	Imagen del material en un producto familiar, usos típicos y datos limitados para propiedades mecánicas, termales y eléctricas
Dos	100 materiales más utilizados, 110 procesos comunes	Contenido del nivel 1 más datos numéricos y pautas más extensas
Tres	Mas de 3750 materiales más los del nivel 1 y 2	Extensa base de datos para todos los materiales

### 3.3.2. PROPIEDADES PARA ALTERNATIVA DE MATERIALES.

El caso de estudio, se obtendrá una gama de materiales que cumplan con las características similares a los recubrimientos originales de los rodillos (neopreno y poliuretano).

#### 3.3.2.1. FLEXIÓN.

El diseño se representa como una viga (cuerpo del rodillo), apoyado en sus extremos(chumaceras). En la figura 16 se indica un rodillo con recubrimiento de neopreno.

Figura 16

*Rodillo con recubrimiento de neopreno.*



VIGA SECCIÓN REDONDA





Como se trata de definir un material se determinará el índice para una viga rígida y ligera, se considera una viga de sección redonda hueca  $A = \pi (R^2 - r^2)$  que puede variar en tamaño, pero se conserva la forma circular. Se carga en flexión sobre toda la longitud fija  $L$  con una carga central  $F$ . La restricción de rigidez es que no debe desviarse más de  $\delta$  bajo  $F$ , con el objetivo de que la viga sea lo más liviana posible. En la tabla 6 se indica los requisitos para el diseño de una viga rígida y ligera.

Tabla 6

*Requisitos diseño de viga de área de sección circular*

FUNCIÓN	Viga Rígida
RESTRICCIONES	Longitud $L$ , Sección $A$ , Rigidez a la flexión $S$
OBJETIVO	Minimizar la masa
VARIABLES LIBRES	Área $A$ , material

Se debe obtener una ecuación que indique la propiedad que se desea maximizar/minimizar, en este caso la masa, la cual permitirá analizar el material más ligero que cumpla la función de recubrimiento. Las unidades se trabajan en el sistema internacional.

$$m = A L \rho \tag{1}$$

Siendo:

$m$  = masa kg

$A = \text{área m}^2$

$L = \text{longitud m}$

$\rho = \text{densidad kg/m}^3$

La ecuación (2) permite establecer la rigidez a la flexión.

$$S = \frac{C E I}{L^3} \quad (2)$$

Donde:

C es la constante del material, E es el módulo de elasticidad en MPa, I el momento de área en  $\text{mm}^4$ . La ecuación (3) representa la sección transversal del rodillo.

$$A = 2\pi r t \quad (3)$$

Siendo:

r el radio del rodillo en mm, t espesor del recubrimiento en mm.

$$I = \pi r^3 t \quad (4)$$

En la ecuación 2 se reemplaza I de la ecuación 4.

$$S = \frac{C E \pi r^3 t}{L^3}$$

$$2 S L^3 = 2 C E \pi^3 t$$

Luego se reemplaza la ecuación 3 y se obtiene.

$$A = 2 \pi r t = \frac{2 S L^3}{C E r^2} \quad (5)$$

En la ecuación 1 se reemplaza en A la ecuación 5.

$$m = A L \rho$$

$$m = \frac{2 S L^3 L \rho}{C E r^2} \quad (6)$$

Por último, se descompone la ecuación 6 en función a las restricciones:

$$RF = \frac{2S}{C r^2} \quad (7)$$

RF es la restricción de forma

$$RG = L^4 \quad (8)$$

RG es la restricción de longitud

$$m = \frac{\rho}{E} \quad (9)$$

$$M = \frac{E}{\rho} \quad (10)$$

Las ecuaciones 9 y 10 son las aplicaciones para el cálculo del índice en función de la masa y elasticidad,  $m$  (minimizar masa) y  $M$  (maximizar masa) respectivamente.

### 3.3.3. RESULTADOS DE ALTERNATIVA DE MATERIALES.

Con la aplicación del software CES Granta Edupack y los valores de las propiedades de los materiales de recubrimiento existentes como neopreno y poliuretano, se obtuvo los siguientes resultados de materiales que se detalla en las siguientes tablas comparando con los iniciales.

Para el resultado de alternativa de materiales se planteó en función a la ecuación:

$$M = \frac{E}{\rho} \quad 10$$

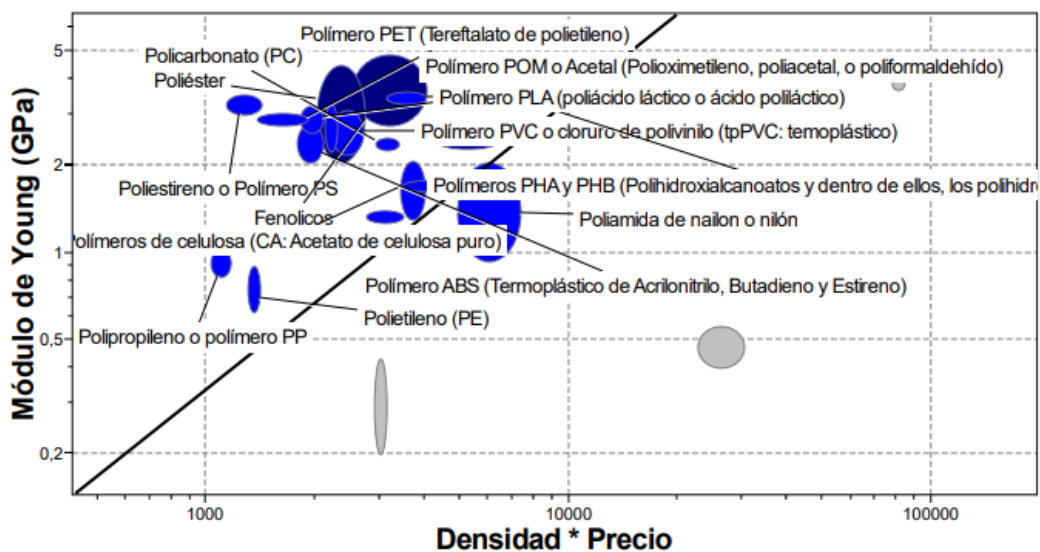
En abscisa va la relación de densidad y precio, mientras que en ordenada el módulo de Young y con la pendiente  $m=1$  se obtuvieron los siguientes materiales que se indican en la figura 17:

- Polietileno PE
- Polipropileno
- Polímero ABS
- Poliestireno

- Polímero PET
- Poliéster
- Fenólicos
- Acrílico
- Policarbonato
- Termoplásticos
- Polímeros de celulosa
- Epoxis
- Polímero PVC
- Polímeros PHA y PHB
- Polímero PLA

Figura 17

*Relación entre módulo de Young vs Densidad y Precio.*



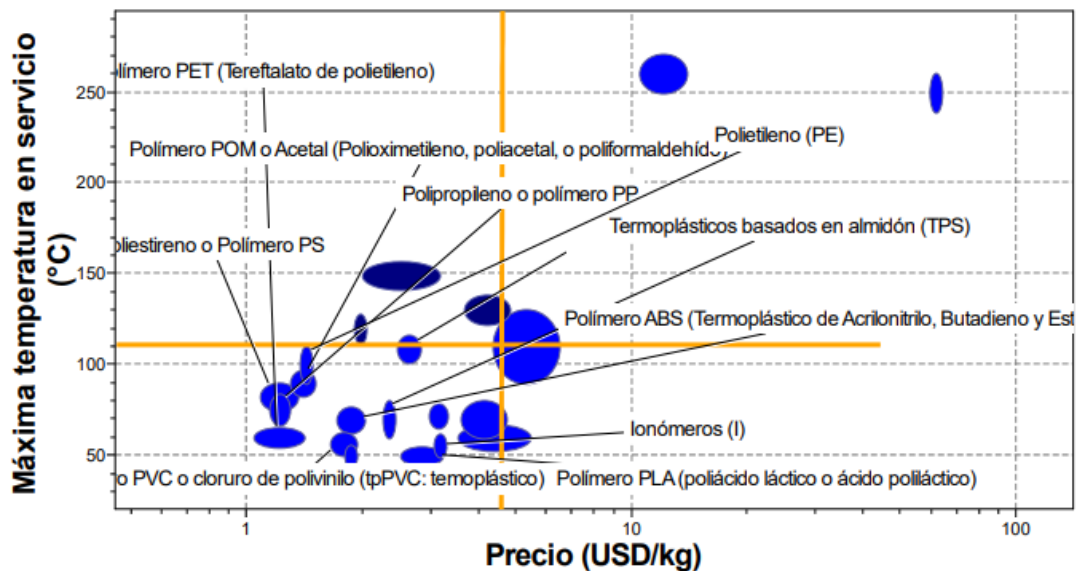
Se planteó una segunda condición que es precio en abscisa y máxima temperatura de servicio en ordenadas, además para una mejor selección se trazó una línea vertical en el punto 4.8 USD/kg y una horizontal en el punto 112 °C, que son valores referenciales del neopreno y en los resultados se tomarán todos los materiales dentro del rectángulo formado, los cuales se indican en la figura 18:

- Polietileno PE

- Ionómero
- Polipropileno
- Polímero ABS
- Poliestireno
- Polímero PET
- Termoplásticos
- Polímero PVC
- Polímero PLA
- Polímero POM

Figura 18

Relación entre Máxima temperatura de servicio vs Precio.



