

Sensor no invasivo para el desgaste de pastillas de freno

Fernando Cuadra Silva¹
Asesor: José Juan Rivera Ramírez²
¹fernando45cs@hotmail.com,
²jjuan@ciateq.mx
CIATEQ
Jalisco, México

Resumen

Los frenos son uno de los principales componentes del automóvil y son indispensables para la seguridad de los pasajeros. Estos deben estar en óptimas condiciones para que el vehículo pueda frenar correctamente. Debido a que no es fácil revisar el estado de los frenos por el conductor, se ha puesto gran interés en mejorar el monitoreo de dicho sistema, sin necesidad de retirar los neumáticos, ni tener que recurrir al taller.

Se desarrolló un prototipo que ayuda a monitorear el sistema de frenos de forma no invasiva, de tal manera que el usuario puede saber el estado actual de sus frenos en tiempo real, para así poder planear el mantenimiento adecuado con anticipación.

El sensor inteligente cuenta con un sensor de tiempo de vuelo, el cual mide la distancia desde el eje de la rueda (o un lugar cercano) hasta la parte posterior de la balata. Se calcula el espesor de la balata con base en la distancia medida y envía el dato al bus de CAN. Si el espesor llega abajo del límite, se envía una alerta para que el usuario pueda darle el mantenimiento necesario.

Se obtuvo un sensor no invasivo capaz de medir el espesor de las balatas con una resolución de 1 mm dentro del rango de 0 a 10 mm. No fue necesario remover las llantas, ni tener algún conocimiento técnico. Además, se logró encender la señal de alerta en el tablero al medir un espesor menor o igual a 3 mm.

Palabras clave: Tecnología de vehículos de motor; Automóviles; Instrumentación.

Abstract

Brakes are one of the main components of the car. They are indispensable for the safety of passengers. These must be in optimal conditions for the vehicle to brake properly. It is not easy to check the condition of the brakes and, for that reason, there is interest in improving the monitoring of the brake system, without removing the tires, or having to resort to the workshop. A prototype was developed to help in monitoring the car's brake system in a non-invasive way, so that, the user can know the current state of the brakes in real time, in order to be able to plan the proper maintenance ahead of time.

The smart sensor has a time of flight sensor, which measures the distance from the wheel's axis (or a near place) to the brake pad backing plate. The measured distance is converted into the brake pad thickness and sends a message to the CAN bus. In case that the brake pad thickness is below the limit, an alert is sent, so that the user is aware that the brake pad needs to be replaced.

A non-invasive sensor was obtained, capable of measuring the brake pad thickness with a resolution of 1 mm in the range of 0 to 10 mm, without having to remove the tires as well, is not necessary to have any technical knowledge. In addition, this sensor was able to turn on an alert when the brake pad wear reached 3 mm or less.

Keywords: Motor vehicles technology; Automotive; Instrumentation.

Artículo arbitrado

Recibido:
21 de junio de 2019

Aceptado:
25 de octubre de 2019

Introducción

Para que un vehículo sea seguro, el sistema de frenos debe de estar en óptimas condiciones. Sin embargo, normalmente los automovilistas no revisan el estado de sus frenos continuamente, debido a que la mayoría de las personas no tiene suficientes conocimientos técnicos y, por esa razón, es necesario pagarle a un mecánico o especialista para realizar esa revisión. Por lo tanto, los automovilistas siguen utilizando su vehículo hasta que detectan que ya no frena, probablemente al borde de ocasionar un accidente. A raíz de ello, fue necesario desarrollar un sistema que mantenga informado sobre qué tan desgastados están los frenos y cuándo es necesario realizar un mantenimiento preventivo o correctivo.

Las balatas consisten en una placa de soporte de acero, a la cual se le agrega el material de fricción que causa el frenado del vehículo (Ademoh & Olabisi, 2015). Esto es, el cilindro de los frenos presiona las balatas contra el disco con la ayuda de las mordazas, lo cual genera fricción y, por lo tanto, detiene el vehículo. En la Figura 1 es posible observar las balatas.



Figura 1. Balatas. Fuente: Toma, 2019.

Este es el principal componente de los frenos, ya que, sin las balatas, el automóvil no podría detenerse. Este componente es el que entra en contacto directo con las ruedas y sufre más desgaste que cualquier otro componente del sistema de frenos, por lo que su reemplazo será necesario.

Algunas balatas cuentan con un indicador de desgaste, el cual, al llegar a cierto nivel, se rompe, manda una señal eléctrica y enciende una luz en el tablero (US, EP Patente n° US20160146279A1, 2014). Algunos otros tienen una placa de metal, que hace sonar un tipo de ruido al hacer contacto con el disco; de ese modo, el conductor nota que es necesario cambiar las balatas. Otros no cuentan con ningún tipo de alarma, cuando están totalmente desgastados la placa de soporte pega contra el disco ocasionando un gran daño.

