INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

Proyecto Previo a la Obtención del Título de Ingeniero en Mecánica Automotriz

Autor: Jorge Andrés García Montes

Tutor: Ing. Edgar Gustavo Vera Puebla, Msc

Análisis Estructural del Neumático 165/70 R14 Marca Firestone, Utilizada en Taxis para Determinar las Cargas de Presión Interna

Guayaquil-Ecuador |2025

Aprobación del Tutor

Yo, Edgar Gustavo Vera Puebla certifico que conozco al autor del presente trabajo siendo responsable exclusivo tanto de su seguridad y autenticidad, como de su contenido.

Edgar Gustavo Vera Puebla, Msc

C.I.: 1715264105

Director del Proyecto

Dedicatoria

Quiero dedicar este trabajo investigativo a mis padres Jorge y Degny, porque ellos han dado razón a mi vida, por sus consejos, su apoyo incondicional, y su paciencia y a toda mi familia que es lo mejor y más valioso que Dios me ha dado.

Jorge Andrés García Montes

Agradecimiento

Agradezco a Dios por darme sabiduría durante esta investigación, a los profesores Edgar Vera y Marco Noroña por su invaluable colaboración, y a mi familia, por la paciencia y compañía.

Jorge Andrés García Montes

Certificación de Autoría

Yo, Jorge Andrés García Montes, con CI: 0931588867, declaro bajo juramento, que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido presentado anteriormente para ningún grado o calificación profesional y que se ha consultado la bibliografía detallada.

Cedo mis derechos de propiedad intelectual a la Universidad Internacional del Ecuador, para que sea publicado y divulgado en internet, según lo establecido en la Ley de Propiedad intelectual, reglamento y leyes.

Jorge Andrés García Montes

C.I.: 0931588867

Índice General

Dedicatoria iv

Agradecimiento v

Certificación de Autoría vi

Índice General vii

Índice de Figuras x

Índice de Tablas xiii

Índice de Ecuaciones xiv

Resumen xv

Abstract xvi

Capítulo I 1

Problema de la Investigación 1

1.1 Tema de Investigación 1

1.2 Planteamiento, Formulación y Sistematización del Problema 1

1.2.1 Planteamiento del Problema 1

1.2.2 Formulación del Problema 2

1.3 Sistematización del Problema 2

1.4 Objetivos de la Investigación 3

1.4.1 Objetivo General 3

1.4.2 Objetivos Específicos 3

1.5 Justificación e Importancia de la Investigación 3

1.5.1 Justificación Teórica 3

1.5.2 Justificación Metodológica 4

1.5.3 Justificación Práctica 5

1.5.4 Delimitación Temporal 6

1.5.5 Delimitación Geográfica 6

1.5.6 Delimitación del Contenido 6

1.6 Alcance 7

Capítulo II 8

Marco de Referencia 8

2.1 Historia del Neumático 8

2.2 Componentes del Neumático 9

2.3 Tipos de Neumáticos 11

2.4 Composición de Material en Neumáticos 12

2.5 Dimensiones de Neumáticos 13

2.6 Nomenclatura, Geometría y Homologación del Neumático 15

2.7 Resistencia a la Rodadura y Adherencia a la Calzada 19

2.8 Características Mecánicas de los Neumáticos 20

2.9 Consideraciones Generales que Influyen en el Rendimiento del Neumático 21

Capítulo III 23

3 Metodología 23

3.1 Métodos 23

3.2 Tipo de Estudio 23

3.2.1 Investigación Descriptiva 23

3.2.2 Método Descriptivo 24

3.3 Materiales de Estudio 24

3.4 Geometría del Neumático 165/70 R14 81T Marca Firestone 25

3.5 Modelado y Simulación del Neumático 28

3.6 Proceso de Análisis Estructural del Neumático 165/70 R14 Marca Firestone 39

3.6.1 Consideraciones Iniciales 39

3.7 Interpretación de Resultados 42

3.8 Factor de Seguridad 43

Capítulo IV 44

Análisis de Resultados 44

4.1 Análisis de Datos Obtenidos 44

4.1.1 Análisis de Tensión Von Mises – Caso 1 44

4.1.2 Análisis de Tensión Von Mises – Caso 2 45

4.1.3 Análisis de Tensión Von Mises – Caso 3 46

4.1.4 Análisis de Desplazamiento – Caso 1 47

4.1.5 Análisis de Desplazamiento – Caso 2 48

4.1.6 Análisis de Desplazamiento – Caso 3 49

4.1.7 Análisis de Deformaciones – Caso 1 49

4.1.8 Análisis de Deformaciones – Caso 2 50

4.1.9 Análisis de Deformaciones – Caso 3 50

4.1.10 Análisis de Factor de Seguridad – Caso 1 51

4.1.11 Análisis de Factor de Seguridad – Caso 2 51

4.1.12 Análisis de Factor de Seguridad – Caso 3 51

4.2 Resumen de Datos Obtenidos 52

Conclusiones 53

Recomendaciones 54

Bibliografía 55

Anexos 58

Índice de Figuras

Figura 1 *Neumático de Goma Maciza* 8

Figura 2 *Componentes del Neumático* 10

Figura 3 *Banda de Rodadura* 11

Figura 4 *Neumático Tipo Diagonal* 12

Figura 5 *Neumático Tipo Diagonal* 12

Figura 6 *Dimensiones del Neumático* 13

Figura 7 *Nomenclatura del Neumático* 16

Figura 8 *Geometría del Neumático* 18

Figura 9 *Homologación del Neumático* 18

Figura 10 *Coeficientes de Adherencia de Neumáticos sobre la Calzada* 20

Figura 11 *Deformaciones del Neumático* 21

Figura 12 *Presión de Inflado* 22

Figura 13 *Etiqueta de Colores del Neumático 165/70 R14 81T Marca Firestone* 26

Figura 14 *Gráfica de las Características Mecánicas del Neumático 165/70 R14 81T Marca Firestone* 27

Figura 15 *Plano del Neumático a Elaborar en 2D* 28

Figura 16 *Selección del Plano del Croquis a Diseñar* 28

Figura 17 *Croquis del Neumático* 29

Figura 18 *Extrusión del Plano del Neumático* 29

Figura 19 *Aplicación del Redondeo en las Aristas del Neumático* 30

Figura 20 *Croquis Medio para Generación de Labrado del Neumático* 30

Figura 21 *Corte Revolución de 0,5°* 31

Figura 22 *Matriz Circular* 31

Figura 23 *Matriz al Plano Medio* 32

Figura 24 *Croquis en un Plano Separado* 32

Figura 25 *Corte y Extrusión* 33

Figura 26 *Corte y Extrusión en el Plano Medio* 33

Figura 27 *Plano 2D del Neumático con el Labrado* 34

Figura 28 *Plano 2D del Neumático con la Base del Labrado en la Cara Lateral 1* 34

Figura 29 *Selección del Comando "Envolver"* 34

Figura 30 *Generación de Matriz Circular* 35

Figura 31 *Plano 2D del Neumático con la Base del Labrado en la Cara Lateral 2* 35

Figura 32 *Generación de Matriz Circular* 36

Figura 33 *Corte de 5 mm en el Neumático* 36

Figura 34 *Realización de la Fisura en el Neumático* 37

Figura 35 *Realización de la Redondeo en el Neumático* 37

Figura 36 *Extrusión en el Neumático* 38

Figura 37 *Diseño del Neumático 165/70 R14 81T Marca Firestone* 38

Figura 38 *Aplicación de Sujeciones al Neumático* 40

Figura 39 *Aplicación de Carga de Masa Distribuida al Neumático* 40

Figura 40 *Aplicación de Valor de Gravedad al Neumático* 41

Figura 41 *Aplicación de Carga de Presión a 30 PSI* 44

Figura 42 *Tensión de Von Mises – Caso 1* 45

Figura 43 *Aplicación de Carga de Presión a 32,5 PSI* 45

Figura 44 *Tensión de Von Mises – Caso 2* 46

Figura 45 *Aplicación de Carga de Presión a 35 PSI* 47

Figura 46 *Tensión de Von Mises – Caso 3* 47

Figura 47 *Análisis de Desplazamiento – Caso 1* 48

Figura 48 *Análisis de Desplazamiento – Caso 2* 48

Figura 49 *Análisis de Desplazamiento – Caso 3* 49

Figura 50 *Análisis de Deformación – Caso 1* 49

Figura 51 *Análisis de Deformación – Caso 2* 50

Figura 52 *Análisis de Deformación – Caso 3* 50

Figura 53 *Análisis de Factor de Seguridad – Caso 1* 51

Figura 54 *Análisis de Factor de Seguridad – Caso 2* 51

Figura 55 *Análisis de Factor de Seguridad – Caso 3* 52

Índice de Tablas

Tabla 1 *Componentes de los Neumáticos* 13

Tabla 2 *Ejemplos de Índices de Carga* 14

Tabla 3 *Ejemplos de Índices de Velocidad* 15

Tabla 4 *Geometría del Neumático* 17

Tabla 5 *Coeficientes de Resistencia a la Rodadura (f)* 19

Tabla 6 *Características Técnicas del Neumático 165/70 R14 81T Marca Firestone* 25

Tabla 7 *Características Mecánicas del Neumático 165/70 R14 81T Marca Firestone* 27

Tabla 8 *Propiedades del Material* 39

Tabla 9 *Sujeciones* 39

Tabla 10 *Carga de Masa Distribuida* 40

Tabla 11 *Valor de Gravedad* 41

Tabla 11 *Fuerzas de Cuerpo Libre* 41

Tabla 13 *Fuerzas de Reacción* 42

Tabla 14 *Información de Mallado* 42

Tabla 15 *Carga de Presión – Caso 1* 44

Tabla 16 *Carga de Presión – Caso 2* 45

Tabla 17 *Carga de Presión – Caso 2* 46

Tabla 18 *Resultados Globales Obtenidos* 52

Índice de Ecuaciones

Ecuación 1 Resistencia a la Rodadura..... 19

Resumen

Los neumáticos desde que se crearon no han cambiado su forma y solo se han ido mejorando y adaptando nuevas tecnologías para mejorar el rendimiento, menor desgaste, mayor dureza, menos peso, mayor rodadura, menor influencia en el consumo de combustible, entre otros. Cada neumático se ha diseñado con medidas y características para uso específico, desde los que disponen de labrados para calzadas de carretera hasta calzadas húmedas, de rin 13 a rin 26, de cámara o sin cámara, con o sin sensor, entre otras características que a la par influyen en el neumático que se coloca. Su análisis se basa en tener una visión general y amplia de cómo un simple neumático puede llegar a influir en el rendimiento y desempeño de un vehículo. Mediante el uso de Software de Diseño Asistido por Computadora (CAD) se puede llegar a evaluar técnicamente una llanta, es decir, conocer las tensiones, deformaciones y desplazamientos que sufre al colocar la carga de presión, así como también la influencia del material con que se construye y su labrado con el que ha sido diseñado. En el caso de los vehículos para taxi se es necesario conocer el neumático que utiliza para conocer su factor de seguridad y valores de carga que se puede aplicar sin que llegue a un punto de no disponer agarre contra la calzada. Por consiguiente, el presente proyecto analiza el neumático más común y comercial utilizado para taxis con su respectiva simulación a tres cargas de presión para conocer cuál de ellas se recomienda.

Palabras Clave: *Análisis, Carga, Estructura, Presión interna, Rin, Simulación, Taxi.*

Abstract

Since their creation, tires have not changed their shape and have only been improved and adapted to new technologies to improve performance, less wear, greater hardness, less weight, greater rolling resistance, less influence on fuel consumption, among others. Each tyre has been designed with measurements and characteristics for a specific use, from those with treads for road surfaces to wet surfaces, from 13 to 26 rims, with or without a tube, with or without a sensor, among other characteristics that also influence the tyre that is fitted. Its analysis is based on having a general and broad vision of how a simple tyre can influence the performance and efficiency of a vehicle. By using Computer Aided Design (CAD) software, a tire can be technically evaluated, that is, the stresses, deformations and displacements it undergoes when applying pressure loads can be known, as well as the influence of the material it is made of and the tread with which it was designed. In the case of taxi vehicles, it is necessary to know the tire used in order to know its safety factor and load values that can be applied without reaching a point of not having grip on the road. Therefore, this project analyzes the most common and commercial tire used for taxis with its respective simulation at three pressure loads to determine which one is recommended.

Keywords: *Analysis, Load, Structure, Internal pressure, Rin, Simulation, Taxi.*

Capítulo I

Problema de la Investigación

1.1 Tema de Investigación

Análisis estructural del neumático 165/70 R14 marca Firestone, utilizada en taxis para determinar las cargas de presión interna.

1.2 Planteamiento, Formulación y Sistematización del Problema

1.2.1 Planteamiento del Problema

En el campo automotriz los neumáticos representan el elemento crítico para el movimiento de cualquier vehículo motorizado, desde su invención la forma no ha cambiado siempre ha sido redonda, más su constitución y tecnología han cambiado y seguirán en cambio acorde al avance de la tecnología de los vehículos, ha si también se rigen a estándares y normativas legales que buscan la seguridad propia y del conductor, como también su rendimiento y desecho al final de uso. La estructura del neumático representa un desafío al momento del fin con que se fabrica, si es para rodaje en carretera de primer, segundo, tercer orden o mixto, ya que de ello dependerá que el peso a soportar permita su movilidad sin esfuerzo, disponga de un frenado efectivo, contribuya a que no exista vibraciones hacia la suspensión y de esta hacia la carrocería y el conductor, se mantenga en firme sobre la calzada y en dirección adecuada, entre otros.

Los caminos y carreteras no siempre son regulares y limpias por cuanto se requiere que el neumático se mantenga con una adecuada presión de aire, un estado de rodadura ideal y en la posición adecuada para evitar pinchazos, explosión de llanta por sobrecarga y/o sobrepresión, desbalance del vehículo por neumáticos con inclinaciones hacia dentro o hacia fuera y deslizamiento libre del neumático por una profundidad de la banda de rodadura mínima o nula.

Por cuanto se define que la problemática a abordar en el presente proyecto es la de realizar un análisis estructural del neumático 235/60 rin 16, por ser uno de la más demanda comercial y su uso en vehículos de taxis, con el fin de determinar las cargas de presión a las que es sometido en parada, rodaje a baja y rodaje a altas velocidades. Así también definir las fuerzas, deformación, esfuerzos, vida útil y factor de seguridad al que se somete durante su uso.

1.2.2 Formulación del Problema

¿Cuál es el procedimiento de metodología factible que se aplica en un análisis estructural del neumático?

Por medio de la formulación del problema se realiza una simulación virtual para poder someter a diferentes análisis el neumático a diseñar y conocer las propiedades mediante un análisis técnico.

La fundamentación del problema se basa en:

Descripción del neumático en su estructura como en su tecnología de diseño, para saber el comportamiento del material a diferentes esfuerzos.

Análisis del diseño, material de construcción, esfuerzos, fuerzas, cargas y factor de seguridad del neumático en estudio.

Cálculo de fórmulas base que se involucran en resistencia de materiales para poder determinar las cargas de presión interna que se generan por los esfuerzos de trabajo.

1.3 Sistematización del Problema

- ¿Cómo se selecciona y en qué se basa el material con que se construye un neumático?
- ¿Cuál es el tipo de metodología aplicable para analizar la estructura del neumático?
- ¿Qué indicador(es) son fundamentales a considerar en el análisis, estudio y simulación de estructuras en el componente del vehículo, el cual se encuentra bajo esfuerzos y fuerzas en distintos niveles por su trabajo que desempeña?

- ¿Cuál es el cálculo fundamental que se debe considerar para el análisis estructural para determinar las cargas de presión?
- ¿Cuál es la fundamentación teórica con la cual se analiza el trabajo y función del neumático en un vehículo?

1.4 Objetivos de la Investigación

1.4.1 Objetivo General

- Analizar la estructura del neumático 165/70 R14 marca Firestone, utilizada en taxis para determinar las cargas de presión interna por medio de ingeniería asistida por ordenador.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Definir el diseño geométrico para el neumático mediante la reproducción de un modelo tridimensional con la respectiva simulación de cargas de presión.
- Determinar los juicios de evaluación para selección y análisis de resistencia en materiales y cargas aplicado a neumáticos.
- Realizar el análisis de la estructura, el material y forma con que se fabrica el neumático cuando tiene cargas de presión interna.