Se planteó una tercera condición que es la tolerancia hasta 150°C solo en ordenadas y se obtuvo dos tipos de gamas de materiales, que se indican en la figura 19:

Materiales Excelentes:

- Poliéster
- Polímero PEEK
- Teflón
- Epoxis
- Fenólicos

Materiales Aceptables:

- Polietileno PE
- Polímero PS
- Ionómero
- Poliamida de Nylon
- Polipropileno
- Polímero ABS
- Poliestireno
- Polímero PET
- Polímero POM
- Acrílico
- Policarbonato
- Termoplásticos
- Polímero PVC
- Polímero de celulosa
- Polímeros PHA y PHB
- Polímero PLA

Figura 19

*Resultado de materiales en función de Tolerancia hasta 150°C.*

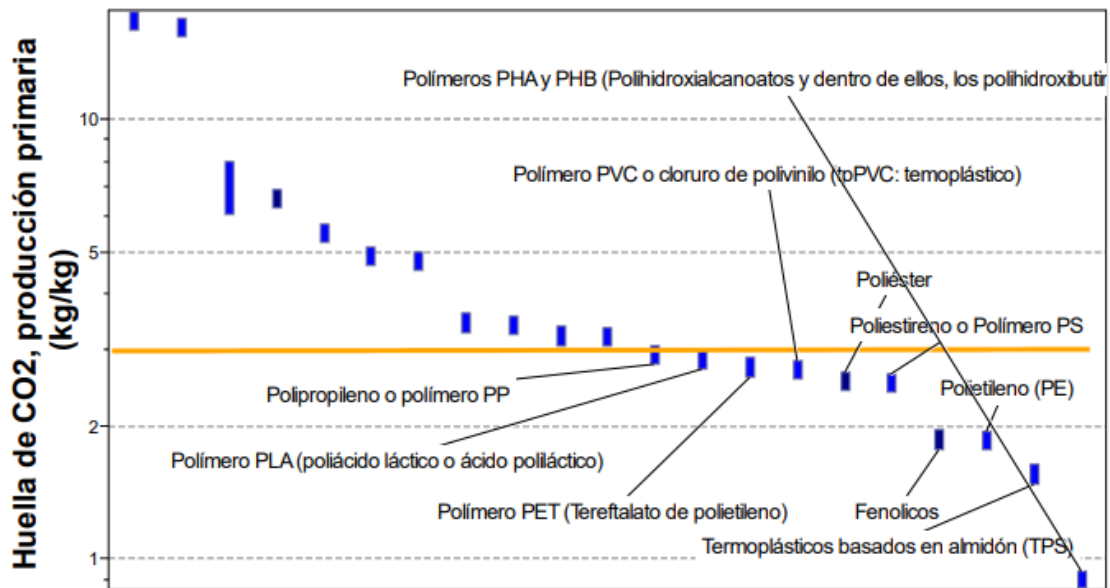
<b>Tolerancia hasta 150°C (302 F)</b>	Excelente	5
	Aceptable	16
	Uso limitado	0
	Inaceptable	0

Por último, se planteó una cuarta condición que es la huella de carbono en producción primaria solo en ordenadas, trazando un horizontal con un valor de 3kg/kg en referencia del neopreno y se obtuvo los siguientes materiales que se indican en la figura 20:

- Polietileno PE
- Polipropileno
- Poliestireno
- Polímero PET
- Poliéster
- Fenólicos
- Termoplásticos
- Polímero PVC
- Polímeros PHA y PHB
- Polímero PLA

Figura 20

*Resultado de Huella de Carbono*



Después de plantear los esquemas en el Granta Edu Pack, fueron 22 materiales que cumplen con las propiedades comparando con los recubrimientos originales, pero analizando de las aplicaciones de uso según Granta Edu Pack, el resultado fue el siguiente:

- Polietileno PE
- Polímero PVC
- Polímero ABS
- Poliéster PS

En la tabla 7 se indica las propiedades de los recubrimientos originales y de los materiales resultantes, donde se observa las similitudes y su aptitud para ser aplicados.

Tabla 7



*Se indica los valores máximos y mínimos de las principales características de los recubrimientos existentes.*

Propiedades	Neopreno	Poliuretano	Polietileno PE	Polímero PVC	Polímero ABS	Poliéster PS
Densidad kg/m <sup>3</sup>	1230 a 1300	1190 a 1210	939 a 960	1290 a 1460	1030 a 1060	1040 a 1400
Precio USD/kg	3.65 a 4.85	1.2 a 1.64	1.4 a 1.45	1.65 a 1.92	1.72 a 2.01	1.9 a 2.01
Módulo Young GPa	0.0016 a 0.0021	0.0025 a 0.3	0.62 a 0.98	2.2 a 3.1	2.07 a 2.76	2.07 a 4.41
Límite elástico MPa	12.1 a 24	40 a 51	17.9 a 29	37.6 a 45.5	34.5 a 49.6	33 a 40
Max. temp serv. °C	102 a 112	79.9 a 105	90 a 110	49.9 a 62.9	62.9 a 76.9	112 a 128
Min. temp serv. °C	-55.2 a - 40.2	-65.2 a - 30.2	-125 a -90	-18.9 a - 7.85	-45.2 a - 35.2	-43.2 a 6.85
Tolerancia hasta 150°C	Excelente	Aceptable	Aceptable	Aceptable	Aceptable	Excelente

### 3.3.3.1. POLIETILENO PE.

Existen varios tipos de polietileno, pero normalmente el PE se obtiene después de la polimerización del etileno, agrupándolos para formar PE, dependiendo del proceso, por ejemplo, si queremos obtener PE de alta presión primero se obtiene etileno de alta pureza generalmente por lavado, luego se separa las impurezas por la diferencia de peso y temperatura, al reaccionar con el oxígeno se presiona desde 1000 hasta 2000 atm para pasar a través de un aceite separador, donde finalmente se polimeriza. El PE se utiliza por extrusión

con lo cual se obtiene perfiles de ventanas, barras, bolsas de moldeo por soplado y tubos que se indican en la figura 21(García, 2015).

Figura 21

*Tubería fabricada de polietileno tomada de Granta Ccs Edupack.*



### 3.3.3.2. POLÍMERO PVC.

El cloruro de polivinilo (PVC) es un elemento moderno, importante y muy del grupo de los materiales termoplásticos. Es un polímero elaborado a partir de dos materias primas naturales: el cloruro de sodio (ClNa) (57 %) y el petróleo o gas natural (43 %), por lo que depende menos de recursos no renovables que otros plásticos. Es uno de los polímeros más estudiados y utilizados por el ser humano, por su desarrollo y comodidad, así como por su amplia versatilidad, se utiliza en diversos campos como la construcción. En la figura 22 se indica la aplicación de dicho material, la energía, la salud, la conservación de alimentos y las necesidades diarias(Matías, 2005).

Figura 22

*Rodillos elaborados de PVC tomada de Granta Ces Edupack*



### 3.3.3.3. POLÍMERO ABS.

ABS es la abreviatura de plástico con excelentes propiedades mecánicas. El material analizado es un terpolímero bifásico: una fase es un copolímero sólido (estireno-acrilonitrilo) y la otra fase es un copolímero (estireno-butadieno), el nombre dado se toma de los tres monómeros originales mezclados en diferentes proporciones que se obtienen en rollos como se indica en la figura 23, sus aplicaciones son para componentes de vehículos, artefactos, maquinaria y accesorios de tubería (Groover, 1997b).

Figura 23

*Rollo de polímero ABS tomada de Granta Ces Edupack*



### 3.3.3.4. POLIÉSTER.

El poliéster es una resina plástica que se obtiene del petróleo mediante una serie de procesos químicos. Aunque existen variedades de poliéster, la más famosa es un plástico termoplástico llamado PET (sintetizado a partir de etilenglicol y tereftalato de dimetilo), gracias a su polimerización se obtienen fibras que luego se utilizan en prendas de vestir. Aunque se introdujo en la industria hace menos de un siglo, hoy en día es uno de los más habituales, sobre todo en ropa técnica. Las resinas de poliéster (resinas termo endurecibles) también se utilizan como sustratos en la producción de equipos, tuberías anticorrosivas y pinturas. Para proporcionar una mayor resistencia mecánica, a menudo se refuerzan al cizallamiento, también conocidos como endurecedores o catalizadores, sin refinar. El poliéster es altamente resistente a la humedad, los productos químicos y las fuerzas mecánicas, se utiliza para la producción de revestimientos de fibras y láminas (Nutsch, 1996b).

Figura 24

*Guante industrial a base de Poliéster tomada de Granta Ces Edupack*



## 3.4 MODELACION DEL COMPORTAMIENTO DEL NUEVO MATERIAL DURANTE EL TRABAJO EN LOS RODILLOS

### 3.4.1 INTRODUCCIÓN.

Se entiende por modelado el arte de crear formas, diseños o elementos teniendo en cuenta una forma original(replicas), por eso se pueden relacionar con lo real, salvo por el tamaño y las características del producto.

En el ámbito industrial se tienen en cuenta las propiedades de los aceros de bajo carbono y se pueden modelar a través de un diagrama de tensiones, llamado tensión elástica ideal o a través de un diagrama de tensiones donde se muestra el endurecimiento. Ambos modelos de comportamiento asumen que los límites de proporcionalidad, flexibilidad y producción son los mismos. El modelo elástico ideal asume que el límite elástico del material permanece constante para cualquier deformación por encima del límite elástico.

En todo el mundo, los diseñadores de productos de las industrias utilizan la simulación por computadora como una herramienta para diseñar prototipos virtuales, con el objetivo principal de reducir los costos económicos, debido a la verificación física de los prototipos diseñados por prueba y error. Permite que los procesos industriales sean más eficientes, creando productos que ofrezcan un valor de seguridad adicional; también logra una mejora en la administración de recursos humanos y materiales, además de generar un mejor conocimiento del funcionamiento del producto. Estos factores suelen ser determinantes para una empresa que busca mejorar su desempeño y colocarse a la vanguardia en tecnología.

Al utilizar estas herramientas de simulación, el usuario reduce el costo de instalación de líneas y cableado hidráulico, lo que a su vez se traduce en menores costos de combustible y menos emisiones al medio ambiente, todo sin descuidar la seguridad mecánica de la aeronave.

El programa resolverá numéricamente ecuaciones diferenciales generales, utilizando tecnología de elementos finitos que se pueden aplicar a problemas de mecánica

estructural, mecánica de fluidos, difusión de especies químicas y transferencia de calor, entre otros.

El programa tendrá principalmente fines académicos y permitirá a los estudiantes realizar cálculos que correspondan a problemas industriales reales, situaciones que actualmente no son posibles debido a la complejidad del análisis analítico.

### 3.4.2 SIMULACIÓN CON LOS MATERIALES RESULTANTES.

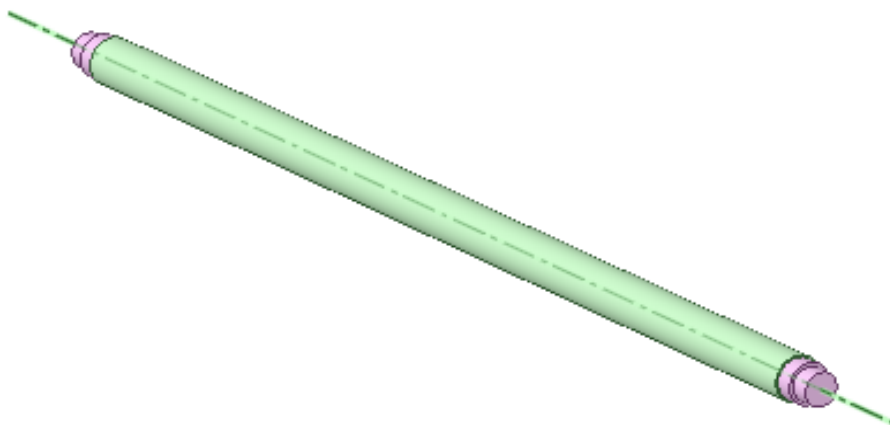
En el capítulo anterior se obtuvo el resultado de cuatro materiales: POLIETILENO PE, POLIMERO PVC, POLIMERO ABS, POLIESTER; que cumplen con las características de los recubrimientos originales como son el NEOPRENO Y POLIURETANO; se realizó la simulación del análisis estático estructural y análisis térmico de estado estacionario de un rodillo con el respectivo recubrimiento, los cuales se detallan a continuación.

