FACULTAD DE INGENIERIA Y CIENCIAS APLICADAS

Trabajo de Fin de Carrera Titulado:

“Análisis de desgaste de los distintos tipos de revestimiento de zapata de freno fabricados a base de fibras orgánicas”

Realizado por:

JENNIFER PRISCILA YUGSI CHAFLA

Director de proyecto:

M.Sc. JAIME VINICIO MOLINA OSEJOS

Como requisito para la obtención del título de:

INGENIERÍA MECÁNICA-AUTOMOTRIZ

Quito, 1 de febrero de 2022

Declaración Juramentada

Yo, JENNIFER PRISCILA YUGSI CHAFLA, ecuatoriana con cédula de ciudadanía N° 171983191-7 declaro bajo juramento que el trabajo aquí desarrollado es de mi autoría, que no ha sido presentado anteriormente para ningún grado a calificación profesional, y se basa en las referencias bibliográficas descritas en este documento.

A través de esta declaración, cedo los derechos de propiedad intelectual a la

UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK, según lo establecido en la Ley de Propiedad Intelectual, reglamento y normativa institucional vigente.

JENNIFER PRISCILA YUGSI CHAFLA

C.I 171983191-7

DECLARACION DEL DIRECTOR DE TESIS

Declaro haber dirigido este trabajo a través de reuniones periódicas con el estudiante, orientando sus conocimientos y competencias para un eficiente desarrollo del tema escogido y dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los trabajos de titulación.

M.Sc. JAIME VINICIO MOLINA OSEJOS

LOS PROFESORES INFORMANTES:

EDILBERTO ANTONIO LLANES CEDEÑO, PhD

ING. DIEGO F. BUSTAMANTE V. M. Sc

Después de revisar el trabajo presentado, lo han calificado como apto para su defensa oral ante el tribunal examinador

---------- ----------

ING. DIEGO F. BUSTAMANTE V. M. Sc EDILBERTO A. LLANES CEDEÑO, PhD

Quito,1 de febrero 2022

DECLARACION DE AUTORÍA DEL ESTUDIANTE

Declaro que este trabajo es original, de mi autoría, que se han citado las fuentes correspondientes y que en su ejecución se respetaron las disposiciones legales que protegen los derechos de autor vigentes.

JENNIFER PRISCILA YUGSI CHAFLA

C.I 1719831917

Tabla de Contenido

Contents

Tabla de Contenido 6
Resumen 13
Abstract 14
Introducción 15
Justificación 16
Objetivo General 16
Objetivos Específicos 17
Estudio Del Arte 17
Sistema De Frenos Hidráulicos 18
Tipos de Revestimientos de Zapatas 23
Proceso De Curado Del Revestimiento De Zapata 25
Componentes Fijos Del Sistema De Frenos Posterior 26
Funcionamiento De Las Zapatas De Freno 29
Tipos De Montaje Del Freno De Tambor 30
Freno Simplex 30
Freno Dúplex 31
Freno Dúo –Dúplex 32
Servofreno 33
Freno Dúo Servo 34
Tribología 35
Fricción 36

Desgaste 37
Tipos De Desgaste 38
Desgaste Por Fatiga De Contacto 38
Desgaste Por Abrasión 39
Desgaste Por Deslizamiento 40
Desgaste Adhesivo 41
Fuerzas De Frenado y Adherencias 42
Resistencia A La Rodadura 42
Resistencia Del Motor y Transmisión 44
Reparto De Fuerzas De Frenado 45
Método 46
Características De Los Revestimientos De Zapatas De Freno a Analizar 47
Egar 47
Daichi 48
American Roll 49
Construcción Banco De Pruebas 49
Modelo Matemático 61
Instrumentos De Medición 64
Calibrador o Vernier 64
Balanza Digital 65
Resultados 65
Análisis De Desgaste Material “Daichi” 66
Análisis De Desgaste Material “EGAR” 75

Análisis De Desgaste Material “AMERICAN ROLL” 83

Discusión..... 92

Comparación De Resultados Entre Los Materiales De Zapatas En Banco De Pruebas ... 92

Conclusiones y recomendaciones 94

Referencias..... 95

Índice de tablas y figuras

Tablas

Tabla 1 Características Motor Eléctrico 1HP 52

Tabla 2 Características variador de frecuencia CFW100 53

Tabla 3 Características de la lija R-13 59

Tabla 4 Conversión de Hz a RPM 62

Tabla 5 Velocidad Angular 62

Tabla 6 Velocidad Lineal km/h..... 64

Tabla 7 Relación de transmisión y revoluciones Motor-Eje..... 66

Tabla 8 Desgaste Daichi 10 seg-500RPM 67

Tabla 9 Desgaste Daichi 20seg-900RPM 68

Tabla 10 Desgaste Daichi 30 seg-1105RPM 70

Tabla 11 Desgaste promedio Daichi 72

Tabla 12 Desgaste Egar 10s-500RPM 75

Tabla 13 Desgaste Egar 20s-900RPM 76

Tabla 14 Desgaste Egar 30s-1105RPM 78

Tabla 15 Desgaste promedio Egar 80

Tabla 16 Desgaste American Roll 10s-500RPM 83

Tabla 17 Desgaste American Roll 20s-900RPM 85

Tabla 18 Desgaste American Roll 30s-1105RPM 86

Tabla 19 Desgaste promedio American Roll 89

Tabla 20 Desgastes con promedios de materiales 92

Figuras

Figura 1 Esquema del sistema de freno hidráulico 19

Figura 2 Esquema de la bomba principal del sistema hidráulico 19

Figura 3 Esquema del sistema de frenos posterior 20

Figura 4 Esquema del sistema de Servofreno 21

Figura 5 Despiece de los componentes internos del freno de tambor-zapata 22

Figura 6 Tambor de freno posterior 22

Figura 7 Zapatas de freno posterior 23

Figura 8 Despiece del cilindro de freno posterior 26

Figura 9 Resortes de retención y recuperadores 28

Figura 10 Sistema Bendix con levas 28

Figura 11 Sistema Girling 29

Figura 12 Esquema de la zapata primaria y secundaria 30

Figura 13 Freno de tambor simplex 31

Figura 14 Freno de tambor dúplex 32

Figura 15 Freno de tambor dúo dúplex 33

Figura 16 Freno de tambor servofreno 33

Figura 17 Freno de tambor dúo servo 34

Figura 18 Diagrama de cuerpo libre 36

Figura 19 Proceso de desgaste por fatiga de contacto 38

Figura 20 Proceso de desgaste por abrasión 39

Figura 21 Desgaste por deslizamiento 41

Figura 22 Desgaste adhesivo entre dos piezas 41

Figura 23 Resistencia a la rodadura 43

Figura 24 Fases de desaceleración de un vehículo 44

Figura 25 Reparto de fuerzas en un vehículo 45

Figura 26 Características de los revestimientos. 47

Figura 27 Construcción estructura metálica. 49

Figura 28 Construcción e instalación de plancha en estructura metálica. 50

Figura 29 Instalación de Motor. 51

Figura 30 Características placa de motor. 51

Figura 31 Instalación de poleas en motor y eje 52

Figura 32 Variador de frecuencia CFW100. 53

Figura 33 Tablero de control de variador de frecuencia. 54

Figura 34 Eje del tambor 55

Figura 35 Tambor de corsa evolution. 56

Figura 36 Plato de freno posterior con componentes montado en eje. 56

Figura 37 Toma corriente de 3 patas 57

Figura 38 Banco de pruebas. 57

Figura 39 Banco de pruebas finalizado. 58

Figura 40 Proceso de empaque de zapatas. 59

Figura 41 Tambor con elemento abrasivo 59
Figura 42 Calibrador o Vernier 65
Figura 43 Balanza Digital 65
Figura 44 Desgaste vs Tiempo Daichi 10s 67
Figura 45 Desgaste vs Tiempo Daichi 20s 69
Figura 46 Desgaste vs Tiempo Daichi 30s 71
Figura 47 Peso y espesor inicial material Daichi 71
Figura 48 Peso y espesor final material Daichi 72
Figura 49 Material Daichi antes de ser usado 73
Figura 50 Material usado en banco de pruebas. 73
Figura 51 Material usado en vehículo. 74
Figura 52 Desgaste vs tiempo Egar 10s 76
Figura 53 Desgaste vs tiempo Egar 20s 77
Figura 54 Desgaste vs tiempo Egar 30s 78
Figura 55 Peso y espesor inicial material Egar. 79
Figura 56 Peso y espesor final material Egar. 80
Figura 57 Material Egar antes de usar 81
Figura 58 Material Egar después de las pruebas. 81
Figura 59 Material Egar después de usar en un vehículo. 82
Figura 60 Desgaste vs tiempo 10s American Roll 84
Figura 61 Desgaste vs tiempo 20s American Roll 85
Figura 62 Desgaste vs tiempo 30s American Roll. 87
Figura 63 Peso y espesor inicial American Roll. 88

Figura 64 Peso y espesor final American Roll..... 89

Figura 65 Material American Roll antes de usar 90

Figura 66 Material American Roll después de las pruebas..... 90

Figura 67 Material American Roll usado en un vehículo 91

Resumen

El propósito de la siguiente investigación fue analizar y la comparar tipos de materiales de revestimiento de zapatas comercializados en la ciudad de Quito-Ecuador enfocado en el desgaste del material, inicialmente se realizó la construcción de un banco de pruebas del sistema de frenos de la parte posterior el cual posee los siguientes componentes, zapatas, tambores, cilindros posteriores de freno, kit de regulación de zapatas, cauchos de cilindro y un motor eléctrico el cual proporciona la energía motriz al banco de pruebas, en el tambor de freno se colocó un elemento abrasivo para la obtención de los resultados de desgaste, el banco de pruebas adicional posee un variador de frecuencia programado a distintas velocidades, de esta manera se logra obtener degastes a diferentes revoluciones y tratar los distintos materiales bajo las mismas condiciones de trabajo, los materiales a los cuales se realizaron las pruebas son de Perú el cual como base de fabricación principal es el uso de carbón con aleaciones de fibras naturales, el siguiente material de origen ecuatoriano construido a base de fibras orgánica y de vidrio, el tercero de origen mexicano basado solo en primas orgánicas y fibras minerales, A fin de este proyecto se contó con el material que obtuvo el mínimo desgaste y de tal forma se esclareció tanto el comportamiento y el rendimiento del mismo, el cual ayudará a entregar al consumidor un empaque de buena calidad sin contaminar el medio ambiente ni la salud humana.

Palabras claves: Zapatas, tambores, cilindros posteriores de freno, kit de regulación, cauchos de cilindro, fibras minerales, primas orgánicas.

Abstract

The purpose of the following investigation was to analyze and compare types of shoe lining materials marketed in the city of Quito-Ecuador focused on the wear of the material, initially the construction of a test bench of the brake system of the upper part rear which has the following components, shoes, drums, rear brake cylinders, shoe regulation kit, cylinder rubbers and an electric motor which provides the driving power to the test bench, an element was placed in the brake drum abrasive to obtain the results of wear, the additional test bench has a frequency variator programmed at different speeds, in this way it is possible to obtain wear at different revolutions and treat the different materials under the same working conditions, the materials to be which the tests were carried out are from Peru which as the main manufacturing base is the use of carbon n with natural fiber alloys, the following material of Ecuadorian origin built based on organic and glass fibers, the third of Mexican origin based only on organic raw materials and mineral fibers, For the purpose of this project, the material obtained by the minimum wear and in such a way the behavior and performance of the same was clarified, which will help to deliver to the consumer a good quality packaging without contaminating the environment or human health.

Keywords: Shoes, drums, rear brake cylinders, regulation kit, cylinder rubbers, mineral fibers, organic raw materials.

Introducción

En las últimas décadas el uso de revestimientos a nivel mundial es de mayor empleo debido a que es más factible el cambio de revestimiento a que el metal de la zapata completo, en américa del sur el uso del material para reemplazo de zapata comenzó en los años 70 con ello se llevó a utilizar la fibra de amianto, en el Ecuador se utiliza los revestimientos de freno como una parte esencial en las mecánicas automotrices, a nivel de la capital se ha relacionado que aun disponen del uso de material con amianto y son pocos talleres automotrices que utilizan revestimientos amigables con la salud y el medio ambiente. A pesar de que la OMS confirma que la exposición al asbesto o amianto produce distintas enfermedades como la asbestosis, fibrosis pulmonar y mesotelioma entre otras (OMS, 2003) y a su vez la Agencia Internacional para la investigación del cáncer (IARC) ha logrado establecer al asbesto en el grupo No.1 en el cual se encuentran 111 elementos sobre los cuales no se tiene duda científica que producen dicha enfermedad. El instituto nacional de estadística y censos (INEC) informa que existen 706 talleres artesanales mecánicos dedicados al mantenimiento de vehículos automotrices, de estos talleres se podría datar que el 25 % en la capital optan por dejar el uso de fibra de amianto de tal modo que las fibras orgánicas se apoderan de los revestimientos, pero se desarrolla un problema de duración de material, debido a que las fibras de amianto poseen una duración de entre 30.000km a 40.000km.

Se logró obtener un estudio de fibras de asbesto en el año 2015 en la ciudad de Quito, en el cual se logró constatar que los talleres involucrados en este estudio no mantenían un instructivo de manejo de asbesto ni un catálogo de equipos de protección para la manipulación del mismo material, a su vez las partículas o residuos de asbesto se eliminaban como desechos comunes produciendo contaminación ambiental.

El estudio presentado a continuación permitirá demostrar que las fibras orgánicas pueden mantener durabilidad, menos contaminación y mejor manipulación al momento de ser tratadas por los empleadores en mecánicas automotrices.

Justificación

Ante el 70 % de uso fibra de amianto en la ciudad de Quito, se busca analizar materiales elaborados con fibras orgánicas y dejar atrás el uso de este revestimiento considerado altamente nocivo para la salud, resulta de alto interés conocer cuál de estos materiales orgánicos mantiene una durabilidad de alta calidad, de esta manera ofrecer al consumidor un producto duradero en su vehículo automotor.

La investigación surge a partir de que la fibra de amianto es considerado perjudicial para la salud de tal manera que se opta por el uso de otras fibras, las cuales serán sometidas a pruebas de durabilidad.

El siguiente proyecto busca proporcionar información acerca de las nuevas fibras orgánicas a ser utilizados en los talleres mecánicos y de esta manera promover el uso de dichas fibras para poder ofrecer al consumidor un material menos contaminante y cero nocivo para la salud.

Objetivo General

Analizar los distintos materiales de revestimiento de zapatas de freno mediante pruebas de desgaste, a fin de conocer cuál de ellos posee un desgaste menor al momento del frenado y que disponga de mayor durabilidad.

Objetivos Específicos

Comparar los distintos tipos de materiales de revestimiento de zapatas de freno comercializados en Quito-Ecuador.

Implementar un banco de pruebas que permita la entrega de muestras para el análisis correspondiente a la investigación.

Realizar un estudio acerca del desgaste de zapatas de fibras orgánicas, mediante pruebas de desgaste en los materiales de revestimiento de zapatas de freno.

Determinar que material posee un desgaste menor a fin de ofrecer un revestimiento de calidad al cliente.

Estudio Del Arte

El sistema de frenos es un conjunto de componentes que intervienen en el frenado y que tienen por función disminuir o detener paulatinamente la velocidad de un vehículo automotor, estabilizar la velocidad del mismo o mantener el vehículo inmóvil si se encuentra detenido (Gerschler, y otros, 1980).

Este sistema funciona a partir de un esfuerzo ejercido del pie del conductor. El sistema de frenos se compone de un elemento de accionamiento, de una transmisión y el del freno (Arias, 2004)

En sus inicios el desarrollo del sistema de frenos comenzó a partir de la idea de detener los carruajes tirados por caballos tales se conocían como vehículos de transporte con ruedas de montura de acero, a partir de ello se implementó el primer mecanismo de frenado que estaba compuesto de un bloque de madera y una palanca de tal modo que al ejercer una fuerza sobre la

palanca el bloque de madera realizaba la fricción contra las ruedas de acero y el vehículo se detenía (Borja, Fenoll, & Herrera, 2000)

A partir de esta idea se comenzó a notar que este mecanismo de frenado era ineficiente ya que los materiales producían demasiado desgaste, de tal manera que fueron evolucionando (Domiguez & Ferrer, 2012).

En 1901 Wilhelm Maybach diseña el primer freno de tambor interno, a raíz de esta creación Herbert Frood diseña el primer forro de zapata usado hoy en día llamadas empaque de zapatas o revestimientos de freno (Gerschler, y otros, 1980)

Sistema De Frenos Hidráulicos

El sistema de frenos hidráulico trabaja a raíz del principio de pascal que menciona “La presión ejercida en un punto de un fluido encerrado se transmite con la misma intensidad en todos los sentidos” (Beer, Rusell, & Dewolf, 1996). Por la cual se entiende que una presión aplicada en un fluido va a llegar a todos los puntos de manera uniforme y con la misma fuerza (Gerschler, y otros, 1980).

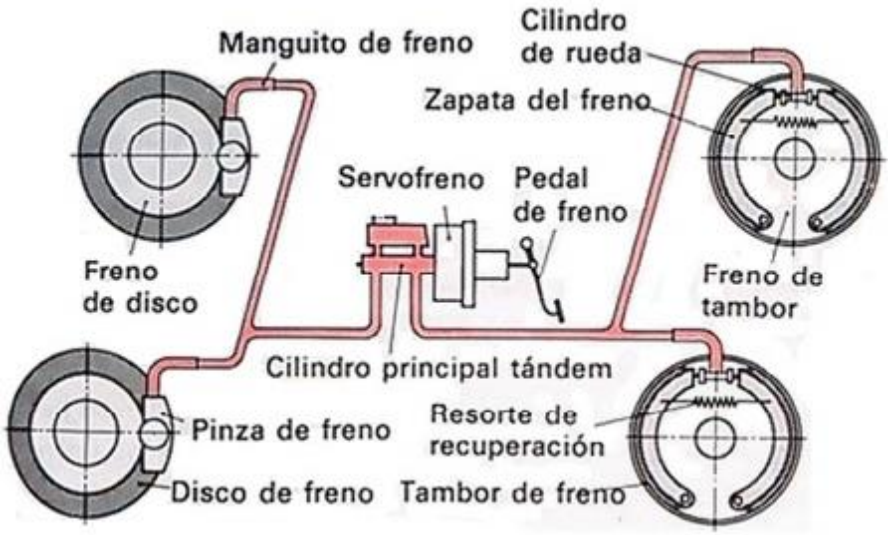
Así mismo funciona en el vehículo al momento en que el conductor presiona el pedal de freno todo el fluido llega a las cañerías de freno con la misma presión para que de esa manera se accione las zapatas contra el tambor de freno (Domiguez & Ferrer, 2012).