1.5 Justificación e Importancia de la Investigación

1.5.1 Justificación Teórica

En base al planteamiento del problema con debida sistematización y formulado los objetivos para el mismo, se delimita el espacio geográfico donde se realizará el proyecto, así como también las debidas justificaciones en respuesta a las interrogantes formuladas para el proceso de trabajo y que a continuación se describen.

El presente análisis con fundamentación técnica se justifica en el poder conocer la estática y dinámica del neumático en su estructura desde el material hasta el funcionamiento. Para lo cual se dispone de un neumático 165/70 R14 marca Firestone, el cual se replicará su

diseño a escala de forma computacional para el análisis estructural, de material, cargas, esfuerzas, fuerzas y deformación cuando existen las cargas de presión interna.

El fin es poder analizar la estructura del neumático en su constitución, tanto de material como de forma, para determinar las cargas de presión a las que está sometido y poder conocer a la vez el desempeño, rendimiento, factor de seguridad y ciclo de vida.

Por consiguiente, el proyecto presenta un análisis estructural aplicado en la ingeniería técnica de construcción de elementos del automóvil.

1.5.2 Justificación Metodológica

La justificación metodológica para el proyecto es el análisis de estructura y la resistencia de material con fundamento en lo cuantitativo, cualitativo, analítico y experimental, ya que se realiza la determinación de cargas de presión interna que soporta un neumático.

El trabajo está basado en saber las características, el diseño y material de construcción con que se ha diseñado y fabricado el neumático; a través de la aplicación de la metodología experimental donde el análisis y estudio del diseño 3D obtenido en software permitirá el analizar en diferentes configuraciones de simulación la estructura del componente y obtener resultados variados del componente para saber el comportamiento en diferentes cargas de presión interna. Para el caso del análisis estructural lo que se necesita obtener son valores de las fórmulas fundamentales que rigen para elementos de rodaje. Por consiguiente, se genera la fase de diseño, simulaciones, análisis y evaluaciones de los fundamentos de estudio y todo resultado obtenido este acorde en las distintas condiciones del material del elemento en estudio.

Por cuanto, se justifica que la metodología en utilización indaga la agrupación de técnicas de análisis y simulaciones técnicas que permiten de forma exacta obtener una visión basada en datos y fines numéricos.

1.5.3 Justificación Práctica

La justificación práctica en el proyecto se basa en el diseño real y análisis estructural del neumático. En cuanto a las resultantes a obtener se fundamenta en el análisis, simulaciones y evaluaciones que se describen a continuación:

- Mejora Implicación en el desempeño del desplazamiento del vehículo, a través del análisis del neumático, por medio del diseño ideal donde se aplique esfuerzos y cargas.
- Considerar el tipo de material de fabricación para determinar la seguridad del elemento y su correlación con la seguridad, rendimiento y desempeño del vehículo.
- En cuanto al análisis a aplicar en el neumático permitirá conocer las cargas de presión, esfuerzos, fuerzas, deformación y vida útil del elemento acorde al diseño estructural, debido a que a través del proceso se identifica la resistencia del material en el elemento, con el fin de que este proyecto sea la base para futuros estudios técnicos.
- Los nulos costes de fabricación se trascriben en los análisis técnicos de prueba computacionales al que se somete el elemento en análisis, debido a que la evaluación en software es deliberada.
- Rendimiento y desplazamiento del vehículo, ya que se evalúa la estructura, geometría y material de fabricación cuando se aplica cargas de presión interna lo más cercanas a la realidad, que permitirán conocer la deformación y fatiga bajo ciertos parámetros de trabajo.
- En lo referente a innovación y análisis técnico del proyecto está la aplicación de simulaciones mecánicas tanto en la evaluación de la estructura, material y cargas de presión por el trabajo al que está sometido.

En definitiva, la justificación práctica reside en ser un análisis potencial, debido a que se traslada la teoría en procesos técnicos de análisis, los cuales contribuyen a la innovación del área mecánica a través de la evaluación y estudio de procesos de diseño en elementos del vehículo con mira en resistencia de material, cargas, eficacia, fuerzas y rendimiento del automóvil.

1.5.4 Delimitación Temporal

De acuerdo con la planificación establecida para el presente trabajo investigativo tiene una proyección de tiempo que inicia el 16 de septiembre de 2024 y finalizaría el 27 de diciembre de 2024, tiempo en el cual se lleva a cabo cada una de las fases en las que de manera cronológica se cumplirán con los objetivos planteados hasta llegar a su culminación.

1.5.5 Delimitación Geográfica

El presente estudio se lleva a cabo en las instalaciones de la Escuela de Ingeniería Automotriz de la Universidad Internacional del Ecuador extensión Guayaquil, tanto en la parte teórica, así como práctica con la utilización de los laboratorios con que cuenta la institución.

1.5.6 Delimitación del Contenido

La delimitación del contenido se encuentra basado en marco teórico y referencial para el análisis de estructuras, como también de la simulación, geometría y estudio del material en el elemento de estudio. El proceso de investigación se basa en fuentes bibliográficas teóricas y técnicas, páginas web con base científica y técnica, artículo científico, tesis, entre otras, que se detallan en el orden correspondiente para cumplir con los fines propuestos.

El desarrollo del marco teórico se realiza en cuatro capítulos de texto con sus conclusiones y recomendaciones respectivas. En cuanto a la investigación se delimita en:

En cuanto a limitaciones:

- Sitúa el enfoque en el análisis y la simulación de estructura con que se diseña un neumático.

- Reproducción de simulación de datos por medio de las fórmulas base en la estructura y resistencia de material, para conocer las cargas de presión interna.
- Atención a los objetivos y problema, como es el conocer la estructura de un elemento del automóvil y el impacto en la resultante.
- Evaluación de los resultados obtenidos en las que se engloba la geometría, resistencia, esfuerzos, factor de seguridad, fuerzas, entre otras que garanticen la seguridad del elemento.
- El enfoque de uso de neumáticos en vehículos de uso para taxis y su intervención en el rendimiento del vehículo.

En cuanto a delimitaciones:

- Exclusión de pasos de análisis técnicos de ingeniería no relacionada con estructuras.
- No se procederá a analizar ningún otro elemento ni componente que no involucre el neumático 165/70 R14.
- No se realizará pruebas en físico ni otra simulación y diseño que no intervenga en las cargas de presión, esfuerzos y diseño geométrico.

1.6 Alcance

El alcance para el presente análisis se centra en determinar las cargas de presión interna de un neumático que es de común uso en los vehículos de taxis. Adicional, se considera la simulación para conocer la resistencia del material, el factor de seguridad, ciclo de vida, fuerzas y esfuerzos a los que se somete al aplicar las cargas.

Por consiguiente, no se incluye costos de fabricación ni reconstrucción del neumático en análisis, así como también análisis en componentes añadidos y subyacentes que trabajan con el neumático en el vehículo.

Capítulo II

Marco de Referencia

2.1 Historia del Neumático

El inglés Thomas Hancock empleó el sistema de vulcanizado de goma desarrollado en el año 1841 en Estados Unidos (EE. UU.) por Charles Good–Year. En el año 1846, Hancock diseño los primeros neumáticos de goma maciza en sustitución de las ruedas de madera las cuales permitían amortiguar de mejor manera los impactos de la rueda contra el suelo y a la par una mejor rodadura. Ver figura 1.

(De la Torre, 2021) en su libro "Eso no estaba en mi libro de historia del automovilismo" redacta que "en el año 1888, Jhon Boyd Dunlop inventó el neumático inflable que disponía un tubo de caucho hinchado con aire y cubierto con tela". El invento se aplicó en sus inicios en bicicletas, mejorando la calidad de la vida de los ciclistas que sufrían el maltrato en las piernas por el pedaleo debido a las ruedas de goma maciza. En cambio, las ruedas macizas para los vehículos de esa época resultaban muy útiles.

Figura 1

Neumático de Goma Maciza

Fuente: (CZ Revista técnica de Centro Zaragoza, 2021)

Los primeros estudios por medio de elementos finitos se realizaron entre finales de la década de los 60 y principios de los 70, en los cuales se estudiaron la interacción del neumático rígido con el suelo donde se simula el efecto de la presión uniforme distribuida sobre un área de contacto circular con aplicación a una superficie rígida o deformable, se encuentran publicados por autores como Perumpral, Coleman, Yong y Fattah.

El estudio más exacto que se ha realizado sobre el desempeño del neumático fue realizado por el Instituto de Investigaciones del Automóvil, en la Universidad de las Fuerzas Armadas de Alemania, en la ciudad de Hamburgo por el Sr. Aubel en el año 1994, dicho estudio separa al neumático del suelo para la simulación, aunque en el análisis no se considera el efecto del neumático con presión de aire total solo nula. El estudio se perfecciono en el año 1999 por Fervores en el cual se dispone una representación plana de todos los elementos que conforman el neumático estructuralmente, se adiciona el efecto de presión de inflado y la transmisión de fuerzas por la coraza, entre la banda de rodadura y la llanta (Chalco & Sinchi, 2016).

2.2 Componentes del Neumático

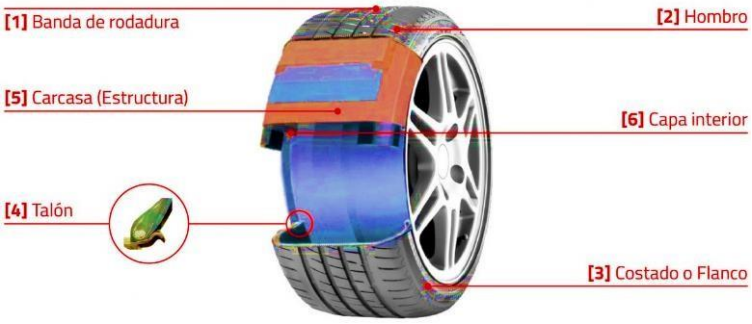
El neumático se encarga de transferir la potencia motriz y del frenado contra el suelo, así como también de dirigir el recorrido del vehículo y ser un elemento de soporte de carga del vehículo. El neumático se compone de (ver figura 2):

- Cubierta: también llamada carcasa, es la estructura que se halla por debajo de los flancos y la banda de rodadura, dando soporte al neumático. Su función es soportar el aire a presión contenido, soportar los esfuerzos procedentes de la tracción, dar estabilidad y confort.
- Hombro: es la transición entre los flancos y la banda de rodadura, es la capa de caucho más gruesa de todo el neumático, cuya función es garantizar la trayectoria del automóvil en curva y de disipar el calor que se acumula en el interior del neumático.

- Flanco: también llamado costado, es la zona entre la llanta y el hombro que protege la carcasa, su compuesto es resistente a la flexión para adaptación a las deformaciones. Además, protege la capa radial de impactos laterales y fricciones. En este componente se detallan todas las especificaciones del neumático.
- Talón: sujeta el neumático para evitar que se deslice, además transmite el par motor en frenada y aceleración. Se ajusta perfectamente para evitar que escape el aire. A su vez se compone de
- Alambres de acero resistente formando un cable trenzado circular
- Caucho
- Recubrimiento de capas de la carcasa.
- Válvula, es el medio por el cual se infla el neumático y descarga la presión, es decir, que es capaz de mantener la presión y evitar fugas de aire.
- Cámara: es el componente de goma que acumula aire. facilitando la estanqueidad del neumático.

Figura 2

Componentes del Neumático



Fuente: (Carlider, 2022)

- Banda de rodadura: es la banda de caucho exterior que recubre la carcasa, la cual está sometida a fricción directamente con la calzada y se encarga de garantizar la adherencia, maniobrabilidad, baja rumorosidad, resistencia a la rodadura, entre

otros. Las hay de diferentes diseños y compuestos específicos según la aplicación. A su vez su diseño dispone (ver figura 3):

Surcos: son los canales longitudinales que permiten la evacuación de líquidos. Es en este punto donde se mide la profundidad siendo el permitido 1.6 mm por debajo de ese valor se pierde adherencia contra la calzada.

Costillas: denominadas también Ribs, están dispuestas longitudinalmente en todo el perímetro.

Tacos: aseguran la buena tracción del neumático en circulación.

Cortes transversales: también llamados Sipes, facilitan la evacuación de líquidos y disminuyen el ruido producido por el neumático durante la conducción.

Figura 3

Banda de Rodadura

Fuente: (Carlider, 2022)

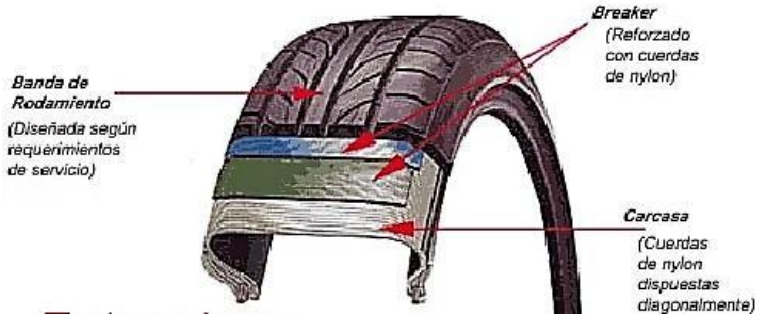
2.3 Tipos de Neumáticos

Los neumáticos pueden ser de varios tipos, entre los principales están:

- Diagonal: sus capas de tejido están dispuestas de manera diagonal de tal forma que los hilos forman un ángulo agudo. Las capas respecto a otras hacen un mallado en forma romboide, por ende, el mallado que forman es más fino conforme va acercándose al talón. Ver figura 4.

Figura 4

Neumático Tipo Diagonal

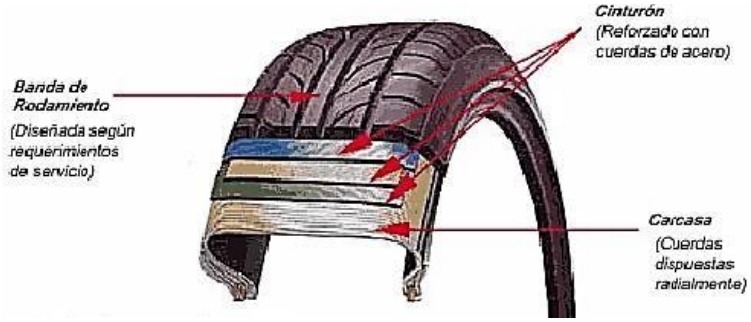


Fuente: (Carlider, 2022)

- Radial: para este tipo las capas van radialmente de talón a talón, es decir perpendiculares al sentido de conducción. Tienen un menor desgaste a altas velocidades y menor resistencia a la rodadura, pero a bajas velocidades el desgaste es mayor. Ver figura 5.

Figura 5

Neumático Tipo Radial



Fuente: (Carlider, 2022)

2.4 Composición de Material en Neumáticos

Los neumáticos además del caucho sintético y natural combinan las cualidades de 200 diferentes materias primas repartidas en 12 grupos, que son principalmente:

- Caucho: confiere propiedades como elasticidad, resistencia al desgaste, adherencia y duración. Es un polímero amorfo con cadenas moleculares largas y muy flexibles e interacciones muy débiles entre las cadenas moleculares, por cuanto su alto módulo elástico le permite sufrir altas deformaciones con fuerzas relativamente

pequeñas y recuperar de forma pronta su estado original cuando se detiene la potencia que lo distorsiona.

En la tabla 1 se muestra los componentes de los neumáticos utilizados especialmente en vehículos para transporte de pasajeros.