Se pretende enfocarse en la medición del desgaste de las balatas mediante un sensor inteligente, debido a que las balatas deben ser reemplazadas más frecuentemente.

Se desarrolló un prototipo que ayuda a monitorear el sistema de frenos del automóvil de forma no invasiva, de modo que no necesita ser reemplazado junto con el cambio de balatas. El usuario puede saber el estado actual de sus frenos en todo momento y puede programar el mantenimiento de los frenos con anticipación.

El sensor no es invasivo y tiene una resolución igual a 1 mm. Además, realiza lo siguiente:

1. Determina si se ha presionado el pedal de freno para así poder hacer las mediciones.
2. Realiza mediciones de distancia desde un punto fijo a la placa de soporte de las balatas.
3. Hace una relación entre la distancia medida y el espesor de las balatas.
4. Envía el espesor calculado al vehículo por medio de un mensaje CAN.
5. Activa una señal de alarma en caso de que el espesor sea menor o igual a 3 mm.
6. Responde a códigos del sistema de diagnóstico a bordo para que el espesor de las balatas se pueda leer mediante el puerto OBDII del vehículo.

El principio básico para poder realizar mediciones a distancia libre de contacto se trata del envío de una señal, ya sea de radio, ultrasónico u óptico a un objeto, el cual refleja dicha señal. De ese modo, el sensor procesa este reflejo para determinar la distancia (Srijha.R & T.S, 2017).

A continuación, se muestran las diferentes técnicas de mediciones de distancia.

Cámara de mono visión: Se utiliza principalmente para detectar obstáculos. Se calcula la profundidad del objeto basado en la cantidad del reajuste del tamaño de la imagen en proporción al movimiento de la cámara (Srijha.R & T.S, 2017). Usualmente se utiliza en conjunto con otros sensores para tener una mejor medición. Sin embargo, existen métodos donde sólo se utiliza una cámara para poder determinar la distancia, por ejemplo, cuando se conoce la medida real de un objeto, se toma una imagen con la cámara y se calcula la relación entre la imagen y la medida real, traduciéndolo a una distancia (Arenado, Oria, Torre-Ferrero, & Rentería, 2014).

Sensores basados en intensidad: Para este tipo de sensores se utiliza la fibra óptica. Están basados en una fibra emisora y una receptora. Se envía luz a un objeto, mientras que la luz reflejada se recoge por la fibra receptora. Un fotodetector mide la intensidad luminosa y calcula la distancia (Esteban Barcina, 2017). En la Figura 2 se puede observar una representación del sensor basado en intensidad.

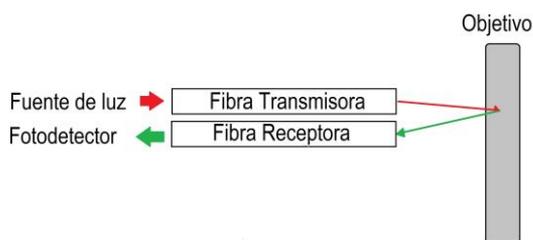


Figura 2. Sensor basado en intensidad. Fuente: elaboración propia

La ventaja de este tipo de sensor es que puede tener una resolución hasta de 1 µm. No obstante, tiene las siguientes limitaciones:

- Es necesario una precalibración.
- Cualquier cambio en la iluminación le impacta, por ejemplo, el polvo, la reflectividad de la superficie, la luz, etc.

- La medición es muy sensible a la inclinación del objeto.

Sensor ultrasónico: En la Figura 3 se muestra el sensor ultrasónico, el cual envía una onda de sonido al objeto y mide el tiempo que se toma el mismo sonido en rebotar sobre el objeto y llegar de nuevo al sensor. Al conocer la velocidad del sonido, el sensor puede determinar la distancia.



Figura 3. Sensor ultrasónico. Fuente: Srijha.R & T.S, 2017.

Este sensor puede realizar mediciones independientemente del color del objeto o su tipo de superficie, por ejemplo, puede detectar líquidos, objetos transparentes como vidrio, entre otros (Srijha.R & T.S, 2017).

Sensor láser de tiempo de vuelo: El sensor de tiempo de vuelo (ToF) mide el tiempo que le toma a un pulso de energía (de un LED o Láser) viajar de su transmisor hacia el objeto, reflejarse y regresar al receptor (Srijha.R & T.S, 2017). En la Figura 4 se aprecia el sensor ToF, el cual incluye su propia fuente de luz y su detector.