En el momento que el conductor acciona el pedal de freno la bomba principal actúa enviando líquido de frenos a presión por las cañerías del sistema, el líquido de freno envía con fuerza y presión hacia todos sus componentes para que de esta manera el vehículo se detenga progresivamente (Gerschler, y otros, 1980).

Este compuesto por distintas piezas como se detalla en la figura 1, principalmente por la bomba principal, un sistema de conductos o cañerías, los cilindros de rueda de la parte posterior y los frenos dependiendo los delanteros que se componen de pastillas y discos de freno. En la parte posterior dispone de zapatas y tambores de freno (Gerschler, y otros, 1980).

Figura 1

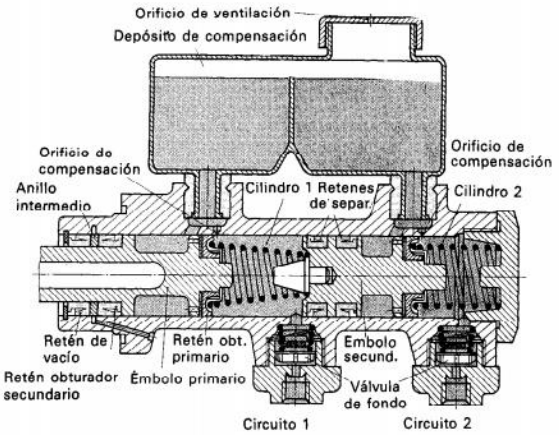
Esquema del sistema de freno hidráulico



El cilindro principal se compone de dos cilindros internos separados pero conectados uno a continuación del otro. En la figura 2 se puede analizar un cilindro de uso común en donde se encuentra un embolo primario que se acciona por una varilla de presión así el embolo secundario se mantiene separado, los dos émbolos siempre están llenos de líquido de freno (Arias, 2004)

Figura 2

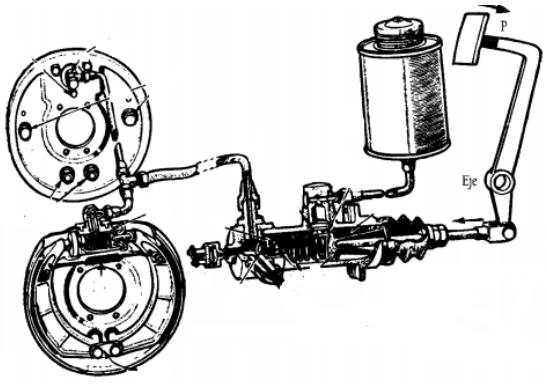
Esquema de la bomba principal del sistema hidráulico



Al accionar el pedal de freno el retén interno de la bomba cierra el orificio, de esta manera la cámara de presión que se encuentra interno en la bomba principal produce una sobrepresión de esta manera el disco de llenado impide la deformación del kit de bomba interno y así el líquido de frenos pasa de la cámara anular del doble embolo a través de los orificios longitudinales a la cámara de presión, de este modo no causa ningún tipo de succión que haría ingresar aire al circuito y llevar a las cañerías (Arias, 2004)

Figura 3

Esquema del sistema de frenos posterior



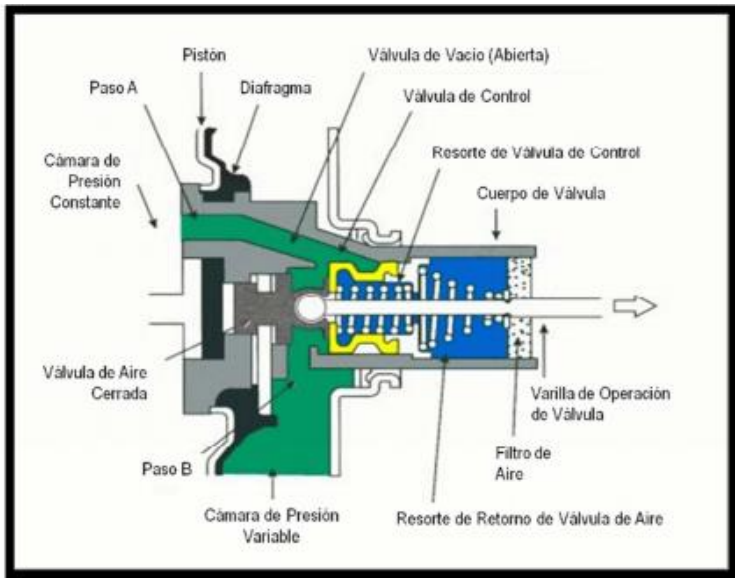
Al llegar el líquido de frenos a la parte posterior este ingresa a los cilindros de freno el cual posee unos émbolos estos se abren y permiten que las zapatas se extiendan hasta realizar

fricción con el tambor, de esta manera se comienza a detener el vehículo progresivamente, se puede observar el esquema del sistema de frenos en la figura 3. (Arias, 2004)

En el momento en que el conductor suelta el pedal la presión del líquido de frenos baja y hace que el sistema interno de la bomba de freno vuelva a su posición inicial de tal manera que el líquido se regresa hacia la bomba, para que el frenado del vehículo sea más exacto se incorpora a este sistema un dispositivo de ayuda accionado por vacío que se le conoce como servofreno, el cual se basa en la utilización de la diferencia de presión atmosférica y de vacío del colector del motor de esa manera aumenta la fuerza del pedal de 2 a 4 veces (Domiguez & Ferrer, 2012).

Figura 4

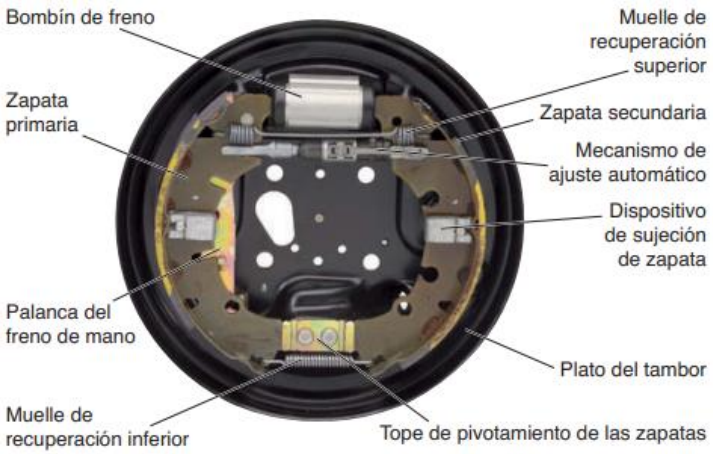
Esquema del sistema de Servofreno



El sistema de frenos posterior se compone de distintas piezas como primer punto tenemos el llamado plato de freno que se puede visualizar en la figura 5, el cual está fabricado de chapa embutida y troquelada en la cual se va a ir montado el cilindro de freno hidráulico las zapatas y demás componentes de fijación y regulación (Arias, 2004).

Figura 5

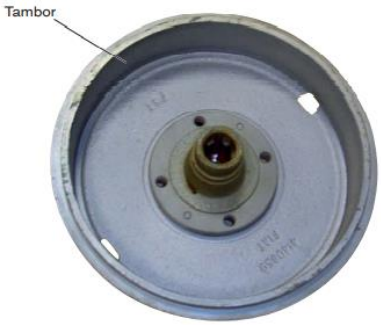
Despiece de los componentes internos del freno de tambor-zapata



El único componente giratorio son los tambores de freno que se muestra en la figura 6, los cuales se inventaron a partir del año 1900, están construidas de fundición gris perlitica con grafito esferoidal esta clase de material se lo ha implementado debido a su elevada resistencia al desgaste y menor costo de fabricación, a su vez absorbe de manera eficiente el calor que produce el rozamiento del frenado (Domiguez & Ferrer, 2012).

Figura 6

Tambor de freno posterior



Los tambores de freno trabajan en conjunto con zapatas interiores que están construidas en forma de medias lunas y están fabricadas con chapa estampada o más frecuentemente

fundidas de aleación de aluminio ya que deben cumplir con tipos de durezas y ser resistentes a la abrasión como en la figura 7 (Domiguez & Ferrer, 2012).

Figura 7

Zapatas de freno posterior

Las zapatas con este tipo de aleaciones contienen una capa añadida de fundición para que al momento de las altas temperaturas se comporten de una manera adecuada, estas van acompañadas de un revestimiento conocido en el sector automotriz como forro o revestimiento el cual va unido a la zapata mediante remaches insertados en el material hasta de ¾ de espesor del revestimiento para que no roce con el tambor, a su vez se puede usar pegamentos a base de vinil-fenol (Arias, 2004).

Tipos de Revestimientos de Zapatas

El revestimiento de zapatas se conoce que fueron construidas por Herbert Frood en 1987, los forros deben ser altamente resistivos al calor ya que durante el proceso de frenado presenta exigencias térmicas que pueden deformar a los elementos mecánicos de tal manera deben ayudar a disipación del calor para que no existan riesgos ni cristalizaciones en los materiales (Gerschler, y otros, 1980).

La zapata de freno limita a que el tambor mantenga un desgaste mayor de tal manera que el elemento giratorio tenga más duración que la parte fija en este caso el forro de zapata de freno (Gerschler, y otros, 1980) .

Frood aplico los primeros forros de fricción utilizando fibras de algodón trenzadas en forma de correa y sujetas mediante soluciones bituminosas de hilos de latón., una de las razones por la cual se dejó de utilizar el algodón fue que a partir de los 150°C el algodón empieza a perder sus propiedades de fricción y se produce una fisura terminando con el material (Domiguez & Ferrer, 2012).

Al pasar los años los componentes principales para el forro de zapatas fueron avanzado se comenzó con la aplicación de la fibra de amianto o asbesto, fibra que naturalmente se encuentra en forma de silicatos en cadenas con estructuras fibrosas y que se presentan en dos tipos tales como el crisolito o el amianto blanco el cual se usa para el forraje de las zapatas de freno.

A partir del uso de amianto se comenzó a ver distintos tipos de revestimientos de materiales con aleaciones al del mismo material se lo mezclo con componentes metálicos como latón, cobre, bronce entre otros. No hay que dejar de lado que muchos de estas mezclas de materiales son nocivas para la salud por lo que fue recomendable dejarlos de usarlos. (Alonso, 2015)

En los años 30 los químicos comenzaron con el estudio de las resinas flexibles las que poseían mayor resistencia al calor, a estos nuevos materiales se les realizaba un proceso de mezclado en seco para que se los pueda aliar con filamentos, resistencias fenólicas o caucho estas aglomeraciones eran prensadas en caliente en matrices especiales.

A medida que evoluciona el sector automotriz y el diseño en los vehículos automotores se comienza a ser necesario que existan avances y mejorías para un frenado más eficaz es por eso

que se desarrollan alternativas y se lo ubica al amianto o asbesto como material principal para forraje de las zapatas (Bosch, 1996)

Las zapatas durante su accionamiento de frenado, posee una particularidad ya que muchas veces pueden ser inestables debido a esto se produce un fenómeno llamado difusividad térmica esta es una propiedad de los materiales y se debe a las distintas temperaturas que las zapatas deben resistir (Alonso, 2015).

Debido a este fenómeno los materiales de fricción deben poseer distintas características.

- Capacidad de soportar altas temperaturas.
- Buena conductividad y difusividad térmica.
- Buena resiliencia.
- Flexibilidad
- Coeficientes de fricción altos.
- Inconstancia ante condiciones del medio como la humedad.
- Compatibilidad con el entorno

Proceso De Curado Del Revestimiento De Zapata

Los forros de zapata para su adherencia al metal donde se encuentran montados se basan y se tratan mediante un proceso de curado del material, primeramente, se prepara la base del metal con un desengrasante para mejorar la adherencia al momento de poner el pegamento o remacharla.

Se aplica el pegamento a base de vinil-fenol en ambas partes, se prensa en los moldes dependiendo del tamaño y del vehículo y se las ingresa al horno a una temperatura de 150°C y se deja curar entre 15 a 20 min, una vez curado el material se termina puliendo los lados de los

revestimientos para que quede acorde a la figura del metal de la zapata de esta manera se asegura que no se vaya a rozar ningún tipo de material extra con el tambor de freno.

Una vez que el material tenga temperatura ambiente se arma en el plato de freno con los componentes fijos que se dispone.

Componentes Fijos Del Sistema De Frenos Posterior

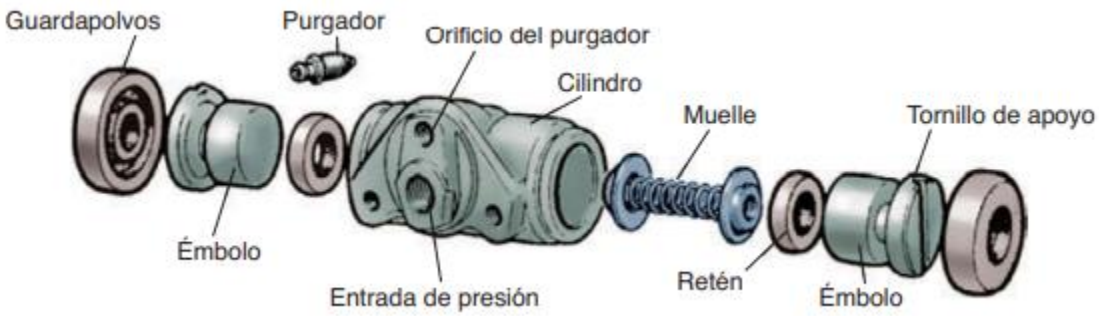
El sistema de frenos de zapata-tambor para su funcionamiento dispone de cilindros de freno los cuales transforman la presión hidráulica del circuito, de esta manera sus émbolos internos realizan una fuerza de empuje para accionar las zapatas contra el tambor (Domiguez & Ferrer, 2012).

Este elemento dependiendo del vehículo consta de uno o dos émbolos posee guardapolvos, muelles de retorno y un purgador.

El cilindro de freno está fabricado de aluminio o hierro fundido este dispone de dos orificios de sujeción para su unión con el plato y dos orificios roscados, uno para el latiguillo de freno y el otro tornillo de purga del sistema de freno se logra visualizar en la figura 8 (Domiguez & Ferrer, 2012).

Figura 8

Despiece del cilindro de freno posterior



El embolo interno del cilindro de freno transmite un movimiento longitudinal a las zapatas de freno, este posee una junta tórica y de esta manera se evita que existan fugas de líquido de frenos por los émbolos. (Arias, 2004)

El expansor del cilindro de freno o muelle de retorno garantiza que al momento que el conductor deje de pisar el pedal el sistema de zapatas retorne a su posición de origen.

El guardapolvo es un elemento que cierra el conjunto del cilindro de freno por la parte externa del embolo con el fin de que no ingresen partículas o humedad a este sistema.

El retén o caucho interno del cilindro de freno es una goma que ayuda a impedir que el líquido de frenos salga del interior del sistema hacia el exterior, reteniendo la presión del mismo.

En el sistema de cilindros de freno es muy importante el purgador que se compone de un tornillo el cual tiene un acabado en forma de cono con un agujero central, es aquel que permite que abrir o cerrar el paso del líquido de frenos hacia el bombín del cilindro. Este purgador es aquel que ayuda a la salida del aire que se encuentra en el interior de cilindro. (Alonso, 2015)

Al momento en que el sistema de frenos posee aire en los conductos, el freno no es exacto de esta manera se puede producir muchos riesgos al momento de la conducción, es importante que el vehículo no mantenga aire en las cañerías ya que el pedal de freno se puede sentir esponjoso o suave. Cuando se mantiene este tipo de problemas se debe purgar el sistema por la parte posterior del vehículo (Alonso, 2015)

Se dispone de más componentes fijos en el sistema de zapata-tambor como son los resortes de retención y recuperadores mostrados en la figura 9 que se encargan de mantener las zapatas en su posición original, cuando el cilindro de freno ejerce una fuerza en el sentido de apriete es decir que las zapatas se ponen en contacto con el tambor el sistema de resortes ejerce una fuerza para que las zapatas retornen a la posición original (Domiguez & Ferrer, 2012).

Figura 9

Resortes de retención y recuperadores

Las zapatas y los tambores necesitan que el frenado sea exacto para esto necesitan un ajuste inicial de todos los componentes, de esta manera se consigue que las zapatas no se encuentres rozando con el tambor de freno y que ambas ruedas frenen equilibradamente (Gerschler, y otros, 1980).

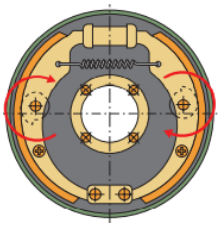
En cuanto a los vehículos que son manuales el ajuste de los componentes fijos de las zapatas lo debe realizar un técnico, actuando directamente sobre el mecanismo de regulación que aproxima a las zapatas al tambor, el sistema más utilizado en este tipo de vehículos es el sistema Girling y el Bendix (Arias, 2004).

El sistema Bendix se puede visualizar en la figura 10, consiente en aproximar las zapatas al tambor a través de las regulaciones, este sistema se compone de una leva por zapata así de esta manera el técnico aproxima o aleja las zapatas contra el tambor.

El ajuste de estas zapatas se realiza desde el exterior por la parte trasera externa del plato de freno girando la leva para que esta desplace las zapatas. El desplazamiento máximo de ajuste depende mucho de la leva, si esta se bloquea es decir que si se realiza un giro completo y no cede más es momento de realizar un cambio al revestimiento de las zapatas ya que se mantiene un desgaste total del mismo (Domiguez & Ferrer, 2012).