Tabla 1

Componentes de los Neumáticos

Material	% contenido en la fabricación
Caucho natural	14
Goma elástica sintética	27
Material de humo negro	28
Material de acero	14 – 15
Fibra textil	16 – 17
Peso promedio	8.6 Kg
Volumen	0.06 m^3

2.5 Dimensiones de Neumáticos

Cada parte del código grabado en el costado del neumático proporciona la siguiente información (Ver figura 6):

Figura 6

Dimensiones del Neumático

Fuente: (SYRSA, 2023)

- Anchura

- Relación de aspecto: indica la altura del perfil como porcentaje de la anchura)
- Tipo de fabricación
- Diámetro del neumático
- Índice de carga (Ver tabla 2 y anexo B)

Tabla 2

Ejemplos de Varios Índices de Carga

Índice de Carga	Peso en Kg	Peso en Lb
20	80	176,00
22	85	187,00
24	85	187,00
26	90	198,00
28	100	220,00
30	106	233,20
31	109	239,80
33	115	253,00
35	121	266,20
37	128	281,60
40	136	299,20
41	145	319,00
42	150	330,00
44	160	352,00
46	170	374,00
47	175	385,00
48	180	396,00

- Índice de velocidad (Ver tabla 3 y anexo C)

Tabla 3

Ejemplos de Índices de Velocidad

Índice de Velocidad	Velocidad en km/h	Velocidad en m/s
A1	5	1,39
A2	10	22,00
A3	15	33,00
A4	20	44,00
A5	25	55,00
A6	30	66,00
A7	35	77,00
A8	40	88,00
B	50	110,00
C	60	132,00
D	65	18,06
E	70	154,00
F	80	176,00
G	90	198,00
J	100	220,00

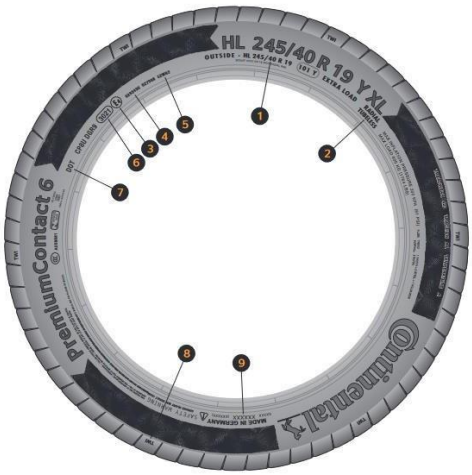
2.6 Nomenclatura, Geometría y Homologación del Neumático

Es un aspecto fundamental para poder identificar el neumático ideal según las necesidades para el uso del vehículo (ver figura 7). En base a las dimensiones se podrá obtener la información importante y requerida como por ejemplo 165/70 R14 87 que indica lo siguiente:

- 235: ancho nominal del neumático en milímetro (mm).
- 60: porcentaje proporcional del flanco del ancho nominal.
- R: Tipo de construcción en este caso radial.
- 16: diámetro inferior del neumático y de la llanta en pulgadas (plg).
- 87: índice de carga.

Figura 7

Nomenclatura del Neumático



Fuente: (CONTINENTAL, 2022)

También se encuentra información (dependiendo la marca comercial), lo siguiente:

- Número de homologación.
- Índice de cumplimiento sonoro admisible.
- Tipo de adherencia aceptable.
- Valor máximo de rodadura
- Código de producción: por ejemplo 3021 donde 30 es la semana y 21 el año. Es de vital importancia tomar en cuenta esta numeración porque de ser de 5 años hacia atrás el neumático ya no se recomienda usar, debido a que el material (caucho) ya ha cumplido su vida útil y no presta condiciones de seguridad en rodaje.
- DOT: Departamento de Transporte de EE. UU.

- TWI: indicador de desgaste de la banda de rodadura.
- *Made in*: país de origen del neumático.

La geometría de un neumático con su aro es primordial para asegurar un ajuste correcto y rendimiento óptimo del automóvil. Cada letra en la Figura 8 representa una medida específica que aporta integridad estructural del neumático y su interacción con el aro. En la tabla 4 se detalla el significado de cada letra de la figura 8.

Tabla 4

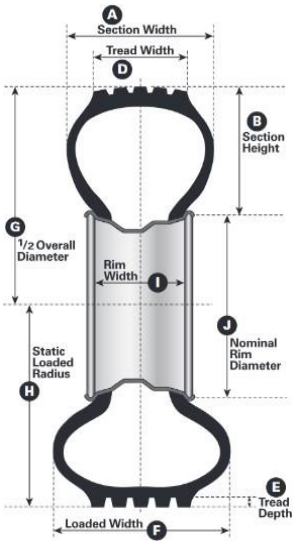
Geometría del Neumático

Letra	Significado	Observación
A	Anchura de sección nominal	Son críticas para la capacidad de carga
B	Altura de sección	
D	Ancho de la banda de rodamiento	Afecta la tracción y la maniobrabilidad
E	Profundidad de la sección de banda de rodadura	Influye en la resistencia al desgaste y la evacuación de líquidos
F	Anchura de sección nominal con carga	Es fundamental para la distribución del peso y la estabilidad
H	Radio de carga estática	Determina la zona de contacto del neumático con el suelo.
I	Ancho del aro (en plg)	
J	Diámetro nominal del aro (en plg)	

En la figura 8 se muestra claramente la descripción detallada de cada una de las letras grabadas en las caras externas del neumático, indicando su significado y función específica generada por el fabricante.

Figura 8

Geometría del Neumático



Fuente: (CONTINENTAL, 2022)

Los neumáticos cumplen ciertas características de servicio y fabricación para ser homologados. De acuerdo con las normas de la Comisión Económica Europea (ECE) el neumático se encuentra homologado cuando en su borde conlleva un círculo en relieve con la letra E de tamaño grande acompañado del código del organismo oficial que ha homologado, como también seguido del código de homologación por ejemplo E4 028 473 donde:

- E4: indica que el neumático fue homologado en los Países Bajos con arreglo al Reglamento Nº 117. Ver figura 9.

Figura 9

Homologación del Neumático

Fuente: (CONTINENTAL, 2022)

2.7 Resistencia a la Rodadura y Adherencia a la Calzada

La resistencia a la rodadura se describe como la resistencia que siente el neumático del automóvil al desplazarse y rodar sobre la superficie; es decir que se origina por la superficie de contacto y el trabajo de deformación del neumático.

En la Ecuación 1 se muestra la fórmula para el cálculo de la resistencia a la rodadura.

Ecuación 1

Resistencia a la Rodadura

$$F = f * m * g * \cos\alpha$$

Donde:

F = resistencia a la rodadura

f = coeficiente de resistencia a la rodadura

m = masa

g = gravedad

En la tabla 5 se muestra algunos coeficientes de resistencia a la rodadura.

Tabla 5

Coeficientes de Resistencia a la Rodadura (f)

Neumático de vehículo de turismo sobre	***f***
Adoquín grande y pequeño	0,013
Hormigón y asfalto	0,011
Gravilla aplanada	0,02
Macadam de alquitrán	0,025
Camino de tierra	0,05
Suelo arado	0,1 a 0,35
Ruedas todo terreno sobre suelo arado	0,14 a 0,24

La adherencia al suelo es primordial para la seguridad del automóvil, porque el neumático es el encargado de comandar las acciones de orientación, frenado y aceleración. Para poder calcular la adherencia total se dice que es igual al coeficiente de adherencia disponible multiplicado por la carga dinámica de la rueda, la cual se acompaña de la carga estática. En la figura 10 se muestra los coeficientes de adherencia de neumático sobre la calzada.

Figura 10

Coeficientes de Adherencia de Neumáticos sobre la Calzada

Velocidad de marcha km/h	Estado de neumáticos	Estado de la carretera				
		Seca	**Mojada Alt. Agua aprox. 0,2 mm**	**Luvia fuerte Alt. Agua aprox. 1 mm**	**Encharcada Alt. Agua aprox. 2 mm**	**Helada**
		Coeficiente de adherencia μ				
50	Nuevos	0,85	0,65	0,55	0,5	0,1 y menos
	Gastados	1	0,5	0,4	0,25	
90	Nuevos	0,8	0,6	0,3	0,05	
	Gastados	0,95	0,2	0,1	0,05	
130	Nuevos	0,75	0,55	0,2	0	
	Gastados	0,9	0,2	0,1	0	

Fuente: (Andrade Cuasque, 2024)

2.8 Características Mecánicas de los Neumáticos

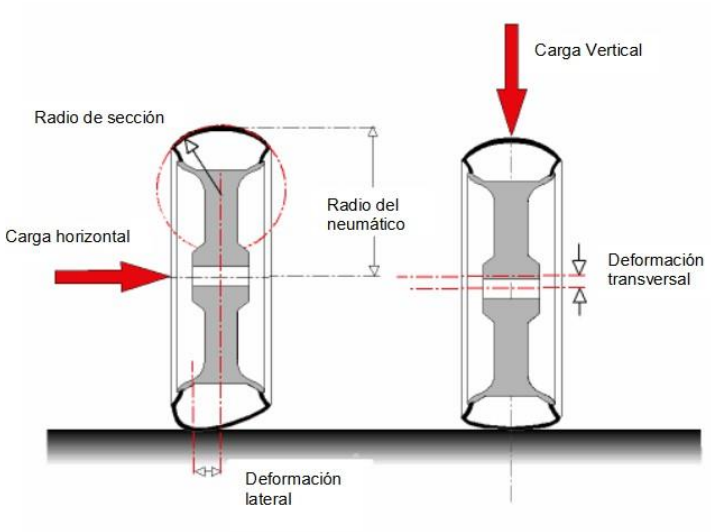
Dentro de las características mecánicas de los neumáticos se tiene:

- Flexión vertical que es un fenómeno que se produce por alteración de la tensión en el grupo de cables de la carcasa en el cual se superpone la carga, así el número de cables queda relacionado en el cambio.

- Capacidad de carga especificada: una discrepancia en esta característica puede provocar una degradación termal en los componentes elastoméricos de la carcasa.
- Deformación elástica: se caracteriza por la aplicación del coeficiente elástico radial, determinado a través de la medición de la inclinación de la curva de carga en función de la flexión en el punto de operación específico. Ver figura 11.

Figura 11

Deformaciones del Neumático



Fuente: (Andrade Cuasque, 2024)

2.9 Consideraciones Generales que Influyen en el Rendimiento del Neumático

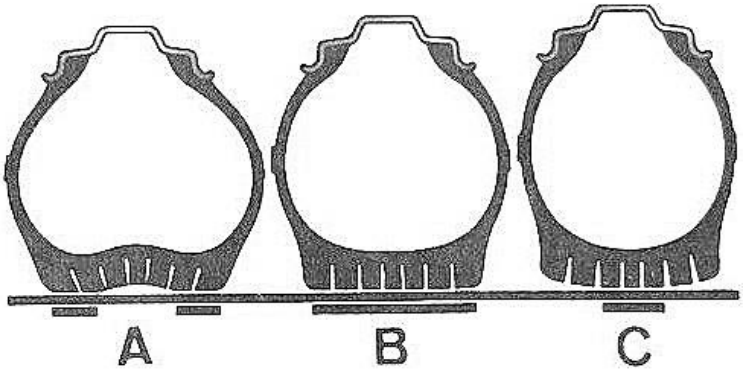
Dentro de las consideraciones que influyen el rendimiento del neumático están:

- Sobrecarga: condición de operación peligrosa que puede resultar en una falla catastrófica del neumático y con posibles accidentes. La carga excesiva en los neumáticos eleva la presión interna, lo que produce un sobrecalentamiento y eventual ruptura del neumático. Así también, afecta de forma negativa la maniobrabilidad del automóvil, generando un aumento del riesgo de pérdida del control de conducción conduce.
- Presión de inflado: una presión incorrecta conlleva al desgaste irregular de los neumáticos, reduce la tracción y extiende el tramo de frenado. Así también en los

neumáticos con tensión incorrecta inciden de manera desfavorable en el rendimiento de combustible del vehículo y las emisiones de dióxido de carbono (CO_2). Ver figura 12.

Figura 12

Presión de Inflado



Importancia de la presión de inflado.
A. Poco inflado - B. Inflado correcto -
C. Demasiado inflado.

Fuente: (Andrade Cuasque, 2024)

- Colisión: impactos donde se involucra y afecta los neumáticos acarrean efectos negativos tanto en la seguridad del automóvil como en el confort de la conducción. Debido a que los impactos podrían causar daños en la estructura externa e interna del neumático, generando una reducción de la capacidad para soportar la velocidad del automóvil y el peso de carga. Cuando los impactos son repetidos pueden provocar el desgaste irregular de la banda de rodadura, generando una reducción en la tracción y el aumento del riesgo de accidentes o derrapes.
- Forma y tipo de conducción: la conducción agresiva causa un desgaste acelerado del labrado, comprometiendo la adherencia en situaciones críticas y reduciendo la vida útil del neumático. Cuando la conducción es defensiva contribuye a mantener la integridad de los neumáticos, optimizando el rendimiento y generando una conducción más segura.

Capítulo III

Metodología

3.1 Métodos

Por medio del ordenador (CAE), se emplearán los siguientes métodos: modelado geométrico 3D para representar la estructura del neumático; asignación de materiales basados en las propiedades del caucho y refuerzos; aplicación de cargas y condiciones de contorno simulando la presión interna y las fuerzas externas; generación de mallas refinadas para mayor precisión; y análisis estático y dinámico para evaluar tensiones, deformaciones, y fatiga, validando los resultados con datos experimentales para optimización y mejora del diseño.

3.2 Tipo de Estudio

Este estudio es de tipo cuantitativo, experimental y de simulación computacional. Se enfoca en la aplicación de métodos de ingeniería asistida por ordenador (CAE) para analizar el comportamiento estructural del neumático 165/70 R14 de Firestone. A través de la simulación, se cuantifican las tensiones y deformaciones bajo diferentes condiciones de carga y presión interna. El estudio incluye la validación de los resultados obtenidos mediante comparaciones con datos experimentales, buscando optimizar el diseño del neumático para su uso en taxis. Este enfoque permite predecir el rendimiento y la durabilidad del neumático en condiciones reales de operación.

3.2.1 Investigación Descriptiva

La investigación experimental en el análisis del neumático 165/70 R14 de Firestone consiste en realizar pruebas físicas para validar los resultados obtenidos mediante simulaciones CAE. Se llevarán a cabo ensayos de laboratorio, como pruebas de presión interna, resistencia a la fatiga y análisis de deformaciones bajo diferentes cargas. Se medirá la distribución de tensiones y la respuesta del neumático en condiciones controladas, replicando escenarios reales de uso en taxis. Los datos experimentales se compararán con los resultados simulados para

ajustar el modelo, asegurando la precisión y confiabilidad del análisis estructural y del comportamiento del neumático.

3.2.2 Método Descriptivo

El método experimental consiste en someter un neumático 165/70 R14 de Firestone a pruebas físicas controladas para validar los resultados del análisis CAE. Se inflará el neumático a diferentes presiones y se aplicarán cargas simulando condiciones reales de operación en taxis, incluyendo pruebas de resistencia, fatiga, y comportamiento bajo cargas dinámicas. Sensores medirán la distribución de tensiones y deformaciones en puntos críticos del neumático. Los datos obtenidos se compararán con las predicciones del modelo computacional, ajustando parámetros si es necesario para asegurar la precisión del modelo y garantizar la seguridad y durabilidad del neumático en uso real.

3.3 Materiales de Estudio

El presente proyecto tiene como enfoque el análisis y estudio de los fundamentos en que se basa la estructura de un componente, mediante la simulación, en la cual se genera el aporte mecánico para estudio de neumáticos en el que se requiere determinar cargas de presión interna. Así como también, se implementan notaciones de simulación a través del software de diseño asistido (CAD) para conocer el ciclo de vida del elemento considerando su material de fabricación. Los resultados obtenidos se analizarán y evaluarán bajo los fundamentos de estructuras y resistencia de material, así como de la forma de un neumático a escala, seguridad del y para el elemento, y cargas generadas por presiones.

Las bases metodológicas se basan en:

- Modelado y análisis de la forma del neumático.
- Proceso de estudio de la estructura por medio de software.
- Análisis de resultados por medio de software.
- Interpretaciones, simulaciones y evaluaciones de resultados del elemento.

