

Universidad Internacional del Ecuador



Facultad de Ingeniería Mecánica Automotriz

**Artículo Investigación para la obtención del Título de Ingeniería en
Mecánica Automotriz**

Tema:

**Análisis del desgaste de pastillas de frenos en comparativa entre 2500 metros de altura
y a nivel del mar.**

Steven Alexander Zambrano Santos

Erick Fernando Viláñez Ponce

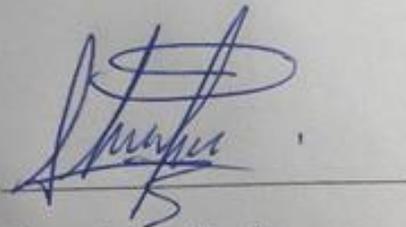
Director: Ing. Andrés Castillo MSc.

Quito, marzo 2018

CERTIFICACIÓN Y ACUERDO DE CONFIDENCIALIDAD

Nosotros, Steven Alexander Zambrano Santos y Erick Fernando Viláñez Ponce, declaramos bajo juramento, que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido presentado anteriormente para ningún grado o calificación profesional y que se ha consultado la bibliografía detallada.

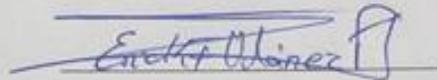
Cedemos nuestros derechos de propiedad intelectual a la Universidad Internacional del Ecuador, para que sea publicado y divulgado en internet, según lo establecido en la Ley de Propiedad Intelectual, reglamento y leyes.



Firma del graduado

Steven Alexander Zambrano Santos

CI: 1726644097



Firma del graduado

Erick Fernando Viláñez Ponce

CI: 1723383467

CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR

Yo Ing. Andrés Castillo, certifico que conozco a los autores del presente trabajo. Siendo los responsables exclusivos tanto de su originalidad y autenticidad, como de su contenido.



Firma del Director de Trabajo de Grado

Ing. Andrés Castillo MSc.

AGRADECIMIENTO

Agradezco en primer lugar a mi madre Isabel Santos y a mi padre Heriberto Zambrano por apoyarme día a día a cumplir todas mis metas, esta es una de muchas más y de no ser por ellos esto no sería posible.

Agradezco a mis amigos y compañeros de la Universidad ya que creo que somos el resultado de la combinación de todo lo que nos ha pasado.

A mí querida novia Erika por apoyarme en todo momento.

Expresar mi inmenso reconocimiento a la prestigiosa Universidad Internacional del Ecuador por abrirme las puertas y formarme como un gran profesional, a mis profesores por brindarme gran parte de sus conocimientos y prepararme como un profesional.

STEVEN ALEXANDER ZAMBRANO SANTOS

DEDICATORIA

A mi madre Isabel Santos, por haberme apoyado en todo momento, por sus consejos, sus valores, por la motivación constante que me ha permitido ser una persona de bien, pero más que nada, por su amor.

A mi padre Heriberto Zambrano, por los ejemplos de perseverancia y constancia que lo caracterizan y que me ha infundado siempre, por el valor mostrado para salir adelante y por su amor.

A mis amigos, que nos apoyamos mutuamente en nuestra formación profesional y que hasta ahora, seguimos siendo amigos.

Finalmente, a los maestros, aquellos que marcaron cada etapa de nuestro camino universitario, y que me ayudaron en asesorías y dudas presentadas en la elaboración de la tesis.

STEVEN ALEXANDER ZAMBRANO SANTOS

AGRADECIMIENTO

Agradezco en primer lugar a Dios por brindarme la vida, la sabiduría y la confianza para enfrentar las adversidades de cada día y así culminar mis propósitos, también dar las gracias por proporcionarme una gran familia quienes estuvieron apoyándome en todo momento.

Quiero expresar mi gratitud a mi tutor Ing. Andrés Castillo, a quien debo muchas horas de amable dedicación y mucha paciencia, ya que sin su ayuda y conocimientos no hubiese sido posible la realización del presente trabajo.

Agradezco también a mi gran amigo Steven Zambrano por ser un gran apoyo en la culminación de esta etapa de mi vida.

Expresar mi inmenso reconocimiento a la prestigiosa Universidad Internacional del Ecuador por abrirme las puertas y formarme como un gran profesional en la prosperidad de la sociedad, a mis profesores por brindarme la paciencia que tuvieron al inculcarme sus valiosos conocimientos.

ERICK FERNANDO VILÁÑEZ PONCE

DEDICATORIA

Este Artículo de Investigación lo dedico a mi familia por el apoyo incondicional que me brindaron en el transcurso de mi carrera y en especial a mis padres por ser el pilar fundamental en todo lo que soy, en toda mi educación, tanto académica, como de la vida.

Gracias a la bendición de Dios hoy cumplo una de mis metas, la cual me permitirá crecer profesionalmente y como persona de bien.

A mis Docentes, que con abnegación impartieron sus conocimientos hacia mí con responsabilidad y compromiso en esta prestigiosa Universidad.

ERICK FERNANDO VILÁÑEZ PONCE

ÍNDICE

CERTIFICACIÓN Y ACUERDO DE CONFIDENCIALIDAD.....	iii
CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR.....	iii
AGRADECIMIENTO.....	iv
DEDICATORIA	v
RESUMEN.....	11
SUMMARY	11
1. INTRODUCCIÓN:	12
2. FUNDAMENTO TEÓRICO.....	12
2.1. Normativa ASTM-G65	12
2.2. Características de la máquina.....	12
2.3. Características de las pastillas	13
2.4. Pastillas de freno	13
2.5. Importancia de la tribología	14
2.6. Superficies no conformales	14
2.7. Fricción	15
2.8. Fricción abrasiva	15
2.9. Mecanismos de desgaste	15
2.9.1. Desgaste por adhesión.....	15
2.9.2. Desgaste por abrasión.....	15
2.9.3. Desgaste por corrosión	15
2.9.4. Desgaste por fatiga	16
2.10. Rugosidad.....	16
2.11. Influencia en la transmisión de calor:.....	16
2.12. Proceso de desaceleración.....	16
3. MATERIALES Y MÉTODOS	16
3.1. Características de pastillas semimetálicas	17
3.2. Metodología	17
3.3. Medición de masa inicial.....	17
3.4. Configuración de la máquina	17
3.5. Prueba de desgaste	17
3.6. Medición de masa final	18
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	18

4.1.	Condiciones atmosféricas.....	18
4.2.	Desgaste de las pastillas Bosch a 2500 metros sobre el nivel del mar	18
4.3.	Desgaste de las pastillas Bosch a nivel del mar	19
4.4.	Comparativa de resultados	19
5.	CONCLUSIONES	19
6.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	20

ANEXOS INTRODUCCIÓN

Anexo 1.	INEN, Clasificación Vehicular NTE INEN 2656, Quito: Instituto Ecuatoriano de Normalización 2012.....	21
-----------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------	----

ANEXOS FUNDAMENTO TEÓRICO

Anexo 2.	Herrera, G.M. Desarrollo de un prototipo tribológico funcional para evaluar el desgaste por fatiga por contacto de rodadura. (2002).....	24
Anexo 3.	Gutiérrez, W.J.; Olaya, M. Construcción de un equipo para desgaste abrasivo según norma ASTM G-65.....	41
Anexo 4.	Mitutoyo, “Rugosidad Superficial” Mitutoyo, Catalog Number E70. Taylor Hobson, Manual del Rugosímetro Surtronic 3 Plus.....	48
Anexo 5.	Bosch, manual de taller 2017.....	51

ANEXOS MATERIALES Y MÉTODOS

Anexo 6.	Chávez, J.E. “diseño y construcción de una máquina para medición del desgaste por abrasión según la norma ASTM G65” ESPE.....	54
Anexo 7.	Velasteguí, A. Materiales de fricción y su influencia en el frenado. USFQ. (2015).....	58
Anexo 8.	Zambrano, S.A.; Viláñez, E.F. ortografías de ensayos realizados en pastillas de freno, Quito, 2018.....	61

ANEXOS RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Anexo 9.	Zambrano, S.A.; Viláñez, E.F, tablas de resultados de ensayos, en pastillas Bosch, Quito, 2018.....	63
-----------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------	----

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Características de la máquina según norma ASTM G65.....	12
Tabla 2.	Parámetros para calibración de variables.	13
Tabla 3.	Coefficiente de fricción pastillas Bosch	17
Tabla 4.	Características de pastillas semimetálicas	17
Tabla 5.	Condiciones atmosféricas a 2500 metros.	18
Tabla 6.	Condiciones atmosféricas a nivel del mar.	18
Tabla 7.	Prueba aprox a 2500 metros.	18
Tabla 8.	Prueba nivel del mar.....	19
Tabla 9.	Comparativa de desgaste	19

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Figura 1.	Esquema general maquina DSRW normalizada por la ASTM G65.....	12
Figura 2.	Freno de disco con pinza flotante	13
Figura 3.	Plano pastilla B Jetta.....	14
Figura 4.	Pastilla B jetta.....	14
Figura 5.	Tribosistema	14
Figura 6.	Geometrías confórmales y no confórmales	15
Figura 7.	Acabado superficial utilizando diferentes procedimientos	16
Figura 8.	Prueba aprox a 2500	18
Figura 9.	Prueba a nivel del mar	19
Figura 10.	Comparativa de desgastes.....	19

ANÁLISIS DEL DESGASTE DE PASTILLAS BOSCH DEL SISTEMA DE FRENOS EN COMPARATIVA ENTRE APROXIMADAMENTE 2500 METROS Y A NIVEL DEL MAR

*Steven Zambrano*¹, *Erick Viláñez*.²

¹ *Facultad de Ingeniería Automotriz, Universidad Internacional del Ecuador, steven_sz0906@hotmail.com, Quito – Ecuador*

² *Facultad de Ingeniería Automotriz, Universidad Internacional del Ecuador, rickus081016@hotmail.com, Quito - Ecuador*

RESUMEN

Introducción: cuatro pastillas de freno fueron analizadas, la primera y la segunda aproximadamente a 2500 metros sobre el nivel del mar, la tercera y la cuarta a nivel del mar, ambas pertenecientes al vehículo de marca Volkswagen modelo jetta año 2011. El objetivo fue proporcionar la información necesaria a los lectores para tener conocimiento de la variación del desgaste en las pastillas de freno a diferentes alturas. Metodología: para esto, se realiza ensayos en banco de pruebas bajo las condiciones antes mencionadas. Resultados: los resultados de los ensayos mostraron que existen desgaste por abrasivos, corrosión, fatiga. Conclusión: a partir de los analices realizados se determinó que se incrementa el desgaste a nivel del mar debido al desgaste abrasivo.

Palabras clave: tribología, pastillas de frenos, fricción, desgaste abrasivo

SUMMARY

Introduction: four brake pads were analyzed, the first and the second approximately at 2500 meters above sea level, the third and the fourth at sea level, both belonging to the Volkswagen brand model jetta vehicle, year 2011. The objective was provide the necessary information to the readers to have knowledge of the variation of the wear in the brake pads at different heights. Methodology: for this, tests are carried out in a test bench under the aforementioned conditions. Results: the results of the tests showed that there is abrasive wear, corrosion, fatigue. Conclusion: based on the analyzes performed, it was determined that wear at sea level is increased due to abrasive wear.

Keywords: tribology, brake pads, friction, abrasive wear

1. INTRODUCCIÓN:

El presente estudio investigativo tiene como objetivo proporcionar la información necesaria a los lectores para tener conocimiento de la variación del desgaste en las pastillas de freno a diferentes alturas. Debido a que en la actualidad no existen estudios que analicen el comportamiento de estos componentes en las condiciones de nuestra ciudad Quito aproximadamente a 2800 metros sobre el nivel del mar.

En la siguiente investigación se realizó un estudio del desgaste en las pastillas de freno a nivel del mar y aproximadamente a 2500 metros sobre el nivel del mar para poder determinar en qué porcentaje afecta al desgaste de las pastillas de freno del vehículo las condiciones atmosféricas.

Sistema de frenado es el más importante en los automóviles ya que brinda la seguridad, es el encargado de reducir la velocidad del vehículo mediante un Sistema hidráulico y un principio físico de fricción.

La huella de frenado es ampliamente empleada en análisis de desgaste cinemático, sin embargo, parte de una hipótesis de condiciones ideales en los cuales se asumen que el fenómeno es de carácter lineal y descarta las demás condiciones de frenado, se han utilizado distintos métodos analógicos para la determinación de estos parámetros, pero estos son de difícil calibración [1].

Para el estudio se realizará pruebas en un vehículo tipo M1: en esta categoría intervienen vehículos de 4 ruedas diseñados para el transporte de pasajeros con 8 asientos o menos [2].

2. FUNDAMENTO TEÓRICO

2.1. Normativa ASTM-G65

La normativa que rige sobre el análisis del desgaste para cualquier tipo de material sean estos metales, cerámicos o compuestos, es la normativa ASTM-G65. Es una normativa que se basa del desgaste abrasivo en seco [3].

2.2. Características de la máquina

La máquina está compuesta de una tolva, un mando de control, un disco cubierto con un caucho, un disco una porta probetas y un brazo de palanca conectado a un balance de pesos como se observa en la figura [1].

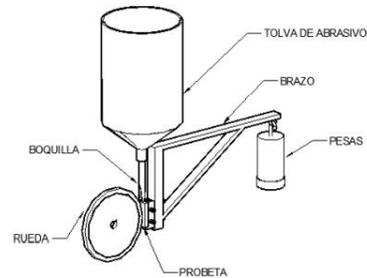


Figura 1. Esquema general máquina DSRW normalizada por la ASTM G65

Fuente. Herrera, 2002

La máquina de desgaste se rige por unas características específicas, las cuales deben ser elegidas en el momento de realizar la prueba de desgaste. Estas características se muestran a continuación:

Tabla 1. Características de la máquina según norma ASTM G65

ESPECIFICACIONES NORMA ASTM G-65	
Características	Valores
Arena	AFS 50-70
Flujo Arena	300 gr min
Diámetro Disco + caucho	9"
Velocidad del disco	200 rpm
Carga de peso adicional	3 kg
Potencia del motor	1 Hp
Frecuencia	113 Hz

Fuente. Herrera, 2002

En la tabla 2 se indican las variables que se tuvieron en cuenta en la calibración del equipo, los valores requeridos por la norma y los obtenidos durante el desarrollo de pruebas, donde se puede observar que los valores obtenidos se encuentran dentro de los parámetros exigidos por

la norma, brindando un alto grado de confiabilidad del equipo.

Tabla 2. Parámetros para calibración de variables.

VARIABLES	VALORES	
	Norma ASTM G-65	Obtenidos
Velocidad del motor	200 rpm \pm 10 rpm	202 rpm
Dureza de recubrimiento de caucho	58 a 62 shore A	60,15 shore A
Diámetro del recubrimiento de caucho	9" concentricidad $\leq 0,002$ "	9" concentricidad $\leq 0,001$ "
Humedad del abrasivo	$\leq 0,5$ %	0,22%
Tamaño de grano del abrasivo AFS 50/70	Tamiz 50: 5% máx. Tamiz 70: 95% min.	Tamiz 50: 3% Tamiz 70: 97%
Flujo de arena	250-350 g/min	304,1 g/min
Fuerza ejercida sobre la probeta	130 N 45 N	130 N 45 N

Fuente. Herrera, 2002

Ensayo de desgaste abrasivo Teniendo las variables del equipo calibradas, se prosiguió a efectuar las pruebas de desgaste abrasivo, según el procedimiento B de la norma ASTM G65, utilizando los parámetros mostrados en la tabla 3.

2.3. Características de las pastillas

Freno de disco con pinza flotante posee dos componentes principales, la caja que posee forma de puño en la cual se encuentra las pastillas, las bridas de fleje y el cilindro con el pistón, y el soporte.

