



TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE APIZACO

MÓDULO DE UTILIDAD DE SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DEL DESGASTE DEL MATERIAL DE FRICCIÓN EN BALATAS

TITULACIÓN INTEGRAL INFORME DE RESIDENCIA PROFESIONAL

**PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO EN SISTEMAS AUTOMOTRICES**

PRESENTA:

JINNO DE GANTE ORTIZ

NOMBRE DEL ASESOR:

DR. ANTONIO SOLIS LIMA



APIZACO, TLAX., OCTUBRE 2025



Educación
Secretaría de Educación Pública



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO



Instituto Tecnológico de Apizaco
Departamento de Ingeniería Eléctrica Electrónica

Tzompantepec, Tlaxcala, **26/septiembre/2025**
Departamento: Ingeniería Eléctrica y Electrónica
No. De oficio: I.E.E. /612/2025

Asunto: Liberación de Proyecto
para la Titulación Integral

CECILIA YARELLY ARREGUÍN LARA
JEFA DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS PROFESIONALES
PRESENTE

Por este medio le informo que ha sido liberado el siguiente proyecto para la Titulación Integral:

Nombre del egresado:	JINNO DE GANTE ORTIZ
Carrera:	INGENIERÍA EN SISTEMAS AUTOMOTRICES
No. De Control:	20371285
Nombre del proyecto:	"MÓDULO DE UTILIDAD DE SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DEL DESGASTE DEL MATERIAL DE FRICCIÓN EN BALATAS".
Producto	TITULACIÓN INTEGRAL INFORME DE RESIDENCIA PROFESIONAL

Agradezco de antemano su valioso apoyo en esta importante actividad para la formación profesional de nuestros egresados.

ATENTAMENTE
Excelencia en Educación Tecnológica
Pensar para Servir, Servir para Triunfar®

MARIO EDUARDO LEAL LÓPEZ
JEFE DEL DEPTO. DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA



SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA
TECNOLÓGICO NACIONAL
DE MÉXICO
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE APIZACO
DEPARTAMENTO DE
INGENIERÍA ELÉCTRICA
Y ELECTRÓNICA

ANTONIO SOLÍS LIMA

Nombre y firma del asesor

MELL/isa*
C.p. Archivo

Av. Instituto Tecnológico No. 418, San Andrés Ahuashuatepec,
Municipio de Tzompantepec, Tlaxcala, Mex. C.P. 90491 Tel. (241)
4172010 Ext. 145, e-mail: electronica@apizaco.tecnm.mx tecnm.mx |
apizaco.tecnm.mx



2025
Año de
La Mujer
Indígena





Educación
Secretaría de Educación Pública



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO



Instituto Tecnológico de Apizaco
División de Estudios Profesionales

Tzompantepec, Tlaxcala **20/octubre/2025**

DE GANTE ORTIZ JINNO
EGRESADO(A) DE LA CARRERA DE INGENIERÍA
EN SISTEMAS AUTOMOTRICES
CON NÚMERO DE CONTROL 20371285.
P R E S E N T E.

Por este medio, me permito informar a usted que por aprobación de la comisión revisora asignada para valorar el trabajo que mediante la opción **TITULACIÓN INTEGRAL INFORME DE RESIDENCIA PROFESIONAL** y cuyo tema es: **MÓDULO DE UTILIDAD DE SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DEL DESGASTE DEL MATERIAL DE FRICCIÓN EN BALATAS**, conforme a lo establecido en el procedimiento para la obtención del Título Profesional en el Instituto Tecnológico, la División de Estudios Profesionales a mi cargo le otorga la:

AUTORIZACIÓN DE IMPRESIÓN

Debiendo entregar **1 USB** del mismo, apropiadamente empastado, a la brevedad, para presentar su Acto de Recepción Profesional.

Sin otro particular por el momento me despido.

ATENTAMENTE
Excelencia en Educación Tecnológica®
Pensar para Servir, Servir para Triunfar®

CECILIA YARELY ARREGUÍN LARA
JEFA DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS PROFESIONALES

ccp. Archivo

CYAL/rrc



2025
Año de
La Mujer
Indígena

Av. Instituto Tecnológico No. 418, San Andrés Ahuashuatepec,
Municipio de Tzompantepec, Tlaxcala, Mex. C.P. 90491 Tel. (241) 4172010
Ext. 304, e-mail: dep_titulacion@apizaco.tecnm.mx | apizaco.tecnm.mx



Resumen

El presente trabajo tiene como objetivo desarrollar un sistema que permita monitorear de manera inteligente el desgaste del material de fricción en las balatas de vehículos, con el fin de mejorar su rendimiento y aumentar la seguridad en su uso ya que este sistema inteligente se basa en sensores y tecnologías avanzadas para detectar el nivel de desgaste de las balatas, proporcionando información en tiempo real sobre su estado. Además, se incluyen algoritmos que analizan los datos recolectados para predecir cuándo las balatas necesitan ser reemplazadas, evitando así el riesgo de fallas inesperadas y optimizando el mantenimiento de los vehículos. Las principales características del proyecto destacan: Monitoreo en tiempo real y permite la supervisión constante del estado de las balatas, alertando al usuario sobre cualquier cambio significativo en su condición ya que el análisis predictivo utiliza datos históricos y actuales para predecir el desgaste y planificar el reemplazo de las balatas o bien el sistema autónomo puede funcionar de manera independiente, sin intervención constante del usuario, haciendo que el proceso de mantenimiento sea más eficiente también ayuda a la mejora de la seguridad: Asegura que las balatas no lleguen a niveles peligrosos de desgaste, lo cual podría comprometer la seguridad del vehículo y la mejor eficiencia en costos para una mejor para optimizar el uso de las balatas y reduce los costos de mantenimiento innecesario por lo tanto este sistema no solo mejora la seguridad y eficiencia de los vehículos, sino que también promueve una gestión más inteligente del mantenimiento, lo que puede ser clave en flotas de vehículos comerciales o en la industria automotriz en general finalmente, el proyecto contribuye a la innovación tecnológica en el sector automotriz, con un enfoque hacia la sostenibilidad y la movilidad inteligente a la integración de sensores avanzados, comunicación inalámbrica y aplicaciones móviles abre la posibilidad de escalar el sistema.

Agradecimientos

Hoy es un día muy especial para nosotros, un día en el que culmina una etapa de esfuerzo, dedicación y aprendizaje en mi formación como ingeniero en sistemas automotrices. No ha sido un camino fácil, pero cada desafío enfrentado ha valido la pena, y este logro no hubiera sido posible sin el apoyo de muchas personas que han sido fundamentales en mi crecimiento académico y personal.

En primer lugar, quiero agradecer profundamente a mis padres, quienes han sido mi mayor inspiración y fortaleza a lo largo de este recorrido. Su apoyo incondicional, sus sacrificios y su confianza en mí han sido el motor que me ha impulsado a seguir adelante en los momentos más difíciles. Gracias por brindarme la oportunidad de estudiar, por enseñarme el valor del esfuerzo y la perseverancia, y por estar siempre a mi lado alentándome a dar lo mejor de mí. Este logro es también suyo, porque sin ustedes no habría sido posible.

A mis profesores del Tecnológico de Apizaco, les expreso mi más sincero agradecimiento. Cada uno de ustedes ha dejado una huella imborrable en mi formación, no solo transmitiéndome conocimientos técnicos, sino también enseñándome el valor de la disciplina, la ética profesional y el trabajo en equipo. Gracias por su paciencia, por sus enseñanzas y por el tiempo que dedicaron a guiarnos en este camino de aprendizaje. Su esfuerzo y compromiso han sido clave para que hoy pueda culminar con éxito esta etapa de mi vida.

Este logro no es solo mío, sino de todas las personas que, de una u otra manera, han sido parte de este proceso. Gracias a quienes me apoyaron, a quienes me motivaron y a quienes creyeron en mí. Hoy cierro una etapa con gratitud y emoción, pero también con la certeza de que este es solo el comienzo de un nuevo camino lleno de retos y oportunidades.

¡Gracias de corazón a todos los que hicieron esto posible!

Índice

Capítulo I: Introducción	2
1.1 Planteamiento del problema.....	2
1.2 Revisión del Estado de la Técnica	4
1.3 Justificación	7
1.3.1 Justificación Teórica.....	7
1.3.2 Justificación Social	7
1.3.3 Justificación Económica	7
1.3.4 Justificación Ambiental.....	7
1.4 Objetivos.....	8
1.4.1 Objetivo General.....	8
1.4.2 Objetivos Específicos	8
Capítulo II: Marco Teórico.....	9
2.1 Desgaste de Balatas.....	10
2.2 Sistema de Monitoreo con Interfases de LED.....	10
2.3 Integración de Tecnología Bluetooth.....	11
2.4 Implementación y Beneficios	12
Capítulo III: Metodología.....	14
3.1 Diseño de especificaciones.....	14
3.1.1 Requerimientos Funcionales	14
3.1.2 Componentes Principales.....	15
3.1.3 Lógica de Operación	20
3.1.4 Diagrama de Bloques.....	20
3.2 Diseño detallado.....	23
3.2.1 Hardware del Sistema.....	23
3.2.1.1 Microcontrolador	23
3.2.1.3 Salidas visuales (LEDs indicadores).....	23
3.2.1.4 Módulo de comunicación inalámbrica	24
3.2.1.5 Fuente de alimentación.....	24
3.2.2 Software del Sistema	24

3.2.2.1 Lógica de Programación	24
3.2.2.2 Algoritmo de funcionamiento (pseudocódigo)	25
3.2.4 Cálculos de Diseño.....	28
3.2.5 Diagrama del Circuito	30
3.3 Simulación	31
3.3.1 Objetivo de la Simulación.....	31
3.3.2 Simulación y creación del código del programa.....	32
3.3.3 Simulación del circuito en proteus	35
3.4 Implementación o prototipado	40
3.5 Pruebas o Testing.....	44
Capítulo IV: Resultados y Conclusiones	48
4.1 Resultados	48
4.2 Conclusiones.....	50
Capítulo V: Competencias desarrolladas y/o aplicadas	51

Referencias

Índice de Figuras

Figura 1 Interfaz de Usuario del Sistema de Monitoreo de Desgaste de Balatas.....	3
Figura 2 Monitoreo de Desgaste de Balata	5
Figura 3 Tecnología de sensor piezorresistivos para frenos.....	6
Figura 4 Balata de automóvil	8
Figura 5 Interfaces de leds en balata de automóvil	10
Figura 6 Visualización de Datos de desgaste de balata en App	12
Figura 7 Funcionamiento General del Sistema	15
Figura 8 Diagrama de bloque del prototipo	20
Figura 9 Herramientas y equipo para el proyecto	21
Figura 10 Diseño del circuito en proteus	29
Figura 11 Diagrama de Flujo.....	30
Figura 12 Creación de código	31
Figura 13 Comunicación del módulo bluetooth.....	32
Figura 14 Programa de Arduino	33
Figura 15 Simulación de Circuito	35
Figura 16 Programación Generada con Arduino	35
Figura 17 Visualización de Led Verde	36
Figura 18 Visualización de Led Color Amarillo	37
Figura 19 Visualización de Led Color Rojo	37
Figura 20 Prototipo para medición de balatas	38
Figura 21 Prototipo Físico	42

Índice de Tabla

Tabla 1 Especificaciones Técnicas20

Tabla 2 Criterios de Evaluación del Sistema.....28

Capítulo I: Introducción

1.1 Planteamiento del problema

Se sabe que en la actualidad es importante conocer el desgaste de las balatas ya que es un proceso natural derivado del uso continuo del sistema de frenos en los vehículos su monitoreo adecuado es fundamental para garantizar la seguridad vial y prevenir fallos mecánicos inesperados actualmente, muchos vehículos carecen de sistemas precisos y eficientes que permitan conocer en tiempo real el estado de las balatas, lo que puede derivar en situaciones peligrosas como la pérdida de eficacia de frenado (Wang, Yu, Wang, & Chen, 2023).

