



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

**TRABAJO DE GRADO PREVIO A LA
OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO
AUTOMOTRIZ**

**TEMA: “EFICACIA DE FRENADO EN UN VEHÍCULO PEUGEOT
AÑO 2003 UTILIZANDO DISTINTOS MATERIALES EN LAS
PASTILLAS DE FRENO.”**

**AUTORES: BENALCÁZAR RODRÍGUEZ JUAN PABLO
NAVISOY ARELLANO PAÚL ANDRÉS**

DIRECTOR: ING. CARLOS MARCELO SEGOVIA TROYA MSC.

Ibarra, 2024

CERTIFICACIÓN DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Ibarra, 25 de marzo de 2024

Ing. Carlos Segovia MSc.
DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

CERTIFICA:

Haber revisado el presente informe final del trabajo de Integración Curricular, mismo que se ajusta a las normas vigentes de la Universidad Técnica del Norte; en consecuencia, autorizo su presentación para los fines legales pertinentes.



Ing. Carlos Marcelo Segovia Troya MSc.
C.C. 1706391404



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

DIRECCIÓN DE BIBLIOTECA

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	172930898-9		
APELLIDOS Y NOMBRES:	Benalcázar Rodríguez Juan Pablo		
DIRECCIÓN:	Av. La bota y 28 de mayo		
EMAIL:	jpbencalcazar@utn.edu.ec		
TELÉFONO FIJO:	3454-911	TELÉFONO MÓVIL:	0995925906

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	175253317-2		
APELLIDOS Y NOMBRES:	Navisoy Arellano Paúl Andrés		
DIRECCIÓN:	Francisco de Miranda y Brasil		
EMAIL:	panavisoya@utn.edu.ec		
TELÉFONO FIJO:	3214-399	TELÉFONO MÓVIL:	0987166406

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	"Eficacia de frenado en un vehículo Peugeot año 2003 utilizando distintos materiales en las pastillas de freno"
AUTOR (ES):	Benalcázar Rodríguez Juan Pablo Navisoy Arellano Paúl Andrés
FECHA: DD/MM/AAAA	25/03/2024
PROGRAMA:	<input checked="" type="checkbox"/> GRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	INGENIERO AUTOMOTRIZ
ASESOR /DIRECTOR:	Ing. Fernando Ramírez PhD / Ing. Carlos Segovia MSc.

2. CONSTANCIAS:

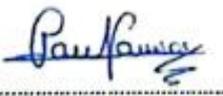
El autor (es) manifiesta (n) que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es (son) el (los) titular (es) de los derechos patrimoniales, por lo que asume (n) la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá (n) en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 25 días del mes de marzo de 2024

AUTORES:
.....

Benalcázar Rodríguez Juan Pablo

C.I. 172930898-9


.....

Navisoy Arellano Paúl Andrés

C.I. 175253317-2

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de investigación a mis padres y a mi hermano, quienes con su amor incondicional y apoyo constante han sido mi inspiración y fortaleza a lo largo de todo mi camino universitario. A mi familia y amigos, por su aliento inquebrantable y paciencia en situaciones complicadas. A mis maestros cuyas enseñanzas han iluminado mi camino hacia el conocimiento. Este logro no solo es mío, sino de todos aquellos que han sido parte de este largo camino.

JUAN BENALCÁZAR

Deseo expresar mi gratitud a mis padres y hermana en este proyecto académico, quienes fueron mis pilares fundamentales a lo largo de esta travesía académica. Agradezco por tener la confianza en mí, por incentivar me a seguir mis sueños y por ser la razón detrás de cada logro. Enseñarme que con esfuerzo y dedicación se puede alcanzar todos los logros propuestos.

PAÚL NAVISOY

AGRADECIMIENTO

Doy gracias a Dios por otorgarme la fortaleza y el conocimiento requerido para enfrentar con éxito todos los obstáculos que encontré en mi camino., y por permitirme alcanzar este logro. Asimismo, deseo expresar mi agradecimiento a mis padres, familiares y amigos por su constante apoyo, paciencia y aliento incondicional. Sus palabras de aliento fueron mi motivación constante.

Agradezco a mis profesores por su dedicación y enseñanzas a lo largo de mi trayectoria en la universidad. Han representado un apoyo esencial en mi desarrollo tanto académico como personal. En especial quisiera agradecer a mi asesor de tesis Ing. Carlos Segovia, por su instrucción experta, aliento constante y sus buenos consejos durante todo este proceso. Finalmente, me gustaría agradecer a todos los que participaron en este estudio, ya que contribuyeron significativamente al desarrollo de este trabajo de investigación.

JUAN BENALCÁZAR

Gratifico a mi querida familia, por siempre brindarme su amor incondicional y todo el aliento que me han sabido brindar, son mi mayor inspiración. Agradezco a Dios por guiarme en este arduo camino académico, brindándome fuerza, sabiduría y perseverancia.

A mis amigos cercanos, que su amistad ha iluminado los días difíciles y compartido las alegrías de los triunfos, fueron muy importante en este proceso académico.

De igual manera al Ing. Carlos Segovia mi asesor de titulación, agradecerle por la ayuda proporcionada en este proceso de titulación, que gracias a su experiencia y orientación se logró desarrollar este proyecto de titulación.

PAÚL NAVISOY

RESUMEN.....	xiv
ABSTRACT.....	xv
INTRODUCCIÓN	xvi
CAPÍTULO I.....	1
1 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	1
1.1 Objetivos	1
1.1.1 Objetivo General	1
1.1.2 objetivos Específicos.....	1
1.2 Justificación.....	1
1.3 Alcance.....	2
1.4 Antecedentes	2
1.5 Planteamiento del Problema.....	6
1.6 Sistema de Frenos.....	7
1.7 Tipos de sistemas de frenos.....	7
1.7.1 Método de Freno de Disco	7
1.7.2 Método de Frenado de Tambor	8
1.7.3 Sistema de Freno de mano	8
1.8 Pastillas de freno	9
1.9 Alternos de pastillas de freno	10
1.9.1 Pastillas orgánicas	10
1.9.2 Pastillas cerámicas.....	10
1.9.3 Patillas semi-metálicas	10
1.9.4 Pastillas metálicas	11
1.9.5 Pastillas de carbono.....	11
1.10 Dureza de un Material	11
1.10.1 Ensayo de dureza.....	12
1.10.2 Macro dureza.....	12
1.10.3 Micro dureza	13
1.11 Características del sistema de frenos del vehículo Peugeot 206	13
1.12 Sistema de seguridad.....	14
1.12.1 Sistema de Antibloqueo ABS.....	14
1.12.2 Sistema del Control de Tracción	14
1.12.3 Control de Estabilidad.....	15
1.12.3.1 Subviraje.....	15
1.12.3.2 Sobreviraje.....	15
1.13 Estructura de las almohadillas de freno.....	16
1.13.1 Carga Mineral.....	16
1.13.2 Compuestos Orgánicos.....	16
1.13.3 Lubricantes	16
1.13.4 Metales	17
1.14 Desarrollo de fibras Naturales para pastillas de freno.....	17
1.14.1 Fibras animales.....	17
1.14.2 Fibras vegetales	17
1.14.2.1 Hierbas y cañas.....	17
1.14.2.2 Hojas.....	17
1.14.2.3 Tallos	17
1.14.2.4 Semillas e hilaturas de frutos.....	17
1.14.2.5 Fibras maderables.....	18
1.15 Fuerza de fricción.....	18

1.16	Coefficiente de adherencia	18
1.17	Distancia y tiempo de frenado.....	19
1.18	Determinación de calor generado por el proceso de frenado.....	19
1.19	Determinación dinámico del sistema de frenado.....	19
1.20	Temperaturas en el sistema de freno	20
1.20.1	Impacto de la temperatura en el sistema de frenos.....	20
1.20.2	Temperatura que se genera en las almohadillas y rotor de freno	20
1.20.3	Conductividad térmica entre almohadillas y soporte metálico	21
1.21	Análisis de desgaste en almohadillas de freno de disco.....	21
1.21.1	Separación del material de la pastilla debido a procesos de corrosión.....	21
1.21.2	Desprendimiento del material ocasionado por la destrucción térmica.....	22
1.21.3	Separación del material debido a impactos mecánicos.....	22
1.21.4	Separación del material debido a defectos en la producción.....	22
1.21.5	Deterioro superficial por el uso causando grietas en la superficie.....	23
1.21.6	Daño resultante de un patrón de contacto defectuoso durante el uso....	23
1.21.7	Daños por influencias medioambientales.....	23
1.22	Mantenimiento de las almohadillas de freno.....	24
CAPÍTULO II		25
2 MATERIALES Y MÉTODOS		25
2.1	Metodología de la investigación	25
2.2	Especificaciones generales	25
2.3	Pre-procedimiento	27
2.3.1	Marca de las almohadillas de freno	27
2.3.2	Parámetros independientes	28
2.3.3	Parámetros dependientes	28
2.4	Selección de discos de freno	28
2.5	Discos de freno ventilados	28
2.5.1	Disipación de Calor.....	29
2.5.2	Evitar el desvanecimiento de frenos.....	29
2.5.3	Mejora del rendimiento en frenado continuo	29
2.6	Elección de los tipos de almohadillas de freno a estudiar.....	29
2.6.1	Almohadillas de freno de material Semimetálicas	30
2.6.2	Almohadillas de freno de material de carbono.....	30
2.6.3	Almohadillas de freno de material de cerámica	31
2.7	Freno de zapata.....	32
2.8	Especificaciones del vehículo seleccionado.....	32
2.9	Preparación del vehículo	34
2.10	Datos del frenómetro MAHA.....	35
2.10.1	Bancada	35
2.10.2	Unidad de sensores.....	35
2.10.3	Rodillos	36
2.10.4	Motorreductor.....	36
2.10.5	Elementos de seguridad.....	36
2.11	Norma de cumplimiento.....	37
2.12	Calibración del Frenómetro.....	38
2.13	Proceso de instalación de las almohadillas de freno	38
2.14	Herramientas y materiales necesarios	38
2.15	Pasos generales:.....	38
2.15.1	Preparación.....	38
2.15.2	Levantamiento del automóvil.....	39

2.15.3 Retiro de la rueda	39
2.15.4 Acceso al sistema de frenado	39
2.15.5 Retirar los pernos del calibrador	39
2.15.6 Retiro del calibrador.....	39
2.15.7 Retiro de las viejas almohadillas de freno.....	39
2.15.8 Compresión del pistón del calibrador	39
2.15.9 Instalación de las nuevas pastillas	39
2.16 Proceso de Medición de Eficacia de Frenado	40
2.17 Factores Determinantes	40
2.18 Procedimiento de Obtención de Resultados.....	40
2.19 Prueba de hipótesis mediante el uso de un durómetro	41
2.19.1 Durómetro	41
2.19.2 Norma Aplicable	42
2.19.3 Normativa ASTM A956.....	42
2.19.4 Tipos de escala de durómetro.....	42
2.19.4.1 Escala Brinell	42
2.19.4.2 Escala Rockwell	43
2.19.4.3 Escala Vickers	43
2.19.5 Pruebas de durómetro en almohadillas de freno	44
2.19.6 Dureza de los tres tipos de almohadilla de freno	44
2.19.7 Dureza almohadilla de freno cerámica.....	44
2.19.8 Dureza almohadilla de freno carbón	45
2.19.9 Dureza almohadilla de freno semimetálica	45
2.19.10 Pasos para el uso del durómetro	45
2.20 STATGRAPHICS	46
2.21 Análisis en las almohadillas de freno en el uso del durómetro	47
2.21.1 Dureza	47
2.21.2 Consistencia	47
2.21.3 Comparación entre materiales	47
CAPÍTULO III.....	48
3 RESULTADO Y DISCUSIÓN.....	48
3.1 Resultados	48
3.2 Resultados de material semi-metálico en Peugeot 206	48
3.2.1 Resultados de esfuerzo de Detención del Eje Delantero.....	48
3.2.2 Eficiencia de Frenado en Pastillas Semi-Metálicas.....	50
3.3 Resultados de material de carbón en Peugeot 206	51
3.3.1 Resultados del Esfuerzo de Detención en eje delantero.....	51
3.3.2 Eficiencia de frenado en pastillas de carbón	53
3.4 Resultados de material cerámica en Peugeot 206	54
3.4.1 Resultado de esfuerzo de detención en eje delantero	54
3.4.2 Eficiencia de frenado en pastillas cerámicas.....	56
3.5 Comparación de eficacia de detención entre los diferentes Componentes	58
3.5.1 Comparación de la media aritmética del Almohadillas de freno	59
3.6 Medición de Dureza en materiales de Almohadillas de detención	61
3.6.1 Medición de dureza en pastillas Semi-Metálicas	61
3.6.1.1 Estudio de hipótesis de material Semi-Metálica	70
3.6.2 Medición de dureza en pastillas de Carbón.....	72
3.6.2.1 Estudio de hipótesis del material de carbón	79
3.6.3 Medición de dureza en pastillas de Cerámica	81
3.6.3.1 Estudio de Hipótesis del material de Cerámica.....	90

3.7 Comparación entre promedios estadísticos de frenado	92
3.7.1 Comparación de promedio de Dureza en escala Brinell	94
CAPÍTULO IV	96
4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	96
Conclusiones	96
Recomendaciones.....	97
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	98
ANEXOS.....	102

ÍNDICE DE TABLAS

TABLAS NÚMERO	DESCRIPCIÓN	PÁG
2.1	Marcas de las pastillas de freno.....	27
3.1	Resultado de Pastillas Semi-Metálicas.....	49
3.2	Resultados de Efectividad de Detención del Material Semi-Metálicas	50
3.3	Resultado de Pastillas de Carbón	52
3.4	Resultados de Eficacia de Detención de Material de Carbón	53
3.5	Resultado de Pastillas Cerámicas	55
3.6	Resultados de Eficacia de Detención del Material Cerámico	56
3.7	Eficiencia de Pastillas de Detención ANOVA	60
3.8	Resultado de Dureza en Pastillas Semi-Metálicas	61
3.9	Resumen Estadístico para Pastillas Semi-Metálicas	63
3.10	Reiteración para Pastillas Semi-Metálicas	65
3.11	Percentil en las Pastilla de Freno Semi-Metálicas	66
3.12	Ilustración Tallos y hojas de almohadilla semi-metálica	69
3.13	Resultado Dureza de Pastillas de Carbón.....	72
3.14	Datos Estadístico para Pastillas de freno de Carbón	74
3.15	Reiteración para Pastillas de Carbón.....	75
3.16	Percentiles en las Pastilla de Freno Carbón	76
3.17	Ilustración Tallos y hojas para almohadilla de Carbón	79
3.18	Resultado de Dureza de Pastilla Cerámica.....	81
3.19	Resumen Estadístico para Pastillas Cerámicas	83
3.20	Reiteración para Pastillas Cerámicas	84
3.21	Percentiles en las Pastilla de Freno Cerámica	86
3.22	Ilustración Tallos y hojas para Pastilla Cerámica	89
3.23	Medias de intervalos de credibilidad del 95,0%	92
3.24	Valores adjunto de toma de muestra de frenado	93

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURAS NÚMERO	DESCRIPCIÓN	PÁG
1.1	Partes de Disco de Freno.....	8
1.2	Partes de una Pastilla de Freno.....	9
1.3	Ensayo de Dureza.....	12
1.4	Sobreviraje y Subviraje.....	15
2.1	Las Reglas del Método Científico.....	25
2.2	Efecto desequilibrio de Frenado.....	27
2.3	Discos de freno ventilados.....	29
2.4	Pastillas semimetálicas.....	30
2.5	Pastillas de Carbono.....	31
2.6	Pastillas Cerámicas.....	31
2.7	Componentes del freno de tambor.....	32
2.8	Vehículo Peugeot 206.....	33
2.9	Dimensión de Neumáticos Utilizados en las Pruebas de Freno.....	34
2.10	Sistema de suspensión Peugeot 206.....	35
2.11	Frenómetro MBT 2120.....	36
2.12	Especificaciones técnicas del frenómetro MAHA MBT 2120.....	37
2.13	Posicionamiento del vehículo Peugeot 206 en el banco de pruebas.....	41
2.14	Durómetro Demeq QH5 G.....	42
2.15	Ensayo de Dureza Brinell.....	43
2.16	Ensayo de Dureza Vickers.....	43
3.1	Fuerza de Frenado Pastilla Semi-Metálica.....	49
3.2	Fuerza Total y Eficiencia de Frenado del Material Semi-Metálica.....	51
3.3	Fuerza de Frenado Pastilla de Carbón.....	52
3.4	Eficacia de Detención de Material Semi-Metálica.....	54
3.5	Fuerza de Frenado Pastilla Cerámica Eje Delantero.....	55
3.6	Eficacia de Detención de Material Cerámico.....	57
3.7	Comparación de eficacia de detención entre tres componentes.....	58
3.8	Diagrama de caja de Tukey de comparación de media aritmética.....	59
3.9	Gráfico de Dispersión sobre Eficiencia de Frenado.....	59
3.10	Eficiencia de Pastilla de Freno ANOVA.....	60
3.11	Gráfico de dispersión de la dureza del material semi-metálico.....	63
3.12	Esquema de Caja de Tukey de pastillas semi-metálicas.....	64
3.13	Histograma del material Semi-Metálico.....	66
3.14	Gráfico de Cuantil para Pastilla Semi-Metálica.....	67
3.15	Gráfico de Probabilidad Normal para Pastilla Semi-Metálica.....	67
3.16	Ilustración de residuo para almohadilla semi-metálica.....	68
3.17	Ilustración de consistencia de Kernel.....	68
3.18	Ilustración de difusión de la dureza del material de carbón.....	73
3.19	Diagrama de Caja de Tukey de pastillas de carbón.....	74
3.20	Histograma del material de carbón.....	76

3.21	Gráfico de Cuantiles para Pastillas de Carbón	77
3.22	Gráfico de Probabilidad Normal para Pastillas de Carbón.	77
3.23	Ilustración de resistencia de almohadilla de carbón.....	78
3.24	Ilustración consistencia de Kernel.....	78
3.25	Gráfico de Dispersión de Pastillas Cerámicas.....	83
3.26	Diagrama de Caja de Tukey de pastillas cerámicas	84
3.27	Histograma de Pastilla de Freno Material Cerámica.....	86
3.28	Gráfico de Cuantiles para Pastillas de Cerámica	87
3.29	Ilustración de Probabilidad Normal para Pastillas Cerámicas	87
3.30	Residuo para almohadilla cerámica.....	88
3.31	Ilustración de consistencia de Kernel.....	88
3.32	Promedio estadístico de materiales de freno	93
3.33	Medición de promedios mediante la escala Brinell	94
3.34	Medición de medianas mediante la escala Brinell	95

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXOS NÚMERO	DESCRIPCIÓN	PÁG
AI.1.	Composición del material Semi-Metálico	103
AI.2.	Composición del material de Carbón.....	103
AI.3.	Composición del material de Cerámica	104
AII.1.	Medición de Eficiencia para pastillas Semi-Metálicas	105
AII.2.	Medición de Eficiencia para pastillas de Carbón	105
AII.3.	Medición de Eficiencia para pastillas Cerámicas.....	106
AIII.1.	Normativa ASTM A956	107
AIII.2.	Normativa ASTM A956	108
AIII.3.	Normativa ASTM A956	109
AIII.4.	Normativa ASTM A956	110
AIII.5.	Normativa ASTM A956	111
AIII.6.	Normativa ASTM A956	112
AIII.7.	Normativa ASTM A956	113
AIII.8.	Normativa ASTM A956	114
AIII.9.	Normativa ASTM A956	115
AIII.10.	Normativa ASTM A956	116
AIII.11.	Normativa ASTM A956	117
AIII.12.	Normativa ASTM A956	118
AIII.13.	Normativa ASTM A956	119
AIII.14.	Normativa ASTM A956	120
AIV.1.	Normativa ISO 21069-2.....	121
AIV.2.	Normativa ISO 21069-2.....	122
AIV.3.	Normativa ISO 21069-2.....	123
AIV.4.	Normativa ISO 21069-2.....	124
AIV.5.	Normativa ISO 21069-2.....	125
AIV.6.	Normativa ISO 21069-2.....	126
AIV.7.	Normativa ISO 21069-2.....	127
AIV.8.	Normativa ISO 21069-2.....	128
AIV.9.	Normativa ISO 21069-2.....	129
AIV.10.	Normativa ISO 21069-2.....	130

RESUMEN

El enfoque principal de esta tesis se centra en la eficacia de frenado de un vehículo Peugeot año 2003 utilizando distintos materiales en las almohadillas de freno. Al elaborar este proyecto, se comenzó por considerar como punto de partida cada una de las especificaciones técnicas del vehículo además de distintas referencias bibliográficas, para así llevar a cabo de manera correcta cada una de las pruebas. Se simularon diversas situaciones de frenado con la ayuda de un frenómetro para evaluar el desempeño del sistema de frenado del Peugeot 206. Se utilizaron métodos de medición precisos y se recopilaron datos para su posterior análisis. Los resultados adquiridos mediante los ensayos en el frenómetro proporcionaron información detallada sobre la eficiencia de frenado del vehículo en condiciones controladas, lo que permitió una comparación objetiva con las especificaciones del fabricante. Se pudo observar que las pastillas freno que tienen mejor eficacia son las de carbono, debido a que estas presentaron valores de fuerza de frenado mayores además de que tienen una notable capacidad para disipar el calor producido durante el proceso de frenado. Por otro lado, se pudo constatar que las pastillas de freno de cerámica también tienen una fuerza de frenado considerable casi similar a las de carbono esto se debe al alto nivel de fricción con el disco de freno. Por último, se analizaron las pastillas de freno semi metálicas las cuales presentan valores de fuerza frenado menores en comparación con las otras pastillas, en este caso tienden a tener una fuerza de frenado ligeramente menor debido a que estas pastillas contienen una combinación de materiales metálicos y no metálicos, lo que afecta ligeramente su coeficiente de fricción. Finalmente, llevamos a cabo una prueba de hipótesis centrada en la dureza de cada tipo de pastilla de freno, para esto utilizamos un durómetro como herramienta de medición, este equipo nos arrojó un cierto número de datos de los cuales posteriormente se realizó un análisis donde se pudo apreciar que las pastillas de freno que tienen mayor dureza son las de carbono debido a sus propiedades únicas del material, como su alta resistencia térmica, durabilidad y capacidad para soportar altas temperaturas. La dureza de las pastillas de freno semi metálicas en comparación con las pastillas de freno cerámica o de carbono es ligeramente menor ya que estas pastillas están compuestas de materiales metálicos como cobre, hierro y acero.

ABSTRACT

The main focus of this thesis revolves around the braking efficiency of a 2003 Peugeot vehicle using different materials in the brake pads. In developing this project, we began by considering each of the vehicle's technical specifications as well as various bibliographic references to carry out each test correctly. Various braking scenarios were simulated using a brake dynamometer to evaluate the performance of the Peugeot 206 braking system. Precise measurement methods were used, and data were collected for subsequent analysis. The results obtained through tests on the brake dynamometer provided detailed information about the vehicle's braking efficiency under controlled conditions, allowing for an objective comparison with manufacturer specifications. It was observed that carbon brake pads exhibited the best efficiency, as they showed higher braking force values and a notable ability to dissipate heat generated during braking. Furthermore, it was found that ceramic brake pads also have a considerable braking force, almost similar to carbon ones, due to their high friction level with the brake disc. Lastly, semi-metallic brake pads were analyzed, which showed lower braking force values compared to the other pads. In this case, they tend to have slightly lower braking force because they contain a combination of metallic and non-metallic materials, which slightly affects their coefficient of friction. Finally, a hypothesis test focused on the hardness of each type of brake pad was conducted using a durometer as a measurement tool. This equipment provided a certain number of data points, which were subsequently analyzed to show that carbon brake pads have the highest hardness due to their unique material properties, such as high thermal resistance, durability, and ability to withstand high temperatures. The hardness of semi-metallic brake pads compared to ceramic or carbon brake pads is slightly lower because these pads are composed of metallic materials such as copper, iron, and steel.

INTRODUCCIÓN

En el sector automotriz existen avances significantes en donde la regeneración de todos los sistemas de seguridad y eficiencia son imprescindibles para un correcto desempeño del vehículo. A lo largo de los años el sistema de frenado se ha mantenido en constante evolución en donde basados en la fricción entre dos piezas metálicas, poco a poco se lograron mejoras para la eficiencia y distancia de frenado. Comenzando desde los sistemas de freno de tambor a sistemas de freno de disco con la finalidad de tener una mejor disipación de calor al momento de frenar.

Las pastillas de freno son componentes críticos en el sistema de frenado, diseñadas para convertir la energía cinética del vehículo en calor mediante la fricción. Este proceso involucra una combinación de materiales como son las cargas minerales, abrasivos, metales, fibras, lubricantes, materiales orgánicos y tecnologías avanzadas con el fin de tener una respuesta de frenado eficiente, una reducción de contaminación y la eliminación de los chirridos por la fricción que existe entre los componentes.

Puesto que en la investigación se analiza la influencia de los diversos materiales en relación con su rendimiento. Por lo cual se lleva a cabo una investigación de la composición de las pastillas semi-metálicas, cerámicas y de carbón en donde mediante pruebas en el frenómetro se medirá características técnicas de su capacidad de frenado. A demás de comprobar la dureza de cada pastilla de freno mediante el uso de un durómetro. Con la finalidad de poder evaluar su rendimiento y proponer nuevas ideas innovadoras.

CAPÍTULO I

1 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 OBJETIVO GENERAL

Analizar la eficacia de frenado en un automóvil Peugeot 206 año 2003 orientado en las almohadillas de freno, utilizando distintos materiales que se emplean con mayor frecuencia en la actualidad.

1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Investigación bibliográfica de distintos materiales en las almohadillas de freno.
- Instalar diferentes materiales en las almohadillas de freno que existan en el ámbito comercial.
- Realizar pruebas con los diferentes materiales en las almohadillas de freno en un frenómetro.
- Analizar los resultados de las pruebas con los diferentes materiales en las almohadillas de freno.

1.2 JUSTIFICACIÓN

El plan de creación del Ecuador contempla un eje de seguridad integral basado en el objetivo 9, que tiene como finalidad garantizar la seguridad de la comunidad, el orden público y la gestión de riesgos con el fin de proteger vidas humanas. A su vez el eje de transición ecología en su objetivo 11 tiene como propósito conservar, restaurar, proteger y realizar un desarrollo ecoeficiente de los medios naturales.

La intención de investigar el rendimiento de frenada de distintos componentes empleados en el sistema de las pastillas de freno (para este proyecto se utilizará un vehículo Peugeot 206) es conocer el comportamiento de cada material, incluyendo su eficacia y desgaste al final de su

vida útil. Por eso es tan importante asegurarse de que las pastillas de freno estén en buenas condiciones para mantener seguros a todos los que viajan en su automóvil. También cumple la función de ayudar a incrementar la durabilidad y el rendimiento de su vehículo. Además, las pastillas de freno ayudan a prevenir accidentes, por lo que son esenciales para lograr la seguridad de todos los ocupantes de su vehículo, así como de otros vehículos en la carretera.

Inicialmente del punto de vista ecológico, es importante garantizar la salud de todas las personas, ya que al momento de tener fricción liberan un polvo rico en metales, es decir, especies reactivas de oxígeno, que son peligrosas cuando entran en los pulmones y provocan diversas enfermedades leves, como la tos, en caso de enfermedades graves como la neumonía. Por ello, la mayoría de las empresas se encargan de elaborar nuevos materiales con la finalidad de poder disminuir el efecto que origina en el entorno natural y crear pastillas de freno ecológicas con mayor fuerza de frenada. Con esto se garantiza la salud de todas las personas ya que las almohadillas de freno son muy importantes en los autos y utilizan en la mayor parte del tiempo. Además, considerar un punto importante que es el reciclaje de estos componentes y se debería desecharlos de manera responsable.

1.3 ALCANCE

En este proyecto a realizar se analizará diferentes materiales de que conforman pastillas de freno tal es el caso de las semi-metálicas, de carbón y cerámicas, por lo que para entender su comportamiento se realizará pruebas en un frenómetro. Lo que ayudara a sacar conclusiones en términos de material, eficiencia de frenado, así como el desgaste de cada pastilla de freno.

En este caso utilizaremos un vehículo de marca Peugeot modelo 206 año 2003 con discos de freno delanteros, con una autonomía de 1.587 km, con 4 cilindros y 4 válvulas por cilindro, cuenta con empuje delantero, una transmisión mecánica de 5 velocidades, en sus prestaciones ofrece un potencial de 110 caballo de potencia. Además, ofrece un par de 147 newton/metro y emisiones CO₂ de 159 g/Km.

1.4 ANTECEDENTES

Las deficiencias de los materiales tradicionales a lo largo de los años han causado problemas de salud y existe la necesidad de desarrollar materiales innovadores ecológicos y no tóxicos. Mediante una investigación, se ha desarrollado un compuesto de cáscara de plátano no tóxico y respetuoso con el medio ambiente con propiedades mecánicas mejoradas (Melkamu Yigrem &

Fatoba, 2022). Los resultados mostraron que los materiales compuestos de cáscara de plátano producidos podrían competir con los materiales convencionales existentes en términos de propiedades mecánicas y aplicaciones extendidas.

El sistema de frenos ha mejorado de forma significativa desde su implementación original y en la actualidad es una de las partes críticas del auto por las implicaciones que conlleva. Los materiales utilizados en este sistema han sido estudiados y se han desarrollado aplicaciones con bajo impacto ambiental utilizando fibras orgánicas, minerales y sintéticas, tal es el caso de los filamentos de amianto y los filamentos de carbono. Así, una de las aplicaciones más recientes es el uso de almohadillas de freno de material compuesto con filamentos naturales (F. Elhilali et al., 2021).

En los últimos años se han realizado pruebas de frenos en vehículos dotados con motor de combustión interna y sistemas de frenos del eje delantero (rotor de freno autoventilados de hierro fundido también almohadillas de freno semimetálicas) donde probar el rendimiento de frenado del vehículo. Por lo que se ha utilizado pastillas de freno fabricadas con materiales de fricción orgánicos sin amianto. Los resultados obtenidos permiten sacar conclusiones sobre los requisitos de rendimiento de los frenos para validar la composición del material de fricción desarrollada a partir de la composición original (Pinca & Bretotean, 2021).

Acerca del producido de componentes de freno para vehículos automotores, la utilización de amianto provoca una reacción perjudicial para la humanidad y el medio ambiente, lo que lleva al desarrollo de la pastilla de frenado de base orgánica sin material de asbesto (P. Chandradass et al., 2021). Se estudia el efecto de la fibra de carbono reforzada en las pastillas de freno y se investiga su comportamiento de fricción, el cual es sometido a diversos análisis físicos, mecánicos y tribológicos, y los resultados señalan que la muestra de 10% de carbono tiene alta fortaleza a la tracción, fortaleza a ser flexionado, dureza Rockwell y coeficiente de fricción.

Los elementos utilizados para las pastillas de freno se conforman de cobre fabricado mediante una metodología de pulvimetalurgia. Contiene fibras de acero y cenizas volantes para mejorar la resistencia y la dureza. Este material está optimizado para maximizar el rendimiento cambiando diferentes composiciones de materiales y la dureza (M. Guha Keshav et al., 2021).

La elaboración de las almohadillas de detención se maneja cenizo de bagazos proveniente de las cañas de azúcar (SCBA), un sobrante agrícola libre de asbesto. Este proceso se realizó aplicando el método de moldura a través de la compresión (M. Chandradass et al., 2021). Así, las pastillas de freno resultantes fueron sometidas a un análisis exhaustivo que abarcó aspectos mecánicos, físicos y tribológicos, que posteriormente se compararon con materiales de pastillas de freno convencionales compatibles con el amianto. Los resultados revelan que la muestra agrega un 10% de SCBA como contenido de relleno el cual presenta propiedades notables, como alta fortaleza a la flexión y tracción, mayor densidad y baja absorción tanto de agua como de aceite. Este descubrimiento ofrece importantes ventajas en referencias de rendimiento y resistencias en semejanza con las pastillas convencionales.

Se conoce que el desgaste es inevitable en los trenes de alta velocidad. Pero, sin embargo, sus entornos operativos son complejos y cambiantes, lo que lleva a una investigación insuficiente sobre el rendimiento de la frotación de las almohadillas de freno en metalurgia del polvo (PM) a base de cobre (Cu) lo que genera dificultades para predecir las tasas de desgaste. Los resultados indican que la velocidad y la presión de frenado son los principales contribuyentes a la capacidad de frenado. El factor de frotación promedio de los comprimidos de freno PM a base del cobre presentó variaciones que oscilaron aproximadamente entre 0,35 y 0,45 en diferentes condiciones. Factores como la rapidez y tiempo de frenado, el temple máximo, el trayecto de freno y la equivalente de desgaste en las almohadillas de freno se tomaron en cuenta a 473 °C, 3506 m, 138 s y 0,14 cm³/MJ (Jiawei Chen et al., 2022).

En base a una investigación experimental se quiere conocer el comportamiento tribológico de pastillas de freno tipo NAO. Estas pastillas orgánicas sin asbestos contienen diferentes proporciones de volumen de grafito y trisulfuro de antimonio (Sb₂S₃). Se empleó un dinamómetro de tipo escala para realizar las pruebas de fricción la cual se centra en el efecto de la presión aplicada, la velocidad de deslizamiento y la temperatura en el coeficiente de fricción de acuerdo con las cantidades relativas de los dos lubricantes sólidos. Los resultados que se obtuvieron revelan que los forros de freno con ambos lubricantes sólidos exhibieron una mejor estabilidad de fricción y una menor sensibilidad a la velocidad a comparación de los materiales de fricción que contenían únicamente un solo lubricante sólido. El forro de freno que presenta concentraciones más altas de grafito muestra una mejor resistencia a la decoloración lo cual indica que ambos lubricantes sólidos aportan a una mejor estabilidad de fricción a alta temperatura (Tribol Int, 2007).

El sistema de frenos ha mejorado significativamente al pasar de los años, demostrando una mejor eficiencia. Por ser una de las partes críticas del auto, por sus posibles debilidades plantean riesgos sobre la seguridad de los pasajeros en situaciones extremas. Se ha llevado a cabo numerosos desarrollos y estudios los cuales se han centrado en modelar y perfeccionar este dispositivo esencial. Con respecto al objetivo de este trabajo es sintetizar el estudio del material óptimo pensando en tener un impacto ambiental valor inferior de los sistemas de freno, mediante el estudio de la fabricación del material compuesto con fibras naturales, con el fin de evitar los riesgos de las fibras orgánicas minerales y sintéticas como los filamentos de amianto y los filamentos de carbón, que puede liberar polvo peligroso durante el roce de las almohadillas de detención y los discos de freno. Sin embargo, optaron por fibra natural como: Fibra de yute, para aumentar la dureza y eficacia de las pastillas de freno. Así mismo, se intenta optimizar el volumen de la pastilla de freno utilizando software como: ANSYS y SOLIDWORKS como herramientas de diseño y análisis, esto con el objetivo de hacer más potente, eficiente y duradero el sistema de frenado, con la implementación de un enfoque basado en método de diseño sostenible (F. Elhilali et al., 2021).

Las pastillas de freno para automóviles están fabricadas con elementos compuestos que contienen más de seis elementos diferentes. En el escenario actual, se lleva a cabo la investigación de nuevos materiales para sustituir el amianto. El material de fricción elegido tiene un efecto significativo en el rendimiento de frenado de un vehículo. Los conductores anticipan que el sistema de frenos detendrá el vehículo por completo en cualquier situación. La fibra de coco seca se emplea como un nuevo material en las pastillas de freno en esta investigación. En la mezcla de otros materiales estándar en pastillas de freno, se emplean diferentes cantidades de fibra de coco. Un material de pastilla de freno desarrollado recientemente que incluye seis componentes distintos se puso a prueba en la prueba Pin on Disc (desgaste deslizante), así como en la prueba de desgaste en arena (desgaste por abrasión). Las variaciones en el factor de rozamiento, la presión sobre la superficie de fricción y su cantidad de desgaste se documentan en esta investigación. Además, se utiliza la microscopía electrónica de barrido como base característica de la microestructura de las pastillas de freno (SEM) (R. Rajan Y. K. Tyagi Saroj Kumar Patel, 2022).

Se realizará una prueba simulada utilizando un mecanismo de prueba de fricción y desgaste de pasador en disco para simular el rendimiento de desgaste del disco de freno de ferrocarril de alta velocidad. Además de los componentes de las almohadillas de frenado a diferentes

temperaturas (20, 0, -10, -20, -30 ° C) de estados de continua utilización del freno. Los resultados que se reflejan a baja temperatura se indican un efecto significativo en las características de desgaste usando el material del freno en condiciones de utilización de freno continuo. En el periodo inicial de freno continuo, el coeficiente de fricción instantáneo a baja temperatura alcanza su valor máximo aproximadamente a los 500 s, que es casi la mitad del tiempo que a temperatura ambiente (20 °C). En cada temperatura, el coeficiente de fricción instantáneo muestra una tendencia a aumentar a su inicio y luego a disminuir, así causando disminución de la temperatura y el factor de fricción promedio del elemento de disco de freno tiende a aumentar en la etapa estable del coeficiente de fricción instantáneo. Mediante aumenta el tiempo de frenado continuo, el factor de fricción medio a bajas temperaturas ambiente es mayor que a temperatura ambiente (20 °C). A medida que la temperatura va en disminución, la tasa de desgaste del material del freno muestra una tendencia a aumentar y luego a disminuir (Lei MaSiyuan DingXun Zhang, 2022).

1.5 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Por lo que se refiere al mayor de los inconvenientes que representan en el presente son las pastillas de freno ecológicas. Estas pastillas basadas en la eficiencia de la respuesta de frenado conllevan varios problemas de efectividad y durabilidad, lo que pone en duda la seguridad e integridad de las personas.

Algunos materiales convencionales que se emplean en la fabricación no cuentan con buenas propiedades mecánicas. Este es el caso de las pastillas orgánicas que, si bien ofrece varias propuestas ventajosas como una protección más ecológica para el medio ambiente, la sensación de suavidad que se emite al momento de frenar y el silencio tienden a tener un desgaste más prematuro relacionado a los demás componentes de los comprimidos de frenos. El desgaste que sufre la almohadilla de freno tiene que ver también con el modo de manejo lo cual si es una conducción agresiva tendrá tendencia a un mayor desgaste y de igual manera las pastillas análogas que llegan a tener un precio bajo, pero no pueden cumplir con alguna norma estándar de vigencia.

A lo largo de los años los componentes convencionales en donde han empleado en las almohadillas de freno llevan con si problemas de salud. La contaminación que surge del polvo que se derivan de los frenos pueden llegar a ser nocivos para la salud de los pulmones similares a las difusiones que emiten los gases de escape. Debido a que las partículas de polvo de frenado

se originan a partir del desgaste por la frotación que existe mediante las almohadillas y los platos de freno, con el propósito de disminuir la velocidad del vehículo.

