



Análisis del rectificando de un disco de freno con dos buriles de diferente fabricante para la determinación de la eficiencia del frenado

Camas Álvarez, Jairo Gustavo

Departamento de las Ciencias de Energía y Mecánica

Carrera de Ingeniería Automotriz

Trabajo de Titulación, previo a la obtención del título de Ingeniero Automotriz

Ing. Cruz Arcos, Guillermo Mauricio Msc.

22 de febrero del 2023

Turnitin Informe de Originalidad

Visualizador de documentos

Procesado el: 21-feb.-2023 9:26 a. m. -05

Identificador: 2019615047

Número de palabras: 19099

Entregado: 1



GUILLERMO MAURICIO
CROZ ARCOS

1 Por 1 1

Índice de similitud

9%

Similitud según fuente

Internet Sources:	9%
Publicaciones:	0%
Trabajos del estudiante:	0%

incluir citas

incluir bibliografía

excluyendo las coincidencias < 200 de las palabras

modo:

6% match (Internet desde 26-sept.-2021)

<http://repositorio.espe.edu.ec>

1% match (Internet desde 12-dic.-2022)

<http://repositorio.ute.edu.ec>

1% match ()

[Atapuma Novillo, Cristian Rafael, Díaz Albán, Milton Isaías. "Repotenciación de las máquinas rectificadoras, de discos de freno, tambores de freno y válvulas de motor, para la instalación en el taller de mecánica de patio de la Escuela de Ingeniería Automotriz.", Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, 2015](#)

rátula Análisis del rectificado de un disco de freno con dos buriles de diferente fabricante para la determinación de la eficiencia del frenado Camas Álvarez, Jairo Gustavo [Departamento de las Ciencias de Energía y Mecánica Carrera de Ingeniería Automotriz Trabajo de Titulación, previo a la obtención del título de Ingeniero Automotriz Ing. Cruz Arcos, Guillermo Mauricio Msc. 9 de febrero del 2023](#) Dedicatoria El presente [trabajo de investigación](#) está dedicado [a todas las personas que](#) estuvieron [y están presentes](#) en esta formación profesional, siendo un pilar fundamental en mi vida. A mi madre Ximena, por ser la mujer quien es el motivo de mi superación, que con su fuerza espiritual y moral supo darme valores de verdad, a través de su superación y sacrificio formo a hombres de bien dando a mi vida una satisfacción a mis logros. A mi padre Julián, quien, por su ejemplo de rectitud, profesionalismo y perseverancia, creo un camino de esfuerzo y dedicación en mi formación personal, por brindarme sus consejos llenos de superación e inculcar fuerza moral y espiritual. A mi hermano Julio, quien es mi fortuna en la vida y compañero de apoyo incondicional, supo ser mi ejemplo en mi formación académica, siendo una persona estratégica en el alcance de este logro que con sus éxitos me demostró que los sueños se hacen realidad. A mi hermano Paúl, quien es mi mayor alegría en la vida, que sus esfuerzos, acciones y logros me llena de ejemplo en mi diario caminar, tu responsabilidad y sobre todo tu humildad enriquecen mis motivos de superación personal. A mi compañera de alma y vida, Abigail quien es mi motor de arranque en mis propósitos y metas, la que es mi luz en medio de la oscuridad y me llena de alegría con cada sonrisa, su inteligencia, creatividad y autosuficiencia me ha



Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Ingeniería Automotriz

Certificación

Certifico que el trabajo de titulación: "Análisis del rectificado de un disco de freno con dos buriles de diferente fabricante para la determinación de la eficiencia del frenado" fue realizado por el señor Camas Álvarez, Jairo Gustavo; el mismo que cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, además fue revisado y analizado en su totalidad por la herramienta de prevención y/o verificación de similitud de contenidos; razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que se lo sustente públicamente.

Latacunga, 22 de febrero del 2023

Firma:

Ing. Cruz Arcos Guillermo Mauricio

C. C.0503010555



Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Ingeniería Automotriz

Responsabilidad de Autoría

Yo, **Camas Álvarez, Jairo Gustavo**, con cédula de ciudadanía N°1723483341, declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **Análisis del rectificado de un disco de freno con dos buriles de diferente fabricante para la determinación de la eficiencia del frenado**, es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos, y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Latacunga, 22 de febrero del 2023

Firma

Camas Álvarez, Jairo Gustavo

C.C.: 1723483341



Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Ingeniería Automotriz

Autorización de Publicación

Yo **Camas Álvarez, Jairo Gustavo**, con cédula de ciudadanía N°1723483341, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: **Análisis del rectificado de un disco de freno con dos buriles de diferente fabricante para la determinación de la eficiencia del frenado** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.

Latacunga, 22 de febrero del 2023

Firma

Camas Álvarez, Jairo Gustavo

C.C.: 1723483341

Dedicatoria

El presente trabajo de investigación está dedicado a todas las personas que estuvieron y están presentes en esta formación profesional, siendo un pilar fundamental en mi vida.

A mi madre Ximena, por ser la mujer quien es el motivo de mi superación, que con su fuerza espiritual y moral supo darme valores de verdad, a través de su superación y sacrificio formo a hombres de bien dando a mi vida una satisfacción a mis logros.

A mi padre Julián, quien, por su ejemplo de rectitud, profesionalismo y perseverancia, creo un camino de esfuerzo y dedicación en mi formación personal, por brindarme sus consejos llenos de superación e inculcar fuerza moral y espiritual.

A mi hermano Julio, quien es mi fortuna en la vida y compañero de apoyo incondicional, supo ser mi ejemplo en mi formación académica, siendo una persona estratégica en el alcance de este logro que con sus éxitos me demostró que los sueños se hacen realidad.

A mi hermano Paúl, quien es mi mayor alegría en la vida, que sus esfuerzos, acciones y logros me llena de ejemplo en mi diario caminar, tu responsabilidad y sobre todo tu humildad enriquecen mis motivos de superación personal.

A mi compañera de alma y vida, Abigail quien es mi motor de arranque en mis propósitos y metas, la que es mi luz en medio de la oscuridad y me llena de alegría con cada sonrisa, su inteligencia, creatividad y autosuficiencia me ha enseñado que la su fortaleza es única.

A mi prima Rosa por ser como mi hermana en este desafío, en las buenas y malas se han superado nuestros obstáculos haciendo así más satisfactorio este alcance personal.

Camas Álvarez Jairo Gustavo

Agradecimiento

Agradezco a Dios por llenarme de sabiduría e inteligencia en este camino hacia el profesionalismo y la perseverancia constante en alcanzar esta meta que hace años fue un sueño y ahora realidad.

Agradezco a mi familia por ser un pilar fundamental en la trayectoria de mi formación, por darme las herramientas y sentido de responsabilidad en mis cumplimientos éticos y morales, por contribuir su confianza en los malos y buenos momentos y sobre todo en apoyo incondicional depositado en mí.

Agradezco al Ing. Diego Gallo por compartir sus conocimientos científicos en la elaboración de este proyecto, un compañerismo que se a forjado con el pasar del tiempo y una persona correcta en el tiempo correcto.

Finamente mi agradecimiento a mi director de tesis, el Ing. Mauricio Cruz en base a su metodología, experiencia y conocimientos a formado de guía en el desarrollo y cumplimiento del presente trabajado de investigación.

Camas Álvarez Jairo Gustavo

ÍNDICE DE CONTENIDOS

Carátula	1
Reporte de verificación de contenido.....	2
Responsabilidad de Autoría.....	4
Autorización de Publicación	5
Dedicatoria	6
Agradecimiento.....	7
Índice de contenidos	8
Índice de figuras	16
Índice de tablas	20
Índice de ecuaciones	23
Resumen.....	24
Abstract	25
Capítulo I: Marco metodológico de la investigación	26
Antecedentes	26
Planteamiento del problema	27
Descripción detallada del proyecto	29
Justificación e importancia	30
Objetivos	31
<i>Objetivo General.....</i>	<i>31</i>
<i>Objetivos Específicos</i>	<i>31</i>

Metas	31
Hipótesis	32
Variables de investigación	32
Metodología de desarrollo del proyecto.....	34
<i>Método de recopilación de información</i>	<i>34</i>
<i>Método experimental.....</i>	<i>34</i>
<i>Método analítico</i>	<i>35</i>
Capítulo II: Marco teórico	36
Discos de Freno	36
Materiales en discos de freno	36
Dimensiones de un disco de freno	37
Tolerancias en discos de freno.....	38
Fallas en discos de freno	38
<i>Rayado</i>	<i>39</i>
<i>Cristalización.....</i>	<i>39</i>
<i>Rotura.....</i>	<i>40</i>
<i>Alabeado.....</i>	<i>40</i>
<i>Discos de rotor dañados.....</i>	<i>41</i>
Importancia de la superficie de fricción en discos de freno.....	42
<i>Rugosidad superficial</i>	<i>42</i>
<i>Expresión de la rugosidad.....</i>	<i>42</i>

Máquina rectificadora.....	44
Tipos de rectificadoras.....	45
<i>Rectificadora fija</i>	45
<i>Rectificadora portátil</i>	45
Características de la rectificadora de discos de freno.....	46
<i>Parámetros a tomar en cuenta para el rectificado</i>	46
<i>Velocidad de giro</i>	47
<i>Velocidad de corte</i>	47
<i>Movimiento de avance</i>	48
<i>Profundidad de pasada</i>	48
<i>Tiempo de mecanizado</i>	49
Elementos de una máquina rectificadora.....	49
<i>Elementos mecánicos</i>	49
El cabezal	49
Carro móvil.....	49
<i>Elementos cinemáticos</i>	50
1. Motor de corriente alterna.....	50
2. Caja de velocidades.....	50
4. Caja de avance	50
Eje de avance.....	51
<i>Accesorios</i>	51

Eje principal.	51
Porta cuchillas de tambores.	51
Porta cuchillas de discos	52
Adaptadores.....	52
Sujetadores.	53
Banda anti vibración.....	53
Herramienta de corte	54
Tipos de herramienta de corte	54
<i>Enteriza</i>	54
<i>Soldada</i>	54
<i>Plaquita soldada</i>	54
<i>Plaquita intercambiable</i>	55
Materiales de herramienta de corte	55
<i>HSS</i>	56
<i>Metal duro (HS)</i>	56
<i>HSCO</i>	56
<i>Diamante</i>	56
Procesos de rectificación.....	56
Proceso de refrentado	57
Factores que influyen en la rotura de viruta	57
<i>Radio de punta</i>	57

<i>Ángulo de posición</i>	58
<i>Profundidad de corte</i>	58
<i>Avance</i>	58
<i>Velocidad de corte</i>	58
Ángulos principales de la herramienta de corte	58
<i>Ángulo de incidencia α</i>	59
<i>Ángulo de filo β</i>	59
<i>Ángulo de desprendimiento γ</i>	59
<i>Ángulo de inclinación λ</i>	60
Rugosímetro	60
<i>Proceso de medición de una superficie</i>	60
Normativa ECE R90	62
<i>Pruebas de temperatura norma ECE R90</i>	65
<i>Pruebas de distancia y tiempo de frenado norma ECE R90</i>	66
Parámetros dinámicos y térmicos para el disco de freno	68
<i>Distancia de frenado</i>	68
<i>Tiempo de frenado</i>	69
<i>Temperatura del disco de freno</i>	69
<i>Eficiencia de frenado</i>	70
<i>Cálculo de desaceleración</i>	70
Capítulo III: Máquina Rectificadora y características de rectificación	72

Puesta a punto de la máquina rectificadora	72
Características de la máquina TRE-9350.....	72
Parámetros de puesta a punto de la máquina TRE-9350	74
<i>Motor eléctrico.....</i>	<i>75</i>
<i>Conductores eléctricos.....</i>	<i>75</i>
<i>Switch de encendido.....</i>	<i>76</i>
<i>Iluminación</i>	<i>77</i>
<i>Poleas de transmisión</i>	<i>78</i>
<i>Acoples de disco y tambor</i>	<i>79</i>
<i>Funcionalidad</i>	<i>80</i>
<i>Conjunto de caja de cambios de velocidad variable para tambores de freno .81</i>	
<i>Conjunto de cajas de cambios de velocidad variable para discos de freno83</i>	
<i>Sistema de transmisión.85</i>	
<i>Colector de viruta.....</i>	<i>86</i>
<i>Estructura de la máquina.....</i>	<i>87</i>
Pruebas de funcionamiento de puesta a punto de la máquina	89
<i>Verificación eléctrica.....</i>	<i>89</i>
<i>Verificación mecánica.....</i>	<i>90</i>
Características de los discos a rectificar	90
Selección de la plaquita	91
<i>Selección según la máquina TRE-9350.....</i>	<i>91</i>

<i>Selección de la plaquita Sumitomo</i>	91
<i>Selección de la plaquita Sandvik</i>	93
Selección de parámetros de mecanizado	94
<i>Selección de mecanizado para G3000</i>	94
Cálculos de parámetros de rectificación.....	94
<i>Velocidad de corte 1</i>	95
<i>Velocidad de corte 2</i>	95
<i>Tiempo de mecanizado 1 con velocidad de husillo a 165 rpm</i>	95
<i>Tiempo de mecanizado 2 con velocidad de husillo a 123 rpm</i>	96
Rectificación velocidad 1	96
Rectificación velocidad 2	96
Protocolo para pruebas de frenado.....	97
<i>Peso de la carga total</i>	97
<i>Ruta de pruebas</i>	98
Capítulo IV: Pruebas y ensayos	99
Medición de dimensiones de discos de freno	99
Medición de rugosidad.....	100
Ensayos de rugosidad con el buril fabricante Sumitomo	101
Ensayo de rugosidad con el buril fabricante Sandvik.....	102
Pruebas de frenado a velocidad de corte 1.....	102
<i>Pruebas de frenado velocidad de corte 1 fabricante Sumitomo</i>	103

<i>Pruebas de frenado velocidad de corte 1 fabricante Sandvik.....</i>	<i>106</i>
Pruebas de frenado a velocidad de corte 2.....	108
<i>Pruebas de frenado velocidad de corte 2 fabricante Sumitomo.....</i>	<i>109</i>
<i>Pruebas de frenado velocidad de corte 2 fabricante Sandvik.....</i>	<i>112</i>
Capítulo V: Análisis de resultados	116
Análisis de los resultados de rugosidad.....	116
Análisis de rendimientos de pruebas de frenado.....	117
Análisis de eficiencia de frenado.....	126
Capítulo VI: Marco administrativo	129
Recursos humanos.....	129
Recursos materiales.....	129
Recursos tecnológicos.....	130
Costo neto del proyecto	131
Capítulo VII: Conclusiones y recomendaciones.....	132
Conclusiones	132
Recomendaciones	134
Bibliografía.....	135
Anexos.....	140

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 <i>Árbol del planteamiento del problema</i>	27
Figura 2 <i>Disco de freno</i>	36
Figura 3 <i>Dimensiones en discos de frenos</i>	37
Figura 4 <i>Ejemplo tolerancia disco de freno</i>	38
Figura 5 <i>Rayado de un disco de freno</i>	39
Figura 6 <i>Disco de freno cristalizado</i>	39
Figura 7 <i>Falla de rotura en disco de freno</i>	40
Figura 8 <i>Falla de alabeo en disco de freno</i>	41
Figura 9 <i>Falla de orificios dañados en el disco de freno</i>	41
Figura 10 <i>Expresión de rugosidad Ra</i>	43
Figura 11 <i>Profundidad total de la rugosidad</i>	43
Figura 12 <i>Rectificadora de discos y tambores fija</i>	45
Figura 13 <i>Rectificadora de discos y tambores Portátil</i>	46
Figura 14 <i>Elementos cinemáticos máquina rectificadora de discos y tambores de freno</i>	50
Figura 15 <i>Eje principal</i>	51
Figura 16 <i>Porta cuchilla para tambores de freno</i>	51
Figura 17 <i>Porta cuchillas para rectificadora de discos de freno</i>	52
Figura 18 <i>Adaptadores para discos y tambores de freno</i>	53
Figura 19 <i>Sujetadores para discos y tambores de freno</i>	53
Figura 20 <i>Banda anti vibración</i>	54

Figura 21 <i>Herramienta de plaquita soldada</i>	55
Figura 22 <i>Herramienta de plaquita intercambiable</i>	55
Figura 23 <i>Proceso de refrentado común</i>	57
Figura 24 <i>Ángulos principales</i>	59
Figura 25 <i>Instrumento rugosímetro</i>	60
Figura 26 <i>Calibración de medida de rugosidad a través de espécimen de referencia</i>	61
Figura 27 <i>Ubicación del palpador en la superficie a medir mediante el giro de la perilla</i>	61
Figura 28 <i>Ajuste de velocidad de avance del vástago</i>	62
Figura 29 <i>Verificación de medición en Ra</i>	62
Figura 30 <i>Rectificadora de discos y tambores TRE-930</i>	72
Figura 31 <i>Motor eléctrico</i>	75
Figura 32 <i>Conductores eléctricos</i>	76
Figura 33 <i>Switch de encendido</i>	77
Figura 34 <i>Sistema de iluminación</i>	78
Figura 35 <i>Poleas de transmisión desalineadas</i>	78
Figura 36 <i>Calibración de la banda y poleas</i>	79
Figura 37 <i>Acoples de discos y tambores sustituidos</i>	79
Figura 38 <i>Accesorios y acoples de discos y tambores de freno</i>	80
Figura 39 <i>Funcionalidad de mandos de la rectificadora de discos y tambores de freno</i>	80
Figura 40 <i>Despiece de caja de cambios para tambores en mal estado</i>	81
Figura 41 <i>Engranaje de fricción de la caja de cambios para tambores en mal estado</i>	82

Figura 42 Sistema de cambios de velocidad variable para tambores de freno y lubricado	82
Figura 43 Armado de la caja de cambios de velocidad variable para tambores de freno.....	83
Figura 44 Cajas de cambios de velocidad variable para discos de freno.....	83
Figura 45 Despiece de la caja de cambios de velocidades variable para discos de freno	84
Figura 46 Caja de cambios de velocidades variable para discos de freno lubricado	84
Figura 47 Ensamble grupal del conjunto de cajas de velocidad variable para discos de freno .	85
Figura 48 Eje de engranaje en mal estado.....	86
Figura 49 Sistema de transmisión ensamblado.....	86
Figura 50 Colectores de viruta en mal estado	87
Figura 51 Recolector de viruta	87
Figura 52 Estructura superficial de la máquina.....	88
Figura 53 Proceso de restauración de la estructura de la máquina	88
Figura 54 Estructura superficial reparada.....	89
Figura 55 Pruebas de funcionamiento eléctrico.....	89
Figura 56 Pruebas mecánicas con el jefe de taller de Ambacar	90
Figura 57 Porta herramientas específico máquina TRE-9350.....	91
Figura 58 Dimensiones de la plaquita TCMT 110208N-SU	92
Figura 59 Dimensiones de la plaquita TCMT 110308- MM.....	93
Figura 60 Toyota Tercel 1.6	97
Figura 61 Ruta precalentamiento para el disco de freno	98
Figura 62 Espesor del disco de freno 18mm	99

Figura 63 <i>Rugosímetro Surf-test- III</i>	100
Figura 64 <i>Midiendo el patrón de rugosidad</i>	101
Figura 65 <i>Ensamble del disco rectificad</i> o	103
Figura 66 <i>Rectificación del disco de freno a velocidad 2</i>	109
Figura 67 <i>Kilometraje inicial fase de precalentamiento fabricante Sumitomo</i>	109
Figura 68 <i>Kilometraje Final fase de precalentamiento fabricante Sumitomo</i>	110
Figura 69 <i>Rectificación disco de freno, velocidad 2 fabricante Sandvik</i>	113
Figura 70 <i>Comparación de la medición de rugosidad en discos rectificad</i> os	116
Figura 71 <i>Tiempo de frenado velocidad de corte 1</i>	118
Figura 72 <i>Tiempo de frenado velocidad de corte 2</i>	119
Figura 73 <i>Gráfico de barras de la distancia de frenado velocidad de corte 1</i>	120
Figura 74 <i>Gráfico de barras de distancia de frenado a velocidad de corte 2</i>	121
Figura 75 <i>Gráfica de Temperatura de frenado velocidad de corte 1 lado izquierdo</i>	123
Figura 76 <i>Gráfica de Temperatura de frenado velocidad de corte 1 lado derecho</i>	124
Figura 77 <i>Gráfica de temperatura de frenado velocidad de corte 2 lado izquierdo</i>	125
Figura 78 <i>Gráfica de temperatura de frenado velocidad de corte 2 lado derecho</i>	125
Figura 79 <i>Gráfica de barras comparativas de eficiencia de frenado a velocidades diferentes</i>	127

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Variable independiente</i>	33
Tabla 2 <i>Variable dependiente</i>	34
Tabla 3 <i>Valores para la medición de rugosidad en función de procesos de fabricación</i>	44
Tabla 4 <i>Normativa Europea, categoría M y N</i>	63
Tabla 5 <i>Velocidad de ensayos en base a su categoría</i>	65
Tabla 6 <i>Tabla de pruebas de resultados de temperatura en cada frenado</i>	65
Tabla 7 <i>Tabla resultante del ensayo de distancia y tiempo de frenado, norma ECE R90</i>	67
Tabla 8 <i>Especificaciones de la rectificadora TRE-9350</i>	73
Tabla 9 <i>Averías encontradas en la máquina rectificadora TRE-9350</i>	74
Tabla 10 <i>Especificaciones técnicas el disco de freno del Toyota Tercel</i>	91
Tabla 11 <i>Parámetros de plaquita TCMT 110208N-SU</i>	92
Tabla 12 <i>Dimensiones de la plaquita</i>	92
Tabla 13 <i>Parámetros de plaquita TCMT 110308- PM</i>	93
Tabla 14 <i>Dimensiones de la plaquita</i>	94
Tabla 15 <i>Parámetros de mecanizado recomendadas para G3000</i>	94
Tabla 16 <i>Parámetros de rectificación para velocidad 1</i>	96
Tabla 17 <i>Parámetros de rectificación para velocidad 2</i>	96
Tabla 18 <i>Peso de carga interna del vehículo</i>	97
Tabla 19 <i>Especificaciones de la prueba de frenado</i>	98
Tabla 20 <i>Medición de discos de freno rectificados</i>	100

