



**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA CENTROAMERICANA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA MECATRÓNICA**

**PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

**DISEÑO Y FABRICACIÓN DE UNA RUEDA HECHA DE POLÍMERO POR MEDIO DE LA  
MANUFACTURA ADITIVA**

**PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO:**

**INGENIERO EN MECATRÓNICA**

**PRESENTADO POR:**

**21411015 LEONEL ROBERTO AGUILAR MARTÍNEZ**

**ASESOR: ING. JOSÉ LUIS ORDOÑEZ**

**CAMPUS: SAN PEDRO SULA**

**JUNIO, 2020**

## **DERECHOS DE AUTOR**

©Copyright 2020

**LEONEL ROBERTO AGUILAR MARTÍNEZ**

Todos los derechos son reservados

## **DEDICATORIA**

Esta tesis está dedicada a:

Primeramente, a Dios por haberme permitido llegar hasta esta etapa como universitario y sobre todo por darme los ánimos y las fuerzas necesarias para culminar con éxito esta etapa de mi vida; por todas las metas cumplidas y por los caminos difíciles que me han enseñado a valorar más esta oportunidad.

A mis padres, Víctor Aguilar y Patricia Martínez, quienes han sido un apoyo en todo lo que soy, por llevarme de la mano y por estar conmigo sin importar de las circunstancias. Gracias por brindarme una oportunidad para formarme como profesional.

Al Ing. José Luis Ordoñez, por guiarme y compartir conocimientos para ser un buen ingeniero.

## **AGRADECIMIENTOS**

Primeramente, agradecer a Dios, quien es el que me ha permitido poder dar un nuevo paso en la vida, llenando de bendición y conocimiento mi vida y poniendo en mi camino a las personas correctas, dándome fortaleza por medio de ellas para saber afrontar todas las pruebas y dificultades que se encontraron en el camino.

Gracias a mis padres, por ser mi mayor inspiración, mis guías y mi mayor ejemplo, por su apoyo incondicional en toda mi etapa como persona, por nunca dejar de creer en mí y enseñarme lo preciado que es la vida. Gracias por ser mi principal motor de inspiración para formarme profesionalmente, por nunca dejar abandonar mis sueños, por siempre estar de mi lado y del de mis hermanos.

Gracias al Ing. José Luis Ordoñez, por siempre brindar su apoyo y conocimientos en esta etapa universitaria.

Y gracias a la vida por este nuevo triunfo, por que sea uno de los muchos sueños que estoy por cumplir.

## **RESUMEN EJECUTIVO**

Este proyecto de investigación presenta el diseño de una rueda hecha a base de polímero mediante el proceso de fabricación aditiva. Para conocer el posible polímero a utilizar, este diseño fue sometido a pruebas de temperatura, torsión y fuerza. Por otro lado, se realizaron estudios de vibración con los dos polímeros seleccionados para el desarrollo del prototipo. Cabe señalar que, en este proyecto de investigación, se implementó la metodología espiral, con un enfoque mixto del diseño experimental, con el fin de hacer un prototipo funcional en el que se integran todas las partes mencionadas. Gracias a la metodología empleada se concluyó que el TPU y el PETG son los polímeros más resistentes e ideales para la fabricación de ruedas por manufactura aditiva, y el método cavidad es el indicado ya que genera menos vibración entre el motor y la rueda.

Palabras clave: polímero, torsión, fabricación aditiva, TPU, PETG.

## **ABSTRACT**

This research project presents the design of a wheel made from polymer using the additive manufacturing process. In order to know the possible polymer to use, this design was subjected to temperature, torsion and force tests. On the other hand, there are vibration studies with the two polymers selected for the development of the prototype. It should be noted that, in this research project, the spiral methodology is implemented, with a mixed approach of experimental design, in order to make a functional prototype in which all the specific parts are integrated. Thanks to the methodology used, it was concluded that TPU and PETG are the most resistant and ideal polymers for the manufacture of wheels by additive manufacturing, and the cavity method is indicated since it generates less vibration between the motor and the wheel.

Key words: polymer, torsion, additive manufacturing, TPU, PETG.

# ÍNDICE DE CONTENIDO

I.	Introducción.....	1
II.	Planteamiento del problema.....	2
2.1.	Precedentes del problema.....	2
2.2.	Definición del problema.....	2
2.3.	Justificación.....	3
2.4.	Preguntas de investigación.....	3
2.5.	Objetivos.....	4
2.5.1	Objetivo General.....	4
2.5.2	Objetivos Específicos.....	4
III.	Marco Teórico.....	5
3.1	Teorías de sustento.....	5
3.1.1	Grandes mentes en la invención de ruedas.....	5
3.2	Los polímeros.....	6
3.3	Tipos de Polímeros.....	7
3.3.1.	Polímeros Naturales.....	8
3.3.2.	Polímeros Artificiales.....	8
3.3.3.	Polímeros Sintéticos.....	9
3.4	Química de los Polímeros.....	9
3.4.1.	Tipos de Polimerización.....	9
3.4.2.	Clasificación y características de los procesos de polimerización.....	11
3.4.3.	Polimerización Catiónica.....	13

3.4.4.	Polimerización Aniónica.....	13
3.5	Introducción a las tecnologías 3D .....	13
3.5.1.	Principales tecnologías para la impresión de elastómeros.....	14
3.5.2.	Materiales poliméricos en la impresión 3D .....	16
3.5.3.	Materiales elastómeros en impresión 3d: Tipos .....	17
3.6	Historia de las ruedas.....	18
3.6.1.	¿Quién invento la rueda?.....	18
3.6.2.	Evolución de la rueda.....	19
3.6.3.	Perfeccionamiento de la rueda .....	19
3.6.4.	Usos de la rueda en la historia .....	20
3.6.5.	Ventajas del descubrimiento de la rueda.....	20
3.7	Introducción de las ruedas en la robótica.....	21
3.7.1.	Robots móviles .....	21
3.7.2.	Diseño de ruedas en robot móviles.....	22
3.7.3.	Sistemas holonomicos y no holonomicos .....	24
3.7.3.1	Tipos de ruedas en sistemas holonomicos y no holonomicos.....	24
3.8	Introducción a las ruedas convencionales .....	28
3.8.1.	Materias Primas.....	29
3.8.2.	Diseño .....	30
3.8.3.	Procesos de manufactura .....	32
3.8.4.	Control de calidad.....	34
IV.	Metodología.....	36
4.1.	Enfoque y Método.....	36



4.2.	Variables de investigación.....	36
4.3.	Técnicas e instrumentos aplicados .....	38
4.4.	Materiales .....	38
4.5.	Metodología de estudio.....	38
4.5.1.	Ciclo 1 Método espiral.....	39
4.5.2.	Ciclo 2 Método espiral.....	40
4.5.3.	Ciclo 3 Método espiral.....	41
4.5.4.	Ciclo 4 método espiral.....	42
4.6.	Metodología de validación .....	44
4.7.	Cronograma de actividades.....	44
V.	Análisis y resultados.....	45
5.1.	Análisis de teoría de sustento .....	45
5.2.	Resultados .....	45
5.2.1.	Ciclo 1 método espiral: Investigación de los polímeros .....	46
5.2.2.	Ciclo 2 método espiral: Diseño CAD de la rueda .....	47
5.2.3.	Ciclo 2 método espiral: Pruebas de resistencia a la rueda con polímeros mejor calificados .....	50
5.2.4.	Ciclo 4 método espiral: Pruebas de vibración y validación del prototipo .....	62
VI.	Conclusiones .....	67
VII.	Recomendaciones.....	68
	Bibliografía.....	69
	Anexos.....	71

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1-Charles Goodyear .....	6
Ilustración 2-Mapa Conceptual de los tipos de polímeros .....	7
Ilustración 3-Cuadro Sinóptico de tipos de polimerización .....	10
Ilustración 4-Monómero de etileno .....	10
Ilustración 5-Formación de un monómero .....	11
Ilustración 6- Primeras impresiones del uso de la rueda.....	19
Ilustración 7-Robot móvil curiosity .....	22
Ilustración 8-Rueda Convencional.....	25
Ilustración 9-Rueda Castor y rueda giratoria.....	26
Ilustración 10-Rueda Omniwheel.....	27
Ilustración 11-Rueda Mecanum.....	28
Ilustración 12- Máquina para fabricar neumáticos inventada por W. C. State of Goodyear Tire Company en 1909.....	31
Ilustración 13-Diagrama de variables de investigación.....	37
Ilustración 14-Primera Espiral con investigación de los polímeros adecuados para la fabricación de ruedas.....	39
Ilustración 15-Segunda espiral con diseño CAD para la rueda adecuada .....	40
Ilustración 16-Tercera espiral con pruebas de resistencia a la rueda con polímeros mejor calificados.....	41
Ilustración 17-Cuarta Espiral con pruebas de vibración y validación del prototipo.....	42
Ilustración 18-Resumen de ciclos espiral .....	43
Ilustración 19-Cronograma de actividades .....	44
Ilustración 20-Placa de soporte del Eje del motor diseñada con polímero.....	48

Ilustración 21-Diseño final de placa de soporte del motor diseñada con acero.....	48
Ilustración 22-Diseño de la rueda sin método cavidad.....	49
Ilustración 23-Diseño de la rueda con método cavidad.....	49
Ilustración 24-Ensamble final de la rueda.....	50
Ilustración 25-Ensamble final de la rueda.....	50
Ilustración 26- Análisis de Fuerza: Deformaciones unitaria equivalente de la rueda con TPU.....	51
Ilustración 27- Análisis de Fuerza: Tensión de von mises a rueda con PETG.....	51
Ilustración 28-Análisis de Fuerza: Deformaciones unitaria equivalente de la rueda con PETG.....	52
Ilustración 29- Análisis de Fuerza: Tensión de von mises a de la rueda con ABS.....	52
Ilustración 30- Análisis de Fuerza: Deformación unitaria equivalente de la rueda con ABS.....	53
Ilustración 31- Análisis de Fuerza: Tensión de von mises de la rueda con PLA.....	53
Ilustración 32- Análisis de Fuerza: Deformación unitaria equivalente de la rueda con PLA.....	54
Ilustración 33- Análisis de Fuerza: Tensión de von mises de la rueda con caucho.....	54
Ilustración 34- Análisis de Fuerza: Deformación unitaria equivalente de la rueda con caucho.....	55
Ilustración 35- Análisis de torsión: Tensión de von mises de la rueda con TPU.....	56
Ilustración 36- Análisis de torsión: Deformación unitaria de la rueda con TPU.....	56
Ilustración 37- Análisis de torsión: Tensión de von mises de la rueda con ABS.....	57
Ilustración 38- Análisis de torsión: Deformación unitaria de la rueda con ABS.....	57
Ilustración 39- Análisis de torsión: Tensión de von mises de la rueda con PETG.....	58
Ilustración 40- Análisis de torsión: Deformación unitaria de la rueda con PETG.....	58
Ilustración 41- Análisis de torsión: Tensión de von mises de la rueda con CAUCHO.....	59
Ilustración 42- Análisis de torsión: Deformación unitaria de la rueda con CAUCHO.....	59
Ilustración 43-Análisis de torsión: Tensión de von mises de la rueda con PLA.....	60

Ilustración 44- Análisis de torsión: Deformación unitaria de la rueda con PLA .....	60
Ilustración 45-Graficas en tiempo real PETG .....	63
Ilustración 46-Graficas Fourier PETG .....	63
Ilustración 47-Grafica en tiempo real TPU.....	64
Ilustración 48-Grafica Fourier TPU.....	64
Ilustración 49-Graficas por el método cavidad a rueda de TPU .....	65
Ilustración 50-Graficas sin el método cavidad a rueda de TPU.....	66

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1- Propiedades de polímeros y sus aplicaciones, Polímeros más usados en la industrial 3D .....	17
Tabla 2-VARIABLES de Investigación.....	36
Tabla 3-Polímeros más utilizados en la manufactura aditiva.....	46
Tabla 4-Polímeros con mejor resistencia.....	47
Tabla 5-Resumen de resultados de análisis de fuerza.....	55
Tabla 6-Tabla resumen de análisis de torsión.....	61
Tabla 7-Tabla resumen de análisis de pruebas de temperatura.....	62
Tabla 8-Resumen de resultados de vibración por el método cavidad.....	65
Tabla 9-Tabla resumen de análisis de vibración por método cavidad y sin el método.....	66

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexos 1-Plano de rueda por método cavidad.....	71
Anexos 2-Plano de placa de soporte al eje del motor.....	72
Anexos 3-Interface en Software LabVIEW .....	73
Anexos 4-Interface de programación en LabVIEW para pruebas de vibración.....	73
Anexos 5-Interface Software Ultimaker Cura .....	73
Anexos 6-Prototipo Final.....	73

## **I. INTRODUCCIÓN**

En la actualidad han surgido diversas herramientas que juegan un papel importante para el desarrollo del conocimiento científico y tecnológico, tal es el caso de la manufactura aditiva con esto se han desarrollado diversos tipos de ruedas que permiten al hombre realizar el desplazamiento de cualquier prototipo móvil. En el Desarrollo de este diseño de ruedas, se implementan las diferentes áreas de un ingeniero en Mecatrónica, como ser: el diseño CAD, programación y mecánica. Sin embargo, no existe un diseño único para todas las aplicaciones existentes, cada entorno requiere un modelo distinto para su correcta locomoción.

El propósito de este artículo es exponer el diseño de una rueda en cual se cumplan los factores presentados ya sea en una superficie plana o también que permita la fácil movilidad en una superficie accidentada y que así tenga una operabilidad más sencilla para el operador.

Primero se presentan las teorías de sustento y la metodología a utilizar en esta misma se fijarán los objetivos por cada ciclo. Posteriormente, en el capítulo cinco se exponen los resultados obtenidos del proyecto mencionado. Finalmente, se exponen las conclusiones.

## **II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

El objetivo de este capítulo es demostrar un panorama extendido con la finalidad de la problemática existente en las ruedas debido a sus diversos tipos de materiales con los que son manufacturados. Debido a esto se establecen los precedentes del problema, definición del problema y su justificación. También se demostrarán los requerimientos solicitados a partir de unas preguntas de investigación y objetivos del proyecto.

### **2.1. PRECEDENTES DEL PROBLEMA**

Los años anteriores se utilizaban unas ruedas comerciales destinadas a los prototipos robóticos, cada rueda tiene como fin un tipo de superficie el cual apela a la función, lo cual implica que la forma de esta misma sigue a la función así que el criterio es similar al aplicado para los distintos nichos usados en la industria robótica, ruedas lisas, con diseños, suaves, compactas, duras, alta y baja presión cada una dependerá de su respectiva función. Esto nos sobrelleva a apelar por una marca o un tipo de material. Así realizando dicho proyecto, por medio de investigación y pruebas lograremos obtener un material o rueda óptima para un mejor uso en cualquier terreno.

Treinta años atrás, las aplicaciones de la mayoría de los polímeros se limitaban a usos especiales en productos tales como la fibra, películas y revestimientos, o bien a su utilización habitual como materiales plásticos, económicos, para prestaciones ligeras. Aunque los materiales tradicionales han venido manteniendo su dominio en el ámbito exigente de las altas tecnologías, algunos polímeros ya están reemplazando al aluminio y otros metales estructurales en aplicaciones que requieren grandes esfuerzos mecánicos y exposición a altas temperaturas. Otros polímeros llegan incluso a sustituir a los materiales tradicionales en las comunicaciones ópticas, electrónicas y en los ordenadores. Cada una de estas nuevas aplicaciones constituye una muestra del enorme grado de control que pueden ejercerse sobre las propiedades de los materiales poliméricos. Esta ciencia encuentra su fuerza en la infinita versatilidad que presentan los polímeros sintéticos.

### **2.2. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA**

El problema principal en el que se centra esta investigación es la calidad de la rueda, dado que los métodos tradicionales de manufactura o los materiales de elaboración de este mismo no



brindan los resultados requeridos para una rueda amigable a cualquier terreno, si no para un tipo de superficie en sí. Debido a esto la calidad de manejo o control tanto en prototipos robóticos como otro tipo de uso afines a este no es el esperado, aunque la calidad de rueda no es lo único de peso en este también juega un papel fundamental el coste monetario y sus tipos de diseño.

También otro de los problemas con que nos encontramos es que las ruedas normalmente comerciales que son hechas de caucho, silicón, policarbonato entre otros... se encuentran con una estructura molecular difícil de degradar, que de ser mal manejados podrían afectar, ríos mares y rellenos sanitarios. En cambio, los polímeros a trabajar serían de un menor impacto a la naturaleza, por su mejor reciclaje y esto con lleva a que son de mayor valor para la tecnología y la ciencia. Así van surgiendo nuevas técnicas para mejorar los productos de plásticos, lo cual es útil si tenemos en cuenta la enorme cantidad de ellos que usamos y que son desechables después de un uso específico.

### **2.3. JUSTIFICACIÓN**

En Honduras, a diferencia de otros países más desarrollados en lo que es sistemas de manufactura estamos unos pasos atrás, la elaboración de este proyecto nos permitirá poder contribuir al desarrollo de los distintos sistemas para elaboración de ruedas por medio de la cultura investigativa y distintas pruebas realizadas. Este proyecto justifica en ese sentido a raíz de dicha necesidad que los procesos deben de ser mejorados o actualizados en términos de procesos de manufactura. El desarrollo de este proyecto de investigación pretende a través de varios estudios y simulaciones de prueba a la rueda se pueda brindar una posible solución a una mejor locomoción de los prototipos robóticos o donde se le de uso a la rueda.

### **2.4. PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN**

- 1) ¿Cuáles son los polímeros mejor calificados para la impresión de llantas en 3D?
- 2) ¿Qué materiales resisten mejor a la tensión, torque y temperatura en el diseño de llantas?
- 3) ¿Qué polímeros resultas más resistentes en la fabricación de ruedas?
- 4) ¿Dentro de los polímeros utilizados, qué polímero genera mayor vibración?

## **2.5. OBJETIVOS**

Se fijarán los objetivos a cumplir, dividiendo estos en objetivo general, el cual describe de manera general lo que se pretende desarrollar como investigación y objetivos específicos, en lo que se refiere a puntualizar las acciones del objetivo general estipulando una dirección concreta para el desarrollo correcto de una rueda a base de polímeros por el método de la manufactura aditiva.

### 2.5.1 OBJETIVO GENERAL

Determinar el método óptimo y preciso para poder tener una fabricación de ruedas correcta utilizando la manufactura aditiva y con la ciencia de los distintos materiales que se usarán, para obtener un material resistente a la deformación, tensión y temperatura, que nos pueda servir para un prototipo robótico o un prototipo móvil.

### 2.5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- 1) Realizar el estudio a diferentes polímeros existentes para la impresión 3D para luego seleccionar los mejor calificados en el diseño de las llantas.
- 2) Llevar a cabo pruebas de tensión, torque y temperatura de los materiales mejor calificados en pruebas anteriores para comparar los resultados obtenidos.
- 3) Realizar simulaciones de prueba para comprobar que polímero resulta más resistente para la fabricación de ruedas
- 4) Realizar pruebas de vibración para comprobar que polímero genera mayor vibración

### **III. MARCO TEÓRICO**

En la presente investigación se muestran varios conceptos de mucha importancia para poder comprender como se realizará dicha investigación. Para ello es necesario entender temas correlacionados a la investigación, es indispensable conocer conceptos como formación de polímeros y procesos de manufactura en ruedas. La explicación de los temas antes mencionados nos permitirá tener una mejor comprensión de los procesos a utilizar.

#### **3.1 TEORÍAS DE SUSTENTO**

A partir de la problemática que presenta la fabricación de ruedas y sus problemas ambientales, se procede a conocer la teoría de sustento, la cual determina los procesos aplicados para la realización del proyecto. Las ruedas hoy en día juegan un papel importante, ya que facilitan al hombre a realizar varios procesos de transporte o locomoción, en el presente proyecto se utilizará la manufactura aditiva como herramienta para la fabricación de ruedas. Por otra parte, las simulaciones de resistencia en ámbitos de fuerza, torsión y temperatura son de mucho beneficio para saber hasta cuanto puede tolerar la rueda. Finalmente, el desarrollo de programa para pruebas de vibración el cual especifica que parámetros se cumplen mejor para que se pueda operar de una manera factible. El desarrollo del proyecto estará sustentado por los procesos antes mencionados, con la finalidad de proporcionar soluciones y mejores técnicas de fabricación.

##### **3.1.1 GRANDES MENTES EN LA INVENCION DE RUEDAS**

A lo largo de la historia del ser humano, han existido grandes mentes que iniciaron el desarrollo de nuevas tecnologías. De no ser por sus descubrimientos, muchas de las nuevas invenciones no hubiesen sido posible. Tal es el caso de Charles Goodyear, un inventor estadounidense fundador de la compañía "Goodyear", después de endeudarse y dedicarse a la investigación de su empresa, esto daría lugar a un nuevo material el cual sería llamado como caucho vulcanizado, con este caucho actualmente se fabrican gran cantidad de objetos tales como neumáticos o preservativos.



**Ilustración 1-Charles Goodyear**

Fuente: (Kovac, 1978).

Charles Goodyear descubrió este proceso por medio de un error, cuando haciendo las respectivas pruebas, dejó caer caucho y azufre, produciéndose una solución dura y resistente. Después de este descubrimiento, continuó sus experimentos hasta lograr formar laminas continuas de goma y lograr la fabricación de las ruedas.

### **3.2 LOS POLÍMEROS**

Los polímeros pueden ser inorgánicos, por ejemplo, vidrio, pero la mayoría de los polímeros de interés industrial son compuestos orgánicos formados por hidrocarburos asociados con diferentes elementos, esto quiere decir, que son moléculas formadas por cadenas de átomos de carbono a los que están unidos otros elementos. También otra definición sería que son como un material formado por moléculas formadas por unidades constitucionales que se repiten de una manera más o menos ordenada. Dado el gran tamaño de estas moléculas, se llaman macromoléculas. Es decir, los polímeros que están compuestos de químicos cuyas moléculas están formadas por la unión de otras moléculas más pequeñas llamadas monómeros, que están unidas entre sí como si fueran los eslabones de una cadena. Actualmente los polímeros se llaman con el

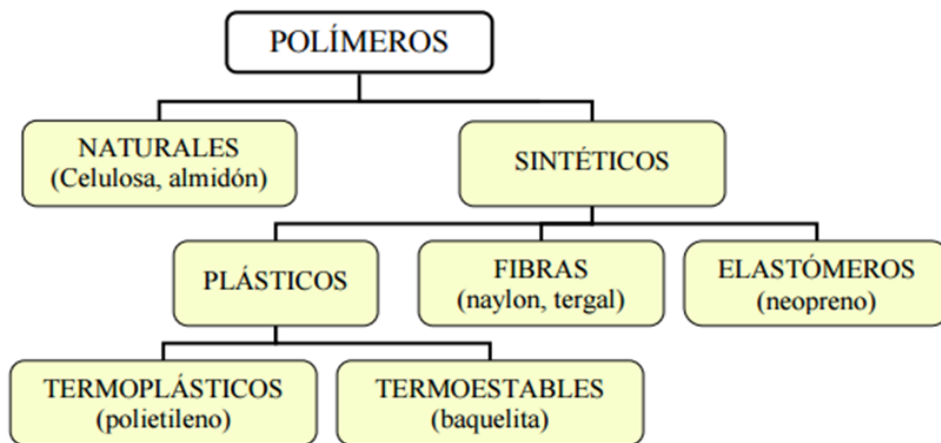
nombre de plásticos, que en realidad solo corresponden a un tipo específico de polímeros, específicamente tienen propiedades plásticas tales como que son blandas, deformables y maleables con calor. (Billmeyer Jr, 2004).

