

DESARROLLO DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA CARACTERIZAR
NEUMÁTICOS DE UN VEHÍCULO MODELO SPARK

Estudiante

LUIS GUILLERMO SALAZAR GELVEZ

Director

JESSICA GISSELLA MARADEY LAZARO, MEng. MSc.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BUCARAMANGA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA
BUCARAMANGA

2020

Nota de aceptación

Director del proyecto

Evaluador

Evaluador

Bucaramanga, 16 de julio 2021

Tabla de contenido

1.	Introducción	9
2.	Justificación	10
3.	Objetivos	11
3.1.	Objetivo general	11
3.2.	Objetivo específico	11
4.	Análisis bibliométrico	12
4.1.	Selección de documentos	12
5.	Revisión a la literatura	15
6.	Marco teórico	16
6.1.	Neumáticos	16
6.1.1.	Descripción del neumático	17
6.1.2.	Tipos de neumático	18
6.1.3.	Tipos de construcción	19
	6.1.4. Nomenclatura	20
6.1.5.	Dimensión de los neumáticos	21
6.1.6.	Presión de los neumáticos	23
7.	Metodología	24
8.	Selección de instrumentación	27
	9. Diseño	28
9.1.	Diseño conceptual	28
9.2.	Diseño mecánico	29
9.2.1.	Cálculo del motor (Relación neumático-rodillo)	31
9.2.2.	Cálculo de cojinete	34
9.2.3.	Cálculo de fuerza cortante y momento de flexión	36
9.2.4.	Cálculo de polea	40

9.2.5.	Calculo de correa	42
9.3.	Diseño CAD	43
9.3.1.	Base banco de pruebas	44
9.3.2.	Elevador mecanico	45
9.3.3.	Laminas superiores de la base	46
9.3.4.	Soporte del conjunto de suspensión	47
	9.3.5. Suspensión	48
	9.3.6. Atril	49
9.3.7.	Malla protección	50
	9.3.8. Rodillo	51
9.4.	Diseño electronico	51
10.	Presupuesto	53
11.	Construcción	57
12.	Interfaz grafica	57
13.	Vision artificial	64
13.1.	Metodologia para la adquisicion de imagenes	16
14.	Validación	66
15.	Conclusiones	71
16.	Trabajos futuros	71

Lista de figuras

<u>Figura 1. Tipos de documentos que investigan el tema seleccionado</u>	<u>13</u>
<u>Figura 2. Autores que investigan el tema relacionado</u>	<u>13</u>
<u>Figure 3. Países que investigan el tema seleccionado</u>	<u>14</u>
<u>Figure 4. Universidades o centros que investigan el tema relacionado</u>	<u>14</u>
<u>Figure 5. Descripción del neumático</u>	<u>18</u>
<u>Figure 6. Tipos de neumático</u>	<u>20</u>
<u>Figure 7. Nomenclatura del neumático</u>	<u>20</u>
<u>Figure 8. Dimensión del neumático</u>	<u>22</u>
<u>Figura 9. Metodología en V para la solución del proyecto</u>	<u>24</u>
<u>Figure 10. Analisis de soluciones para el desgaste de la llanta</u>	<u>26</u>
<u>Figure 11. Analisis de soluciones para el inflado y la resistencia a la rodadura</u>	<u>26</u>
<u>Figure 12. Analisis de soluciones para el desgaste de llanta</u>	<u>27</u>
<u>Figure 13. Medidor de presión marca Uyustool</u>	<u>27</u>
<u>Figure 14. Conexión del sensor SunDing en el neumático</u>	<u>28</u>
<u>Figura 15. Diagrama explicativo de la cámara con la interfaz</u>	<u>28</u>
<u>Figure 16. Primeros diseños conceptuales del banco de pruebas</u>	<u>29</u>
<u>Figure 17. Primeros diseños conceptuales del banco de pruebas</u>	<u>29</u>
<u>Figure 18. Analisis de la suspensión del SPARK</u>	<u>30</u>
<u>Figure 19. Inercia de diferentes solidos</u>	<u>33</u>
<u>Figure 20. Diagrama de cuerpo libre para la viga</u>	<u>38</u>
<u>Figura 21. Primera sección para analizar</u>	<u>39</u>
<u>Figure 22. Segunda sección para analizar</u>	<u>39</u>
<u>Figure 23. Tercera sección para analizar</u>	<u>40</u>
<u>Figure 24. Diagrama cortante de la viga</u>	<u>40</u>
<u>Figure 25. Primera sección para analizar</u>	<u>41</u>

<u>Figure 26. Segunda sección para analizar</u>	<u>41</u>
<u>Figure 27. Tercera seccion para analizar</u>	<u>42</u>
<u>Figure 28. Diagrama momento flector</u>	<u>42</u>
<u>Figure 29. Configuración de polea motriz y conducida</u>	<u>43</u>
<u>Figure 30. Analisis de la polea</u>	<u>44</u>
<u>Figure 31. Distancia entre centros para poleas</u>	<u>45</u>
<u>Figure 32. Vista isometrica con anotaciones en forma de circulo</u>	<u>46</u>
<u>Figure 33. Base del banco de pruebas diseñado en solidworks</u>	<u>47</u>
<u>Figure 34. Simulación del banco de pruebas diseñado en solidworks</u>	<u>47</u>
<u>Figure 35. Simulación del factor de seguridad de la base del banco de pruebas en solidworks</u>	<u>47</u>
<u>Figure 36. Datos entregados por el estudio de factor de seguridad en solidworks</u>	<u>47</u>
<u>Figure 37. Datos entregados por el estudio de fatiga de la base del banco de pruebas en Solidworks</u>	<u>47</u>
<u>Figure 38. Elevador mecanico diseñado en Solidworks</u>	<u>48</u>
<u>Figure 39. Laminas superiores diseñadas en Solidworks</u>	<u>48</u>
<u>Figure 40. Simulación de la lamina superior diseñada en Solidworks</u>	<u>49</u>
<u>Figure 41. Simulación del factor de seguridad de la lamina del banco de pruebas en solidworks</u>	<u>47</u>
<u>Figure 42. Datos entregados por el estudio de fatiga de la lamina superior del banco de pruebas en Solidworks</u>	<u>47</u>
<u>Figure 43. Soporte del conjuntode suspensión diseñado en Solidworks</u>	<u>50</u>
<u>Figure 44. Simulación del conjunto de suspensión diseñado en Solidworks</u>	<u>50</u>
<u>Figure 45. Simulación del factor del soporte de suspension del banco de pruebas en solidworks</u>	<u>47</u>
<u>Figure 46. Datos entregados por el estudio de fatiga del soporte de suspensión del banco de pruebas en Solidworks</u>	<u>47</u>

<u>Figure 47. Suspensión diseñada en Solidworks</u>	<u>51</u>
<u>Figure 48. Atril diseñado en Solidworks</u>	<u>52</u>
<u>Figure 49. Simulación del atril diseñado en Solidworks</u>	<u>52</u>
<u>Figure 50. Simulación del factor del pedestal del banco de pruebas en solidworks</u>	<u>47</u>
<u>Figure 51. Datos entregados por el estudio de fatiga del pedestal del banco de pruebas en Solidworks</u>	<u>47</u>
<u>Figure 52. Malla del atril diseñada en Solidworks</u>	<u>53</u>
<u>Figure 53. Rodillo diseñado en Solidworks</u>	<u>53</u>
<u>Figure 54. Simulación del rodillo diseñado en solidworks</u>	<u>54</u>
<u>Figure 55. Simulación del factor del rodillo del banco de pruebas en solidworks</u>	<u>47</u>
<u>Figure 56. Datos entregados por el estudio de fatiga del rodillo del banco de pruebas en Solidworks</u>	<u>47</u>
<u>Figure 57. Alimentación del motor a 110 V</u>	<u>54</u>
<u>Figure 58. Esquema de conexión en el banco de pruebas</u>	<u>55</u>
<u>Figure 59. Diagrama de bloques del sistema de conexión</u>	<u>55</u>
<u>Figure 60. Conjunto de suspensión</u>	<u>56</u>
<u>Figure 61. Banco de pruebas construido</u>	<u>61</u>
<u>Figure 62. Creación de la interfaz en app designer matlab</u>	<u>62</u>
<u>Figure 63. Primera pagina de la intefaz</u>	<u>63</u>
<u>Figure 64. Segunda pagina de la interfaz</u>	<u>64</u>
<u>Figure 65. Tercera pagina de la interfaz</u>	<u>65</u>
<u>Figure 66. Cuarta pagina de la interfaz</u>	<u>66</u>
<u>Figure 67. Quinta pagina de la interfaz</u>	<u>67</u>
<u>Figure 68. Diagrama de proceso de la interfaz</u>	<u>67</u>

<u>Figure 69. Base de datos de neumaticos con desgaste y sin desgaste</u>	<u>68</u>
<u>Figure 70. Base de datos de llantas con desgaste y procesada</u>	<u>66</u>
<u>Figure 71. Modificación de filtro</u>	<u>67</u>
<u>Figure 72. Desgaste del neumatico</u>	<u>68</u>
<u>Figure 73. Entrenamiento de la red</u>	<u>68</u>
<u>Figure 74. Imágenes anexadas para la clasificación</u>	<u>68</u>
<u>Figure 75. Imágenes tomadas en tiempo real con la camara de visión</u>	<u>68</u>
<u>Figure 76. Metodología para la adquisición de imagenes</u>	<u>68</u>
<u>Figure 77. División en el rango estipulado</u>	<u>68</u>
<u>Figure 78. Imágenes tomadas en 9 secciones del neumatico</u>	<u>68</u>
<u>Figure 79. Vista de la interfaz con las 9 secciones del neumatico</u>	<u>68</u>
<u>Figure 80. Analisis de campo en el CDA avanzar</u>	<u>68</u>
<u>Figure 81. Pagina de registro en la APP designer de matlab</u>	<u>69</u>
<u>Figure 82. Libro de Excel donde se almacenan los datos</u>	<u>69</u>
<u>Figure 83. Toma de presión del neumatico</u>	<u>69</u>
<u>Figure 84. Pagina del primer analisis</u>	<u>70</u>
<u>Figure 85. Almacenamiento de los valores en Excel</u>	<u>70</u>
<u>Figure 86. Pagina de analisis por visión artificial</u>	<u>71</u>

Lista de tablas

<u>Tabla 1. Frase booleana</u>	<u>12</u>
<u>Tabla 2. Analisis FAST</u>	<u>25</u>
<u>Tabla 3. Selección de chumacera</u>	<u>37</u>
<u>Tabla 4. Diámetros mínimos en mm para la selección de polea según RPM</u>	<u>44</u>
<u>Tabla 5. Configuración de la base del banco de pruebas para realizar el calculo de elementos finitos</u>	<u>48</u>
<u>Tabla 6. Configuración de la base del banco de pruebas para realizar el calculo de fatiga</u>	<u>49</u>
<u>Tabla 7. Configuración de la lamina de separación del tambor y el neumatico para realizar el calculo de elementos finitos</u>	<u>49</u>
<u>Tabla 8. Configuración de la lamina del banco de pruebas para realizar el calculo de fatiga</u>	<u>49</u>
<u>Tabla 9. Configuración de la base del sistema de suspensión para realizar el calculo de elementos finitos</u>	<u>51</u>
<u>Tabla 10. Configuración del soporte de suspensión del banco de pruebas para realizar el calculo de fatiga</u>	<u>49</u>
<u>Tabla 11. Configuración del atril para realizar el calculo de elementos finitos</u>	<u>52</u>
<u>Tabla 12. Configuración de la pedestal de pruebas para realizar el calculo de fatiga</u>	<u>49</u>
<u>Tabla 13. Configuración del rodillo para realizar el calculo de elementos finitos</u>	<u>54</u>
<u>Tabla 14. Configuración del rodillo del banco de pruebas para realizar el calculo de fatiga</u>	<u>49</u>
<u>Tabla 15. Procesos de fabricación del banco de pruebas</u>	<u>59</u>
<u>Tabla 16. Presupuesto del banco de pruebas</u>	<u>62</u>
<u>Tabla 17. Normativa NTC5375</u>	<u>67</u>

1. INTRODUCCIÓN

El vehículo junto con el conductor son los actores clave en el ambiente de movilidad en las ciudades, ya que de estos depende reducir los accidentes de tránsito y del cuidado del automóvil (mantenimiento preventivo o correctivo) que se provea durante el tiempo de uso. Existen muchos elementos y sistemas del vehículo que se deben tomar en cuenta para que el vehículo este en buen estado de funcionamiento, entre estos esta la estructura (Carrocería, chasis y bastidor), volante de dirección, frenos, transmisión, palanca de cambios, motor y neumáticos, entre otros. Uno de los elementos más importantes son los neumáticos, ya que estos son los únicos intermediarios entre el contacto de la carretera y el vehículo, por tal razón es de gran importancia que se encuentre funcionando bien, para garantizar que los mismos tengan una buena adherencia con la carretera. Los neumáticos pueden soportar y transmitir en un punto o zona determinada de la carretera toda la carga vertical, y a su vez puede absorber todos los esfuerzos. Los neumáticos no solo cumplen un papel importante en el desplazamiento seguro de los pasajeros si no que a su vez puede disminuir levemente el consumo de gasolina. Tener los neumáticos en orden y una buena alineación de las ruedas, proporcionarán la adherencia necesaria al asfalto para circular en unos niveles de seguridad adecuados

El propósito de este desarrollo es tener un banco de pruebas para neumáticos de vehículos marca Spark, el banco de pruebas evaluara la presión de inflado, desgaste y la resistencia a la rodadura. Con el fin de determinar si un neumático cumple con los estándares normales para estar en funcionamiento con respecto a normas y criterios establecidos, esto permitirá al estudiante poder hacer diferentes

pruebas con neumáticos y comparar resultados para analizar cómo se puede comportar en movimiento.

2. JUSTIFICACIÓN

La industria de los neumáticos ha recibido atención desde finales de los años 60. No solo existe una demanda cada vez mayor de neumáticos, sino que la importancia va relacionada en el diseño y la fabricación. El neumático es el enlace de conexión entre el vehículo y la carretera, transmitiendo fuerzas motrices de frenado y laterales dentro de entornos físicos en movimiento. Entidades como “CAFÉ” (Corporate Average Fuel Economy), están encargadas en mejorar el consumo de combustible en vehículos urbanos y camiones ligeros, la cantidad de combustible consumido por un vehículo se ve afectada por la eficiencia del vehículo para convertir la energía química en energía mecánica y trasmitirla a los ejes para impulsar las ruedas (Calderón, 2017). Las ruedas es el único elemento en contacto con la carretera, es por ello que requieren de una atención especial. Los neumáticos al ser puestos en contacto con la superficie generan desgastes e imperfecciones en la banda de rodadura o en alguna de sus otras superficies, dichas fallas generadas disminuyen la resistencia y hace que no solo tenga un mal funcionamiento por su poca adherencia a la superficie, si no a su vez el consumo de combustible aumente.

Teniendo en cuenta los criterios de desgaste, resistencia a la rodadura y presión de inflado, se plantea este proyecto con el objetivo de caracterizar un neumático de vehículo de modelo Spark, según estadísticas tomadas de RUNT (Datos procesados por ANDEMOS) está ocupando el primer puesto de los carros más vendidos en Colombia en el año 2018. La medición de criterios ayudara a seleccionar si el neumático esta adecuado para ponerlo en marcha y cumple con la normativa de la ITV, la cual presenta varios factores que debe pasar un neumático antes de ser puesto en operación (Ministerio de energía, 2018).

3. OBJETIVOS

3.1. Objetivo general

- Construir un banco de pruebas para caracterizar neumático de un vehículo modelo Spark.

3.2. Objetivos específicos

- Realizar investigación en el estado del arte de los parámetros, metodologías y procesos de fabricación de llantas a nivel mundial y la medición de los criterios (confort, seguridad etc.) de interés.
- Diseñar el banco de pruebas teniendo en cuenta criterios de desgaste, resistencia a la rodadura y presión de inflado.
- Construir el banco de pruebas.
- Validar el banco teniendo en cuenta la normativa ITV que permitirá saber si el neumático puede estar en funcionamiento.

4. ANÁLISIS BIBLIOMÉTRICO

El estado del arte constituye una base fundamental para el desarrollo del banco de pruebas para la caracterización de neumáticos, respondiendo preguntas necesarias para realizar un buen diseño y ejecución del banco. La investigación del estado del arte se realizó por medio de operadores booleanos que permiten mejores búsquedas, haciendo un análisis de las palabras significativas y así poder tener un resultado de la búsqueda más asertivo. Lo primero que se realizó para seleccionar los términos es tener una lluvia de palabras que hacen parte del proyecto, estas palabras ayudaron a completar la frase booleana como se observa en la tabla 1.

Source scope	
Selection de base de datos	Scopus and Web of Science (WoS)
Tipo de fuente	Artículos en revistas y congresos
Campos	Scopus: Titulo and Titulo y palabras clave WoS: Titulo y tema.
Filtros	Language: English Año: WoS & Scopus: 2010, >2010.
Inclusión / criterios de exclusión	
Términos de búsqueda	"tire", "wheel", "tyre" and "rim"
Criterio de exclusión	No presento criterio de exclusion
Frase booleana	(TITULO ("Tire" OR "Tyre" OR "Wheel") AND ("Wear" OR "Tear") AND ("Rolling resistance" OR "Rolling friction" OR "Rolling drag" OR "Pressure" OR "Inflat") AND ("Test" OR "Bench"))

Tabla 1. Frase Booleana utilizada para el análisis bibliométrico.

4.1. Selección de documentos

Se limitó los resultados con documentos desde el 2010 hasta la actualidad, en la plataforma SCOPUS y se obtuvieron 141 documentos. La plataforma SCOPUS permite descargar los títulos de los archivos en un cuadro en Excel y así poder decidir y seleccionar los más indicados (Scopus, 2021).

La selección de los documentos se realizó con 3 clasificaciones:

- No hablan del tema: 91 documentos
- Hablan del tema seleccionado: 41 documentos
- Documentos con el enfoque seleccionado: 10 documentos

En las siguientes imágenes se puede observar algunos gráficos representativos después de haber realizado la búsqueda, cabe resaltar que esta información es necesaria para poder entender el panorama global de nuestra temática

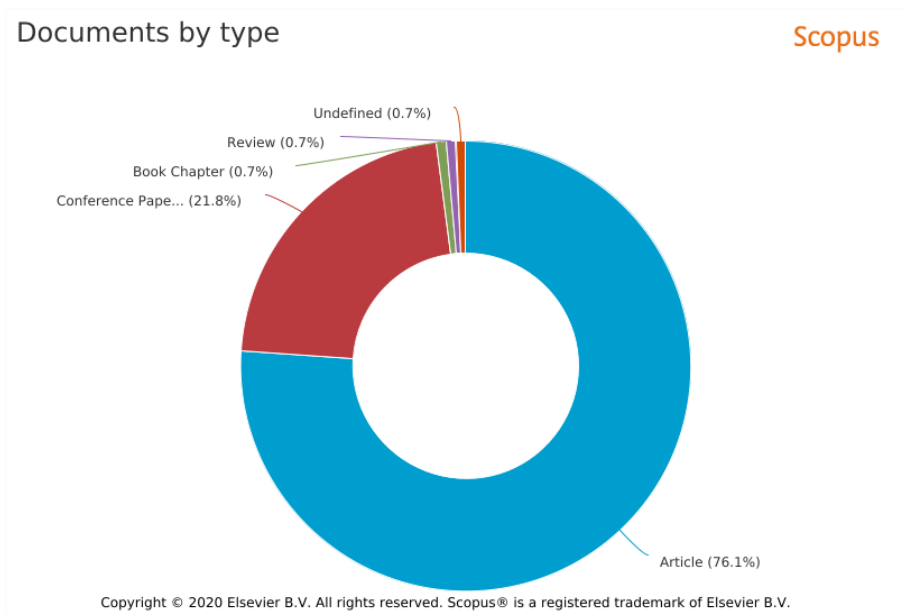


Figura 1. Tipos de documentos que investigan el tema seleccionado.

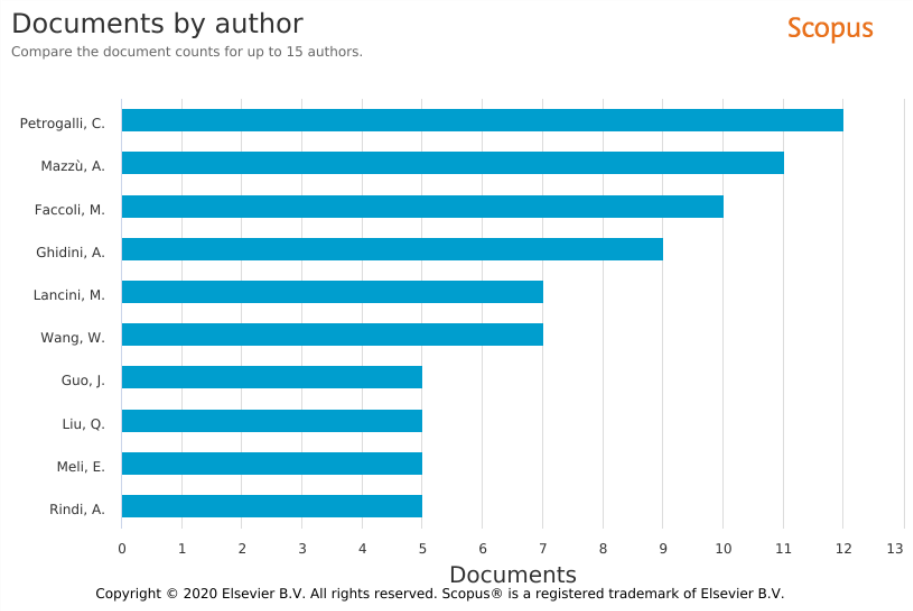


Figura 2. Autores que investigan el tema relacionado

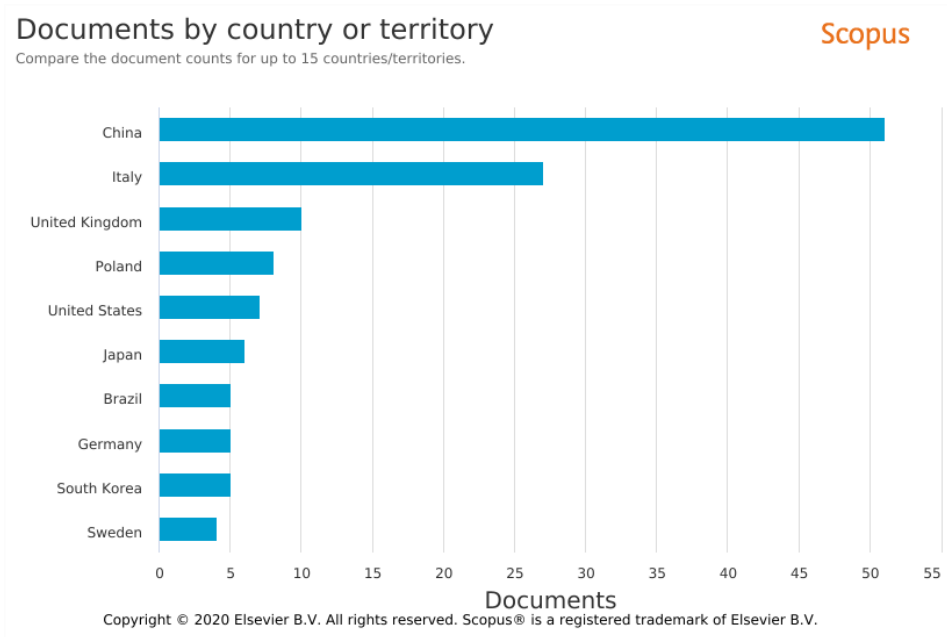


Figura 3. Países que investigan el tema seleccionado.