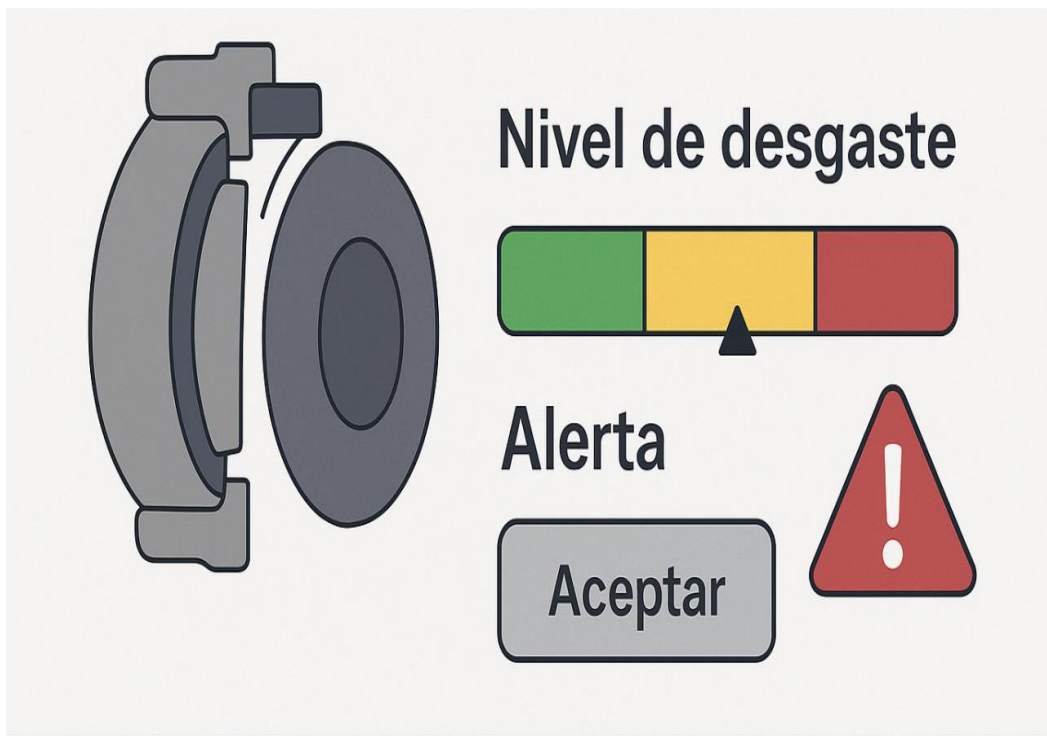
En la mayoría de los casos, los conductores dependen de inspecciones visuales o señales mínimas en el tablero, métodos que resultan imprecisos y poco oportunos para el desarrollo de tecnologías basadas en sensores inteligentes y sistemas de monitoreo en tiempo real ofrece una solución viable. Un sistema de este tipo podría emitir alertas automáticas al conductor, facilitando el mantenimiento preventivo y evitando incidentes. Además, la integración con tecnologías emergentes como el Internet de las Cosas (IoT) y la Inteligencia Artificial (IA) permitirían predecir el desgaste, optimizar la gestión del mantenimiento y contribuir a la reducción de costos operativos (Jensen, Santos, & Corstens, 2024).

Fabricantes automotrices como el Grupo VAG (Volkswagen, Audi, SEAT y Skoda) han incorporado sistemas avanzados de seguridad como el ABS (Sistema de Frenos Antibloqueo) y el ESP (Programa Electrónico de Estabilidad). Estos avances reflejan la tendencia hacia la incorporación de sistemas inteligentes que mejoren la seguridad y el rendimiento vehicular (Fonseca Heras, Guashpa Rumipamba, Pérez Chafra, Zuluaga Yela y Reyes Espíndola, 2024).

Sin embargo, el costo de algunos sensores especializados sigue siendo elevado, limitando su implementación masiva esto genera la necesidad de desarrollar soluciones más accesibles, confiables y adaptables a diferentes modelos de vehículos, como el sistema propuesto en este proyecto Cuadra Silva, Rivera Ramírez, & Cobos de los Santos, 2020).

En la Figura 1 se muestra un ejemplo de una interfaz de usuario para un sistema de monitoreo del desgaste de balatas, el cual permite visualizar claramente el nivel de desgaste mediante indicadores de colores señalan la importancia del IOT y los sensores como una solución factible y razonable (Market Research Intellect, 2024).

Figura 1. *Interfaz de Usuario del Sistema de Monitoreo de Desgaste de Balatas*



Obtenido de: <https://www.sensor-tech.com/desgaste-frenos>

1.2 Revisión del Estado de la Técnica

Con el propósito de Diversos enfoques han sido propuestos para el monitoreo del desgaste de frenos:

Algoritmos de inteligencia artificial para control de frenado: Utilizan redes neuronales para aprender patrones de conducción y optimizar el uso de frenos. Estos sistemas pueden considerar la velocidad, la distancia de seguridad y el estilo de conducción para activar el frenado automáticamente (Gronowicz, 2001).

Sistemas IoT para mantenimiento predictivo: Algunos prototipos recopilan datos generales del sistema de frenos y los transmiten a aplicaciones móviles, aunque no siempre incluyen información detallada sobre la condición específica de las balatas (Zhang, Liu, & Zhang, 2011).

Sensores piezorresistivos: Miden la presión y el desgaste progresivo de las balatas con alta sensibilidad, e incluso detectan sobrecalentamiento y cristalización. Sin embargo, suelen ser costosos para aplicaciones de bajo presupuesto (Evans & Castrilli, 2012).

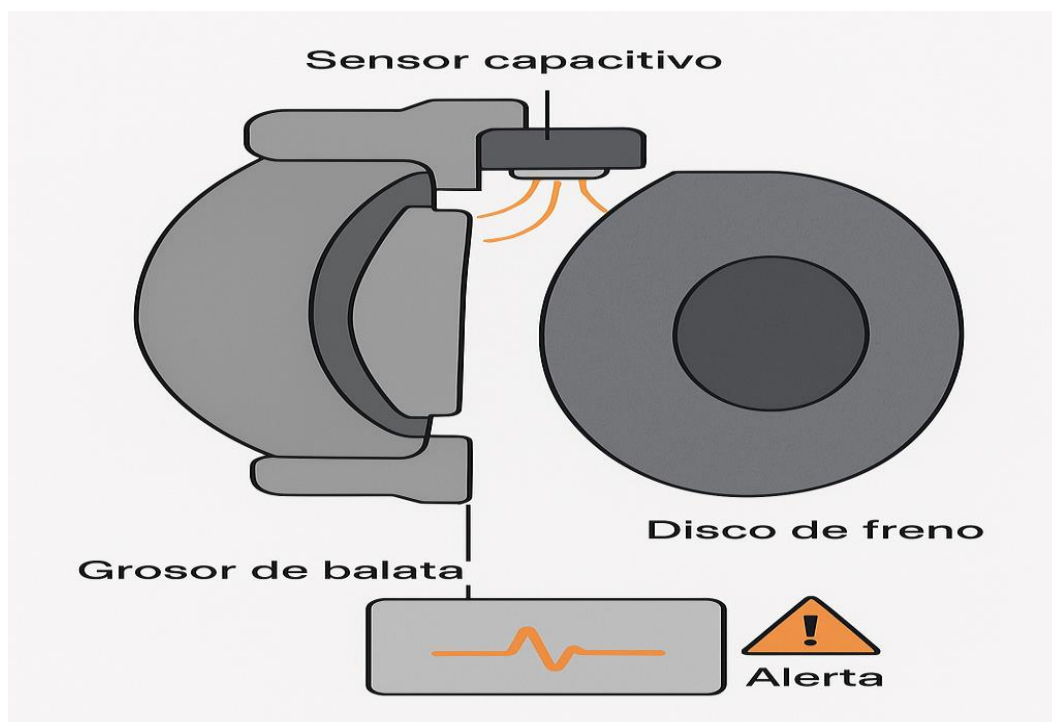
Sensores capacitivos: Evalúan el grosor de las balatas de forma continua, pero no identifican cambios en la fricción por altas temperaturas (Yáñez & Guzmán, 2022).

La propuesta de este proyecto busca superar dichas limitaciones integrando:

1. Sensores de desgaste accesible y confiable.
2. Comunicación en tiempo real vía Bluetooth.
3. Interfaz visual y aplicación móvil intuitiva.

En la Figura 2 aborda el uso de sensores capacitivos que evalúan el grosor de las balatas. Este enfoque permite un monitoreo continuo del desgaste, alertando cuando las balatas alcanzan un nivel crítico. Aunque efectivo, este diseño no está orientado a detectar cristalización ni cambios en la fricción causados por altas temperaturas (Yáñez & Guzmán, 2022).

Figura 2. *Monitoreo de Desgaste de Balata*



Recuperado de: <https://www.freescall.com>

Los filamentos de material piezorresistivo para sensores de presión permiten detectar el desgaste progresivo de las balatas a medida que se van deformando en la Figura 3 se ilustra el funcionamiento de esta tecnología, donde se aprecia el cambio de resistencia en el filamento piezorresistivo conforme a la presión ejercida sobre el sistema de freno (Asimra, 2021).

Las soluciones actuales de sensores de desgaste tienen limitaciones importantes:

1. Detección insuficiente de cristalización, lo que afecta la capacidad de frenado.
2. Altos costos, que las hacen inaccesibles para conductores individuales y pequeñas flotas.
3. Falta de integración móvil, sin notificaciones en tiempo real.

Figura 3. *Tecnología de sensor piezorresistivos para frenos*



Recuperado de: <https://www.sensor-tech.com/desgaste-frenos>

1.3 Justificación

La propuesta de implementar un sistema inteligente de monitoreo del desgaste de balatas en los vehículos impacto directo en la seguridad y el mantenimiento de los automóviles, sino que también posee una serie de beneficios académicos, sociales, económicos y ambientales que la hacen una iniciativa relevante para la formación con el sector productivo y social , este proyecto tiene una gran relevancia en el campo de la ingeniería, específicamente en las áreas de ingeniería automotriz, ingeniería electrónica y tecnologías de la información.

1.3.1 Justificación Teórica

Este proyecto contribuye al desarrollo de modelos predictivos para el desgaste de materiales de fricción, generando una base sólida para investigaciones futuras en ingeniería automotriz y electrónica.

1.3.2 Justificación Social

La implementación de este sistema permitirá reducir accidentes ocasionados por fallas en el sistema de frenos, protegiendo la integridad de conductores, pasajeros y peatones.

1.3.3 Justificación Económica

Al optimizar los intervalos de mantenimiento y evitar fallos inesperados, el sistema contribuirá a disminuir los costos de operación tanto en vehículos particulares como en flotas comerciales.