La palabra polímero se deriva del griego "poli" y "meros", que significa muchas y partes, respectivamente, en contraste con monómeros (mono que significa uno). El término macromolécula se utiliza también con el mismo significado que el del polímero; lo mismo pasa con la expresión "cadena polimérica". Con el nombre de polímeros se define toda sustancia que está formada por moléculas que se caracterizan por la aparición de uno o más tipos de unidades monoméricas. Se trata de cadenas muy extensas que están conformados uno sobre otro. (Billmeyer Jr, 2004)

También los monómeros, son un tipo de sustancia química que están formadas por un bajo peso molecular, estos son capaces de reaccionar consigo mismo o con otro tipo de sustancias. Los enlaces covalentes de los polímeros son similares a los que tienen las moléculas normales. La diferencia que existe entre los polímeros y las moléculas normales, es el tamaño que hay entre ellos y esto genera efectos muy interesantes. (Vincent Vela, 2006)

### 3.3 TIPOS DE POLÍMEROS

En la actualidad encontramos que los polímeros pueden ser de tres tipos, los cuales son los siguientes:



**Ilustración 2-Mapa Conceptual de los tipos de polímeros**

Fuente: Elaboración Propia (2020).

### 3.3.1. POLÍMEROS NATURALES

Son los que encontramos en la naturaleza y que debido a su gran variedad hacen posible nuestra existencia, se trata de alimentos de origen vegetal y animal, madera y algodón. Además de partes de nuestro cuerpo, como cabello, uñas, células e incluso nuestro material genético. Los polímeros naturales también se conocen como macromoléculas de interés biológico. (Merino, 2013)

#### 3.3.1.1 *Ejemplo de polímeros naturales: Las proteínas*

El convertidor de energía que transforma la energía cinética proveniente del aire en energía mecánica es considerado el componente principal de una turbina de viento. Este mecanismo sigue sus propias reglas básicas de funcionamiento. Aunque la teoría del momento de Betz (Betz, 1926), supone que un convertidor de energía que no tiene pérdidas en un flujo de aire sin fricción contiene simplificaciones y estos resultados son útiles para realizar cálculos aproximados en la ingeniería práctica.

### 3.3.2. POLÍMEROS ARTIFICIALES

Son el resultado de modificaciones a través de procesos químicos, de ciertos polímeros naturales. Con el desarrollo de la tecnología y la industria química, el hombre ha aprendido a imitar la naturaleza e incluso mejorarla, sintetizando nuevos polímeros artificiales que no existen en ella, generalmente a partir de derivados del petróleo. (Brescia, 1997)

#### 3.3.2.1 *Ejemplo de polímero artificial: Nitrato de celulosa*

El nitrato de celulosa o el algodón en polvo fueron sintetizados por primera vez en 1845 por Christian Schönbein. Es un sólido similar al algodón, o un líquido gelatinoso ligeramente amarillo o incoloro con olor a éter. Se utiliza en la fabricación de explosivos, propulsores de cohetes, celuloide (esta es la base transparente para emulsiones de película fotográfica) y como materia prima en la producción de pinturas, lacas, barnices, tintas, selladores y otros productos similares. Su uso tradicional como laca de nitrocelulosa se usa en guitarras eléctricas. (Brescia, 1997)

### 3.3.3. POLÍMEROS SINTÉTICOS

Son los tipos de polímeros que son obtenidos por procesos de polimerización controlados por el hombre que parten de materias primas con un peso molecular muy bajo. Estos son los polímeros con más uso. (Merino, 2013)

#### 3.3.3.1 *Ejemplo de polímeros sintéticos: Cloruro de Polivinilo (PVC)*

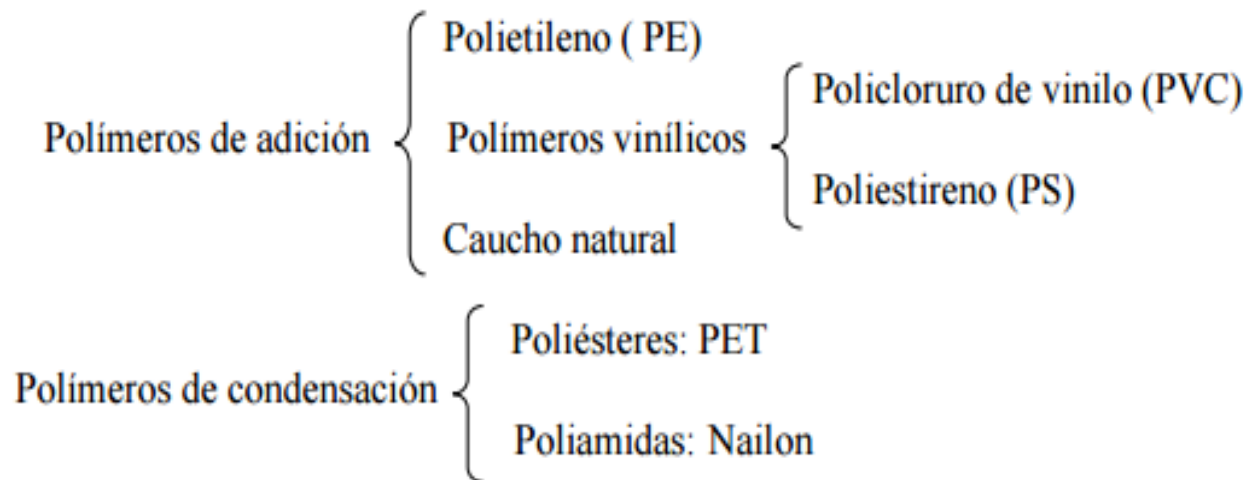
Esta es una combinación química entre el carbono, hidrogeno y el cloro. Sus principales componentes provienen del petróleo y de la sal. Este es el tipo de plástico con menos dependencia del petróleo. Actualmente solo el 4% del consumo total del petróleo se utiliza para fabricar materiales plásticos y de ellos la octava parte es para el PVC. (Merino, 2013)

## **3.4 QUÍMICA DE LOS POLÍMEROS**

Esto se basa en la síntesis química, tanto como la estructura y sus propiedades físicas y químicas. Los principios y métodos utilizados para los polímeros en química son de uso común a las subdisciplinas de la química, tanto como la química analítica como la química física. La mayoría de materiales tiene estructuras poliméricas, desde metales y cerámicos totalmente inorgánicos hasta ADN y otras moléculas biológicas, sin embargo, la química de polímeros hace una referencia típicamente en el contexto de las composiciones orgánicas sintéticas. La mayoría de polímeros sintéticos son omnipresentes en los materiales que son comercializados y en los productos que usamos en la vida cotidiana tales como plásticos, gomas y ciertos compuestos. (Brescia, 1997)

### 3.4.1. TIPOS DE POLIMERIZACIÓN

Este es un proceso químico en el cual los reactivos en este caso los monómeros, que son los que están compuestos de bajo peso molecular se aglomeran químicamente entre sí, dando lugar a una nueva molécula de gran peso el cual es llamado polímero. En el proceso de construir una molécula polimérica, y por ende obtener el material que queremos ya sea plástico u otro tipo de material, a este ciclo se le denomina como polimerización. Se diferencian dos tipos de procesos de polimerización tales como: polimerización de adición y polimerización de condensación. (Chang, 2002)

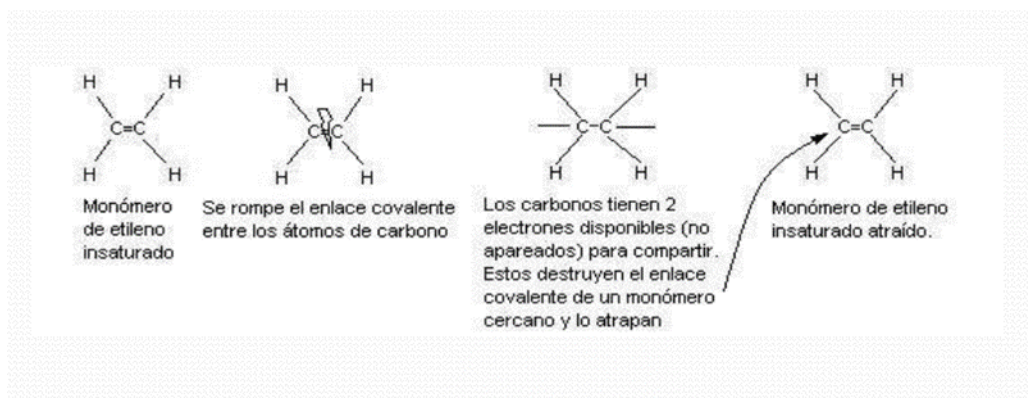


**Ilustración 3-Cuadro Sinóptico de tipos de polimerización**

Fuente: Elaboración Propia (2020).

### 3.4.1.1 Polimerización por adición

En este tipo de clase de polimerización los polímeros son sintetizados por la adición de monómeros insaturados a la cadena creciente, un monómero insaturado es aquel que tiene un enlace covalente, o doble, dentro de sus átomos, estos enlaces covalentes son bastantes reactivos y al ser eliminados permiten que el monómero se pueda acoplar con otros monómeros insaturados. Por ejemplo, al monómero de etileno se le rompe un enlace covalente entre sus dos átomos de carbono dejando dos electrones desapareados. Esto atrae otro monómero de etileno, rompiéndole el enlace covalente y acoplándolo. Así se puede continuar indefinidamente la reacción formando la cadena polimérica. (Chang, 2002)



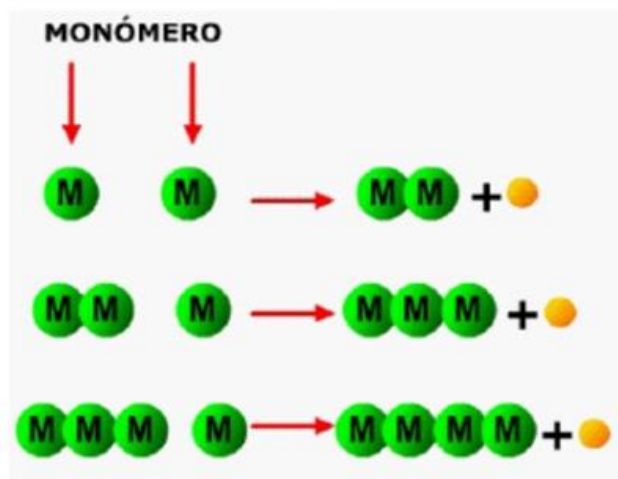
**Ilustración 4-Monómero de etileno**

Fuente: (Brescia, 1997).



### 3.4.1.2 Polimerización por condensación

Este tipo de polimerización se produce por la unión de monómeros con pérdida de una molécula, pequeña como por ejemplo el agua. Por tanto, la masa molecular del polímero no es un múltiplo exacto de la masa molecular del monómero. Los polímeros son más pequeños que los del método de adición y son hetero polímeros o copolímeros, ya que los monómeros de partida tienen que ser distintos. Este proceso en el cual la unión química de dos distintas moléculas en proporción estequiométrica se consigue mediante la formación de una molécula secundaria, el producto residual secundario se extrae rápidamente del polímero para evitar la inhibición del proceso o la aparición de impurezas en los productos finales. (Chang, 2002)



**Ilustración 5-Formación de un monómero**

Fuente: (Brescia, 1997).

### 3.4.2. CLASIFICACIÓN Y CARACTERÍSTICAS DE LOS PROCESOS DE POLIMERIZACIÓN

Los procesos de polimerización fueron clasificados por Carothers en 1929 como polimerización por condensación y adición los ya mencionados antes, esto se basa en la comparación de la fórmula molecular de los polímeros obtenidos con la de los monómeros de los cuales estos están formados. Posteriormente Flory en 1953 proporcionó una nueva base para la clasificación, de acuerdo al mecanismo de la polimerización, definiéndolos como polimerización en etapas y polimerización en cadena. Hoy en día los términos de condensación y etapas, así como la adición y cadena son usados de una manera sinónima. (Behl, 2007).

Las características generales de la polimerización en etapas son las siguientes: Fundamentos de polímeros, mecanismos de polimerización, polimerización catiónica, polimerización aniónica.

#### 3.4.2.1 *Fundamentos de los Polímeros*

La polimerización transcurre mediante reacción entre grupos funcionales, comúnmente de distinta naturaleza, tales como el hidroxilo (-OH), cloruros de acilo (-COCl), amina (-NH<sub>2</sub>), entre otros... y por lo general con la eliminación de una pequeña molécula.

El grupo funcional del resultado de la reacción de los grupos funcionales de los monómeros forma parte de la cadena principal del polímero, repitiéndose varias veces a lo largo de ella, en cualquier instante a lo largo del proceso de polimerización, la mezcla de la reacción consiste en una continua distribución de los tamaños moleculares que comprende desde el mismo monómero hasta el polímero de elevado peso molecular.

- 1) La polimerización transcurre mediante la adición continua de monómero hacia una cadena de crecimiento, que esta contiene un extremo activado hasta el momento de su terminación.
- 2) La reacción transcurre sin una pérdida de materia, por lo que lo que la constituye repetitivamente del polímero y el monómero presentan una estequiometría similar.
- 3) En cualquier momento a lo largo de la polimerización, la mezcla de la reacción tiene una composición constituida por monómeros y polímeros con un grado alto de peso molecular. (Behl, 2007).

#### 3.4.2.1 *Mecanismos de Polimerización*

La polimerización implica a la adición de radicales libres al doble enlace del monómero y se lleva a cabo en las siguientes 3 etapas:

- 1) Iniciación: en esta etapa se involucra una creación del centro activo del radical libre y normalmente tiene lugar en dos pasos.
- 2) Propagación: es esta etapa se van agregando moléculas de monómero al monómero radical que está formado en la primera etapa (iniciación) y así la cadena va aumentando.

- 3) Terminación: en esta etapa se concluye el crecimiento de la cadena del polímero. Los dos mecanismos más comunes de la terminación implican a una reacción biomolecular de las cadenas crecientes del polímero. (Billmeyer Jr, 2004)

#### 3.4.3. POLIMERIZACIÓN CATIONICA

Este tipo de polimerización es iniciada por los ácidos, aunque este tipo de polimerización puede ser iniciada por ácidos protónicos, esto nos lleva a que se formen unos altos polímeros, porque se prefiero el uso de los ácidos de Lewis como  $AlCl_3$ ,  $BF_3$  o  $ZnCl_2$ . Todo esto ocupa un catalizador que actúe como donador de electrones.

Este cocatalizador puede ser agua, este tipo de polimerización, se utiliza con más frecuencia el termino de catalizador iniciador, ya que esta es la que inicia el monómero no se consume en forma visible durante la polimerización. (Conde, 2008)

#### 3.4.4. POLIMERIZACIÓN ANIÓNICA

Esta era empleada en los procesos industriales mucho antes de que se conociese su naturaleza. En Alemania y Rusia se preparaba caucho sintético polimerizando el butadieno con metales alcalinos. La polimerización aniónica puede ser iniciada por basases como  $NaOH$ ,  $KOH$  y  $KNH_2$ , o por compuestos organometálicos.

La mayoría de las polimerizaciones aniónicas tienen un lugar en condiciones en las cuales hay reacciones de terminación y durante su propagación se consume la totalidad del monómero quedando los aniones terminales activos, aun después de consumirse todo el monómero. Estas polimerizaciones reciben el nombre de vivientes, si se añade una cantidad más de monómero, este crecerá sobre los centros activos con el consecuente aumento del peso molecular. Si se añade unos monómeros distintos al primero se obtendrá un polímero di bloque. (Billmeyer, 1973)

### **3.5 INTRODUCCIÓN A LAS TECNOLOGÍAS 3D**

Una de las nuevas tecnologías disruptivas que se ha visto en los últimos años es la tecnología 3D, usualmente vemos nuevas maravillas resaltantes acerca de esta tecnología emergente, pero la pregunta que todos nos hacemos ¿Qué se puede hacer con la impresión 3D? Las nuevas

invenciones acerca de la impresión 3D apunta básicamente a dos objetivos primordiales, el primero: reducir el tiempo necesario para obtener una versión de prueba del producto y el segundo es eliminar las restricciones de los métodos de producción que ya se usan en el mercado y así hacerlo a un menor tiempo de producción (Berchon, 2016).

Esta tecnología ayuda también a reducir las pérdidas en los materiales de producción, nos ofrece un sinfín de ventajas, pero esta tecnología es la idónea para no enfocarse en producciones industriales. La impresión 3D posibilita a cualquier persona a fabricar cualquier tipo de objeto cuando él quiera o necesite, es un proceso de fabricación fantástico para las personas creativas que desean materializar su imaginación, brindando la posibilidad de producir y vender sus creaciones saltando varias de las típicas etapas de producción y distribución. Las metodologías de MA (Manufactura Aditiva) que utilizan polímeros, siguiendo los criterios de ASTM International que esta es la sociedad americana para Pruebas y Materiales, por sus siglas en inglés, es una organización de normas internacionales que desarrolla y publica acuerdos voluntarios de normas técnicas para una amplia gama de materiales, productos, sistemas y servicios. (Berchon, 2016)

### 3.5.1. PRINCIPALES TECNOLOGÍAS PARA LA IMPRESIÓN DE ELASTÓMEROS

Estas principales tecnologías pueden variar entre ellas, dependiendo del estado del material que se use (fundido, líquido) o una forma de la materia prima a utilizar como (filamento, polvo o resina líquida) o el tipo de energía utilizada. (Fernandez Angel, 2019)

En la actualidad se usa una amplia variedad de materiales que van tanto de termoplásticos o fotopolímeros cerámicos o en polvo metálico, en este proyecto de investigación nos centraremos más en los materiales polímeros elastómeros. (Reeves, 2007)

En la actualidad las tecnologías más usadas para la impresión de elastómeros son:

#### 3.5.1.1 *Extrusión de material-Material Extrusion (ME)*

Esta tecnología de extrusión de material más extendida es la del moldeado por deposición de fundido (FDM-Fused Deposition Modelling), este método se basa en la utilización de un polímero en forma de filamento que se expulsa a través de una boquilla cuando se aplica una presión constante. La zona de la boquilla está calentada, esto hace que se permita fundir el material y

depositarlo sobre la plataforma de construcción a una velocidad que se mantiene constante. Una vez depositado, el material o polímero se solidificará por completo y se realizará una sobreposición de una segunda capa, que esto hace que sea uno de los aspectos clave de esta tecnología la unión de las capas depositadas con el material a utilizar, para que se forme una estructura sólida y permanezca en una estructura durante el proceso. Esto requeriría de los parámetros de impresión tales como temperatura, una velocidad de extrusión o la velocidad en la impresión. (Huang. Y, 2015)

### 3.5.1.2 *Sinterizado de polímeros en polvo-Selective Lases Sintering (SLS)*

El sinterizado o fusión de polímeros es uno de los varios procesos de fabricación aditiva en los que se utiliza una fuente térmica como el láser para crear una fusión ya sea parcial o total de las partículas en polvo, este método utiliza un rodillo para depositar el polvo en cada una de sus capas. En este proceso se conocen dos mecanismos existentes para unión de las partículas. El nombre de sinterizado se utiliza en un proceso de fusión parcial, mientras que el método de fusión selectivo se aplica en un proceso de fusión total. En la sinterización en estado sólido, las partículas se unen entre sí de forma parcialmente y se conectan, por tanto, solo en la superficie. Como resultado, obtenemos una porosidad inherente de la pieza, mientras que la fusión por el estado líquido, todas las partículas se unen y fusionan de una manera correcta haciendo que el resultado final quede una pieza totalmente densa con porosidad casi nula. (N, 2007)

### 3.5.1.3 *Fotopolimerización-Vat Photopolymeration (VP) Y Polyjet*

La Fotopolimerización (VP) es un término general que incluye la estereolitografía (SLA) y sus procesos relacionados. La estereolitografía se enfoca específicamente a la fotopolimerización en cuba en la que las resinas foto curables se exponen a un láser y se someten a una reacción química para así volverse más sólidas. Junto con la estereolitografía se ha desarrollado una tecnología de procesado digital (DLP-Digital Light Processing) que usa un proyector DLP para enviar la imagen de la capa del objeto que se solidificara en la resina. Así, mientras que SLA se utiliza un rayo láser que recorre toda la capa total endureciendo punto a punto, en cambio DLP proyecta un tipo de máscara que esta es toda la parte sólida del objeto en esta capa, y el resto en negro.

Donde hay luz se endurece, donde no se queda igual, a partir de ahí la pieza se mueve para dar

lugar a que pase resina líquida nueva y aplicar todo el proceso anterior en la nueva capa. En ambos casos, la reacción química se llama fotopolimerización, que involucra muchos compuestos químicos como foto iniciadores, aditivos y monómeros/oligómeros reactivos. Principalmente utilizado para Los sistemas comerciales de fabricación aditiva pueden curarse en el rango ultravioleta, el foto curado es pequeño proceso fotoquímico el monómero en la cadena de polímero. Generalmente requiere un catalizador La reacción tiene lugar Precio razonable. Polímero debe completamente reticulado para formar moléculas no se disuelve después de la polimerización en monómero líquido. Polyjet es un proceso de fabricación Aditivos para prototipos Casi similar a SLA y DLP, Polyjet También utiliza fotopolímero líquido. Se endurecen por la exposición a la luz láser ultravioleta.

Las impresoras Polyjet poseen dos cabezales de impresión : uno que es el responsable de dispensar el fotopolímero líquido que en la mayoría de los casos pueden contener más de un material y el otro es responsable de una activación de la luz ultravioleta para que así se endurezca el líquido para crear las capas del objeto que busquemos imprimir, este proceso es mucho menos complicado en comparación a la estereolitografía debido al hecho de que no se requiere un depósito de resina cuando se imprime un objeto. (Huang. Y, 2015)

### 3.5.2. MATERIALES POLIMÉRICOS EN LA IMPRESIÓN 3D

Sin duda alguna las más extendidas tecnologías 3D en las que se utilizan materiales poliméricos son: FDM, SLS y Polyjet. Para cualquier proceso de manufactura, incluidas las tecnologías de adición, la materia prima utilizada debe formarse en un estado compatible con el proceso en cuestión, por ejemplo, polvo, lamina, filamento, líquido. Finalmente, el material debe exhibir propiedades de servicio que sean aceptables para realizar con éxito la aplicación dada. Para la mayor parte de las aplicaciones de servicio estrictas, las piezas con manufactura aditiva generalmente se post-procesan de alguna manera para así mejorar la microestructura, reducir la porosidad y para tener un acabado de superficie bueno, reducir la rugosidad y cumplir con las dimensiones requeridas. En la tabla 1 se muestran los materiales más usados para la manufactura aditiva. (Hermann, 2016)

**Tabla 1- Propiedades de polímeros y sus aplicaciones, más usados en la industrial**

**3D**

Propiedades de Polimeros Termoplasticos y Aplicaciones		
Material	Propiedades	Aplicaciones
ABS	Resistente y Fuerte.	Automocion, Aeroespacial, Dispositivos medicos
ASA	Resistencia Mecanica y	Prototipos Funcionales desde soportes y carcasas electricas hasta prototipos de automoviles.
	Estabilidad UV.	
Nylon 12	Resistencia Quimica y	Material ideal para aplicaciones que requieren componentes de proteccion contra impactos y fatiga.
	Alta resistencia al Impacto.	
PC	Alta resistencia a la traccion	Prototipos Funcionales, herramientas y accesorios, moldes para la industria automotriz y aeroespacial.
	Y Flexion.	
PPSF/PPSU	Excelente resistencia quimica, al calor y fuerza mecanica.	Soporta varios metodos de esterilizacion, incluido el oxido de etileno, autoclave y la radiacion.
	Biocompatible, excelente resistencia quimica y estabilidad termica.	
PEI/ULTEM	Excelente resistencia quimica y estabilidad termica.	Es ideal para aplicación rapida de cracion de prototipos y herramientas avanzadas a la industria aeroespacial.
PLA	Buena resistencia a la traccion y	Ideal para modelos y prototipos que requieren detalles esteticos y amigables con el medio ambiente.
	calidad de superficie.	
TPU	Excelente resistencia al desgarrar y al desgaste, alto impacto, fuerza y dureza.	Flexibilidad excepcional, alargamiento, resistencia a ruptura corrosion y altamente versatil con propiedades de caucho.
PETG	Estabilidad termina y una facil extrusion	Ideal para crear piezas resistentes y facil de termoflotar, usado en embases y cosas termicas.
	y duradero.	