1.6 SISTEMA DE FRENOS

Referente a los sistemas esenciales en cualquier automóvil es aquel que otorga la suficiencia de aminorar la celeridad o frenarlo por completo en el momento deseado, según la decisión del conductor. Este sistema es conocido como sistemas de frenado. Su iniciación de operación radica en la reducción de la energía cinética y potencial, convirtiéndola en fuente calorífica. Por intermedio de la conversión de energía, se logra la disminución de la aceleración del automóvil.

1.7 TIPOS DE SISTEMAS DE FRENOS

1.7.1 MÉTODO DE FRENO DE DISCO

El disco de detención es la pieza que se encuentra unida al buje del neumático o es conjunto integral de él. Ambos componentes giran en conjunto con la rueda y constituyen una parte móvil esencial del sistema de frenado. Las almohadillas del freno entran en fricción con la superficie del disco, siendo su función principal menorar el movimiento del automóvil. El rozamiento constante de las almohadillas de freno y el plato es lo que estimula la conversión de la energía cinética que se acumula por el vehículo por motivo de su velocidad en energía térmica. Este aumento en el poder calorífico se debe a la fricción existente entre estas piezas.

La función del disco de freno es poder soportar y disipar el calor generado durante la frenada. Esto evita el desgaste prematuro de las partes del cuerpo. De igual manera, si el disco de freno no tiene un adecuado disipamiento de calor, el rendimiento de frenado disminuirá y tendrá mayor recorrido de frenado.

Los sistemas de frenos de disco están clasificados en tres distintas condiciones: flotante la cual se basa en que la tuerca que sostiene las almohadillas se mueve sobre los cuatro soportes de caucho, balanceando en el momento que se presionan los frenos. Los fijos los cuales están firmemente sujeto por los cuatro pistones que lleva, en cada de sus lados dos discos o por último los deslizantes que están suspendidos mediante soportes de goma y se deslizan al ponerse en acción. En la praxis, de sus desenlaces son iguales. También, para disipar de mejor manera la temperatura producida por la fricción de las almohadillas sobre los neumáticos en condiciones

límites de frenado, la temperatura alcanza los 260 grados centígrados. Los discos llegan a tener distanciamientos entre sus caras, conocidos como discos ventilados. La eficacia del frenado está determinada por la consistencia del factor de fricción entre las almohadillas, el cual disminuye con el aumento de temperatura y velocidad. Una disminución en el coeficiente de rozamiento resulta en una mayor distancia de frenado (Meganeboy, 2018).

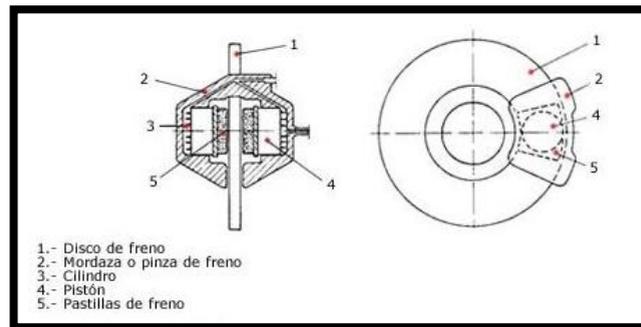


Figura 1.1 Partes de Disco de Freno

(Ferrer, 2021)

1.7.2 MÉTODO DE FRENADO DE TAMBOR

El método de tambor se le puede definir como un elemento móvil que está sobrepuesto sobre el buje del neumático por el centro de unos pernos y tuercas. Este elemento percibe movimiento y de igual manera a un plato de freno, en donde es un elemento estable sujeto a la mangueta. En mencionado plato se instalan los componentes de rozamiento, conocidos ferodos. Los dispositivos de gesticulación para obtener el alejamiento de las zapatas (Meganeboy, 2018).

Los esfuerzos mecánicos y térmicos a los que se someten los sistemas de frenado son en condiciones muy extremas. Es por eso por lo que el entendimiento del comportamiento de estos sistemas nos ayuda a tener mejoras en un proyecto a futuro en donde permita desarrollar diferentes las propuestas.

1.7.3 SISTEMA DE FRENO DE MANO

La operatividad del freno de mano, o de otra manera llamado freno de estacionar, radica en evitar que un vehículo que se encuentra detenido se desplace por sí mismo, incluso aunque pueda utilizarse como freno de emergencia mientras el automóvil se encuentre en desplazamiento. Se trata de una palanca ubicada cerca del conductor; dicha palanca está conectada mediante cables

a la leva de freno. Al momento de activar la palanca, las levas accionan los mecanismos que detienen los neumáticos, generando un frenado que, en el caso de aplicarse mientras el automóvil está en movimiento, tiende a ser bastante abrupto (Miranda Freddy, 2013).

1.8 PASTILLAS DE FRENO

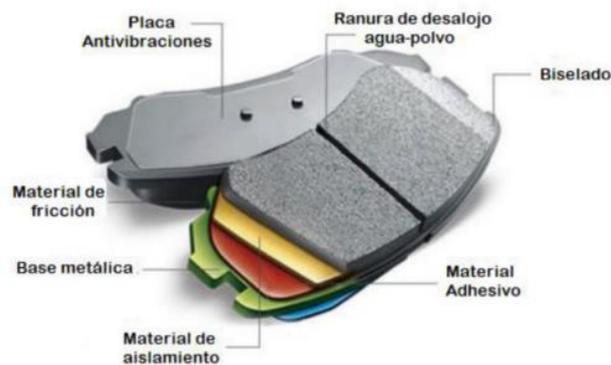


Figura 1.2 Partes de una Pastilla de Freno

(Xingtai Yixuan Electronic Technology Co, 2021)

Las almohadillas de freno son dichos mecanismos que posibilitan frenar o detener el automóvil. Esta acción se ejecuta a través de la actuación de presión en los dos lados del rotor de freno, el que da vuelta acompañado de los neumáticos. Se fabrican y diseñan para fabricar un fuerte rozamiento con el disco, con el fin que se pueda lograr el frenado del rotor. Las almohadillas es necesario que se revisen y cambien cada cierto kilometraje, por el motivo que por el uso estas se van desgastando y con el tiempo de uso con una falla podría ocasionar un accidente. Debido a esto, en la actualidad bastantes de las almohadillas de freno tienen un sensor especial que, de ser necesario su comprobación o su cambio, la información es transmitida al conductor por medio de una señal en el tablero de control, con el fin que se aplique los cambios necesarios para eludir un desperfecto mecánico o provocar un accidente; otro tipo de almohadilla de freno poseen una configuración de metal que por su desgaste y al momento de presionar el freno estas emiten un molesto sonido.

Hace algunos años, las almohadillas de freno eran confeccionadas con una porción de asbesto, un componente que, al ser inhalado, resulta perjudicial para la salud humana. Es tan tóxico que en ciertas partes del mundo ha sido prohibido debido a sus propiedades carcinogénicas, es decir, su capacidad para inducir cáncer. Por esta razón, es crucial tener

presente que, al manipular almohadillas de freno antiguas, es imperativo evitar el contacto con el polvo cercano a las estructuras de frenado. Aquellas almohadillas de freno que incorporan placas metálicas tienen adherido en uno de sus lados un componente conocido como "componente de frotación". Estas se instalan en el interno de las pinzas de freno, las cuales son dispositivos hidráulicos que presionan la cara metálica de las almohadillas, provocando que se adhieran al material de fricción en la frontal opuesta al disco de freno, eludiendo así su giro. El roce genera un desgaste gradual de las almohadillas de freno (Nomenclatura, 2012).

1.9 ALTERNOS DE PASTILLAS DE FRENO

1.9.1 PASTILLAS ORGÁNICAS

Las almohadillas de tecnología Bosch de estructura orgánica exhiben un rendimiento superior en el mercado latinoamericano y carecen de contenido de cobre, lo que las hace menos abrasivas para el disco (Bosh, 2016). Presentan un coeficiente de fricción elevado, asegurando una reducción del 7,5% en la distancia de frenado. Estas almohadillas tienen un intervalo de fricción, lo que implica que su coeficiente de fricción se mantiene relativamente constante, oscilando entre 0,35 y 0,45. Este rango garantiza un frenado efectivo tanto en condiciones frías como en situaciones de alta temperatura (Muñoz & Calle, 2020).

1.9.2 PASTILLAS CERÁMICAS

Las pastillas están fabricadas a partir de compuestos cerámicos, los cuales constituyen alrededor del quince por ciento de filamentos metálicos y diferentes componentes tal es el caso de los aglutinantes y lubricantes (Gachoki & Kathenya, 2011). Tanto los rellenos como los lubricantes presentes en estas almohadillas cooperan a reducir el traqueteo y la bulla. Esto resulta en notables beneficios, ya que son sigilosos y con mayor capacidad de disipación de temperatura por la presencia de fibras metálicas. Además, estas almohadillas tienen menos peso que otros tipos de pastillas (Angamarca et al., 2022).

1.9.3 PATILLAS SEMI-METÁLICAS

Este tipo de material está constituido por un porcentaje del 40 de filamentos metálicos, junto con diferentes materiales como aglutinante y lubricantes. Además, se incluyen pastillas basadas

en el carbón como parte integral. Estas destacan por su resistencia y capacidad para disipar el calor lejos de los rotores, aunque tienden a generar ruido y exhiben una agresividad considerable que contribuye al desgaste del disco. En condiciones de baja temperatura, su eficacia se ve limitada, ya que requieren tiempo para adaptarse a la periferia y desgastes del disco (Angamarca et al., 2022).

1.9.4 PASTILLAS METÁLICAS

La almohadilla metálica se compone de materiales como es el caso del cobre, acero, hierro y grafito, que se combinan con el objetivo de fabricar la pastilla de movimiento. Ofrecen numerosos beneficios duraderos, siendo efectivas para transportar el calor producido por el rozamiento con los discos de frenado. Sin embargo, presentan una desventaja significativa al ser demasiado compactas, conduce a un deterioro apresurado en los discos de freno. Por tal medida, a menudo se reemplazan por almohadillas de carbón o también cerámicas. Además, suelen generar mucho ruido y requieren una presión adicional en el pedal del freno para lograr un mejor agarre (Angamarca et al., 2022).

1.9.5 PASTILLAS DE CARBONO

Las pastillas de carbono tienen propiedades similares a las de cerámicas. La diferencia es que estas pastillas por su composición tienen mejor propiedad tal es el caso de la alta fricción que las pastillas contienen, elevado aguante térmico, resistencia al deterioro considerable y carga ligera son características destacadas. No obstante, muestran limitada eficacia en bajas temperaturas y poseen un coste elevado (Angamarca et al., 2022).

1.10 DUREZA DE UN MATERIAL

La propiedad de dureza es algo peculiar y se trata de una característica tecnológica. La firmeza se describe como la aptitud de un material para oponerse a la alteración de su forma o la penetración localizada por un objeto puntiagudo.

La relación de la dureza con diversas propiedades fundamentales del componente y sus formas de diseño es significativa. En la industria, la dureza es utilizada como un método de inspección en numerosos desarrollos debido a su facilidad de medición.

1.10.1 ENSAYO DE DUREZA

Existen diferentes métodos que se utilizan con mayor frecuencia en diversos tipos de materiales. A excepción de unos dos de ellos, la mayoría de las pruebas de dureza normados se fundamentan la misma técnica y concepción (García et al., 2018a).

1. El penetrador de nombre P ya de forma determina tiene un apoyo sobre la pieza a tratar.
2. Esta carga es sometida a una carga F (a veces con fines de una precarga), durante un tiempo determinado t.
3. La fuerza es descargada de la presión ejercida sobre el material expuesto.
4. Se recopila los datos y se lee los datos arrojados o bien se observa la marca que deja en el componente (H) o la longitud de hundimiento que existe al momento de realizar la prueba de dureza.

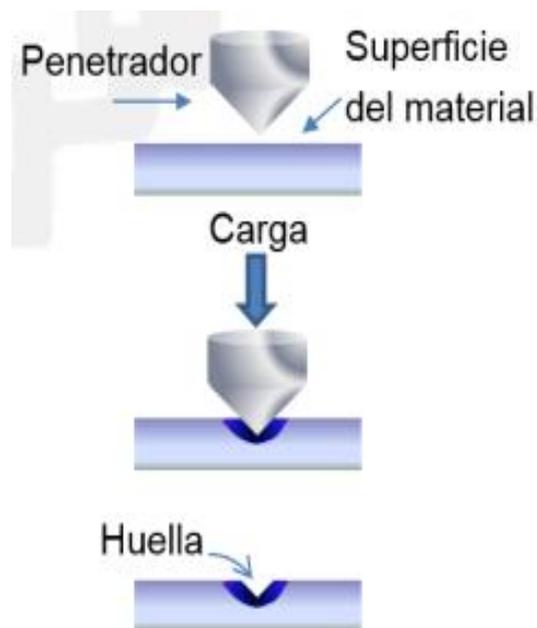


Figura 1.3 Ensayo de Dureza

(García & Monasterio, 2018, pág. 38)

1.10.2 MACRO DUREZA

Los primeros experimentos se realizan en componentes finales mediante la aplicación de cargas, que suelen ser considerablemente elevadas, siempre superiores a 1 kg, en cualquier caso.

1.10.3 MICRO DUREZA

Por lo general, las micro durezas se llevan a cabo en áreas específicas de la microestructura, utilizando cargas de pequeña magnitud, siempre por debajo de 1 kg y, en la mayoría de los casos, considerablemente inferiores a dicho valor.

1.11 CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA DE FRENOS DEL VEHÍCULO PEUGEOT 206

El Peugeot 206 con cilindraje de 1.4 cc, presenta un diseño de carrocería hatchback con 5 puertas y tracción delantera (FWD). Sus dimensiones son 3873.00 mm de longitud, 1669.00 mm de anchura y 1444mm de alto. Las vías frontal y posterior miden 1440mm y 1417mm correspondiente. El peso propio del vehículo es de 1027 kg. Equipa un motor de cuatro cilindros la cual ofrece una capacidad de 1360cc. Los cilindros tienen una disposición recta y contiene 2 válvulas por cada uno de sus cilindros. El diámetro y el largo de carrera del pistón son de 75 mm y 77.00 mm. La ubicación del motor se encuentra en la parte de adelante del automóvil de manera transversal y utiliza sistema de inyección. Este motor ofrece una potencia de 55 kW / 75 hp a revoluciones de 5500 por minuto, con un par valor superior de 119Nm a 3400 revoluciones.

El vehículo de marca Peugeot modelo 206 y cilindrada de 1.4 acelera de 0 a 100 km/h en 13.10 s. Presenta un arrastre de 0.313 y un área frontal de 1.980m². El intervalo de emisión de dióxido de carbono es de 150 g/km. La caja de marchas es manual de 5 velocidades, y el sistema de frenos incluye frenos de zapata en la parte trasera del automóvil y en la parte delantera frenos de disco, con servofrenos y antibloqueo de ruedas (ABS). El tamaño de los frenos delantero y posterior son de 247mm y 203mm respectivamente.

El código de tamaño y tipo de neumáticos delanteros es 175/65 R 14, y para los traseros es 175/65 R 14. El componente de dirección es de piñón y cremallera, los números de vueltas de volante de lado a lado es de 3.3 (Peugeot, 2009).

1.12 SISTEMA DE SEGURIDAD

1.12.1 SISTEMA DE ANTIBLOQUEO ABS

Un sistema de frenos antibloqueo, denominado ABS, es un componente esencial del sistema de frenado cuya función principal es prevenir el bloqueo de las ruedas durante la frenada, permitiendo así mantener y corregir la trayectoria del vehículo durante el proceso de detención.

Este sistema, concebido por el grupo Bosch a principios de la década de 1980, ha demostrado ser altamente eficaz en situaciones de frenado de emergencia. El ABS se encuentra integrado en el sistema de freno convencional, manteniendo su independencia, ya que solo interviene en momentos críticos de riesgo de bloqueo de las ruedas. Por esta razón, se clasifica como un sistema de seguridad activa, es decir, aquel que interviene de manera proactiva para minimizar la probabilidad de accidentes.

1.12.2 SISTEMA DEL CONTROL DE TRACCIÓN

El método de dominio de tracción abreviado (TCS) va integrado en la vida de mando electrónica y detecta a través de los sensores de las ruedas las diferencias de revoluciones entre 2 neumáticos del mismo eje de donde tiene la tracción del automóvil.

El funcionamiento del método de control de tracción tiene dos modalidades un actuar sobre el mismo sistema de inyección variando los parámetros y regulando de esta forma el par de potencia que es integrado por el motor.

Por otra parte, se bloquea las ruedas aceleradas mediante el sistema de frenado la unidad de control del sistema ABS analiza la pérdida de tracción en una sus ruedas motrices por la diferencia de velocidades que indica entre ellos. Entonces cuando envían presión de los frenos de la rueda acelerando para detenerla y que el diferencial mal demostración a la otra rueda.

Unas características que se desactiva cuando el vehículo sobrepasa una velocidad precisa de que ronda los 70 km/h si desactivas las ruedas motrices de un mismo eje de tracción presenta en diferentes velocidades superiores a 8 km/h.

1.12.3 CONTROL DE ESTABILIDAD

El método de estabilidad tiene una dotación que utiliza el sistema electrónico esto con el fin para inspeccionar el automóvil de localización de desperfecto de estabilidad. El control que contiene la estabilidad es un conjunto de seguridad activo del automóvil su principal funcionamiento está basado en la modulación selectiva de la presión de los neumáticos, según el comportamiento de deslizamiento del automóvil puede ser de 2 tipos:

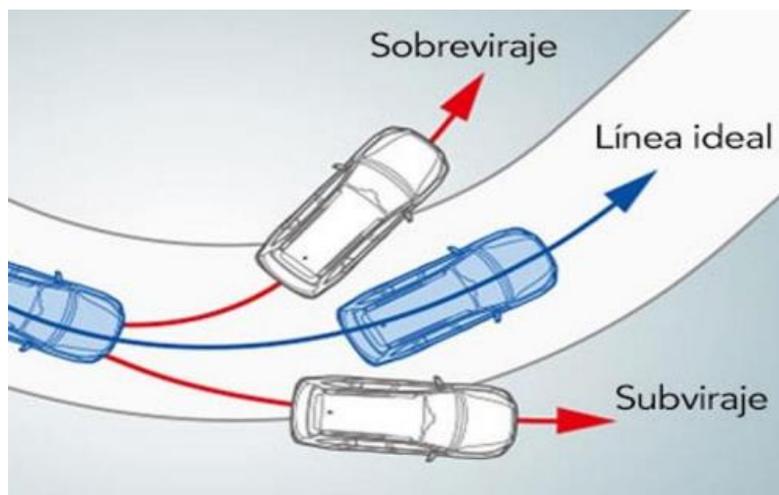


Figura 1.4 Sobreviraje y Subviraje

(Calvillo, 2018, pág. 5)

1.12.3.1 Subviraje

El subviraje tiene la operación en donde el automóvil define un trayecto más abierto del que el piloto observa el perjuicio del eje principal por lo que en este escenario, el sistema PS inicia el frenado de manera efectiva en la llanta trasera interna para ajustar la trayectoria del vehículo.

1.12.3.2 Sobreviraje

El sistema electrónico de estabilidad es un componente que emplea la administración electrónica del sistema, en ocasiones para supervisar el automóvil en posiciones donde se pierde estabilidad. Este sistema, considerado como una medida de seguridad activa en el vehículo, opera

principalmente frenando selectivamente las ruedas en respuesta al comportamiento de deslizamiento del vehículo (Borja, 2009).

1.13 ESTRUCTURA DE LAS ALMOHADILLAS DE FRENO

En el presente la mayor parte de las pastillas de frenos están basados en la composición las cuales utilizan los diferentes materiales como lo son: fibras naturales, carga mineral, elementos metálicos (A. Martínez & Toasa, 2023).

Cada elemento que constituyen las pastillas de frenos desempeña una función, la cual se detallará a continuación:

1.13.1 CARGA MINERAL

Los rellenos de composición mineral tienen composiciones mecánicas importantes, como resistencia al desgaste y resistencia a temperaturas elevadas, por el cuales utilizan en materiales resistentes al calor. Los componentes que se utilizan más son están: mica, talco, magnesita, feldespato, carbonato. Lubricantes o modificadores, materiales orgánicos, abrasivos (A. Martínez & Toasa, 2023).

1.13.2 COMPUESTOS ORGÁNICOS

Los compuestos orgánicos se utilizan para aglutinantes o abrasivos para coagular la mezcla elevando la temperatura de estos materiales para fusionarlos con los demás ingredientes. Según el tipo de material orgánico que se utiliza se obtienen diferentes propiedades fisicoquímicas. Los materiales más tensionados deben ser: fenólicos, epoxi, termoplásticos, caucho o cera (A. Martínez & Toasa, 2023).

1.13.3 LUBRICANTES

Se utilizan como transformador del coeficiente de fricción, que se basa en el grado de temperatura al que está expuesto el material, por lo que el coeficiente de fricción disminuye a temperaturas más altas. Generalmente polvo de grafito, antracita, sulfuro (A. Martínez & Toasa2023).

1.13.4 METALES

La composición del metal ayuda a homogeneizar el coeficiente de fricción, lo que indica que es el indicado en la construcción de la pastilla, evitando que las piezas obtengan un índice más bajo o alto. Se suelen utilizar como polvo o virutas, normalmente de cobre, bronce, aluminio o incluso hierro (A. Martínez & Toasa, 2023).

1.14 DESARROLLO DE FIBRAS NATURALES PARA PASTILLAS DE FRENO

La fibra natural está clasificada en dos partes importantes mediante se componen de:

1.14.1 FIBRAS ANIMALES

1.14.2 FIBRAS VEGETALES

Las clasificaciones que en particular propone para las fibras vegetales se describe a continuación:

1.14.2.1 Hierbas y cañas

Filamentos derivados de tallos de plantas monocotiledóneas, como hierbas y paja de trigo, arroz, cebada, entre otras.

1.14.2.2 Hojas

Filamentos presentes en las hojas de plantas monocotiledóneas, tales como abacá, sisal, henequén, entre otras.

1.14.2.3 Tallos

Se originan en la corteza interna de plantas dicotiledóneas, como lino, yute, cáñamo, kenaf, entre otras.

1.14.2.4 Semillas e hilaturas de frutos

Esto incluye también a las sedas, como el algodón.

1.14.2.5 Fibras maderables

Los filamentos de madera dura, provenientes de angiospermas, así como las maderas blandas de gimnospermas, por ejemplo, el arce, el eucalipto y el pino.

1.15 FUERZA DE FRICCIÓN

Esta fuerza se puede caracterizar como la resistencia tangencial que se opone al desplazamiento relativo entre dos superficies en contacto.

$$F = \mu \cdot N$$

En donde “N” denota la fuerza normal y “μ” representa la fricción, se utilizan dos valores distintos. En el escenario de una muestra que se encuentra en reposo, se refiere a la fuerza de fricción estática, que es esencialmente la fuerza de inicio de movimiento, dividida por la fuerza que actúa perpendicularmente entre las superficies. Este parámetro se conoce comúnmente como el coeficiente estático de fricción.

Cuando un objeto está en movimiento, nos referimos a la fricción dinámica, también denominada fricción cinética. En este caso, se define como la fuerza que necesita para conservar el movimiento a una velocidad superficial específica, dividida por la fuerza que actúa en el cruce de las superficies. De forma análoga, se utiliza el término coeficiente dinámico de fricción (C. Martínez, 2017).

1.16 COEFICIENTE DE ADHERENCIA

La capacidad de utilizar la fuerza de fricción originada en la interacción entre la rueda y el pavimento de la carretera, que surge de las cargas generadas durante las distintas fases de conducción, como aceleración, frenado y vibración, es lo que se entiende por adherencia.

El coeficiente de adherencia ayuda al vehículo a mantener su trayectoria en cualquier situación, especialmente en las curvas. También es factible para disminuir las distancias de frenado y permite las maniobrar para retomar el carril (Ochoa & Uchupanta, 2021).

1.17 DISTANCIA Y TIEMPO DE FRENADO.

La distancia de frenado es la distancia que un vehículo recorre desde que comienza a frenar hasta que se detiene por completo. Este valor se puede calcular utilizando datos de velocidad y desaceleración, y se expresa en metros, buscando minimizar dicho valor (Ochoa & Uchupanta, 2021).

1.18 DETERMINACIÓN DE CALOR GENERADO POR EL PROCESO DE FRENADO.

En cuanto a la determinación de calor generado por el proceso de frenado algunos autores postulan que:

Para determinar la temperatura generada durante el recorrido de frenada, es fundamental tomar en consideración aspectos como la superficie de la almohadilla de freno, el tiempo necesario para detener el vehículo, la longitud de la pastilla y las propiedades térmicas y físicas de los elementos del sistema de frenos. Es necesario evaluar la potencia por unidad de área para calcular la cantidad de calor producido. Para realizar este cálculo, se requieren valores como la superficie de la almohadilla, donde se produce la fricción, el tiempo de frenado y la energía disipada en el disco de freno. La superficie típica de una almohadilla convencional es de 29,996.2 mm² (García, Echavez, & Flórez., 2018).

1.19 DETERMINACIÓN DINÁMICO DEL SISTEMA DE FRENADO.

En este apartado García, Echavez y Flórez (2018) expresan lo siguiente: La desaceleración se produce mediante la fricción entre las almohadillas de freno y los rotores, transformando la energía cinética del vehículo en calor. Para calcular la energía disipada, es necesario tener información sobre la masa del vehículo, el factor de corrección para masas en movimiento y la velocidad inicial al comenzar el frenado. Para un vehículo convencional con una masa de aproximadamente 1930 kg, un factor de corrección para masas rodantes de 1,05, basado en [34], y tomando en cuenta una velocidad de 80 km/h (equivalente a 22,22 m/s), el cálculo proporciona el valor correspondiente de energía disipada en el freno trasero. (Introducción a la ciencia de los materiales y sus propiedades I).

1.20 TEMPERATURAS EN EL SISTEMA DE FRENO

1.20.1 IMPACTO DE LA TEMPERATURA EN EL SISTEMA DE FRENOS

Al analizar la distancia de detención, se emplea un análisis estadístico para asegurar un nivel de confianza del 95%. Al someter las pastillas de freno a pruebas en un rango de temperaturas de 25°C a 35°C, en comparación con temperaturas elevadas de 45°C a 60°C. Estas pruebas pueden evidenciar variaciones en la distancia de frenado asociadas a cambios de temperatura.

En este contexto, se puede afirmar que la temperatura del sistema de frenado guarda una relación directa con la distancia de frenado, lo que ilustra la manera en que el rendimiento del vehículo al frenar y al detenerse puede variar (Ochoa & Uchupanta, 2021).

1.20.2 TEMPERATURA QUE SE GENERA EN LAS ALMOHADILLAS Y ROTOR DE FRENO

Cuando las almohadillas de freno y el disco están en contacto sin lubricación, la temperatura termo mecánica se eleva proporcionalmente a la presión aplicada. Mientras el automóvil frena en condiciones de carretera seca, la carga aplicada por las almohadillas provoca un incremento de calor por lo que se puede tener como resultado la deformación del rotor de freno, afectando así el funcionamiento normal del sistema.

Por ende, dentro del intervalo de temperatura de 300°C a 800°C, la transferencia de calor puede difundirse mediante ondas térmicas, presentando una alta conductividad térmica en el disco y una baja capacidad de conducción térmica en las almohadillas de freno.

De esta manera, al suponer que las variaciones de temperatura aumentan debido al rozamiento entre el rotor y las almohadillas de freno, se pueden alcanzar niveles de temperatura extremadamente elevadas, llegando hasta los 800°C. Estas temperaturas deben ser comunicadas al vehículo de manera inmediata para generar una alerta temprana, ya que podrían ser indicativas de un sobrecalentamiento del sistema, posiblemente derivado de un accidente (Ochoa & Uchupanta, 2021).

1.20.3 CONDUCTIVIDAD TÉRMICA ENTRE ALMOHADILLAS Y SOPORTE METÁLICO

La capacidad de intercambio térmico entre la almohadilla de freno y el soporte metálico debe ser suficiente para dispersar eficazmente el calor fuera de la pastilla. Es crucial controlar esta eliminación de calor, ya que el contacto con el soporte metálico podría ocasionar que el líquido de frenos entre en un estado de ebullición. Este fenómeno resultaría en una disminución del rendimiento de frenado. Las almohadillas de freno semimetálicas presentan una mejor conducción térmica debido a la inclusión de conductores metálicos en su fabricación. Para contrarrestar este problema, se aplica una capa inferior que evita la conducción térmica de calor al líquido de frenos, previniendo su ebullición. En el caso de las pastillas con propiedades estructurales orgánicas, la conducción térmica es un problema menor, por lo que se opta por no utilizar una capa inferior (Ochoa & Uchupanta, 2021).

1.21 ANÁLISIS DE DESGASTE EN ALMOHADILLAS DE FRENO DE DISCO

1.21.1 SEPARACIÓN DEL MATERIAL DE LA PASTILLA DEBIDO A PROCESOS DE CORROSIÓN.

Según (Aguirre, 2022) las causas por desprendimiento del material de la almohadilla corroída son:

1. En este enfoque se abordará el desgaste de los bordes al utilizar nuevas pastillas de freno en discos de freno que han experimentado un desgaste excesivo.
2. Falta de fuerza elástica adecuada en el resorte de retención (presión en el lateral del borde).
3. Cargas mecánicas adicionales.
4. Una carga térmica permanente significativamente elevada en las pastillas de freno y los discos.

Según (Aguirre, 2022) las causas por desprendimiento del material por alto grado de oxidación son:

1. La pastilla de freno desarrolla porosidad, ya sea de manera completa o parcial.

2. La placa de soporte de la pastilla exhibe evidentes y notables señales de oxidación.
3. El óxido conduce a la descomposición del material de la pastilla.
4. Residuos de pegamento
5. La capa intermedia y el material de la pastilla claramente visibles en la placa de respaldo de la pastilla.

1.21.2 DESPRENDIMIENTO DEL MATERIAL OCASIONADO POR LA DESTRUCCIÓN TÉRMICA.

A medida que el material experimenta descomposición, podría agrietarse y/o dañar parcialmente la capa intermedia y, consecuentemente, el adhesivo. Esto resulta en un desprendimiento continuo de la pastilla y el descascarillado de la pintura, causando una decoloración parcial en la placa de respaldo de la pastilla. La pastilla adquiere mayor rigidez y emite un sonido áspero, mientras exhibe una decoloración de tono marrón rojizo. parcialmente con ceniza blanca (Aguirre, 2022).

1.21.3 SEPARACIÓN DEL MATERIAL DEBIDO A IMPACTOS MECÁNICOS.

Esto resulta en la separación del material de la pastilla de la placa de soporte. Lo mismo sucede con las capas.

En resumen, esto sucede cuando las almohadillas de freno de disco se colocan de manera incorrecta, ya sea al quedar sueltas, instalarse inclinadas o deformarse debido a fuertes vibraciones en la pinza de freno (Aguirre, 2022).

1.21.4 SEPARACIÓN DEL MATERIAL DEBIDO A DEFECTOS EN LA PRODUCCIÓN.

Este tipo de deterioro se evidencia cuando la placa y el respaldo de la pastilla muestran una superficie suave, y la capa intermedia en combinación con el adhesivo solo se visualizan parcialmente. Esto suele ocurrir cuando la distribución de la capa de adhesivo intermedia es deficiente (Aguirre, 2022).

1.21.5 DETERIORO SUPERFICIAL POR EL USO CAUSANDO GRIETAS EN LA SUPERFICIE.

Las grietas en la superficie no son críticas, ya que no implican un riesgo para la seguridad. Similar a las pastillas de freno con ranuras, no hay problemas significativos en cuanto a la resistencia al desgaste (Aguirre, 2022). Desgaste causado por el uso conllevando a la ruptura de los bordes.

Para ser claros, romper los bordes es trivial y no representa un riesgo para la seguridad. Dado que estas roturas de borde son un resultado relacionado con el diseño y dependen de las cargas térmicas o mecánicas, se pueden etiquetar de manera muy diferente. Esto se debe a que se permite la fractura del borde en no más del 10% de la superficie de fricción total (Aguirre, 2022).

1.21.6 DAÑO RESULTANTE DE UN PATRÓN DE CONTACTO DEFECTUOSO DURANTE EL USO

En este contexto, el daño se origina por discos de freno desgastados o dañados, fallas o impurezas en el sistema de frenos, y una tensión de freno insuficiente. También pueden influir los daños durante la instalación, como el lugar de instalación, procesamiento previo o durante la instalación, incluyendo la colocación incorrecta de juntas, accesorios, entre otros (Aguirre, 2022).

1.21.7 DAÑOS POR INFLUENCIAS MEDIOAMBIENTALES

Según (Aguirre, 2022) los daños por influencias medioambientales de las pastillas de freno son:

1. Un diseño de contacto inadecuado y un rendimiento de frenado ineficiente tras una sobrecarga térmica.
2. Como resultado, la temperatura de funcionamiento no se alcanza con regularidad, lo que impide la autolimpieza. Esto conduce a tener una presencia de contaminantes en la parte donde se produce rozamiento, tales como suciedad, oxido y residuos.
3. Teniendo en cuenta el empleo de un disco de freno con superficie rugosa y la exposición del disco a la presencia de elementos extraños, como suciedad, sal o corrosión.

4. Es relevante resaltar el intercambio de material desde el rotor de freno hacia la almohadilla de freno debido a disparidades en el desgaste, condiciones climáticas, tomando en cuenta la incompatibilidad de los materiales.

1.22 MANTENIMIENTO DE LAS ALMOHADILLAS DE FRENO

Se aconseja hacer una inspección de los frenos cada 15,000 a 20,000 kilómetros o antes de cualquier problema del vehículo.

A continuación, se enumeran algunas señales de desgaste que afectan tanto a los rotores de freno como a las almohadillas de freno.

1. Indicador luminoso del sistema de frenado encendido en el panel de instrumentos.
2. Existencia de sonidos durante la aplicación del freno.
3. Presencia de movimientos oscilatorios
4. Se evidencian indicios de calentamiento excesivo.
5. Fisuras en el rotor.
6. Desgaste limitado del revestimiento de las almohadillas.

También se recomienda reemplazar las piezas de freno desgastadas de manera oportuna, ya que causarán más desgaste en otras partes del sistema. Si es necesario reemplazar o reparar el rotor del freno, Asimismo, es necesario sustituir las almohadillas de freno; por otro lado, si se cambian las almohadillas y el rotor de freno está en condiciones óptimas, no es obligatorio reemplazarlo. (Alvarez & Narvaez, 2020).

CAPÍTULO II

2 MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

La presente investigación será llevada a cabo a través del método científico, el cual engloba un conjunto de procedimientos y técnicas. Que nos permitirá analizar las diferencias que existe entre distintos componentes en las pastillas de freno el cual nos permitirá obtener conocimientos y comprender su eficacia.



Figura 2.1 Las Reglas del Método Científico

(Ruiz, E. 2006)

2.2 ESPECIFICACIONES GENERALES

El frenado de servicio se refiere al uso de los frenos de un vehículo, como un automóvil, tren o camión, para disminuir su velocidad o detenerlo totalmente durante situaciones normales de conducción. Es el tipo de frenado que los conductores utilizan comúnmente para controlar la velocidad de un vehículo cuando se aproximan a una intersección, un semáforo, un cruce peatonal o en cualquier otra circunstancia que requiera reducir la velocidad o detenerse por completo.

Los frenos de servicio en un vehículo generalmente son controlados por el conductor mediante el pedal del freno. Al presionar este pedal, se aplica presión a las almohadillas de freno que entran en contacto con los rotores de freno o las zapatas que presionan contra los tambores de freno, lo que crea fricción y ralentiza el vehículo. El frenado de servicio es fundamental para la seguridad vial y permite a los conductores controlar la velocidad y detenerse de manera segura en diversas situaciones.

Por esta razón es importante conocer el rendimiento de frenado de cada eje del automóvil la cual se puede medir usando la siguiente ecuación.

El rendimiento de frenado se puede calcular mediante la siguiente ecuación.

$$E = \frac{F}{M.M.A \cdot g} * 100$$

Donde:

E: Valor del rendimiento %

F: Total de la fuerza de frenado medida en Newton

M.M.A: Peso máximo del automóvil en kilogramos.

g: Gravedad (9.8 m/s^2)

Estos frenos de servicio deben funcionar en todas las ruedas del automóvil. Sin embargo, no siempre se aplica la misma fuerza de detención a cada rueda, lo que causa un fenómeno denominado desequilibrio de frenado.

La medida del desequilibrio viene dado en porcentaje considerando cual rueda frena menos con respecto a la que frena más. Para esto se tomará las fuerzas de frenado de las ruedas delanteras obtenidas en el frenómetro.

La desviación de frenado se puede determinar mediante la siguiente ecuación:

$$D = \frac{100(F_d - F_i)}{F_d}$$

Donde:

D: Desviación de frenado

F_d: Máxima capacidad de frenado en la rueda derecha

F_i: Máxima capacidad de frenado en la rueda izquierda

F_d: La capacidad de frenado más elevada entre los dos valores mencionados previamente.

Este valor se calcula para identificar si algunas ruedas no están frenando adecuadamente, lo que ayuda a prevenir posibles daños y complicaciones mientras se conduce.

Es importante señalar que la desviación no solo se refiere al peso de las ruedas, sino también a la distribución uniforme de ese peso. Además, factores como la alineación de las ruedas y la suspensión también pueden afectar el desempeño del vehículo. **La Figura 2.2** muestra uno de los efectos de frenado de un vehículo con una gran proporción de desequilibrio de frenado del eje delantero.



Figura 2.2 Efecto desequilibrio de Frenado
(ABCMotor, 2019)

2.3 PRE-PROCEDIMIENTO

2.3.1 MARCA DE LAS ALMOHADILLAS DE FRENO

Tabla 2.1 Marcas de las Almohadillas de freno

ALMOHADILLAS DE FRENO	MARCA
Almohadillas Semimetálicas	FRASLE
Almohadillas de Carbono	DURAKO NF
Almohadillas de Cerámica	TRW

Realizado por: Benalcázar & Navisoy, 2024

En la **Tabla 2.1** se aprecia las marcas de pastillas que se tomarán en cuenta para realizar dicha investigación. Así se puede notar que son tres variedades diferentes de materiales de las almohadillas de freno, las cuales se conforman de material semi-metálica, cerámica y de carbón. Las mencionadas pastillas son las que más se tiende a utilizar en el sistema de frenos haciendo mención en el mercado ecuatoriano.

2.3.2 PARÁMETROS INDEPENDIENTES

1. Almohadillas Semimetálicas
2. Almohadillas de Carbono
3. Almohadillas de Cerámica

2.3.3 PARÁMETROS DEPENDIENTES

1. Fuerza aplicada al frenar
2. Rendimiento de frenado
3. Variación de frenado

Cada una de estas variables serán el estudio de esta investigación considerando la colocación de los parámetros independientes en el vehículo seleccionado así mismo se detallará por qué fueron seleccionadas.

A partir de las evaluaciones ejecutadas se comprobará qué tipo de almohadilla de freno es la más adecuado para el automóvil seleccionado en este caso tomando en cuenta cada uno de los parámetros dependientes.