1.3.4 Justificación Ambiental

Un monitoreo eficiente del desgaste de balatas reducirá el desperdicio de materiales y la contaminación derivada de reemplazos prematuros.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo General

Diseñar y crear un módulo inteligente para monitorear en tiempo real el desgaste y cristalización de las balatas, mejorando la seguridad vial y reduciendo los costos de mantenimiento preventivo.

1.4.2 Objetivos Específicos

- **Diseño de especificaciones:** Implementación de herramientas y estrategias que faciliten la creación y función del módulo del desgaste de balatas del automóvil.
- **Diseño detallado:** Diseñar un módulo de utilidad de un sistema de sensor que pueda medir de manera precisa el desgaste y la cristalización de las balatas en tiempo real.
- **Simulación:** Desarrollar una aplicación móvil que reciba datos del sistema de monitoreo y notifique al usuario sobre el estado de las balatas, indicando cuándo es necesario realizar mantenimiento.
- **Implementación o prototipado:** Realizar pruebas de funcionamiento del módulo de utilidad del sistema en el laboratorio del instituto tecnológico de Apizaco, verificando la efectividad en la detección de fallos del sistema de frenado.
- **Pruebas o Testing:** Evaluar el impacto económico y social del módulo de utilidad del sistema del desgaste de balatas considerando la reducción de accidentes y el ahorro para los usuarios y empresas del sector automotriz.

Capítulo II: Marco Teórico

El presente proyecto aborda la problemática del desgaste de las balatas o pastillas de freno, un fenómeno natural que ocurre debido al uso constante del sistema de frenos aunque se trata de un proceso esperado, su falta de detección oportuna puede comprometer gravemente la seguridad del vehículo, reduciendo la capacidad de frenado y aumentando el riesgo de accidentes (González & Pérez, 2020).

Si bien algunos vehículos modernos cuentan con sistemas de alerta para indicar el desgaste de las balatas, en muchos casos estas señales son poco precisas o no resultan visibles para el conductor se propone el desarrollo de un sistema inteligente que utilice indicadores LED y tecnología Bluetooth para mostrar el desgaste en tiempo real, ofreciendo una solución más precisa y accesible (Nguyen & Tran, 2021).

Tiene como finalidad abordar una problemática del desgaste de las balatas o pastillas de freno es un fenómeno natural que ocurre con el uso constante del sistema de frenos en vehículos. Figura 4 se observa un ejemplo de una balata automotriz (Verma & Singh, 2022).

Figura 4. *Balata de automóvil*



Recuperado de <https://www.bridgestone.com.mx/tips-bridgestone/cuidado-de-las-llantas/que-saber-sobre-las-balatas/?hl=es-MX>

2.1 Desgaste de Balatas

Las balatas son componentes fundamentales del sistema de frenos su función principal es generar fricción contra el disco o tambor para reducir la velocidad o detener el vehículo. Con el uso, el material de fricción se desgasta, reduciendo su espesor y, por ende, su eficacia (Jensen, Santos, & Corstens, 2024).

El desgaste de las balatas depende de diversos factores:

- Estilo de conducción.
- Peso del vehículo.
- Factores climáticos.

Cuando el espesor de las balatas alcanza un nivel crítico, la capacidad de frenado disminuye significativamente, comprometiendo la seguridad del conductor y pasajeros (Jaiswal, 2021).

Los sistemas tradicionales de monitoreo como indicadores en el tablero o señales auditivas presentan limitaciones en cuanto a su precisión y oportunidad, lo que justifica la necesidad de sistemas más avanzados (Bosch Mobility, s.f.)

2.2 Sistema de Monitoreo con Interfases de LED

Los indicadores LED constituyen una solución eficiente y visualmente clara para mostrar el estado de un componente. En el caso de las balatas, un sistema con varios LEDs puede representar diferentes niveles de desgaste:

- LED verde: Balata en óptimas condiciones.
- LED amarillo: Desgaste medio, atención requerida.
- LED rojo: Desgaste crítico, requiere reemplazo inmediato.

Los LEDs ofrecen ventajas como bajo consumo energético, alta durabilidad y excelente visibilidad. En este proyecto, el sistema encenderá progresivamente los LEDs conforme al desgaste detectado por el sensor, facilitando la interpretación del estado de las balatas por parte del conductor (Aguirre, 2022).

En la Figura 5 se representan indicadores visuales de desgastes ya que este tipo de sistema ofrece un indicador visual claro y eficiente, lo cual mejora la seguridad al permitir que el conductor reconozca rápidamente el estado de las balatas sin necesidad de revisarlas manualmente.

Figura 5. *Interfaces de leds en balata de automóvil*



Recuperado de <https://www.asimra.org/>

2.3 Integración de Tecnología Bluetooth

El uso de módulos Bluetooth en sistemas automotrices permite la transmisión inalámbrica de datos a dispositivos móviles o sistemas integrados del vehículo. Esto posibilita:

- Monitoreo remoto: El conductor puede conocer el estado de las balatas sin inspección física.
- Alertas en tiempo real: Notificaciones automáticas cuando se alcanza un nivel de desgaste crítico.

- Registro histórico: Análisis de datos para identificar patrones de desgaste y planificar el mantenimiento.

En este proyecto, el módulo HC-05 establece la comunicación entre el Arduino Nano y una aplicación móvil desarrollada para mostrar los datos recibidos en una interfaz sencilla e intuitiva (Bosch Mobility, s.f.).

2.4 Implementación y Beneficios

La implementación de un sistema de monitoreo con indicadores LED y conectividad Bluetooth ofrece múltiples beneficios:

- Seguridad mejorada: Detección temprana de desgaste y cristalización del material, reduciendo riesgos de accidentes.
- Comodidad para el conductor: Eliminación de la necesidad de revisiones frecuentes en taller.
- Eficiencia en mantenimiento: Prevención de desgaste excesivo y reducción de costos por reemplazos prematuros.
- Instalación sencilla: Integración sin modificaciones complejas al sistema de frenos existente.

Este tipo de solución se alinea con las tendencias de la industria automotriz hacia vehículos más seguros, conectados y eficientes (Red Hat, 2023).

Seguridad Mejorada: La capacidad de detectar el desgaste de las balatas de manera precisa y en tiempo real reduce el riesgo de accidentes provocados por un mal funcionamiento del sistema de frenos debido a balatas desgastadas.

Comodidad para el Conductor: Los sistemas de alertas visibles y a través de una aplicación móvil ofrecen una comodidad significativa, ya que el conductor puede estar al tanto del estado de las balatas sin tener que realizar un chequeo manual o acudir a un mecánico frecuentemente.

Eficiencia y Ahorro de Costos: La posibilidad de monitorear el desgaste de las balatas de forma precisa puede ayudar a prevenir el desgaste excesivo, lo que contribuye a prolongar la vida útil de las balatas y a reducir los costos de mantenimiento en el largo plazo.

Facilidad de Instalación y Mantenimiento: La integración de la tecnología LED con Bluetooth permite una implementación sencilla y de bajo costo, sin que sea necesario realizar modificaciones complejas al sistema de frenos del vehículo.

Comodidad para el Conductor: Gracias al uso del Bluetooth, el módulo inteligente transmite la información directamente como se muestra en la Figura 6 mediante una aplicación móvil, evitando la necesidad de inspecciones físicas frecuentes

- Autonomía al conductor sobre el estado del vehículo.
- Notificaciones automáticas cuando el grosor mínimo se aproxima.

Figura 6. *Visualización de Datos de desgaste de balata en App*



Recuperado de: <https://www.ejemplo.com/imagen-desgaste-balata>

Capítulo III: Metodología

3.1 Diseño de especificaciones

El presente proyecto tiene como objetivo principal implementar un sistema de monitoreo del desgaste de balatas en vehículos mediante el uso de un microcontrolador Arduino Nano dicho sistema se fundamenta en la detección de tres estados representativos del nivel de vida útil de la balata: 100% (óptimo), 50% (intermedio) y 10% (crítico).

La señal de desgaste es detectada a través de sensores simulados mediante el cierre de circuitos eléctricos que se conectan a las entradas digitales del microcontrolador a partir de la información recibida, el sistema genera una salida en dos niveles:

1. **Visual**, mediante la activación de LEDs indicadores (verde, amarillo y rojo).
2. **Remota**, a través de la transmisión de datos por un módulo Bluetooth HC-05 hacia una aplicación móvil que muestra el estado y porcentaje.

De esta forma, el prototipo busca demostrar la viabilidad de un sistema electrónico de diagnóstico predictivo de desgaste de balatas, integrando tanto indicadores locales como comunicación inalámbrica para su supervisión.

3.1.1 Requerimientos Funcionales

- El microcontrolador debe recibir señales de entrada a través de los pines digitales **D5, D6 y D7**, correspondientes a los sensores (por medio de alambre) que envían señales para simular el estado de las balatas.
- Según el estado detectado, el sistema debe activar el LED correspondiente en los pines de salida:

- **D2 (verde):** balata en buen estado (100%).
 - **D3 (amarillo):** balata con desgaste medio (50%).
 - **D4 (rojo):** balata casi agotada (10%). Cambiar
- El sistema también debe transmitir de manera inalámbrica, mediante un módulo **Bluetooth (HC-05)**, el porcentaje de vida útil de la balata hacia una aplicación móvil.
 - Solo debe mostrarse un estado a la vez, evitando que se activen simultáneamente más de un LED.
 - El sistema debe actualizar el estado de forma inmediata al recibir la señal de entrada correspondiente.

3.1.2 Componentes Principales

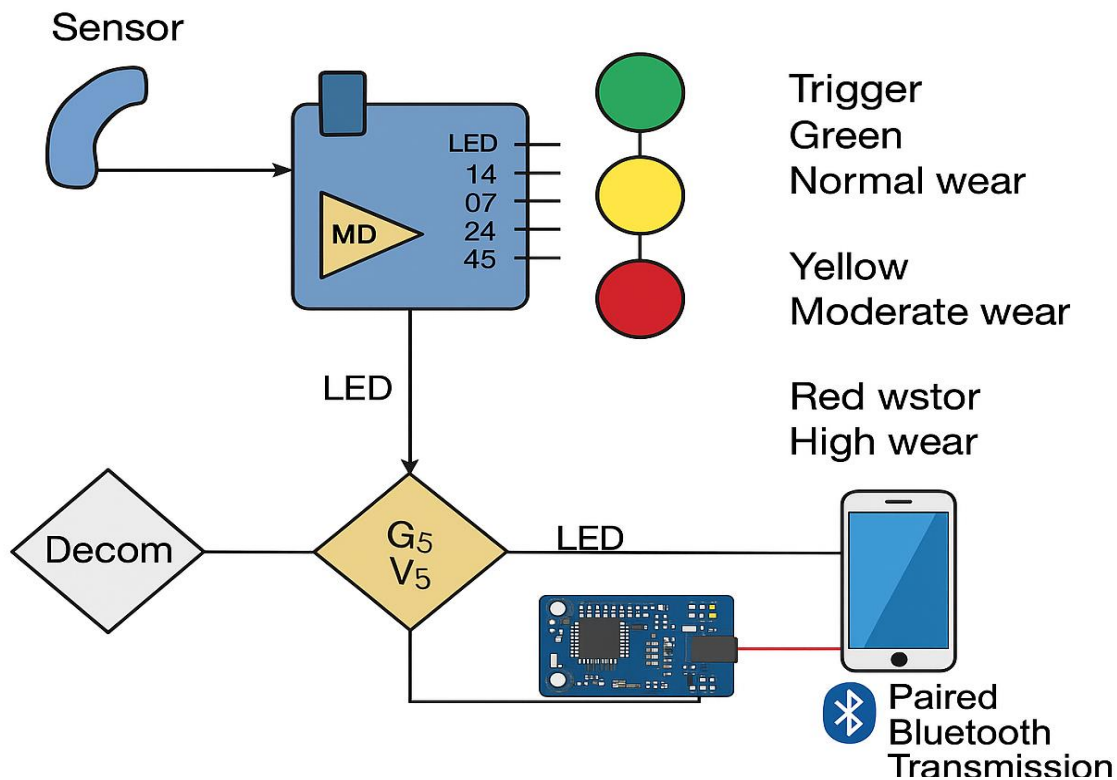
El prototipo se compone de los siguientes elementos:

1. **Arduino Nano:** Microcontrolador encargado de procesar las señales de entrada y controlar tanto las salidas visuales como la comunicación Bluetooth.
2. **Módulo Bluetooth (HC-05):** dispositivo de comunicación inalámbrica encargado de enviar los datos al dispositivo móvil.
3. **LEDs indicadores:** Tres LEDs de colores verde, amarillo y rojo, utilizados como salidas visuales para señalar el estado de la balata.
4. **Resistencias limitadoras:** Componentes de protección para los LEDs, garantizando su funcionamiento seguro.