Fuente: Elaboración Propia (2020).

**3.5.3. MATERIALES ELASTÓMEROS EN IMPRESIÓN 3D: TIPOS**

Aparte de los materiales ya vistos en la tabla 1 existe una cierta parte de interés para imprimir polímeros con la capacidad de deformarse un valor relativamente grande que son capaces de deformarse con un valor que sea relativamente grande cuando se aplique una fuerza. Este tipo de polímeros entran dentro de la categoría de la familia de los elastómeros o elastómeros y son dos tipos principalmente. Por un lado, los materiales se encuentran los materiales entrecruzados, es decir, los elastómeros habituales tales como: silicona, goma caucho, espuma de poliuretano, entre otros. Por otro lado, los elastómeros termoplásticos, estos la parte química es reemplazada por una red de reticulaciones físicas. Los elastómeros termoplásticos son materiales que son multifásicos donde se combinan en cierta parte con la elastómera y otra entrecruzada a través de enlaces físicos que pueden ser formados o rotos con respecto a la temperatura. Un ejemplo que

podemos ver en la actualidad de los elastómeros termoplásticos son los copolímeros de bloque, estireno-butadieno-estireno donde el estireno es la parte más frágil y la parte elástica está conformada por un bloque de butadieno. En cualquiera que sea el caso, los elastómeros como los termoplásticos se usan en la tecnología de impresión 3D. La elección de cada uno dependerá de cada uno de los diferentes tipos de impresión en 3D. (F, 2017)

### **3.6 HISTORIA DE LAS RUEDAS**

Existen ciertas disconformidades de cuándo y cómo comienza la historia de la rueda o rueda, pero si vemos a las fechas podemos decir que su origen se va hacia las civilizaciones de Egipto y Mesopotamia hace unos 5,000 años, en estas civilizaciones que marcaron el inicio de la historia en la humanidad. Con esta invención la rueda fue uno de los avances más significativos de la época esto hizo que se facilitara el arte de la alfarería y el transporte, así, constituyendo los mejores cambios en la estructura de las sociedades civilizadas.

#### **3.6.1. ¿QUIÉN INVENTO LA RUEDA?**

La rueda fue una importante invención para la historia de la humanidad. Sin embargo, esto ha sido uno de los avances que no se tiene constancia sobre la mente maestra que lo creo. Tampoco, según la arqueología, se tienen registros si se usó para el torno de la alfarería o como una pieza en si para los vehículos. Según unos hallazgos, se tiene una estimación que la primera rueda se empleó en UR o Mesopotamia en el año 3,500 a.C. Entre los varios descubrimientos arqueológicos que sustentan a estas fechas se encuentra uno realizado en el año 2003 en unos pantanos de Eslovenia. En este fue recuperada una rueda junto a un tipo de eje, que, según los estudios, data de una antigüedad del año 3,100 a.C. Este midió 72 cm de diámetro y estaba elaborada de madera de fresno. Por otro lado, se encuentra un ejemplar que data del año 3,500 a.C hallada en 1920 en las excavaciones en Mesopotamia también. Este valioso descubrimiento, llamado Estante de UR, muestra carros tirados por caballos donde se le da un aprovechamiento a las ventajas de la pieza circular.





### **Ilustración 6- Primeras impresiones del uso de la rueda**

Fuente: (Zepeda, 2013)

#### **3.6.2. EVOLUCIÓN DE LA RUEDA**

Existe una constancia que en los años antiguos el hombre usaba rodillos para poder mover objetos con gran peso. Asimismo, usaban el trineo para trasladar la carga de un lugar a otro de una manera más sencilla.

En algún momento, la creatividad los llevo a uno los dos elementos lo que facilitaba aún más su tarea, esto se debe a que mientras el trineo se movía sobre un rodillo, el segundo se ubicaba de manera que sostuviera la carga cuando se supera la mitad o más del primer rodillo.

Con este uso, se abrieron canales o más posibilidades a los rodillos o ruedas, por lo que se dieron cuenta que mientras sea más profunda la ranura, mayor era la distancia recorrida sin necesidad de sustituir el rodillo. Esta acción llevo a la sustitución de los rodillos por la rueda que se fue mejorando al colocar unas clavijas para que estas se unieran al eje en ambos de los lados. Con esto ya el trineo rodaba y se mantenía en una misma posición con respecto al eje.

#### **3.6.3. PERFECCIONAMIENTO DE LA RUEDA**

Una vez que ya contaban con el utensilio, se fue al siguiente paso que era el perfeccionamiento de este mismo. Se estima que la primera mejora fue realizada con un borde de metal, este impedía el desgaste de la rueda fuera rápido. Igualmente, se le adiciono rayos, unas barreras rígidas en la

zona central que estas daban una mayor resistencia, tracción y solidez a la rueda. Toda esta nueva invención se les atribuye a los egiCauchoios quienes fueron los que se adelantaron a esta aplicación. Este avance, aparece como una consecuencia a la necesidad de ahorrar material para construcción y dar mayor velocidad a sus vehículos o trineos.

#### 3.6.4. USOS DE LA RUEDA EN LA HISTORIA

La mayor parte de los historiadores dicen que este invento facilito el proceso de la alfarería, que este es un arte creativo desde la antigüedad. El torno, que al principio se movía con las manos y los pies del alfarero. Con el paso de los años, la incorporación de la rueda en el centro de su eje, superaba la transmisión del movimiento. Ahora solo era necesario un ligero golpe en una rueda inferior que brindaría un soporte giratorio para trabajar el barro de una manera más sencilla. Este fue uno de los mejores avances que sirvió para un fundamento a los nuevos vehículos o los sistemas de transporte. Se cree que las primeras ruedas eran cortes transversales de troncos de árboles. En vista de que estos eran escasos, en ocasiones las ruedas eran fabricadas con partes de madera que son unidas con unas trías de cuero, incluso, este material, era empleado para evitar el desgaste de la madera por su uso constante.

#### 3.6.5. VENTAJAS DEL DESCUBRIMIENTO DE LA RUEDA

Aunque esto se trató de una simple máquina, la rueda ha sido considerada uno de los mejores inventos en la historia de la humanidad. Sus aplicaciones permitieron un gran desarrollo en el área industrial, tanto de transporte, militar y agrícola.

En cada momento de la historia este invento logro satisfacer necesidades como:

- 1) La alfarería: la rueda facilito el trabajo que al principio se realizaba con las manos y pies del alfarero. Ahora es posible con un solo movimiento mecánico
- 2) El transporte: objetos pesados, soldados, militares, entre otros. Se utilizaban plataformas que estas eran arrastradas por caballos lo que agilizo los sistemas de carga.
- 3) Con el paso del tiempo dio lugar a la revolución industrial: esto sirvió como un completo a la realización de grandes maquinarias.

Todos estos factores ya planteados dieron una gran importancia hacia las rutas comerciales entre las diversas existentes civilizaciones que había en el momento. Su evolución ha facilitado grandes inventos, pudiendo ser construidas con múltiples materiales.

### **3.7 INTRODUCCIÓN DE LAS RUEDAS EN LA ROBÓTICA**

El campo de la robótica se está desarrollando rápidamente, y los robots se están convirtiendo gradualmente en una parte importante de la vida cotidiana a la humanidad. Además de áreas clásicas como la robótica industrial, la medicina, entre otras... que utilizan principalmente diversos manipuladores con ciertos factores orientados a tareas como un entorno operativo, esto podría describirse a priori con bastante precisión, la robótica toma gradualmente su lugar en campos menos predecibles, como, por ejemplo, las interacciones con un robot humano y la exploración. En la actualidad, los robots se aplican no solo en instalaciones de fábricas, salas de operaciones de cirugía y almacenes, si no que interactúan a diario con un humano dentro de las instalaciones habituales, incluidas las oficinas, hoteles, pasillos de hospitales y viviendas. A menudo, en tales entornos, los robots móviles requieren la capacidad de operar en un espacio confinado. Una de las selecciones naturales para el espacio confinado que opera en entornos orientados a los humanos hoy en día son los robots bípedos, pero su desarrollo y algoritmos de locomoción especialmente dinámicos estables, detección y gestión de caídas requieren un esfuerzo significativamente mayor que un desarrollo de robots con ruedas convencionales que puedan moverse en espacios confinados. (S, 2013)

#### **3.7.1. ROBOTS MÓVILES**

Un robot es un objeto capaz de locomoción, la robótica móvil hoy en día suele considerarse un subcampo de la robótica e ingeniería de la información. Los robots móviles tienen la capacidad de moverse en cualquier entorno y no están fijados en una cierta ubicación física. Por esto es que se considera a los robots móviles autónomos, lo que significa que son capaces de navegar en un entorno no controlado sin la necesidad de dispositivos de guía físicos o bien electromecánicos. Dado esto las ruedas en los prototipos robóticos son un punto muy importante para su fácil movimiento y desarrollo en superficies no conocidas. (Kim, 2012)



**Ilustración 7-Robot móvil curiosity**

Fuente: (Space, 2012).

#### 3.7.1.1 *Locomoción en robot móviles*

Existe una gran variedad de modos para que un robot pueda moverse en una superficie sólida, entre los robots las más comunes son las ruedas, cadenas y patas. Los robots con ruedas son, con mucho, los más populares por ciertas razones prácticas. Los robots con ruedas son mucho más sencillos y más fáciles de construir, la carga con la que estas ruedas nos permite transportar es mayor, relativamente. Tanto los robots basados en cadenas como en patas se pueden considerar más complicados y más pesados, generalmente, que los robots de ruedas para una misma carga útil. A esto también se le puede añadir el que se pueden transformar vehículos con ruedas de radio control para usarlos como bases de robots.

La mayor preocupación o desventaja en el entorno de las ruedas es su desempeño en un terreno irregular, en el cual se comportan bastante mal. Normalmente un vehículo de ruedas podrá sobrepasar un obstáculo relativamente mayor y son menos susceptibles que las ruedas ya que estas sufren daños en su entorno, como piedras o arena. (Ray, 2009)

#### 3.7.2. DISEÑO DE RUEDAS EN ROBOT MÓVILES

Existen varios tipos de diseños de ruedas para elegir cuando se requiere construir una plataforma móvil sobre ruedas estas pueden ser: Diferencial, sincronizada, triciclo y de coche.

### 3.7.2.1 *Diseño diferencial*

Desde un punto de vista tanto de programación como la parte de construcción, el diseño diferencial es uno de los tipos de diseño que son más amigables para aplicar en los sistemas de locomoción. En este caso el robot puede ir derecho, girar sobre sí mismo y trazar curvas. Un problema importante es como resolver el equilibrio del robot, hay que buscarle un apoyo adicional a las dos ruedas que ya existen, esto se consigue mediante una o dos ruedas que se añaden para que esta sirva de apoyo añadidas en un diseño triangular o romboidal. Este diseño puede ser que no sea suficiente dependiendo de cómo distribuyamos el peso en el robot, y el romboidal puede provocar inadaptación al terreno si este es irregular lo que puede exigir alguna clase de suspensión. (S, 2013)

Cuando los motores encuentran diferentes resistencias en base a la superficie las velocidades de los motores van a variar y el robot girara incluso cuando se haya ajustado inicialmente para que el robot tenga un movimiento en línea recta. Esto quiere decir que la velocidad deber ser contralada de una manera dinámica, o sea, debe existir un medio de monitorizar y cambiar la velocidad del motor mientras este avanza. De esta manera la simplicidad del diseño queda minimizada por la complejidad del sistema de control de la velocidad, no obstante, la reducción mecánica en la complejidad electrónica y del software es frecuentemente una elección más barata y fiable. (Kim, 2012)

### 3.7.2.2 *Diseño sincronizado*

En este tipo de diseño todas las ruedas (generalmente se usan tres) son tanto de dirección como motrices, las ruedas están enclavadas de tal forma que siempre se dirigen hacia la misma dirección. Para cambiar la dirección del robot tienen que girar al mismo tiempo o simultáneamente todas sus ruedas alrededor de un eje vertical, de modo que la dirección cambia, pero su chasis sigue apuntando a la dirección que ya tenía antes. Si el robot tiene una parte delantera que sea asimétrica presumiblemente donde se ubican la mayoría de los sensores, se tendrá que optar por un procedimiento para que su cuerpo se oriente a la misma dirección que sus ruedas. El diseño sincronizado en la mayor parte de los casos supera las dificultades que

plantean el diseño diferencial, de coche, pero a coste de una mayor dificultad en la parte mecánica. (Inaki, Javier, Kubler, & Javier, 2009)

### 3.7.2.3 *Diseño de triciclo y coche*

El diseño de coche con sus cuatro ruedas con suspensión proporciona una buena estabilidad, el diseño en triciclo tiene unas prestaciones similares con la ventaja de ser mecánicamente más simple ya que el coche necesita alguna unión entre sus ruedas direccionales. En general, estos diseños son de solo dos ruedas direccionales no son motrices, y tampoco es necesario controlar la velocidad de las ruedas para que el robot se mantenga derecho o se mueva en una línea recta. (D, 2005)

### 3.7.3. **SISTEMAS HOLONOMICOS Y NO HOLONOMICOS**

Primero necesitamos distinguir entre sistemas holonomicos y no holonomicos. Un sistema se llama holonomico si un numero de grados de libertad controlados (DoF) es igual a un número total de DoF. Por lo tanto, un robot es un sistema no holonomico si un número de sus grados controlados es menor que un número total de grados de libertad. La propiedad de holonomicidad depende directamente del tipo de ruedas del robot. Consideremos un robot holonomico similar a un automóvil, que generalmente es un sistema de ruedas que no pueden moverse libremente a ninguna dirección. Al mismo tiempo, un robot, que está equipado con ruedas omnidireccionales, se vuelve holonomico. (D, 2005)

#### 3.7.3.1 TIPOS DE RUEDAS EN SISTEMAS HOLONOMICOS Y NO HOLONOMICOS

##### 3.7.3.1.1 *Rueda convencional*

Estas ruedas son similares a una construcción de rueda universal, excepto que los rodillos están montados con su eje en un ángulo de 45 grados con respecto a un eje de una base de rueda activa Ilustración 8. Fue desarrollado por primera vez por una empresa Mecanum AB en 1973 por Bengt Ilon. Dado que el diseño de una rueda mecanum es complejo, el costo de fabricación es mayor en comparación con las ruedas universales. Estas ruedas son capaces de rodar alrededor de un eje de una rueda activa (es decir, una rueda base) y también alrededor del eje de los rodillos en un ángulo de 45 grados. Aplicando diferentes velocidades a cada rueda, un robot puede

moverse en cualquier dirección; Las ruedas llon clásicas tienen 3 grados de libertad: rotación de la rueda, rotación del rodillo y deslizamiento rotacional sobre el eje vertical que pasa a través de un punto de contacto con la superficie de locomoción. Por lo tanto, las ruedas Mecanum pueden moverse en la dirección deseada, permita un movimiento diagonal con respecto a la dirección del rumbo y una rotación alrededor de un eje vertical del robot en su lugar. En las siguientes secciones se considerarán más detalles sobre las fortalezas y los inconvenientes de la rueda. (Kuzyk, 2010)



**Ilustración 8-Rueda Convencional**

Fuente: (Kuzyk, 2010)

#### 3.7.1.1.2 *Rueda Volante*

A primera vista, un volante puede parecerse completamente a un volante convencional, pero tiene una estructura mecánica diferente. El término dirección significa no solo una rueda, sino un cierto mecanismo de dirección, que permite que una rueda convencional gire alrededor de su eje vertical. Para este propósito, un mecanismo utiliza un motor de dirección para controlar una dirección de movimiento (es decir, una rotación alrededor del eje vertical) de una rueda, y un motor de accionamiento para proporcionar locomoción hacia adelante y hacia atrás. De esta manera, la misma rueda física podría usarse en el papel de una rueda convencional o, al conectar un mecanismo de dirección, podría transformarse en un volante. (Ray, 2009)

#### 3.7.1.1.3 *Rueda Giratoria*

Otro tipo de rueda es un lanzador o a veces este es llamado castor Ilustración 9-1b2. Las ruedas giratorias tienen una amplia aplicación no solo en la robótica, sino que también se utilizan en

equipos médicos y de servicio, fabricación, etc. El uso de ruedas giratorias ayuda a lograr una movilidad casi omnidireccional de un robot móvil o cualquier otro vehículo mecánico. Algunos fabricantes dividen las ruedas giratorias estrictamente en dos categorías: ruedas rígidas y ruedas giratorias. En el caso de una rueda rígida, la rueda solo puede girar hacia adelante y hacia atrás. Para una categoría de rueda giratoria, la rueda puede girar pasivamente 360 grados con respecto al eje vertical, así como girar hacia adelante y hacia atrás, proporcionando un movimiento libre de la rueda. Un tipo especial de rueda giratoria es una rueda giratoria Ilustración 9-1b1, que proporciona un movimiento libre en todas las direcciones debido al uso de una esfera pasiva en el papel de una rueda. (Ray, 2009)



**Ilustración 9-Rueda Castor y rueda giratoria**

Fuente: (Kuzyk, 2010)

#### 3.7.1.1.4 *Rueda universal Omni Wheel*

La idea básica de una rueda omnidireccional es una combinación de una rueda activa principal y rodillos pasivos de rotación libre. La rueda activa y los rodillos tienen sus propios ejes de rotación y, en el caso de las ruedas universales, los ejes de los rodillos pasivos son ortogonales al eje de la rueda principal. Mientras una rueda activa gira en sentido horario o antihorario con respecto a su eje de rotación, la combinación de la rotación activa de varias ruedas activas con rodillos de rotación pasiva permite soportar locomoción casi en cualquier dirección. Típicamente, los rodillos tienen una forma cilíndrica Ilustración 10 y su número puede variar. Aunque las ruedas omnidireccionales proporcionan una locomoción libre en un espacio 2D, tienen una serie de desventajas (por ejemplo, ineficiencia en una superficie sucia). (S, 2013)





**Ilustración 10-Rueda Omniwheel**

Fuente: (Kuzyk, 2010)

#### 3.7.1.1.5 *Rueda Mecanum*

Estas ruedas son similares a una construcción de rueda universal, excepto que los rodillos están montados con su eje en un ángulo de 45 grados con respecto a un eje de una base de rueda activa, véase la ilustración 11. Fue desarrollado por primera vez por una empresa Mecanum AB en 1973 por Bengt Ilon. Dado que el diseño de una rueda mecanum es complejo, el costo de fabricación es mayor en comparación con las ruedas universales. Estas ruedas son capaces de rodar alrededor de un eje de una rueda activa (es decir, una rueda base) y también alrededor del eje de los rodillos en un ángulo de 45 grados. Aplicando diferentes velocidades a cada rueda, un robot puede moverse en cualquier dirección; Las ruedas Ilon clásicas tienen 3 grados de libertad: rotación de la rueda, rotación del rodillo y deslizamiento rotacional sobre el eje vertical que pasa a través de un punto de contacto con la superficie de locomoción. Por lo tanto, las ruedas Mecanum pueden moverse en la dirección deseada, permita un movimiento diagonal con respecto a la dirección del rumbo y una rotación alrededor de un eje vertical del robot en su lugar y permiten a los diseñadores de robots inteligentes crear transmisiones capaces de moverse en cualquier dirección usando una forma de chasis estándar, el operador simplemente puede usar cada rueda con un motor diferente y cambiar la dirección de las ruedas giran para conseguir que el robot se mueva en diferentes direcciones, estas permiten una zona de contacto constante con un perfil estrecho. (Kuzyk, 2010)



**Ilustración 11-Rueda Mecanum**

Fuente: (Kuzyk, 2010)

### **3.8 INTRODUCCIÓN A LAS RUEDAS CONVENCIONALES**

Un neumático o llanta como lo conocemos en la actualidad es una carcasa de goma resistente y flexible, que está unida al borde de una rueda. Los neumáticos proporcionan una superficie de agarre para la tracción y sirven como un amortiguador para las ruedas de un vehículo o prototipo en movimiento. Los neumáticos se encuentran en automóviles, camiones, autobuses, trenes de aterrizaje de aeronaves, tractores y otros equipos agrícolas, vehículos industriales como carretillas elevadoras y otros medios de transporte que son comunes tales como la bicicleta, sillas de rueda y motocicleta.

El aire de las llantas se mantiene bajo presión dentro del neumático, hasta hace poco, los neumáticos tenían un tubo interno para mantener la presión del aire, pero ahora los neumáticos están diseñados para formar un sello de presión con el borde de la rueda.

El inventor escocés Robert Thomson desarrolló el neumático con cámara interna en 1845, pero su diseño se adelantó a su tiempo y trajo poco interés. El neumático fue reinventado en la década de 1880 por otro escocés, John Boyd Dunlop, y se hizo inmediatamente popular entre los ciclistas. (Kovac, 1978)

El caucho natural es la principal materia prima utilizada en la fabricación de neumáticos, aunque también se utiliza cauchos sintéticos. Sin embargo, para desarrollar las características adecuadas de resistencia, la elasticidad y resistencia al desgaste, el caucho debe tratarse con una variedad

de productos químicos y luego calentarse. El inventor estadounidense Charles Goodyear descubrió el proceso de fortalecimiento del caucho, conocido como vulcanización o curado, en 1839. Este había estado experimentando con el caucho desde 1830, pero no había podido desarrollar un proceso adecuado. Durante un experimento con una mezcla de goma y azufre, Goodyear dejó caer la mezcla en una estufa caliente, se produjo una reacción química y, en lugar de fundirse, la mezcla de caucho y azufre formó un bulto duro. Continuó sus experimentos hasta que pudo tratar láminas continuas de goma. Hoy en día las fábricas con personal calificado producen más de 250 millones de neumáticos nuevos al año. Aunque la automatización guía muchos pasos en el proceso de fabricación, aun se requieren trabajadores para ensamblar los componentes de un neumático. (Kovac, 1978)

### 3.8.1. MATERIAS PRIMAS

El caucho es la principal materia prima utilizada en la fabricación de neumáticos, y se utilizan tanto caucho natural como sintético. El caucho natural se encuentra como un líquido lechoso en la corteza del árbol del caucho (*Hevea Brasiliensis*). Para producir el caucho crudo utilizado en la fabricación de neumáticos, el látex líquido se mezcla con ácidos que hacen que el caucho se solidifique. Las prensas exprimen el exceso de agua y forman el caucho en láminas, y luego las láminas se secan en ahumaderos altos, se prensan en enormes fardos y se envían a fábricas de neumáticos en todo el mundo. El caucho sintético se produce a partir de los polímeros que se encuentran en el petróleo crudo. (Transportation, 2001)

El otro ingrediente principal en el caucho de los neumáticos es el negro de humo. El negro de carbón es un polvo fino y blando creado cuando se quema petróleo crudo o gas natural con una cantidad limitada de oxígeno, lo que provoca una combustión incompleta y crea una gran cantidad de hollín fino. Se requiere tanto negro de carbón para fabricar neumáticos que los vagones de ferrocarril lo transportan, y enormes silos almacenan el negro de carbón en la fábrica de neumáticos hasta que se necesita.