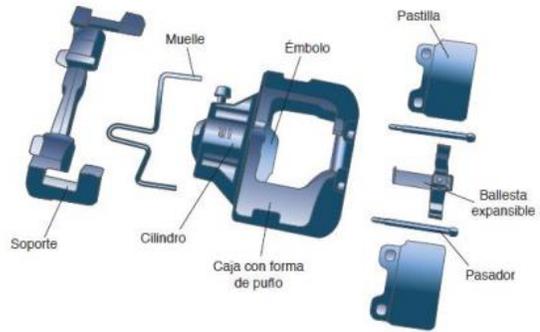


Figura 2. Freno de disco con pinza flotante

Fuente. Domínguez, 2012

Al tener una mayor superficie del pistón se tiene una mayor fuerza en el disco con la misma presión. Luego de ser accionado y tener la misma reacción que el freno de marco flotante en la cual el pistón desplaza la pastilla contra el disco de freno, la fuerza de reacción del disco es la causante de que la caja se mueva hacia dentro y así la segunda pastilla recorra hacia el disco de freno. Posee las siguientes características.

- Debido a la forma que posee la caja tiene una mayor superficie del pistón ejerciendo más fuerza sobre el disco de freno.
- La probabilidad de que se formen burbujas de vapor es mínima ya que los conductos del líquido de freno no se encuentran cerca del disco.
- Son implementados en vehículos industriales ligeros en su eje delantero, y en turismos, en ambos ejes. [1].

2.4. Pastillas de freno

Las pastillas de freno forman parte del sistema de freno de disco, siendo éste el elemento frenante. Esto se realiza ejerciendo presión en ambos lados del rotor del freno, que gira junto con las ruedas. Debido a las elevadas temperaturas y a la alta fricción a la que se encuentra debe poseer cualidades específicas.

Las pastillas de freno son en sí las encargadas de transformar la energía cinética del vehículo en movimiento a energía calorífica, la cual será disipada hasta conseguir la detención total del vehículo. El paso de energía cinética a calorífica

se da gracias al contacto que existe entre el disco de freno que viene a ser la parte móvil solidaria a la rueda y las pastillas de freno que vienen a ser el elemento fijo que ese encuentra en conjunto a la estructura del vehículo mediante el cáliper. Los pistones alojados en el cáliper de la rueda son los encargados de empujar las pastillas de frenos sobre el disco de freno [5].

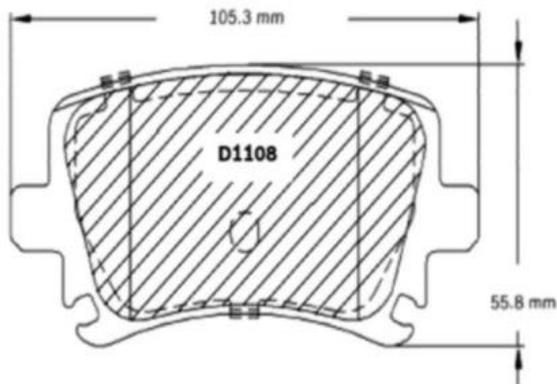


Figura 3. Plano pastilla B Jetta

Fuente. Bosch Automotive, 2017



Figura 4. Pastilla B Jetta

Fuente. Autores

2.5. Importancia de la tribología

La palabra tribología se deriva del griego “tribos” cuyo significado es rozamiento o fricción y “logos” estudio o tratado. Por ello desde el punto de vista etimológico, se define como el estudio o tratado de los fenómenos de la frotación o fricción, sin embargo un grupo de científicos encabezados por el profesor Peter Jost en 1966, la definieron como “la ciencia y tecnología que estudia los sólidos que se encuentran en contacto y movimiento relativo, así como los fenómenos que de ellos se derivan” [6].

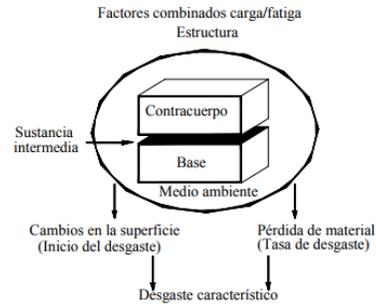


Figura 5. Tribosistema

Fuente. Herrera, 2002

1 base: cuerpo primario de fricción, en condiciones de desgaste.

2 contra cuerpo: cuerpo secundario de fricción bajo condiciones de desgaste.

3 sustancia intermedia: aceite lubricante, polvo, fibras, granos, agua, vapor, gases, etc.

4 medioambiente: es el entorno donde se encuentra el sistema; puede estar constituido por gases y/o líquidos en diferentes condiciones de presión; ya sean muy elevadas o al vacío; a temperaturas extremas, etc.

2.6. Superficies no confórmales

Son aquellas cuyos centros de curvatura están en lados opuestos de la interface. En pruebas de desgaste una configuración geométrica en la cual un punto o línea de contacto es inicialmente establecida entre especímenes antes de comenzar la prueba, en superficies planas tangentes a la superficie circunferencial. Cuando el desgaste ocurre el área nominal de contacto tiende a incrementarse [7].

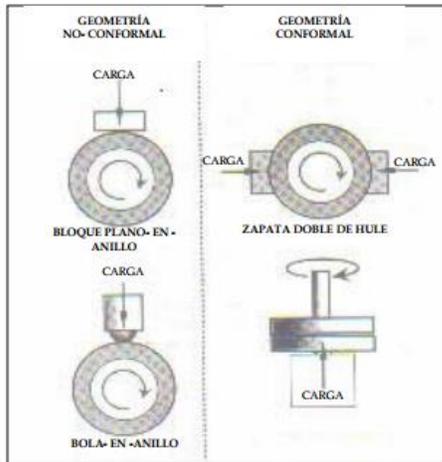


Figura 6. Geometrías conformales y no conformales

Fuente. Herrera, 2002

2.7. Fricción

Descripción del fenómeno de fricción la palabra fricción deriva del vocablo latino “fricare”, que significa rozamiento o frotamiento, se aplica para describir la pérdida gradual de energía cinética en situaciones donde dos cuerpos o sustancias, se encuentran en contacto y movimiento relativo. Por ello, se le ha definido como la resistencia que presenta a dicho movimiento. No debe confundirse la fricción con el desgaste. La diferencia fundamental, están en que las áreas de contacto reales se generan las fuerzas de fricción, las cuales varían de acuerdo a los distintos parámetros del sistema posteriormente, dichas fuerzas ocasionan el desgarre de materiales de la superficie, lo que se conoce como desgaste [8].

2.8. Fricción abrasiva

La fricción es la fuerza de resistencia tangencial en la interface de dos cuerpos, que están sometidos a la acción de una fuerza, uno de ellos se mueve o tiende a moverse relativamente deslizante o rodante sobre la superficie del otro [9].

Como el coeficiente de fricción no es una propiedad simple algunos de estos factores que lo afectan son: [10].

- Cinemática de la superficie en contacto
- Cargas y/o desplazamiento externo
- Condiciones del medio
- Topografía superficial
- Propiedades de los materiales

2.9. Mecanismos de desgaste

El desgaste generalmente se inicia según alguno de los mecanismos básicos para que posteriormente cambie hacia uno combinado o complejo, que provoca el deterioro de las partes. En función de la amplia variedad de criterios, que existen para definir lo mecanismos básicos de desgaste, se emplean en el presente trabajo la clasificación más aceptada, la cual se divide en los siguientes mecanismos:

- Desgaste por adhesión
- Desgaste por abrasión
- Desgaste por fatiga
- Desgaste por corrosión

2.9.1. Desgaste por adhesión

Este mecanismo de desgaste se genera por la atracción entre los átomos de las estructuras de dos cuerpos en contacto, depende del grado de compatibilidad micro estructural entre superficies. La adhesión se debe al contacto íntimo a la que llegan dos superficies por las altas presiones específicas en la zona de contacto real.

2.9.2. Desgaste por abrasión

Este mecanismos de daño se presenta cuando las asperezas de un cuerpo se ponen en contacto y rozan la superficie de un segundo cuerpo mas blando, removiendo material al microsurcar y microfraturar creando por ello rayas.

2.9.3. Desgaste por corrosión

Este mecanismo de presenta cuando el movimiento relativo entre superficies actúa intenso en un medio corrosivo en donde el daño superficial es debido a la suma de los factores. No debe confundirse con procesos de degradación superficial sin presencia de movimiento relativo

entre superficies en donde el daño será por corrosión estática.

2.9.4. Desgaste por fatiga

Este mecanismo es observado en caso de deslizamiento, entre una superficie con respecto a otra, la aplicación de cargas variables en el tiempo que inducen tensiones capaces de nuclear y propagar fisuras superficiales por fatiga.

El término fatiga es aceptado generalmente como el tipo especial de daño causado por la acción repetida de esfuerzos cíclicos con una amplitud que alcanza valores por debajo del límite elástico del material el fenómeno de la ruptura de los materiales sujetos a esfuerzos cíclicos por encima del límite elástico que se ha observado en los últimos años se llama “fatiga de pocos ciclos” y se entiende conceptualmente al término “daño por fatiga” [11].

2.10. Rugosidad

La rugosidad o textura primaria, está formada por surcos o marcas dejadas por los agentes que atacan la superficie en el proceso de mecanizado (herramienta, partículas abrasivas, acción química, etc.) y se encuentra superpuesta al perfil de ondulación. Los espacios entre crestas varían entre 4 y 50 veces la profundidad de la depresión.

2.11. Influencia en la transmisión de calor:

La influencia de la rugosidad superficial también puede notarse en la transmisión del calor entre dos superficies, donde se observa que a medida que la rugosidad disminuye, el coeficiente de transmisión de calor aumenta, debido a que es mayor el área de contacto.

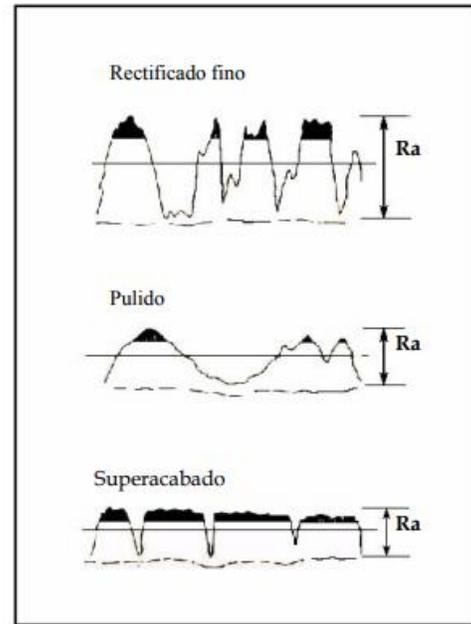


Figura 7. Acabado superficial utilizando diferentes procedimientos

Fuente. Herrera, 2002

2.12. Proceso de desaceleración

La fuerza de rozamiento no es más que la componente tangencial de la fuerza de contacto entre dos superficies. Su origen es electromagnético en efecto podemos pensar que los átomos superficiales de ambos lados tienen electrones que se encuentran anclados a los átomos y que se repelen entre sí, prácticamente de forma electro estática.

Este es el origen de la fuerza de fricción y de la normal las cuales conforman la fuerza de contacto [12].

3. MATERIALES Y MÉTODOS

Las pastillas de freno son un componente constituido por dos partes una metaliza adherida mediante un pegamento que también sirve como aislador térmico a una fibra cerámica en diferentes características con grafito asbesto y virutas de bronce como se detalla en la tabla 4.

El cáliper es ese elemento que guarda las pastillas y pistones de freno. Éste está colocado en posición fija y su función es apretar el disco de freno hasta detenerlo.

Para ello se aprovecha la fricción producida entre el disco y las pastillas de freno, que son comprimidas contra el disco por acción de los pistones del calíper.

Tabla 3. Coeficiente de fricción pastillas Bosch

Código	Arriba de	Hasta
C		0,15
D	0,15	0,25
E	0,25	0,35
F	0,35	0,45
G	0,45	0,55
H	0,55	

Fuente. Bosch Automotive, 2017

3.1. Características de pastillas semimetálicas

Estos tipos de pastillas de freno están hechos aproximadamente de 30% a 65% de metal, y por lo general están hechos de lana de acero, alambre de cobre o de otros materiales metálicos. [13]

A continuación se detalla de ocho a catorce ingredientes y su porcentaje de peso para pastillas semimetálicas

Tabla 4. Características de pastillas semimetálicas

Ingredientes	(% peso)	
	SM 1	SM 2
Resina	10	10
Kevlar	-	-
Fibra de acero	20	23
Fibra orgánica	5	-
Fibra de cobre	-	-
Grafito	16	19
Antimonio	-	-
Óxido de hierro	34	24
Novacite silica	-	3
Óxido de alúminima	-	2
Óxido de zinc	1	-
Caucho	-	3
Piedra blanca	-	-
Bario	8	10
Polvo de fricción	6	6
TOTAL	100	100

Fuente. Velasteguí, 2015

3.2. Metodología

La evaluación se enfoca en la comparativa de desgaste en patillas de frenos a 2500 metros y a nivel del mar para esto se realizó dos pruebas de desgaste en pastillas a 2500 metro y dos pruebas de desgaste a nivel del mar.

Para la evaluación se utilizará las pastillas de freno Bosch para el vehículo Volkswagen Jetta con las siguientes características.

Coefficiente de fricción de acuerdo con normas Internacionales establecen 6 niveles de coeficiente de fricción, que varían de 0,15 a 0,55. Las pastillas de Bosch alcanzan, entre 0,35 a 0,55. [14].

En la tabla 2 se indican las variables que se tuvieron en cuenta en la calibración del equipo, Ensayo de desgaste abrasivo Teniendo las variables del equipo calibradas, se prosiguió a efectuar las pruebas de desgaste abrasivo,

3.3. Medición de masa inicial

Se realizó la medición de la masa inicial de las cuatro pastillas de las mismas características.

3.4. Configuración de la máquina

El funcionamiento de la maquina esta dado en que se ubica un tipo de desgastante “lumina’ en la tolva, luego se coloca de ser necesario un peso adicional para ejercer una fuerza tangencial al movimiento del rotor se procede a calibrar el número de revoluciones del rotor.

3.5. Prueba de desgaste

Una vez calibrada la máquina se procede a realizar pruebas con pastillas Bosch en las condiciones de Quito aproximadamente a 2500 metros sobre el nivel del mar empezando a temperatura ambiente “22°C”, luego se procede a realizar las pruebas bajo las mismas características de calibración, pero a nivel del mar y a temperatura ambiente “27°C”.

3.6. Medición de masa final

Se realiza la medición de masa final en cada una de las pastillas con este dato se puede determinar el porcentaje de desgaste en cada una de las condiciones antes mencionadas.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las pruebas fueron realizadas bajo condiciones controladas y asumiendo que el desgaste en las pastillas fuera lineal.

4.1. Condiciones atmosféricas

Tabla 5. Condiciones atmosféricas a 2500 metros.

a 2500 metros	
temperatura	22°C
humedad relativa	83%
presión atmosférica	1012 [hPa]

Fuente. Autores.

La prueba se realizó con una muestra de dos pastillas, la 1 y la 2 como se muestra en la tabla 5, la prueba se realizó a “22°C”

En la prueba 3 y 4 a “27°C” a nivel del mar y bajo las condiciones atmosféricas que se detallan en la tabla 6.

Tabla 6. Condiciones atmosféricas a nivel del mar.

a nivel del mar	
temperatura	27°C
humedad relativa	87%
presión atmosférica	1025 [hPa]

Fuente. Autores.

4.2. Desgaste de las pastillas Bosch a 2500 metros sobre el nivel del mar

El estudio realizado en las pastillas aproximadamente a 2500 metros se obtiene el desgaste al restar la masa final de la masa inicial de las pastillas que tomamos como muestra.

Tabla 7. Prueba aprox a 2500 metros.

Prueba aprox a 2500 metros	Pastillas Bosch	
Muestra	1	2
Temperatura ambiente (°C)	22 ^o	22 ^o
Masa inicial (g)	272.1554	272.181
Masa final (g)	263.9908	264.029
Diferencia de masa (g)	8.16465	8.1523

Fuente. Autores

En la tabla 7 se puede apreciar la diferencia de desgaste en las dos muestras aproximadamente a 2500 metros y la relación con la temperatura ambiente.