3.4 Geometría del Neumático 165/70 R14 81T Marca Firestone

En la tabla 6 se muestra las características técnicas del neumático 165/70 R14 81T marca Firestone en análisis:

Tabla 6

Características Técnicas del Neumático 165/70 R14 81T Marca Firestone

Característica técnica	Descripción
Modelo	F590
Índice de carga	81 (1018,54 lb o 462 Kg)
Índice de velocidad	190 km/h o 418 m/s
Ancho	165
Perfil	70 mm
Aro	14 plg
Tipo de construcción	Radial
Tipo de terreno	Todo Terreno (*All Terrain* – A/T)

El neumático es recomendable y uso común en vehículo de pasajeros, además posee las siguientes características:

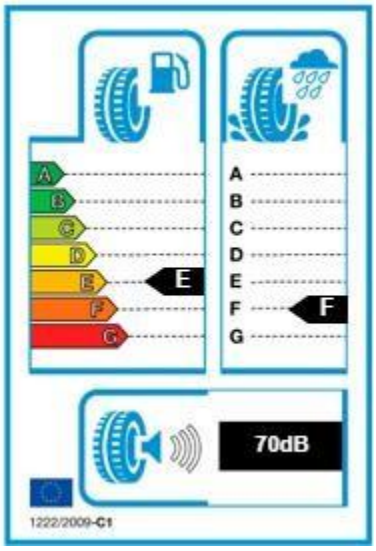
- Banda de rodadura con surcos multidireccionales para maximizar la tracción en tierra, carretera y barro.
- El material de fabricación está compuesto de caucho resistente con lo cual hace de larga vida útil y mayor resistencia a los pinchazos y cortes.
- La carcasa robusta brinda resistencia y estabilidad en terrenos complicados.
- No trae consigo tecnología tal como antipinchazos.

En la figura 13 se muestra la etiqueta de colores del neumático donde presenta:

- Eficiencia en el consumo de carburante: en nivel E, es decir que dispone de un nivel medio. Si partimos que A es el más eficiente y que a partir de ahí se asume un aumento del consumo de combustible aproximado de ½ Lt por cada 100 km, entonces E vendría a estar a un nivel medio elevado de consumo. Y si desde G hacia arriba se asume que la escala es un 7,5 % de ahorro, tendríamos que E representa un nivel óptimo de ahorro en combustible.
- Adherencia en superficie mojada: en nivel F, es decir que no se recomienda desplazarse en suelo mojado porque no tiene buen agarre en dicha superficie, generando inestabilidad y no óptimo frenado. Si partimos que A es máximo agarre y G el peor en valoración donde cada letra que se añade supondría un aumento de la distancia de frenado en un 30 %, E vendría a indicar que no es seguro en superficies mojadas.
- Ruido exterior de la rodadura: no tiene marcado ninguna barra, es decir que es altamente eficiente en este aspecto, por ello se presenta 70 dB ya que lo ideal es el rango de 68 a 74 dB.

Figura 13

Etiqueta de Colores del Neumático 165/70 R14 81T Marca Firestone



Fuente: (Ecologicaldrive, 2023)

En la tabla 7 se muestra las características mecánicas para el neumático en estudio.

Tabla 7

Características Mecánicas del Neumático 165/70 R14 81T Marca Firestone

Característica mecánica	Descripción (en escala de 5 puntos)
Confort	4,07
Estabilidad	3,86
Ruido	4,20
Agarre en seco	3,86
Agarre en Mojado	3,86
Consumo combustible	3,57
Relación calidad / precio	3,70

En la figura 14 se muestra la gráfica de las características mecánicas detalladas en la tabla 7.

Figura 14

Gráfica de las Características Mecánicas del Neumático 165/70 R14 81T Marca Firestone

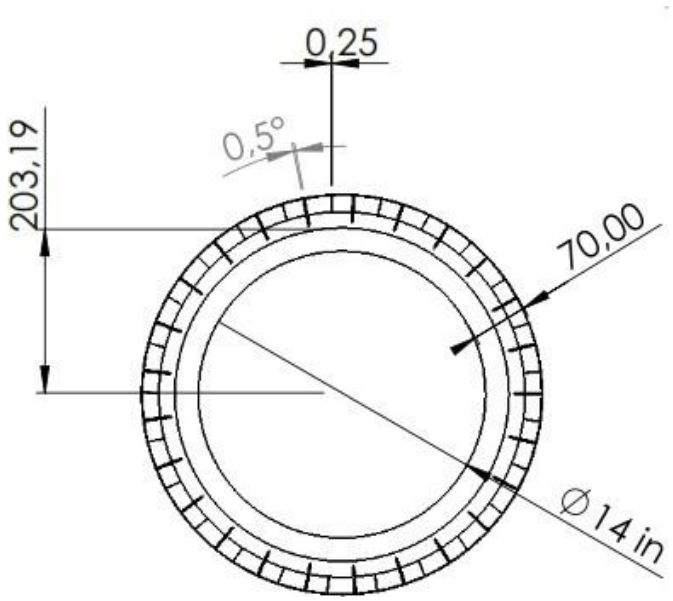
Fuente: (Ecologicaldrive, 2023)

3.5 Modelado y Simulación del Neumático

Se procede a diseñar la geometría del neumático en un plano 2D del cómo se ve en la figura 15.

Figura 15

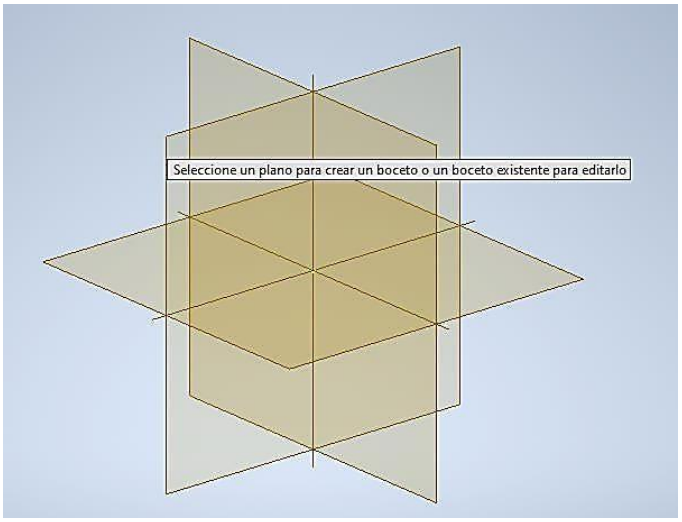
Plano del Neumático a Elaborar en 2D



Para el diseño se considera que hay que seleccionar el plano frontal con el fin de crear la parte del croquis que luego se estira en la geometría. Ver figura 16.

Figura 16

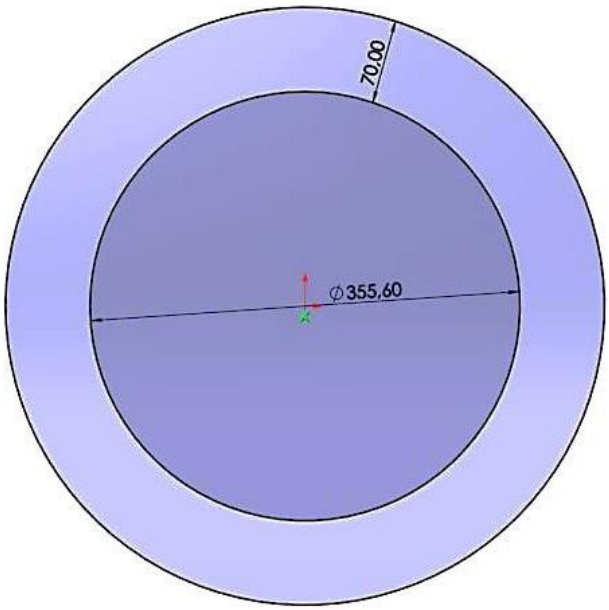
Selección del Plano del Croquis a Diseñar



Se procede a realizar el croquis del diseño plano dibujado del neumático con las medidas de 355,60 mm de diámetro interno y 70 mm externo, como se observa en la figura 17.

Figura 17

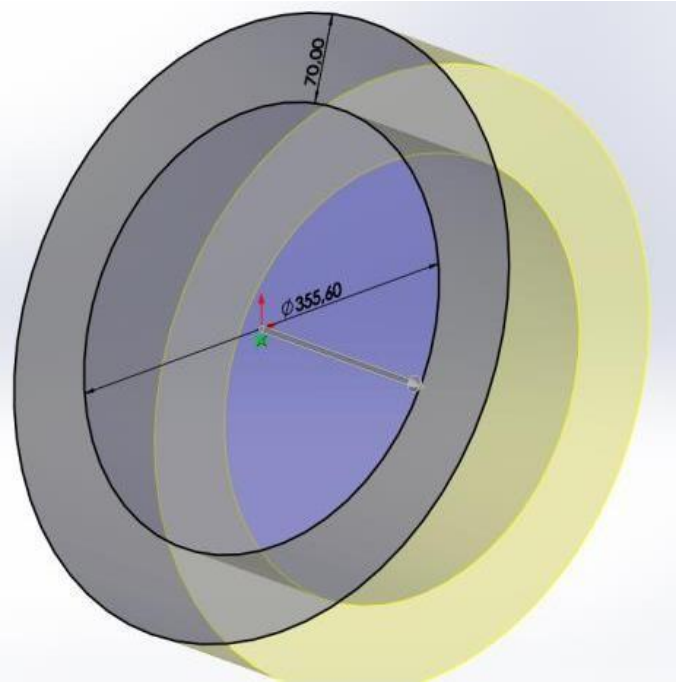
Croquis del Neumático



Se procede con la extrusión para dar la forma en 3D al neumático, como se ve en la figura 18. En este caso será de 165 mm.

Figura 18

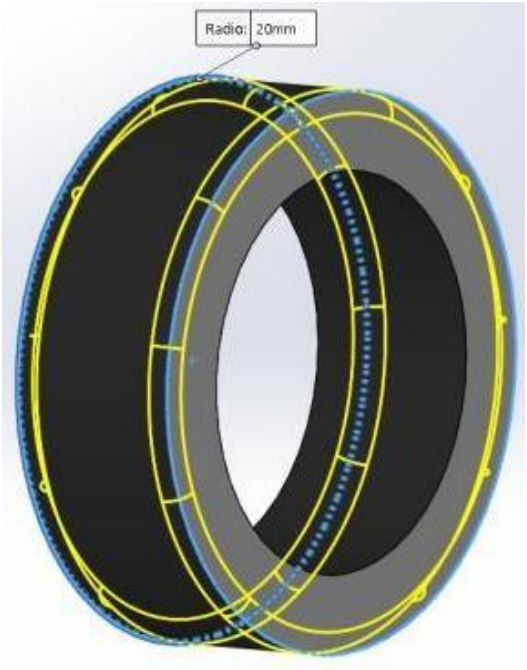
Extrusión del Plano del Neumático



Se aplica el redondeo de 20 mm en las aristas exteriores del neumático como se observa en la figura 19.

Figura 19

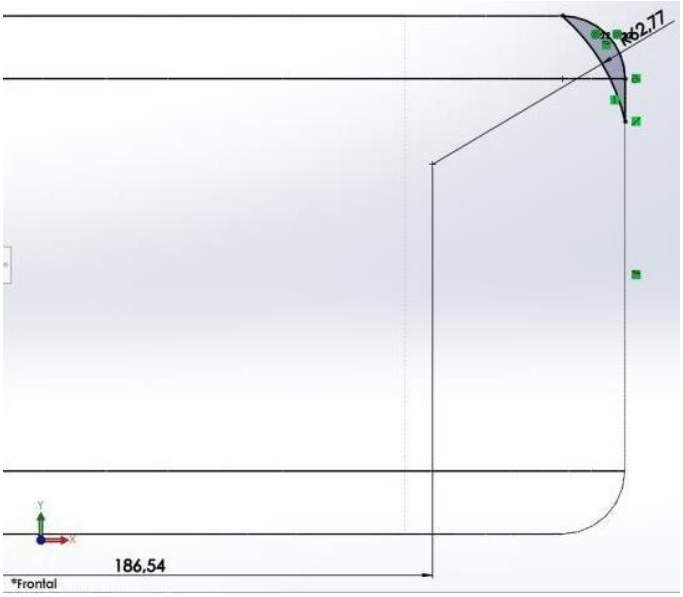
Aplicación del Redondeo en las Aristas del Neumático



Para dar el labrado del neumático se procede a realizar un croquis medio con un radio de 62,77 mm como se ve en la figura 20.

Figura 20

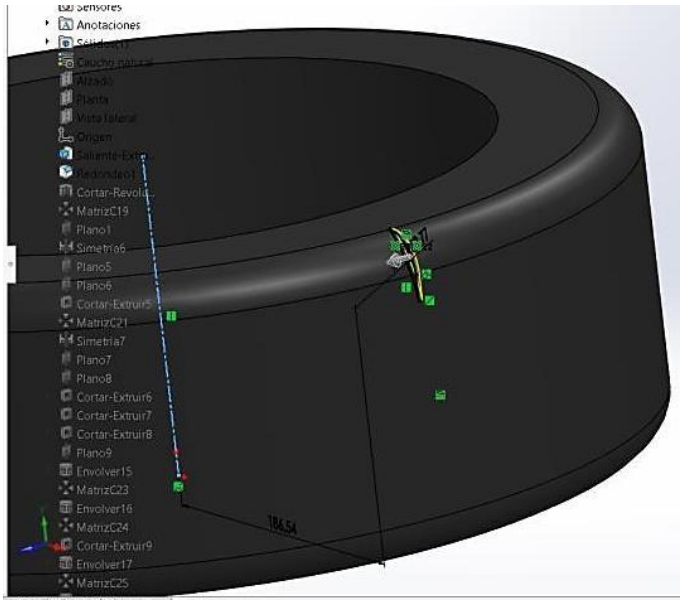
Croquis Medio para Generación de Labrado del Neumático



A continuación se realiza un corte revolución de 0,5°, como se observa en la figura 21.

Figura 21

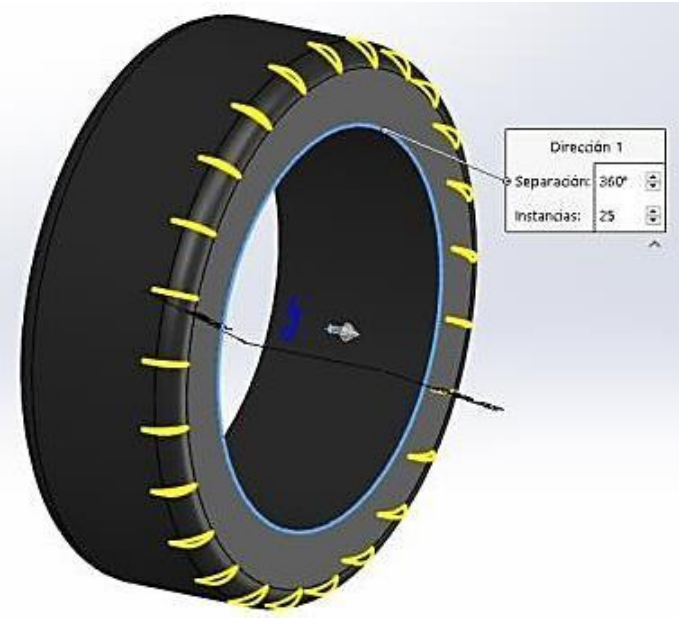
Corte Revolución de 0,5°



A partir de la revolución realizada se crea la matriz circular como se observa en la figura 22.

Figura 22

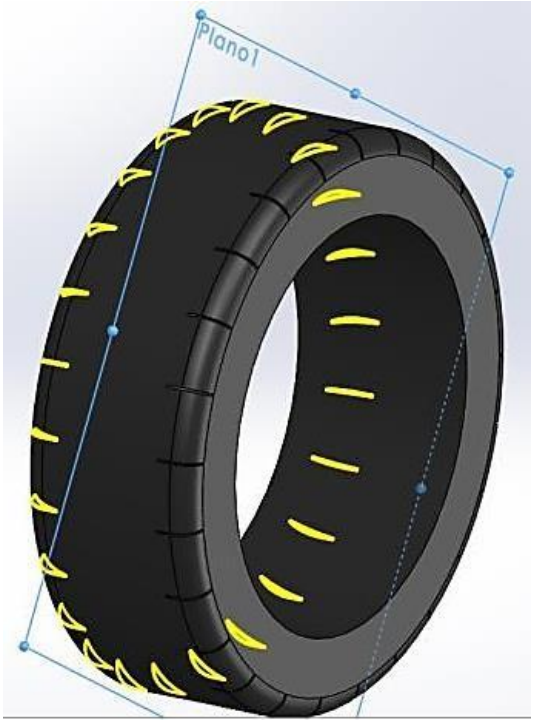
Matriz Circular



Generada la matriz circular se aplica un matriz al plano medio del neumático como se observa en la figura 23.