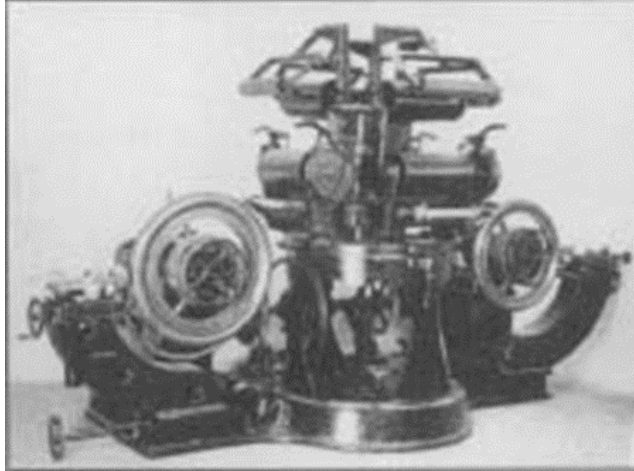
El azufre y otros productos químicos también se utilizan en los neumáticos. Los productos químicos específicos, cuando se mezclan con caucho y luego se calientan, producen características específicas de los neumáticos, como alta fricción, pero bajo kilometraje para un neumático de

carrera o alto kilometraje, pero menor fricción para un neumático de automóvil. Algunos productos químicos mantienen el caucho flexible mientras se transforma en un neumático, mientras que otros productos químicos protegen el caucho de la radiación ultravioleta a la luz del sol. (Transportation, 2001)

### 3.8.2. DISEÑO

Las características principales de un neumático de automóvil de pasajeros son la banda de rodadura, el cuerpo con paredes laterales y las perlas. La banda de rodadura es el patrón elevado en contacto con la carretera. El cuerpo soporta la banda de rodadura y le da al neumático su forma específica. Las cuentas son haces de alambre de metal recubiertos de goma que sujetan el neumático en la rueda. Los sistemas informáticos ahora juegan un papel importante en el diseño de neumáticos. El software de análisis complejo que actúa sobre años de datos de prueba permite a los ingenieros de neumáticos simular el rendimiento del diseño de la banda de rodadura y otros parámetros de diseño. El software crea una imagen tridimensional en color de un posible diseño de neumático y calcula los efectos de diferentes tensiones en el diseño de neumático propuesto. Las simulaciones por computadora ahorran dinero para los fabricantes de neumáticos porque se pueden descubrir muchas limitaciones de diseño antes de que un neumático tipo prototipo sea realmente ensamblado y probado. Además de las pruebas de diseño de la banda de rodadura y la construcción del cuerpo del neumático, las computadoras pueden simular los efectos de diferentes tipos de compuestos de caucho. En un neumático moderno para turismos, se pueden utilizar hasta veinte tipos diferentes de caucho en diferentes partes del neumático.

Se puede usar un compuesto de goma en la banda de rodadura para una buena tracción en climas fríos; otro compuesto se usa para aumentar la rigidez en las paredes laterales del neumático. Una vez que los ingenieros de neumáticos están satisfechos con los estudios informáticos de un neumático nuevo, los ingenieros de fabricación y los ensambladores de neumáticos expertos trabajan con los diseñadores para producir prototipos de neumáticos para las pruebas. Cuando los ingenieros de diseño y fabricación están satisfechos con un nuevo diseño de neumático, las fábricas de neumáticos comienzan la producción en masa del neumático nuevo. (Kovac, 1978)



**Ilustración 12- Máquina para fabricar neumáticos inventada por W. C. State of Goodyear Tire Company en 1909**

Fuente: (Kovac, 1978).

La historia de los neumáticos proporciona un excelente ejemplo de cómo las innovaciones en una industria pueden causar cambios masivos en otra. En pocas palabras, el "despegue" de la industria del automóvil transformó la industria del caucho en los Estados Unidos durante los primeros años del siglo XX. La industria del caucho de fines del siglo XIX se concentró en la producción de calzado y neumáticos para bicicletas y carruajes. En la Primera Guerra Mundial, los neumáticos de goma y de automóvil eran prácticamente sinónimos en la opinión pública. Siete mil ventas de autos nuevos en 1901 fueron acompañadas por la venta de 28,000 llantas como equipo original (OE) y 68,000 llantas de reemplazo adicionales. Para 1918, con los neumáticos formando aproximadamente el cincuenta por ciento de las ventas de caucho, las ventas de neumáticos de equipo original superaron los cuatro millones para el millón de automóviles nuevos producidos y la producción total de neumáticos alcanzó los 24.5 millones. Este gran aumento en la producción fue acompañado por la aparición de empresas ahora conocidas como Goodyear, Goodrich y Firestone, y la formación del centro de la industria en Akron, Ohio. Y aunque el empleo se disparó, los aumentos de producción solo fueron posibles con la ayuda de la tecnología. La innovación fundamental fue la mecanización del edificio central. Antes de 1910, los trabajadores construían los neumáticos estirando, cementando y cosiendo cada capa y las cuentas alrededor de un núcleo de hierro. En 1909, W. C. State, de la compañía Goodyear, patentó una máquina que transportaba los pliegues, las cuentas y la banda de rodadura en los rodillos transportados en una torreta

central. El trabajador sacó el material apropiado sobre el núcleo mientras el motor eléctrico de la máquina mantenía la tensión adecuada para que el trabajador pudiera terminar de cementar y coser. La habilidad y la destreza siguieron siendo importantes, pero la máquina de construcción de núcleos simplificó y aceleró la producción de seis a ocho llantas por día por trabajador a veinte a cuarenta por día, dependiendo del tipo. (Mechanics, 2015)

### 3.8.3. PROCESOS DE MANUFACTURA

El neumático de un automóvil de pasajeros se fabrica envolviendo múltiples capas de caucho especialmente formulado alrededor de un tambor de metal en una máquina formadora de neumáticos. Los diferentes componentes del neumático se llevan a la máquina de conformación, donde un ensamblador experto corta y coloca las tiras para formar las diferentes partes del neumático, llamado "neumático verde" en este punto. Cuando se termina un neumático verde, el tambor metálico se derrumba, lo que permite que el ensamblador del neumático lo quite. El neumático verde se lleva a un molde para curar. (Mechanics, 2015)

#### 3.8.3.1 *Pasos del proceso de manufactura*

- 1) El primer paso en el proceso de fabricación de neumáticos es la mezcla de materias primas para formar el compuesto de caucho. Los vagones de ferrocarril entregan grandes cantidades de caucho natural y sintético, negro de humo, azufre y otros productos químicos y aceites, todos los cuales se almacenan hasta que se necesitan. Los sistemas de control por computadora contienen varias recetas y pueden medir automáticamente lotes específicos de caucho y productos químicos para mezclar. Mezcladores gigantes, colgando como mezcladores de cemento verticales, agitan el caucho y los productos químicos en lotes de hasta 1.100 libras.
- 2) Cada mezcla se vuelve a mezclar con calentamiento adicional para ablandar el lote y mezclar los productos químicos. En un tercer paso, el lote vuelve a pasar por un mezclador, donde se agregan productos químicos adicionales para formar lo que se conoce como la mezcla final. Durante los tres pasos de la mezcla, se aplica calor y fricción al lote para ablandar el caucho y distribuir uniformemente los productos químicos. La composición

química de cada lote depende de la parte del neumático: ciertas formulaciones de caucho se usan para el cuerpo, otras fórmulas para las perlas y otras para la banda de rodadura.

- 3) Una vez que se ha mezclado un lote de caucho, pasa a través de potentes laminadores que exprimen el lote en láminas gruesas. Estas hojas se utilizan para fabricar las partes específicas del neumático. El cuerpo del neumático, por ejemplo, consiste en tiras de tela similar a tela que están cubiertas con goma. Cada tira de tela recubierta de goma se usa para formar una capa llamada capa en el cuerpo del neumático. Un neumático de automóvil puede tener hasta cuatro capas en el cuerpo.
- 4) Para los cordones de una llanta, los haces de alambre se forman en una máquina de envoltura de alambre. Los paquetes se forman en anillos, y los anillos se cubren con goma.
- 5) El caucho para la banda de rodadura del neumático y las paredes laterales viaja desde la mezcladora por lotes a otro tipo de máquina de procesamiento llamada extrusora. En la extrusora, el lote se mezcla y calienta más y luego se expulsa a través de una matriz, un orificio conformado, para formar una capa de caucho. El caucho de la pared lateral está cubierto con una lámina protectora de plástico y enrollado. El caucho de la banda de rodadura se corta en tiras y se carga en grandes cajas planas de metal llamadas libros.
- 6) Los rollos de goma de la pared lateral, los libros que contienen goma de rodadura y los bastidores de todas las cuentas se entregan a un ensamblador experto en una máquina para fabricar neumáticos. En el centro de la máquina hay un tambor giratorio plegable que sujeta las partes del neumático. El ensamblador de neumáticos comienza a construir un neumático envolviendo las capas de tela cubiertas de goma del cuerpo alrededor del tambor de la máquina. Después de que los extremos de estas capas se unen con pegamento, las perlas se agregan y se bloquean en su lugar con capas adicionales del cuerpo del neumático colocadas sobre las perlas. A continuación, el ensamblador utiliza herramientas eléctricas especiales para dar forma a los bordes de las capas del neumático. Finalmente, las capas de caucho extruido para las paredes laterales y la banda de rodadura se pegan en su lugar, y el neumático ensamblado, el neumático verde, se retira de la máquina de fabricación de neumáticos.

- 7) Se coloca un neumático verde dentro de un molde grande para el proceso de curado. El molde de un neumático tiene la forma de una monstruosa almeja de metal que se abre para revelar un globo grande y flexible llamado vejiga. El neumático verde se coloca sobre la vejiga y, a medida que se cierra el molde de la cubierta, la vejiga se llena de vapor y se expande para dar forma al neumático y forzar el caucho de la banda de rodadura contra el interior elevado del molde. Durante este proceso de curado, el vapor calienta el neumático verde hasta 280 grados. El tiempo en el molde depende de las características deseadas en el neumático.
- 8) Una vez que se completa el curado, se retira el neumático del molde para enfriarlo y luego probarlo. Cada neumático se inspecciona minuciosamente en busca de fallas, como burbujas o huecos en el caucho de la banda de rodadura, la pared lateral y el interior del neumático. Luego, el neumático se coloca en una rueda de prueba, se infla y se hace girar. Los sensores en la rueda de prueba miden el equilibrio del neumático y determinan si el neumático funciona en línea recta. Debido al diseño y montaje de un neumático moderno, rara vez se rechaza uno. Una vez que el neumático ha sido inspeccionado y puesto en funcionamiento en la rueda de prueba, se traslada a un almacén para su distribución.  
(Week, 2012)

#### 3.8.4. CONTROL DE CALIDAD

Este comienza con los proveedores de las materias primas. Hoy, un fabricante de neumáticos busca proveedores que prueben las materias primas antes de que se entreguen a la planta de neumáticos. Un fabricante a menudo celebrará acuerdos de compra especiales con unos pocos proveedores que proporcionan una certificación detallada de las propiedades y la composición de las materias primas. Para asegurar la certificación de los proveedores, los químicos de las compañías de neumáticos realizan pruebas aleatorias de las materias primas a medida que se entregan. A lo largo del proceso de mezcla por lotes, se extraen y prueban muestras de caucho para confirmar diferentes propiedades, como la resistencia a la tracción y la densidad. Los números de código y un sistema completo de mantenimiento de registros por computadora permiten a los gerentes de planta rastrear lotes de caucho y componentes específicos de



neumáticos. Cuando se fabrica un nuevo diseño de neumático por primera vez, se toman cientos de neumáticos del final de la línea de montaje para realizar pruebas destructivas. Algunas de las llantas, por ejemplo, se abren en rodajas para verificar si hay bolsas de aire entre las capas del cuerpo, mientras que otras se presionan sobre pernos de metal para determinar la resistencia a la perforación. Aún otros neumáticos se hacen girar rápidamente y se fuerzan a tambores metálicos para probar el kilometraje y otras características de rendimiento. También se utiliza una variedad de técnicas de evaluación no destructivas en el control de calidad de los neumáticos. Los rayos X proporciona una vista rápida y reveladora a través de un neumático. En una prueba de llanta de rayos X, una llanta se selecciona al azar y se lleva a una cabina de radiación donde se bombardea con rayos X. Un técnico de prueba ve la imagen de rayos X en una pantalla de video, donde los defectos de los neumáticos se pueden detectar fácilmente. (Week, 2012)

## IV. METODOLOGÍA

La metodología es la explicación de los mecanismos utilizados para el análisis de nuestra problemática de investigación. Sirviendo de guía, ya que a través de métodos, técnicas y procedimientos permite determinar los instrumentos a utilizar para recabar información valiosa para la investigación. El presente proyecto de investigación hará uso de tecnologías adecuadas para que estas sean implementadas de una mejor manera con un propósito de desarrollar un modelo de ruedas que nos pueda servir de mucha ayuda a la locomoción de un prototipo móvil o bien un prototipo robótico.

### 4.1. ENFOQUE Y MÉTODO

La presente investigación tiene un enfoque mixto. El enfoque mixto puede ser un proceso que recolecta, analiza y vierte datos cuantitativos y cualitativos, en un mismo estudio. (Teddlie, 2014)

En este proceso de la investigación, se llevó a cabo varios procedimientos para identificar mediante análisis una solución viable al problema.

### 4.2. VARIABLES DE INVESTIGACIÓN

Las se identifican por medio de la formulación del problema. Se extiende una tabla con cada una de sus variables resumiendo todos los puntos clave del proyecto como ser, el problema que motiva la presente investigación, el objetivo general, las preguntas de investigación, los objetivos específicos, las variables independientes y por ultimo las variables dependientes. Véase la tabla 2.

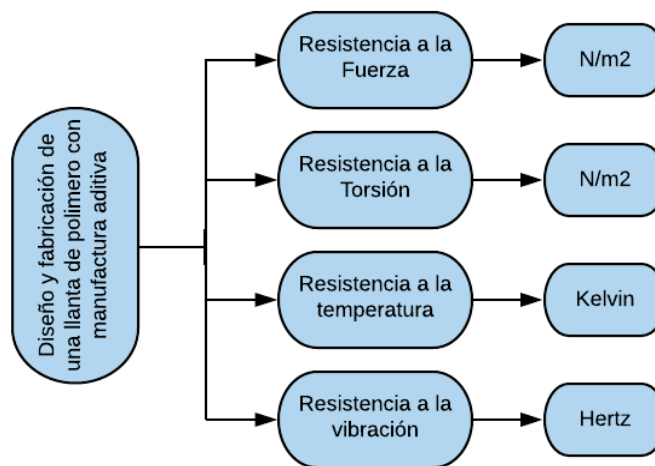
**Tabla 2-VARIABLES de Investigación**

<b>Diseño y fabricación de una rueda a base de polímero por medio de la manufactura aditiva</b>					
<b>Título</b>	<b>Objetivo General</b>	<b>Preguntas de Investigación</b>	<b>Objetivos Específicos</b>	<b>Variables Independientes</b>	<b>Variables Dependientes</b>
¿Cuál es el diseño y método de fabricación adecuado para	Determinar el método óptimo para poder tener una	1) ¿Es posible la fabricación de ruedas mediante la manufactura aditiva?	1) Utilizar la manufactura aditiva para la fabricación de ruedas.	Resistencia a la fuerza que puede soportar una	Diseño y fabricación de una rueda

la elaboración de rueda a base de polímero por medio de la manufactura aditiva?	fabricación de ruedas utilizando la manufactura aditiva y con la ciencia de los distintos materiales que se utilizaran, para obtener un material resistente, que nos sirva para un prototipo robótico o un prototipo móvil.	2) ¿Qué polímeros resultan más resistentes para la fabricación de ruedas?	2) Realizar simulaciones para comprobar que polímero resulta más resistente para la fabricación.	rueda con cada polímero.  Resistencia a la torsión que pueda soportar la rueda con cada polímero	a base de polímero por medio de la manufactura aditiva.
		3) ¿Dentro de los polímeros utilizados para la fabricación, cual genera mayor vibración?	3) Realizar pruebas de vibración para comprobar que polímero genera mayor vibración.	Resistencia a la temperatura que pueda soportar la rueda con cada polímero.	
				Resistencia a la vibración que presenta el prototipo final.	

Fuente: Elaboración Propia (2020).

El diseño y fabricación de una rueda a base de polímeros por medio de la manufactura aditiva será la variable dependiente que se estableció y las variables independientes son aquellas variables que afectan directamente el diseño de nuestro prototipo, véase la ilustración 13.



**Ilustración 13-Diagrama de variables de investigación**

Fuente: Elaboración Propia (2020).

Se establecieron 4 variables independientes, con sus respectivas unidades para realizar el adecuado seguimiento de la variable dependiente.

### **4.3. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS APLICADOS**

Las técnicas e instrumentos utilizados en el desarrollo del proyecto tenían como objetivo obtener resultados precisos y adquirir datos indispensables para facilitar el desarrollo de un prototipo óptimo.

La investigación fue un pilar decisivo en el desarrollo del presente proyecto, en lo que respecta a, se utilizaron recursos de fuentes confiables, tales como ser, libros, documentos de revistas, tesis universitarias, etc.

### **4.4. MATERIALES**

En lo que respecta a los materiales utilizados, fueron seleccionados con el objetivo de un correcto desarrollo, ya sea en la parte de diseño, como en la parte mecánica, en referencia a lo antes mencionado se presentan los principales materiales:

- TPU: es el primer polímero con más resistencia de fuerza, torsión y temperatura.
- PETG: es el segundo polímero con más resistencia de fuerza, torsión y temperatura.
- Microcontrolador ATMEGA: es el controlador utilizado para realizar la programación del sensor en las pruebas de vibración.
- Sensor MPU6050: es el encargado de procesar los datos de vibración del motor.
- Motor de 122 RPM: son los encargados del movimiento de la rueda para las pruebas de resistencia.

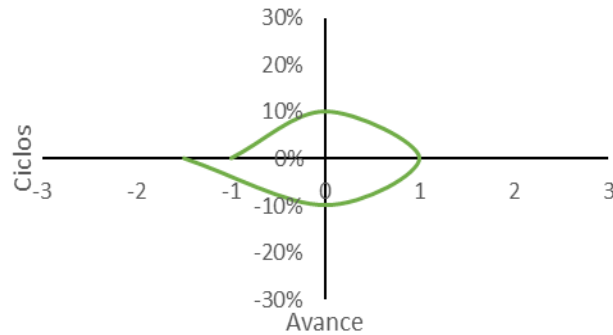
Por otra parte, para el desarrollo del prototipo fueron útiles los softwares como ser, SolidWorks, Ultimaker Cura Arduino IDE, LabVIEW entre otros.

### **4.5. METODOLOGÍA DE ESTUDIO**

En la presente sección se remite a los métodos utilizados para el desarrollo del problema planteado anteriormente, especificando las actividades que se realizaron basándose en la metodología de espiral para la validación de nuestra hipótesis. Este modelo nos presenta cuatro

pasos principales de los cuales surgen nuevas actividades, tan pronto culmina un paso del desarrollo, inicia otro. Hecha la observación anterior, se presentan los pasos que permitieron el desarrollo de la presente investigación:

#### 4.5.1. CICLO 1 MÉTODO ESPIRAL



Fuente: Héctor Jiménez (2020).

#### **Ilustración 14-Primera Espiral con investigación de los polímeros adecuados para la fabricación de ruedas**

- Etapa I.I: determinar los objetivos para obtener el polímero adecuado para la fabricación de ruedas.

En esta etapa presentamos los objetivos específicos que ya se plantearon, límites, presupuesto, cronograma y condiciones de entorno, para luego predecir la duración de cada una de las actividades una por una. Para nuestra primera espira se analizó el polímero adecuado para la fabricación de ruedas, tomando en cuenta varios factores como resistencia, amigable con el ambiente y que sea un polímero de fácil adquisición. Se determinó que debe ser concluida en la primera semana.

- Etapa II.I: análisis de riesgo que presenta el polímero escogido.

Se identificó que los polímeros utilizados actualmente por la industria moderna son contaminantes para el ambiente, por lo que, procedimos a investigar un polímero que sea amigable con el ambiente.

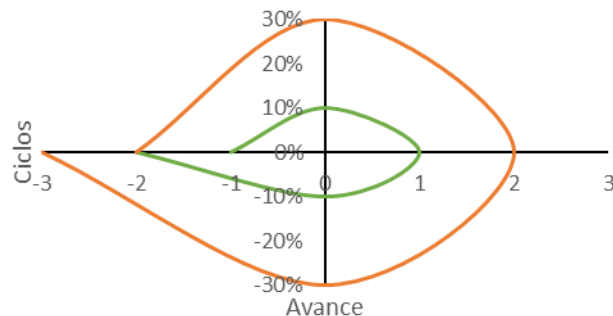
- Etapa III.I: desarrollar, verificar y validar el polímero.

En este tercer paso, después de ver los riesgos, damos como iniciado el desarrollo de nuestro material que en este caso será un polímero. Para esta parte se toman en cuenta la información obtenida para la utilización de este polímero y luego se procede al diseño de estas. Para tomar en cuenta el polímero a utilizar nos guiaremos por su fácil degradación en el medio ambiente. Se enlistarán las investigaciones planificadas a realizar:

1. Investigar cuales son los tipos de polímeros que se usan en la manufactura aditiva.
  2. Investigar que polímeros son los más utilizados en la manufactura aditiva.
  3. Validar si los polímeros son de fácil adquisición en el mercado y si son amigables con el medio ambiente.
- Etapa IV.I: planificar siguiente paso a la obtención del polímero.

Para finalizar esta primera espira con éxito, se evalúan los resultados obtenidos en los distintos tipos de polímeros con los que se puede fabricar una rueda luego se planifica un diseño adecuado a la rueda para así facilitar su uso en cualquier tipo de superficie.

#### 4.5.2. CICLO 2 MÉTODO ESPIRAL



#### **Ilustración 15-Segunda espira con diseño CAD para la rueda adecuada**

Fuente: Héctor Jiménez (2020).

- Etapa I.II: determinar o fijar los objetivos para el diseño de la rueda.

Para el inicio de esta segunda espira se determinó la necesidad de diseñar un modelo de rueda para un mejor uso en cualquier tipo de prototipo móvil con ruedas, así logrando una mejor locomoción en varias superficies del suelo, tomando en cuenta las irregularidades del mismo.

- Etapa II.II: análisis de riesgo al elaborar el diseño de la rueda.

