



ESPE
ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO
CAMINO A LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

ANÁLISIS DE LA EFICIENCIA DEL SISTEMA DE FRENOS EN DIFERENTES CONDICIONES DE USO EN UN AUTOMOVIL SEDAN ELECTRICO BYD E5 300

AUTORES: MEDINA MOREJÓN, JHOSEP ADRIÁN

**ING. ALEX CEVALLOS
DIRECTOR DE TESIS**



OBJETIVO GENERAL

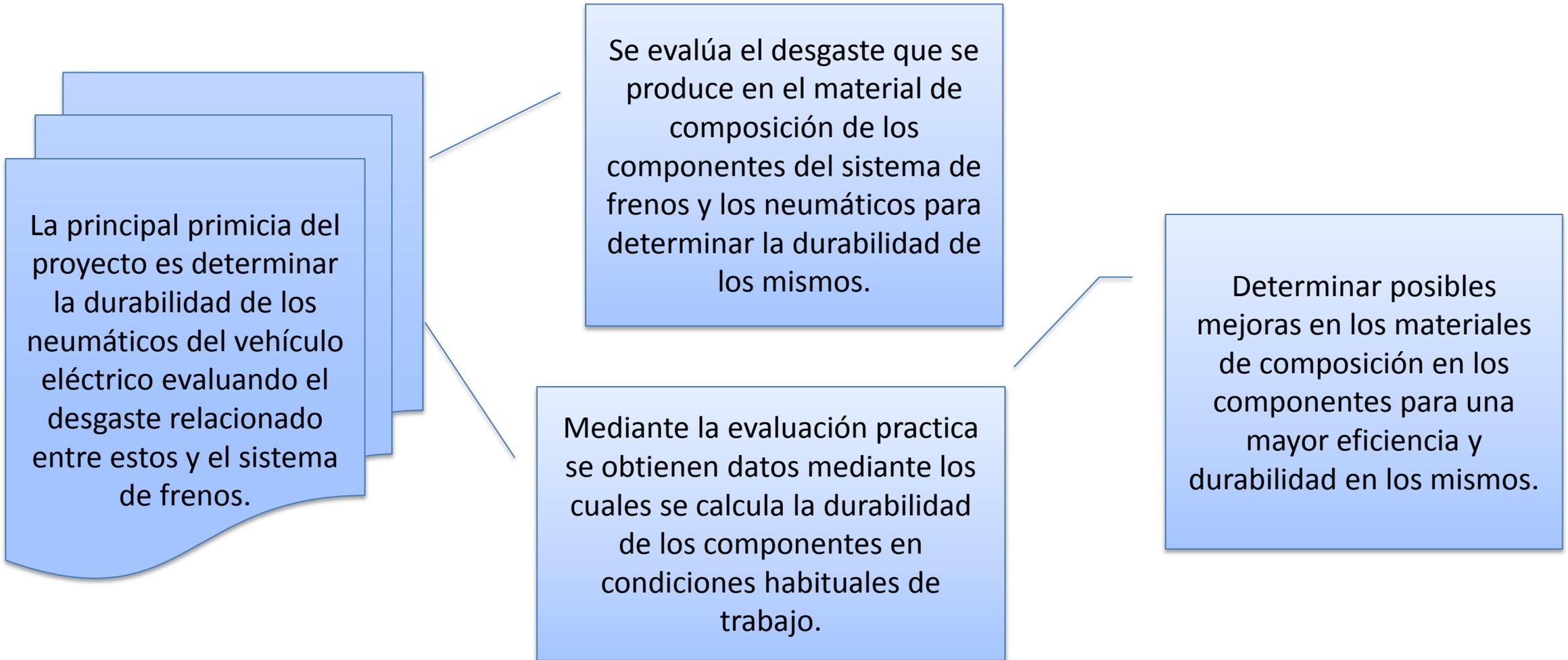
Analizar la eficiencia del sistema de frenos con relación al rendimiento de neumáticos mediante el cálculo de porcentaje de desgaste y conservación en diferentes condiciones de uso de un automóvil sedan eléctrico BYD E5 300.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analizar la influencia del sistema de frenos en el desgaste de los neumáticos.
- Examinar el desgaste presente en neumáticos en diferentes condiciones de trabajo.
- Diagnosticar la influencia del desgaste de neumáticos al considerar la temperatura del asfalto.
- Comparar cómo se desgasta el neumático según la presión de inflado en diferentes tipos de terreno y humedad del mismo.
- Identificar la eficiencia del sistema de freno según las condiciones del neumático.
- Realizar la prueba de resistencia en el material de las pastillas de frenos del vehículo eléctrico.
- Calcular la durabilidad de los componentes del sistema de freno en el vehículo eléctrico.
- Tabular y analizar los resultados de cada una de las pruebas para obtener su eficiencia.



JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA



METAS

Determinar la vida útil de un neumático montado en un vehículo eléctrico BYD E5 300 sometido a las diferentes condiciones climáticas, así como los terrenos por los que este transitará cotidianamente teniendo en cuenta las diferentes circunstancias de trabajo como la cantidad de pasajeros y la presión de inflado de los neumáticos y la incidencia de estos factores en el sistema de frenos del vehículo.



HIPÓTESIS

La durabilidad, eficiencia y desgaste de los las pastillas de freno y neumáticos del vehículo eléctrico BYD E5 300 se ven comprometidos por factores externos de operación y esto afecta en su comportamiento.