Para calcular la distancia, se utiliza la popular ecuación:

$$v = \frac{d}{t} \tag{1}$$

Dónde “v” es la velocidad, “d” es la distancia y “t” el tiempo.

Si se despeja de la ecuación:

$$d = v * t \tag{2}$$

En tanto que la señal es un pulso de luz (ya sea de un LED o un láser), al conocer la velocidad de esta se puede determinar la distancia multiplicando la velocidad por el tiempo y

dividiéndolo entre dos, ya que hay que considerar que el haz de luz recorre el doble de la distancia del emisor al receptor al rebotar con el objeto.

$$d = \frac{c \cdot t}{2} \quad (3)$$

Estos sensores son ideales para aplicaciones que requieren realizar mediciones rápidas y con una mejor precisión.

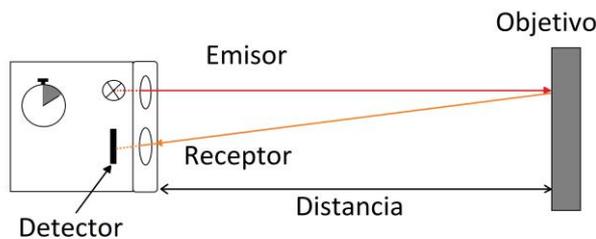


Figura 4. Sensor de tiempo de vuelo. Fuente: Srijha.R & T.S, 2017.

SPAD (diodo de avalancha de fotón único)

El diodo de avalancha de fotón único (SPAD) es un detector ultrasensible de luz que opera por encima de su voltaje de ruptura (modo Geiger). En esta condición, el campo eléctrico de la unión es tan fuerte que un simple portador (electrón) puede disparar una avalancha (Xu, Pancheri, Braga, Betta & Stoppa, 2014). Es como un circuito biestable con una gran ganancia, capaz de detectar un sólo fotón. Estos sensores SPAD se utilizan en dispositivos lidar, ToF, pruebas de fibra óptica, entre otros.

Después de revisar los diferentes tipos de sensores, se eligió el sensor láser de tiempo de vuelo VL6180X (STMicroelectronics, VL6180X Proximity and ambient light sensing ALS module, 2016). Este sensor utiliza su propia tecnología patentada FlightSense, la cual cuenta con las siguientes características:

- Utiliza el principio del sensor de tiempo de vuelo ToF para medir distancia conforme a la ecuación (3), anteriormente descrita.

- Posee un arreglo de diodos de avalancha de fotón único (SPAD), el cual le permite detectar hasta un sólo fotón.
- Mide distancia, independientemente del tamaño, color (incluyendo el negro) y reflectancia del objeto, hasta 100 mm, con una resolución de 1 mm.
- Se trata de un sólo encapsulado, fácil de integrar.
- Si se utiliza una cobertura de cristal, se puede compensar la diafonía fácilmente.

Desarrollo

El sistema consiste en un sensor inteligente que se ubicó cerca de la rueda del automóvil, el cual tiene el objetivo de medir el desgaste de las balatas de los frenos y enviar esas mediciones por el bus de CAN. El fabricante del automóvil, posteriormente, podrá utilizar esos mensajes para mostrarlos en el tablero y desplegar las alarmas necesarias al usuario.

En la Figura 5 se muestra un diagrama a bloques del sensor inteligente. Este consiste en un microcontrolador que cuenta con un sensor de tiempo de vuelo (ToF) y un transceptor de CAN.

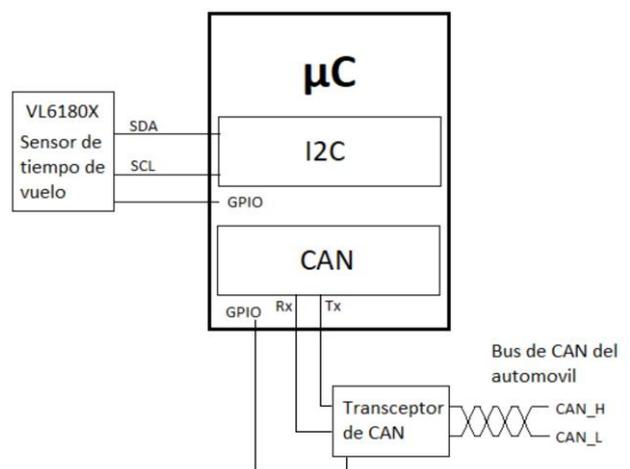


Figura 5. Sensor inteligente. Fuente: elaboración propia

El sensor ToF mide la distancia desde el eje de la rueda (o un lugar cercano), hasta la parte posterior de la balata (placa de soporte). La información recolectada por este sensor se procesa por el microcontrolador, el cual convierte este dato a

espesor de la balata y envía la información al bus de CAN.