Con el seguimiento de la segunda espiral se presentó una problemática, para que la rueda tenga un buen rendimiento en cualquier superficie que se le presenta, esto conlleva al diseño de un buen modelo de rueda, para así poder resolver el problema presentado en este espiral.

- Etapa III.II: desarrollar, verificar y validar diseño de la rueda.

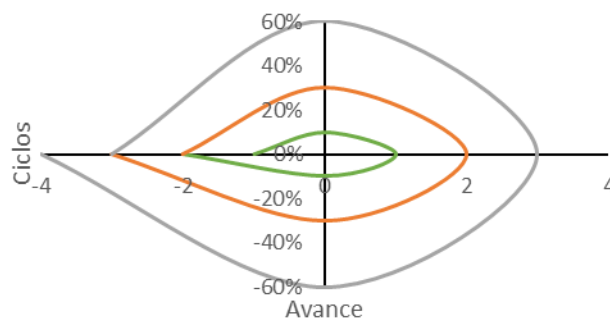
Se implementará un diseño que sera factible y de fácil uso para los prototipos con ruedas, compararemos las ruedas comúnmente usadas ya en otros prototipos robóticos con el nuevo diseño para así obtener una mejora al nuevo diseño. Se harán las siguientes investigaciones:

1. Investigar el tipo de ruedas más usados en los prototipos robóticos.
2. Investigar que diseño es el más adecuado para una mejor locomoción.
3. Evaluar los resultados para definir un diseño final del prototipo.

- Etapa IV.II: planificar las acciones siguientes al diseño de la rueda.

Una vez viendo el resultado final obtenido en la rueda, si tenemos un resultado negativo con este, se tendrá que proceder a dar inicio a este ciclo, utilizando un nuevo diseño hasta obtener el diseño adecuado para su uso.

#### 4.5.3. CICLO 3 MÉTODO ESPIRAL



Fuente: Héctor Jiménez (2020).

#### **Ilustración 16-Tercera espiral con pruebas de resistencia a la rueda con polímeros mejor calificados**

- Etapa I.III: determinar los objetivos para las pruebas de resistencia en la rueda.

Para la tercera espiral, se empleó el uso de pruebas de resistencia en la rueda ya con sus polímeros definidos, así obtendremos nuestro producto final con los detalles que queremos tomar en cuenta.

- Etapa II.III: análisis de riesgos de pruebas de resistencia.

Tanto en el diseño, como en el polímero final debe tener una buena resistividad a las distintas pruebas que se le presenten, si no esté afectara al prototipo móvil.

- Etapa III.III: desarrollo, verificar y validar las pruebas de resistencia.

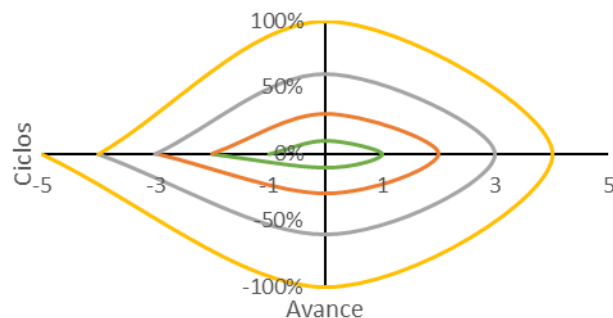
Para que este sea un diseño útil en un prototipo móvil, procederemos a realizar las siguientes pruebas en el software SolidWorks.

1. Realizar prueba de fuerza con cada polímero.
2. Realizar prueba de Torsión con cada polímero.
3. Realizar prueba de temperatura con cada polímero.

- Etapa IV.III: planificar las acciones subsiguientes a las pruebas de resistencia.

Al finalizar el tercer ciclo se analizarán los resultados obtenidos, dando así paso a un cuarto ciclo, donde se complementaran todos las variables expuestas en los ciclos anteriores para formar nuestro prototipo.

#### 4.5.4. CICLO 4 MÉTODO ESPIRAL



Fuente: Héctor Jiménez (2020).

### **Ilustración 17-Cuarta Espiral con pruebas de vibración y validación del prototipo**



- Etapa I.IV: determinar o fijar los objetivos con pruebas de vibración y validación del prototipo.

El objetivo de la cuarta espira es la integración de todos los ciclos antes expuesto para luego realizar prueba de vibración y con esto validar su correcto funcionamiento.

- Etapa II.IV: análisis de riesgo al realizar las pruebas de vibración y validación del prototipo.

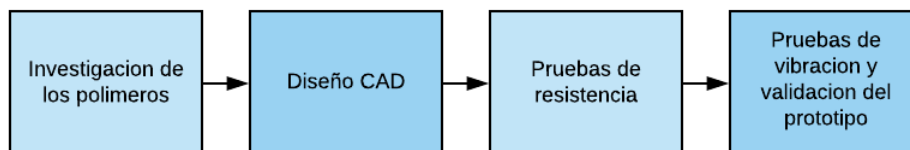
Para la cuarta espira se espera que no existan riesgos, debido a que estos se han ido disminuyendo con el paso de los ciclos 1, 2 y 3. Sin embargo, se espera realizar las pruebas necesarias en el para recopilar información sobre estas y realizar un análisis en busca de defectos.

- Etapa III.IV: desarrollar, verificar y validar las pruebas de vibración y validación del prototipo.

Se hará las pruebas en físico ya con la rueda con cada uno de su polímero indicado, se harán las siguientes pruebas:

1. Prueba de 2 minutos a la rueda con polímero PETG, a máxima revolución con un motor DC de 122rpm.
2. Prueba de 2 minutos a la rueda con polímero TPU, a máxima revolución con un motor DC de 122rpm.

Seguidamente se analizarán los resultados obtenidos para verificar los errores o defectos existentes, una vez corregidos estos se validará el funcionamiento correcto del prototipo final.



**Ilustración 18-Resumen de ciclos espiral**

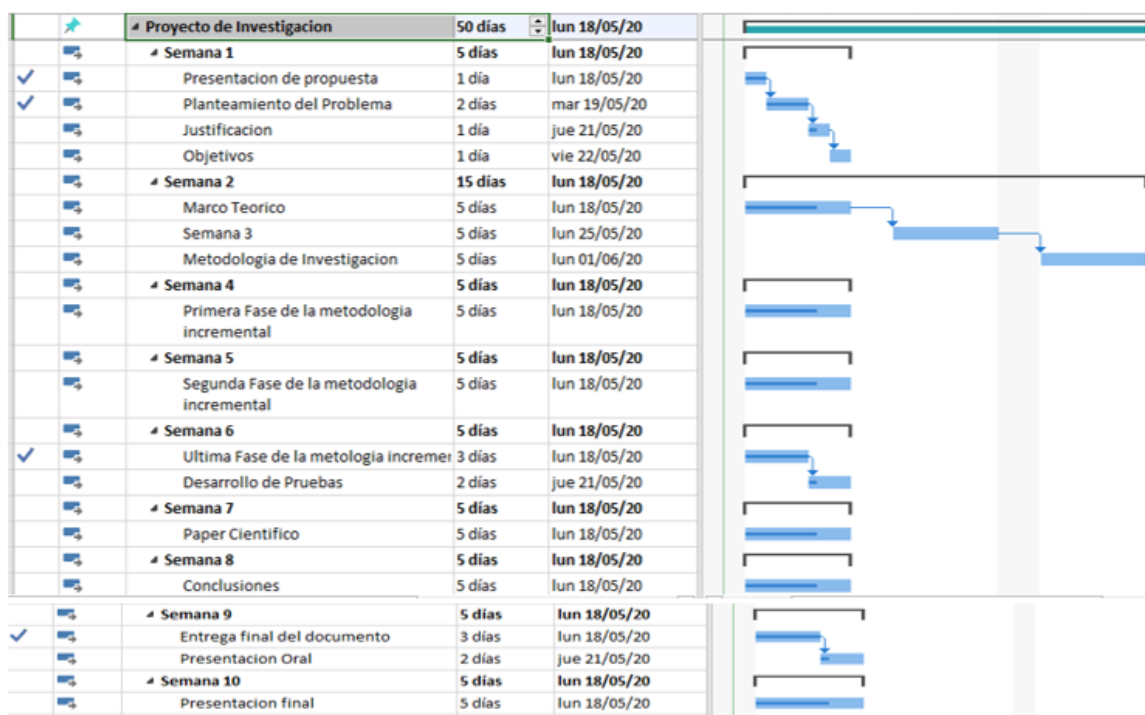
Fuente: Elaboración Propia (2020).

## 4.6. METODOLOGÍA DE VALIDACIÓN

Nuestro proyecto de investigación realizado no tiene una validación hasta que este mismo se comprueba con un buen funcionamiento o en este caso que haya pasado las distintas pruebas aplicadas. Para ello se realizarán pruebas de resistencia y vibración para obtener una rueda que cumpla con todas las funciones que queremos que tenga.

## 4.7. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

Considerando que el periodo académico tiene una duración de 10 semanas, se realizó un cronograma de actividades de manera secuencial véase ilustración 18, dando inicio con la presentación de los lineamientos y las respectivas propuestas de proyecto, seguido de la entrega del primer avance, el cual consta de la recopilación información que sustenta la investigación realizada y luego presentar la metodología utilizada en la presente investigación. En la posterioridad se dio inicio al diseño de las diferentes partes con la que contará la rueda, luego se dará un análisis de los resultados obtenidos y asimismo poder concluir sobre estas.



**Ilustración 19-Cronograma de actividades**

Fuente: Elaboración Propia (2020).

## **V. ANÁLISIS Y RESULTADOS**

En el presente capítulo se hará énfasis sobre los aportes generados por los distintos temas expuestos en el marco teórico del presente proyecto de investigación, como siguiente paso, se mostrarán las etapas que ya fueron presentadas en la metodología y las pruebas que se han implementado, para luego comparar las teorías de sustento con los resultados esperados.

### **5.1. ANÁLISIS DE TEORÍA DE SUSTENTO**

Los polímeros hoy en día los encontramos en la mayor parte de las industrias tales como la automovilística, en el sector de transporte, telecomunicaciones, alimentación entre otras... Esto nos hace llevar cierta parte de ventajas en su uso en la vida cotidiana, las ventajas de los polímeros son su elaboración o proceso rápido y sencillo, su alta resistencia a la corrosión y a los agentes químicos, poco peso, producción rentable y la más importante su fácil reciclaje. Esto nos da un mejor aprovechamiento para su uso en los distintos rubros.

La tecnología de manufactura aditiva es uno de los métodos de producción digitalizada que está siendo más utilizado en la actualidad, este proceso trata de fabricar objetos o piezas previamente modelados, mediante unas deposiciones que son organizadas capa por capa de un material específico, hasta que se forma un objeto tridimensional o popularmente conocido como un objeto 3D.

Se identifico 2 polímeros más resistentes: PET y TPU y debido a esto se utilizaron para la fabricación del prototipo final, debido a que estos son unos materiales altamente resistentes al desgaste, resistencia de tracción, torque, temperatura y sobre todo tiene una excelente recuperación elástica. Esto le facilita al operador un mejor desarrollo de la llanta en un tipo de superficie dañada o un tipo de terreno no apto para cualquier tipo de rueda.

### **5.2. RESULTADOS**

Para el cumplimiento de la metodología de la metodología, siguiendo un análisis secuencial de un resultado hacia el otro se analizaron los resultados con respecto a cada ciclo para así obtener un desarrollo de prototipo final.

### 5.2.1. CICLO 1 MÉTODO ESPIRAL: INVESTIGACIÓN DE LOS POLÍMEROS

Para la aplicación del polímero adecuado, se tomó en cuenta muchos factores de investigación, como inicio se procedió a investigar entre los polímeros más utilizados en la manufactura aditiva, el cual se enlistan en la tabla

**Tabla 3-Polímeros más utilizados en la manufactura aditiva**

Material	Propiedades
ABS	Resistente y fuerte
ASA	Resistencia mecánica y estabilidad UV.
Nylon 12	Resistencia química y alta resistencia de impacto.
PC	Alta resistencia a la tracción y flexión.
PPSF/PPSU	Resistencia química, al calor y fuerza mecánica.
PLA	Resistencia a la tracción y calidad de superficie.
TPU	Resistencia al desgaste, alto impacto, fuerza y dureza.
PETG	Estabilidad térmica, fácil extrusión y duradero

Fuente: Elaboración Propia (2020).

Se logro obtener los 4 más utilizados en la manufactura aditiva, junto con sus respectivas propiedades, en este caso los más utilizados son:

- ABS
- PLA
- TPU
- PETG
- Caucho

Luego de obtener los 5 polímeros más utilizados en la manufactura aditiva, se procedió a seleccionar los polímeros con más facilidad de obtención en el mercado para poder realizarles las respectivas pruebas, para esta elección se tomó en cuenta factores como, densidad, resistencia de impacto, fuerza de tensión, elongación, entre otras. A continuación, se presenta una tabla comparativa entre los 5 polímeros a los cuales se realizará las respectivas pruebas.

**Tabla 4-Polímeros con mejor resistencia**

Polímero	Densidad	Fuerza de Tension	Elongación	Resistencia de impacto
ABS	1.05 g/cm <sup>3</sup>	26Mpa	32%	78MPa
TPU	1.2 g/cm <sup>3</sup>	41MPa	400%	179MPa
PETG	1.27g/cm <sup>3</sup>	38MPa	70%	80MPa
Caucho	1.49g/cm <sup>3</sup>	40MPa	200%	90MPa
PLA	1.24 g/cm <sup>3</sup>	62Mpa	32%	108MPa

Fuente: Elaboración Propia (2020).

Luego de hacer la comparación entre los 5 polímeros con mejores especificaciones, se tomó en cuenta los materiales: TPU y PETG, para la fabricación del prototipo final ya que son los materiales mejor calificados para su aplicación y son los polímeros con una mayor facilidad de reciclaje.

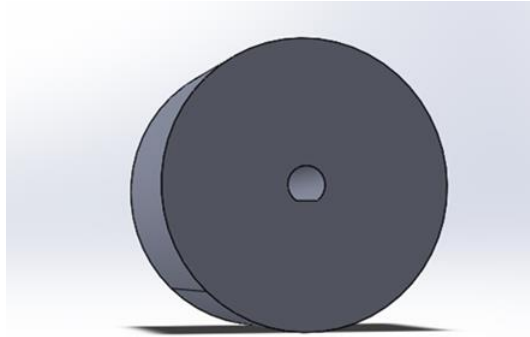
#### 5.2.2. CICLO 2 MÉTODO ESPIRAL: DISEÑO CAD DE LA RUEDA

Para la elaboración de la rueda, se determinó el diseño de una rueda con estrías, para así facilitar su desarrollo de locomoción en terrenos irregulares o accidentados ya que no todas las superficies cuentan con un terreno amigable a la rueda, para los terrenos irregulares se necesita una mayor tracción en las ruedas, por esta razón se diseñó la rueda como se presenta en la ilustración 20 y los planos de esta se presentan en el anexo 1.

Por otro lado, se hizo dos tipos de diseño uno con cavidad y otro sin cavidad, para así en pruebas de vibración lograr comparar que diseño generaría más vibración, para tener una mejor adaptación del motor. Se realizó, un modelado CAD con cada una de las siguientes partes:

### 5.2.2.1. *Placa de soporte del eje del motor*

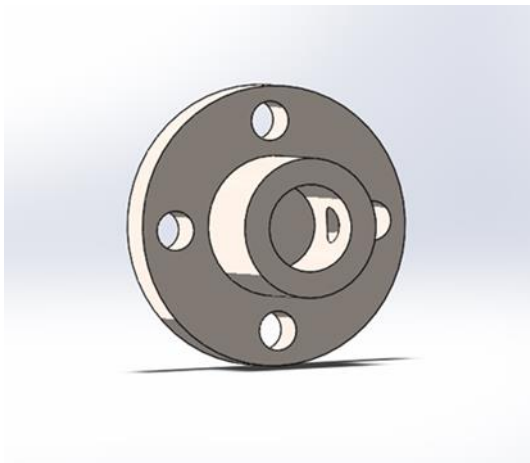
La placa del soporte es la pieza que nos permite el ajuste del eje del motor, así obteniendo más rigidez y un mejor soporte de la rueda para no generar una fricción directa entre el motor y la rueda.



**Ilustración 20-Placa de soporte del Eje del motor diseñada con polímero**

Fuente: Elaboracion propia(2020).

Esta pieza, en inicio se diseñó un estilo de eje de soporte el cual estaba hecho para que fuera fabricado por plástico, pero debido a las pruebas de resistencia se obtiene que los ejes del motor dan un torque que el plástico no resiste, por lo que se opta por un nuevo diseño de placa de soporte el cual esta para ser fabricado de acero aleado, dándole así un mejor trabajo entre el eje del motor y el centro de la rueda.

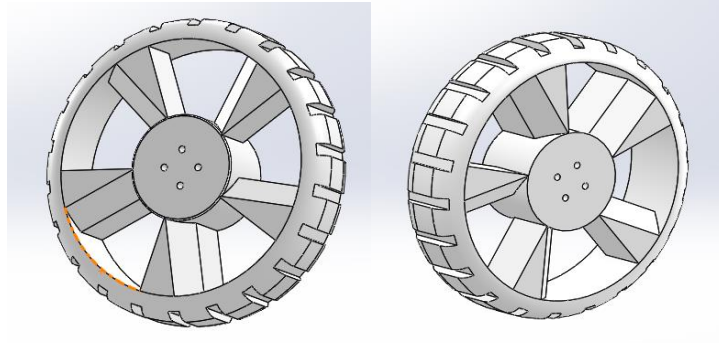


**Ilustración 21-Diseño final de placa de soporte del motor diseñada con acero**

Fuente: Elaboracion propia(2020).

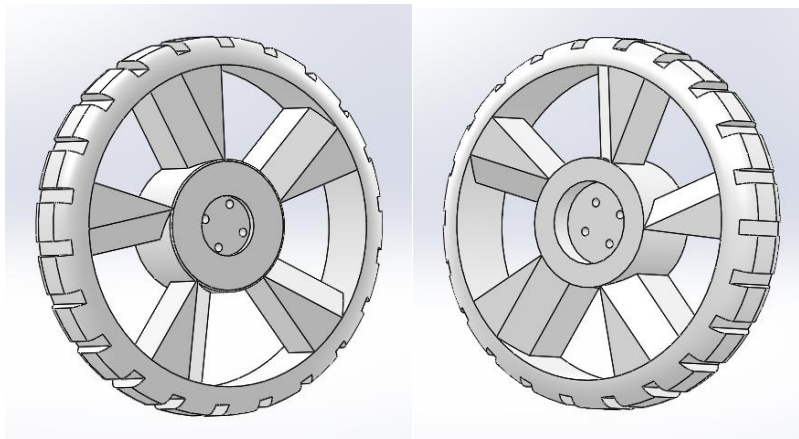
### 5.2.2.2. *Diseño CAD con cavidad y sin cavidad*

Para el diseño del prototipo final de la rueda, se tomó en cuenta el método cavidad, por lo cual se procedió a hacer un diseño con dicho método y otro diseño sin el método.



**Ilustración 22-Diseño de la rueda sin método cavidad**

Fuente: Elaboracion propia(2020).



**Ilustración 23-Diseño de la rueda con método cavidad**

Fuente: Elaboracion propia(2020).

### 5.2.2.3. *Ensamble final de la rueda*

Luego de hacer el diseño CAD de cada parte, con ayuda del software SolidWorks se realizó un ensamble de las 2 parte para así obtener el diseño final de nuestro prototipo de rueda, el cual se muestra en la ilustración 24.



**Ilustración 24-Ensamble final de la rueda**

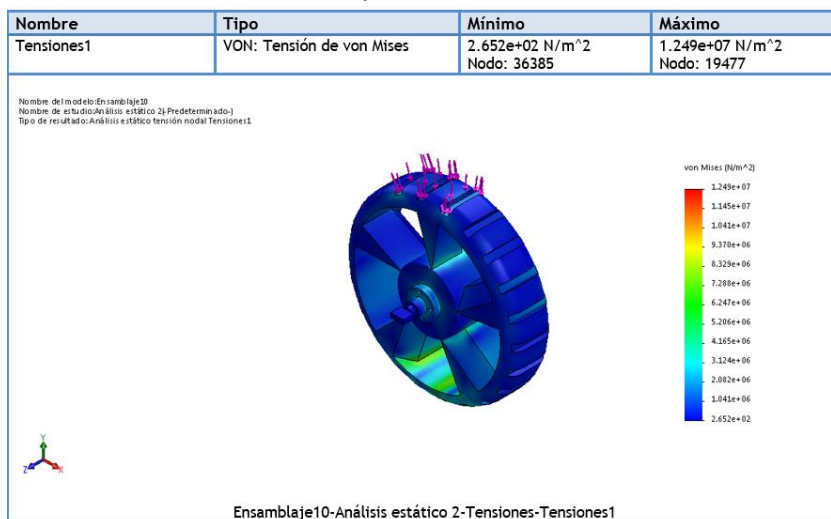
Fuente: Elaboracion propia(2020).

5.2.3. CICLO 2 MÉTODO ESPIRAL: PRUEBAS DE RESISTENCIA A LA RUEDA CON POLÍMEROS MEJOR CALIFICADOS

Para una recolección de datos, más eficaz se utilizó SolidWorks Simulación, la herramienta del software SolidWorks. Para las pruebas de resistencia se tomó en cuenta los siguientes factores:

5.2.3.1. Simulación de análisis de prueba de fuerza

5.2.3.1.1. Análisis de fuerza con polímero TPU

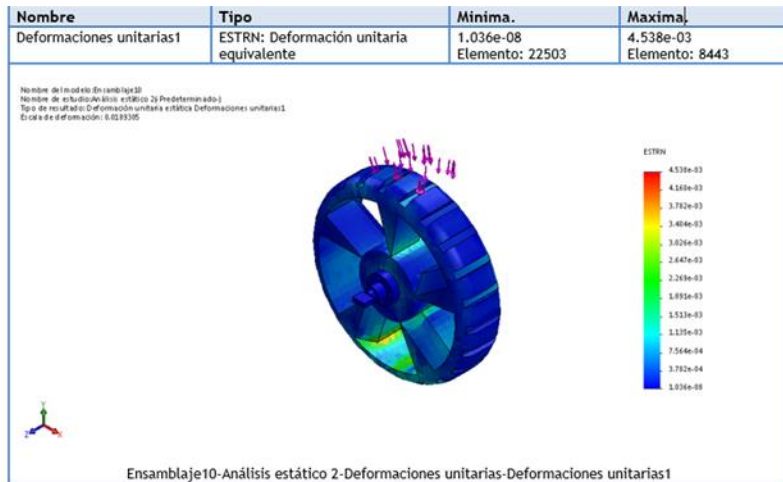


**Ilustración 25- Análisis de Fuerza: Tensión de von mises a rueda con TPU**

Fuente: Elaboración propia (2020).



En la ilustración 25, se muestran los resultados obtenidos del análisis de tensión de von mises de la rueda con material TPU, con un valor mínimo  $2.65E02 \text{ N/m}^2$  hasta un valor máximo de  $1.24E07 \text{ N/m}^2$ .

