



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica
Carrera de Ingeniería Automotriz**

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

Tema:

“Análisis del rectificado de un disco de freno con dos buriles de diferente fabricante para la determinación de la eficiencia del frenado.”

Autor: Camas Álvarez, Jairo Gustavo

Director: Ing. Guillermo Mauricio, Cruz Arcos

Latacunga, Febrero 2023





"NO IMPORTA LO
DESPACIO QUE VAYAS,
SIEMPRE Y CUANDO NO
TE DETENGAS"

Confucio

Índice de Contenido

- **Antecedentes**
- **Planteamiento del problema**
- **Objetivos**

Objetivo General

Objetivos Específicos

- **Metas**
- **Marco teórico**
- **Máquina Rectificadora y características de rectificación**
- **Pruebas y ensayos**
- **Análisis de resultados**
- **Conclusiones**
- **Recomendaciones**

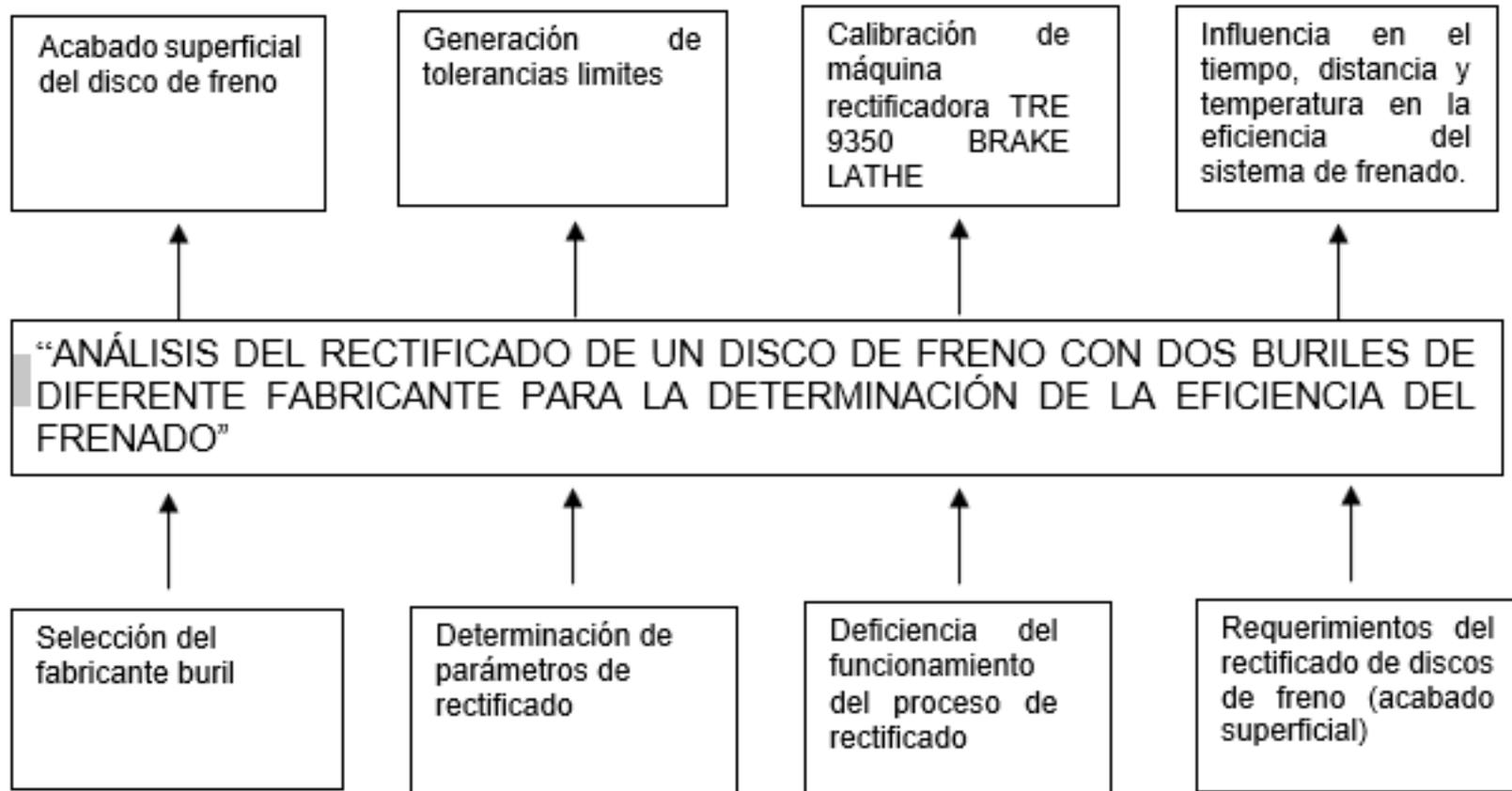
Antecedentes



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, lo que afecta la distancia de frenado, así como el tiempo de frenado y, por lo tanto, el tiempo de trabajo de la superficie desgastada. (Sánchez Lorenzo, 2018)

Ambacar es una empresa ecuatoriana con más de 50 años de experiencia en el mercado automotriz, 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)

Planteamiento del Problema



Objetivos

Objetivo General



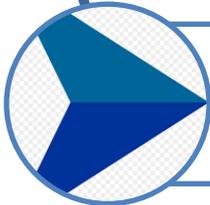
Realizar el análisis del rectificado de un disco de freno con dos buriles de fabricantes diferentes para la determinación del acabado superficial y la influencia en la determinación de la eficiencia del frenado.



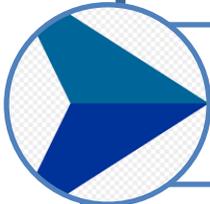
Objetivos Específicos



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.

Meta

- 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 .
- 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.