Se utilizó el sensor de tiempo de vuelo VL6180X (STMicroelectronics, VL6180X Proximity and ambient light sensing ALS module, 2016) para medir la distancia a las balatas. El sensor VL6180X se comunica con el microcontrolador, a través del periférico I²C. Tiene sus propios registros de lectura y escritura, los cuales se utilizan para calibración y para realizar las mediciones de distancia. Además de los pines SDA, SCL, VDD y GND, cuenta con un pin GPIO0, el cual habilita el sensor si está en alto o deshabilita el sensor cuando se pone en bajo. En el prototipo se utilizó la tarjeta VL6180X-SATEL, la cual, además de contener el sensor, también cuenta con un regulador de voltaje, ya que el sensor trabaja a 2.8 V, mientras que el microcontrolador trabaja a 3.3 V.

Debido a que el microcontrolador maneja los pines de CAN Rx y Tx, estos se deben convertir por medio de un transceptor a los voltajes diferenciales necesarios del bus de CAN a CAN_H y CAN_L. Para esta aplicación, se utilizó el transceptor TJA1057T (Semiconductors, 2017), el cual implementa la capa física de CAN definida en el ISO 11898-2:2016 y SAE J2284-1 al SAE J2284-5. Este transceptor también cuenta con un pin, el cual tiene la función de seleccionar el modo *normal* (cuando el pin está en bajo) para transmitir y recibir mensajes normalmente o el modo *silencioso* (cuando el pin está en alto), para sólo recibir mensajes y evitar transmisiones desconectando el pin Tx. En la aplicación, se utilizó el pin en bajo para enviar y recibir mensajes normalmente.

Aunque se puede utilizar cualquier microcontrolador que soporte los periféricos I²C y CAN, en el prototipo se utilizó la tarjeta de desarrollo NUCLEO-L432KC (STMicroelectronics, UM1956 user manual, 2016), el cual utiliza el microcontrolador STM32L432KC de 32 bits. Tiene un núcleo Arm Cortex M4 de ultra bajo consumo. Cuenta con

256KB de Flash, 64KB de RAM y casi todos los pines de entrada/salida son tolerantes a 5 voltios. Este microcontrolador es más que suficiente para la aplicación.

En la Figura 6 se muestra la posición del sensor. Como se puede observar, las pinzas de freno dejan al descubierto una parte de las balatas. Esto nos permite posicionar el sensor, de tal modo que el láser apunte a la placa de soporte de las balatas. El sensor debe de ubicarse a una distancia cercana dentro de su rango de operación. Para el sensor de tiempo de vuelo elegido, el rango de operación es de 0 a 100 mm.

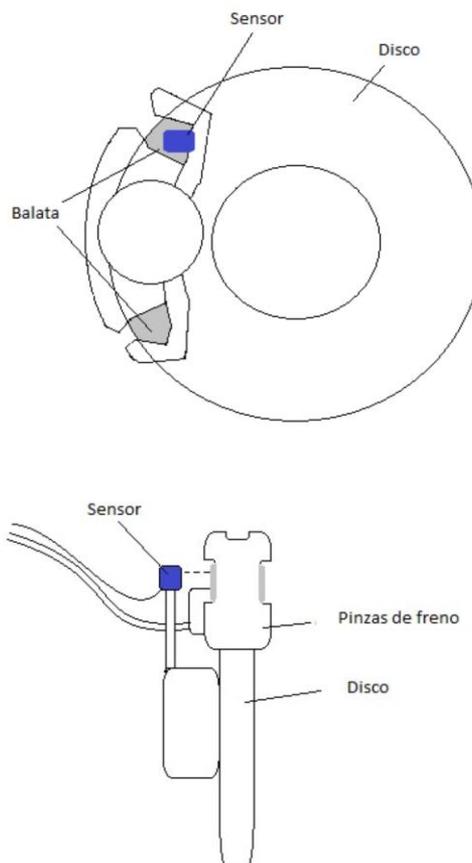


Figura 6. Posición del sensor. Fuente: elaboración propia.

En términos generales, el sensor inteligente realiza las siguientes tareas al momento de presionar el pedal del freno:

1. Determina la posición de las pastillas de los frenos (distancia entre el sensor y la placa de soporte de las balatas), mediante el sensor ToF.
2. Aplica filtros a las mediciones.
3. Hace una relación entre la posición de las pastillas y el desgaste de las pastillas. Si se conoce la distancia entre el sensor y el disco y se conoce el espesor de la placa de soporte de las balatas, se puede determinar el espesor de las balatas.
4. Envía el dato calculado al bus de CAN.
5. Si el desgaste pasa de cierto rango especificado, entonces envía un mensaje de alerta por el bus de CAN.