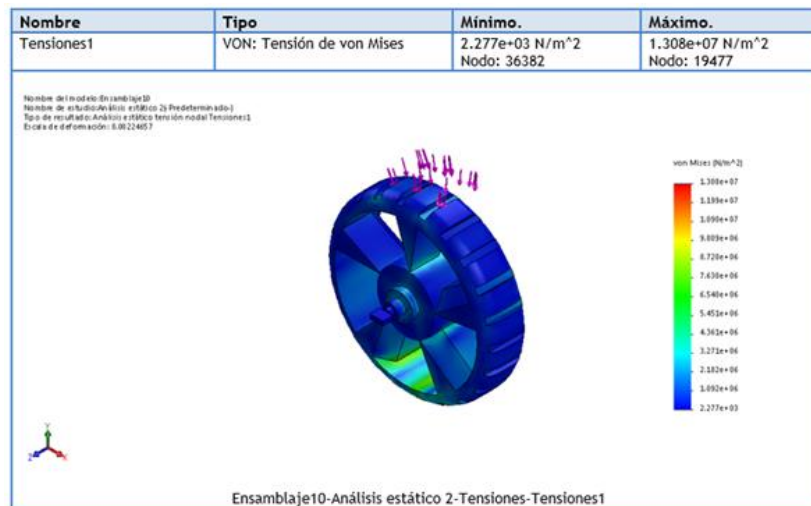


**Ilustración 26- Análisis de Fuerza: Deformaciones unitaria equivalente de la rueda con TPU**

Fuente: Elaboración propia (2020).

Como se presenta en la ilustración 26, a través del análisis de deformación unitaria equivalente de la rueda con material TPU, se llegó a un mínimo de  $1.03E-08\text{mm}$  y a un máximo de  $4.53E-03\text{mm}$ .

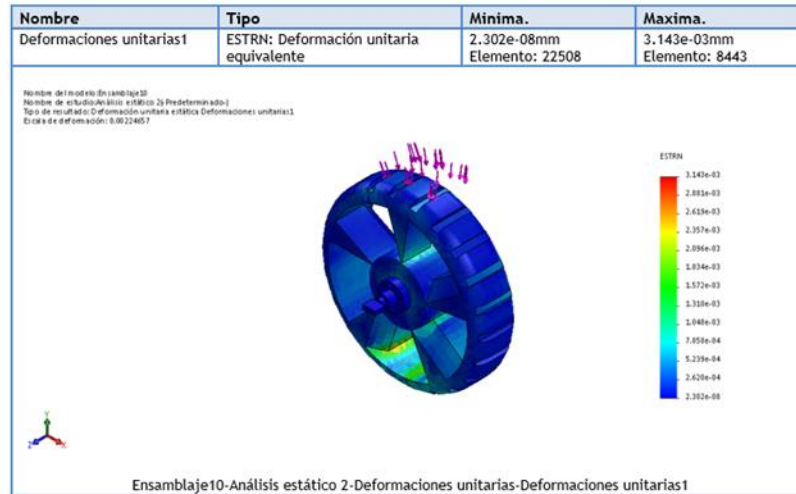
### 5.2.3.1.2. Análisis de fuerza con polímero PETG



**Ilustración 27- Análisis de Fuerza: Tensión de von mises a rueda con PETG**

Fuente: Elaboración propia (2020).

En la ilustración 27, se muestran los resultados obtenidos del análisis de tensión de von mises de la rueda con material PETG, con un valor mínimo 2.77E03 N/m<sup>2</sup> hasta un valor máximo de 1.30E07 N/m<sup>2</sup>.

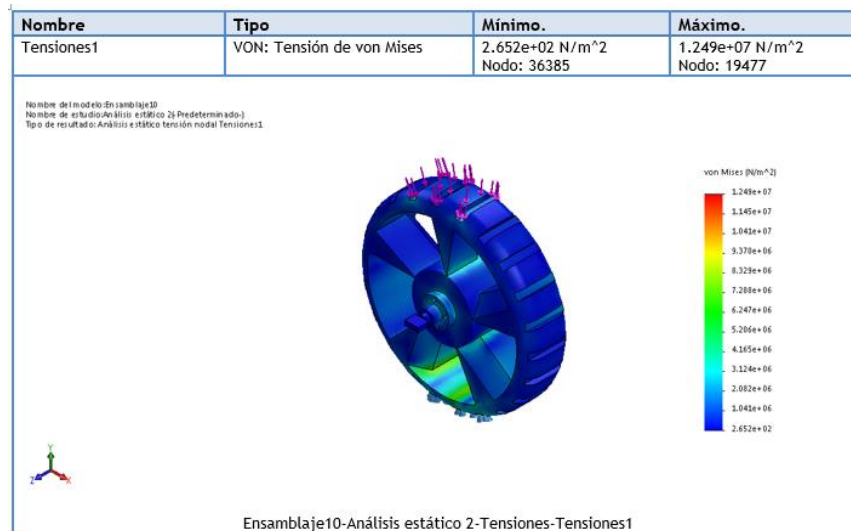


**Ilustración 28-Análisis de Fuerza: Deformaciones unitaria equivalente de la rueda con PETG**

Fuente: Elaboración propia (2020).

Como se presenta en la ilustración 28, a través del análisis de deformación unitaria equivalente de la rueda con material PETG, se llegó a un mínimo de 2.32E-08mm hasta un máximo de 3.14E-03mm.

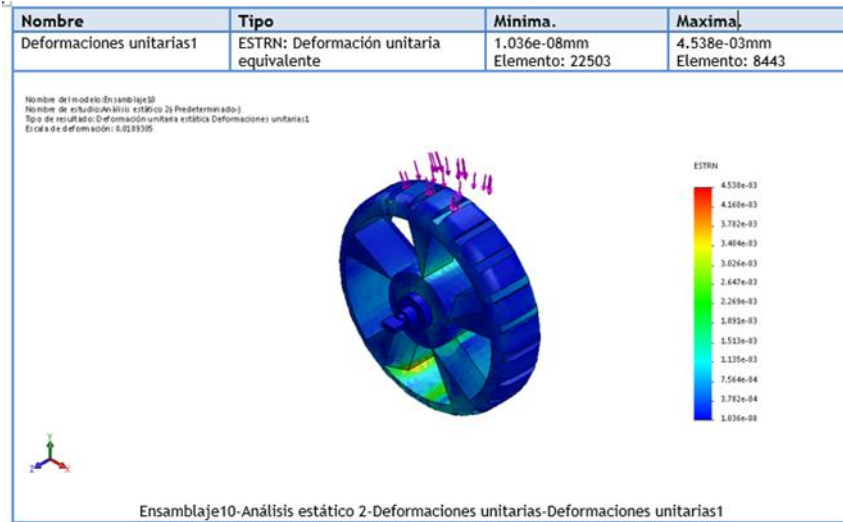
### 5.2.3.1.3. Análisis de fuerza con polímero ABS



**Ilustración 29- Análisis de Fuerza: Tensión de von mises a de la rueda con ABS**

Fuente: Elaboración propia (2020).

En la ilustración 29, se muestran los resultados obtenidos del análisis de tensión de von mises de la rueda con material ABS, con un valor mínimo  $2.65E+02 \text{ N/m}^2$  hasta un valor máximo de  $1.24E+07 \text{ N/m}^2$ .

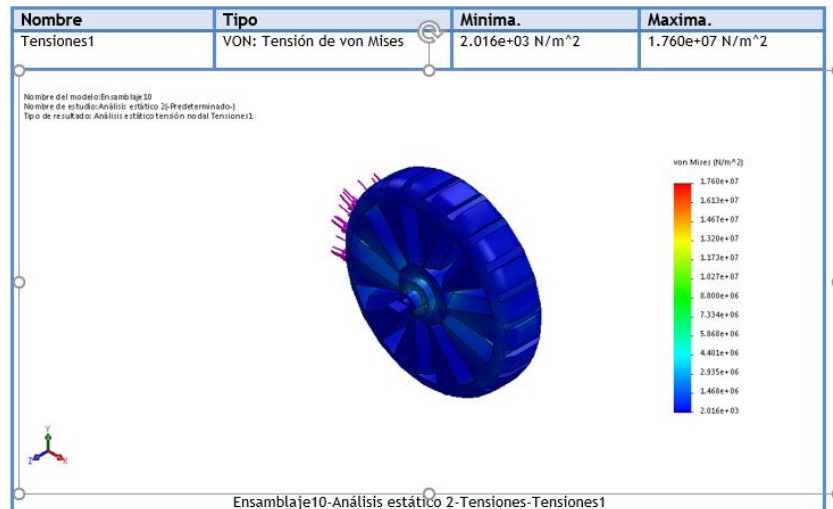


**Ilustración 30- Análisis de Fuerza: Deformación unitaria equivalente de la rueda con ABS**

Fuente: Elaboración propia (2020).

Como se presenta en la ilustración 30, a través del análisis de deformación unitaria equivalente de la rueda con material ABS, se llegó a un mínimo de  $1.03E-08\text{mm}$  hasta un máximo de  $4.53E-03\text{mm}$ .

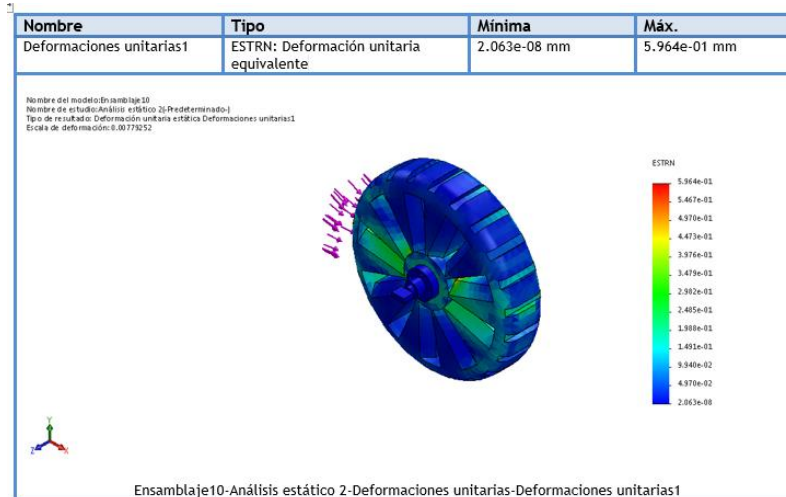
#### 5.2.3.1.4. Análisis de fuerza con polímero PLA



**Ilustración 31- Análisis de Fuerza: Tensión de von mises de la rueda con PLA**

Fuente: Elaboración propia (2020).

En la ilustración 31, se muestran los resultados obtenidos del análisis de tensión de von mises de la rueda con material PLA, con un valor mínimo  $2.01E+03 \text{ N/m}^2$  hasta un valor máximo de  $1.76E+07 \text{ N/m}^2$ .

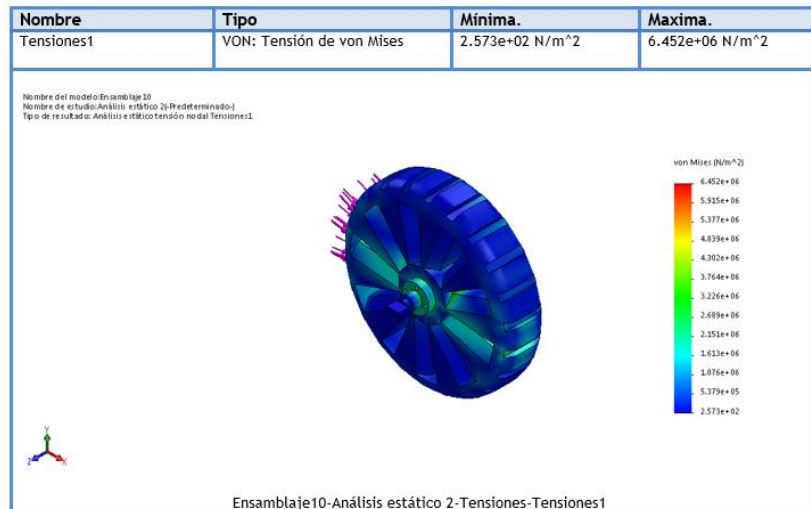


**Ilustración 32- Análisis de Fuerza: Deformación unitaria equivalente de la rueda con PLA**

Fuente: Elaboración propia (2020).

Como se presenta en la ilustración 32, a través del análisis de deformación unitaria equivalente de la rueda con material PLA, se llegó a un mínimo de  $2.06E-08\text{mm}$  hasta un máximo de  $5.96E-03\text{mm}$ .

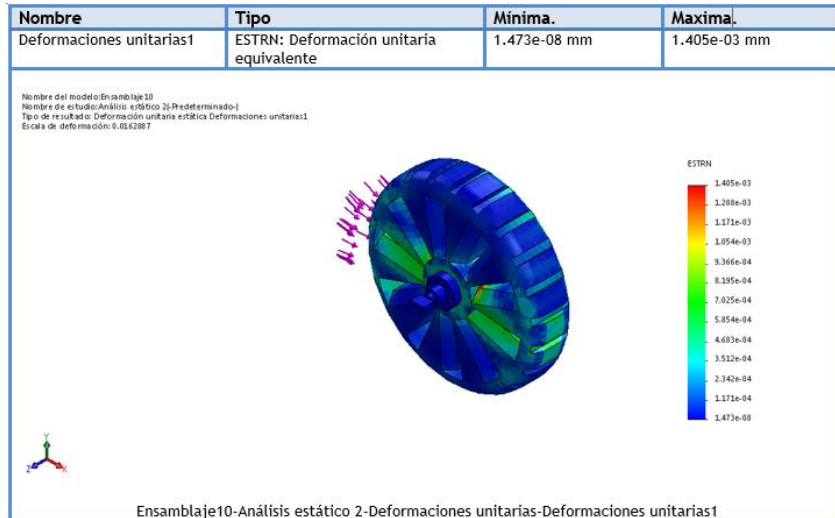
### 5.2.3.1.5. Análisis de fuerza con polímero caucho



**Ilustración 33- Análisis de Fuerza: Tensión de von mises de la rueda con caucho**

Fuente: Elaboración propia (2020).

En la ilustración 33, se muestran los resultados obtenidos del análisis de tensión de von mises de la rueda con material caucho, con un valor mínimo  $2.57E+02 \text{ N/m}^2$  hasta un valor máximo de  $6.45E+06 \text{ N/m}^2$ .



**Ilustración 34- Análisis de Fuerza: Deformación unitaria equivalente de la rueda con caucho**

Fuente: Elaboración propia (2020).

Como se presenta en la ilustración 32, a través del análisis de deformación unitaria equivalente de la rueda con material caucho, se llegó a un mínimo de  $1.47E-08\text{mm}$  hasta un máximo de  $1.40E-03\text{mm}$ .

#### 5.2.3.1.6. Tabla resumen de resultados de análisis de fuerza

**Tabla 5-Resumen de resultados de análisis de fuerza**

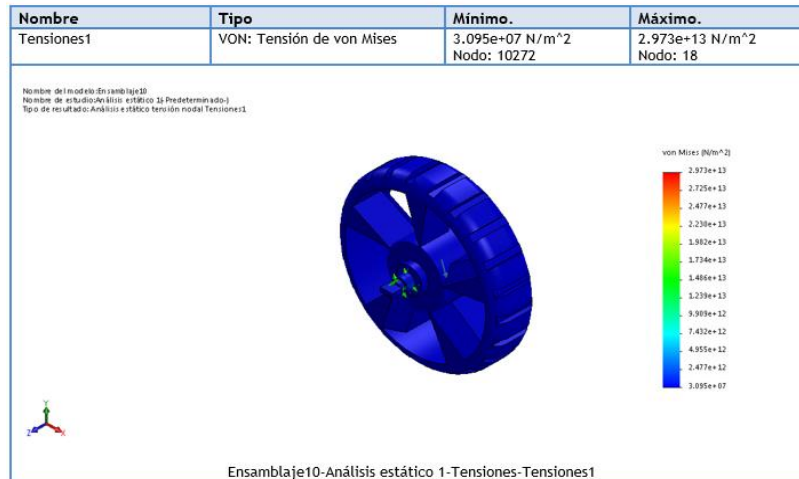
Polímero	Valor Mínimo	Valor Máximo
TPU	$2.65 \times 10^{+03} \text{ N/m}^2$	$1.34 \times 10^{+07} \text{ N/m}^2$
PETG	$2.27 \times 10^{+03} \text{ N/m}^2$	$1.30 \times 10^{+07} \text{ N/m}^2$
ABS	$2.65 \times 10^{+02} \text{ N/m}^2$	$1.10 \times 10^{+07} \text{ N/m}^2$
PLA	$2.01 \times 10^{+03} \text{ N/m}^2$	$1.03 \times 10^{+07} \text{ N/m}^2$
CAUCHO	$2.57 \times 10^{+02} \text{ N/m}^2$	$6.45 \times 10^{+06} \text{ N/m}^2$

Fuente: Elaboración propia (2020).

Se puede decir que la mejor calificación para esta prueba es para el material de TPU, y la segunda mejor calificación es PETG. En esta prueba se aplicó la misma tensión de von mises de (Bustos, 2010), el cual evaluaban la fuerza máxima en una rueda MAZDA.

### 5.2.3.2. Simulación de análisis de prueba de torsión

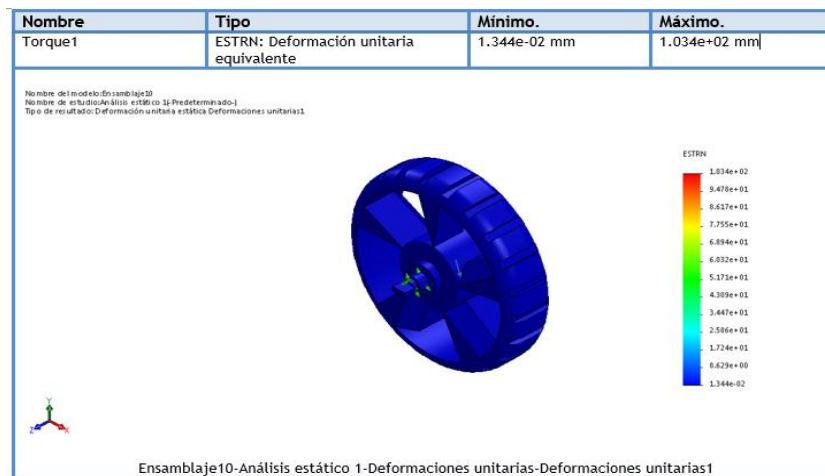
#### 5.2.3.2.1. Análisis de torsión con polímero TPU



**Ilustración 35- Análisis de torsión: Tensión de von mises de la rueda con TPU**

Fuente: Elaboración propia (2020).

En la ilustración 35, se muestran los resultados obtenidos del análisis de torsión: Tensión de von mises de la rueda con material TPU, con un valor mínimo 3.09E07 N/m<sup>2</sup> hasta un valor máximo de 2.97E13 N/m<sup>2</sup>.

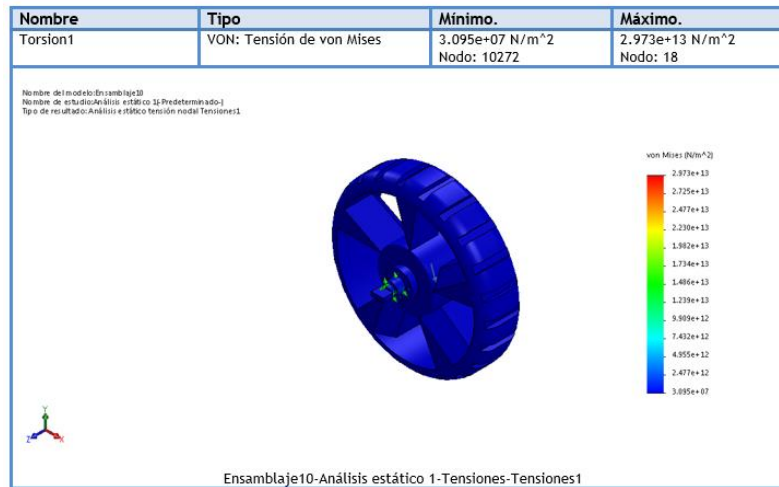


**Ilustración 36- Análisis de torsión: Deformación unitaria de la rueda con TPU**

Fuente: Elaboración propia (2020).

En la ilustración 36, se muestran los resultados obtenidos del análisis de torsión: Deformación unitaria de la rueda con material TPU, con un valor mínimo 1.34E-02 hasta un valor máximo de 1.03E+02.

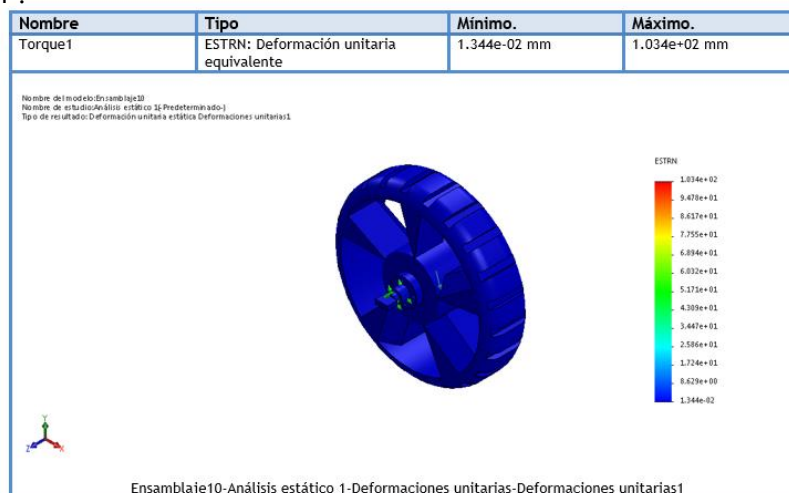
### 5.2.3.2.2. *Análisis de torsión con polímero ABS*



**Ilustración 37- Análisis de torsión: Tensión de von mises de la rueda con ABS**

Fuente: Elaboración propia (2020).

En la ilustración 37, se muestran los resultados obtenidos del análisis de torque: Tensión de von mises de la rueda con material ABS, con un valor mínimo 3.41E+07 N/m<sup>2</sup> hasta un valor máximo de 2.91E+13 N/m<sup>2</sup>.

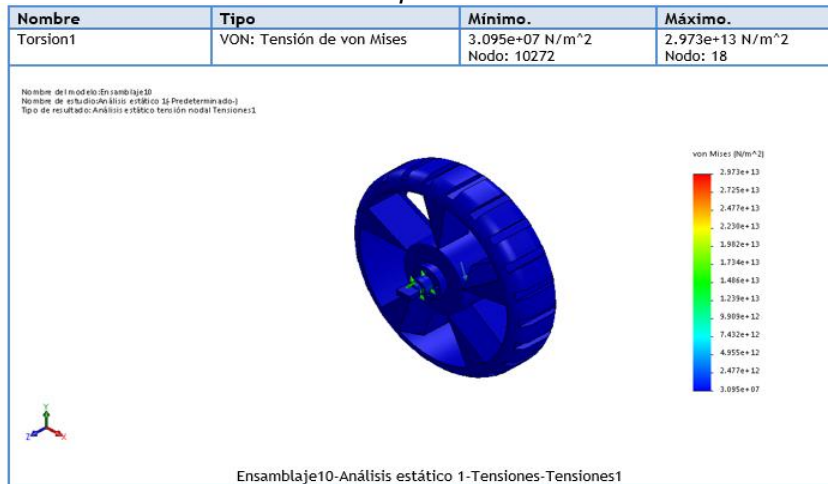


**Ilustración 38- Análisis de torsión: Deformación unitaria de la rueda con ABS**

Fuente: Elaboración propia (2020).

En la ilustración 38, se muestran los resultados obtenidos del análisis de torsión: Deformación unitaria de la llanta con material ABS, con un valor mínimo 1.34E-02 hasta un valor máximo de 1.03E+02.