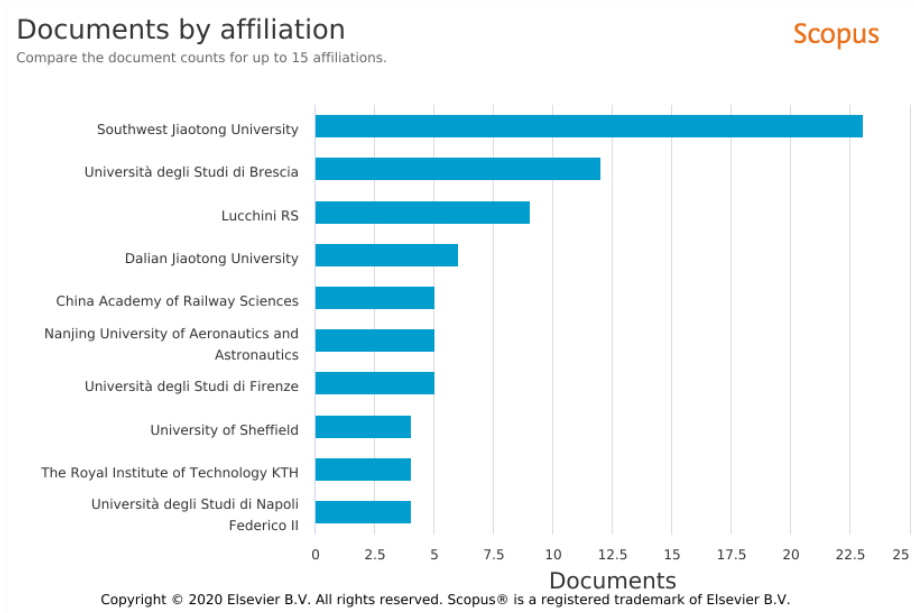


Figura 4. Universidades o centros de investigación relacionados con el tema.

5. REVISIÓN DE LITERATURA

La seguridad del tripulante en un vehículo es un tema que se aborda muy a menudo en las problemáticas relacionadas a la construcción y validación de automóviles en todo el mundo. Varios de estos automóviles salen a funcionamiento con unas recomendaciones que se deben seguir y respetar, pero muchos de los usuarios pasan por alto estas observaciones. Un ejemplo claro de esta problemática es el uso de neumáticos en los automóviles, las barras de desgaste son diseñadas para conectar visualmente los elementos de la banda de rodadura del neumático patrón y avisar a los conductores cuando sus neumáticos ya no se encuentran con los requisitos mínimos de profundidad. Estos valores pueden estar clasificados según su profundidad, un neumático en excelente estado está entre 10/32" a 11/32", un neumático promedio esta entre los 6/32" a 8/32" y un neumático que no es apto para uso está en 2/32" o menos (Lakha, 2019). Otro aspecto que se debe tener en cuenta en los neumáticos es la presión de inflado, existen métodos de acuerdo a parámetros para predecir cuanto aire debe tener el neumático debido al peso del vehículo y funcionamiento (Catalin Persu, 2018). Estos métodos de predicción son sin duda un gran avance en la parametrización y caracterización de neumáticos, debido a que ayudan a evitar accidentes en carreteras cuando se está monitoreando constantemente el automóvil. La resistencia a la rodadura juega otro papel importante debido a que es la encargada de conectar el neumático con la superficie de contacto y como esta es capaz de tener la adherencia necesaria para que el carro este en completo equilibrio.

La resistencia a la rodadura se mide en un laboratorio en condiciones controladas con estándares de prueba en donde el neumático debe estar montado en un eje de giro libre sin inclinaciones ni ángulo (Jinpeng, 2018). Estos bancos de pruebas permiten analizar parámetros que son importantes para definir si un neumático cuenta con las especificaciones necesarias para estar en funcionamiento. Existen 3 tipos de bancos característicos para analizar la resistencia de rodadura, el primero es desarrollado por el sistema de corporación MTS, el segundo es una máquina de prueba con método de torsión (AMB, 2013) y el tercero está relacionado con el método de fuerza. (Andersen, 2012) Bancos de pruebas

enfocados en el desgaste del neumático son actualmente desarrollados por varios investigadores, por medio del cual ponen en movimiento un neumático a ciertas revoluciones por minuto y analizan como es su comportamiento y el desgaste como influye en su rotación. (Integro, 2020)

Actualmente los investigadores están enfocando sus investigaciones en dos ítems importantes: - El primero relacionado al labrado de la banda de rodadura y como juega un papel importante a la reducción de consumo de combustible (Tapia, 2009). - El segundo relacionado con el análisis computacional que se le realiza a los neumáticos para caracterizarlos, por un lado está el análisis por visión artificial, en donde se capturan imágenes del neumático y se procesan para clasificarlas por medio de metodologías implementadas en la visión artificial (Guedes, 2015). Tecnologías como Numetrix analizan los patrones para revisar si un neumático presenta anomalías en su área de contacto, lo más interesante de este desarrollo es como pueden tomar los patrones que describen al neumático y analizan en base a estas especificaciones (Technologies, 2020). Por otro lado está la caracterización por programas de simulación CAD en donde pueden caracterizar el neumático y generar modelos que pueden ser evaluados virtualmente (Karunovic, 2008).

Los avances en temas de seguridad relacionadas con los neumáticos siempre será un tema de investigación, en este proyecto se presentara un banco para caracterizar neumáticos de automóviles marca Spark teniendo en cuenta los anteriores criterios seleccionados.

6. MARCO TEÓRICO

En el presente marco teórico encontrara todos los conceptos mencionados en este libro, los cuales estarán explicados para poder tener una base conceptual en el desarrollo del diseño y construcción del banco de pruebas.

6.1. Neumáticos

Los neumáticos es el enlace elástico entre el vehículo automóvil y el suelo, las funciones son las de transportar carga, contribuir a la suspensión y amortiguación, aportar flotación y permitir la guía y tracción por medio del desarrollo de fuerzas de estabilidad direccional y pares motrices y de freno (Chicote, 2017).

6.1.1. Descripción del neumático

Las partes fundamentales de un neumático radial son:

1. Banda de rodamiento,

Esta parte, generalmente de hule, proporciona la interface entre la estructura de la llanta y el camino. Su propósito principal es proporcionar tracción y frenado.

2. Cinturón (Estabilizador)

Las capas del cinturón (estabilizador), especialmente de acero, proporcionan resistencia a al neumático, estabiliza la banda de rodamiento y protege a ésta de picaduras.

3. Capa radial

La capa radial, junto con los cinturones, contienen la presión de aire. Dicha capa transmite todas las fuerzas originadas por la carga, el frenado, el cambio de dirección entre la rueda y la banda de rodamiento.

4. Costado (Pared)

El hule del costado (pared) está especialmente compuesto para resistir la flexión y la intemperie proporcionando al mismo tiempo protección a la capa radial.

5. Sellante

Una o dos capas de hule especial (en neumáticos sin cámara) preparado para resistir la difusión del aire. El sellante en estos neumáticos reemplaza la función de las cámaras.

6. Relleno

Piezas también de hule con características seleccionadas, se usan para llenar el área de la ceja (talón) y la parte inferior del costado (pared) para proporcionar una transición suave del área rígida de la ceja, al área flexible del costado.

7. Refuerzo de ceja (Talón)

Es otra capa colocada sobre el exterior del amarre de la capa radial, en el área de la ceja, que refuerza y estabiliza la zona de transición de la ceja al costado.

8. Ribete

Elemento usado como referencia para el asentamiento adecuado del área de la ceja sobre el rin.

9. Talón

Es un cuerpo de alambres de acero de alta resistencia utilizado para formar una unidad de gran robustez. El talón es el ancla de cimentación de la carcasa, que mantiene el diámetro requerido de la llanta en el rin

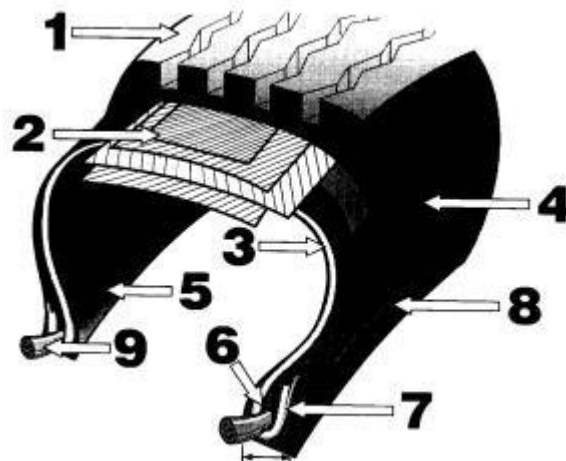


Figura 5. Descripción del neumático

6.1.2. Tipos de neumáticos

- Neumáticos para autopista: También llamados “Neumáticos para verano”, están diseñadas para proporcionar la tracción adecuada al vehículo en caminos tanto lluviosos como secos.
- Neumáticos para nieve: Proveen máxima tracción en condiciones donde el camino es cubierto por una capa de hielo. La banda rodante está diseñada para proporcionar el máximo agarre en estas condiciones, además está construida de un material especial que le permite trabajar en climas helados.
- Neumáticos para toda temporada (all season): Están diseñados para ser operados tanto en condiciones lluviosas así como de nevadas. Proporcionan una buena manejabilidad y ofrecen los beneficios de los neumáticos para autopistas.
- Neumáticos alto desempeño: Ofrecen un alto grado de manejabilidad, agarre y desempeño, además de soportar altas temperaturas y altas velocidades.
- Neumáticos toda temporada/alto desempeño: Ofrecen todas las características del neumático anteriores tanto en caminos secos y lluviosos.

6.1.3. Tipos de construcción

Los neumáticos convencionales se caracteriza por tener una construcción diagonal que consiste en colocar las capas de manera tal, que las cuerdas de cada capa queden inclinadas con respecto a línea del centro orientadas de ceja a ceja. Este tipo de estructura brinda al neumático dureza y estabilidad que le permiten soportar la carga del vehículo. La desventaja de este diseño es que proporciona al neumático una dureza que no le permite ajustarse adecuadamente a la superficie de rodamiento ocasionando un menor agarre, menor estabilidad en curvas y mayor consumo de combustible (Chicote, 2017).

Los neumáticos radiales se caracterización porque las cuerdas de las capas del cuerpo van de ceja a ceja formando semiovalos. Son ellas las que ejercen la función de soportar la carga. Sobre las capas del cuerpo, en el área de la banda de rodamiento, son montadas las capas estabilizadoras. Sus cuerdas corren en sentido

diagonal y son ellas las que soportan la carga y mantienen la estabilidad del neumático (Chicote, 2017).

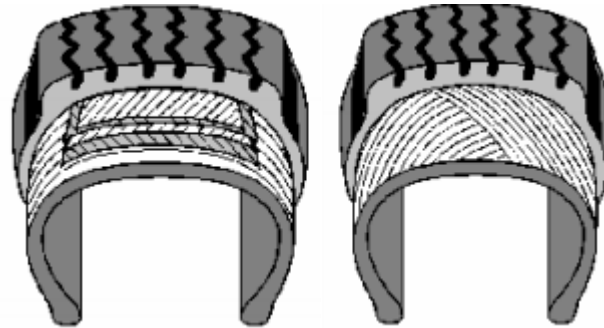


Figura 6. Tipos de neumático.

6.1.4. Nomenclatura

Los numero y letras que se presentan en el costado representa unas características importantes para los neumáticos, estas siglas dan a conocer una serie de características que se toman en cuenta en el momento que la llanta se pone en funcionamiento. Estas siglas proporcionan información del tamaño y dimensión del neumático como es el ancho de sección, relación de aspecto, tipo de construcción, diámetro del rin, presión máxima de inflado, avisos importantes de seguridad e información adicional (Chicote, 2017).



P Indica el uso para automóviles de pasajeros.

215 Representa la anchura máxima entre costados de la llanta en milímetros.

65 Es la relación entre la altura y la anchura de la llanta, se le llama relación de aspecto.

R Significa la construcción radial del neumático.

15 Es el diámetro del rin en pulgadas.

H Símbolo de velocidad.

Figura 7. Nomenclatura del neumático.

Es necesario tener en cuenta que algunos fabricantes solo labran la nomenclatura más importante.

El índice de desgaste del neumático es una clasificación comparativa con base en el valor de desgaste del neumático probada bajo condiciones controladas sobre una vía especificada.

La clasificación de los grados de tracción va de la mayor a la menor y son A, B y C. Estas representan la capacidad de las llantas para frenar sobre pavimento mojado, medida bajo condiciones controladas sobre superficies de prueba de asfalto y concreto, especificadas por el gobierno.

La clasificación de los grados de temperatura va de la mayor a la menor y son A, B y C. Estas representan la resistencia de los neumáticos a la generación de calor por fricción al ser probadas en el laboratorio bajo condiciones controladas (Conae, 2010).

6.1.5. Dimensiones de los neumáticos

- **Diámetro total:** La distancia medida desde un extremo de la banda rodante hasta el opuesto estando el neumático sin carga.
- **Ancho total:** Medida de la sección transversal del neumático estando éste sin carga. Esta medida incluye los costados de la llanta.
- **Ancho de sección:** Medida de la sección transversal excluyendo rebordes del neumático.
- **Ancho de sección de rodadura:** Distancia que existe entre los extremos de la banda rodante estando el neumático sin carga.
- **Profundidad de la selección de rodadura:** La mayor profundidad de la ranura existente entre la banda de rodamiento y su base.
- **Altura de sección:** Distancia entre el asiento de ceja hasta la banda de rodamiento, estando el neumático sin carga.
- **Ancho de rin:** Distancia transversal entre los costados del asiento de la ceja del rin.
- **Diámetro nominal de rin:** Diámetro del rin medido desde el asiento de ceja hasta el extremo opuesto del mismo.
- **Radio estático con carga:** Distancia entre el centro del eje del vehículo y la superficie de rodamiento estando el neumático soportando su máxima capacidad de carga.

- **Ancho de sección con carga:** Es el ancho de sección máximo que el neumático obtiene al estar soportando su máxima capacidad de carga.
- **Espacio mínimo entre duales:** La distancia mínima aceptada entre los centros de las ruedas en un arreglo dual “yoyos”.
- **Revoluciones por milla:** El número de revoluciones que da el neumático en una milla (1 milla= 1609km) a una velocidad de 55mph (88km/hr) indicada en la pared lateral del neumático

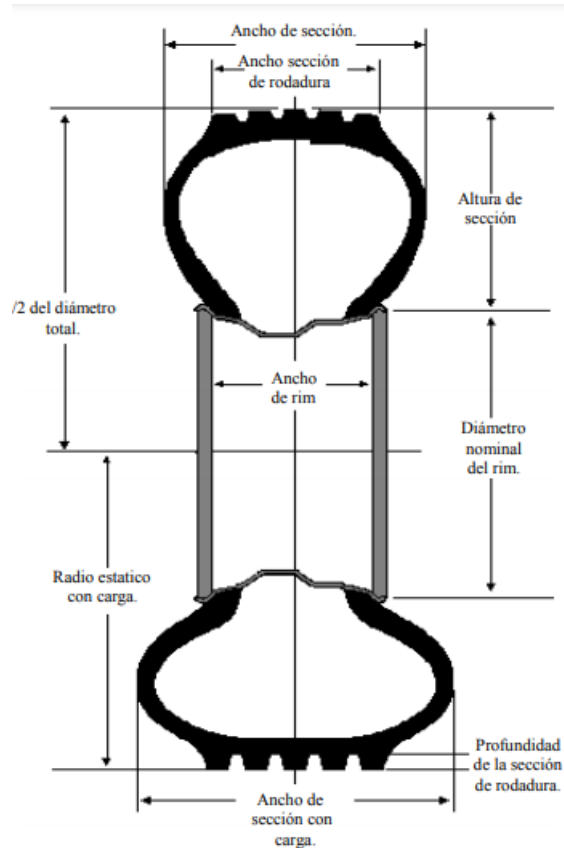


Figura 8. Dimensión del neumático

6.1.6. Presión de los neumáticos

- **Presión de neumático correcta:** Un neumático con una presión de inflado correcta rueda con toda su superficie sobre la calzada. El perfil se desgasta de forma regular y se consigue la mayor superficie de adherencia posible. Esto trae las siguientes ventajas: Mayor kilometraje del neumático, recorrido de frenado mínimo. Estabilidad óptima en curvas y mejor confort de conducción (Roncero, 2015).

- Presión del neumático muy elevada: Si la presión del neumático es muy elevada, solo se consigue una transmisión de fuerza óptima en el centro de la superficie de rodadura. Esto tiene las siguientes desventajas: Desgaste irregular del perfil, duración reducida del neumático y confort de conducción más bajo (Roncero, 2015).
- Presión del neumático insuficiente: Si la presión del neumático es insuficiente, se abomba hacia arriba en el centro, con lo que las fuerzas solo se transmiten de forma óptima sobre la calzada a través de las superficies exteriores. Esto trae las siguientes desventajas: Calentamiento elevado del neumático y riesgo de daños estructurales del neumático, recorridos de frenado más largos y menor duración del neumático.

7. METODOLOGÍA

La metodología indicada para el diseño es en V debido a que me permite en varias etapas de la puesta en marcha la verificación del sistema, esto con el fin de poder ir evaluando. La primera secuencia nos permite ver la primera etapa del estado del arte en donde se afianza el diseño, para luego tener una etapa de verificación y validación.

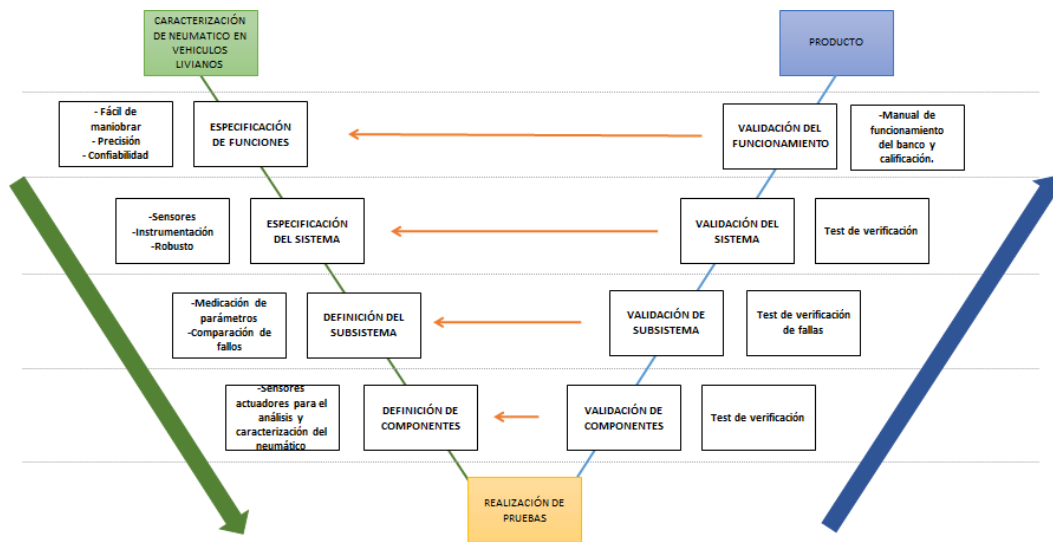


Figura 9. Metodología en V para la solución del proyecto.

Las especificaciones de funciones permiten saber requerimientos importantes para el diseño del sistema. Dos de los requerimientos es la fácil maniobra del banco de pruebas y la precisión. Las especificaciones del sistema cuentan con subsistemas que ayudaron a conocer los tres análisis importantes que se le deben hacer al neumático (Desgaste – Presión – Resistencia a la rodadura), con estas características se definen los componentes del banco de pruebas y su estructura. Luego de esta etapa se construye el banco de pruebas con los requerimientos y el análisis de la funcionalidad.

La etapa de verificación se realizó teniendo en cuenta que el banco de pruebas debía ser robusto, de fácil maniobra y preciso para poder realizar cambios de neumáticos sin presentar riesgos para el operario. En esta etapa también se verifico los sistemas de medición y el análisis por visión artificial, los cuales debían tener el

menor error posible para tener un análisis general por medio de la plataforma MATLAB.

Se validó el banco de pruebas en general y se realizaron dos manuales, uno de usuario en donde se presenta el mantenimiento y operación del banco de pruebas y el segundo de uso y funcionamiento de la interfaz gráfica.

La metodología en V permitió avanzar de manera lógica en el análisis, desarrollo y validación del banco de pruebas para la caracterización de neumáticos de SPARK.

8. SELECCIÓN DE INSTRUMENTACIÓN

El análisis de posibles soluciones se basó en el diagrama FAST que permite conocer el valor y la técnica de las funciones del sistema. Para esto fue necesario investigar las diferentes técnicas implementadas para mostrar la solución a cada problemática planteada en el bando de pruebas.

Para poder realizar el análisis FAST ese necesario conocer las funciones principales y las funciones restrictivas del proyecto, las funciones principales son:

- FP1: Caracterizar el inflado del neumático.
- FP2: Caracterizar el desgaste.
- FP3: Caracterizar la resistencia a la rodadura.
- FP4: Visualización.
- FP5: Analizar datos de fabricación.

Las funciones restrictivas permiten limitar alguna función del sistema o el funcionamiento completamente del banco, las funciones restrictivas son:

- FC1: Estar conectado a la red.
- FC2: Estar en condiciones de operación.

Las funciones principales y restrictivas tienen un peso según la necesidad para el proyecto, como se ve en la tabla 2.

		DESGASTE						INFLADO		RESISTENCIA A LA RODADURA		DATOS DEL NEUMATICO		VISUALIZAR	
		VISIÓN ARTIFICIAL		OPERARIO	SENSORES DE PROFUNDIDAD		ENSOR DE PRESIÓN		OPERARIO	BM	VISION ARTIFICIAL	OPERARIO	VISUALIZACIÓN		
Funciones principales y restrictivas		Peso de la necesidad	Análisis Banda	Análisis perfil	Operario	TA200	LASER	TPMS DIRECTO	TPSMS INDIRECTO	Operario	Banda movil	Análisis perfil	Operario	HDMI	MOVIL
FP1	Caracterizar el inflado del neumático	5	0	0	0	0	0	9	3	0	0	0	0	0	0
FP2	Caracterizar el desgaste	5	3	9	1	3	1	0	0	0	0	0	0	0	0
FP3	Caracterizar la resistencia a la	5	0	0	0	0	0	0	0	3	9	0	0	0	0
FP4	visualizar graficas de	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	1
FP5	Analizar datos de fabricación	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	1	0	0
FC1	Estar conectado a la red	5	9	9	1	9	9	9	1	1	9	9	1	9	9
FC2	Estar en condiciones	4	9	9	1	1	1	1	1	1	1	9	1	1	1
TOTAL			96	126	14	64	54	94	24	24	94	90	10	76	52

Tabla 2. Análisis FAST.