Figura 10

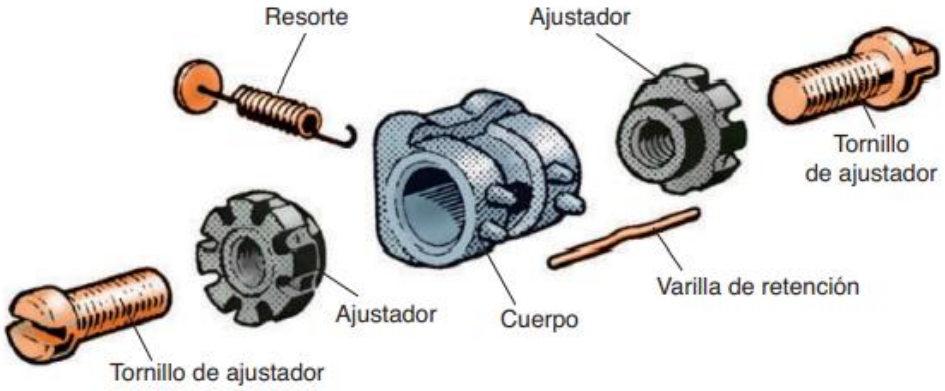
Sistema Bendix con levas



El sistema Girling en cambio se basa en el apriete del cilindro de freno mediante un ajuste por medio de una rosca o mediante un conjunto de ajuste en el apoyo de las zapatas como se muestra en la figura 11 (Gerschler, y otros, 1980).

Figura 11

Sistema Girling



Funcionamiento De Las Zapatas De Freno

En el momento que el conductor presiona el pedal en la parte posterior ejerce una presión que va desde la bomba hacia las cañerías y llega hacia los cilindros de freno de la parte posterior los mismos que dan un apriete muy fuerte para que las zapatas vayan en contra del tambor de freno. (Arias, 2004)

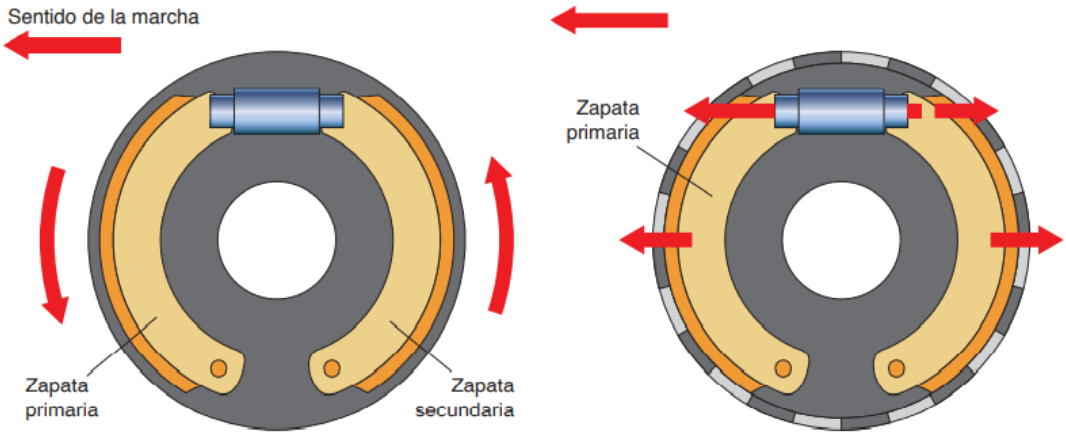
Se produce la fricción al momento en que ambas superficies se ponen en contacto, primeramente, una de las zapatas hace contacto con el tambor a la cual se la denomina zapata primaria, en cambio a la zapata que se desplaza en sentido contrario se la denomina zapata

secundaria. La zapata primaria se auto refuerza debido al par de giro que esta realiza y de esta manera se clava al tambor haciéndolo detener paulatinamente como se analiza en la figura 12 (Arias, 2004).

En la zapata secundaria sucede lo contrario su fuerza de fricción disminuye ya que la fuerza de apriete es menor, esto se debe a que la zapata secundaria tiene menor efecto de frenado. De este modo se produce un desgaste desigual en los revestimientos ver en la figura 12 (Arias, 2004).

Figura 12

Esquema de la zapata primaria y secundaria



Tipos De Montaje Del Freno De Tambor

Los sistemas de freno de la parte posterior pueden tener distintas estructuras ya sea: sistema simplex, dúplex, dúo dúplex, servofreno, dúo servo.

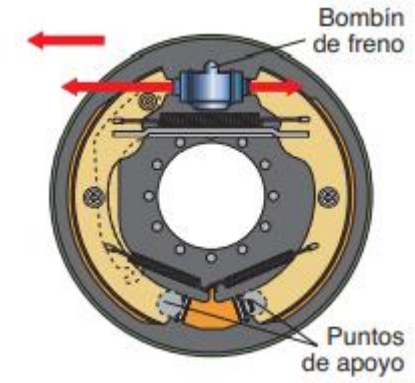
Freno Simplex

En este tipo de acoplamiento las zapatas mantienen un apriete de un extremo contra el tambor de freno a través de un dispositivo de tensado común y el otro extremo se monta sobre un

punto de apoyo fijo este tipo de sistemas se lo puede conocer también como cilindro de doble efecto y se lo utiliza en vehículos de turismo, también puede componerse de una leva en forma de S, que se utiliza en vehículos industriales, las zapatas efectúan el proceso de retorno a su posición original mediante los resortes recuperadores (Gerschler, y otros, 1980).

Figura 13

Freno de tambor simplex



El freno simplex consta de dos zapatas comúnmente llamadas zapatas primaria y zapata secundaria, al momento de ejercer el frenado la zapata primaria es la primera en realizar el contacto con el tambor de esta manera ejerce la presión contra el tambor y se ejecuta el denominado auto reforzamiento. La zapata secundaria se apoya en cambio en sentido del giro de la rueda así provoca que el efecto de frenado sea el mismo en marcha hacia delante y en marcha hacia atrás (Domiguez & Ferrer, 2012).

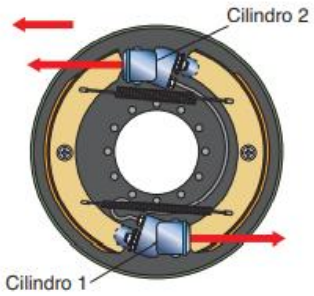
El contacto que mantienen las zapatas en este tipo de sistemas es que la zapata primaria siempre va a soportar un 70% y la zapata secundaria solamente trabajará en un 30%, por lo tanto, en este caso el desgaste del revestimiento de las zapatas será desigual. (Domiguez & Ferrer, 2012)

Freno Dúplex

En este tipo de montaje ambas zapatas son independientes ya que cada una de ellas dispone de un cilindro de freno, este sistema es un circuito hidráulico ya que las zapatas mantienen la misma presión y disponen del mismo tamaño de igual manera ejercen la misma fuerza de apriete, por esta razón ambas zapatas se consideran zapatas primarias. De tal manera que aprovechan el auto reforzamiento en ambas piezas, si se invierte la posición de la marcha las zapatas se convierten en zapatas secundarias con un efecto de frenado menor ya que no se produce el auto reforzamiento (Gerschler, y otros, 1980).

Figura 14

Freno de tambor dúplex



Si se realiza una comparación con el sistema de freno simplex este sistema tiene un mejor efecto de frenado hacia delante ya que utiliza el auto reforzamiento en las dos zapatas (Gerschler, y otros, 1980).

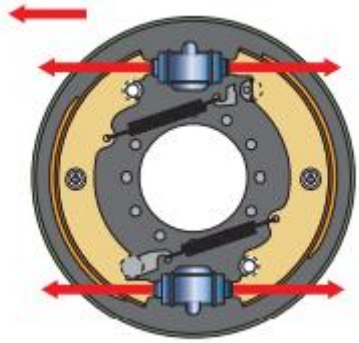
Freno Dúo –Dúplex

El armado de un freno dúo dúplex es muy poco utilizado ya que se constituye de un sistema de dos cilindros de freno de doble efecto que realizan el trabajo de tensar las zapatas.

El freno dúo dúplex funciona prácticamente como el freno dúplex solamente que ambas zapatas son primarias y se auto refuerzan tanto en marcha retro como hacia delante, a su vez el efecto de frenado es el mismo en ambos sentidos (Domiguez & Ferrer, 2012).

Una de sus características especiales es que es muy complicado al momento del montaje del freno de estacionamiento.

Figura 15
Freno de tambor dúo dúplex

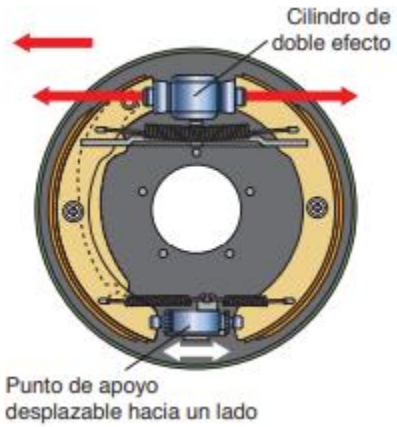


Servofreno

El servofreno es un tipo de acoplamiento muy similar al freno simplex ya que se compone de un cilindro de freno doble que realiza un trabajo de tensado para ambas zapatas, en este sistema las zapatas ya no disponen de apoyos fijos, sino que se pueden desplazar momentáneamente hacia un solo sentido. Su funcionamiento se basa a partir de una fuerza de apoyo y el auto reforzamiento de la zapata primaria que transmite su fuerza y su punto de apoyo a la zapata secundaria de este modo la convierte a su vez en una zapata primaria (Gerschler, y otros, 1980).

Figura 16

Freno de tambor servofreno



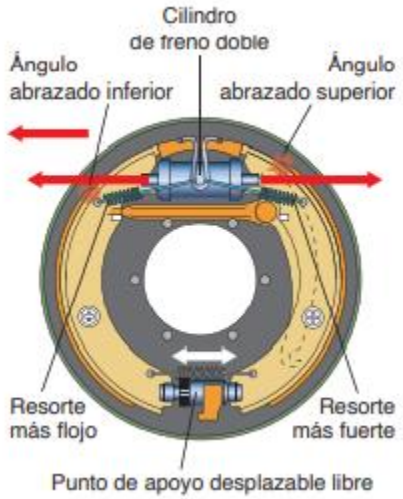
Este tipo de mecanismo se caracteriza por tener un gran efecto al momento de frenar ya que dispone de un gran esfuerzo de auto reforzamiento. En marcha atrás funciona al igual que el freno simplex. (Alonso, 2015)

Freno Dúo Servo

Al igual que el servofreno este tipo de acoplamiento posee un cilindro de freno de doble efecto que realiza la función del tensado para que las zapatas retornen a su posición original. Este sistema se da inicio a través de un punto de apoyo que mantiene un alojamiento flotante a su vez se desplaza en ambos sentidos. El forro de la zapata primaria trabaja con un ángulo de abrazado inferior es decir que es más corto que el forro que va en sentido hacia la parte de atrás. A su vez mantiene un resorte recuperador en el lado del forro más corto que es mucho más débil que el que se mantiene en lado principal (Arias, 2004).

Figura 17

Freno de tambor dúo servo



El sistema dúo servo gracias a la tensión que se obtiene permite que el freno se situé de manera inmediata en la posición original sin producir sonidos ni golpeteos, pero a su vez si se lo coloca en marcha hacia atrás puede producir sonidos muy disipados.

Este acoplamiento tiene un mayor efecto de frenado tanto hacia delante como hacia atrás ya que posee un gran auto reforzamiento y en él se puede situar fácilmente el freno de mano (Domiguez & Ferrer, 2012)

Tribología

Los tipos de desgaste se analizan primeramente a partir de la palabra “frotamiento o rozamiento” o más bien conocida en la ciencia como la palabra tribología.

La tribología es la ciencia que estudia la interacción entre dos o más superficies que mantienen contacto continuo a su vez estudia los problemas relacionados con la interacción en este caso se denominan como: desgaste, fricción, adhesión y lubricación (Ludema & Ajayi, 2018)

El objetivo de esta ciencia no es solo ayudar a evitar los distintos tipos de problemas que conllevan los casos antes mencionados, sino que ayuda y permite dar una solución a distintos

problemas, en el tema de frenos permite que se dé una solución al momento en el que existen desgastes mínimos donde exista una máxima fricción (Mendez, Crespo, & Rodriguez, 2018)

En el caso de frenos se puede visualizar que se producen tres fenómenos importantes como son:

Fricción

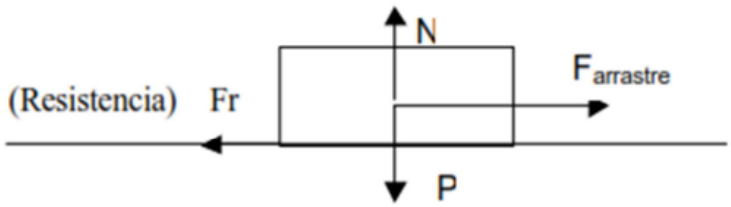
Es la consecuencia que proviene de la presencia de fuerzas tangenciales que aparecerán entre dos superficies solidas en contacto cuando permanecen unidas por la existencia de esfuerzos normales a las mismas (Ludema & Ajayi, 2018)

Es decir que es aquella que se denomina como la resistencia al movimiento que existe cuando un elemento solido se mueve tangencialmente con respecto a otra superficie de otro elemento solido con el que mantienen un movimiento, este tipo de fricción se formula en términos de fuerza como un coeficiente entre la fuerza de fricción y la carga nominal a las superficies de contacto, se puede representar con una letra **n** y no dispone de unidades ya que ambas fuerzas se miden con las mismas unidades su fórmula se representa de esta manera:

Figura 18

Diagrama de cuerpo libre

$$m = \frac{F}{N} \quad \frac{(Kg)}{(Kg)}$$



La fuerza de fricción se representa de dos maneras se dispone de la fuerza de fricción estática y la fuerza de fricción cinética o dinámica.

La fuerza de fricción estática es la que se necesita para dar el movimiento, si la fuerza tangencial aplicada es menor a dicho valor entonces no existe movimiento, de igual forma si la fuerza de fricción es igual mayor a la tangencial aplicada (Mora & Albañil, 2017).

La fuerza de fricción cinética o dinámica es aquella que es necesaria para mantener movimientos y se considera una fuerza con un valor menor a la fuerza estática.

Las leyes fundamentales de la fricción se clasifican en tres:

- ✓ La fuerza de fricción es proporcional a la fuerza normal y se representa de la siguiente manera

$$F = m * N$$

- ✓ La fuerza de fricción es aquella que es independiente del área de contacto, por este motivo los objetos grandes y pequeños del mismo material pueden presentar el mismo coeficiente de fricción.
- ✓ La fuerza de fricción teóricamente es independiente de la velocidad del deslizamiento, aunque no se representa así en la vida real debido a que existen materiales sensibles a la fricción, a la presión, a la velocidad y a la temperatura.

Desgaste

Es una de las maneras más impresionantes de degradación de piezas ya que se puede observar en distintos tipos sea elementos mecánicos como equipos industriales o herramientas básicas. El desgate se considera como un efecto nocivo y no deseado que además de disipar

energía mecánica producida a lo largo de un tiempo deteriora un órgano mecánico sin que este llegue a sufrir una rotura (Ludema & Ajayi, 2018)

Un desgaste puede significar un daño superficial en materiales que han sufrido determinadas condiciones de trabajo a lo largo de un periodo, el resultado principal del desgaste es la pérdida parcial o total de la pieza o del material y la subsiguiente disminución de sus dimensiones por lo tanto muchas veces pierde en total la tolerancia de la pieza (Ludema & Ajayi, 2018)

Tipos De Desgaste

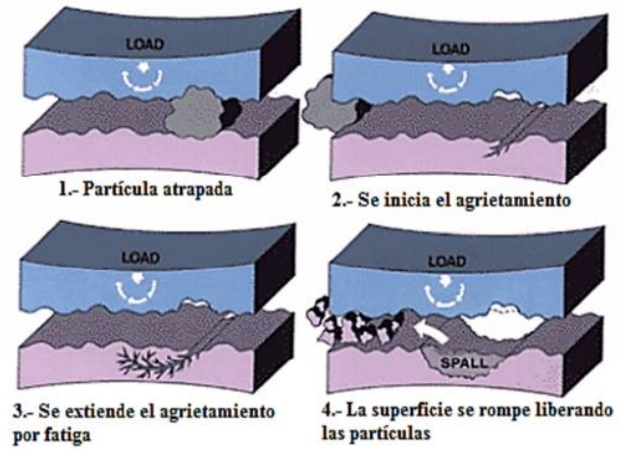
Desgaste Por Fatiga De Contacto

El desgaste por fatiga ocurre cuando una o varias piezas son sometidas a elevados esfuerzos, por los cuales se empiezan a ser notables la propagación de grietas bajo la acción repetitiva de estos, de igual manera al momento de que las piezas están sometidas a deslizamientos continuos, las capas superficiales sufren penetrantes deformaciones como resultado de la acción simultanea de las tensiones en contacto y de la fuerza que produce la fricción (Cardenas & Torres, 2012).

Al momento de observar microscópicamente las piezas sometidas a desgastes se puede ver el aparecimiento de transformaciones micro estructurales o descohesiones localizadas que conllevan al daño de las superficies (Mora & Albañil, 2017).