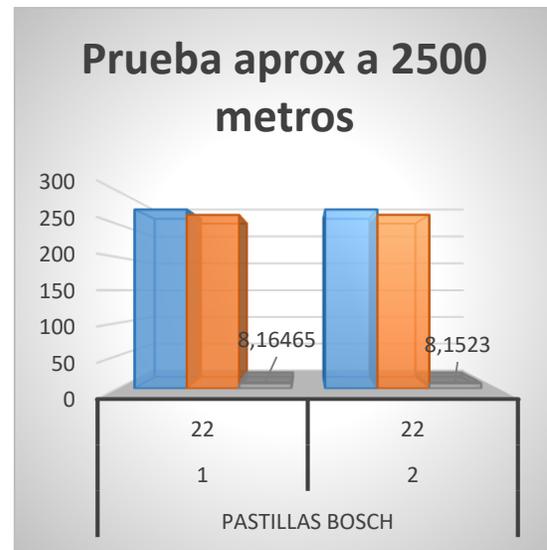


Figura 8. Prueba aprox a 2500

Fuente. Autores.

En la gráfica se puede apreciar que la pérdida de material por desgaste equivale a un 3% en las dos muestras número 2 a 22 grados centígrados

4.3. Desgaste de las pastillas Bosch a nivel del mar

Tabla 8. Prueba nivel del mar

Prueba a nivel del mar	Pastillas Bosch	
Muestra	3	4
Temperatura ambiente (°C)	27 ^o	27 ^o
Masa inicial (g)	272.154	272.156
Masa final (g)	262.704	263.166
Diferencia de masa (g)	9.45	8.99

Fuente. Autores

En la tabla número 6 se puede apreciar la diferencia de desgaste en las dos muestras a nivel del mar y la relación con la temperatura ambiente.

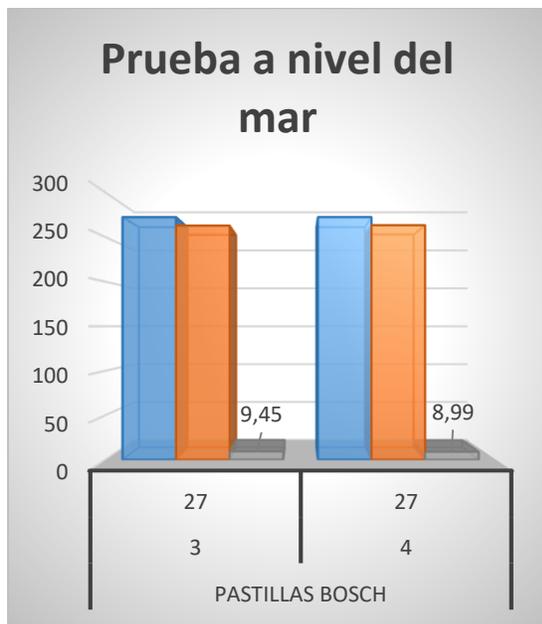


Figura 9. Prueba a nivel del mar

Fuente. Autores

En la gráfica se puede apreciar que la pérdida de material por desgaste equivale a un 3.5 % en la muestra número 3, y un 3% en la muestra número 4 a 27 grados centígrados para las dos muestras

4.4. Comparativa de resultados

Tabla 9. Comparativa de desgaste

Altura	desgaste
a 2500 metros	8,15 [g]
a nivel del mar	9,22 [g]

Fuente. Autores

En la tabla número 9 se puede observar que el desgaste es mayor a nivel del mar que a 2500 metros, en comparación la muestra número 1 con la muestra número 3 el desgaste a nivel del mar se incrementa un 0.5%, y la muestra número 2 con la muestra número 4 se incrementa un 0.3%.

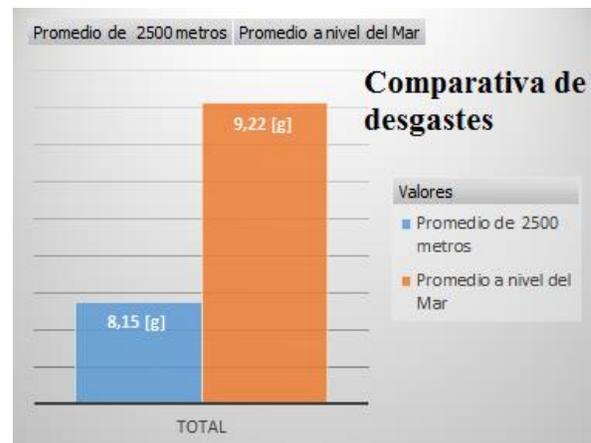


Figura 10. Comparativa de desgastes

Fuente. Autores

En la ilustración número 10 se puede apreciar la variación en el desgaste de las pastillas en promedio en dos muestras se llega a incrementar el desgaste un 0.39 % más a nivel del mar

5. CONCLUSIONES

A partir de los resultados obtenidos y el análisis de los ensayos se determina que el desgaste se incrementa un 0.4% a nivel del mar con respecto a 2500 metros, este incremento es provocado por los diferentes tipos de desgaste que sufren las muestras como: desgaste por adhesión, desgaste por abrasión desgaste por fatiga, desgaste por corrosión, siendo los desgastes por adhesión y por fatiga iguales en las dos condiciones de los ensayos, pero el desgaste por abrasión y corrosión

mayor a nivel del mar debido a su temperatura, humedad.

También se determinará que debido a la abrasión el desgaste va a ser mayor en un inicio debido a las irregularidades de las superficies en fricción, pero este tipo de desgaste irá reduciendo al asentarse las superficies ya que la superficie del cuerpo más blando llegará a tomar la forma del otro.

En el estudio se puede apreciar cómo es directamente proporcional la temperatura ambiente con el desgaste, pero esto es despreciable ya que al iniciar la prueba las dos pastillas tienden a elevar su temperatura en consecuencia sería un error relacionar estos dos factores.

Las diferencias de masas iniciales en las muestras corresponden a más o menos 0.05 gramos en las pastillas.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] Tamayo, I. Estudio de la eficiencia de frenado para valorar pastillas de freno de producción nacional mediante normas ECE 13H. UIDE. (2017).

[2] INEN, Clasificación vehicular NTE INEN 2656, Quito: Instituto Ecuatoriano De Normalización (2012).

[3] Herrera, G.M. Desarrollo de un prototipo tribológico funcional para evaluar el desgaste por fatiga por contacto de rodadura. (2002).

[4] Gutiérrez, W.J.; Olaya, M. Construcción de un equipo para desgaste abrasivo según norma ASTM G-65

[5] Benítez, L. E. La tribología como herramienta de dirección en el mantenimiento

[6] Arnell, R.D.; David, P.B.; Halling, J. and Whomes, T. L. Tribology principles and Design Applications. Ed. MacMillan, (1991).

[7] "ASM Handbook" Vol. 18 fricción, Lubricación & wear technology, Ed ASM internacional. U.S.A. (1998).

[8] Hutchings, I.M. "Tribology, and wear of Engineering Materials." Edit. Edward Arnold. UK. (1992).

[9] Bhushan, G.L. "Handbook of tribology: Materials, Coatings and Surface treatments.", Ed McGraw-Hill. U.S.A. (1991).

[10] Suh, N., "tribophysics", Ed. Prentice Hall. New Jersey, U.S.A. (1986).

[11] Martínez, F. "la tribología. Ciencia y técnica para el mantenimiento". (1996).

[12] D.I.611, Internacional Standard, ISO, 2003

[13] Velasteguí, A. Materiales de fricción y su influencia en el frenado. USFQ. (2015).

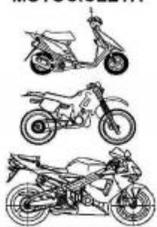
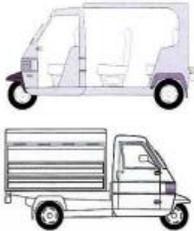
[14] Bosch, manual de taller (2017)

[15] Mitutoyo, "Rugosidad Superficial" Mitutoyo, Catalog Number E70. Taylor Hobson, Manual del Rugosímetro Surtronic 3 Plus.

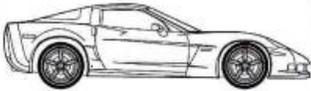
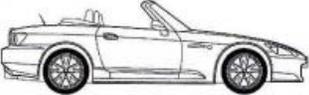
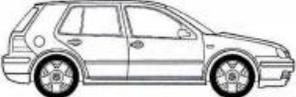
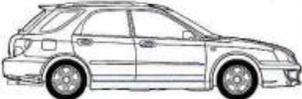
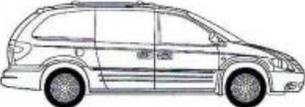
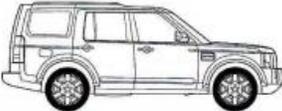
ANEXOS INTRODUCCION

Anexo 1. INEN, Clasificación Vehicular NTE INEN 2656, Quito: Instituto Ecuatoriano de Normalización 2012

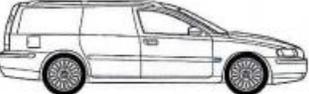
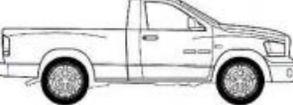
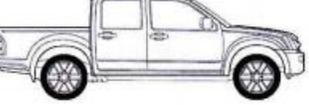
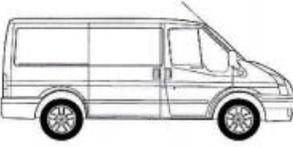
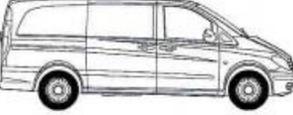
NTE INEN 2656 2012-11

ANEXO A			
Para los efectos de esta norma, se establecen la clasificación de los vehículos según sus características constructivas, así como de su uso y aplicación.			
CÓDIGO	SUBCLASE	CLASE	DESCRIPCIÓN
BMT	L1	BICIMOTO 	Vehículo impulsado por un motor de muy baja potencia, con pedales de bicicleta para poder asistir al motor en las subidas o el arranque.
MTO	L1 L3	MOTOCICLETA 	Vehículo motorizado de dos ruedas para uso terrestre.
TRM	L2	TRICI MOTO 	Vehículo de tres ruedas y de variadas configuraciones, cuya parte delantera puede ser similar a la de una moto y la parte posterior está conformada por una extensión del chasis con dos ruedas posteriores; puede ser abiertos o cerrados, siendo destinado al transporte de pasajeros o de mercancías.
TRC	L2 L5	TRICAR 	Vehículo recreacional de tres ruedas.
CMT	M1 ⁽¹⁾ N1 ⁽¹⁾	CUATRIMOTO 	Vehículo de trabajo, deportivo o de recreación, con timón, montura y motor tipo motocicleta y cuatro ruedas. ⁽¹⁾ Para efectos registrables, estos vehículos tienen el mismo tratamiento que los vehículos de la subclase L.
SED	M1	SEDAN 	Un sedán tiene un techo fijo hasta el parabrisas trasero, consta de tres volúmenes. Tiene 4 puertas y consta hasta 5 plazas.

(Continuación Anexo A)

CÓDIGO	SUBCLASE	CLASE	DESCRIPCIÓN
CPE	M1	<p>COUPÉ</p> 	<p>Un coupé tiene techo fijo con tres volúmenes. Tienen 2 puertas y el número de plazas es hasta 5.</p>
CNV	M1	<p>CONVERTIBLE</p> 	<p>En este vehículo la principal característica es que el techo y la luneta son retráctiles o removibles.</p> <p>Tienen hasta 4 puertas y el número de plazas es hasta 5.</p>
HBK	M1	<p>HATCHBACK</p> 	<p>La principal característica es que el área de pasajeros y de carga conforman un solo volumen. Tienen hasta 5 puertas y hasta 5 plazas en dos filas.</p>
SWG	M1	<p>STATION WAGON</p> 	<p>Vehículo desarrollado a partir de un Sedan, fabricado con una carrocería cerrada, con el techo fijo rígido, extendido hacia atrás para incrementar el espacio de carga. Tiene un número de plazas de hasta 5 en dos filas.</p>
MVN	M1	<p>MINIVAN</p> 	<p>Monovolumen orientado al transporte de pasajeros. Las puertas laterales posteriores pueden ser corredizas, en un máximo de 9 plazas.</p>
UTL	M1	<p>UTILITARIO</p> 	<p>Vehículo orientado especialmente al transporte de pasajeros dentro y fuera de carretera. Las puertas laterales deben ser abatibles, en un máximo de 8 plazas. La tracción puede ser 4x2 o 4x4.</p>

(Continuación Anexo A)

CÓDIGO	SUBCLASE	CLASE	DESCRIPCIÓN
LIM	M1	LIMOSINA 	Vehículo con distancia entre ejes extendida. Especialmente utilizado para el transporte de pasajeros.
FUN	M1SD M2SD N1SD N2SD	FUNERARIO 	Vehículo acondicionado para transportar féretros.
CMT	N1	CAMIONETA  	Una camioneta (pickup) es un vehículo especialmente diseñado para carga, con un volumen definido para carga, con un PBV de hasta 3.5 Ton. El habitáculo de pasajeros puede ser cabina simple, doble cabina o cabina y media.
FGP	M2	FURGONETA DE PASAJEROS 	Vehículo cerrado diseñado para el transporte de pasajeros. El número de plazas puede ser hasta 18.
FGC	N1	FURGONETA DE CARGA 	Vehículo cerrado diseñado para el transporte de carga. No posee ventanas ni asientos en la parte posterior.

ANEXOS FUNDAMENTO TEORICO

Anexo 2. Herrera, G.M. Desarrollo de un prototipo tribológico funcional para evaluar el desgaste por fatiga por contacto de rodadura. (2002).



FUNDAMENTOS DE TRIBOLOGÍA

1.1 IMPORTANCIA DE LA TRIBOLOGÍA

La palabra tribología, se deriva del griego tribos (τριβος) cuyo significado es rozamiento o fricción y logos (λογος) estudio o tratado. Por ello, desde el punto de vista etimológico, se define como el estudio o tratado de los fenómenos de la frotación o fricción. Sin embargo, a un grupo de Científicos del Ministerio Británico de Ciencia y Educación, encabezado por el Prof. Peter Jost, en 1966, la definieron como: “La ciencia y tecnología que estudia los sólidos que se encuentran en contacto y movimiento relativo, así como los fenómenos que de ello se derivan”. En consecuencia, la fricción, el desgaste, y la lubricación son áreas importantes en dicha ciencia [1].

Para el estudio de la tribología, ésta se ve apoyada por otras ciencias, como se muestra en la figura 1-1.

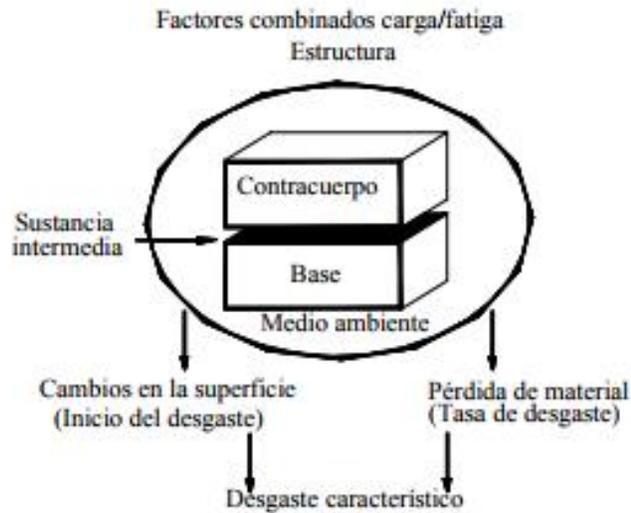


Fig. 1-2 Tribosistema.

1. Base: Cuerpo primario de fricción, en condición de desgaste.
2. Contracuerpo: Cuerpo secundario de fricción bajo condiciones de desgaste.
3. Sustancia intermedia: Aceite lubricante, polvo, fibras, granos, agua, vapor, gases, etc.
4. Medio ambiente: Es el entorno donde se encuentra el sistema; puede estar constituido por gases y/o líquidos en diferentes condiciones de presión; ya sean muy elevadas o al vacío; a temperaturas extremas, etc.