Tabla 21 <i>Medidas de rugosidad a dos velocidades de corte buril Sumitomo</i>	101
Tabla 22 <i>Medidas de rugosidad a dos velocidades de corte buril Sandvik</i>	102
Tabla 23 <i>Temperatura resultante con velocidad de corte 1</i>	103
Tabla 24 <i>Distancia y tiempo resultante con velocidad 1</i>	104
Tabla 25 <i>Distancia y tiempo de frenado real con velocidad 1</i>	105
Tabla 26 <i>Temperatura resultante de frenado fabricante Sandvik</i>	106
Tabla 27 <i>Resultado experimental de distancia y tiempo de frenado fabricante Sandvik</i>	107
Tabla 28 <i>Distancia y tiempo de frenado real con velocidad 1 fabricante Sandvik</i>	108
Tabla 29 <i>Temperatura resultante a velocidad 2 fabricante Sumitomo</i>	110
Tabla 30 <i>Resultado experimental, distancia, tiempo de frenado, velocidad 2, Sumitomo</i>	111
Tabla 31 <i>Resultados reales distancia y tiempo velocidad 2 fabricante Sumitomo</i>	112
Tabla 32 <i>Temperatura resultante a velocidad 2 fabricante Sandvik</i>	113
Tabla 33 <i>Resultado experimental, distancia y tiempo de frenado, velocidad 2, Sandvik</i>	114
Tabla 34 <i>Resultados reales distancia y tiempo velocidad 2 fabricante Sandvik</i>	115
Tabla 35 <i>Resultados de tiempo de frenado</i>	117
Tabla 36 <i>Resultado de distancia de frenado expresada en metros</i>	120
Tabla 37 <i>Temperatura resultante de frenado expresada en Grados Celsius</i>	122
Tabla 38 <i>Resultados de eficiencia de frenado, por rectificación del disco</i>	127
Tabla 39 <i>Recursos humanos</i>	129
Tabla 40 <i>Recursos materiales</i>	130
Tabla 41 <i>Recursos tecnológicos</i>	131

Tabla 42 <i>Costo neto del proyecto</i>	131
--	------------

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1 <i>Velocidad de corte</i>	48
Ecuación 2 <i>Movimiento de avance</i>	48
Ecuación 3 <i>Tiempo de mecanizado</i>	49
Ecuación 4 <i>Distancia de frenado experimental según ECE R90</i>	67
Ecuación 5 <i>Tiempo de frenado experimental según ECE R90</i>	68
Ecuación 6 <i>Distancia de frenado</i>	68
Ecuación 7 <i>Tiempo de frenado</i>	69
Ecuación 8 <i>Temperatura del disco de freno</i>	69
Ecuación 9 <i>Eficiencia de frenado</i>	70
Ecuación 10 <i>Desaceleración</i>	71

Resumen

La presente investigación está basada en, la determinación de la rugosidad de un disco de frenos, partiendo desde la rectificación a dos velocidades de corte distinta, utilizando dos buriles o herramientas de corte de fabricantes diferentes, comercializadas dentro del mercado nacional. Con información técnica de la máquina de modelo TRE 9350 se realizó la puesta a punto de la rectificadora de discos y tambores de freno de la empresa Ambacar de la agencia de Latacunga, en función de los parámetros determinados de rectificación. Las características de estas herramientas de corte son tomadas con base en los catálogos de los fabricantes Sandvik y Sumitomo respectivamente utilizando su equivalencia para obtener las mismas condiciones de trabajo para la máquina rectificadora, en cuanto al disco de freno se analizó el acabado superficial a través de mediciones en la superficie de frenado determinando su rugosidad entre los valores de 0,18 y 0,8 micrómetros, finalmente se realizó un estudio experimental en el vehículo utilizando como guía la normativa ECE R90 para las pruebas de frenado, con las 2 condiciones de mecanizado del disco de freno y a su vez se determinó su influencia en la eficiencia de frenado, teniendo como resultado eficiencias desde 89,12 hasta 92,88 %.

Palabras clave: acabado superficial, rectificadora TRE 9350, herramienta de corte Sumitomo, herramientas de corte Sandvik, normativa ECE R90.

Abstract

The present investigation is based on the determination of the roughness of a brake disc, starting from the rectification at two different cutting speeds, using two burins or cutting tools from different manufacturers, marketed within the national market. With technical information from the TRE 9350 model machine, the adjustment of the brake disc and drum grinding machine of the Ambacar company of the Latacunga agency was carried out, based on the determined parameters of rectification. The characteristics of these cutting tools are taken based on the catalogs of the manufacturers Sandvik and Sumitomo respectively using their equivalence to obtain the same working conditions for the grinding machine, as for the brake disc the surface finish was analyzed through Detected on the braking surface determining its roughness between the values of 0.18 and 0.8 micrometers, finally an experimental study was carried out on the vehicle using the ECE R90 standard as a guide for braking tests, with the 2 machining conditions. of the brake disc and in turn its influence on braking efficiency will be prolonged, resulting in efficiencies from 89.12 to 92.88%.

Keywords: surface finish, TRE 9350 grinding machine, Sumitomo cutting tool, Sandvik cutting tools, ECE R90 standard.

Capítulo I

Marco metodológico de la investigación

Antecedentes

A través de los años la investigación del acabado superficial en la industria automotriz ha tomado fuerza dado que se han generado nuevos materiales de fabricación y con ello, se han desarrollado nuevos parámetros de verificación en cuando a la calidad superficial y las tolerancias dimensionales. La rigidez, la forma y el material de la pieza a trabajar, tanto como su fijación en máquinas rectificadoras y su sistema de accionamiento, son factores que intervienen en el desarrollo del desbaste del material. Los factores de proceso indirectos como material, fijación, geometría, desgaste y alineación del filo afectan a la herramienta de desbaste y a las condiciones de corte como los datos de corte y estabilidad al cortar. (M.Correa, 2019)

Ambacar es una compañía ecuatoriana con más de cincuenta años de experiencia en el mercado automotriz, dedicada al servicio de productos y mantenimiento del vehículo, cuentan a nivel nacional con 30 sucursales, dentro de la agencia de la ciudad de Latacunga disponen de una máquina rectificadora de discos en condiciones deficientes de trabajo, demandando una reparación y mantenimiento correctivo del equipo. (Ambacar, Acerca de nosotros, 2021)

Los discos de freno necesitan ser rectificadas mediante una máquina que cuente con una precisión adecuada para disminuir 0.01 mm de espesor o el mínimo especificado por el fabricante, por lo tanto, no es recomendable rectificar discos en tornos cuya rigidez de bancada no sea la adecuada para obtener un acabo superficial bueno. (Esteban Jose Dominguez Soriano, 2018)

Existen varios problemas que surgen durante el proceso de rectificado, por lo tanto, se ve afectada la calidad de las piezas y pueden generar situaciones no deseadas, es imprescindible detectarlos y actuar a tiempo para corregirlos.

Parámetros incorrectos, al momento de la rectificación, pueden ocasionar un acabado diferente al deseado, con rayaduras o marcas visibles, también se puede producir quemaduras en la pieza por una velocidad mayor a la necesaria, ya que se eleva la temperatura hasta provocar daños superficiales. Por motivo de un desajuste en los ejes y un mantenimiento inadecuado de la máquina rectificadora se pueden producir vibraciones al momento del rectificado teniendo como resultado un mal acabado, una pieza deformada y el desbaste puede ser mayor al deseado (Zepeda, 2015)

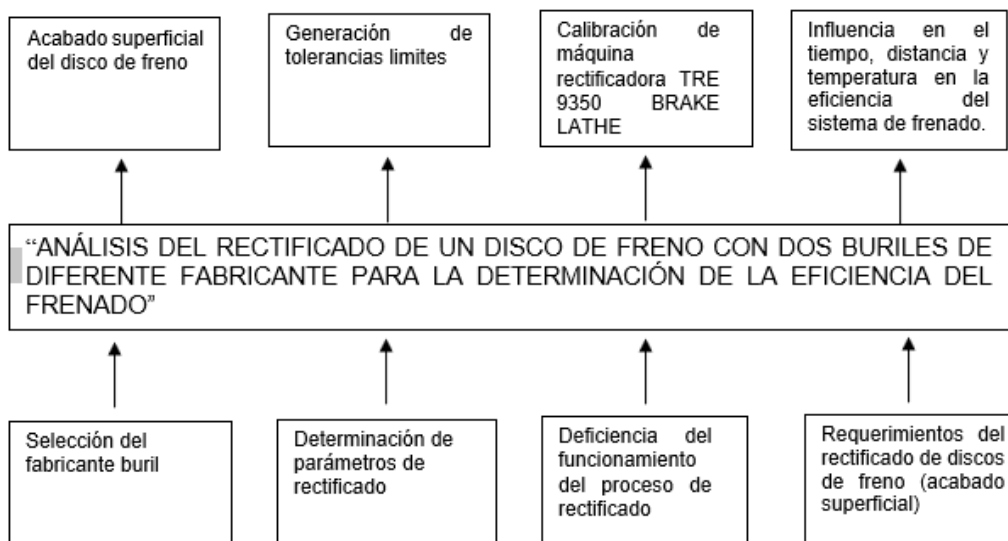
Existen varios factores al momento del rectificado lo que pueden contribuir a la reducción de la eficiencia del contacto del disco con las pastillas y la capacidad de frenado, la superficie desgastada. (Sánchez Lorenzo, 2018)

El propósito de un proceso de rectificado en discos de freno es corregir los defectos geométricos y dimensionales que ocurren durante la operación del frenado, corrigiendo factores como: rugosidad, redondez, excentricidad y otros defectos. (Villarroel, 2016)

Planteamiento del problema

Figura 1

Árbol del planteamiento del problema



El procedimiento de frenado es sin duda una de las variables más importante para la integridad del automóvil, ya que al no tener un elemento en perfectas condiciones de este sistema produce dificultad en la parada total o parcial del vehículo y, por lo tanto, está en riesgo la integridad de los ocupantes del mismo.

El proceso de rectificado consiste en colocar el disco de frenos en una máquina rectificadora para realizar un desbaste mediante un buril. Debido a que existe desinformación en cuanto al tipo de acabado superficial específico para cada buril, se generan tiempos extras de mecanizado derivando pérdidas de dinero al cliente o a la empresa.

Un mal acabado superficial puede generar un asentamiento incompleto o inadecuado de las pastillas con el disco de freno, lo cual, puede repercutir en algo peligroso, para el conductor del vehículo, ocasionando vibraciones al momento de accionar el freno.

Al permitir el funcionamiento del freno, en un tiempo prolongado, dichas vibraciones pueden transformar, en formas alternas de energía como calor, lo que repercute en un cambio de las propiedades metalográficas, es decir de su estructura cristalina, generando puntos con mayor dureza, en regiones de la superficie que son difíciles de remover, teniendo que optar por el reemplazo de dichos de freno, esto se deriva en pérdida de dinero de los clientes.

La empresa Ambacar, cuenta con una máquina rectificadora de discos, pero según el informe realizado (Ambacar, Estado de la Máquina Rectificadora TRE 9350 BRAKE LATHE, 2022), la máquina no se encuentra en condiciones óptimas de trabajo, por lo que se ve en riesgo la eficiencia del servicio técnico que presta, por tal razón, se encuentra en la necesidad de derivar sus mantenimientos de rectificación a negocios particulares para no disminuir la credibilidad de la agencia.

Descripción detallada del proyecto

La presente investigación estudia los parámetros de rectificación de discos de freno, características del buril de material duro, y aspectos de diseño y tolerancias en los discos de freno.

Se ha reparado la máquina TRE 9350 de la empresa Ambacar, tanto de sus elementos mecánicos como eléctricos; las partes faltantes en su sistema de operación han sido correctamente incorporadas, además se ha llevado a cabo la puesta a punto de la máquina, la cual rectifica discos y tambores.

Se ha realizado medición de tolerancias superficiales en los discos de freno con base a su material y diseño. Con ello se han obtenido datos para la determinación de la importancia del acabado superficial en el accionamiento de frenado.

Se ha determinado las condiciones de rectificado mediante un proceso de cálculo, con base en las características del disco de freno. La investigación se efectúa para dos tipos de buriles de diferentes fabricantes con 2 velocidades de corte de rectificación aplicados en dos diferentes discos de freno correspondientes al vehículo Toyota Tercel 1.6.

Para determinar el acabado superficial se ha realizado ensayos de rugosidad mediante el rugosímetro, obteniendo datos para su comparación y análisis.

Se han realizado pruebas experimentales de funcionamiento del vehículo en condiciones de frenado, se han obtenido mediciones de distancia, tiempo y temperatura de frenado respectivamente en el vehículo Toyota Tercel 1.6.

Para la validación de resultados se han realizado comparaciones entre los valores de rugosidad de los discos de frenos rectificadas con los dos tipos de buriles y las pruebas

experimentales del funcionamiento. Se ha determinado el buril con mejor desempeño y acabado superficial.

Justificación e importancia

El sistema de frenos es el principal responsable en la acción de detener al vehículo en movimiento y debe realizarlo de la manera más estable, en el menor tiempo posible; por ende, dicho sistema exige siempre permanecer en óptimas condiciones. Es necesario realizar mantenimientos programados en el sistema de frenos; el presente documento se enfoca a el mantenimiento específico de discos de freno, tomando en cuenta factores de rectificación y tolerancias permitidas.

Cuando se rectifica un disco, el parámetro de espesor, no lo es todo para garantizar un normal funcionamiento de frenado, es importante también, considerar el acabado superficial del disco. Por lo tanto, se pretende utilizar ingeniería de precisión para asegurar un adecuado acabado superficial

Las consecuencias de no alcanzar un buen acabado superficial en los discos de freno provocan el aumento del desgaste en los elementos que realizan la fricción para el adecuado frenado y el incremento de la potencia consumida.

Al no utilizar las herramientas de fabricantes adecuados para el desbaste en el proceso de rectificación de discos de frenos, se obtendrá como resultado un acabado superficial ineficiente provocando vibraciones y molestias en el vehículo.

Utilizar buriles adecuados para el desbaste, considerando los valores establecidos en normas de acabado superficial, beneficia a que no exista desgastes excesivos en pastillas, daños prematuros en discos de freno y se incrementa la seguridad y comodidad a la sensación de frenado.

Es importante analizar el estado de la máquina donde se va a realizar las pruebas, dado que puede encontrarse en condiciones no aptas para este proceso, lo cual puede generar medidas erróneas y por lo tanto un análisis incorrecto de los datos obtenidos.

Objetivos

Objetivo General

- Realizar el análisis del rectificado de un disco de freno con dos buriles de fabricantes diferentes para la determinación del acabado superficial y la influencia en la determinación de la eficiencia del frenado.

Objetivos Específicos

- Investigar los parámetros de rectificación y acabado superficial en discos de freno, a través de la recopilación bibliográfica, para establecer criterios de rectificado según sea requerido.
- Reparar la máquina rectificadora TRE 9350 de la empresa Ambacar, a través de la puesta a punto para la rectificación del disco de freno con dos buriles de fabricantes diferentes a dos velocidades de corte distintas.
- Realizar los ensayos de rugosidad en los discos de freno rectificados con los diferentes buriles y efectuar pruebas de campo de temperatura, distancia y tiempo en el sistema de frenos.
- Analizar los datos obtenidos en las pruebas de frenado y mediciones de rugosidad del disco de freno para determinar la influencia del acabado superficial en la eficiencia de frenado.

Metas

- Investigación bibliográfica de los parámetros de rectificado y acabado superficial
- Realización de la reparación y puesta a punto de la rectificadora de discos de freno y tambores en la empresa Ambacar.

- Ejecución de mediciones para determinar el acabado superficial de los discos de frenos rectificadas con dos buriles de diferente fabricante y mismo material.
- Pruebas de distancia, tiempo y temperatura de frenado para la determinación de la eficiencia del frenado en el vehículo.
- Comparar y analizar los resultados que se obtuvieron en las pruebas con los dos buriles para la determinación de la herramienta idónea para la obtención del acabado superficial.

Hipótesis

¿El análisis del rectificado de un disco de freno con dos buriles de diferente fabricante permitirá la determinación del acabado superficial necesario para mejorar la eficiencia en el frenado?

Variables de investigación

- **Variable independiente:**

Rectificado de discos, selección de buril, selección de parámetros de corte, acabado superficial.

Tabla 1*Variable independiente*

Concepto	Categoría	Indicadores	Ítem	Técnicas	Instrumentos
Rectificación	Parámetros de corte	Buril	Fabricante	Selección	Selección
		Velocidad de corte	m/min	Medición	Cálculo
		Velocidad del husillo	rpm	Medición	Cálculo
		Desbaste	mm	Medición	Calibrador Pie de rey, Micrómetro
		Ángulos principales de Corte	°	Medición	Graduador
Acabado superficial	Rugosidad	Micras (µm)	Medición	Rugosímetro	

Nota. Se detalla la descripción independiente conociendo las categorías y en función a las técnicas e instrumentos.

- **Variable dependiente:**

Pruebas de funcionamiento en el sistema de frenado

Tabla 2*Variable dependiente*

Concepto	Categoría	Indicadores	Ítem	Técnicas	Instrumentos
Sistema de frenado	Pruebas de funcionamiento del frenado	Temperatura	°C	Medición	Termómetro
		Espesor	mm	Medición	CALIBRADOR, MICRÓMETRO
		Tiempo de frenado	s	Medición	Cronometro
		Distancia de frenado	m	Medición	Gps

Metodología de desarrollo del proyecto***Método de recopilación de información***

La investigación está basada en un conjunto de acervos bibliográficos, y observacionales que contengan información relevante para la investigación, como parámetros del proceso de rectificación para la determinación de la eficiencia del frenado en los discos de freno.

Método experimental

Con este enfoque, el objetivo es verificar el funcionamiento adecuado de los discos de frenos mediante la utilización de los dos buriles en el rectificado por medio de ensayos de rugosidad y pruebas para la eficiencia del frenado.

Método analítico

Este método se utilizará en el proyecto para probar la hipótesis, se deberá estudiar el problema planteado descomponiéndolo en partes, para interactuar entre ellas una a una de manera razonable.

Capítulo II

MARCO TEÓRICO

Discos de Freno

La mayoría de los automóviles modernos están equipados con frenos de disco, al menos en las ruedas frontales ya que brindan más potencia de frenado. A medida que sube la temperatura, el disco se acerca a las pastillas, a diferencia de lo que sucede con los tambores y las zapatas. (García Galea, 2014)

Una característica crítica es la planitud del disco para obtener una mejor frenada sucesiva y que no existan vibraciones en caso de frío y caliente. (Guerra, 2012)

Figura 2

Disco de freno



Nota. Disco de freno ventilado. Tomado de: **(Guerra, 2012)**

Materiales en discos de freno

Según (Torres, 2021) los 3 grupos principales que existen en el mercado en materiales de discos de frenos son:

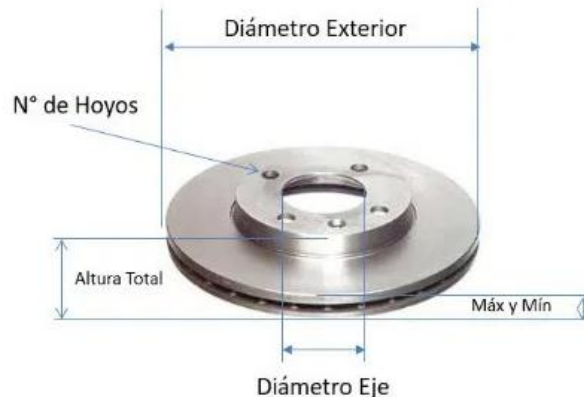
- Carbocerámicos: su composición (carburo de silicio) es tremendamente duro y resistente a las altas temperaturas.
- Co-moldeados y bimateriales: su composición es de aluminio y fundición de hierro con un peso alrededor de los 10kg volviéndolo más ligero y con capacidades de más duración.
- Los discos de freno en su totalidad son de hierro fundido, su peso oscila entre los 12-14 kg y su vida útil está en torno a los 60.000-80.000 km.

Dimensiones de un disco de freno

La figura 3, muestra los parámetros de medida que se encuentran en los discos de frenos.

Figura 3

Dimensiones en discos de frenos



Nota. Disco de freno Ssang yong Korando. Tomado de (Repuestos, 2022)

Cada disco de freno tiene sus medidas, especificaciones, material y están dadas según el diseño de cada fabricante.

Tolerancias en discos de freno

Se requieren calibradores para medir correctamente el grosor mínimo del rotor del freno. El espesor debe medirse al menos en 4 puntos diferentes. Todos los discos de freno tienen un valor mínimo de referencia. Estos datos deben compararse directamente con los parámetros indicados en la escala con la abreviatura MIN TH = (espesor mínimo), seguida del valor en milímetros. Si la medida resultante es menor que el valor MIN TH, se debe reemplazar el disco. Es importante recalcar la necesidad de sustituir el disco izquierdo y derecho, por seguridad, aunque solo uno no exceda el límite mínimo de desgaste. (Brembo, 2018)

Figura 4

Ejemplo tolerancia disco de freno



“Nota. Donde Diam= Diámetro, A= Altura Total, DB= Diámetro entre barrenos, TH=Espesor Nominal, TH Min= espesor mínimo y máximo de rectificado” (Raybestos, 2017, pág. 23)

Fallas en discos de freno

Debido a sus condiciones de trabajo en su funcionamiento se detallan a continuación las fallas en los discos de freno.