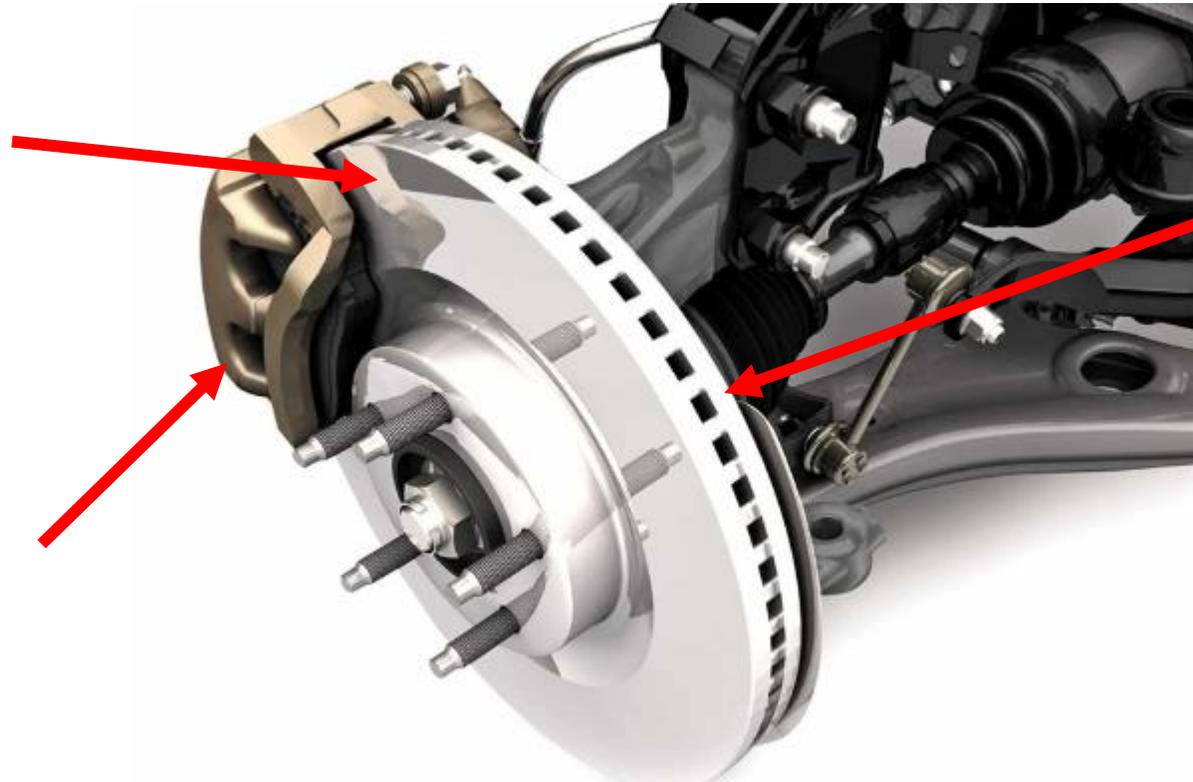
BYD E5 300



PRINCIPALES COMPONENTES DEL SISTEMA DE FRENOS

Pastillas
de freno

Mordaza
o cáliper



Disco de
freno



PASTILLAS DE FRENO Y DISCO DE FRENO

- MATERIAL DE LA PASTILLA DE FRENO: F4240FF
- NIVEL DE FRICCIÓN PASTILLA DE FRENO: MEDIO (0,31-0,34 μ)
- MATERIAL DISCO DE FRENO DE HIERRO FUNDIDO



CAST IRON MEETS ALUMINIUM
Two-piece composite brake discs



The two-piece Textar brake discs are another innovative product in the Light Technology range of TMD Friction. Each consist of a top hat and a friction ring, which are connected by means of rivets. By using aluminium for the top hat, weight savings of 15-20 percent can be achieved.

With the new composite brake discs, Textar offers to the aftermarket the innovative benefits of two-piece brake discs, which are also used in the original equipment sector:



**INNOVATION THROUGH
LIGHT WEIGHT CONSTRUCTION**



NEUMÁTICOS: GITI® TOUR 900

Dimensión	205/55 R16
Ancho (mm)	205
Índice de carga/velocidad	H94
Velocidad máxima	240km/h5
Carga máxima	670kg
Presión máxima	50psi
Profundidad de la escultura (mm)	8,4
Profundidad de resurcaje (mm)	1,6



ENSAYOS MECÁNICOS PARA LA EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DEL REVESTIMIENTO DE LA PASTILLA DE FRENO

- Pruebas NTE INEN-ISO 6310:2009
- Pruebas NTE INEN-ISO 6311:2009



NORMA NTE INEN-ISO 6310: MÉTODO DE ENSAYO DE LA DEFORMACIÓN POR COMPRESIÓN

- Es un importante parámetro de diseño en la evaluación del desplazamiento del volumen del fluido de freno, recorrido del pedal del freno y la propensión a la vibración o ruido.
- La deformación por compresión es la relación entre la reducción en espesor del revestimiento de freno, debida a las fuerzas de compresión y temperaturas para su espesor inicial (medida en la dirección de la fuerza de aplicación, perpendicular a la superficie de fricción)



EQUIPOS PARA EL ENSAYO



RESULTADOS PRUEBA DE DEFORMACIÓN POR COMPRESIÓN. MUESTRA 1

MUESTRA 1		
Valor promedio del espesor \overline{di}	10,23 mm	
Número de ciclos	3	
Tamaño de la muestra (área)	2765,25 mm ²	
Temperatura del ensayo	20.5°C	
Presión (MPa)	Espesor (mm)	Diferencia respecto al promedio (mm)
8	10,076	0,154
1	10,223	0,007
2	10,194	0,036
4	10,142	0,088
8	10,081	0,149

MUESTRA 1		
Valor promedio del espesor \overline{di}	10,153 mm	
Número de ciclos	3	
Tamaño de la muestra (área)	2765,25 mm ²	
Temperatura del ensayo	390°C	
Presión (MPa)	Espesor (mm)	Diferencia respecto al promedio (mm)
8	9,876	0,277
1	10,010	0,143
2	10	0,153
4	9,969	0,184
8	9,838	0,315

RESULTADOS PRUEBA DE DEFORMACIÓN POR COMPRESIÓN. MUESTRA 2

MUESTRA 2		
Valor promedio del espesor $\overline{d_i}$	10.02 mm	
Número de ciclos	3	
Tamaño de la muestra (área)	2765,25 mm ²	
Temperatura del ensayo	20.5°C	
Presión (MPa)	Espesor (mm)	Diferencia respecto al promedio (mm)
8	9,862	0.158
1	9,982	0,038
2	9,961	0.059
4	9,942	0,078
8	9,843	0,177

MUESTRA 2		
Valor promedio del espesor $\overline{d_i}$	10,123 mm	
Número de ciclos	3	
Tamaño de la muestra (área)	2765,25 mm ²	
Temperatura del ensayo	395°C	
Presión (MPa)	Espesor (mm)	Diferencia respecto al promedio (mm)
8	9,727	0.396
1	9,969	0.154
2	9,838	0.285
4	9,887	0.236
8	9,708	0.415

NORMA NTE INEN-ISO 6311: MÉTODO DE ENSAYO PARA DETERMINAR LA RESISTENCIA INTERNA AL CORTE

- Mientras se frene bajo condiciones normales de servicio, un esfuerzo de corte es generado en el material de fricción de las pastillas de freno de disco.
- Esta norma tiene por objeto establecer el método de ensayo para determinar la resistencia interna al corte de los materiales de fricción