1.2 DESARROLLO HISTÓRICO DE LA TRIBOLOGÍA.

Desde la época de los egipcios ya se tenía un antecedente de la tribología, ya que ellos, utilizaron trineos o bases de madera que se deslizaban sobre rodillos cubiertos de grasa de origen animal.

Otra anécdota importante durante esa época, fueron los estudios realizados a un carruaje, que se encontraba en una tumba egipcia, donde se observó, que en los ejes de sus ruedas, contenía un lubricante; pegajoso y ligeramente aceitoso, con un punto de fusión cercano a los 49.5 °C. Posteriormente, los resultados obtenidos de un nuevo análisis, determinan que la grasa utilizada para dicho eje era de carnero [3]. Al paso del tiempo, el hombre ha convivido con los fenómenos de fricción desgaste y lubricación. Adoptando como ejemplo, una de las primeras aplicaciones durante el periodo paleolítico, la fabricación de herramientas rudimentarias, como fueron los taladros hechos con piedra, cuerno o hueso, utilizados para producir fuego o barrenar. Las tablas halladas en Sumeria, con una antigüedad de aproximadamente 3500 a. C., donde documentan el uso de la rueda en vehículos, apareciendo con ello, las primeras chumaceras. Asimismo, se han encontrado instrumentos, como los tornos de alfareros, que se remontan del año 2000 a. C., en los que se emplearon cojinetes de piedra pulida. Todo esto indica, que la aplicación de la tribología se



A medida que fue evolucionando la civilización, varios personajes como Leonardo de Vinci, Amontons, Desaguliers, Coulomb y Morin, entre otros, realizaron los primeros estudios sobre el fenómeno de la fricción que fueron los fundamentos científicos para la tribología.

Leonardo de Vinci (1452 - 1519), no tuvo predecesores en sus investigaciones sobre la tribología; calculó el coeficiente de fricción para muchos materiales, obteniendo como resultado que éste, dependía de la naturaleza de los cuerpos interactuantes. Los trabajos realizados por de Vinci dieron inicio a investigaciones de las causas de la fricción así como la concepción de “ventaja mecánica”. Esta última, fue introducida en la ciencia de máquinas [3], que comenzó a ejercer gran importancia en la economía de los sistemas mecánicos modernos. Basándose en sus experimentos, Leonardo concibió los siguientes principios:

1. La fuerza de fricción depende de la naturaleza de los materiales en contacto.
2. La fuerza de fricción depende del grado de “pulimento o terminado” en las superficies de contacto.
3. La fuerza de fricción, depende de la posible presencia de un fluido u otro material interpuesto entre las superficies.
4. La fuerza de fricción aumenta con la presión que un cuerpo ejerce sobre otro. Además, la fuerza de fricción es independiente del área de las superficies en contacto.



En los cálculos hechos por Leonardo de Vinci, asumía un valor uniforme de un $\frac{1}{4}$, para el coeficiente de fricción, válido sólo en el caso de superficies suaves y planas, como lo afirma en su trabajo "Atlanticus". "La experiencia demuestra que un objeto con superficie pulida colocado sobre un plano liso, se resiste a ser deslizado con una fuerza igual a la cuarta parte de su peso".

Las máquinas tribológicas diseñadas por Leonardo para medir la fricción se muestran en la figura 1-3 [5].

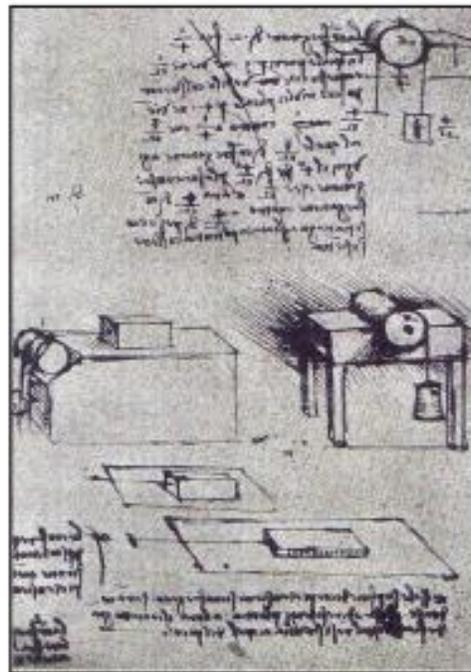


Fig. 1-3 Equipos diseñados por Leonardo de Vinci, para medir la fuerza de fricción.(Fuente: Leonardo de Vinci an Artrabas Book).



Guillaume Amontons, casi tres centurias después, publicó en diciembre de 1699 su trabajo referente al fenómeno de la fricción, titulado “De la resistance causee dans les machines” siendo la primera investigación científica sobre el tema, desde el trabajo de Leonardo de Vinci. [6]

Su contribución a la tribología, consiste en la presentación de las leyes de la fricción:

1. La fricción es independiente del área aparente de contacto entre los dos cuerpos.
2. La fuerza de fricción es proporcional a la carga normal entre las superficies en contacto.

Posteriormente, John Theophilus Desaguliers, en su trabajo titulado “Some experiments concerning the question of lead”, publicado en 1725, reconoció el posible papel de la cohesión o adherencia en el proceso de fricción. Otro aspecto, igualmente, importante es la discusión sobre el grado de impacto del “pegamento o fricción”, en el funcionamiento de las máquinas donde sostuvo que, “debemos ser lo suficientemente cuidadosos para que las deducciones obtenidas de los cálculos concernientes a una máquina, tenga validez matemática”. No obstante, estos estudios no tuvieron una amplia difusión. [6]

El trabajo de Desaguliers, fue retomado, por Coulomb en el año de 1779. [7] Esto sucedió cuando este personaje viajaba en el carruaje, que



lo condujo a Rochefort y le surge la idea de analizar el problema del rozamiento “de rodadura” motivado por el rozamiento de las ruedas del vehículo. Tema que lo obliga a realizar una serie de experimentos sobre la fricción.

Analizó, los motivos ¿del por qué? el carruaje no podía desplazarse más rápidamente, incluyendo el rozamiento de dos superficies planas, las cuales, se encuentran en contacto, por ello tuvo que diseñar y construir un aparato para medirlo y evaluar la fricción. A éste le dio el nombre de Tribómetro, cuyo esquema aparece en la figura 1.4. Este, consiste en una especie de mesa en la que se coloca una caja, atada a un hilo y lleva en su otro extremo un platillo el cual pasa

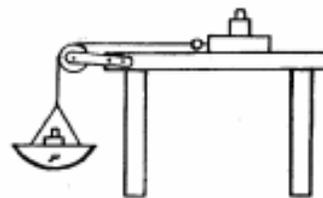
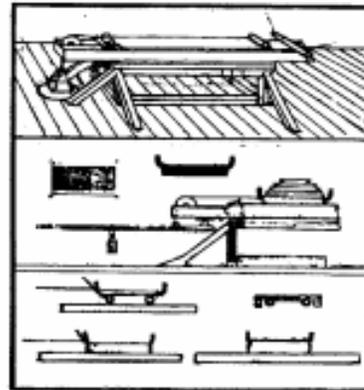


Figura 1.4. tribómetro

por una polea, colocada en el borde de la mesa. Las superficies de roce son la mesa y la caja, la presión se hace variar, a través de las pesas en la caja y las variaciones de las carga, que debe ser colocada en el platillo, para provocar el movimiento de la caja.

De esta forma, Coulomb propuso las siguientes tres leyes para el frotamiento o fricción.



1ª El frotamiento es proporcional a la presión.

2ª El frotamiento es independiente de la superficie.

3ª El frotamiento es independiente de la velocidad de deslizamiento.

Medio siglo después, de que Coulomb abordara el campo de la tribología, Arthur Jules Morin realizó notables estudios sobre la naturaleza del fenómeno de la fricción, iniciándolos en Metz, (antes de ser nombrado Jefe de Mecánica Aplicada en la ciudad de París). Esta brillante investigación, sirvió para llamar la atención de las autoridades del “Conservatoire des Arts et Meteries”. Ambos respondieron a los intereses militares de su país. Por ejemplo, el primer trabajo de Morin; titulado “Memorie concernant de nouvelles experiences sur le frottement faites a Metz en 1831”, fue financiado por el ministerio de guerra.

Una de las tareas de Morin fue la determinación, registro y utilidad de los coeficientes de fricción, obtenidos en experimentos que emplean movimientos de deslizamiento y rodamiento; conocimientos técnicos imprescindibles para los ingenieros mecánicos en la construcción de máquinas. Los coeficientes propuestos por Morin, se les conoce con este nombre, los cuales son más reconocidos que los de Coulomb.

CAPÍTULO II

2.1 CONTACTO MECÁNICO

2.1.1 TENSIONES DE CONTACTO DE HERTZ

Cuando dos cuerpos que tienen superficies curvas se presionan uno contra otro, el contacto en punto o línea se transforma en contacto de área y la tensión desarrollada en ambos cuerpos es tridimensional.

Una teoría de contacto se requiere para predecir la forma de esta área de contacto y cómo ésta crece en tamaño con el aumento de la carga: la magnitud y distribución de las tracciones superficiales, normales y posiblemente tangenciales, transmitidas a través de la interfase, como se presenta en este trabajo, donde 2 superficies no conformales (el balín y la pista de rodamiento) están en contacto.

La distribución de tensiones en el contacto ideal, descrita por Hertz, en 1882, posee una fuerte componente hidrostática, y la sollicitación más severa se produce debajo de la superficie. Se conocen en general como tensiones de contacto de Hertz.

2.1.2 SUPERFICIES DE CONTACTO

2.1.2.1 SUPERFICIES CONFORMALES

Son aquellas superficies cuyos centros de curvatura están en el mismo lado de la interfase. Nota: en una prueba de desgaste, este término es usado en el caso donde la curvatura de ambos especímenes



concuerdan, por lo que el área de contacto nominal durante la prueba permanece constante.

2.1.2.2 SUPERFICIES NO CONFORMALES

Son aquellas superficies donde los centros de curvatura están en lados opuestos de la interfase, como en los elementos rodantes de un balero o los dientes de un engrane. En pruebas de desgaste, una configuración geométrica en la cual un “punto” o “línea” de contacto es inicialmente establecida entre los especímenes antes de comenzar la prueba. Nota: ejemplos de contactos no conformales son las geometrías bola- en - anillo y superficie plana- en- anillo (tangentes a la superficie circunferencial). Cuando el desgaste ocurre, el área nominal de contacto tiende a incrementarse [10].

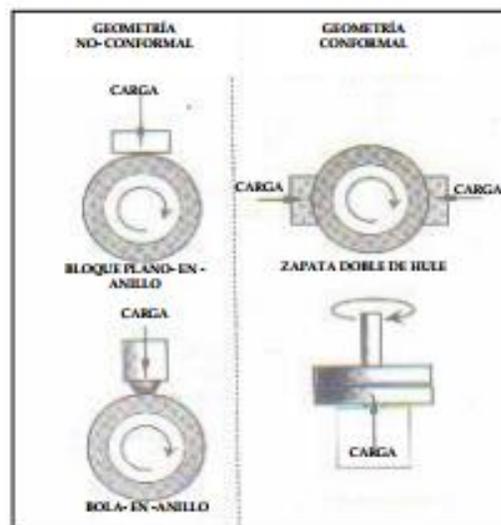


Figura 2-1. Geometrías Conformales y No Conformales



2.1.3 TIPOS DE CONTACTO

2.1.3.1 CONTACTO IDEAL

La distribución de tensiones en el contacto de cuerpos no-conformales fue descrita por Hertz, quien a fines del siglo XIX desarrolló la teoría que con sus hipótesis simplificativas está vigente en la actualidad.

El contacto entre las superficies, posee una geometría particular, que depende de la forma de los cuerpos en contacto. El mismo puede ser un punto o una línea, para el contacto entre esferas o cilindros infinitamente rígidos, respectivamente. Debido a la presencia beneficiosa de las deformaciones elásticas, los contactos puntuales o lineales generan áreas de contacto finitas circulares o rectangulares; respectivamente, haciendo que las tensiones de contacto disminuyan a niveles tolerables por el material. Por ejemplo, el contacto entre una bola y una superficie plana es puntual, mientras que el contacto entre un par de engranajes de dientes rectos es lineal. En el caso más general el área de contacto es una elipse.

La figura 2-2, muestra el contacto en un punto o , entre dos esferas de radios R_A y R_B . Si existe entre ellas una carga P , entonces se produce en ellas, una deformación elástica, generando un área de contacto circular de radio a ; basándose en el principio de la elasticidad, para obtener su solución, Hertz consideró las siguientes idealizaciones:

2.3 DESGASTE

2.3.1 MECANISMOS DE DESGASTE

El desgaste generalmente se inicia según alguno de los mecanismos básicos, para que posteriormente cambie hacia uno combinado o complejo, que provoca el deterioro de las partes. En función de la amplia variedad de criterios, que existen para definir los mecanismos básicos de desgaste, se emplea en el presente trabajo la clasificación más aceptada, la cual se divide en los siguientes mecanismos:



- desgaste por adhesión
- desgaste por abrasión
- desgaste por fatiga
- desgaste por corrosión

Desgaste por adhesión.

Este mecanismo de desgaste, se genera por la atracción entre los átomos de las estructuras de dos cuerpos en contacto, depende del grado de compatibilidad microestructural entre superficies. La adhesión se debe al contacto íntimo a la que llegan dos superficies por



- desgaste por adhesión
- desgaste por abrasión
- desgaste por fatiga
- desgaste por corrosión

Desgaste por adhesión.

Este mecanismo de desgaste, se genera por la atracción entre los átomos de las estructuras de dos cuerpos en contacto, depende del grado de compatibilidad microestructural entre superficies. La adhesión se debe al contacto íntimo a la que llegan dos superficies por las altas presiones específicas en la zona de contacto real.

Desgaste por abrasión.

Este mecanismo de daño se presenta cuando las asperezas de un cuerpo se ponen en contacto e indentan la superficie de un segundo cuerpo más blando, removiendo material al microsurcar y microfracturar creando por ello una raya.

Desgaste por fatiga .

Este mecanismo de desgaste es observado en caso de rodadura, y/o deslizamiento, de una superficie respecto de otra. Esto produce sobre un punto cualquiera del camino de rodadura la aplicación de cargas variables en el tiempo que inducen tensiones capaces de nuclear y propagar fisuras por fatiga pequeñas fisuras superficiales y/o sub-



superficiales. Este tipo de desgaste se detallará ampliamente en el punto 2.3.2.

Desgaste por corrosión.

Este mecanismo, se presenta cuando el movimiento relativo entre superficies actúa inmerso en un medio corrosivo, en donde el daño superficial es debido a la suma de los factores. No debe confundirse con procesos de degradación superficial sin presencia de movimiento relativo entre superficies, en donde el daño será por corrosión estática.

2.3.2 DESGASTE POR FATIGA

El término de fatiga es aceptado generalmente como el tipo especial de daño causado por la acción repetida de esfuerzos cíclicos con una amplitud que alcanza valores por debajo del límite elástico del material. El fenómeno de la ruptura de los materiales sujetos a esfuerzos cíclicos por encima del límite elástico que se ha observado en los últimos años, se le llama "fatiga de pocos ciclos" y se extiende conceptualmente al término "daño por fatiga" [18].

El desgaste por fatiga generalmente se considera debido a la acción de las tensiones o esfuerzos superficiales, sin medir necesariamente a otras interacciones físicas entre las superficies de los cuerpos sólidos.



El desgaste por fatiga superficial es la forma más frecuente de desgaste en los pares de las máquinas, razonablemente protegidos de la acción de contaminantes abrasivos.

Al ponerse en contacto dos cuerpos sólidos con superficies rugosas, se produce la penetración de las irregularidades más rígidas en el contra el cuerpo menos rígidos. El movimiento relativo de las micro irregularidades provoca una intensa deformación de las capas superficiales.