2.4 SELECCIÓN DE DISCOS DE FRENO

En este estudio se consideró que los discos de frenos ventilados eran la mejor opción ya que estos proporcionan una mayor disipación de calor. Esto significa más eficiencia y capacidad de frenado, especialmente en situaciones de conducción más exigentes.

2.5 DISCOS DE FRENO VENTILADOS

Los rotores de freno ventilados desempeñan un papel crucial en los sistemas de frenado de los automóviles. Estos discos están diseñados con ranuras o canales que permiten el paso del aire. La ventilación tiene varios objetivos principales.

2.5.1 DISIPACIÓN DE CALOR

Durante el momento en que se realiza la acción de frenado, la interacción entre las almohadillas y el rotor dará lugar a una generación considerable de calor. Los discos ventilados permiten que el aire fluya, enfriando el sistema de frenos de manera más efectiva y ayudando a prevenir el sobrecalentamiento.

2.5.2 EVITAR EL DESVANECIMIENTO DE FRENOS

El desvanecimiento de los frenos ocurre cuando las altas temperaturas reducen la efectividad de los frenos. Los discos ventilados ayudan a reducir este problema al disipar el calor de manera más eficiente.

2.5.3 MEJORA DEL RENDIMIENTO EN FRENADO CONTINUO

La ventilación juega un papel importante en mantener los discos de freno a una temperatura adecuada, lo cual es beneficioso en situaciones donde se requiere frenar constantemente o durante descensos prolongados, ya que el sistema de frenos tiende a calentarse considerablemente.



Figura 2.3 Discos de freno ventilados

(Autodoc, 2020)

2.6 ELECCIÓN DE LOS TIPOS DE ALMOHADILLAS DE FRENO A ESTUDIAR

En el marco de este estudio, se evaluaron tres categorías de pastillas disponibles en el mercado ecuatoriano y comúnmente utilizadas por aquellos que poseen un vehículo. Estas categorías incluyen las almohadillas de freno de carbono, las semimetálicas y las de cerámica.

Las almohadillas de freno juegan un papel crucial en el desempeño del sistema de frenos de un vehículo, y su importancia radica en varios aspectos relacionados con la seguridad, el rendimiento y el mantenimiento del automóvil y su función principal es generar fricción contra los rotores (o tambores) de freno para reducir o interrumpir el desplazamiento de las ruedas.

2.6.1 ALMOHADILLAS DE FRENO DE MATERIAL SEMIMETÁLICAS

Las almohadillas de freno semimetálicas se caracterizan por tener una composición que combina diversos materiales, como metal y resina. Este tipo de pastillas combina las ventajas de diferentes materiales para ofrecer un desempeño balanceado en términos de frenado, resistencia y reducido nivel de sonoridad. Sin embargo, pueden generar más polvo de freno que las pastillas de cerámica.



Figura 2.4 Pastillas semimetálicas

2.6.2 ALMOHADILLAS DE FRENO DE MATERIAL DE CARBONO

Este tipo de almohadillas de freno están elaboradas con compuestos de carbono. Están diseñadas para ofrecer un rendimiento de frenado superior en comparación con otros tipos de pastillas. El uso de materiales de carbono proporciona características como una alta resistencia térmica, resistencia al desgaste y una capacidad de frenado eficiente, especialmente en condiciones de conducción exigentes o de alto rendimiento. Estas pastillas son comúnmente utilizadas en automóviles de gama alta, deportivos y de competición, donde se requiere un rendimiento de frenado excepcional.

Es fundamental tener en mente que, a causa de su destacado rendimiento, las pastillas de freno de carbono tienden a presentar un costo superior en relación con otros alternos de pastillas.



Figura 2.5 Pastillas de Carbono

2.6.3 ALMOHADILLAS DE FRENO DE MATERIAL DE CERÁMICA

Las almohadillas de cerámica están hechas de un compuesto cerámico, que generalmente incluye cerámica reforzada con fibras, polvos cerámicos y otros materiales específicos. Son reconocidas por proporcionar un rendimiento de frenado eficaz y generar una cantidad menor de polvo de freno en contraste con las almohadillas de freno semimetálicas. También tienden a ser más silenciosas.

La cerámica es resistente a la corrosión, lo que proporciona una mayor durabilidad en condiciones adversas.



Figura 2.6 Pastillas Cerámicas

En este análisis, también se realizaron pruebas en las ruedas posteriores para evaluar la capacidad de frenado del automóvil elegido. Este automóvil contaba con sistema de frenos de zapata en el eje trasero.

2.7 FRENO DE ZAPATA

Consiste en un sistema de frenado en el que, al presionar el pedal del vehículo, se genera fricción mediante las zapatas de freno, las cuales a su vez ejercen contacto con la superficie interna de un tambor en rotación unido al eje o rueda.

En el momento de desmontar los frenos de zapata de nuestro vehículo, lo primero que debemos encontrar es el tambor, es una pieza giratoria de hierro fundido que elimina todo el calor que se genera cuando pisamos los pedales de nuestro coche. El siguiente componente externo es el plato de freno, que, junto con el tambor, compone el conjunto de freno de zapata. Por último, la zapata de freno se presenta como el tercer componente en el sistema de freno de zapata, construida mediante la soldadura de dos placas de acero y destinada a frenar mediante fricción con el tambor.

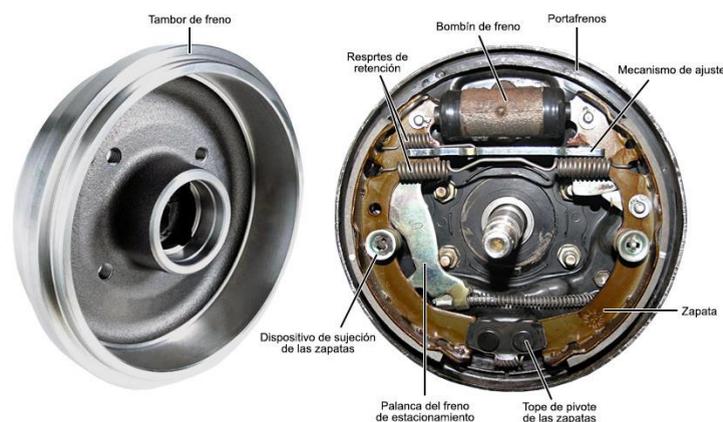


Figura 2.7 Componentes del freno de tambor

(Blázquez, 2020)

2.8 ESPECIFICACIONES DEL VEHÍCULO SELECCIONADO

El automóvil elegido para esta investigación y para la ejecución de las pruebas correspondientes de fuerza, rendimiento y variación en el frenado fue un Peugeot 206. Este vehículo emplea sistema de frenado con rotores en el eje delantero y tambores en el eje trasero.

Las características técnicas de este automóvil se presentan en la **Tabla. 2.2**



Figura 2.8 Vehículo Peugeot 206

Tabla 2.2 Especificaciones técnicas del vehículo Peugeot 206

Marca del Vehículo	Peugeot
Modelo del Vehículo	206
Año del modelo del Vehículo	2003
Motor del Vehículo	4 cilindros en línea
Cilindrada del Vehículo	1361 cm ³
Tipo de Combustible	Gasolina
Clase de vehículo	Hatchback
Sistema de Transmisión del Vehículo	5 marchas + retro, transmisión manual
Índice de compresión	10 a 2
Potencia del Automóvil	5500rpm
Par motor del Automóvil	120 Nm
Sistema de frenos delanteros	Discos
Sistema de frenos traseros	Tambor

Realizado por: Benalcázar & Navisoy, 2023.

Es crucial considerar otro aspecto relevante para llevar a cabo las pruebas, como la presión y las dimensiones de los neumáticos, ya que esto contribuirá a obtener resultados más cercanos a la realidad.

Los neumáticos empleados en el automóvil elegido tienen dimensiones de 185/60 R14 con una presión de 28 psi cada neumático.



Figura 2.9 Dimensión de Neumáticos Utilizados en las Pruebas de Freno

Una variación en la presión podría tener un impacto considerable en la obtención de resultados, por lo tanto, es imprescindible revisar la presión de los neumáticos antes de llevar a cabo cada una de las pruebas.

2.9 PREPARACIÓN DEL VEHÍCULO

Previo a llevar a cabo las pruebas correspondientes en el frenómetro, se aseguró de que el sistema de suspensión del automóvil estuviera en condiciones ideales, con este propósito se tomaron en cuenta las siguientes consideraciones.

1. Verificar visualmente los componentes del sistema de suspensión, incluyendo amortiguadores, resortes, brazos de control, bieletas, bujes y enlaces.
2. Buscar símbolos de desgaste, daños, fugas de fluido, o cualquier otro problema aparente.
3. Examinar los neumáticos en busca de cualquier desgaste no uniforme.
4. Verificar la alineación de las ruedas. Una alineación incorrecta puede arrojarnos valores erróneos al momento de realizar las pruebas en el frenómetro.

5. Asegurarse de que todos los puntos de pivote y conexiones estén bien lubricados.
6. Reemplazar las piezas desgastadas según las recomendaciones del fabricante.

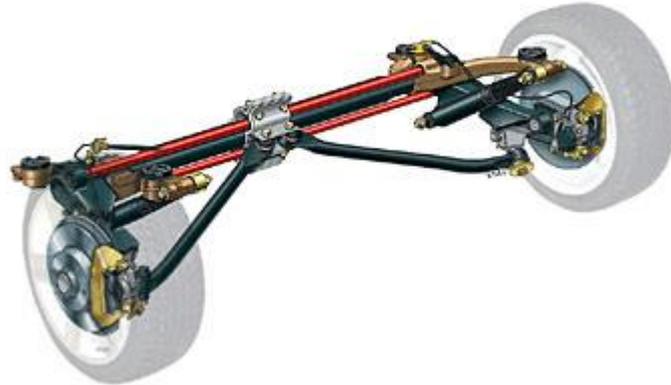


Figura 2.10 Sistema de suspensión Peugeot 206

(Pichardo, 2004)

2.10 DATOS DEL FRENÓMETRO MAHA

El frenómetro empleado en los ensayos para evaluar la fuerza, eficacia y variación en el frenado de los tres tipos de almohadillas de freno es un modelo MAHA MBT2120. Este dispositivo complejo está compuesto por una estructura base, un motorreductor, sensores de fuerza y dos rodillos especialmente diseñados para imitar las condiciones de la superficie de la carretera.

2.10.1 BANCADA

Se refiere a la base o plataforma donde se monta y asegura el frenómetro, un dispositivo empleado para medir la fuerza de deceleración de un automóvil. La bancada es una parte esencial del frenómetro, ya que proporciona la base sobre la cual se realizan las pruebas de frenado. Esta estructura es crítica para asegurar la estabilidad y la precisión de las mediciones.

2.10.2 UNIDAD DE SENSORES

Miden la presión o fuerza aplicada por los frenos del vehículo durante la prueba. Estos sensores son críticos para obtener mediciones precisas.

2.10.3 RODILLOS

Son cilindros o ruedas que forman parte de la estructura de la plataforma de prueba. Estos rodillos están diseñados para proporcionar una superficie sobre la cual los neumáticos del vehículo pueden rodar durante las pruebas de frenado. La resistencia al giro de estos rodillos debido a la fuerza de deceleración aplicada por el automóvil se mide y se utiliza para calcular la eficacia del sistema de frenos.

2.10.4 MOTORREDUCTOR

Es un conjunto de motor eléctrico y mecanismo de reducción de velocidad que se utiliza para generar la fuerza necesaria para girar los rodillos del frenómetro. Este motorreductor convierte la energía eléctrica del motor en un movimiento controlado y de baja velocidad que se aplica a los rodillos, simulando así la resistencia a la que se enfrentan los frenos del vehículo durante una prueba de frenado.

2.10.5 ELEMENTOS DE SEGURIDAD

Los elementos de seguridad de un frenómetro son características y dispositivos integrados en el diseño del dispositivo para proteger a los operadores y el vehículo durante las pruebas de frenado.



Figura 2.11 Frenómetro MBT 2120

Las especificaciones técnicas del frenómetro utilizado en esta investigación se muestran en la **Figura 2.12**.

Datos técnicos			Estándar	Opción
Carga axial (transitable) máx.			3.000 kg	4.000 kg/5.000 kg
Potencia motriz			2 x 2.5 kW	2 x 4 kW
Velocidad de prueba			3 km/h	5 km/h
Rango de medición			2 x 0...6 kN	2 x 0...8 kN
Precisión de indicación			2 % del valor final del rango de medición 2 % de diferencia izquierda – derecha	
Ancho de vía mín....máx.			780...2.200 mm	780...2.800 mm
Diámetro de rodillo			202 mm	
Dimensiones del banco			Alto	280 mm
			Ancho	680 mm
			Largo	2.320 mm	2.925 mm
Alimentación de corriente			3~ 400 V; 50/60 Hz	3~ 230 V; 50/60 Hz
Fusible			16...25 A de acción lenta	
Coeficiente de rozamiento de rodillos	seco	Acero / Plástico	aprox. 0.9 / aprox. 0.9	
	húmedo	Acero / Plástico	aprox. 0,7 / aprox. 0,8	

Figura 2.12 Especificaciones técnicas del frenómetro MAHA MBT 2120

2.11 NORMA DE CUMPLIMIENTO

La norma ISO 21069-2 especifica el procedimiento para lograr mediciones comparables en pruebas de frenado y obtener resultados consistentes, asegurando de esta manera una evaluación confiable de la eficacia del sistema de frenado.

1. Es importante tener en cuenta el registro de los mantenimientos de frenómetro con la finalidad de asegurar un registro de datos correcto.
2. La superficie de los rodillos y cualquier parte relevante del frenómetro debe estar limpia por la razón de que cualquier suciedad, grasa u otros contaminantes pueden afectar e interferir en las mediciones.
3. El frenómetro empleado debe cumplir con las regulaciones y normas de seguridad, asegurando así un entorno de prueba seguro.
4. La presión de los neumáticos debe corresponder a las especificaciones de acuerdo con la marca del fabricante.
5. El frenómetro debe estar calibrado adecuadamente por el motivo de que una calibración precisa es esencial para obtener mediciones confiables.

2.12 CALIBRACIÓN DEL FRENÓMETRO

Calibrar el frenómetro es una etapa crucial para asegurar el funcionamiento exacto y confiable de este instrumento de medición de frenos.

Para la calibración del frenómetro buscamos la asistencia de un profesional el cual contaba con un servicio de calibración certificado. La exactitud del frenómetro resulta fundamental para asegurar resultados confiables al evaluar la fuerza de deceleración del vehículo escogido.

2.13 PROCESO DE INSTALACIÓN DE LAS ALMOHADILLAS DE FRENO

La instalación de las almohadillas de freno es un procedimiento importante para el estudio de esta investigación por lo que es recomendable consultar el manual del vehículo o información específica de tal manera de que no haya ningún tipo de problema al momento de realizar las respectivas pruebas en el frenómetro. A continuación, se encuentra una guía general de la forma de colocar pastillas de freno.

2.14 HERRAMIENTAS Y MATERIALES NECESARIOS

1. Gato hidráulico y soportes para levantar el automóvil de manera segura.
2. Llave de ruedas.
3. Llave para pernos o trinquete con juego de puntas.
4. Pistón o abrazadera para comprimir el pistón del calibrador.
5. Llave Allen o torx (si es necesario para quitar pernos específicos).
6. Grasa para los pasadores de la mordaza.
7. Bloqueo de rueda o freno de estacionamiento.

2.15 PASOS GENERALES:

2.15.1 PREPARACIÓN

Estacionar el automóvil en una superficie plana y segura. Aflojar las tuercas de los neumáticos antes de elevar el vehículo.

2.15.2 LEVANTAMIENTO DEL AUTOMÓVIL

Usar un gato hidráulico para levantar el automóvil del suelo. Colocar soportes debajo del automóvil para mayor seguridad.

2.15.3 RETIRO DE LA RUEDA

Aflojar las tuercas de los neumáticos y desmontar el neumático.

2.15.4 ACCESO AL SISTEMA DE FRENADO

Localizar el calibrador de freno y los pernos que lo sujetan.

2.15.5 RETIRAR LOS PERNOS DEL CALIBRADOR

Pueden ser pernos hexagonales o torx.

2.15.6 RETIRO DEL CALIBRADOR

Retirar el calibrador con cuidado y colgar el calibrador de freno con un alambre o cuerda para evitar dañar el tubo de freno.

2.15.7 RETIRO DE LAS VIEJAS ALMOHADILLAS DE FRENO

Retirar las almohadillas de freno desgastadas.

2.15.8 COMPRESIÓN DEL PISTÓN DEL CALIBRADOR

Comprimir el pistón del calibrador utilizando una herramienta adecuada. Esto facilitará la instalación de las nuevas pastillas.

2.15.9 INSTALACIÓN DE LAS NUEVAS PASTILLAS

Colocar las nuevas pastillas en el soporte del calibrador.

Este proceso se realizó con los tres tipos de pastilla de freno propuestos en esta investigación.

2.16 PROCESO DE MEDICIÓN DE EFICACIA DE FRENADO

1. Antes de colocar el vehículo sobre los rodillos verificar la presión de cada uno de los neumáticos para que no haya variaciones en los valores.
2. Posicionar el vehículo en el frenómetro de manera que los neumáticos estén en contacto con los rodillos y el neumático en la parte central de ellos. Verificar que el vehículo esté en posición neutral, sin presionar el pulsador del sistema de frenado ni activar el freno de estacionamiento.
3. En el indicador, observamos una luz blanca que señala la necesidad de presionar gradualmente el pedal del freno hasta alcanzar la detención completa. Este proceso provoca que el vehículo se deslice por completo fuera de los rodillos giratorios, al mismo tiempo que se registran las mediciones necesarias de frenado.
4. Anotar los resultados obtenidos durante las pruebas, los cuales podrían involucrar mediciones de la fuerza aplicada al sistema de frenado, la eficacia del sistema de frenos y el desequilibrio entre ejes.

2.17 FACTORES DETERMINANTES

Los siguientes factores nos garantizaron mediciones precisas y confiables en las pruebas de frenado:

1. Calibración precisa del frenómetro.
2. Rodillos en buen funcionamiento y limpios.
3. Nivelación adecuada de la plataforma y los rodillos del frenómetro.
4. Neumáticos del vehículo correctamente alineados, en buen estado y dirección del vehicula alineada.
5. Correcta presión de los neumáticos.
6. Montaje correcto de las pastillas de freno.

2.18 PROCEDIMIENTO DE OBTENCIÓN DE RESULTADOS

1. Después de examinar detenidamente todos los pasos esenciales para realizar pruebas en el frenómetro y lograr resultados precisos, se implementaron cada una de las pruebas de la siguiente manera.

2. Preparación de los tres tipos de almohadillas de freno.
3. Para obtener mediciones más precisas de rendimiento de frenado, se instalaron rotores de freno nuevos antes de realizar cada prueba.
4. Para sus pruebas se instalaron correctamente los tres tipos de almohadillas de freno.
5. De igual manera se colocó los neumáticos de forma correcta y verificando su presión al cambiar cada una de las pastillas de freno.
6. Posicionamiento del automóvil en la estación de ensayos.
7. El Peugeot 206, elegido para este proyecto, fue posicionado sobre los rodillos del frenómetro de la marca MAHA, modelo MBT 2120, como se muestra en la **Figura 2.13**.



Figura 2.13 Posicionamiento del vehículo Peugeot 206 en el banco de pruebas

Los resultados del uso de un frenómetro proporcionan información crucial sobre la eficiencia y el rendimiento del sistema de frenado de un automóvil.

2.19 PRUEBA DE HIPÓTESIS MEDIANTE EL USO DE UN DURÓMETRO

2.19.1 DURÓMETRO

El durómetro es un instrumento de medición diseñado para evaluar la dureza de un material. La dureza se refiere a la capacidad de resistencia que exhibe un material ante la deformación plástica, generalmente mediante la penetración o indentación. Hay varios tipos de durómetros, y cada uno se adapta a diferentes aplicaciones y tipos de materiales.



Figura 2.14 Durómetro Demeq QH5 G

(Improtek, 2022)

2.19.2 NORMA APLICABLE

Toda la serie de durómetros QH5 cumple las normas ASTM A956, la cual se tomó en cuenta para la obtención de los resultados.

2.19.3 NORMATIVA ASTM A956

La ASTM A956 es una norma estándar de la ASTM International que define los procedimientos de prueba utilizados para medir la dureza de materiales metálicos, incluyendo aceros, aleaciones de aluminio, cobre y otros materiales. Esta norma proporciona directrices para la medición de la resistencia Vickers, la resistencia Knoop y la resistencia Brinell, así como para la medición de la profundidad del endurecimiento. La norma ASTM A956 es ampliamente empleada en la industria con el objetivo de garantizar la calidad y la integridad de los materiales metálicos utilizados en aplicaciones diversas.

2.19.4 TIPOS DE ESCALA DE DURÓMETRO

2.19.4.1 Escala Brinell

Mide la dureza de metales como son acero de fundición, acero, acero inoxidable, fundición gris, fundación nodular, aleación de aluminio, latón, cobre y bronce, mediante la indentación de una esfera de acero endurecido en la superficie del material.

2.19.4.2 Escala Rockwell

Realiza la medición de la dureza a través de la profundidad de penetración de un indentador bajo carga, y existen diferentes escalas para diferentes materiales como son acero, acero para herramientas, acero inoxidable, latón.

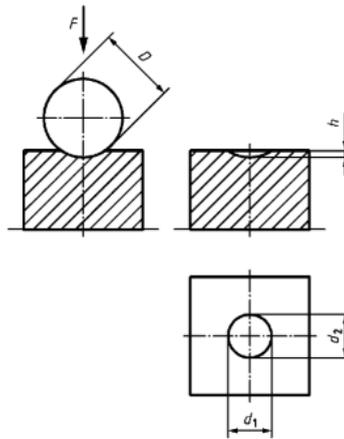


Figura 2.15 Ensayo de Dureza Brinell

(Barajas, 2015, pág. 13)

2.19.4.3 Escala Vickers

La norma ISO 6507 señala, que al momento de realizar la prueba de ensayo se presiona con un penetrador de diamante, teniendo la base cuadrada y con una forma de pirámide de tal manera que pueda medir la dureza de los materiales como acero de fundición, acero para herramientas, acero inoxidable.

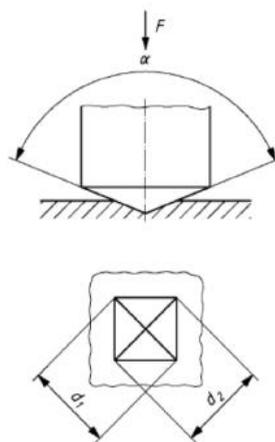


Figura 2.16 Ensayo de Dureza Vickers

(Barajas, 2015, pág. 11)

2.19.5 PRUEBAS DE DURÓMETRO EN ALMOHADILLAS DE FRENO

Para el estudio de esta investigación se realizó una prueba de hipótesis mediante el uso de un durómetro el cual sirve para medir la dureza de las almohadillas de freno. La dureza es una propiedad importante, ya que puede influir en la capacidad de las almohadillas de freno para resistir el desgaste y mantener su eficacia durante su vida útil.

Durante la prueba, se aplicó una carga controlada sobre la superficie de la almohadilla de freno y se midió la penetración resultante. La resistencia a la penetración se correlaciona con la dureza del material. Los resultados de estas pruebas nos ayudaron a evaluar la calidad y la durabilidad de las almohadillas de freno, lo que es esencial para garantizar un rendimiento seguro y eficiente del sistema de frenado.

2.19.6 DUREZA DE LOS TRES TIPOS DE ALMOHADILLA DE FRENO

Los tres tipos de almohadilla de freno se midieron a una escala específica de dureza, como la escala Brinell. Esto varía según el tipo de material empleado para las mediciones debido a que existen diferentes escalas en donde cada una es seleccionada por el tipo de material que está compuesto la pieza.

2.19.7 DUREZA ALMOHADILLA DE FRENO CERÁMICA

La cerámica es ampliamente apreciada por su notable dureza y capacidad de resistir el desgaste, lo que la convierte en una opción muy demandada para las almohadillas de freno.

Las almohadillas de freno de cerámica suelen tener propiedades de dureza superiores en comparación con las pastillas convencionales de material orgánico o semimetálico. La alta dureza contribuye a una mayor resistencia al desgaste y a un rendimiento duradero en condiciones de frenado variadas. Sin embargo, es importante destacar que la dureza no es el único factor determinante en el rendimiento global de las almohadillas de freno, y otros aspectos, como la capacidad de disipar el calor y la fricción, también son relevantes.

2.19.8 DUREZA ALMOHADILLA DE FRENO CARBÓN

El carbono, especialmente en formas como la fibra de carbono o compuestos de carbono reforzados, es apreciado por su alta dureza y resistencia. Esto contribuye a que las almohadillas de freno de carbono ofrezcan un rendimiento duradero y una vida útil prolongada. Además de la dureza, otros factores, como la capacidad para disipar el calor y la eficiencia en las condiciones de frenado, también son cruciales para evaluar el rendimiento general de las almohadillas de freno de carbono.

2.19.9 DUREZA ALMOHADILLA DE FRENO SEMIMETÁLICA

Las almohadillas semimetálicas contienen una mezcla de materiales, como metal, cerámica, y a veces materiales orgánicos. La presencia de componentes metálicos, como partículas de metal y fibras de acero, contribuye a la dureza general del compuesto.

2.19.10 PASOS PARA EL USO DEL DURÓMETRO

Para medir la dureza de las almohadillas de freno utilizando un durómetro, seguimos los siguientes pasos generales:

1. Asegurarse de que el durómetro esté correctamente calibrado y configurado para la prueba de dureza específica que deseas realizar. Verificar que el indentador esté limpio y en buenas condiciones.
2. Colocar la almohadilla de freno de manera estable en una superficie plana y asegúrate de que esté limpia y libre de cualquier contaminante que pueda afectar la medición de la dureza.
3. Decidir el punto en la almohadilla de freno donde se realizará la medición de dureza. Esto puede ser en una zona representativa de la pastilla o en un área específica de interés.

4. Aplicar una carga controlada sobre el indentador del durómetro y asegurarse de que esté en contacto con la superficie de la pastilla de freno en el punto seleccionado. La carga debe aplicarse de manera uniforme y constante.
5. Registrar la penetración del indentador en la pastilla de freno, que es una medida de la resistencia del material a la deformación. Esta penetración se registra en la escala de dureza específica del durómetro que se está utilizando.
6. Registrar los resultados de la medición de dureza, incluyendo la carga aplicada, la penetración del indentador y cualquier otra información relevante.
7. Analizar los resultados de la medición de dureza para comprender la resistencia del material de las pastillas de freno y evaluar su idoneidad para su uso en la aplicación prevista.

2.20 STATGRAPHICS

Para la prueba de hipótesis y recopilación de datos se utilizó el software Statgraphics, esta es una herramienta estadística que pudo utilizarse para analizar datos de dureza en almohadillas de freno. Ingresamos los datos de dureza de las pastillas de freno en el software y pudimos realizar varios análisis estadísticos como cálculos de media, desviación estándar, distribuciones, gráficos de control, pruebas de hipótesis y más para comprender mejor la variabilidad y el comportamiento de las almohadillas de freno en términos de dureza.

Para medir la dureza en pastillas de freno utilizando Statgraphics, los pasos básicos pueden incluir:

1. Ingresar los datos de dureza de las almohadillas de freno en el software. Esto puede incluir mediciones de dureza de diferentes muestras de almohadillas de freno.
2. Calcular estadísticas descriptivas básicas como media, desviación estándar, mínimo y máximo para entender la distribución de los datos de dureza.

3. Crear gráficos de distribución, como histogramas o gráficos de densidad, para visualizar la distribución de los datos de dureza y detectar posibles anomalías o patrones.
4. Como en este caso obtuvimos datos de dureza de diferentes tipos de pastillas de freno o de diferentes lotes, realizamos un análisis comparativo para determinar si hay diferencias significativas en la dureza entre ellos.

2.21 ANÁLISIS EN LAS ALMOHADILLAS DE FRENO EN EL USO DEL DURÓMETRO

Estos son solo algunos ejemplos de los análisis que pudimos realizar utilizando las mediciones de dureza en almohadillas de freno en un durómetro:

2.21.1 DUREZA

La medición de la dureza nos proporcionó información sobre la resistencia del material de las almohadillas de freno a la deformación. Pudimos analizar las variaciones de dureza entre los tres tipos de pastillas.

2.21.2 CONSISTENCIA

Analizar la consistencia de la dureza dentro de los tres tipos de almohadillas de freno para evaluar la uniformidad del material y la calidad del proceso de fabricación.

2.21.3 COMPARACIÓN ENTRE MATERIALES

Comparar las mediciones de dureza entre los tres tipos de pastilla para determinar cuál ofrece la mejor combinación de resistencia y rendimiento.

CAPÍTULO III

3 RESULTADO Y DISCUSIÓN.

3.1 RESULTADOS

Mediante la presente investigación está basada en la eficiencia de frenado utilizando diferentes materiales en el sistema de frenado. Por tal motivo se adquirió tres tipos de componentes de las almohadillas de freno las cuales fueron de material cerámico, material semi-metálica y de material de carbón. Para realizar dichas pruebas se llevó a cabo la utilización de un frenómetro para vehículos livianos de marca MAHA modelos MTB 2120 y un vehículo Peugeot modelo 206 año 2003.

Se llevaron a cabo los ensayos siguiendo la normativa INEN 21069-2, y se consideraron cuatro pruebas de frenado en cada juego de pastillas, con el objetivo de analizar las variaciones existentes entre ellas.

Se requirió examinar integralmente el sistema de frenos del vehículo, lo cual implicó la adquisición y sustitución de discos de freno, la alineación del sistema de dirección, la inspección de las cañerías, la verificación del líquido de frenos y la revisión de los neumáticos

3.2 RESULTADOS DE MATERIAL SEMI-METÁLICO EN PEUGEOT 206

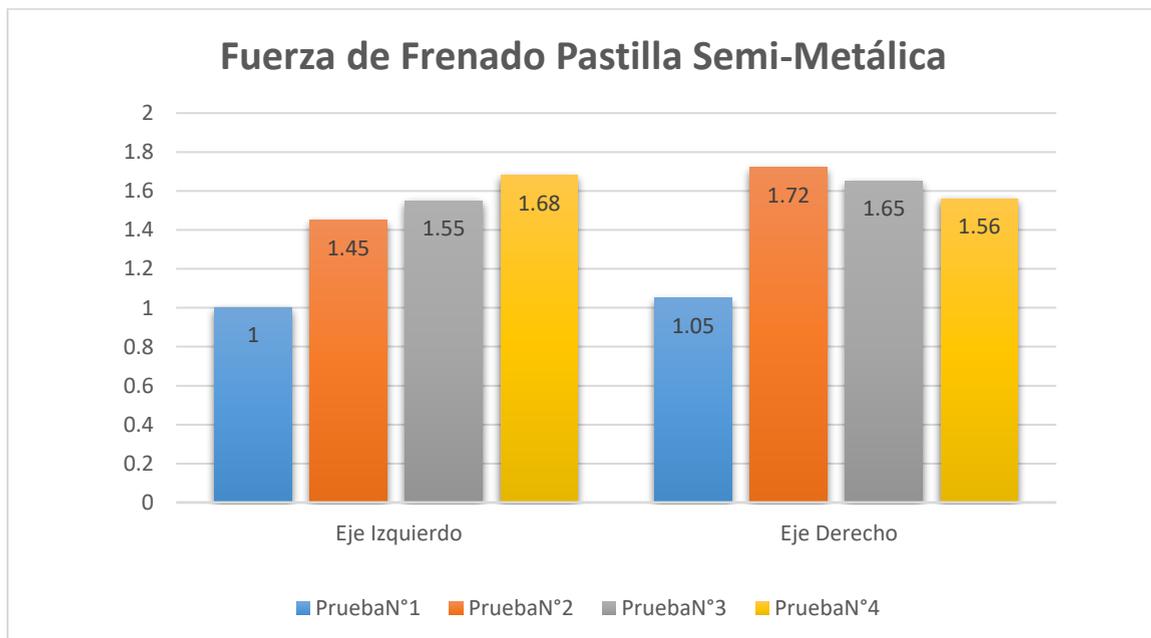
3.2.1 RESULTADOS DE ESFUERZO DE DETENCIÓN DEL EJE DELANTERO

Mediante las pruebas ejecutadas en el frenómetro de marca MAHA, se llegó a realizar la evaluación del esfuerzo de detención en el eje principal del vehículo tanto del extremo derecho como izquierdo, poniendo a evaluación pares independientes tanto del lado izquierdo como el derecho. Se llevaron a cabo cuatro pruebas con pastillas semi-metálicas con el objetivo de analizar sus diversas reacciones durante el proceso de frenado. Posteriormente, se realizó una gráfica comparativa con el fin de facilitar la comprensión de las discrepancias entre los resultados obtenidos.

Tabla 3.1 Resultado de Pastillas Semi-Metálicas

Vehículo: Peugeot 206		
Pastillas Semi-Metálicas		
N° de Pruebas	Esfuerzo de Detención Eje Principal Izquierdo (kN)	Esfuerzo de Detención Eje Principal Derecho (kN)
1	1.00	1.05
2	1.45	1.72
3	1.55	1.65
4	1.68	1.56

Indicado en la **Tabla 3.1**, se observa el número de pruebas realizadas en el frenómetro las cuales son de un total de cuatro ensayos, mediante se pueden concluir en tener resultados del esfuerzo de los ejes principales tanto el lado derecho como el lado izquierdo.

**Figura 3.1** Fuerza de Frenado Pastilla Semi-Metálica

Observando la **Figura 3.1**, en donde es apreciado detalladamente los valores del esfuerzo de detención que se obtuvieron en el material semi-metálicas, tanto es el caso del eje derecho como del eje izquierdo del vehículo, tomando en cuenta de que de las cuatro pruebas realizadas la que obtuvo mayor fuerza de frenado fue en la prueba número cuatro con un valor de 1.68 kN y 1.56

kN. Es indispensable mencionar que al momento de realizar las pruebas de frenado a 5km/h con las pastillas semi-metálicas los neumáticos no procedieron a detenerse en ningún momento, estos siguieron en movimiento en su propio eje a pesar de tener presionado el pedal de freno.

3.2.2 EFICIENCIA DE FRENADO EN PASTILLAS SEMI-METÁLICAS

Con base en los datos recopilados en las cuatro pruebas de medición llevadas a cabo en el frenómetro, es posible evaluar la eficacia del sistema de frenado. Se lleva a consideración tanto los dos ejes del vehículo. Estos datos proporcionan una visión integral de su suficiencia de detención del automóvil como también el desequilibrio que implica al momento del frenado, permitiendo identificar posibles desafíos o mejoras necesarias en la estructura del componente de las almohadillas de freno. Esta información es esencial para asegurar un desempeño eficiente y seguro durante las operaciones al presionar el freno, colaborando así en el progreso de los procedimientos de frenado del vehículo.

Tabla 3.2 Resultados de Efectividad de Detención del Material Semi-Metálicas

Vehículo: Peugeot 206					
Pastillas Semi-metálicas					
N° de Pruebas	Datos de Frenado				
	Peso Vehicular (kg)	Fuerza absoluta de Detención (N)	Inestabilidad de ejes (%)	Desviación entre ejes (%)	Eficiencia de Frenado (%)
1	1075	4195	4.76	7	39.81
2	1075	5140	15.69	19	48.78
3	1075	5230	6.06	6	49.64
4	1075	5240	7.14	8	49.73

Reflejado la **Tabla 3.2**, se indica la respuesta del material semi-metálica de la eficiencia de detención obteniendo como resultado los siguientes valores:

La primera prueba que se realizó se obtuvo el valor de esfuerzo de detención de 4195 N, con efectividad del 39.81%. Los datos se obtuvieron mediante la toma de datos con los cuatro ejes del vehículo y haciendo el uso de la ecuación mencionada en el capítulo II.

La segunda prueba realizada se obtienen valores del 48.78% y de fuerza de frenado del 5140 N, viendo una mejora a comparación de la primera prueba realizada.

La tercera prueba refleja valores de 5230 N con una eficiencia del 49.64% girando el eje delantero en el frenómetro e indicando una desviación del 6.06%.

La cuarta prueba expresa estimaciones de efectividad del 49.73%, con un esfuerzo absoluto de 5240 N. Se refleja una desviación de 7.14% utilizando la ecuación del capítulo anterior.

La eficacia de frenado se relaciona entre la carga y el coeficiente de fricción de fricción que existe entre el neumático y el asfalto debido a que si existe una mayor carga y una presión de neumáticos este valor puede variar.

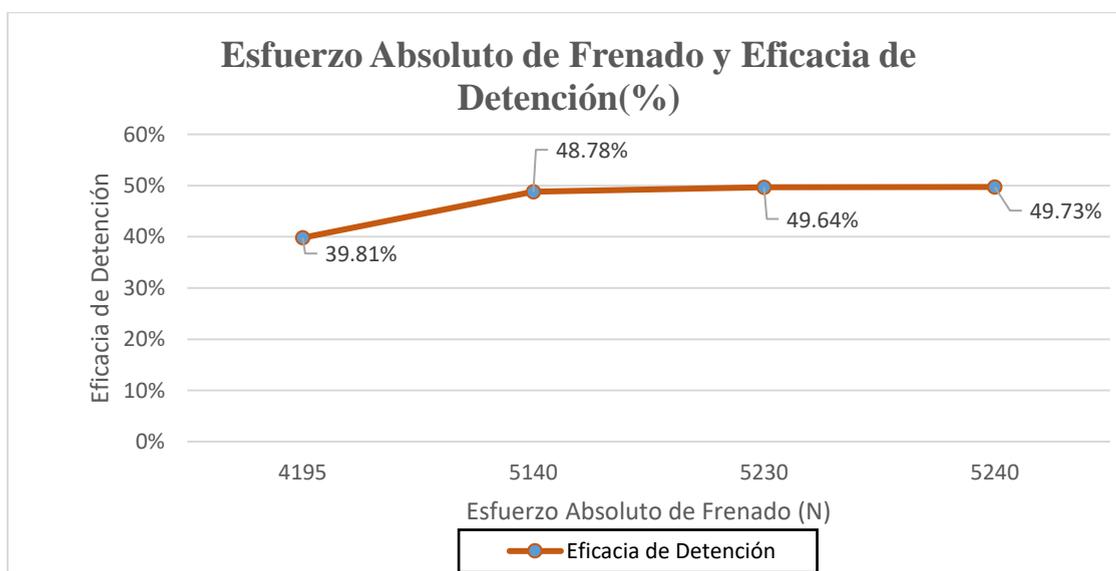


Figura 3.2 Fuerza Total y Eficiencia de Frenado del Material Semi-Metálica

3.3 RESULTADOS DE MATERIAL DE CARBÓN EN PEUGEOT 206

3.3.1 RESULTADOS DEL ESFUERZO DE DETENCIÓN EN EJE DELANTERO

Por medio de las evaluaciones realizadas en el frenómetro, se llevó a la práctica una investigación exhaustiva en la suficiencia de detención en el eje principal del vehículo, abordando tanto el lado izquierdo como el derecho. Se ejecutaron cuatro pruebas específicas utilizando pastillas de freno de carbono, con el propósito de examinar las variadas respuestas que estas presentaron durante el proceso de frenado. Posteriormente, se elaboró una representación gráfica

comparativa con la finalidad de simplificar el entendimiento de las disparidades identificadas entre los resultados obtenidos.