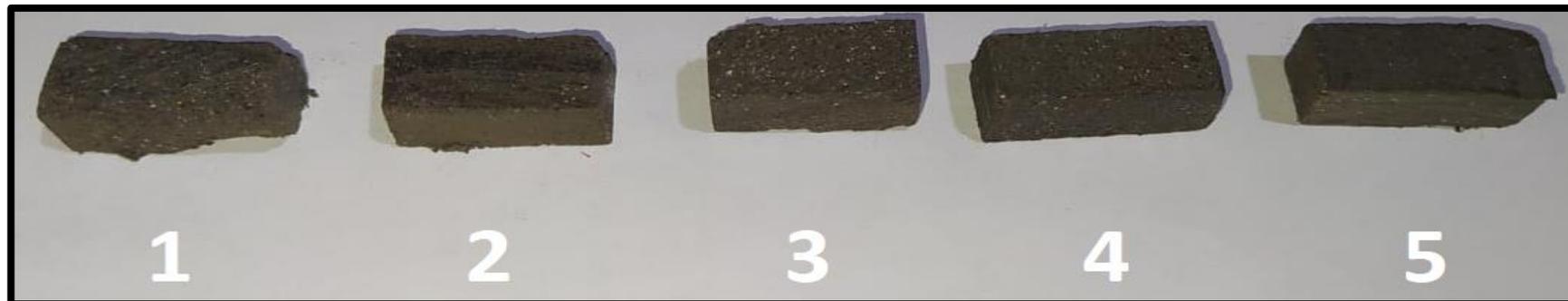
EQUIPOS PARA EL ENSAYO



PREPARACIÓN DE LA MUESTRA: DIMENSIONES DE LA PROBETA DE PRUEBA

Largo	10 mm ± 0,1 mm
Ancho	20 mm ± 0,1 mm
Espesor	5 mm ± 0,1 ó 10 mm ± 0,1 mm

Fuente: Norma NTE INEN – ISO 6311:2009

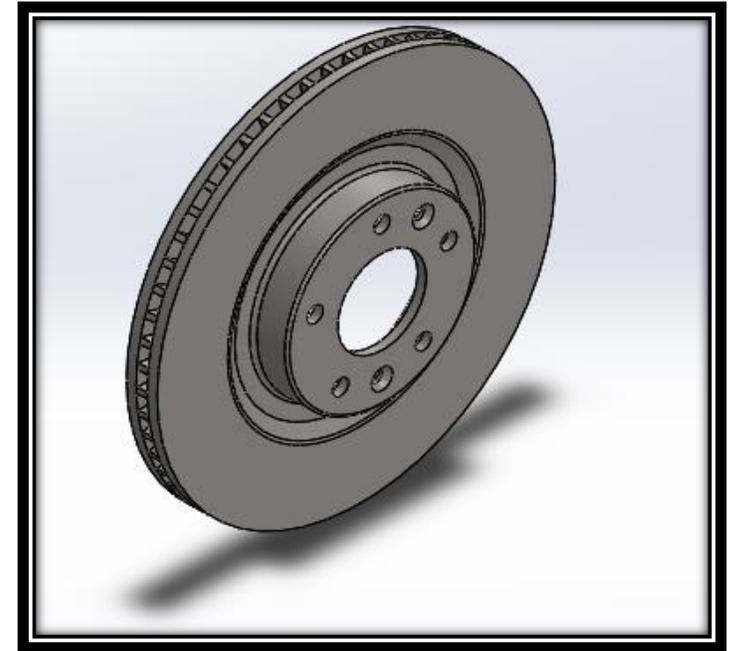
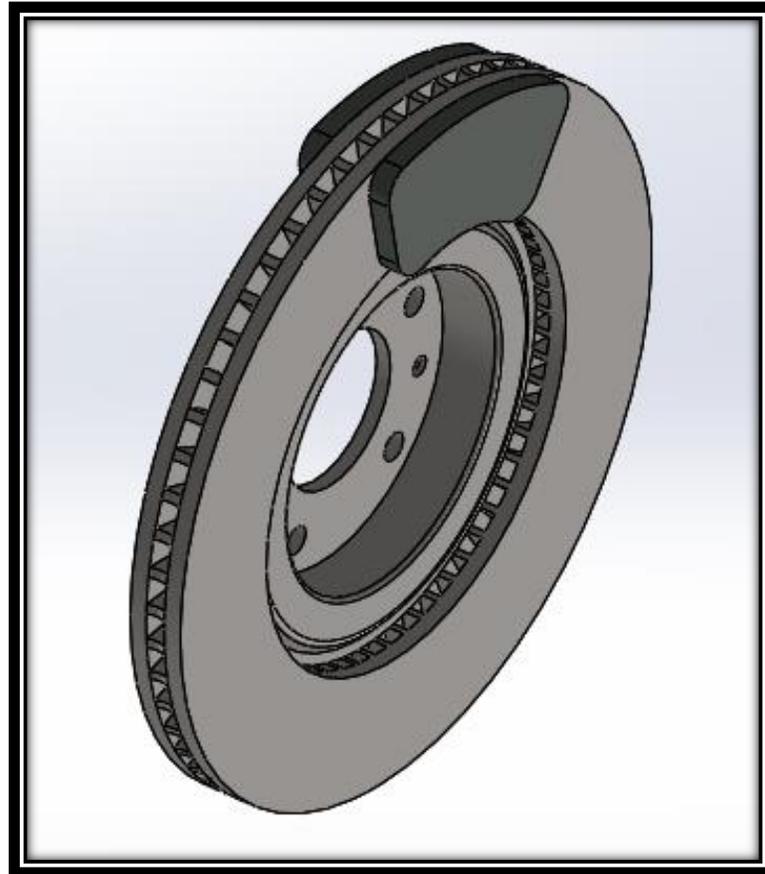
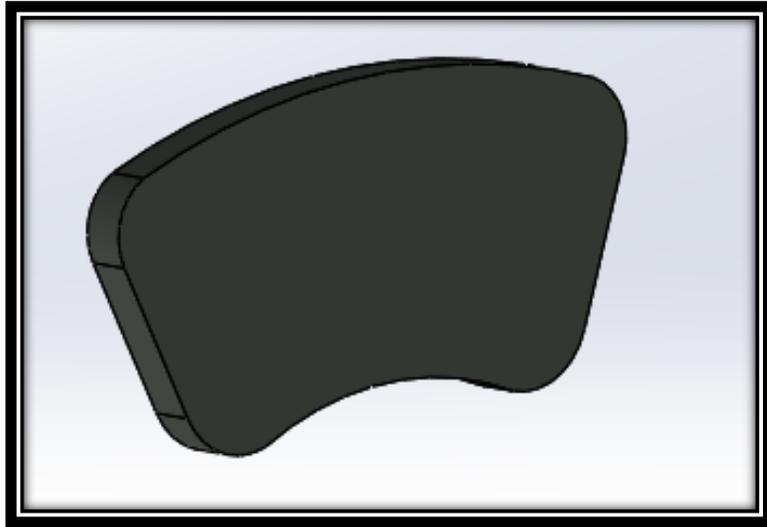