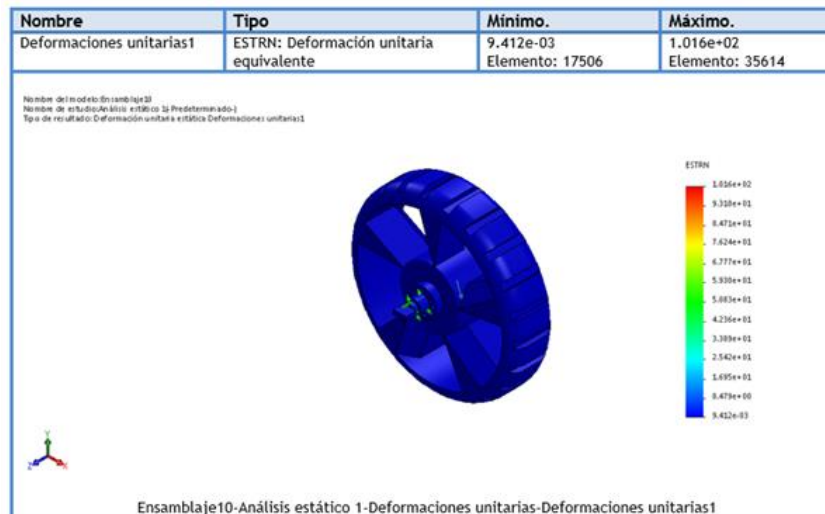
### 5.2.3.2.3. *Análisis de torsión con polímero PETG*



**Ilustración 39- Análisis de torsión: Tensión de von mises de la rueda con PETG**

Fuente: Elaboración propia (2020).

En la ilustración 39, se muestran los resultados obtenidos del análisis de torque: Tensión de von mises de la rueda con material PETG, con un valor mínimo 3.09E+07 N/m<sup>2</sup> hasta un valor máximo de 2.97E+13 N/m<sup>2</sup>.



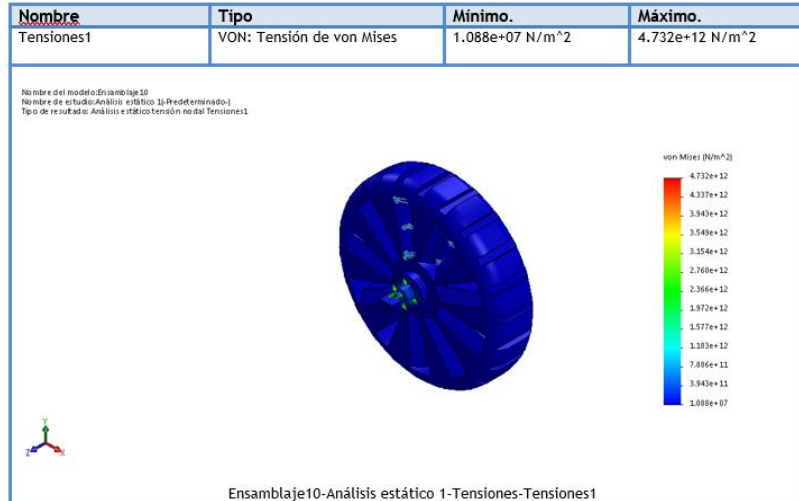
**Ilustración 40- Análisis de torsión: Deformación unitaria de la rueda con PETG**

Fuente: Elaboración propia (2020).



En la ilustración 40, se muestran los resultados obtenidos del análisis de torsión: Deformación unitaria de la rueda con material PETG, con un valor mínimo 9.41E-03mm hasta un valor máximo de 1.06E+02mm.

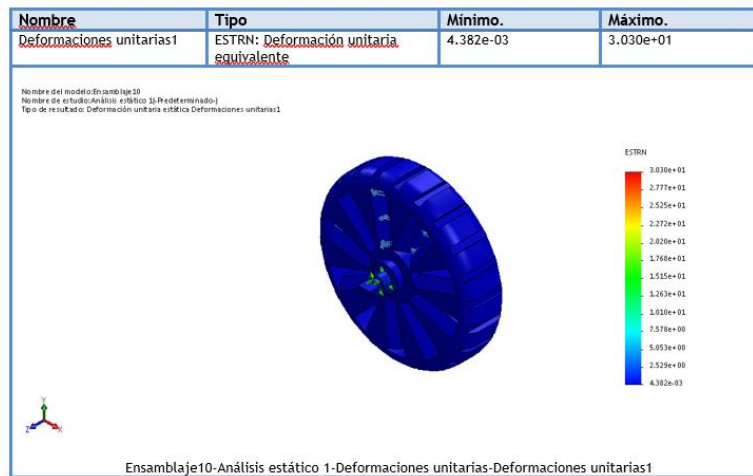
#### 5.2.3.2.4. *Análisis de torsión con polímero caucho*



**Ilustración 41- Análisis de torsión: Tensión de von mises de la rueda con CAUCHO**

Fuente: Elaboración propia (2020).

En la ilustración 41, se muestran los resultados obtenidos del análisis de torque: Tensión de von mises de la rueda con material caucho, con un valor mínimo 1.08E+07 N/m<sup>2</sup> hasta un valor máximo de 4.72+12 N/m<sup>2</sup>.

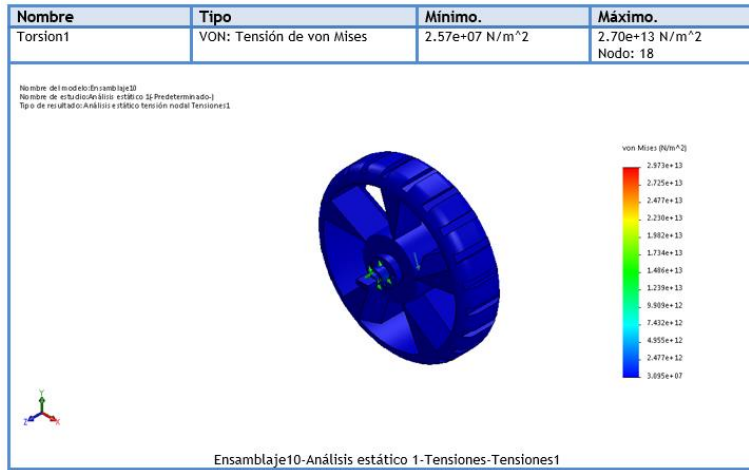


**Ilustración 42- Análisis de torsión: Deformación unitaria de la rueda con CAUCHO**

Fuente: Elaboración propia (2020).

En la ilustración 42, se muestran los resultados obtenidos del análisis de torsión: Deformación unitaria de la rueda con material caucho, con un valor mínimo 4.32E-03mm hasta un valor máximo de 3.03E+01mm.

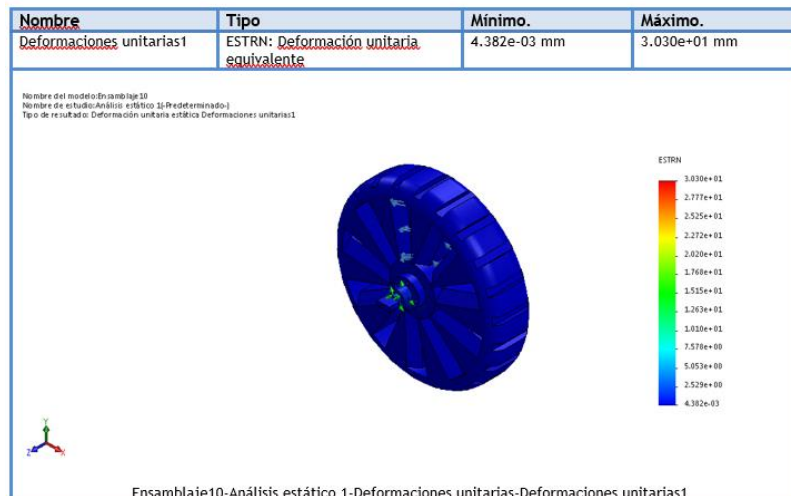
### 5.2.3.2.5. *Análisis de torsión con polímero PLA*



**Ilustración 43-Análisis de torsión: Tensión de von mises de la rueda con PLA**

Fuente: Elaboración propia (2020).

En la ilustración 43, se muestran los resultados obtenidos del análisis de torque: Tensión de von mises de la rueda con material PLA, con un valor mínimo 2.57E+07 N/m<sup>2</sup> hasta un valor máximo de 2.70+13 N/m<sup>2</sup>.



**Ilustración 44- Análisis de torsión: Deformación unitaria de la rueda con PLA**

Fuente: Elaboración propia (2020).

En la ilustración 44, se muestran los resultados obtenidos del análisis de torsión: Deformación unitaria de la rueda con material PLA, con un valor mínimo 4.32E-03mm hasta un valor máximo de 3.03E+01mm.

5.2.3.2.6. *Tabla resumen de análisis de torsión*

**Tabla 6-Tabla resumen de análisis de torsión**

Polímero	Valor Maximo	Valor Mínimo
TPU	3.49x10+07N/m2	2.97x10+13N/m2
PETG	3.51x10+07N/m2	2.98x10+13N/m2
ABS	3.09x10+07N/m2	2.91x10+13N/m2
PLA	2.57x10+07N/m2	2.7x10+10N/m2
CAUCHO	1.088x10+07N/m2	4.73x10+12N/m2

Fuente: Elaboración propia (2020).

Después de las pruebas de torsión realizadas con cada polímero seleccionado, podemos decir que la mejor calificación para esta prueba es para el material PETG, y la segunda mejor calificación es TPU. Estas pruebas de torsión se realizaron en base a la investigación de (Roemi, 2012) que consta de un control de tracción para mejorar el rendimiento en robots móviles con ruedas que se desplacen sobre superficies con un bajo coeficiente de fricción estática y debido a esto pueda sufrir deslizamientos a lo largo de la superficie.

5.2.3.3. *Simulación de análisis de prueba de temperatura*

Para la simulación de análisis de temperatura, esta simulación se realizó también con la ayuda de SolidWorks Simulation, herramienta de SolidWorks, para esta prueba se realizó a los 5 polímeros antes mencionados. Dicha prueba se aplicó una temperatura de 100 grados centígrados o 373.15 Kelvin, los datos obtenidos se tomaron en datos de Kelvin, en la tabla 7 se exponen los resultados, el valor máximo de temperatura, es hasta donde alcanzo su deformación la rueda. El cual se presenta en la siguiente tabla:

**Tabla 7-Tabla resumen de análisis de pruebas de temperatura**

Polímero	Temperatura Maxima
TPU	393.15 Kelvin
PETG	338.15 Kelvin
ABS	333.10 Kelvin
PLA	330.15 Kelvin
Caucho	395.15 Kelvin

Fuente: Elaboración propia (2020).

Después de las pruebas de temperatura realizadas con cada polímero seleccionado, podemos decir que la mejor calificación para esta prueba es para el material de caucho, y la segunda mejor calificación es TPU.

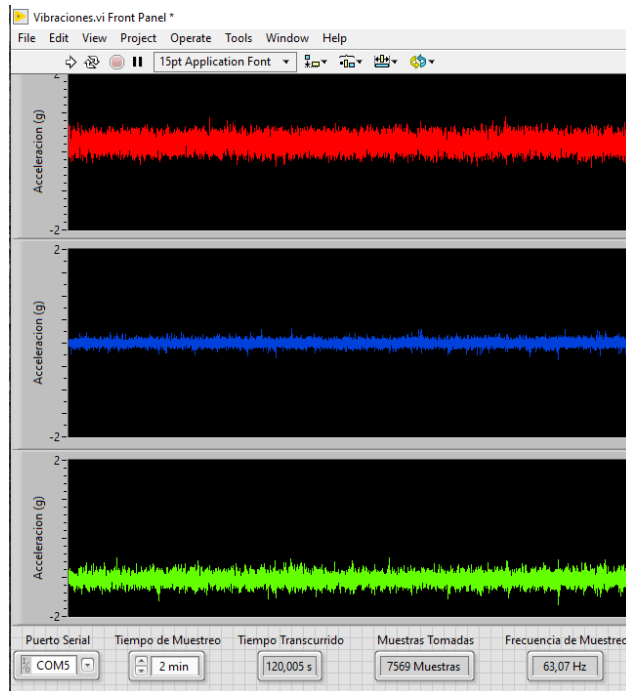
#### 5.2.4. CICLO 4 MÉTODO ESPIRAL: PRUEBAS DE VIBRACIÓN Y VALIDACIÓN DEL PROTOTIPO

En este ciclo se realizó las pruebas de vibración ya con el prototipo final, luego de recopilar todos los datos obtenidos según las pruebas de resistencia de fuerza, torsión y temperatura. Los polímeros mejor calificados o en este caso los más resistentes a las pruebas antes mencionadas fueron los polímeros: PETG y TPU.

Para la realización de estas pruebas se usó el sensor MPU6050, un sensor de vibración y un acelerómetro el cual nos permite ver las gráficas en tiempo real en los ejes x, y & z, a esta prueba se adaptó una pieza hecha con polímero la cual se adaptada al motor y en esta se puso dicho sensor, luego de esto procedió a utilizar un motor DC de 12 V a 122rpm.

A cada rueda con su distinto polímero se aplicó un total de 2 minutos de prueba, para así obtener los gráficos en tiempo real y luego con un programa entre los softwares Arduino IDE y LabVIEW se aplicó la transformada de Fourier para obtener datos de vibración en cada uno de sus respectivos ejes.

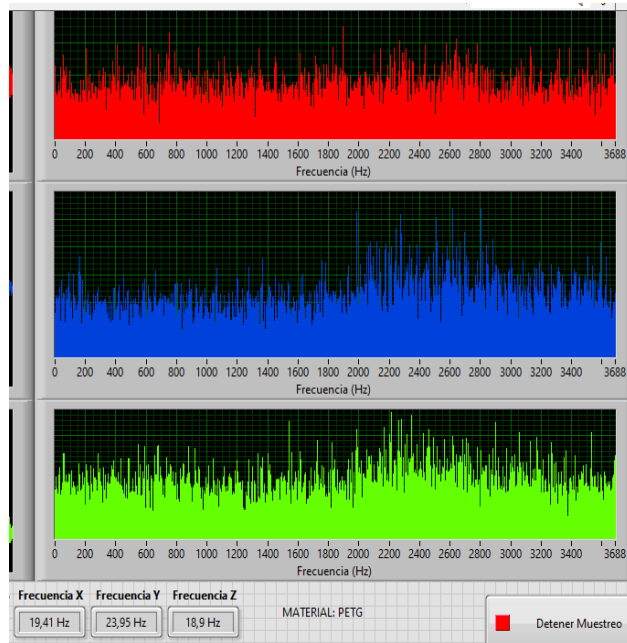
### 5.2.4.1. Prueba de vibración de rueda de PETG con método cavidad



**Ilustración 45-Graficas en tiempo real PETG**

Fuente: Elaboración propia (2020).

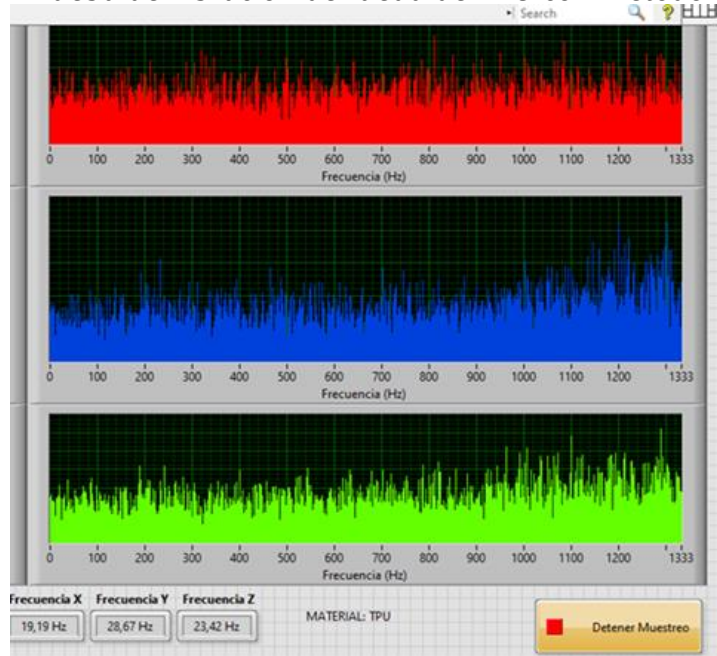
Luego de obtener las respectivas graficas de vibración en tiempo real de la rueda con PETG, se procedió a hacer la transformación para obtener los resultados de vibración.



**Ilustración 46-Graficas Fourier PETG**

Fuente: Elaboración propia (2020).

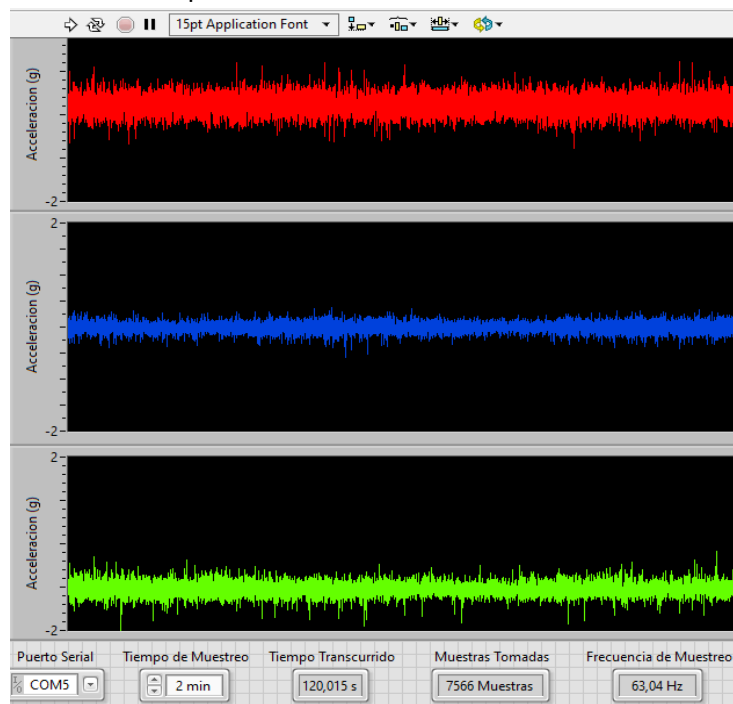
#### 5.2.4.2. Prueba de vibración de rueda de TPU con método cavidad



**Ilustración 47-Grafica en tiempo real TPU**

Fuente: Elaboración propia (2020).

Luego de obtener las respectivas graficas de vibración en tiempo real de la rueda con TPU, se procedió a hacer la transformación para obtener los resultados de vibración.



**Ilustración 48-Grafica Fourier TPU**

Fuente: Elaboración propia (2020).

5.2.4.3. *Resumen de resultados de vibración método cavidad*

**Tabla 8-Resumen de resultados de vibración por el método cavidad**

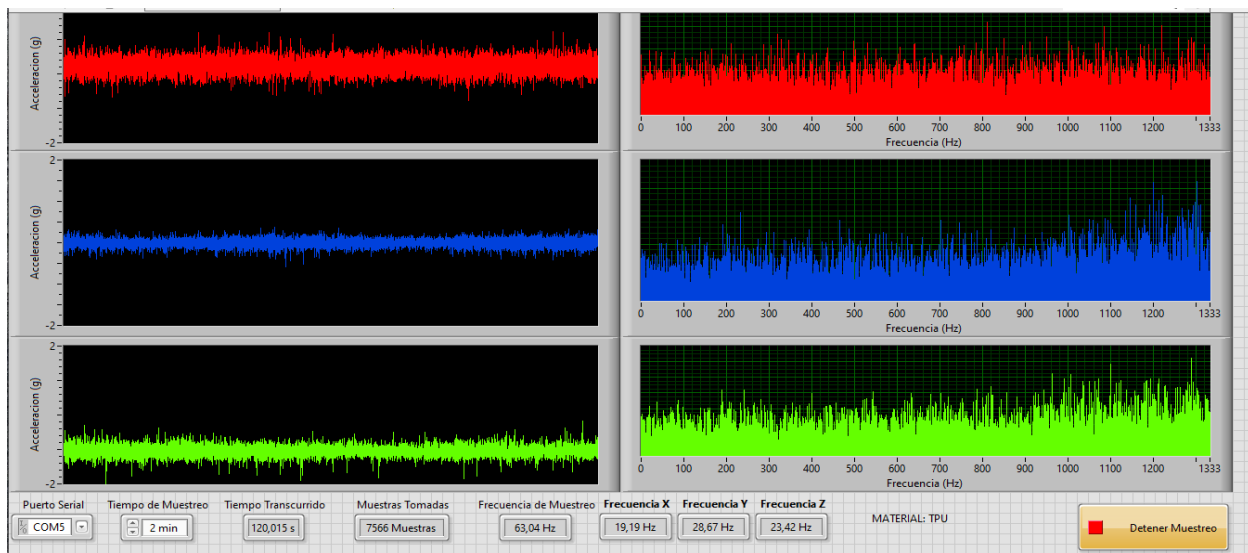
Polímero	Eje X	Eje Y	Eje Z
TPU	19.41 Hz	23.95 Hz	18.90 Hz
PETG	19.19 Hz	28.67 Hz	23.42 Hz

Fuente: Elaboración propia (2020).

Luego de realizar las respectivas pruebas de vibración con los 2 polímeros, se pudo recabar con los datos obtenidos que el polímero que genera más vibración por el método cavidad es el TPU.

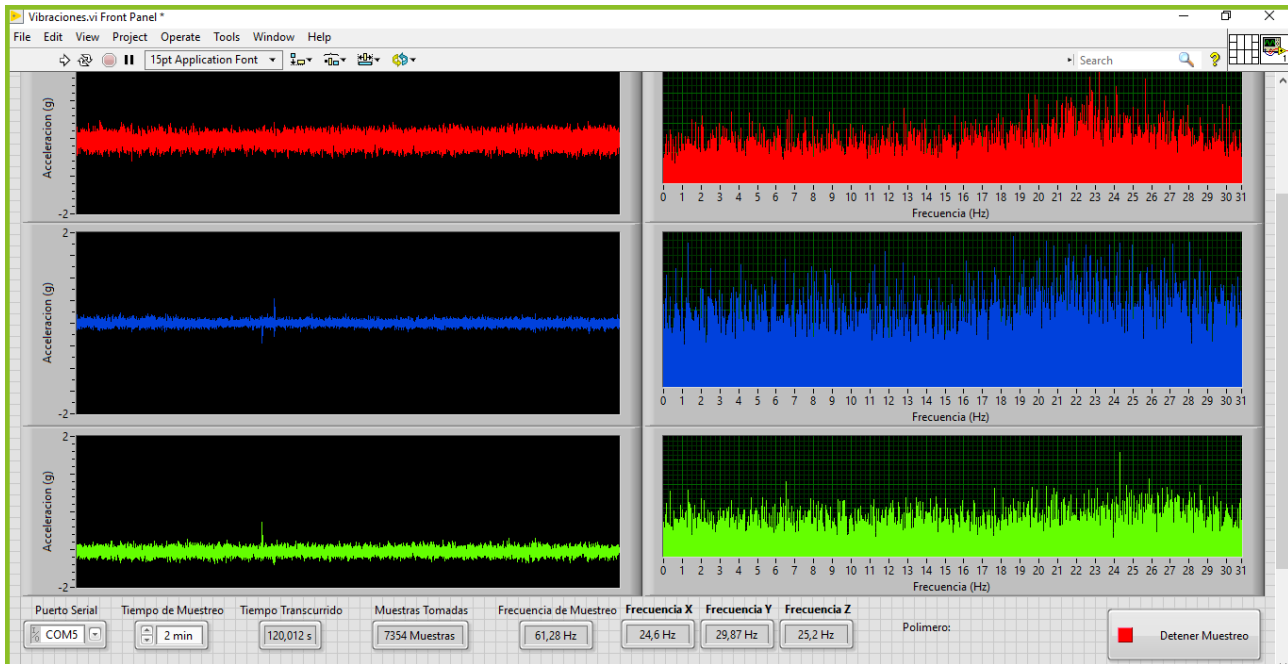
5.2.4.4. *Pruebas de vibración por método cavidad y sin el método cavidad a rueda de TPU*

Para obtener el método que genere menos vibración, se procedió a realizar un análisis entre dos ruedas, una con el método cavidad y otra sin el método cavidad, para así llegar a una conclusión final sobre que método es el adecuado para el diseño de la rueda.