5. **Entradas de simulación:** Interruptores o sensores conectados a los pines D5, D6 y D7, que representan los diferentes niveles de desgaste.
6. **Fuente de alimentación:** Suministro de 5 V proporcionado por USB o batería externa.

Se desarrollará un sistema electrónico que permita monitorear en tiempo real el desgaste de las balatas, mediante el uso de indicadores visuales (LEDs) y comunicación inalámbrica vía Bluetooth con una aplicación móvil. Se busca facilitar el mantenimiento preventivo y garantizar la seguridad en sistemas de freno como se muestra en la Figura 7, el sistema propuesto permite monitorear en tiempo real el nivel de desgaste de las balatas mediante un sensor, indicadores LED y transmisión de datos vía Bluetooth hacia una aplicación móvil.

Figura 7. *Funcionamiento General del Sistema*



Nota: Elaboración Propia.

El Arduino Nano:

Características:

- **Tamaño compacto** Su diseño pequeño (aproximadamente 4.5 x 1.8 cm) permite que se integre fácilmente en el espacio reducido de un vehículo.
- **Bajo consumo de energía:** Opera con una corriente mínima, lo que minimiza el impacto en la batería del automóvil.
- **Facilidad de uso:** Su programación es sencilla y cuenta con una gran comunidad de apoyo, lo que acelera el proceso de desarrollo.

Modulo Bluetooth HC_05:

Características:

- **Conectividad estándar** utiliza el protocolo Bluetooth 2.0, garantizando su compatibilidad con la mayoría de los smartphones modernos.
- **Costo accesible:** Es una de las soluciones más económicas para integrar conectividad inalámbrica, manteniendo el prototipo a un costo bajo.

Placa fenólica en circuitos electrónicos:

Características:

- **Alta conductividad:** El cobre es un excelente conductor, lo que asegura que el circuito funcione de manera fiable.
- **Resistencia a la corrosión:** La capa de zinc lo protege del óxido y la humedad, evitando fallos prematuros en el ambiente de las balatas.

Alambre de cobre galvanizado:

Características:

- Aislamiento eléctrico: Está hecha de un material que no conduce la electricidad, lo que previene cortocircuitos.
- Capas de cobre: Tiene una o dos capas de cobre que se utilizan para crear las "pistas" que conectan los componentes, reemplazando los cables.
- Robustez: Proporciona una base sólida para soldar los componentes, asegurando la durabilidad y fiabilidad del circuito una vez que el prototipo esté listo.

Diodos LED y Resistencias

- Componentes de protección y alerta visual.
- LED de alta potencia: Su brillo intenso garantiza que la alerta visual sea visible incluso a la luz del día.
- Resistencias: Son esenciales para proteger los demás componentes del circuito.

LED verde

Características:

- Voltaje típico de 3V, corriente nominal de 20 mA, intensidad luminosa aproximada de 2000 mcd, ángulo de visión 20–30°.

LED amarillo

Características:

- Voltaje típico de 3V, corriente nominal de 20 mA, intensidad luminosa de 1500–2000 mcd.

LED rojo

Características:

- Voltaje típico de 2V, corriente nominal de 20 mA, intensidad luminosa de 1500–2000 mcd.

Función: Señala que la balata está en estado crítico (0%), requiriendo reemplazo inmediato.

Justificación: El rojo es universalmente reconocido como alerta de peligro, garantizando rápida atención del usuario.

Balata

Características:

- Material de fricción Compuesto de resinas, fibras metálicas, cerámicas, grafito o Kevlar
Soportan temperaturas de hasta 300 °C o más sin perder propiedades
- Alto, y estable en diversas condiciones (en seco o con humedad)
- Desgaste controlado Se desgastan con el uso, lo cual permite saber cuándo deben reemplazarse
- Bajo nivel de ruido Algunas tienen placas anti-ruido o ranuras para reducir vibraciones
- Sinterizadas o orgánicas pueden ser metálicas, semimetálicas, cerámicas u orgánicas
- Varía según el modelo del vehículo; normalmente planas y rectangulares o curvas

3.1.3 Lógica de Operación

La lógica de funcionamiento del sistema se establece de la siguiente manera:

1. Al cerrarse el circuito en **D5**, se interpreta que la balata se encuentra en **100% Balata en buen estado** activándose el LED verde (D2) y enviando la señal correspondiente a la aplicación móvil.
2. Al cerrarse el circuito en **D6**, se determina que la balata presenta un **50% Balata con desgaste medio**, activándose el LED amarillo (D3) y enviando el dato por Bluetooth.
3. Al cerrarse el circuito en **D7**, se considera que ha alcanzado **Balata casi agotada (10%), crítico** activándose el LED rojo (D4) y transmitiendo la información al dispositivo móvil.
4. Solo un estado puede estar activo a la vez, garantizando la claridad de la información presentada al usuario.
5. La aplicación móvil interpreta los datos recibidos y los presenta en forma de porcentaje, junto con una etiqueta de estado correspondiente (balata en buen estado 100%, balata con desgaste medio 50%, balata casi agotada 10% cambiar).

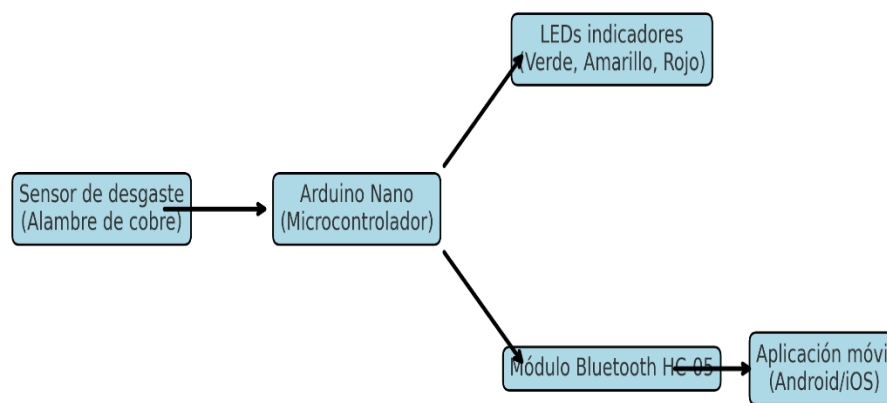
3.1.4 Diagrama de Bloques

El diagrama de bloques que representa la arquitectura del sistema se describe de la siguiente manera al igual que como se muestra en la figura 8 del diagrama de bloques:

- Sensores de desgaste → Entradas digitales (D5, D6, D7) en Arduino Nano →
→ Procesamiento de señal → Salidas digitales (D2, D3, D4) hacia LEDs indicadores.

- Arduino Nano → Módulo Bluetooth → Aplicación móvil para visualización del estado del prototipo desarrollado tiene como objetivo principal implementar un sistema de monitoreo del desgaste de balatas en vehículos mediante el uso de un microcontrolador Arduino Nano a dicho sistema se fundamenta en la detección de tres estados representativos del nivel de vida útil de la balata: 100% (óptimo), 50% (intermedio) y 10% (crítico).

Figura 8. Diagrama de bloque del prototipo



Fuente: Elaboración propia.

A continuación se observa en la Tabla 1, algunas especificaciones que nos ayudan a entender con precisión el sistema del desgaste de balatas en nuestro automóvil..

Tabla 1. Especificaciones mínimas del sistema

Elemento	Especificación Mínima
Sensor de desgaste	Rango: 0–100% de desgaste; Precisión: $\pm 5\%$ de la vida útil
Microcontrolador Arduino Nano	Frecuencia suficiente para lectura continua de sensor y transmisión Bluetooth
Módulo Bluetooth HC-05	Alcance ≥ 5 metros; compatible con protocolo Bluetooth 2.0
LEDs indicadores	Verde (100%–75%), Amarillo (50%–25%), Rojo (10%–0%) de vida útil restante

Fuente: Elaboración Propia.

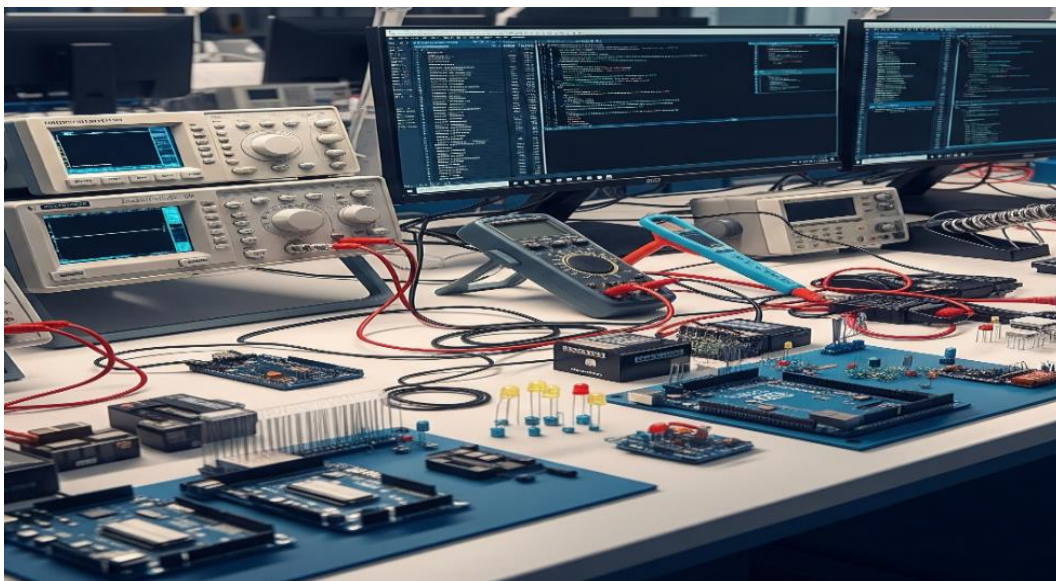
Lenguaje de Programación:

El proyecto se desarrollará y probará con herramientas de soldadura, equipos de medición (multímetros, programas) y fuentes de alimentación como se muestra en la Figura 9.