Figura 19

Proceso de desgaste por fatiga de contacto



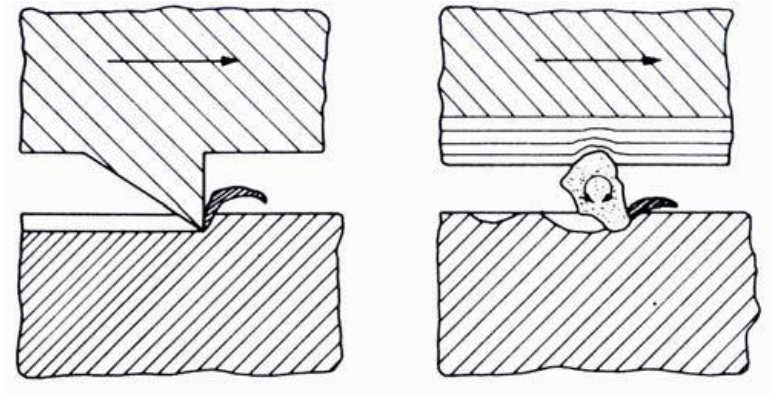
Al momento en que se puede observar las piezas con desgaste en ese momento es cuando ya prexiste un agrietamiento. Esas grietas se propagan después a estrés frecuentemente sobre la carga de apoyo. Finalmente, en la superficie se produce una raja de esta manera el material reduce su vida útil de manera significativa, teniendo así abrasión y rayados en la superficie (Cardenas & Torres, 2012).

Desgaste Por Abrasión

El desgaste por abrasión se da cuando en la superficie de una o varias piezas en fricción poseen fluidos o partículas duras suspendidas entre ambas superficies. Estas partículas o fluidos producen agrietamientos (Ludema & Ajayi, 2018)

Figura 20

Proceso de desgaste por abrasión



a) de alto esfuerzo b) de bajo esfuerzo

En la figura 20 se muestra una abrasión de alto esfuerzo es decir que se produce un agrietamiento o un desgate mayoritario que se podría conocer como pérdida total de la pieza, ya que la misma perdería eficacia al ser usada. De igual manera podemos observar un desgaste de bajo esfuerzo provocado por partículas duras sueltas entre las superficies que se encuentran en movimiento (Ludema & Ajayi, 2018)

Desgaste Por Deslizamiento

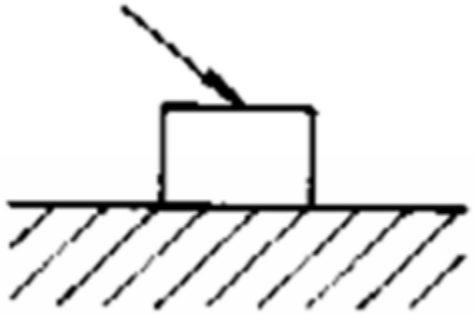
Se considera un desgaste por deslizamiento al momento en el cual una superficie está en contacto con otra y existe un movimiento relativo entre sí con una carga aplicada, el daño se va a lograr percibir en la superficie de la pieza.

Al momento del deslizamiento ocurren transiciones en la tasa de desgaste que se ven afectadas por distintos factores, tanto como la carga, velocidad y distancia o condiciones ambientales tales como las altas temperaturas, húmedas entre otros. Con el aumento de la carga normal ocurre una transición de desgaste que va desde el moderado al severo debido a que ocurre la ruptura de la superficie (Cardenas & Torres, 2012).

Al instante que ocurre la ruptura en la superficie instantáneamente el desgaste aumenta de forma lineal hasta que ocurre una segunda transición y ocurre una nueva ruptura llamada desgaste moderado.

Figura 21

Desgaste por deslizamiento

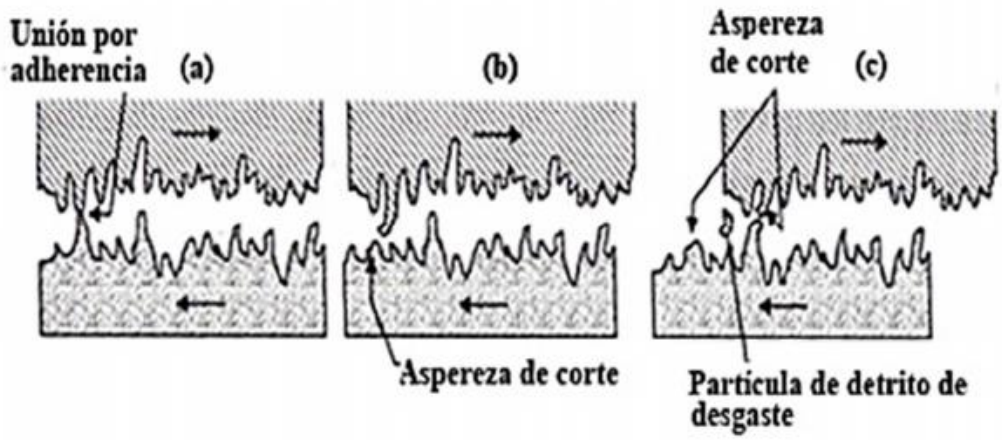


Desgaste Adhesivo

Al momento de hablar de un desgaste adhesivo se requiere explicar que se produce cuando dos superficies se deslizan una contra la otra sometidas bajo una presión, los puntos de contacto o irregularidades en la unión donde existe el deslizamiento llevan a que las fuerzas de deslizamiento fracturen la unión, así se produce un desgarre en el material de la superficie y la transfiere a la otra, de esa manera se ocasiona un daño grave (Ludema & Ajayi, 2018).

Figura 22

Desgaste adhesivo entre dos piezas



Fuerzas De Frenado y Adherencias

El sistema de frenos de un automóvil es una consecuencia a una acción de fuerzas de rozamiento que se desarrollan en los frenos y con ayuda de la resistencia a la rodadura, resistencias opuestas por el aire y la acción de frenado del motor, reducen progresivamente la velocidad del vehículo (Alonso, 2015).

Al momento de que el vehículo comienza su frenado progresivo se genera una fuerza constante que anula la energía cinética, con esto se llega a determinar en la parte posterior del vehículo que mientras se realiza el frenado las zapatas y el tambor de freno mantienen una adherencia mayor y de esta manera se produce la acción del frenado (Alonso, 2015)

En el punto en cuando el vehículo logra el frenado progresivo mantiene primeramente un contacto entre el suelo y el neumático llevando a cabo una fricción o resistencia principal llamada resistencia a la rodadura.

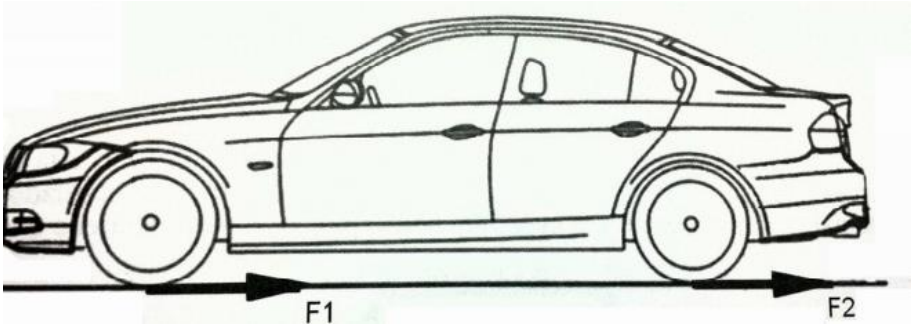
Resistencia A La Rodadura

Se conoce a la resistencia a la rodadura como la resistencia aerodinámica del vehículo que conllevan distintas fuerzas retardadoras al momento del frenado, esta ayuda al proceso

durante el proceso de desaceleración. Esta resistencia estudia el proceso de la fricción entre el neumático y el suelo y las perdidas mecánicas en el sistema de la transmisión.

Figura 23

Resistencia a la rodadura



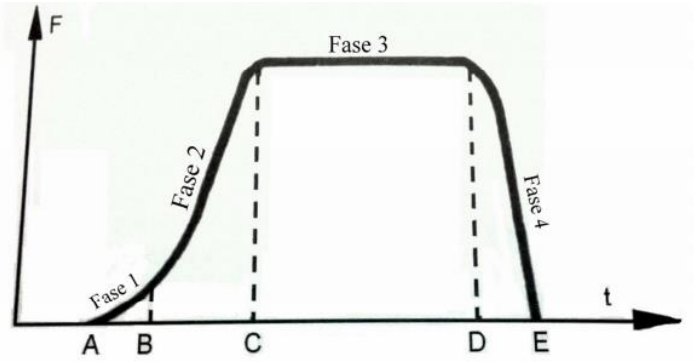
Al momento del frenado se crea una fuerza horizontal denominada F1 y otra fuerza llamada F2 estas se aplican en el vehículo a su vez el vehículo decrece en cada unidad de tiempo constante denominada desaceleración que se mide en m/s^2 (Alonso, 2015).

En el instante en que el conductor pisa el pedal de freno la desaceleración del vehículo es progresiva y se mantiene cuatro fases de movimiento:

- ✓ La primera fase comienza desde que el conductor deja de presionar el pedal de freno, es ahí cuando empieza la acción retardadora.
- ✓ La segunda fase es donde va a lograr un valor normal del esfuerzo moroso.
- ✓ La tercera fase empieza cuando el frenado llega a su mayor eficacia hasta que el vehículo se detiene totalmente.
- ✓ La cuarta fase transcurre en el momento en que dé deja de aprisionar el pedal hasta que el sistema de frenos quede desactivado.

Figura 24

Fases de desaceleración de un vehículo



Al momento de que el vehículo tiende a detenerse completamente este se ha deslizado sobre una superficie y ha cumplido una distancia, a esta distancia se la conoce como distancia de frenado.

La distancia del frenado depende de la presión que se ejecuta sobre el pedal de freno así mismo de la fuerza de adherencia del neumático al suelo y de la velocidad del vehículo al momento de frenar (Alonso, 2015).

Resistencia Del Motor y Transmisión

La resistencia del motor es muy importante al momento del frenado ya que existe un par resistente que ofrece el motor en este tipo de procesos, a su vez este permanece conectado a través de las ruedas de la transmisión, de esta manera se logra obtener un número importante de revoluciones que disminuyen al momento del frenado, hasta que el motor obtenga un numero de intervalos muy pequeños y se detenga por completo.

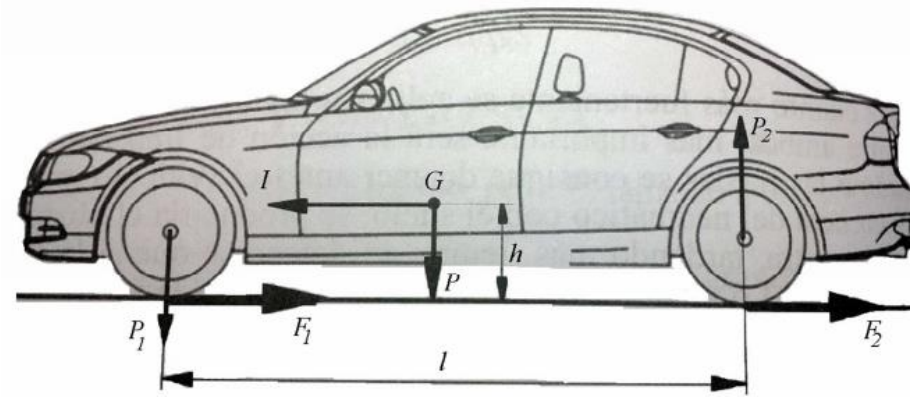
Si al momento de la desaceleración deseamos frenar el vehículo de una manera abrupta y el motor se encuentra embragado, los requerimientos solicitados por el sistema de frenos serán mucho mayores que si desembragamos el motor para realizar la frenada.

Reparto De Fuerzas De Frenado

Al momento de repartir las fuerzas primeramente se debe tener en cuenta que el eje trasero posee menor peso, de esta manera las ruedas posteriores no se bloquearan. Cuando se realiza la acción del frenado existe una fuerza de inercia (I) que esta aplicada al centro de gravedad (G) del vehículo, esta genera una transferencia de cargas del eje trasero al eje delantero, así no solo el eje trasero tendrá menor peso, sino que además por la dinámica vehicular siempre que se accione el pedal de freno la carga se dispondrá en el eje delantero (Arias, 2004).

Figura 25

Reparto de fuerzas en un vehículo



Es importante que se distinga el valor de la transferencia de las cargas que se causa al momento de frenar del eje trasero al eje delantero, esto dependerá de la altura del centro de gravedad *h* del vehículo y de la batalla del vehículo *l*, es decir, su distancia entre ejes.

Con estas variables, las fuerzas de frenado que se aplican en el eje delantero no son iguales a las del eje posterior. Si se realizan cálculos para saber qué porcentaje total se concede al momento de la frenada, se debe analizar a partir del coeficiente de fricción neumático que su valor constante es de m=0.8.

De esta manera se puede lograr observar que el reparto de las fuerzas seria de un 0.75% en la parte delantera y de un 0.25% en la parte posterior del vehículo.

Método

Para el análisis de esta investigación se aplicará un método cuantitativo en el cual se tomarán muestras de varios materiales de zapatas a base de fibras orgánicas y se empacaran con sus respectivos tratamientos térmicos, para el desarrollo del proceso se le aplicará un elemento de desgaste abrasivo al tambor de freno y se colocará las zapatas empacadas con los distintos materiales, estas zapatas permanecerán inmóviles mientras que el tambor con el elemento abrasivo girara a varias revoluciones y tiempos, se han estipulados tiempos de 10,20 y 30 segundos con 5 pruebas en cada lapso de tiempo, de esta manera se podrá obtener un promedio en cada prueba, estas muestras se darán en distintas revoluciones que en este caso serán de 595 RPM – 900 RPM- 1105 RPM.

Se estipulo este número de pruebas debido a que se realizó un pre-experimento en el cual no se detallaba claramente unos resultados verídicos, es decir a la primera toma de muestras los datos no fueron concisos.

De esta manera se realizarán 5 pruebas en cada lapso de tiempo con su RPM y así los datos serán promediados para tener unos resultados más específicos y detallados.

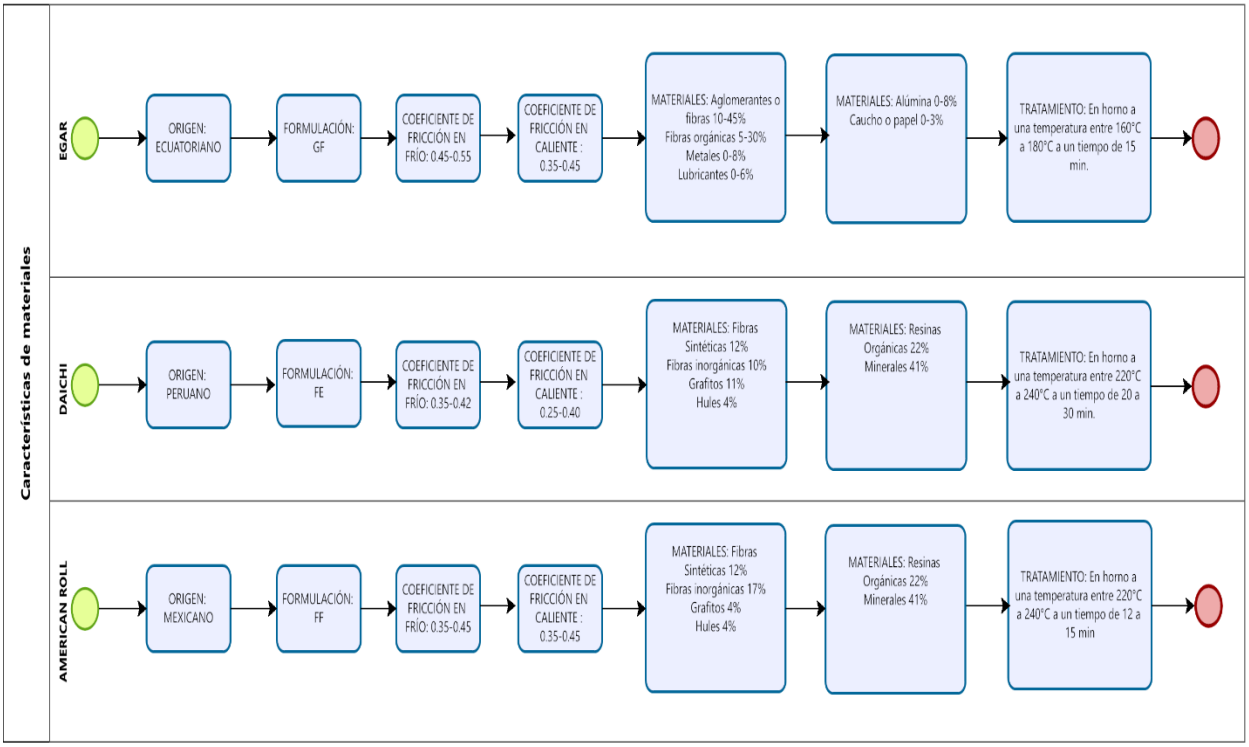
El análisis de desgaste de los materiales se realizará mediante este banco de pruebas que conforma la construcción del sistema de frenos y mantendrá todos los componentes para mayor detalle del funcionamiento del mismo, este será impulsado por medio de un motor eléctrico de 220V que va ser conectado a un eje e impulsará al tambor para realizar giros a distintas revoluciones con ayuda de un variador de frecuencia que será programado con dichas RPM,

adicional se verifico mediante un multímetro la entrega de las RPM correspondientes para no mantener ningún error al momento de la toma de muestras.

Características De Los Revestimientos De Zapatas De Freno a Analizar

Figura 26

Características de los revestimientos.



Egar

El revestimiento de origen ecuatoriano es un producto libre de asbesto, compuesto de fibras minerales y fibras de vidrio con resinas de alta calidad, esto resulta óptimo para brindar un nivel de fricción estable para la aplicación en vehículos livianos.

De igual manera el material Egar fabricado en el ecuador mantiene un rango GF para este material el coeficiente de fricción trabaja de mejor manera en frio que en caliente, por lo tanto, al momento que un vehículo que encuentre a altas velocidades podría tener deslizamientos.

El segmento o revestimiento ecuatoriano es un producto semirrígido de fácil montaje, este material posee un alto frenado en frio al igual que en caliente, en su ficha técnica deduce que posee un menor desgaste y una larga duración en la aplicación a las zapatas de freno. Al igual concluye que los primeros 300km de recorrido sean a una velocidad controlada ya que es necesario el asentamiento del material. Estos revestimientos deben ser curados al horno a una temperatura entre 160°C a 180°C a un tiempo de 15 minutos (Egar, 2019).