La solución de cada una de las funciones principales se encuentra en parte superior de la tabla (Desgaste, inflado, resistencia a la rodadura, datos del neumático y visualización), cada una de estos enfoques tienen posibles soluciones que pueden servir para el banco de pruebas de caracterización de los neumáticos de vehículos marca Spark.

Los números indican el peso que se le da a cada solución con respecto a la función y como esta interfiere en el mismo, donde 9 sería la puntuación más alta y 1 la más baja (El cero indica que no aplica)

Las columnas de color rojo indican las soluciones más acertadas según la perspectiva de análisis FAST.

La medición y control de procesos son fundamentales para el buen funcionamiento de máquinas, debido a que garantiza una buena toma de datos y a su vez un análisis adecuado del proceso a realizar.

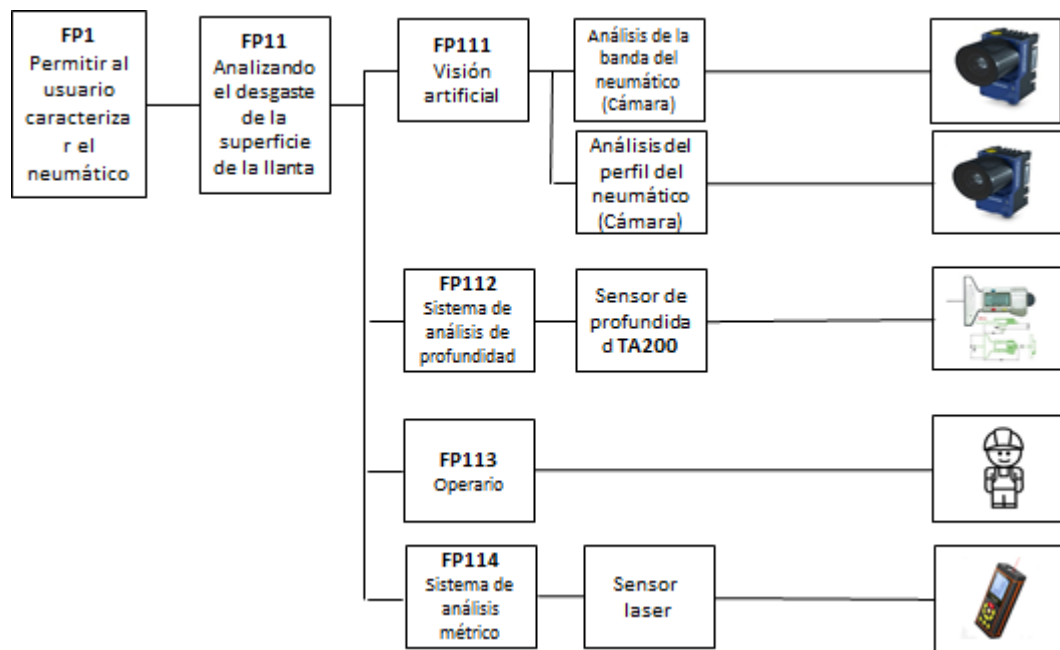


Figura 10. Análisis de soluciones para el desgaste de la llanta.

El desgaste de la superficie se puede evidenciar por medio de diferentes técnicas, la técnica que se seleccionó fue por medio de visión artificial. Esta

implementación ayudara a aplicar técnicas de clasificación con una base de datos ya formada.

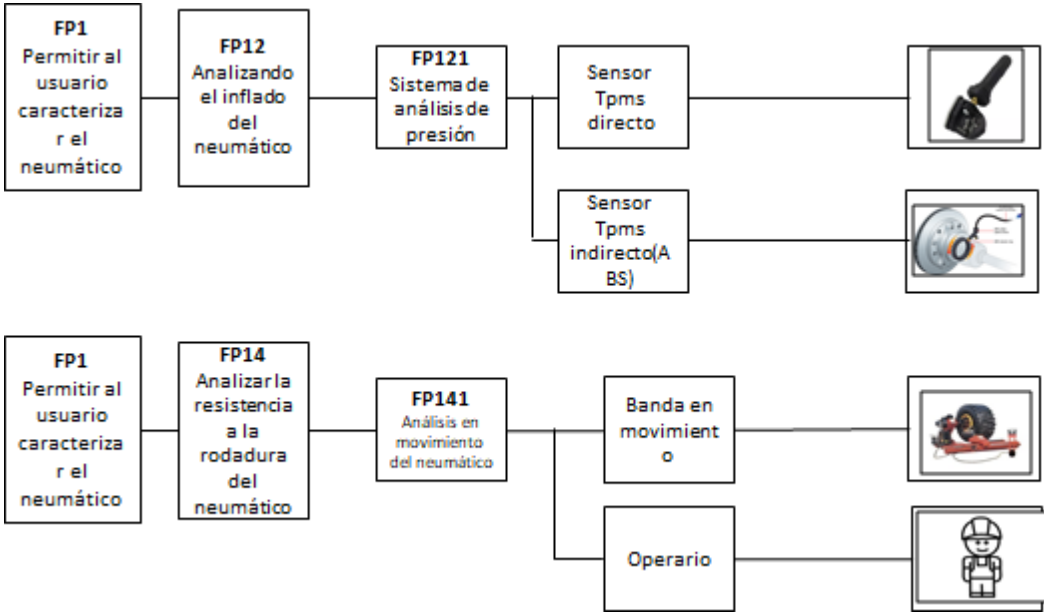


Figura 11. Análisis de soluciones para el inflado y la resistencia a la rodadura.

Para el inflado del neumático se seleccionó un elemento de medición manual en donde se pondrá la presión que tiene el neumático de prueba.

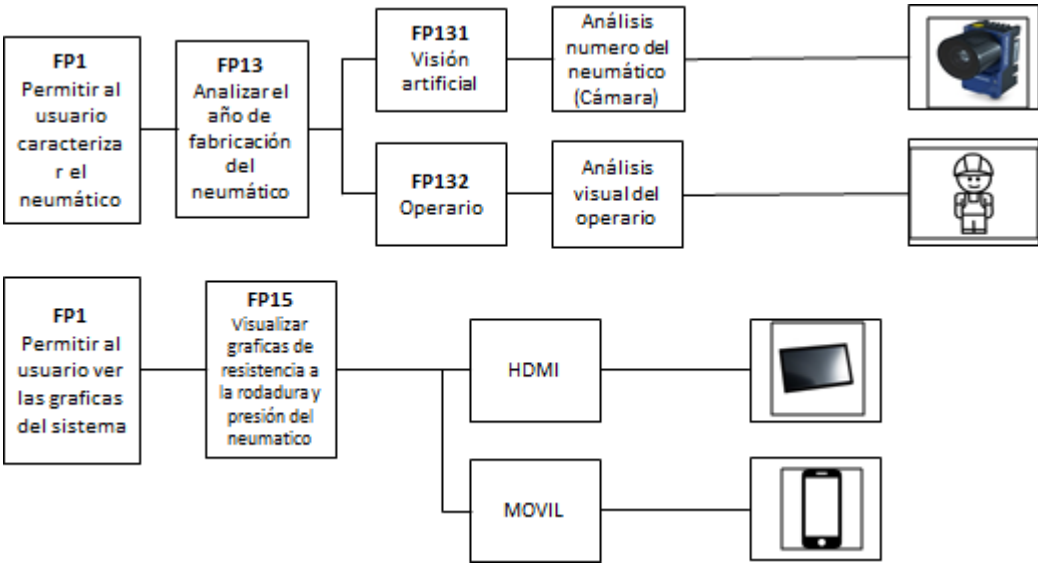


Figura 12. Análisis de soluciones para el desgaste de la llanta.

La interfaz es por medio de una aplicación realizada por MATLAB en donde se anotaran varios valores que son importantes y así poder determinar si el neumático pasa o no la prueba de acuerdo a normas estipuladas.

8.1. Medidor de presión

El medidor de presión marca Uyustool permite medir presión entre los 0 Psi a 70 Psi, con una longitud de la manguera de 16 cm (Uyustool, 2021).



Figura 13. Medidor de presión marca Uyustool (Uyustool, 2021).

8.2. Velocímetro SunDing

El dispositivo SunDing nos ayudara a visualizar la velocidad que lleva el neumático, la distancia recorrida, velocidad máxima, velocidad media y el tiempo en que se realiza la prueba (Manualscat, 2021).



Figura 14. Conexión del sensor SunDing en el neumático (Manualscat, 2021)

En el neumático se pone el imán y frente a él se instala el sensor que le enviara datos al monitor. La distancia esta fija por el fabricante.

8.3. Cámara de visión

El análisis de visión artificial se realiza por medio de una cámara HD de 1800p que estará conectada a Matlab por medio de la interfaz gráfica diseñada para conocer si el neumático cumple con los requerimientos indicados.



Figura 15. Diagrama explicativo de la cámara con la interfaz.

La cámara de visión Logitech HD modelo C920s Pro de modelo V-U0031 tiene 1080P Full HD con lente de cristal.

9. DISEÑO

Teniendo en cuenta los fundamentos teóricos del proyecto y las selecciones en la metodología, se dispone a realizarse un primer esquemático de diseño del banco de pruebas.

9.1. Diseño conceptual

El diseño conceptual del banco de pruebas paso por varios prototipos antes de tener el diseño final, esto se debe a que el banco es un desarrollo que enlaza varios análisis.

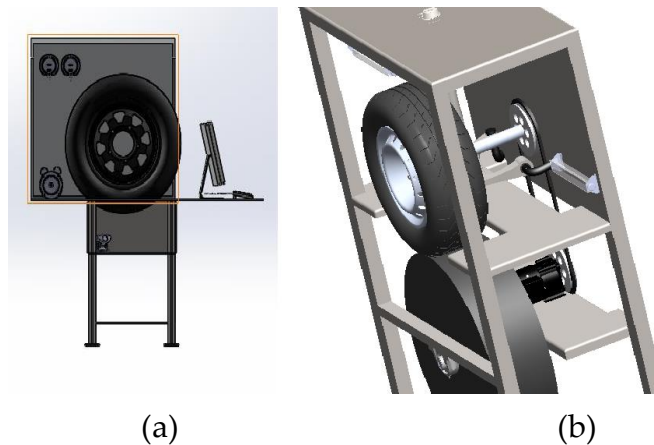


Figura 16. Primeros diseños conceptuales del banco de pruebas

El primer diseño se muestra en la figura 17, esta estructura de acuerdo al análisis conceptual presenta visualmente inestabilidad en su estructura y no cumplía con lo establecido para la implementación. El Segundo diseño se implementó un concepto de tambor conductor que ayuda a simular el área de contacto con el neumático. Presento un inconveniente con el diseño debido a que debe presentar área de contacto entre el rodillo con el neumático.

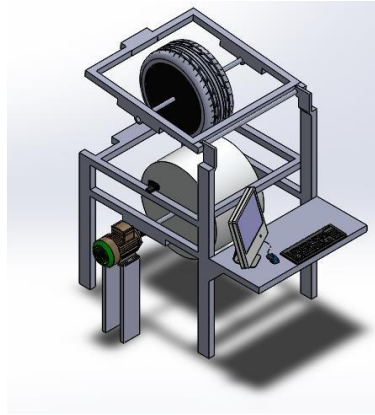


Figura 17. Primeros diseños conceptuales del banco de pruebas

El tercer diseño corregía la problemática anterior de área de contacto, pero presento inconsistencias en el diseño, por este motivo fue necesario pensar en otra alternativa que se presentara en el siguiente ítem.

9.2. Diseño mecánico

El diseño del sistema del banco de pruebas se realizó partiendo de un análisis al SPARK en un taller ubicado en la carrera 90a #76a-99 en la localidad de Engativá en la ciudad de Bogotá.



Figura 18. Análisis de la suspensión del SPARK.

Se aprovechó que el automóvil estaba en el elevador para analizar las diferentes partes que hacen el conjunto de la suspensión y como esta influye en el movimiento y dirección del neumático. Se evidencio la importancia de contar con

un banco de pruebas que se acercara al montaje de un automóvil real, por esta razón se comenzó a diseñar en base al conjunto de la suspensión y de ahí poder desarrollar una idea de diseño.

El diseño del banco de pruebas partió desde el conjunto de suspensión, con esto se pudo tener en cuenta que motor se debe seleccionar y así comenzar a realizar los cálculos necesarios.

9.2.1. Calculo del motor, relación de neumático y rodillo.

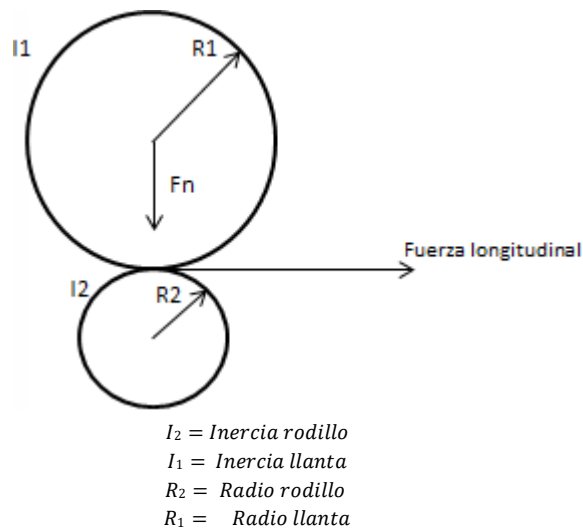


Figura 18. Diagrama de cuerpo libre de la relación entre tambor y neumático.

Para poder adquirir el motor que moverá al sistema es necesario conocer el par requerido por el sistema, por lo que se hizo una relación de radios R_1 y R_2 , de velocidades angulares ω_1 y ω_2 , así como de los pares r_1 y r_2 .

Se sabe que

$$r = \frac{R_2}{R_1} > 1 \quad \text{Ec (1)}$$

Y tomando en cuenta que

$$\omega_1 R_1 = \omega_2 R_2 \quad \text{Ec (2)}$$

Donde $v = \omega_1 R_1$, por lo que se genera

$$\omega_1 = r \omega_2 \quad \text{Ec (3)}$$

Con la segunda derivada de Ec (3) se obtiene

$$\alpha_1 = r\alpha_2 \quad \text{Ec (4)}$$

Donde α_1 y α_2 son las aceleraciones angulares con respecto a los pares que se pueden relacionar a través de las siguientes ecuaciones

$$f = r_1 R_1 \quad \text{Ec (5)}$$

$$f = r_2 R_2 \quad \text{Ec (6)}$$

Iguando las ecuaciones

$$\frac{r_1}{R_1} = \frac{r_2}{R_2} \quad \text{Ec (7)}$$

Despejando r_2 y sustituyendo en Ec (7)

$$r_2 = \frac{R_2}{R_1} r_1 = r r_1 \quad \text{Ec (8)}$$

Se puede relacionar los pares r_1 y r_2 a través de las inercias I_2 y I_1 , de las aceleraciones α_1 y α_2 de la siguiente manera

$$r_1 = I_1 \alpha_1 \quad \text{Ec (9)}$$

$$r_2 = I_2 \alpha_2 \quad \text{Ec (10)}$$

Entonces la fórmula del par que mover al sistema llanta rodillo está dada por

$$r_1 = \left[I_1 + \frac{I_2}{r^2} \right] \alpha_1 \quad \text{Ec (11)}$$

Considerando un automóvil Spark que pesa aproximadamente 795 [Kg]

$$m = \frac{795}{4} = 198.75 [Kg]$$

Con una escala de 1:10 se tiene la masa equivalente del sistema reducido

$$m = \frac{198.75}{10} = 19.875 [Kg]$$

Radio de la llanta

$$R_1 = 0.38 [m]$$

Radio del cilindro

$$R_2 = 0.25 [m]$$

El peso de la llanta ese de 7 [kg] y el peso del cilindro es de 3.2 [kg]

Para calcular la inercia que más adelante serán utilizadas, se utilizó la fórmula del momento de inercia respecto al eje de revolución de un cilindro.

$$I_1 = \frac{1}{2} m_1 R_1^2$$

$$I_1 = \frac{1}{2} * 7 * 0.28^2$$

$$I_1 = 0.2744 \text{ kg} * \text{m}^2$$

$$I_2 = 0.1 \text{ kg} * \text{m}^2$$

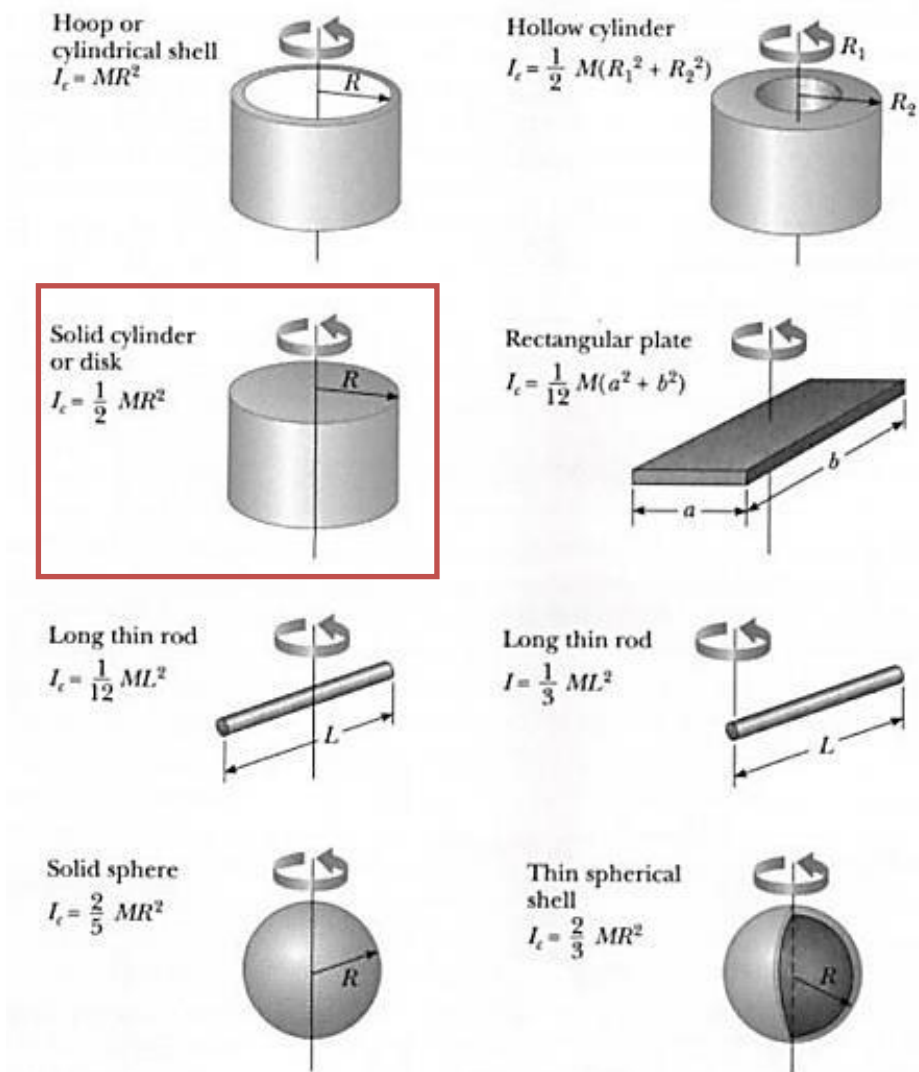


Figura 19. Inercia de diferentes figuras.

Se fija que la velocidad máxima longitudinal de la llanta en el banco de pruebas es de:

$$V_2 = 5.55 \left[\frac{m}{s} \right]$$

$$V_1 = 2.77 \left[\frac{m}{s} \right]$$

Velocidades angulares está dada por

$$\omega_2 = \frac{5.55}{0.38} = 14.6 \left[\frac{rad}{seg} \right]$$

$$\omega_1 = \frac{2.77}{0.27} = 11.08 \left[\frac{rad}{seg} \right]$$

Para obtener el torque requerido que moverá el sistema completo se requiere hacer un análisis entre los radios, las velocidades y los torques.

$$r = \frac{0.30}{0.25} > 1$$

$$r = 1.52 > 1$$

Recordando

$$v = \omega_1 R_1 \quad \text{Ec (12)}$$

Se tiene

$$\omega_1 R_1 = \omega_2 R_2$$

Relación de radios

$$\omega_1 = \frac{R_2}{R_1} \omega_2$$

$$\omega_1 = r \omega_2$$

La segunda derivada

$$\dot{\alpha}_1 = r \dot{\alpha}_2 \quad \text{Ec (13)}$$

Donde se muestran las aceleraciones angulares

$$F = r_1 R_1$$

$$F = r_2 R_2$$

Igualando las ecuaciones

$$\frac{r_1}{R_1} = \frac{r_2}{R_2}$$

Despejando r_2 y sustituyendo la relación de radios

$$r_2 = \frac{R_2}{R_1} r_1 = r r_1$$

Se puede relacionar los torques r_1 y r_2 a través de las inercias I_1 y I_2 , las aceleraciones angulares $\ddot{\alpha}_1$ y $\ddot{\alpha}_2$ de la siguiente manera

$$r_1 = I_1 \ddot{\alpha}_1$$

$$r_2 = I_2 \ddot{\alpha}_2$$

Entonces la ecuación del torque que moverá el sistema llanta-rodillo está dada por

$$r_1 = \left[I_1 + \frac{I_2}{r^2} \right] \ddot{\alpha}_1$$

Haciendo una relación de aceleraciones, se tiene

$$\ddot{\alpha}_1 = \frac{aT}{R_1} \text{ rad}$$

$$\ddot{\alpha}_1 = 14.60 \left[\frac{\text{rad}}{\text{seg}} \right]$$

Donde $\ddot{\alpha}_1$ es la velocidad tangencial del vehículo

$$r_1 = [I_1 + \frac{I_2}{r^2}] \ddot{\alpha}_1$$

$$r_1 = [0.27 \text{ kg.m}^2 + \frac{0.1 \text{ kg.m}^2}{1.52^2 \text{ m}^2}] * 14.60 \left[\frac{\text{rad}}{\text{seg}} \right]$$

$$r_1 = 4.57 \text{ N * m}$$

9.2.2. Calculo cojinete

La selección de la chumacera es importante debido a que esta soporta el peso que tiene la viga que tiene contacto con el rodillo y a su vez soporta el peso del conjunto de suspensión (Ocaña, 2011).