Figura 23

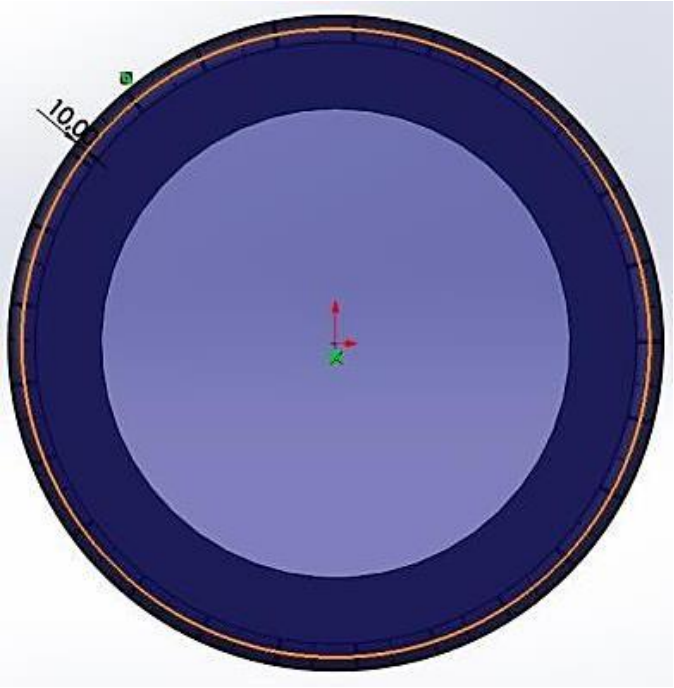
Matriz al Plano Medio



Se realiza un croquis en un plano separado del medio a 40 mm, como se observa en la figura 24.

Figura 24

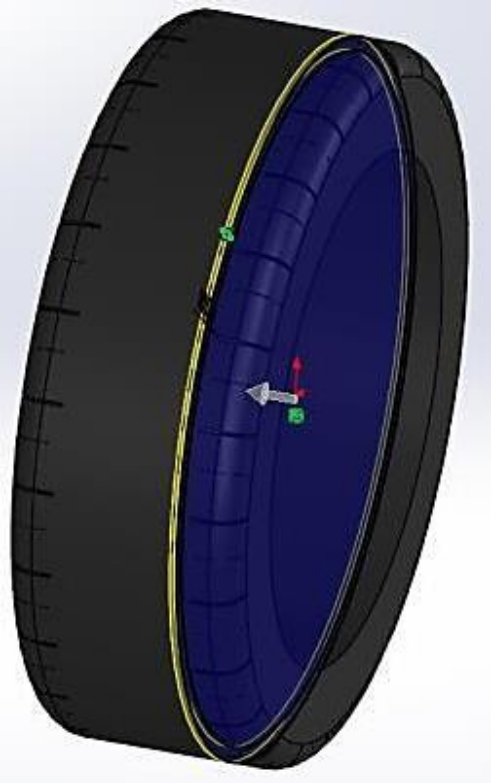
Croquis en un Plano Separado



Se procede a generar el corte y extrusión a 0,5 mm, como se observa en la figura 25.

Figura 25

Corte y Extrusión



El mismo proceso anterior se realiza para el plano medio, como se ve en la figura 26.

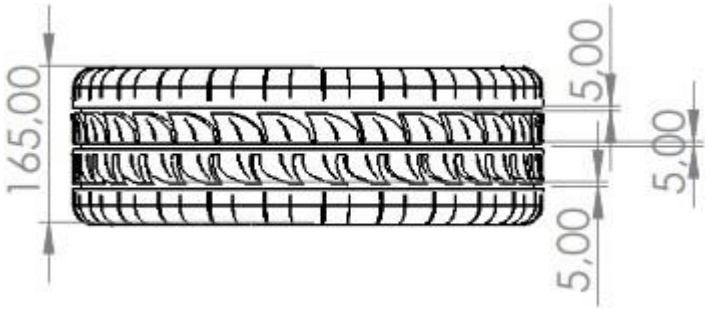
Figura 26

Corte y Extrusión en el Plano Medio

En la figura 27, se muestra el plano 2D del neumático con el labrado correspondiente.

Figura 27

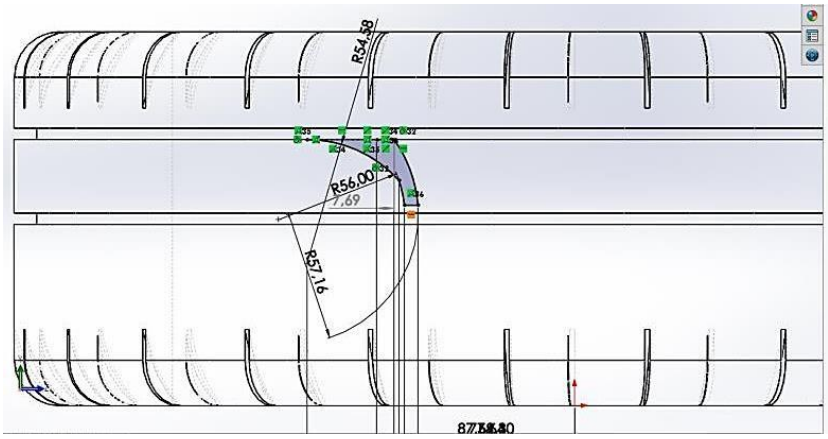
Plano 2D del Neumático con el Labrado



En la figura 28, se muestra el plano 3D del neumático con la base del labrado correspondiente a aplicar en toda una cara del cuerpo.

Figura 28

Plano 2D del Neumático con la Base del Labrado en la Cara Lateral 1



Se selecciona el comando “Envolver”, como se ve en la figura 29.

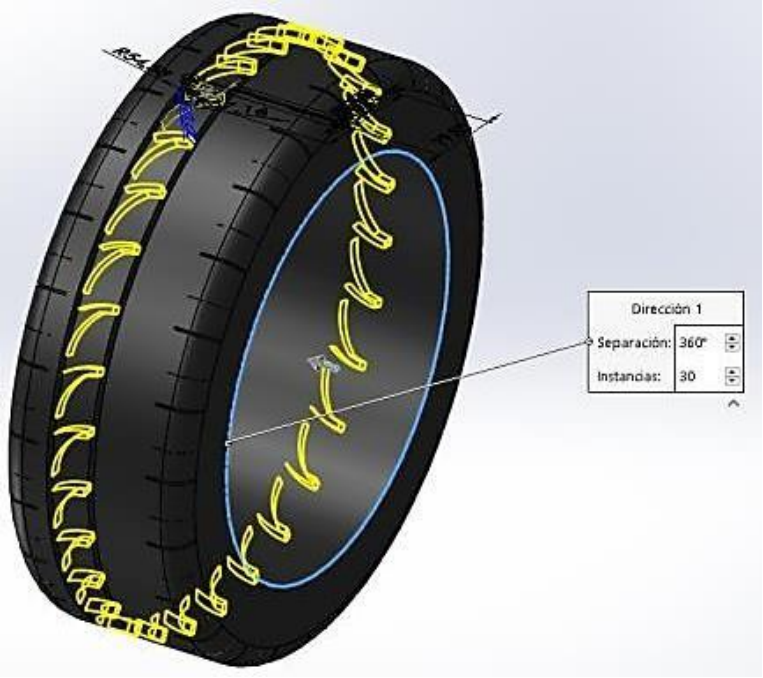
Figura 29

Selección del Comando “Envolver”

Se genera la matriz circular, como se ve en la figura 30.

Figura 30

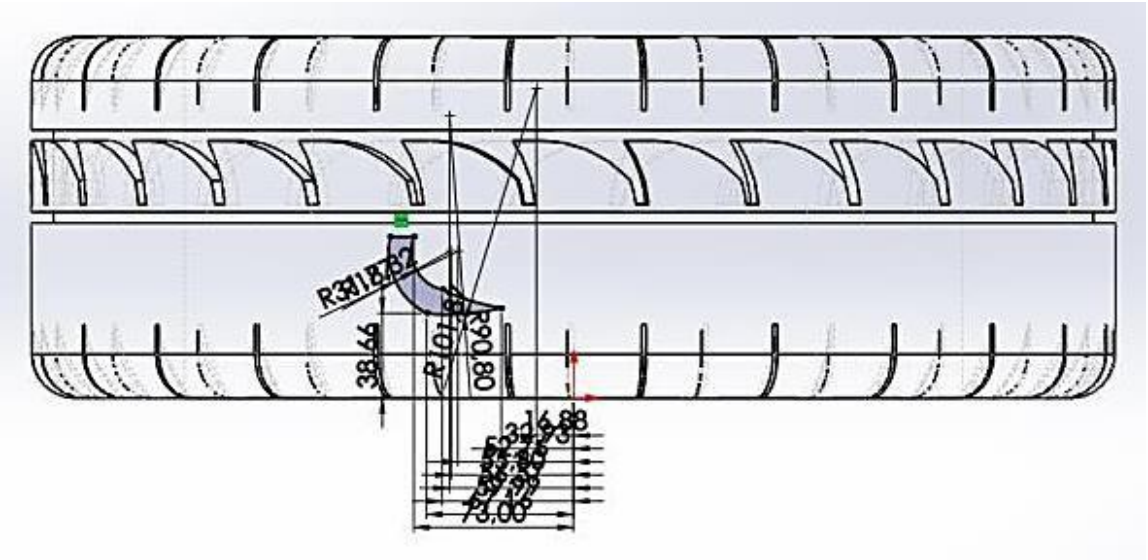
Generación de Matriz Circular



En la figura 31, se muestra el plano 3D del neumático con la base del labrado correspondiente a aplicar en la otra cara del cuerpo.

Figura 31

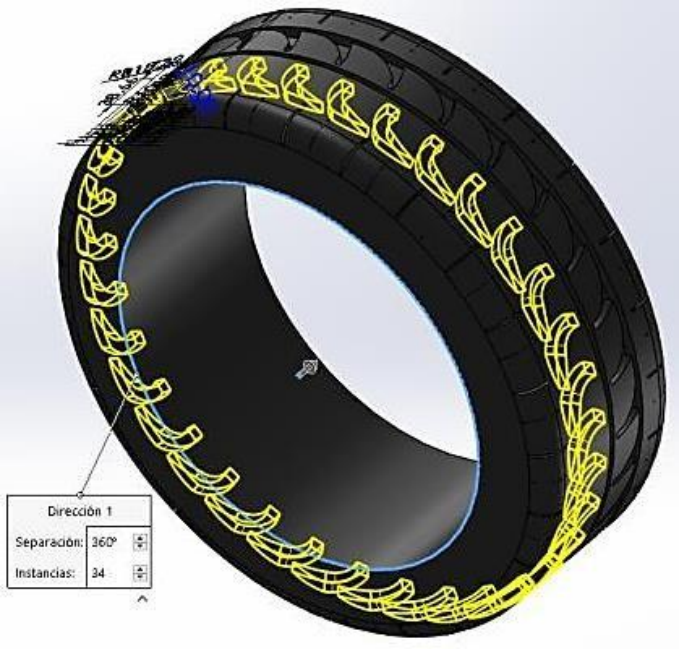
Plano 2D del Neumático con la Base del Labrado en la Cara Lateral 2



Se selecciona el comando “Envolver” y se genera la matriz circular, como se ve en la figura 32.

Figura 32

Generación de Matriz Circular



Se realiza el croquis con un plano separado del medio a 40 mm para generar un corte de 5 mm como se observa en la figura 33.

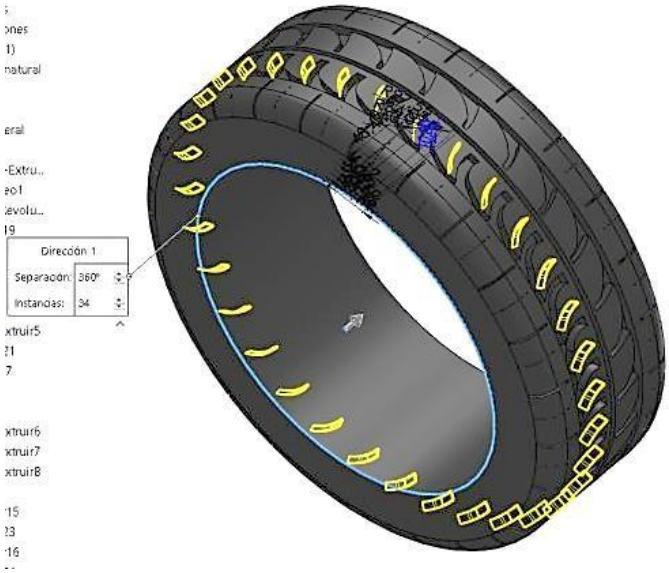
Figura 33

Corte de 5 mm en el Neumático

Se realiza la fisura en el labrado del neumático de ambos lados y se aplica el comando “Envolver” y la matriz circular como se observa en la figura 34.

Figura 34

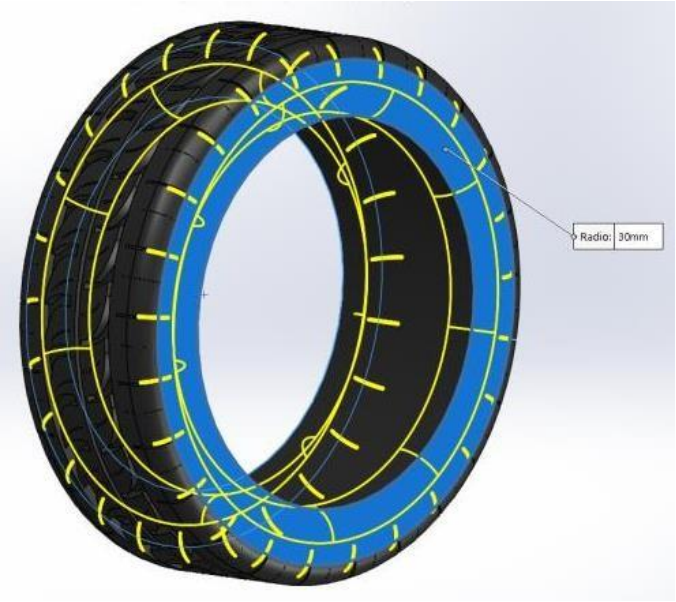
Realización de la Fisura en el Neumático



Se realiza un redondeo de ambos lados para dar la forma al neumático, como se observa en la figura 35.

Figura 35

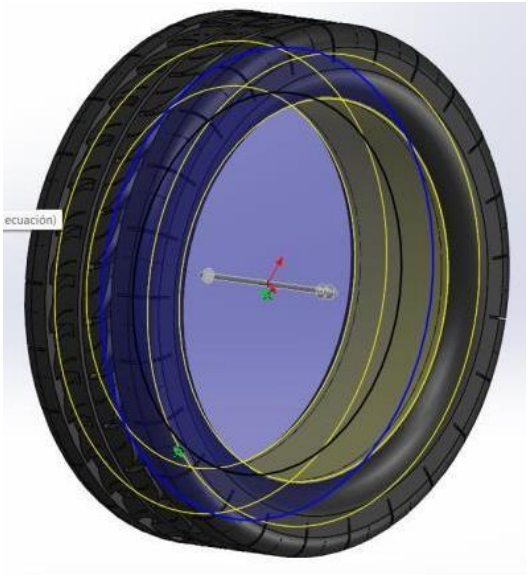
Realización de la Redondeo en el Neumático



Se realiza un extruido en la parte interna del neumático de 60 mm, como se observa en la figura 36.

Figura 36

Extrusión en el Neumático



En la figura 37 se muestra el neumático 165/70 R14 81T Marca Firestone diseñado.

Figura 37

Diseño del Neumático 165/70 R14 81T Marca Firestone

3.6 Proceso de Análisis Estructural del Neumático 165/70 R14 Marca Firestone

3.6.1 Consideraciones Iniciales

Se determina las propiedades del material del neumático emitidos por el fabricante para poder definir los parámetros del análisis estructural al que será sometido. Ver tabla 8.

Tabla 8

Propiedades del Material

Propiedad	Observación
Material	Caucho natural
Tipo de modelo	Isotrópico elástico lineal
Densidad	960 kg/m^3
Límite elástico	7,5 e + 06 N/m^2
Límite de tracción	2 e + 07 N/m^2
Módulo elástico	10.000 N/m^2
Coeficiente de Poisson	0,45

En la tabla 9 se muestra las sujeciones a aplicar en plano de coordenadas (x, y, z), para el análisis estructural.