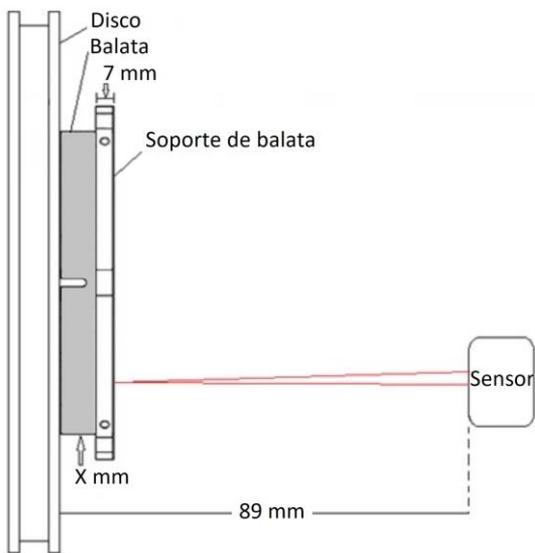


Figura 7. Relación entre distancia y espesor de balata. Fuente: elaboración propia.

En la Figura 7 se puede observar la relación entre la distancia medida y el espesor de la balata. De aquí, se puede determinar el espesor de la balata mediante la ecuación:

$$Balata = DistDisco - DistMedida - EspSoporte \quad (4)$$

Donde:

- Balata** es el espesor calculado de la balata,
- DistDisco** es la distancia del sensor al disco,
- DistMedida** es la distancia medida por el sensor y
- EspSoporte** es el espesor de la placa de soporte de la balata.

La distancia entre el sensor y el disco es fija, se conoce el espesor del soporte de la balata. Si, por ejemplo, suponemos que el sensor midió una distancia de 76 mm y, si reemplazamos los

valores en la fórmula, por el uso de los valores de la imagen obtenemos:

$$\begin{aligned} Balata &= 89 \text{ mm} - 76 \text{ mm} - 7 \text{ mm} \\ Balata &= 6 \text{ mm} \end{aligned}$$

De esta forma, se puede obtener la medida del espesor de las balatas.

Para verificar la precisión del sensor ToF, se realizó una prueba donde se tomaron 109 mediciones a un punto fijo a 100 mm de distancia (una muestra cada 500 ms, haciendo un total de tiempo de 54.5 s, suficiente para simular el tiempo promedio de un semáforo en rojo). Se encontró que las mediciones del sensor tienen una incertidumbre de ± 1.62 mm. Se procedió a utilizar un filtro de promedios para mejorar la precisión. Sin embargo, debido al tiempo que le toma al sensor adquirir datos y a los requisitos de tiempo (máximo 500 ms para enviar la medición al bus de CAN), se tomaron sólo 16 mediciones y se promediaron (16 muestras cada 500 ms por 54.5 s). A pesar de esto, los valores obtenidos tenían una incertidumbre de ± 0.59 mm. Ya que esto no es deseable en nuestro sistema, se procedió a aplicar un filtro exponencial.

El filtro exponencial puede ser definido como una técnica para suavizar datos en una serie de tiempo, usando una función exponencial, donde se asigna un “peso” diferente a los datos nuevos contra los datos anteriores. Es una mejora a la media móvil simple, ya que puede ayudar a reducir el retraso en la señal, dependiendo del valor elegido de α (Bhaumik & Mukherjee, 2019).

La ecuación se puede utilizar en el microcontrolador de la siguiente forma:

$$x'_t = \alpha x_t + (1 - \alpha)x'_{t-1} \quad (5)$$

Donde x_t es el valor actual, x'_{t-1} es el valor del resultado anterior y $0 < \alpha \leq 1$, el cual dependiendo del valor utilizado le da más peso a la medición anterior que a la nueva medición. Un valor de α cercano a 1, da como resultado un seguimiento de los cambios en la señal de manera rápida, pero no suprime el ruido. Un valor

cercano a 0, da como resultado una señal libre de ruido. No obstante, el seguimiento de los cambios en la señal es muy lento. Una buena aproximación es seleccionar el valor de α que produce el menor error cuadrático medio MSE o RMSE.

Para seleccionar el mejor valor de α , se realizaron múltiples pruebas asignando diferentes valores a α desde 0.1 hasta 0.9, se verifica el resultado contra el valor esperado. Al momento de tomar datos, se observó que los valores de α que producen menor error están entre 0.25 y 0.45 (RMSE de 0.158 a 0.275). Para esta aplicación, se seleccionó el valor de α de 0.35, ya que se encuentra a la mitad de los valores y el sistema no requiere un seguimiento rápido de los cambios.