Para seleccionar la chumacera se debe calcular la carga dinámica

$$P = XF_R + YF_a \quad \text{Ec (14)}$$

Dónde:

$$P = \text{Carga equivalente [N]}$$

$$F_r = \text{Carga radial real [N]}$$

$$F_a = \text{Carga axial real [N]}$$

$$X = \text{Factor radial}$$

$$Y = \text{Factor axial}$$

La carga axial aproximadamente es 0.

$$P = XF_r + YF_a$$

$$P = XF_r$$

$$X = \left(\frac{F_a}{F_r} \leq e \right)$$

La carga radial es de 686 [N].

$$P = 1(686)$$

$$P = 686 \text{ [N]}$$

Ecuación de duración

$$L_{10h} = \frac{1000000}{60n} \left(\frac{C}{P} \right)^p \quad \text{Ec (15)}$$

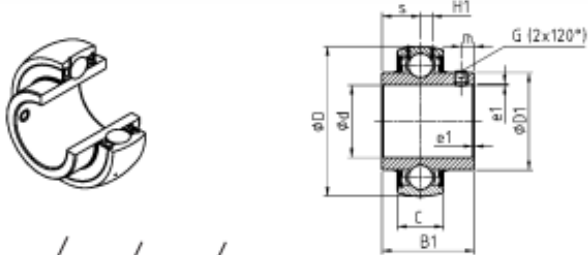
$$C = P * \sqrt[3]{\frac{60 * n * L_{10h}}{1000000}}$$

Para el rodamiento de bolas el P = 3

$$C = 686 * \sqrt[3]{\frac{60 * 662 * 15000}{1000000}}$$

$$C = 5.77 \text{ kN}$$

Se seleccionó una chumacera comercial teniendo en cuenta en diámetro del eje que es de 1 pulgada, en la siguiente imagen se puede ver la selección de la chumacera UC205-16 con una capacidad de carga de 14,00 kN la cual funciona para la implementación.



Diámetro del eje [pulg.]	Rodamiento inserto	Dimensiones principales [mm]										Capacidad dinámica		Capacidad estática	Peso [kg]	Diámetro del eje [pulg.]
		D	C	B1	s _{max}	D1	H1	m	G	a*	e1	C _r	C _{0r}			
1/2	UC201-08	47	16	31,0	12,7	29,0	4,4	4,7	1/4-28UNF	1/8	0,6	12,80	6,65	0,21	1/2	
5/8	UC202-10	47	16	31,0	12,7	29,0	4,4	4,7	1/4-28UNF	1/8	0,6	12,80	6,65	0,20	5/8	
11/16	UC203-11	47	16	31,0	12,7	29,0	4,4	4,7	1/4-28UNF	1/8	0,6	12,80	6,65	0,18	11/16	
3/4	UC204-12	47	16	31,0	12,7	29,0	4,4	4,7	1/4-28UNF	1/8	0,6	12,80	6,65	0,17	3/4	
7/8	UC205-14	52	17	34,0	14,3	34,0	4,3	5,5	1/4-28UNF	1/8	0,6	14,00	7,88	0,21	7/8	
1	UC205-16	52	17	34,0	14,3	34,0	4,3	5,5	1/4-28UNF	1/8	0,6	14,00	7,88	0,20	1	
1 1/8	UC206-18	62	19	38,1	15,9	40,3	5,0	5,5	1/4-28UNF	1/8	0,6	19,50	11,20	0,34	1 1/8	
1 3/16	UC206-19	62	19	38,1	15,9	40,3	5,0	5,5	1/4-28UNF	1/8	0,6	19,50	11,20	0,31	1 3/16	
1 1/4	UC206-20	62	19	38,1	15,9	40,3	5,0	5,5	1/4-28UNF	1/8	0,6	19,50	11,20	0,30	1 1/4	
1 3/8	UC207-22	72	20	42,9	17,5	48,0	5,8	6,5	5/16-24UNF	5/32	1,1	25,70	15,20	0,48	1 3/8	
1 7/16	UC207-23	72	20	42,9	17,5	48,0	5,8	6,5	5/16-24UNF	5/32	1,1	25,70	15,20	0,45	1 7/16	
1 1/2	UC208-24	80	21	49,2	19,0	53,0	6,3	8,0	5/16-24UNF	5/32	1,1	29,60	18,20	0,68	1 1/2	
1 5/8	UC209-26	85	22	49,2	19,0	57,2	6,8	8,0	5/16-24UNF	5/32	1,1	31,85	20,80	0,78	1 5/8	
1 11/16	UC209-27	85	22	49,2	19,0	57,2	6,8	8,0	5/16-24UNF	5/32	1,1	31,85	20,80	0,74	1 11/16	
1 3/4	UC209-28	85	22	49,2	19,0	57,2	6,8	8,0	5/16-24UNF	5/32	1,1	31,85	20,80	0,70	1 3/4	
1 7/8	UC210-30	90	23	51,8	19,0	61,8	6,5	9,0	3/8-24UNF	3/16	1,1	35,10	23,20	0,87	1 7/8	
1 15/16	UC210-31	90	23	51,8	19,0	61,8	6,5	9,0	3/8-24UNF	3/16	1,1	35,10	23,20	0,82	1 15/16	
2	UC211-32	100	25	55,8	22,2	69,0	7,2	9,0	3/8-24UNF	3/16	1,1	43,55	29,20	1,27	2	
2 3/16	UC211-35	100	25	55,8	22,2	69,0	7,2	9,0	3/8-24UNF	3/16	1,1	43,55	29,20	1,10	2 3/16	
2 1/4	UC212-36	110	27	65,1	25,4	74,9	8,2	10,5	3/8-24UNF	3/16	1,1	52,50	32,80	1,67	2 1/4	
2 7/16	UC212-39	110	27	65,1	25,4	74,9	8,2	10,5	3/8-24UNF	3/16	1,1	52,50	32,80	1,45	2 7/16	
2 1/2	UC213-40	120	28	65,1	25,4	82,0	8,0	12,0	3/8-24UNF	3/16	1,5	57,20	40,00	1,94	2 1/2	
2 11/16	UC214-43	125	30	74,8	30,2	86,5	9,0	12,0	3/8-24UNF	3/16	2,0	62,00	45,00	2,02	2 11/16	
2 3/4	UC214-44	125	30	74,8	30,2	86,5	9,0	12,0	7/16-20UNF	7/32	2,0	62,00	45,00	2,06	2 3/4	
2 15/16	UC215-47	130	30	77,8	33,3	91,5	9,0	12,0	7/16-20UNF	7/32	2,0	66,00	49,50	2,30	2 15/16	
3	UC215-48	130	30	77,8	33,3	91,5	9,0	12,0	7/16-20UNF	7/32	2,0	66,00	49,50	2,13	3	
3 1/4	UC217-52	150	35	85,7	34,1	105,1	11,0	14,0	7/16-20UNF	7/32	2,0	83,20	63,80	3,32	3 1/4	
3 1/2	UC218-56	160	37	96,0	39,7	111,0	12,0	14,0	1/2-20UNF	1/4	2,0	96,00	71,50	4,56	3 1/2	

Tabla 3. Selección de chumacera (Ocaña, 2011) .

9.2.3. Cálculo de fuerza cortante y momento de flexión

Una de las vigas más importantes es la que soporta el peso del neumático con el tambor, los puntos de apoyo van en los extremos y se ponen dos cargas puntuales

debido a que el tambor no es macizo. Esta imagen se puede observar en la tabla 10, en la sección eje del cilindro.

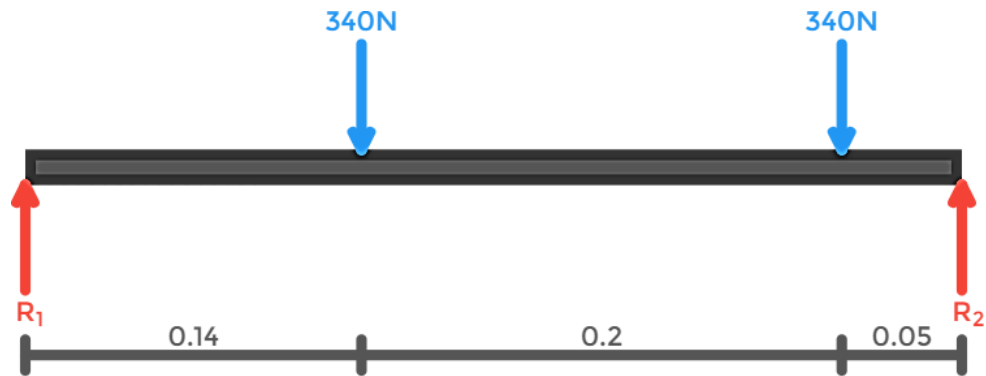


Figura 20. Diagrama de cuerpo libre para viga.

Por notación hago referencia que R1 y R2 los nombrare de forma diferente

$$R_1 = A_y \quad \text{Ec (16)}$$

$$R_2 = B_y \quad \text{Ec (17)}$$

Sumatoria de fuerzas

$$\sum F(x) = 0 \quad \text{Ec (18)}$$

$$A_x = 0$$

$$\sum F(y) = 0 \quad \text{Ec (19)}$$

$$A_y - 0.34kN - 0.34kN + B_y = 0$$

$$-0.34kN - 0.34kN = 0$$

$$\sum M_A = 0 \quad \text{Ec (20)}$$

$$-0.34 * 0.14 - 0.34 * 0.34 + B_y * 0.34 = 0$$

$$-0.0476 - 0.1156 + B_y * 0.34 = 0$$

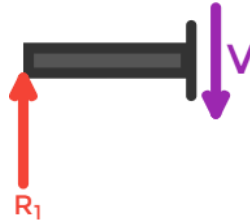
$$B_y = 0.340 kN$$

$$A_y - 0.34kN - 0.3kN + 0.4788 = 0$$

$$A_y = 0.201 kN$$

Para encontrar la ecuacion de la fuerza cortante necesitamos resolver el equilibrio de las fuerzas

Sección 1



Sección 2



Figura 21. Primera sección para analizar.

$$\sum F_y + V_{(x)} = 0$$

$$(0 \leq x \leq 0.14)$$

$$-A_y + V_{(x)} = 0$$

$$V_{(x)} = 0.261$$

Ec (21)

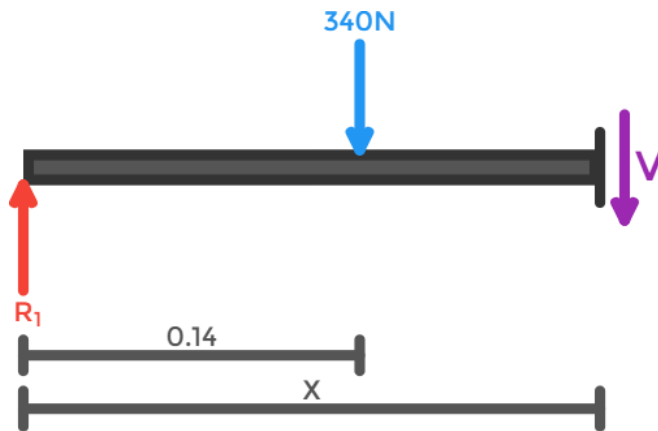


Figura 22. Segunda sección para analizar.

$$(0.14 \leq x \leq 0.34)$$

$$F_1 - A_y + V_{(x)} = 0$$

$$340 - 261 + V_{(x)} = 0$$

$$V_{(x)} = -78.4$$

Sección 3

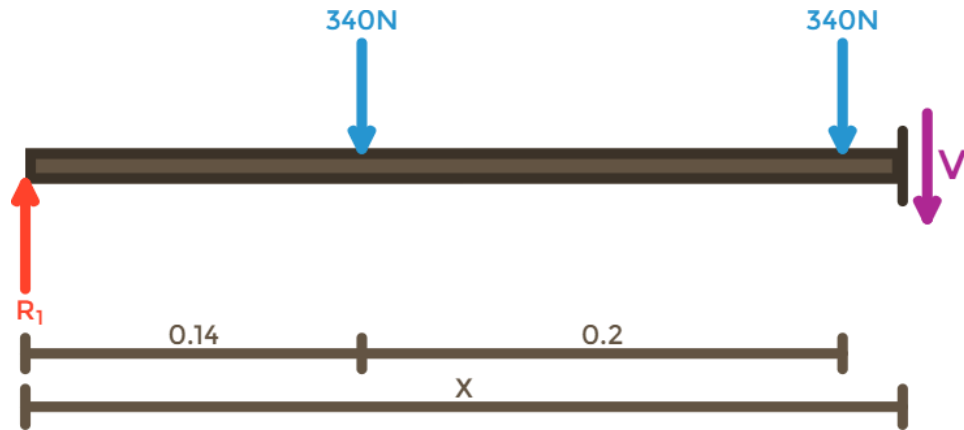


Figura 23. Tercera sección para analizar.

$$F_1 + F_2 - A_y + V(x) = 0$$

$$340 + 340 - 261 + V(x) = 0$$

$$V(x) = -418.40$$

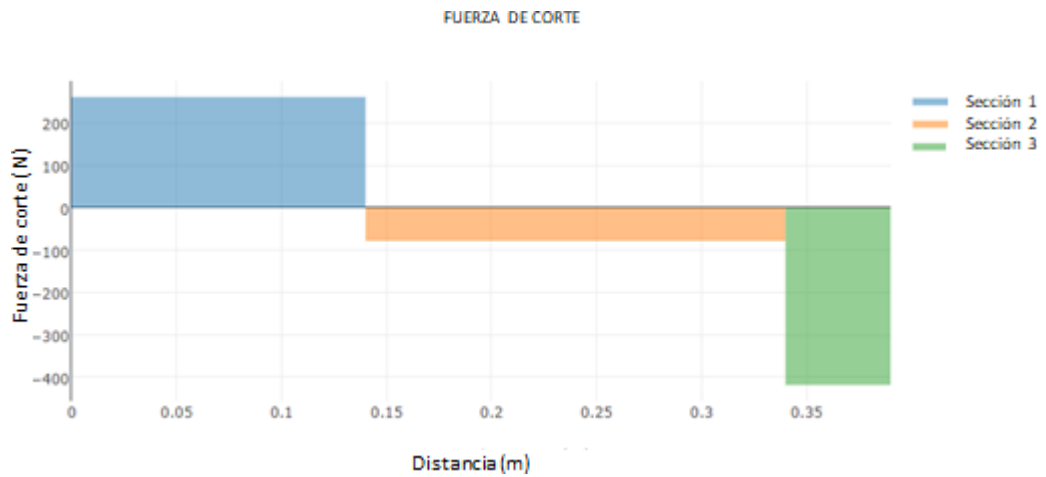


Figura 24. Diagrama cortante de la viga.

Para calcular el momento de flexión se necesita resolver el equilibrio de momentos de cada sección.

$$\sum F_{y(x-xcarga)} + \sum M + M(x) = 0 \quad \text{Ec (22)}$$

Sección 1

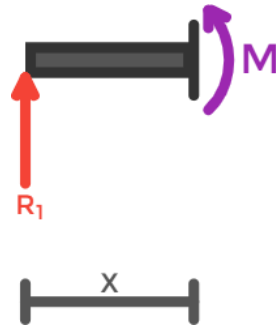


Figura 25. Primera sección para analizar.

$$(0 \leq x \leq 0.14)$$

$$-A_{y(x-xsoporte)} + M_{(x)} = 0$$

$$M_{(x)} = 261$$

Sección 2

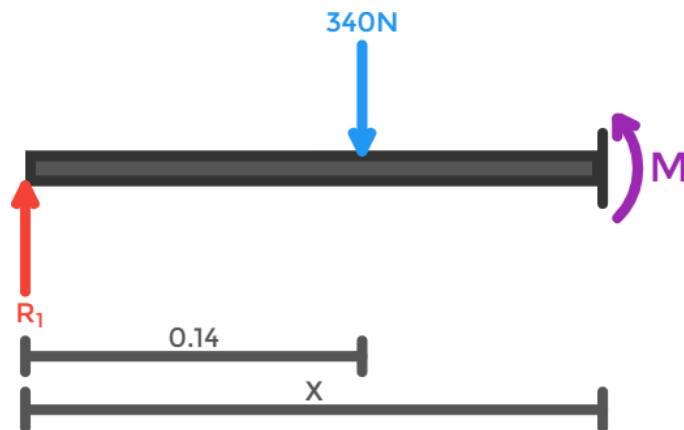


Figura 26. Segunda sección para analizar.

$$(0.14 \leq x \leq 0.34)$$

$$f_{1(x-xcarga)} - A_{y(x-xsoporte)} + M_{(x)} = 0$$

$$M_{(x)} = -78.4615x + 47.6$$

Sección 3

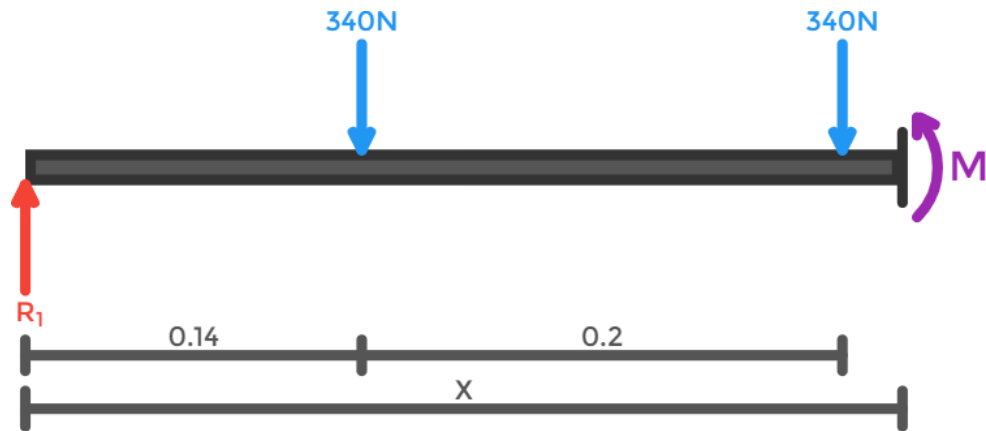


Figura 27. Tercera sección para analizar.

$$(0.34 \leq x \leq 0.39)$$

$$f_1(x-xcarga1) + f_2(x-xcarga2) - A_y(x-xsoporte) + M(x) = 0$$

$$M(x) = -418.46x + 163$$

MOMENTO DE FLEXIÓN

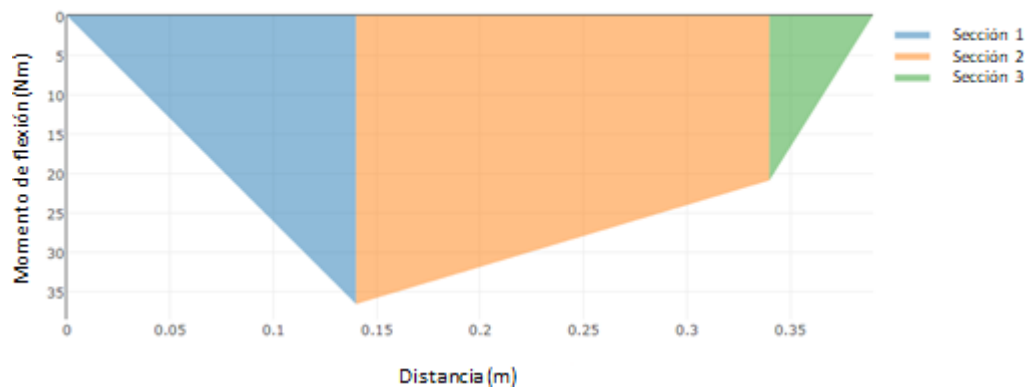


Figura 28. Diagrama de momento flector (Skyciv, 2021).

9.2.4. Calculo de polea

La velocidad de giro del rodillo está estipulada en aproximadamente 550 RPM para esto se realizó el cálculo de las poleas para corroborar esta velocidad. El motor tiene una velocidad de 1720 RPM y la polea exterior se selección con base al diámetro del tambor que conduce el movimiento del neumático.

$$d1 * n1 = d2 * n2 \quad \text{Ec (23)}$$

$$d1 = \frac{d2(n2)}{n1}$$

$$d1 = \frac{25(550)}{21720}$$

$$d1 = 8 \text{ cm}$$

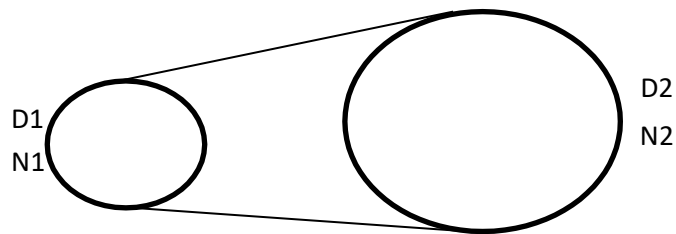


Figura 29. Configuración de polea motriz y conducida.

Se seleccionó poleas y correa en v clásicas porque son para uso liviano y pesado. Este tipo de correas están clasificadas en A, B, C, D ó E.

La selección de la polea se determinó por el tipo de correa a utilizar, en este caso se seleccionó la C que tiene un diámetro en el canal interno de 7/8", este tipo de polea es muy comercial y viene para el diámetro interno de 1" en el eje, otro factor importante es que el diámetro exterior cumple con el estándar NEMA que sugiere utilizar un diámetro mínimo cuando se utiliza una polea conductora en un motor eléctrico. De acuerdo a la tabla se puede evidenciar que para un motor de 1 HP con 1200 RPM se necesita como mínimo un diámetro de 65 mm, este criterio fue necesario para seleccionar la polea.

El balanceo de poleas es necesario cuando excede la velocidad máxima en RPM que estará operando por esta razón se realiza el cálculo.

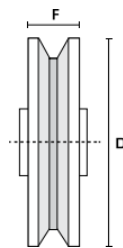


Figura 30. Análisis de la polea.

$$RPM = \frac{394000}{\sqrt{D * F}}$$

Ec (24)

$$RPM = \frac{394000}{\sqrt{80 * 34.9}}$$

$$RPM = 7456$$

La velocidad que trabajara la polea es menor a la calculada por tal razón no presentara problemas de balanceo.

Diámetros mínimos en mm				
Caballos de fuerza (HP)	RPM de Motor			
	900	1200	1800	3600
0,50	65	-	-	-
0,75	65	65	-	-
1,00	65	65	60	-
1,50	75	65	65	65
2,00	75	65	65	65
3,00	75	75	65	65
5,00	100	75	75	65
7,50	115	100	75	75
10,00	115	115	100	75
15,00	135	115	115	100
20,00	155	135	115	115
25,00	170	155	115	115
30,00	170	170	135	-
40,00	210	170	155	-
50,00	230	210	170	-
60,00	260	230	190	-
75,00	260	260	230	-
100,00	350	350	250	-
125,00	380	350	280	-
150,00	465	350	-	-
200,00	550	-	-	-
250,00	-	-	-	-
300,00	-	-	-	-

Tabla 4. Diámetros mínimos en mm para la selección de polea según RPM (Intermec, 2013).

9.2.5. Calculo de correa

El cálculo de la correa parte primero del tipo de polea que se seleccionó y la distancia entre centros. La distancia de centros es importante cuando la diferencia entre los diámetros de la polea conductora y conducida es significativa.