Cálculo Del Desgaste Por Fatiga

En su forma original y desarrollo posterior más completo, la teoría del desgaste por fatiga se debe al soviético Kragelskii y sus colaboradores [18]. A continuación se presenta un resumen de los resultados más importantes incluyendo algunas fórmulas para el cálculo de la Intensidad del Desgaste (I_h).

$$I_h = l/L \quad (2.6)$$

Donde:

l : espesor de la capa desgastada

L : camino de la fricción

La intensidad lineal del desgaste se relaciona con el desgaste volumétrico por la relación:



4.2 FACTORES QUE AFECTAN LA RESISTENCIA A LA FCR

4.2.1 RUGOSIDAD

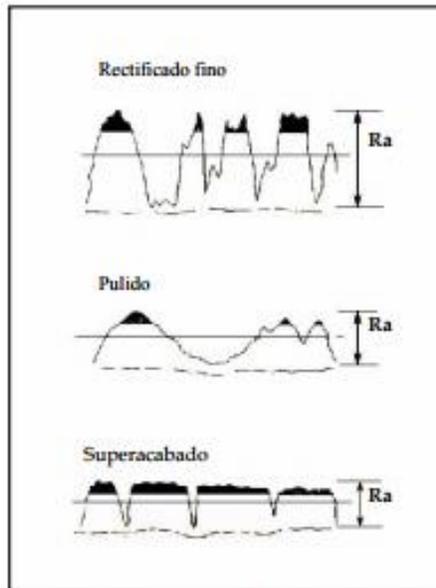


Figura 4-1. Acabado superficial utilizando diferentes procedimientos mecánicos.

Se ha mencionado con anterioridad que un elemento particularmente importante, en la resistencia a la FCR de rodamientos, es la terminación de las superficies de rodadura. Los elementos rodantes se calculan a partir de lo que se llama “área aparente de contacto”, pero debido a las micro-asperidades generadas en la operación de rectificado, existe un “área real de contacto”. Ésta es mucho menor que el área aparente, lo que hace aumentar la tensión de contacto. Por lo tanto, el picado se produce a menudo en aquellas zonas donde por efecto de

una mala terminación superficial, la superficie real, no es la calculada en el diseño.

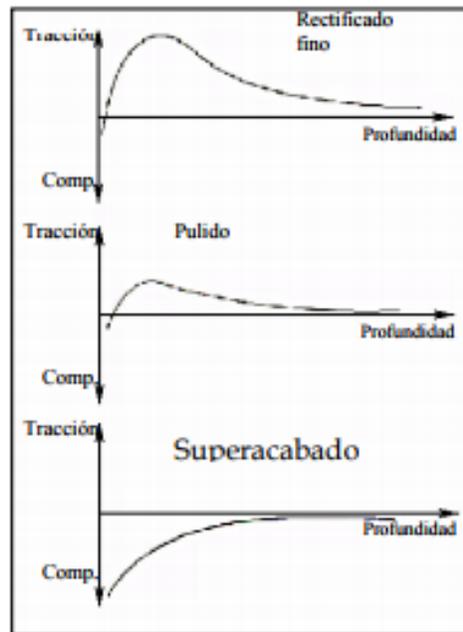


Figura 4-2. Tensiones residuales introducidas por el proceso de acabado mecánico.

La rugosidad se encuentra generalmente representada por el valor R_a , o rugosidad media aritmética, pero este valor no tiene en cuenta otras características geométricas importantes de la superficie. Una de ellas es la superficie portante o superficie real de contacto. La figura 4-1, muestra diversas superficies, con valores R_a similares, pero con diferentes superficies portantes. Debe recordarse que tampoco resulta eficiente una superficie extremadamente lisa, ya que el lubricante escurre entre los cuerpos en contacto sometidos a presión, existiendo la posibilidad del contacto metal-metal. Una rugosidad superficial

Construcción de un equipo para desgaste abrasivo según norma ASTM G-65

Construction of equipment for abrasive wear according to ASTM G-65 standard

Wilder Gutiérrez Quintero, John Jairo Olaya Flórez, María del Pilar Torres Sanabria
Departamento de Ingeniería Mecánica y Mecatrónica, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá,
Colombia
Correo-e: wgutierrezq@unal.edu.co

Resumen— Este trabajo muestra la construcción y puesta a punto de un equipo para ensayos de desgaste abrasivo con arena seca y rueda de caucho “DSRW”, según norma ASTM G-65. Inicialmente se describen los componentes del equipo, de los cuales, algunos se adquirieron comercialmente y otros se construyeron. Posteriormente se realizó la calibración de las siguientes variables: diámetro y dureza del recubrimiento de caucho, tamaño de grano, humedad y flujo del abrasivo, velocidad del motor y fuerza ejercida sobre la probeta. Luego se validó el funcionamiento del equipo según procedimiento B, usando diferentes tipos de materiales: hierro gris, bronce y recubrimientos a base de níquel (Metaceram 23075 y Nitec 10224); presentándose repetitividad en los resultados para cada material. Al aplicar los métodos estadísticos, se determinó el coeficiente de variación, el cual dió por debajo del límite máximo permitido en la norma (6%). Finalmente se realiza el análisis de las huellas de desgaste por microscopía electrónica de barrido, encontrándose los mecanismos de desgaste típicos de los materiales dúctiles y frágiles.

Palabras clave— *abrasivo*, Máquina de desgaste, Norma ASTM G-65, Tribología

Abstract—This work shows the construction and fine tuning of equipment for abrasive wear tests with dry sand rubber wheel “DSRW”, according to ASTM G-65. Initially equipment components are described, some of which were purchased commercially and others were built. Subsequently the calibration of next variables was performed: diameter and hardness rubber coating, grain size, moisture and abrasive flow, motor speed and force applied to the specimen. Validation of equipment operation is then performed according to procedure B, using different types of material: gray iron, bronze and nickel-based coatings (Metaceram 23075 and Nitec 10224), repeatability presenting the results for each material. By applying statistical methods, the coefficient of variation was determined, which was below the maximum limit allowed in the standard (6%). Finally, the analysis of wear scars by scanning electron microscopy is performed, being wear mechanism typical of ductile and fragile materials.

Key Word — Abrasive wear, ASTM G-65 standard, tribology, wear machine.

I. INTRODUCCIÓN

La Tribología es la ciencia y tecnología que estudia las superficies que están en contacto y movimiento relativo, así como los fenómenos que de ellos se derivan [1]. Por lo que la fricción, desgaste y lubricación son tópicos fundamentales de esta ciencia [2].

El desgaste abrasivo es generado por las partículas duras que se introducen entre dos superficies más blandas, que se deslizan o interactúan mutuamente. Las partículas abrasivas pueden ser las propias asperezas de la superficie o bien el producto del desgaste de las mismas; que tienden a cortar y/o arrancar material de la superficie, generando virutas y/o causando deformación plástica severa (superficial y subsuperficial) [3],[4],[5],[6]. La forma en que es arrancado el material o deformada la superficie de una pieza, se conoce como mecanismo de desgaste, el cual puede ser por microarado, microfata, microcorte o microagrietamiento [7],[8],[9].

La prueba estándar de desgaste abrasivo con arena seca y rueda de caucho “DSRW” (dry sand rubber wheel), especificado en la norma ASTM G-65 [10], simula el desgaste de materiales por medio de partículas abrasivas de tamaño controlado, en condiciones de bajo esfuerzo y abrasión por tres cuerpos [11],[12]. El equipo consta principalmente de la tolva y una boquilla para el paso de la arena seca, una rueda de acero recubierta con caucho vulcanizado, palanca para control de la carga, porta-probeta y motor. Como características de funcionamiento, la máquina tiene un variador de velocidad, un contador de revoluciones y un sistema de control. Entre el disco y la probeta se mantiene un flujo laminar y constante de abrasivo (arena) a través de la

boquilla que deja pasar las partículas [13]. El abrasivo es presionado por medio de la palanca con una fuerza constante y definida. La dirección de rotación del disco tendrá el mismo sentido que el flujo de arena. Ver figura 1.

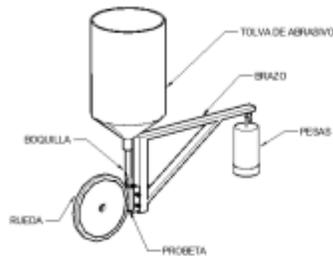


Fig 1. Esquema general máquina DSRW normalizada por la ASTM G65

Respecto a la influencia de las variables de ensayo sobre el desgaste abrasivo, se ha establecido que cuando la fuerza y velocidad de deslizamiento se incrementan ocurre lo mismo con la tasa de desgaste, sin embargo la dureza de la muestra tiene el efecto contrario [14],[15]. El calentamiento por fricción puede generar endurecimiento por deformación y además favorece la formación de películas de óxido generalmente frágiles [16],[17]; la formación de éstas también es favorecida por una velocidad elevada y por humedad excesiva en la arena [18]; otras variables que influyen en el ensayo son la rugosidad de la muestra, la granulometría y morfología de la arena.

Las principales propiedades de los materiales que tienen una influencia directa sobre el comportamiento del desgaste abrasivo son: dureza, tenacidad a la fractura, estructura cristalina, elementos de aleación y tamaño de las partículas [19],[20]. Las tasas de desgaste no sólo dependen de las propiedades del material, sino que es un comportamiento conjunto entre el medio ambiente y el material, lo que se conoce como tribosistema [2].

II. CONTENIDO

A. Procedimiento experimental

1. Componentes del equipo

Para el diseño y la construcción del equipo de arena seca y rueda de caucho, se tuvo en cuenta los parámetros especificados en la norma ASTM G-65. En la figura 2 se muestra el despiece de la máquina fabricada en este trabajo.

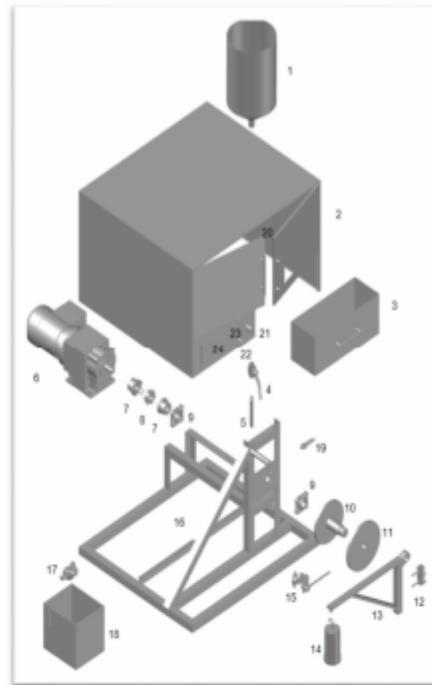


Fig. 2. Despiece del equipo de desgaste abrasivo norma astm g-65.

- | | |
|---------------------------|-----------------------------|
| 1. Tolva | 13. Brazo mecánico |
| 2. Cubierta | 14. Juego de pesas |
| 3. Bandeja de recolección | 15. Mecanismo de liberación |
| 4. Llave de paso | 16. Estructura o chasis |
| 5. Boquilla | 17. Electrobomba |
| 6. Motorreductor | 18. Tanque de agua |
| 7. Acople. | 19. Sensor de rpm |
| 8. Estrella | 20. Lámpara interna |
| 9. Chumacera | 21. Parada de emergencia |
| 10. Eje | 22. Botón de encendido |
| 11. Rueda motriz | 23. Testigo de encendido |
| 12. Portaprobeta | 24. Control digital |

2. Construcción y puesta a punto del equipo

El equipo construido consta de partes que son comerciales y componentes que fueron fabricados durante el desarrollo del proyecto, los cuales se especifican a continuación.

- **Tolva:** Recipiente donde se almacena el material abrasivo; está construida en lámina de acero cold roll calibre 18 y tiene una capacidad de 20 litros, su geometría y dimensiones se especifican en la figura 3.

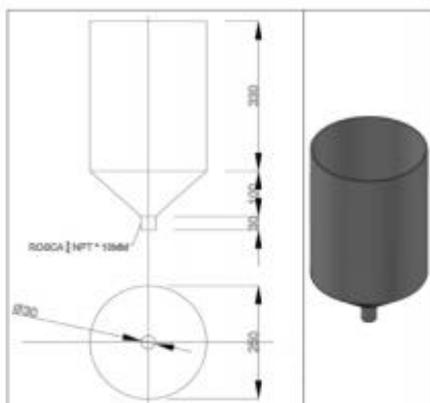


Fig. 3. Tolva.

- **Boquilla:** Está fabricada en acero galvanizado; su geometría garantiza un flujo laminar y constante del abrasivo. Ver figura 4.

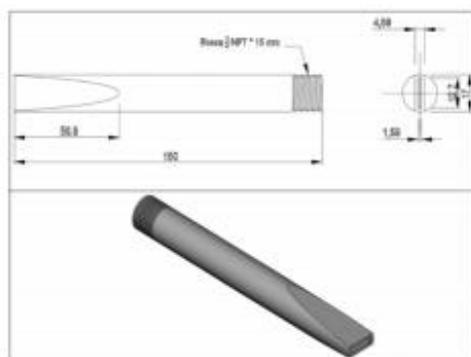


Fig. 4. Boquilla.

- **Eje:** Fabricado en acero al carbono AISI 1045. Encargado de transmitir el movimiento del reductor al disco. Ver figura 5.

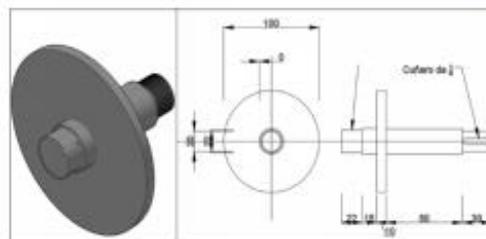


Fig. 5. Eje.

- **Rueda Motriz:** Está fabricada en acero al carbono AISI 1045, recubierta de un caucho de 1/2" de espesor, cuyo material es una combinación de isopreno con estireno polibutadieno. Su función principal es arrastrar y dirigir la arena contra la muestra, actuando como un disco abrasivo. Las dimensiones se especifican en la figura 6.

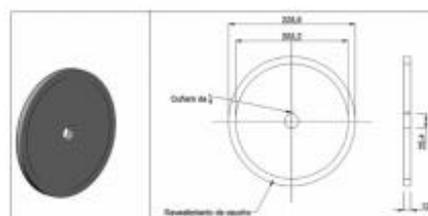


Fig. 6. Rueda motriz.

- **Portaprobeta:** Se fabricó a partir de láminas de acero hot roll de 1" * 1/8". Es un dispositivo de sujeción de la muestra a analizar que se encuentra equipado con una termocupla; por ser un componente hueco permite el paso del líquido refrigerante y mantiene la temperatura de la probeta constante. Ver figura 7.

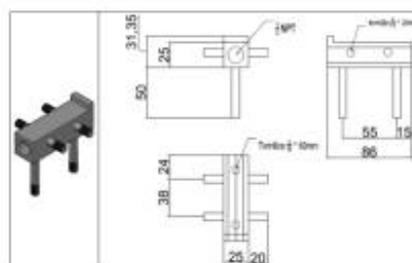


Fig. 7. Portaprobeta.

- **Brazo mecánico:** Dispositivo que actúa en forma de palanca; sostiene en un extremo las pesas del sistema y en el otro la muestra de análisis. Al presionar la probeta contra el caucho

de la rueda asegura una fuerza constante durante todo el ensayo. El brazo se construyó con platinas de acero estructural, ensambladas por medio de soldadura y elementos mecánicos de sujeción. Se muestra en la figura 8.

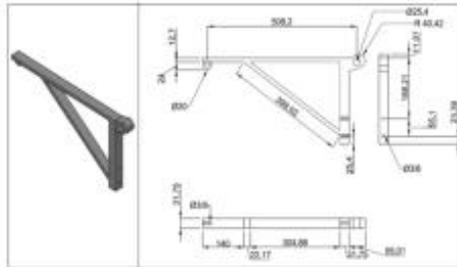


Fig. 8. Brazo mecánico.