Se utilizará el lenguaje de programación de Arduino para programar el micro controlador es ideal debido a su facilidad de uso, la gran cantidad de librerías disponibles y su compatibilidad con el hardware de arduino y además, es un lenguaje robusto y eficiente para aplicaciones.

- Lenguaje base: C/C++ IDE: Arduino IDE (o alternativos como PlatformIO)
 - Librerías: Puedes utilizar librerías específicas dependiendo de los sensores Cómo funciona un sistema de desgaste de balatas en Arduino
1. Sensor de espesor o proximidad (ej. sensores ultrasónicos, sensores Hall, sensores resistivos o inductivos).
 2. Lectura analógica o digital para determinar el grosor o posición.
 3. Salida o notificación: Puede ser por pantalla o comunicación serial (para diagnóstico).

Figura 9. *Herramientas y equipo para el proyecto*



3.2 Diseño detallado

El diseño de este sistema se enfoca en la creación de un módulo de monitoreo inteligente, confiable y de bajo costo.

El diseño detallado del sistema de monitoreo de balatas se centra en la integración de hardware y software dentro de un prototipo funcional a diferencia del diseño de especificaciones, donde se definieron los requerimientos generales en esta sección se describe con precisión el circuito electrónico, las conexiones físicas, la programación del microcontrolador y la interacción con la aplicación móvil.

3.2.1 Hardware del Sistema

3.2.1.1 Microcontrolador

Para representar los tres niveles de desgaste (100%, 50% y 10%) se utilizan interruptores conectados a los pines D5, D6 y D7. Cada interruptor simula el cierre de un circuito eléctrico cuando el desgaste alcanza un nivel específico.

- D5 → Estado 100% (balata en buen estado).
- D6 → Estado 50% (balata con desgaste medio)
- D7 → Estado 10% (balata casi agotada camiar).

3.2.1.3 Salidas visuales (LEDs indicadores)

Se emplean tres LEDs con resistencias limitadoras para evitar sobrecorriente:

- D2 (LED verde): b en óptimas condiciones.
- D3 (LED amarillo): balata con desgaste medio.

- D4 (LED rojo): balata casi agotada cambiar

Los LEDs ofrecen una forma inmediata y local de interpretar el estado de la balata sin necesidad de un dispositivo adicional.

3.2.1.4 Módulo de comunicación inalámbrica

El sistema incorpora un módulo Bluetooth HC-05 conectado al puerto serial del Arduino Nano. Este dispositivo permite la transmisión de datos hacia un teléfono inteligente, donde se ejecuta una aplicación que muestra el estado en porcentaje.

- Conexión de TX del módulo Bluetooth → RX del Arduino.
- Conexión de RX del módulo Bluetooth → TX del Arduino.
- Alimentación del módulo a 5V y GND.

3.2.1.5 Fuente de alimentación

El prototipo funciona a 5V, suministrados mediante el puerto USB del Arduino Nano o mediante una batería externa recargable.

3.2.2 Software del Sistema

3.2.2.1 Lógica de Programación

El programa implementado en Arduino se diseñó en lenguaje C++ bajo el entorno Arduino. La lógica principal consiste en:

1. Configurar los pines de entrada (D5, D6, D7) y salida (D2, D3, D4).
2. Leer constantemente el estado de los pines de entrada.
3. Determinar el nivel de desgaste detectado.

4. Activar únicamente el LED correspondiente y enviar el mensaje al módulo Bluetooth.

5. Asegurar que solo un estado sea mostrado en cada momento.

3.2.2.2 Algoritmo de funcionamiento (pseudocódigo)

Diseño del código:

```
// Pines de LEDs
int ledVerde = 2;
int ledAmarillo = 3;
int ledRojo = 4;

// Pines de sensores (alambres en la
// balata)
int sensor100 = 5; // Balata en buen
// estado
int sensor50 = 6; // Balata con desgaste
// medio
int sensor10 = 7; // Balata casi agotada
// cambiar

// Variables
int estado100, estado50, estado10;
char dato;

void setup() {
    // Configuración de pines de salida
    pinMode(ledVerde, OUTPUT);
    pinMode(ledAmarillo, OUTPUT);
    pinMode(ledRojo, OUTPUT);

    // Configuración de entradas con
    // resistencia pull-up
    pinMode(sensor100, INPUT_PULLUP);
    pinMode(sensor50, INPUT_PULLUP);
    pinMode(sensor10, INPUT_PULLUP);

    // Comunicación con Bluetooth HC-05
    Serial.begin(9600);
}
```

```

void loop() {
    // Leer sensores
    estado100 = digitalRead(sensor100);
    estado50  = digitalRead(sensor50);
    estado10  = digitalRead(sensor10);

    // --- Lógica de LEDs según el desgaste
    detectado ---
    // Prioridad: 10% > 50% > 100%
    if (estado10 == LOW) {
        digitalWrite(ledVerde, LOW);
        digitalWrite(ledAmarillo, LOW);
        digitalWrite(ledRojo, HIGH);
        Serial.println("Balata casi agotada
(10%), cambiar");
        Serial.write('C'); // Enviar estado a
la app
    }
    else if (estado50 == LOW) {
        digitalWrite(ledVerde, LOW);
        digitalWrite(ledAmarillo, HIGH);
        digitalWrite(ledRojo, LOW);
        Serial.println("Balata con desgaste
medio (50%)");
        Serial.write('B');
    }
    else if (estado100 == LOW) {
        digitalWrite(ledVerde, HIGH);
        digitalWrite(ledAmarillo, LOW);
        digitalWrite(ledRojo, LOW);
        Serial.println("Balata en buen estado
(100%)");
        Serial.write('A');
    }
    else {

```

```

        // Ningún sensor detectado
        digitalWrite(ledVerde, LOW);
        digitalWrite(ledAmarillo, LOW);
        digitalWrite(ledRojo, LOW);
        Serial.println("Error: sin señal de
sensor");
    }

    // --- Control manual desde App
Bluetooth ---
    if (Serial.available()) {
        dato = Serial.read();
        if (dato == 'A') { // Verde 100%
            digitalWrite(ledVerde, HIGH);
            digitalWrite(ledAmarillo, LOW);
            digitalWrite(ledRojo, LOW);
            Serial.println("App -> Balata en
buen estado (100%)");
        }
        else if (dato == 'B') { // Amarillo
50%
            digitalWrite(ledVerde, LOW);
            digitalWrite(ledAmarillo, HIGH);
            digitalWrite(ledRojo, LOW);
            Serial.println("App -> Balata con
desgaste medio (50%)");
        }
        else if (dato == 'C') { // Rojo 10%
            digitalWrite(ledVerde, LOW);
            digitalWrite(ledAmarillo, LOW);
            digitalWrite(ledRojo, HIGH);
            Serial.println("App -> Cambiar
balata (10%)");
        }
    }

    delay(300); // pequeña pausa
}

```

Nota: Elaboración propia.

3.2.4 Cálculos de Diseño

Resistencia limitadora para leds

Formula:
$$R = \frac{V_{fuente} - V_{LED}}{I_{LED}}$$

Para LED rojo:

$$R = \frac{5V - 2V}{0.02A} = 150\Omega$$

Para LED verde:

$$R = \frac{5V - 3V}{0.02A} = 100\Omega$$

Se usara una resistencia estándar de 220Ω adecuada para todos los leds

Consumo total estimado del sistema

Componentes

Arduino Nano 30Ma

HC-05 Bluetooth 50Ma

LED activo 20Ma

Total=100 mA

Divisor de voltaje para proteger el RX del HC-05

$$V_{out} = V_{in} \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

$$\text{Con } R_1 = 1k\Omega, R_2 = 2K\Omega$$

$$V_{out} = 5V \cdot \frac{2}{3} \approx 3.3V$$

Disipación de potencia en resistencia

$$p = I^2 \cdot R = (0.02)^2 \cdot 220 = 0.088W$$

Una resistencia de $\frac{1}{4}$ W (0.25) es segura

Como se puede observar en la Tabla 2, representa la precisión de la medición del sistema inteligente de monitoreo del desgaste de balata.

Tabla 2
Criterios de Evaluación del Sistema

Criterio	Indicador de Éxito
Precisión de medición	$\geq 90\%$ de coincidencia con inspección manual del desgaste
Tiempo de respuesta	≤ 2 segundos desde la detección al cambio en la visualización
Compatibilidad	Funciona con al menos el 80% de los modelos de balatas estándar
Durabilidad	Resistencia a más de 10,000 km sin fallas del sistema (en prototipo)
Usabilidad de la aplicación	Interfaz clara, intuitiva y operable por usuarios sin experiencia técnica

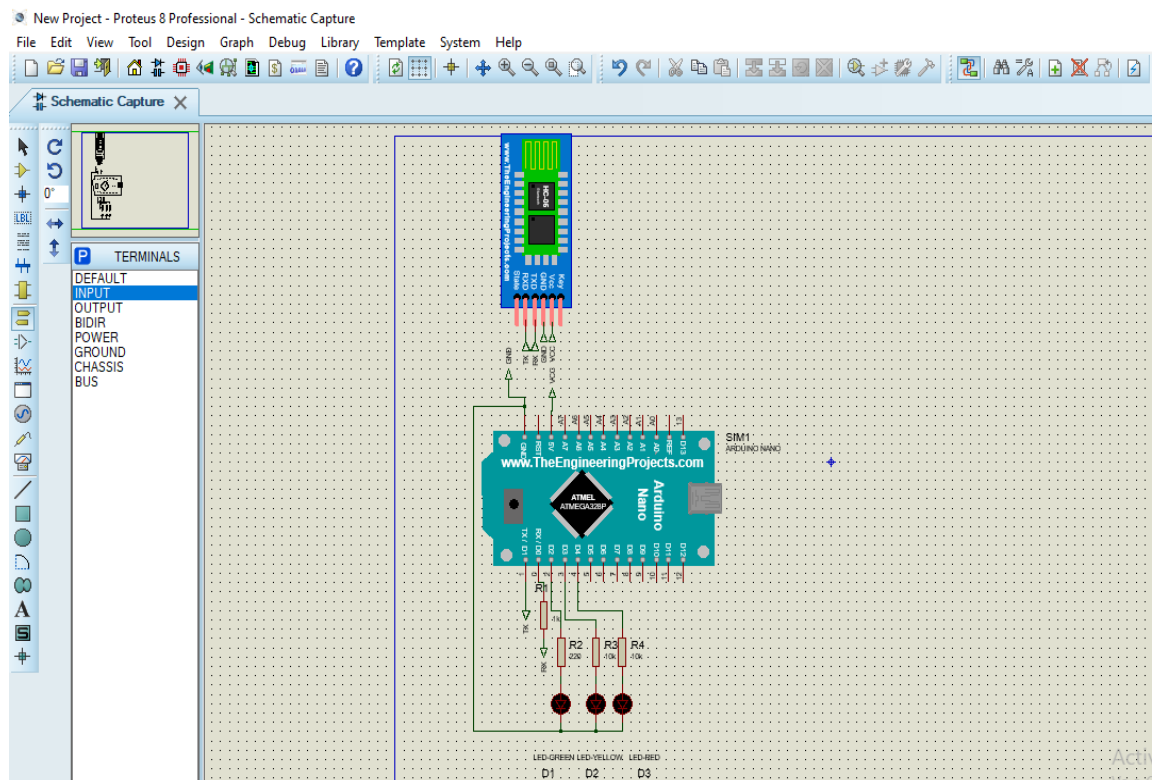
Fuente: Elaboración Propia

3.2.5 Diagrama del Circuito

En esta etapa se incluye el diagrama electrónico realizado en Proteus mostrando las conexiones entre, como se muestra en la figura 10.