Marco Teórico

Disco de freno



Materiales en discos de freno

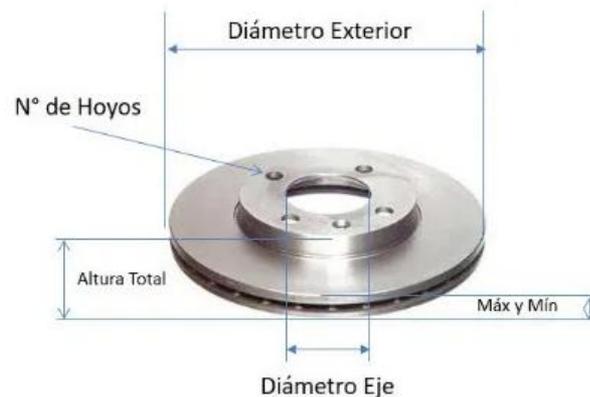
- Carboceramicos
- Co-moldeados
- Fundición de hierro

Dimensiones

- Diámetro, N° de hoyos, diámetro de eje, altura total

Tolerancia

- Espesor máximo y mínimo

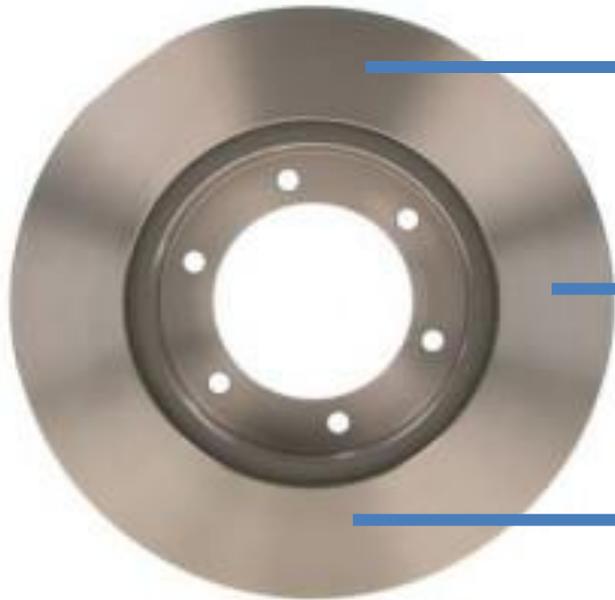


DIAM: 299.97
A: 47.24
DB: 114.30
TH: 27.94
TH-MIN: 25.91



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Importancia de la superficie de fricción en discos de freno.



Parámetros de:

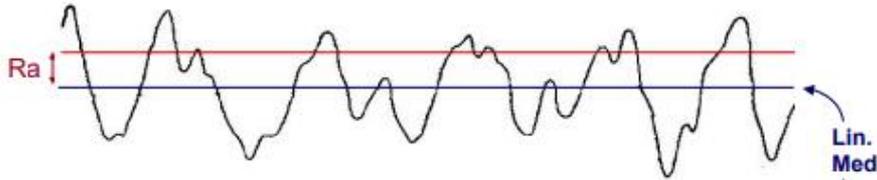
- Temperatura
- Distancia y tiempo

Rugosidad de la superficie

Eficiencia de frenado

Rugosidad superficial

Expresión de rugosidad



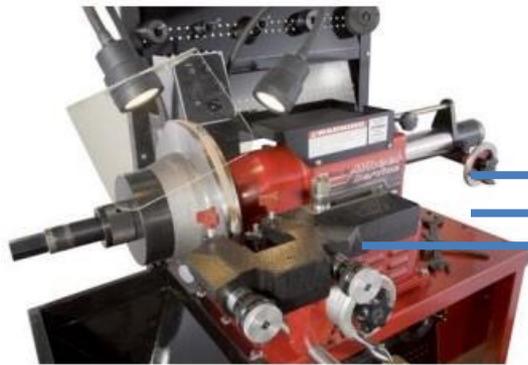
El parámetro más utilizado es la Rugosidad Media (Ra) en micrómetros

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

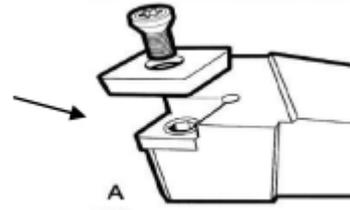
Máquina rectificadora

Herramienta utilizada para el procesamiento mecánico de precisión dimensional y acabado superficial



Elementos cinemáticos:

- Motor de corriente alterna
- Caja de velocidades
- Caja de avance
- Eje de avance



Plaquita
intercambiable



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Parámetros de rectificación

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)

Tiempo de mecanizado

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

Donde:

Tc= Tiempo de mecanizado en min

Lm= Longitud mecanizada mm

f_n= Avance en mm /rev

n= velocidad del husillo rpm

Profundidad de corte

a_p

Expresada en mm

Especificaciones de la máquina

ESPECIFICACIONES

Motor de husillo	1HP,3HP:0.75kw (1HP)
Recorrido del husillo	6-7/8" / 175mm
Eje de velocidad	98,123,165 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



Puesta a punto de la máquina Rectificadora de discos y tambores 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

Averías encontradas en la máquina rectificadora TRE-9350



Puesta a punto de la máquina Rectificadora TRE 9350

Motor eléctrico

Limpieza de impurezas en conexiones eléctricas



Conductores eléctricos

No presentan fisuras ni daños, limpieza de polvo y partículas de viruta.



Switch de encendido

Instalación de nuevo interruptor de 220V y 15 A



Iluminación

Se remplazo la boquilla y se renovó un nuevo diicroico led multivoltaje



Caja de cambios de velocidades variable para discos de freno

Limpieza de arandelas, engranes de avance preciso y clutch e instalación de acoples faltantes



Caja de cambios de velocidades variable para tambores de freno

Instalación de engranajes de fricción, planetarios, fabricados y lubricados



Acoples de disco y tambor

Reemplazo de acoples y accesorios faltantes para la rectificación de discos y tabores de freno



Poleas de transmisión

Limpieza de anticorrosivo, alineación de poleas del motor y transmisión



Puesta a punto de la máquina Rectificadora TRE 9350

Sistema de transmisión

Fabricación de engranaje en mal estado y ensamble total del grupo



Colector de viruta

Se fabricaron nuevos colectores de viruta y se instalo en la mesa de trabajo



Estructura de la máquina

Se restauro el estado superficial con masilla automotriz y pintura esmalte.