RESULTADOS PRUEBA DE RESISTENCIA INTERNA AL CORTE

Parámetro	Área sección transversal (mm ²)	Carga máxima aplicada (N)	Fuerza interna de corte (N/mm ²)
Muestra 1	199,191	1965	9,865
Muestra 2	198,00	1255	6,338
Muestra 3	195,42	1744	8,924
Muestra 4	193,35	1126	5,824
Muestra 5	196,68	1140	5,796

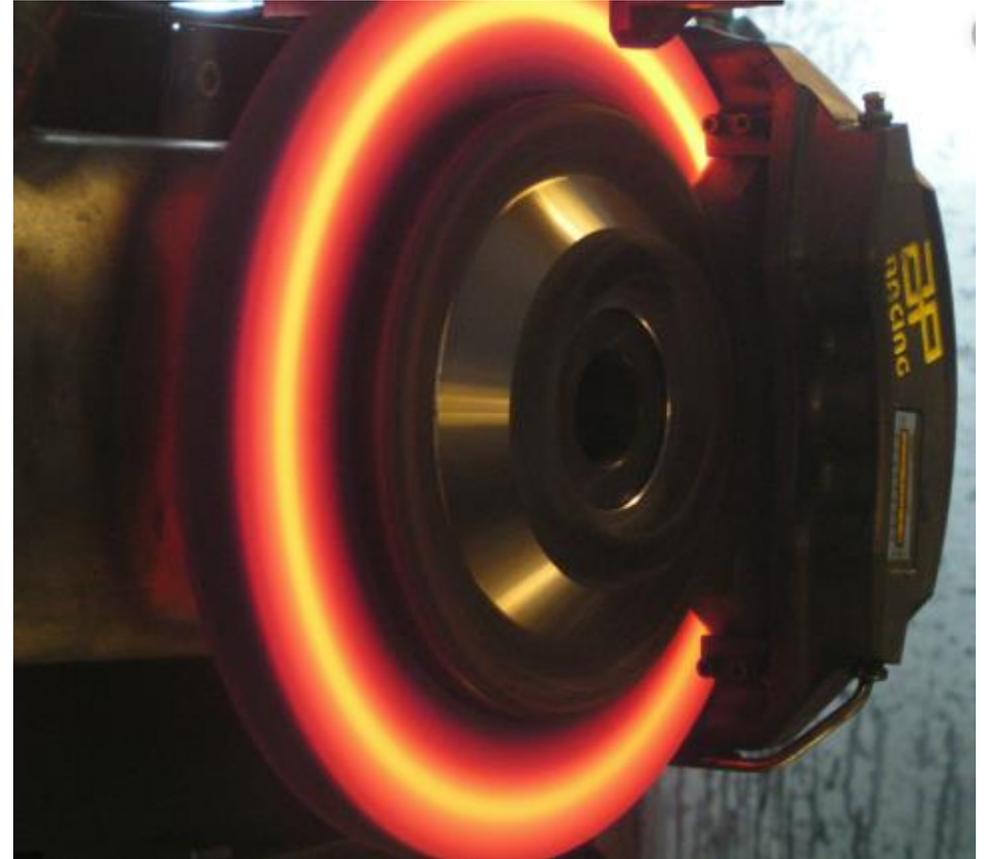


SIMULACIÓN DEL SISTEMA DE FRENOS



ANÁLISIS TÉRMICO DEL DISCO DE FRENO

- Cálculo de la temperatura
- Medición de la temperatura
- Simulación de la temperatura



CÁLCULO DE LA TEMPERATURA EN EL DISCO DE FRENO

$$T = \frac{T_{Fr} * \omega * t_f + m_d * c_d * T_o + h * A_c * T_{amb}}{m_d * c_d + h * A_c}$$

$$T = 68,03^{\circ}C$$

Par de rozamiento	40465,48 J/rad
Velocidad angular	35,17 rad/s
Tiempo de frenado	3s.
Masa del disco de freno	8,84 kg
Calor especifico del disco de freno	482,5 J/Kg°C
Temperatura inicial del disco de freno	20,5°C
Coefficiente de convección del disco de freno	4x10-5 W/mm ² °C
Área de convección del disco de freno	2765,25 mm ²
Temperatura ambiente	20,5°C