• Estructura metálica: Construida en tubo cuadrado y ángulo de 1-1/2" en acero cold roll, cuya función es soportar todos los componentes del equipo. Ver figura 9.

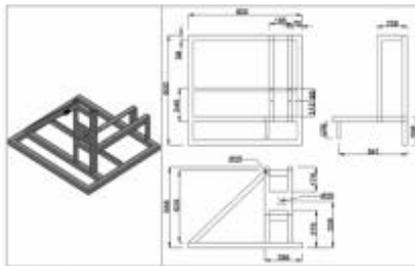


Fig. 9. Estructura metálica.

• Moto reductor: Motor trifásico marca Bauer de 0,75 Hp a 1700 Rpm con un consumo de 0.87A en carga, reductor de engranajes helicoidales; provee una velocidad final de 217 RPM y un torque de 38.5 N.m. Ver figura 10.



Fig. 10. Motoreductor.

Teniendo en cuenta estos elementos, se prosiguió a realizar el ensamble del equipo y posterior puesta a punto por medio de la calibración de las principales variables del ensayo.

3. Calibración de variables.

Los procedimientos realizados para la calibración de cada una de las variables, se especifican a continuación.

❖ Velocidad del motor. Para asegurar que la velocidad del motor fuera constante y estuviera dentro de norma, se introdujo al sistema de control un PLC de 4 salidas marca Delta, un display de control y un variador de velocidad. Esta se calibró utilizando un contador de revoluciones digital. Ver figura 11.



Fig. 11. Sistema de control.

❖ Dureza del recubrimiento de caucho. Esta dureza se tomó en cuatro puntos al entorno, cada uno separado 90° sobre la periferia de la rueda. Este valor concuerda con el certificado de calidad de la empresa fabricante.

❖ Diámetro del recubrimiento de caucho. Se midió el diámetro utilizando un calibrador Vernier para asegurar que estuviese dentro de los parámetros establecidos. Adicionalmente se verificó la concentricidad del recubrimiento con un comparador de caratula.

❖ Fuerza de ensayo: Dado a que la fuerza ejercida sobre la probeta se aplica por medio de pesas ubicadas en el extremo del brazo mecánico, fue necesario calcular la masa de éstas por medio de una sumatoria de momentos. Para ello, se fabricaron dos pesas que ejercen una fuerza de 130 y 45 N sobre la probeta; luego, para verificar estos valores se realizaron varias tomas, utilizando un dinamómetro de 0 a25 kg.

❖ Abrasivo. Se utilizó arena Ottawa sílica, su morfología corresponde a un grano redondeado, tal como se observa en la figura 12.

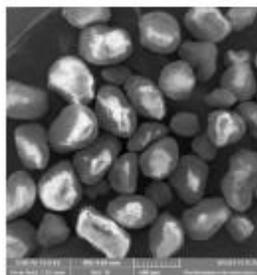


Fig. 12. Micrografía SEM arena Ottawa.

- Humedad del abrasivo. Se determinó sometiendo 100g de arena a una temperatura de 105°C durante una hora. Se efectuaron 10 repeticiones.

- Tamaño de grano del abrasivo. Para determinar el tamaño de arena óptimo, se utilizaron tamices de la serie Tyler.

- Flujo de arena. Para calibración de este parámetro, se dejó pasar arena por la boquilla durante un minuto y posteriormente se pesó. Se efectuaron 15 repeticiones.

4. Materiales a ensayar

Para la puesta a punto del equipo se realizó ensayos a cuatro (4) tipos de materiales. Las propiedades de cada uno se especifican en la tabla 1.

MATERIAL	COMPOSICION QUIMICA	DUREZA (HV)	DENSIDAD (g/cm ³)
Funcion gris ASTM 48-64	3,2-3,9C + 2,2-2,4Si 0,6-0,9Mn + 0,2P + 0,2S	200-260	7,2
Bronce fosforado	84-86Cu + 4,3-6Sn 4,3-6Zn + 4-5,7Pb 0,05P - 0,3Fe + 0,25Sb	65-75	8,5
Metaceram 23075	4-4Ni + 40WC Co + 3,3Cr 1,9B 2,1Fe + 2,3Si + 0,4C	690	9,1
NiRec 10224	Ni+ 4%Fe, B, Si	200-240	8,1

Tabla 1. Materiales ensayados.

5. Fabricación de probetas.

Para efectuar las pruebas de desgaste abrasivo se fabricaron probetas de 3" (76,2 mm) de largo por 1" (25,4 mm) de ancho y 1/2" (12,7 mm) de espesor [10].

Las probetas se fabricaron en los materiales expuestos en la sección anterior. El número de ensayos realizados fueron dieciséis (16), cuatro (4) para cada tipo de material realizando

A. Resultados y discusión

1. Variables

En la tabla 2 se indican las variables que se tuvieron en cuenta en la calibración del equipo, los valores requeridos por la norma y los obtenidos durante el desarrollo de pruebas, donde se puede observar que los valores obtenidos se encuentran dentro de los parámetros exigidos por la norma, brindando un alto grado de confiabilidad del equipo.

VARIABLES	VALORES	
	Norma ASTM G-65	Obtenidos
Velocidad del motor	200 rpm ±10 rpm	202 rpm
Dureza del recubrimiento de caucho	58 a 62 shore A	60,25 shore A
Diámetro del recubrimiento de caucho	9° concentricidad ± 0,002"	9° concentricidad 0,001"
Humedad del abrasivo	≤ 0,5%	0,22%
Tamaño de grano del abrasivo AFS 50/70	Tamiz 50: 5% máx. Tamiz 70: 95% mín.	Tamiz 50: 3% Tamiz 70: 97%
Flujo de arena.	280 – 350 g/min	304,1 g/ min.
Fuerza ejercida sobre la probeta	130 N 45 N	130 N 45 N

Tabla 2. Parámetros para calibración de variables.

2. Ensayo de desgaste abrasivo

Teniendo las variables del equipo calibradas, se prosiguió a efectuar las pruebas de desgaste abrasivo, según el procedimiento B de la norma ASTM G65, utilizando los parámetros mostrados en la tabla 3.

PROCEDIMIENTO ASTM	FUERZA EJERCIDA / PROBETA (N)	REVOLUCIONES DE LA RUEDA	ABRASIÓN LINEAL (m)
B	130	2000	1436

Tabla 3. Procedimiento B para ensayos de desgaste abrasivo, Norma ASTM G-65.

El parámetro principal para determinar el desgaste abrasivo, es la pérdida de masa, tal como se muestra en la ecuación 1 [10].

$$V_p = \frac{(P_i - P_f)}{\delta} + 1000 \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde;

V_p = Volumen perdido en mm^3
 P_i = Peso inicial de la probeta en g
 P_f = Peso final en g
 δ = Densidad del material en g/cm^3

Utilizando esta ecuación, se obtienen los resultados de desgaste abrasivo (volumen perdido en mm^3).

2.2.1 Precisión y exactitud. Para comprobar la precisión y la exactitud de los datos arrojados por el equipo, se utilizan métodos estadísticos, donde a partir del volumen perdido se calcula el promedio y la desviación estándar, de acuerdo a la ecuación 2 y posteriormente se determina el coeficiente de variación con base en la ecuación 3.

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum(x - \bar{x})^2}{n - 1}} \quad \text{Ecuación 2}$$

$$C_v = \frac{\sigma}{|\bar{x}|} \cdot 100 \quad \text{Ecuación 3}$$

Donde:

σ = Desviación estándar
 \bar{x} = Media aritmética del volumen perdido
 x = Volumen perdido
 n = Número de ensayos
 C_v = Coeficiente de variación

En la tabla 4 se indican los valores obtenidos de desgaste abrasivo (mm^3) y del coeficiente de variación (%).

MUESTRA	PESO INICIAL (g)	PESO FINAL (g)	PESO PERDIDO (g)	DESGASTE ABRASIVO VOLUMEN (mm^3)	MEDIA (mm ³)	DESVIACION ESTANDAR	COEFICIENTE DE VARIACION %
FUNDICION GRIS	206,1511	195,5176	1,0735	162,9907	164(98)	2,205	1,374
	211,1761	210,5193	0,6568	161,3841			
	214,2781	213,0235	1,2546	128,5178			
	214,1292	213,8921	0,2371	153,9168			
BRONCE	307,0116	298,4696	8,5420	426,3170	426(104)	2,123	0,499
	314,4572	306,9076	7,5496	427,6586			
	316,6864	310,8531	5,8333	428,0721			
	306,1217	297,6744	8,4473	427,6280			
METACERAM	212,0277	210,2630	1,7647	21,946	21,07	0,0361	0,142
	212,312	210,3194	1,9926	21,910			
	214,211	221,2508	0,0397	21,365			
	215,076	215,2830	0,2064	21,088			
NITEC	219,784	218,7100	1,074	212,2840	212(97)	1,144	0,545
	211,593	210,6795	0,9135	215,0817			
	212,411	211,2811	1,1299	216,0395			
	215,793	214,013	1,780	215,9630			

Tabla 4. Resultados de los ensayos de desgaste abrasivo.

Como el coeficiente de variación se encuentra por debajo del límite máximo permitido (6%) indicado en la norma para el procedimiento B, se puede comprobar que éste se encuentra bajo control.

2.2.2 Análisis de las huellas de desgaste abrasivo.

Una vez realizados los ensayos se obtuvieron las huellas de desgaste indicadas en la figura 13(a-d).

Es importante verificar que la huella sobre la probeta se encuentre centrada y sea uniforme; tal como se observa en figura 13(e), tomada de la norma. Un patrón no uniforme indica una incorrecta alineación de la rueda, variaciones en el flujo de arena o que la geometría de la probeta no es uniforme.

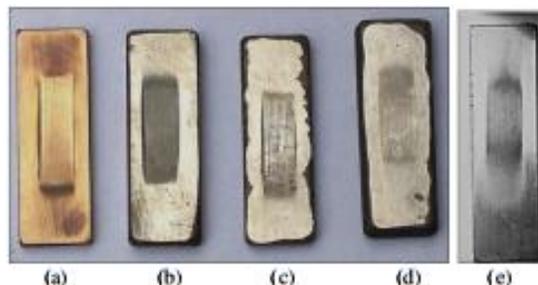


Fig. 13. Huellas de desgaste abrasivo obtenidas en el equipo construido. (a) Bronce, (b) Fundición, (c) Nitec (c) Metaceram (e) Huella según norma ASTM G65 [10].

En la figura 14 se muestran las micrografías de las huellas de desgaste obtenidas para los diferentes materiales, tomada con el Microscopio Electrónico de Barrido. Para el caso del Bronce (a) y el Nitec (b), que son materiales de comportamiento dúctil, los mecanismos de desgaste observados son: microarado, formación de cuña y microcorte. Aquí los surcos son más profundos, presentando desprendimiento de material, ocasionado por el corte y una deformación plástica.

Por otro lado, para la fundición gris (c) y el Metaceram (d) que son materiales frágiles, los mecanismos de desgaste presentes son: microarado, microfatiga y microagrietamiento, allí se observan surcos de menor profundidad junto con formación de microgrietas producidas por las altas concentraciones de tensión superficial cuando se desliza una partícula abrasiva.

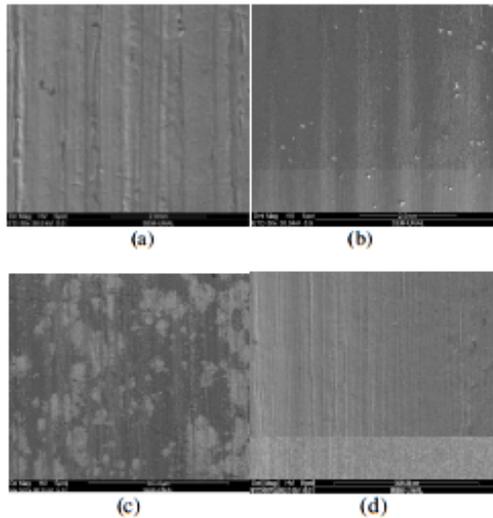


Fig. 14. Micrografías SEM (a) Bronce a 50x, (b) Nitec a 50x, (c) Fundición gris a 500x, (d) Metaceram a 500x.

III. CONCLUSIONES

Con el desarrollo de este trabajo se logró construir y poner a punto un equipo para ensayos de desgaste abrasivo, cumpliendo con los requisitos exigidos por la Norma ASTM G-65, con el cual se pueden analizar diferentes tipos de materiales por el procedimiento que más convenga.

Se efectuó la calibración de las variables influyentes, a saber: diámetro y dureza del recubrimiento de caucho, tamaño de grano, humedad y flujo del abrasivo, velocidad del motor y fuerza ejercida sobre la probeta. Dichos parámetros deben controlarse de manera adecuada durante las pruebas de desgaste abrasivo para garantizar de esta forma, la confiabilidad de los resultados obtenidos.

Se validó el funcionamiento del equipo usando diferentes tipos de materiales: hierro gris, bronce y recubrimientos a base de níquel (Metaceram 23075 y Nitec 10224) según procedimiento B de la Norma ASTM G-65, presentándose repetitividad en los resultados para cada material.

A aplicar los métodos estadísticos, se determinó el coeficiente de variación, el cual se encontró por debajo del límite máximo permitido en la norma (6%) para el procedimiento B, por lo tanto se puede comprobar que éste se encuentra bajo control.

Finalmente se realiza el análisis de las huellas de desgaste por microscopía electrónica de barrido, donde se evidencian los

mecanismos de desgaste de microarado, microfatiga y microagrietamiento, para los materiales frágiles; mientras que para los materiales dúctiles, los mecanismos fueron el microarado y el microcorte.

REFERENCIAS

- [1]. A. Stolarski t. "Tribology in Machine Design". USA, Edit. Industrial Press Inc, 1991.
- [2]. L. López, Edgar Jesús. Estudio experimental del desgaste abrasivo en acero AISI 8620, D-2 y H-13 con y sin tratamiento superficial". Instituto Politécnico Nacional, Escuela Superior de Ingeniería. México, 2004. p. 2-3.
- [3]. M. A. Marquez. "Diseño de una máquina tribológica para pruebas de desgaste abrasivo severo". Tesis de maestría, SEPI ESIME IPN. México, 2002.
- [4]. P. Nam , "Suh. Tribophysics", USA , Editorial Prentice Hall, 1986.
- [5]. G. B. Raymond. "Mechanical wear prediction and prevention". USA, Editorial Marcel Dekker, 1994.
- [6]. I. M. Hutchings. "Tribology: Friction and wear of engineering materials". Editorial Great Britain, 1992.
- [7]. J.C. Gutiérrez, L. León, G. Mesa, G. Darío, A. Toro. "Evaluación de la resistencia al desgaste abrasivo en recubrimientos duros para aplicaciones en la industria minera". Scientiaet Technica Año X, No 25, Agosto 2004.
- [8]. G. W. Stachowiak, and A. W. Batchelor. "Engineering Tribology. Butterworth Heinemann". Team LRN. 2001.
- [9]. J. H. Reyes., D. A. Garzón., J. J. Olaya. "Una revisión sobre las características, mecanismos y tipos de desgaste abrasivo en superficies. Departamento de Ingeniería Mecánica y Mecatrónica". Universidad Nacional de Colombia.
- [10]. ASTM Standard Test Method for Measuring Abrasion Using the Dry Sand/Rubber Wheel Apparatus. ASTM G65 -04, 2010.
- [11]. ASM INTERNATIONAL. "Handbook. Mechanical Testing and Evaluation". Vol 8, 2000, pp. 706 - 709.
- [12]. D. F. Rodríguez, "Construcción y montaje de una máquina para realizar pruebas de desgaste abrasivo según norma técnica ASTM G65". Tesis, Universidad de los Andes. Bogotá, 2007.
- [13]. ASTM Standard practice for Conducting dry sand / rubber abrasion test, ASTM G65-80.
- [14]. G. Gore, "Effect of hardness on three very different forms of wear". Wear, 203-204, pp. 544-563. 1997
- [15]. L. Fang, Q. Zhou, and Y. Li, "An explanation of the relation between wear and material hardness in three-body abrasion". Wear, 151. pp. 313-321. 1991
- [16]. A. Edrisy, et al., "Wear mechanisms in thermal spray steel coatings". Tribology and Interface Engineering 2Series, 41, pp. 5, 2003.