Tabla 3.3 Resultado de Pastillas de Carbón

Vehículo: Peugeot 206		
Pastillas de Carbón		
N° de Pruebas	Esfuerzo de Detención Eje Principal Izquierdo (kN)	Esfuerzo de Detención Eje Principal Derecho (kN)
1	1.75	1.68
2	2.15	1.95
3	2.23	2.05
4	2.32	2.18

Representado en la **Tabla 3.3**, se observa el número de pruebas realizadas en el frenómetro las cuales son de un total de cuatro ensayos, por lo que se pueden concluir en tener resultados del esfuerzo de los ejes principales tanto el lado derecho como el lado izquierdo.

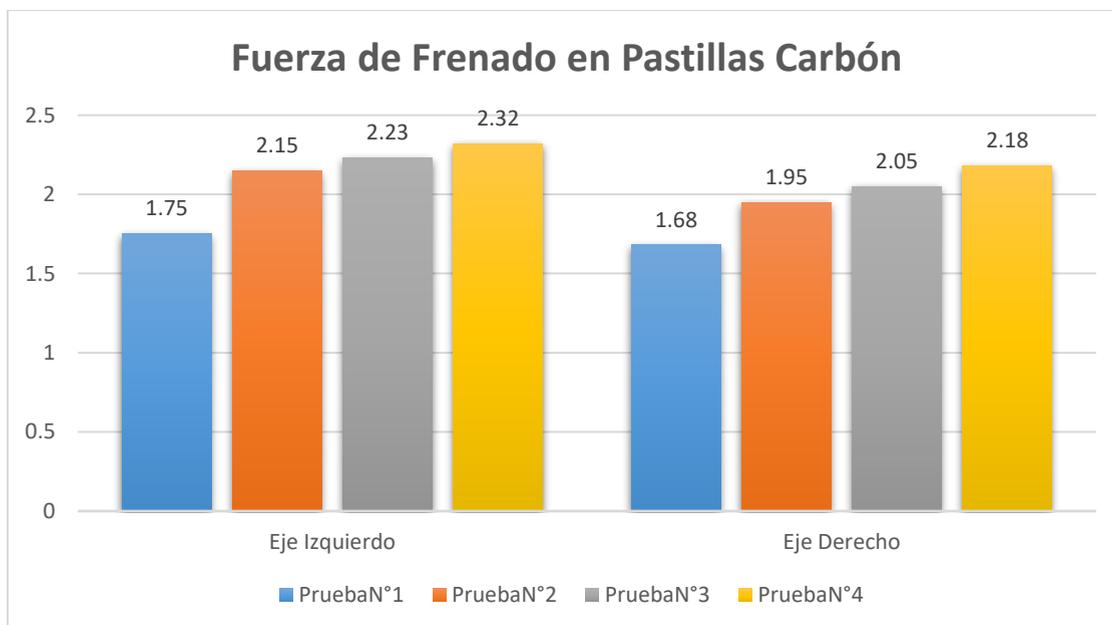


Figura 3.3 Fuerza de Frenado Pastilla de Carbón

En la **Figura 3.3**, se analizan los datos registrados basado en el esfuerzo de detención obtenidos de las almohadillas de material de carbón, tanto del eje derecho como del eje izquierdo del vehículo, tomando en cuenta de que de las cuatro pruebas realiza la que obtuvo mayor fuerza

de frenado fue en la prueba número cuatro. Es indispensable mencionar que existe una mayor fuerza al momento de frenar en el eje izquierdo del vehículo y al momento que se realizó las pruebas de frenado a 5km/h con las pastillas de carbón los neumáticos son expulsados de los rodillos del frenómetro, esto quiere decir que nos brinda una mejor eficacia al momento de frenar.

3.3.2 EFICIENCIA DE FRENADO EN PASTILLAS DE CARBÓN

A través de los resultados obtenidos al emplear pastillas de carbón y el frenómetro, se elaboró una tabla detallada que reflejaba los valores derivados de fórmulas específicas. Estas fórmulas proporcionaron datos sobre la eficiencia de frenado, centrándose en la medición de los ejes del vehículo. El propósito de esta tabla era determinar el porcentaje de eficiencia al momento de aplicar presión al pedal de freno, ofreciendo así una evaluación detallada de la capacidad de frenado basada en los materiales utilizados y las mediciones obtenidas.

Tabla 3.4 Resultados de Eficacia de Detención de Material de Carbón

Vehículo: Peugeot 206					
Pastillas de Carbón					
N° de Pruebas	Datos de Frenado				
	Peso Vehicular (kg)	Fuerza absoluta de Detención (N)	Inestabilidad de Ejes (%)	Desviación entre ejes (%)	Eficiencia de frenado (%)
1	1075	5535	4	9	52.53
2	1075	6025	9.30	8	57.19
3	1075	6300	8.07	9	59.80
4	1075	6380	6.03	10	60.56

La primera prueba que fue llevada a cabo se reflejaron datos de eficacia de detención de 5535 N, alcanzando un porcentaje de eficacia del 52.53%. Realizando la prueba de detención en el mismo eje principal.

La segunda prueba realizada refleja valores de esfuerzo de detención aumentados a 6025 N y teniendo en consideración que en la eficiencia de frenado arroja un total de 57.19% superior a la primera prueba realizada.

La tercera prueba refleja datos con mayor eficiencia de frenado obtenido de la ecuación mencionada en el anterior capítulo con un valor de 59.80%, su esfuerzo de detención es de 6300 N y con un desequilibrio entre ejes de 8.07%.

La cuarta evaluación t de pares dependientes tiene como resultado un esfuerzo de detención total de 6380 N reflejando de que a medida de las pruebas realizadas nos resalta un valor más eficiente de 60.56%.

La relación del frenado y de la eficacia se debe a la carga que presenta el automóvil, en este caso la carga del automóvil fue realizada en vacío por lo que se pudo obtener los valores reflejados en la gráfica.

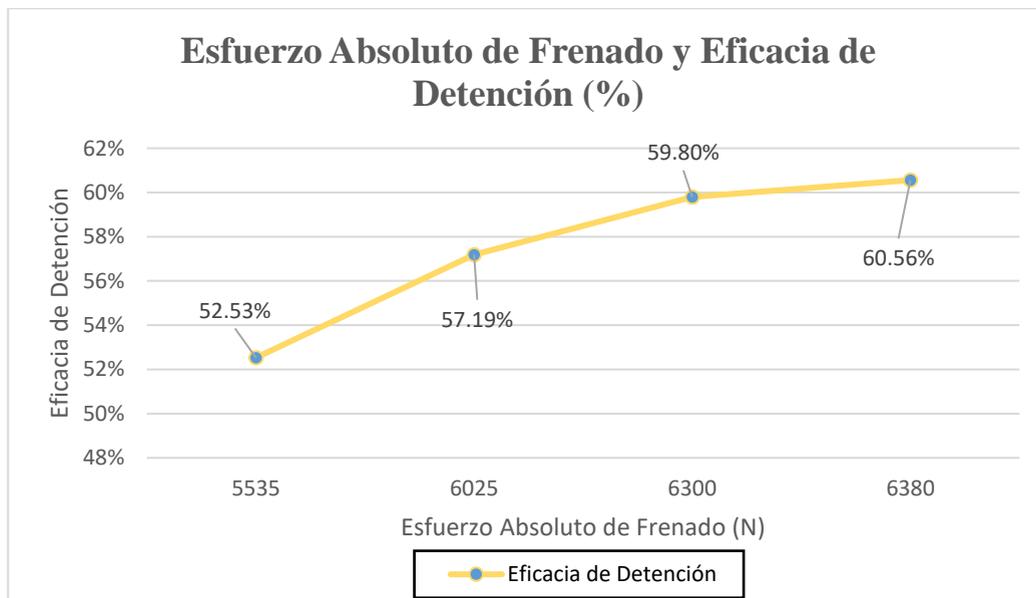


Figura 3.4 Eficacia de Detención de Material Semi-Metálica

3.4 RESULTADOS DE MATERIAL CERÁMICA EN PEUGEOT 206

3.4.1 RESULTADO DE ESFUERZO DE DETENCIÓN EN EJE DELANTERO

Los datos sobre el esfuerzo de detención del eje primario fueron recopilados a través del uso del frenómetro, que facilitó la obtención de información de las cuatro pruebas realizadas en el material cerámico. El propósito de estas pruebas es observar el comportamiento, eficiencia y las

diferencias entre los distintos materiales y con el fin de poder obtener la eficacia de frenado correspondiente al material.

Tabla 3.5 Resultado de Pastillas Cerámicas

Vehículo: Peugeot 206		
Pastillas Cerámicas		
N° de Pruebas	Esfuerzo de Detención Eje Principal Izquierdo (kN)	Esfuerzo de Detención Eje Principal Derecho (kN)
1	1.66	1.6
2	1.96	1.85
3	1.99	1.93
4	2.16	1.97

Representado en la **Tabla 3.5**, se aprecia el número de pruebas realizadas en el frenómetro las cuales son de un total de cuatro ensayos, por lo que se pueden concluir en tener resultados del esfuerzo de los ejes principales tanto el lado derecho como el lado izquierdo.

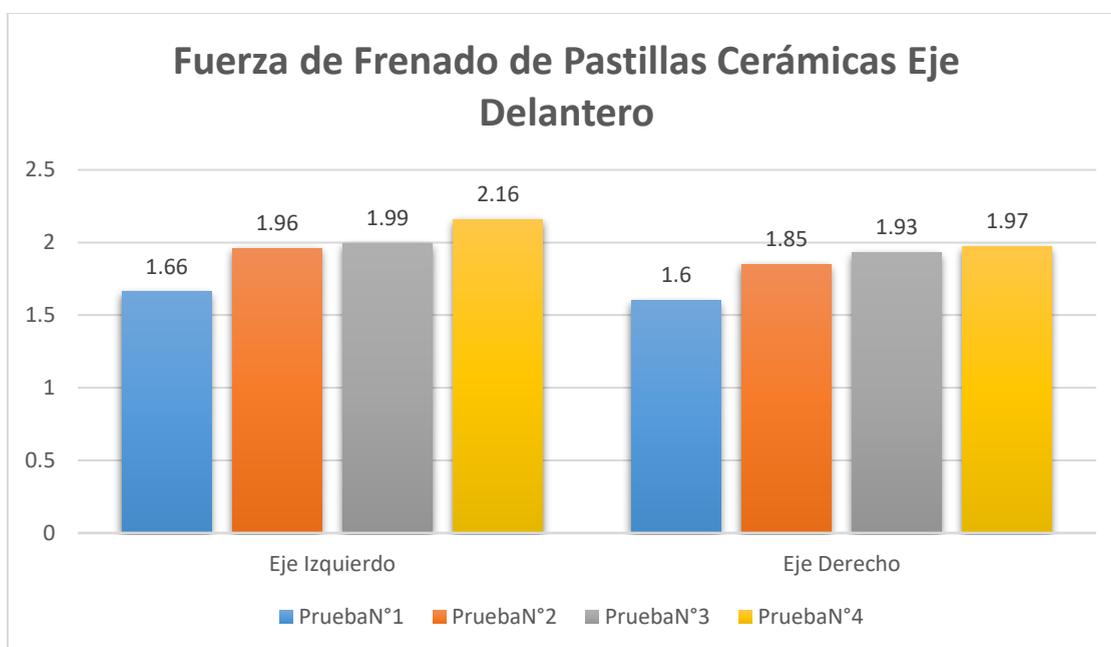


Figura 3.5 Fuerza de Frenado Pastilla Cerámica Eje Delantero

En la **Figura 3.5**, se observa que utilizando pastillas cerámicas la variación de valores de esfuerzo de detención no tiene significaciones tan prolongadas por lo que nos indica que el valor

del esfuerzo de detención va a ser semejante al material de carbón. Ejecutando la prueba en el frenómetro los neumáticos del eje delantero procedieron a detenerse al realizar presión sobre el pedal de freno, sin embargo, los neumáticos no fueron expulsados de los rodillos como lo mencionamos en la prueba de pastillas de carbón.

3.4.2 EFICIENCIA DE FRENADO EN PASTILLAS CERÁMICAS

Teniendo en cuenta la recopilación de las mediciones de los cuatro ejes del vehículo, fue posible proporcionar los valores que revelaron el desequilibrio entre los ejes y la eficiencia de frenado. Estos valores se obtuvieron utilizando pastillas de composición cerámica, lo que permitió identificar el comportamiento específico al momento de aplicar los frenos. Con las características proporcionadas y con los datos arrojados en el instrumento del frenómetro, es factible analizar con ecuaciones su rendimiento en base a la frenada del vehículo y así poder tener resultados relevantes en conformidad al material.

Tabla 3.6 Resultados de Eficacia de Detención del Material Cerámico

Vehículo: Peugeot 206					
Pastillas Cerámica					
N° de Pruebas	Datos de Frenado				
	Peso Vehicular Kg	Fuerza absoluta de Detención (N)	Inestabilidad de ejes (%)	Desviación entre ejes (%)	Eficiencia de frenado (%)
1	1075	5275	3.61	5	50.07
2	1075	5782	5.61	7	54.88
3	1075	6015	3.01	7	57.09
4	1075	6085	8.79	6	57.75

La primera prueba realizada nos refleja un valor de eficacia de detención de 50.07% el cual fue posible calcular mediante la formula señalada en el capítulo anterior y teniendo en consideración un esfuerzo de detención con valor de 5275 N. En donde se puede deducir que sería el valor más bajo en comparación de las otras pruebas que fueron realizadas en el frenómetro.

La segunda prueba indica valores de esfuerzo de detención del 5782 N y una eficiencia del 54.88% en donde se refleja un incremento del 4.87% respecto a la anterior prueba la cual es un avance significativo para las tomas de frenado, en donde se puede sentir la diferencia que existe a comparación de la primera prueba.

La tercera prueba muestra valores más elevados, conforme se realizan las pruebas se van dando valores de frenado más eficientes. En el caso de la tercera prueba se obtuvo un porcentaje de 57.09% y teniendo también en cuenta el esfuerzo de detención el cual fue un valor de 6015 N, dando como resultado valores aproximados, pero son de gran ayuda para la toma de muestras y sus comparaciones.

La cuarta prueba refleja una eficiencia del 57.75% siendo superior a los anteriores datos y un esfuerzo de detención de 6085N realizando la prueba en el mismo eje. Cabe señalar que esta última prueba fue la que mejor tipo de frenado pudo obtener reflejado en los datos ya antes mencionados. En donde al momento de detener el vehículo se siente la diferencia de la efectividad y la respuesta de frenado.

Es importante tomar en cuenta que cada valor que existe en el porcentaje de eficacia es relacionado directamente con el peso del vehículo, de tal manera que si existe otra carga el valor de la eficacia variara.

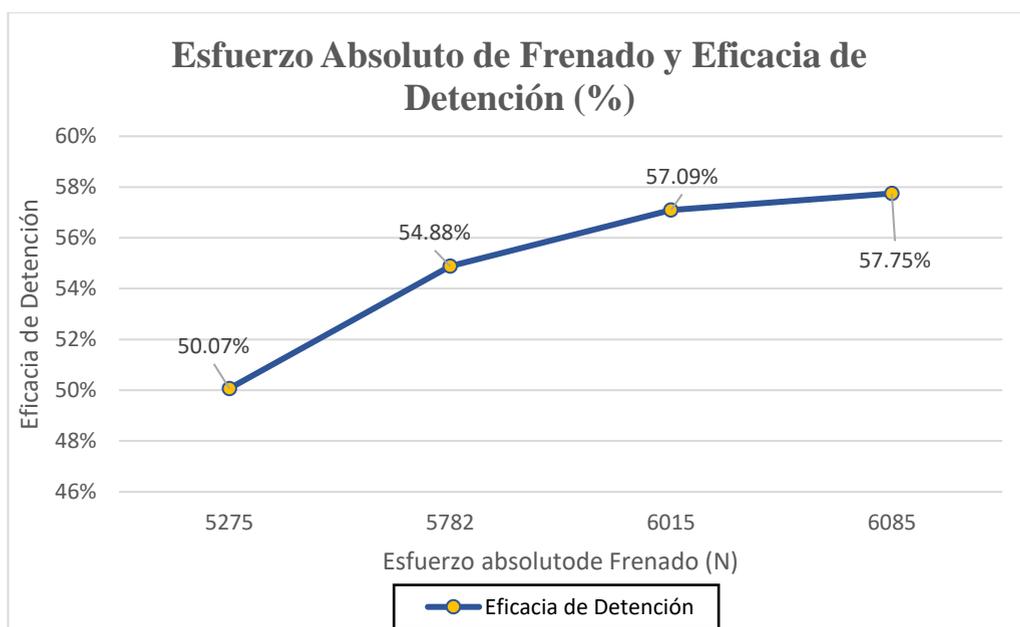


Figura 3.6 Eficacia de Detención de Material Cerámico

3.5 COMPARACIÓN DE EFICACIA DE DETENCIÓN ENTRE LOS DIFERENTES COMPONENTES

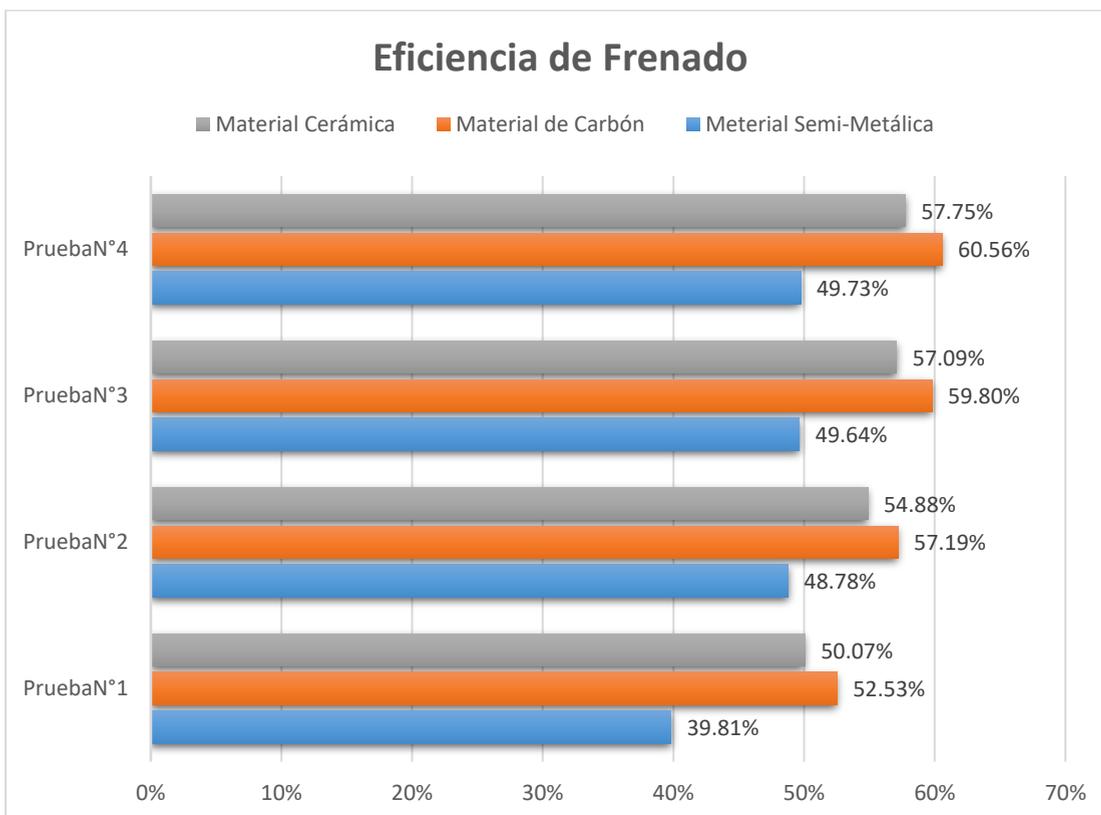


Figura 3.7 Comparación de eficacia de detención entre tres componentes

Como indica la **Figura 3.7**, la comparación entre pastillas de freno haciendo referencia a la eficiencia de frenado, se observa que la pastilla de material de carbón son las más adecuadas para utilizar en el vehículo Peugeot 206 y las que son recomendadas por el fabricante para este tipo de modelo. Las pastillas de carbón obtienen un valor superior de frenado del 60.56% y un valor inferior de 52.53% siendo las más eficientes para el uso del vehículo, seguido de las almohadillas cerámicas con un porcentaje límite de 57.75% y un valor inferior de 50.07%. Las pastillas de freno menos eficientes fueron de material semi-metálica viéndose reflejadas en las pruebas realizadas en el frenómetro y en la composición del material exterior, el cual tiene como su valor superior de la pastilla semi-metálica un porcentaje del 49.73% y tiene un valor inferior que refleja el 39.81%, una diferencia significativa si se pone a comparación de sus dos similares que son las almohadillas de carbón y las cerámicas.

3.5.1 COMPARACIÓN DE LA MEDIA ARITMÉTICA DEL ALMOHADILLAS DE FRENO

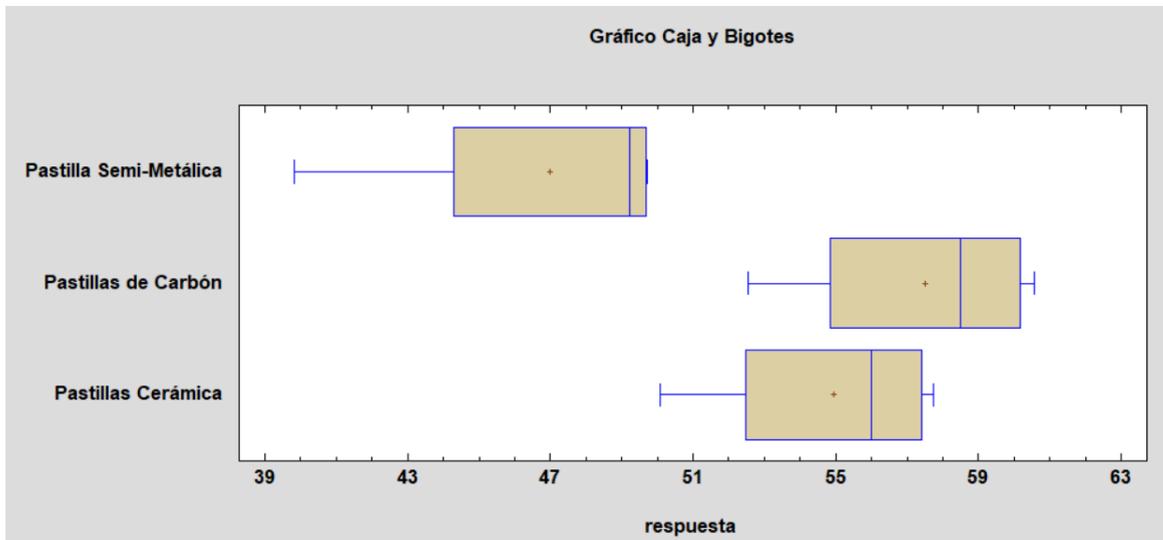


Figura 3.8 Diagrama de caja de Tukey de comparación de media aritmética

De acuerdo con la **Figura 3.8**, se muestra 3 diagramas de caja y bigotes, cada una distribuida para cada fila de datos. En donde la parte de su rectángulo representada desde su cuartil inferior hasta el otro extremo que llegaría a ser el cuartil superior. El signo más representa su media aritmética o también llamado promedio en donde se aprecia que la pastilla de carbón tiene el valor más alto con respecto a sus dos similares con un porcentaje de 57.52%. La pastilla de cerámica presenta un valor de promedio 54.94%, y el promedio más bajo entre las tres pastillas de freno son las de material semi-metálico en donde se muestra un valor de 46.99% muy alejado a sus similares con una diferencia de 10.53% con respecto a la pastilla de carbón.

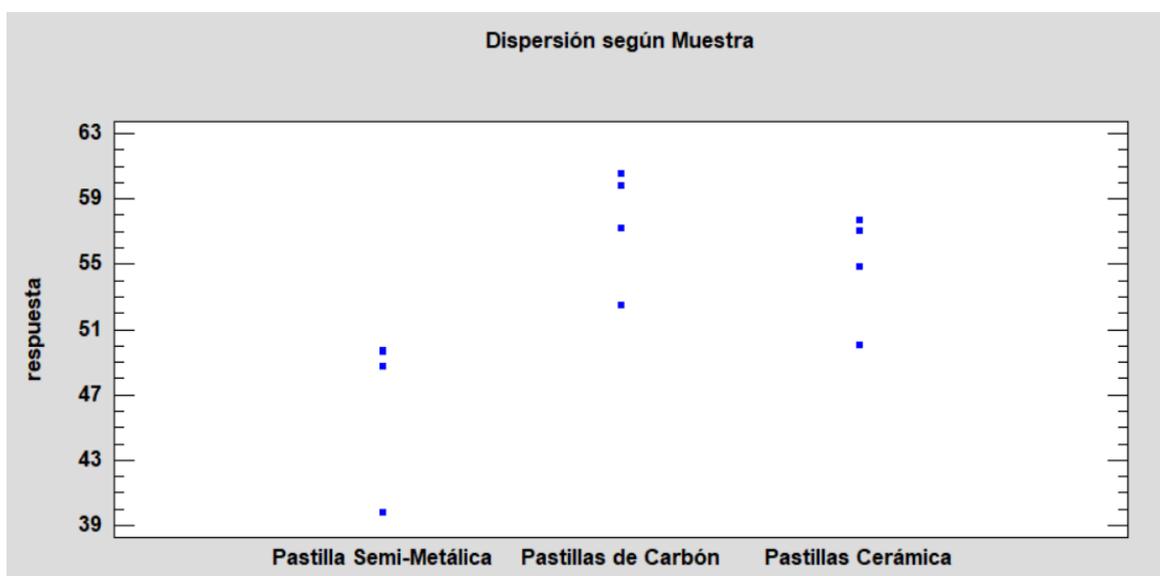


Figura 3.9 Gráfico de Dispersión sobre Eficiencia de Frenado

En la **Figura 3.9**, se indican tres resultados de las pruebas realizadas en las almohadillas de freno en donde en cada ocasión nos indica que no existe una dispersión alguna entre las eficacias de frenado. Esto se puede apreciar por el motivo de que los puntos están alineados entre si de una forma vertical y ninguna de las tres almohadillas refleja puntos distorcionados.

Tabla 3.7 Eficiencia de Pastillas de Detención ANOVA

Origen	Adición de Cuadrado	gi	Centro del cuadrado	Razón de F	P-Value
Por medio grupos	241,094	2	120,547	7,48	0,01222
Dentro-grupos	144,974	9	16,1083		
Global	386,068	11			

Reflejado en la **Tabla 3.7**, el desacoplamiento de la diferencia de los valores mediante la resolución ANOVA ocurrió en dos partes durante el análisis los cuales se dividieron entre un componente por medio de grupos y otro denominado dentro-grupos. El resultado indicado del presupuesto por medio de grupos y el estimado dentro-grupo, conocido como razón de - F, fue igual a 7.48354 en esta instancia. La prueba-F reveló un P-Value el cual es de 0.0122 inferior a 0.05, señalando que se halla una desemejanza estadística, la cual es relevante entre las medias de tres variantes con un rango de relevancia del 5%.

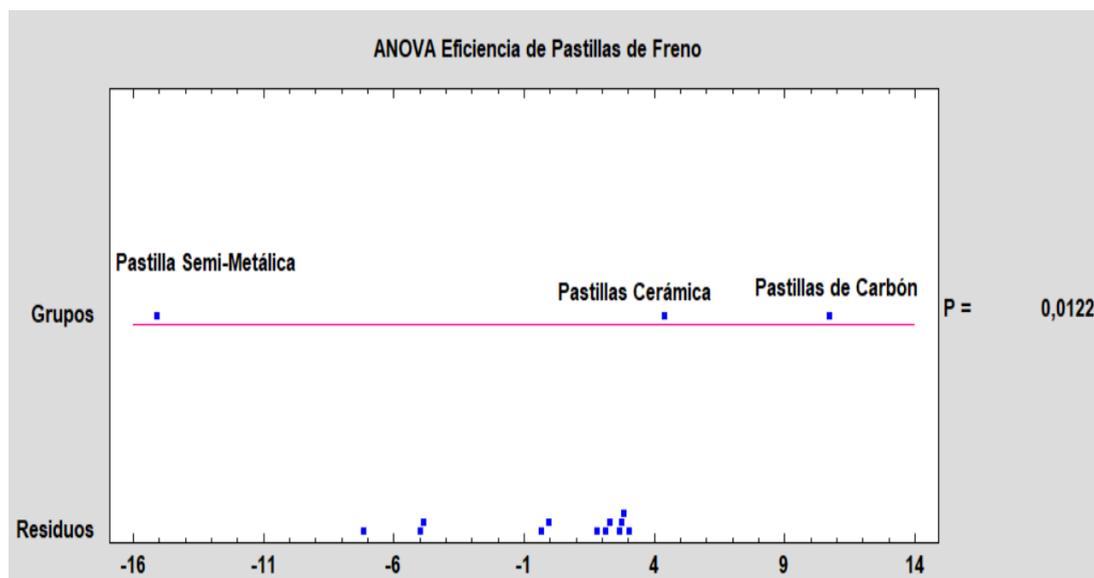


Figura 3.10 Eficiencia de Pastilla de Freno ANOVA

3.6 MEDICIÓN DE DUREZA EN MATERIALES DE ALMOHADILLAS DE DETENCIÓN

La medición de dureza en las almohadillas de freno se llevó a cabo con el fin de poder conocer la resistencia que abarca cada pastilla de freno respecto a su material. Por lo cual se realizó una medición de 30 datos en cada pastilla de frenos dependiendo su material con una distancia mínima entre puntos. Esta prueba de medición fue efectuada con el instrumento llamado durómetro de marca DMQ con serial QH5 el cual está diseñado para mediar la dureza de las superficies de diferentes tipos de materiales.

Este tipo de prueba se realizó con una escala Brinell en donde se define el valor de dureza mediante la relación de rebote y la velocidad de impacto sobre la superficie del material. Posteriormente se utilizó el software STATGRAPHICS con la finalidad de recopilar los valores alcanzados de las cantidades de los 3 tipos de material de las almohadillas de freno y ejecutar una prueba de hipótesis con el fin de concluir un grado de confiabilidad.

3.6.1 MEDICIÓN DE DUREZA EN PASTILLAS SEMI-METÁLICAS

Después de recopilar los treinta valores asociados a las pastillas semi-metálicas, se realizó una determinación empleando el software STATGRAPHICS. Este programa ofrece información estadística y gráficos para examinar la dureza del material sometido a prueba, incluyendo la realización de hipótesis estadísticas y la decisión entre la medida real y la obtenido en las investigaciones.

Tabla 3.8 Resultado de Dureza en Pastillas Semi-Metálicas

Número de Pruebas de Dureza Realizada	Medición de Dureza en Escala Brinell (HB)
N°1	230
N°2	276
N°3	263
N°4	261

Tabla 3.8 Resultado de Dureza en Pastillas Semi-Metálicas (**Continuación...**)

N°5	225
N°6	189
N°7	217
N°8	293
N°9	287
N°10	252
N°11	205
N°12	248
N°13	285
N°14	196
N°15	237
N°16	211
N°17	206
N°18	222
N°19	268
N°20	203
N°21	247
N°22	264
N°23	224
N°24	253
N°25	279
N°26	246
N°27	243
N°28	265
N°29	278
N°30	220

Con referencia a la **Tabla 3.8** se realizó el método que se propuso en el software STATGRAPHICS para tener en un solo conjunto de todos los datos de dureza evaluados en las pastillas semi-metálicas así también teniendo reflejado datos estadísticos. Los 30 valores que se encuentran en la tabla fueron medidos mediante la acción de rebote y velocidad obteniendo como resultado valores en escala Brinell.

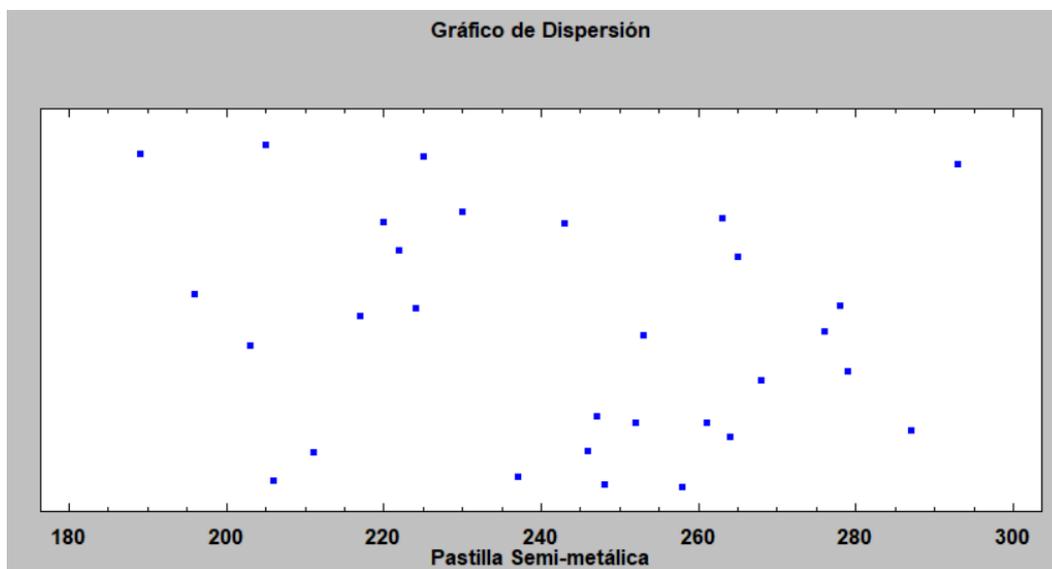


Figura 3.11 Gráfico de dispersión de la dureza del material semi-metálico

Refiriendo la **Figura 3.11**, donde aprecian los treinta valores tomados en dichas pruebas. Por lo cual se observa una dispersión de datos que no llevan correlación alguna y llevan una separación aleatoria.

Tabla 3.9 Resumen Estadístico para Pastillas Semi-Metálicas

Registro	30
Promedio	242,2
Mediana	246,5
Volatilidad y Riesgo	28,6806
Factor de Varianza	11,8417%
Valor Inferior	189
Valor Superior	293
Alcance	104
Orientación Estándar	-0,245413
Medida de Apuntamiento	-1,11346

Con referencia en la **Tabla 3.9**, se indica los datos estadísticos de las pastillas Semi-Metálicas. Este análisis se comprende mediciones de centrales, versatilidad y de formación. Se presta especial atención a la asimetría y la medida de apuntamientos, los cuales son útiles para examinar si un ejemplar tiene una correcta distribución. Si los números de estos rangos caen fuera del rango de menos dos hasta más dos, reflejan desviaciones significativas de la normal que podrían invalidar cualquier prueba estadística basada en la volatilidad y riesgo. Es importante señalar que el valor de la asimetría estandarizada, así como el valor de la medida de apuntamiento, están localizadas adentro de la condición adecuada para cifras de una asignación normalizada.

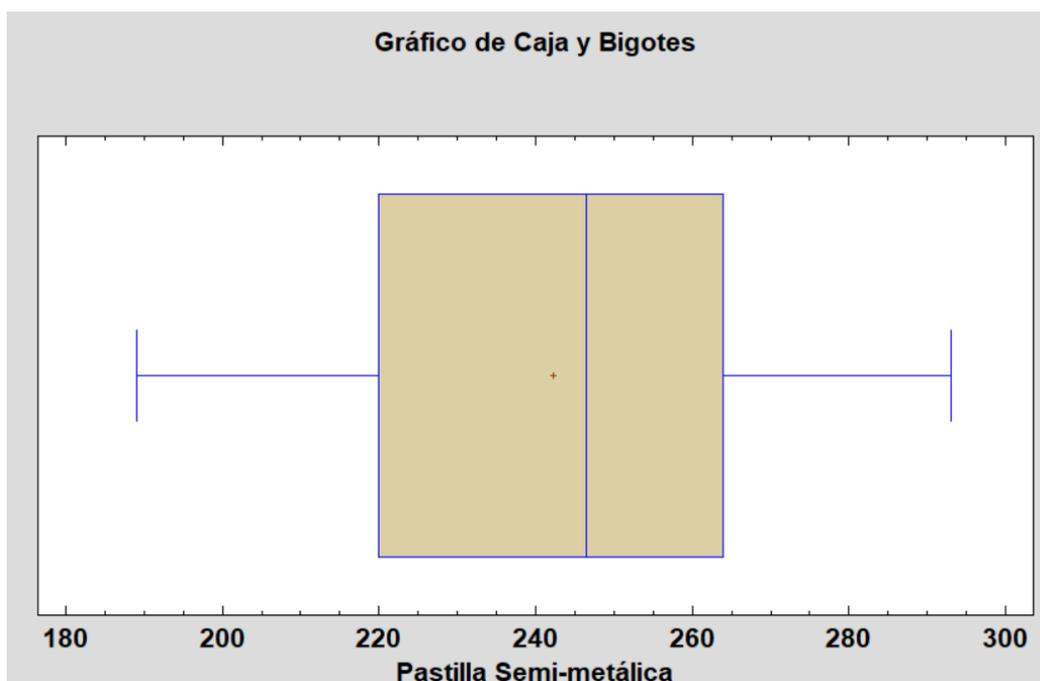


Figura 3.12 Esquema de Caja de Tukey de pastillas semi-metálicas

Dada la **Figura 3.12**, se analiza el esquema de la caja de Tukey donde su característica esencial es reflejar varios datos estadísticos de una muestra. En la superficie rectangular se muestra en el extremo izquierdo el cuartil inferior y a su otro extremo derecho el cuartil superior. Su línea central representa la mediana de los valores obtenidos en el cual refleja un valor de 246,5. Se toma en cuenta la representación más que indica la ubicación de la media muestral. Las líneas separadas del rectángulo reflejan los bigotes de la figura los cuales representan la dispersión de los datos más allá de los cuartiles y se extienden desde el valor inferior el cual tiene un valor de 189,0 hasta el valor superior que refleja 293,0.