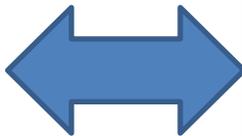


Pruebas mecánicas

Rectificación de discos y tambores en la empresa Ambocar



Antes



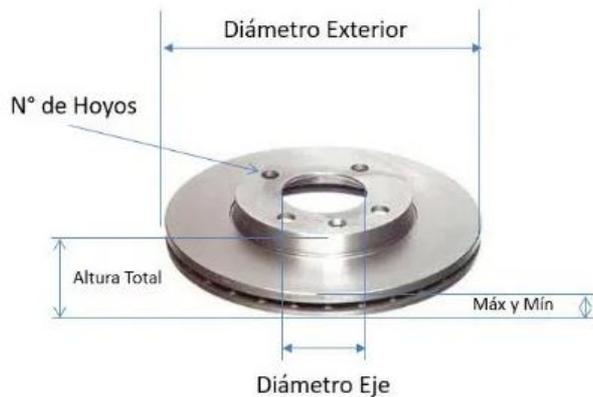
Después



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Especificaciones disco de freno

Especificaciones técnicas el disco de freno del Toyota Tercel

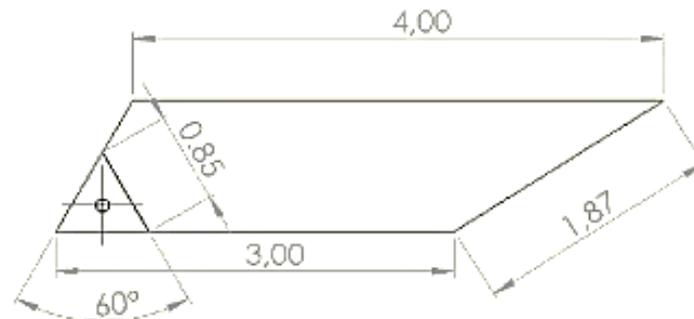


Modelo	Especificaciones	Valor
Ventilado	Diámetro	238 mm
	Espesor nominal TH	18 mm
	Espesor mínimo TH	17 mm
	Altura	43 mm
	Peso	3,9 kg
	Material	G3000

Plaquita Sumitomo

Según el portaherramientas utilizado en la máquina TRE 9350

Parámetros de plaquita TCMT 110208N-SU

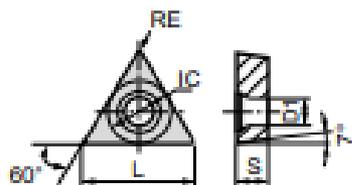


SUMITOMO ELECTRIC			
Proceso de corte	Denominación	Velocidad de corte	Avance por revolución
		Vc(m/min)	Fn(mm/rev)
Corte continuo	TCMT 110208N-SU	100-130-160	0.08 - 0.2 -0.3
Corte general			



Triangulares 60°
7° incidencia
Con agujero

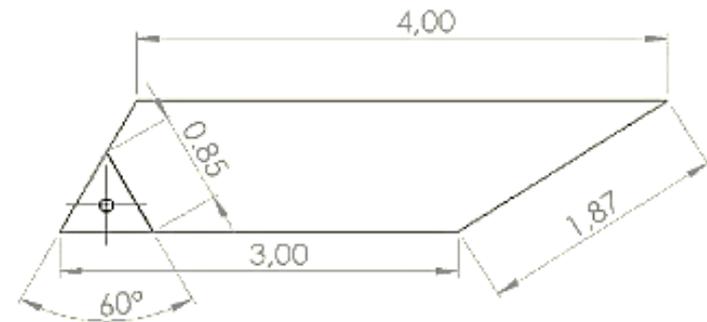
Dimensiones de la plaquita



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

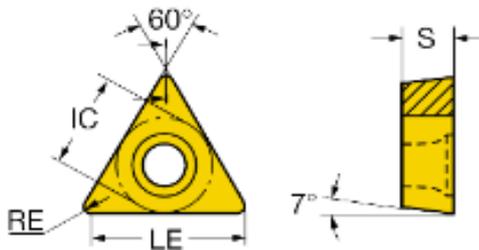
Plaquita Sandvik

Según el portaherramientas utilizado en la máquina TRE 9350



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			



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

Cálculos de parámetros de rectificación

Velocidad de corte 1	Tiempo de mecanizado 1
$V_c = \frac{n \times \pi \times d}{1000}$ $V_c = \frac{123 \times \pi \times 238}{1000}$ $V_c = 91.97 \text{ m/min}$	$T_c = \frac{lm}{f_n \times n}$ $T_c = \frac{55}{0.05 \times 123}$ $T_c = 8.94 \text{ min}$
Velocidad de corte 2	Tiempo de mecanizado 2
$V_c = \frac{n \times \pi \times d}{1000}$ $V_c = \frac{165 \times \pi \times 238}{1000}$ $V_c = 123.37 \text{ m/min}$	$T_c = \frac{lm}{f_n \times n}$ $T_c = \frac{55}{0.05 \times 165}$ $T_c = 6.67 \text{ min}$

Eficiencia de frenado

Se denomina en la siguiente ecuación

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

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)

Rectificación a 2 velocidades de corte

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

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

Pruebas y ensayos

Medición de discos de freno rectificados

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



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.