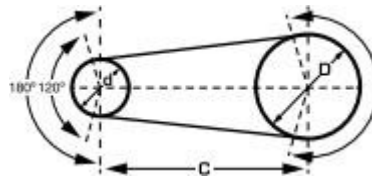


Figura 31. Distancia entre centros para poleas.

$$C = Distancia_{recomendada} = 1.5(D + d)$$

$$C = Distancia_{maxima} = 2(D + d)$$

$$C = \text{Distancia}_{\text{minima}} = 0.7(D + d)$$

$$C = \text{Distancia}_{\text{recomendada}} = 495 \text{ mm} = 49.5 \text{ cm}$$

$$C = \text{Distancia}_{\text{maxima}} = 660 \text{ mm} = 66 \text{ cm}$$

$$C = \text{Distancia}_{\text{minima}} = 231 \text{ mm} = 23.1 \text{ cm}$$

Con base en esto se selecciona un tipo de correa que este cerca a la distancia recomendada entre centros y así poder cumplir con la recomendación de cálculos de correa (Intermec, 2013).

Ya teniendo la distancia entre centros se necesita saber la longitud de la correa en V , para esto se tiene la siguiente ecuación:

$$L_p = 2C + 1.57(D + d) + \frac{(D+d)^2}{4C} \quad \text{Ec (25)}$$

$$L_p = 2(500) + 1.57(80 + 250) + \frac{(80 + 250)^2}{4(500)}$$

$$L_p = 1572.55 \text{ mm}$$

$$L_p = 157.255 \text{ cm}$$

El Valor de la longitud de la correa permite hacer una compra adecuada de la correa de transmisión.

9.3. Diseño CAD

El diseño mecánico del banco de pruebas para la caracterización de neumáticos se ajusta a las especificaciones.

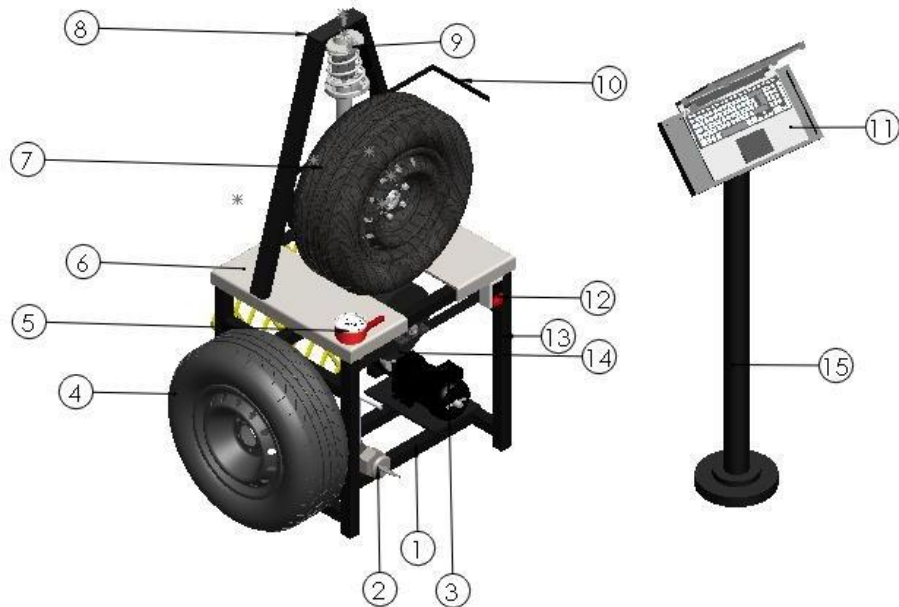


Figura 32. Vista isométrica con anotaciones en forma de círculo.

El banco de pruebas está representado por 15 partes principales como se muestran a continuación:

1. Base del banco de pruebas
2. Elevador mecánico
3. Motor
4. Neumático con desgaste
5. Medidor de presión
6. Laminas superiores de la base
7. Neumático sin desgaste
8. Soporte del conjunto de suspensión
9. Suspensión
10. Base cámara
11. Base superior de atril
12. Botón encendido apagado
13. Parales de la base
14. Tambor conducido
15. Base inferior atril

Observando la figura 32 se puede observar la lista de las partes más representativas del banco de pruebas, diseños en CAD realizados en el software Solidworks.

9.3.1. Base del banco de pruebas

La base del banco de pruebas es una de las partes más importantes porque soporta el peso de la estructura superior. Esta base debe tener las características de estabilidad y rigidez.

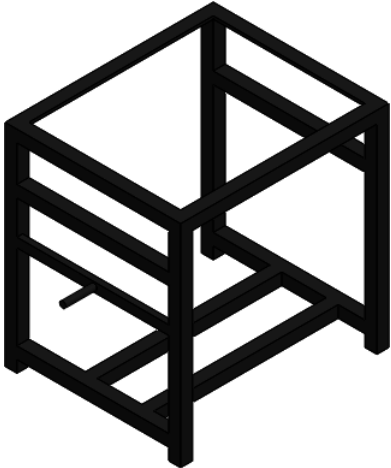


Figura 33. Base del banco de pruebas diseñado en Solidworks.

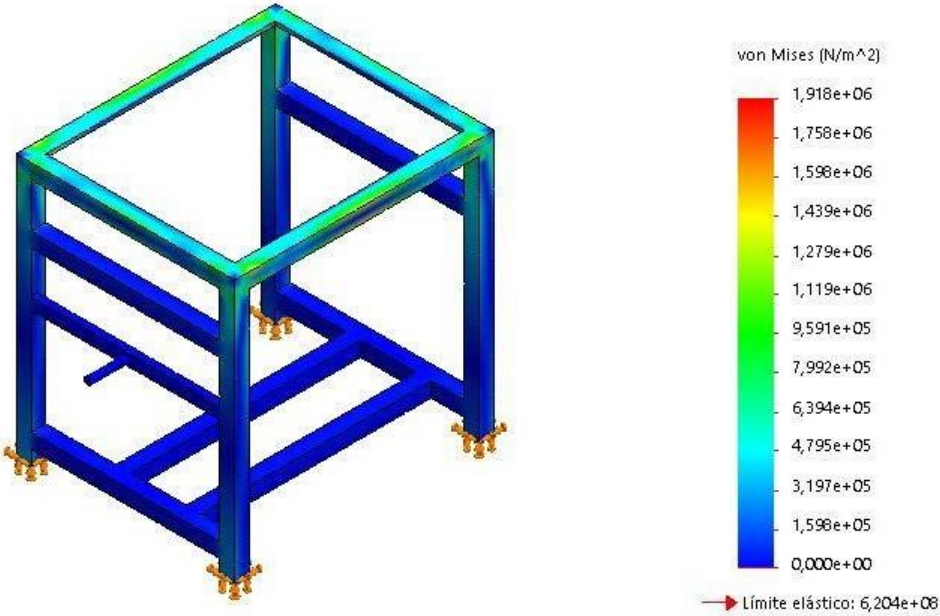


Figura 34. Simulación del banco de pruebas diseñado en Solidworks.

Para realizar el análisis de elementos finitos es necesario configurar algunas propiedades necesarias para realizar la simulación.

Característica	Valor/Configuración
Tipo de malla	Malla solida
Puntos jacobianos	4 puntos
Número total de nodos	17883
Número total de elementos	8479
Fuerza aplicada	10 kgf/cm2
Tipo de sujeción	Geometría fija en la parte inferior de la estructura.
Limite elástico	6.204e+08

Tabla 5. Configuración de la base del banco de pruebas para realizar el cálculo de elementos finitos.

El factor de seguridad se calculó con el criterio de Von Mises como se muestra en la siguiente ecuación.

$$FOS = \frac{\text{Limite elastico del material}}{\text{Esfuerzo Maximo de Von Mises}} \quad \text{Ec (26)}$$

La base del banco de pruebas tiene un límite elástico del 6.204e+08 y un esfuerzo máximo de 1.918e+06, el esfuerzo máximo no supera el límite elástico.

$$FOS = \frac{6.204e + 08}{1.918e + 06}$$

$$FOS = 23.90$$

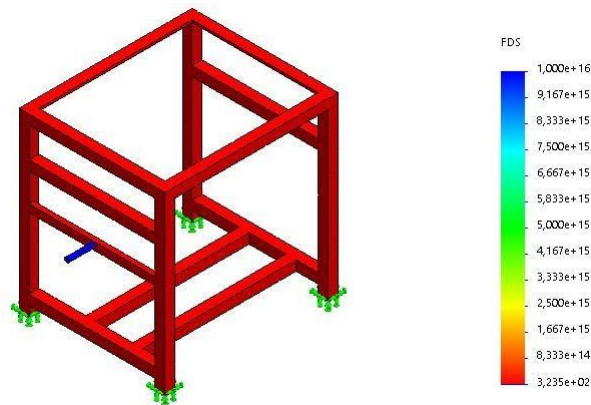


Figura 35. Simulación del factor de seguridad de la base del banco de pruebas en Solidworks.

El análisis del factor de seguridad en Solidworks dio $3.2e+02$ lo que es equivalente a 23.6. El factor de seguridad es mayor que 1.

Nombre del modelo: Baas inferior
 Nombre de estudio: Análisis estático 1(-Predeterminado-)
 Tipo de resultado: Factor de seguridad Factor de seguridad1
 Criterio: Tensiones von Mises máx.
 Distribución de factor de seguridad: FDS mín = $3,2e+02$

Figura 36. Datos entregados por el estudio de factor de seguridad en Solidworks.

El análisis de fatiga permitirá comprender si el material presentara alguna ruptura a medida que será utilizado en el banco de pruebas, para este tipo de análisis es necesario previamente tener el análisis estático y así poder determinar los ciclos y otros parámetros para su cálculo como se ve en la siguiente imagen.

Característica	Valor/Configuración
Suceso	Análisis estático
Ciclos	1000
Modulo elástico del material	Basado en curvas
Interacción de sucesos	Aleatoria
Calcular tensiones alternas	Von Mises
Corrección de la tensión media	Gerber

Tabla 6. Configuración de la base del banco de pruebas para realizar el cálculo de fatiga.

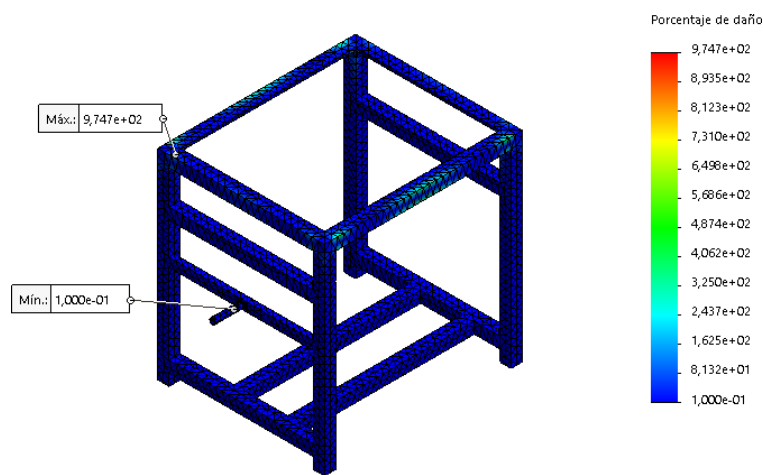


Figura 37. Datos entregados por el estudio de fatiga de la base del banco de pruebas en Solidworks.

9.3.2. Elevador mecánico

El amortiguador mecánico es útil para realizar el cambio del neumático, tiene un lugar específico en la base para contraer el amortiguador y dejar el neumático elevado en el área de contacto.



Figura 38. Elevador mecánico diseñado en Solidworks.

9.3.3. Láminas superiores de la base

Las láminas superiores de la base tiene como finalidad separar la parte superior a la parte inferior, las láminas están cortadas a la medida de contacto entre la llanta y el cilindro.

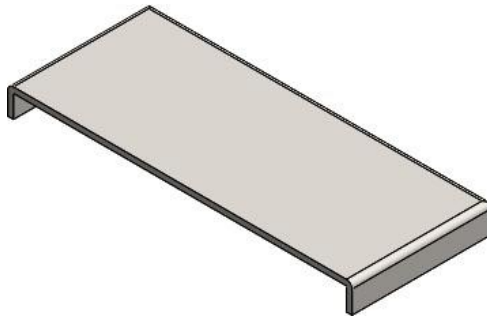


Figura 39. Láminas superiores diseñadas en Solidworks.

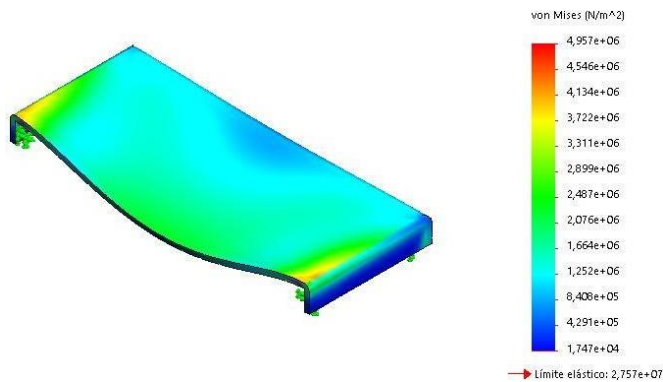


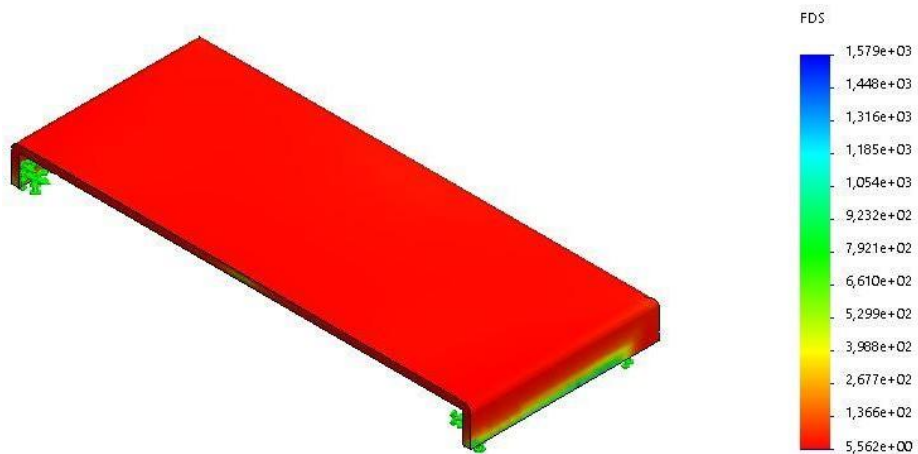
Figura 40. Simulación de la lámina superior diseñado en Solidworks.

Para realizar el análisis de elementos finitos es necesario configurar algunas propiedades necesarias para realizar la simulación.

Característica	Valor/Configuración
Tipo de malla	Malla solida
Puntos jacobianos	4 puntos
Número total de nodos	20230
Número total de elementos	11323
Fuerza aplicada	10 kgf/cm ²
Tipo de sujeción	Geometría fija en las paredes internas de la estructura
Limite elástico	2.757e+07

Tabla 7. Configuración de la lámina de separación entre el rodillo y el neumático para realizar el cálculo de elementos finitos.

La simulación en la herramienta Solidworks permitió determinar el factor de seguridad de la lámina superior con el criterio de Von Mises. El factor de seguridad es de 5.6 como se puede evidenciar en la siguiente figura.



Nombre del modelo: BaseGuiaNeumatico
 Nombre de estudio: Análisis estático 1(-Predeterminado-)
 Tipo de resultado: Factor de seguridad Factor de seguridad1
 Criterio: Tensiones von Mises máx.
 Distribución de factor de seguridad: FDS mín = 5,6

Figura 41. Simulación del factor de seguridad de la lámina del banco de pruebas en Solidworks.

El análisis de fatiga permitirá comprender si el material presentara alguna ruptura a medida que será utilizado en el banco de pruebas, para este tipo de análisis es necesario previamente tener el análisis estático y así poder determinar los ciclos y otros parámetros para su cálculo como se ve en la siguiente imagen.

Característica	Valor/Configuración
Suceso	Análisis estático
Ciclos	1000
Modulo elástico del material	Basado en curvas
Interacción de sucesos	Aleatoria
Calcular tensiones alternas	Von Mises
Corrección de la tensión media	Goodman

Tabla 8. Configuración de la lámina del banco de pruebas para realizar el cálculo de fatiga.

La siguiente simulación permite ver el porcentaje de daño del material, se puede evidenciar los puntos maximos y minimos del material.

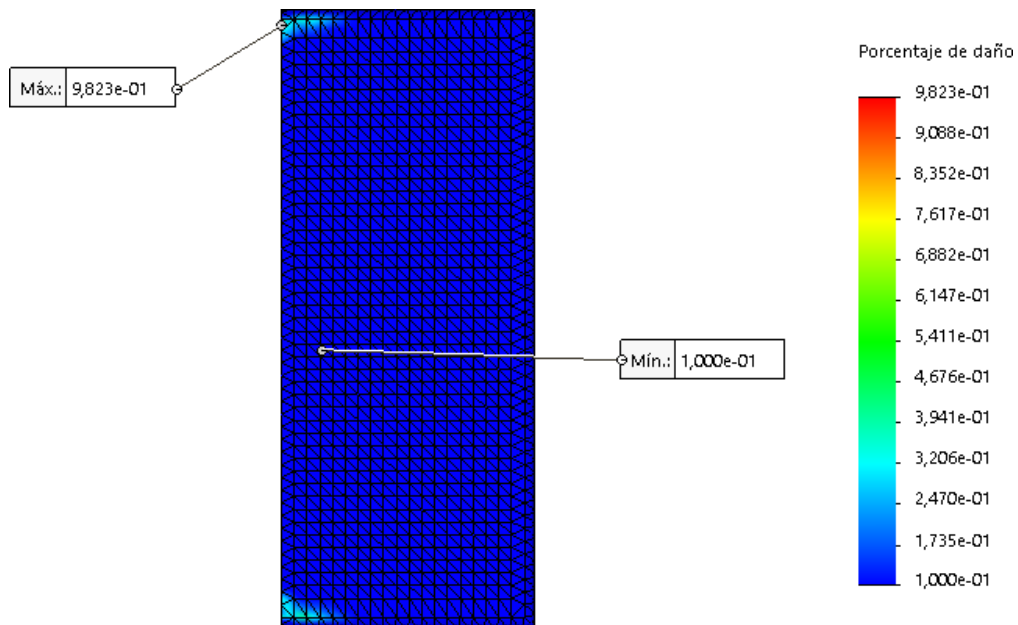


Figura 42. Datos entregados por el estudio de fatiga de la lámina superior del banco de pruebas en Solidworks.

6.1.1. Soporte del conjunto de suspensión

El soporte tiene como función principal ser el soporte para el conjunto de suspensión, la medida de este soporte influye de acuerdo a la posición de la llanta y por ende el del amortiguador.



Figura 43. Soporte del conjunto de suspensión diseñado en Solidworks.

Otra de sus funciones es dar soporte a las cámaras y la fijación de la mangueta.

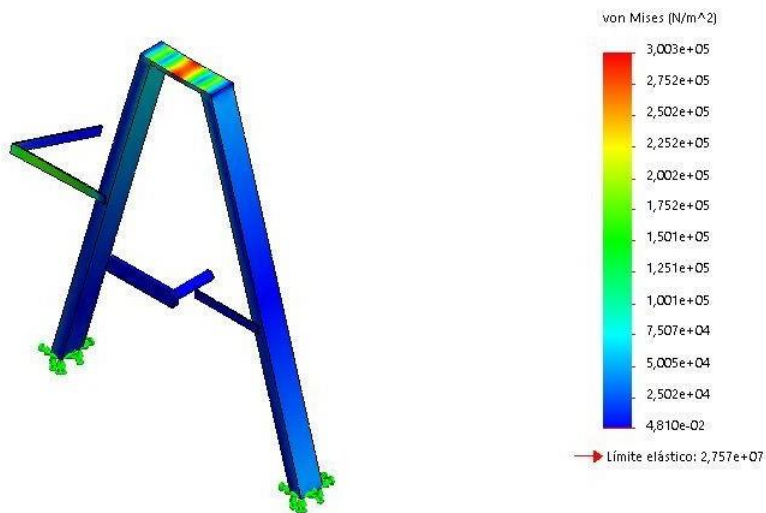


Figura 44. Simulación del conjunto de suspensión diseñado en Solidworks.

Para realizar el análisis de elementos finitos es necesario configurar algunas propiedades necesarias para realizar la simulación.

Característica	Valor/Configuración
Tipo de malla	Malla solida
Puntos jacobianos	4 puntos

Número total de nodos	14191
Número total de elementos	7519
Fuerza aplicada	7 kgf/cm ²
Tipo de sujeción	Geometría fija en la parte inferior de la estructura.
Límite elástico	2.757e+07

Tabla 9. Configuración del sistema de suspensión para realizar el cálculo de elementos finitos.

La simulación en la herramienta Solidworks permitió determinar el factor de seguridad de la lámina superior con el criterio de Von Mises. El factor de seguridad es de 92 como se puede evidenciar en la siguiente figura.

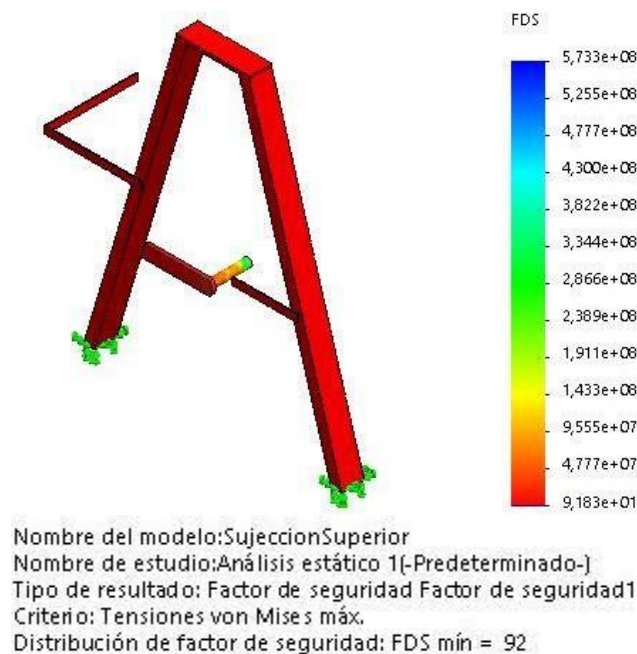


Figura 45. Simulación del factor de seguridad del soporte de suspensión del banco de pruebas en Solidworks.

El análisis de fatiga permitirá comprender si el material presentara alguna ruptura a medida que será utilizado en el banco de pruebas, para este tipo de análisis es necesario previamente tener el análisis estático y así poder determinar los ciclos y otros parámetros para su cálculo como se ve en la siguiente imagen.