Tabla 9

Sujeciones

Eje de Coordenadas	Fuerza de reacción (N)
X	-0,000184059
Y	-0,000135422
Z	-3.533,98
Resultante	3.533,98

En la figura 38 se muestra el neumático aplicado las sujeciones.

Figura 38

Aplicación de Sujeciones al Neumático

En la tabla 10 se muestra la carga de masa distribuida a aplicar en plano de coordenadas (x, y, z), para el análisis estructural.

Tabla 10

Carga de Masa Distribuida

Masa Distribuida	Valor
Masa remota	363397 kg

En la figura 39 se muestra el neumático aplicado la carga de masa distribuida.

Figura 39

Aplicación de Carga de Masa Distribuida al Neumático

En la tabla 11 se muestra el valor de gravedad a aplicar en plano de coordenadas (x, y, z), para el análisis estructural.

Tabla 11

Valor de Gravedad

Valor de Gravedad	Valor
Referencia	Alzado
Valor	9,81 m/s^2

En la figura 40 se muestra el neumático aplicado el valor de gravedad.

Figura 40

Aplicación de Valor de Gravedad al Neumático

En la tabla 12 se muestra los valores de fuerzas de cuerpo libre para el análisis estructural.

Tabla 12

Fuerzas de Cuerpo Libre

Eje de Coordenadas	Fuerza de Cuerpo Libre (N)
X	0,000227898
Y	0,00015779
Z	-58,0535
Resultante	58,0535

En la tabla 13 se muestra los valores de fuerzas de reacción para el análisis estructural.

Tabla 13

Fuerzas de Reacción

Eje de Coordenadas	Fuerza de Reacción (N)
X	-0,000184059
Y	-0,000135422
Z	-3.533,98
Resultante	3.533,98

En la tabla 14 se muestra la información del mallado que se requiere para el análisis estructural.

Tabla 14

Información de Mallado

Mallado	Observación
Tipo de malla	Malla sólida
Mallador utilizado	Malla basada en curvatura de combinado
Puntos jacobianos para malla de alta calidad	16 puntos
Tamaño máximo de elemento	22,4391 mm
Tamaño mínimo del elemento	7,47962 mm
Calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden
Número total de nodos	38500
Número total de elementos	21965
Cociente máximo de aspecto	99,23
% de elementos cuyo cociente de aspecto es < 3	66,9
El porcentaje de elementos cuyo cociente de aspecto es > 10	4,42

3.7 Interpretación de Resultados

Las ecuaciones base permiten obtener los resultados de tensiones, desplazamientos, deformaciones y factor de seguridad a diferentes cargas de presión del neumático. Por cuanto

definir las soluciones de análisis que se obtendrán son útiles para comparar el comportamiento estructural del neumático a diferentes presiones de inflado.

3.8 Factor de Seguridad

Según (Riddell & Hidalgo, 1997) menciona que "… se entiende por seguridad el evitar que un componente sobrepase o alcance un estado límite hasta el cual se considere que el comportamiento del componente es aceptable".

Por consiguiente, el factor de seguridad es un parámetro en diseño a través del cual se valora la capacidad de seguridad del componente, como también representa la unión entre carga máxima que el componente podrá soportar antes de la ruptura y la carga propia que se espera aplicar sobre el mismo. Se puede resumir que el factor de seguridad presenta cual es la máxima resistencia que dispone el componente en relación con la condición propia de trabajo.

Un factor de seguridad se calcula por medio de la fracción de la carga de ruptura a alcanzar por la carga propia que está sobre el mismo en análisis. Cuando el factor de seguridad sea > 1 el componente es capaz de soportar la carga sin que éste presente un colapso y por cuanto habrá una diferencia de seguridad; si el factor de seguridad es = 1 el componente está trabajando al límite de la resistencia y por la presencia de cualquier otro factor que lo eleve la carga puede llevarlo a una ruptura; y si el factor de seguridad es < 1 el componente es totalmente inseguro y no estará en capacidad de soportar la carga aplicada. El resultado del factor de seguridad dependerá de:

- Incertidumbre en las cargas
- Medio del componente
- Propiedad(es) de los materiale(s)
- Importancia de aplicación

En las aplicaciones críticas se requiere que el factor de seguridad sea > 1, para que garantice un alto estándar de seguridad del componente y la confiabilidad de este.

Capítulo IV

Análisis de Resultados

4.1 Análisis de Datos Obtenidos

4.1.1 Análisis de Tensión Von Mises – Caso 1

En la tabla 15 se muestra las cargas de presión a aplicar en plano de coordenadas (x, y, z), para el análisis estructural del caso 1.

Tabla 15

Carga de Presión – Caso 1

Carga	Detalle de la Carga
Presión Interna	30 PSI

En la figura 41 se muestra el neumático aplicado la carga de presión a 30 PSI.

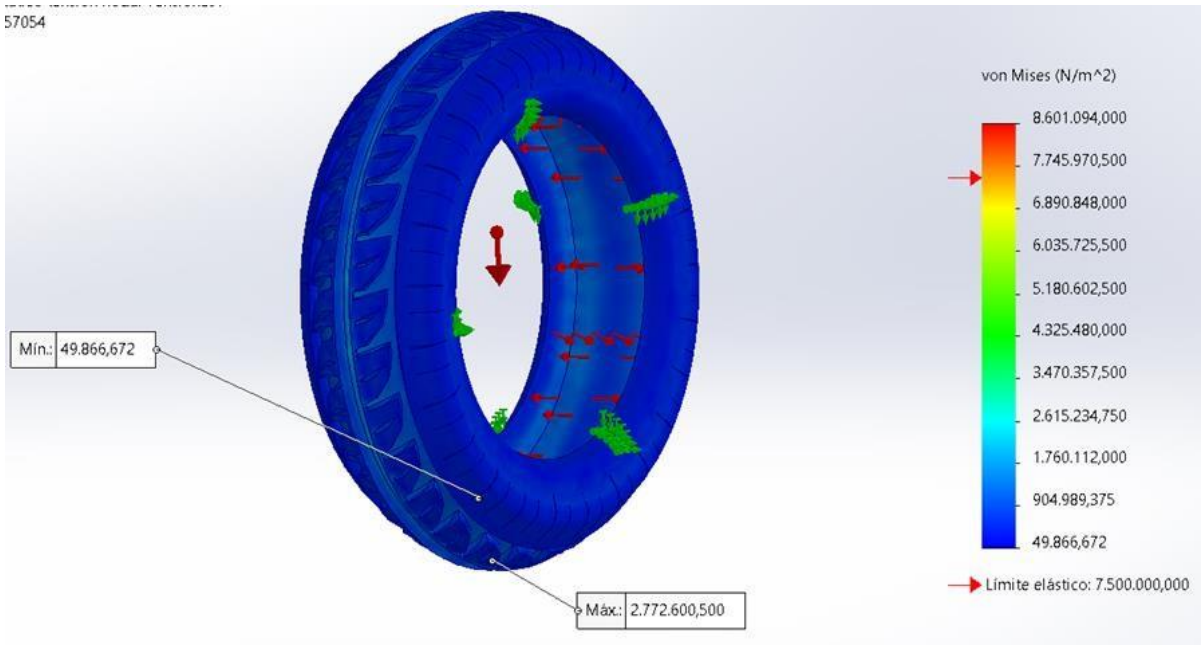
Figura 41

Aplicación de Carga de Presión a 30 PSI

La tensión de Von Mises que presenta en el neumático al aplicar 30 PSI es un mínimo de 49866,672 N/m^2 y un máximo de 2772600,500 N/m^2 como se observa en la figura 42.

Figura 42

Tensión de Von Mises – Caso 1



4.1.2 Análisis de Tensión Von Mises – Caso 2

En la tabla 16 se muestra las cargas de presión a aplicar en plano de coordenadas (x, y, z), para el análisis estructural del caso 2.

Tabla 16

Carga de Presión – Caso 2

Carga	Detalle de la Carga
Presión Interna	32,5 PSI

En la figura 43 se muestra el neumático aplicado la carga de presión a 32,5 PSI.

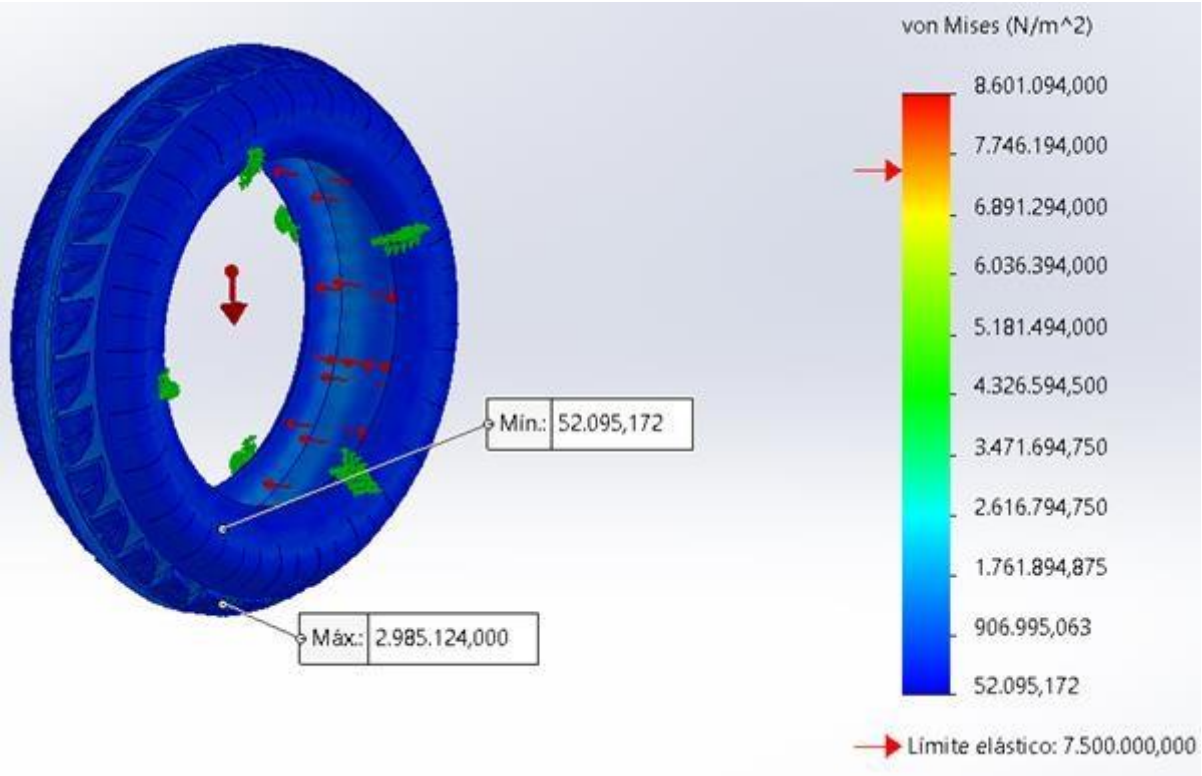
Figura 43

Aplicación de Carga de Presión a 32,5 PSI

La tensión de Von Mises que presenta en el neumático al aplicar 32,5 PSI es un mínimo de 52.095,172 N/m^2 y un máximo de 2.985.124,000 N/m^2 como se observa en la figura 44.

Figura 44

Tensión de Von Mises – Caso 2



4.1.3 Análisis de Tensión Von Mises – Caso 3

En la tabla 17 se muestra las cargas de presión a aplicar en plano de coordenadas (x, y, z), para el análisis estructural del caso 3.

Tabla 17

Carga de Presión – Caso 2

Carga	Detalle de la Carga
Presión Interna	35 PSI

En la figura 45 se muestra el neumático aplicado la carga de presión a 35 PSI.

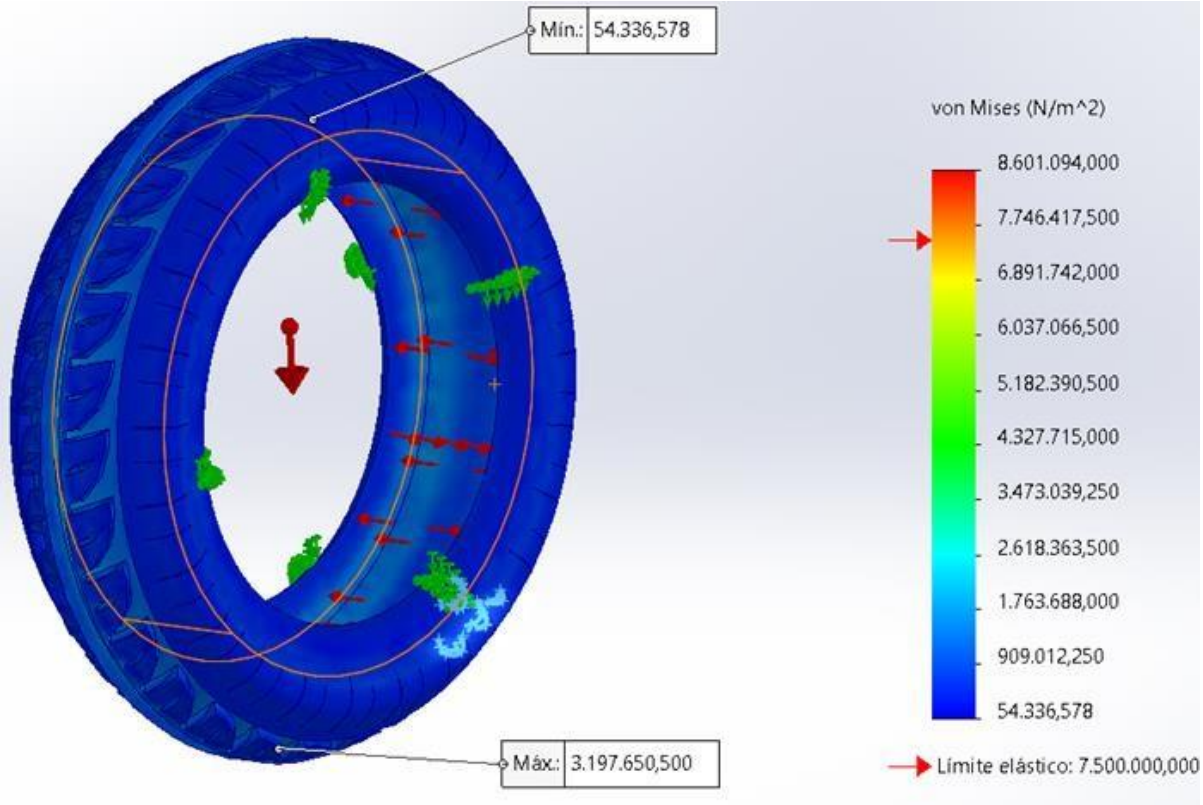
Figura 45

Aplicación de Carga de Presión a 35 PSI

La tensión de Von Mises que presenta en el neumático al aplicar 35 PSI es un mínimo de 54336,578 N/m^2 y un máximo de 3197650,500 N/m^2 como se observa en la figura 46.