Rayado

Figura 5

Rayado de un disco de freno



Nota. Sacado de (gossipvehiculo, 2021)

Esta falla habitualmente es producida por las pastillas de freno, esto cuando no están bien colocadas o el material no es el adecuado para el disco de freno, al accionar el frenado provoca un rayado en la superficie de fricción y una deformación en la misma, la recomendación para este tipo de falla es en la rectificación de ambos discos y una buena instalación en el sistema de frenos. (Imporbrake, 2019)

Cristalización

Figura 6

Disco de freno cristalizado



Nota. Tomado de (e-auto, 2008)

La cristalización del disco se genera cuando al accionar el frenado existe una temperatura mayor a la adecuada entre la superficie de fricción del disco con las pastillas, por lo general:

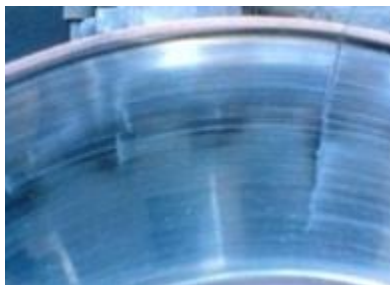
“Al frenar en la bajada de una cuesta sin accionar el embrague generando que la resina que contiene el material de fricción se haga líquida y suba a la superficie formando una capa que evita el rozamiento y la abrasión entre ambos objetos, provocando que el disco o la pastilla se deterioren y el disco se torne de un color azulado”. (Imporbrake, 2019, pág. 7)

Rotura

Esto se genera habitualmente en todo tipo de discos produciendo una grieta en los agujeros, esto para discos ventilados y grietas en la superficie de fricción por cambios bruscos de temperatura en el sistema.

Figura 7

Falla de rotura en disco de freno



Nota. Tomado de (e-auto, 2008)

Alabeado

El alabeado, se genera como un efecto de sobrecalentamiento en la superficie de frenado, que ocasiona deformaciones en el disco de freno, generando una deformación en el disco de frenado. Lo que genera vibraciones y por ende una reducción en la capacidad de

frenado. Al pisar el pedal del freno de forma continua se genera una mayor cantidad de calor entre las pastillas y la superficie del disco.

Figura 8

Falla de alabeo en disco de freno



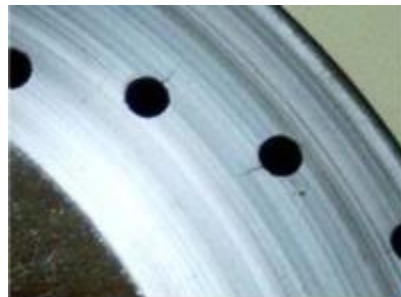
Nota. Tomado de (e-auto, 2008)

Discos de rotor dañados

Al existir marcas en los discos en la superficie de frenado ocasiona que la vida útil de las pastillas se reduzca y produzca una dificultad mayor a la detención del vehículo en su manejo, para lo cual se recomienda utilizar nuevos discos. (Imporbrake, 2019)

Figura 9

Falla de orificios dañados en el disco de freno



Nota. Tomado de (e-auto, 2008)

Importancia de la superficie de fricción en discos de freno

La importancia se basa en la eficiencia de frenado debido a que mientras más baja el espesor de trabajo, mayor es la distancia de frenado, también en el caso del tiempo de frenado, mejora la efectividad a altas temperaturas y permite que la pastilla se asiente de una manera más adecuada; una de las consecuencias de un asentamiento incorrecto es provocar una incomodidad de frenado y muchas veces resulta peligroso la conducción. La rugosidad de la superficie de los discos de frenos tiene una influencia en la generación de vibraciones y chirridos. (Lars Hammerström, 2006)

Rugosidad superficial

En el mecanizado se define como las rugosidades que producen sobre una superficie de una pieza por acción de arranque de viruta de una herramienta de corte.

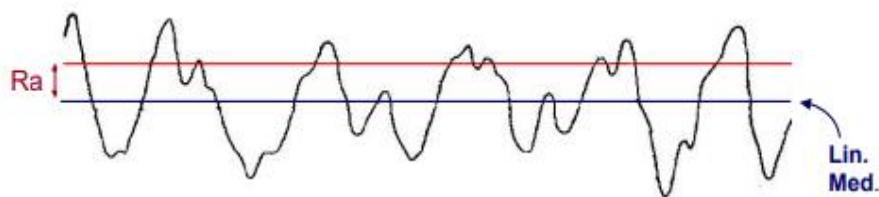
Para definir una medida de rugosidad mayor o menor en una superficie depende en su acabado superficial del elemento, la unidad métrica en el Sistema Internacional es el micrómetro o micra (μm) y en el Sistema Anglosajón se utiliza la micropulgada (μ''). (Larburu Arrizabalaga, 2004)

Expresión de la rugosidad

A continuación, los picos y valles de una superficie aparecen por lo general de forma aleatoria, pero el parámetro más utilizado es la Rugosidad Media (R_a), definido como la media aritmética de los valores absolutos en las coordenadas de rugosidad, Indicado para superficies de rectificado (Uniberts, 2017, pág. 23).

Figura 10

Expresión de rugosidad Ra

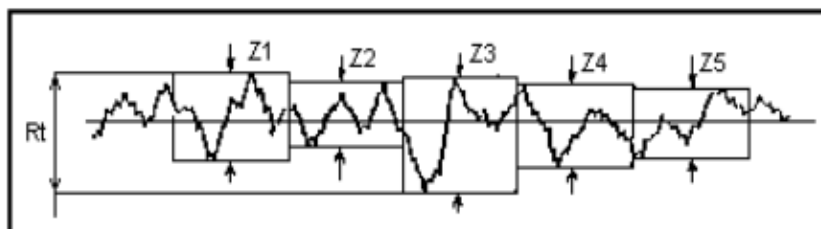


Nota. La medida del valor R_a puede ser expresada en μm o en μin (sistema métrico ó en pulgadas respectivamente). Tomado de (Uniberts, 2017)

Para la profundidad total de la rugosidad denominada (R_t), corresponde a la distancia vertical entre el pico más alto y el valle más profundo caracterizado dentro en la longitud de la medición tomada.

Figura 11

Profundidad total de la rugosidad



Nota. Se considera que la medición de la longitud es igual a la longitud de palpado del equipo.

Tomado de (Tecnología Mecánica, 2015)

Tabla 3

Valores para la medición de rugosidad en función de procesos de fabricación.

Gama aproximada de valores Ra		
Proceso de acabado	μm	μpulg
Superacabado	0,05-0,2	2-8
Lapeado	0,05-0,4	2-16
Bruñido	0,1-0,8	4-32
Rectificado	0,1-1,6	4-63
Torneado con diamante	0,1-0,4	4-16
Torneado	0,4-6,3	16-250
Mandrinado	0,4-6,3	16-250
Estirado	0,8-3,2	32-125
Brochado	0,8-3,2	32-125
Extruido	0,8-3,2	32-125
Fresado	0,8-6,3	32-250
Conformado	1,6-12,5	63,500

Nota. Tomado de (Tecnología Mecánica, 2015)

Máquina rectificadora

(Atupuma & Diaz, 2015) Describe que una rectificadora es un tipo de máquina/herramienta utilizada para el procesamiento mecánico de precisión dimensional y acabado superficial, en ocasiones el rectificado lleva a cabo un proceso de pulido y lapeado. La parte que se debe rectificar se utiliza principalmente de acero templado y tratado térmicamente, utilizado para ello una muela abrasiva sólida, llamada muelas. Las partes que se someten al rectificado deben ser endurecidas por tratamiento térmico, dejando solo una pequeña cantidad material para que la rectificadora pueda quitarlo fácil y completamente.

Tipos de rectificadoras

Rectificadora fija

(Villarroel, 2016) Menciona que suele ser de acero macizo con ejes móviles en posiciones longitudinales y laterales, montado sobre una mesa fija que le sirve de base, como se muestra en la Figura 12. Posee una caja de transmisión, también tiene una caja de herramientas que contiene las cuchillas de alta precisión y un alimentador automático.

Figura 12

Rectificadora de discos y tambores fija



Nota. Tomado de (Villarroel, 2016).

Rectificadora portátil

Los equipos portátiles se basan en que los discos montados en vehículos se pueden mecanizar ligeramente con esta amoladora, generalmente están equipados con un sistema de trabajo electrónico y un conjunto con cualquier accesorio destinado a vehículos ligeros, como se muestra en la Figura 13:

Figura 13

Rectificadora de discos y tambores Portátil



Nota. Tomado de (Villarroel, 2016)

Características de la rectificadora de discos de freno

Los discos de freno al cumplir un cierto kilometraje exigen la necesidad de un mantenimiento, el cual involucra una reparación o rectificado con la finalidad de mantener la eficiencia de frenado en el sistema. Esto, conlleva un desmonte del disco de freno para consecuentemente llevarlo a una rectificadora de discos especializada.

Las técnicas utilizadas para la rectificación de discos son muy buenas, pero el alabeo es un problema de montaje generando molestias debido a que no queda totalmente centrado en el eje del vehículo provocando un desgaste uniforme en las pastillas de freno dando así un frenado no eficiente. (Rodríguez & Topanta, 2011)

Parámetros a tomar en cuenta para el rectificado

Para el proceso de torneado existen parámetros de corte fundamentales siendo los siguientes: (Rodríguez & Topanta, 2011)

- Selección del tipo de herramienta más adecuado
- Velocidad de corte (V_c) expresada en (m/min)
- Diámetro exterior del torneado (mm)

- Revoluciones por minuto (rpm)
- Avance en mm/rev.
- Avance en mm/min
- Profundidad de pasada (mm).

Velocidad de giro

Es la velocidad con la que gira el eje de la rectificadora, esta se expresa en revoluciones por minuto (RPM), es conocida como “n” y depende de la máquina rectificadora al tener unas o varias velocidades. (Benavides & Ergüez, 2012)

Velocidad de corte

Los principales desafíos en el corte de metales hoy en día radican en el desarrollo y aplicación de estrategias innovadoras dirigidas, en primer lugar, a reducir el tiempo de ciclo y los costos para una mejor productividad y una mayor rentabilidad, pero también para mejorar el rendimiento, y especialmente para reducir la cantidad de energía y recursos utilizados. así como las emisiones. En el mecanizado, por ejemplo, de materiales ligeros o aleaciones de alta temperatura, el uso de condiciones de mecanizado altas (HSM y HPC) a menudo está restringido por la capacidad de la máquina o en términos de desgaste de la herramienta y maquinabilidad de la pieza de trabajo. En general, el uso de alta velocidad puede conducir a reducciones en las fuerzas de corte, la potencia y la energía, algo que a su vez tendrá un efecto positivo en el diseño de herramientas y máquina (Arca, 2017).

Para (Sandvik, Coromant, 2017), argumenta que para alcanzar un mejor acabado superficial se debe utilizar una velocidad de corte mayor

Ecuación 1*Velocidad de corte*

$$V_c = \frac{n \times \pi \times d}{1000}$$

Donde:

Vc: Velocidad de corte (m/min)

n: velocidad de giro (rpm)

d: diámetro de la pieza (mm)

Movimiento de avance

Es el movimiento de la cuchilla sobre la superficie de la pieza a rectificar, se mide en milímetros por minuto (f) o milímetros por revolución (fn).

La utilización de una elevada velocidad de avance produce una elevada rugosidad superficial del elemento mecanizado mientras que una velocidad de avance baja produce una mejora en la calidad del mecanizado. (Arroyo, 2015)

Ecuación 2*Movimiento de avance*

$$f = f_n \times n$$

Profundidad de pasada

Es el volumen de viruta desprendida de la pieza que se está maquinado, al entrar en contacto con la cuchilla de corte. Se la conoce como P y se mide en milímetros. (Benavides & Ergüez, 2012)

Tiempo de mecanizado

Es el tiempo a tardar en la rectificación de la pieza, desde el inicio hasta finalizar y se calcula de la siguiente ecuación.

Ecuación 3

Tiempo de mecanizado

$$T_c = \frac{I_m}{f_n \times n}$$

Donde:

- T_c = Tiempo de mecanizado en min
- I_m = Longitud mecanizada mm
- f_n = Avance en mm /rev
- n = velocidad del husillo rpm

Elementos de una máquina rectificadora

Para (Benavides & Ergüez, 2012) al igual que el torno paralelo, la amoladora de disco tiene dos estructuras, la primera se refiere a las partes que incluyen el cabezal y el desplazador, y la cadena cinemática, la misma ciencia responsable de crear, transmitir y regular el movimiento de una máquina.

Elementos mecánicos

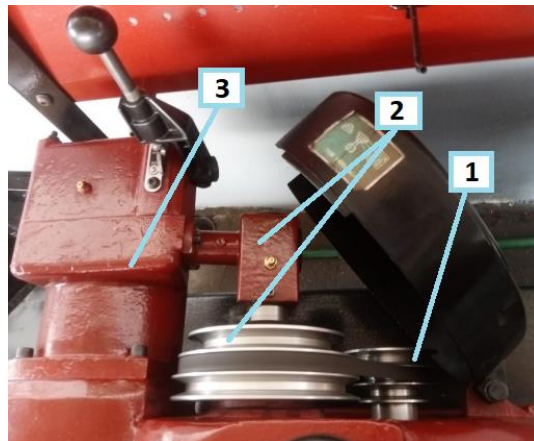
El cabezal. Es la parte donde se incrustan y sujeta el eje, el movimiento es proporcionado por la caja de velocidades.

Carro móvil. Es el encargado de movilizar a los ejes de avance y también de sujetar a los tipos de cuchillas o herramienta de corte. (Benavides & Ergüez, 2012)

Elementos cinemáticos

Figura 14

Elementos cinemáticos máquina rectificadora de discos y tambores de freno



1. Motor de corriente alterna. Encargado de generar el movimiento permitiendo hacer el giro de la pieza, este motor posee una velocidad constante de rotación. (Benavides & Ergüez, 2012)

2. Caja de velocidades. Es un conjunto de engranajes o poleas, determinan la dirección y la velocidad de rotación del cabezal, es decir, la velocidad a la que el eje se une a la pieza de trabajo. Aumentan o disminuyen la velocidad del motor. La caja de cambios puede ser húmeda o seca, cuando se lubrica con cualquier aceite, se llama húmedo; se utiliza engranajes o cadenas en este tipo de caja de cambios. Cuando la caja está seca, sin el uso de ningún lubricante, solo se utilizan poleas y correas. (Benavides & Ergüez, 2012)

4. Caja de avance. La tarea de esta caja de transmisión es determinar la velocidad de la rueda y el eje de transmisión, la transmisión está equipada con un juego de engranajes que engranan con una cremallera unida a la cabeza, por lo que esta velocidad depende de la velocidad que provoca el movimiento de giro de la cabeza. Hoy en día, también se puede encontrar un nuevo tipo de máquina que usa dos motores para producir un movimiento alternativo de un riel o eje, independientemente del movimiento del cabezal. (Villarroel, 2016)

Eje de avance. Cumplen el papel de trasferir el movimiento desde la caja de avance generada por el motor, hacia los carros móviles, estos poseen 2 ejes en plano conocidos como X y Z en el plano cartesiano. (Benavides & Ergüez, 2012)

Accesorios

Para la realización del trabajo de rectificación de discos y tambores de freno se complementan diferentes accesorios tales como:

Eje principal. Es una varilla de metal en la que se inserta la pieza de trabajo, un extremo se coloca el sujetador y el otro se rosca al que se fija la tuerca de sujeción.

Figura 15

Eje principal



Nota. Tomado de (Benavides & Ergüez, 2012)

Porta cuchillas de tambores. Es una varilla de hierro fundido de unos 40 cm de largo, 6 cm de espesor, en cuyo extremo se coloca una cuchilla o herramienta de corte, que se fija con una tuerca. Este tipo de portaherramientas se utiliza para el rectificado de tambores.

Figura 16

Porta cuchilla para tambores de freno



Nota. Tomado de (Benavides & Ergüez, 2012).

Porta cuchillas de discos. Este elemento es un accesorio para posicionar y guiar la herramienta de mecanizado de disco en del carro en movimiento. El diseño le admite colocar dos cuchillas permitiendo un doble refrentado para trabajar en ambos lados del disco de freno, como se muestra en la Figura 17. Se compone de los siguientes elementos.

- Cuerpo de la porta herramienta, donde se fijan sus componentes de corte y principalmente se conecta al carro móvil
- Mangos de precisión, compuesta por dos micrómetros para el acercamiento o alejamiento con respecto a las cuchillas
- Perillas de fijación, mediante ellas se pueden fijar las cuchillas a lugar necesario.

Figura 17

Porta cuchillas para rectificadora de discos de freno



Nota. Tomado de (VILLARROEL, 2016)

Adaptadores. Para (Benavides & Ergüez, 2012) se aplican a discos y tambores en varias combinaciones según el tipo de pieza, se deben colocar con precisión para alinear el orificio con el eje y que actúen como una extensión de la tuerca para el ajuste. Dependiendo de la máquina rectificadora, existen diferentes tipos y tamaños de adaptadores, principalmente cónicos, planos y dobles.

Figura 18

Adaptadores para discos y tambores de freno



Nota. Tomado de (Benavides & Ergüez, 2012)

Sujetadores. Para los sujetadores existe una variedad de formas y tamaños con respecto a tambores y discos de freno, estos poseen una forma acampanada, cumpliendo su función de sujetar los elementos de forma segura.

Figura 19

Sujetadores para discos y tambores de freno



Nota. Tomado de (Benavides & Ergüez, 2012)

Banda anti vibración. Es de material plástico o cuero en forma de correa, cumple la función de disminuir las vibraciones que se generan al realizar el proceso de mecanizar tambores, otro factor que cumple es reducir el ruido

Figura 20

Banda anti vibración



Nota. Tomado de (Benavides & Ergüez, 2012)

Herramienta de corte

Los buriles son una herramienta de corte que hace contacto con la superficie de frenado del disco o tambor, cumple la función de desbastar la superficie de las mismas. La dureza de este elemento debe ser más alta que la pieza a rectificar y poder realizar su trabajo. Dentro del mercado existen un sin número de formas y materiales de herramientas de corte para diversas funciones y especificaciones al uso. (Benavides & Ergüez, 2012)

Tipos de herramienta de corte

Existen 4 tipos de herramientas de corte, las cuales son las siguientes.

Enteriza

Es de tipo enteriza cuando la herramienta es de un solo material

Soldada

Cuando su composición es de dos materiales soldados, es decir, uno para el cuerpo de sujeción y otro para mecanizar.

Plaquita soldada

Este tipo de herramienta posee la plaquita soldada al cuerpo de la herramienta.

Figura 21

Herramienta de plaquita soldada



Nota. Tomada de (Maymol, 2021)

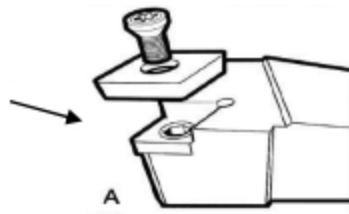
Plaquita intercambiable

En este tipo de herramienta la plaquita encargada de realizar el corte se sujeta al cuerpo de la herramienta mecánicamente dependiendo de su posición, tipo y ángulo.

En la actualidad ya no suelen utilizar los dos tipos de herramientas mencionados con anterioridad para las máquinas rectificadoras de discos y tambores, debido a que es mucho más rentable y fácil de cambiar una plaquita ya desgastada a que volverla a afilar.

Figura 22

Herramienta de plaquita intercambiable



Nota. Tomado de (Benavides & Ergüez, 2012)

Materiales de herramienta de corte

“La herramienta de corte debe tener alta dureza y resistencia a altas temperaturas, buena resistencia al desgaste y alta ductilidad. Estas características dependen directamente del material de la herramienta,

típicamente están hechas de acero rápido, aleaciones con otros metales, carburos y cerámica”. (JRC, 2021)

HSS

La fabricación de buriles en HSS siguen siendo la opción preferida para metales blandos o trabajos de fabricación liviana porque son relativamente económicos y ofrecen la opción de extender la vida útil puliendo con una lijadora o esmeril.

Metal duro (HS)

“Es un material de pulvimetalurgia; compuesto de partículas de carburo de tungsteno (WC) y aglomerante rico en cobalto metálico (Co). En aplicaciones de mecanizado los metales duros se componen de más del 80% de fase WC dura. Los carbonitruros cúbicos son otros componentes importantes, en especial, en calidades de gradiente sintetizado. El cuerpo de metal duro se forma a través del prensado del polvo o técnicas de moldeado por inyección en un cuerpo que luego se sinteriza a la densidad total”. (Sandvik, Sandvik Coromant, 2020, pág. 3)

HSCO

Se utilizan en una variedad de procesos de mecanizado de metales con alta dureza, y para metales blandos a alta velocidades.

Diamante

Considerada la hoja más resistente que posee disponibilidad en el mercado (aunque el coste también es mucho más elevado por este motivo). Diseñado con diamante sintético que no se calienta tanto como otros materiales, lo que prolonga la vida útil de la cuchilla además de la vida útil de la máquina. (Pool, 2021)

Procesos de rectificación

Según (Arroyo, 2015) en el caso de rectificación de disco de freno, se debe tener en cuenta los siguientes factores que afectan directamente su trabajo, uno de los elementos más

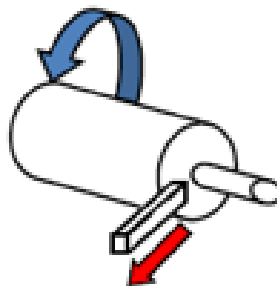
fundamentales de un buen acabado superficial del disco debe tener en cuenta la velocidad de corte y la velocidad lineal de la periferia de la pieza de trabajo donde la herramienta hace contacto. La velocidad de corte en metros por minuto (m/min) debe seleccionarse antes de iniciar el mecanizado, su valor adecuado depende de muchos factores, especialmente la calidad y el tipo de herramienta utilizada, la dimensión de la profundidad de corte, la dureza y maquinabilidad del material que se está procesando y la velocidad de avance usado.