#### 3.4.2.1. GEOMETRÍA.

El plano de un rodillo que se representa en la figura 25 con las dimensiones establecidas, fue elaborado mediante el comando Space Claim:

Figura 25

*Plano de Rodillo en ANSYS.*



La geometría se compone de dos partes indicadas en la figura 26: eje (acero assab 705) y Solid (recubrimientos varios materiales).

Figura 26

Representación de la estructura del rodillo y recubrimiento.

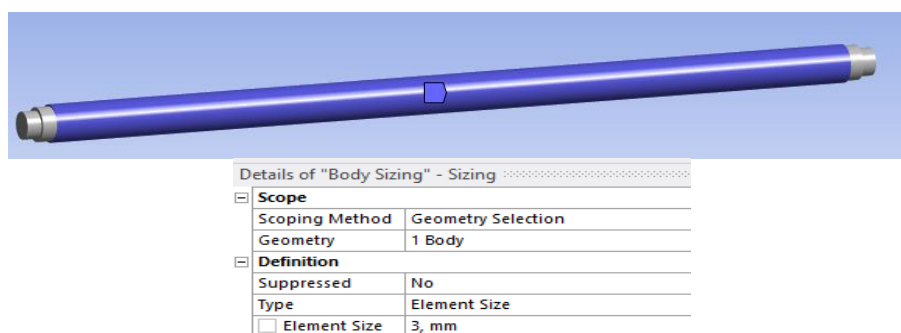


### 3.4.2.2. MALLADO.

En la simulación efectuada se realizó tres etapas de mallado, la primera por default, el segundo aplicando Body Sizing de 3mm en el recubrimiento, en la figura 27 se indica la aplicación del mallado en el rodillo:

Figura 27

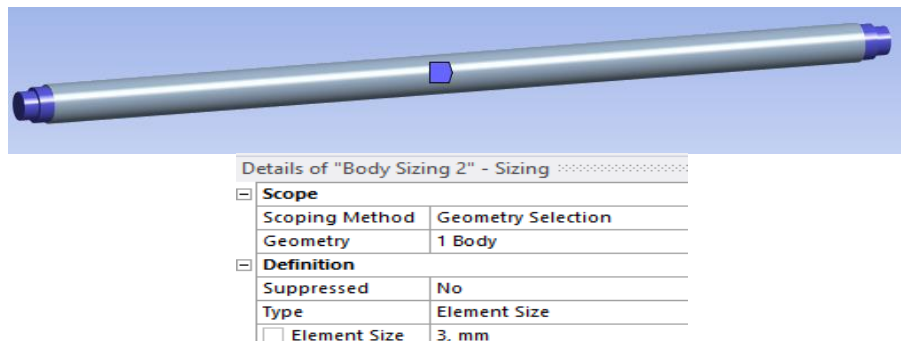
Aplicación de función Body Sizing en el recubrimiento del rodillo.



La tercera etapa fue la aplicación de Body Sizing de 3mm en el eje de acero, se indica en la figura 28 donde la aplicación de la malla va en los extremos, lugar de alojamiento de las chumaceras:

Figura 28

Aplicación de función Body Sizing en el cuerpo del rodillo.



Con lo que se obtuvo los siguientes valores que se indican en la figura 29 de orthogonal quality, skewness, elementos y nodos:

Figura 29

Resultados de Orthogonal Quality, skewness, nodes y elements del mallado.

Quality	
Check Mesh Quality	Yes, Errors
Error Limits	Aggressive Mechanical
<input type="checkbox"/> Target Element Quality	Default (5, e-002)
Smoothing	Medium
Mesh Metric	Orthogonal Quality
<input type="checkbox"/> Min	0,20283
<input type="checkbox"/> Max	0,99115
<input type="checkbox"/> Average	0,78768
<input type="checkbox"/> Standard Deviation	0,12194
<b>Quality</b>	
Check Mesh Quality	Yes, Errors
Error Limits	Aggressive Mechanical
<input type="checkbox"/> Target Element Quality	Default (5, e-002)
Smoothing	Medium
Mesh Metric	Skewness
<input type="checkbox"/> Min	3,5545e-004
<input type="checkbox"/> Max	0,81397
<input type="checkbox"/> Average	0,2229
<input type="checkbox"/> Standard Deviation	0,14168
<b>Statistics</b>	
<input type="checkbox"/> Nodes	107668
<input type="checkbox"/> Elements	56840

### 3.4.2.3. ANÁLISIS ESTRUCTURAL.

El análisis estructural se realizó en el rodillo:

Soportes A (Fixed Support) que son las chumaceras en las cuales va apoyado el rodillo.

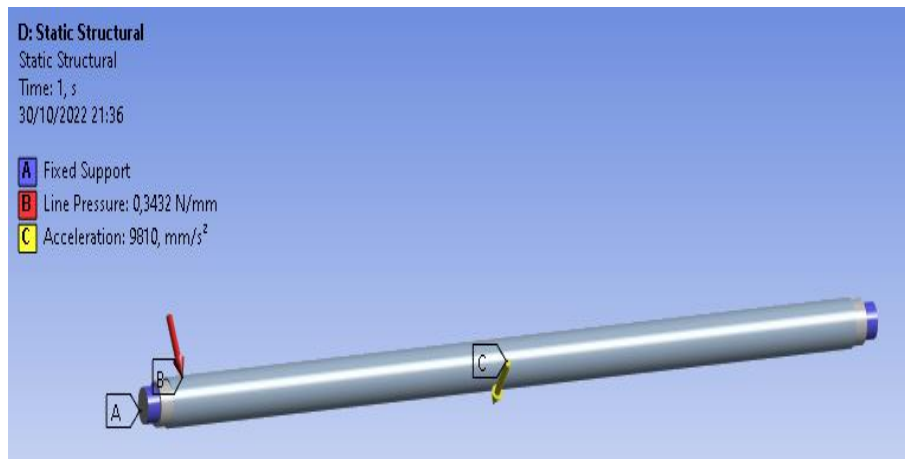
Presión de trabajo (Line Pressure) es el valor de presión (0.3432 N/mm<sup>2</sup>) que se aplica al largo del rodillo durante su trabajo.

Gravedad(acceleration) para el presente análisis no se desprecia la gravedad que tiene un valor de 9810 mm/s<sup>2</sup>, dichos elementos se aprecian en la figura 30.



Figura 30

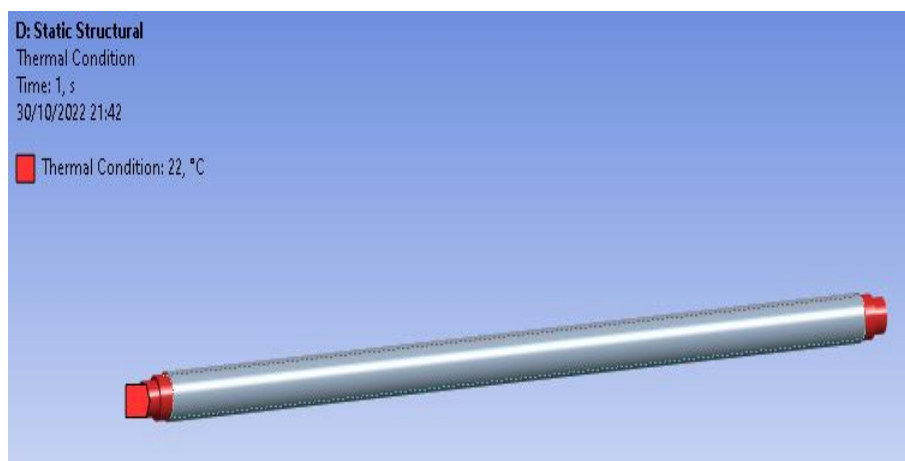
*Aplicaciones de soportes, presión y gravedad en la simulación del rodillo.*



Para el efecto de temperatura (thermal condition), se toma el valor de temperatura ambiente (22°C) durante el trabajo del rodillo como se observa en la figura 31.

Figura 31

*Aplicaciones de la Temperatura ambiente en la simulación del rodillo.*



### 3.4.2.4. RESULTADOS.

Se ejecuta la simulación y se presentan los resultados obtenidos de:

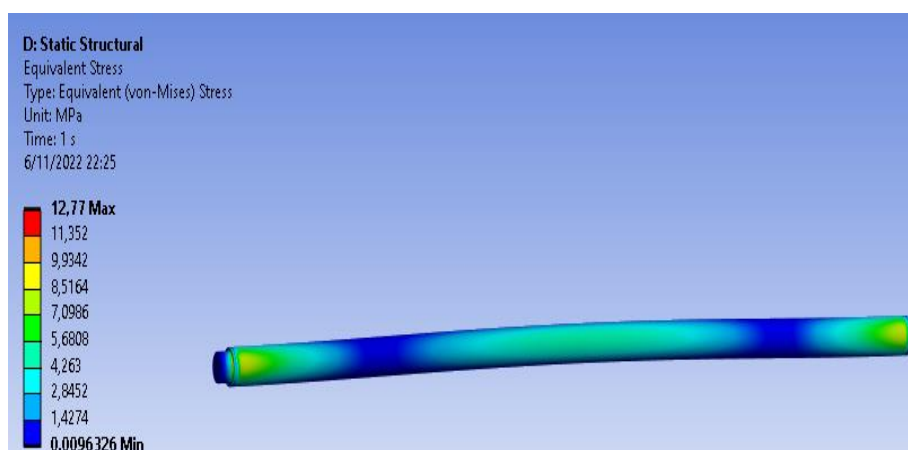
- Esfuerzos equivalentes Von Mises en el rodillo y recubrimiento por separado de cada material.
- Deformación total en el rodillo y recubrimiento por separado de cada material.

### 3.4.2.4.1 ESFUERZO EQUIVALENTE VON MISES RODILLO NEOPRENO.

Los resultados de esfuerzos equivalentes (Von Mises), que soporta el rodillo con neopreno como recubrimiento presenta un valor de 12.77 MPa máximo y 0.00096 MPa mínimo, conforme se indica en la figura 32.