Después de aplicar este filtro en las mediciones de distancia, el valor obtenido está libre de ruidos (RMSE de 0). Por lo tanto, la incertidumbre del valor obtenido después de los filtros es la mitad de la resolución: ± 0.5 mm. El valor obtenido del filtro exponencial se utiliza en la fórmula del cálculo de espesor de la balata y se manda al bus de CAN con el identificador 0x7FA, se utiliza una longitud de datos de 8 bytes. El primer byte indica el espesor en milímetros, el segundo byte indica el espesor en porcentaje y el resto de los bytes no se utilizan (0xFF).

Resultados

Las mediciones se realizan cuando se tiene presionado el pedal del freno. Para ello, se configuró el dispositivo para leer el identificador del mensaje de CAN del pedal del freno. En cuanto llega el mensaje CAN, se activa una bandera para comenzar a realizar las mediciones. Se realizaron pruebas en el vehículo y se validó que realmente sólo se realicen las mediciones al tener presionado el pedal.

Para verificar que las mediciones sean estables, se colocó un objeto a 100 mm de distancia y se realizaron 109 mediciones con el sensor (una muestra cada 500 ms, se llevó a cabo un total de tiempo de 54.5 s, suficiente para simular el

tiempo promedio de un semáforo en rojo). Los resultados pueden verse en la Figura 8.

Se puede observar en la gráfica, que la medición de la distancia del sensor de tiempo de vuelo, después de pasar por el filtro de promedios y el filtro exponencial, es muy estable (pues se obtiene un RMSE de 0), por lo que el valor de incertidumbre es la mitad de la resolución: ± 0.5 mm. Durante la ejecución de pruebas, se observó que la señal filtrada es igual a la información real dentro de todo el rango utilizado mostrado en la Figura 9. Se observó que esta señal tiene un retraso de aproximadamente 2 segundos. Sin embargo, esto es aceptable para la aplicación, ya que las balatas tardan días en desgastarse 1 mm.

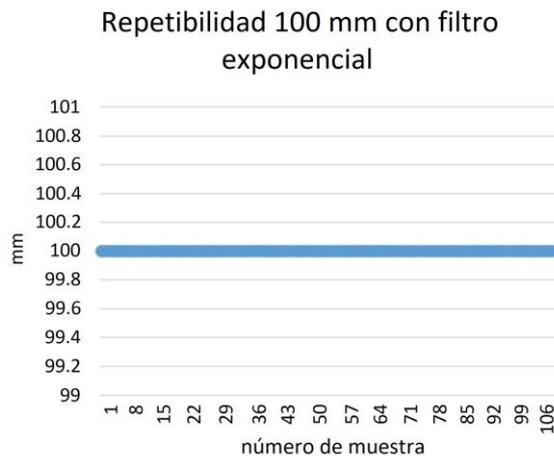


Figura 8. Repetibilidad con filtro exponencial. Fuente: elaboración propia.

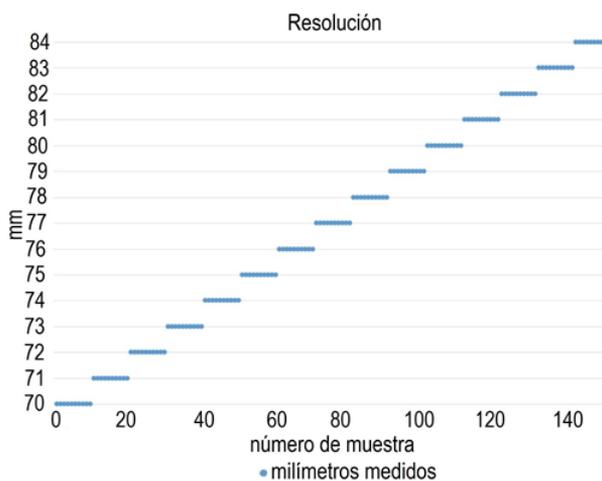


Figura 9. Resolución del sensor. Fuente: elaboración propia.

Ya que uno de los requisitos es tener una resolución de al menos 1 mm, se realizaron mediciones dentro de todo el rango útil de distancia y realmente se obtuvo una resolución de 1 mm, como se puede apreciar en la Figura 9. Cabe resaltar que un valor que se encuentre a la mitad de la medición, por ejemplo 72.5 mm, es redondeado a 73 mm, de acuerdo con el comportamiento del sensor ToF.