Figura 46

Tensión de Von Mises – Caso 3

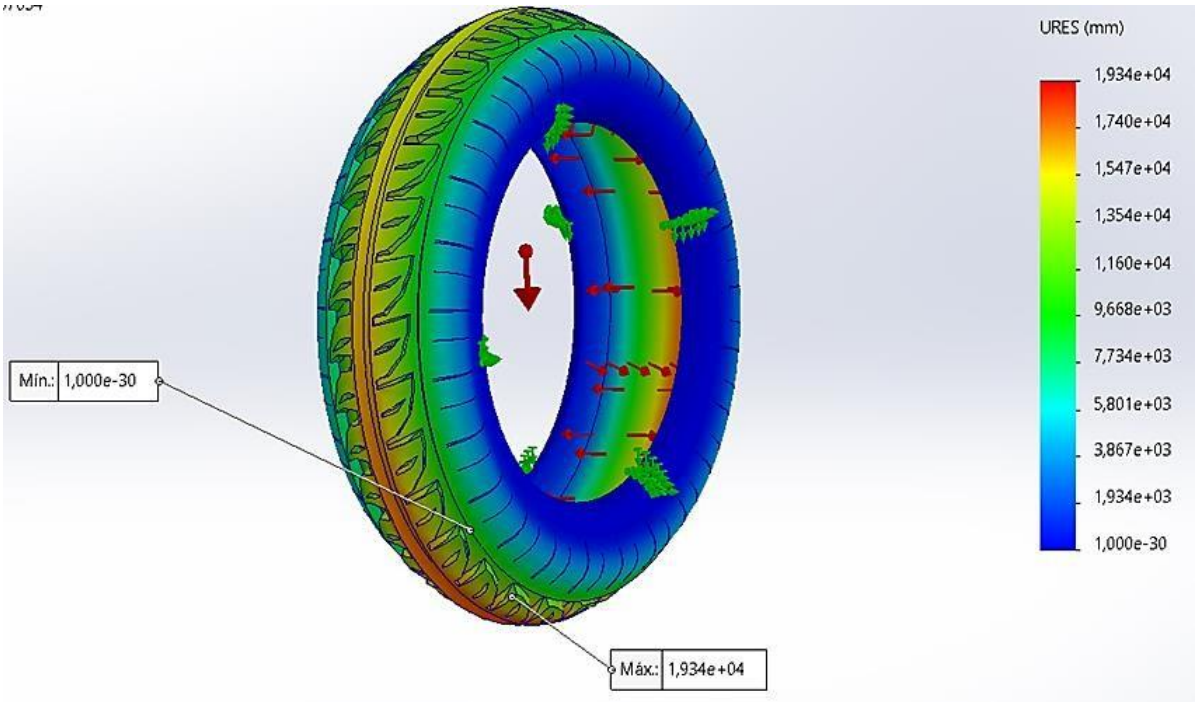


4.1.4 Análisis de Desplazamiento – Caso 1

El desplazamiento que presenta el neumático al aplicar 30 PSI es un mínimo de 1,00 e y un máximo de 1,934 e, como se observa en la figura 47.

Figura 47

Análisis de Desplazamiento – Caso 1

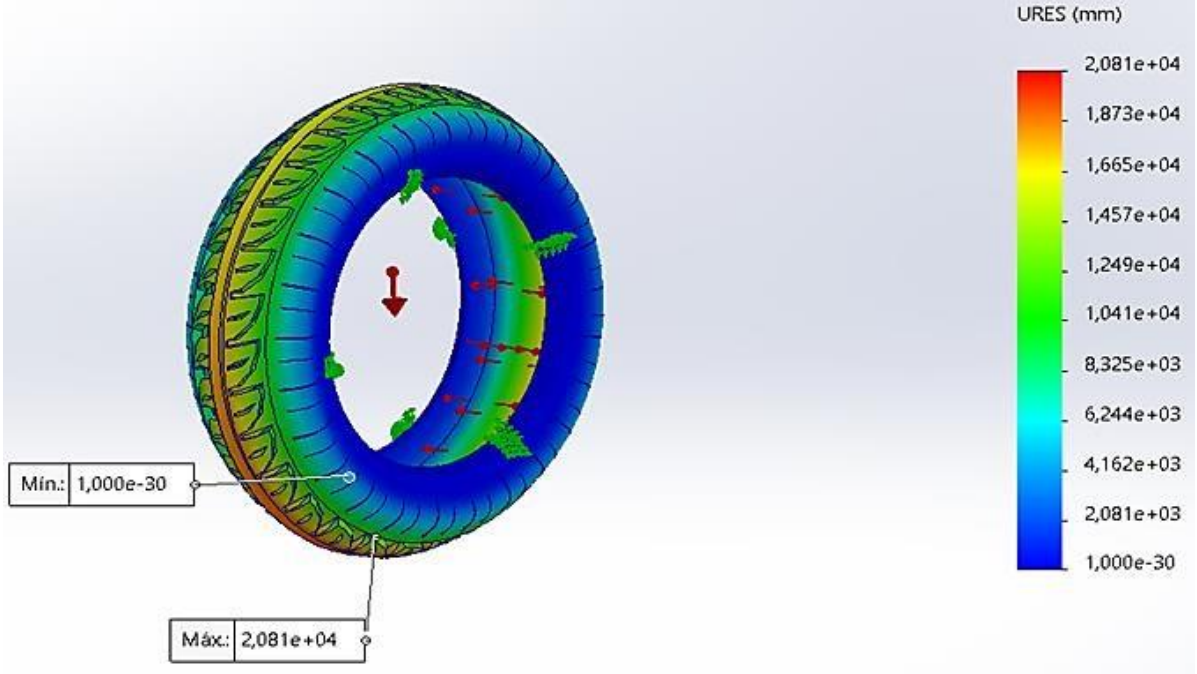


4.1.5 Análisis de Desplazamiento – Caso 2

El desplazamiento que presenta el neumático al aplicar 32,5 PSI es un mínimo de 1,00 e y un máximo de 2,081 e, como se observa en la figura 48.

Figura 48

Análisis de Desplazamiento – Caso 2

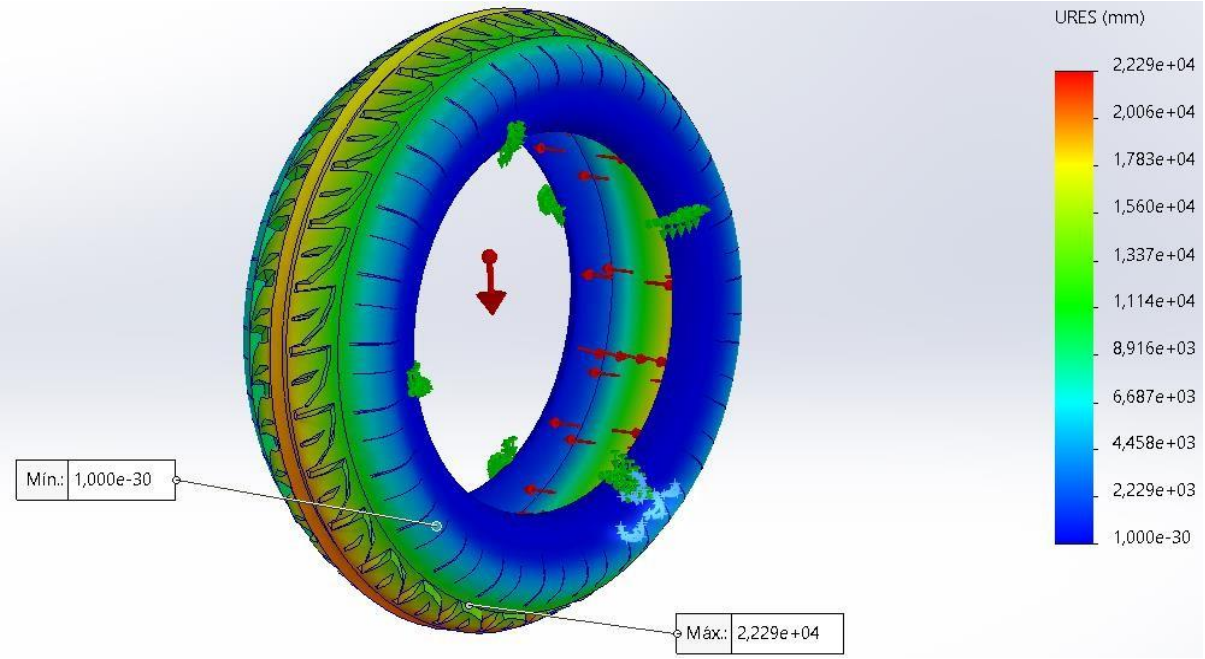


4.1.6 Análisis de Desplazamiento – Caso 3

El desplazamiento que presenta el neumático al aplicar 35 PSI es un mínimo de 1,00 e y un máximo de 2,229 e, como se observa en la figura 49.

Figura 49

Análisis de Desplazamiento – Caso 3

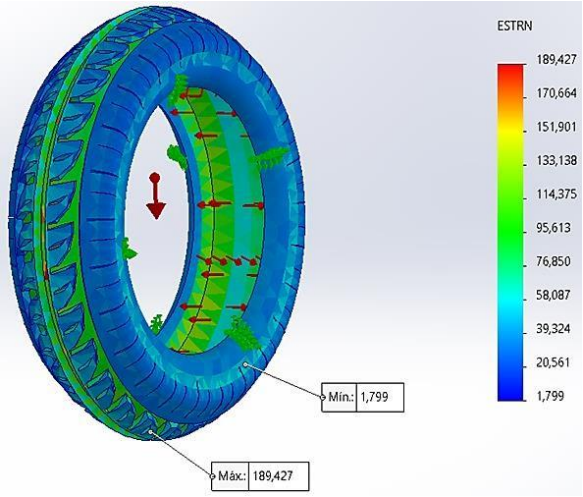


4.1.7 Análisis de Deformaciones – Caso 1

La deformación unitaria que presenta el neumático al aplicar 30 PSI es un mínimo de 1,799 y un máximo de 189,427, como se observa en la figura 50.

Figura 50

Análisis de Deformación – Caso 1

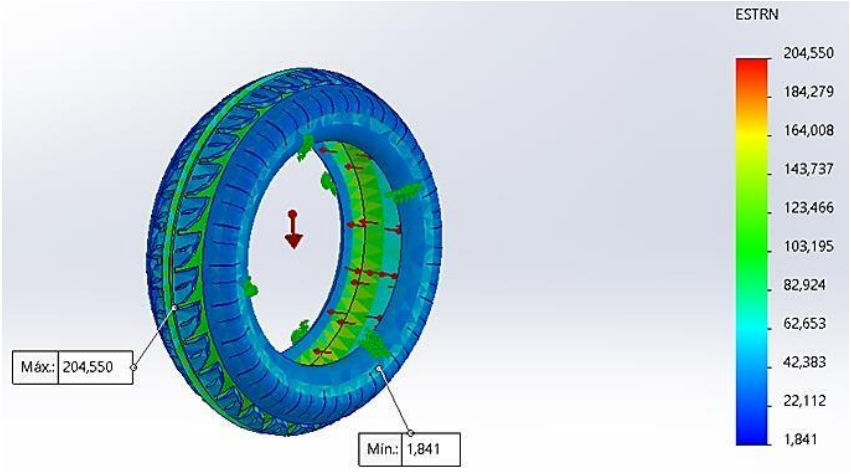


4.1.8 Análisis de Deformaciones – Caso 2

La deformación unitaria que presenta el neumático al aplicar 32,5 PSI es un mínimo de 1,841 y un máximo de 204,550, como se observa en la figura 51.

Figura 51

Análisis de Deformación – Caso 2

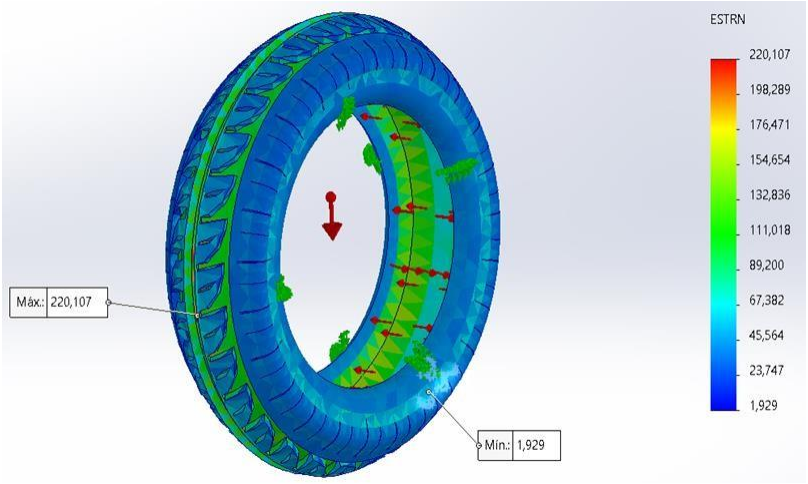


4.1.9 Análisis de Deformaciones – Caso 3

La deformación unitaria que presenta el neumático al aplicar 35 PSI es un mínimo de 1,929 y un máximo de 220,107, como se observa en la figura 52.

Figura 52

Análisis de Deformación – Caso 3

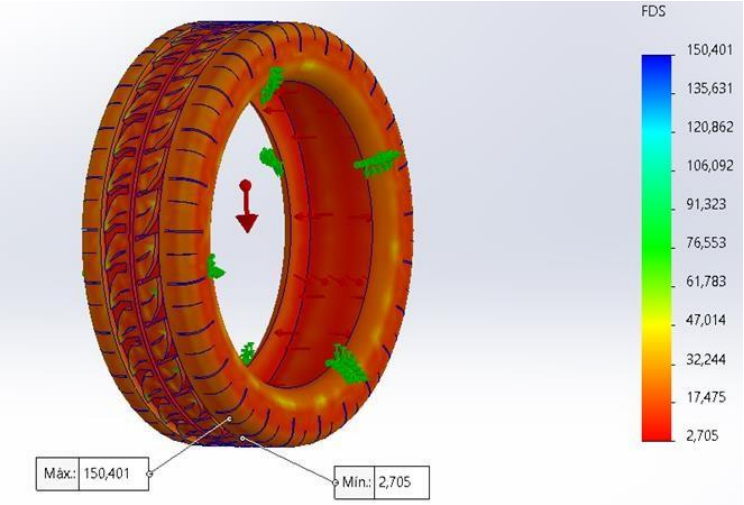


4.1.10 Análisis de Factor de Seguridad – Caso 1

El factor de seguridad que presenta el neumático al aplicar 30 PSI va de un rango de un mínimo de 2,705 y un máximo de 150,401 como se observa en la figura 53.

Figura 53

Análisis de Factor de Seguridad – Caso 1

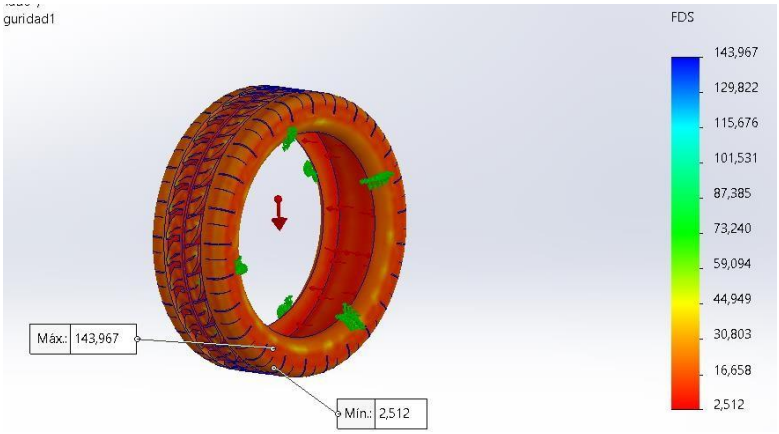


4.1.11 Análisis de Factor de Seguridad – Caso 2

El factor de seguridad que presenta el neumático al aplicar 32,5 PSI va de un rango de un mínimo de 2,512 y un máximo de 143,967 como se observa en la figura 54.

Figura 54

Análisis de Factor de Seguridad – Caso 2

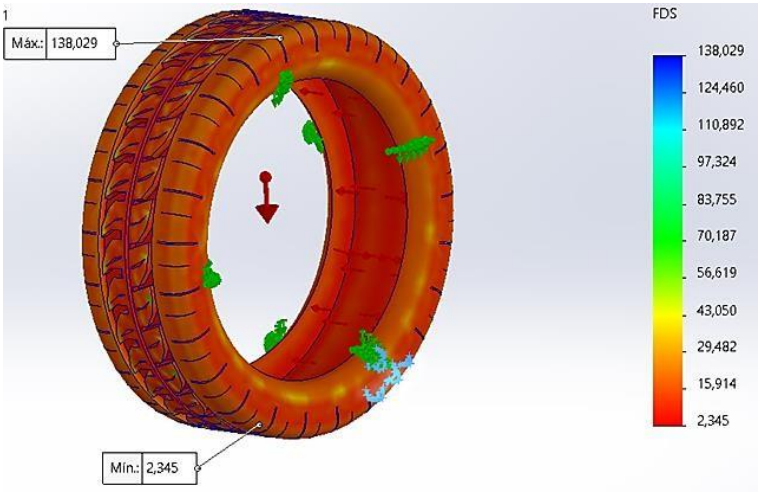


4.1.12 Análisis de Factor de Seguridad – Caso 3

El factor de seguridad que presenta el neumático al aplicar 35 PSI va de un rango de un mínimo de 2,345 y un máximo de 138,029 como se observa en la figura 55.