Figura 32

*Esfuerzo equivalente Von Mises en rodillo con neopreno.*

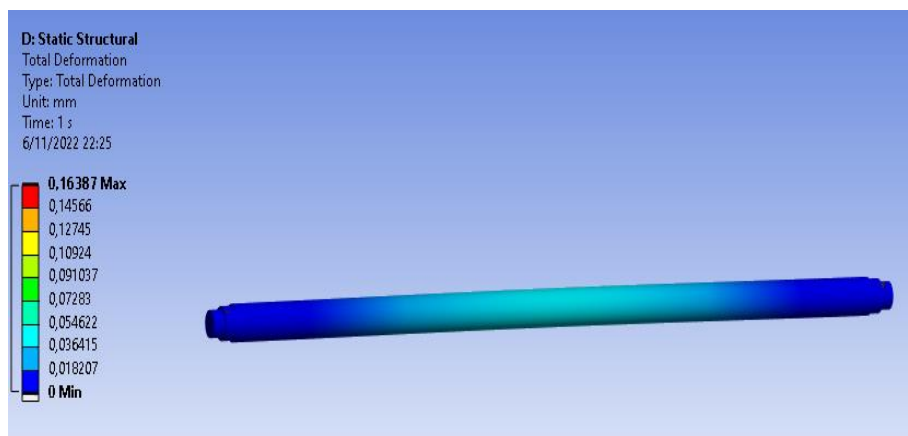


### 3.4.2.4.2 TOTAL DEFORMACIÓN RODILLO NEOPRENO.

Los resultados de deformación total que soporta el rodillo con neopreno como recubrimiento presenta un valor de 0.163 mm máximo y 0.0182 mm mínimo, conforme se indica en la figura 33.

Figura 33

*Total, deformación rodillo con neopreno.*

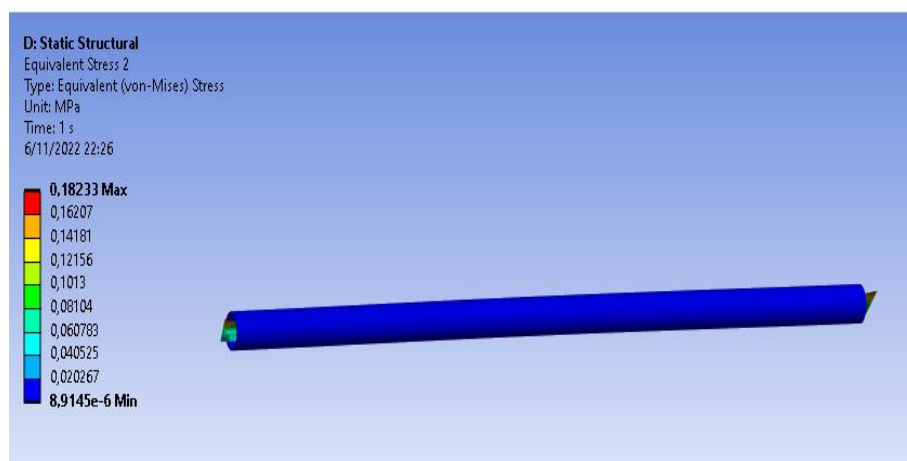


### 3.4.2.4.3 ESFUERZO EQUIVALENTE VON MISES RECUBRIMIENTO NEOPRENO.

Los resultados de esfuerzos equivalentes (Von Mises), que soporta solo el recubrimiento de neopreno presenta un valor de 0.182 MPa máximo y 0.0000089 MPa mínimo, conforme se indica en la figura 34.

Figura 34

*Esfuerzo equivalente Von Mises en recubrimiento de neopreno.*

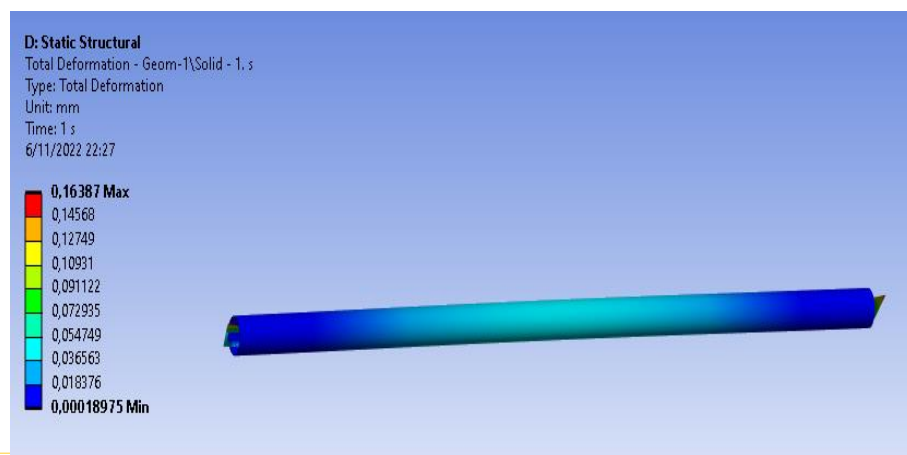


### 3.4.2.4.4 TOTAL DEFORMACIÓN RECUBRIMIENTO NEOPRENO.

Los resultados de deformación total que soporta solo el recubrimiento de neopreno presentan un valor de 0.163 mm máximo y 0.000183 mm mínimo, conforme se indica en la figura 35.

Figura 35

*Total, deformación recubrimiento de neopreno.*

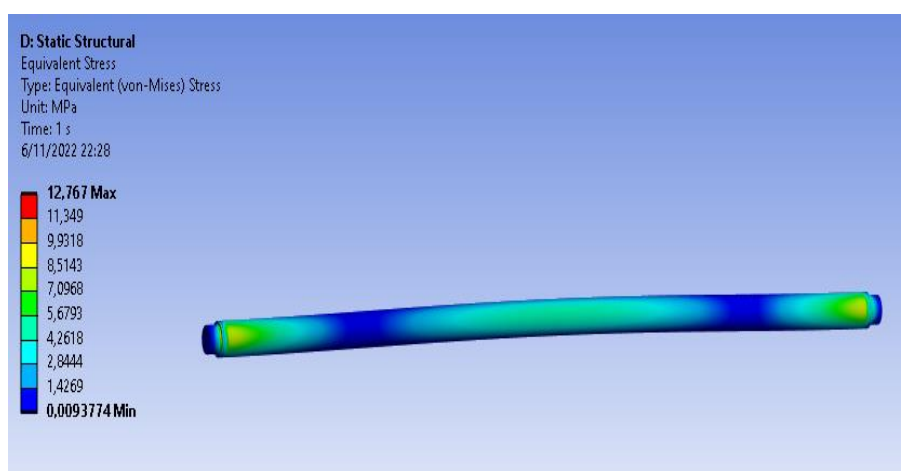


### 3.4.2.4.5 ESFUERZO EQUIVALENTE VON MISES RODILLO POLIURETANO.

Los resultados de esfuerzos equivalentes (Von Mises), que soporta el rodillo con poliuretano como recubrimiento presenta un valor de 12.76 MPa máximo y 0.00093 MPa mínimo, conforme se indica en la figura 36.

Figura 36

*Esfuerzo equivalente Von Mises en rodillo con poliuretano.*

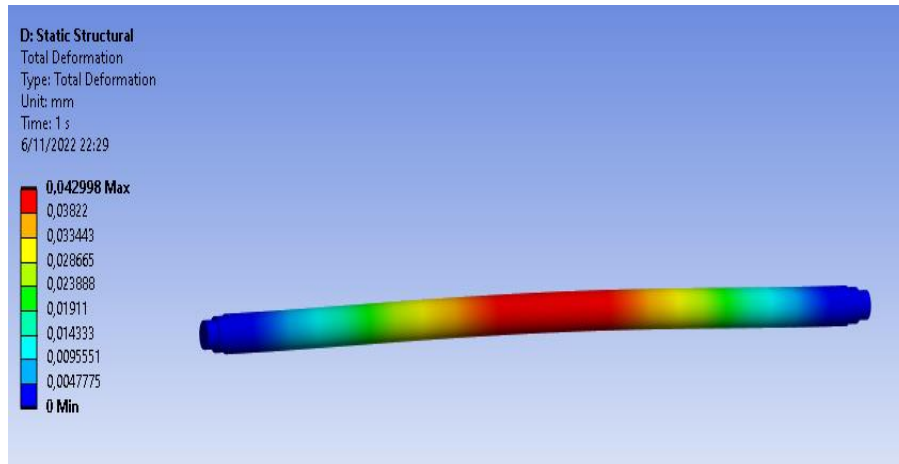


### 3.4.2.4.6 TOTAL DEFORMACIÓN RODILLO POLIURETANO.

Los resultados de deformación total que soporta el rodillo con poliuretano como recubrimiento presenta un valor de 0.042 mm máximo y 0.0047 mm mínimo, conforme se indica en la figura 37.

Figura 37

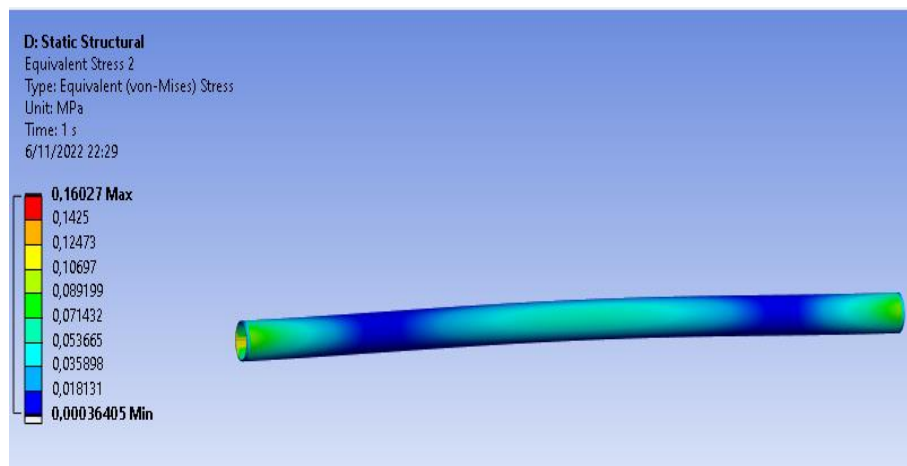
*Total, deformación rodillo con poliuretano.*



### 3.4.2.4.7 ESFUERZO EQUIVALENTE VON MISES RECUBRIMIENTO POLIURETANO.

Los resultados de esfuerzos equivalentes (Von Mises), que soporta solo el recubrimiento de poliuretano presenta un valor de 0.16 MPa máximo y 0.00036MPa mínimo, conforme se indica en la figura 38.

Figura 38  
*Esfuerzo equivalente Von Mises en recubrimiento de poliuretano.*

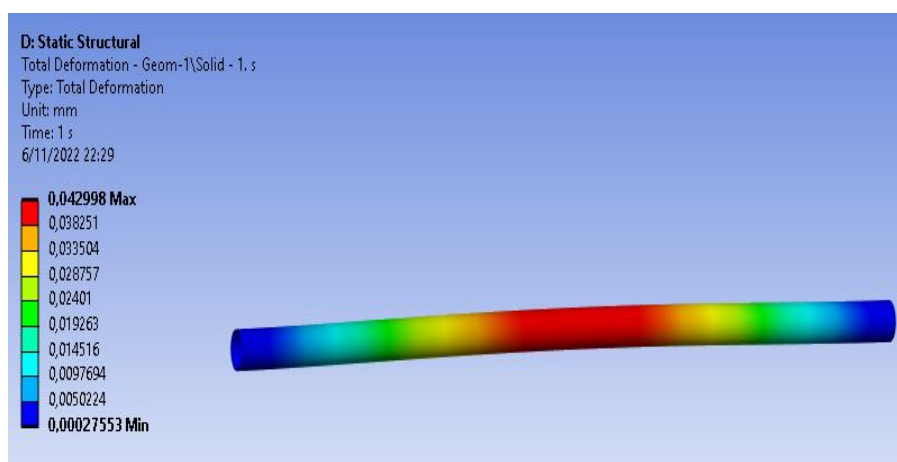


### 3.4.2.4.8 TOTAL DEFORMACIÓN RECUBRIMIENTO POLIURETANO.

Los resultados de deformación total que soporta solo el recubrimiento de poliuretano presentan un valor de 0.042 mm máximo y 0.00027 mm mínimo, conforme se indica en la figura 39.