Daichi

El revestimiento de material Daichi, es de origen peruano posee una formulación FREN 9518 FE, libre de asbesto, pero en sus componentes destaca la composición de carbón, es un revestimiento de exportación mundial debido a que cumple con la certificación AMECA. Sus rollos no producen ruido y destacan por no ocasionar polvo al momento del frenado.

Según la ficha técnica del material posee una duración de vida útil entre los 30000 km a 35000 km, es decir que en tiempo duraría aproximadamente 1 año en los vehículos livianos (Daichi, 2001).

Este material trabaja en un rango muy diferente, la nomenclatura FE se denomina a los materiales que trabajan más fuerte en frio que en caliente. Es decir que este material puede producir deslizamientos a altas velocidades.

Este material es altamente flexible con resina modificada y curada, esto permite que exista una adaptación ideal al momento del curado dentro del horno, la temperatura que exige su fabricante es que vaya desde los 220°C a 240°C en un tiempo de 20 a 30 min dependiendo de cómo incremente su temperatura. Su punto de quiebre en la resina es a los 500°C lo cual permite que no exista una disminución al momento del frenado, este revestimiento brinda hasta 300° más fríos que otros materiales de freno ya que con sus componentes ayuda al enfriado (Daichi, 2001)

American Roll

El empaque de Zapata “American Roll”, es de origen mexicano posee una formulación S-46 NA que está compuesto por materiales que permiten tener un coeficiente de fricción FF, es libre de asbesto y contiene fibras minerales amigables con la salud y el medio ambiente, además de poseer una excelente fricción.

El coeficiente de fricción del material American Roll el cual detalla que su rango trabaja tanto en frio como en caliente, de tal manera indica que este empaque posee un buen agarre en el frenado en ambas temperaturas.

Las recomendaciones para el curado o remachado de las zapatas consisten en usar un pegamento a base de vinil-fenol para lograr una adhesión máxima entre balata y zapata, se debe implementar un molde con una prensa para ingresar al horno y ser vulcanizado a una temperatura de 220°C a 240°C entre un lapso de 12 a 15 minutos, dependiendo de las medidas de la zapata (American Roll, 2015)

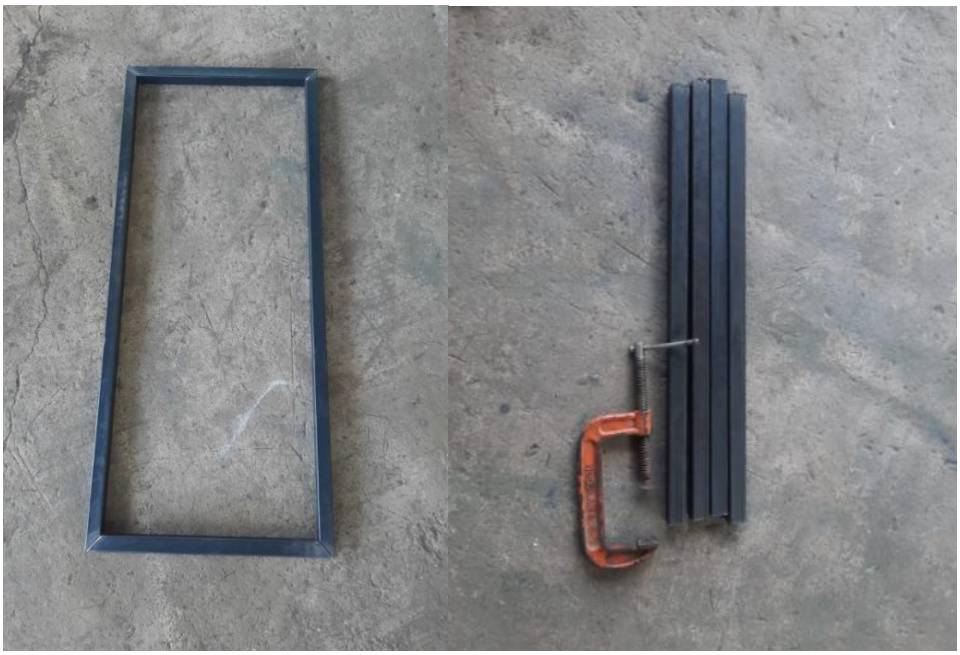
Construcción Banco De Pruebas

El banco de pruebas se construirá con los componentes que un sistema de frenos posteriores posee, en donde cada elemento cumplirá una función importante para lograr entender el funcionamiento del sistema de frenos y realizar el análisis de desgaste.

Para la construcción del banco de pruebas se implementará una estructura metálica en donde se instalarán todos los componentes antes mencionados. Se utilizará un acero A36 debido a que en el mercado es el más comercial.

Figura 27

Construcción estructura metálica.



Se colocará en la parte superior una plancha de rol de 9 mm de espesor, con dimensiones de 123x65, como se muestra en la figura 27.

Figura 28

Construcción e instalación de plancha en estructura metálica.

El motor que impulsará el giro al eje será instalado en el centro de la mesa, este trabajará a 220V, con una potencia de ½ HP. Adicional se colocará con una polea de 2”1/2 de diámetro

para enviar el giro al eje que estará conectado al tambor de freno que será el componente giratorio.

Figura 29

Instalación de Motor.

En la figura 29 y tabla 1 se detallará las características del motor, para este proyecto es importante saber las revoluciones al igual que su potencia ya que serán de ayuda al momento de variar la velocidad de esta manera se podrá adquirir desgastes de los materiales a altas y bajas revoluciones y realizar una comparación de los mismos.

Figura 30

Características placa de motor.

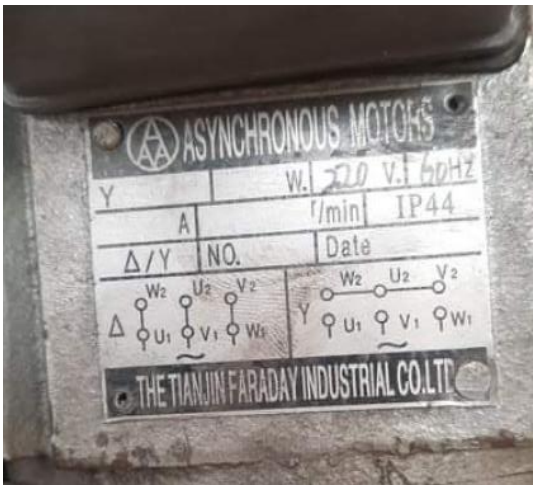


Tabla 1

Características Motor Eléctrico 1HP

Características	
Voltaje	220V
Potencia	1HP
Corriente	20A
Frecuencia	60Hz
Revoluciones	1800 rpm

Figura 31
Instalación de poleas en motor y eje

Se colocarán poleas para enviar el movimiento desde el motor hasta el eje del tambor, teniendo en cuenta que se tendrá una polea motriz de 2 ½ y una polea conducida de 5 pulgadas las cuales deben mantener distintos diámetros para que las revoluciones varíen.

La variación de velocidades se realizará mediante un variador de frecuencia CFW100 MICRO DRIVE que nos permitirá controlar la velocidad y el torque del motor trifásico, de esta manera se programaran 3 tipos de revoluciones.

En la tabla 2 se da a conocer la siguiente característica de funcionalidad del variador CFW100.

Tabla 2

Características variador de frecuencia CFW100

Características	
Tamaño	A
Corriente nominal	1.6 A
Numero de fases	Alimentación
Tensión nominal	200V-240V

Se realizó la instalación del variador dentro de un cajetín para mayor seguridad del mismo y un mejor acople en el banco de pruebas. De esta manera se llevarán las conexiones mediante cable concéntrico flextel 4x18AWG, adicional se usó terminal V1511 hembra con aislante para evitar cualquier tipo de recalentamiento la programación del mismo se realizó mediante su pantalla en donde se puede seleccionar los parámetros tanto como incrementar la frecuencia o disminuirla y adicional se puede variar el giro del motor. A su vez se instaló un interruptor termo magnético bipolar 2P, NXB-63 marca chint C10.

Figura 32

Variador de frecuencia CFW100.

El variador de frecuencia está programado para entregar 3 tipos de velocidades distintas mediante un interruptor de 3 posiciones y adicional se le coloco un botón de emergencia el cual permite la simulación del freno de mano, también posee un led por el cual se observar cuando el variador ya está energizado, adicional se implementó un interruptor de 2 posiciones para ON/OFF.

Figura 33

Tablero de control de variador de frecuencia.

Para que el motor comparta el movimiento hacia el tambor se realizó un eje de 55.79 mm medidas que estará montado sobre una pequeña estructura de esta manera el eje tendrá elevación y se podrá adaptar la parte fija del sistema de frenos posterior. Este eje se conectará al motor mediante una banda de accesorios, el tambor será un objeto móvil es decir será desmontable y se asegurara mediante una rosca, de esta manera se dará el giro al tambor y se lograra visualizar el movimiento que realiza el tambor en un vehículo automotor.

Figura 34

Eje del tambor.

Figura 35

Tambor de corsa evolution.

La parte fija del banco de pruebas será el plato en conjunto con todos los elementos del sistema de frenos el cual se mantendrá fijo a la mesa de esta manera podrá ser regulado para analizar el desgaste mientras el tambor gira a sus diferentes revoluciones.

Figura 36

Plato de freno posterior con componentes montado en eje.

Finalmente, para el funcionamiento del banco de pruebas se colocó cable de poder con un enchufe cooper 125/250V 20 A color amarillo.

Figura 37

Toma corriente de 3 patas.

En las figuras 37 y 38 se puede observar el banco de pruebas terminado con todos los componentes antes mencionados y detallados adicional se debe mencionar que los componentes de freno que se utilizaran son de un vehículo corsa evolution año 2012.

Figura 38

Banco de pruebas.

Figura 39

Banco de pruebas finalizado.

Para comenzar con los análisis se procede a empacar las zapatas del vehiculó modelo corsa evolution con los diferentes materiales, como se puede observar en la figura 39. Una característica importante que cabe mencionar es que los distintos materiales son curados a varias temperaturas como indica su fabricante, estas temperaturas se pueden encontrar en el método de este proyecto.

Figura 40

Proceso de empaque de zapatas.

Para las pruebas de desgaste se colocó un elemento abrasivo dentro del tambor de freno conocida como lija R-13 a base de alúmina zirconica que se puede observar en la fig.46.

Figura 41

Tambor con elemento abrasivo

La característica de esta lija se puede observar en la tabla 3. Es de uso especial para el sector automotriz ya que es el perfecto aliado para desbaste de materiales duros o blandos, trabaja excelente en aceros inoxidables, al alto carbón y templados.

Tabla 3

Características de la lija R-13

Características	
Dorso	Poliéster-algodón
Mineral	Alúmina zirconia
Grados	FEPA; P024, P036 a P120

Nota: Tabla tomada de (Fandeli,2020).

Una vez construido el banco de pruebas y con las zapatas empacadas con los distintos materiales se procede a realizar las pruebas de desgaste y comparación entre los mismos, en primer lugar, se mide la masa inicial de cada zapata en gramos y se mide el espesor del material con un pie de rey en mm esto antes de la prueba de desgaste.

Se realiza tres pruebas con cada uno de los materiales a velocidades diferentes proporcionadas por el variador de frecuencia una vez que se gira el switch a ON el variador se lo puede regular a tres distintas velocidades la primera de 595 RPM, la segunda a 900RPM y la tercera a 1105RPM, estas tres velocidades darán giro al tambor por el cual se podrá observar cómo funciona el sistema de frenos y de esa manera se comenzará con las pruebas de desgaste.

La primera prueba consta de mantener el material a una velocidad de 595 RPM a 10 segundos, una vez transcurrido este tiempo en el cajetín del variador se dispone un paro de emergencia que simula la acción de freno, una vez que el banco de pruebas se detiene por completo se desarmar y se toma la medida de desgaste de masa y de grosor.

La segunda prueba trabaja a una velocidad de 900RPM a 20 segundos de esta manera el material se somete a una velocidad mayor y un tiempo adicional para lograr observar un desgaste mayor.

La tercera prueba se caracteriza principalmente porque el material está siendo trabajado a una velocidad de 1105RPM en este caso con un tiempo de 30 segundos. De esta manera se completaría con las tres pruebas el tiempo a 1min por cada material.

Al finalizar la prueba se toma el siguiente material y se realizan las mismas pruebas antes mencionadas.

A demás, existe en el cajetín del variador un switch de OFF por el cual también se lograría el detenimiento del banco de pruebas.

Modelo Matemático

Al realizar un modelo matemático del banco de pruebas se realizan las siguientes consideraciones:

La velocidad angular de entrada al motor no es la misma que la velocidad angular de salida del motor.

La velocidad angular se definirá con su ecuación original.

La velocidad lineal en km/h se detallará con una ecuación deducida entre varias ecuaciones a partir de la velocidad angular.

La velocidad lineal final de cada RPM demostrará la velocidad en Km/h con la que el banco de pruebas podrá asemejarse a la realidad con las velocidades de un vehículo.

El variador de frecuencia entrega valores en Hz que fueron convertidos a RPM para lograr entender de mejor manera las ecuaciones con las que se trabajara.

Para mayor detalle en la tabla 4 se detallan los valores de Hz a RPM.

Tabla 4

Conversión de Hz a RPM

Frecuencia	RPM
19.83Hz	1190
30.5Hz	1800
36.8Hz	2210

Para encontrar las velocidades angulares de cada RPM con el que gira el eje se implementa la siguiente ecuación(5) (Lent, 1974).

$$w = \frac{\theta}{t} \qquad (1)$$

Adicional se establecen los resultados en la siguiente tabla:

Tabla 5

Velocidad Angular

RPM	Velocidad angular (w)
595	$1190\frac{\pi rad}{seg}$
900	$1800\frac{\pi rad}{seg}$
1105	$2210\frac{\pi rad}{seg}$

Una vez obtenido los datos de la velocidad angular se los puede aplicar a la ecuación(5) de la velocidad lineal, que es aquella que nos entrega un valor del desplazamiento lineal por unidad de tiempo esto se debe medir en km/h, ya que es necesario validar que nuestro banco de pruebas entregue unas velocidades relacionadas a la realidad de un vehículo (Lent, 1974).

$$v = w * r \quad (2)$$

A partir de esta ecuación(5)se deducirán ecuaciones en las que nos permitirán encontrar la velocidad lineal en km/h.

Como se observar en la ecuación(5) la r se refiere al radio del objeto con el cual se plantea medir la velocidad lineal, para nuestro banco de pruebas el radio del tambor se podrá referir como r teniendo un valor de $r = 0.11m$.

La velocidad angular del tambor en RPM podemos convertir en m/s con la siguiente ecuación(5).

$$v_{\frac{m}{s}} = r * \frac{2\pi}{60s} \quad (3)$$

Para convertir la velocidad de m/s a km/h se aplica la siguiente ecuación(5) deducida de la ecuación (5).

$$v_{\frac{km}{h}} = \frac{3600s}{1000} * v_{\frac{m}{s}} \quad (4)$$

Con las anteriores ecuaciones se puede deducir la relación entre ambas y pasar de RPM a km/h con la siguiente ecuación(5) de esta manera obtener los km/h que se relacionaran a la realidad en el banco de pruebas.

$$v = \frac{3600s}{1000} * r * \frac{2\pi}{60s} * w \quad (5)$$

En la siguiente tabla se podrá visualizar los resultados aplicados con las ecuaciones antes mencionadas.

Tabla 6

Velocidad Lineal km/h

Velocidad angular	Velocidad lineal	Velocidad aproximada
1190RPM	49.34 km/h	50km
1800RPM	74.64 km/h	75km
2210RPM	91.64 km/	95km

A partir de esta tabla se puede validar que el banco de pruebas donde se lleva a cabo los análisis de desgaste entrega velocidades aproximadas a la realidad de un vehículo, tenemos como consideración una velocidad baja de 50km una velocidad media de 75km y una velocidad alta de 95km.

Instrumentos De Medición

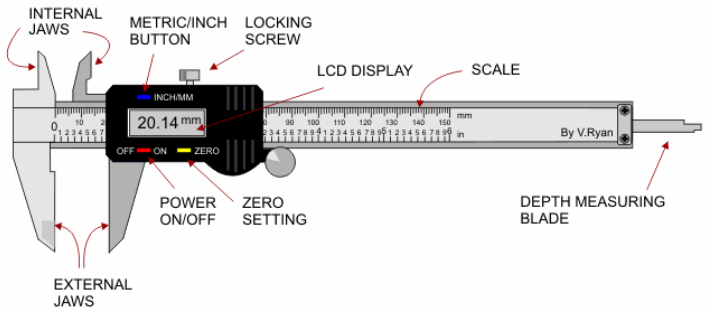
Los instrumentos de medición son aquellos que permiten medir longitud, volumen o extensión de un elemento de distintos fenómenos, de tal manera entregar un valor numérico. En esta investigación se utiliza dos instrumentos.

Calibrador o Vernier

Es un instrumento muy habitual en la industria de la mecánica automotriz, con el cual se miden características de longitud, a su vez mide diámetros exteriores e interiores y de profundidad. Este posee una escala base graduada en milímetros y un nonio que se refiere a una segunda escala auxiliar que entrega valores con mayor exactitud o precisión.

Figura 42

Calibrador o Vernier



Balanza Digital

Las balanzas digitales son instrumentos de pesajes, las cuales utilizan la acción de gravedad para determinar la masa de un objeto, se compone de un receptor de carga llamado plato donde se coloca el objeto a pesar, de esta manera el resultado aparecerá reflejado en un dispositivo indicador mostrando el resultado en gramos.

Figura 43

Balanza Digital

Resultados

A continuación, se presentan los datos y resultados durante las pruebas de desgaste de los materiales de zapatas de freno a base de fibras orgánicas.

En primer punto, se establece la relación de transmisión entre la polea motriz que en este caso sería el motor y la polea conductora que correspondería al eje del tambor, en la tabla 4 se puede observar los resultados.