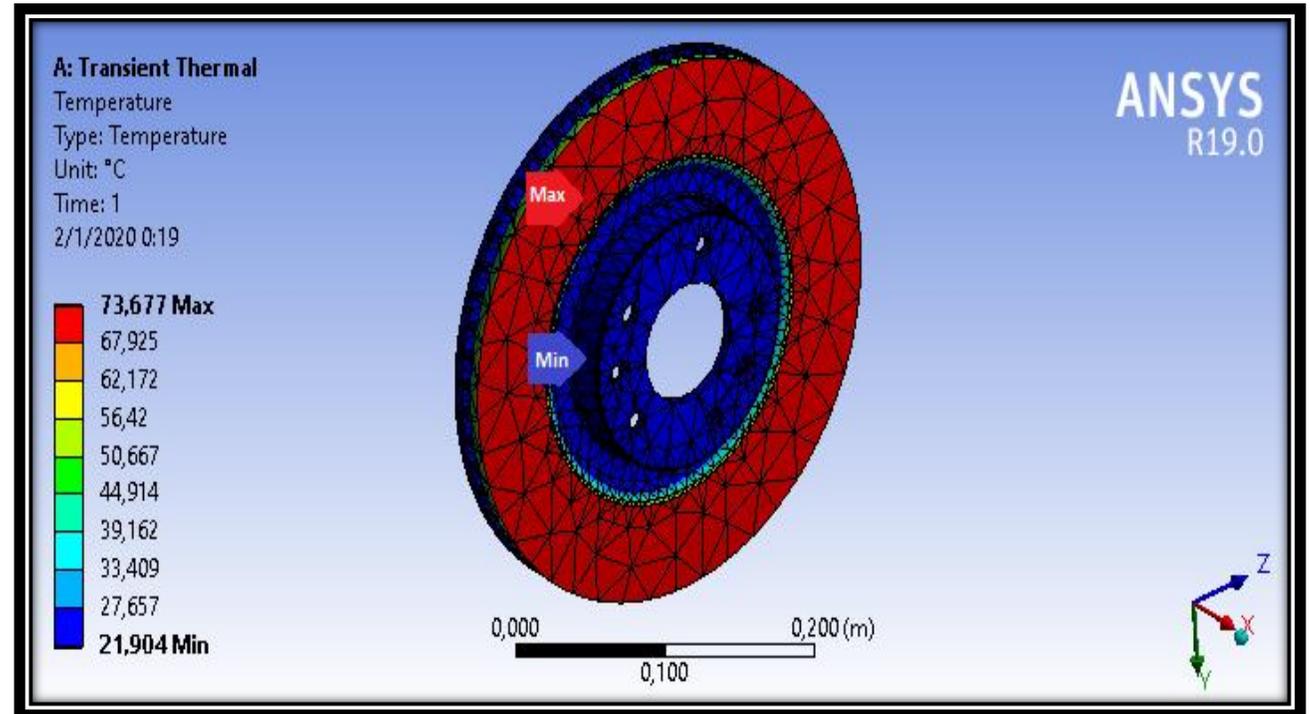


CONTRASTE CON LA SIMULACIÓN Y MEDIDA EN EL DISCO DE FRENO

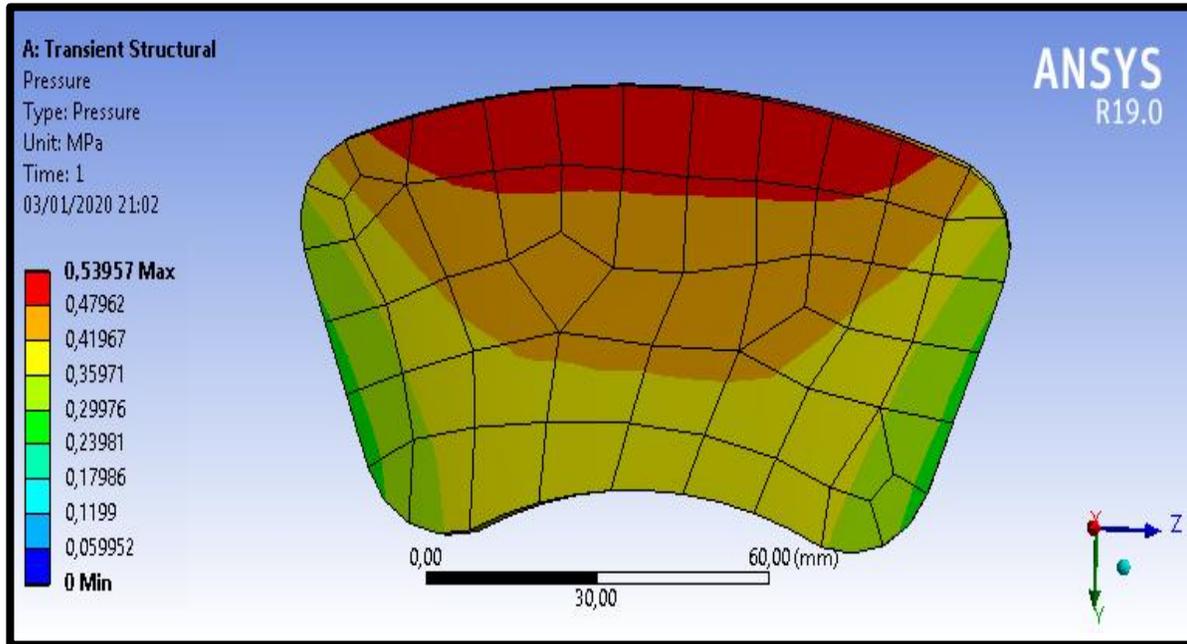
Temperatura medida en el disco



Temperatura obtenida en el software CAE



ANÁLISIS DE COMPRESIÓN EN LA PASTILLA DE FRENO

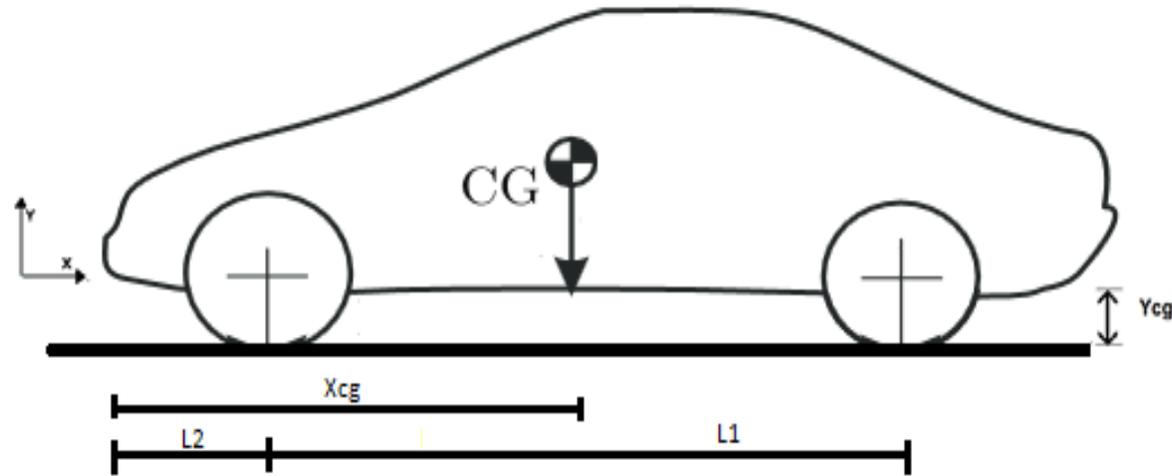


DESGASTE DE LOS NEUMÁTICOS

- Análisis según la carga en el vehículo
- Análisis de circuito de pruebas
- Análisis de resultados



ANÁLISIS DE CARGA EN EL VEHÍCULO



Carga total estática en el neumático Trasero \longrightarrow
$$F_t = \frac{W * X_{cg} - 2F_d * (L_1 + L_2)}{2(L_2)}$$

Carga total estática en el neumático Delantero \longrightarrow
$$F_d = \frac{mg - 2F_t}{2}$$