Tabla 3.10 Reiteración para Pastillas Semi-Metálicas

N°	Término Inferior	Término Superior	Medio Punto	Reiteración	Reiteración Relativa	Reiteración Acumulada	Reiteración Rel. Acumulada
	Valor Inferior o igual	180		0	0,0000	0	0,0000
1	180	188	184,0	0	0,0000	0	0,0000
2	188	196	192,0	2	0,0667	2	0,0667
3	196	204	200,0	1	0,0333	3	0,1000
4	204	212	208,0	3	0,1000	6	0,2000
5	212	220	216,0	2	0,0667	8	0,2667
6	220	228	224,0	3	0,1000	11	0,3667
7	228	236	232,0	1	0,0333	12	0,4000
8	236	244	240,0	2	0,0667	14	0,4667
9	244	252	248,0	4	0,1333	18	0,6000
10	252	260	256,0	2	0,0667	20	0,6667
11	260	268	264,0	5	0,1667	25	0,8333
12	268	276	272,0	1	0,0333	26	0,8667
13	276	284	280,0	2	0,0667	28	0,9333
14	284	292	28,0	1	0,0333	29	0,9667
15	292	300	296,0	1	0,0333	30	1,0000
	superior	300		0	0,0000	30	0,0000

Reflejado en la **Tabla 3.10**, indica la realización para tabular la reiteración al dividir la categoría de pastillas semi-metálicas en lapsos de semejante amplitud, y al contar la proporción de valores en todos sus intervalos. Las reiteraciones indican el número de valores en cada uno de sus lapsos, entre tanto que las reiteraciones relativas que expresan las conformidades correspondientes a cada intervalo. La tabla revela un valor de 451,267 de media y con una volatilidad y riesgo de 29.3468.

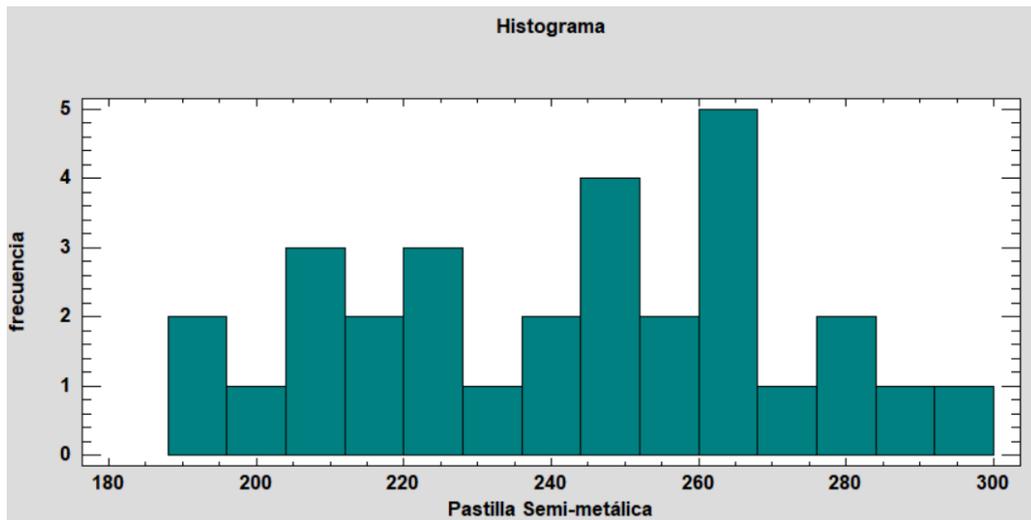


Figura 3.13 Histograma del material Semi-Metálico

En la **Figura 3.13**, se aprecia 15 intervalos los cuales cubren desde el límite inferior de que en este caso es de 180,0 hasta el límite superior de 300,0. Se lleva a cabo la tabulación de la numeración de valores que se reflejan cada intervalo. El histograma extiende la cifra de valores en cada intermedio.

Tabla 3.11 Percentil en las Pastilla de Freno Semi-Metálicas

Porcentaje	Percentil
1%	189,0
5%	196,0
10%	204,0
25%	220,0
50%	246,5
75%	264,0
90%	278,5
95%	287,0
99%	293,0

En la **Tabla 3.11** se refleja el percentil que son números por abajo de los cuales se ubican en un porcentaje determinado de valores. Teniendo en cuenta desde porcentajes que van reflejados desde el 1 por ciento hasta el 99 por ciento.

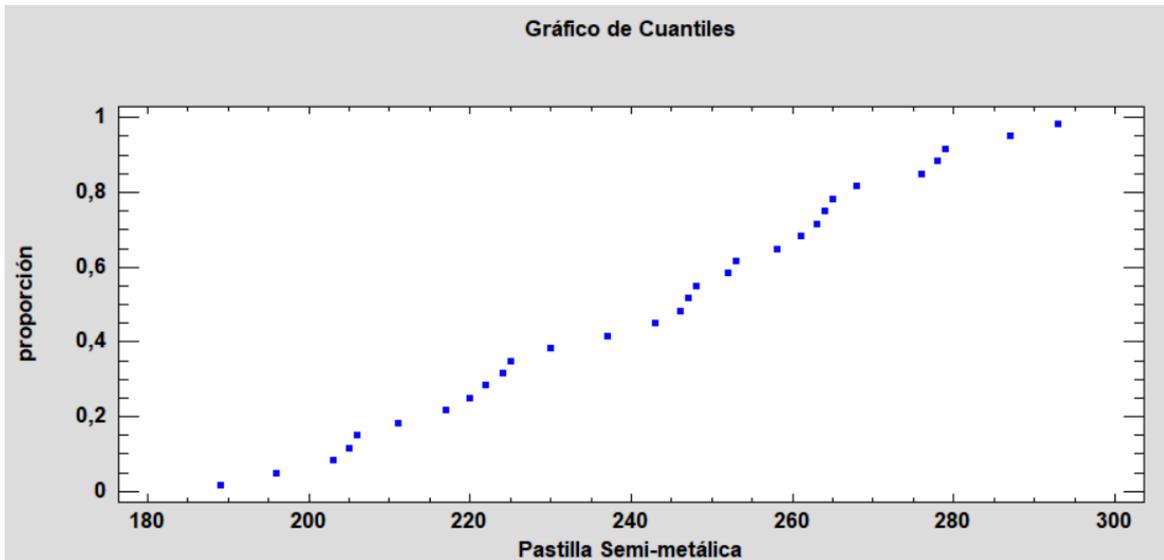


Figura 3.14 Gráfico de Cuantil para Pastilla Semi-Metálica

La **Figura 3.14** presenta los percentiles de la muestra correspondientes a la Pastilla Semi-metálica. Estos percentiles reflejan la dimensión del análisis que son similares o inferiores a un dato específico. Las cuales no muestran ninguna deficiencia de desviación por lo que los puntos de proporción de la pastilla semi-metálica lleva un orden adecuado.

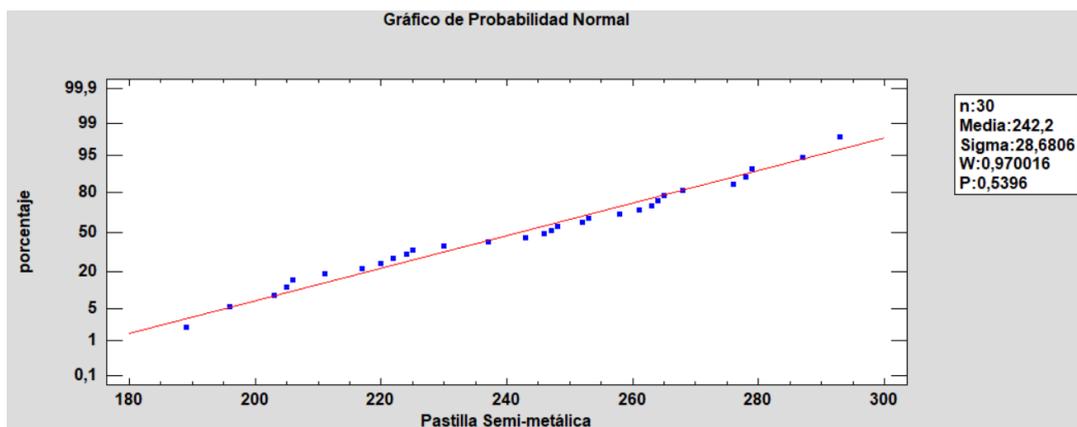


Figura 3.15 Gráfico de Probabilidad Normal para Pastilla Semi-Metálica

Con base en la **Figura 3.15** la probabilidad normal para la Pastilla Semi-Metálica, se obtuvo que los valores fueron ordenados de manera ascendente y que representaron en función de la cantidad $(n+0.25)$ y $(i-0.375)$, la cual (n) llega siendo la muestra. En caso de que las cantidades

proviengan de una repartición ordinaria, se espera que los trazos sigan próxima una línea. Para facilitar la evaluación de la proximidad a una línea recta, se superpuesto en la gráfica una línea de referencia que determinada los medios y la volatilidad y riesgo de los residuos. La presencia de una curvatura significativa en los puntos podría indicar un sesgo en los datos.

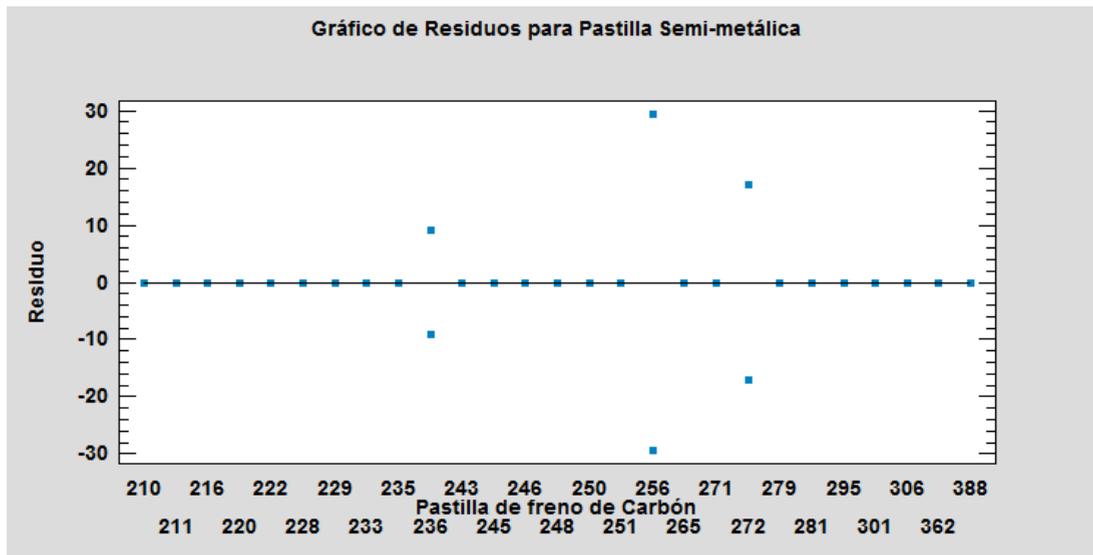


Figura 3.16 Ilustración de residuo para almohadilla semi-metálica

Con referencia a la **Figura 3.16**, se observa el residuo de las variables el cual se basa en el valor real menos el valor esperado de los treinta datos que se obtuvieron midiendo la dureza de las almohadillas semi-metálicas. En donde la relación entre las variables es aproximada a las mismas e indica que la recta está acorde a los datos mostrados. En la gráfica se muestra seis valores que estarían dentro de los residuos de la recta de datos.

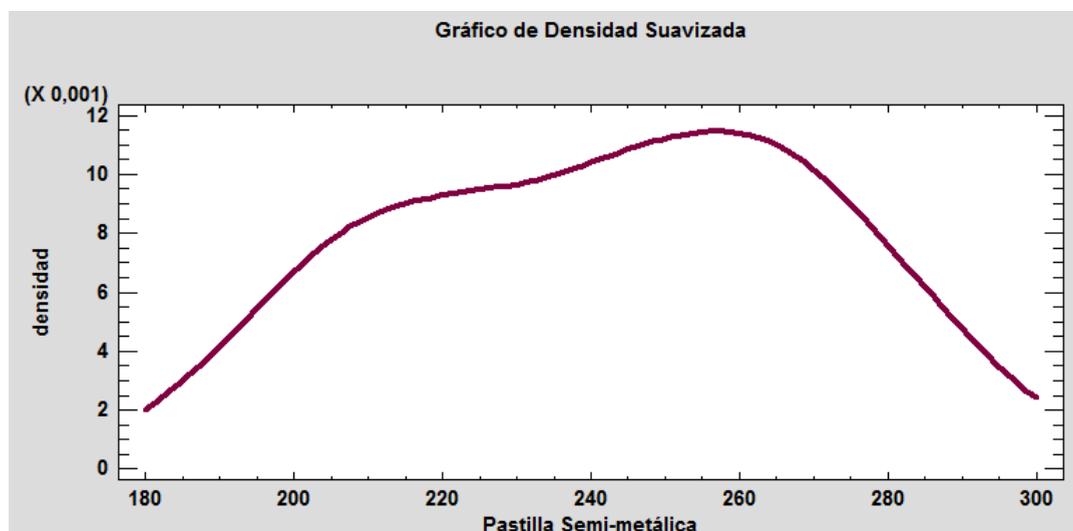


Figura 3.17 Ilustración de consistencia de Kernel

En la **Figura 3.17**, se refleja la ilustración de consistencia de Kernel en donde se observa el total del área al 100 por ciento de todos los datos obtenidos y de los cuales pueden tomar valores de forma continua. La línea es trazada dependiendo el conteo del número de los datos adentro de los intervalos de cada anchura fija, dependiendo del largo entre 180 y 300 que están ubicados en el eje “X”, y así se puede trazar la consistencia suavizada de la función.

Tabla 3.12 Ilustración tallos y hojas de almohadilla semi-metálica

1	18|9
2	19|6
5	20|356
7	21|17
11	22|0245
13	23|07
(4)	24|3678
13	25|238
10	26|13458
5	27|689
2	28|7
1	29|3

Mediante la **Tabla 3.12** se observa la ilustración la cual nos indica la determinación de tallos y hojas los cuales se separaron en doce intervalos y nos permite obtener de manera simultánea una distribución de frecuencias. En la parte del extremo izquierdo se encuentra lo que se denomina “tallos”, la cual contiene un dígito y es el encargado de indicar a los intervalos que se encuentren semejantes al valor. En cada posición numérica se ubican los dígitos individuales llamados “hojas” los cuales se encuentran en el extremo derecho y pueden uno o más dígitos dependiendo en el rango que se encuentren. En este caso de ilustración no se refleja valores alejados.

3.6.1.1 Estudio de hipótesis de material Semi-Metálica

Media Muestral = 242,2

Mediana Muestral = 246,5

Volatilidad y Riesgo de la Muestra = 28,6806

Evaluación t de pares dependientes

Hipótesis Ho (Anulado): media = 242,0

Alternativo: distinto

Valores Estadísticos $t = 0,0381946$

P-Value = 0,969794

No se rechaza la Hipótesis Ho (Anulado) para $\alpha = 0,05$.

Evaluación de los símbolos

Hipótesis Ho (Anulado): mediana = 242,0

Alternativo: distinto

Cifra de datos inferiores a la mediana hipotética: 13

Cifra de datos superiores a la mediana hipotética: 17

Valores Estadísticos para superiores prototipos = 0,547723

P-Value = 0,583879

No se rechaza la Hipótesis Ho (Anulado) para $\alpha = 0,05$.

Evaluación de rango con símbolo

Hipótesis Ho (Anulado): mediana = 242,0

Alternativo: distinto

Categoría medio de números inferiores a la mediana hipotética: 17,6923

Categoría medio de números superiores a la mediana hipotética: 13,8235

Valores Estadísticos para considerables prototipos = 0,041141

P-Value = 0,967178

No se rehúsa la Hipótesis Ho (Anulado) para $\alpha = 0,05$.

Evaluación Ji-Cuadrada

Hipótesis Ho (Anulado): SIGMA = 1,0

Alternativo: distinto

Número contado de Ji-Cuadrada = 23854,8

P-Value = 0

Se rehúsa la Hipótesis Ho (Anulado) para $\alpha = 0,05$.

Evaluación t de pares dependientes: No se rehúsa la Hipótesis Ho (Anulado) por la media del material Semi-metálica es diferente a 242,0 con un 95,0% de confianza, ya que el P-Value es mayor o igual a 0,05.

Evaluación de los símbolos: Donde la hipótesis Ho (Anulado) en donde la mediana de pastilla semi-metálica es igual a 242,0 y la hipótesis alterna es diferente a 242,0. Se rehúsa con un 95,0% de confianza, al mostrar un P-value es mayor o igual a 0,05.

Evaluación de rango con símbolo: La evaluación no rechaza la hipótesis Ho (Anulado) de que la mediana del material semi-metálica es igual a 242,0 con un 95,0% de confianza, al presentar un P-Value es mayor o igual a 0,05. Se destaca que esta prueba es la menos sensible a los datos atípicos, pero tiene menos potencia que la evaluación "t" de pares dependientes si los datos siguen una repartición usual.

Evaluación de ji-cuadrada: Se rehúsa la Hipótesis Ho (Anulado) en donde es igual a uno y de que la volatilidad y riesgo de pastilla semi-metálica es similar a uno con un 95,0% de confianza, ya que el P-Value es menor a 0,05.

En conjunto, todas las pruebas que se indican tienen una existencia de diferencias significativas en los parámetros evaluados lo que serían los treinta valores tomados en las pruebas de almohadillas semi-metálicas y existe una diferencia en comparación con la hipótesis Ho (Anulado) que ha sido establecida.

3.6.2 MEDICIÓN DE DUREZA EN PASTILLAS DE CARBÓN

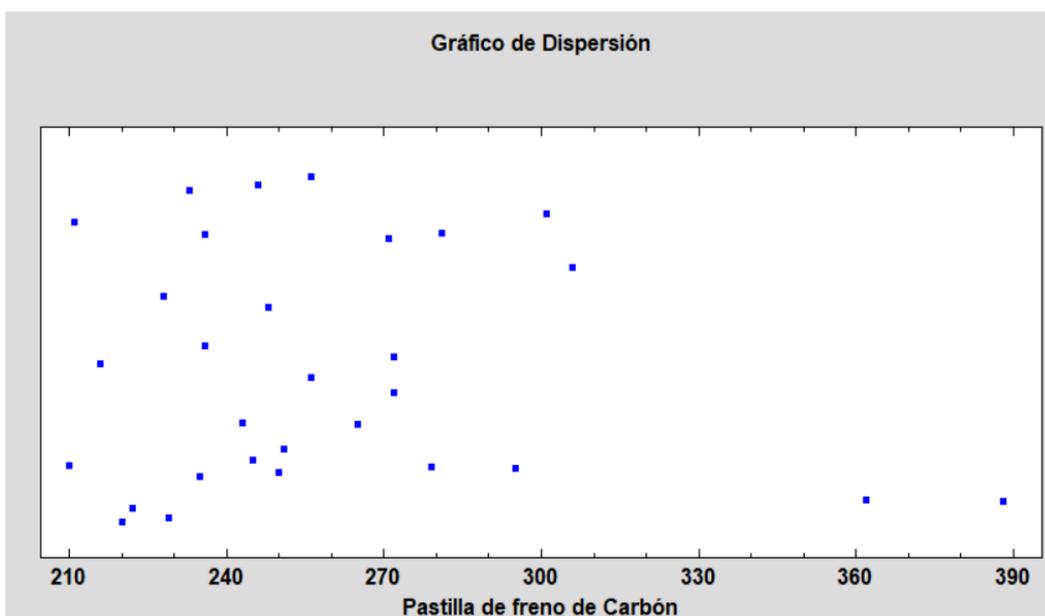
Tabla 3.13 Resultado Dureza de Pastillas de Carbón

Número de Pruebas de Dureza Realizada	Medición de Dureza en Escala Brinell (HB)
N°1	272
N°2	362
N°3	301
N°4	388
N°5	271
N°6	256
N°7	229
N°8	245
N°9	248
N°10	228
N°11	306
N°12	256
N°13	265
N°14	272
N°15	281
N°16	235
N°17	250
N°18	279
N°19	295
N°20	243
N°21	210
N°22	236
N°23	233
N°24	216
N°25	211

Tabla 3.13 Resultado Dureza de Pastillas de Carbón (**Continuación...**)

N°26	236
N°27	251
N°28	222
N°29	246
N°30	220

En relación con la **Tabla 3.13**, se implementó el procedimiento diseñado en el software STATGRAPHICS con el objetivo de consolidar todos los datos de dureza evaluados en las pastillas de carbón en un único conjunto. Este proceso también permitió la presentación de datos estadísticos relacionados con las mediciones de dureza de las mencionadas pastillas y la presentación de gráficos que ayudo a la interpretación de los datos. La escala con la que se obtuvo la medida fue de Brinell que es la más apropiada para este tipo de material.

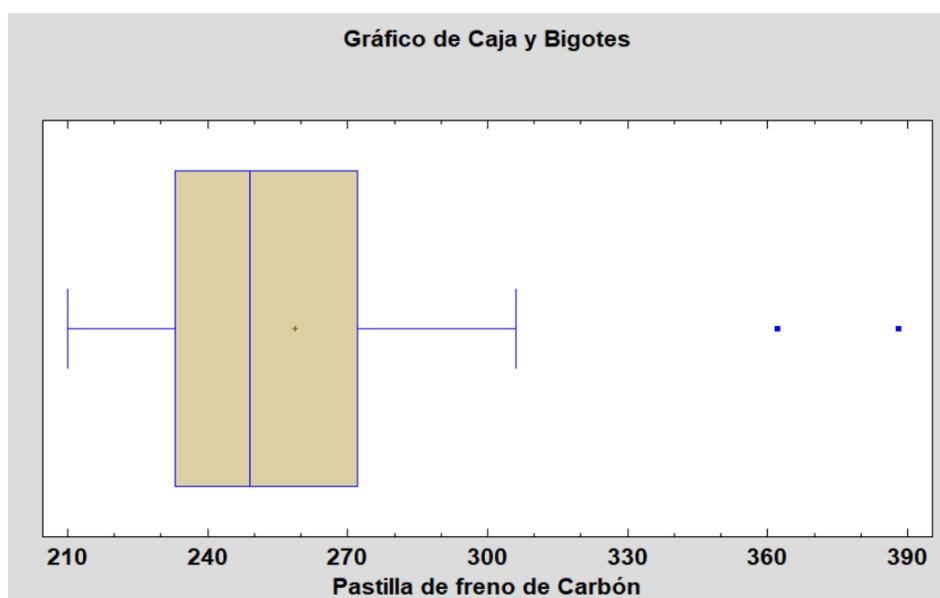
**Figura 3.18** Ilustración de difusión de la dureza del material de carbón

Con referencia en la **Figura 3.18**, se presenta el estudio de los valores los cuales se encuentra sin correlación entre sí. Se aprecia una distancia mínima entre puntos sin embargo se observa los puntos 24 con valor de 458,0 y el punto 19 con valor de 563,0 que son valores atípicos los cuales se alejan de la línea de valor inferior cuadrados.

Tabla 3.14 Datos Estadístico para Pastillas de freno de Carbón

Registro	30
Promedio	258,767
Mediana	249
Volatilidad y Riesgo	40,8696
Factor de Varianza	15,794%
Valor Inferior	210
Valor Superior	388
Rango	178
Orientación Estándar	3,60751
Medida de Apuntamiento	3,48143

Mediante la **Tabla 3.14** se presenta los valores estadísticos de resumen que corresponden a las Pastillas de Carbón. Incluyó mediciones de preferencia central, variación y formación. De especial inclinación fueron el sesgo y la curtosis estandarizada, utilizados con el fin de evaluar si el ejemplar seguía una repartición adecuada. Estimaciones de datos descriptivos fuera del intervalo entre menos dos a más dos señalaban desvíos significantes de la normalidad, con la razón que podría inutilizar pruebas estadísticas basadas en la volatilidad y riesgo. En el contexto, el dato de la orientación estándar se mantiene adentro del rango aguardado para valores de una repartición acorde, de igual manera que el valor de la medida de apuntamiento, reforzando la indicación de que los datos podrían seguir una repartición adecuada.

**Figura 3.19** Diagrama de Caja de Tukey de pastillas de carbón

En la **Figura 3.19**, en el rectángulo de la ilustración se refleja desde el extremo izquierdo el primer cuartil hasta el extremo derecho el tercer cuartil. La línea del centro representa la mediana de los valores obtenidos lo cual refleja un valor de 249,0, tomando en cuenta que el símbolo más representa la colocación de la media muestral. Las líneas separadas del rectángulo representan los bigotes los cuales están comprendidos entre la dispersión de los datos más allá de los cuartiles y se extienden desde el valor inferior el cual es de 210,0 hasta el valor superior que refleja 388,0. En el presente gráfico se muestra dos valores atípicos el cual se debe a que está alejado a más del 1,5 del rango entre cuartil inferior con el cuartil superior obteniendo los valores de 362,0 y 388,0.

Tabla 3.15 Reiteración para Pastillas de Carbón

Clase	Límite Inferior	Límite Superior	Punto Medio	Reiteración	Reiteración Relativa	Reiteración Acumulada	Reiteración Rel. Acumulada
	menor o igual	200		0	0,0000	0	0,0000
1	200	213,333	206,667	2	0,0667	2	0,0667
2	213,333	226,667	220,0	3	0,1000	5	0,1667
3	226,667	240,0	233,333	6	0,2000	11	0,3667
4	240	253,333	246,667	6	0,2000	17	0,5667
5	253,333	266,667	260,0	3	0,1000	20	0,6667
6	266,667	280,0	273,333	4	0,1333	24	0,8000
7	280	293,333	286,667	1	0,0333	25	0,8333
8	293,333	306,667	300,0	3	0,1000	28	0,9333
9	306,667	320,0	313,333	0	0,0000	28	0,9333
10	320	333,333	326,667	0	0,0000	28	0,9333
11	333,333	346,667	340,0	0	0,0000	28	0,9333
12	346,667	360,0	353,333	0	0,0000	28	0,9333
13	360	373,333	366,667	1	0,0333	29	0,9667
14	373,333	386,667	380,0	0	0,0000	29	0,9667
15	386,667	400,0	393,333	1	0,0333	30	1,0000
	mayor de	400		0	0,0000	30	1,0000

Media = 258,767 **Volatilidad y Riesgo** = 40,8696

Reflejado la **Tabla 3.15**, StatAdvisor realiza la opción de ejecutar una función de tabular con reiteración separando la índole de pastillas de carbón en intermedios de similar, y detallando el número de datos en cada uno de los intervalos. Las reiteraciones muestran la cifra de valores en su intervalo, durante las reiteraciones relativas indican los suministros en cada uno de sus intervalos. Su valor de media es de 258,767 y de su volatilidad y riesgo refleja un 40,8696.

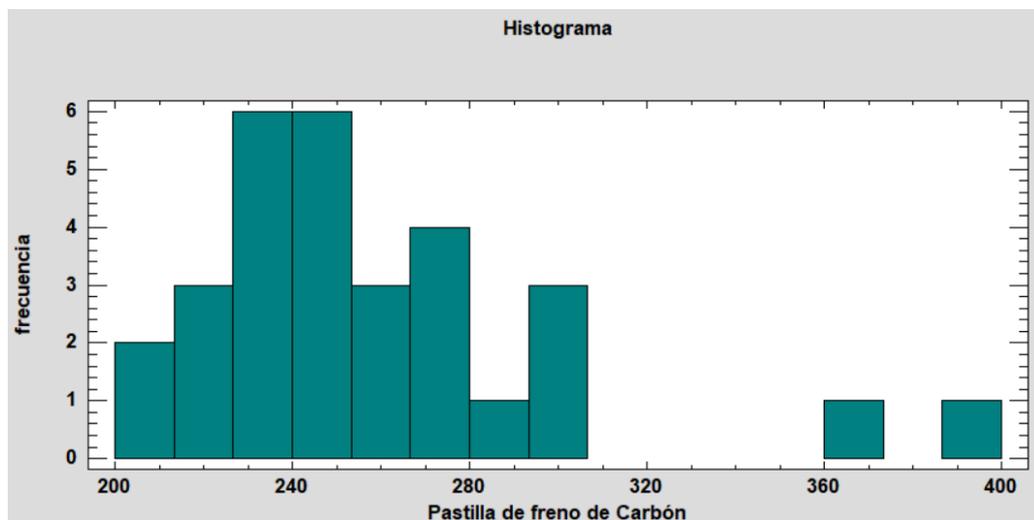


Figura 3.20 Histograma del material de carbón

La **Figura 3.20**, Esta representación visual muestra la distribución de repeticiones para la pastilla de freno de carbón mediante un histograma. Se han establecido 15 intervalos, comprendido entre el término mínimo de 200 hasta el término máximo de 400. Se puede registrar la cantidad de datos que se encuentran en cada transcurso, presentando así la frecuencia de datos en la gráfica.

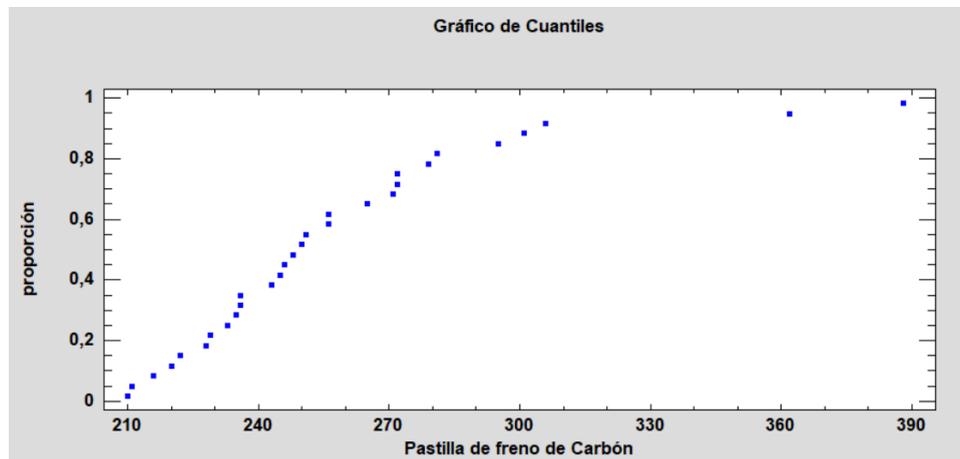
Tabla 3.16 Percentiles en las Pastilla de Freno Carbón

Porcentaje	Percentil
1%	210,0
5%	211,0
10%	218,0
25%	233,0
50%	249,5
75%	272,0
90%	303,5

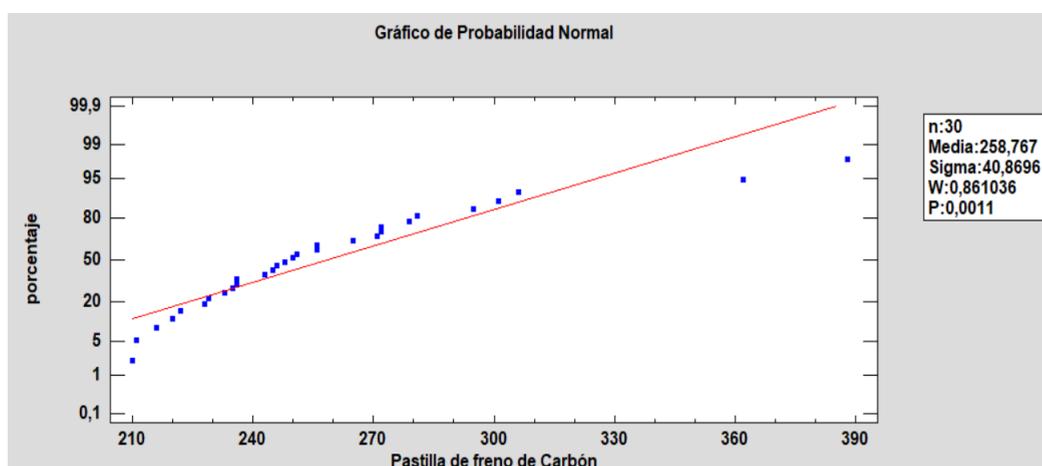
Tabla 3.16 Percentiles en las Pastilla de Freno Carbón (Continuación...)

95%	362,0
99%	388,0

En la **Tabla 3.16** se refleja los percentiles que son datos que se encuentra debajo de un porcentaje específico de los treinta datos de dureza.

**Figura 3.21** Gráfico de Cuantiles para Pastillas de Carbón

Esta **Figura 3.21** muestra los cuantiles los proporcionan las indicaciones similares o inferiores a un número dado. Como se indica en la gráfica los 30 valores tomados tienen una simetría idónea.

**Figura 3.22** Gráfico de Probabilidad Normal para Pastillas de Carbón.

En la siguiente **Figura 3.22** se examina la posibilidad adecuada mediante la organización, de menor a mayor, de los 30 datos de dureza. El propósito de este análisis era examinar si los

números siguieran una repartición adecuada. En este contexto, se comprobará que todos los puntos se aproximan a lo largo de la línea marcada, indicando una tendencia que sugiere una distribución normal. La media, establecida en 258.767, desempeña un papel crucial, ya que desde este punto se establece la línea de referencia en el gráfico.

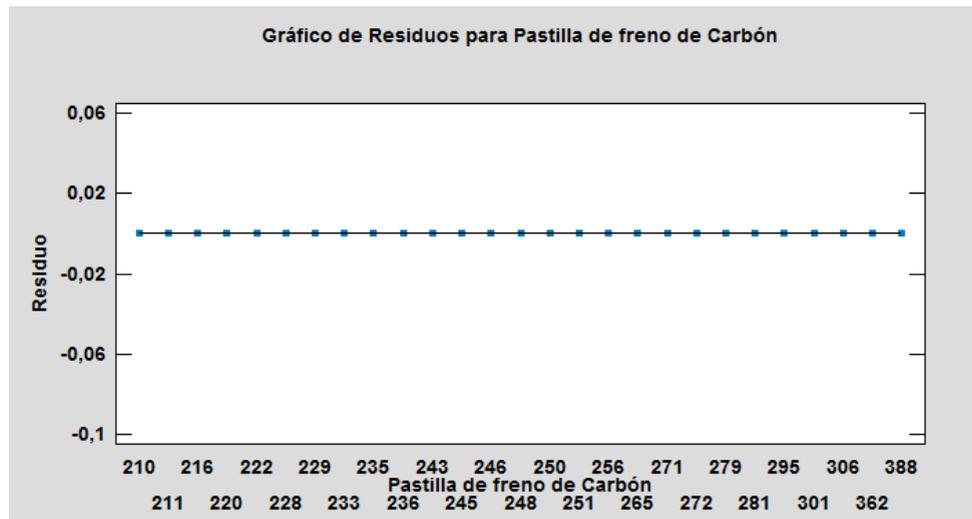


Figura 3.23 Ilustración de resistencia de almohadilla de carbón

Para la **Figura 3.23**, se representa el residuo de las variables el cual se basa en el valor real menos el valor esperado de los treinta datos que se obtuvieron midiendo la dureza de las almohadillas de carbón. En donde la relación entre las variables es aproximada a las mismas e indica que la recta está acorde a los datos mostrados. En este caso, los residuos de la almohadilla de carbón son todos iguales a cero por el motivo de que los factores totalizan la variación en los datos.

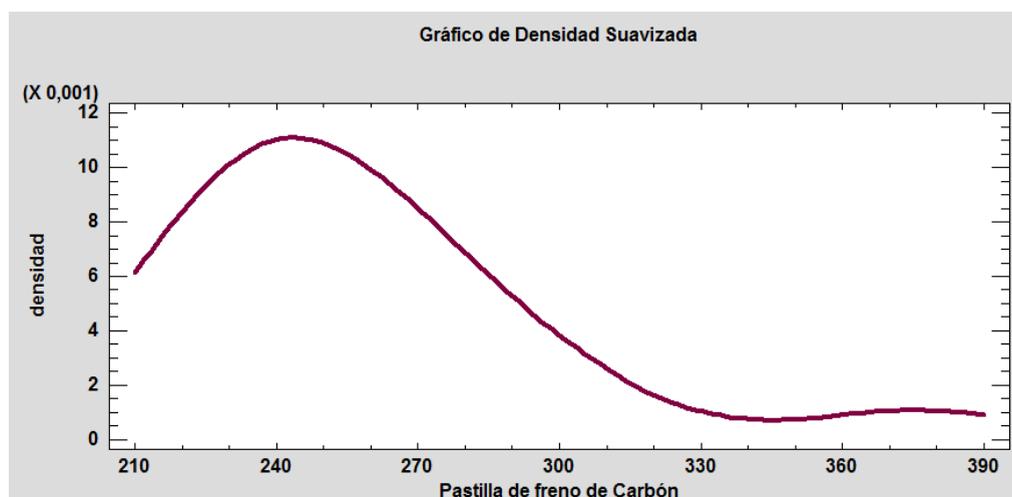


Figura 3.24 Ilustración consistencia de Kernel

En la **Figura 3.24**, se refleja la ilustración de consistencia de Kernel en donde este indica el total del área al 100 por ciento partiendo del histograma de todos los datos obtenidos y de los cuales pueden tomar valores de forma continua. La línea es trazada dependiendo el conteo del número de los datos adentro de los intervalos de cada anchura fija, dependiendo del largo entre 210 y 390 que están ubicados en el eje “X”, y así se puede trazar la consistencia suavizada de la función.

Tabla 3.17 Ilustración Tallos y hojas para almohadilla de Carbón

3	2|111
11	2|22223333
(8)	2|44445555
11	2|67777
6	2|89
4	3|00
ALTO |362 - 388	

En la **Tabla 3.17** se observa la ilustración la cual nos indica la determinación de Tallos y hojas los cuales se separaron en seis intervalos y nos permite obtener de manera simultánea una distribución de frecuencias. En la parte del extremo izquierdo se encuentra lo que se denomina “tallos”, la cual contiene un dígito y es el encargado de indicar a los intervalos que se encuentren semejantes al valor. En cada posición numérica se ubican los dígitos individuales llamados “hojas” los cuales se encuentran en el extremo derecho y pueden uno o más dígitos dependiendo en el rango que se encuentren. En este caso los puntos alejados se los ubica en el tallo por lo que en este caso existen dos puntos altos de valores 362 y 388 respectivamente.

3.6.2.1 Estudio de hipótesis del material de carbón

Media Muestral = 258,767

Mediana Muestral = 249,0

Volatilidad y Riesgo de la Muestra = 40,8696

Evaluación t de pares dependientes

Hipótesis Ho (Anulado): media = 258,76

Alternativo: distinto

Valores Estadísticos $t = 0,000893448$

P-Value = 0,999293

No se rechaza la Hipótesis Ho (Anulado) para $\alpha = 0,05$.

Evaluación de los símbolos

Hipótesis Ho (Anulado): mediana = 258.76

Alternativo: distinto

Cifra de datos inferiores a la mediana hipotética: 19

Cifra de datos superiores a la mediana hipotética: 11

Valores Estadísticos para superiores prototipos= 1,27802

P-Value = 0,201242

No se rechaza la hipótesis Ho (Anulado) para $\alpha = 0,05$.

Evaluación de rango con símbolo

Hipótesis Ho (Anulado): mediana = 258,76

Alternativo: distinto

Categoría medio de números inferiores a la mediana hipotética 14,6842

Categoría medio de números superiores a la mediana hipotética 16,9091

Valores Estadísticos para superiores prototipos= 0,946219

P-Value = 0,344036

No se rechaza la hipótesis Ho (Anulado) para $\alpha = 0,05$.

Evaluación Ji-Cuadrada

Hipótesis Ho (Anulado): SIGMA = 1,0

Alternativo: distinto

Ji- Cuadrada calculado = 48439,4

P-Value = 0

Se rechúsa la hipótesis Ho (Anulado) = 0,05

Evaluación t de pares dependientes: La Hipótesis Ho (Anulado) donde la media de Pastilla de freno de Carbón es igual a 258,76. No se rechúsa por un 95,0% de confianza, ya que el P-Value es mayor o igual que 0,05.