Tabla 7

Relación de transmisión y revoluciones Motor-Eje.

Componentes	Diámetro	RPM	Relación de transmisión
Motor	63.5mm	1800	1 vuelta
Eje del tambor	127mm	595	½ vuelta

En segundo lugar, los lapsos de tiempo tomados en cuenta para estas pruebas se las realizo con la intención de mantener un desgaste promedio en el lapso de 1 min, de tal modo se podría saber cuánto desgaste tendría en una hora bajo la modalidad de prueba en el banco antes mencionado.

Análisis De Desgaste Material "Daichi"

Se puede observar en la tabla 5 los valores de desgaste entre la variación de 10 segundos, para esto se tomó 5 pruebas en cada lapso de tiempo del cual se tomará un promedio, de igual manera se tomó el espesor y las masas tanto iniciales como finales en cada prueba, adicional se realiza una medida en donde se esclarece la desviación estándar de cada ítem, los resultados se establecen en unidades de mm para los espesores y en gramos para las masa dando a conocer el desgaste promedio tanto en masa como en espesor, para estas muestras la pérdida de espesor final promedio seria de 0.02 mm y en peso perdido promedio se vería reflejado un total de 0.8 gr.

Tabla 8

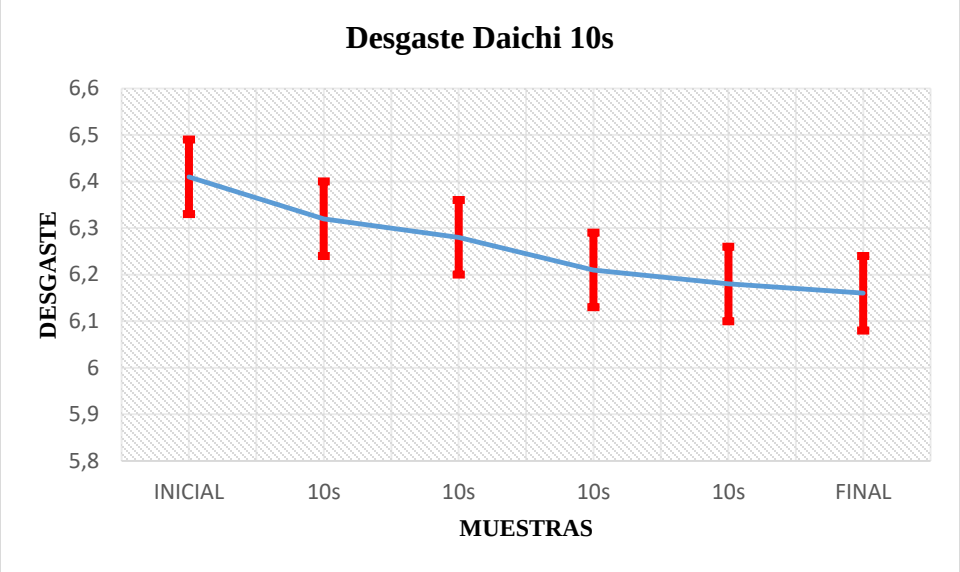
Desgaste Daichi 10 seg-500RPM

Material	**Tiempo (s)**	**Espesor inicial(mm)**	**Masa inicial (gr)**	**RPM**	**Espesor final**	**Masa final**
Daichi	**10s**	6.41	268	**500**	6.32	267
Daichi	**10s**	6.32	267	**500**	6.28	266
Daichi	**10s**	6.28	266	**500**	6.21	266
Daichi	**10s**	6.21	266	**500**	6.18	264
Daichi	**10s**	6.18	264	**500**	6.16	264
Promedio	**-**	**6.28**	**266.2**	**-**	**6.23**	**265.4**
Desviación Estándar	**-**	**0.08**	**1.32**	**-**	**0.06**	**1.20**

En la figura 41 se puede denotar el cambio producido al momento de que el material comienza con las pruebas respectivas, como se puede visualizar la curva va decreciendo mediante el tiempo transcurrido, adicional se logra distinguir en líneas rojas la desviación estándar de estas medidas.

Figura 44

Desgaste vs Tiempo Daichi 10s



En la tabla 6 se expresan los datos adquiridos al momento de tomar 5 muestras en lapsos de 20 segundos, como se puede observar el desgaste del material comienza a ser más visible teniendo en cuenta que posee un peso promedio inicial de 262 gramos y terminando con un peso promedio final de 261.2, adicional a esto el espesor perdido es de 0.03mm como se puede verificar en la tabla, el último dato en la tabla hace referencia a la desviación estándar de los distintos ítems como se puede apreciar los mismos datos poseen valores muy minúsculo los cuales nos ayudan a esclarecer que el porcentaje de error en la toma de muestras es imperceptible.

Tabla 9

Desgaste Daichi 20seg-900RPM

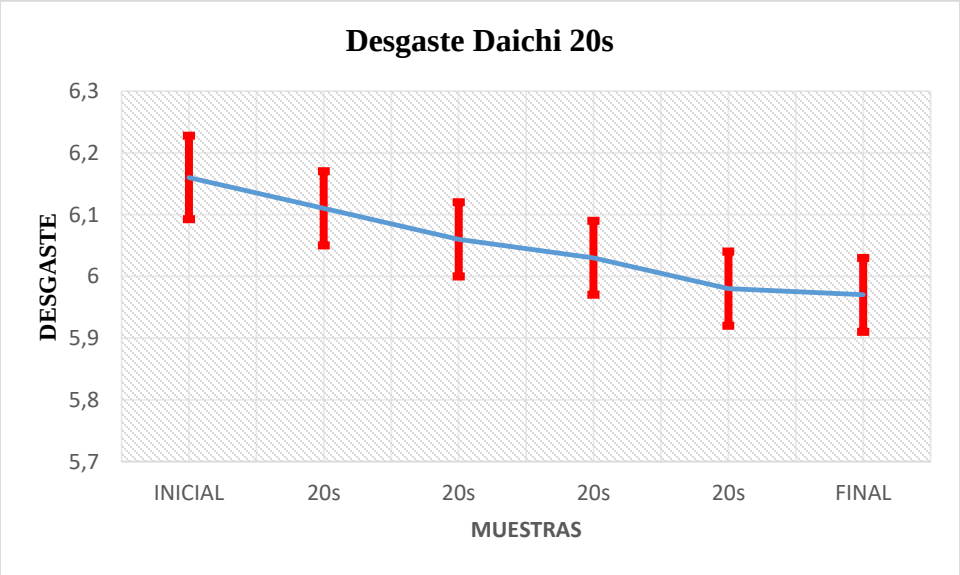
Material	**Tiempo (s)**	**Espesor inicial(mm)**	**Masa inicial (gr)**	**RPM**	**Espesor final**	**Masa final**
Daichi	**20s**	6.16	264	**900**	6.11	263
Daichi	**20s**	6.11	263	**900**	6.06	262
Daichi	**20s**	6.06	262	**900**	6.03	262

Daichi	**20s**	6.03	261	**900**	5.98	260
Daichi	**20s**	5.98	260	**900**	5.97	259
Promedio	-	**6.06**	**262**	-	**6.03**	**261.2**
Desviación Estándar	-	**0.06**	**1.4**	-	**0.05**	**1.4**

Se observa en la figura 42 una curva decreciente ya que se trata de expresar que el material va perdiendo espesor, en esta muestra la toma inicial se hace referencia a un espesor inicial promedio de 6.06 mm, pero con los lapsos de tiempo va disminuyendo el mismo de tal forma que al finalizar las muestras correspondientes a las 5 tomas termina obteniendo un espesor final promedio de 6.03mm, es decir que el material ha perdido 0.03mm en el lapso de 5 pruebas de 20s. Adicional en la misma figura se expresa la desviación estándar en la cual se puede observar que es mínima en comparación al promedio.

Figura 45

Desgaste vs Tiempo Daichi 20s



En la tabla 7 se puede verificar los datos que se obtuvieron al momento de la toma de muestras a 1105RPM, se tomaron 5 muestras distintas en lapsos de 30 segundos y a continuación se promediaron los datos iniciales y los datos finales tanto en espesores como en masas para poder mantener datos a comparación de la desviación estándar de los mismos como se puede verificar en estas muestras el espesor inicial promedio es de 5.34 mm y el espesor final promedio hace referencia a un valor de 5.07mm, se logra entender que el material ha perdido 0.27mm.

Tabla 10

Desgaste Daichi 30 seg-1105RPM

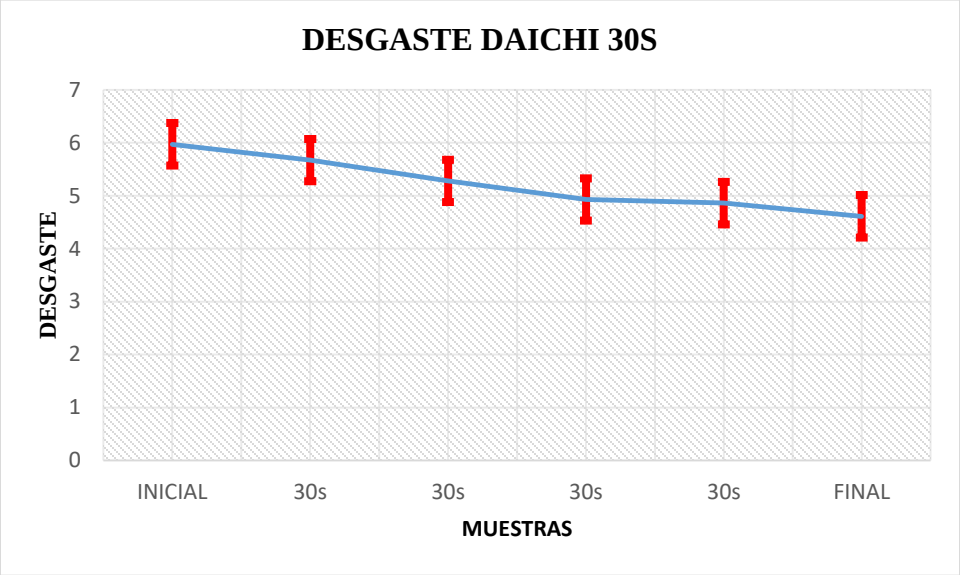
Material	**Tiempo (s)**	**Espesor inicial(mm)**	**Masa inicial (gr)**	**RPM**	**Espesor final**	**Masa final**
Daichi	**30s**	5.97	259	**1105**	5.67	257
Daichi	**30s**	5.67	257	**1105**	5.28	255
Daichi	**30s**	5.28	255	**1105**	4.93	254
Daichi	**30s**	4.93	254	**1105**	4.86	253
Daichi	**30s**	4.86	253	**1105**	4.61	253
Promedio	**-**	**5.34**	**255.6**	**-**	**5.07**	**254.4**
Desviación estándar	**-**	**0.4**	**2.15**	**-**	**0.3**	**1.4**

En la figura 43 los tres primeros valores se muestra una curva levemente descendiente, pero al llegar a la cuarta prueba el material comienza a perder más espesor de tal manera que la curva va decreciendo como se puede observar en la tabla y en la figura la desviación estándar es mínima a comparación del promedio es decir que no hay un porcentaje elevado de error en la

toma de muestras y que se asemeja mucho a la realidad en este lapso de tiempo el material ha perdido mucho más espesor que en las anteriores pruebas.

Figura 46

Desgaste vs Tiempo Daichi 30s



Se da a conocer con las siguientes figuras 44 y figura 45 que el material Daichi en las pruebas reales tuvo un desgaste de espesor de 1.8 mm totales medidos con el calibrador ya que se comenzó las pruebas con un espesor inicial de 6.41mm y obtuvimos un final de 4.61mm adicional se tuvo una pérdida de masa real de 15 gramos, debido a que su masa inicial constaba de 268 gr y su masa final total es de 253gr.

Figura 47

Peso y espesor inicial material Daichi

Figura 48

Peso y espesor final material Daichi

Finalmente, en la tabla 8 se observan los valores de desgaste promedios para todas las medidas de RPM y tiempos al igual que las pérdidas de masa promediados, de esta manera nos podemos dar cuenta que al iniciar el espesor promedio era de 6.28mm y al finalizar se obtuvo un valor de 5.07mm es decir que el material tuvo una pérdida de 1.21mm de espesor. En tanto a masa se comenzó con 266.2 gr y se finalizó con 254.4 gr es decir se obtuvo una pérdida de 11.8 gr.

Tabla 11

Desgaste promedio Daichi

Tiempo	Espesor inicial promedio	Masa inicial promedio	RPM	Espesor final promedio	Masa final promedio
10s	6.28	266.2	500	6.23	265.4
20s	6.06	262	900	6.03	261.2
30s	5.34	255.6	1105	5.07	254.4

En la figura 49 y 50 se puede observar el antes y el después del material consiguiendo observar las deformaciones en el mismo, adicional se colocó la figura 48 para lograr observar el deterioro real de una zapata que fue usada en un vehículo.

Figura 49

Material Daichi antes de ser usado

En la figura 49 se puede visualizar la muestra del material aun no utilizado, y se puede apreciar que está compuesto por fibras, pero a su vez se logra diferenciar minúsculos pedazos de resinas y minerales, siendo estas las partículas que se denotan en color gris.

Figura 50

Material usado en banco de pruebas.

En la figura 50, se observa el material una vez sometido al banco de pruebas con los resultados antes mencionados, se puede apreciar una mancha oscura producto de este material ya que contiene grafito en un porcentaje elevado a comparación de los otros 2 materiales.

Figura 51

Material usado en vehículo.

Para finalizar el análisis de desgaste superficial se tomó una muestra del material usado en un vehículo de trabajo figura 51, en el cual se puede notar los minerales en color gris y un acabo superficial un poco más cristalizado, esto debido a que en el vehículo el desgaste se realiza

mediante la fricción directa con el tambor a comparación con el usado en el banco de pruebas que se utilizó un elemento abrasivo.

Se puede notar tanto en la figura 49 y en la figura 50 que no presenta un cambio extremo en las superficies, esto debido a que el material es flexible, además se puede notar en ambas imágenes la presencia de los minerales que este material posee.

Análisis De Desgaste Material "EGAR"

En la tabla número 9 se observan los siguientes valores los cuales fueron tomados de las pruebas que se realizó al material EGAR que es elaborado en el país, se presencia a comparación del material anterior que posee una dureza mucho más elevada ya que data menor desgaste tanto en masa como en espesor, de igual forma se tomaron 5 pruebas a 500RPM en cada lapso de 10s de las cuales se tomara un promedio para mantener valores aproximados a los reales.

Tabla 12

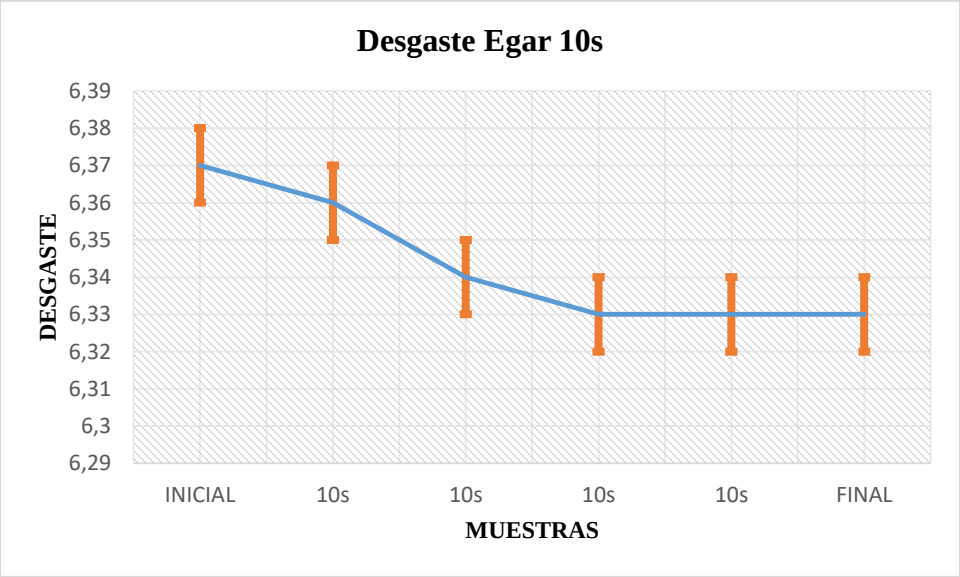
Desgaste Egar 10s-500RPM

Material	**Tiempo (s)**	**Espesor inicial(mm)**	**Masa inicial (gr)**	**RPM**	**Espesor final**	**Masa final**
Egar	**10s**	6.37	264	**500**	6.36	264
Egar	**10s**	6.36	264	**500**	6.34	264
Egar	**10s**	6.34	264	**500**	6.33	263
Egar	**10s**	6.33	263	**500**	6.33	263
Egar	**10s**	6.33	263	**500**	6.33	263
Promedio	**-**	**6.34**	**263.6**	**-**	**6.33**	**263.4**
Desviación estándar	**-**	**0.01**	**0.48**	**-**	**0.01**	**0.43**

En la figura 49 se logra observar la curva en caída en las primeras 4 pruebas al llegar a las últimas pruebas el material se torna más resistente y no tiene mucha diferencia de pérdida de material, las líneas en color naranja representan la desviación estándar no se desemparejan ya que todas poseen un porcentaje de error del 0.01%.

Figura 52

Desgaste vs tiempo Egar 10s



En la tabla 10 se muestran los datos tomados en las pruebas de 900RPM con lapsos de tiempo de 20s, son 5 muestran obtenidas en las cuales se logra visualizar que se empezó con un espesor inicial promedio de 6.24 y termino con un espesor final promedio de 6.20 es decir que en promedio se perdió en espesor 0.04 mm en esta prueba, adicional en peso se perdió 0.2gr.