- Sensores (interruptores) → pines D5, D6, D7 del Arduino.

Figura 10. *Diseño del circuito en proteus*



Fuente: Elaboración Propia

3.3 Simulación

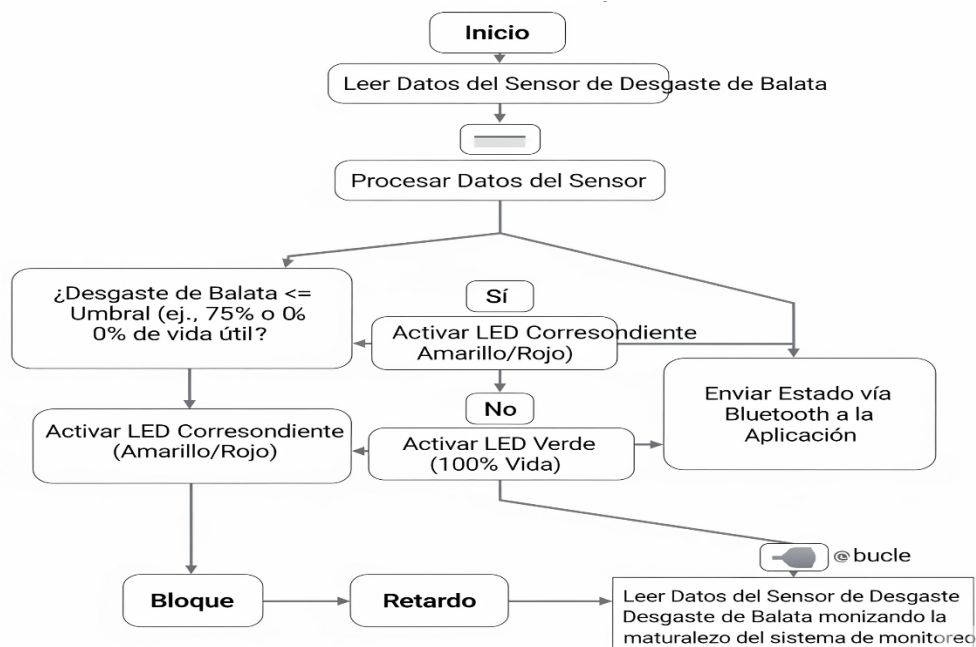
Para validar el funcionamiento del sistema antes de su implementación física, se realizó una simulación utilizando la plataforma Proteus que permite emular el comportamiento de circuitos electrónicos y microcontroladores, como el Arduino Nano.

3.3.1 Objetivo de la Simulación

Verificar que el sistema diseñado (Arduino Nano + LEDs + Bluetooth) responda correctamente a los diferentes niveles de desgaste de la balata, encendiendo el LED correspondiente y enviando una señal vía Bluetooth cuando el desgaste sea crítico.

Diagrama de Flujo del Funcionamiento General del Sistema Adaptado como se muestra en la Figura 11.

Figura 11. *Diagrama de Flujo*

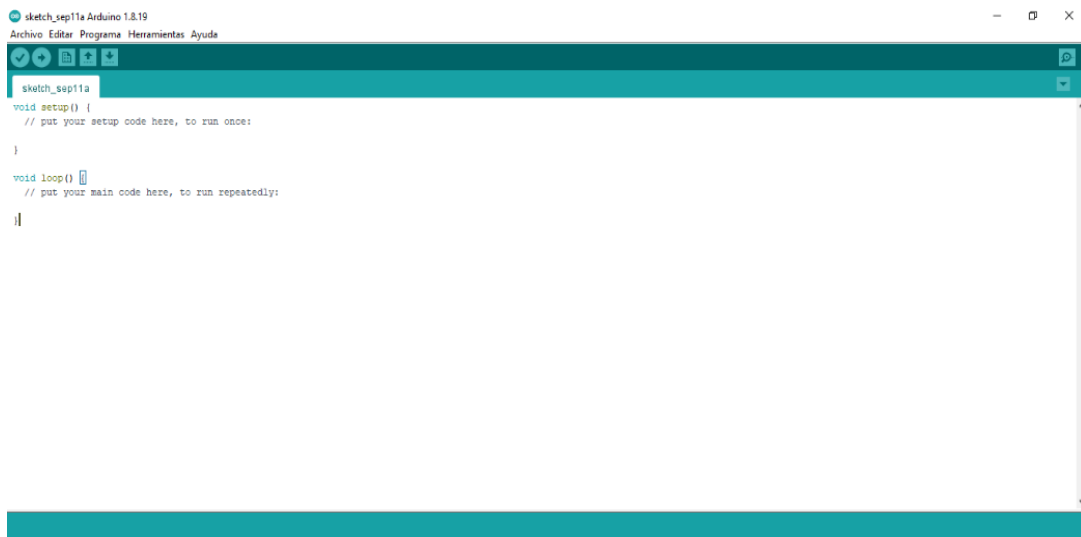


Nota: Elaboración Propia.

3.3.2 Simulación y creación del código del programa

Para asegurar el correcto funcionamiento del sistema, se realizó una simulación inicial del programa utilizando el entorno de desarrollo Arduino como se muestra en la Figura 12 en donde se cargó y verificó el código diseñado.

Figura 12. *Creación de código*



1: Redacción y compilación del programa

- El código fue escrito en el lenguaje C/C++ en el programa de Arduino.
- Se definieron los pines de entrada y salida correspondientes a los LEDs y sensores.

Se implementó la lógica de decisión para representar los tres niveles de desgaste:

1. 100% (balata nueva): LED verde encendido.
2. 50% (desgaste medio): LED amarillo encendido.
3. 10% (desgaste crítico): LED rojo encendido.

Además, se incluyó la comunicación serial a 9600 baudios para la interacción con el módulo Bluetooth HC-05 o con el monitor serial del IDE, como se muestra en la Figura 13.

Figura 13. *Comunicación del módulo bluetooth*



```
sketch_sep06a Arduino 1.8.19
Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda

sketch_sep06a
// Pines de LEDs
int ledVerde = 2;
int ledAmarillo = 3;
int ledRojo = 4;

// Pines de sensores (alambres en la balata)
int sensor100 = 5; // Balata nueva
int sensor50 = 6; // Desgaste medio
int sensor10 = 7; // Desgaste critico

int estado100, estado50, estado10;
char dato;

void setup() {
  pinMode(ledVerde, OUTPUT);
  pinMode(ledAmarillo, OUTPUT);
  pinMode(ledRojo, OUTPUT);

  pinMode(sensor100, INPUT_PULLUP);
  pinMode(sensor50, INPUT_PULLUP);
  pinMode(sensor10, INPUT_PULLUP);

  Serial.begin(9600); // Comunicación con Bluetooth HC-05
}

void loop() {
  // Leer sensores
  estado100 = digitalRead(sensor100);
  estado50 = digitalRead(sensor50);
}
```

```
sketch_sep06a Arduino 1.8.19
Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda

sketch_sep06a
digitalWrite(ledRojo, HIGH);
Serial.println("Balata casi agotada (10%), cambiar");
}

// --- Control manual desde App Bluetooth ---
if (Serial.available()) {
  dato = Serial.read();
  if (dato == 'A') { // Verde 100%
    digitalWrite(ledVerde, HIGH);
    digitalWrite(ledAmarillo, LOW);
    digitalWrite(ledRojo, LOW);
    Serial.println("App -> Balata en buen estado (100%)");
  }
  else if (dato == 'B') { // Amarillo 50%
    digitalWrite(ledVerde, LOW);
    digitalWrite(ledAmarillo, HIGH);
    digitalWrite(ledRojo, LOW);
    Serial.println("App -> Balata con desgaste medio (50%)");
  }
  else if (dato == 'C') { // Rojo 10%
    digitalWrite(ledVerde, LOW);
    digitalWrite(ledAmarillo, LOW);
    digitalWrite(ledRojo, HIGH);
    Serial.println("App -> Cambiar balata (10%)");
  }
}

delay(300); // pequeña pausa
}
```

2: Proceso de verificación

El programa fue compilado en el programa de Arduino, verificando que no existieran errores de sintaxis ni de asignación de pines, como se muestra en la Figura 14.

Figura 14 Programa de Arduino



The screenshot displays the Arduino IDE interface. The top menu bar includes 'Archivo', 'Editar', 'Programa', 'Herramientas', and 'Ayuda'. The toolbar contains icons for opening, saving, uploading, and downloading. The main text area shows a C++ sketch named 'sketch_sep06a' with the following code:

```
digitalWrite(ledRojo, HIGH);
Serial.println("Balata casi agotada (10%), cambiar");
}

// --- Control manual desde App Bluetooth ---
if (Serial.available()) {
  dato = Serial.read();
  if (dato == 'A') { // Verde 100%
    digitalWrite(ledVerde, HIGH);
    digitalWrite(ledAmarillo, LOW);
    digitalWrite(ledRojo, LOW);
    Serial.println("App -> Balata en buen estado (100%)");
  }
  else if (dato == 'B') { // Amarillo 50%
    digitalWrite(ledVerde, LOW);
    digitalWrite(ledAmarillo, HIGH);
    digitalWrite(ledRojo, LOW);
    Serial.println("App -> Balata con desgaste medio (50%)");
  }
  else if (dato == 'C') { // Rojo 10%
    digitalWrite(ledVerde, LOW);
```

The bottom panel, titled 'Compilado', shows the compilation process:

```
"C:\Program Files (x86)\Arduino\hardware\tools\avr\bin\avr-gcc-ar" ros "C:\Users\PC\AppData\Local\Temp\arduino_build_630494\core\core.a" "C:\Users\PC\AppData\Local\Temp\ardu
"C:\Program Files (x86)\Arduino\hardware\tools\avr\bin\avr-gcc-ar" ros "C:\Users\PC\AppData\Local\Temp\arduino_build_630494\core\core.a" "C:\Users\PC\AppData\Local\Temp\ardu
Archivando el núcleo construido (cacheado) en: C:\Users\PC\AppData\Local\Temp\arduino_cache_598675\core\core_arduino_avr_nano_cpu_atmega328_0c812875ac70eb4a9b385d8fb077f54c.a
linking everything together...
"C:\Program Files (x86)\Arduino\hardware\tools\avr\bin\avr-gcc" -w -Os -g -flto -fuse-linker-plugin -Wl,--gc-sections -mmcu=atmega328p -o "C:\Users\PC\AppData\Local\Temp\arduino_bui
"C:\Program Files (x86)\Arduino\hardware\tools\avr\bin\avr-objcopy" -O ihex -j .eeprom --set-section-flags=.eeprom=alloc,load --no-change-warnings --change-section-lma .eeprom=0 "C:\User
"C:\Program Files (x86)\Arduino\hardware\tools\avr\bin\avr-objcopy" -O ihex -R .eeprom "C:\Users\PC\AppData\Local\Temp\arduino_build_630494/sketch_sep06a.ino.elf" "C:\Users\PC\Ap
"C:\Program Files (x86)\Arduino\hardware\tools\avr\bin\avr-size" -A "C:\Users\PC\AppData\Local\Temp\arduino_build_630494/sketch_sep06a.ino.elf"
El Sketch usa 2556 bytes (8%) del espacio de almacenamiento de programa. El máximo es 30720 bytes.
Las variables Globales usan 330 bytes (16%) de la memoria dinámica, dejando 1718 bytes para las variables locales. El máximo es 2048 bytes.
```

An 'Activar Windows' watermark is visible in the bottom right corner of the IDE window.