Ensayos de rugosidad

Medidas de rugosidad a dos velocidades de corte buril Sumitomo



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

Medidas de rugosidad a dos velocidades de corte buril Sandvik



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

Pruebas de frenado

Para las pruebas experimentales se utilizo la norma ECE R90 las cuales tienen las siguientes especificaciones :

Especificaciones de la prueba de frenado

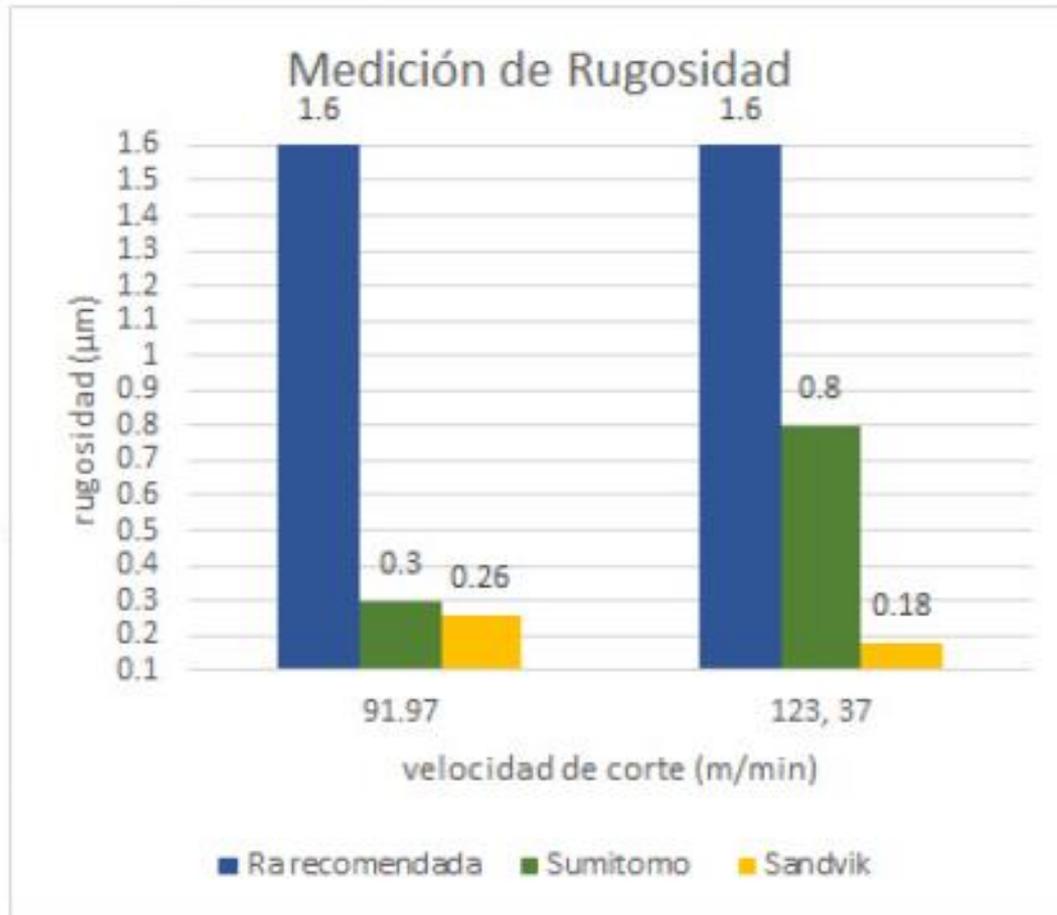
	Definición	Parámetro
Fase de precalentamiento	Velocidad inicial (V_0)	0 K/h
	Recorrido	50 km/h
	Ruta	Machachi- Latacunga
	Peso del vehículo	930 kg
	Temperatura ambiente	23°
	Calzada	Seca
Fase de frenado	Temperatura inicial	200°
	Velocidad inicial	70Km/h
	Pulsaciones por ciclo	10
	Ciclo de temperatura	10
	Velocidad final (V_f)	0 km/h