Se tomaron datos utilizando diferentes espesores en la balata y se observó que los cálculos son correctos. También se hicieron algunas pruebas con espesores fuera de rango, a fin de comprobar que el sensor funcione de acuerdo a lo esperado.

Distancia (mm)	Alerta	Espesor (mm)	Espesor (porcentaje)
70	Desactivada	12	100%
71	Desactivada	11	100%
72	Desactivada	10	100%
73	Desactivada	9	90%
74	Desactivada	8	80%
75	Desactivada	7	70%
76	Desactivada	6	60%
77	Desactivada	5	50%
78	Desactivada	4	40%
79	Activada	3	30%
80	Activada	2	20%
81	Activada	1	10%
82	Activada	0	0%
83	Activada	0	0%
84	Activada	0	0%

Tabla 1. Cálculo de espesor. Fuente: elaboración propia.

En la Tabla 1 se pueden observar todos los valores posibles del espesor de las balatas al colocarse a una distancia de 89 mm del disco, como fue posible observar en la Figura 7. Las balatas nuevas tienen 10 mm de espesor, por lo que los valores posibles son de 10 mm a 0 mm de espesor. Además de estos valores, se consideró probar algunos valores fuera del rango para validar que el sistema siga realizando las

mediciones correctamente sin reportar valores impredecibles.

Es posible ver que en las mediciones fuera de rango, de 83 y 84 mm, el cálculo de espesor se reportará como 0 mm y 0 %, ya que a pesar de que es imposible obtener un espesor menor a 0 mm en las balatas, se puede dar el caso en que el disco se encuentre desgastado. También se puede observar que, si llegara a colocarse una balata con espesor mayor de 10 mm (primera y segunda fila), se reportará el espesor que se haya calculado, sin embargo, el porcentaje se fijará a 100 %.

Después del cálculo del desgaste o espesor de la balata, este dato es enviado al bus de CAN. En la Tabla 2 se muestra el mensaje enviado en cada espesor de balata calculado:

Espesor de la balata (mm)	Identificador (hex)	Longitud (bytes)	Mensaje CAN (hex)
10	7FA	8	0A 64 FF FF FF FF FF FF
9	7FA	8	09 5A FF FF FF FF FF FF
8	7FA	8	08 50 FF FF FF FF FF FF
7	7FA	8	07 46 FF FF FF FF FF FF
6	7FA	8	06 3C FF FF FF FF FF FF
5	7FA	8	05 32 FF FF FF FF FF FF
4	7FA	8	04 28 FF FF FF FF FF FF
3	7FA	8	03 1E FF FF FF FF FF FF
2	7FA	8	02 14 FF FF FF FF FF FF
1	7FA	8	01 0A FF FF FF FF FF FF
0	7FA	8	00 00 FF FF FF FF FF FF

Tabla 2. Mensajes CAN con cálculo de espesor. Fuente: elaboración propia.

Como se puede observar en la Tabla 2, se muestran todos los valores posibles del espesor de las balatas (10 mm a 0 mm), lo cual representa las tramas de mensajes CAN para cada posible medición. Todos los mensajes muestran el cálculo de espesor correcto conforme al formato mencionado anteriormente.

Cuando el espesor es menor o igual a 3 mm, como se observó en la Tabla 1, se activa una señal de alerta. Esto se hace por medio de un mensaje CAN, el cual enciende una luz en el tablero. Asimismo, se verificó que esta señal realmente se active en el vehículo al encontrar un espesor menor o igual a 3 mm.

Por último, se utilizó una interfaz genérica OBDII, por medio de la cual se hizo una petición al sistema para obtener los datos del espesor de las balatas a través de un PID (identificador de parámetro) personalizado. La interfaz envía un mensaje al bus de CAN, con el identificador 0x7DF y el PID 227401. El sensor recibe el mensaje y devuelve el valor obtenido del espesor de las balatas mediante el mensaje junto al identificador 0x7EF. Este dato se muestra en el escáner OBDII. En este caso se utilizó una aplicación en el teléfono celular (VRP) como se puede apreciar en la Figura 10.



Figura 10. OBDII Balatas al 40%. Fuente: VRP

Conclusiones

El sensor inteligente cumple con el objetivo general, el cual consiste en desarrollar un prototipo que ayude a monitorear el sistema de frenos del automóvil de forma no invasiva. De ese

modo, el usuario puede saber el estado actual de sus frenos.

Se obtuvo un sensor capaz de medir el espesor de las balatas con una resolución de 1 mm y una precisión con un error de incertidumbre de ± 0.5 mm.

El sensor logró comunicarse con el vehículo a través del bus de CAN, tanto para leer mensajes como para enviarlos. Además, se integró un nuevo PID personalizado para utilizar un escáner OBDII genérico para leer los mensajes del espesor de las balatas.