Evaluación de los símbolos: La Hipótesis Ho (Anulado) donde la mediana de Pastilla de freno de Carbón es igual a 258,76. No se rechúsa la Hipótesis Ho (Anulado) con un 95,0% de confianza, dado que el P-Value es mayor o igual que 0,05.

Evaluación de rango con símbolo: La Hipótesis Ho (Anulado) de que la mediana de Pastilla de freno de Carbón es similar a a 258,76. No se rechúsa la hipótesis nula con un 95,0% de confianza, ya que el P-Value es mayor o igual que 0,05. Se destaca que esta prueba es menos sensible a valores aberrantes, pero también con menos potencia que la evaluación t de pares dependientes si los datos provienen de la misma repartición igualitaria.

Evaluación de ji-cuadrada: La Hipótesis Ho (Anulado) de que la volatilidad y riesgo de Pastilla de freno de Carbón es similar a uno. Se rechúsa con un 95,0% de confianza, dado que el P-Value es menor que 0,05.

En general, todas las pruebas indican que hay diferencias significativas en los parámetros evaluados para las almohadillas de freno de material carbón en comparación con la evaluación que se realizaron la hipótesis Ho (Anulado) establecida.

3.6.3 MEDICIÓN DE DUREZA EN PASTILLAS DE CERÁMICA

Tabla 3.18 Resultado de Dureza de Pastilla Cerámica

Número de Pruebas de Dureza Realizadas	Medición de Dureza en Escala Brinell (HB)
N°1	231
N°2	278
N°3	220
N°4	230

Tabla 3.18 Resultado de Dureza de Pastilla Cerámica (**Continuación...**)

N°5	214
N°6	249
N°7	255
N°8	248
N°9	226
N°10	194
N°11	215
N°12	223
N°13	232
N°14	217
N°15	203
N°16	208
N°17	247
N°18	238
N°19	234
N°20	198
N°21	234
N°22	245
N°23	222
N°24	280
N°25	236
N°26	170
N°27	185
N°28	248
N°29	269
N°30	194

Reflejado en la **Tabla 3.18**, indicó los números requeridos mediante la prueba de rebote y velocidad de impacto que se realizó con un durómetro de marca DMQ. Con estos valores nos refleja estadísticas significativas con el fin de conocer la reacción del material utilizado, en este caso de las pastillas de material cerámica. De por si su material es mucho más duro a comparación de otros materiales de almohadillas de freno.

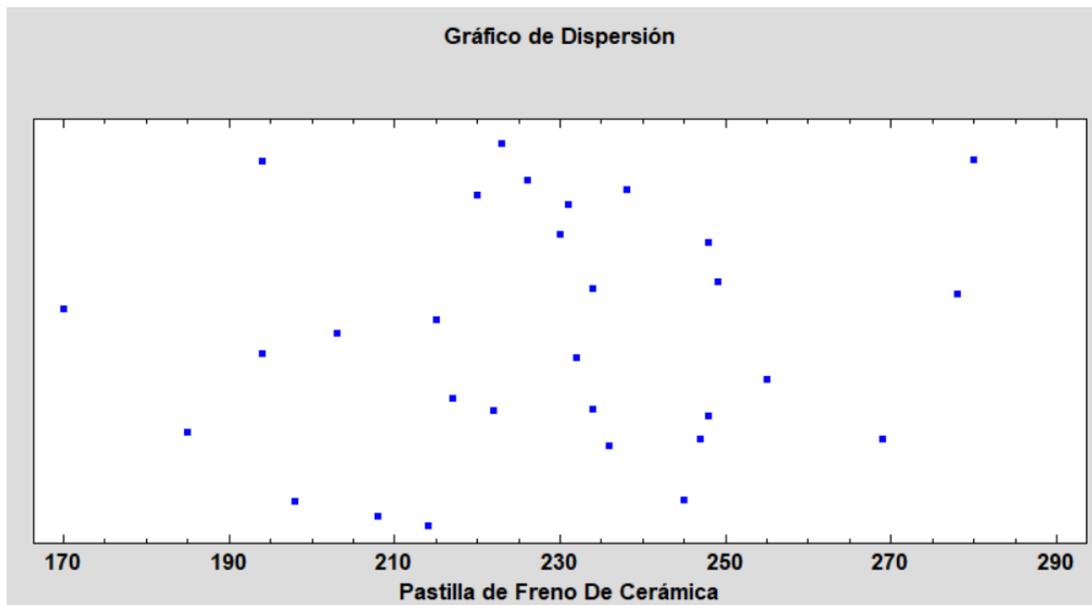


Figura 3.25 Gráfico de Dispersión de Pastillas Cerámicas

Dada la **Figura 3.25**, se comprende una dispersión de puntos sin correlación debido a que ningún valor tiene una secuencia. Su separación es aleatoria entre cada punto ordenándolos en sentido vertical. No llega a indicar ningún valor atípico esto debido a que no se encuentran tan alejado del rango permitido.

Tabla 3.19 Resumen Estadístico para Pastillas Cerámicas

Recuento de datos	30
Promedio	228,1
Mediana	230,5
Volatilidad y Riesgo	26,1525
Factor de Varianza	11,4654%
Valor Inferior	170
Valor Superior	280
Rango	110
Orientación Estándar	-0,109218
Medida de Apuntamiento	-0,02787

Se presenta en la **Tabla 3.19** la orientación estándar y a la medida de apuntamiento, los cuales nos permitieron evaluar si la muestra se originaba en una distribución normal. Siento este caso la orientación estándar en donde se halla adentro del rango aguardado para una asignación adecuada. De la misma manera se observó el promedio de los 30 valores el cual reflejo un valor de 228,1 y una mediana de 230,5. Los 30 datos analizados se encuentran entre valores de 170,0 y 280,0.

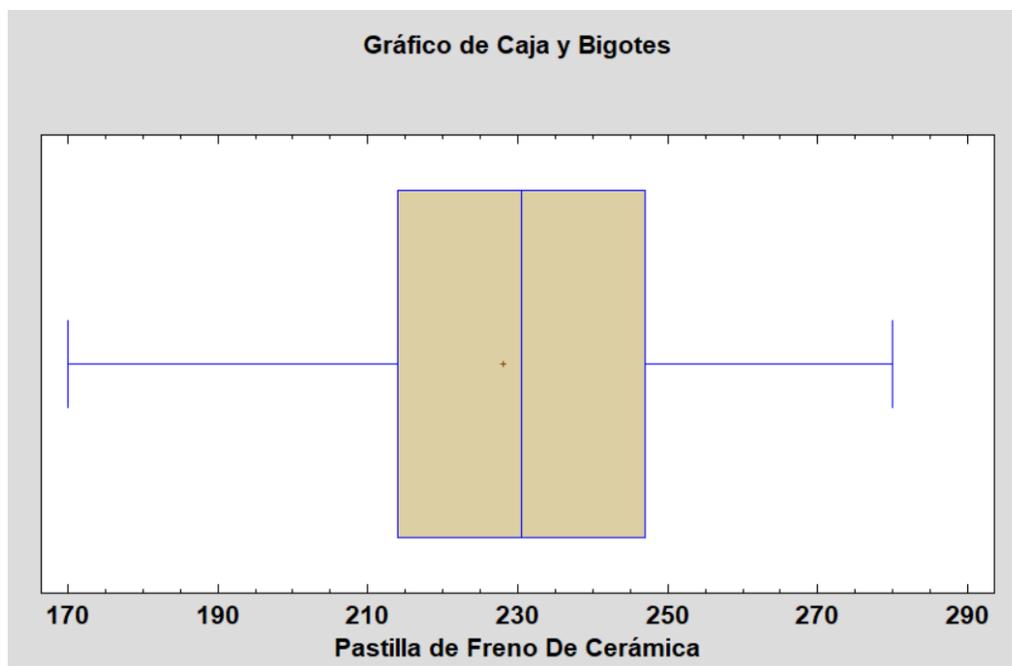


Figura 3.26 Diagrama de Caja de Tukey de pastillas cerámicas

En la **Figura 3.26**, se apreció el cuartil número uno con un valor de 214,0 y el cuartil número tres con valor de 247,0 haciendo referencia a los lados del rectángulo. En la línea media se presentó la mediana que tiene un valor de 230,5 y a sus extremos representando como los bigotes de la figura representa los valores inferiores de 170,0 y su valor superior de 280,0.

Tabla 3.20 Reiteración para Pastillas Cerámicas

N°	Límite Mínimo	Límite Máximo	Punto Medio	Reiteración	Reiteración Relativa	Reiteración Acumulada	Reiteración Rel. Acumulado
	menor o igual	160		0	0,0000	0	0,0000

Tabla 3.20 Reiteración para Pastillas Cerámicas (**Continuación...**)

1	160	170,0	165,0	1	0,0333	1	0,0333
2	170	180,0	175,0	0	0,0000	1	0,0333
3	180	190,0	185,0	1	0,0333	2	0,0667
4	190	200,0	195,0	3	0,1000	5	0,1667
5	200	210,0	205,0	2	0,0667	7	0,2333
6	210	220,0	215,0	4	0,1333	11	0,3667
7	220	230,0	225,0	4	0,1333	15	0,5000
8	230	240,0	235,0	6	0,2000	21	0,7000
9	240	250,0	245,0	5	0,1667	26	0,8667
10	250	260,0	255,0	1	0,0333	27	0,9000
11	260	270,0	265,0	1	0,0333	28	0,9333
12	270	280,0	275,0	2	0,0667	30	1,0000
13	280	290,0	285,0	0	0,0000	30	1,0000
14	290	300,0	295,0	0	0,0000	30	1,0000
15	300	310,0	305,0	0	0,0000	30	1,0000
	mayor	310		0	0,0000	30	1,0000

Media = 228,1

Volatilidad y Riesgo = 26,1525

En la **Tabla 3.20**, se realizó un estudio de la reiteración mediante la subdivisión del rango de las Pastillas Cerámicas en intervalos uniformes. En este proceso, se contó el número de datos que se encuentra dentro de cada uno de los intervalos. Las reiteraciones relativas proporcionan las correlaciones correspondientes de sus intervalos. Este método de tabulación facilita la interpretación del distribuido de los números dados y ofrece una representación clara de cómo se distribuyen las pastillas cerámicas en diferentes rangos.

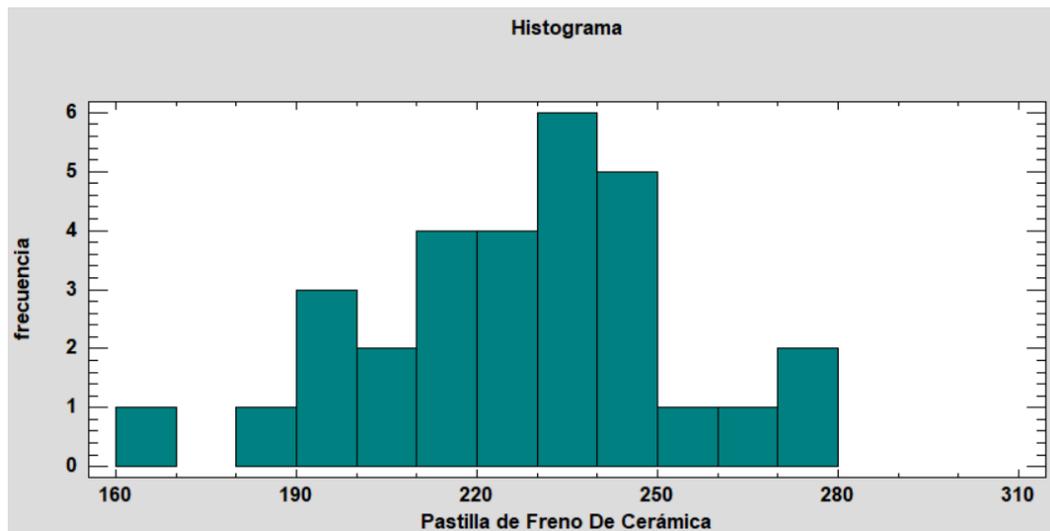


Figura 3.27 Histograma de Pastilla de Freno Material Cerámica

Como muestra la **Figura 3.27**, el histograma realizado por StatAdvisor ha formado 15 intervalos los cuales se encuentran entre el límite mínimo de valor 160,0 hasta el límite máximo de 310,0. La Reiteración con la que se presenta el mayor intervalo es de 230,0 con un total de 6 repeticiones.

Tabla 3.21 Percentiles en las Pastilla de Freno Cerámica

Porcentaje	Percentil
1%	170,0
5%	185,0
10%	194,0
25%	214,0
50%	230,5
75%	247,0
90%	262,0
95%	278,0
99%	280,0

La **Tabla 3.21** indica los percentiles muestrales que han sido tomados de los 30 datos de dureza de las pastillas de cerámicas los cuales son datos que se localizan bajo de una proporción determinada.

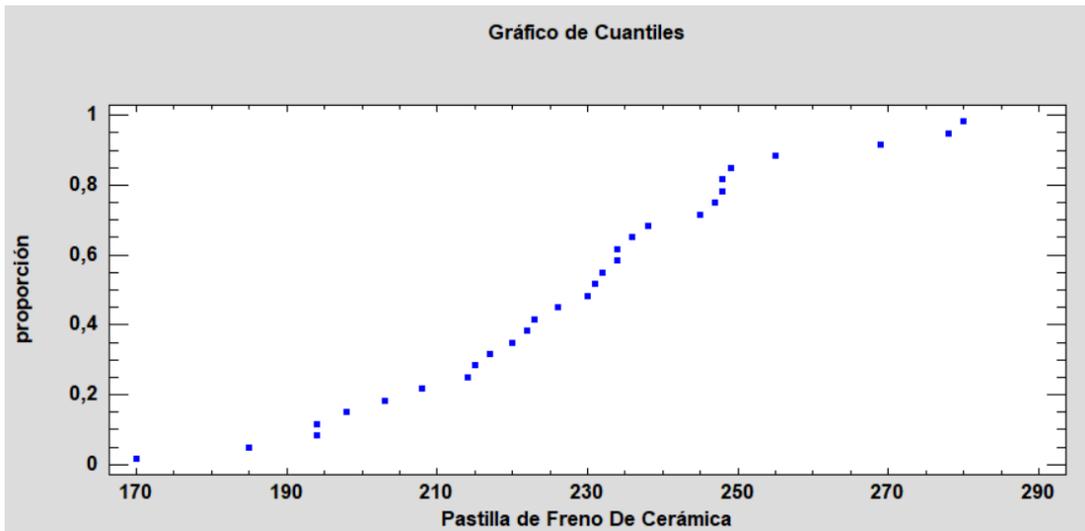


Figura 3.28 Gráfico de Cuantiles para Pastillas de Cerámica

Como indica la **Figura 3.28** los cuantiles que tabulan su proporción de observaciones que distribuyen de igual o menor a una variable determinada siguiendo una línea continua trazada dependiendo los gráficos.

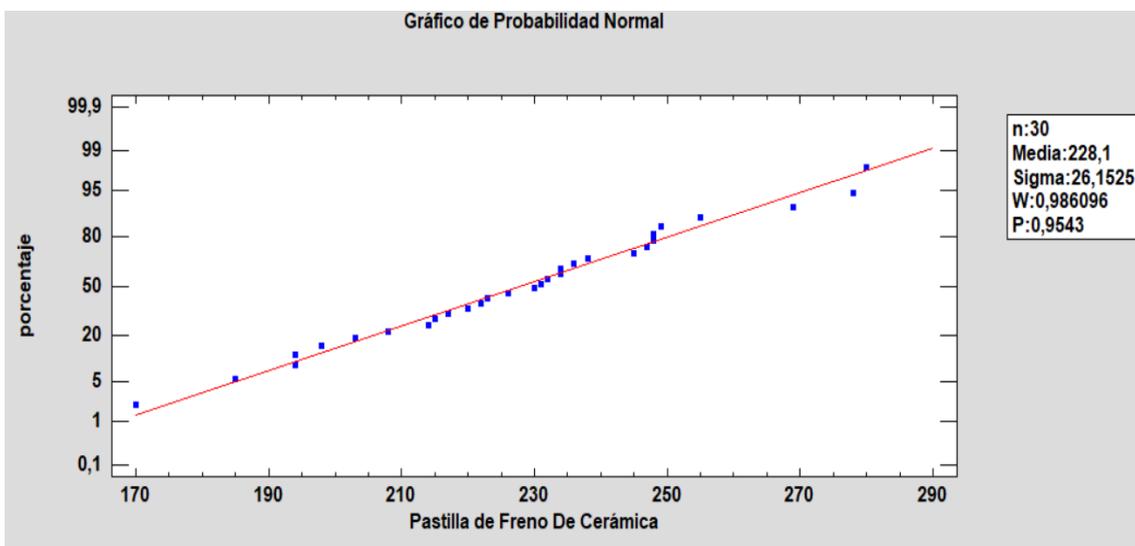


Figura 3.29 Ilustración de Probabilidad Normal para Pastillas Cerámicas

Indicado en la **Figura 3.29** los puntos reflejan los 30 datos que fueron tomados en cuenta en las pruebas de dureza de pastillas cerámicas. Las cuales fueron ordenadas de menor a mayor con

el fin de obtener valores aproximados a la línea. Por lo tanto, la línea es tomando en cuenta en base a la media de los valores la cual tiene un valor de 228.1. en donde se ve reflejada que existe una distribución normal de valores.

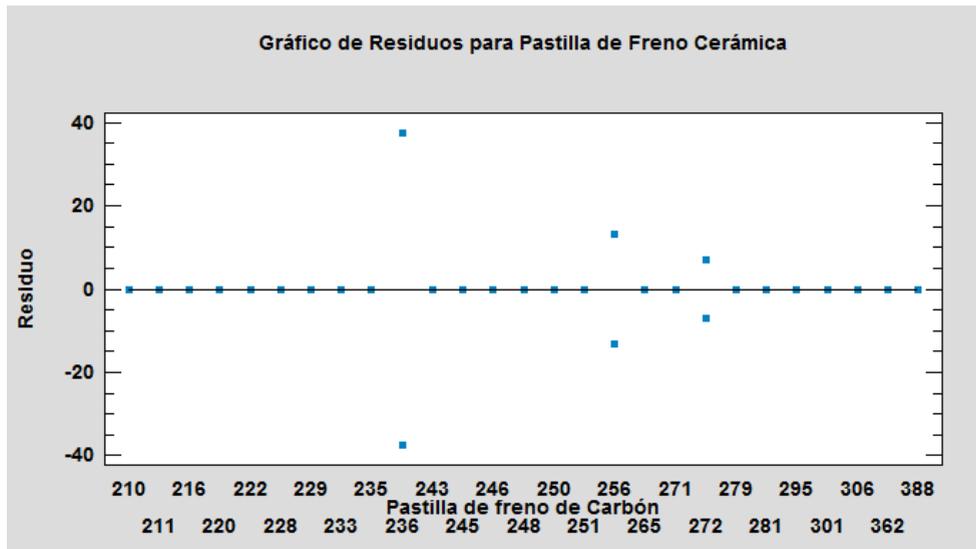


Figura 3.30 Residuo para almohadilla cerámica

Para la **Figura 3.30**, se representa el residuo de las variables el cual se basa en el valor real menos el valor esperado de los treinta datos que se obtuvieron midiendo la dureza de las almohadillas cerámicas. En donde la relación entre las variables es aproximada a las mismas e indica que la recta está acorde a los datos mostrados. En esta gráfica se representa la variación de seis datos de residuo que se encuentran en la recta.

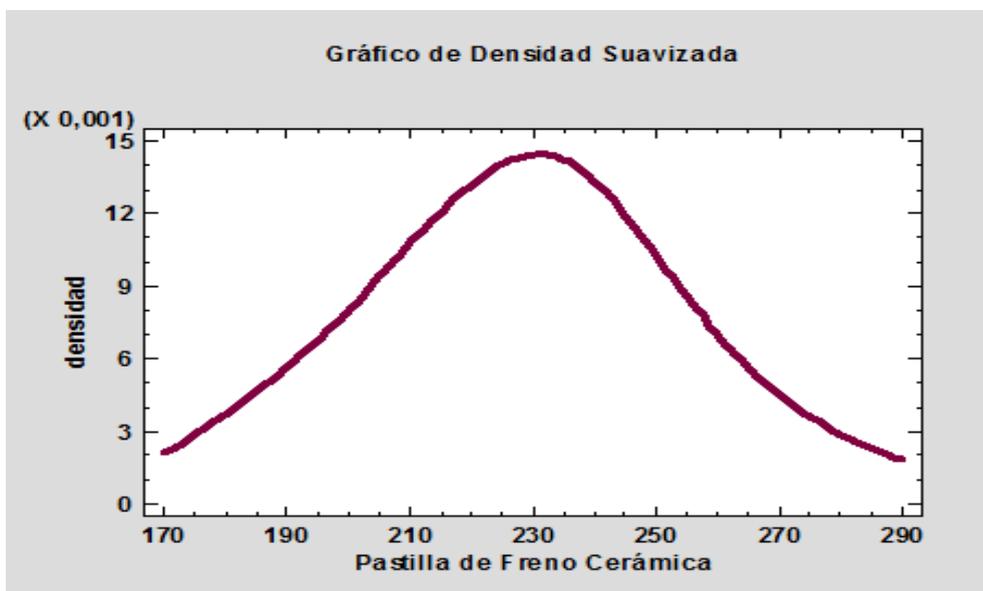


Figura 3.31 Ilustración de consistencia de Kernel

Para la **Figura 3.31**, se refleja la ilustración de consistencia de Kernel en donde indica el total del área al 100 por ciento de todos partiendo del histograma de los datos obtenidos y de los cuales pueden tomar valores de forma continua. La línea es trazada dependiendo el conteo del número de los datos adentro de los intervalos de cada anchura fija, dependiendo del largo entre 170 y 290 que están ubicados en el eje “X”, y así se puede trazar la consistencia suavizada de la función.

Tabla 3.22 Ilustración tallos y hojas para Pastilla Cerámica

1	17|0
2	18|5
5	19|448
7	20|38
10	21|457
14	22|0236
(7)	23|0124468
9	24|57889
4	25|5
3	26|9
2	27|8
1	28|0

Dada la **Tabla 3.22** se observa la ilustración la cual nos indica la determinación de tallos y hojas los cuales se separaron en doce intervalos y nos permite obtener de manera simultánea una distribución de frecuencias. En la parte del extremo izquierdo se encuentra lo que se denomina “tallos”, la cual contiene un dígito y es el encargado de indicar a los intervalos que se encuentren semejantes al valor. En cada posición numérica se ubican los dígitos individuales llamados “hojas” los cuales se encuentran en el extremo derecho y pueden uno o más dígitos dependiendo en el rango que se encuentren. Para este caso no existen dígitos alejados a los demás valores.

3.6.3.1 Estudio de Hipótesis del material de Cerámica

Media Muestral = 228,1

Mediana Muestral = 230,5

Volatilidad y Riesgo de la Muestra = 26,1525

Evaluación t de pares dependientes

Hipótesis Ho (Anulado): media = 228,0

Alternativo: distinto

Valores Estadísticos t = 0,0209434

P-Value = 0,983434

No se rechaza la hipótesis Ho (Anulado) para $\alpha = 0,05$.

Evaluación de los símbolos

Hipótesis Ho (Anulado): mediana = 228,0

Alternativo: distinto

Cifra de datos inferiores a la mediana hipotética: 14

Cifra de datos superiores a la mediana hipotética: 16

Valores Estadísticos para superiores prototipos = 0,182574

P-Value = 0,855127

No se rechaza la Hipótesis Ho (Anulado) para $\alpha = 0,05$.

Evaluación de rango con símbolo

Hipótesis Ho (Anulado): mediana = 228,0

Alternativo: distinto

Categoría medio de números inferiores a la mediana hipotética 16,4286

Categoría medio de números superiores a la mediana hipotética 14,6875

Valores Estadísticos para superiores prototipos= 0,0411486

P-Value = 0,967172

No se rechaza la hipótesis Ho (Anulado) para $\alpha = 0,05$.

Evaluación Ji-Cuadrada

Hipótesis Ho (Anulado): SIGMA = 1,0

Alternativo: distinto

Ji-Cuadrado Calculado = 19834,7

P-Value = 0

Se rechaza la hipótesis nula para 0,05

Estos resultados, exhibidos en esta interfaz, presentan las conclusiones derivadas de las pruebas asociadas a los datos de la cual se origina la muestra de pastilla de freno de cerámica.

La evaluación t de pares dependientes: analiza la premisa en donde la media de pastilla de freno de cerámica es idéntica a 228,0 en contraposición a la suposición alterna la cual dicha media no es semejante a 228,0. Dado que el P-Value correspondiente a dicha evaluación es mayor o igual a 0,05, y en efecto tiene la capacidad de no descartar la Hipótesis Ho (Anulado) donde su nivel de seguridad del 95%.

La evaluación de los símbolos: se enfoca en la suposición de que la mediana de Pastilla de Freno De Cerámica es equivalente a 228,0 en oposición a la suposición alterna de que la mencionada mediana llega a ser mayor o igual a 228,0. Su metodología es fundamentar en contabilizar los valores por encima y por debajo de su mediana.

En virtud de que el P-Value asociado a esta evaluación es mayor o igual a 0,05, se justifica en no rehusar Hipótesis Ho (Anulado) con un 95,0% de estabilidad. En cuanto a la

evaluación de rango con símbolo, se pone a prueba la posibilidad de que la mediana de pastilla de freno de cerámica es similar a 228,0 frente a la hipótesis alternativa de que dicha mediana es diferente a 228,0. Su enfoque radica en la comparación de los rangos medios de los números por encima y por debajo de su mediana hipotética.

El P-Value correspondiente a esta evaluación mayor o igual a 0,05, lo que justifica no rechazar la hipótesis H_0 (Anulado) con un grado de seguridad del 95%. Cabe señalar de las pruebas del símbolo y del símbolo con categoría demuestran una menor sensibilidad a la presencia de números atípicos, aunque presentan una potencia algo menor que la evaluación t de pares dependientes, siempre y cuando todos los valores provengan de la misma distribución adecuada.

En relación con la evaluación de ji-cuadrada: se somete a evaluación la Hipótesis H_0 (Anulado) que postula que la volatilidad y riesgo de pastilla de freno cuadrada es igual a 1,0, en contraposición a la hipótesis Alternativa que sugiere que dicha volatilidad y riesgo no es igual a 1,0. Dado que el P-Value asociado a esta evaluación es menor a 0,05, se justifica el rechazo de la hipótesis H_0 (Anulado) con una elevación de seguridad del 95%.

3.7 COMPARACIÓN ENTRE PROMEDIOS ESTADÍSTICOS DE FRENADO

Tabla 3.23 Medias de intervalos de credibilidad del 95,0%

	Registro	Media	Fallo Estándar	Extremo Inferior	Extremo Superior
Pastilla Semi-Metálica	4	46,99	2,00676	43,78	50,2
Pastillas de Carbón	4	57,52	2,00676	54,31	60,73
Pastillas Cerámica	4	54,9475	2,00676	51,7375	58,1575
Total	12	53,1525			

Esta **Tabla 3.23** indica la media en cada columna de los datos. Se logra identificar el error que es estándar de cada una de las medias, en donde refleja las variabilidades de los muestreos de cada mediana. Para tener la conclusión del error estándar es fraccionar la desviación estándar m mediante el número de las indicaciones en cada nivelación. La tabla también se presenta en un rango al contorno de cada valor medio. Los intervalos presentados en la actualidad se derivan del método de la diferencia mínima significativa de Fisher. Estos están configurados de modo que, si dos medias son idénticas, sus intervalos se superpondrán en un 95% de las ocasiones.

Tabla 3.24 Valores adjunto de toma de muestra de frenado

	Registro	Desviaciones de Estándares	Coefficientes de Variaciones	Inferior	Superior	Rango
Pastilla Semi-Metálica	4	4,80578	10,2272%	39,81	49,73	9,92
Pastillas de Carbón	4	3,62625	6,30432%	52,53	60,56	8,03
Pastillas Cerámica	4	3,47558	6,32527%	50,07	57,75	7,68
Total	12	5,92428	11,1458%	39,81	60,56	20,75

En la **Tabla 3.24** se aprecia los valores significativos tomado de las cuatro pruebas que se realizó para cada una de las comprimidas de freno, teniendo en cuenta sus valores se dedujo que la pastilla semi-metálica lleva un rango de 9.92 que significaría la separación entre el inferior y superior de las medidas. Demostrando que existe una mayor variación al momento de frenar. La pastilla de Carbón revela un rango de 8.03 y por siguiente las pastillas de cerámica un rango de 7.68. Mediante la conclusión de los tres rangos se llega a obtener un total entre las tres pastillas de 20.75.

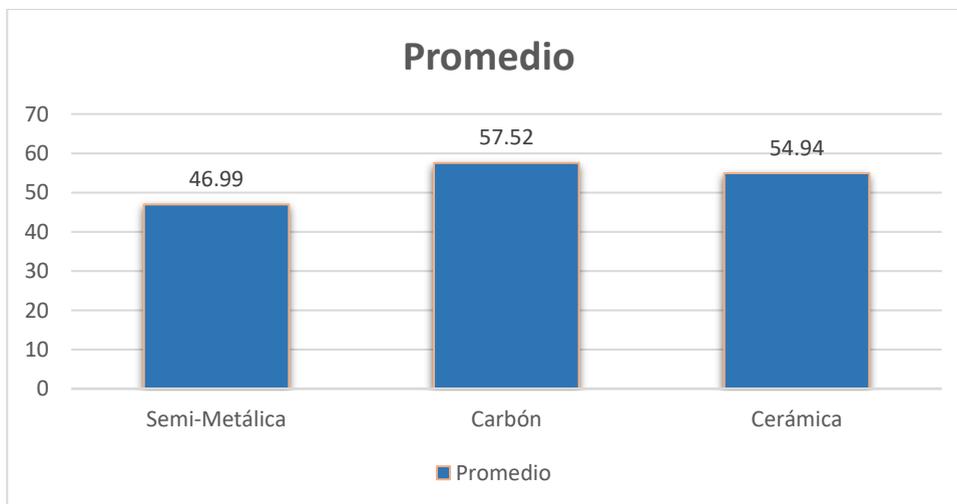


Figura 3.32 Promedio estadístico de materiales de freno

En la **Figura 3.32** se puede representar el promedio de los tres tipos de materiales que se utilizó en la investigación teniendo como punto más alto la pastilla de material cerámico un promedio de 57.52, seguido por la pastilla de material cerámico de 54.94 y por último el material semi-metálico con un valor de 46.99. Estas medidas se obtienen mediante la efectuación de una serie determinada de valores.

3.7.1 COMPARACIÓN DE PROMEDIO DE DUREZA EN ESCALA BRINELL

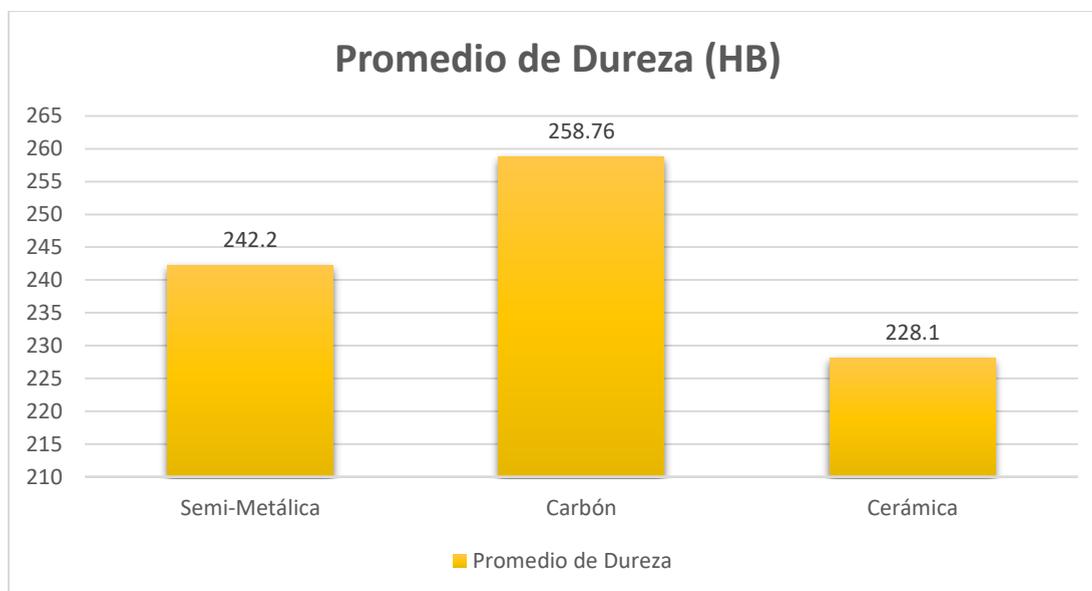


Figura 3.33 Medición de promedios mediante la escala Brinell

Al examinar la **Figura 3.33**, es evidente la representación del promedio de dureza obtenido mediante la técnica de rebote y la respuesta en la escala Brinell. Se destaca que la pastilla de freno compuesta por carbón exhibe la máxima dureza, con un promedio de 258.76 HB. En comparación, el material semi-metálico ocupa el segundo lugar con un valor de 242.2 HB, seguido por el material cerámico con una cifra de 228.1 HB. Es crucial subrayar que estos valores pueden variar según la marca del material de freno.

La gráfica refleja las diferencias en la dureza de las pastillas, evidenciando claramente las disparidades entre los diversos materiales. Este análisis revela que el carbón, como componente principal, confiere a la pastilla una dureza superior en comparación con sus contrapartes. Así mismo, se destaca que el componente semi-metálico se posiciona como una opción intermedia en términos de dureza, mientras que el material cerámico presenta el menor índice de dureza.

Cabe mencionar que la variación los valores señalados valores no solo está sujetos a la composición del material, sino también a la marca específica de las almohadillas de freno. Por lo tanto, la elección de la composición de freno no solo influye en el rendimiento general, sino también en la dureza, según los resultados obtenidos de esta investigación.

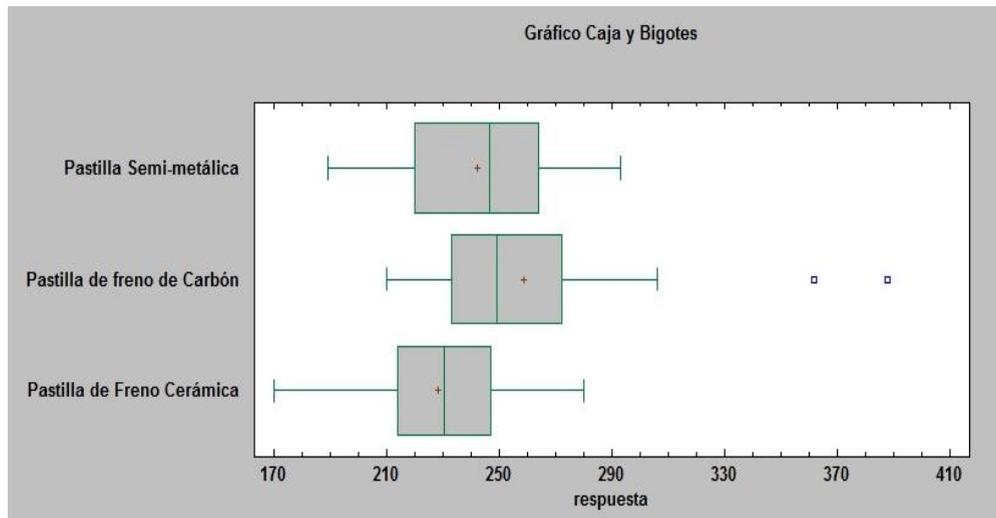


Figura 3.34 Medición de medianas mediante la escala Brinell

En la **Figura 3.34** se aprecia la valoración de la diferencia que existe entre los tres tipos de almohadillas de freno haciendo referencia a las medianas de cada una de ella. En donde indica que la mayor mediana corresponde a la pastilla de material de carbón debido a la composición de sus materiales, seguida por su similar de material semi-metálica y por último se encuentra la pastilla de cerámica, esto gracias a la medición de dureza se pueden obtener los valores que marcan cada una de sus diferencias en cada material.

CAPÍTULO IV

4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

- Las almohadillas de freno de carbono demostraron una eficiencia del 60.56% siendo las más eficientes en comparación con las pastillas de cerámica y semi metálicas. Con valores de esfuerzo de detención más altos de 6380 N y una excelente capacidad para disipar el calor generado durante el frenado. Estas características las posicionan como las almohadillas más eficientes en términos de rendimiento de frenado.
- Se observó que las almohadillas de freno cerámicas también muestran un desempeño considerable en el frenómetro, con valores de esfuerzo de detención de 6085 N, un valor muy cercano al de las pastillas de carbono. Este resultado sugiere que las pastillas de freno cerámicas son una opción efectiva en términos de eficacia de frenado. Con una fuerza de frenado menor de 5240 N y una eficiencia de 49.73% las almohadillas de freno semi metálicas en comparación con las de carbono y cerámica son las menos eficientes. Debido a su combinación de materiales metálicos y no metálicos lo que afecta su coeficiente de fricción y por lo tanto su capacidad de frenado en ciertas condiciones.
- La aplicación del durómetro permitió medir la dureza de los materiales utilizados en el sistema de frenos los cuales fueron realizadas en escala Brinell, revelando variaciones significativas entre los diferentes tipos de materiales. Mediante el uso del Software STATGRAPHICS se pudo determinar estadísticamente las diferencias que existen entre las pastillas de freno. Mediante se observó que el material de carbono exhibió una mayor dureza obteniendo una media aritmética de 258,767 a diferencia de sus similares.
- Mediante la aplicación del método de rebote se pudo deducir que en la toma de los treinta valores de cada una de las almohadillas de freno se obtuvieron promedios los cuales las almohadillas de carbono tienen una dureza de 258.76 HB reflejando superioridad a sus similares de cerámico que tiene un valor de 228.1HB y las semi-metálicas de 242.2 HB.