Figura 39

Total, deformación recubrimiento de poliuretano.

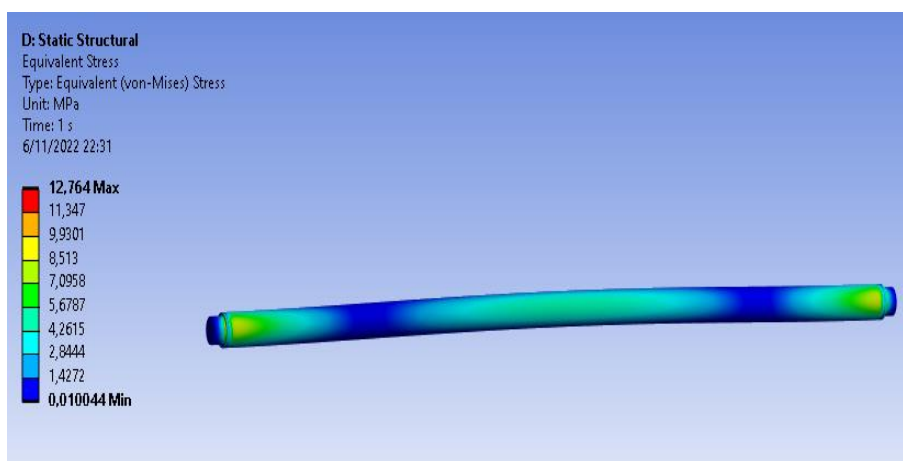


#### 3.4.2.4.9 ESFUERZO EQUIVALENTE VON MISES RODILLO POLIETILENO.

Los resultados de esfuerzos equivalentes (Von Mises), que soporta el rodillo con polietileno como recubrimiento presenta un valor de 12.76 MPa máximo y 0.01 MPa mínimo, conforme se indica en la figura 40.

Figura 40

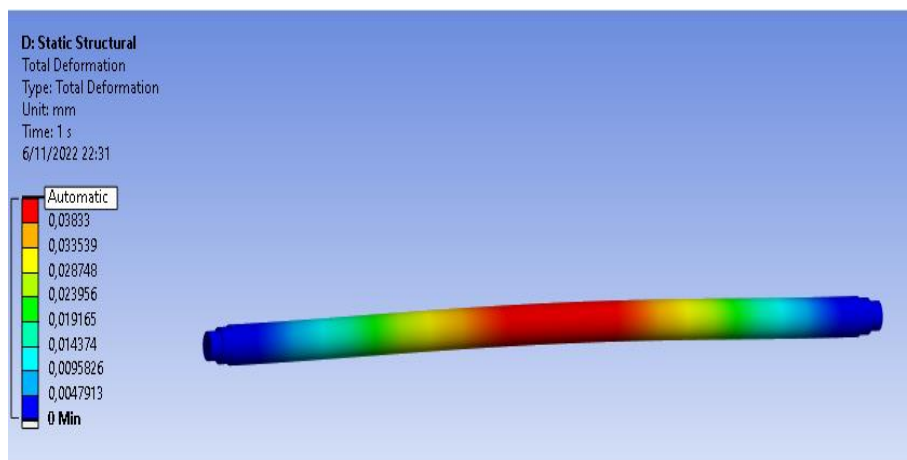
*Esfuerzo equivalente Von Mises en rodillo con polietileno.*



#### 3.4.2.4.10 TOTAL DEFORMACIÓN RODILLO POLIETILENO.

Los resultados de deformación total que soporta el rodillo con polietileno como recubrimiento presenta un valor de 0.038 mm máximo y 0.0047 mm mínimo, conforme se indica en la figura 41.

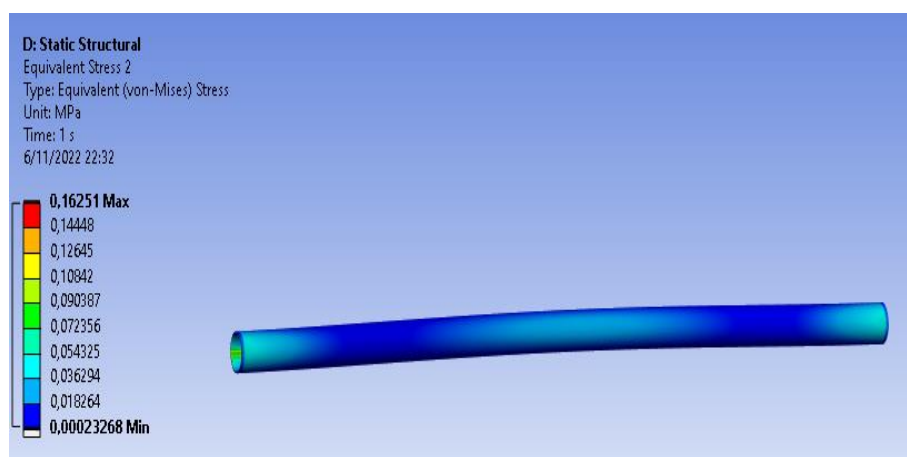
Figura 41  
*Total, deformación rodillo con polietileno.*



#### 3.4.2.4.11 ESFUERZO EQUIVALENTE VON MISES RECUBRIMIENTO POLIETILENO.

Los resultados de esfuerzos equivalentes (Von Mises), que soporta solo el recubrimiento de polietileno presenta un valor de 0.16 MPa máximo y 0.00023MPa mínimo, conforme se indica en la figura 42.

Figura 42  
*Esfuerzo equivalente Von Mises en recubrimiento de polietileno.*

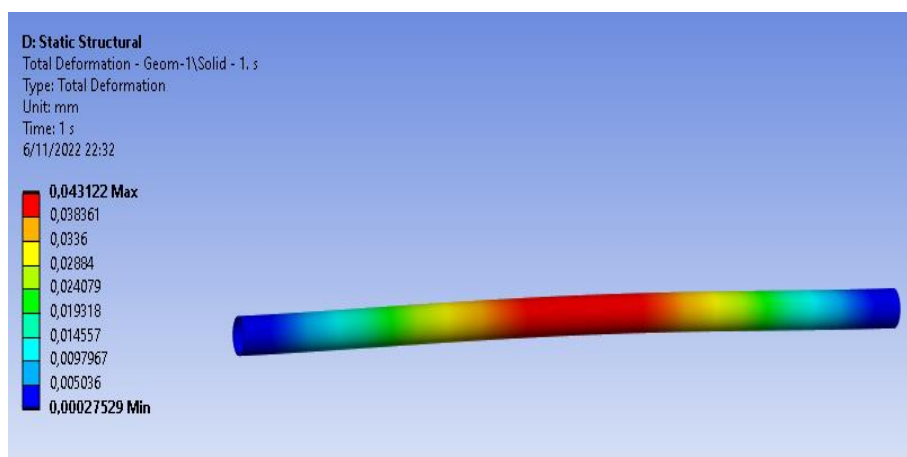


#### 3.4.2.4.12 TOTAL DEFORMACIÓN RECUBRIMIENTO POLIETILENO.

Los resultados de deformación total que soporta solo el recubrimiento de polietileno presentan un valor de 0.043 mm máximo y 0.00027 mm mínimo, conforme se indica en la figura 43.

Figura 43

Total, deformación recubrimiento de polietileno.

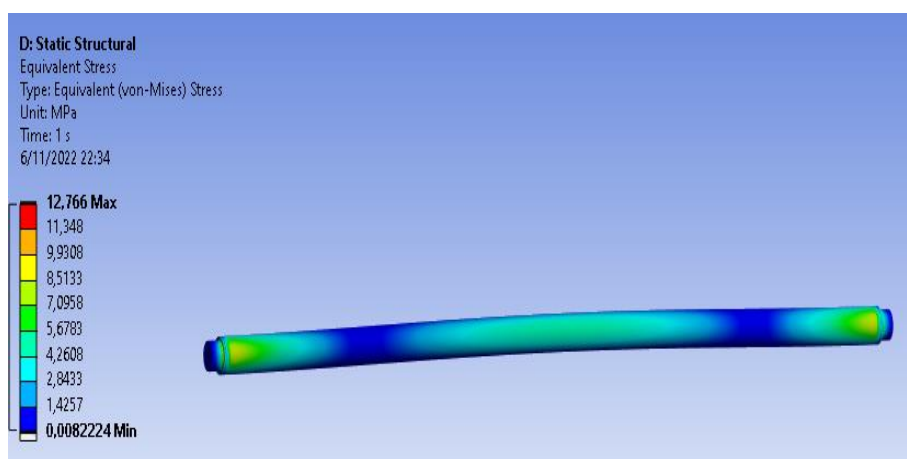


#### 3.4.2.4.13 ESFUERZO EQUIVALENTE VON MISES RODILLO POLIÉSTER.

Los resultados de esfuerzos equivalentes (Von Mises), que soporta el rodillo con poliéster como recubrimiento presenta un valor de 12.76 MPa máximo y 0.008 MPa mínimo, conforme se indica en la figura 44.

Figura 44

Esfuerzo equivalente Von Mises en rodillo con poliéster.

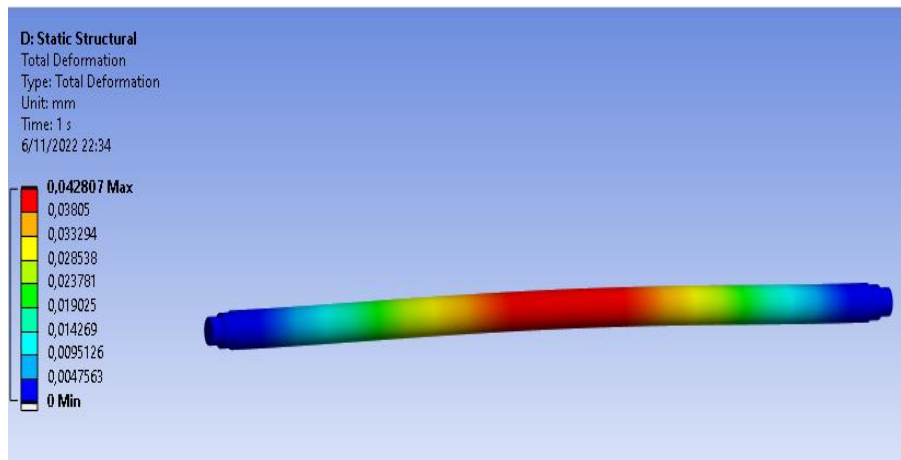


#### 3.4.2.4.14 TOTAL DEFORMACIÓN RODILLO POLIÉSTER.

Los resultados de deformación total que soporta el rodillo con poliéster como recubrimiento presenta un valor de 0.042 mm máximo y 0.0047 mm mínimo, conforme se indica en la figura 45.