Rugosidad Superficial

Introducción

El constante progreso en el área industrial exige métodos cada vez más eficientes para la obtención de productos cada vez más sofisticados. El diseño de nuevos mecanismos exige una perfección creciente y las tolerancias de fabricación se hacen cada día menores, tanto que las formas anteriormente aceptadas debido a su método de obtención a través de máquinas-herramientas, ya no podrán ser más aplicadas sin previa verificación de su geometría y textura superficial.

Superficies reales, por más perfectas que sean, presentan particularidades que son una marca del método empleado para su obtención, por ejemplo: torneado, fresado, rectificado, bruñido, lapidado, etc. Las superficies así producidas se presentan como conjunto de irregularidades, espaciamiento regular o irregular y que tienden a formar un patrón ó textura característica en su extensión. En esta textura superficial se distinguen dos componentes distintos: rugosidad y ondulación.

La rugosidad ó textura primaria, está formada por surcos o marcas dejadas por los agentes que atacan la superficie en el proceso de mecanizado (herramienta, partículas abrasivas, acción química, etc.) y se encuentra superpuesta al perfil de ondulación. Los espacios entre crestas varían entre 4 y 50 veces la profundidad de la depresión.

La ondulación o textura secundaria es el conjunto de irregularidades repetidas en ondas de paso mucho mayor que la amplitud y que pueden ocurrir por diferencia en los movimientos de la máquina-herramienta, deformación por tratamiento térmico, tensiones residuales de forja o fundición, etc.

Los espaciamientos entre las ondas (compresiones de ondulación) pueden ser de 100 a 1000 veces su amplitud.

- 1- Extensión de rugosidad.
- 2- Extensión de ondulación.
- 3- Orientación de los surcos.
- 4- Amplitud de ondulación.
- 5- Amplitud de rugosidad (Altura pico-valle).

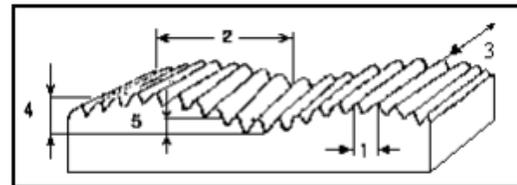


Figura 1

Para estudiar y crear sistemas de evaluación del estado de las superficies se hace necesario definir previamente diversos conceptos que permiten crear un lenguaje apropiado, así tenemos:

- Superficie ideal
- Perfil ideal
- Superficie real
- Perfil real
- Perfil efectivo
- Perfil de rugosidad

Los que analizaremos a continuación:

Superficie ideal

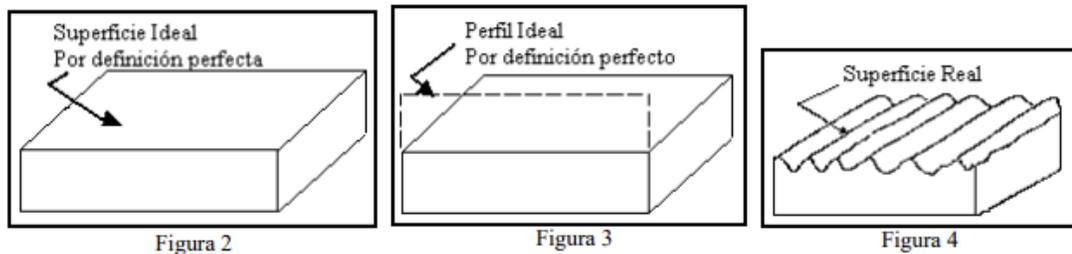
Es la superficie ideal, por definición sin errores, perfecta. Ejemplo: superficie plana (figura 2), cilíndrica, etc.

Perfil Ideal

Perfil resultante del corte de una superficie ideal por un plano perpendicular (figura 3). En algunas normas esta característica es denominada perfil nominal, y es el perfil ideal, por definición sin errores.

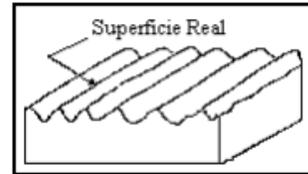
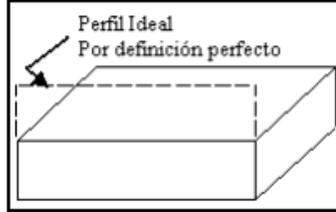
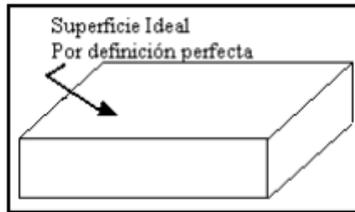
Superficie Real

Es la superficie que limita al cuerpo y la separa del medio ambiente (figura 4).

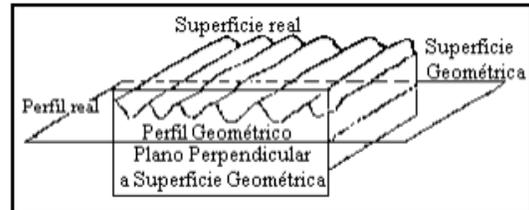


Superficie Real

Es la superficie que limita al cuerpo y la separa del medio ambiente (figura 4).



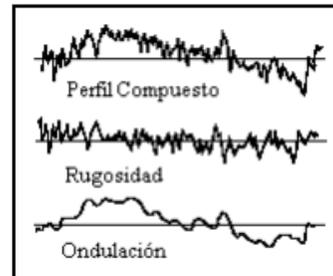
Perfil Real: Es el perfil resultante de cortar una superficie real por un plano definido en relación a la superficie ideal. Limita la sección material y la separa del medio ambiente, incluida la ondulación (fig. 5).



Perfil Efectivo: Imagen aproximada de un perfil real obtenido por un medio de evaluación ó medición. El perfil efectivo es función de las características geométricas y físicas del instrumento de medición y de la técnica utilizada para su evaluación. No es filtrado y su diferencia con el perfil real es una cierta deformación causada por la imprecisión del aparato.

Perfil de rugosidad: Se obtiene a partir del perfil efectivo por un instrumento de evaluación con sistema de filtrado (filtrado de ondas) para excluir otras irregularidades (ondulación, por ejemplo).

De acuerdo a las definiciones presentadas, se concluye que el perfil de rugosidad está superpuesto al perfil de ondulación, de allí la necesidad de contar con un sistema que permita excluir a este último para una



ANEXOS MATERIALES Y MÉTODOS

Anexo 5. Bosch, manual de taller 2017

Seguridad

Durabilidad, desempeño y seguridad fueron los factores determinantes para el desarrollo del nuevo Programa de Pastillas de Bosch, siempre buscando el mejor coeficiente de fricción.

Normas Internacionales establecen 6 niveles de coeficiente de fricción, que varían de 0,15...0,55. Las nuevas pastillas de Bosch alcanzan los más altos niveles, entre 0,35...0,55.

Tabla coeficiente de fricción

Código	Arriba de	Hasta
C		0,15
D	0,15	0,25
E	0,25	0,35
F	0,35	0,45
G	0,45	0,55
H	0,55	

Formulación específica

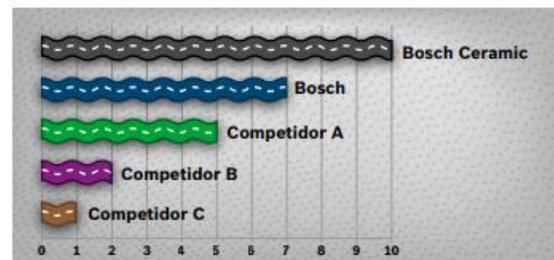
Las pastillas Bosch son proyectadas y producidas para cada tipo de vehículo según las características del Equipo Original. Sus placas, diseños, ranuras biseladas y características siguen los estándares del equipo original, garantizando seguridad, eficiencia en el frenado, ausencia de trepidación y facilidad de instalación.

Durabilidad

Otra condición esencial para garantizar la seguridad en el frenado es la durabilidad de las pastillas, determinada, principalmente, por la calidad y composición de los materiales utilizados en su fabricación.



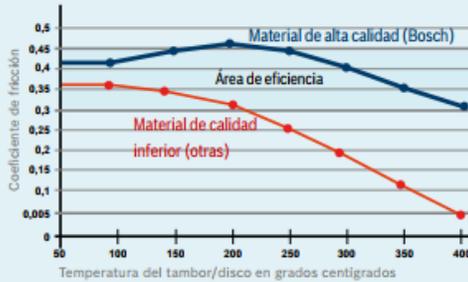
Durabilidad de las pastillas Bosch



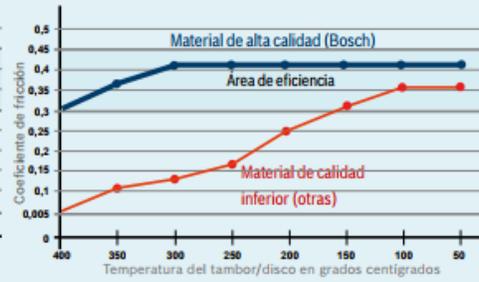
Eficiencia de frenado en cualquier situación

La calidad de los materiales de fricción utilizados en el Programa de Pastillas aumenta la capacidad de frenado y la durabilidad del producto. En síntesis: la pastilla dura más y mantiene su coeficiente de fricción incluso en condiciones severas de frenado.

Pérdida de eficiencia del frenado por alta temperatura



Recuperación



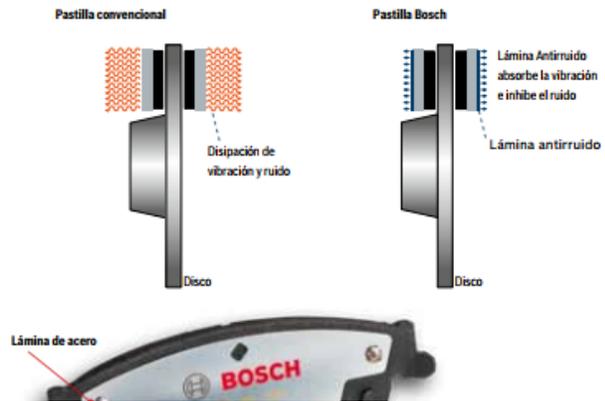
Las pastillas Bosch se mantienen dentro del área de eficiencia en todo el espectro de temperaturas de operación

Tecnología antirruído

Lo que hace realmente especial el Programa de Pastillas Bosch es que todas ellas poseen un sistema antirruído. Son dos tipos de láminas que minimizan la vibración generada por la fricción y reducen la emisión de ruidos durante el frenado.

1. Lámina Antirruído de Fibra de Vidrio Pastillas Bosch

En las Pastillas Bosch, la lámina antirruído posee un tratamiento de fibra de vidrio, que ayuda a amortiguar la vibración.



1. Lámina Antirruído de Fibra de Vidrio Pastillas Bosch

En las Pastillas Bosch, la lámina antirruído posee un tratamiento de fibra de vidrio, que ayuda a amortiguar la vibración.

2. Lámina SSV – Sistema Silenciador Vulcanizado Pastillas Cerámicas

En este sistema, una exclusiva lámina compuesta de dos capas de acero con tratamiento de zinc y níquel, unidas por una goma vulcanizada, actúa como un amortiguador y absorbe las vibraciones que ocurren durante el frenado, eliminando el ruido.

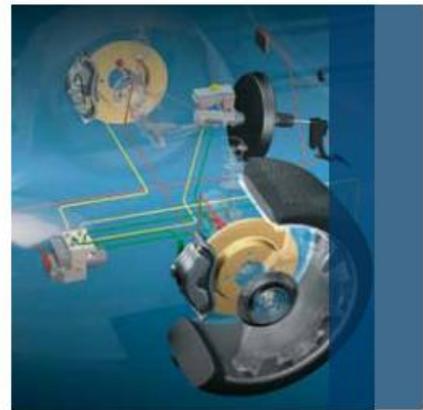


Lubricación adecuada

Todas las pastillas Bosch son acompañadas de un lubricante resistente a temperaturas de hasta 218 °C.

Beneficios

- ▶ Evita la corrosión
- ▶ Reduce el desgaste de los componentes asociados al sistema de frenos
- ▶ Aumenta la vida útil del sistema
- ▶ Mejora el movimiento del cáliper
- ▶ Facilita la instalación



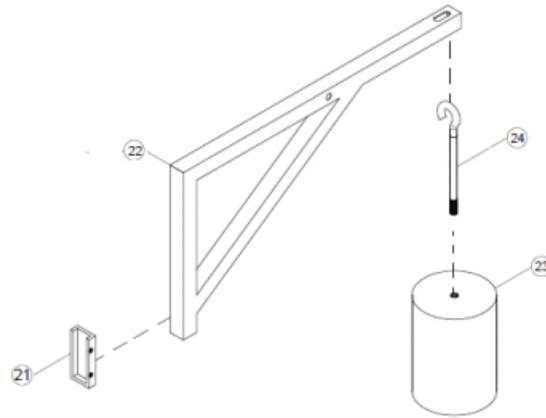


Figura 142. Isometría de secuencia de montaje del brazo de palanca.

4.2.4. Diagrama de montaje del sistema de llenado y transporte neumático

El sistema de transporte cumple la función de transportar en un flujo de aire a la arena abrasiva, y el sistema de llenado cumple la función de almacenar el abrasivo transportado, para ser liberado durante el ensayo de abrasión. En la fabricación de las partes que integran estos sistemas, intervinieron procesos de: corte, soldadura, torneado, taladrado y barolado.

2

Montar ventana izquierda (53) a zona media de bastidor (2)
(Martillo de goma, Tiempo 5 min)

Figura 156. Diagrama de montaje de ventanas.

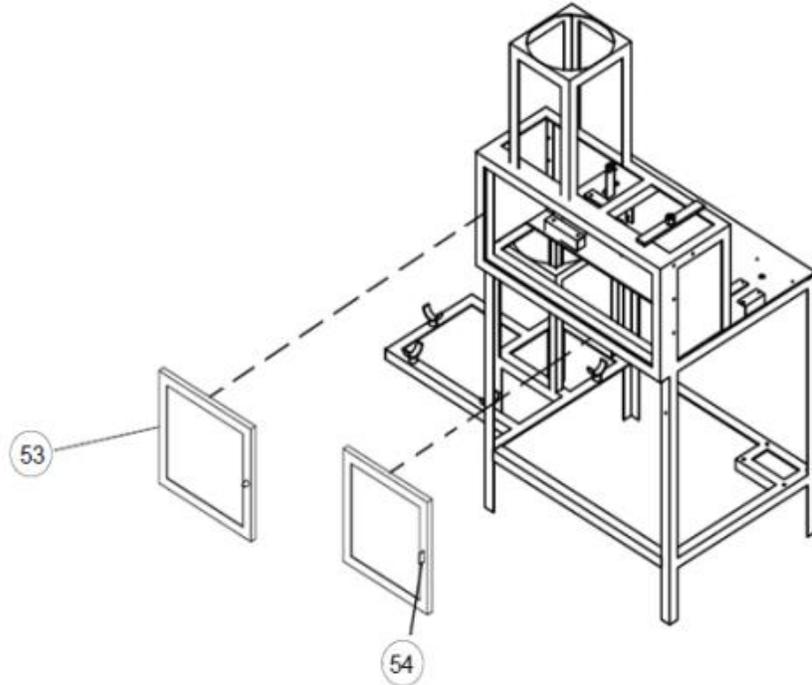


Figura 157. Secuencia de montaje de ventanas.

4.3. Pruebas

Las pruebas del equipo de abrasión están compuestas en tres partes. La primera se enfatiza al correcto funcionamiento del equipo, tanto en vacío, y

4.3.2.4. Pruebas del brazo de palanca

Dentro de los parámetros de la norma ASTM G-65, la fuerza de impacto debe ser de $130 \text{ N} \pm 3,9 \text{ N}$ ($30 \text{ Lb} \pm 0,9 \text{ Lb}$), para comprobar dicha fuerza se colocó un dinamómetro durante el ensayo en el extremo del contrapeso y probeta como la figura 158 y 159.