Tabla 13

Desgaste Egar 20s-900RPM

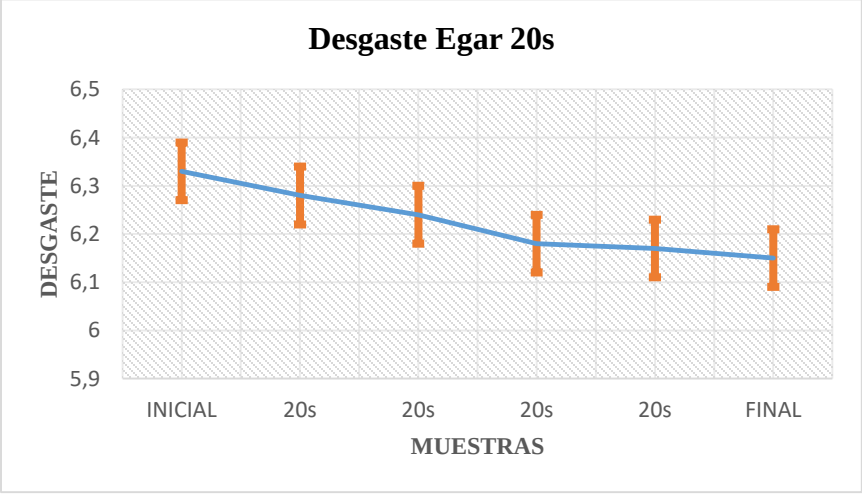
Material	Tiempo (s)	Espesor inicial(mm)	Masa inicial (gr)	RPM	Espesor final	Masa final

Egar	**20s**	6.33	263	**900**	6.28	263
Egar	**20s**	6.28	263	**900**	6.24	262
Egar	**20s**	6.24	262	**900**	6.18	262
Egar	**20s**	6.18	261	**900**	6.17	261
Egar	**20s**	6.17	261	**900**	6.15	261
Promedio	**-**	**6.24**	**262**	**-**	**6.20**	**261.8**
Desviación estándar	**-**	**0.06**	**0.89**	**-**	**0.04**	**0.74**

En la figura 50 se puede observar el desgaste vs el tiempo en las pruebas realizadas a 20s con 900 RPM en donde se ve una curva descendente, en la comparación del promedio con la desviación estándar que se muestra como una línea de color naranja hay un porcentaje de error mínimo al momento de la toma de muestras ya que la desviación posee un valor imperceptible.

Figura 53

Desgaste vs tiempo Egar 20s



En la tabla 11 se proporcionan los datos tomados en las 5 pruebas en tiempos de 30s a 1105 RPM en las cuales se nota en las tablas que es donde más pierden espesor los materiales, al momento de realizar estas pruebas se pudo notar que este material posee una dureza superior en

comparación al anterior material, en esta prueba se comenzó con un espesor inicial promedio de 6.06mm y finalizo con un espesor promedio de 6.00mm es decir se perdió 0.06mm de espesor al igual en masa el peso perdido no tuvo una diferencia se empezó con 260.4 de masa promedio inicial y se finalizó con una masa promedio de los mismos valores.

Tabla 14

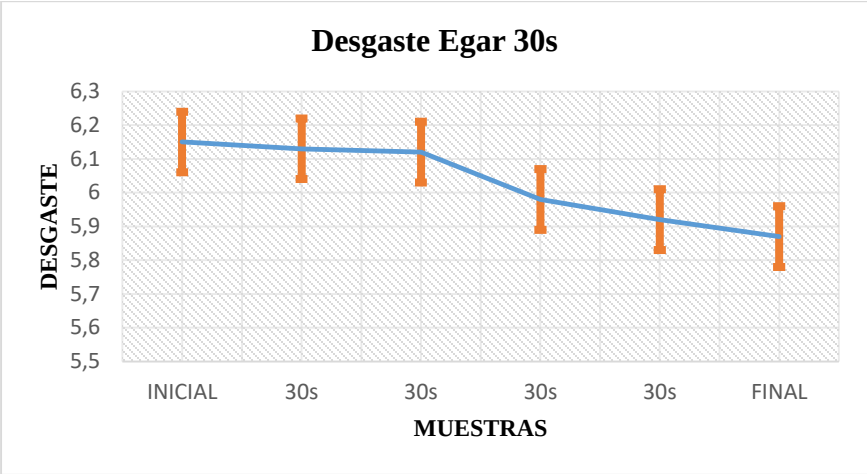
Desgaste Egar 30s-1105RPM

Material	Tiempo (s)	Espesor inicial(mm)	Masa inicial (gr)	RPM	Espesor final	Masa final
Egar	**30s**	6.15	261	**1105**	6.13	261
Egar	**30s**	6.13	261	**1105**	6.12	261
Egar	**30s**	6.12	260	**1105**	5.98	260
Egar	**30s**	5.98	260	**1105**	5.92	260
Egar	**30s**	5.92	260	**1105**	5.87	260
Promedio	**-**	**6.06**	**260.4**	**-**	**6.00**	**260.4**
Desviación estándar	**-**	**0.09**	**0.48**	**-**	**0.10**	**0.48**

A continuación, en la figura 51 se puede observar una gráfica que decrece pasando los lapsos de tiempo pero que conserva una dureza ya que no desciende de los 6.00mm de espesor ni de peso, este material mantiene en promedio una pérdida de 0.06mm y en desviación estándar posee un valor mínimo esto quiere decir que entre los valores iniciales y los valores finales poseen un porcentaje de error mínimo del 0.01%.

Figura 54

Desgaste vs tiempo Egar 30s



Como se pueden observar en las figuras 55 y 56 se tiene valores reales medidos tanto con calibrador y con balanza digital en los que muestran que este material empezó con un espesor real de 6.37mm y termino con espesor real final de 5.87 teniendo una pérdida real de espesor de 0.5 mm a su vez en masa comenzó con un 264gr y finalizo con 260gr es decir que en gramos se perdió 4gramos.

Figura 55

Peso y espesor inicial material Egar.

Figura 56

Peso y espesor final material Egar.

En la siguiente tabla 12 se puede observar que este material resiste el desgaste a un nivel superior ya que los resultados son más favorables que el material anterior, consiguiendo de esta manera menos perdida tanto en masa como en espesor, se puede observar que en espesor inicial promedio a 10s se obtenía 6.34mm y al finalizar con 30s se tiene 6.00mm de espesor es decir que en promedio se ha perdido 0.34mm de espesor y en masa se ha perdido 3.2 gramos, al comparar estos datos con los reales no se tiene mayor diferencia, es decir que se aproximan mucho a los datos reales antes expuestos.

Tabla 15

Desgaste promedio Egar

Tiempo	**Espesor inicial promedio**	**Masa inicial promedio**	**RPM**	**Espesor final promedio**	**Masa final promedio**
10s	6.34	263.6	500	6.33	263.4

20s	6.24	262	900	6.20	261.8
30s	6.06	260.4	1105	6.00	260.4

Se logra visualizar en las figuras 55 y 56 el desgaste antes y después de ser utilizado en el banco de pruebas y en la figura 55y 56 se puede evidenciar el comportamiento de deformación entre una zapata usada en un vehículo real y a su vez después de las pruebas analizadas.

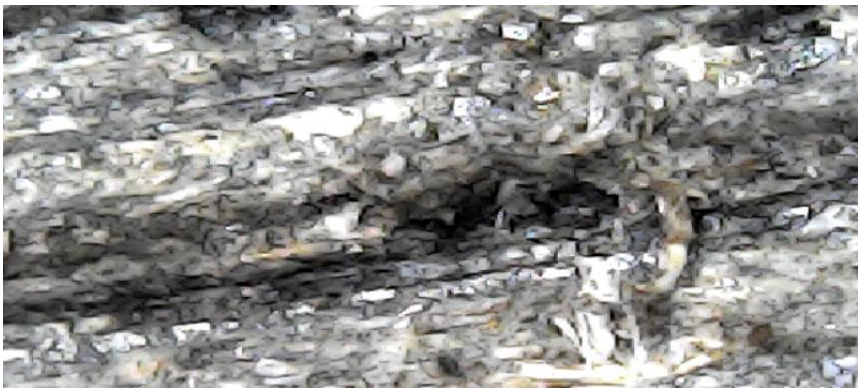
Figura 57

Material Egar antes de usar

En la figura 57 se logra apreciar mediante el microscopio el material de zapata nuevo, en el cual se evidencia la presencia de alúmina y metales en color grises o plateados. Podemos adicional observar una mancha de color marrón en la parte superior derecha que se hace referente a cartón o papel que este material posee en un 3%.

Figura 58

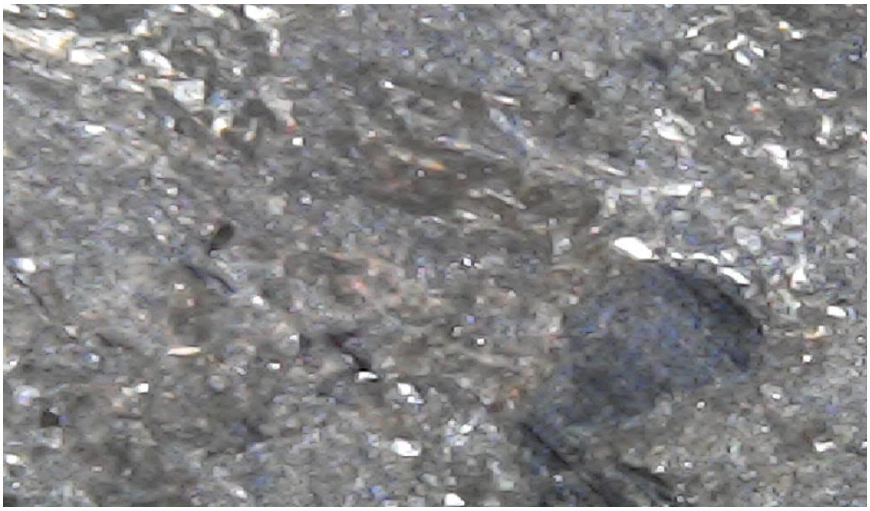
Material Egar después de las pruebas.



En la figura 58, se puede observar las deformaciones superficiales que este material obtuvo después de someterlo al banco de pruebas, en el cual se usó un elemento abrasivo, el cual genero las hendiduras que se pueden observar en la figura antes mencionada, también se puede lograr ver la composición de las fibras orgánicas en forma de quiebres. La parte que se observa en color marrón al igual que en la figura 54 pertenecen al porcentaje de cartón o papel que este material utiliza para ser fabricado.

Figura 59

Material Egar después de usar en un vehículo.



En la figura 59 se obtiene un material utilizado en un vehículo liviano en el cual se puede lograr visualizar que es una figura muy distinta a las anteriores debido a que este material una

vez asentado en el tambor del vehículo toma una característica muy distinta, el tono del material se lo ve un poco más opaco esto debido a que es un material que posee alúmina y lubricantes, debido a estos componentes este empaque se lo considera un material mucho más duradero y rígido.

Análisis De Desgaste Material "AMERICAN ROLL"

En la tabla número 13 se visualiza los resultados con el ultimo material el cual posee un desgaste intermedio a comparación con los materiales anteriores, se considera que este material tiene mucha más flexibilidad a comparación de los otros materiales ya que está compuesta de fibras minerales, se colocara el material a pruebas en lapsos de 5 tiempos a 500RPM para conseguir valores promedios y así analizarlos conjunto con las distintas tablas. Como se puede observar se empiezan las pruebas con un espesor inicial promedio de 6.70 y se finaliza con un espesor final promedio de 6.65 es decir que existe una pérdida de espesor de 0.05mm, así de igual forma en los pesos se tiene una perdida promedio de masa de 0.4 gramos.

Tabla 16

Desgaste American Roll 10s-500RPM

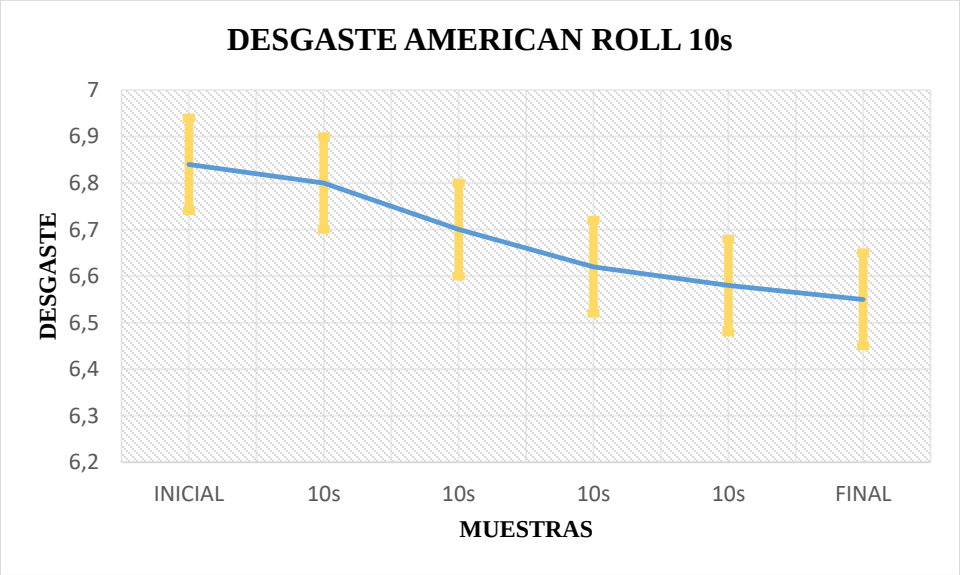
Material	Tiempo (s)	Espesor inicial(mm)	Masa inicial (gr)	RPM	Espesor final	Masa final
AR	**10s**	6.84	269	**500**	6.80	269
AR	**10s**	6.80	269	**500**	6.70	268
AR	**10s**	6.70	268	**500**	6.62	267
AR	**10s**	6.62	267	**500**	6.58	267
AR	**10s**	6.58	267	**500**	6.55	267
Promedio	**-**	**6.70**	**268**	**-**	**6.65**	**267.6**

Desviación estándar	**-**	**0.1**	**0.8**	**-**	**0.1**	**0.9**

En la figura 57 la línea azul es la tendencia de desgaste en comparación al tiempo como se puede visualizar en la muestra final la curva va en deceso como se mencionó antes este material posee una alta flexibilidad por lo que a comparación del primer material este le seguiría con un desgaste intermedio.

Figura 60

Desgaste vs tiempo 10s American Roll



En la tabla 14 se analizan las muestras tomadas a 20s con 900RPM en donde se empezó con un espesor promedio inicial de 6.35 mm y se finalizó con un espesor promedio final de 6.28mm en los cuales la pérdida de espesor es de 0.07mm a su vez en las 5 muestras de masa se obtuvo una masa inicial promedio de 264.6gr y de masa final promedio de 263.6gramos en su totalidad de pérdida de masa de 1gramo.

Tabla 17

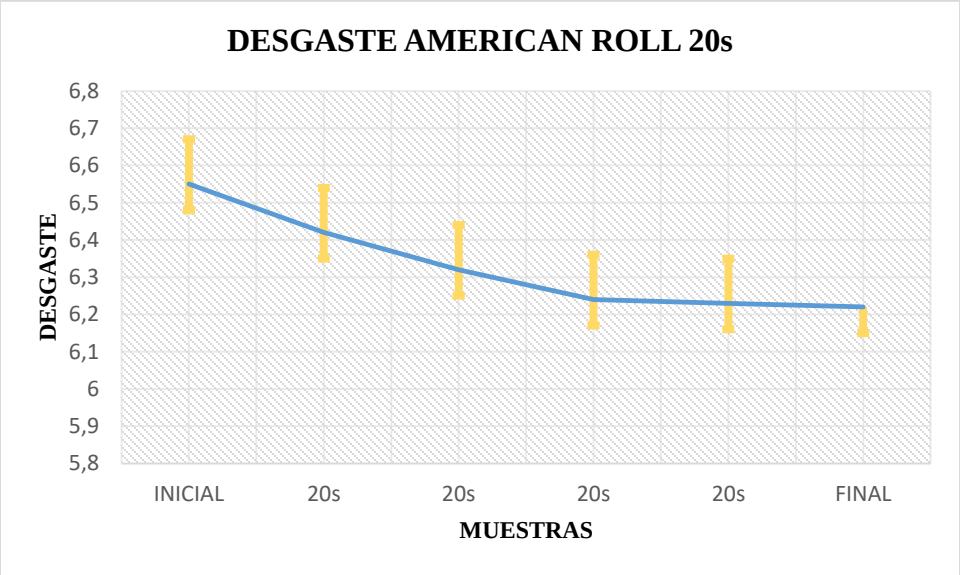
Desgaste American Roll 20s-900RPM

Material	Tiempo (s)	Espesor inicial(mm)	Masa inicial (gr)	RPM	Espesor final	Masa final
AR	**20s**	6.55	267	**900**	6.42	265
AR	**20s**	6.42	265	**900**	6.32	264
AR	**20s**	6.32	264	**900**	6.24	264
AR	**20s**	6.24	264	**900**	6.23	263
AR	**20s**	6.23	263	**900**	6.22	262
Promedio	**-**	**6.35**	**264.6**	**-**	**6.28**	**263.6**
Desviación estándar	**-**	**0.12**	**1.35**	**-**	**0.07**	**1.01**

En la figura 61 se logra obtener una curva en la que se representa el desgaste vs el tiempo a 20s, la tendencia de la curva igualmente es decreciente ya que al pasar el tiempo el desgaste del material es progresivo a su vez se puede observar que el material en las últimas pruebas no mantiene mayor cambio. De igual manera la desviación estándar se detona en color amarillo.

Figura 61

Desgaste vs tiempo 20s American Roll



La tabla 15 representa el desgaste del material de 30s a 1105RPM como se puede observar los datos son tomados en 5 pruebas en las cuales se tomó el espesor inicial promedio de 6.16mm y el promedio de espesor final de 6.15 mm de tal manera que se obtuvo un desgaste total promedio en mm de 0.01 y de masa inicial promedio se obtuvo 261.2 gr y masa final promedio de 260.8, obteniendo de esta manera una perdida en peso promedio de 0.4gramos.