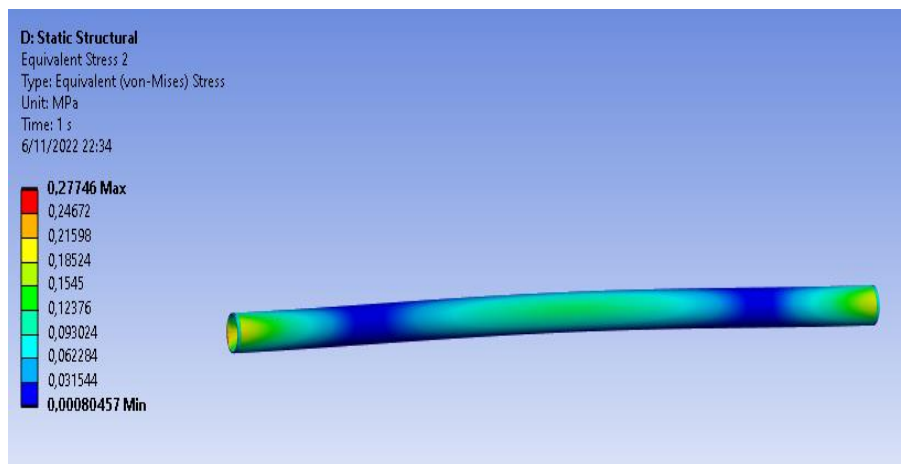
Figura 45  
Total, deformación rodillo con poliéster.



### 3.4.2.4.15 ESFUERZO EQUIVALENTE VON MISES RECUBRIMIENTO POLIÉSTER.

Los resultados de esfuerzos equivalentes (Von Mises), que soporta solo el recubrimiento de poliéster presenta un valor de 0.27 MPa máximo y 0.0008MPa mínimo, conforme se indica en la figura 46.

Figura 46  
Esfuerzo equivalente Von Mises en recubrimiento de poliéster.

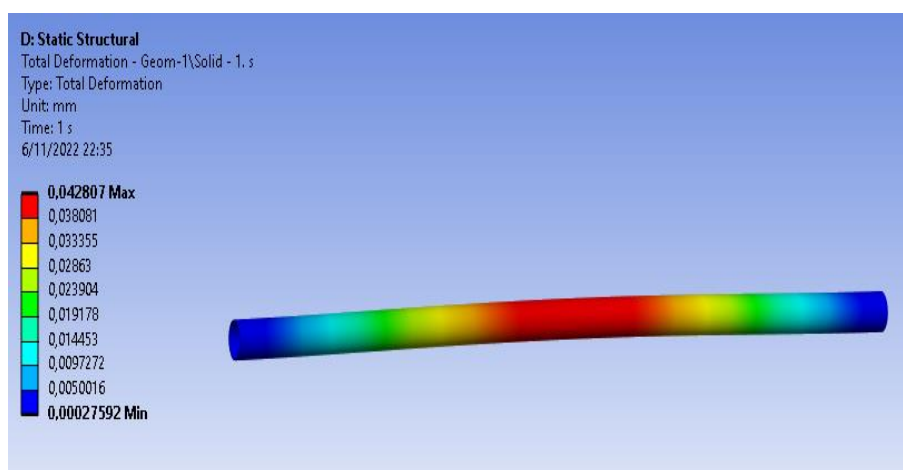


### 3.4.2.4.16 TOTAL DEFORMACIÓN RECUBRIMIENTO POLIÉSTER.

Los resultados de deformación total que soporta solo el recubrimiento de poliéster presentan un valor de 0.042 mm máximo y 0.00027 mm mínimo, conforme se indica en la figura 47.

Figura 47

*Total deformación recubrimiento de poliéster.*

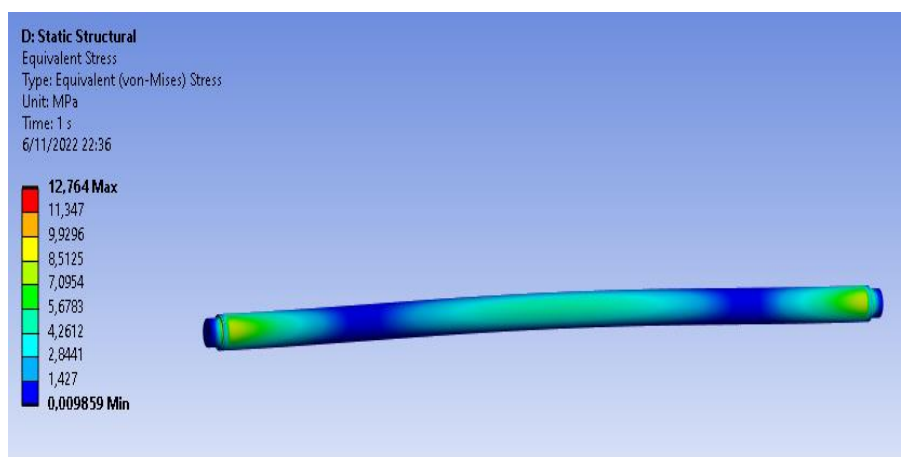


### 3.4.2.4.17 ESFUERZO EQUIVALENTE VON MISES RODILLO POLÍMERO ABS.

Los resultados de esfuerzos equivalentes (Von Mises), que soporta el rodillo con polímero ABS como recubrimiento presenta un valor de 12.76 MPa máximo y 0.009 MPa mínimo, conforme se indica en la figura 48.

Figura 48

*Esfuerzo equivalente Von Mises en rodillo con polímero ABS.*

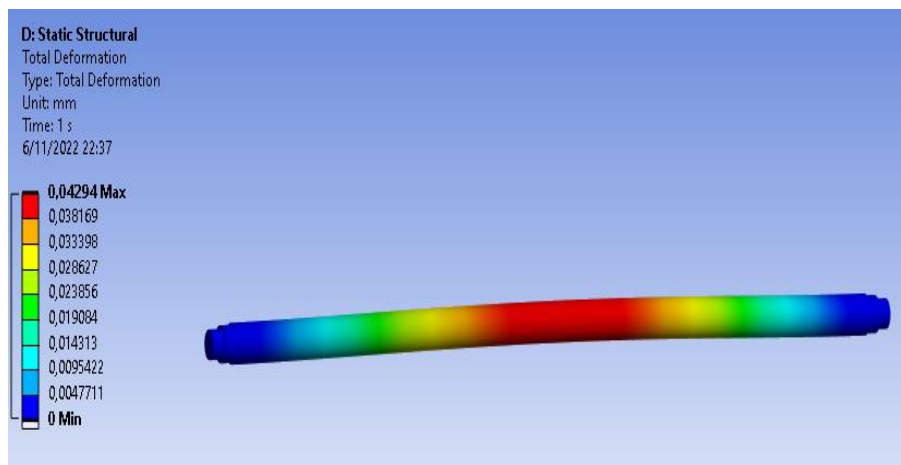


#### 3.4.2.4.18 TOTAL DEFORMACIÓN RODILLO POLÍMERO ABS.

Los resultados de deformación total que soporta el rodillo con polímero ABS como recubrimiento presenta un valor de 0.042 mm máximo y 0.0047 mm mínimo, conforme se indica en la figura 49.

Figura 49

*Total deformación rodillo con polímero ABS.*

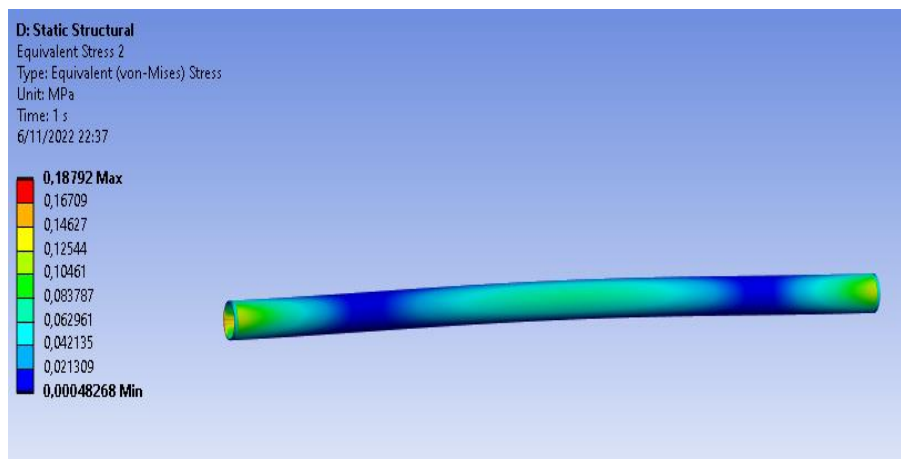


#### 3.4.2.4.19 ESFUERZO EQUIVALENTE VON MISES RECUBRIMIENTO POLÍMERO ABS.

Los resultados de esfuerzos equivalentes (Von Mises), que soporta solo el recubrimiento de polímero ABS presenta un valor de 0.18 MPa máximo y 0.0004MPa mínimo, conforme se indica en la figura 50.

Figura 50

*Esfuerzo equivalente Von Mises en recubrimiento de polímero ABS.*

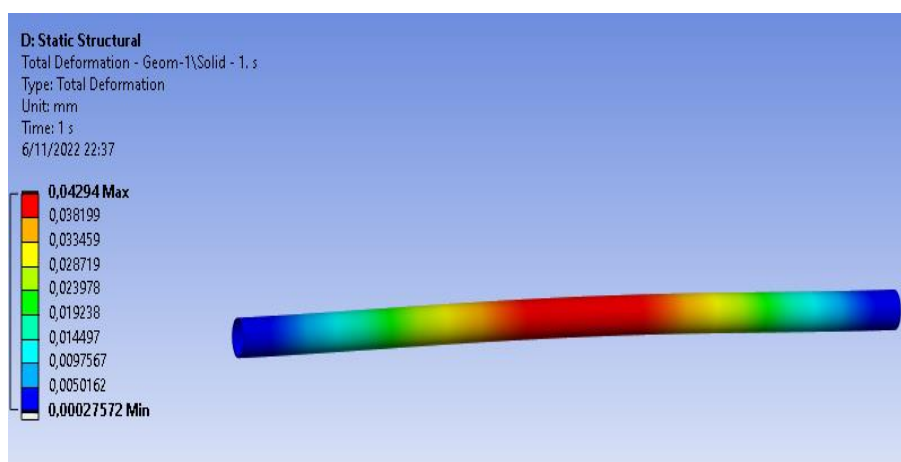


#### 3.4.2.4.20 TOTAL DEFORMACIÓN RECUBRIMIENTO POLÍMERO ABS.

Los resultados de deformación total que soporta solo el recubrimiento de polímero ABS presenta un valor de 0.042 mm máximo y 0.00027 mm mínimo, conforme se indica en la figura 51.