Proceso de refrentado

Es el proceso de rectificado en el extremo de la pieza, en el plano perpendicular al eje del giro, en este proceso las cuchillas desbastan desde el centro hacia afuera. Debido al porta-cuchillas que poseen las rectificadoras de discos y tambores se puede mecanizar ambas superficies del disco al mismo tiempo. (Benavides & Ergüez, 2012)

Figura 23

Proceso de refrentado común



Nota. Tomado de (Benavides & Ergüez, 2012)

Factores que influyen en la rotura de viruta

Radio de punta

Un radio de punta más pequeño, a diferencia de uno grande, beneficia al control adecuado de la viruta y a la reducción de la tendencia a la vibración.

Ángulo de posición

Con base al ángulo, el desprendimiento de la viruta se da en diferentes direcciones, desde la escuadra hacia fuera o con dirección a la escuadra.

Profundidad de corte

Una profundidad de corte mayor influirá en la rotura de la viruta ya que genera fuerzas más grandes en el rompimiento y eliminación de la viruta.

Avance

Un avance mayor genera una viruta más resistente, en ocasiones puede contribuir a la rotura y control de la viruta, una velocidad de avance baja garantiza la calidad del acabado superficial.

Velocidad de corte

Un avance más elevado creará, por lo general, una viruta más resistente y una velocidad de corte mayor puede mejorar el acabado superficial. (SANDVIK, 2021)

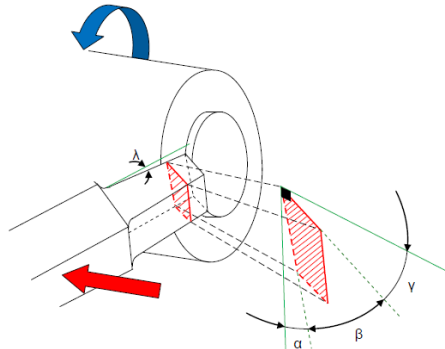
Ángulos principales de la herramienta de corte

Los ángulos principales son los siguientes

- Ángulo alfa de incidencia (α).
- Ángulo beta de filo (β).
- Ángulo gama de desprendimiento (γ).
- Ángulo lambda de inclinación (λ).

Figura 24

Ángulos principales



Nota. Tomado de (Benavides & Ergüez, 2012)

Ángulo de incidencia α

Este ángulo está formado por la superficie del elemento a mecanizar y de la superficie de incidencia de la herramienta de corte, a través de esta manera se disipa el calor que se genera por la fricción entre la superficie de la pieza.

Ángulo de filo β

Formada por la superficie de incidencia de la herramienta de corte y la superficie de ataque, el objetivo de este ángulo es establecer que tan puntiaguda estará la cuchilla y su debilidad. El riesgo es alto de romperse la cuchilla, mientras mayor sea la punta.

Ángulo de desprendimiento γ

Está formado por la superficie de ataque de la herramienta de corte y la línea radial de la pieza, mientras más grande sea este ángulo la fuerza de corte disminuye, la forma de la viruta influye en el ángulo, cuando este sea más pequeño, la velocidad de corte será más rápida.

Ángulo de inclinación λ

Este ángulo es diseñado para la salida de viruta y permite que la herramienta de corte se incline con respecto a la pieza a mecanizar. (Arca, 2017)

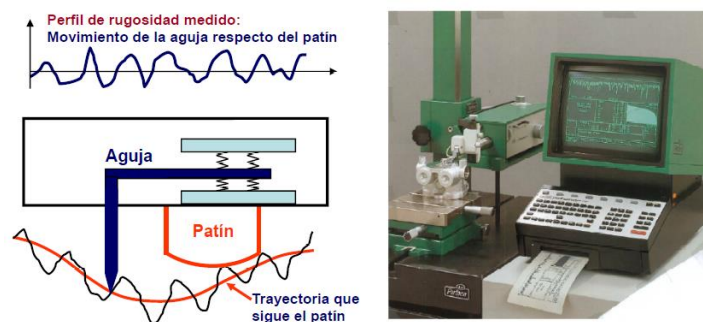
Rugosímetro

Para la medición de la rugosidad que se genera en la superficie de frenado se lo realiza con un instrumento conocido como rugosímetro, el cual se compone de:

- Aguja, esta se introduce entre los picos y valles.
- Captador, registra la magnitud de los movimientos verticales a través de la aguja
- Motorización, elemento encargado de empujar y arrastrar la aguja a través superficie
- Electrónica, Registra los datos captados y los procesa para obtener los parámetros medidos.

Figura 25

Instrumento rugosímetro



Nota. Tomado de (Tecnología Mecánica, 2015)

Proceso de medición de una superficie

Se definen los pasos a realizar para obtener la medición de la rugosidad en una superficie.

1. Realizar el proceso de calibración del elemento, a través de un espécimen de referencia de precisión certificado por el rugosímetro, colocada en la bancada de soporte debajo del palpador, se debe realizar una serie de 10 medidas del mismo trazo y verificar el valor recomendado.

Figura 26

Calibración de medida de rugosidad a través de espécimen de referencia



Nota. Tomado de (Mltutoyo, 2015)

2. Ubicar el elemento a medir la superficie debajo del palpador y girar la perilla de la columna en sentido horario es decir apretar para mover el palpador hasta que el nivel de palpación se regule en 0 a través de un indicador.

Figura 27

Ubicación del palpador en la superficie a medir mediante el giro de la perilla



Nota. Tomado de (Mltutoyo, 2015)

3. Colocar el rango de medición de rugosidad y ajustar la velocidad de avance del vástago o definir en modo automático.

Figura 28

Ajuste de velocidad de avance del vástago

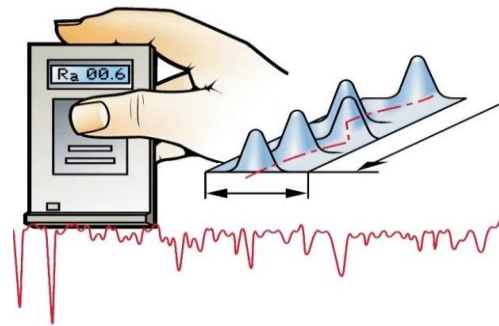


Nota. Tomado de (Mltutoyo, 2015)

4. Se continúa seleccionando el parámetro de ondulación de Ra y se continua con presionar start para que comience con las mediciones, se espera a la medición y el cálculo, para finalmente verificar los valores que tenga un producto en Ra.

Figura 29

Verificación de medición en Ra



Nota. Tomado de (Sandvik C. , 2020)

Normativa ECE R90

Diseñada principalmente para normalizar las pruebas de homologación del conjunto de pastillas de freno, discos y tambores de automotores de diversas designaciones. Para las pruebas existen categorías que pertenecen para cada tipo de vehículo, la norma de la Unión Europea menciona una categoría M y N según su normativa:

Tabla 4*Normativa Europea, categoría M y N*

Categorías por criterios de homologación	Descripción	Clasificación por criterios de construcción
Categoría M	Vehículos de motor concebidos y fabricados principalmente para el transporte de personas y equipaje (Reglamento UE 67 8/2011)	
Categoría M1	Vehículos que posean, como tope, ocho asientos incluyendo la del conductor. Notándose la ausencia del espacio de viajeros que vayan parados. El conductor solo poseerá un lugar de conducción.	10
Categoría M2	Vehículos que posean, más de ocho asientos incluyendo la del conductor y que su masa supere las 5 toneladas. Pudiendo poseer, además, espacio para ocupantes a pie.	11,12,13,14
Categoría M3	Vehículos que posean, más de ocho asientos incluyendo la del conductor y que su masa supere las 5 toneladas. Pudiendo poseer, además, espacio para ocupantes a pie.	12,13,14,16
Categoría N	Vehículos de motor concebidos y fabricados principalmente para el transporte de mercancías	
Categoría N1	Vehículos dentro de la categoría N, que su masa máxima no sea superior a la de 3,5 toneladas	20,23,24
Categoría N2	Vehículos de esta categoría que su masa sea superior a las 3,5 toneladas, pero no a las 12 toneladas	21,23,25
Categoría N3	Vehículos que su masa sea superior a las 12 toneladas	22,23,26

Nota. Tomado de: (Itv, 2015)

En la tabla 4 se observan valores preestablecidos por categorías propuestos por la norma ECE R90, esto para la primera columna, en la segunda representan características de los vehículos con base en su peso he intervalos a los que están ya predispuestos. La última columna describe el número de ocupantes aplicados dentro de la norma.

Es importante mencionar que según (CEPE, 2012): “Los conjuntos de forro de freno de origen utilizados para los ensayos comparativos y ya instalados en el vehículo de ensayo pueden utilizarse a condición de que estén en buenas condiciones y no se hayan desgastado más de un 20 % con respecto al grosor inicial. No deben tener daños, grietas, corrosión excesiva o signos de recalentamiento.”, o reemplazarlos por unos nuevos para mayor seguridad del ensayo.

Las pruebas requieren de un precalentamiento el cual consiste en recorrer 50 Km a conducción normal y generando una sucesiva frenada teniendo como objetivo generar una temperatura inicial de trabajo del sistema de frenado, oscilando entre los 250°C a 500°C respectivamente.

Una vez realizada la prueba anterior, se procede a alcanzar una velocidad de 70 Km/h y consecuentemente generar el frenado progresivo hasta que el vehículo se detenga totalmente y con el motor desembragado, con base en punto 1.1.2.3 del anexo 3 de la norma ECE R90, para el requerimiento se debe tener una carga total máxima correspondiente de 5 ocupantes en el vehículo o un peso simulado a la misma (500 lb mínimo o 226,76 Kg).

Tabla 5

Velocidad de ensayos en base a su categoría

Categoría de vehículo	Velocidad de ensayo en KM/H	
	Eje delantero	Eje Trasero
M1	70	45
M2	50	40
N1	65	50

Nota. Tomado de: (CEPE, 2012)

Pruebas de temperatura norma ECE R90

Deben tomarse 10 valores de temperatura del sistema, para que alcance su límite máximo de temperatura y para verificar si está dentro del rango permitido. Para su medición es necesario un termómetro de laser digital apuntado en dirección al disco, lo más cercano a la pastilla, y la generación de una bitácora.

Para la siguiente tabla se debe completar y verificar las especificaciones que determina la normativa: (CEPE, 2012)

Tabla 6

Tabla de pruebas de resultados de temperatura en cada frenado

Parámetro	Eje delantero	Eje trasero	Eje trasero
		Freno de disco	Freno de tambor
Número de paradas por ciclo	10	10	10
Velocidad al inicio de frenado (Km/h)	70	70	45
Nivel de desaceleración (g)	0,4	0,4	0,4
Presión máxima (kpa)	16000	16000	10000
Temperatura inicial 1°C	<100	<100	<100
Temperatura inicial 2°C	<215	<215	<151
Temperatura inicial 3°C	<283	<283	<181
Temperatura inicial 4°C	<330	<330	<202

Parámetro	Eje delantero	Eje trasero	
		Freno de disco	Freno de tambor
Temperatura inicial 5°C	<367	<367	<219
Temperatura inicial 6°C	<398	<398	<232
Temperatura inicial 7°C	<423	<423	<244
Temperatura inicial 8°C	<446	<446	<254
Temperatura inicial 9°C	<465	<465	<262
Temperatura inicial 10°C	<483	<483	<272
Número de ciclos	1	1	1

Nota. Tomado de (CEPE, 2012)

Pruebas de distancia y tiempo de frenado norma ECE R90

Según la normativa ECE R90 la distancia de frenado equivale a la longitud total que el vehículo ha desarrollado, sin tracción y se da a cumplir cuando se genera el accionamiento de frenado hasta detener totalmente el vehículo. Se recomienda utilizar un sistema de GPS para determinar la distancia exacta y poder definir la magnitud de la distancia de frenado.

El tiempo de frenado es el valor que tarda el vehículo en detenerse totalmente.

Empieza la prueba cuando el vehículo llega a la velocidad de prueba como se indica en la Tabla 4 según la categoría equivalente y al eje tomado, una vez alcanzada esa velocidad, el vehículo no tiene que estar embragado, y solamente ser gobernada por el sistema de frenos, aplicando desaceleraciones sucesivas hasta la detención total del vehículo. Para la toma del tiempo que tarda en detenerse se necesita un cronómetro muy preciso mientras se aplica lo anterior mencionado.

La normativa ECE R90, establece que se realizan 10 medias de los parámetros y tomando en cuenta el total de pulsaciones que se hicieron al pedal del freno.

Tabla 7

Tabla resultante del ensayo de distancia y tiempo de frenado, norma ECE R90

Parámetro	Freno de disco	Eje delantero
Número de paradas por ciclo	10	10
Velocidad al inicio del frenado (km/h)	70	45
Velocidad al final del frenado (km/h)	0	0
Nivel de desaceleración (g)	0,4	0,4
Número de pulsaciones	>10	>10
		Tiempo de frenado (S)
Distancia de frenado 1 (m)	<247,51	<25,5
Distancia de frenado 2 (m)	<244,123	25,1
Distancia de frenado 3 (m)	<243,112	<25
Distancia de frenado 4 (m)	<240,231	<24,9
Distancia de frenado 5 (m)	<239,09	<24,7
Distancia de frenado 6 (m)	<238,05	<24,5
Distancia de frenado 7 (m)	<237,806	<24,1
Distancia de frenado 8 (m)	<235,032	<24
Distancia de frenado 9 (m)	<234,16	<23,8
Distancia de frenado 10 (m)	<231,24	<23,5
Número de ciclos	1	1

Nota. Tomado de: (CEPE, 2012)

Con base en el experimento se define la distancia y el tiempo, para establecer el valor real de distancia y tiempo de frenado se aplican las siguientes formulas según la normativa:

Ecuación 4

Distancia de frenado experimental según ECE R90

$$d_{frenado} = \frac{d_{experimental}}{\#pulsaciones}$$

Donde:

$d_{frenado}$: Es la distancia de frenado real (m)

$d_{experimental}$: Es la distancia de frenado experimental (m)

$\#pulsaciones$: Es el valor total de pulsaciones que se hicieron hasta que el vehículo se detenga

Ecuación 5

Tiempo de frenado experimental según ECE R90

$$t_{frenado} = \frac{t_{experimental}}{\#pulsaciones}$$

Donde:

$t_{frenado}$: Es el tiempo de frenado real (m)

$t_{experimental}$: Es el tiempo de frenado experimental (m)

$\#pulsaciones$: Es el valor total de pulsaciones que se hicieron hasta que el vehículo se detenga

Parámetros dinámicos y térmicos para el disco de freno

Distancia de frenado

Se define como la distancia requerida para detener por completo el vehículo desde una velocidad inicial con una aceleración constante o variable. El freno de emergencia reduce la velocidad, también es conocido como desaceleración. (Arredondo, 2019)

Según (Chico M, 2019) “es necesario saber la masa del vehículo (m) para obtener este valor, la fuerza de factor de roce sobre las pastillas (Fr), la velocidad a la que se comienza a frenar el vehículo (Vi), y la velocidad final que llega el vehículo al final del frenado (Vf)”.

Ecuación 6

Distancia de frenado

$$l = \frac{1}{2} * \frac{m}{g * Fr} * (Vi^2 - Vf^2)$$

Tiempo de frenado

Es un valor que determina el tiempo que el móvil tarda en parar, desde que se acciona el pedal del freno, para comprobar este valor es necesario determinar la velocidad en la que comienza la acción de frenado (V_i) y la desaceleración producida por el mismo (a).

Ecuación 7

Tiempo de frenado

$$t_{\text{fren}} = 0,28 * \frac{V_i}{a}$$

Temperatura del disco de freno

Es la temperatura que posee el disco de freno teniendo en cuenta la trasaferencia de calor, peso proporcional al vehículo, velocidad inicial, frecuencia de parada y la disipación térmica del frenado. En la conducción el calor se transmite del disco a las pastillas. (Chico M, 2019)

Ecuación 8

Temperatura del disco de freno

$$T = \frac{M_d * \omega * t_{\text{fren}} + m_D * c_d * T_0 + h * A_c * T_{\text{amb}}}{m_D * c_d + h * A_c}$$

Donde:

M_d : momento generado por la pastilla sobre el disco

ω : velocidad angular del disco de freno

t_{fren} : tiempo de frenado

m_D : masa del disco de freno

c_d : capacidad calorífica del disco de freno

T_0 : temperatura inicial del disco de freno

h : coeficiente de convección del disco de freno

A_c : área de la pastilla

T_{amb} : Temperatura ambiente sobre el que se desarrolla el frenado.

Eficiencia de frenado

Es un valor en porcentaje que determina la desaceleración que se genera en sistema, esto en relación a la aceleración de la gravedad. Se determina en la siguiente ecuación:

Ecuación 9

Eficiencia de frenado

$$\eta = \frac{a}{g} * 100$$

Donde:

η : Es la eficiencia de frenado (%)

a : La desaceleración generada por el sistema de frenado (m/s²)

g : valor de la aceleración de la gravedad (m/s²)

Cálculo de desaceleración

Para el cálculo de la desaceleración se utiliza la siguiente formula:

Ecuación 10*Desaceleración*

$$a = \frac{V_f - V_o}{t}$$

Donde:

a: aceleración expresada en (m/s²)

V_f: velocidad final (m/s)

V_o: velocidad inicial (m/s)

t: tiempo (s)

Capítulo III

Máquina Rectificadora y características de rectificación

Puesta a punto de la máquina rectificadora

El informe establecido por (Ambacar, Estado de la Máquina Rectificadora TRE 9350 BRAKE LATHE, 2022) indica el estado de la máquina rectificadora de discos y tambores de freno no se encuentra en condiciones óptimas de funcionamiento. En este capítulo se detalla la reparación y sustitución de elementos en la máquina para su funcionamiento ideal.

Características de la máquina TRE-9350

La rectificadora de discos y tambores de freno con base a su manual determina las características detalladas en la tabla 8.

Figura 30

Rectificadora de discos y tambores TRE-930



Tabla 8

Especificaciones de la rectificadora TRE-9350

ESPECIFICACIONES	
Altura total - Torno solo	17" / 432mm
Altura total - Torno con banco:	59" / 1499mm
Ancho total - Torno solo	45" / 1143mm
Ancho total - Torno con banco:	48" / 1219mm
Profundidad total – Torno solo	35" / 889 mm
Profundidad total – Torno con banco	35" / 889mm
Husillo a piso – En banco	38" / 965mm
Motor de husillo	1HP,3HP:0.75kw (1HP)
Recorrido del husillo	6-7/8" / 175mm
Eje de velocidad	70,88,118 r/min
Variable de avance del husillo	Min: 0.002 Inch por Rev./0.05 Mm/Rev
Variable de avance del husillo	Max: 0.020 Inch por Rev./0.50 Mm/Rev
Alimentación cruzada – Manual fina	0.002 Inch por Rev./0.05 Mm/Rev
Avance cruzado – Curso manual	0.01 Inch por Rev./0.254 Mm/Rev
Graduaciones de avance de herramientas de volante	0.002" /0.050mm
Diámetro máximo del rotor	14-1/2" / 386mm
Grosor máximo del rotor	1-7/8" / 48mm
Diámetro mínimo del tambor	Min: 6" / 152mm
Diámetro del tambor del tambor de freno	Max: 28" /711mm
Profundidad máxima del tambor	6-7/8" / 175mm
Carga máxima	100 lb / 45.36 Kg

Nota. Las especificaciones mencionadas con base al fabricante. Tomado de (Brake Lathe, 2000)

Parámetros de puesta a punto de la máquina TRE-9350

En rectificadora de discos y tambores de frenos se determinó varias averías con base a su informe técnico, los mismos que son analizados para consecuentemente realizar la reparación de los componentes o partes afectadas que impiden un buen funcionamiento de la máquina, para la puesta a puesta a punto se efectuará la sustitución de elementos averiados.

Se debe considerar las partes más importantes de la herramienta, ya que son máquinas de precisión y están en constante movimiento. Se comenzó con el diagnóstico del error y seleccionó las partes más dañadas para encontrar una solución al problema. Después de hacer las correcciones y modificaciones necesarias, la máquina funciono adecuadamente.

Tabla 9

Averías encontradas en la máquina rectificadora TRE-9350

Elemento	Estado	Tipo de corrección
Motor eléctrico	Regular	Limpiar
Conductores eléctricos	Regular	Limpiar
Switch de encendido	Averiado	Cambiar
Iluminación	Averiado	Cambiar
Poleas de transmisión	Regular	Ajustar, limpiar
Bandas de transmisión	Regular	Ajustar
Acoples de disco y tambor	Averiado	Cambiar
Conjunto de cajas de cambios de velocidad variable para tambores de freno	Averiado	Limpiar, cambiar, fabricar, lubricar
Conjunto de cajas de cambios de velocidad variable para discos de freno	Averiado	Limpiar, cambiar, fabricar, lubricar
Sistema de transmisión	Averiado	Limpiar, cambiar, fabricar, lubricar
Colector de viruta	Averiado	Fabricar
Estructura de la máquina	Averiado	Limpiar, pintar

Nota. Los componentes en estado averiado se realiza el mantenimiento correctivo, mientras que regular se realizara un mantenimiento preventivo.

Motor eléctrico

Es una de las partes fundamentales de la máquina, este componente se encontró lleno de polvo con impurezas es su cableado, esto a causa de la falta de mantenimiento existente como se muestra en la siguiente figura.

Figura 31

Motor eléctrico



El motor funciona bien, el encendido es rápido y eficiente, el sonido del motor también es bueno, no hay signos de problemas, la vibración del motor es normal, signos de sobrecalentamiento inexistentes, lo que elimina la posibilidad de que el motor provoque fallas en el equipo.

Se realizó la limpieza del elemento quitando las impurezas encontradas al igual que sus conexiones eléctricas y así evitar un sobrecalentamiento o un cortocircuito con la finalidad de preservar la vida útil del componente.

Conductores eléctricos

Las conexiones se encuentran en un estado correcto debido a que no presentaban fisuras o daños internos, por lo que no se recomienda reemplazarlas las pruebas de continuidad confirmaron la funcionalidad del alambrado.