RECOMENDACIONES

- Es recomendable tener en cuenta la calibración y mantenimientos de los equipos a utilizar en este caso el frenómetro y el sistema de frenado del vehículo al cual se le realizará las pruebas necesarias. Con el fin de poder obtener datos precisos con un margen de error mínimo al realizar las pruebas de frenado.
- Es importante analizar diferentes pruebas de frenado para constatar la eficiencia que llegaría a tener los materiales de las pastillas de freno. Poniendo a prueba en distintas condiciones climáticas o a su vez a diferentes temperaturas después de haber forzado el sistema de frenado del vehículo, con el fin de analizar la disipación de calor.
- Medir adecuadamente la fuerza de frenado en cada rueda y comparar los resultados con las especificaciones del fabricante para determinar si el sistema de frenos cumple con los estándares solicitados.
- Comprobar que la fuerza de frenado se distribuye uniformemente entre las ruedas. Desigualdades pueden indicar problemas en los componentes o en la distribución del líquido de frenos.
- Elegir la escala de comprobación de dureza adecuada según el material que se irá a comprobar. Con el fin de que se puedan reflejar valores acordes al componente utilizado. Los durómetros pueden tener escalas como Rockwell, Brinell, Vickers, entre otras.
- Realizar varias pruebas en diferentes áreas del material para obtener una representación más precisa de su dureza. Esto es especialmente importante si hay variaciones en la composición del material o su superficie no es totalmente plana.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABC Motor. (2019, June 12). *¿Sabrías reaccionar si los frenos del coche fallan?*
https://www.abc.es/motor/reportajes/abci-sabrias-reaccionar-si-frenos-coche-fallan-201906120157_noticia.html
2. Aguirre, C. (2022). *Análisis del desgaste por abrasión del material de las pastillas de freno de vehículos disponibles en el mercado local mediante ensayos basados en la norma técnica ASTM G65 para determinar su nivel de desgaste.*
<http://dspace.epoch.edu.ec/bitstream/123456789/16181/1/25T00436.pdf>
3. Álvarez, D., & Narváez, P. (2020a). *ANÁLISIS DEL DESGASTE POR ABRASIÓN DEL MATERIAL DE LAS PASTILLAS DE FRENO DE VEHICULOS DISPONIBLES EN EL MERCADO LOCAL MEDIANTE ENSAYOS BASADOS EN LA NORMA TÉCNICA ASTM G-65 PARA DETERMINAR EL NIVEL DE DESGASTE.*
<http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/10221/2/04%20MAUT%20107%20TRABAJO%20GRADO.pdf>
4. Angamarca, S., Yaselga, E., & Santos, L. (2022, September 15). *Factores que influyen en el desgaste de las pastillas de frenos de los automóviles.*
<https://www.dominiodelasciencias.com/ojs/index.php/es/article/view/2993>
5. Autodoc. (2020). *Discos de freno rayado, ventilados, perforados: diferencias y funciones.*
<https://club.autodoc.es/magazin/discos-de-freno-rayado-ventilados-perforados-diferencias-y-funciones>
6. Barajas, C. (2015). *Caracterización Geométrica de huellas de dureza Brinell mediante equipos ópticos modelo con microscopía con focal.*
https://oa.upm.es/39159/1/CINTIA_BARAJAS_FERNANDEZ.pdf
7. Blázquez, L. (2020). *Frenos de tambor: ¿De qué están hechos? ¿Cómo funcionan?*
<https://noticias.coches.com/consejos/frenos-de-tambor/405469>

8. Borja, J. C. (2009). *Sistema de transmisión y frenado*. Macmillan Iberia, S.A.
9. Bosh. (2016). *Sistema de Frenos Bosh Estructura*. <https://www.mecanicoautomotriz.org/1923-manual-sistemas-frenos-bosch-estructura-componentes-funciones>
10. Chandradass, M., Surabhi, P., & Sethupathi, P. (2021). *Desarrollo de material de pastilla de freno de bajo costo utilizando compuestos híbridos de ceniza de bagazo de caña de azúcar sin asbesto*. 7050–7057. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2214785321009743>
11. Chandradass, P., Sethupathi, B., & Surabi, A. (2021). *Fabricación y caracterización de pastillas de freno en base epoxi libres de amianto utilizando fibra de carbono como refuerzo*. 7222–7227. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2214785321016710>
12. F. Elhilali, H., Fihri-Fassi, R., & Ourihi. (2021). *Hacia el desarrollo de un modelo numérico optimizado de la pastilla del sistema de frenos con material natural*. 5419–5425. https://www.researchgate.net/publication/349872738_Towards_the_development_of_an_optimized_numerical_model_of_the_brake_system_pad_with_natural_material
13. Ferrer, A. (2021). *Tipos de frenos: Disco y tambor, componentes y funcionamiento*. <https://www.autonocion.com/frenos-disco-tambor-componentes-tipos-funcionamiento/>
14. Gachoki, J. J., & Kathenya, M. D. (2011). Design of brake pad friction material. Final year project. Department of Mechanical and Manufacturing Engineering. University of Nairobi.
15. García, A., & Monaterio, N. (2018). *INTRODUCCIÓN A LA CIENCIA DE LOS MATERIALES Y SUS PROPIEDADES I*. https://ocw.ehu.es/pluginfile.php/51171/mod_resource/content/0/Tema%206-Comportamiento%20mec%C3%A1nico%20de%20los%20materiales.pdf
16. García, R., Echavez, R., & Flóres, E. (2018). *Análisis termodinámico de un disco de freno automotriz con pilares de ventilación tipo NACA*. <https://revistascientificas.cuc.edu.co/ingecuc/article/view/1721/1746>

17. Improtek. (2022, January 1). *Demeq QH5 G Durómetro Portátil con Dispositivo Impacto G*. <https://www.improtek-latam.com/producto/durometro-portatil-con-dispositivo-impacto-g-demeq-qh5-g/>
18. Jiawei Chen, Chunyu Yu, Qi Cheng, Yuanlin Guan, Qinghai Zhang, Weipu Li, Fuhao Ouyang, & Zhenning Wang. (2022). *Investigación sobre el rendimiento de la fricción y la predicción de la tasa de desgaste de las pastillas de freno de trenes de alta velocidad*. 0043–1648. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0043164822003210>
19. M. Guha Keshav, C. G., Hemchandran, B., Dharsan, K., Pradhin, R., Vaira Vignesh, M., & Govindaraju. (2021). *Fabricación de pastillas de freno sinterizadas reforzadas con fibra continua y material de fricción*. 2214–7853. <https://www.researchgate.net/signup.SignUp.html>
20. Martínez, A., & Toasa, W. (2023). *Análisis tribológico comparativo de pastillas de freno con fibras de vidrio y cabuya como materiales reemplazantes al amianto*. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/13469/1/65T00316.pdf>
21. Martínez, C. (2017). *Comportamiento tribológico de composito reforzado con fibra de agave angustifolia haw para pastillas de frenado*. http://literatura.ciidiroaxaca.ipn.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/LITER_CIIDIROAX/442/Mtz.%20D%c3%adaz%2c%20C.%202017.pdf?sequence=1&isAllowed=y
22. Meganeboy, D. (2018). *Sistema de frenos en el automóvil*. <https://aficionadosalamecanica.blogspot.com/2018/07/sistema-de-frenos-en-el-automovil.html>
23. Melkamu Yigrem, O., & Fatoba, S. T. (2022). *Propiedades tribológicas del compuesto híbrido de cáscara de plátano para la aplicación de pastillas de freno*. 2829–2838. https://www.researchgate.net/publication/359128633_Tribological_and_mechanical_properties_of_banana_peel_hybrid_composite_for_brake-pad_application

24. Mobi, IM., Achebe, CH., & Okafor, CE. (2021). *Optimization of Mechanical Properties of Palm Fruit Fiber Automobile Brake Pad*. 10. <https://www.ijert.org/research/optimization-of-mechanical-properties-of-palm-fruit-fiber-automobile-brake-pad-IJERTV10IS070297.pdf>
25. Miranda Freddy. (2013). Peritaje del frenado en automóviles.
26. Muñoz, C., & Calle, C. (2020). *ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO TÉRMICO DE LAS PASTILLAS DE FRENO CERÁMICAS, SEMIMETÁLICAS Y ORGÁNICAS EN FUNCION DE LA DISTANCIA DE FRENADO BAJO LA NORMATIVA ECE-13H*. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/15296/1/65T00356.pdf>
27. Nomenclatura, S. I. (2012). *Sistema Integrado de Consulta de Reglamentación y Nomenclatura*. https://aplicaciones2.ecuadorencifras.gob.ec/SIN/co_metal.php?id=49129.02.12
28. Ochoa, F., & Uchupanta, B. (2021). *Estudio de la eficacia de frenado de un vehículo con sistema ABS de subcategoría M1 en función de la temperatura de trabajo de las pastillas de freno*. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/16569/1/65T00436.pdf>
29. Peugeot. (2009). *Características Técnicas de Peugeot 206*. <https://www.carinf.com/es/f160417707.html>
30. Pichardo, J. M. (2004). *Peugeot 206 3p RC (2004) | Cambios el bastidor*. <https://www.km77.com/coches/peugeot/206/1998/3-puertas/rc/206-3p-rc/informacion/peugeot-206-3p-rc-informacion-sobre-el-motor-algunos-elementos-de-equipamiento>
31. Pinca, C., & Bretotean, A. (2021). *Ensayo de pastillas de freno de material compuesto orgánico de fricción sin amianto en estación especializada*. 4183–4188.
32. Pinca, C., Josan, A., & Putan, V. (2021). *Ensayo de pastillas de freno de material compuesto orgánico de fricción sin amianto en estación especializada*. 4183–4188. https://www.researchgate.net/publication/348638854_Testing_of_brake_pads_made_of_n_on_asbestos_organic_friction_composite_on_specialized_station

ANEXOS

ANEXO I

MEDICIÓN DE DUREZA EN PASTILLAS DE FRENO UTILIZANDO UN DURÓMETRO DMQ CON SERIE QH5



Figura AI.1. Composición del material Semi-Metálico



Figura AI.2. Composición del material de Carbón



Figura AI.3. Composición del material de Cerámica

ANEXO II

MEDICIÓN DE EFICIENCIA DE FRENADO EN FRENÓMETRO MAHA DEL EJE DELANTERO DEL VEHÍCULO PEUGEOT 206



Figura AII.1. Medición de Eficiencia para pastillas Semi-Metálicas



Figura AII.2. Medición de Eficiencia para pastillas de Carbón



Figura AII.3. Medición de Eficiencia para pastillas Cerámicas

ANEXO III

NORMATIVA ASTM A956 MÉTODO ESTANDAR PARA PRUEBAS DE DUREZA

This international standard was developed in accordance with internationally recognized principles on standardization established in the Decision on Principles for the Development of International Standards, Guides and Recommendations issued by the World Trade Organization Technical Barriers to Trade (TBT) Committee.



Designation: A956/A956M – 17a

Standard Test Method for Leeb Hardness Testing of Steel Products¹

This standard is issued under the fixed designation A956/A956M; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

1. Scope*

1.1 This test method covers the determination of the Leeb hardness of steel, cast steel, and cast iron (Part A), including the methods for the verification of Leeb hardness testing instruments (Part B), and the calibration of standardized test blocks (Part C).

NOTE 1—The original title of this standard was "Standard Test Method for Equotip Hardness Testing of Steel Products."¹

1.2 The values stated in either SI units or inch-pound units are to be regarded separately as standard. The values stated in each system may not be exact equivalents; therefore, each system shall be used independently of the other. Combining values from the two systems may result in non-conformance with the standard.

1.3 *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety, health, and environmental practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.*

1.4 *This international standard was developed in accordance with internationally recognized principles on standardization established in the Decision on Principles for the Development of International Standards, Guides and Recommendations issued by the World Trade Organization Technical Barriers to Trade (TBT) Committee.*

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards.²

E140 Hardness Conversion Tables for Metals Relationship Among Brinell Hardness, Vickers Hardness, Rockwell Hardness, Superficial Hardness, Knoop Hardness, Scleroscope Hardness, and Leeb Hardness

¹This test method is under the jurisdiction of ASTM Committee A01 on Steel, Stainless Steel and Related Alloys and is the direct responsibility of Subcommittee A01.06 on Steel Forgings and Billets.

Current edition approved Nov. 1, 2017. Published December 2017. Originally approved in 1996. Last previous edition approved in 2017 as A956/A956M – 17.

Leeb and Equotip are registered trademarks used with permission of Proceq S.A. DOI: 10.1520/A0956_A0956M-17A.

²For referenced ASTM standards, visit the ASTM website, www.astm.org, or contact ASTM Customer Service at service@astm.org. For *Annual Book of ASTM Standards* volume information, refer to the standard's Document Summary page on the ASTM website.

E177 Practice for Use of the Terms Precision and Bias in ASTM Test Methods

E691 Practice for Conducting an Interlaboratory Study to Determine the Precision of a Test Method

3. Terminology

3.1 Definitions:

3.1.1 *calibration*—determination of the values of the significant operating parameters of the instrument by comparison with values indicated by a reference instrument or by a set of reference standards.

3.1.2 *Leeb hardness number*—a number equal to the ratio of the rebound velocity to the impact velocity of a 0.118 in. [3 mm] or 0.197 in. [5 mm] (based on the type of impact device) diameter spherically shaped tungsten carbide, silicon nitride, or diamond tipped impact body, multiplied by 1000.

$$L = \frac{\text{Rebound Velocity}}{\text{Impact Velocity}} \times 1000$$

The Leeb hardness number is followed by the symbol *HL* with one or more suffix characters representing the type of impact device.

3.1.3 *Leeb hardness test*—a dynamic hardness test method using a calibrated instrument that impacts a spherically shaped tungsten carbide, silicon nitride, or diamond tipped body with a fixed velocity (generated by a spring force) onto a surface of the material under test. The ratio of the rebound velocity to the impact velocity of the impact body is a measure of the hardness of the material under test.

3.1.4 *surface finish*—all references to surface finish in this test method are defined as surface roughness (that is, *Ra* = average roughness value, *AA* = arithmetic average).

3.1.5 *verification*—checking or testing the instrument to ensure conformance with this test method.

4. Summary of Test Method

4.1 During a hardness test, an impact body with a spherically shaped tungsten carbide, silicon nitride, or diamond tip impacts, after being propelled to the specified velocity, the test surface from which it rebounds. The impact and rebound velocities are measured when the impact body is approximately 0.039 in. [1 mm] from the test surface. This is accomplished by means of a permanent magnet mounted in the impact body

*A Summary of Changes section appears at the end of this standard

Copyright © ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States

Copyright by ASTM Int'l (all rights reserved); Fri Feb 8 14:56:01 EST 2019

Downloaded/printed by

Universidad Pontificia Bolivariana (Universidad Pontificia Bolivariana) pursuant to License Agreement. No further reproductions authorized.

Figura AIII.1. Normativa ASTM A956

((PDF) Designación: (A956/A956M-17a))


A956/A956M – 17a

which, during the test, moves through a coil in the impact device and induces an electric voltage on both the impact and rebound movements. These induced voltages are proportional to the respective impact and rebound velocities. The quotient of these measured voltage values derived from the impact and rebound velocities, multiplied by the factor 1000 produces a number which constitutes the Leeb hardness value.

5. Significance and Use

5.1 Hardness of a material is a poorly defined term that may have many meanings depending on the type of test performed and the expectations of the person involved. The Leeb hardness test is of the dynamic or rebound type, which primarily depends both on the plastic and on the elastic properties of the material being tested. The results obtained are indicative of the strength and dependent on the heat treatment of the material tested.

5.2 The Leeb hardness test is a superficial determination only measuring the condition of the surface contacted. The results generated at that location do not represent the part at any other surface location and yield no information about the material at subsurface locations.

A. GENERAL DESCRIPTION OF INSTRUMENTS AND TEST PROCEDURE FOR LEEB HARDNESS TEST

6. Apparatus

6.1 The instrument used for Leeb hardness testing consists of (1) an impact device that is equipped with a spherically shaped tungsten carbide, silicon nitride, or synthetic diamond tipped impact body, an induction coil velocity measuring assembly, and a support ring, and (2) an electronic digital display hardness indicating device.

6.2 *Impact Devices*—There are eight types of impact devices used in Leeb hardness testing. These are the *D*, *DC*, *D+15*, *DL*, *G*, *C*, *S*, and the *E* impact units. Brief descriptions of the types of devices and their common applications are given in Appendix X1. Table 1 provides the specifications for the Leeb scales according to impact device type.

6.3 See 8.1.1 when using replacement machine components.

7. Test Piece

7.1 *Form*—The Leeb hardness test is acceptable for steel, cast steel, and cast iron with varying shapes and sizes.

7.2 *Thickness and Weight*—The thickness and weight of the test piece shall be considered when selecting the impact device to be employed. The following guidelines are offered as minimum weights and sizes of test pieces for selecting the proper test equipment. Test pieces of weights less than the minimum or pieces of any weight with sections less than the minimum thickness require rigid support and coupling to a thick, heavier non-yielding surface to resist the impact of the device. Failure to provide adequate support and coupling will produce test results lower than the true hardness value.

Impact Device	Minimum Mass without Rigid Support	Minimum Mass with Rigid Support	Minimum Thickness (Uncoupled)	Minimum Thickness (Coupled)
<i>D</i> , <i>DC</i> , <i>D+15</i> , <i>DL</i> , <i>S</i> , <i>E</i>	11.0 lb [5 kg]	4.4 lb [2 kg]	0.984 in. [25 mm]	0.118 in. [3 mm]
<i>G</i>	33.1 lb [15 kg]	11.0 lb [5 kg]	2.756 in. [70 mm]	0.394 in. [10 mm]
<i>C</i>	3.3 lb [1.5 kg]	0.3 lb [0.5 kg]	0.394 in. [10 mm]	0.039 in. [1 mm]

7.3 *Curvature*—Test pieces with curved surfaces may be tested on either the convex or concave surfaces providing that this radius of curvature of the specimens is matched to the size of the support ring and is not less than 1.969 in. [50 mm] for the *G* impact device or 1.181 in. [30 mm] for other impact devices.

7.4 *Surface Finish/Preparation*—The test surface shall be carefully prepared to avoid any alterations in hardness caused by heating during grinding or by work hardening during machining. Any paint, scale, pits, or other surface coatings shall be completely removed. The surfaces to be tested shall be smooth. Failure to provide adequate surface finish will produce questionable test results. Coarse finishes will tend to lower the measured value. It is recommended that the test surface be machined or ground and polished to the following finishes. (The grinding wheel grit size shown for each finish is offered for guidance in achieving the finish noted.)

TABLE 1 Specifications of Standard Leeb Hardness Testing Devices

Property	Symbol	Unit	<i>D/DC</i>	<i>S</i>	<i>E</i>	<i>D+15</i>	<i>DL</i>	<i>C</i>	<i>G</i>
Impact velocity ^a	V_A	ft/s [m/s]	6.73 [2.05] ± 5 %	6.73 [2.05] ± 5 %	6.73 [2.05] ± 5 %	5.58 [1.7] ± 5 %	5.97 [1.82] ± 5 %	4.56 [1.39] ± 5 %	9.78 [2.98] ± 5 %
Impact body, mass	<i>M</i>	oz [g]	0.192 ± 0.002 [5.45 ± 0.05]	0.190 ± 0.002 [5.40 ± 0.05]	0.192 ± 0.002 [5.45 ± 0.05]	0.273 ± 0.002 [7.75 ± 0.05]	0.256 ± 0.002 [7.25 ± 0.05]	0.109 ± 0.002 [3.1 ± 0.05]	0.705 ± 0.002 [20.00 ± 0.05]
Indenter, radius material	<i>R</i>	in. [mm]	0.059 [1.5] TC ^b	0.059 [1.5] Si ₃ N ₄	0.059 [1.5] PCD ^c	0.059 [1.5] TC	0.055 [1.39] TC	0.059 [1.5] TC	0.098 [2.5] TC
hardness	<i>h</i>	HV2	1600 ± 100	1600 ± 100	≥ 4500 ^d	1600 ± 100	1600 ± 100	1600 ± 100	1600 ± 100
Maximum distance of ball indenter from the test piece surface when measuring velocity	<i>H</i>	in. [mm]	0.079 [2.0]	0.079 [2.0]	0.079 [2.0]	0.079 [2.0]	0.079 [2.0]	0.079 [2.0]	0.118 [3.0]

^a Impact direction: vertical down, in the direction of gravity.

^b TC = tungsten carbide.

^c PCD = polycrystalline diamond.

^d The hardness of the impact body E indenter is informational, not required to be verified.

Figura AIII.2. Normativa ASTM A956

((PDF) Designación: (A956/A956M-17a))


A956/A956M – 17a

Impact Device	Surface Finish—Ra (max)	Grit Size (Approx.)
D, DC, D+15, DL, S, E	78.7 μm [2 μm]	200
G	275.6 μm [7 μm]	65
C	15.7 μm [0.4 μm]	500

7.5 Magnetic Fields—Performance of the Leeb hardness test on parts with a residual magnetic field may affect the results. It is recommended that any residual magnetic field be less than 4 G.

7.6 Vibration—Vibration of the test specimen may affect the results of the Leeb hardness test. It is recommended that this test be performed with the test piece at rest.

7.7 Temperature—The temperature of the test piece may affect the results of the test. In addition, this effect may be different for different materials. Testing to this procedure shall be performed with the temperature of the test piece between 39 °F [4 °C] and 100 °F [38 °C]. At temperatures outside this range, the user shall develop a temperature correction for the specific material being tested.

8. Verification of Apparatus

8.1 Verification Method—Prior to each shift, work period, or use, and following a period of extended continuous use (1000 impacts), the instrument shall be verified as specified in Part B. Any instrument not meeting the requirements of Part B shall not be employed for the acceptance testing of product.

8.1.1 Cautionary note: When replacement parts are used in a Leeb hardness tester it is important that they be fully compatible with the original equipment, otherwise incorrect hardness readings may be obtained. Calibration using a single standard test block may indicate acceptable results, but additional calibration tests using blocks of differing hardness may yield unacceptable results. If replacement, non-original equipment parts are used, multiple block calibration verification is strongly advised. Specifically, one calibration block of a hardness equal to or lower than the minimum expected hardness of the material being tested, one calibration block of a hardness equal to or greater than the maximum expected hardness of the material being tested, and one calibration block near the middle of the range should be used.

9. Procedure

9.1 To perform a hardness test, the impact device is connected to the user interface device and powered on.

9.1.1 The impact device is readied for impact.

9.1.1.1 Mechanically Charged Device—Some impact devices are charged mechanically by pulling the impact body against a spring or other mechanism that propels the impact body at the prescribed velocity. The impact device, while not in contact with the test piece, is held firmly with one hand while the charging mechanism is activated with the other hand. Once the impact body is in the charged position the charging mechanism is allowed to slowly return to its resting position.

9.1.1.2 Otherwise Charged Device—Devices that are not charged mechanically may use gravity or other force application method to propel the impact body at the prescribed velocity. Charging of these devices should be conducted according to manufacturer's instructions.

9.1.2 After placing the readied (loaded) impact device on the test surface, trigger the impact by actuating the release mechanism according to manufacturer's instructions.

9.1.3 The Leeb hardness value is displayed or otherwise used by a user interface device after the impact.

NOTE 2—The user interface device may take the form of a computer or PLC that does not display the hardness value directly to the user. Such a user interface device may use the hardness value to operate an automatic sorting machine or simply log the value in a database.

9.2 Alignment—To prevent errors resulting from misalignment, the base support ring of the impact device shall be held snugly and perpendicular to the surface of the test piece.

9.3 Impact Direction—The impact device is calibrated for the down vertical impact direction (perpendicular to a horizontal surface). For other impact directions such as 45° from the horizontal plane or from underneath, the measured hardness values will require adjustment (see 10.2). Some newer models automatically compensate for test direction.

9.4 Spacing Indentations—The distance between any two impact points shall not be less than two diameters edge-to-edge. The distance between the impact point and a specimen edge shall not be less than three diameters edge-to-edge. No point shall be impacted more than once.

9.5 Reading the Leeb Instrument—Hardness values in Leeb units are read directly on the electronic display of the indicator device. The indicated value is automatically replaced with the next test impact result.

9.6 Number of Impacts—Five impacts in an area of approximately 1 in.² [645 mm²] shall constitute a test. If the material being tested is considered to be nonhomogeneous (for example, cast iron) ten impacts in an area shall be made to constitute a test.

10. Calculation of Hardness Result

10.1 The hardness test result shall be the arithmetic average of the five individual impact readings in the measuring area.

10.2 Compensation for Test Direction—When using a Leeb instrument without automatic compensation for test direction, the compensation value for direction of test impact is to be subtracted from the average value determined for the measuring area. This compensation value can be determined in accordance with Tables 2-9.

11. Conversion to Other Hardness Scales or Tensile Strength Values

11.1 There is no direct correlation between the Leeb hardness test principle and other hardness methods or a tensile strength test. All such conversions are, at best, approximations and therefore conversions should be avoided except for special cases where a reliable basis for the approximate conversion and the accuracy of the conversion has been obtained by comparison testing. No conversions shall be employed without specific agreement between the party specifying this test method and the party performing the hardness test.

Figura AIII.3. Normativa ASTM A956

((PDF) Designación: (A956/A956M-17a))


A956/A956M – 17a
**TABLE 2 Compensation Values for Other Impact Directions:
Device D**

L_D				
300				
350	-6	-12	-20	-29
400	-6	-12	-19	-27
450	-5	-11	-18	-25
500	-5	-10	-17	-24
550	-5	-10	-16	-22
600	-4	-9	-15	-20
650	-4	-8	-14	-19
700	-4	-8	-13	-18
750	-3	-7	-12	-17
800	-3	-6	-11	-16
850	-3	-6	-10	-15
900	-2	-5	-9	-14

**TABLE 4 Compensation Values for Other Impact Directions:
Device E**

L_E				
300				
350	-5	-9	-18	-26
400	-4	-9	-17	-24
450	-4	-9	-16	-22
500	-4	-8	-15	-21
550	-4	-8	-14	-20
600	-4	-8	-13	-18
650	-3	-7	-12	-17
700	-3	-7	-12	-16
750	-3	-6	-11	-15
800	-3	-6	-10	-14
850	-3	-5	-9	-13
900	-2	-5	-8	-12

**TABLE 3 Compensation Values for Other Impact Directions:
Device D + 15**

L_{D+15}				
300				
350	-7	-14	-26	-38
400	-7	-13	-25	-36
450	-6	-12	-23	-34
500	-6	-12	-22	-32
550	-6	-11	-21	-30
600	-6	-11	-20	-28
650	-5	-10	-19	-27
700	-5	-10	-18	-25
750	-5	-9	-17	-24
800	-4	-9	-16	-22
850	-4	-8	-15	-21
900	-4	-8	-14	-20

**TABLE 5 Compensation Values for Other Impact Directions:
Device C**

L_C				
350				
400	-7	-15	^	^
450	-7	-14		
500	-7	-13		
550	-6	-13		
600	-6	-12		
650	-6	-11		
700	-5	-10		
750	-5	-10		
800	-4	-9		
850	-4	-8		
900	-4	-7		
950	-3	-6		

^ Not permitted.

12. Report

12.1 Report the following information:

12.1.1 The average Leeb hardness number for each test area with the impact device indicated (for example, xxx *HLD* or xxx *HLD+15*).12.1.2 When hardness values converted from the Leeb number are reported, the instrument used shall be reported in parentheses, for example, *HB (HLG)*.**13. Precision and Bias³**13.1 The precision of this test method is based on an interlaboratory study of **E140**, Standard Hardness Conversion³ Supporting data have been filed at ASTM International Headquarters and may be obtained by requesting Research Report RR:E28-1044. Contact ASTM Customer Service at service@astm.org.**Figura AIII.4. Normativa ASTM A956**

((PDF) Designación: (A956/A956M-17a))


A956/A956M – 17a
**TABLE 6 Compensation Values for Other Impact Directions:
Device G (Steel)**

L_G				
300	...	...	-12	-18
350	...	...	-11	-17
400	...	...	-11	-16
450	-2	-5	-10	-15
500	...	...	-9	-14
550	...	...	-9	-13
600	...	...	-8	-12
650	...	...	-8	-11
700	...	...	-7	-10
750	...	...	-7	-10

**TABLE 7 Compensation Values for Other Impact Directions:
Device G (Grey Cast Iron)**

L_G				
350	...	...	-11	-17
400	...	...	-11	-16
450	-2	-5	-10	-15
500	...	...	-9	-14
550	...	...	-9	-13
600	...	...	-9	-13

**TABLE 8 Compensation Values for Other Impact Directions:
Device DL**

L_{DL}				
550	-3	-6	-11	-16
600	-3	-5	-9	-14
650	-2	-5	-8	-13
700	-2	-4	-7	-11
750	-2	-3	-6	-10
800	-1	-3	-5	-9
850	-1	-2	-4	-7
900	-1	-2	-3	-6
950	-1	-2	-3	-6

Tables for Metals Relationship Among Brinell Hardness, Vickers Hardness, Rockwell Hardness, Superficial Hardness, Knoop Hardness, Scleroscope Hardness, and Leeb Hardness,

**TABLE 9 Compensation Values for Other Impact Directions:
Device S**

L_S				
400	-4	-9	-16	-23
450	-4	-8	-15	-22
500	-4	-8	-14	-21
550	-4	-7	-13	-19
600	-3	-7	-12	-18
650	-3	-7	-12	-16
700	-3	-6	-11	-15
750	-3	-6	-10	-14
800	-3	-5	-9	-12
850	-2	-5	-8	-11
900	-2	-5	-7	-10
950	-2	-5	-7	-10

conducted in 2006. Six laboratories tested five unique blocks at varying hardness levels. Every “test result” represents an individual determination and nine replicate test results were reported by each lab for each level. Practice E691 was followed for the design and analysis of the data; the details are given in ASTM Research Report RR:E28-1044.

13.1.1 *Repeatability (r)*—The difference between repetitive results obtained by the same operator in a given laboratory applying the same test method with the same apparatus under constant operating conditions on identical test material within short intervals of time would, in the long run, in the normal and correct operation of the test method, exceed the following values only in 1 case in 20.

13.1.1.1 Repeatability can be interpreted as maximum difference between two results, obtained under repeatability conditions, that is accepted as plausible due to random causes under normal and correct operation of the test method.

13.1.1.2 Repeatability limits are listed in Table 10.

13.1.2 *Reproducibility (R)*—The difference between two single and independent results obtained by different operators applying the same test method in different laboratories using different apparatus on identical test material would, in the long run, in the normal and correct operation of the test method, exceed the following values only in 1 case in 20.

13.1.2.1 Reproducibility can be interpreted as maximum difference between two results, obtained under reproducibility conditions, that is accepted as plausible due to random causes under normal and correct operation of the test method.

13.1.2.2 Reproducibility limits are listed in Table 10.

13.1.3 The above terms (repeatability limit and reproducibility limit) are used as specified in Practice E177.

13.1.4 Any judgment in accordance with statements 13.1.1 and 13.1.2 would have an approximate 95 % probability of being correct.

Figura AIII.5. Normativa ASTM A956

((PDF) Designación: (A956/A956M-17a))



A956/A956M – 17a

TABLE 10 Hardness

Material	Average ^A	Repeatability Standard Deviation	Reproducibility Standard Deviation	Repeatability Limit	Reproducibility Limit
	\bar{x}	S_r	S_R	r	R
Blocks 0521, 0520, and 0519 – Level 1 hardness	795.7	3.4	6.5	9.5	18.1
Blocks 0518, 0517, and 0516 – Level 2 hardness ^A	728.9	4.1	5.9	11.6	16.6
Blocks 0515, 0514, and 0513 – Level 3 hardness	674.7	2.7	4.4	7.5	12.4
Blocks 0512, 0511, and 0510 – Level 4 hardness	595.9	2.4	5.1	6.8	14.4
Blocks 059, 058, and 057 – Level 5 hardness ^A	512.8	3.0	8.0	8.5	22.5

^A Data from only five laboratories used.

13.2 *Bias*—At the time of the study, there was no accepted reference material suitable for determining the bias for this test method, therefore no statement on bias is being made.

13.3 The precision statement was determined through statistical examination of 252 results, from 6 laboratories, on blocks representing 5 levels of hardness. These five levels have been described as the following:

Level 1: 800 HLD

Level 2: 720 HLD

Level 3: 670 HLD

Level 4: 600 HLD

Level 5: 520 HLD

13.3.1 To judge the equivalency of two test results, it is recommended to choose the level closest in characteristics to the test level.

B. VERIFICATION OF LEEB HARDNESS INSTRUMENTS

14. Scope

14.1 Part B covers the procedure for verification of Leeb hardness instruments by a standardized block method.

15. General Requirements

15.1 Before a Leeb hardness instrument is verified, the instrument shall be examined to ensure that:

15.1.1 The batteries in the indicating device are not discharged, and faulty batteries are replaced as required.

15.1.2 The impact device is clean, and the spherical tip of the impact body is free from all foreign matter (for example, dust, dirt, grease, scale, etc.).

15.1.3 The tip of the impact body is free from cracks or deformed areas.

15.1.4 The test block is placed on a clean, level, firmly supported base.

16. Verification by Standardized Test Blocks

16.1 Check the Leeb hardness instrument by making two impacts on a standardized test block.

16.2 The Leeb hardness instrument shall be considered verified if the individual readings fall within ± 6 HL units of the reference value. Any instrument not verified shall not be used for testing without repair and re-verification.

C. CALIBRATION OF STANDARDIZED HARDNESS TEST BLOCKS FOR LEEB HARDNESS INSTRUMENTS

17. Scope

17.1 Part C covers the calibration of standardized hardness test blocks used for the verification of Leeb hardness instruments.

18. Manufacture

18.1 Each test block shall be made of steel with dimensions not less than 3.543 in. [90 mm] in diameter by 2.126 in. [54 mm] thick for impact devices *D*, *DC*, *D+15*, *DL*, *C*, *S*, and *E* and 4.724 in. [120 mm] in diameter by 2.756 in. [70 mm] thick for impact device *G*. The two opposite end plane surfaces shall be parallel.

18.2 Each block shall be specifically prepared and heat treated to give a specific hardness and the necessary homogeneity and stability of structure.

18.3 Each steel block shall be demagnetized by the manufacturer and maintained demagnetized by the user.

18.4 A non-test surface of the test block shall have a fine ground finish of 276 μin . [7 μm] maximum.

18.5 The test surface(s) shall be polished or fine ground and free of scratches and other discontinuities which would influence the rebound characteristics of the test block.

18.6 The surface finish of the test surface(s) shall not exceed 16 μin . [0.4 μm] maximum.

18.7 To ensure that no material is subsequently removed from the test surface(s) of the standardized test block, an official mark or the thickness to an accuracy of ± 0.001 in. [± 0.025 mm] at the time of calibration shall be marked on the test surface(s).

19. Standardizing Procedure

19.1 The standardizing hardness test blocks shall be calibrated with a Leeb instrument for which the operational characteristics have been certified by the manufacturer and which has been verified in accordance with the requirements of Part B.

Copyright by ASTM Int'l (all rights reserved); Fri Feb 8 14:56:01 EST 2019

Downloaded/printed by

Universidad Pontificia Bolivariana (Universidad Pontificia Bolivariana) pursuant to License Agreement. No further reproductions authorized.

Figura AIII.6. Normativa ASTM A956

((PDF) Designación: (A956/A956M-17a))


A956/A956M – 17a

19.2 Make ten uniformly distributed hardness impacts on the test surface of the test block.

19.3 Take the arithmetic mean of all of the readings as the mean hardness of the calibrated test block surface.

19.4 Leeb test blocks may be calibrated on one or both of the opposite end plane surfaces.

20. Uniformity of Hardness

20.1 Unless the difference between the largest and the smallest of the ten readings is less than 13 Leeb units, the block cannot be regarded as sufficiently uniform for standardization purposes.

21. Marking

21.1 Each block shall be marked with:

21.1.1 Arithmetic mean of the hardness values found in the standardization test suffixed by the scale designation letter (for example, *HLD*).

21.1.2 The name or mark of the supplier.

21.1.3 The thickness of the test block.

22. Keywords

22.1 dynamic hardness test; Equotip; Equotip hardness test; Leeb; rebound hardness test

APPENDICES

(Nonmandatory Information)

X1. STANDARD SINGLE COIL REBOUND HARDNESS TESTERS ACCORDING TO THE LEEB PRINCIPLE

X1.1 General Description

X1.1.1 There are eight established types of impact devices for rebound hardness testers according to the Leeb principle: *D*, *DC*, *E*, *D+15*, *DL*, *C*, *S*, and *G*. The impact devices *D* and *E* have become industry standards for general purpose applications since the first introduction of the *D*-device in 1975. The other types have been added with the time for applications with special requirements. For more details, see X1.4.

X1.1.2 It is well known that the *L*-readings for a given specimen differ significantly, depending on the impact device type used. The main reasons for this are:

- X1.1.2.1 Different impact energies;
- X1.1.2.2 Different sizes and materials of the indenter; and
- X1.1.2.3 Different stiffnesses of the impact bodies.

X1.1.3 One important advantage of the Leeb testing method is, that it can be used for any direction. The results are, however, not completely independent on the impact angle. Each of the standard probes has its own characteristic direction dependency, which is determined by:

X1.1.3.1 The combination of the impact velocity and the free flight length of the impact body; and

X1.1.3.2 The shape of the induction voltage signal, which is determined by the velocity versus time curve on the one hand and by the characteristics of the sensor coil and the permanent magnet on the other hand.

X1.1.4 For the standard single coil rebound hardness testing devices, a typical induction voltage curve is sketched in Fig. X1.2 where the shape of this curve is unique for all impact devices of this type. The impact and rebound velocities are assumed to be proportional to the extreme values *A* and *B* of the signal curve, which is a good approximation, if the device is constructed so, that the extremes are near the signal step caused by the impact. If they are too near, however, the reproducibility of the measurement suffers, because the signal is often disturbed short after the impact. The width of the signal curve has some influence on the result, because it determines, how good the proportionality between minimum value *B* and rebound velocity is.

X1.1.5 Another parameter of paramount importance determining the actual *L* value for a material of a given hardness is the impact energy, which follows from the impact velocity, the mass of the impact body, and its stiffness (which determines how much energy the impact body absorbs). In order to reproduce the standard direction dependency, it is necessary to specify velocity and mass separately and to have a specific free flight length. This means that the impact energy in general is the most important parameter for significance of *L*-values for all rebound hardness testers working in units of the eight different standard impact devices listed in 6.1 and given in Table X1.1. Furthermore, the *L* value depends on the geometry

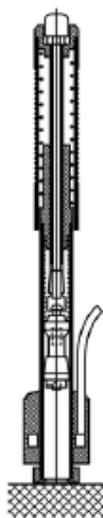


FIG. X1.1 Impact Device D

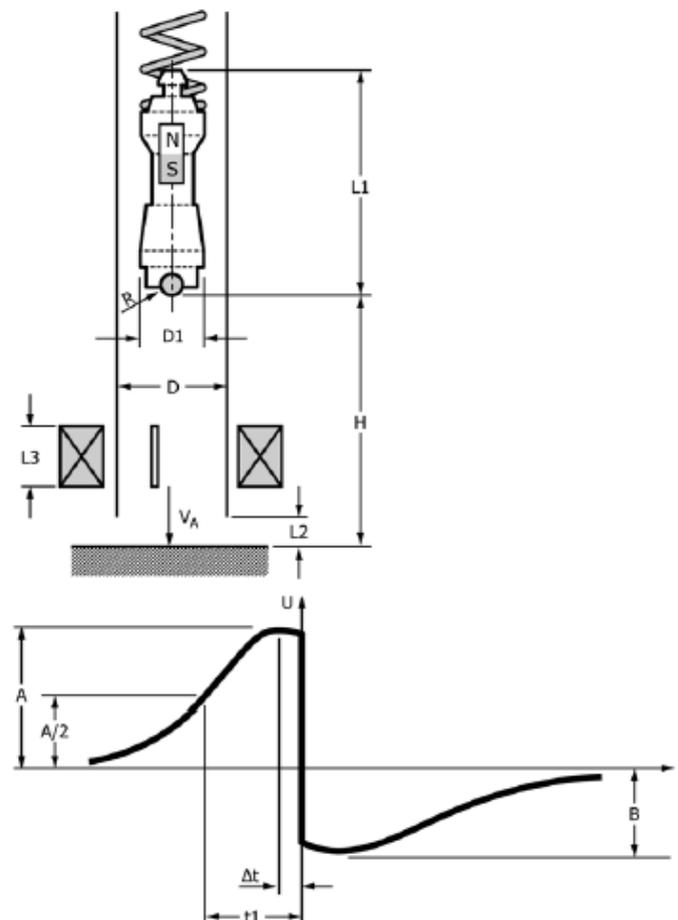
Copyright by ASTM Int'l (all rights reserved); Fri Feb 8 14:56:01 EST 2019 7

Downloaded/printed by

Universidad Pontificia Bolivariana (Universidad Pontificia Bolivariana) pursuant to License Agreement. No further reproductions authorized.