Figura 51

*Total deformación recubrimiento de polímero ABS.*

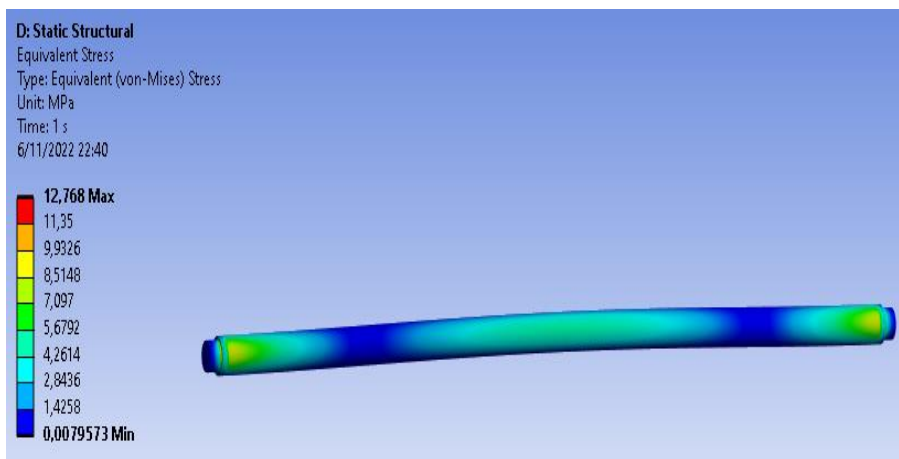


#### 3.4.2.4.21 ESFUERZO EQUIVALENTE VON MISES RODILLO POLÍMERO PVC.

Los resultados de esfuerzos equivalentes (Von Mises), que soporta el rodillo con polímero PVC como recubrimiento presenta un valor de 12.76 MPa máximo y 0.007 MPa mínimo, conforme se indica en la figura 52.

Figura 52

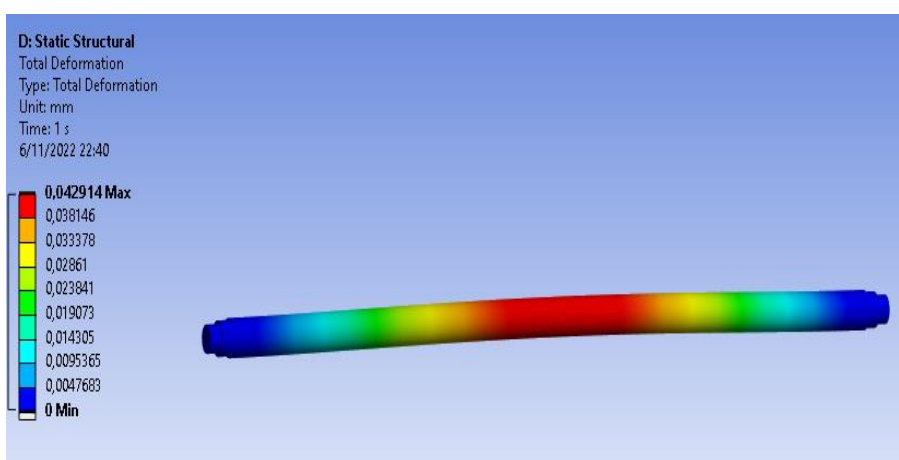
*Esfuerzo equivalente Von Mises en rodillo con polímero PVC.*



### 3.4.2.4.22 TOTAL DEFORMACIÓN RODILLO POLÍMERO PVC.

Los resultados de deformación total que soporta el rodillo con polímero PVC como recubrimiento presenta un valor de 0.042 mm máximo y 0.0047 mm mínimo, conforme se indica en la figura 53.

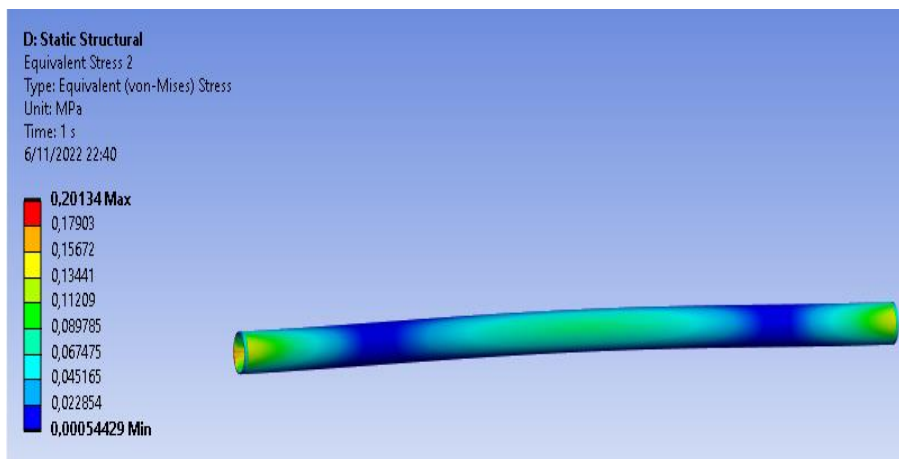
Figura 53  
 Total deformación rodillo con polímero PVC.



### 3.4.2.4.23 ESFUERZO EQUIVALENTE VON MISES RECUBRIMIENTO POLÍMERO PVC.

Los resultados de esfuerzos equivalentes (Von Mises), que soporta solo el recubrimiento de polímero PVC presenta un valor de 0.20 MPa máximo y 0.0005MPa mínimo, conforme se indica en la figura 54.

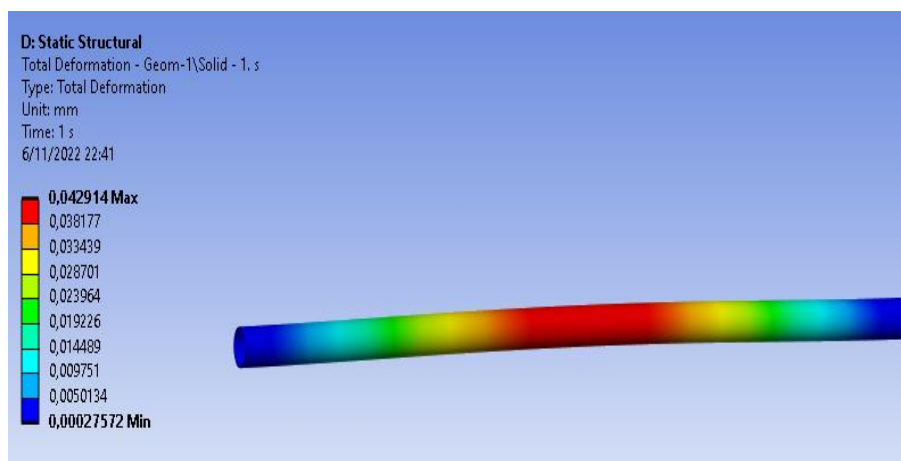
Figura 54  
 Esfuerzo equivalente Von Mises en recubrimiento de polímero PVC.



### 3.4.2.4.24 TOTAL DEFORMACIÓN RECUBRIMIENTO POLÍMERO PVC.

Los resultados de deformación total que soporta solo el recubrimiento de polímero ABS presenta un valor de 0.042 mm máximo y 0.00027 mm mínimo, conforme se indica en la figura 55.

Figura 55  
 Total deformación recubrimiento de polímero PVC.



## 4. MATERIALES Y METODOLOGÍA

---

En el presente proyecto, se utilizó la investigación de tipo cuantitativa con enfoque descriptivo. El enfoque descriptivo se realiza en todas las fases.

Fase uno: Análisis del estado actual de los rodillos alimentadores usados.

Fase dos: Estudios del tipo de materiales en los recubrimientos de rodillos alimentadores.

Fase tres: Alternativas de materiales con la aplicación de software Granta Ces Edupack.

Fase cuatro: Modelación del comportamiento del nuevo material durante el trabajo de los rodillos usando software especializado.

## 5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 5.1. PROPIEDADES RESULTANTES DE LOS MATERIALES RESULTANTES.

Las propiedades de los cuatro materiales resultantes se representan en la tabla 7 del capítulo 3, donde se realiza una comparación entre las propiedades de los recubrimientos iniciales: Neopreno y Poliuretano, los cuales servirán de patrón comparativo con cada uno de los resultados de los materiales: Polietileno, Poliéster, Polímero PVC y Polímero ABS.

#### 5.1. 1. DENSIDAD.

Los datos obtenidos de densidad del neopreno y poliuretano se indica en la tabla 8, tomando como patron sus valores se tiene como maximo de  $1300 \text{ kg/m}^3$  y como minimo de  $1190 \text{ kg/m}^3$  con estos datos se realiza un comparacion y es notable que dos de ellos como lo es el polietileno PE y polimero ABS se encuentran dentro de dicho rango, con lo cual son elegibles para el presente diseño debido a que son mas livianos, lo cual les permite ser moldeados de mejor manera y ensamblar mejor que otros materiales, en el montaje del rodillo con el recubrimiento su peso resulta menor con la cual el esfuerzo en los soportes(chumaceras) es menor y su vida util se prolonga, ademas al ser de menor densidad la contaminacion ambiental tambien se reduce. El polimero PVC y poliester PS cumplen con su valor minimo dentro del rango establecido los cuales tambien les permiten ser una opcion con el objetivo planteado.



Tabla 8

*Se indica los valores máximos y mínimos de densidad de los recubrimientos iniciales y obtenidos.*

Densidad (kg/m <sup>3</sup> )					
Neopreno	Poliuretano	Polietileno PE	Polímero PVC	Polímero ABS	Poliéster PS
1230 a 1300	1190 a 1210	939 a 960	1290 a 1460	1030 a 1060	1040 a 1400

## 5.1. 2. PRECIO.

Es el costo del material en el mercado en USD/kg es de mucha importancia cuando se pretenda construir los recubrimientos, los costos del neopreno y poliuretano se indica en la tabla 9, con los valores máximo de 4.85 USD/kg y mínimo de 1.2 USD/kg se compara y es notable que los cuatro candidatos cumplen con dicho rango especialmente revisando con el neopreno, con lo cual son elegibles para el presente diseño. Cabe indicar que los costos se refieren al precio comercial a esto se deberá sumar: fabricación de recubrimiento, tamaño y traslado. En la actualidad debido a la pandemia que afecto a todas las industrias, la economía juega un papel muy importante si se analiza resultados al futuro.