Después de analizar los resultados obtenidos, se puede determinar las ventajas y desventajas de este método de monitoreo de desgaste contra otros.

Ventajas:

- Mide el desgaste de las balatas en tiempo real. Lo cual permite a los conductores poder planear con anticipación el reemplazo de las balatas, cuando sea necesario.
- El usuario no necesita remover las llantas, incluso no necesita bajarse del vehículo para medir el desgaste de las balatas.
- El sensor no se tiene que reemplazar en cada cambio de balatas, ya que utiliza una forma no invasiva para realizar las mediciones.
- No se necesita utilizar balatas especiales.
- No se requiere colocarle nada especial a las balatas, ni a la placa de soporte de las balatas, por lo que éstas se pueden reemplazar sin problema.
- El sensor enciende una señal de alerta en el tablero para avisar al usuario en caso de que las balatas estén desgastadas y necesiten reemplazo.
- Si el vehículo no cuenta con la interfaz en el tablero, es posible obtener los datos de las balatas por medio de cualquier interfaz OBDII. Estos se pueden encontrar en el mercado a precios muy económicos y se conectan al teléfono celular por Bluetooth.

Desventajas:

- El costo puede ser un poco mayor a otras soluciones; sin embargo, este sensor no requiere ser reemplazado en cada cambio de balatas, por lo que puede resultar favorable.
- El exceso de polvo y lodo puede ocasionar que se den mediciones erróneas, por lo que el sensor necesitaría

ser limpiado cada determinado tiempo, según las condiciones de manejo.

- Si el sensor no es colocado correctamente, puede dar mediciones erróneas.

- Si el disco se encuentra desgastado, el cálculo del espesor de la balata puede dar un valor menor. Por ejemplo, si el disco está desgastado 2 mm (1 mm por cada lado), y la balata es nueva (10 mm de espesor), el cálculo de espesor resultaría de 9 mm. Cabe resaltar que un desgaste de 2 mm en el disco es demasiado y requiere reemplazo del mismo.

Como se puede observar, el sensor inteligente tiene más ventajas que desventajas. Su principal virtud es la posibilidad hacer las mediciones sin necesidad de remover las llantas, ni de acudir al taller.

Referencias

- Ademoh, N. A., & Olabisi, A. I. (2015). Development and Evaluation of Maize Husks (Asbestos-Free) Based Brake Pad. *Industrial Engineering Letters*, 5(2). Obtenido de https://www.researchgate.net/profile/Olabisi_Adeyemi2/publication/307965234_Development_and_Evaluation_of_Maize_Husks_Asbestos-Free_Based_Brake_Pad/links/57e28ae208aed96fbbb26c4e.pdf
- Arenado, M. I., Oria, J. M., Torre-Ferrero, C., & Rentería, L. A. (25 de 02 de 2014). MonoVision-Based Vehicle Detection, Distance and Relative Speed Measurement in Urban Traffic. *IET Intelligent Transport Systems*, 8(8). Obtenido de <http://digital-library.theiet.org/content/journals/10.1049/iet-its.2013.0098>
- Bhaumik, S., & Mukherjee, A. (2019). A Statistical Analysis on Climatic Temperature Using Exponential Moving Average. *Innovations in Soft Computing and Information*, pp. 227-240. doi:10.1007/978-981-13-3185-5_20
- Esteban-Barcina, I. G. (2017). Desarrollo de un sensor de fibra óptica para la medida del tip clearance y tip timing en motores aeronáuticos. Bilbao, España.
- Philpott, D. (21 de 11 de 2014). *US, EP Patente n° US20160146279A1*. Obtenido de <https://patents.google.com/patent/US20160146279A1/en?q=US20160146279A1>
- Semiconductors, N. (2017). TJA1057 High-speed CAN transceiver. Obtenido de <http://www.nxp.com>
- Srijha.R, & T.S, D. ... (August de 2017). Methodology for Distance Measurement: A Comparative Study. *International Journal of Electronics, Electrical and Computational System*, 6(8).
- STMicroelectronics. (30 de Jun de 2016). UM1956 user manual.
- STMicroelectronics. (Marzo de 2016). VL6180X Proximity and ambient light sensing ALS module.
- VRP, M. (s.f.). CarBit ELM327 OBD2. Obtenido de <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.mda.carbit&hl=es>
- Xu, H., Pancheri, L., Braga, L. H., Betta, G.-F. D., & Stoppa, D. (2014). Crosstalk characterization of single-photon avalanche diode (SPAD) arrays in CMOS 150nm technology. *Procedia Engineering*, 87, pp. 1270-1273. doi:<https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.11.417>