Figura AIII.7. Normativa ASTM A956

((PDF) Designación: (A956/A956M-17a))


A956/A956M – 17a

FIG. X1.2 Principle of Standard Single Coil Leeb Hardness Testers
TABLE X1.1 Specifications of Standard Single Coil Leeb Hardness Testing Devices

Property	Symbol	Unit	D/DC	S	E	D+15	DL	C	G
Impact velocity ^A	v_A	ft/s [m/s]	6.73 [2.05] ± 5%	6.73 [2.05] ± 5%	6.73 [2.05] ± 5%	5.58 [1.7] ± 5%	5.97 [1.82] ± 5%	4.56 [1.39] ± 5%	9.78 [2.98] ± 5%
Impact body, mass	M	oz [g]	0.192 ± 0.002 [5.45 ± 0.05]	0.190 ± 0.002 [5.40 ± 0.05]	0.192 ± 0.002 [5.45 ± 0.05]	0.273 ± 0.002 [7.75 ± 0.05]	0.256 ± 0.002 [7.25 ± 0.05]	0.109 ± 0.002 [3.1 ± 0.05]	0.705 ± 0.002 [20.00 ± 0.05]
material: St 18/B, nonmagnetic									
Free flight length	H	in. [mm]	0.315 ± 0.039 [8 ± 1]	0.315 ± 0.039 [8 ± 1]	0.315 ± 0.039 [8 ± 1]	0.315 ± 0.039 [8 ± 1]	0.315 ± 0.039 [8 ± 1]	0.315 ± 0.039 [8 ± 1]	0.591 ± 0.039 [15 ± 1]
Tube material: aluminum, nonmagnetic									
Eddy current slit			yes	no	no	yes	yes	yes	no
Indenter, radius	R	in. [mm]	0.059 [1.5] TC ^B	0.059 [1.5] Si ₃ N ₄	0.059 [1.5] PKD ^C	0.059 [1.5] TC	0.055 [1.39] TC	0.059 [1.5] TC	0.098 [2.5] TC
material									
hardness	h	HV	1600 (typ)	1600 (typ)	≥4500 (typ)	1600 (typ)	1600 (typ)	1600 (typ)	1600 (typ)
Induction signal, peak position	t1	ms	2.5 ± 30 %	2.5 ± 30 %	2.5 ± 30 %	2.5 ± 30 %	2.5 ± 30 %	4.0 ± 30 %	2.0 ± 30 %
half width	Δt	ms	0.55 ± 0.15	0.55 ± 0.15	0.55 ± 0.15	0.55 ± 0.15	0.55 ± 0.15	0.62 ± 0.20	0.55 ± 0.15

^A Impact direction: vertical down.

^B TC = tungsten carbide.

^C PCD = polycrystalline diamond.

Copyright by ASTM Int'l (all rights reserved); Fri Feb 8 14:56:01 EST 2019 8

Downloaded/printed by

Universidad Pontificia Bolivariana (Universidad Pontificia Bolivariana) pursuant to License Agreement. No further reproductions authorized.

Figura AIII.8. Normativa ASTM A956

((PDF) Designación: (A956/A956M-17a))


A956/A956M – 17a

of the indenter and its material properties, predominantly hardness and elasticity.

X1.1.6 Finally, the effect of deceleration by eddy currents may affect the result. So the tube material must be specified, too, as well as special precautions have to be taken to reduce eddy currents.

X1.2 Specifications of Standard Single Coil Hardness Testers

X1.2.1 Table X1.1 compiles the relevant specification for impact devices *D/DC*, *E*, *D+15*, *DL*, *C*, *S*, and *G*. Coil and permanent magnet are not explicitly specified. They have to be chosen in such a way, that the specified parameters of the induction voltage signal are fulfilled. For the definition of some of the parameters refer to Fig. X1.2.

X1.3 Impact Direction Compensation

X1.3.1 Rebound hardness testing devices designed according to the above specifications will not only give correct readings for vertical downward impacts, but will also have a characteristic dependency on the impact angle as shown in Tables X1.2-X1.9.

X1.3.2 Tables X1.2-X1.9 can be used for instruments determining only the velocity ratio in order to compensate the readings manually for other directions than vertically down. With microprocessor controlled instruments, the user may set the impact direction and the instrument can determine and display the appropriately compensated values automatically. Instruments containing some means for determining the impact angle can make a fully automatic direction compensation, eliminating the possibility of incorrect instrument settings by the user.

TABLE X1.2 Impact Direction Compensations, Probe D/DC

L_D				
300	-6	-12	-20	-29
350	-6	-12	-19	-27
400	-5	-11	-18	-25
450	-5	-10	-17	-24
500	-5	-10	-16	-22
550	-4	-9	-15	-20
600	-4	-8	-14	-19
650	-4	-8	-13	-18
700	-3	-7	-12	-17
750	-3	-6	-11	-16
800	-3	-6	-10	-15
850	-2	-5	-9	-14
900	-2	-5	-9	-14

TABLE X1.3 Impact Direction Compensations, Probe E

L_E				
300	-5	-9	-18	-26
350	-4	-9	-17	-24
400	-4	-9	-16	-22
450	-4	-8	-15	-21
500	-4	-8	-14	-20
550	-4	-8	-13	-18
600	-3	-7	-12	-17
650	-3	-7	-12	-16
700	-3	-6	-11	-15
750	-3	-6	-10	-14
800	-3	-5	-9	-13
850	-2	-5	-8	-12
900	-2	-5	-8	-12

TABLE X1.4 Impact Direction Compensations, Probe D+15

L_D				
300	-7	-14	-26	-38
350	-7	-13	-25	-36
400	-6	-12	-23	-34
450	-6	-12	-22	-32
500	-6	-11	-21	-30
550	-6	-11	-20	-28
600	-5	-10	-19	-27
650	-5	-10	-18	-25
700	-5	-9	-17	-24
750	-4	-9	-16	-25
800	-4	-8	-15	-21
850	-4	-8	-14	-20
900	-4	-8	-14	-20

X1.4 Guidelines for Selection and Use of the Different Impact Devices

Impact Device *D*
 max. hardness up to 68 HRC dimensions \varnothing 0.787 x 5.787 in. [20 x 147 mm]

X1.4.1 The universal unit for the majority of hardness measurements with a wide measuring range. Applications on steel and cast steel, cold work tool steel, stainless steel, cast iron (lamellar and nodular graphite), cast aluminum alloys,


A956/A956M – 17a
TABLE X1.5 Impact Direction Compensations, Probe C

L_c		
300		
350	-7	-15
400	-7	-14
450	-7	-13
500	-6	-13
550	-6	-12
600	-6	-11
650	-5	-10
700	-5	-10
750	-4	-9
800	-4	-8
850	-4	-7
900	-3	-6

TABLE X1.6 Impact Direction Compensations, Probe G, Steel

L_D				
300				
350	-2	-5	-12	-18
400	-2	-5	-11	-17
450	-2	-5	-11	-16
500	-2	-5	-10	-15
550	-2	-5	-9	-14
600	-2	-5	-9	-13
650	-2	-5	-8	-12
700	-2	-5	-8	-11
750	-2	-5	-7	-10

brass, bronze, wrought copper alloys low alloyed. Impact bodies tend to wear out at the high end of hardness range.

max. hardness up to 68 HRC
 Impact Device DC
 dimensions \varnothing 0.787 × 3.386 in. [20 × 86 mm]

X1.4.2 Short impact device which has the same properties and applications like the impact device *D*. Special applications in very confined spaces like holes, cylinders or measurements inside of assembled machines and constructions.

max. hardness up to 68 HRC
 Impact Device D+15
 dimensions \varnothing 0.787 × 6.378 in. [20 × 162 mm]

X1.4.3 Same range of applications like *D/DC* but particularly is slim front section which allows hardness measure-

TABLE X1.7 Impact Direction Compensations, Probe G, Cast Materials

L_c				
350				
400	-2	-5	-11	-17
450	-2	-5	-11	-16
500	-2	-5	-10	-15
550	-2	-5	-9	-14
600	-2	-5	-9	-13

TABLE X1.8 Impact Direction Compensations, Probe DL

L_D				
550				
600	-3	-6	-11	-16
650	-3	-5	-10	-14
700	-2	-5	-9	-13
750	-2	-4	-7	-12
800	-2	-3	-6	-10
850	-2	-3	-5	-9
900	-2	-2	-4	-7
950	-2	-2	-3	-6

ments in holes and grooves and on recessed surfaces (elongated impact body and coil position 15 mm elevated).

max. hardness up to 646 HB
 Impact Device G
 dimensions \varnothing 1.181 × 10 in. [30 × 254 mm]

X1.4.4 Increased impact energy (approximately 9 times of that for the standard impact device *D*). Application in the Brinell-range on heavy coarse grained castings and forgings, on steel and cast steel, cast iron (lamellar and nodular graphite) and cast aluminium. Requires less surface finish than impact device *D* for accurate readings.

max. hardness up to 72 HRC
 Impact Device E
 dimensions \varnothing 0.787 × 6.102 in. [20 × 155 mm]

X1.4.5 Spherically shaped synthetic diamond (approximately 5000 HV) tipped impact body. Same materials to be tested like standard *D* unit but at extended hardness range. Applications for measurement in the high end range, for example, on steel and cast steel, stainless steel, cold work tool steel with carbide inclusions and on rolls in the hardness range up to 1200 HV. Impact bodies show no wear even at high hardness levels when compared to *D* device.

max. hardness up to 70 HRC
 Impact Device C
 dimensions \varnothing 0.787 × 5.551 in. [20 × 141 mm]

Figura AIII.10. Normativa ASTM A956

((PDF) Designación: (A956/A956M-17a))


A956/A956M – 17a
TABLE X1.9 Impact Direction Compensations, Probe S

L_{25}				
400				
450	-4	-9	-16	-23
500	-4	-8	-15	-22
550	-4	-8	-14	-21
600	-4	-7	-13	-19
650	-3	-7	-12	-18
700	-3	-7	-12	-16
750	-3	-6	-11	-15
800	-3	-6	-10	-14
850	-2	-5	-9	-12
900	-2	-5	-8	-11
950	-2	-5	-7	-10

X1.4.6 Reduced impact energy (approximately $\frac{1}{4}$ of that for impact device *D*) and therefore covers slightly wider hardness

range than device *D*. Applications on surface hardened components, coatings. Min. layer thickness of 0.012 in. [0.3 mm]. Applications on walled or impact sensitive components (small measuring indentation) too. Measurements on steel and cast steel, cold work tool steel and cast aluminum alloys. Requires better surface finish than impact device *D*.

Impact Device *DL*
 max. hardness up to 68 HRC dimensions \varnothing 0.787 × 7.953 in. [20 × 202 mm]

X1.4.7 Same range of applications like *D+15* but has the speciality of slimmer front section (\varnothing 0.157 × 1.969 in. [4 × 50 mm]) for use in confined spaces and at the base of grooves, drill holes, and gears respectively.

Impact Device *S*
 max. hardness up to 70 HRC dimensions \varnothing 0.787 × 6.102 in. [20 × 155 mm]

X1.4.8 Spherically shaped silicon nitride (approximately 1600 HV) tipped impact body. Same materials to be tested like standard *D* unit but at extended hardness range. Applications for measurement in the high end range, for example, on steel and cast steel, stainless steel, cold work tool steel with carbide inclusions and on rolls in the hardness range up to 1200 HV. Impact bodies show minimal wear even at high hardness levels when compared to *D* device.

X2. GENERAL DESCRIPTION AND TEST PROCEDURE FOR LEEB HARDNESS TEST ACCORDING TO THE MULTIPLE-COIL INSTRUMENT

X2.1 Scope

X2.1.1 The patented rebound method by Krautkramer is a further development of the original Leeb method (see Appendix X1). The measurement readings determined by the latter method are erroneous due to gravitational acceleration and are not independent of direction. The results must therefore be correspondingly corrected. This disadvantage is not apparent in instruments which operate according to the Krautkramer rebound method.

X2.1.2 The direction-dependence of the measurement readings result essentially from:

X2.1.2.1 A kinematic error caused by gravitational force and friction (at the measurement location t_a resp. t_a'), if not measured within the impact time t_{00} (refer to Fig. X2.1); and

X2.1.2.2 A change in the effective, influencing energy depending on the position resp. direction being applied.

X2.1.3 The first effect is avoided by evaluation of a time signal correlated with location information of the impact body. It is of advantage to arrange the impact body (magnets) and the coil so that the impact signal as well as the rebound signal uses at least two zero transitions (in this case 3) of the induced voltage as support points for the evaluation of the curve. The complete curve is digitized for evaluation and mapped into the instrument's memory.

X2.1.4 The second effect is compensated by calibration of the impacting device in the various application positions and at various degrees of hardness.

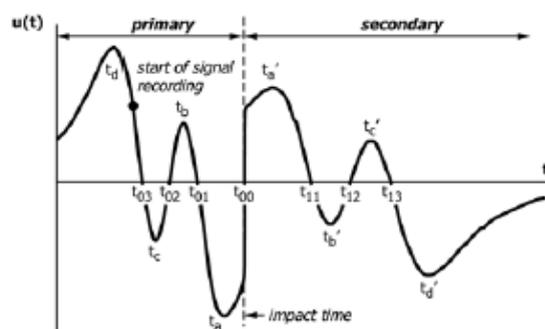


FIG. X2.1 Schematic Voltage Signal Generated by the Impact Body Travelling Through the Krautkramer Coil System

X2.2 General Description of Instruments and Test Procedure for Leeb Hardness Test According to the Krautkramer Instrument

X2.2.1 Compensation of Kinematic Error

X2.2.1.1 The signal curve according to Fig. X2.1 is produced during the impact and rebound trip of the impact body, using the sophisticated coil arrangement outlined in Fig. X2.2. The primary part of the curve (index prefixed with "0") is produced by the impact and the secondary part of the curve (indicated with the prefix "1") by the return trip. The moments t_{01} , t_{02} , t_{03} correspond to t_{11} , t_{12} , t_{13} , that is, at these times the

Figura AIII.11. Normativa ASTM A956

((PDF) Designación: (A956/A956M-17a))

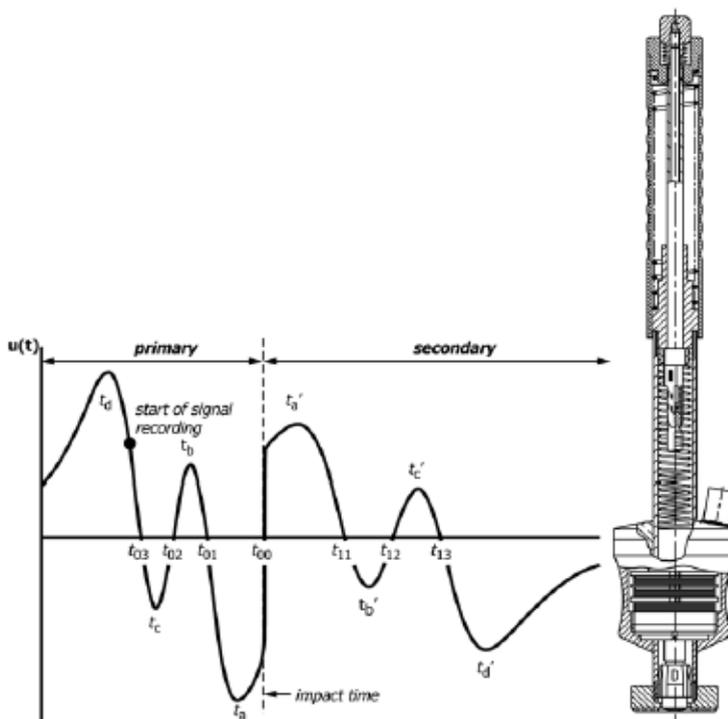


FIG. X2.2 Design of the Kraukramer Impact Device D

impact body is correspondingly at the same position $x(t_0) = x(t_1)$, also $x(t_{01}) = x(t_{11})$; $x(t_{02}) = x(t_{12})$ and $x(t_{03}) = x(t_{13})$.

X2.2.1.2 Using the magnetic flow through a coil with the surface A:

$$\Phi(t) = \int_A B(r,t) \cdot dA \quad (X2.1)$$

where:

- $B(r,t)$ = magnetic field,
- t = time, and
- r = position.

X2.2.1.3 The time progression of the coil voltage can be calculated:

$$u(t) = c(x(t))v(t) \quad (X2.2)$$

where:

- $c(x(t))$ = function of the position of the impact body, and
- $v(t)$ = velocity of the impact body.

X2.2.1.4 The ratio of the voltage at the moment of impact must be found, that is:

$$h = \frac{v_1(0)}{v_0(0)} \quad (X2.3)$$

X2.2.1.5 Using the reproduction law $t_1(t_0)$ produces $x(t_0) = x(t_1(t_0))$ also at the same position as $c(t_0) = c(t_1(t_0))$ which in turn produces:

$$\frac{u(t_1(t_0))}{u(t_0)} = \frac{c(x(t_1(t_0)))}{c(x(t_0))} \frac{v(t_1(t_0))}{v(t_0)} = \frac{v(t_1(t_0))}{v(t_0)} = v_{10}(t_0) \quad (X2.4)$$

X2.2.1.6 The ratio of the induction voltages is therefore the same as the ratio of the velocity to the corresponding times.

X2.2.1.7 Three curve points for the reproduction law $t_1(t_0)$ can be found after determination of the zero points from the measurement signal. The complete reproduction law is obtained by interpolation between these curve points so that the corresponding amplitude value $u(t_1)$ can be allocated to each voltage value $u(t_0)$ enabling the velocity ratio (except at the zero positions themselves) to be calculated. Finally extrapolation takes place at the required impact time. The starting point is the ratio t_a' / t_a which corresponds to the uncorrected measurement reading according to Leeb (see Appendix X1).

X2.2.1.8 The method guarantees a considerable tolerance with regard to the characteristics of the impact device enabling exchange of the impact body without any difficulty and without having to recalibrate the instrument. Only the mass must be kept within narrow tolerances. As opposed to this, the position of the zero points, and to a certain amount also the minimum at t_a , vary (magnetic field geometry) without causing any incorrect readings worth mentioning about.


A956/A956M – 17a
X2.2.2 Correction of the Impact Energy at Different Impact Directions and Production Tolerances of the Impact Devices

X2.2.2.1 The impact devices are calibrated in order to compensate the dependence of the velocity ratio on the impact energy as well as the differences in the mechanical design of the impact device. To do this, the rebound values are measured, as described above, on two hardness reference blocks having different, known hardness values. Three measurements are made for each of the five impact directions, +90° (vertically downwards), +60°, 0° (horizontal), -60° and -90° (vertically upwards). In addition to the hardness, the time interval Δt between the zero transitions t_{03} and t_{01} is recorded in units having $\frac{1}{64}$ scanning steps (approximately 0.7 μ s). This is a measure for the velocity of the impact body: high velocities correspond to small Δt , lower velocities to large Δt . Owing to the different orientations during the measurement sequence, one obtains complete coverage of the impact energy range occurring when in operation.

X2.2.2.2 The difference Δh between the uncalibrated, measured Leeb hardness and the prespecified reference block hardness against Δt is plotted for all measurement points and

both the resulting relationships are corrected by straight lines. The gradients of the correction lines are stored in the serial EPROM in the impact device together with the reference block hardness and the position (Δt_0 , Δh_0) of the intersection points of both lines.

X2.2.2.3 If the measurement produces an uncalibrated hardness in Leeb according to see **Appendix X1**, then the corresponding gradient of the correction lines are determined by linear interpolation of the gradient established during the calibration process.

X2.2.2.4 The dependence of the measurement reading on the changed friction is, within certain limits, also taken into consideration (in addition to the dependence on impact direction). Both effects lead to a change in impact energy. Furthermore, small differences, caused by production, in potential energy of the impact body in the tensioned state are compensated. Whereas the information about the required velocity correction is essentially contained in the line gradient, deviations of the probe's mechanical characteristics are essentially reflected in a vertical shift of the curve.

SUMMARY OF CHANGES

Committee A01 has identified the location of selected changes to this standard since the last issue (A956/A956M-17) that may impact the use of this standard. (Approved Nov. 1, 2017.)

(1) Replaced Section 13 with content that conforms to the form and style rules and with data from a documented source.

Committee A01 has identified the location of selected changes to this standard since the last issue (A956-12) that may impact the use of this standard. (Approved Sept. 1, 2017.)

(1) Designation change to A956/A956M to reflect the rationalized combined units.

(2) Revised 1.2 as per the Form and Style for ASTM Standards manual.

(3) In 3.1.2, added imperial units as per the Form and Style for ASTM Standards manual and added a note to explain that specification of impact devices and most manufacturing is done in metric units.

(4) In 4.1 and X1.4.2 – X1.4.8, added imperial units as per the Form and Style for ASTM Standards manual.

(5) In 7.2, 7.3, 7.4, 7.7, 9.6, 18.1, 18.4, 18.6, 18.7, and X1.4.1, corrected formatting as per the Form and Style for ASTM Standards manual.

(6) Replaced 9.1 with two subsections that cover alternate impact device designs. Added 9.1.2 and 9.1.3 to include matter from the old 9.1 that is not covered by the new subsections. **Note 2** may need to be renumbered based on other active ballot items for this standard.

(7) In X1.1.6, corrected spelling of “be.”

(8) In X1.4.1 and X1.4.6, corrected spelling of “aluminum.”

(9) In Table X1.1, added imperial units as per the Form and Style for ASTM Standards manual; corrected error where values for induction signal and half width were transposed.

(10) In 7.2, added columns to define limits for free-standing items and small/thin items that are “coupled” to larger items.

(11) In 18.5 – 18.7, added “(s)” to the word “surface” to indicate more than one surface may be a calibrated surface.

(12) 18.6 and 18.7 were reformatted to match ballot for dual units as per the Form and Style for ASTM Standards manual.

(13) In 19.2, changed “randomly” to “uniformly” since it is not possible to guarantee random distribution.

(14) In 19.3, added the words “calibrated” and “surface” to specify that only the tested surface or surfaces are considered calibrated parts of the test block.

(15) Added 19.4 to specifically state that it is permissible to calibrate two sides of the test block.

(16) Added new Table 1 and renumbered old Tables 1-8.

Figura AIII.13. Normativa ASTM A956

((PDF) Designación: (A956/A956M-17a))

 **A956/A956M – 17a**

ASTM International takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.

This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM International Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, at the address shown below.

This standard is copyrighted by ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States. Individual reprints (single or multiple copies) of this standard may be obtained by contacting ASTM at the above address or at 610-832-9585 (phone), 610-832-9555 (fax), or service@astm.org (e-mail); or through the ASTM website (www.astm.org). Permission rights to photocopy the standard may also be secured from the Copyright Clearance Center, 222 Rosewood Drive, Danvers, MA 01923, Tel (978) 646-2600; <http://www.copyright.com/>

Figura AIII.14. Normativa ASTM A956

((PDF) Designación: (A956/A956M-17a))

ANEXO IV

NORMATIVA ISO 21069-2 ENSAYOS DE LOS SISTEMAS DE FRENADO DE UN VEHICULO MEDIANTE FRENÓMETRO DE RODILLOS

INTERNATIONAL
STANDARD

ISO
21069-2

First edition
2008-05-01

Road vehicles — Test of braking systems on vehicles with a maximum authorized total mass of over 3,5 t using a roller brake tester —

Part 2:

Air over hydraulic and purely hydraulic braking systems

(standards.iteh.ai)

Véhicules routiers — Essai des systèmes de freinage des véhicules ayant une masse totale maximale autorisée supérieure à 3,5 t effectué sur banc d'essai de freinage à rouleaux —

Partie 2: Systèmes de freinage hydropneumatique et purement hydraulique



Reference number
ISO 21069-2:2008(E)

© ISO 2008

Figura AIV.1. Normativa ISO 21069-2

((PDF) Designación: ISO 21069-2:2008(E))

ISO 21069-2:2008(E)

PDF disclaimer

This PDF file may contain embedded typefaces. In accordance with Adobe's licensing policy, this file may be printed or viewed but shall not be edited unless the typefaces which are embedded are licensed to and installed on the computer performing the editing. In downloading this file, parties accept therein the responsibility of not infringing Adobe's licensing policy. The ISO Central Secretariat accepts no liability in this area.

Adobe is a trademark of Adobe Systems Incorporated.

Details of the software products used to create this PDF file can be found in the General info relative to the file; the PDF-creation parameters were optimized for printing. Every care has been taken to ensure that the file is suitable for use by ISO member bodies, in the unlikely event that a problem relating to it is found, please inform the Central Secretariat at the address given below.

iTeh STANDARD PREVIEW (standards.iteh.ai)

ISO 21069-2:2008

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/9f7ee1b9-9743-4b43-8d9e-5ee3f75fe84/iso-21069-2-2008>



COPYRIGHT PROTECTED DOCUMENT

© ISO 2008

All rights reserved. Unless otherwise specified, no part of this publication may be reproduced or utilized in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying and microfilm, without permission in writing from either ISO at the address below or ISO's member body in the country of the requester.

ISO copyright office
Case postale 56 • CH-1211 Geneva 20
Tel. +41 22 749 01 11
Fax +41 22 749 09 47
E-mail copyright@iso.org
Web www.iso.org

Published in Switzerland

Figura AIV.2. Normativa ISO 21069-2

(((PDF) Designación: ISO 21069-2:2008(E)))

Contents	Page
Foreword.....	iv
Introduction.....	v
1 Scope.....	1
2 Terms and definitions.....	1
3 Symbols.....	2
4 Test conditions and evaluations.....	3
4.1 General.....	3
4.2 Preparation of vehicle and roller brake tester.....	3
4.3 Calculation and evaluation of test data.....	3
4.4 Presentation of results.....	6
Annex A (normative) Technical requirements of roller brake tester.....	8
Annex B (informative) Periodic inspection of equipment and its documentation.....	12
Bibliography.....	14

iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

ISO 21069-2:2008

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/97ee1b9-9743-4b43-8d9e-5cc3f756284/iso-21069-2-2008>

Figura AIV.3. Normativa ISO 21069-2

((PDF) Designación: ISO 21069-2:2008(E))

ISO 21069-2:2008(E)

Foreword

ISO (the International Organization for Standardization) is a worldwide federation of national standards bodies (ISO member bodies). The work of preparing International Standards is normally carried out through ISO technical committees. Each member body interested in a subject for which a technical committee has been established has the right to be represented on that committee. International organizations, governmental and non-governmental, in liaison with ISO, also take part in the work. ISO collaborates closely with the International Electrotechnical Commission (IEC) on all matters of electrotechnical standardization.

International Standards are drafted in accordance with the rules given in the ISO/IEC Directives, Part 2.

The main task of technical committees is to prepare International Standards. Draft International Standards adopted by the technical committees are circulated to the member bodies for voting. Publication as an International Standard requires approval by at least 75 % of the member bodies casting a vote.

Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this document may be the subject of patent rights. ISO shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

ISO 21069-2 was prepared by Technical Committee ISO/TC 22, Road vehicles, Subcommittee SC 2, Braking systems and equipment.

ISO 21069 consists of the following parts, under the general title *Road vehicles — Test of braking systems on vehicles with a maximum authorized total mass of over 3,5 t using a roller brake tester*:

- Part 1: Pneumatic braking systems
- Part 2: Air over hydraulic and purely hydraulic braking systems

Figura AIV.4. Normativa ISO 21069-2

((PDF Designación: ISO 21069-2:2008(E)))

ISO 21069-2:2008(E)

Introduction

At present, UNECE Regulation No. 13 covers only some aspects of the periodic technical inspection of vehicles in use.

In order to fulfil the requirements of UNECE Regulation No. 13, paragraph 5.1.4, this part of ISO 21069 is designed to cover the periodic measurement of braking performance of vehicles in service.

This part of ISO 21069 specifies the test method whereby a roller brake tester is used to measure, evaluate and record the braking efficiency of road vehicles of categories M2, M3, N2, N3, O3 and O4 [as defined in UNECE Consolidated Resolution on the Construction of Vehicles (R.E.3.)] which are equipped with full power air over hydraulic or purely hydraulic braking systems. This part of ISO 21069 is also applicable for electronic braking systems (EBS).

iTeh STANDARD PREVIEW (standards.iteh.ai)

ISO 21069-2:2008

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/9f7ee1b9-9743-4b43-8d9e-5cc3f75e854/iso-21069-2-2008>

Figura AIV.5. Normativa ISO 21069-2

((PDF) Designación: ISO 21069-2:2008(E))

Road vehicles — Test of braking systems on vehicles with a maximum authorized total mass of over 3,5 t using a roller brake tester —

Part 2:

Air over hydraulic and purely hydraulic braking systems

1 Scope

This part of ISO 21069 describes a procedure that generates comparable measurement results in roller brake testing, such that the efficiency of the service braking system can be assessed reliably wherever the roller brake tests are performed.

The following items are covered in this part of ISO 21069:

- symbols and definitions;
- test methods;
- test conditions;
- test equipment required;
- accuracy of test equipment;
- data recording and calculation needed;
- presentation of results;
- assessment criteria for pass/fail.

The procedure described in this part of ISO 21069 is not applicable to passenger cars.

2 Terms and definitions

For the purposes of this document, the following terms and definitions apply.

2.1

braking force

force between the tyre and the rotating roller, produced at the circumference of the tyre during braking, which opposes the force generated at that interface by the roller brake tester in order to cause a rotation of the wheel

2.2

braking force imbalance

difference in the braking forces, measured with running wheels, between brakes on an axle

NOTE Braking force imbalance is expressed as a percentage of the higher force.

Figura AIV.6. Normativa ISO 21069-2

((PDF) Designación: ISO 21069-2:2008(E))

ISO 21069-2:2008(E)

2.3

braking force variation

difference between the maximum and minimum values of the braking force, measured over a single wheel revolution with a constant actuation force

NOTE Braking force variation is expressed as a percentage of the higher force.

2.4

roller brake tester

measuring machine consisting of two pairs of powered rollers used for the assessment of a vehicle's braking performance

NOTE The assessment is made by measuring the braking force between tyres and drive rollers for each wheel/twin wheel, either simultaneously or independently, while the wheels of the vehicle axle are being driven and supported by rollers.

3 Symbols

Table 1 — General symbols

Symbol	Definition	Unit
F_{Bi}	extrapolated braking forces at brake actuator pressure $p_{A,lad}$	N
$\sum F_{Bi}$	sum of all F_{Bi} on all axes	N
F_{Hi}	braking force at the circumference of tyres on axle i at brake actuator pressure $p_{A,Hi}$	N
F_i	braking force at the circumference of tyres on axle i	N
F_{Li}	braking force at the circumference of tyres on axle i at brake actuator pressure $p_{A,Li}$	N
F_M	total normal static reaction of road surface on all wheels of the individual motor vehicle, or corresponding to F_i	N
$F_{M,max}$	maximum permissible F_M	N
F_R	total normal static reaction of road surface on all wheels of the individual trailer vehicle	N
$F_{R,max}$	maximum permissible normal static reaction of fully laden trailer vehicle	N
p_A	brake actuator pressure	kPa
$p_{A,Hi}$	high applicable brake actuator pressure on axle i	kPa
$p_{A,lad}$	design brake actuator pressure of laden vehicle on axle i (for extrapolation purposes)	kPa
$p_{A,Li}$	low brake actuator pressure on axle i	kPa
R_f	ratio at the braking force line	—
R_p	ratio at the brake actuator pressure	—
z	braking rate	—
$z_{M,lad}$	braking rate of laden motor vehicle	—
$z_{R,lad}$	braking rate of laden trailer vehicle	—

NOTE Subscript i indicates axes 1, 2, 3, ... n , respectively.

Figura AIV.7. Normativa ISO 21069-2

((PDF) Designación: ISO 21069-2:2008(E))

Table 2 — Symbols specific to air over hydraulic (A/H) braking systems

Symbol	Definition	Unit
C_F	conversion factor A/H converter front	—
C_R	conversion factor A/H converter rear	—
p_F	pneumatic pressure at front axle	Pa
p_{HF}	hydraulic pressure at front axle	Pa
p_{HR}	hydraulic pressure at rear axle	Pa
p_R	pneumatic pressure at rear axle	Pa
P_{RATIO}	pressure attenuation ratio of load-conscious valve	Pa/axle load

NOTE All measurements are made with the vehicle stationary.

4 Test conditions and evaluations

4.1 General

The characteristics of roller brake testers shall be as specified in Annex A.

The efficiency test for braking systems shall be carried out with reference to the following:

- legal requirements;
- data provided by the vehicle manufacturer;
- the instruction manual of the roller brake tester.

4.2 Preparation of vehicle and roller brake tester

- 4.2.1 Rollers and tyres shall be clean.
- 4.2.2 Tyre pressure shall be adjusted in accordance with the vehicle manufacturer's recommendations.
- 4.2.3 Additional instrumentation may measure the static axle loading without the rollers running.
- 4.2.4 Braking testing, for the purposes of official vehicle inspection, is to be carried out on a roller brake tester certified by the technical services. Vehicle data and the measured values shall be recorded in the forward direction.

4.3 Calculation and evaluation of test data

4.3.1 Braking efficiency calculation

4.3.1.1 General

For air over hydraulic and hydraulic braking systems, one of the major problems is to calculate the braking efficiency without using an external pressure transducer on the hydraulic brake system. There is an increased risk of leakages when measuring hydraulic systems, caused by connecting measurement devices.

The braking test may be made in the fully laden state, or in a lightly laden condition at lower actuation pressures, on the assumption that braking forces increase predictably with increasing pressure.

ISO 21069-2:2008(E)

4.3.1.2 Provisions for air over hydraulic braking system

For the front axle, if the air over hydraulic (AH) conversion factor (C_F) supplying the hydraulic pressure is easily calculated from the measured air pressure (p_F), then

$$p_{HF} = p_F \times C_F \quad (1)$$

In this case, the calculation is similar to the other possible extrapolation methods. A prerequisite is a pneumatic measuring gauge before the AH converter.

For the rear axle, the calculation is similar, but the function of load sensing valves needs to be taken into account.

The characteristic of the load sensing/conscious valve shall be given in a graph or table, giving the pressure attenuation ratio against load input:

$$p_{HR} = p_R \times C_R \times p_{RATIO} \quad (2)$$

In this case, the axle load needs to be known or measured.

The calculated hydraulic pressures, p_{HR} and p_{HF} , can be used as p_{Ai} is used in Equations (5) and (6).

The actuator pressure and brake force shall be determined simultaneously and in real time.

Extrapolation of brake output forces may be used to predict the laden braking rate. This may be achieved by following one of the following extrapolation methods:

- a minimum of 30 % of the design brake actuator pressure shall be achieved by suitable loading, dead weight of the axle or by load simulation, or
- the distance between the measurement points (the first point at the beginning and the second at the cut-off point) shall be as large as possible in order to ensure the correct gradient of the function of the graph (pressure versus force).

NOTE If it is prescribed in the relevant national requirements, the rolling resistance can be treated accordingly.

A plan of an air over hydraulic braking system is given in Figure 1.

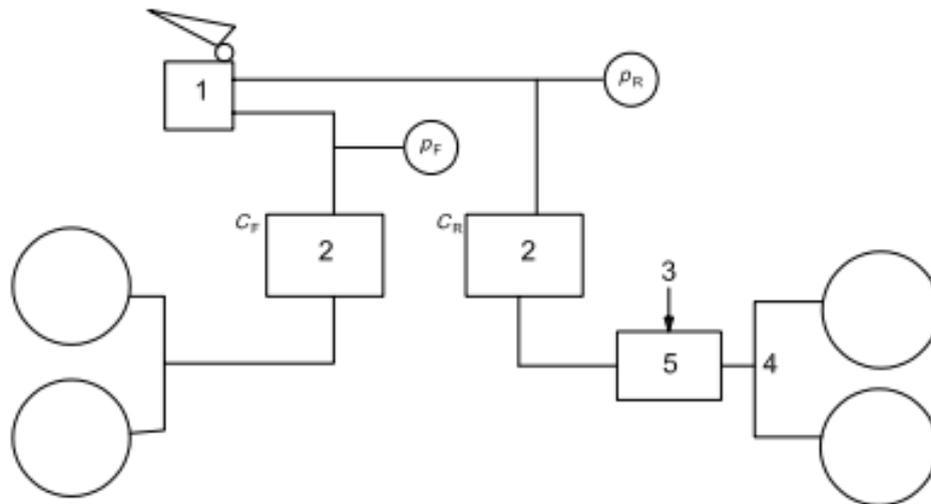
4.3.1.3 Provisions for purely hydraulic braking system

For hydraulic braking systems, it is recommended only to proceed with the test with fully laden conditions. For partly laden conditions, a load simulation is highly recommended. One possible indication for the gradation of brake forces can also be a measurement of pedal forces with special measurement equipment which is suitable for this purpose. This measurement should not be used for calculation.

4.3.2 Determination of braking force or braking rate

The braking force or, alternatively, the braking rate (maximum braking force/vertical wheel load) shall be determined for

- each wheel individually, or
- each axle individually.

**Key**

- 1 foot valve
- 2 A/H converter
- 3 axle load
- 4 rear
- 5 vehicle

iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

ISO 21069-2:2008

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/9f7ee1b9-9743-4b43-8d9e-5cc3f756884/iso-21069-2-2008>

Figure 1 — Air over hydraulic braking system plan

4.3.3 Methods of determination**4.3.3.1 Laden measurement method**

The braking rate shall be determined directly by measuring the braking forces for the vehicle in the laden condition. The laden braking rate calculation requires no extrapolation, being simply calculated according to Equation (3) in the case of motor vehicles, and according to Equation (4) in the case of towed vehicles:

$$r_{M,lad} = \frac{\sum F_i}{F_{M,max}} \quad (3)$$

$$r_{R,lad} = \frac{\sum F_i}{F_{R,max}} \quad (4)$$

4.3.3.2 Two-point measurement method

This method is only useful if the pneumatic/hydraulic converter function and the conversion factor are correctly known. In some cases, evaluation using direct measurement of hydraulic pressure is needed to ensure that the conversion factor is calculated precisely.

Figura AIV.10. Normativa ISO 21069-2

(((PDF) Designación: ISO 21069-2:2008(E)))