- Pruebas de temperatura
- Pruebas de distancia y tiempo de frenado



Análisis de resultados

Resultados de rugosidad

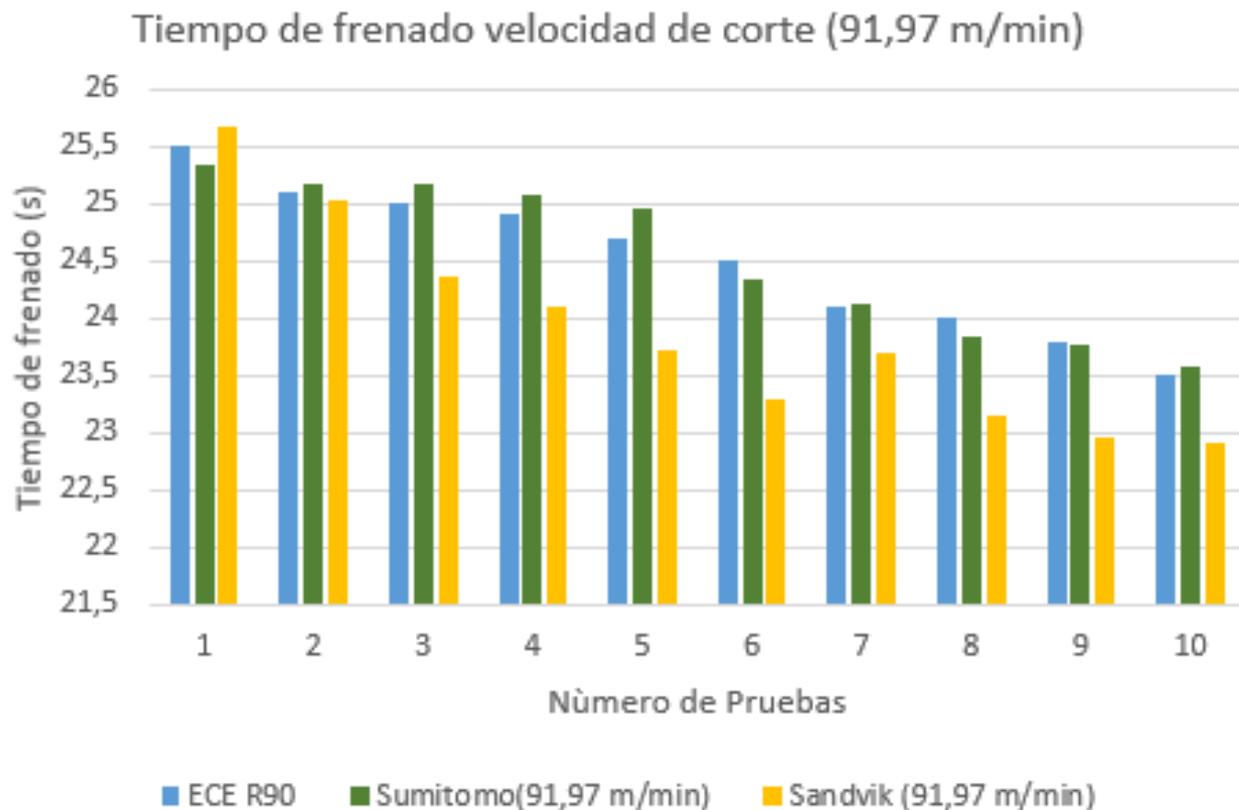


Todos las mediciones de rugosidad ingresan en la tabla de valores para la medición de rugosidad en función de procesos de fabricación.

Análisis de rendimiento de pruebas de frenado

Tiempo de frenado Vc: 91,97 m/min

Tiempo de frenado velocidad de corte 1

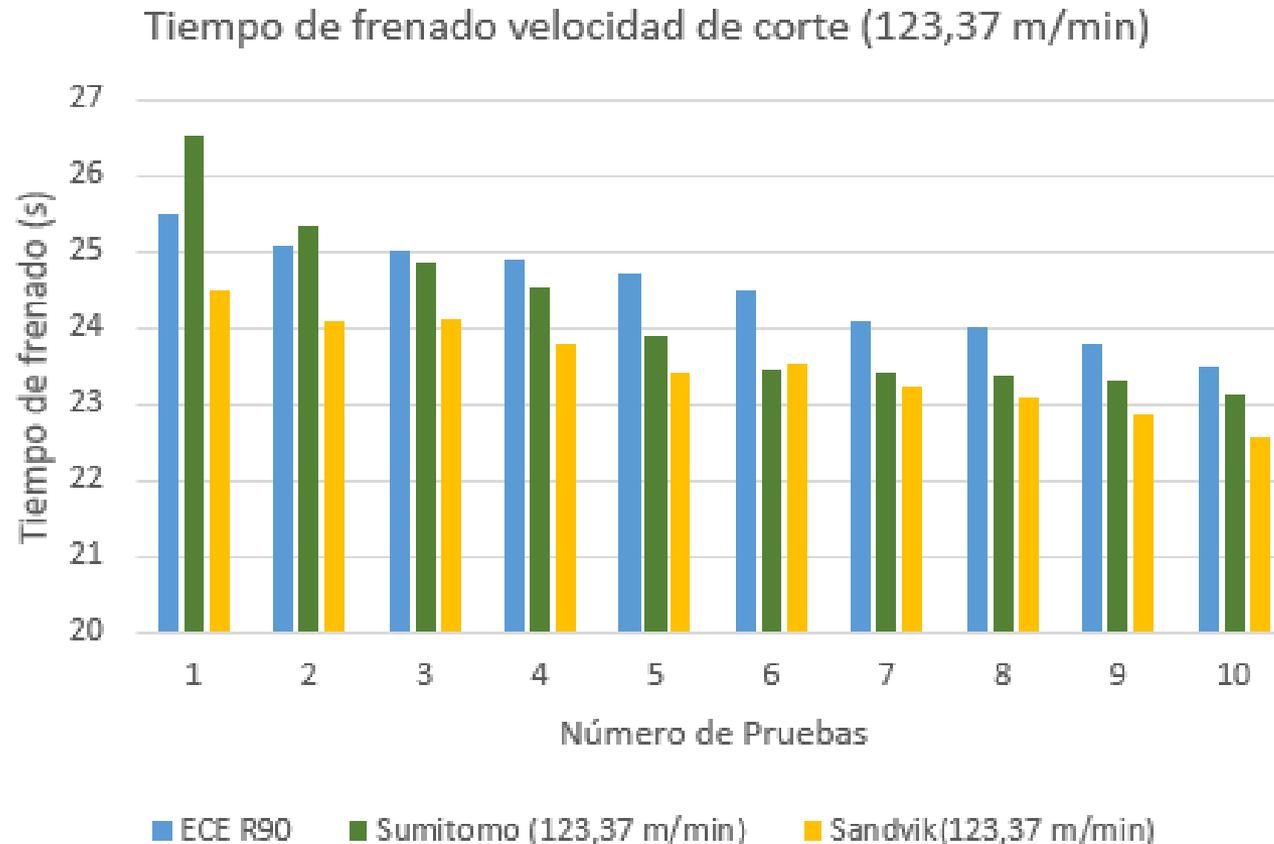


Sumitomo, solo cumple el valor permitido en un 40% del ensayo completo.

Sandvik, se cumple el valor permitido por la norma en cuanto a tiempo de frenado en un 90% de la prueba.