Tabla 9

*Se indica los valores máximos y mínimos de precio de los recubrimientos iniciales y obtenidos.*

Precio (USD/kg)					
Neopreno	Poliuretano	Polietileno PE	Polímero PVC	Polímero ABS	Poliéster PS
3.65 a 4.85	1.2 a 1.64	1.4 a 1.45	1.65 a 1.92	1.72 a 2.01	1.9 a 2.01

### 5.1. 3. MODULO YOUNG.

Los datos obtenidos del modulo de Young del neopreno y poliuretano se indica en la tabla 10, tomando como patron sus valores se tiene como maximo de 0.3 MPa y como minimo de 0.0016 MPa, los cuatro materiales tienen un valor superior, debido a esta propiedad será necesario aplicar una mayor tensión sobre los rodillos para que llegue a sufrir la misma deformación, con esto el diseño cumplen mejor con sus condiciones de trabajo.

Tabla 10

*Se indica los valores máximos y mínimos de Modulo Young de los recubrimientos iniciales y obtenidos.*

Modulo Young (MPa)					
Neopreno	Poliuretano	Polietileno PE	Polímero PVC	Polímero ABS	Poliéster PS
0.0016 a 0.0021	0.0025 a 0.3	0.62 a 0.98	2.2 a 3.1	2.07 a 2.76	2.07 a 4.41

### 5.1. 4. LIMITE ELÁSTICO.

Los datos obtenidos de limite de elasticidad del neopreno y poliuretano se indica en la tabla 11, tomando como patron sus valores se tiene como maximo de 51 MPa y como minimo de 12.1 MPa, los cuatro candidatos cumplen con la propiedad de limite elastico, especialmente en comparacion con el poliuretano, lo cual permite que sufran mayores esfuerzos y su condicion siga siendo elastica, por esta razon poseen una alta elongación reversible, garantizando su funcionamiento como recubrimiento de rodillos.

Tabla 11

*Se indica los valores máximos y mínimos de Limite Elástico de los recubrimientos iniciales y obtenidos.*

Limite Elástico (MPa)					
Neopreno	Poliuretano	Polietileno PE	Polímero PVC	Polímero ABS	Poliéster PS
12.1 a 24	40 a 51	17.9 a 29	37.6 a 45.5	34.5 a 49.6	33 a 40

En el caso de estudio se analizó solo las cuatro propiedades indicadas, las tres restantes como: máxima temperatura de servicio, mínima temperatura de servicio y tolerancia hasta 150°C porque la temperatura de trabajo en la planta papelera donde se pone en funcionamiento los rodillos alimentadores es el ambiente (22 °C).

## 5.2. DUREZA DE LOS RECUBRIMIENTOS.

En la página 26 se comenta sobre la dureza de los recubrimientos, en la presente sección se analizará el resultado de la dureza tanto de los recubrimientos iniciales como de los obtenidos, se toma como patrón los valores máximos y mínimos tanto del Neopreno y Poliuretano para realizar la comparación con los obtenidos:

Tabla 12

*Se indica los valores máximos y mínimos de Dureza Vickers de los recubrimientos iniciales y obtenidos, tomados de Granta Ces Edupack*

Dureza Vickers (HV)					
Neopreno	Poliuretano	Polietileno PE	Polímero PVC	Polímero ABS	Poliéster PS
4 a 7	16 a 23	5.4 a 8.7	12	10 a 15	10 a 22

Los patrones van desde 4 (Neopreno) hasta 23 (Poliuretano), los valores de dureza de los cuatro recubrimientos se encuentran dentro de los parámetros por lo cual son aptos para el diseño, además por su dureza la capacidad de trabajo es mayor evitando mantenimientos continuos de los elementos mecánicos ya que en toda empresa las

paradas innecesarias generan pérdidas en todo campo. También un material muy duro pierde sus características de elasticidad convirtiéndose en plástico.

### 5.3. ESFUERZO DE VON MISES EN LOS RECUBRIMIENTOS.

El esfuerzo de Von Mises (MPa) es una cantidad física que es directamente proporcional a la falla de materiales duros, en ingeniería este concepto se utiliza junto con materiales dúctiles como indicador para el éxito y garantía en un diseño.

Se analizará el resultado del esfuerzo tanto de los recubrimientos iniciales como de los obtenidos solo los valores máximos:

Tabla 13

*Se indica los valores del Esfuerzo de Von Mises de los recubrimientos iniciales y obtenidos, obtenidos de la simulación en ANSYS.*

Esfuerzo de Von Mises (MPa)					
Neopreno	Poliuretano	Polietileno PE	Polímero PVC	Polímero ABS	Poliéster PS
0.182	0.160	0.160	0.20	0.187	0.277

Tomando como patrones los valores del esfuerzo en el Neopreno (0.182 MPa) y el esfuerzo en el Poliuretano (0.160MPa), se comenta que los recubrimientos de Polietileno PE y Polímero ABS se encuentran dentro de los patrones de los recubrimientos iniciales, mientras que el Polímero PVC y Polímero ABS también pueden estar dentro del análisis pues su diferencia es mínima (0.018 MPa diferencia respecto al Polímero PVC y 0.095 MPa diferencia respecto al Poliéster PS los dos con el Neopreno respectivamente), con lo cual se garantiza que los materiales no van a sufrir rotura.

### 5.4. DEFORMACIÓN EN LOS RECUBRIMIENTOS.

La deformación es el cambio en el tamaño o forma producido en un material bajo el efecto de tensiones aplicadas sobre su cuerpo o el impacto de dilataciones térmicas.

Las deformaciones se miden en mm, puede ser elásticas (regresa el cuerpo a su posición inicial al cesar la tensión/temperatura) y plásticas (no regresa el cuerpo a su posición inicial al cesar la tensión/temperatura)

Se analizará el resultado de la deformación tanto de los recubrimientos iniciales como de los obtenidos solo los valores máximos:

Tabla 14

*Se indica los valores máximos de la Deformación en los recubrimientos iniciales y obtenidos, obtenidos de la simulación en ANSYS.*

Deformación máxima (mm)					
Neopreno	Poliuretano	Polietileno PE	Polímero PVC	Polímero ABS	Poliéster PS
0.163	0.042	0.043	0.042	0.042	0.042

Tomando como patrones los valores de la deformación en el Neopreno (0.163 mm) y la deformación en el Poliuretano (0.042mm), se comenta que todos los recubrimientos de se encuentran dentro de los patrones de los recubrimientos iniciales, lo cual garantiza el diseño, pues se deforman cambiando de forma, pero respetando su volumen, esto también atribuye a la temperatura a la cual se estará trabajando es de 22°C.

## 6. CONCLUSIONES

- En la empresa papelera se realizó el estudio de 10 rodillos alimentadores de los cuales 3 tienen recubrimiento de Neopreno y 7 recubrimiento de Poliuretano, todos necesitan el cambio de recubrimiento y cinco rodillos también el cambio de chumaceras las cuales presentaron daños por la utilización, los rodillos se encuentran en bodega reingresados como usados con un valor contable de 0.1 USD, dicho valor no afecta en gastos a la empresa pero si sería un gasto el momento que se requiera un elemento nuevo (costo elemento + costo documentación aduanas + costo exportación), además se está utilizando un espacio que bien podría ser destinado para otros repuestos.
- Los materiales de recubrimiento actuales Neopreno y Poliuretano poseen características idóneas para cumplir con la función elegida. En el presente caso, para recubrimiento de rodillos alimentadores se utilizan elastómeros, debido a que presentan resistencia térmica al envejecimiento y su respuesta mecánica a la flexión y maleabilidad.
- Con la ayuda del software Granta Ces Edupack, se obtuvo 22 candidatos los cuales cumplen con las propiedades de los recubrimientos originales (Neopreno y Poliuretano). Se analizaron 4 materiales (Polietileno PE, Polímero PVC, Polímero ABS y Poliéster PS) debido a que, por sus propiedades físicas y mecánicas, permiten ser utilizados como recubrimientos para cumplir con la función en un rodillo alimentador.
- Durante las condiciones de trabajo en simulaciones se presentó las características de valor de presión que ejerce el cartón sobre el rodillo ( $0.3432 \text{ N/mm}^2$ ), el cual es aplicado durante el trabajo. El efecto de la gravedad  $9810 \text{ mm/s}^2$  y la temperatura ambiente  $22^\circ\text{C}$ ; con la cual los valores tanto de esfuerzos como deformación obtenidos son similares a los valores de los recubrimientos iniciales (Neopreno y Poliuretano) con esto se

---

pueden garantizar que sería muy viable en el futuro la elaboración de dichos recubrimientos.

## REFERENCIAS

---

- Álvarez, C. N., & Peiró, J. J. i. (2011). *Comportamiento mecánico de los materiales. Volumen 2: Ensayos mecánicos. Ensayos no destructivos*. Edicions Universitat Barcelona.
- Ashby, M. F., Shercliff, H., & Cebon, D. (2018). *Materials: Engineering, Science, Processing and Design*. Butterworth-Heinemann.
- Bello, A. (2020). *Elementos De Metalografía y de Acero al Carbono*. Andres Bello.
- BERCERO, J. R. G., HERRERO, S. B., & LÓPEZ, A. M. C. (2010). *Introducción al conocimiento de los materiales y a sus aplicaciones*. Editorial UNED.
- Dietsche, K.-H. (2005). *Manual de la técnica del automóvil*. Reverte.
- García, S. L. (2015). *UF0016—Mantenimiento y manejo de invernaderos*. Editorial Elearning, S.L.
- Groover, M. P. (1997a). *Fundamentos de manufactura moderna: Materiales, procesos y sistemas*. Pearson Educación.
- Groover, M. P. (1997b). *Fundamentos de manufactura moderna: Materiales, procesos y sistemas*. Pearson Educación.
- JOSÉ, R. V. (2021). *Control y verificación de productos fabricados*. Editorial Paraninfo.
- Liesa, F., Alter, L. B., & Bilurbina, L. (1990). *Adhesivos Industriales*. Marcombo.
- matias. (2005, agosto 23). *Policloruro de vinilo—PVC* [Text].  
<https://www.textoscientificos.com/polimeros/pvc>
- Miravete, A. (1995). *Los nuevos materiales en la construcción*. Reverte.
- Moreno, L. M. V. (2008). *Materiales industriales. Teoría y aplicaciones*. ITM.
- Nutsch, W. (1996a). *Tecnología de la madera y del mueble*. Reverte.
- Nutsch, W. (1996b). *Tecnología de la madera y del mueble*. Reverte.
- Romeva, C. R. i. (2010). *Selección de materiales en el diseño de máquinas*. Universitat Politècnica de Catalunya. Iniciativa Digital Politècnica.