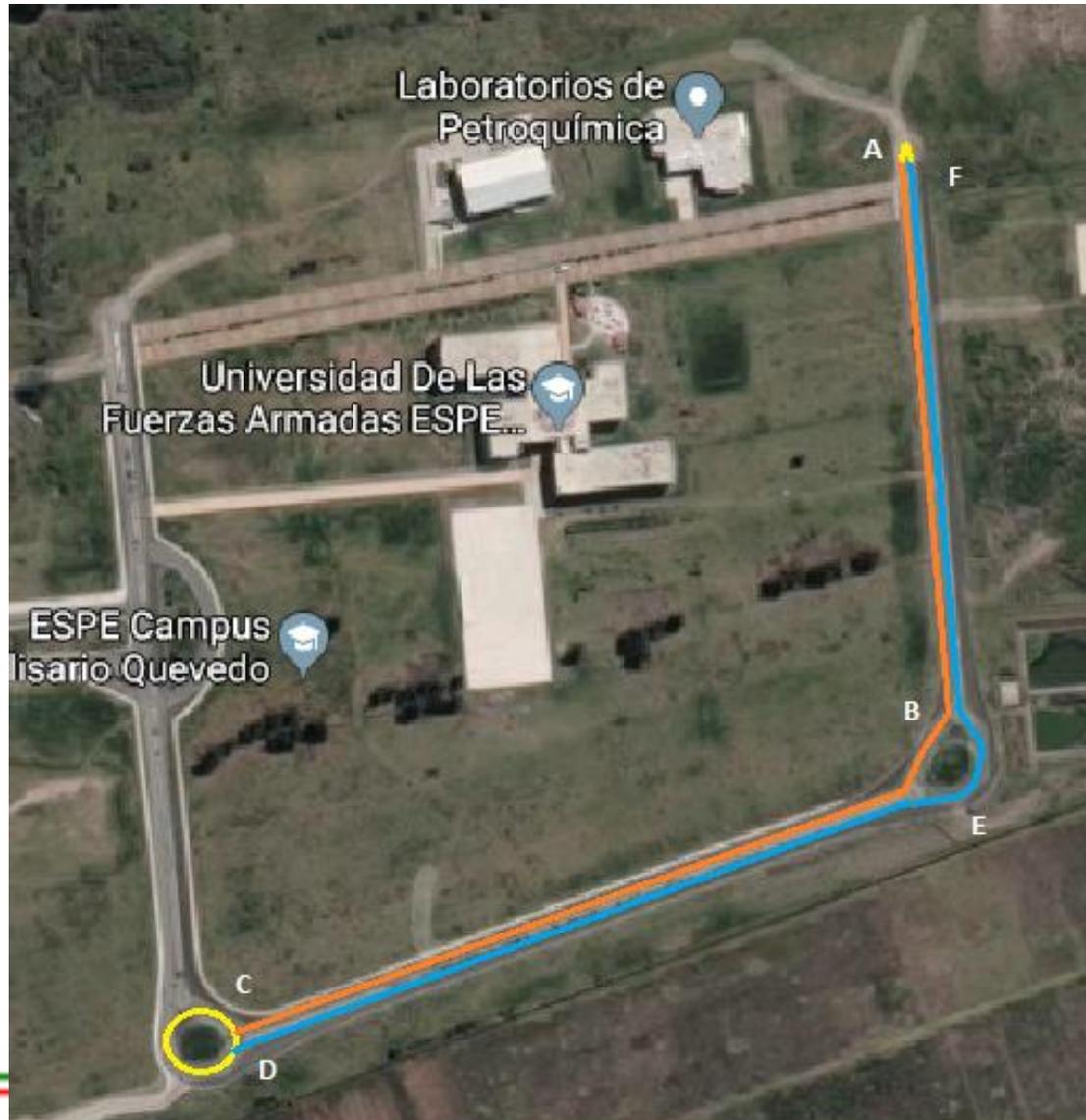


VALORES DE CARGA Y DISTRIBUCIÓN DE CARGA POR EJES

Disposición de carga en el neumático	Valor (N)	Distribución de carga en los ejes (%)
Carga total en el neumático delantero	1365	60
Carga total en el neumático posterior	910	40
Carga total	2275	100

Fuente: BYD-Ecuador, 2018

CIRCUITO DE PRUEBAS DEL VEHÍCULO ELÉCTRICO



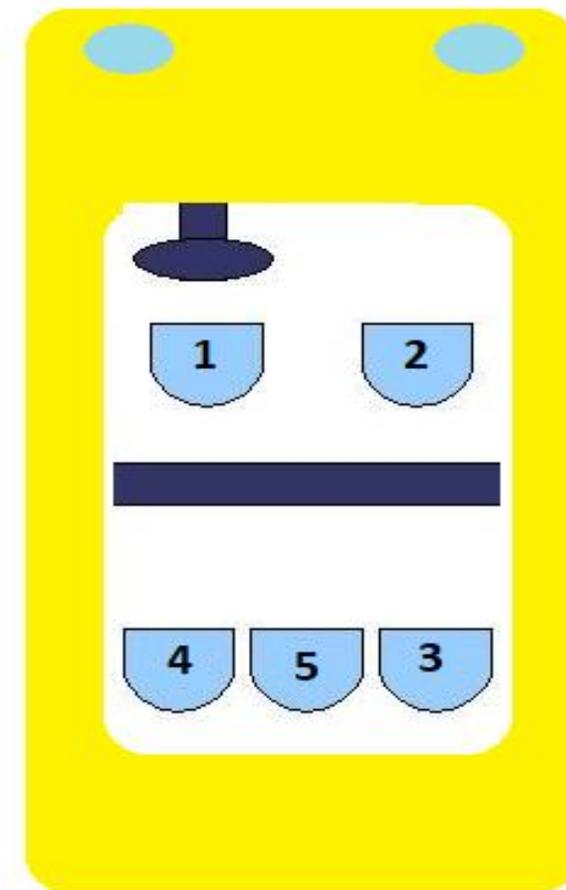
- Las pruebas se realizaron de lunes a viernes 8 horas diarias
- Velocidad de prueba 40 km/h
- Distancia del circuito 1,2 km
- Recorrido 250 km diarios