178





Figura 161. Pruebas de fuerza para brazo de palanca con dinamómetro.

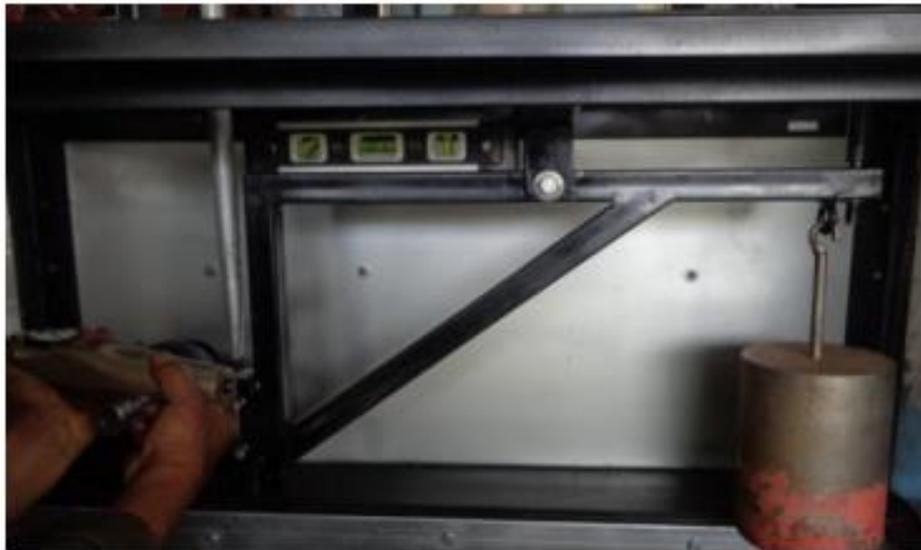


Figura 162. Pruebas de fuerza para brazo de palanca con dinamómetro en extremo probeta.

Anexo 7. Velasteguí, A. Materiales de fricción y su influencia en el frenado. USFQ. (2015).

Recuperado el 10 de abril de 2018 desde

<file:///C:/Users/usuario/Downloads/materiales%20pastilla%20de%20freno-eficiencia%20de%20frenado.pdf>

6 CAPÍTULO VI: CARACTERÍSTICAS DE LAS PASTILLAS DE FRENO UTILIZADAS

Las pastillas de freno que se utilizaron para las pruebas son: de tipo semimetálica, de carbono y cerámica.

6.1 Pastillas Semimetálica

Estos tipos de pastillas de freno están hechos de aproximadamente 30% a 65% de metal, y por lo general están hechos de lana de acero, alambre, de cobre o de otros materiales metálicos. Estos tipos de pastillas de freno se considera que son muy duraderos, pero también pueden desgastar los discos de freno más rápido. Además, las pastillas de freno semimetálicas no pueden funcionar bien en temperaturas muy bajas.



Ilustración 28 Pastillas Semimetálicas Ford Escape (Ford, 2015)

Existen muchas formulaciones para pastillas semimetálicas, donde pondremos a disposición diez formulaciones de pastillas de freno semimetálicas que componen de entre ocho a catorce los ingredientes.

Ingredientes	Formulación (% peso)									
	SM1	SM2	SM3	SM4	SM5	SM6	SM7	SM8	SM9	SM10
Resina	10.0	10.0	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	8.0	12.0	9.0
Kevlar	-	-	2.0	-	2.0	2.0	-	-	-	3.0
Fibra de acero	20.0	23.0	31.0	20.0	30.0	31.0	22.0	24.0	22.0	25.0
Fibra orgánica	5.0	-	-	10.0	2.0	2.0	10.0	8.0	7.0	5.0
Fibra de cobre	-	-	2.0	6.0	2.0	3.0	6.0	-	8.0	3.0
Grafito	16.0	19.0	7.0	13.0	15.0	7.0	13.0	11.0	16.0	6.0
Antimonio	-	-	3.0	-	3.0	3.0	-	-	5.0	-
Óxido de hierro	34.0	24.0	18.0	9.0	16.0	18.0	9.0	15.0	3.0	21.0
Novacite silica	-	3.0	-	3.0	-	-	3.0	2.0	6.0	3.0
Óxido de alúmina	-	2.0	1.0	5.0	2.0	1.0	2.0	2.0	-	2.0
Óxido de zinc	1.0	-	1.0	-	2.0	-	-	3.0	-	2.0
Caucho	-	3.0	4.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	5.0
Piedra blanca	-	-	2.0	3.0	2.0	3.0	3.0	6.0	3.0	3.0
Bario	8.0	10.0	20.0	19.0	8.0	18.0	20.0	14.0	-	7.0
Polvo de fricción	6.0	6.0	-	-	4.0	-	-	4.0	15.0	6.0
TOTAL	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Tabla 6 Los ingredientes de las pastillas de freno semimetálico (Talib Ria Jaafar, Mohamad Soib Selamat, & Ramlan Kasiran)

Los semimetales o metaloides comprenden una de las tres categorías de elementos químicos siguiendo una clasificación de acuerdo con las propiedades de enlace e ionización.

Sus propiedades son intermedias entre los metales y los no metales. No hay una forma particular de distinguir los metaloides de los metales verdaderos, pero generalmente se diferencian en que muchas veces los semimetales son semiconductores antes que conductores.

Los materiales semimetálicos poseen propiedades físicas semejantes a las de los metales y los no metales. Son sólidos a temperatura ambiente, la mayoría de ellos presentan brillo metálico, por lo general son muy duros y se pueden presentar en diferentes formas alotrópicas. Por ejemplo, el silicio se puede encontrar en dos formas: la cristalina, en la cual los átomos se encuentran perfectamente ordenados en el espacio y la amorfa, cuyo ordenamiento de átomos es irregular.

Son considerados metaloides los siguientes elementos:

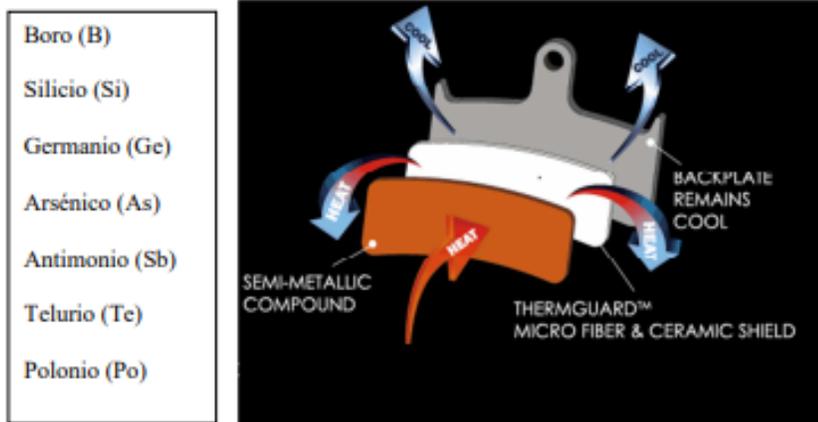
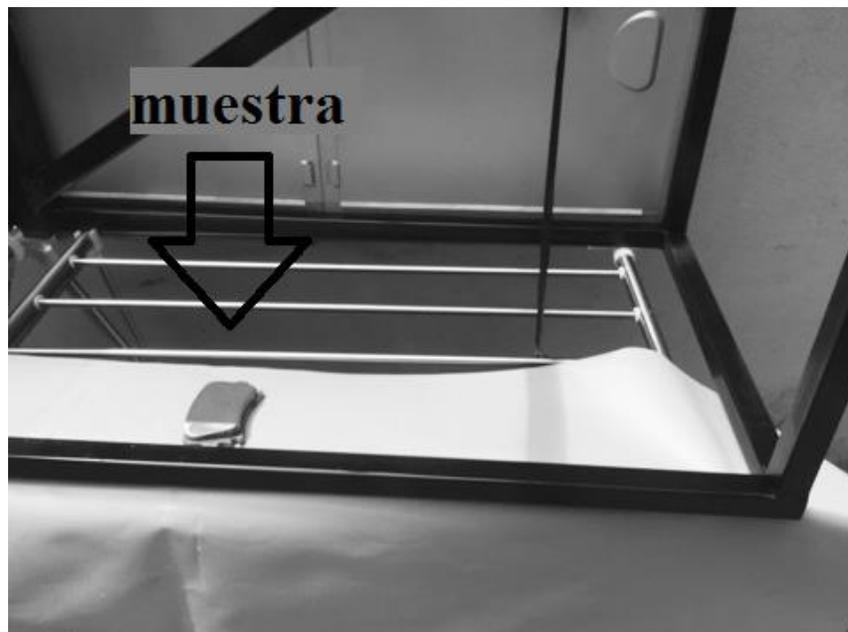
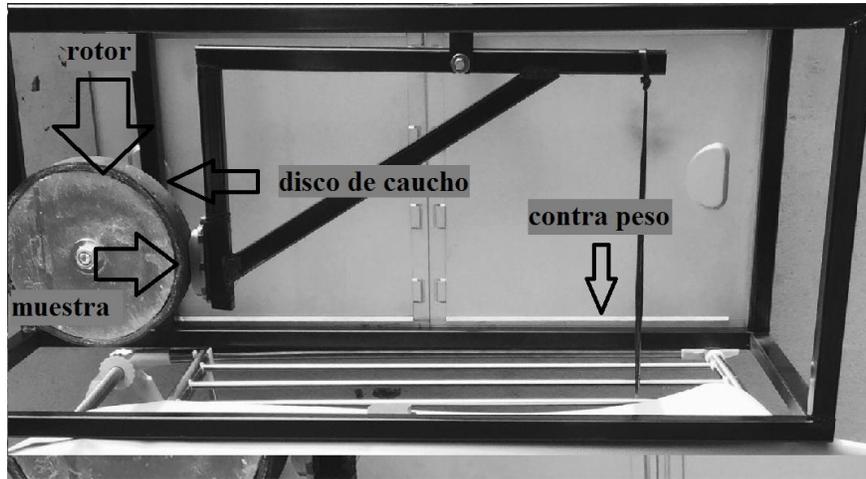


Ilustración 29 Pastilla de Freno (Alligator)

- Menos del 75% de contenido metálico con compuestos tradicionales
- Límite de temperatura de 450°F, en muchos casos se reportan alta presencia de polvo y ruido
- Por ejemplo las pastillas originales y la mayoría de pastillas de reemplazo del mercado

Anexo 8. Zambrano, S.A.; Viláñez, E.F. ortografías de ensayos realizados en pastillas de freno, Quito, 2018





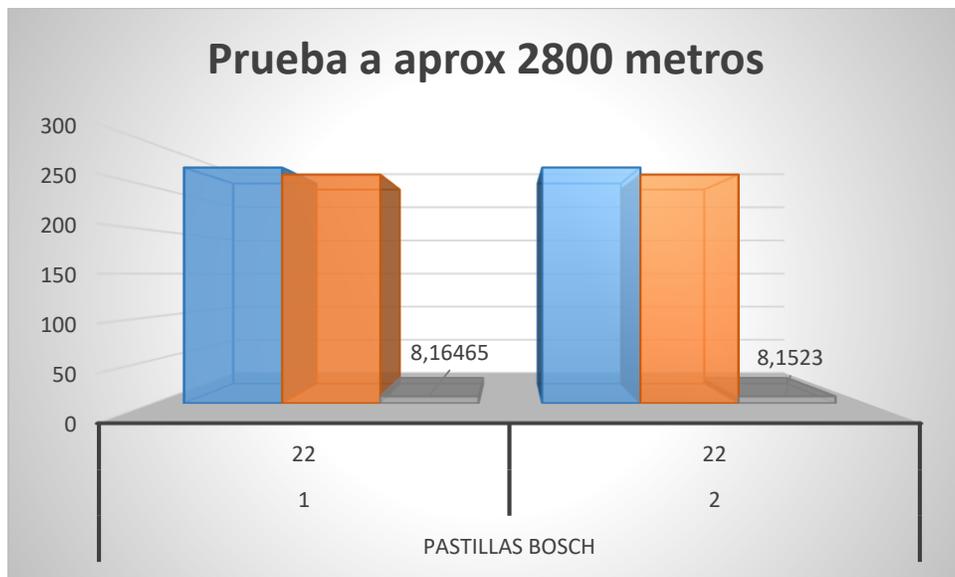
ANEXOS RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Anexo 9. Zambrano, S.A.; Viláñez, E.F, tablas de resultados de ensayos, en pastillas Bosch, Quito, 2018.

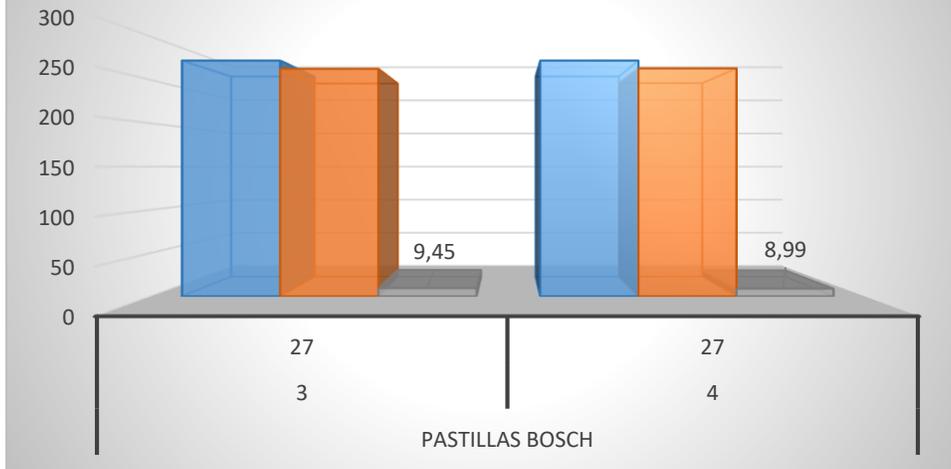
Prueba a 2800 metros	Pastillas Bosch	
Muestra	1	2
Temperatura ambiente (°C)	22 ^o	22 ^o
Masa inicial (g)	272.1554	272.181
Masa final (g)	263.9908	264.029
Diferencia de masa (g)	8.16465	8.1523

Prueba a nivel del mar	Pastillas Bosch	
Muestra	3	4
Temperatura ambiente (°C)	27 ^o	27 ^o
Masa inicial (g)	272.154	272.156
Masa final (g)	262.704	263.166
Diferencia de masa (g)	9.45	8.99

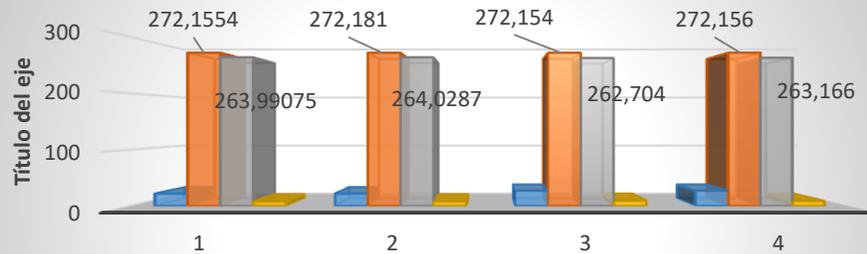
Pastillas Bosch				
A 2800 metros			A nivel del mar	
Muestra	1	2	3	4
Temperatura ambiente (°C)	22 ^o	22 ^o	27 ^o	27 ^o
Masa inicial (g)	272.155	272.181	272.154	272.156
Masa final (g)	263.991	264.029	262.704	263.166
Diferencia de masas (g)	8.16465	8.1523	9.45	8.99



Prueba a nivel del mar



Comparativa de resultados



	1	2	3	4
■ Temperatura ambiente (°C)	22	22	27	27
■ Masa inicial (g)	272,1554	272,181	272,154	272,156
■ Masa final (g)	263,99075	264,0287	262,704	263,166
■ Diferencia de masas (g)	8,16465	8,1523	9,45	8,99