**Ilustración 49-Graficas por el método cavidad a rueda de TPU**

Fuente: Elaboración propia (2020).



**Ilustración 50-Graficas sin el método cavidad a rueda de TPU**

Fuente: Elaboración propia (2020).

Luego de recopilar los datos obtenidos para las pruebas de vibración por el método cavidad y sin el método, se logró obtener que con el método cavidad el motor genera menos vibración a la rueda.

5.2.4.5. *Resumen análisis de vibración a método cavidad y sin el método*

**Tabla 9-Tabla resumen de análisis de vibración por método cavidad y sin el método**

Método	Eje X	Eje Y	Eje Z
Cavidad	19.41 Hz	23.95 Hz	18.90 Hz
Sin Cavidad	19.19 Hz	28.67 Hz	23.42 Hz

Fuente: Elaboración propia (2020).



## VI. CONCLUSIONES

En el presente capítulo se exponen las conclusiones del proyecto actual a partir de los resultados obtenidos.

- 1) En general se logra apreciar la importancia del uso de polímeros con una cadena muy alta en la resistencia térmica para así facilitar su reciclaje, ya que los polímeros que se utilizan actualmente están alterados de manera química por antioxidantes, plastificadores y aditivos, así afectando su cadena polimérica y esto es lo que los vuelve un material que sea difícil de utilizar para su reciclaje.
- 2) De acuerdo con los resultados en las distintas pruebas desarrolladas, se obtuvo que los polímeros mejor calificados para la fabricación de ruedas por el método de la manufactura aditiva son el TPU y PETG
- 3) Se realizaron pruebas de tensión, torque y temperatura, con los datos recabados se logró concluir que el material con mayor resistencia a las pruebas antes mencionadas es el polímero del TPU.
- 4) Gracias a las pruebas de vibración realizadas en los polímeros de TPU y PETG se concluyó que el polímero que genera menos vibración es el PETG.

## **VII. RECOMENDACIONES**

- 1) Para la aplicación de este diseño en un prototipo móvil o robótico, se recomienda aplicar un diseño de una rueda cuyo rin sea fabricado del polímero PETG y posteriormente la parte neumática se fabricada del polímero TPU.

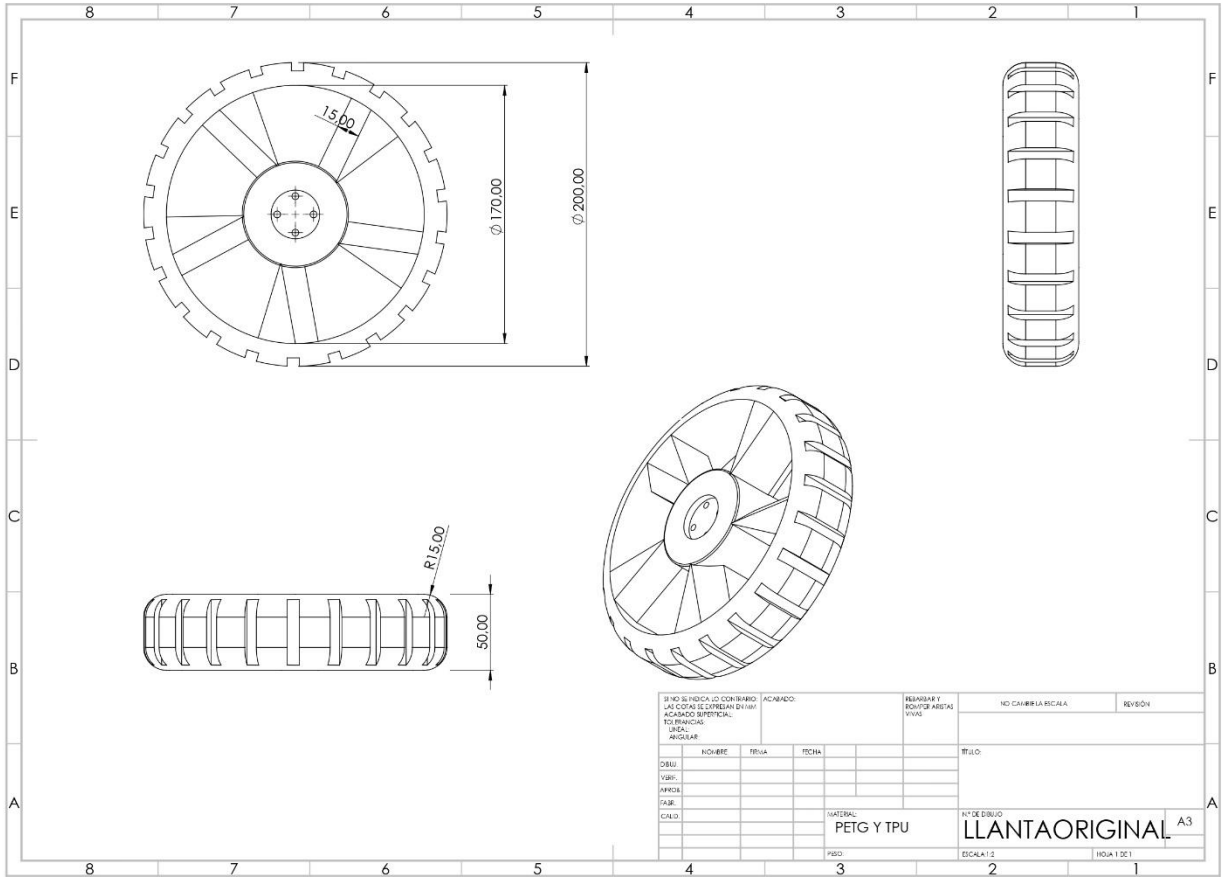
## BIBLIOGRAFÍA

- Behl, M. A. (2007). Shape Memory Polymers. *Materials Today* 10, 20-28.
- Berchon, M. L. (2016). *Impresion 3D*.
- Betz, A. (1926). *Wind-Energie und ihre ausnutzung durch Windmühlen*. Vandenhoeck: Göttingen.
- Billmeyer Jr, F. W. (2004). *Ciencia de los Polimeros*. Madrid: Ed. Reverte.
- Billmeyer, F. (1973). *Ciencia de los Polimeros*. Barcelona: 2da Edicion.
- Brescia, F. (1997). *Quimica de Polimeros*. Nuevo Mexico.
- Bustos, F. M. (2010). Desing optimization of aluminum rims in bending by finite element analysis. *Facultad de Ingenieria en Diseño Mecanico y Desarrollo Industrial*(55), 1-8.
- Chang, R. (2002). *Quimica* (7a Edicion ed.). Beijin: McGraw-Hill.
- Conde, N. (2008). A la altura de los super-plasticos. *Ambiente Plastico*, 60-80.
- D, A. (2005). Vehicle dynamics analysis task and related tyre simulation challenges. *Vehicle System Dynamycs* 43, 30-47.
- F, C. (2017). Overview on additive manufacturing technologies. *IEEE*, 105(4), 593-612.
- Fernandez Angel, L. M. (2019). *Impresion 3D con Polimeros*. Madrid.
- Hermann, M. P. (2016). Desing Principles for industrie 4.0. *Hawaii international conference on system Sciences desing IEEE, Koloa*, 49, 3928-3937.
- Huang, Y, L. M. (2015). Additive Manufacturing: current state, future potencial, gaps and needs, and recomendations. *Journal of Manufacturing Science and Engineering*(014001), 137(1).
- Inaki, I., Javier, M. A., Kubler, A., & Javier, M. (2009). A noninvasive brain-actuated wheelchair based on a p300 neurophysiological protocol and automated navigation. *IEEE Transactions on Robotics*, 25(3), 614-627.
- Kim, D. C. (2012). *Robot Manipulator*.
- Kovac, F. J. (1978). *Tire technology*. Goodyear Tire and Rubber Co. 5th.

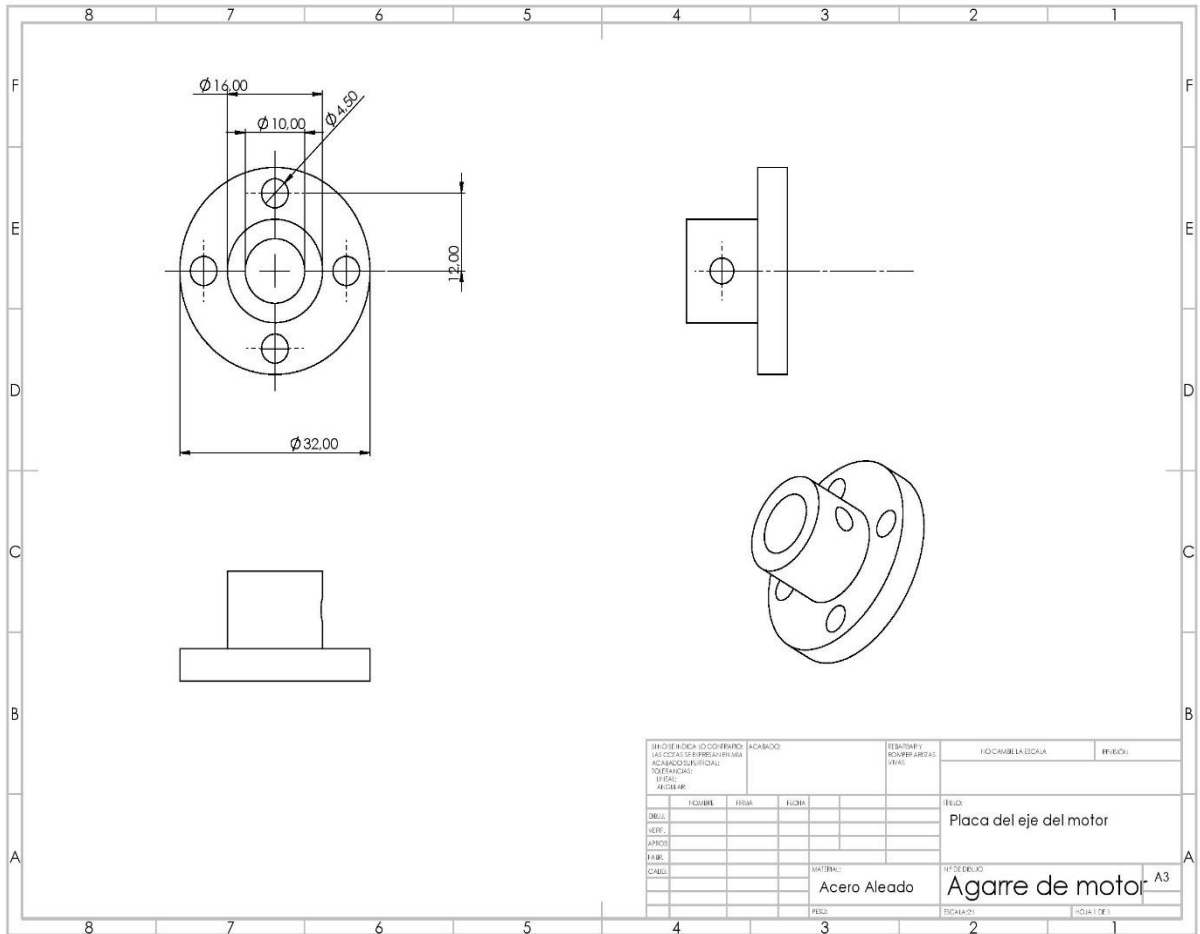
- Kuzyk, A. R. (2010). Modified mecanum wheels for traversing rough terrains. *IEEE Autonomic and Autonomus System*, 97-103.
- Kyura, N. O. (2010). Mechatronics-an industrial perspective. *IEEE/ASME Transactions on Mechatronics*, 1(1).
- Mechanics, P. (2015, Junio 4). Tires: A Century of Progress. pp. 60-64.
- Merino, J. P. (2013, Marzo). *Definicion de Polimeros*.
- N, D. D. (2007). Ceramic layer-by-layer stereolithography for the manufacturing of 3-D millimeter-wave filters. *IEEE Trans Microw Theory Techn*, 55(3), 548-554.
- Ray, L. B. (2009). Estimation of net traction for differential-steered. *Journal of Terramechanics*, 75-87.
- Reeves, P. (2007). Rapid manufacturing-a business case for developing reusable multimedia for engineering education. *International Symposium for Engineering Education* , 7, 75-82.
- Roemi, F. R. (2012). Control de Traccion en robots moviles con ruedas. *Revista Iberoamericana de Automatica e Informatica industrial*, 393-405. doi:<https://doi.org/10.1016/j.riai.2012.09.008>
- S, M. R. (2013). Analysis and control of an omnidirectional mobile robot. *IEEE Robotics*, 1-6.
- Space, N. A. (2012, Agosto 6). NASA.
- Teddlie, T. (2014). Enfoque Mixto. *Barrantes*, 100.
- Transportation, U. D. (2001). *Mechanics of Pneumatic Tires*. United States.
- Vincent Vela, M. (2006). *Ciencia y tecnologia de polimeros*. Valencia: UPV.
- Week, B. (2012, Junio 8). Winners: The Best Product Design of the Year. pp. 56-57.
- Zepeda, B. N. (2013). *Diseño y Fabricacion de un silla de ruedas electrica modular para un paciente con amelia congenitita*. Mexico, DF.

# ANEXOS

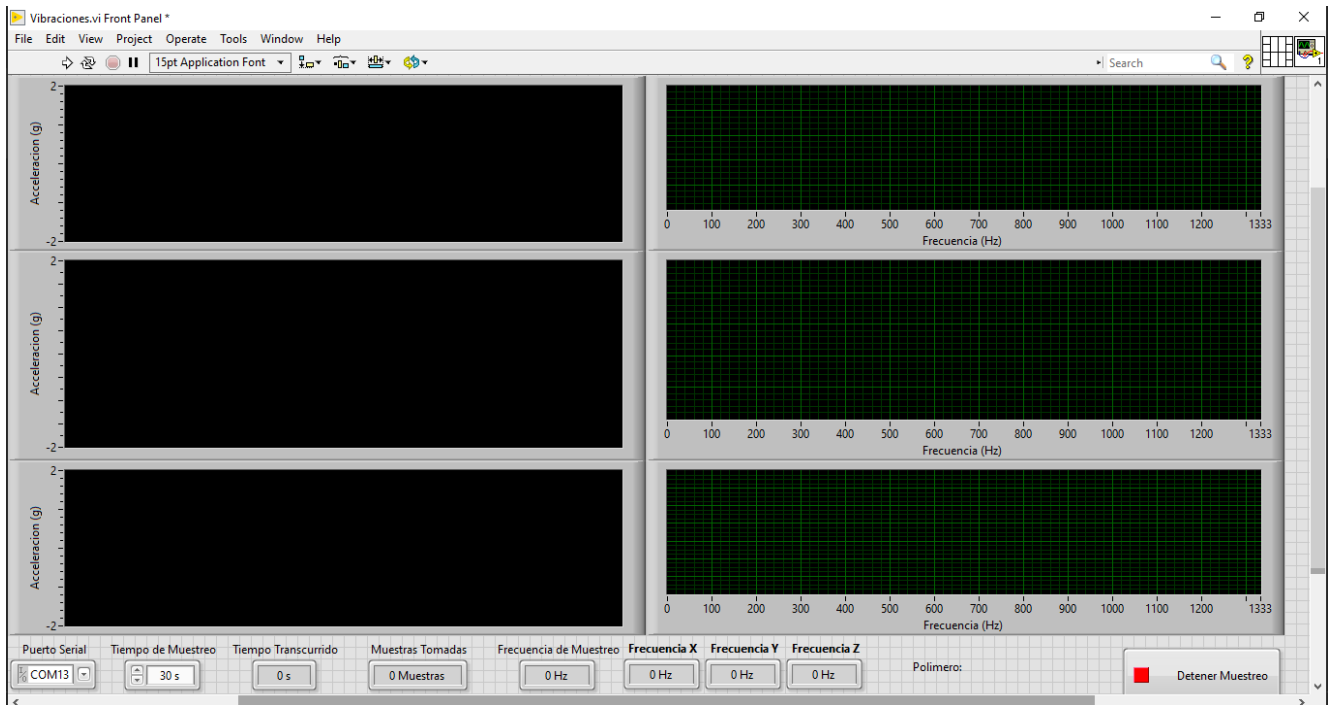
## Anexos 1-Plano de rueda por método cavidad



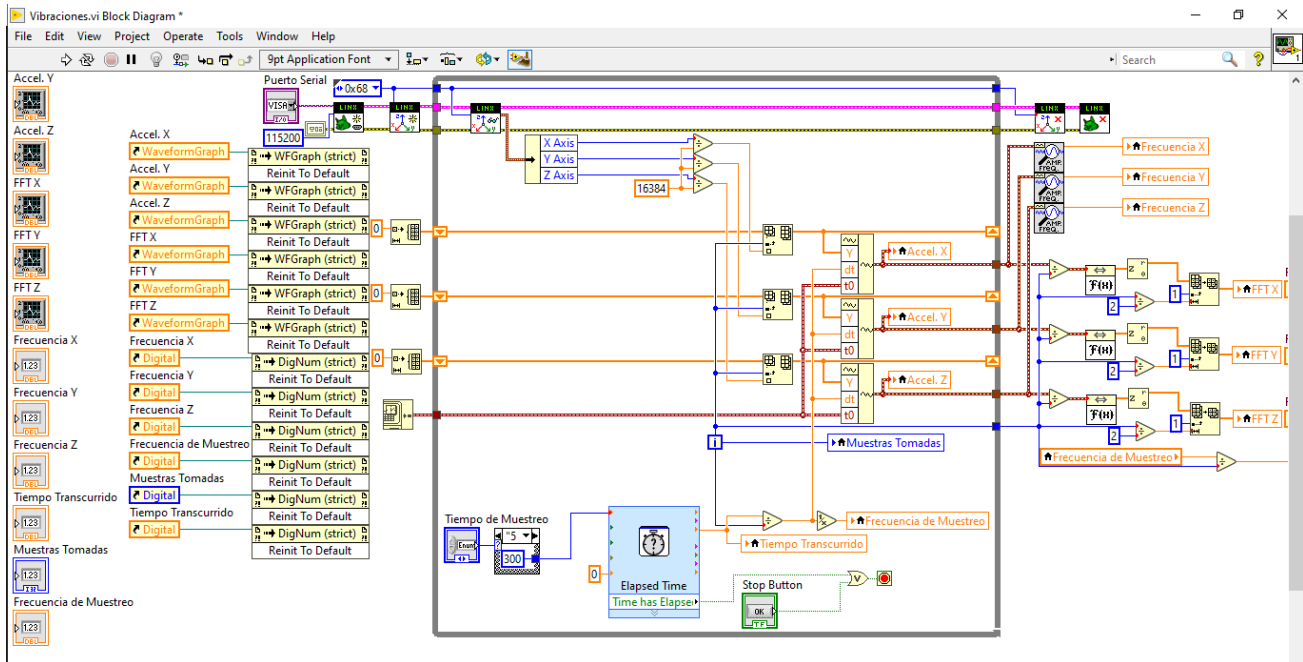
## Anexos 2-Plano de placa de soporte al eje del motor



## Anexos 3-Interface en Software LabVIEW

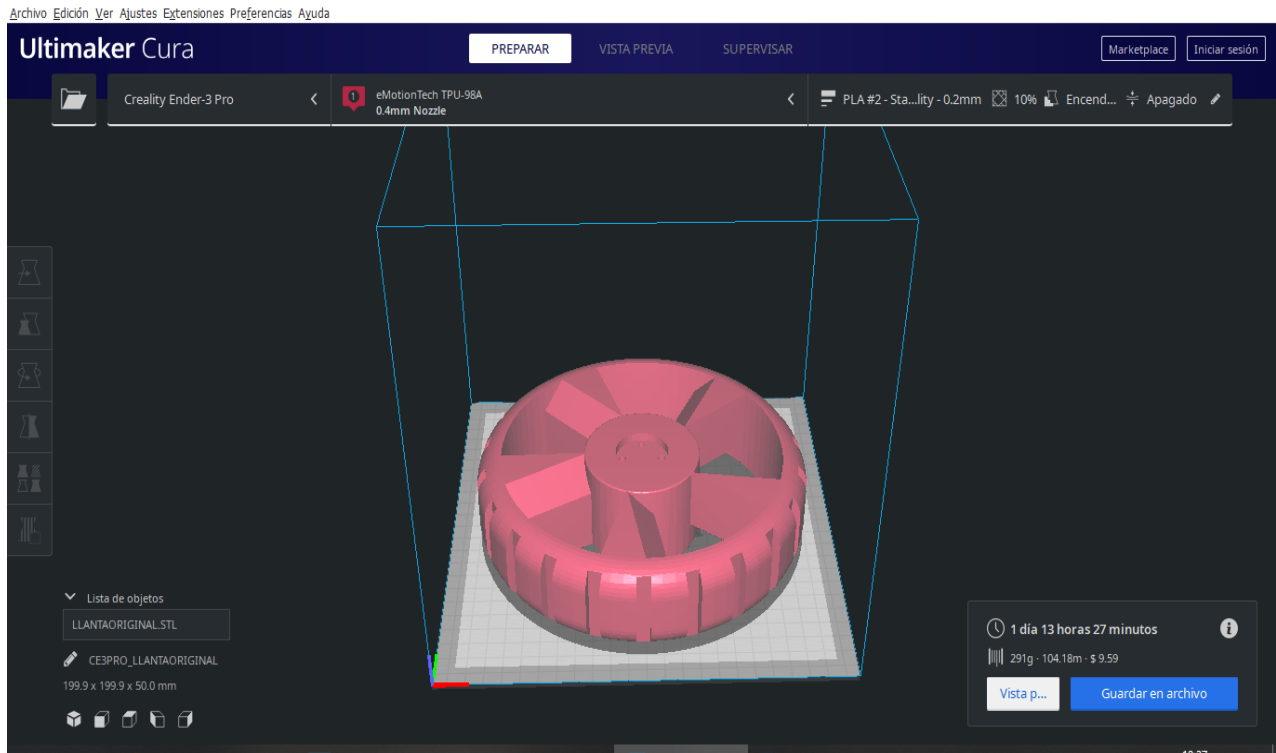


## Anexos 4-Interface de programación en LabVIEW para pruebas de vibración





## Anexos 5-Interface Software Ultimaker Cura



## Anexos 6-Prototipo Final