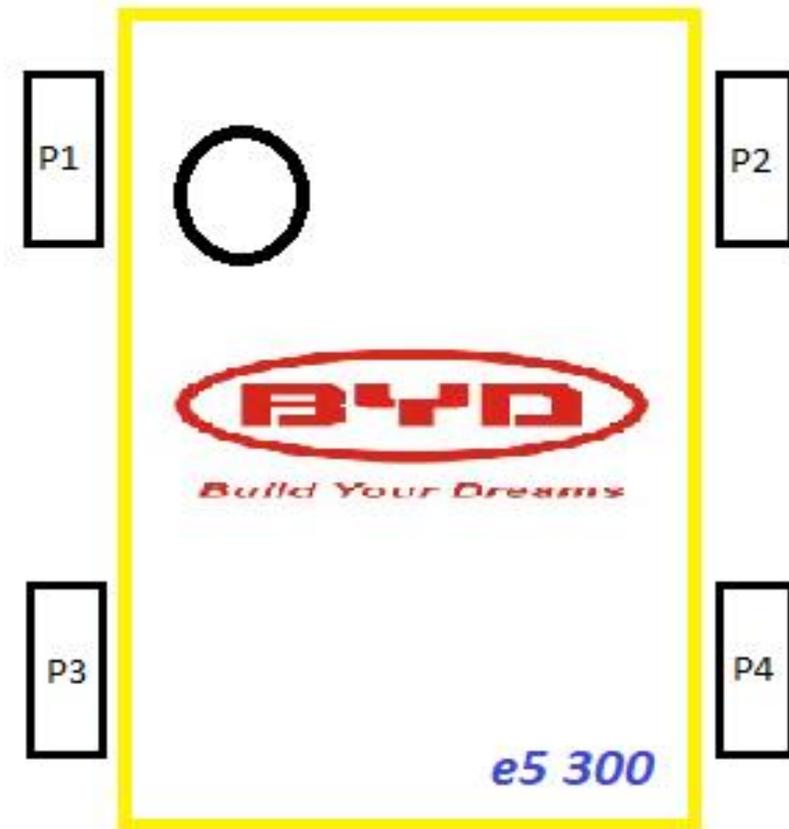
ETAPAS DE PRUEBA SEGÚN LA CARGA VIVA

El peso de la carga viva simulada se establece según la norma NTE INEN 1323:2009

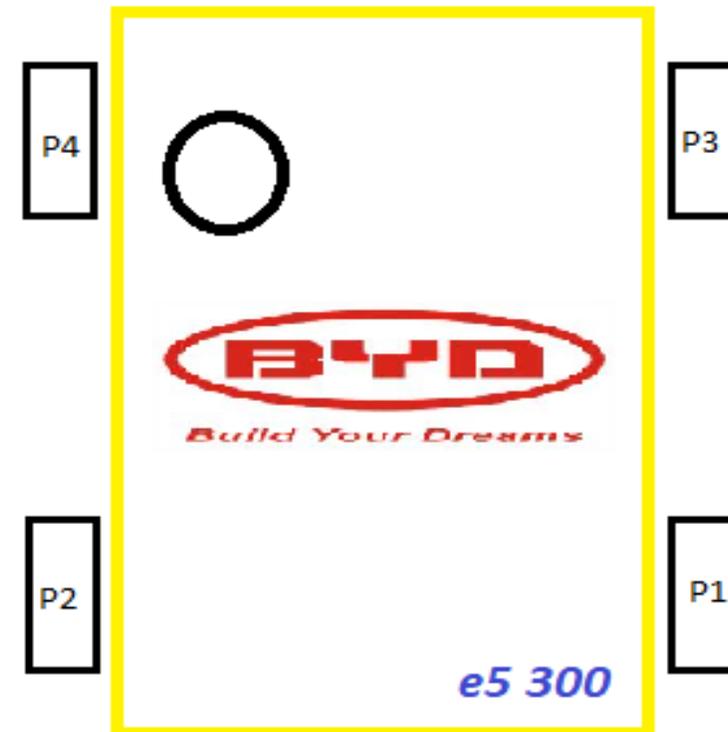
Etapa	No. Ocupantes	Designación de espacio	Carga soportada (kg)
Etapa 1	1	1	70
Etapa 2	2	1 y 2	140
Etapa 3	3	1, 2 y 3	210
Etapa 4	4	1, 2, 3 y 4	280
Etapa 5	5	1, 2, 3, 4 y 5	350