Se realizó la limpieza de las conexiones eléctricas removiendo el polvo y las partículas de viruta existentes desde la salida del motor hasta la conexión del toma corriente.

Figura 32

Conductores eléctricos



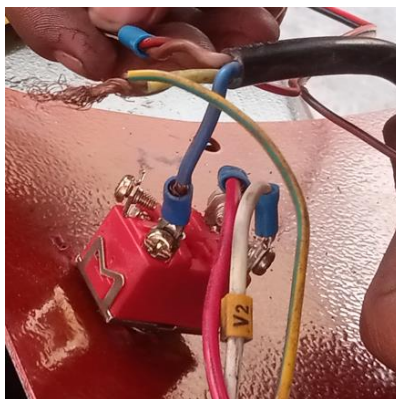
Switch de encendido

Componente para el accionamiento del motor conjuntamente con el sistema de transmisión de la máquina rectificadora, presenta un deterioro en su accionamiento y en sus pines una conexión para su funcionamiento, no se observa señales de recalentamiento ni cables en mal estado.

Se realizó la instalación de un nuevo interruptor con las características de 250V y 15 A con sus respectivos conectores y terminales para mejorar su forma de conexión, evitar el roce de cables y que no exista un sobrecalentamiento en su funcionamiento.

Figura 33

Switch de encendido

***Iluminación***

Este elemento es que transforma la energía eléctrica en luz, es la forma más común de la iluminación artificial. Las condiciones de la lámpara de iluminación no cumplen con su funcionalidad dejando inhabilitado este componente, se determinó un estado de avería en su funcionamiento y se realizó un remplazo de sus partes dañadas.

Se verifico el estado del cableado, la misma que no presenta daño alguno en el recorrido desde el switch de encendido de la máquina hasta el conector switch de la lámpara, se verificó el estado del conector el cual no demostrando daño alguno; se reemplazó la boquilla debido a que no se encontraba en condiciones óptimas y conjuntamente se renovó un nuevo dicroico tipo led con alimentación multivoltaje a 5 watt por motivos de antigüedad utilizado anteriormente.

Figura 34*Sistema de iluminación****Poleas de transmisión***

En su funcionamiento el estado se encuentra aceptables, existe un juego en entre el templador del motor con la polea de transmisión, pero sin el mantenimiento necesario y las correcciones empleadas podrían llegar a una avería más grave.

Figura 35*Poleas de transmisión desalineadas*

Una vez realizada la limpieza de las poleas con un anticorrosivo en spray y con la ayuda de una escuadra se alinearon las poleas del motor con la de transmisión. Se instaló la polea que no presenta daño alguno en su material con un ajuste normal, también se realizó

correcciones en sistema de ajuste para que cumpla correctamente su función de transmisión de velocidad.

Figura 36

Calibración de la banda y poleas



Acoples de disco y tambor

Son los accesorios utilizados para el ajuste y para estabilizar los discos o tambores de frenos previo a la rectificación, la máquina ya cuenta con acoples propios del fabricante, pero en la inspección se determinó que algunos acoples se encuentran en mal estado he incluso avía acoples faltantes.

Figura 37

Acoples de discos y tambores sustituidos



Con el manual del fabricante de la máquina rectificadora se procedió a remplazar los acoples que se encuentran en mal estado basados en los detalles de funcionamiento como 3

conos de centrado, un adaptador cónico doble, se incorporó 2 espaciadores faltantes, las bandas de vibración, una para tambores y otra para discos de freno, se reemplazó el acople de auto alineación y limpieza en general de los acoples existentes.

Figura 38

Accesorios y acoples de discos y tambores de freno



Funcionalidad

La función de una máquina depende de sus movimientos específicos que permite realizar la tarea de rectificación.

- Mando longitudinal del carro superior.
- Mando transversal del carro inferior.
- Mando de las cuchillas de corte.

Figura 39

Funcionalidad de mandos de la rectificadora de discos y tambores de freno



Conjunto de caja de cambios de velocidad variable para tambores de freno

Al realizar las pruebas de funcionalidad se verificó el estado respectivo del uso en tambores y presenta ciertas anomalías en el movimiento manual, el volante de mando longitudinal del carro superior presentaba un atasque en ciertas ocasiones, de la misma manera se determinó falencias en su mando automático dado que no realizaba ningún movimiento al accionarlo, se optó por un mantenimiento correctivo y preventivo.

Figura 40

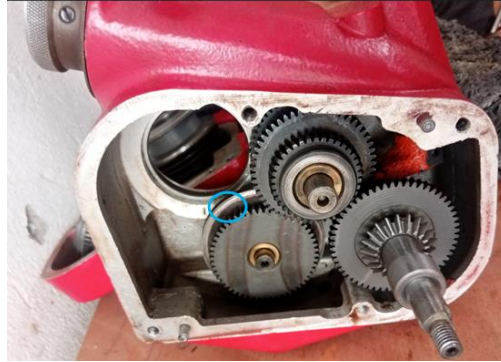
Despiece de caja de cambios para tambores en mal estado



Con base en las especificaciones del manual de fabricante se realizó el debido despiece del conjunto de caja de cambios de velocidad variable de tambores de freno, se observa que el estado de lubricación se encuentra en mal estado y lleno de impurezas, se observa que faltan engranajes en su mecanismo, otros desacoplados y unos en mal estado, por lo se procedió a la fabricación de los engranes con un proceso de torneado y cambio de acoples existentes en el mercado.

Figura 41

Engranaje de fricción de la caja de cambios para tambores en mal estado



Se realizó el armado mediante la instalación de los engranes de fricción fabricados y conjuntamente con los engranajes planetarios, verificando un acople entre este tipo de engranajes con las especificaciones del manual y con la lubricación correspondiente de todo el sistema de transmisión.

Figura 42

Sistema de cambios de velocidad variable para tambores de freno y lubricado



Los acoples faltantes como la varilla limitadora, el mango de accionamiento del automático, conjuntamente con el tenedor fueron instalados con la finalidad de devolverle el estado óptimo al carro superior.

Figura 43

Armado de la caja de cambios de velocidad variable para tambores de freno

***Conjunto de cajas de cambios de velocidad variable para discos de freno***

De la misma manera se procedió a verificar la correcta funcionalidad mediante la manipulación del volante de mando transversal del carro inferior en modo manual, y al aplicar el impulso cumplía efectivamente la función delegada al carro inferior. El avance automático cuenta con dos modos de funcionamiento, pero su mango de operación carecía de la manipulación apropiada, por lo que se realizó el despiece y mantenimiento correctivo para devolver su óptimo funcionamiento al carro inferior.

Figura 44

Cajas de cambios de velocidad variable para discos de freno

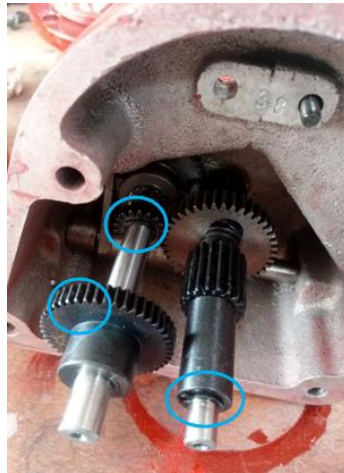


Con base en el manual de fabricante se realizó el despiece respectivo del grupo de cambios de velocidad variable para discos de freno, a través del cual se observó que sus

arandelas, engranajes de avance preciso, engranaje de clutch y ejes se encuentran en un buen estado sin señales de remordimiento o fisuras, se realizó una limpieza de los componentes previo a su lubricación.

Figura 45

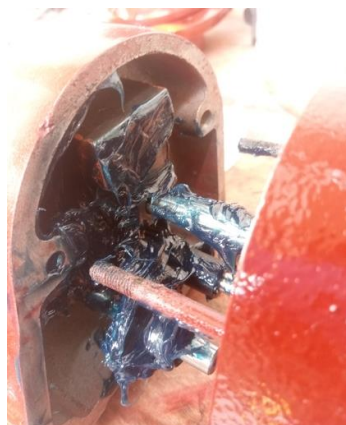
Despiece de la caja de cambios de velocidades variable para discos de freno



Se procedió al ensamble del grupo general de los componentes de la caja de cambios, verificando sus acoples correctos entre los engranajes con base en el manual de fabricante. Para un mejor accionamiento se utilizó grasa azul sintética ideal para los esfuerzos de fricción.

Figura 46

Caja de cambios de velocidades variable para discos de freno lubricado



Una vez realizada la instalación de los acoples faltantes como la placa límite de cambio de velocidades, la manija móvil con su mango de bola para el accionamiento del automático, el carro inferior volvió a su estado óptimo.

Figura 47

Ensamble grupal del conjunto de cajas de velocidad variable para discos de freno



Sistema de transmisión.

En el análisis se identifica que un eje de engranaje en su rueda dentada se encontraba desgastada, esto ocasionaba un ruido anormal en este sistema, los tapones se remplazaron por unos nuevos debido a su mal estado, de ahí que, se procede a la construcción del acople con un proceso de torneado y adicionalmente se instaló el nuevo elemento y se lubricó el sistema.

Figura 48

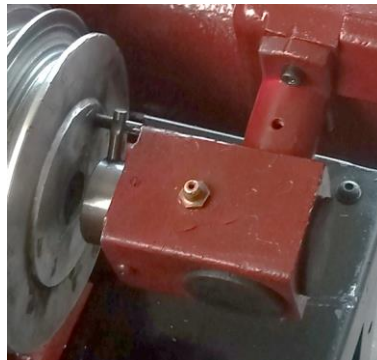
Eje de engranaje en mal estado



Una vez realizado el mantenimiento correctivo y preventivo, como último proceso se realizó el ensamble total del grupo como especifica el manual del fabricante tomando en cuentas todos los acoples entre engranajes y verificando su optimo estado de funcionamiento.

Figura 49

Sistema de transmisión ensamblado

**Colector de viruta**

La estructura presento fisuras en las bases con señales de manipulación, esta cuenta con dos colectores, uno que va sujeto a la mesa de trabajo que sirve como guía y la otra en el suelo que cumple la función de colector, resulta preciso, construir una similar de acuerdo a las medidas establecidas.

Figura 50*Colectores de viruta en mal estado*

La viruta son los fragmentos del material de manera residual que se extra mediante la rectificación de discos y tambores en forma de polvo producto del acabado superficial. Una vez construidos los colectores, luego se instala en la estructura de la máquina.

Figura 51*Recolector de viruta****Estructura de la máquina***

La máquina rectificadora de discos y tambores presento un deterioro en su superficie, es decir, en su aspecto estético existen partes decoloradas generando corrosión y oxido por el mismo hecho del uso y poco mantenimiento.

Figura 52

Estructura superficial de la máquina



Para la restauración superficial de la máquina rectificadora se utilizó masilla automotriz (Mustang) para corregir las irregularidades que existen en el área y evitar corrosiones en las partes afectadas por el deterioro.

Figura 53

Proceso de restauración de la estructura de la máquina



Una vez realizado el proceso de resanar hendiduras y otras irregularidades en superficies se aplicó una capa de pintura base para un mejor acople en la pintura final.

Figura 54

Estructura superficial reparada

**Pruebas de funcionamiento de puesta a punto de la máquina**

Para verificar el estado óptimo de la máquina se realizaron las siguientes pruebas.

Verificación eléctrica

Una vez realizada la ubicación en el taller de mantenimiento automotriz en las instalaciones de Ambacar, se continuó con las pruebas eléctricas de la máquina, conectando una corriente alterna de 220v y comprobando su efectividad al encender y trabajar con normalidad.

Figura 55

Pruebas de funcionamiento eléctrico



Verificación mecánica

Para las pruebas se realizó el procedimiento de rectificado de discos y tambores de freno que se trabajan en la empresa Ambacar de la agencia Latacunga, bajo las especificaciones proporcionadas por el jefe de taller, verificando así su condición de estado óptimo de funcionamiento y así devolver la operatividad de máquina rectificadora de discos y tambores de freno modelo TRE 9350.

Figura 56

Pruebas mecánicas con el jefe de taller de Ambacar



Características de los discos a rectificar

Los discos utilizados en la rectificación se tomaron de un Toyota Tercel 1.6, en la Tabla 10 se detallan las características y especificaciones.

Tabla 10

Especificaciones técnicas el disco de freno del Toyota Tercel

Modelo	Especificaciones	Valor
Ventilado	Diámetro	238 mm
	Espesor nominal TH	18 mm
	Espesor mínimo TH	17 mm
	Altura	43 mm
	Peso	3,9 kg
	Material	G3000

Nota. El material G300 corresponde a fundición Gris. Tomado de (Kashima, 2013)

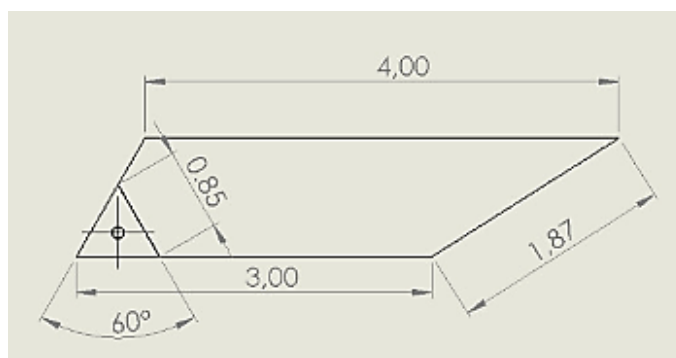
Selección de la plaquita

Selección según la máquina TRE-9350

Según el manual de la máquina rectificadora de discos y tambores de frenos el portaherramientas específico de uso, corresponde a:

Figura 57

Porta herramientas específico máquina TRE-9350



Nota. Dimensiones expresadas en cm

Selección de la plaquita Sumitomo

Según el portaherramientas utilizado en la máquina TRE 9350 la plaquita coincidente, recomendada por el fabricante (Brake Lathe, 2000), es TCMT 110208N-SU con los siguientes parámetros de mecanizado.

Tabla 11

Parámetros de plaquita TCMT 110208N-SU

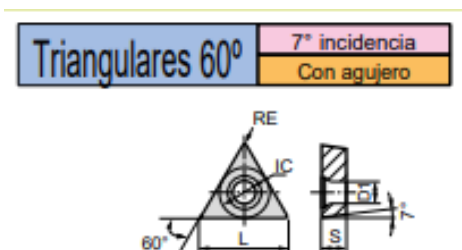
SUMITOMO ELECTRIC			
Proceso de corte	Denominación	Velocidad de corte	Avance por revolución
		Vc(m/min)	Fn(mm/rev)
Corte continuo	TCMT 110208N-SU	100-130-160	0.08 - 0.2 -0.3
Corte general			

Nota. Tomado de (Sumitomo, 2021)

El tipo de plaquita es positiva con un ángulo de 7° de incidencia en las aristas de corte y principalmente son utilizados para desbaste ligero y acabado de exteriores, aconsejable para el mecanizado por su flujo de viruta garantizando un corte limpio, con un buen acabado superficial y duración de vida útil de la herramienta (CNC, 2012)

Figura 58

Dimensiones de la plaquita TCMT 110208N-SU



Nota. Tomada (Sumitomo, 2021)

Tabla 12

Dimensiones de la plaqueta

Dimensiones (mm)					
TC	L	IC	S	D1	RE
110208	11	6,35	2,38	2,8	0,8

Nota. Tomado de (Sumitomo, 2021)

Selección de la plaquita Sandvik

Según el portaherramientas utilizado en la máquina TRE 9350 la plaquita coincidente, recomendada por el fabricante (Brake Lathe, 2000), es TCMT 110308-PM 4225 con los siguientes parámetros de mecanizado.

Tabla 13

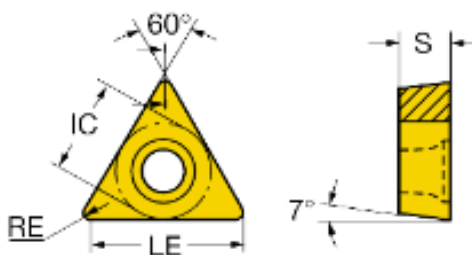
Parámetros de plaquita TCMT 110308- PM

SANDVIK COROMANT			
Proceso de corte	Denominación	Velocidad de corte	Avance por revolución
		Vc(m/min)	Fn(mm/rev)
Corte continuo	TCMT 110308- MM	175 – 205 - 240	0.09 -0.17- 0.26
Corte general			

Nota. Tomado de (Sandvik, Sandvik Coromant, 2020)

Figura 59

Dimensiones de la plaquita TCMT 110308- MM



Nota. Tomado de (Sandvik, Coromant, 2022)

Tabla 14*Dimensiones de la plaquita*

Dimensiones (mm)					
TC	Le	IC	S	D1	RE
110308	9,94	6,35	3,1	2,8	0,8

Nota. Tomado de (Sandvik, Coromant, 2022)**Selección de parámetros de mecanizado****Selección de mecanizado para G3000**

Según el catálogo de Sumitomo los parámetros de mecanizado recomendados son:

Tabla 15*Parámetros de mecanizado recomendadas para G3000*

Material	Proceso de corte	Condiciones de corte		
		Prof. de corte a_p (mm)	Avance f_n (mm/rev)	Velocidad de corte V_c (m/min)
Fundición gris	Continuo-General	0,5 - 2,0- 6,0	0,10- 0,25- 0,40	200- 400- 700

Nota. Tomado de (Sumitomo, 2021)**Cálculos de parámetros de rectificación**

En el presente proyecto se rectificará el disco en cuatro diferentes mecanizados los cuales se basan en 2 tipos de fabricante de herramienta de corte, como son: Sumitomo y Sandvik, cada una de ellas a 2 diferentes velocidades de corte elegidas con base en las especificaciones de mecanizado de la plaquita y en referencia a los parámetros de máquina rectificadora de discos de frenos, como se detallan en las tablas 11 y 12.

Velocidad de corte 1

Con base en las especificaciones del manual, la velocidad máxima del husillo es de 165 rpm, por lo cual la velocidad de corte se calcula en la siguiente ecuación 1:

$$V_c = \frac{n \times \pi \times d}{1000}$$

$$V_c = \frac{165 \times \pi \times 238}{1000}$$

$$V_c = 123.37m/min$$

Velocidad de corte 2

Con base en las especificaciones del manual, la velocidad mínima del husillo es de 123 rpm, por lo cual la velocidad de corte se calcula en la siguiente ecuación 1:

$$V_c = \frac{n \times \pi \times d}{1000}$$

$$V_c = \frac{123 \times \pi \times 238}{1000}$$

$$V_c = 91.97m/min$$

Tiempo de mecanizado 1 con velocidad de husillo a 165 rpm

Para el tiempo de mecanizado se realiza la siguiente ecuación 3:

$$T_c = \frac{lm}{f_n \times n}$$

$$T_c = \frac{55}{0.05 \times 165}$$

$$T_c = 6.67 min$$

Tiempo de mecanizado 2 con velocidad de husillo a 123 rpm.

Para el tiempo de mecanizado se realiza la siguiente ecuación 3:

$$T_c = \frac{lm}{f_n \times n}$$

$$T_c = \frac{55}{0.05 \times 123}$$

$$T_c = 8.94 \text{ min}$$

Rectificación velocidad 1**Tabla 16**

Parámetros de rectificación para velocidad 1

PARÁMETROS						
Fabricante	Velocidad el husillo (rpm)	Vc (m/min)	Fn (mm/rev)	Tiempo de rectificado (min)	lm (mm)	ap (mm)
Sumitomo	123	91.97	0,05	8,94	55	0,02
Sandvik	123	91.97	0,05	8,94	55	0,02

Rectificación velocidad 2**Tabla 17**

Parámetros de rectificación para velocidad 2

PARÁMETROS						
Fabricante	Velocidad el husillo (rpm)	Vc (m/min)	Fn (mm/rev)	Tiempo de rectificado (min)	lm (mm)	ap (mm)
Sumitomo	165	123,37	0,05	6.67	55	0,02
Sandvik	165	123,37	0,05	6,67	55	0,02

Protocolo para pruebas de frenado

Según la norma ECE R90 se requiere dos fases en la prueba, la primera consiste en un precalentamiento de 50km para que el sistema de frenado alcance la temperatura de funcionamiento normal y después, se ingresa a la fase de frenado en la cual se alcanza una velocidad de 70km/h, con 10 pulsaciones por ciclo, completando un total de 10 ciclos.

Peso de la carga total

Según la norma se define un peso de carga total que debe contener el vehículo, la referencia mínima establecida es de 500lb equivalente a 226,59Kg.

Tabla 18

Peso de carga interna del vehículo

Definición	Peso kg
Conductor	72,5
Acompañantes (2)	165
Total	237

La determinación del peso fue con el objetivo de tener una carga útil total en las pruebas realizadas en el vehículo Toyota Tercel con motor 1.6 con capacidad para 5 pasajeros a bordo.

Figura 60

Toyota Tercel 1.6



Ruta de pruebas

Para la ruta descrita de la prueba se ha definido la vía Machachi- Latacunga con una distancia de 55.3 Km.

Figura 61

Ruta precalentamiento para el disco de freno



Tabla 19

Especificaciones de la prueba de frenado

	Definición	Parámetro
Fase de precalentamiento	Velocidad inicial (Vo)	0 K/h
	Recorrido	50 km/h
	Ruta	Machachi- Latacunga
	Peso del vehículo	930 kg
	Temperatura ambiente	23°
	Calzada	Seca
Fase de frenado	Temperatura inicial	200°
	Velocidad inicial	70Km/h
	Pulsaciones por ciclo	10
	Ciclo de temperatura	10
	Velocidad final (Vf)	0 km/h

Nota. Esta prueba se la realizara para los 4 diferentes mecanizados en dos discos de freno.

Capítulo IV

Pruebas y ensayos

Medición de dimensiones de discos de freno

Los discos de freno que se utilizaron para las pruebas experimentales tienen un valor de medida de espesor de 18 mm equivalentes al valor nominal establecido por el fabricante del disco de freno Kashima para el vehículo Toyota Tercel 1.6.

Figura 62.