Característica	Valor/Configuración
Suceso	Análisis estático
Ciclos	1000
Modulo elástico del material	Basado en curvas
Interacción de sucesos	Aleatoria
Calcular tensiones alternas	Von Mises
Corrección de la tensión media	Goodman

Tabla 10. Configuración del soporte de suspensión del banco de pruebas para realizar el cálculo de fatiga.

Esta pieza presenta daño cuando se realizan los ciclos, se sugiere reforzar la pieza como trabajos futuros para que no tengan inconvenientes más adelante.

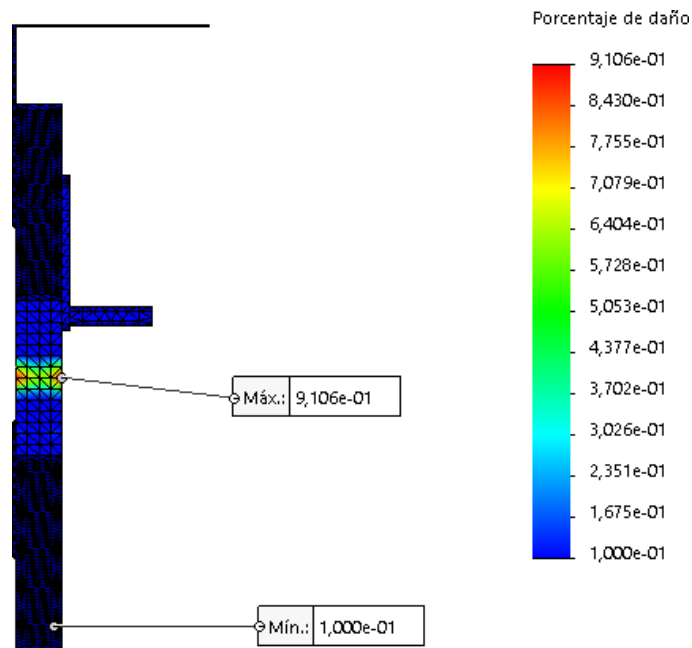


Figura 46. Datos entregados por el estudio de fatiga del soporte de suspensión del banco de pruebas en Solidworks.

6.1.2. Suspensión

Suspensión tipo Mcpherson utilizada en vehículos SPARK, fue lo primero en diseñar y por esta sección se comenzó a hacer todo el diseño debido a que se implementa.

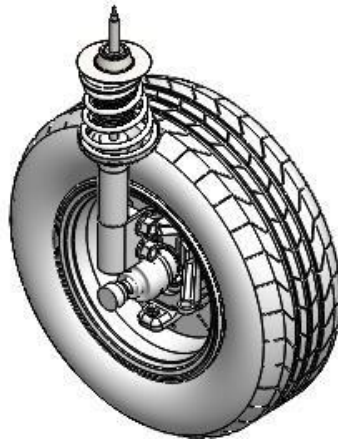


Figura 47. Suspensión diseñada en Solidworks.

6.1.3. Atril

Se diseñó un atril con dos funciones: La primera está relacionada a dar soporte a un portátil y la segunda es que se puede ubicar una cámara para ver el área de contacto entre la llanta y el neumático.



Figura 48. Atril diseñado en Solidworks.

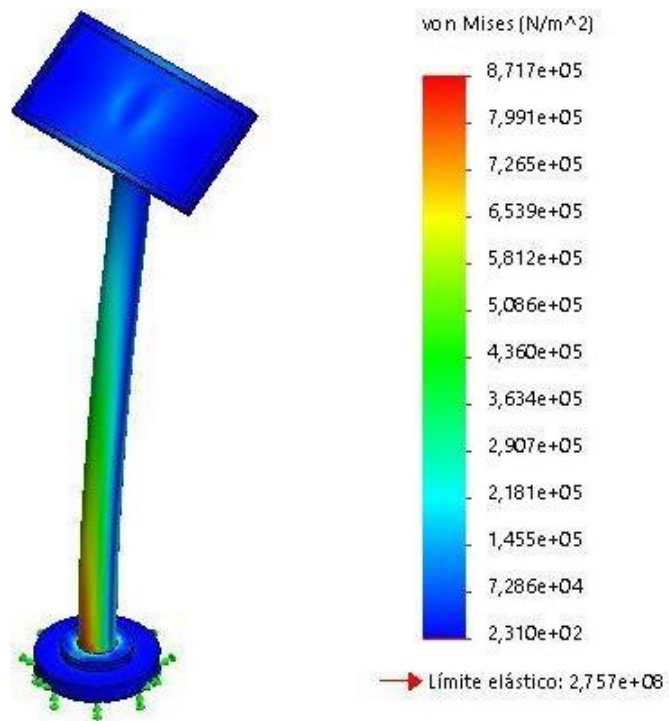


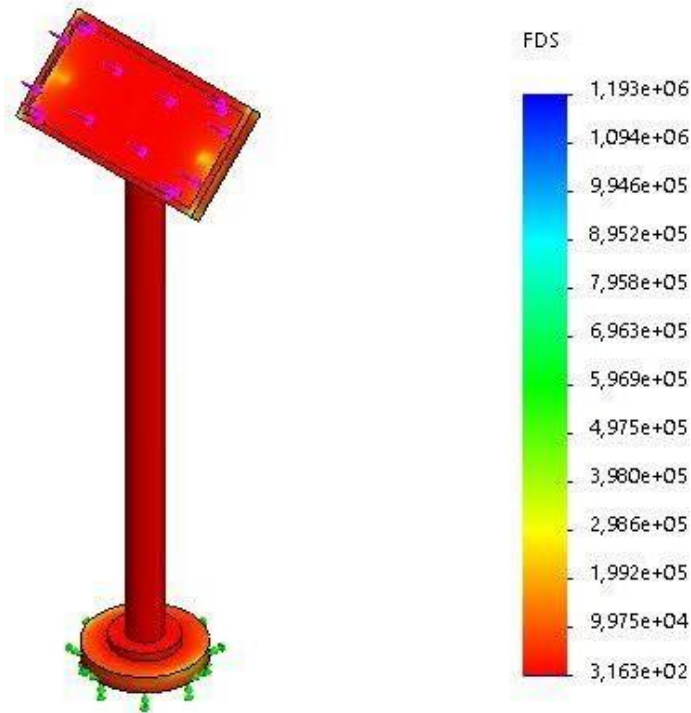
Figura 49. Simulación del Atril diseñado en Solidworks.

Para realizar el análisis de elementos finitos es necesario configurar algunas propiedades necesarias para realizar la simulación.

Característica	Valor/Configuración
Tipo de malla	Malla solida
Puntos jacobianos	4 puntos
Número total de nodos	13454
Número total de elementos	7522
Fuerza aplicada	2 kgf/cm ²
Tipo de sujeción	Geometría fija en la parte inferior de la estructura.

Tabla 11. Configuración para realizar el cálculo de elementos finitos.

La simulación en la herramienta Solidworks permitió determinar el factor de seguridad de la lámina superior con el criterio de Von Mises. El factor de seguridad es de 23.64 como se puede evidenciar en la siguiente figura.



Nombre del modelo: pedestal
 Nombre de estudio: Análisis estático 1(-Predeterminado-)
 Tipo de resultado: Factor de seguridad Factor de seguridad1
 Criterio: Tensiones von Mises máx.
 Distribución de factor de seguridad: FDS mín = 3,2e+02

Figura 50. Simulación del factor de seguridad del pedestal del banco de pruebas en Solidworks.

El análisis de fatiga permitirá comprender si el material presentara alguna ruptura a medida que será utilizado en el banco de pruebas, para este tipo de análisis es necesario previamente tener el análisis estático y así poder determinar los ciclos y otros parámetros para su cálculo como se ve en la siguiente imagen.

Característica	Valor/Configuración
Suceso	Análisis estático
Ciclos	1000
Modulo elástico del material	Basado en curvas
Interacción de sucesos	Aleatoria
Calcular tensiones alternas	Von Mises
Corrección de la tensión media	Gerber

Tabla 12. Configuración del pedestal del banco de pruebas para realizar el cálculo de fatiga.

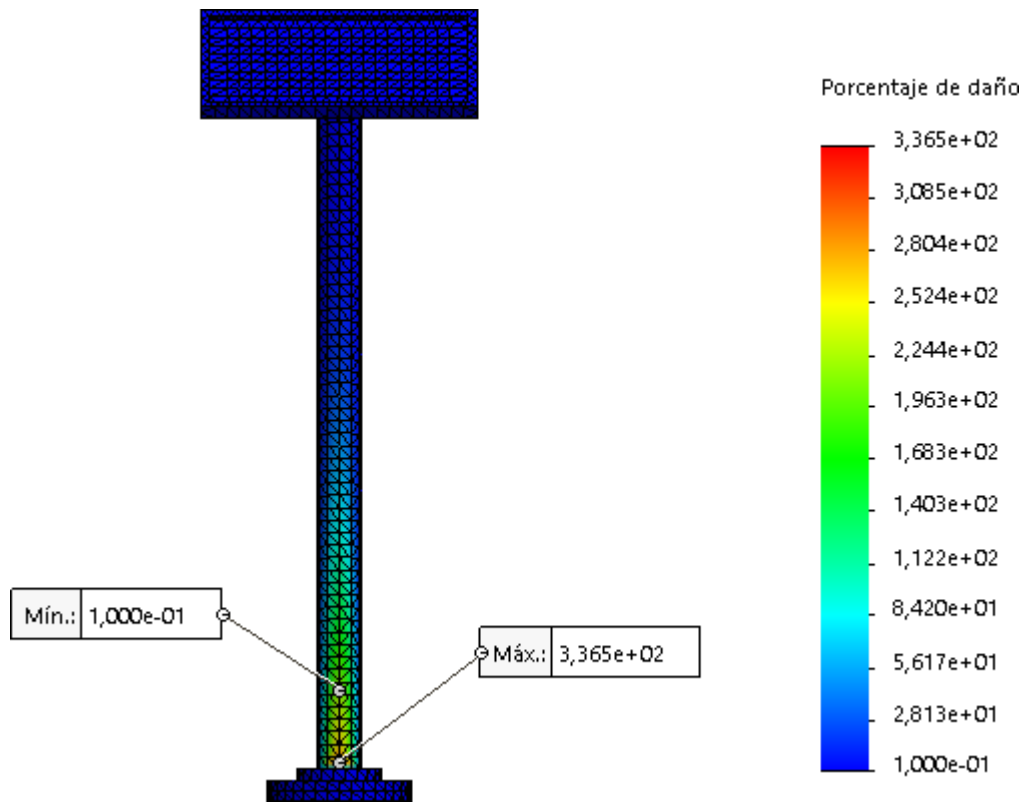


Figura 51. Datos entregados por el estudio de fatiga del pedestal del banco de pruebas en Solidworks.

6.1.4. Malla de protección

La malla tiene como finalidad de proteger la rotación del motor con la correa

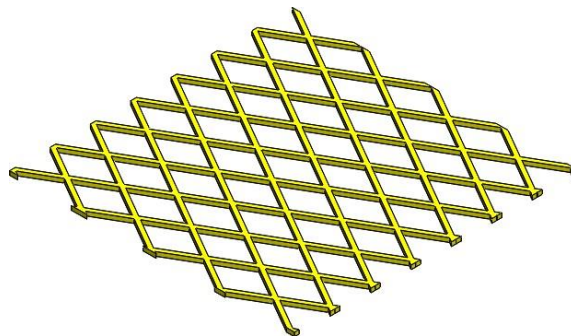


Figura 52. Malla de protección diseñada en Solidworks.

6.1.5. Rodillo

Rodillo encargado de generar el giro al neumático, es la simulación entre el piso y el neumático.



Figura 53. Rodillo diseñado en Solidworks.

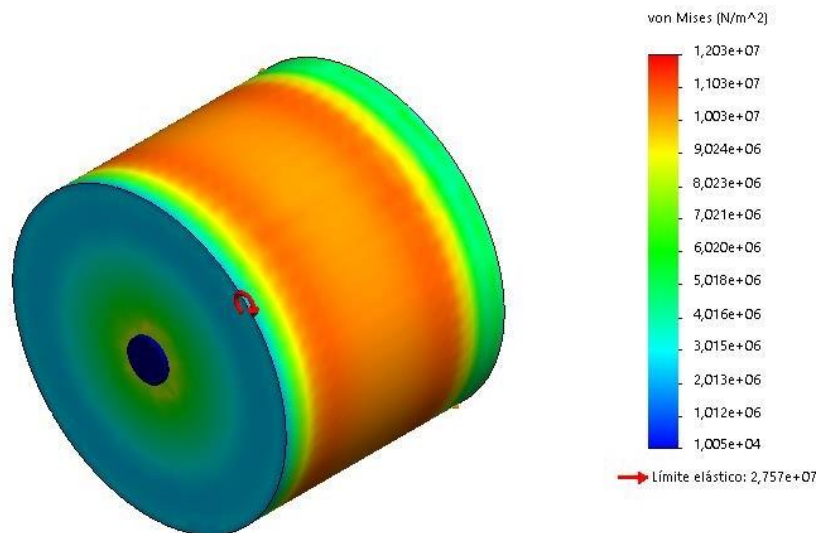


Figura 54. Simulación del rodillo diseñado en Solidworks.

Para realizar el análisis de elementos finitos es necesario configurar algunas propiedades necesarias para realizar la simulación.

Característica	Valor/Configuración
Tipo de malla	Malla solida
Puntos jacobianos	4 puntos
Número total de nodos	15340
Número total de elementos	7646
Fuerza aplicada	1 N
Tipo de sujeción	Tipo rodamiento.
Límite elástico	2.75e+07

Tabla 13. Configuración del rodillo para realizar el cálculo de elementos finitos.

La simulación en la herramienta Solidworks permitió determinar el factor de seguridad de la lámina superior con el criterio de Von Mises. El factor de seguridad es de 2.3 como se puede evidenciar en la siguiente figura.

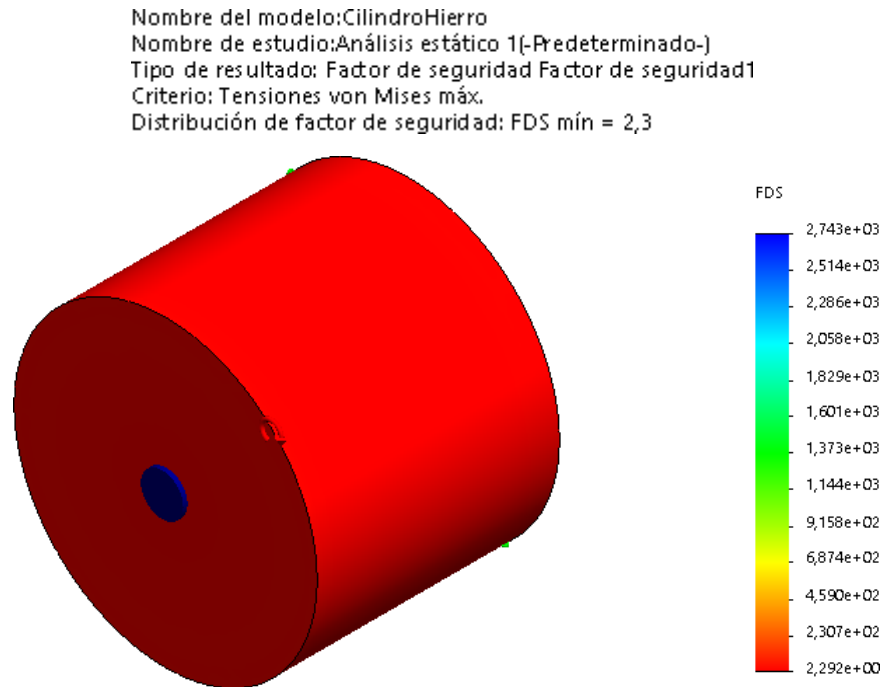


Figura 55. Simulación del factor de seguridad del rodillo del banco de pruebas en Solidworks.

El análisis de fatiga permitirá comprender si el material presentara alguna ruptura a medida que será utilizado en el banco de pruebas, para este tipo de análisis es necesario previamente tener el análisis estático y así poder determinar los ciclos y otros parámetros para su cálculo como se ve en la siguiente imagen.

Característica	Valor/Configuración
Suceso	Análisis estático
Ciclos	1000
Modulo elástico del material	Basado en curvas
Interacción de sucesos	Aleatoria
Calcular tensiones alternas	Von Mises
Corrección de la tensión media	Goodman

Tabla 14. Configuración del rodillo del banco de pruebas para realizar el cálculo de fatiga.

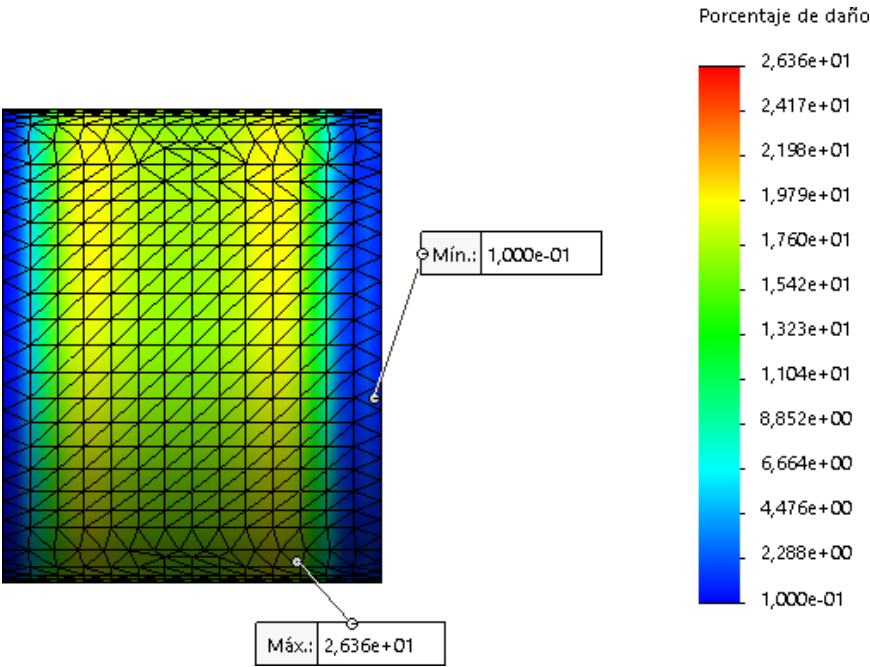


Figura 56. Datos entregados por el estudio de fatiga del rodillo del banco de pruebas en Solidworks.

6.2.Diseño eléctrico

El diseño electrónico es importante porque de él depende el buen funcionamiento del banco de pruebas. En el siguiente diagrama se tiene el diseño de la conexión del motor con un sistema de encendido y apagado, el motor cuenta con una conexión a 110 V como se muestra en la figura.

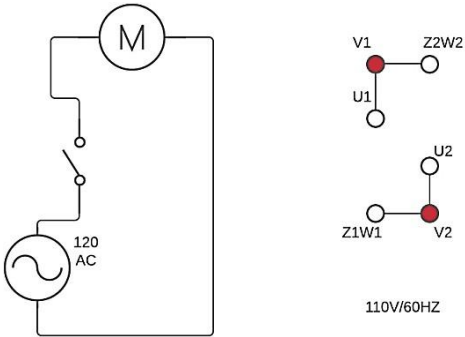


Figura 57. Alimentación del motor a 110 V.

El banco está conectado con el computador por medio de la cámara de visión que es la encargada de analizar el desgaste del neumático. La imagen de la cámara se ve por medio de la interfaz.

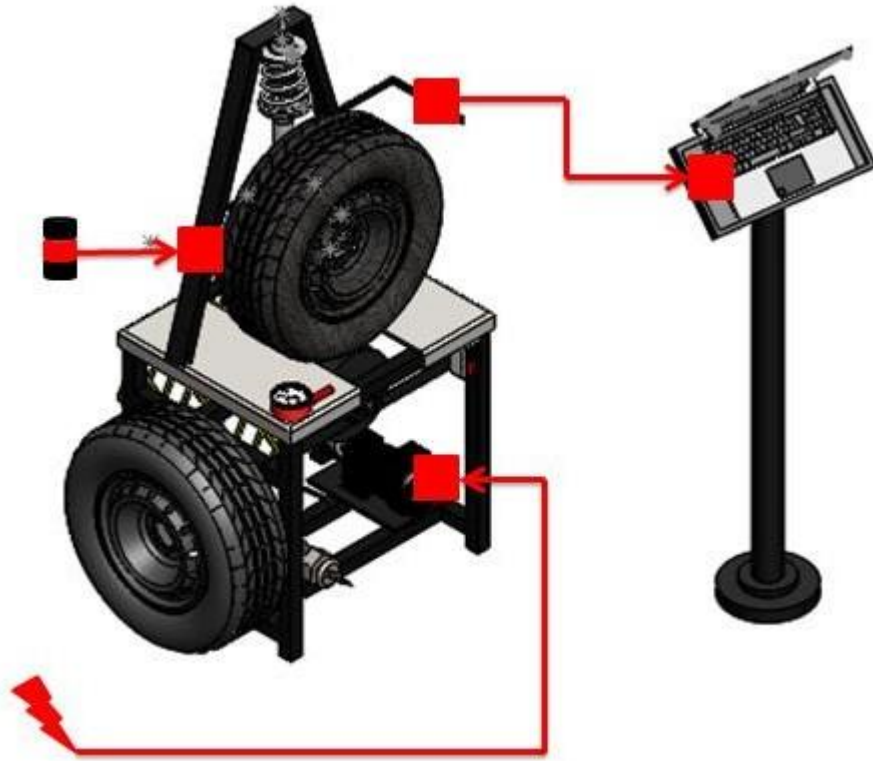


Figura 58. Esquema de conexiones en el banco de pruebas.

En la imagen se puede ver una batería que indica que el sensor de velocidad tiene alimentación por medio de baterías, este sensor indicara el tiempo, velocidad y recorrido.

Por último se encuentra la alimentación del motor que está controlado por Switch.

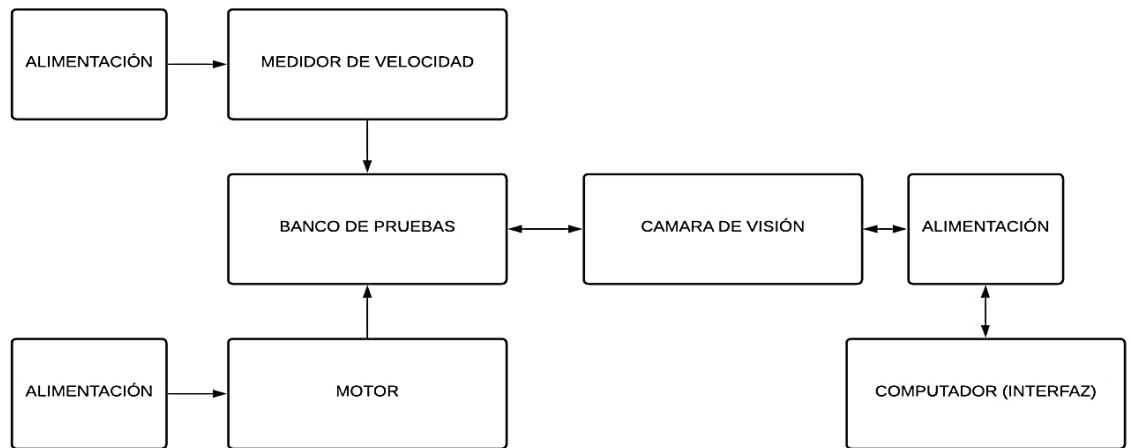


Figura 59. Diagrama de bloques del sistema de conexión.