DESGASTE EN LA ESCULTURA DEL NEUMÁTICO

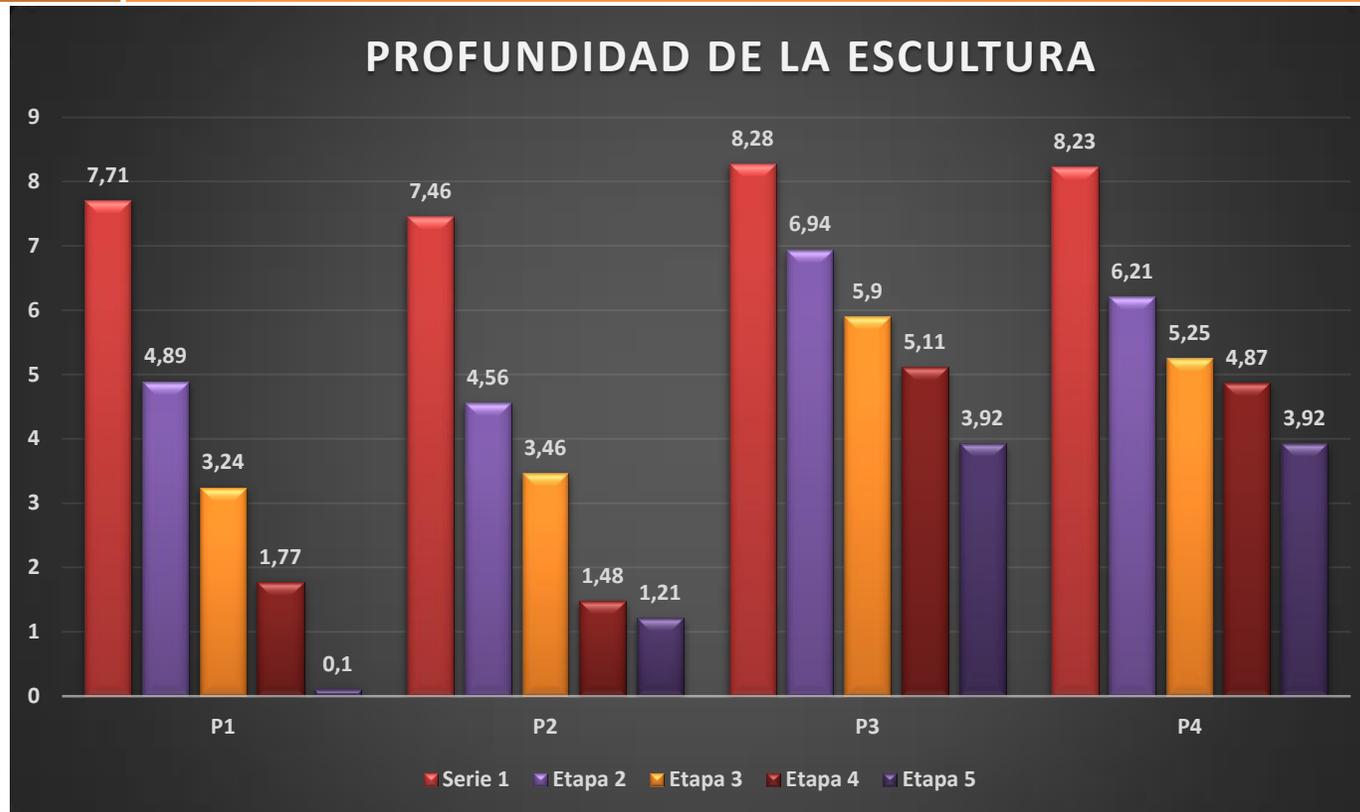


DESGASTE EN LA ESCULTURA DEL NEUMÁTICO



DESGASTE TOTAL DE LA INVESTIGACIÓN

	ETAPA 1	ETAPA 2	ETAPA 3	ETAPA 4	ETAPA 5
NO. OCUPANTES	1	2	3	4	5
KILOMETRAJE RECORRIDO	5730	10250	15260	20520	25685



COMPARATIVA NEUMÁTICOS P1 VS P3



CONCLUSIONES

- Se pudo evidenciar que al poseer el vehículo un sistema de freno regenerativo reduce la acción del sistema de frenos por lo que en circunstancias ordinarias de trabajo al estar exento de realizar frenados bruscos no se aumenta bruscamente la temperatura del compuesto del neumático por lo que se prolonga la vida del mismo.
- Se pudo evidenciar que al variar las condiciones de trabajo del vehículo eléctrico BYD E5 300 en diferentes regímenes de carga la incidencia de esta sobre el desgaste del neumático es directa ya que al realizar las pruebas en la etapa 5 que describe el uso del vehículo con 5 ocupantes los neumáticos trabajan al 97% de su capacidad por lo que el desgaste del mismo se ve amentado.
- Se concluye que la temperatura del asfalto tiene una leve incidencia del 5% en el desgaste del neumático ya que el rango de temperatura del asfalto en el circuito de pruebas en el que se desarrolló el vehículo eléctrico varía entre 20.8°C en condiciones de lluvia y 39°C en el punto más caluroso del día en la ciudad de Latacunga con lo cual no sobrepasa la temperatura ideal del trabajo del compuesto del neumático Giti Tour 900.

- Se logro determinar que el índice de presión de inflado del neumático si influye directamente en el desgaste del vehículo debido a que la presión carga inflado recomendado por el fabricante del vehículo es del 38 psi y al ser este un neumático diseñado para alta carga requiere de una presión de inflado de 38-40 psi, por lo que un inflado inferior aumentara la superficie de contacto con el asfalto y ocasionara que el hombro del neumático se deforme ocasionando un desgaste irregular en la escultura disminuyendo el porcentaje de conservación promedio de material en un 23,66%.
- Se analizo la eficiencia del frenado en los diferentes estados del neumático por lo que se puede comprobar que la capacidad de adherencia del compuesto de la banda de rodadura se ve afectado a medida que disminuye la escultura, así como la capacidad de disipar la humedad.
- Se realizo los ensayos de resistencia del material en la prueba de resistencia interna al corte de la pastilla de freno que posee el vehículo eléctrico BYD E5 300 según la norma NTE INEN – ISO 6311 llevándolo a sus puntos más críticos, es así que en la muestra 3 se evidencia una carga máxima de 1744N que resulta en una fuerza interna al corte de 8,924 N/mm² este valor se presenta en un cortante doble que valida lo especificado por el fabricante.

- Se realizó la prueba de compresibilidad del material de fricción de la pastilla basado en la norma NTE INEN ISO 6310 en la cual se especifica que se debe aplicar la carga por ciclos siendo estos 1-2-4-8 -Mpa respectivamente a temperatura ambiente y en una etapa de calentamiento a 400°C, determinando así una compresibilidad promedio a temperatura ambiente de 20.5°C de 87µm, y para la prueba de calentamiento se la realizó a 390°C y presento una compresibilidad promedio de 186 µm
- Se calculo la durabilidad de los componentes del sistema de freno mediante una proyección, con lo cual se puede aseverar que en condiciones normales de trabajo del vehículo eléctrico la durabilidad de las pastillas de freno se puede extender hasta los 180 000 km debido a la asistencia automática del freno regenerativo.
- Al realizar la tabulación de los datos estudiados, así como los valores obtenidos en las pruebas realizadas a lo largo de la investigación se pudo determinar que el eje trasero presenta una eficiencia y durabilidad promedio del 17% más que el eje delantero del vehículo debido a la diferencia de carga aplicada en ambos ejes.

RECOMENDACIONES

- Es importante tener muy en cuenta los parámetros principales de funcionamiento del vehículo eléctrico como lo son la velocidad promedio a la que circulara el mismo, el trazado de pruebas y el estado inicial de los componentes que serán estudiados, ya que de esto dependerá el análisis posterior de las pruebas realizadas.
- Se recomienda designar una ruta de pruebas con diferentes trazados en los que se involucre carretera, una zona urbana y por último una vía de segundo orden para poder considerar todas las posibles rutas de un vehículo de servicio público y de este modo conseguir los resultados más cercanos a la realidad posibles.
- Para la toma de datos es importante realizarlo antes y después de cada etapa o fase de pruebas para poder determinar el desgaste por etapas, adicional es recomendable realizar tres mediciones para determinar una media entre estas y de este modo conseguir resultados reales.
- Para evitar un desgaste prematuro en los neumáticos se recomienda realizar un mantenimiento preventivo en cuanto a alineación y balanceo cada 5000 km para evitar que la convergencia de las ruedas del vehículo se vea afectada debido al peso del mismo y así llegar a la vida útil estimada del neumático

- Es importante también llevar un control de la presión de inflado de los neumáticos como lo recomienda el fabricante ya que de verse reducido este factor el desgaste de los neumáticos se incrementará debido a la deformación del neumático.
- Para el reemplazo de los neumáticos es importante tener en cuenta el límite de altura de la escultura recomendado por los entes de control de 1,6 mm medido desde el final del labrado, o a su vez tener en cuenta el límite físico que posee el neumático en su escultura.
- A la hora de realizar el análisis estructural se recomienda tener en cuenta la pérdida de energía calórica por transferencia de calor con el ambiente debido al flujo de aire que recibe el sistema de frenos con el vehículo en movimiento para de este modo conseguir un resultado más acercado a la realidad.
- Se debe respetar el límite en el espesor del material de fricción de las pastillas de freno que es de 2 mm recomendado por el fabricante para precautelar la seguridad de los ocupantes del vehículo.



ESPE
ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO
CAMINO A LA EXCELENCIA

GRACIAS