3.3.3 Simulación del circuito en proteus

Además de la verificación del código en el entorno Arduino IDE para Windows, se llevó a cabo una simulación práctica del circuito en el software Proteus 8 Professional, el cual permite emular el comportamiento de los microcontroladores y periféricos electrónicos.

Objetivo de la simulación:

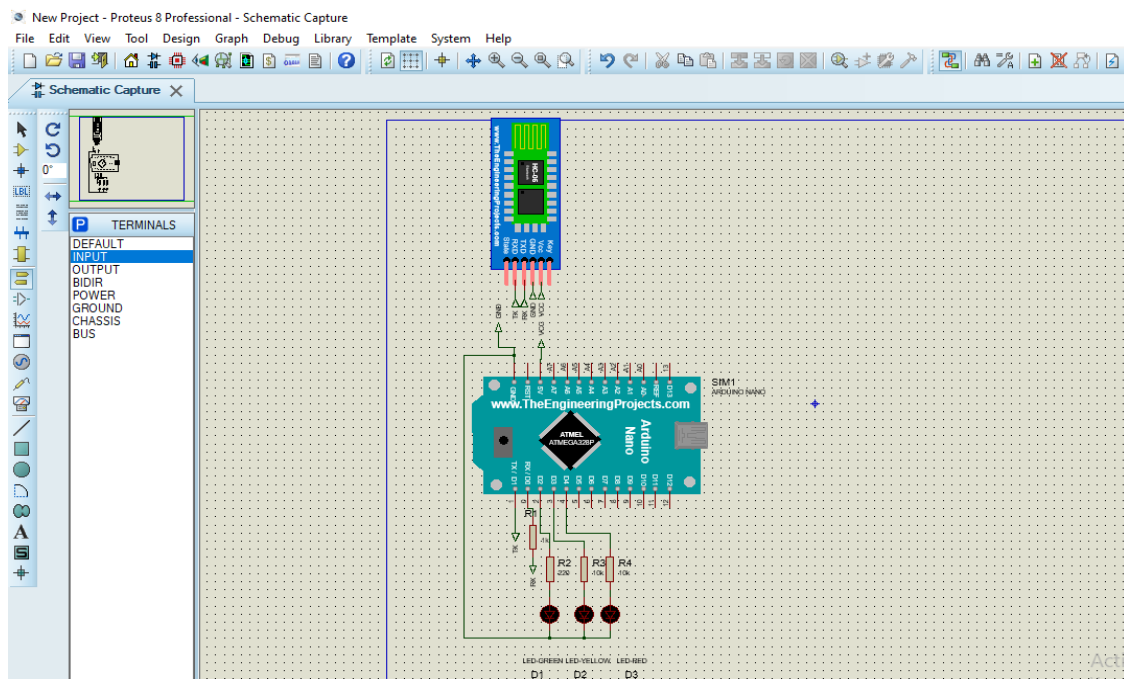
Validar la interacción entre el código programado en el Arduino Nano, los sensores de desgaste representados como interruptores, y los indicadores visuales (LEDs) conectados en los pines de salida.

Procedimiento:

- Se diseñó el esquema electrónico en Proteus, incluyendo:
 1. Un Arduino Nano como unidad de control.
 2. Un módulo Bluetooth HC-05 para representar la comunicación inalámbrica.
 3. Tres LEDs (verde, amarillo y rojo) conectados a los pines digitales D2, D3 y D4 mediante resistencias de $220\ \Omega$.
 4. Tres entradas digitales (D5, D6 y D7) configuradas como sensores, representadas con interruptores que cierran el circuito hacia tierra (GND).

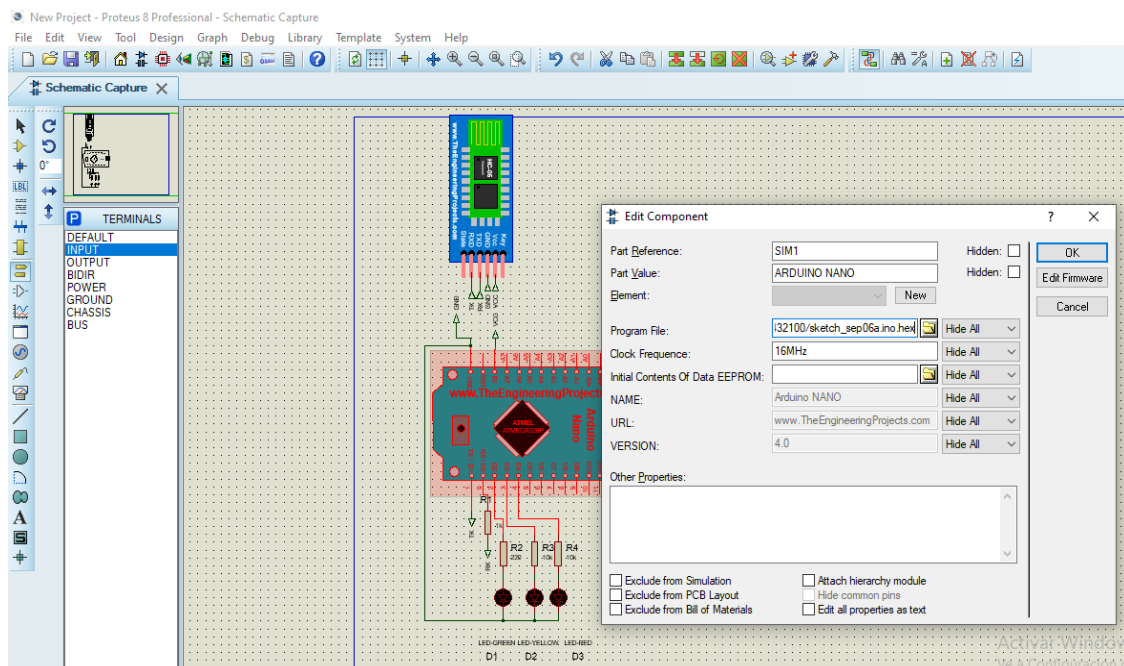
En la Figura 15 se muestra el circuito y los componentes que se utilizaran para validar la interacción entre el código programado en el Arduino Nano, los sensores de desgaste representados como interruptores, y los indicadores visuales (LEDs) conectados en los pines de salida.

Figura 15 *Simulación de Circuito en Proteus*



2. Se cargó el archivo .hex generado desde Arduino IDE con el programa previamente verificado, como se muestra en la Figura 16.

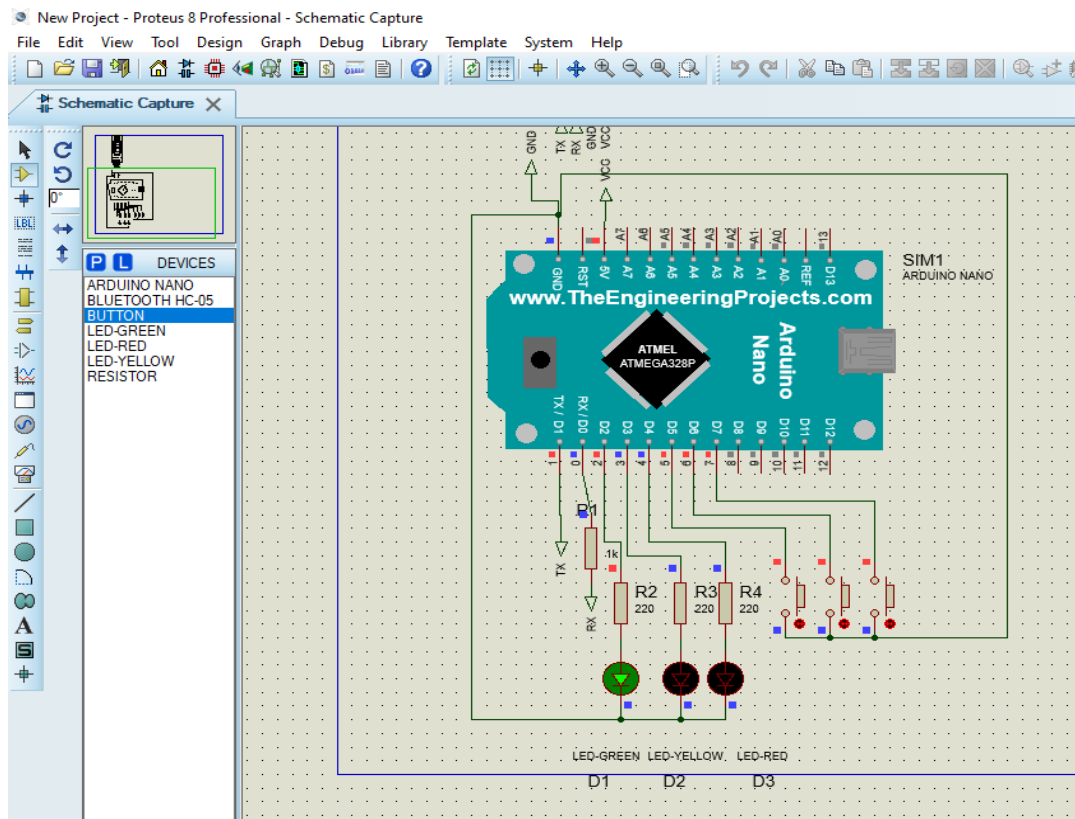
Figura 16. *Programación generada con Arduino*



3. Para simular los diferentes estados de desgaste de la balata, se activaron los interruptores correspondientes a cada entrada:

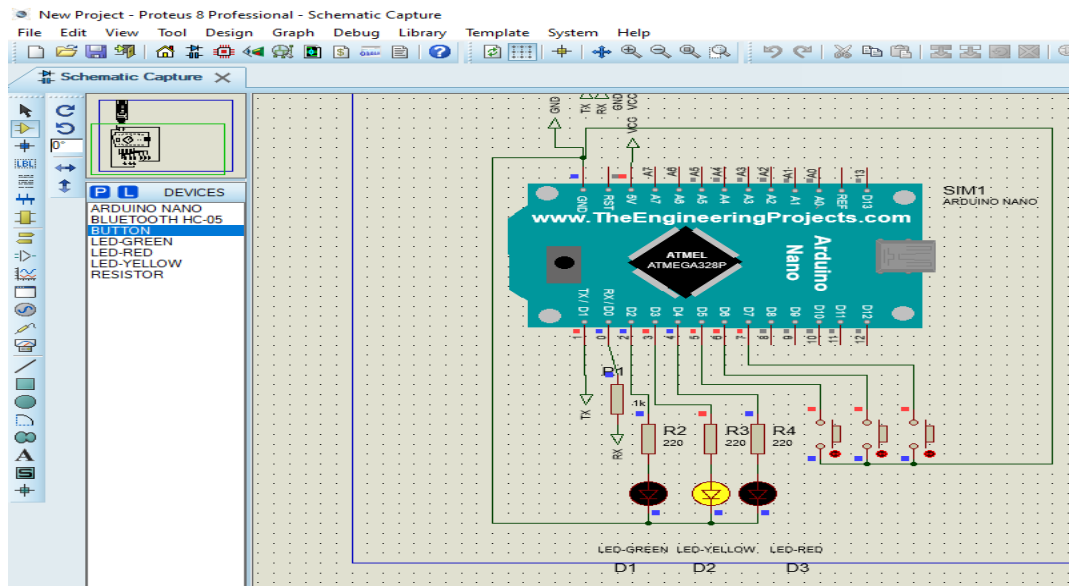
- Entrada D5 (sensor100): Al cerrar el circuito, se encendió el LED verde, indicando que la balata estaba al 100%, como se muestra en la Figura 17.