10. CONSTRUCCIÓN

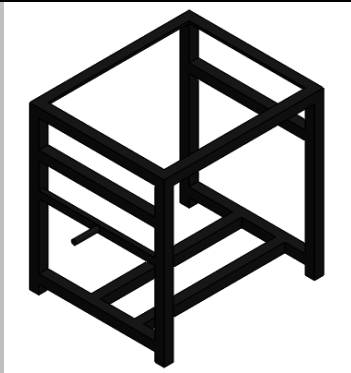
La construcción del banco de pruebas comenzó con la adquisición del conjunto de suspensión Mcpherson característico del SPARK con el fin de tener un banco de pruebas que tuviera similitud al montaje real de los puntos de apoyo de una suspensión. El conjunto consta de muelle, amortiguador, brazo suspensión, rotula, barra estabilizadora, ring, disco de freno y neumático.



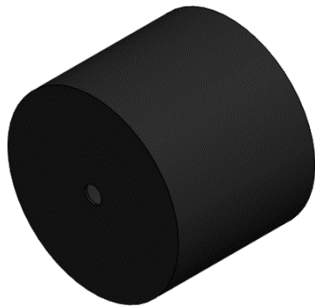
Figura 60. Conjunto de suspensión.

En la siguiente tabla se puede evidenciar el proceso de fabricación de forma cronológica luego de obtener el conjunto de la suspensión se comenzó a realizar la base inferior hasta la herramienta para quitar el neumático.

PIEZA	PROCESO DE FABRICACIÓN	PIEZA FINALIZADA
Base inferior Medidas: 71 x 70 x 60 (cm) Material: Hierro	Corte del material Unión del material con el proceso de soldado Aplicación de pintura.	Imagen tomada en el proceso de construcción.

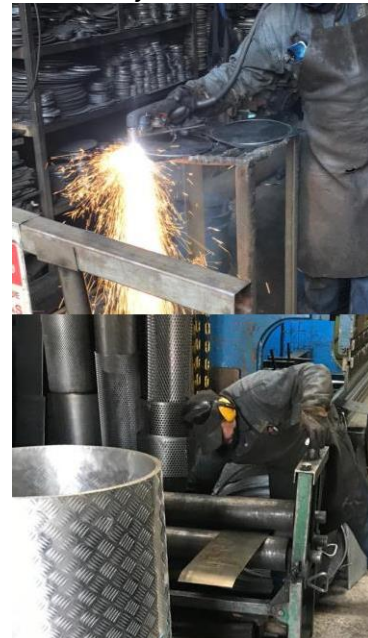


Cilindro
Medidas: 20 cm Ø 25 cm
Material:



Corte de la lamina
Proceso de dobléz
y unión.
Aplicación de
pintura.

Imagen tomada en el proceso
de corte y dobléz del cilindro.



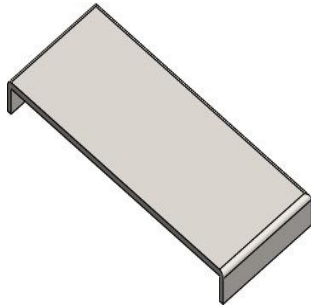
Eje del cilindro
Medidas: 39 cm Ø 2.5 cm
Material: Aluminio

Corte del eje
Proceso de unión
por medio de la
soldada.
Aplicación de
pintura.

El eje ya esta soldado en el
tambor.



Laminas superiores
Medidas: 28 x 60 cm
Material: Acero inoxidable.



Base parte superior
Medidas: 84 x 28.5 cm
Material: Hierro

Corte de la lamina
Doblez de la
lámina de acero.
Aplicación de
pintura.

Corte del material
Unión del material
con el proceso de
soldado
Aplicación de
pintura.



Imagen tomada ya instalada
en la base inferior del banco
de pruebas.



Imagen tomada en el proceso
de construcción.
Se puede observar que se esta
soldando la parte inferior a la
parte superior del banco.

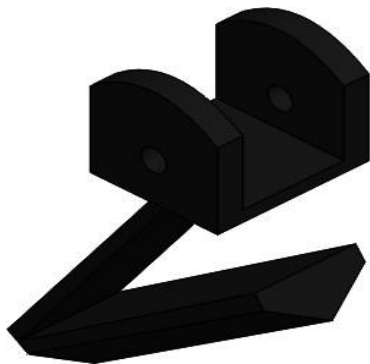


Punto de apoyo del conjunto de suspensión.
Medidas: 11 x 12 cm
Material: Hierro

Corte del material
Unión del material con el proceso de soldado.
Aplicación de pintura.



Imagen tomada en el proceso de construcción.

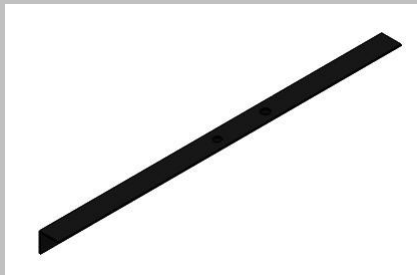


Barras de soporte para chumacera.
Medidas: 71 x 4 x 4 cm
Material: Hierro

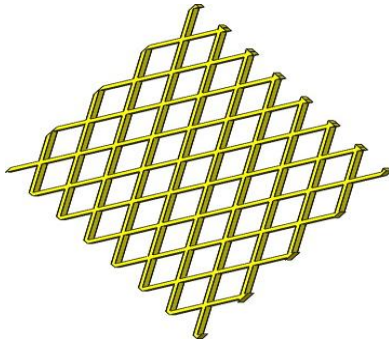
Corte del perfil
Unión del material con el proceso de soldado
Aplicación de pintura.



Imagen tomada en el proceso de construcción.

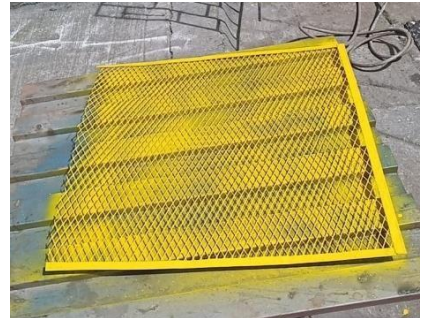


Malla de protección
Medidas: 71 x 60 cm
Material: Aluminio



Corte de la malla
Aplicación de
pintura.

Imagen tomada en el proceso
de construcción.



Atril para computador y
camara
Medidas: 137 x 25 cm
Material: Hierro



Corte del perfil
Unión del material
con el proceso de
soldado
Aplicación de
pintura.

Imagen tomada en el proceso
de construcción.



Herramienta para quitar

Corte del material

Imagen tomada en el proceso

llanta y subir el elevador manual
Medidas: 19 x 8 cm
Material: Hierro

Unión por medio de soldadura de construcción.
Aplicación de pintura.

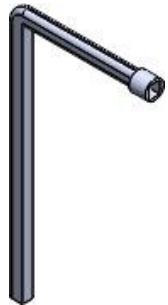


Tabla 15. Proceso de fabricación del banco de pruebas.

A medida que se realizaban las piezas se iban montando en el banco de pruebas, todas las piezas fueron pintadas y adecuadas para el sistema y se requirió hacer unos pequeños ajustes debido a que el banco de pruebas presentaba vibraciones significativas. En la siguiente figura se puede ver el banco de pruebas terminado.



Figura 61. Banco de pruebas construido.

11. PRESUPUESTO

La adquisición de materiales fue de forma secuencial, algunos de ellos fue necesario buscarlos en diferentes partes de Bogotá (Lugar en donde se realizó el proyecto) y así poder tener un banco de pruebas con las especificaciones necesarias.

NOMBRE	DESCRIPCIÓN	PRECIO
Cable encauchetado	4 metro de cable encauchetado 3x14 conal	\$16.908
Push star stop	Referencia Bs230 30A	\$11.330
Rodillo	Rodillo industrial	\$120.00
Eje rodillo	Eje rodillo para el tambor	\$30.000
Micro camara	HD 1080P	\$80.000
Camara T189	HD Full 1080P DV	\$90.000
Motor	Motor	\$350.000
Suspensión spark	Conjunto de suspensión para spark	\$120.000
Cojinete	Cojinete	\$30.000
Lamina		\$25.000
Rejilla		\$35.00
Medidor de presión	Medidor de presión en PSI	\$36.800
Polea	Polea pequeña	\$15.000
Polea	Polea grande	\$50.00
Correa	Correa tipo 1A	\$45.000
Clavija industrial	Marca KONTIKI 15A P/T	\$3.400
Perfil	Perfil	\$180.000
Medidor desgaste	Digital tread Depth Gauge	\$30.000
Tacómetro	Tacometro y velocimetro	\$50.000
Mano de obra y costos varios		\$550.000
TOTAL		\$1.868.438

Tabla 16. Presupuesto del banco de pruebas.

12. INTERFAZ GRAFICA

La interfaz fue diseñada en App designer de Matlab, en la siguiente explicación se puede evidenciar los detalles de la aplicación y su programación.

Se comenzó abriendo un archivo en blanco para poder diseñar la interfaz.

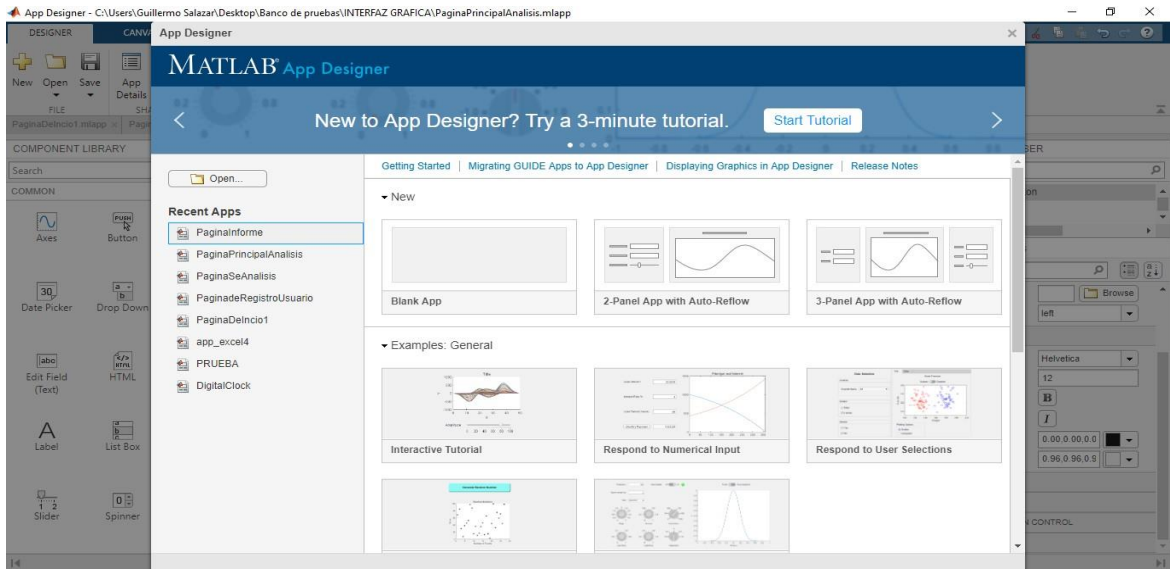


Figura 62. Creación de la interfaz en app designer Matlab.

La primera ventana que se diseñó fue la de INICIO en donde se puede evidenciar la universidad donde se desarrolló el banco de pruebas, la carrera a la cual esta enlazado, nombre del proyecto, las imágenes del banco de pruebas y un botón de ingreso (Matlab, 2019).



Figura 63. Primera página de la interfaz.

Para la programación de esta ventana solo se sincronizo el botón INGRESAR con la siguiente ventana y un comando para cerrar la aplicación actual.

```
function IngresarButtonPushed(app, event)
    PaginadeRegistroUsuario;
    delete(app)
end
```

Este comando abre la ventana de Registro que permite al usuario u operario digitar su nombre, identificación numérica y aceptación de términos. Si el usuario no ha leído el manual de operación de la maquina puede abrirlo en el botón con signo de pregunta. Es necesario luego de digitar y seleccionar todo darle al botón guardar para almacenar los datos en Excel. El botón de inicio nos regresa a la anterior ventana y el de ingresar abre la ventana del primer análisis del banco de pruebas (Matlab, 2019).

UI Figure

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE BUCARAMANGA

Registro de usuario

Nombre de usuario

Nombre

Identificación

Numerico 0

Fecha de prueba

mm/dd/yyyy Guardar

*Terminos y condiciones

Acepta que tiene claro el funcionamiento del banco de pruebas y que reviso previamente el manual operativo.

Inicio Ingresar

Figura 64. Segunda página de la interfaz.

Para poder enlazar los EditField con Excel se requiere tener un archivo en Excel previamente realizado con los nombres de las tablas y así poder ir anexándole valores de acuerdo a cada prueba que se realice (Matlab, 2019).

```
function GuardarButtonPushed(app, event)
    app.t = readtable("Book1.xlsx", "Sheet", 1);
    app.UITable.Data = app.t
    name = app.NombreEditField.Value;
    age = app.NumericoEditField.Value;
    mr = {name age};
    app.UITable.Data = [app.t; mr];
```



```

app.t = app.UITable.Data;
writetable(app.t,"Book1.xlsx","Sheet",1,"Range","A:B");
end

```

El botón ingresar permite abrir la primera ventana de análisis y esta determinada por el siguiente comando:

```

function IngresarButtonPushed(app, event)
    PaginaPrincipalAnalisis
    delete(app)
end

```

La ventana del análisis está diseñada para seleccionar el año del carro Spark que se va analizar las llantas, el tipo de neumático, la presión del neumático, profundidad de labrado, Coeficientes de resistencia a la rodadura, velocidad del neumático y variable para determinar la fuerza de arrastre. Los cálculos son para la presión del neumático de Psi a kPa, la profundidad del labrado del mm a cm, el cálculo de la resistencia a la rodadura y la fuerza de arrastre. Los cuadros de color naranja permiten descargar la fuente y explicación de la fórmula utilizada. Los botones de calcular siempre se deben de presionar cuando los datos de la formula ya están digitados para calcular y por último el botón guardar para almacenar en EXCEL los datos, los cuales se podrán utilizar y revisar en cualquier momento y su almacenamiento es más amplio.

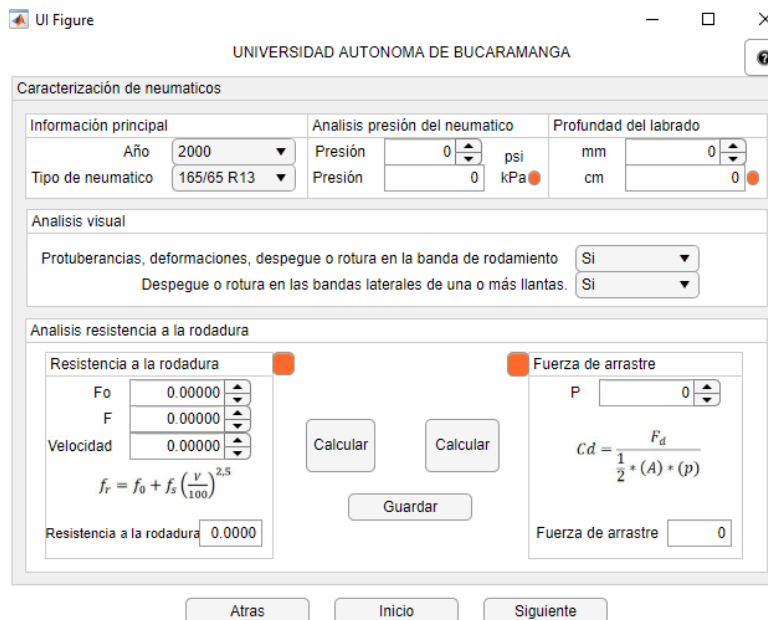


Figura 65. Tercera página de la interfaz.

El código para la ecuación de la resistencia a la rodadura está dada por:

```
function CalcularButtonPushed(app, event)

    fss= app.FSpinner.Value;
    fo= app.FoSpinner.Value;
    v= app.VelocidadSpinner.Value;

    Resultado= ((fss)*(1+(v/160)));
    app.ResistenciaalarodaduraEditField.Value=Resultado;
end
```

La fuerza de arrastre está dada por:

```
function CalcularButton_2Pushed(app, event)
    s= str2double(app.AoDropDown.Value);
    ro=app.PSpinner.Value;
    Resultado3=((0.414)/((0.5)*(s)*(ro)));
    app.FuerzadearrastreEditField.Value=Resultado3;
end
```

El área del automóvil depende del año de fabricación del automóvil y es por eso que este valor viene de un DropDown que se agregó en el panel de la ventana.

El siguiente análisis está dado por visión artificial, por medio de la cámara web clasificar si existe desgaste o no. La siguiente imagen solo representa la interfaz con sus tres botones característicos (Matlab, 2019).

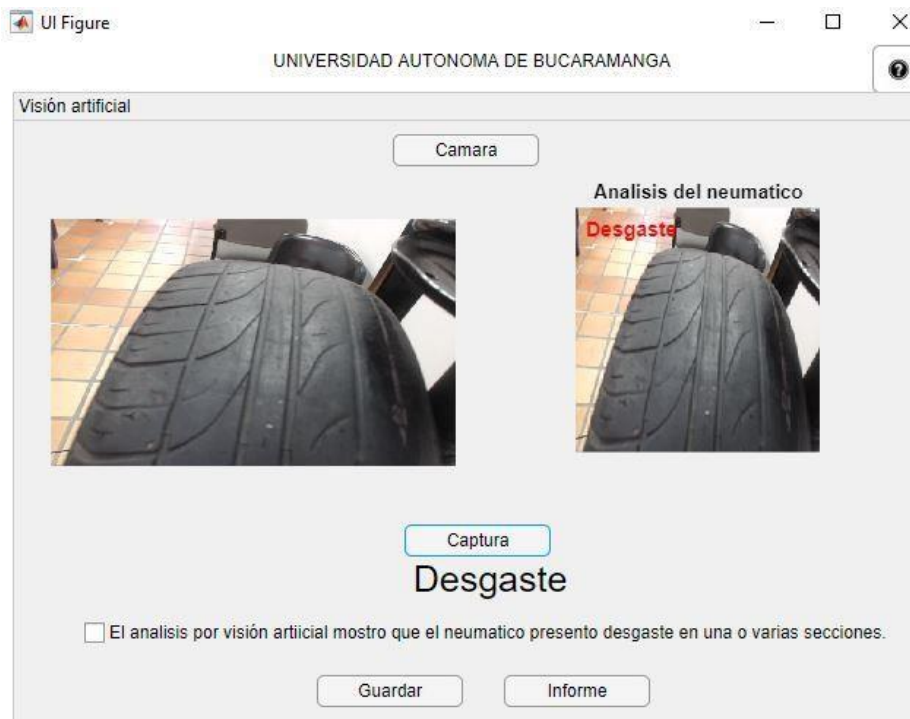


Figura 66. Cuarta página de la interfaz.

Para activar la cámara y tomar una foto se ejecuta el siguiente código en cada uno de los botones.

```
function CamaraButtonPushed(app, event)
    app.webcamObject = webcam;
    app.imageObject = image(app.UIAxes);
    axis(app.UIAxes, 'ij')
    res = split(app.webcamObject.Resolution, 'x');
    app.UIAxes.XLim = [0, str2double(res{1})];
    app.UIAxes.YLim = [0, str2double(res{2})];
    app.webcamObject.preview(app.imageObject);

end

function CapturaButtonPushed(app, event)
    img = snapshot(app.webcamObject);

    img1=gray2ind(img)
    image(app.UIAxes2, img1);
    app.UIAxes2.Visible = 'off';
    image(app.UIAxes3, img);
    app.UIAxes3.Visible = 'off';

end
```

El botón informe me envía a la última ventana del programa para poder ver los resultados del análisis.



Figura 67. Quinta página de la interfaz.

El informe final se divide en tres paneles, el primero carga los datos almacenados en Excel, el segundo nos muestra si el neumático aprobó la prueba y el último panel las observaciones.

En la ventana de datos recopilados se carga un archivo de Excel donde está toda la información de las pruebas realizadas. En la ventana de análisis están los datos de la prueba actual, cada dato de presión profundidad o resistencia a la rodadura tiene un rango de aprobación en donde en la última ventana se puede observar si el neumático está en buen estado o no.

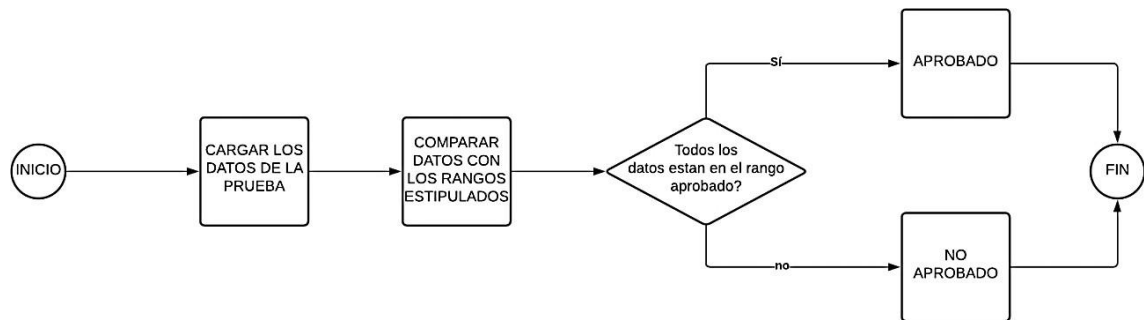


Figura 68.Diagrama de procesos de la interfaz

En el diagrama de procesos presentado para la explicación de la interfaz, se cargan los datos de la prueba y se comparan con los rangos establecidos en la Tabla 12 y 13. Esto permitirá aprobar o no el neumático para la prueba realizada.

La pregunta realizada en el sistema es: ¿Todos los datos están en el rango de aprobado? Si la respuesta es sí, el neumático es aprobado, si el dato es no, no estará aprobado.

13. VISIÓN ARTIFICIAL

El análisis del labrado del neumático se realizó por medio de una red neuronal convolucional. El entrenamiento de las redes puede ser no supervisado, híbrido y supervisado. Los criterios más importantes a tener en cuenta son el Error, Tasa de validación, número de iteraciones, razón de cambio y tasa de aprendizaje. Se agregó una nueva carpeta de imágenes menores a la que fue entrenado y se le asignó una nueva tarea para clasificar los neumáticos. El primer paso fue crear la base de datos para poder dividir las imágenes en carpetas, primeramente se hizo una división de llantas con desgaste y llantas sin desgaste. Estas imágenes fueron guardadas en la carpeta y comprimidas con la herramienta .ZIP. En la siguiente imagen se puede ver 10 imágenes aleatorias tomadas de la base de datos (Matlab, 2019).