Tiempo de frenado Vc: 123,37 m/min

Tiempo de frenado velocidad de corte 2

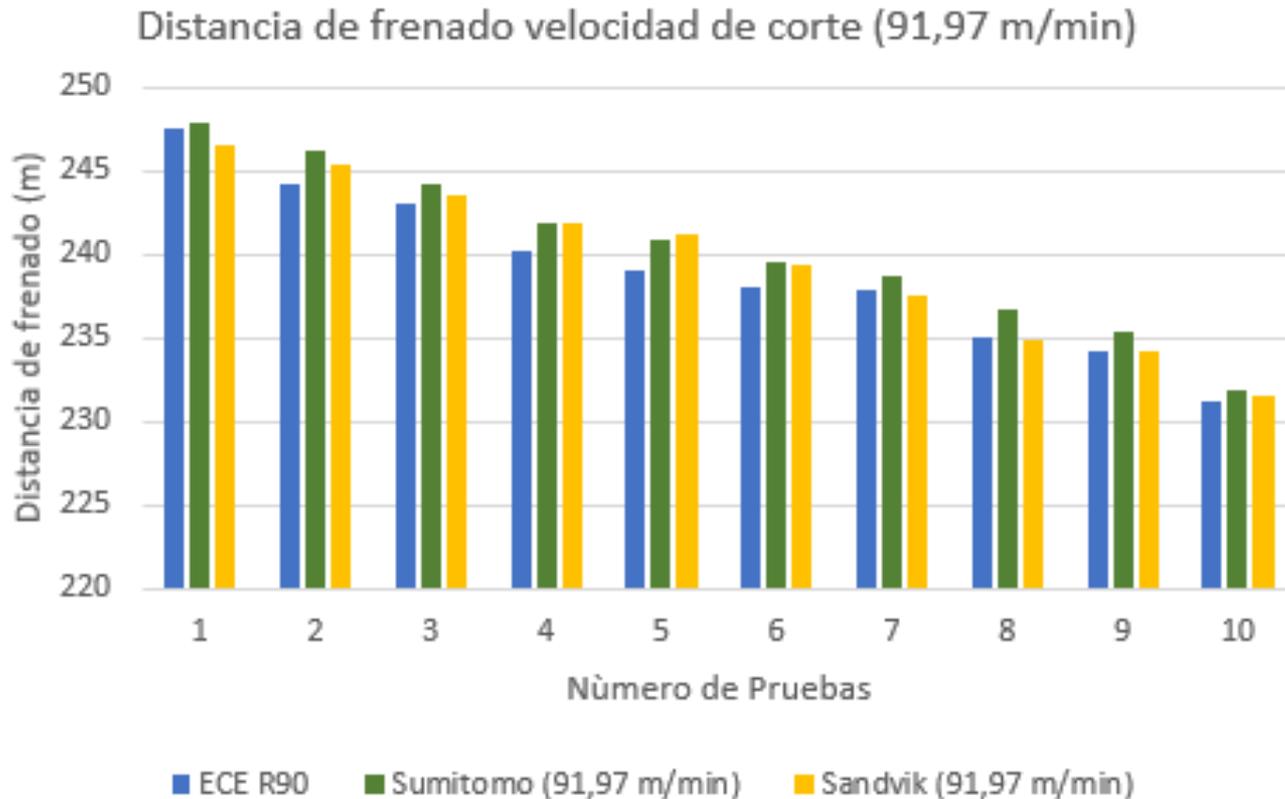


El fabricante Sumitomo, solo cumple el valor permitido en un 80% del ensayo completo

En el caso del fabricante Sandvik, cumple el valor permitido por la norma en cuanto a tiempo de frenado en un 100% de la prueba

Distancia de frenado Vc: 91,97 m/min

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

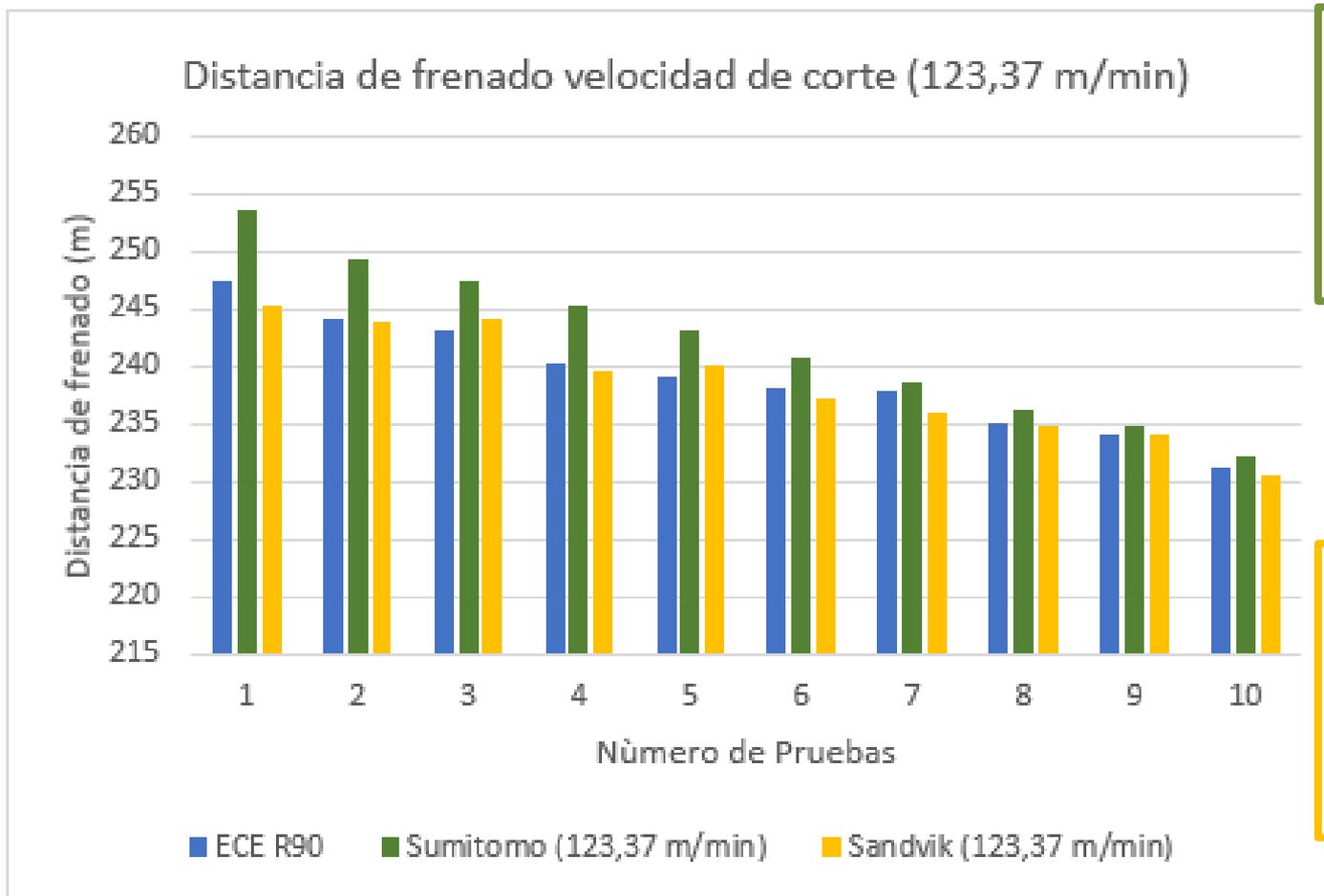


Sumitomo no cumple en ningún instante del ciclo lo establecido por dicha norma.