Espesor del disco de freno 18mm



En la siguiente tabla se detallan las mediciones de los discos de freno rectificadas a diferentes velocidades y fabricantes de herramientas de corte utilizados para su análisis en la experimentación.

Tabla 20*Medición de discos de freno rectificadas*

Disco	Fabricante	Velocidad de corte m/min	Espesor		
			Antes	Después	mínimo
Disco 1 Kashima	Sumitomo	91,97	18mm	17,98mm	17mm
	Sandvik		18mm	17,98mm	
Disco 2 Kashima	Sumitomo	123,37	18mm	17,98mm	17mm
	Sandvik		18mm	17,98mm	

El desbaste en los discos de freno se realizó de manera uniforme, como se muestra en la tabla anterior. Una vez constatado que los discos de frenos estén en buenas condiciones, se procede a realizar la medición del acabado superficial mediante el rugosímetro y posteriormente con valores obtenidos en las pruebas experimentales, determinar la eficiencia de frenado.

Medición de rugosidad

Para la medición de rugosidad de la superficie de frenado del disco de freno se lo realizó empleando el equipo rugosímetro de marca SURFTEST- III Mitutoyo ubicado en el laboratorio de metrología de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE- Sede Matriz (Sangolquí).

Figura 63*Rugosímetro Surf test- III*

Para la calibración se requiere un patrón de medición de rugosidad en el área, como se muestra en la figura 64, en la prueba se mide la rugosidad con una pasada en cada área requerida y que fue limpiada con anterioridad.

Figura 64

Midiendo el patrón de rugosidad



Nota. El instrumento mide lo que indica el patrón 0,47 μm .

En la Tabla 3 indica que un proceso de rectificado debe tener una rugosidad media de 0,1- 1,6, por lo cual el rugosímetro ha sido configurado para la medición de la misma.

Ensayos de rugosidad con el buril fabricante Sumitomo

El ensayo se realizó, a dos diferentes velocidades de corte en la rectificación de los discos de freno. En la tabla 21 muestra los valores obtenidos mediante la obtención de la rugosidad en la superficie de frenado.

Tabla 21

Medidas de rugosidad a dos velocidades de corte buril Sumitomo

Fabricante	Velocidad de corte m/min	Disco 1	Rugosidad	Rugosidad recomendada
			μm	μm
Sumitomo	91,97	Kashima	0,3	0,1- 1,6
Sumitomo	123, 37	Kashima	0,8	0,1- 1,6

Ensayo de rugosidad con el buril fabricante Sandvik

El ensayo se realizó, a dos diferentes velocidades de corte en la rectificación de los discos de freno. En la tabla 22 muestra los valores obtenidos mediante la obtención de la rugosidad en la superficie de frenado.

Tabla 22

Medidas de rugosidad a dos velocidades de corte buril Sandvik

Fabricante	Velocidad de corte m/min	Disco 2	Rugosidad μm	Rugosidad recomendada μm
Sandvik	91,97	Kashima	0,26	0,1- 1,6
Sandvik	123, 37	Kashima	0,18	0,1- 1,6

Pruebas de frenado a velocidad de corte 1

En la tabla 4 se definen la categoría de vehículos, el utilizado en el presente proyecto pertenece a la “Categoría M1: Vehículos que posean, como tope, ocho asientos incluyendo la del conductor. Notándose la ausencia del espacio de viajeros que vayan parados. El conductor solo poseerá un lugar de conducción.” (CEPE, 2012)

En las pruebas de frenado, se utilizó discos de frenos nuevos con las especificaciones indicadas en la Tabla 10, de acuerdo a la norma ECE R90 indica que antes de la prueba de frenado se debe recorrer 50Km y pastillas nuevas como lo recomienda la norma.

El protocolo de pruebas se lo detalla en la Tabla 19, la cual se define en 2 dos fases que corresponde a la ruta de precalentamiento y el inicio de la fase de frenado.

Para las pruebas experimentales se realizó la rectificación de discos de freno con las 2 herramientas de corte de diferente fabricante con una velocidad de corte de 91,97 m/min, se

constató que el disco se encuentre en óptimas condiciones de trabajo conjuntamente con las pastillas, posteriormente se hace el ensamble de las mismas en el vehículo.

Figura 65

Ensamble del disco rectificando



Pruebas de frenado velocidad de corte 1 fabricante Sumitomo

Para las pruebas de temperatura se precalentó el disco en una distancia de 50 km con un frenado normal. Después se realizaron 10 ensayos con 10 pulsaciones de frenado en las cuales se tomó la medición de la temperatura mostradas en la tabla 23.

Tabla 23

Temperatura resultante con velocidad de corte 1

Tipo de eje	Eje delantero	
Parámetro	Freno de disco	
Número de paradas por ciclo	10	
Velocidad inicial de frenado (Km/h)	70	
Velocidad final del frenado (Km/h)	0	
Nivel de desaceleración	0,4g	
Presión máxima (kPa)	16000	
Disposición disco de freno	Izquierdo	Derecho
Temperatura inicial 1(°C)	100,2	97,3

Disposición disco de freno	Izquierdo	Derecho
Temperatura inicial 2(°C)	214,4	213,5
Temperatura inicial 3(°C)	291,1	288,8
Temperatura inicial 4(°C)	335,2	333,3
Temperatura inicial 5(°C)	376,4	375,2
Temperatura inicial 6(°C)	394,6	395,3
Temperatura inicial 7(°C)	425,4	426,9
Temperatura inicial 8(°C)	442,8	444,4
Temperatura inicial 9(°C)	464,1	465
Temperatura inicial 10(°C)	480,2	481,7
Número de ciclos	1	1

En base a la norma ECE R90, en la Tabla 7 consta que se debe generar más de 10 pulsaciones en el ensayo para lo cual se ha seleccionado 11 y también como las distancias recorridas a partir de los 70Km hasta su detención total mediante el accionamiento del sistema de frenos, incluyendo los tiempos que se generan en el proceso del ensayo.

Tabla 24

Distancia y tiempo resultante con velocidad 1

Parámetro	Freno de disco	Eje delantero
Número de paradas por ciclo	10	10
Velocidad al inicio del frenado (km/h)	70	70
Velocidad al final del frenado (km/h)	0	0
Nivel de desaceleración (g)	0,4	0,4
Número de pulsaciones	11	11
	Distancia	Tiempo de frenado (S)
Distancia de frenado 1 (m)	247,9	25,34
Distancia de frenado 2 (m)	246,2	25,18
Distancia de frenado 3 (m)	244,2	25,16
Distancia de frenado 4 (m)	241,9	25,07

	Distancia	Tiempo de frenado (S)
Distancia de frenado 5 (m)	240,8	24,95
Distancia de frenado 6 (m)	239,6	24,34
Distancia de frenado 7 (m)	238,7	24,12
Distancia de frenado 8 (m)	236,7	23,84
Distancia de frenado 9 (m)	235,3	23,76
Distancia de frenado 10 (m)	231,8	23,57
Número de ciclos	1	1

Los valores tomados son experimentales, para la normativa ECE- R90 los valores reales se determina mediante la aplicación de la Ecuación 4 y Ecuación 5 perteneciente a la distancia y tiempo de frenado respectivamente, para esto es necesario utilizar los valores obtenidos en la Tabla 24.

$$d_{frenado} = \frac{d_{experimental}}{\#pulsaciones}$$

$$t_{frenado} = \frac{t_{experimental}}{\#pulsaciones}$$

Tabla 25

Distancia y tiempo de frenado real con velocidad 1

Distancia real de frenado (m)	Tiempo real de frenado (s)
22,54	2,30
22,38	2,29
22,20	2,29
21,99	2,28
21,89	2,27
21,78	2,21
21,70	2,19
21,52	2,17
21,39	2,16
21,07	2,14

Pruebas de frenado velocidad de corte 1 fabricante Sandvik

Una vez rectificado el disco de freno con la herramienta de corte en base a los parámetros especificados en la Tabla 16, se inicia otra vez las pruebas de frenado de la normativa ECE- R90.

Se retoma nuevamente el protocolo de pruebas de frenado tomando en consideración la fase de precalentamiento y la fase pruebas, siguiendo la misma trayectoria de la Figura 61 utilizando la misma carga especificadas en la Tabla 18.

Se realizó la aceleración correspondiente del vehículo hasta alcanzar la velocidad de 70km/h y mediante la acción del sistema de frenos se detuvo hasta la detención total de vehículo es de decir 0km/h, para posteriormente tomar las mediciones de temperatura y proceder a plasmar los resultados en la Tabla 6 respectivamente.

Tabla 26

Temperatura resultante de frenado fabricante Sandvik

Tipo de eje	Eje delantero	
Parámetro	Freno de disco	
Número de paradas por ciclo	10	
Velocidad inicial de frenado (Km/h)	70	
Velocidad final del frenado (Km/h)	0	
Nivel de desaceleración	0,4g	
Presión máxima (kPa)	16000	
Disposición disco de freno	Izquierdo	Derecho
Temperatura inicial 1(°C)	97,6	98,3
Temperatura inicial 2(°C)	204,2	203,1
Temperatura inicial 3(°C)	278,1	276,4
Temperatura inicial 4(°C)	331,3	329,7
Temperatura inicial 5(°C)	363,6	365,2
Temperatura inicial 6(°C)	399,1	399,8

Disposición disco de freno	Izquierdo	Derecho
Temperatura inicial 7(°C)	410,2	408,5
Temperatura inicial 8(°C)	436,7	437,6
Temperatura inicial 9(°C)	458,6	459,3
Temperatura inicial 10(°C)	476,2	475,6
Número de ciclos	1	1

En las pruebas de temperatura, para la distancia y tiempo de frenado al mismo caso que al anterior se determinan las mediciones experimentales, en las cuales corresponden a:

Tabla 27

Resultado experimental de distancia y tiempo de frenado fabricante Sandvik

Parámetro	Freno de disco	Eje delantero
Número de paradas por ciclo	10	10
Velocidad al inicio del frenado (km/h)	70	70
Velocidad al final del frenado (km/h)	0	0
Nivel de desaceleración (g)	0,4	0,4
Número de pulsaciones	11	11
	Distancia	Tiempo de frenado (S)
Distancia de frenado 1 (m)	246,6	25,68
Distancia de frenado 2 (m)	245,4	25,04
Distancia de frenado 3 (m)	243,5	24,37
Distancia de frenado 4 (m)	241,8	24,11
Distancia de frenado 5 (m)	241,2	23,72
Distancia de frenado 6 (m)	239,3	23,30
Distancia de frenado 7 (m)	237,5	23,69
Distancia de frenado 8 (m)	234,9	23,16
Distancia de frenado 9 (m)	234,2	22,95
Distancia de frenado 10 (m)	231,6	22,91
Número de ciclos	1	1

Para los valores reales de tiempo y distancia de frenado se realiza los mismos cálculos aplicados con anterioridad, a través de la Ecuación 4 y Ecuación 5 utilizando los datos obtenidos en la Tabla 27, teniendo como resultado:

Tabla 28

Distancia y tiempo de frenado real con velocidad 1 fabricante Sandvik

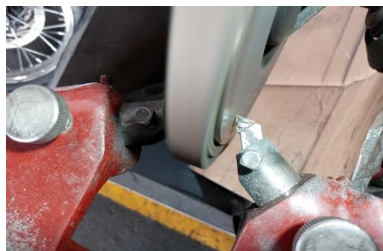
Distancia real de frenado (m)	Tiempo real de frenado (s)
22,42	2,33
22,31	2,28
22,14	2,22
21,98	2,19
21,93	2,16
21,75	2,12
21,59	2,15
21,35	2,11
21,29	2,09
21,05	2,08

Pruebas de frenado a velocidad de corte 2

Para las pruebas experimentales se realizó la rectificación de discos de freno bajo los parámetros establecidos en la Tabla 20 y con las 2 herramientas de corte de diferente fabricante, con una velocidad de corte de 123,37 m/min y tolerancias seleccionadas, se constató que el disco se encuentre en óptimas condiciones de trabajo conjuntamente con las pastillas, posteriormente se hace el ensamble de las mismas en el vehículo.

Figura 66

Rectificación del disco de freno a velocidad 2



El protocolo de pruebas se lo detalla en la Tabla 19, la cual se define en 2 dos fases que corresponde a la ruta de precalentamiento y el inicio de la fase de frenado.

Pruebas de frenado velocidad de corte 2 fabricante Sumitomo

Para el rectificado, el disco de freno con la herramienta de corte en base a los parámetros especificados en la Tabla 17, esto para el fabricante Sumitomo se inicia otra vez las pruebas de frenado de la normativa ECE- R90.

Nuevamente el protocolo de pruebas de frenado se aplica, tomando en consideración la fase de precalentamiento y fase de pruebas, siguiendo la misma trayectoria detallada en la Figura 61 utilizando la misma carga especificadas en la Tabla 18.

Figura 67

Kilometraje inicial fase de precalentamiento fabricante Sumitomo



Se determinó el valor inicial del kilometraje que corresponde a 307431Km, el cual se procede a al proceso de precalentamiento del disco de freno, posteriormente se cumplió su recorrido total de 50 Km, así llegando al kilometraje dado de 307481Km como se observa en la siguiente figura.

Figura 68

Kilometraje Final fase de precalentamiento fabricante Sumitomo



Se realizó una aceleración progresiva del vehículo hasta los 70km/h y mediante la acción del sistema de frenos se debe detener hasta la detención total de vehículo es de decir 0km/h, para posteriormente tomar las mediciones de temperatura y proceder a plasmar los resultados en la Tabla 29 respectivamente.

Tabla 29

Temperatura resultante a velocidad 2 fabricante Sumitomo

Tipo de eje	Eje delantero
Parámetro	Freno de disco
Número de paradas por ciclo	10
Velocidad inicial de frenado (Km/h)	70
Velocidad final del frenado (Km/h)	0
Nivel de desaceleración	0,4g
Presión máxima (kPa)	16000

Disposición disco de freno	Izquierdo	Derecho
Temperatura inicial 1(°C)	113,2	111,7
Temperatura inicial 2(°C)	222,4	221,2
Temperatura inicial 3(°C)	297,1	295,8
Temperatura inicial 4(°C)	337,7	336,3
Temperatura inicial 5(°C)	370,2	376
Temperatura inicial 6(°C)	431,4	433,5
Temperatura inicial 7(°C)	448,9	448,2
Temperatura inicial 8(°C)	455,6	453,6
Temperatura inicial 9(°C)	472,5	473,1
Temperatura inicial 10(°C)	488,7	487,4
Número de ciclos	1	1

De la misma manera para las pruebas experimentales en base a la norma ECE R90, en la Tabla 7 consta que se debe generar más de 10 pulsaciones en el ensayo para lo cual se ha seleccionado 11 y también como las distancias recorridas a partir de los 70Km hasta su detención total mediante el accionamiento del sistema de frenos, incluyendo los tiempos que se generan en el proceso del ensayo.

Tabla 30

Resultado experimental, distancia, tiempo de frenado, velocidad 2 Sumitomo

Parámetro	Freno de disco	Eje delantero
Número de paradas por ciclo	10	10
Velocidad al inicio del frenado (km/h)	70	70
Velocidad al final del frenado (km/h)	0	0
Nivel de desaceleración (g)	0,4	0,4
Número de pulsaciones	11	11
	Distancia	Tiempo de frenado (S)
Distancia de frenado 1 (m)	253,6	26,51
Distancia de frenado 2 (m)	249,3	25,33
Distancia de frenado 3 (m)	247,5	24,86

	Distancia	Tiempo de frenado (S)
Distancia de frenado 4 (m)	245,2	24,53
Distancia de frenado 5 (m)	243,1	23,89
Distancia de frenado 6 (m)	240,8	23,47
Distancia de frenado 7 (m)	238,7	23,4
Distancia de frenado 8 (m)	236,3	23,37
Distancia de frenado 9 (m)	234,9	23,32
Distancia de frenado 10 (m)	232,1	23,12
Número de ciclos	1	1

De la misma manera que los casos anteriores se proceden a utilizar la Ecuación 4 y Ecuación 5 para determinar valores reales y obtener la siguiente Tabla:

Tabla 31

Resultados reales distancia y tiempo velocidad 2 fabricante Sumitomo

Distancia real de frenado (m)	Tiempo real de frenado (s)
23,05	2,41
22,66	2,30
22,50	2,26
22,29	2,23
22,10	2,17
21,89	2,13
21,70	2,13
21,48	2,12
21,35	2,12
21,10	2,10

Pruebas de frenado velocidad de corte 2 fabricante Sandvik

Para realizar este ensayo al igual que los anteriores casos, se procedió a rectificar el disco de freno con la herramienta de corte en base a los parámetros especificados en la Tabla 17, esto para el fabricante Sandvik y se inicia otra vez las pruebas de frenado de la normativa ECE- R90.

Figura 69

Rectificación disco de freno, velocidad 2 fabricante Sandvik



Se revisa la integridad de la superficie de frenado en el disco y se procedió a la instalación en el vehículo; nuevamente se realizó el protocolo de pruebas de frenado, tomando en consideración la fase de precalentamiento y fase de pruebas, siguiendo la misma trayectoria detallada en la Figura 61 utilizando la misma carga especificadas en la Tabla 18.

Al igual que los anteriores casos se procede a llenar la Tabla 6, tomando como resultado los siguientes datos como se detalla en la Tabla 32.

Tabla 32

Temperatura resultante a velocidad 2 fabricante Sandvik

Tipo de eje	Eje delantero	
Parámetro	Freno de disco	
Número de paradas por ciclo	10	
Velocidad inicial de frenado (Km/h)	70	
Velocidad final del frenado (Km/h)	0	
Nivel de desaceleración	0,4g	
Disposición disco de freno	Izquierdo	Derecho
Temperatura inicial 1(°C)	93,8	92,5
Temperatura inicial 2(°C)	210,4	208,7
Temperatura inicial 3(°C)	278,1	279,2

Disposición disco de freno	Izquierdo	Derecho
Temperatura inicial 4(°C)	328,9	327,1
Temperatura inicial 5(°C)	365,1	366,5
Temperatura inicial 6(°C)	391,7	392,1
Temperatura inicial 7(°C)	422,3	422,8
Temperatura inicial 8(°C)	439,5	438,8
Temperatura inicial 9(°C)	460,3	461,6
Temperatura inicial 10(°C)	475,9	477,4
Número de ciclos	1	1

De la misma manera a los anteriores ensayos, se procede a determinar también la distancia y tiempo de frenado:

Tabla 33

Resultado experimental, distancia y tiempo de frenado, velocidad 2 fabricante Sandvik

Parámetro	Freno de disco	Eje delantero
Número de paradas por ciclo	10	10
Velocidad al inicio del frenado (km/h)	70	70
Velocidad al final del frenado (km/h)	0	0
Nivel de desaceleración (g)	0,4	0,4
Número de pulsaciones	11	11
	Distancia	Tiempo de frenado (S)
Distancia de frenado 1 (m)	245,2	24,49
Distancia de frenado 2 (m)	243,9	24,10
Distancia de frenado 3 (m)	244,2	24,11
Distancia de frenado 4 (m)	239,5	23,78
Distancia de frenado 5 (m)	240,1	23,40
Distancia de frenado 6 (m)	237,1	23,52
Distancia de frenado 7 (m)	235,9	23,23
Distancia de frenado 8 (m)	234,8	23,08
Distancia de frenado 9 (m)	234,1	22,87

	Distancia	Tiempo de frenado (S)
Distancia de frenado 10 (m)	230,6	22,55
Número de ciclos	1	1

Para el mismo caso se procede a utilizar la Ecuación 4 y Ecuación 5 para determinar valores reales y obtener la siguiente Tabla:

Tabla 34

Resultados reales distancia y tiempo velocidad 2 fabricante Sandvik

Distancia real de frenado (m)	Tiempo real de frenado (s)
22,29	2,23
22,17	2,19
22,20	2,19
21,77	2,16
21,83	2,13
21,55	2,14
21,45	2,11
21,35	2,10
21,28	2,08
20,96	2,05

Capítulo V

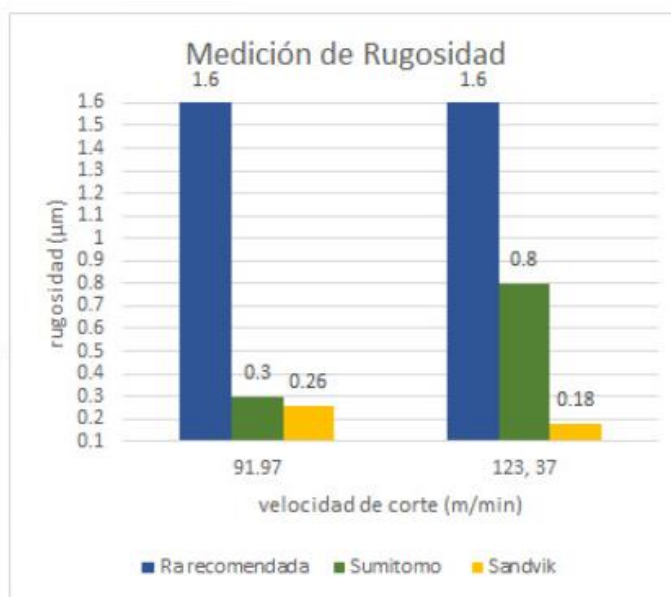
Análisis de resultados

Análisis de los resultados de rugosidad

En este capítulo se procedió a determinar el análisis del ensayo de rugosidad en los distintos discos de frenos rectificados a dos velocidades de corte diferentes los mismos que fueron elaborados con anterioridad, en base a la Tablas 20 y 21 se obtiene la siguiente gráfica.

Figura 70

Comparación de la medición de rugosidad en discos rectificados



La rugosidad recomendada en el proceso de rectificado utilizado para el presente proyecto, debe ser de 0,1 a 1,6 µm como indica en la Tabla 3. Se observa en la gráfica anterior, la rectificación con el buril de Sumitomo a 91,97 y 123,37 m/min en velocidad de corte ingresa en el rango de dicha rugosidad con un valor de 0,8 µm, mientras que la rectificación con el buril de Sandvik a velocidad de corte 91,97 m/min y 123,37m/min, ingresan en el rango permitido.