Figura 55

Análisis de Factor de Seguridad – Caso 3



4.2 Resumen de Datos Obtenidos

En la tabla 18 se muestra la comparativa de resultados obtenidos, en resumen, donde se detalla cada caso con la carga de presión interna del neumático, el análisis realizado y sus rangos de valores resultantes mínimo y máximo.

Tabla 18

Resultados Globales Obtenidos

Caso	Carga de Presión (PSI)	Análisis	Mínimo	Máximo
1	30		49866,672	2772600,500
2	32,5	Tensión Von Mises (N/m^2)	52095,172	2985124,000
3	35		54336,578	3197.650,500
1	30		1	1,934
2	32,5	Desplazamiento (mm)	1	2,081
3	35		1	2,229
1	30		1,799	189,427
2	32,5	Deformación unitaria (N/mm)	1,841	204,550
3	35		1,929	220,107
1	30		2,705	150,401
2	32,5	Factor de seguridad (-)	2,512	143,967
3	35		2,345	138,029

Conclusiones

Se analizó la estructura del neumático 165/70 R14 81T marca Firestone, utilizada en taxis, determinando las cargas de presión interna por medio de ingeniería asistida por ordenador, en la cual se generó un modelo 3D del neumático a escala real.

Se determinó los juicios de evaluación para selección y análisis de resistencia en materiales y cargas aplicado a neumáticos, considerando que los que se adaptan son la tensión de Von Mises, desplazamiento, deformación unitaria y el factor de seguridad, con una comparativa de 3 presiones internas de 30, 32,5 y 35 PSI, que se adaptan a un neumático de R14 por lo general.

Se definió el diseño geométrico para el neumático mediante la reproducción de un modelo tridimensional con la respectiva simulación de cargas de presión determinando que lo ideal sería a 32,5 PSI se tiene una tensión de 52095,172 a 2985124,000 N/m^2 con un desplazamiento de 1 a 2,081 e generando una deformación que va de 1,841 a 204,550 resultando en un factor de seguridad mayor a 2, es decir que se obtiene un neumático que puede ser utilizado en un vehículo de taxi con buen agarre, desplazamiento sobre todo tipo de calzada (excepto sobre calzada mojada), una presión que no hará que se genere sobre o sub inflado que afecte a la estabilidad del vehículo como también genere un consumo adicional de combustible.

Se determinó mediante el análisis de la estructura, material y forma del neumático que cuando tiene carga de presión interna a 35 PSI se genera una deformación no aceptable que influiría en el agarre del neumático contra la calzada aumentando el tiempo de detención del vehículo al frenar a la vez que genera un mayor consumo de combustible por su desplazamiento de rodaje. Así también que al aplicar una presión de 30 PSI se genera una deformación aceptable pero que influiría en el agarre del neumático contra la calzada disminuyendo el tiempo de detención del vehículo al frenar lo cual haría que el desgaste del labrado sea mayor, desigual en cada neumático y por ende su vida útil menor.

Recomendaciones

Se recomienda realizar análisis de otros componentes del vehículo tanto es material, diseño como geometría para conocer su influencia dentro de la seguridad pasiva y activa como su importancia y razón de formar parte del vehículo.

Se sugiere que para futuros trabajos de análisis donde se involucre las simulaciones de elementos y estructuras sean de conocimiento técnico y computacional, ya que así se podrá evaluar la capacidad del alumno para desarrollar y generar elementos con fundamento y procedimiento analítico.

Dictar cursos sobre de manejo de programas CAD para desarrollar geometrías 3D donde se pueda generar análisis técnicos, evaluaciones, estudios de los materiales de fabricación, cargas de presiones, esfuerzos, entre otros similares.

Dictar cursos sobre neumáticos utilizados en el campo automotriz para conocer sus aplicaciones, materiales, recomendaciones, lecturas de códigos y etiquetas, entre otros.

Bibliografía

Andrade Cuasque, L. F. (2024). Determinación de la calidad de neumáticos para automóvil según la norma NTE INEN 2097:2012, de las marcas que se comercializan en el mercado ecuatoriano. Ibarra, Ecuador.

Andueza, L. (21 de Septiembre de 2015). Autodesk Fusion 360: Análisis de Esfuerzos. Obtenido de http://dimcad3d.com/2015/09/21/fusion360-fem/

Ashby, M. F. (2000). *Material Selection in Mechanical Desing. Butterworth Heinemann*. Obtenido de http://www.utc.fr/~hagegebe/UV/MQ12/CORRECTIONS_TD/%5BASHBY99%5D%20-

Autodesk Support. (8 de Octubre de 2023). Como refinar la malla en los nodos seleccionados en robot structural analysis. Obtenido de https://www.autodesk.es/support/technical/article/caas/sfdcarticles/sfdcarticles/ESP/How-to-refine-mesh-in-selected-points-in-Robot-Structural-Analysis.html

BALLESTAS BENI S.L. (28 de Marzo de 2019). *Conceptos básicos de las ballestas*. Obtenido de https://www.citefast.com/?s=APA7#_Webpage

Carlider. (2022). *¿Qué partes tiene un neumático?* Obtenido de https://www.carlider.es/Que-partes-tiene-un-neumatico_es_1_36_0.html

Cengel, A. Y., & Boles, A. M. (2011). *Termodinamica.* McGraw-Hill.

Cengel, Y. A., & Cimbala, J. M. (2012). *Mecanica de Fluidos. Fundamentos y aplicaciones* (Segunda ed.). México, México: MCGraw Hill. Obtenido de https://archive.org/details/mecanicadefluidosfundamentoyunusa.cengel/page/n3/mode/2up

CONTINENTAL,. (2022). *Tyre Databook*. Obtenido de www.continental-tires.com

CRI Español. (31 de Octubre de 2014). *El sismógrafo de Zhang Heng*. Obtenido de https://espanol.cri.cn/culture/others/3177/20141031/332667.html

CZ Revista técnica de Centro Zaragoza. (09 de Febrero de 2021). Sistemas de dirección en el automóvil. Conceptos y evolución. *CZ Revista técnica de Centro Zaragoza*. Obtenido de https://revistacentrozaragoza.com/sistemas-direccion-automovil/

De la Torre, J. P. (2021). *Eso no estaba en mi libro de historia del automovilismo.* Almuzara,. Obtenido de https://books.google.com.ec/books?id=0NtFEAAAQBAJ

Ecologicaldrive. (2023). *Neumatico Firestone f590 165 70 14 81 T*. Obtenido de https://www.ecologicaldrive.com/neumatico-firestone-f590-165-70-14-81-t-coche-verano

Frausto-Robledo, A. (26 de Mayo de 2022). Autodesk AutoCAD 2023 — AI, Upskilling Users and Performance. Obtenido de https://architosh.com/2022/05/autodesk-autocad-2023-ai-upskilling-users-and-performance/

Gesellschaft, D., & Zysammenarbeit, T. (1980). *Tecnología del automóvil Tomo 2.* Reverte.

Gonzalez Herrera, E. (2018). *Análisis estructural de un sistema de enganche de remolque automotriz mediante el método de elemento finito.* México.

ICCTUNING. (5 de Octubre de 2021). *Todo sobre - Suspensión regulable, coilovers y cuerpo roscado*. Obtenido de https://tienda.icctuning.com/blogs/news/todo-sobre-suspension-regulable-coilovers-y-cuerpo-roscado

Ingemecanica. (s.f.). *Ingemecanica*. Obtenido de https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn73.html#google_vignette

MotorKote Colombia. (30 de Abril de 2022). ¿Que es y cómo funciona el sistema de suspension? Obtenido de https://motorkote.com.co/como-funciona-sistema-suspension/

Prototicad3d. (2017). Cómo hacer soldaduras con Autodesk Inventor. Obtenido de https://www.prototicad3d.com/2017/02/como-hacer-soldaduras-con-autodesk.html

Riddell, R., & Hidalgo, P. (1997). *Fundamentos de ingenieria estructural* (Tercera ed.). Obtenido de https://archive.org/details/fundamentos-de-ingenieria-estructural-riddell-e-hidalgo/page/n3/mode/2up

Rivera Berrío, J. G. (2022). *FÍSICA VOLUMEN I.* Córdoba, España: RED Descartes.

Rodiauto. (25 de Marzo de 2017). *Amortiguadores deportivos*. Obtenido de https://blog.rodiautosport.es/amortiguadores-deportivos/

Singiresu, R. S. (2012). *Vibraciones Mecánicas* (Quinta ed.). México, México: Pearson Educación.

Suzuki Ecuador. (2024). *Nuevo SUZUKI Swift*. Obtenido de https://boosterjet.suzukiecuador.com/landing/

SYRSA. (2023). *Guía completa: Cómo saber las medidas exactas de tus neumáticos para un cambio perfecto*. Obtenido de https://renault.syrsa.com/noticias_conocer-medidas-neumaticos_323.html

Tavera, B. (7 de Septiembre de 2023). Aplicación de Autodesk Robot Structural Analysis y Revit para Proyectos Estructurales. Obtenido de https://www.inesa-tech.com/blog/aplicacion-de-autodesk-robot-structural-analysis-y-revit-para-proyectos-estructurales/

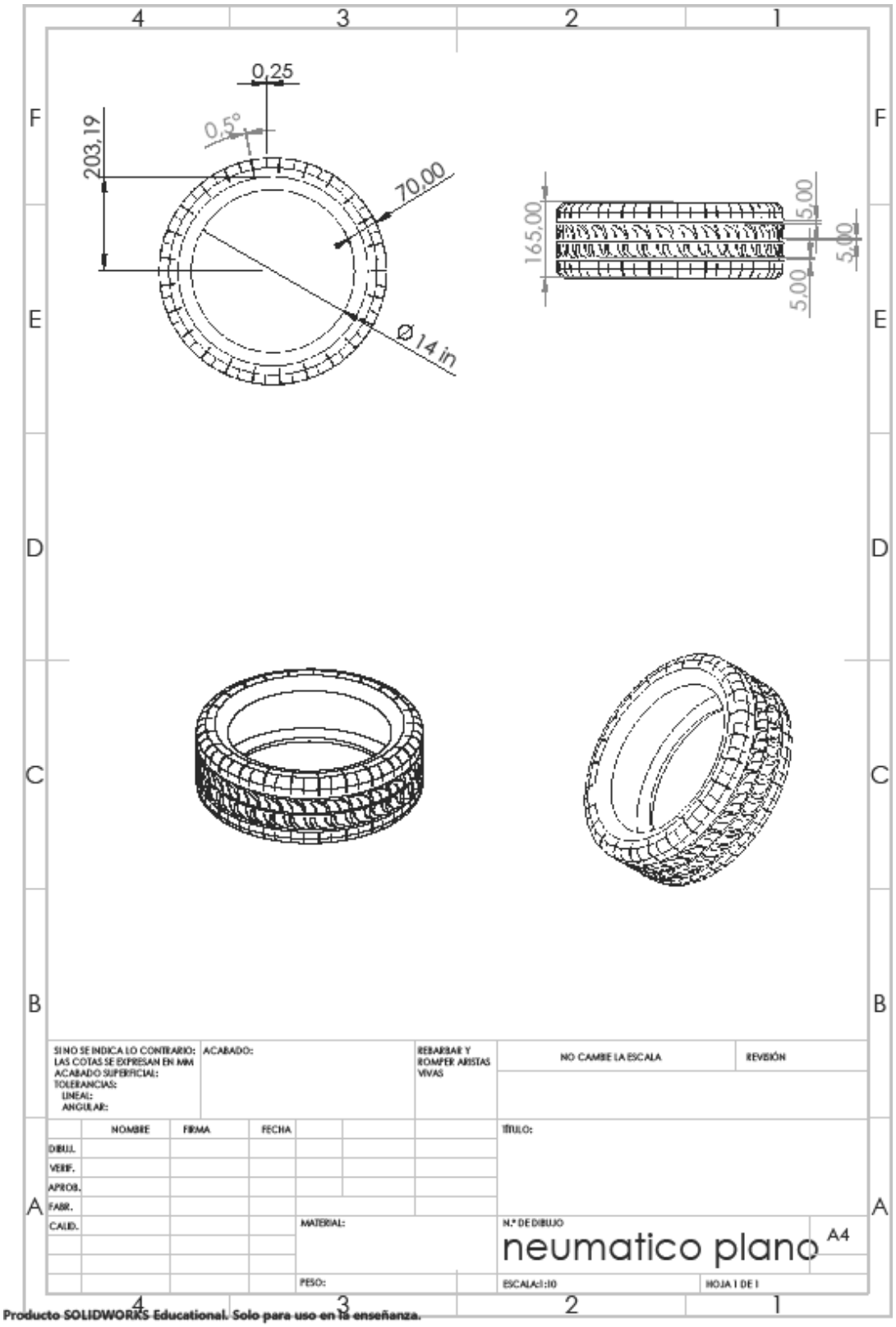
Vera, E. (2017). *Propuesta de diseño ergonómicoen butacas de vehículos monoplaza, para equipos ecuatorianos participantes de la Formula Student.* Quito: UISEK.

Vera, E. (2017). *Propuesta de diseño ergonómicoen butacas de vehículos monoplaza, para equipos ecuatorianos participantes de la Formula Student.* Quito: UISEK.

Zamora Ramírez, Á. (Abril de 2015). *Definición de Oscilación*. Obtenido de https://significado.com/oscilacion/

Anexos

A. Plano del neumático 165/70 R14 81T Marca Firestone



B. Índices de Cargas

Índice de Carga	Peso en Kg	Peso en Lb	Índice de Carga	Peso en Kg	Peso en Lb
20	80	176,00	50	190	418,00
22	85	187,00	51	195	429,00
24	85	187,00	52	200	440,00
26	90	198,00	53	206	453,20
28	100	220,00	54	212	466,40
30	106	233,20	55	218	479,60
31	109	239,80	58	236	519,20
33	115	253,00	59	243	534,60
35	121	266,20	60	250	550,00
37	128	281,60	61	257	565,40
40	136	299,20	62	265	583,00
41	145	319,00	63	272	598,40
42	150	330,00	64	280	616,00
44	160	352,00	65	290	638,00
46	170	374,00	66	300	660,00
47	175	385,00	67	307	675,40
48	180	396,00	68	315	693,00
69	325	715,00	93	650	1430,00
70	335	737,00	94	670	1474,00
71	345	759,00	95	690	1518,00
72	355	781,00	96	710	1562,00
73	365	803,00	97	730	1606,00
74	375	825,00	98	750	1650,00

Índice de Carga	Peso en Kg	Peso en Lb	Índice de Carga	Peso en Kg	Peso en Lb
75	387	851,40	99	775	1705,00
76	400	880,00	100	800	1760,00
77	412	906,40	101	825	1815,00
78	425	935,00	102	850	1870,00
79	437	961,40	103	875	1925,00
80	450	990,00	104	900	1980,00
81	462	1016,40	105	925	2035,00
82	475	1045,00	106	950	2090,00
83	487	1071,40	107	975	2145,00
84	500	1100,00	108	1000	2200,00
85	515	1133,00	109	1030	2266,00
86	530	1166,00	110	1060	2332,00
87	545	1199,00	111	1090	2398,00
88	560	1232,00	112	1120	2464,00
89	580	1276,00	113	1150	2530,00
90	600	1320,00	114	1180	2596,00
91	615	1353,00	115	1215	2673,00
92	630	1386,00	116	1250	2750,00
117	1285	2827,00	119	1360	2992,00
118	1320	2904,00	120	1400	3080,00

C. Índices de Velocidades

Índice de Velocidad	Velocidad en km/h	Velocidad en m/s	Índice de Velocidad	Velocidad en km/h	Velocidad en m/s
A1	5	1,39	K	110	242,00
A2	10	22,00	L	120	264,00
A3	15	33,00	M	130	286,00
A4	20	44,00	N	140	308,00
A5	25	55,00	P	150	330,00
A6	30	66,00	Q	160	44,44
A7	35	77,00	R	170	374,00
A8	40	88,00	S	180	396,00
B	50	110,00	T	190	418,00
C	60	132,00	U	200	440,00
D	65	18,06	H	210	462,00
E	70	154,00	V	240	528,00
F	80	176,00	ZR	>240	>528,00
G	90	198,00	W	270	594,00
J	100	220,00	Y	300	660,00