Sandvik cumple en un 30% los establecido por la norma ECE R90

Distancia de frenado Vc: 123,37 m/min

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

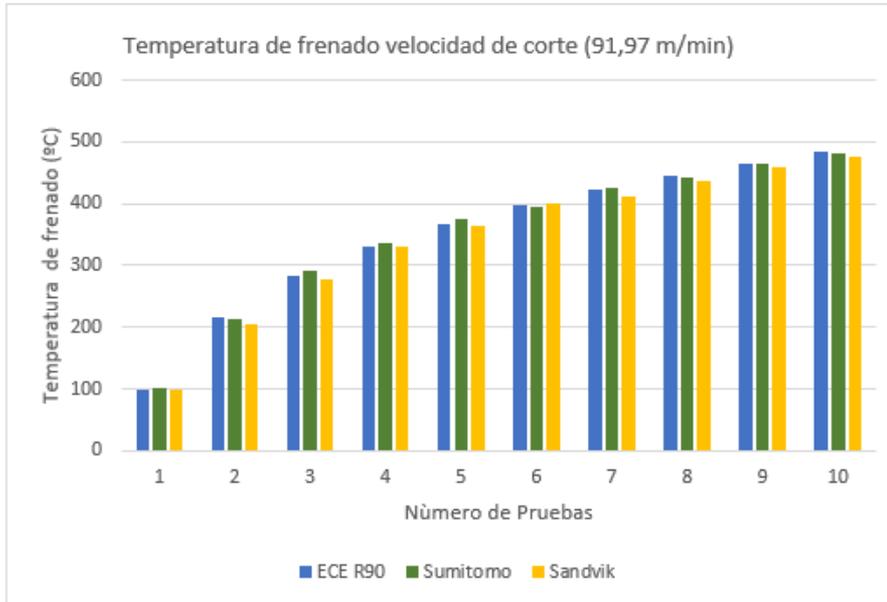


El disco rectificadado con el buril Sumitomo cumple en 0% la distancia establecida por dicha norma

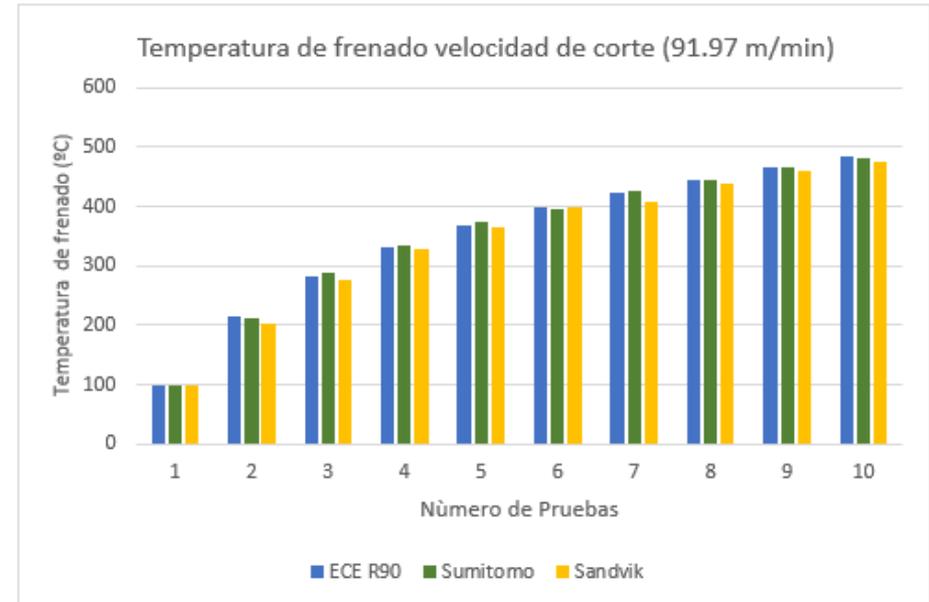
En este ensayo el disco rectificadado con el buril Sandvik cumple en un 80% los establecido por la norma ECE R90

Temperatura de frenado Vc: 91,97 m/min

Gráfica de Temperatura de frenado velocidad de corte 1 lado izquierdo.



Gráfica de Temperatura de frenado velocidad de corte 1 lado derecho.

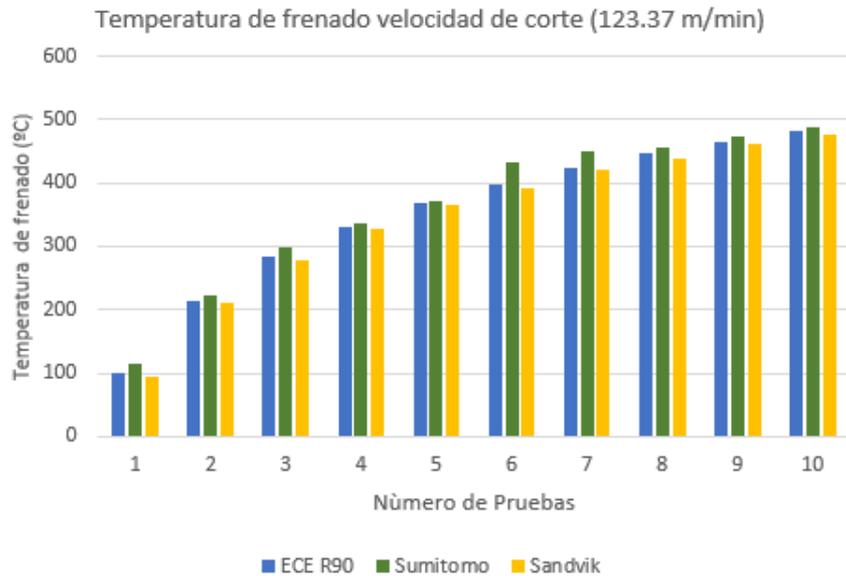


Sumitomo, esta efectividad en cuanto al cumplimiento de la norma, se reduce a tan solo el 40% en el disco izquierdo y el 50% en el disco derecho.