Análisis de rendimientos de pruebas de frenado

Se procedió a ordenar y tabular los datos conseguidos de distancia, tiempo y temperatura de la experimentación, en la realización de la rectificación de los discos de freno a dos velocidades de corte (91,97m/min y 123,37 m/min) con dos fabricantes de herramientas de corte (Sumitomo y Sandvik), para comparar los resultados con los datos establecidos por la normativa ECE R90.

Tabla 35

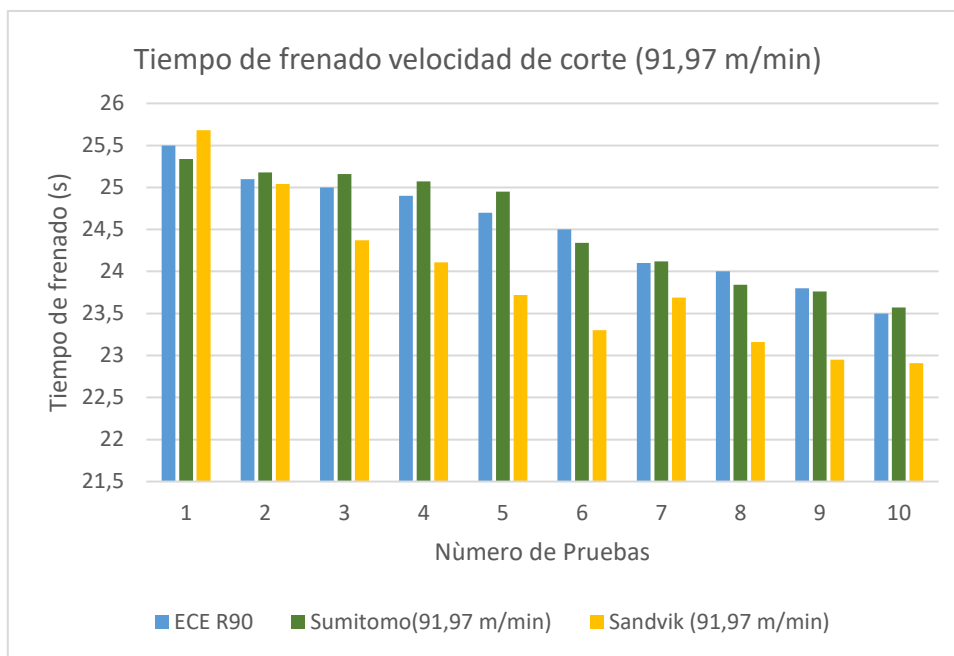
Resultados de tiempo de frenado

Pruebas	ECE R90	Velocidad de corte (91,97m/min)		Velocidad de corte (123,37m/min)	
		Sumitomo	Sandvik	Sumitomo	Sandvik
		1	<25,5	25,34	25,68
2	<25,1	25,18	25,04	25,33	24,10
3	<25	25,16	24,37	24,86	24,11
4	<24,9	25,07	24,11	24,53	23,78
5	<24,7	24,95	23,72	23,89	23,40
6	<24,5	24,34	23,30	23,47	23,52
7	<24,1	24,12	23,69	23,4	23,23
8	<24	23,84	23,16	23,37	23,08
9	<23,8	23,76	22,95	23,32	22,87
10	<23,5	23,57	22,91	23,12	22,55

Nota. Valores expresados en segundos

Figura 71

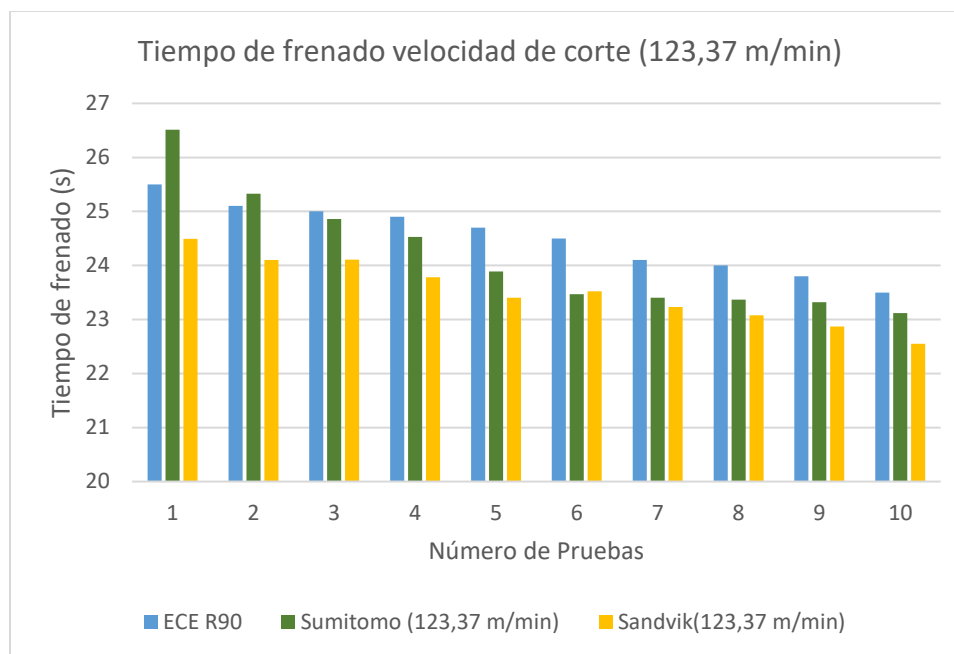
Tiempo de frenado velocidad de corte 1



Los tiempos de frenado del disco rectificado con el buril de Sandvik a velocidad de corte de 91,97 m/min es inferior a los tiempos de frenado del ensayo con el disco rectificado con el buril Sumitomo a misma velocidad de corte. Al inicio de la prueba se observa un leve incremento en el tiempo de frenado, pero se lo puede considerar despreciable conforme se completa el ensayo de frenado. Se debe recordar que la rugosidad del disco medida en esta prueba, correspondiente al buril Sandvik es menor a la rugosidad medida con el fabricante Sumitomo, entonces se encuentra relación directa entre rugosidad- tiempo de frenado; ya que a menor rugosidad se tiene un mejor acabado superficial y un mejor tiempo de frenado. Se debe también considerar que en el caso del fabricante Sandvik, se cumple el valor permitido por la norma en cuanto a tiempo de frenado en un 90% de la prueba, mientras que las pruebas realizadas en el caso del fabricante Sumitomo, solo cumple el valor permitido en un 40% del ensayo completo.

Figura 72

Tiempo de frenado velocidad de corte 2



En cuanto a los tiempos de frenado del disco rectificado con el buril de Sandvik a velocidad de corte de 123,37 m/min es inferior a los tiempos de frenado del ensayo con el disco rectificado con el buril Sumitomo en igual velocidad de corte. Cabe recordar que la medición de rugosidad en este ensayo correspondiente al buril Sandvik es inferior a la medida por el fabricante Sumitomo. En el caso del fabricante Sandvik, se cumple el valor permitido por la norma en cuanto a tiempo de frenado en un 100% de la prueba, mientras que las pruebas realizadas en el caso del fabricante Sumitomo, solo cumple el valor permitido en un 80% del ensayo completo. A diferencia de los ensayos a velocidad de corte de 91.97 m/min, se muestra una mejoría en los tiempos de frenado, esto debido a que a mayor velocidad de corte se tienen un mejor acabado superficial y por ende una menor rugosidad.

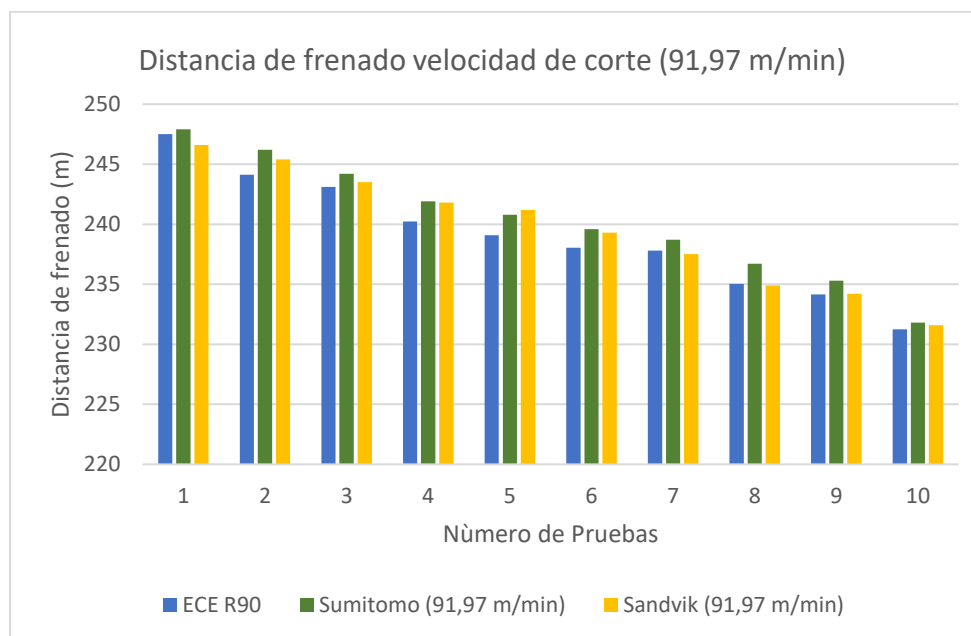
Tabla 36

Resultado de distancia de frenado expresada en metros

Pruebas	ECE R90	Velocidad de corte (91,97m/min)		Velocidad de corte (123,37m/min)	
		Sumitomo	Sandvik	Sumitomo	Sandvik
1	<247,51	247,9	246,6	253,6	245,2
2	<244,123	246,2	245,4	249,3	243,9
3	<243,112	244,2	243,5	247,5	244,2
4	<240,231	241,9	241,8	245,2	239,5
5	<239,09	240,8	241,2	243,1	240,1
6	<238,05	239,6	239,3	240,8	237,1
7	<237,806	238,7	237,5	238,7	235,9
8	<235,032	236,7	234,9	236,3	234,8
9	<234,16	235,3	234,2	234,9	234,1
10	<231,24	231,8	231,6	232,1	230,6

Figura 73

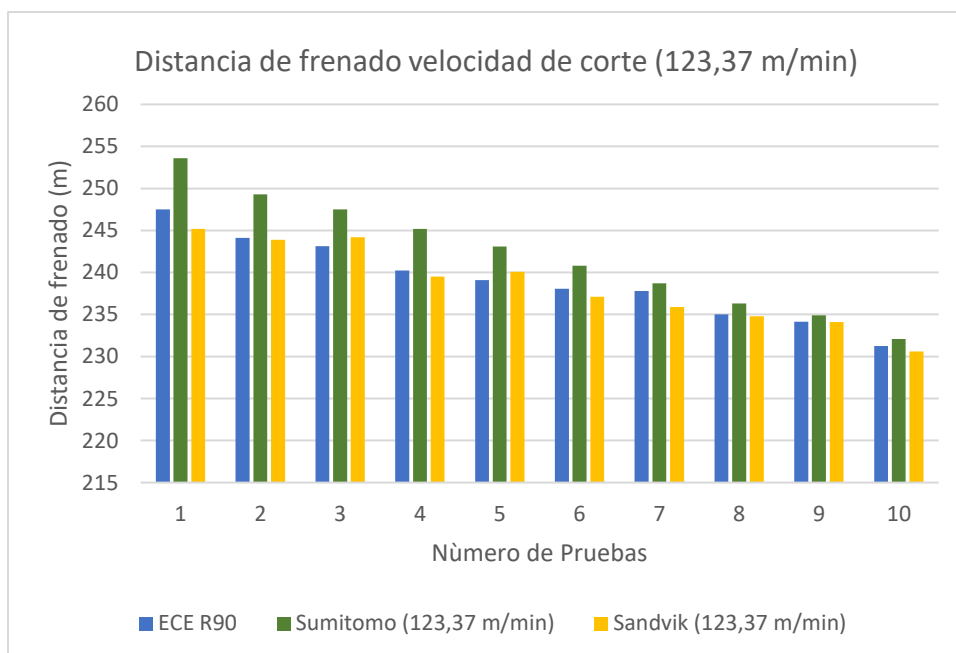
Gráfico de barras de la distancia de frenado velocidad de corte 1



Las medidas de distancia de frenado del disco rectificad con el buril de Sandvik a velocidad de corte de 91,97 m/min es inferior a la distancia de frenado del ensayo con el disco rectificad con el buril Sumitomo a misma velocidad de corte. En este ensayo el disco rectificad con el buril Sandvik cumple en un 30% los establecido por la norma ECE R90 mientras que el disco rectificad con el buril Sumitomo no cumple en ningún instante del ciclo lo establecido por dicha norma. Se puede determinar que de igual manera un mejor acabado superficial en el área de frenado del disco, tiene relación directa con la distancia de frenado, siendo poco efectivo el rectificad del disco a bajas velocidades de corte.

Figura 74

Gráfico de barras de distancia de frenado a velocidad de corte 2



Las medidas de distancia de frenado del disco rectificad con el buril de Sandvik a velocidad de corte de 123,37 m/min es inferior a la distancia de frenado del ensayo con el disco rectificad con el buril Sumitomo a misma velocidad de corte. En este ensayo el disco rectificad con el buril Sandvik cumple en un 80% los establecido por la norma ECE R90

mientras que el disco rectificando con el buril Sumitomo cumple en 0% la distancia establecida por dicha norma. Se puede determinar que de igual manera con lo mencionado anteriormente una baja rugosidad producto de altas velocidades de corte, generan una distancia de frenado más efectiva. En este caso, la distancia de frenado proporcionada por las pruebas experimentales en el caso de Sandvik a 123,37 m/min, se rige de forma correcta a lo establecido por la norma ECE R90.

Tabla 37

Temperatura resultante de frenado expresada en Grados Celsius

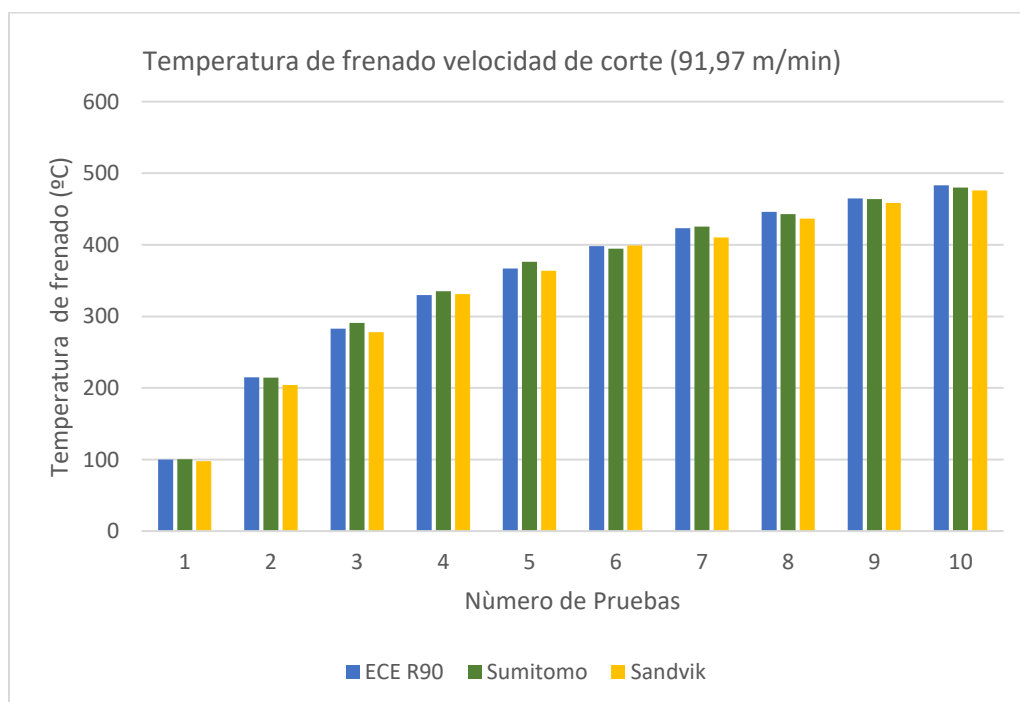
Disco izquierdo					
Pruebas	ECE R90	Velocidad de corte		Velocidad de corte	
		(91,97m/min)		(123,37m/min)	
		Sumitomo	Sandvik	Sumitomo	Sandvik
1	<100	100,2	97,6	113,2	93,8
2	<215	214,4	204,2	222,4	210,4
3	<283	291,1	278,1	297,1	278,1
4	<330	335,2	331,3	337,7	328,9
5	<367	376,4	363,6	370,2	365,1
6	<398	394,6	399,1	431,4	391,7
7	<423	425,4	410,2	448,9	422,3
8	<446	442,8	436,7	455,6	439,5
9	<465	464,1	458,6	472,5	460,3
10	<483	480,2	476,2	488,7	475,9
Disco derecho					
Pruebas	ECE R90	Velocidad de corte		Velocidad de corte	
		(91,97m/min)		(123,37m/min)	
		Sumitomo	Sandvik	Sumitomo	Sandvik
1	<100	97,3	98,3	111,7	92,5
2	<215	213,5	203,1	221,2	208,7
3	<283	288,8	276,4	295,8	279,2
4	<330	333,3	329,7	336,3	327,1

Disco derecho					
Pruebas	ECE R90	Velocidad de corte (91,97m/min)		Velocidad de corte (123,37m/min)	
		Sumitomo	Sandvik	Sumitomo	Sandvik
		5	<367	375,2	365,2
6	<398	395,3	399,8	433,5	392,1
7	<423	426,9	408,5	448,2	422,8
8	<446	444,4	437,6	453,6	438,8
9	<465	465	459,3	473,1	461,6
10	<483	481,7	475,6	487,4	477,4

En la siguiente gráfica de barras se visualiza una comparación de temperaturas en relación a la norma para definir su análisis.

Figura 75

Gráfica de Temperatura de frenado velocidad de corte 1 lado izquierdo

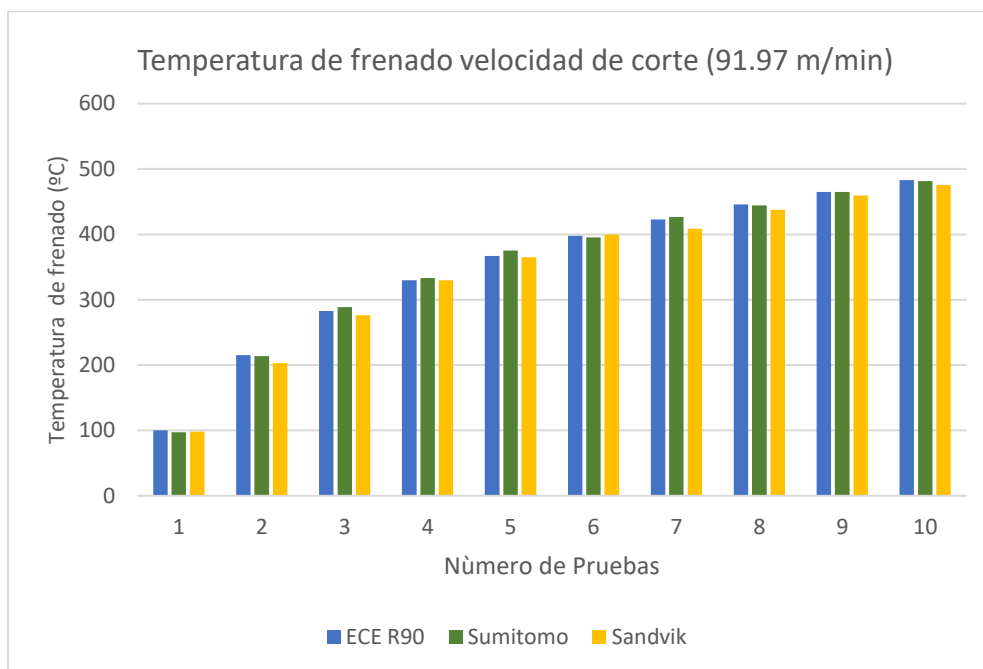


En el disco izquierdo, se observa que el valor de la temperatura en el ensayo de frenado del disco rectificado con el buril de Sandvik cumple con lo establecido con la norma en el 90%

de los ciclos de la prueba, esto en la figura 75, mientras que en el disco derecho cumple con un 100% de efectividad.