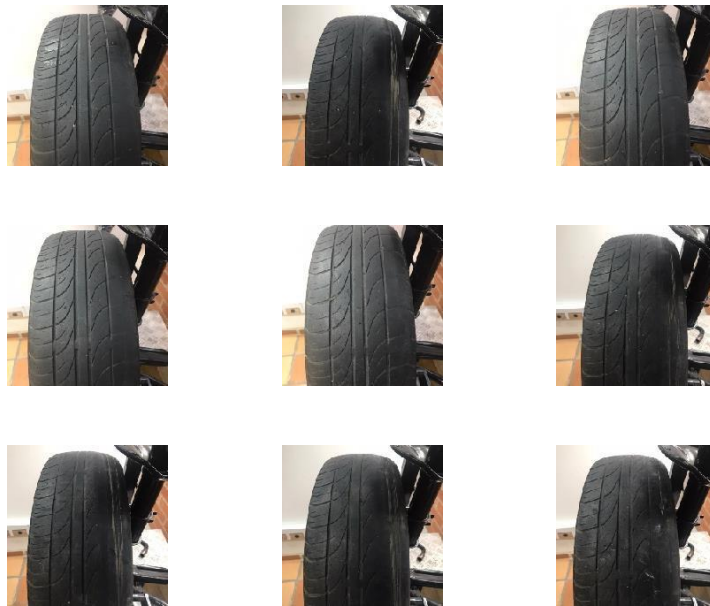


Figura 69. Base de datos de llantas con desgaste y sin desgaste.

Se analizó el procesamiento de la imagen y al realizar el binarizado se puede observar como el filtro utilizado hacia que la binarización no cumpliera con el patrón adecuado.



Figura 70. Base de datos de llantas con desgaste y procesada.

Se cambió el filtro y se modificaron algunas imágenes de la base de datos que salieron un poco distorsionadas.



Figura 71. Modificación del filtro.

La base de datos juega un papel importante para clasificar las imágenes de forma correcta, esta base de datos se hace con la binarización de la imagen para poder entrenar la red con sus características especiales.

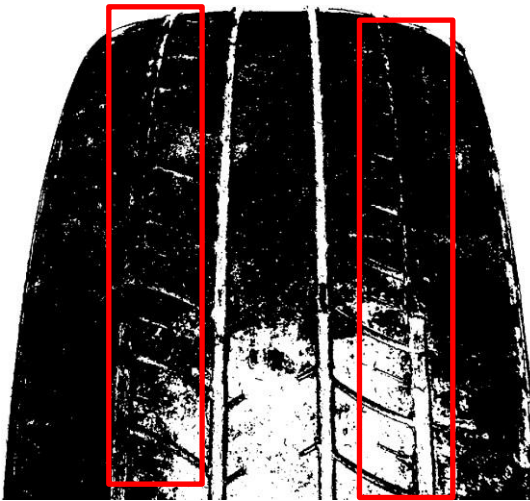


Figura 72. Desgaste del neumático.

Luego de cargar las imágenes al sistema se requiere dividir las imágenes, 70% de las imágenes son para el entrenamiento y el 30% de las imágenes para la validación. La arquitectura de la red se basa en 5 capas convolucionales y tres capas completamente conectadas.

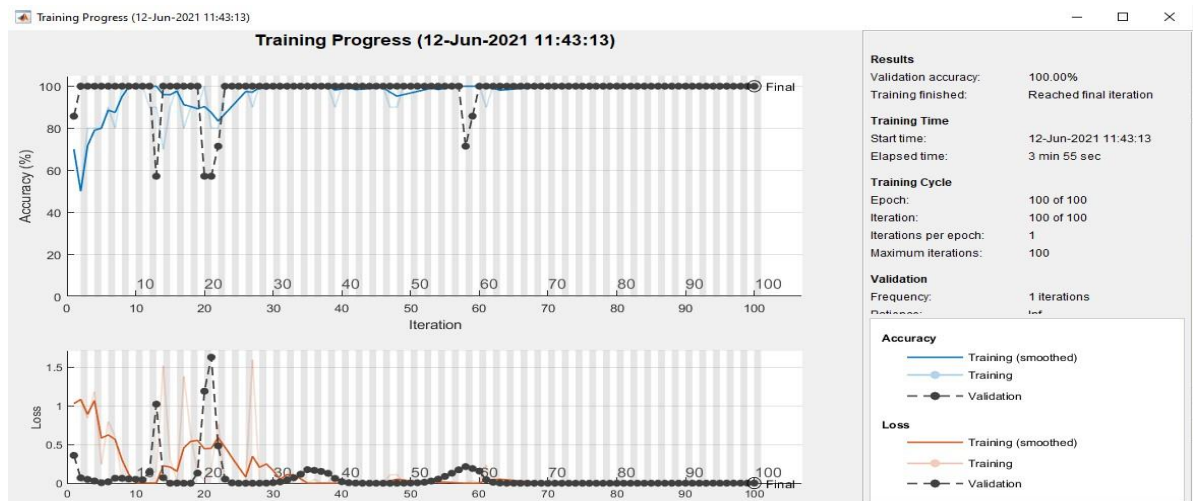


Figura 73. Entrenamiento de la red.

Se selecciona una imagen al azar para ver su clasificación en particular y se evidencio que clasifica de forma correcta como se muestra en la figura 61.



Figura 74. Imágenes anexadas y clasificadas según los dos grupos (Con desgaste y sin desgaste).

Al entrenar la red se guarda y se puede evidenciar en tiempo real la clasificación de los tipos de neumáticos. En la siguiente imagen se puede evidenciar el neumático en tiempo real con un desgaste en su labrado.

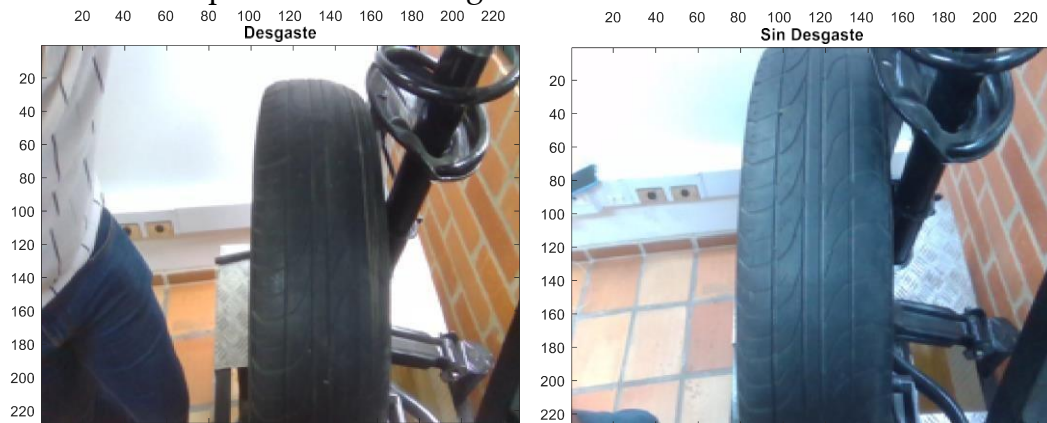


Figura 75. Imágenes tomadas en tiempo real con la cámara de visión.

13.1 Metodología para la adquisición de imágenes

La metodología de la adquisición de imágenes se basa principalmente en la circunferencia del neumático ya que esta es la encargada del labrado. Esta circunferencia varía dependiendo del radio.



Figura 76. Metodología para la adquisición de imágenes.

Para tener un análisis acertado se realiza el cálculo de la circunferencia del neumático para saber cuántas imágenes se deben tomar para analizar la banda de rodamiento completa.



Figura 77. División con rango estipulado.

Para marcar el neumático se sugiere hacerlo en los laterales para que no interfiera con la clasificación. La imagen en el labrado abarca entre 20 cm a 25 cm, se puede modificar con estos valores dependiendo del radio del neumático, por ejemplo con una circunferencia de 180 cm se divide en 9 secciones de 20 cm cada una.



Figura 78. Imágenes tomadas de 9 secciones del neumático

Luego de tener marcadas las secciones a analizar se realizan los giros para tomar la imagen desde la interfaz y poder ver todas las imágenes de la banda de rodamiento como se ve en la figura.

La siguiente imagen indica como la imagen quedaría si se realizara las 9 tomas en la interfaz para determinar cuál presentan desgaste debido a que no todas las secciones de un neumático presentan desgaste.



Figura 79. Vista de la interfaz con todas las imágenes tomadas para ver la banda de rodamiento completa.

Luego de obtener las imágenes completas del neumático se tiene que realizar el análisis de visión artificial que se encuentra explicado en este mismo capítulo, apartado 13.

14. VALIDACIÓN

La validación del banco de pruebas parte de una investigación de campo realizada en el CDA Avanzar localizado en la ciudad de Cúcuta departamento del Norte de Santander. En este CDA se analizó la inspección vehicular que se le hacen a los automóviles y cuáles son los parámetros que se tienen en cuenta para analizar si un neumático está en buen estado.

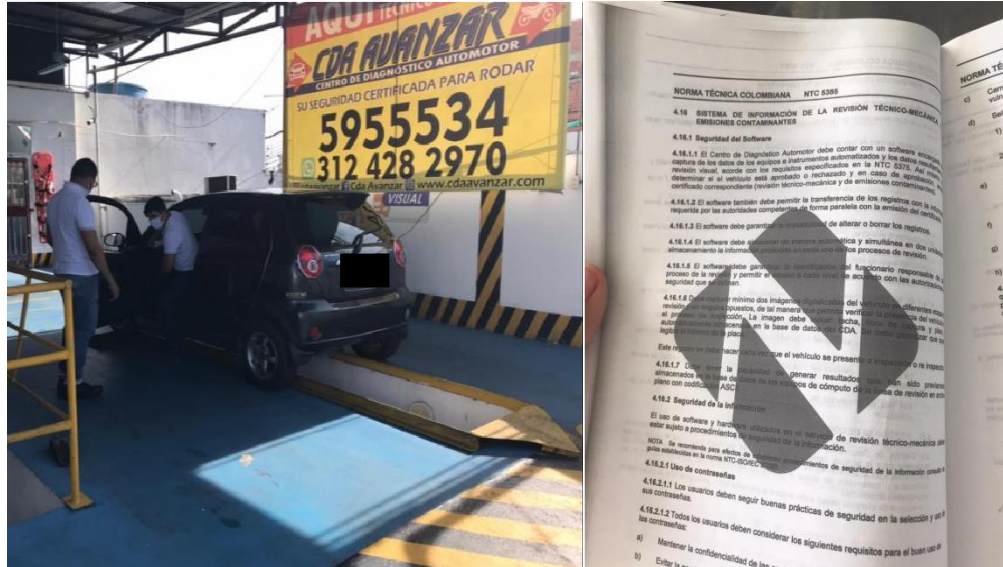


Figura 80. Análisis de campo en el CDA Avanzar.

La norma NTC 5375 menciona tres inspecciones importantes, la primera relacionada a la profundidad del labrado de las llantas, la segunda a la deformación de las bandas laterales y la tercera a mal formaciones de la banda de rodamiento.

Descripción del defecto	A	B	RANGO/VERIFICACIÓN
Profundidad de labrado en el área de mayor desgaste de cualquiera de las llantas de servicio, menor a 1.6 mm o inferior a las marcas de desgaste especificadas por los fabricantes. Es aplicable a vehículos con peso bruto hasta 3500 kg.			0 mm – 1 mm (a) 1 mm – 1.6 mm (b) 1.7 mm – Mayor (c) (a) Valor aprobado (b) Valor aprobado pero con observación que está

			cerca al límite. (c) Valor no aprobado
Despegue o rotura en las bandas laterales de una o más llantas.			Análisis por visión artificial
Protuberancias, deformaciones, despegue o rotura en la banda de rodamiento de una o más llantas.			Análisis por visión artificial

Tabla 17. Normativa NTC 5375.

Por otra parte el fabricante de automóviles SPARK sugiere una presión de inflado que debe tener los neumáticos, como se evidencia en la siguiente tabla se pueden ver los rangos de acuerdo al tipo de neumático instalado.

Descripción de defecto	A	B	RANGO/VERIFICACIÓN												
Presión de inflado de acuerdo a lo establecido por el fabricante.			<p>0 psi – 29 psi (a) 30 psi (b) 31 psi – Mayor (c)</p> <p>(a) Valor inferior al ideal (b) Valor aprobado (c) Valor mayor al ideal</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Tamaño</th> <th>Dimensión</th> <th>Psi</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>145/70 R13</td> <td>4.5J x 13</td> <td>30</td> </tr> <tr> <td>155/65 R13</td> <td>4.5J x 13</td> <td>30</td> </tr> <tr> <td>155/70 R13</td> <td>4.5J x 13</td> <td>30</td> </tr> </tbody> </table>	Tamaño	Dimensión	Psi	145/70 R13	4.5J x 13	30	155/65 R13	4.5J x 13	30	155/70 R13	4.5J x 13	30
Tamaño	Dimensión	Psi													
145/70 R13	4.5J x 13	30													
155/65 R13	4.5J x 13	30													
155/70 R13	4.5J x 13	30													

Tabla 18. Presión entregada por el fabricante.


El último valor para analizar es la resistencia a la rodadura está basado en un estudio en Cuenca Ecuador, el estudio está basado en dos tipos de neumáticos. El primero es un Chevrolet Aveo y el segundo un Chevrolet Spark. En esta

investigación afirman que el valor de resistencia a la rodadura para un neumático de Spark en condiciones normales es de 0.34 ± 0.016 (Florez, 2018).

Con estos valores se trabajó en la validación del neumático en el banco de pruebas.

La primera validación es revisar que los datos de nombre e identificación estén guardados en Excel correctamente para tener un registro de todos los análisis realizados en el banco de pruebas.

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE BUCARAMANGA



Registro de usuario

Nombre de usuario

Nombre

Identificación

Numerico

Fecha de prueba

*Terminos y condiciones

Acepta que tiene claro el funcionamiento del banco de pruebas y que reviso previamente el manual operativo.

Figura 81. Página de registro en la App Designer de Matlab.

El dato quedo almacenado dentro de un libro de Excel y cada vez que se realice una prueba se anexa el nombre y la identificación como se muestra en la figura 62.

Nombre	Identificación
Guillermo	85599
Guillermo Salaza	1090483

Figura 82. Libro de Excel donde se almacenan los datos.

La siguiente validación está determinada por el primer análisis del banco de pruebas, tomando la velocidad que lleva el neumático, la presión de inflado y la profundidad de labrado.



Figura 83. Toma de presión del neumático.

Los valores permiten hacer un análisis preliminar de cómo está el estado del neumático de acuerdo a parámetros. Estos valores también se guardan en Excel.

UI Figure - □ ×

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE BUCARAMANGA ?

Caracterización de neumáticos

Información principal	Análisis presión del neumático	Profundidad del labrado
Año: 2002 ▼	Presión: 25 psi	mm: 1.7
Tipo de neumático: 155/65 R13 ▼	Presión: 172.4 kPa	cm: 17

Análisis visual

- Protuberancias, deformaciones, despegue o rotura en la banda de rodamiento
- Despegue o rotura en las bandas laterales de una o más llantas.

Análisis resistencia a la rodadura

<p>Resistencia a la rodadura</p> <p>Fo: 0.50000</p> <p>F: 0.20000</p> <p>Velocidad: 145.00000</p> $f_r = f_0 + f_s \left(\frac{v}{100}\right)^{2.5}$ <p>Resistencia a la rodadura: 0.3813</p>	<p>VISUALIZACIÓN DE ANALISIS</p> <p>Presión: Valor menor al ideal ●</p> <p>Profundidad: Aprobado ●</p> <p>Resistencia: Aprobado con observaciones ●</p> <p>Banda de rodamiento: Aprobado ●</p> <p>Banda laterales: Aprobado ●</p> <p>Calcular</p>	<p>Fuerza de arrastre</p> <p>P: 110</p> $Cd = \frac{F_d}{\frac{1}{2} * (A) * (p)}$ <p>Fuerza de arrastre: 0.00342</p> <p>Calcular</p>
--	--	--

Atras
Inicio
Siguiente

Figura 84. Página del primer análisis.

En el documento de Excel aparece la Presión en kPa como se puede ver en la figura 65.

Presion	Profundidad	Presion_1	Profundidad_1
6,89476	10	6,89476	10
172,369	17	0,38125	0,003421488
172,369	17	0,38125	0,003421488

Figura 85. Almacenamiento de los valores en Excel.

La última validación y una de las más importantes es el análisis de la banda de rodamiento, por medio de Visión artificial se analiza si presenta alguna mal formación o desgaste que genere riesgo para los pasajeros del vehículo.



Figura 86. Página de análisis por visión artificial.

Cada uno de los análisis realizados por el banco de pruebas determina si el neumático puede o no estar en funcionamiento. Todos los análisis están basados en estudios y Normas técnicas para la validación de neumáticos.

15. CONCLUSIONES

El diseño conceptual y CAD del banco de pruebas ayudo a disminuir errores en la construcción, esto sumándole un análisis de campo en donde se determinó la estructura de un SPARK y como este estaba sujeto en la carrocería, por esta razón se diseñó conforme a tener un banco de pruebas que tuviera similitud a una suspensión de un neumático.

La identificación de parámetros permitió comprender las condiciones operativas en la que un neumático está en funcionamiento y como este por medio de características como lo son la presión de inflado, desgaste y resistencia a la rodadura hacen que un neumático trabaje en óptimas condiciones.

El análisis de visión artificial permitió clasificar el desgaste de los neumáticos, la base de datos influyo mucho para este tipo de clasificación. Solo se utilizó dos neumáticos pero como es un banco de pruebas se pretende cada vez tener una base de datos más amplia que permita no solo ver estos tipos de desgastes si no otra mal formación presentada.

La implementación de una interfaz de App designer permitió tener una aplicación de fácil uso y de almacenamiento de datos continuo en Excel para poder graficar y elaborar informes en este banco de pruebas.

El banco de pruebas para la caracterización de neumáticos SPARK es un desarrollo que une varias técnicas de análisis que sin duda ayudara a la formación del estudiante en la Universidad Autónoma de Bucaramanga.

Los neumáticos presentaron una clasificación con un margen de error del 1.3 % debido a que ocurrían falsos positivos en la identificación de imágenes con desgaste, este error se puede mejorar con una base de datos más grande.

El banco de pruebas cumplió con la clasificación y la aprobación de un neumático en buen estado y la no aprobación de otro con problemas de desgaste.

16. TRABAJOS FUTUROS

El uso de dos cámaras de visión para el análisis lateral y de contacto entre el neumático y el cilindro ayudaría a un análisis más completo en el desgaste. Los puntos de apoyo para las cámaras ya están ubicados en el banco de pruebas pero no fueron utilizados, solo se utilizó el de la banda de rodadura del neumático.

El banco de pruebas cuenta con un motor que produce una velocidad constante pero sería de gran importancia la variación de diferentes velocidades para analizar el comportamiento del neumático, así mismo cambiar el peso del neumático o fuerza ejercida en el para el análisis de la huella de contacto entre el neumático y el suelo.

La interfaz estará en código abierto para poder modificar las diferentes pruebas y hacer del banco un sistema más automatizado con sensores y actuadores sincronizados para calcular si está en buen funcionamiento o no.

Se sugiere avanzar cada vez más con la base de datos de los neumáticos, tomando otras imágenes con una calidad similar o mejor a la realizada, en la toma de la imagen se sugiere sincronizar el motor para cada cierto ángulo detener la llanta y ahí si poder tomar la imagen para no presentar problemas de ruido y una mala clasificación con la herramienta.

El sistema de cambio del neumático se hace de forma Manual y requiere elevar con un gato de forma manual, este sistema podría cambiar para hacer de este trabajo algo más rápido y más eficiente.

Una investigación amplia acerca de los nuevos avances para caracterizar neumáticos ayudara a avanzar en técnicas utilizadas para calcular valores y graficar curvas significativas en donde la presión, desgaste y resistencia a la rodadura juegan un papel principal, no obstante diferentes teorías relacionadas a la disminución de combustible siguen siendo investigadas en esta línea de investigación.

BIBLIOGRAFÍA

- AMB. (2013). Electronica diseña una maquina para realizar ensayos de resistencia a la rodadura de neumaticos . *Revista informativa del sector del caucho*.
- Calderón, M. A. (2017). *Propuesta de etiquetado vehicular en pro de la eficiencia energetica y reduccion de emisiones GEI para colombia basada en experiencia laboral*. Bogota: Unisalle.
- Catalin Persu, A. N. (2018). Researches on the monitoring of air pressure in the tires pressure in the tires at road transport means. *ResearchGate*, 9.
- Chicote, M. (2017). *Diseño de maquina de ensayo para neumaticos de motocicletas*. e-Reding.
- Conae. (2010). *Manual de información tecnica de neumaticos*. Mexico.
- corporation, M. s. (s.f.). The world standard for tire performance measurement. *Mts*, 20.
- Florez, M. F. (2018). Determinación de consumo de combustible en vehiculos en base a los ciclos de conducción EPA FTP75 . 6.
- Guedes, R. (2015). Identifications of marks on tires using artificial vision for quality control. *ResearchGate*, 11.
- Intermec. (2013). Poleas en V. *Intermec*, 112.
- Jinpeng, L. (2018). Experimental Investigation on the Morphology of the Tire Wear Particles and Its Generation Mechanism.
- Karunovic, N. (2008). Finite element model for steady-state rolling tire analysis. *ResearchGate*, 18.
- Lakha, M. (2019). A research for evaluation of span of a tire through image processing techniqe. *International Journal of Recent Technology and Engineering*, 5.
- Manualscat. (8 de Mayo de 2021). Obtenido de <https://www.manualscat.com/es/sunding-sd-563a-manual>
- Matlab. (2019). Matlab R2019b. *Software*.
- Ministerio de energia, t. y. (2018). *Manual de procedimiento de inspeccion de estaciones ITV*. Madrid.
- Ocaña, P. H. (2011). *Diseño y contrucción de una maquina transportadora y clasificadora de Humus de lombriz*. Quito.

Roncero, A. (2015). *Auto 10*. Obtenido de <https://www.auto10.com/reportajes/danos-en-los-neumaticos-identificacion-causas-y-soluciones/5647>

Scopus. (2 de Febrero de 2021). *Scopus*. Obtenido de <https://www.scopus.com/standard/marketing.uri>

Skyciv. (5 de Mayo de 2021). Obtenido de Skyciv: <https://skyciv.com/free-moment-of-inertia-calculator/>

Tapia, P. (2009). Determination of vehicle fuel consumption based on EPA FTP75 and EPA HWFET conduction cycles in chassis dynamometer. Case studies: Hyundai Santa. *Infociencia*, 8.

Technologies, N. (2 de Febrero de 2020). Obtenido de Numetrix Technologies: <https://numetrix.ca/technologies/>

Uyustool. (05 de Mayo de 2021). Obtenido de <https://www.uyustools.cl/>