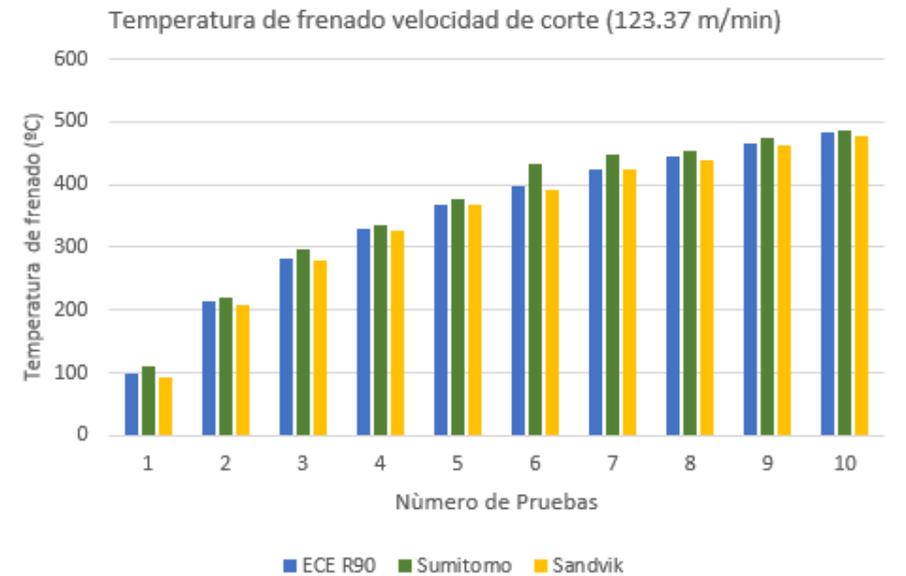
Sandvik cumple con lo establecido con la norma en el 90% de los ciclos de la prueba, mientras que en el disco derecho cumple con un 100% de efectividad.

Temperatura de frenado Vc: 123,37m/min

Gráfica de temperatura de frenado
velocidad de corte 2 lado izquierdo



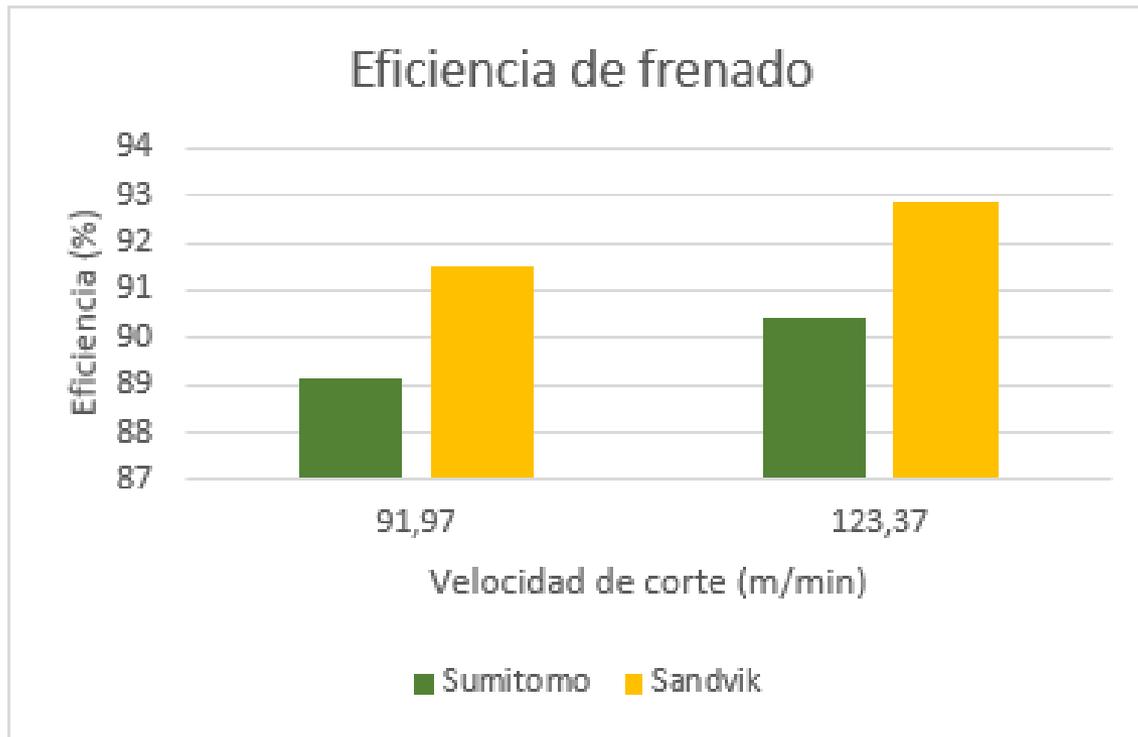
Gráfica de temperatura de frenado
velocidad de corte 2 lado derecho



El fabricante Sumitomo, cumple en el 0% de los ciclos lo establecido por la norma

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.

Análisis de eficiencia



Sumitomo a velocidad de corte baja, reduce su eficiencia a 89,12 %, mientras que a velocidad alta incrementa un 90,43 %

Sandvik a velocidad de corte baja proporciona un 91,51% y velocidad alta fue de 92,88%

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 de la máquina rectificadora para adaptar las condiciones adecuadas de 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 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. 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.

Conclusiones

- 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 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 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.

““ El talento junto con la capacidad de perseverar es la llave maestra para alcanzar el éxito””

Dr. Julián Camas