Figura 76

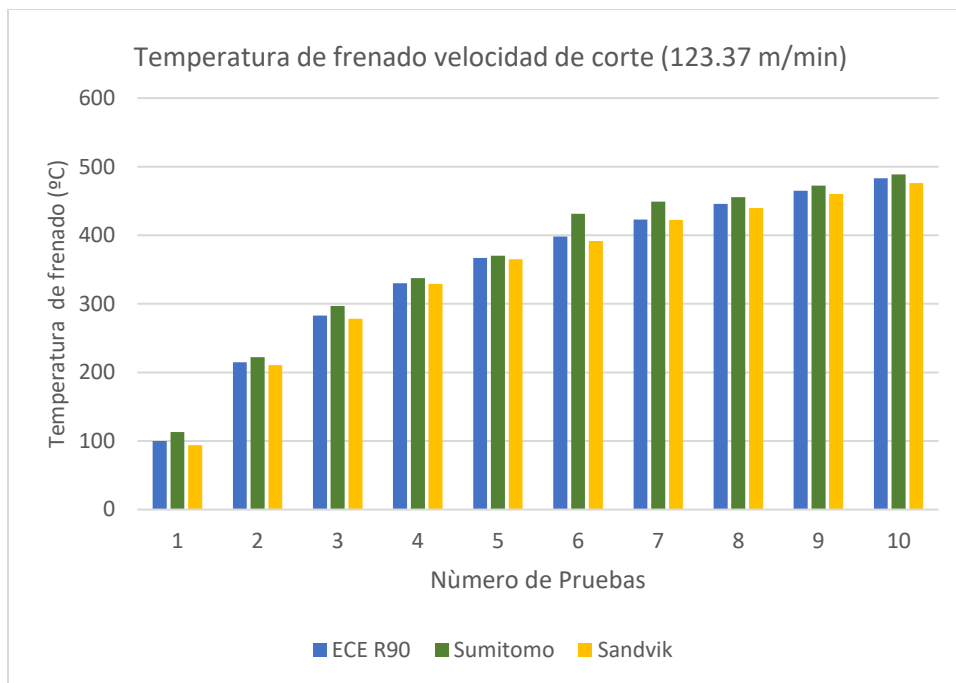
Gráfica de Temperatura de frenado velocidad de corte 1 lado derecho



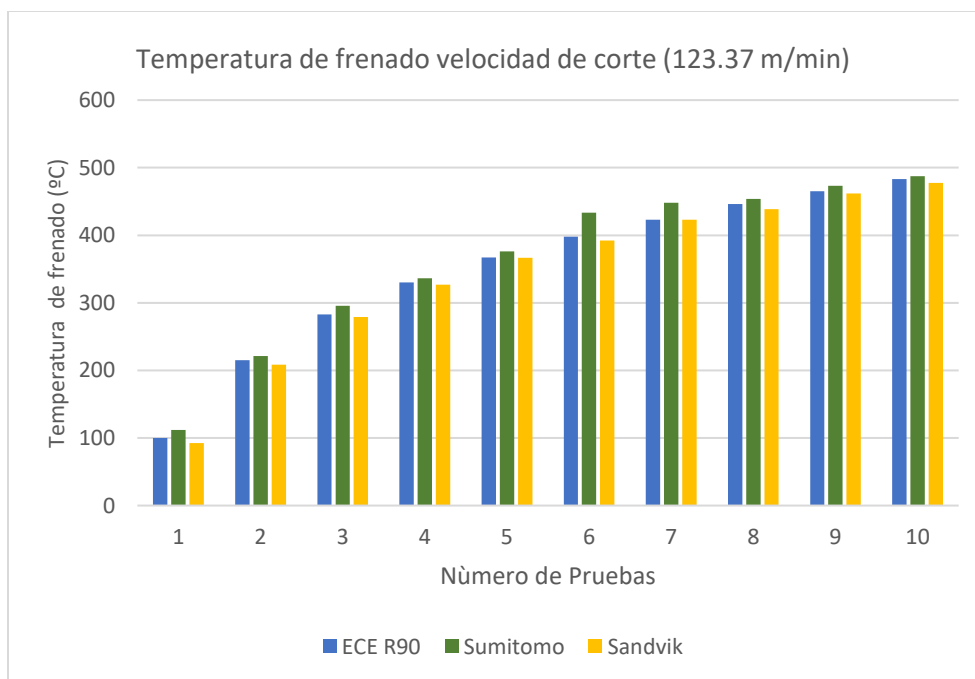
En cuanto a los datos producto del fabricante Sumitomo, esta efectividad en cuanto al cumplimiento de la norma, se reduce a tan solo el 40% en el disco izquierdo y el 50% en el disco derecho. A pesar de eso se muestra una notable mejoría en reducción de temperatura con una rectificación a velocidad de corte de 91,97 m/min para el fabricante Sumitomo que una velocidad de corte de 123.37m/min.

Figura 77

Gráfica de temperatura de frenado velocidad de corte 2 lado izquierdo

**Figura 78**

Gráfica de temperatura de frenado velocidad de corte 2 lado derecho



En el disco izquierdo y derecho, se observa que el valor de la temperatura en el ensayo de frenado de los discos rectificadas con el buril de Sandvik cumple con lo establecido con la norma en un 100%. No posee mucha variación en la temperatura con los datos tomados a velocidad de corte de 91.97 m/min.

En cuanto a los datos producto del fabricante Sumitomo, cumple en el 0% de los ciclos lo establecido por la norma. El aumento de temperatura se evidencia porque el disco de freno tiene mayor tiempo de contacto con las pastillas al poseer una distancia y tiempo de frenado mayor. Se puede determinar entonces que una rugosidad producto de bajas velocidades de corte, con énfasis en el fabricante Sumitomo, deriva un incremento en la temperatura de frenado.

Análisis de eficiencia de frenado

Para la obtención de la desaceleración generada en el sistema de frenos se utiliza la Ecuación 10 en función a los datos obtenidos de las pruebas experimentales de distancia y tiempo correspondientes al capítulo 4 a través de un valor promedio debido al número de ensayos realizados, con lo cual se obtuvo:

$$a_{vc1} = \frac{0 - 19,44m/s}{2,20 s}$$

$$a_{vc1} = -8,84 \frac{m}{s^2}$$

En la eficiencia de frenado se utiliza la Ecuación 9, mediante los resultados obtenidos de la desaceleración generada por la rectificación de los discos de freno a 2 velocidades de corte diferente, en fabricantes de Sumitomo y Sandvik, esto en función a la aceleración de la gravedad definida por (Global Media Digital, 2022) establecida en el Ecuador de 9,78 m/s², se obtuvieron los siguientes resultados.

$$\eta_{vc1} = \frac{8,84 \text{ m/s}^2}{9,78 \text{ m/s}^2} * 100$$

$$\eta_{vc1} = 90,38\%$$

Obteniendo la siguiente tabla:

Tabla 38

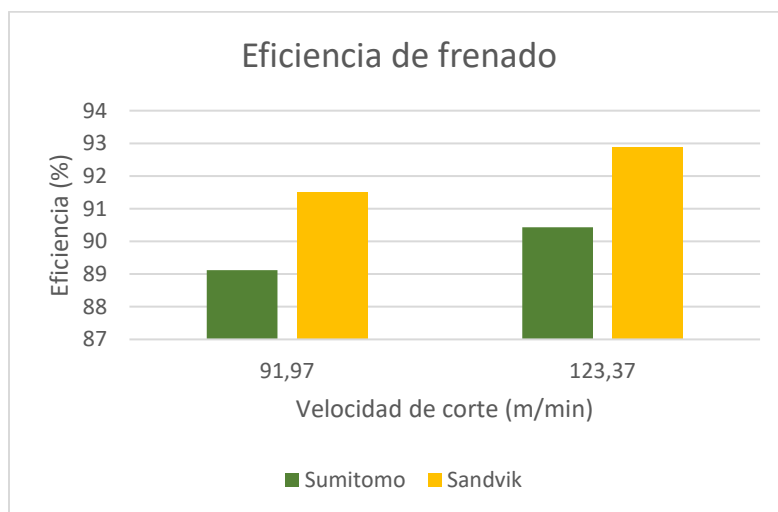
Resultados de eficiencia de frenado, por rectificación del disco

Velocidad de corte VC (m/min)	Fabricante	Resultados de desaceleración (m/s²)	Eficiencia de frenado (%)
91,97	Sumitomo	8,71	89,12
	Sandvik	8,95	91,51
123,37	Sumitomo	8,84	90,43
	Sandvik	9,09	92,88

Para el análisis de los resultados de eficiencia de frenado de generó a siguiente gráfica comparativa:

Figura 79

Gráfica de barras comparativas de eficiencia de frenado a velocidades diferentes



El gráfico ilustrado con anterioridad demuestra la eficiencia de frenado resultante de una rectificación de 2 velocidades de corte a través de la utilización de dos buriles de diferente fabricante, dado que al fabricante Sumitomo a velocidad de corte baja, reduce su eficiencia a 89,12 %, mientras que a velocidad alta incrementa un 90,43 %, tomando la tendencia que a mayor velocidad de corte mayor eficiencia de frenado. Para el fabricante Sandvik a velocidad de corte baja proporciona un 91,51% y velocidad alta fue de 92,88% observando que hay un aumento de 1,37% de eficiencia, tomando una tendencia creciente a medida que su velocidad de corte se incrementa.

Capítulo VI

Marco administrativo

Recursos humanos

El recurso humano que actuó en el presente proyecto se detalla en la siguiente tabla:

Tabla 39

Recursos humanos

Ord.	Nombre	Actividad
1.	Jairo Gustavo Camas Álvarez	Investigador
2.	Ing. Cruz Arcos, Guillermo Mauricio	Colaborador Científico

Recursos materiales

Los recursos materiales que se utilizaron para el desarrollo de la presente investigación se detallan en la siguiente tabla:

Tabla 40*Recursos materiales*

Ord.	Material	Costo Unitario (\$)	Cantidad	Costo Total (\$)
1	Discos de Freno Toyota Tercel	25	6	150
2	Buril Sandvik	8	1	8
3	Buril Sumitomo	11	1	11
4	Pastillas de Freno	25	1	25
5	Pintura	20	1	20
6	Diluyente	5	1	5
Ord.	Material	Costo Unitario (\$)	Cantidad	Costo Total (\$)
7	Juego de llaves	20	1	20
8	Juego de llaves hexagonales	20	1	20
9	Racha y juego de dados	50	1	50
10	Termómetro digital infrarrojo	25	1	25
11	Calibrador Digital	20	1	20
12	Micrómetro digital	60	1	60
13	Engranés	1	50	50
TOTAL				464

Recursos tecnológicos

Los recursos tecnológicos utilizados en la presente investigación se detallan en la siguiente tabla:

Tabla 41

Recursos tecnológicos

Ord.	Material	Costo Unitario (\$)	Cantidad	Costo Total (\$)
1.	Computador	80	1	600
2.	GPS	80	1	80
TOTAL (\$)				680

Costo neto del proyecto

El costo total del proyecto titulado: "ANÁLISIS DEL RECTIFICADO DE UN DISCO DE FRENO CON DOS BURILES DE DIFERENTE FABRICANTE PARA LA DETERMINACIÓN DE LA EFICIENCIA DEL FRENADO" se detalla en la siguiente tabla:

Tabla 42*Costo neto del proyecto*

Ord.	Material	Costo Unitario (\$)	Cantidad	Costo Total (\$)
1.	Recursos Materiales	464	1	464
2.	Recursos Tecnológicos	680	1	680
3.	Movilidad	300	1	300
TOTAL (\$)				1444

Capítulo VII

Conclusiones y recomendaciones

Conclusiones

- Se ha reparado la máquina rectificadora TRE 9350, a través del proceso de puesta a punto. Se ha considerado importante contrastar los datos del fabricante del husillo con el fabricante de la máquina rectificadora para adaptar las condiciones de la máquina a un adecuado criterio de rectificado, siendo el más importante la velocidad de corte y avance, ya que directamente influyen los límites de rango permisivos en la máquina rectificadora.
- Se establecieron los parámetros de rectificación para discos de freno a través de la investigación bibliográfica y el contraste de los parámetros permisivos de la máquina rectificadora. Dando como resultado una velocidad de corte de 91,97 m/min con un avance menor de 0,05 mm/rev para el fabricante Sandvik y Sumitomo. También se determinó una velocidad de corte de 123,37m/min con un avance menor de 0,05m/rev para el buril de Sandvik y Sumitomo, siendo ambos influyentes en el resultado de rugosidad.
- Se ha determinado una rugosidad de 0,18 micrómetros con una eficiencia de frenado de hasta 92.88% en el caso mejor expuesto.
- Se han analizado los datos obtenidos y se estableció una rugosidad de 0,8 micrómetros con una eficiencia de frenado de hasta 89.88% en el mínimo determinado en este proyecto

- La eficiencia más alta se da debido a que en ese caso de rectificación se obtuvo la rugosidad mínima, y se determinó que, con un avance menor de revoluciones a mayor velocidad de corte se tienen un mejor acabado superficial como lo menciona Sandvik. Además, que el buril de fabricante Sandvik proporciona una rugosidad más fina a comparación del buril Sumitomo.
- En el estudio de campo para la rugosidad de 0,8 micrómetros se constató un tiempo de frenado de 2,10s con una distancia de 21,10m al fabricante Sumitomo, en comparación a la rugosidad de 0,13 micrómetros que el tiempo de frenado es de 2,05s con una distancia correspondiente a 20,96m del fabricante Sandvik.
- Se definió en base al análisis experimental que la temperatura máxima de trabajo es de 488,7°C en el disco de freno izquierdo con el fabricante Sumitomo a velocidad de corte de 123,37 m/min y con una rugosidad de 0,8 micrómetros, el mismo que supera el valor recomendado por la norma ECE R90 con 5,7°C.
- Se concluyó que para un disco de freno del vehículo Toyota Tercel, la rectificación con el buril del fabricante Sandvik con una velocidad de corte 123, 37 m/min genera una rugosidad de 0.18 micrómetros dando como resultado una eficiencia de frenado óptima del 92.88%.

Recomendaciones

- Se considera necesario el estudio de micro fracturas en la superficie de frenado del disco a diferentes rugosidades, antes y después de un periodo de frenado y de cómo este resultado afecta o no a la eficiencia de frenado.
- Se recomienda la adaptación de poleas de velocidad que permitan un mayor rango de velocidades en la máquina TRE 9350 para la capacidad de generar más acabados superficiales.
- Se recomienda realizar un estudio en el cual se determine un límite de rugosidad en la superficie de frenado, por la que se generen condiciones de riesgo ya sean en temperatura o eficiencia de frenado, tomando en consideración el estado del sistema de frenos en su totalidad.
- Se recomienda la utilización de otros tipos de fabricantes existentes en el mercado nacional para la interpretación de rugosidad en la superficie de frenado y análisis de la influencia en la eficiencia de frenado.
- Se recomienda analizar la influencia de parámetros de mecanizado inadecuados tales como valores erróneos de velocidad de corte, profundidad de avance, etc. Y su impacto en la vida útil de la herramienta de corte.

Bibliografía

- Ambacar. (2021). *Acerca de nosotros*. Obtenido de Ambacar: <https://www.ambacar.ec/sobre-ambacar>
- Ambacar. (2022). *Estado de la Máquina Rectificadora TRE 9350 BRAKE LATHE*. Latacunga.
- Arca, R. (2017). *Diseño y selección de componentes de una rectificadora de discos y tambores de freno*. Santo Domingo de los Tsáchilas.
- Arredondo, A. B. (2019). *Determinación experimental de la distancia de frenado de un automóvil*. Risaralda.
- Arroyo, P. A. (2015). *Diseño de una Máquina Rectificadora de Discos de Freno Estándar para Vehículos Automotores Livianos*. Quito.
- Atupuma, C., & Diaz, M. (2015). *Repotenciación de las máquinas rectificadoras, de discos de freno, tambores de freno y válvulas de motor, para la instalación en el taller de mecánica de patio de la escuela de ingeniería automotriz*. Riobamba.
- Benavides, D., & Ergüez, A. (2012). *Análisis de los ángulos de corte y materiales referente a una rectificadora "Van Norma 103" de discos Y tambores para vehiculos livianos*. Quito.
- Brake Lathe, C. (2000). *Intallation and operation manual*. USA.
- Brembo. (2018). *El espesor mínimo del disco de freno*. Obtenido de <https://www.bremboparts.com/europe/es/asistencia/montaje-y-mantenimiento/el-espesor-m%C3%ADnimo-del-disco-de-freno-212337>
- CEPE. (2012). *Reglamento ECE 90*. Zurich: Diario Oficial de la UE.
- Chico M, T. D. (2019). *Análisis de la eficiencia, desgaste y rendimiento de los frenos y neumáticos del bus articulado BYD K11A*. atacunga.

CNC, J. C. (12 de septiembre de 2012). *Plaquitas negativas y plaquitas positivas*. Obtenido de Juan Carlos CNC: <http://juancarlos-cnc.blogspot.com/2012/09/plaquitas-negativas-y-plaquitas.html>

e-auto. (2008). *Diagnostico de los discos del sistema de frenos*. Obtenido de <https://www.e-auto.com.mx/engew/index.php/85-boletines-tecnicos/6666-diagnostico-de-los-discos-del-sistema-de-frenos>

Esteban Jose Dominguez Soriano, J. F. (2018). *Sistemas de Transmisión y frenado*. Madrid: EDITEX.

Frax, J. (2019). *Acabado Superficial*. Obtenido de Frax Design: <http://joelfrax.com/disen/acabado%20superficial.html>

García Galea, R. (2014). *Análisis y diseño de un disco de freno*.

Global Media Digital, S. (2022). *Tendencias*. Obtenido de Prensa Ibérica Media, S.L: https://tendencias21.levante-emv.com/ya-se-puede-medir-la-gravedad-exacta-de-cualquier-lugar-del-mundo-desde-casa_a1609.html#:~:text=La%20aceleraci%C3%B3n%20de%20la%20gravedad,aproximadamente%2C%209.78%20m%2Fs2.

gossipvehiculo. (07 de mayo de 2021). *Discos de Freno*. Obtenido de Fallas de diiscos de frenos: <https://gossipvehiculo.com/2021/05/07/discos-de-freno-danados-sintomas-y-cuanto-cuesta-el-reemplazo/>

Guerra, J. (2012). *Manual Técnico de sistema de frenado RH*.

Imporbrake. (2019). *Daño a los Discos de Freno*. Obtenido de <https://www.imporbrake.com/dano-a-los-discos-de-freno/>

Itv. (2015). *tres aguas*. Obtenido de clasificación de los tipos de vehículos en España:

<https://www.itvtresaguas.es/conoce-la-clasificacion-de-los-tipos-de-vehiculos-en-espana/>

JRC, C. L. (18 de agosto de 2021). *Buril: Herramienta de corte para torno*. Obtenido de

<https://ferreteriajrc.com/blog/tipos-de-buril/>

Kashima. (2013). *Catalogo discos y tambores de freno*. Panama : FujimotoCorp. Of Japan.

Larburu Arrizabalaga, N. (2004). *Máquinas. Prontuario. Técnicas máquinas herramientas*.

Madrid: Thomson Editores.

Lars Hammerström, S. J. (2006). *Surface modification of brake discs to reduce squeal*

problems. Obtenido de ScinceDirect: <https://doi.org/10.1016/j.wear.2005.09.021>

M.Correa, M. A. (2019). *Factores que Afectan el acabado superficial en los procesos de*

mecanizado: tecnicas de analisis y modelos. Monterrey.

Maymol. (2021). *Mymol Norelem*. Obtenido de Suministros industriales y normalizados para

matrickeria: <https://www.maymol.com/producto-7836-iso-6---din-4980>

Mltutoyo. (2015). *Procedimiento de operación del Rugosímetro Mitutoyo SURFTEST SV-*

400.docx.

Pool, E. (2021). *Tipos de cuchillas para torno*. Obtenido de

<https://blog.laminasyaceros.com/blog/tipos-de-cuchillas-para-torno>

Raybestos. (2017). *Catálogo de discos, Rotores y Tambore*. Mexico DF.

Repuestos, M. d. (2022). *Mercado Lire*. Obtenido de Par Discos De Freno Ssangyong Korando

2000 Trasero 2.0 2012: [https://articulo.mercadolibre.cl/MLC-953143972-par-discos-de-](https://articulo.mercadolibre.cl/MLC-953143972-par-discos-de-freno-ssangyong-korando-2000-trasero-20-2012-_JM#&gid=1&pid=1)

[freno-ssangyong-korando-2000-trasero-20-2012-_JM#&gid=1&pid=1](https://articulo.mercadolibre.cl/MLC-953143972-par-discos-de-freno-ssangyong-korando-2000-trasero-20-2012-_JM#&gid=1&pid=1)

Rodríguez, E., & Topanta, J. C. (2011). *Diseño y construcción de una rectificadora de discos de freno para vehículos livianos*. Quito.

Sánchez Lorenzo, S. (2018). *Propuesta de Diseño Para Disco De Freno*. Valladolid: ESCUELA DE INGENIERIAS INDUSTRIALES.

Sandvik. (2017). *Coromant*. Obtenido de Cómo lograr una buena calidad del componente en torneado: <https://www.sandvik.coromant.com/es-es/knowledge/general-turning/how-to-achieve-good-component-quality-in-turning>

Sandvik. (20 de enero de 2020). *Sandvik Coromant*. Obtenido de <https://www.sandvik.coromant.com/es-es/knowledge/materials/pages/cutting-tool-materials.aspx>

SANDVIK. (2021). *Sandvik coromant*. Obtenido de Torneado general: <https://www.sandvik.coromant.com/es-es/knowledge/general-turning/pages/how-to-achieve-good-component-quality-in-turning.aspx>

Sandvik. (2022). *Coromant*. Obtenido de CoroTurn® 107 insert for turning TCMT 11 03 08-PM 4225: <https://www.sandvik.coromant.com/en-gb/product-details?c=tcmt%20222-pm%204225>

Sandvik, C. (agosto de 2020). *Medicion de la superficie de la pieza*. Obtenido de Sandvik Coromant: <https://www.sandvik.coromant.com/es-es/knowledge/materials/workpiece-surface-measurement>

Sumitomo. (2021). *Catalogo general, Herramientas de corte*. Sumitomo Electric.

Tecnología Mecánica, G. (2015). *Rugosidad Superficial*. Obtenido de Procesos de fabricación: <http://www3.fi.mdp.edu.ar/tecnologia/archivos/TecFab/10.pdf>

Tecnología Mecánica, M. (2015). *Metrología del acabado superficial*. Bilbao: Universidad del País Vasco.

Torres, F. (2021). *Análisis del comportamiento mecánico y térmico de un disco de frenos del vehículo Chevrolet Gran Vitara SZ a diferentes espesores de trabajo*.

Uniberts, E. H. (2017). *Metrología del acabado superficial*. Obtenido de Ehus.eus:

https://www.ehu.eus/manufacturing/docencia/745_ca.pdf

Villarroel, E. (2016). *Análisis y construcción de una rectificadora de discos de freno, para un taller de mantenimiento vehicular*. Quito: Universidad Tecnológica Equinoccial.

Zepeda, A. (2015). *Conoce los problemas mas comunes en rectificado y como resolverlos*.

Obtenido de <https://www.graff.mx/blogs/conoce-los-problemas-mas-comunes-en-rectificado-y-como-resolverlos-abrasivos>

Anexos