Tabla 18

Desgaste American Roll 30s-1105RPM

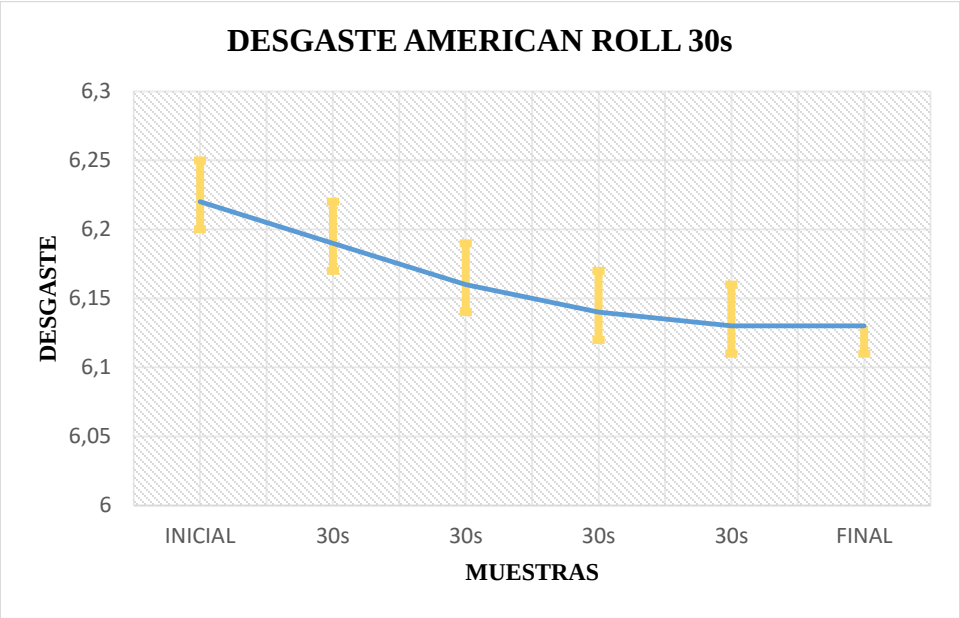
Material	Tiempo (s)	Espesor inicial(mm)	Masa inicial (gr)	RPM	Espesor final	Masa final
AR	**30s**	6.22	262	**1105**	6.19	262
AR	**30s**	6.19	262	**1105**	6.16	261
AR	**30s**	6.16	261	**1105**	6.14	261

AR	**30s**	6.14	261	**1105**	6.13	260
AR	**30s**	6.13	260	**1105**	6.13	260
Promedio	**-**	**6.16**	**261.2**	**-**	**6.15**	**260.8**
Desviación estándar	**-**	**0.03**	**0.7**	**-**	**0.02**	**0.07**

En la figura 62 se encuentra trazada una curva en color azul la cual representa el proceso de desgaste del material a 30s, al iniciar las pruebas el material va desgastándose de tal modo que se logra observar el desgaste en la curva, en color amarillo se puede tener en cuenta la desviación estándar la cual es igualmente mínima a comparar conjunto con el promedio se poseen valores entre 0.03 a 0.02 por lo que se puede dar a entender que el porcentaje de error entre los datos reales y los datos promediados se acercan mucho a la realidad.

Figura 62

Desgaste vs tiempo 30s American Roll.



En las figuras 63 y 64 se observan datos reales tomados con calibrador y balanza digital en las que indican que el espesor inicial es de 6.84mm y espesor final de 6.13mm teniendo una pérdida real de espesor de 0.71mm, al igual se puede visualizar que en masa inicial real se tiene 269 gramos iniciales y finales de 260 gramos al momento de obtener la pérdida de masa real es de 9 gramos.

Figura 63

Peso y espesor inicial American Roll.

Figura 64

Peso y espesor final American Roll

En la tabla número 16 se puede apreciar los resultados obtenidos después de las pruebas en las que se da a conocer que la pérdida de masa está en un rango intermedio entre el primer material y el segundo. Dando a interpretar su excelente fricción.

Adicional se poseen los espesores iniciales y finales promediados a distintas revoluciones al igual que las masas representadas en donde se puede ver que en promedio el espesor perdido es de 0.55 mm y en masa la pérdida promedio es de 7.2 gramos. Al momento de comparar con los datos reales no hay mucha diferencia ya que son valores que se aproximan de tal forma la desviación estándar tendría como dato correcto tener un porcentaje mínimo.

Tabla 19

Desgaste promedio American Roll

Tiempo	Espesor inicial promedio	Masa inicial promedio	RPM	Espesor final promedio	Masa final promedio
10s	6.70	268	500	6.65	267.6

20s	6.35	264.6	900	6.28	263.6
30s	6.16	261.2	1105	6.15	260.8

En la figura 65 se puede observar el material antes de ser expuesto a las distintas pruebas, en la figura 66 se puede apreciar el material después de las pruebas y los valores reales de las distintas pruebas.

En la figura 65 y 66 se puede visualizar el empaque del material antes y después de usar en el banco de pruebas de igual forma en la figura 67 se puede visualizar una zapata utilizada en un vehículo real y sus cambios.

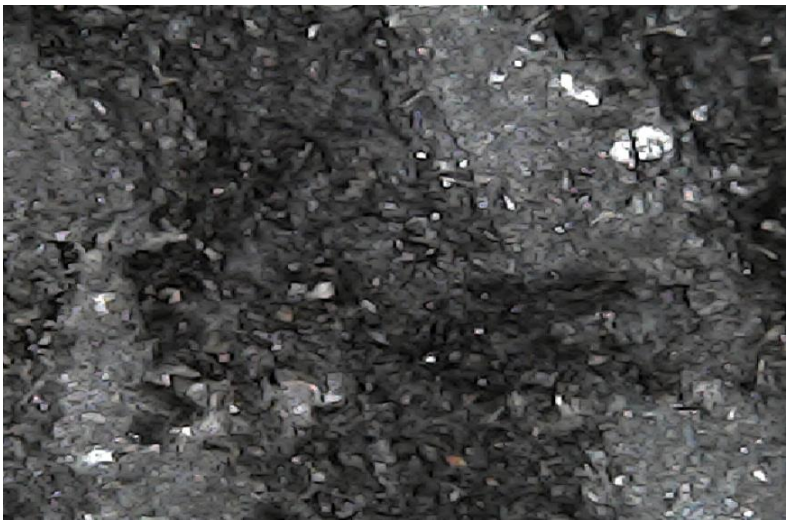
Figura 65

Material American Roll antes de usar

Este material que se puede evidenciar en la figura 65 es un forro de zapata sin ser utilizado como logramos observar mediante el microscopio se logra ver partículas en color plata, esto debido al porcentaje de minerales que posee este material referente al 41%.

Figura 66

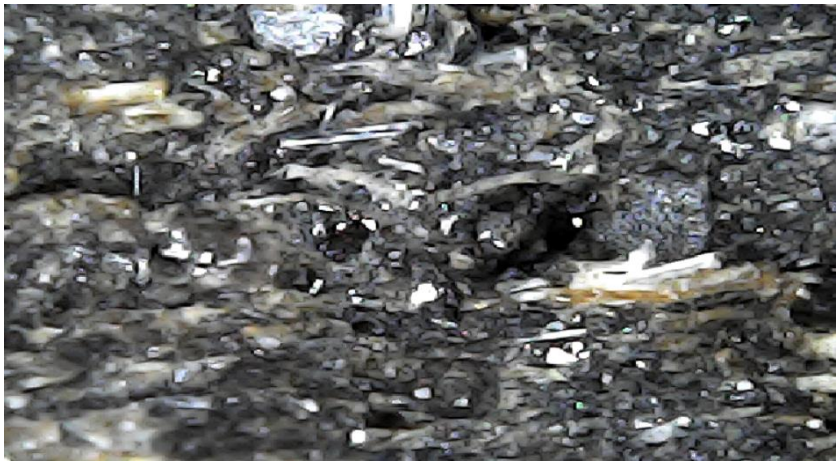
Material American Roll después de las pruebas.



Una vez realizada las pruebas en el banco obtenemos la figura 66, en la cual se logra observar en el acabado del material que toma otro color de tonalidad negro esto referente a que este material posee un 4% de grafito, adicional se logra ver una marca de profundidad en la mancha negra es decir que el material se adapta de manera correcta al elemento abrasivo.

Figura 67

Material American Roll usado en un vehículo



A su vez tenemos la figura 67 en la cual podemos observar un material utilizado en un vehiculó de trabajo en donde se logra apreciar que la deformación superficial es bastante quebrada a comparación con la que se utilizó en el banco de pruebas, se logra ver las fibras

quebradizas y entrelazadas con partículas de los distintos minerales, y de color marrón, se logra ver que el acabado superficial es un desgaste multidireccional con porosidad este material a su vez logro tener un desgaste intermedio entre los otros materiales.

Desde la perspectiva óptica por las manchas de color marrón y aclarando que este material no contiene ni papel ni cartón se puede deducir que esas manchas son partículas quemadas.

Discusión

En el capítulo anterior se logró obtener los resultados de las respectivas pruebas de desgaste, con la característica principal de la variación de velocidad y de tiempos por el cual se logra catalogar a los materiales desde el que obtuvo el mayor desgaste al que obtuvo el menor desgaste. Adicionalmente se logra obtener mediante la visualización de las figuras sus diferentes tipos de deformaciones superficiales.

Comparación De Resultados Entre Los Materiales De Zapatas En Banco De Pruebas

A continuación, en la siguiente tabla se puede observar los parámetros finales con los cuales se da a detallar los resultados manteniendo en cuenta el tiempo el peso y los mm perdidos de cada material.

Tabla 20

Desgastes con promedios de materiales.

Material	**Tiempo**	**Masa promedio pérdida total**	**Espesor promedio perdido total**	**Desgaste**
Daichi	1 min	11.8gramos	1.21 mm	Desgaste mayor

American Roll	1 min	7.2gramos	0.55mm	Desgaste medio
Egar	1 min	3.2gramos	0.30 mm	Desgaste menor

En la tabla 17 se realiza el análisis de desgaste entre los 3 tipos de materiales, los cuales fueron probados bajo las mismas condiciones y pruebas. Colocando al material Daichi con el desgaste mayoritario quien perdió 11.8 gramos de masa promedio total y 1.21 mm de espesor promedio en el tiempo de 1 min cabe recalcar que este material su principal componente es el carbón, debido a este mineral el empaque de zapata se torna extra suave por lo que se logra observar mucha perdida de material.

A su vez se puede visualizar que el material American Roll tuvo una pérdida de 7.2 gramos de masa total y 0.55 mm de espesor, este material tuvo un desgaste medio a comparación con los otros materiales, se menciona adicional que este material está compuesto de fibras minerales con lo cual puede justificar su perdida en el desgaste, a su vez por su contenido de resinas orgánicas se logra observar que es un material mucho más flexible a comparación de los otros materiales.

El material ecuatoriano fue el que menor desgaste obtuvo con una pérdida de masa de 3.2 gramos y 0.30 mm de espesor esto debido a que en sus componentes se encuentra la fibra de vidrio, esta fibra inorgánica hace que el material se torne duro y gracias a eso posee la capacidad de ser más duradero.

Conclusiones y recomendaciones

Al realizar los distintos análisis de desgaste bajo las respectivas pruebas se obtuvo varios resultados en los cuales se logró esclarecer el comportamiento, el rendimiento y el desgaste de los materiales entre ellos permanece una diferencia notoria. Siendo importante destacar que el material Egar fabricado a nivel nacional posee un mínimo desgaste con un valor de 0.30 mm de espesor y 3.2 gramos en peso a comparación de los otros materiales. Cabe recalcar que este material posee como componente esencial fibra de vidrio adicional posee un coeficiente de fricción GF, materiales con esta denominación son aquellos que proveen un frenado mejor en frio. En la deformación superficial se denoto hendiduras y cambio de tonalidades.

Al analizar los otros materiales, el fabricado en México dispone de un desgate intermedio con un valor de 7.2 gramos en peso y 0.55 mm de espesor es decir que posee una calidad superior haciendo énfasis en sus componentes que no son dañinas con el medio ambiente y estableciendo en su análisis su alto nivel de flexibilidad para adaptarse a cualquier elemento de fricción, por otra parte, a nivel superficial se pudo notar partículas quemadas. Este material trabaja con un coeficiente de fricción FF donde se puede explicar que el material va a rendir tanto en un frenado en frio como en un frenado en caliente.

Al comparar el material peruano bajo las mismas pruebas, este se mantuvo con un alto desgaste con un valor de 11.8 gramos en peso y 1.21 mm de espesor a comparación de los otros materiales, cabe mencionar que contiene una formulación con alto contenido de carbón que lo hace ser más blando, tomando en cuenta que este material a su vez tiene un coeficiente de fricción tipo FE, es decir que entrega un frenado más fuerte en frio. Al analizar su deformación superficial se notó material cristalizado.

Los revestimientos a base de fibras orgánicas van siendo cada día más aceptables a nivel automotriz ya que no poseen contaminantes tanto para la salud del operario como para el medio ambiente. Este tipo de materiales ya están aplicados en un porcentaje elevado de vehículos en la ciudad de Quito, por tal motivo el estudio de análisis de este proyecto fue para verificar que estos materiales son aplicables y pueden ser de alto rendimiento.

Referencias

Alonso, J. M. (2015). *Sistemas de transmision y frenado.* Madrid: Paraninfo. Obtenido de https://es.scribd.com/document/132062505/Sistema-de-Transmision-Y-Frenado

American Roll. (2015). *Ficha tecnica 46.* Mexico: Panamericana.

Arias, P. M. (2004). *Manual de Automoviles.* Madrid: Dossat. Obtenido de https://es.scribd.com/document/339594504/Arias-Paz-M-Manual-de-Automoviles-Opt

Beer, F., Rusell, J., & Dewolf, J. (1996). *Mecanica de Materiales.* California: McGrawhill. Obtenido de https://es.scribd.com/document/355496710/Mecanica-de-Materiales-Beer-Johnston-4-Ed

Blau, P. J. (2001). *Compositions, Functions, and Testinf Of Brake materials and their additives, OAK ridge National Laboratory, Metals and ceramics divission.* Tenesse: Ut-battelle. Obtenido de https://info.ornl.gov/sites/publications/Files/Pub57043.pdf

Borja, J. C., Fenoll, J., & Herrera, J. (2000). *Sistemas de transmision y frenado.* España: Macmillan. Obtenido de https://www.worldcat.org/title/sistema-de-transmision-y-frenado/oclc/1010718249?referer=di&ht=edition

Bosch. (1996). *Manual de la tecnica del automovil.* España: Reverte. Obtenido de https://es.scribd.com/doc/162921402/manual-de-tecnica-del-automovil-bosch-3-edicion

Cardenas, E. E., & Torres, M. V. (2012). *Desgaste por fatiga en deslizamiento.* España: Academica Española. Obtenido de https://books.google.com.ec/books?id=EzABuwAACAAJ&dq=Desgaste+por+fatiga+en+deslizamiento+cardenas+edgar&hl=es-419&sa=X&redir_esc=y

Daichi. (2001). *Segmento Flexible.*

Domiguez, E. J., & Ferrer, R. J. (2012). *Sistemas de transmision y frenado.* Alarcon,España: Editex. Obtenido de https://es.scribd.com/document/429147699/Sistemas-de-Transmision-y-Frenado

Egar. (2019). *Rollo de Segmentos NA54-1*.

Fandeli. (17 de Marzo de 2005). *Linea R-13 FEPA.* Obtenido de Fandeli: https://fandeli.com/wp-content/uploads/2020/03/LINEA-R-13_compressed.pdf

Gerschler, H. S., Bohner, M., Gobweiler, H., Leyer, S., Pichler, W., Saier, W., . . . Zwickel, H. (1980). *Tecnologia del automovil.* Barcelona: Reverte. Obtenido de https://es.slideshare.net/HctorChireRamrez/gtz-tecnologiadelautomoviliipdf

INEC. (16 de Octubre de 2019). *INEC.* Recuperado el 20 de 04 de 2021, de Instituto Nacional de Estadisticas y Censos: https://www.ecuadorencifras.gob.ec/transporte/

Inen. (2012). *Material de friccion para el sistema de frenos de automotores.* Ecuador: Servicio Ecuatoriano de Normalización. Obtenido de https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/nte_inen_2185-4.pdf

Lent, D. (1974). *Analisis y Proyectos de Mecanismos.* España: Reverte. Obtenido de https://es.scribd.com/document/370551068/Analisis-y-Proyecto-de-Mecanismos2

Ludema, C. K., & Ajayi, L. (2018). *Fricción, el desgaste y lubricacion.* Michigan: CRC press. Obtenido de https://es.scribd.com/read/345136972/Tribology-Friction-and-Wear-of-Engineering-Materials

Mafriccion. (2021). *Pegante Redux.* Obtenido de https://www.mafriccion.com/pegante-redux.html

Mendez, T. M., Crespo, A., & Rodriguez, Y. (2018). *Estudio de los ensayos de desgaste.* España: Academica Española. Obtenido de https://www.eae-publishing.com/catalog/details//store/gb/book/978-3-8417-6156-9/estudio-de-los-ensayos-de-desgaste-aplicados-en-dep%C3%B3sitos-de-recargue

Mora, E., & Albañil, H. (2017). *Analisis de fallas de estructuras y elementos mecanicos.* Bogota: Universidad Nacional de Colombia. Obtenido de https://es.scribd.com/read/415533130/Analisis-de-fallas-de-estructuras-y-elementos-mecanicos#

Mott, R. (2006). *Mecanica de Fluidos.* Mexico: Pearson. Obtenido de https://es.scribd.com/document/461263841/Mecanica-de-Fluidos-Robert-Mott-6TA-ED-LIBRO

OIT. (1986). *Convenio sobre utilizacion del asbesto en condiciones seguras.* Obtenido de http://www.ilo.org/dyn/normlex/es/f?p=NORMLEXPUB:12100:0::NO::P12100_ILO_CODE:C162

OMS. (15 de Febrero de 2018). *Eliminacion de enfermedades relacionadas con el asbesto*. Obtenido de Organizacion Mundial de la Salud: https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/asbestos-elimination-of-asbestos-related-diseases