Figura 17. *Visualización de Led Color Verde*



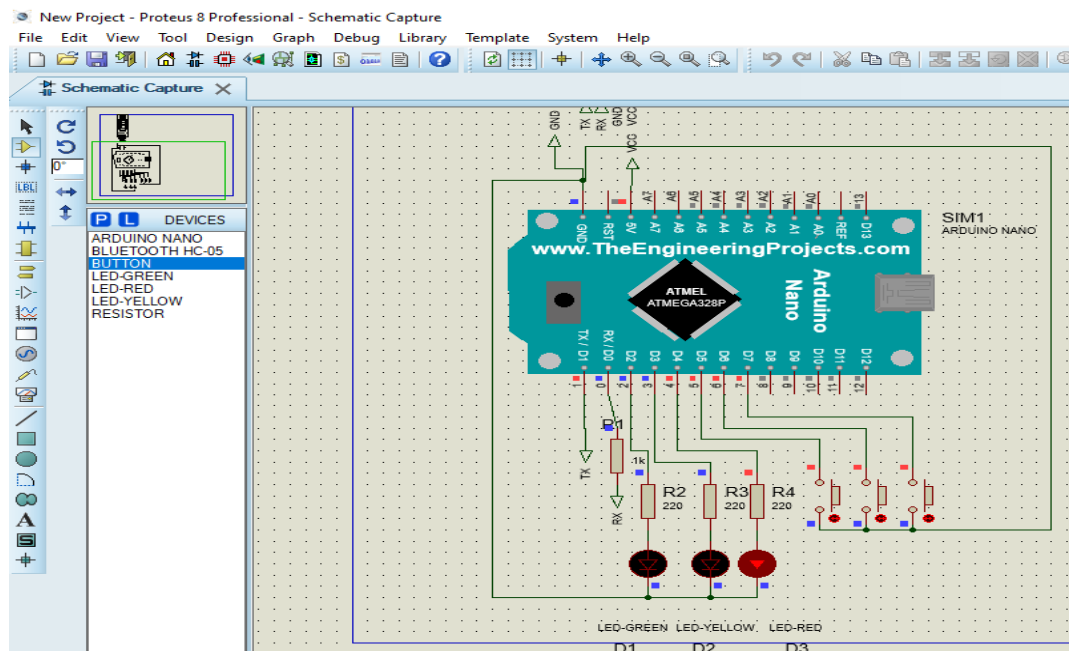
- Entrada D6 (sensor50): Al cerrarse, se activó el LED amarillo, mostrando el desgaste intermedio (50%), como se muestra en la Figura 18.

Figura 18. *Visualización de Led Color Amarillo*



- Entrada D7 (sensor10): Al cerrarse, se encendió el LED rojo, señalando el desgaste crítico (10%), como se muestra en la figura 19.

Figura 19. *Visualización de Led Color Rojo*



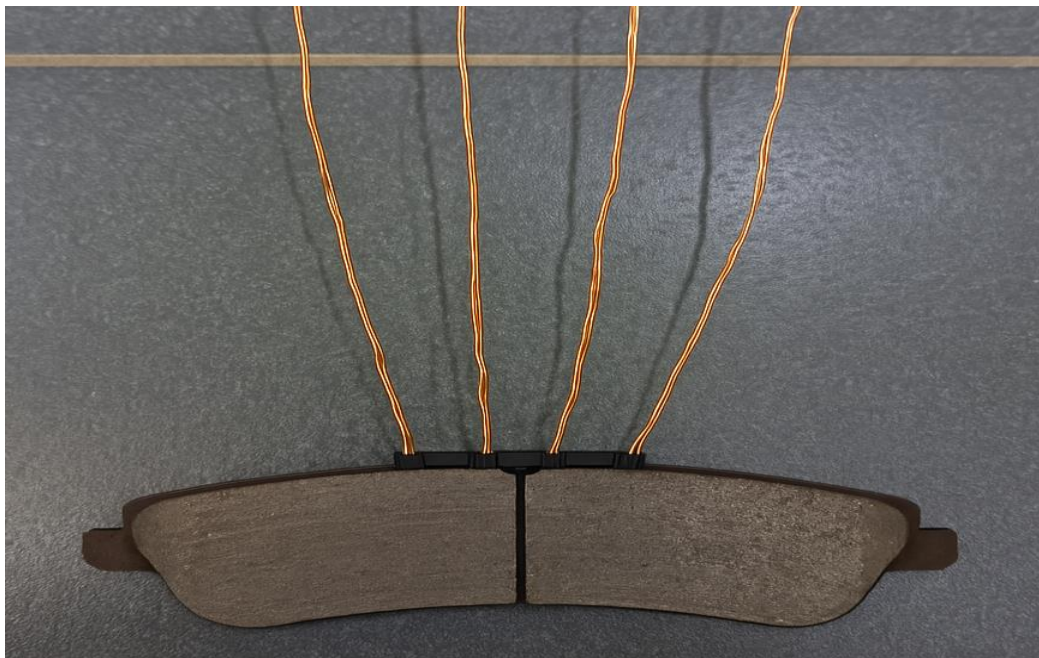
Sensor del Desgaste de Balata Alambre de Cobre Galvanizado

Modelado del Sensor: Se modelará el desgaste del material de fricción utilizando el principio de un alambre de cobre galvanizado a medida que el material de fricción balata se desgasta, el alambre de cobre se romperá.

Esta ruptura se puede interpretar como un cambio en la resistencia o continuidad del circuito.

La señal de salida del sensor podría ser una señal digital Abierto/Cerrado que indique la continuidad o interrupción del alambre, lo que representa el nivel de desgaste y una balata nueva tendrá el circuito cerrado, mientras que una balata desgastada lo tendrá abierto para una simulación más detallada del porcentaje, se podrían considerar múltiples alambres calibrados para romperse en diferentes etapas de desgaste como se muestra en Figura 20.

Figura 20. *Prototipo para medición de balatas*



3.4 Implementación o prototipado

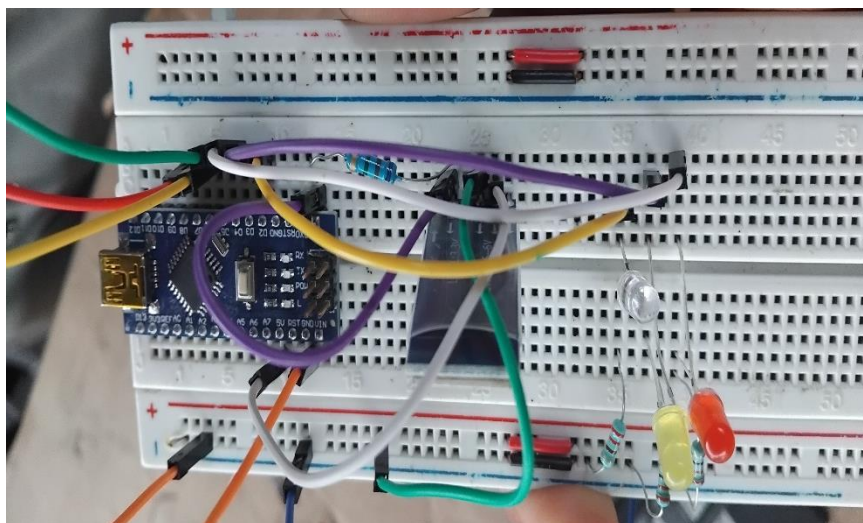
La implementación del prototipo consistió en el armado físico y la programación de un sistema de monitoreo visual del desgaste de una balata, utilizando tecnología y conectividad Bluetooth.

El sistema se diseñó para representar tres niveles de desgaste a través de luces LED de distintos colores, controlados por un microcontrolador Arduino Nano, y una aplicación móvil vía Bluetooth.

1. Montaje del circuito electrónico:

- Se utilizó una placa fenólica para la distribución del circuito.
- Se soldaron los componentes principales: Arduino Nano, módulo Bluetooth HC-05, y diodos LED (verde, amarillo y rojo).
- Se conectaron los LEDs a los pines digitales del Arduino (ej. D2, D3 y D4), utilizando resistencias limitadoras de corriente para protegerlos.
- El módulo HC-05 se conectó a los pines RX y TX del Arduino mediante divisores de voltaje

Para adecuar los niveles de señal.

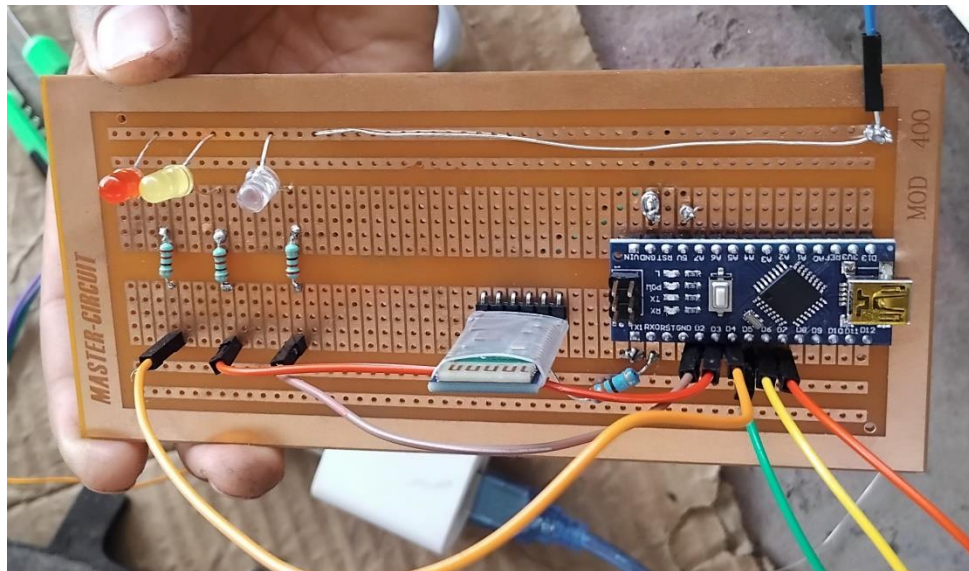


2. Conexión de la fuente de alimentación:

- Se usó una fuente de 5V DC o una batería adecuada para alimentar el sistema de manera portátil.
- Se verificó que el consumo de corriente no sobrepase los límites recomendados para el Arduino y los LEDs

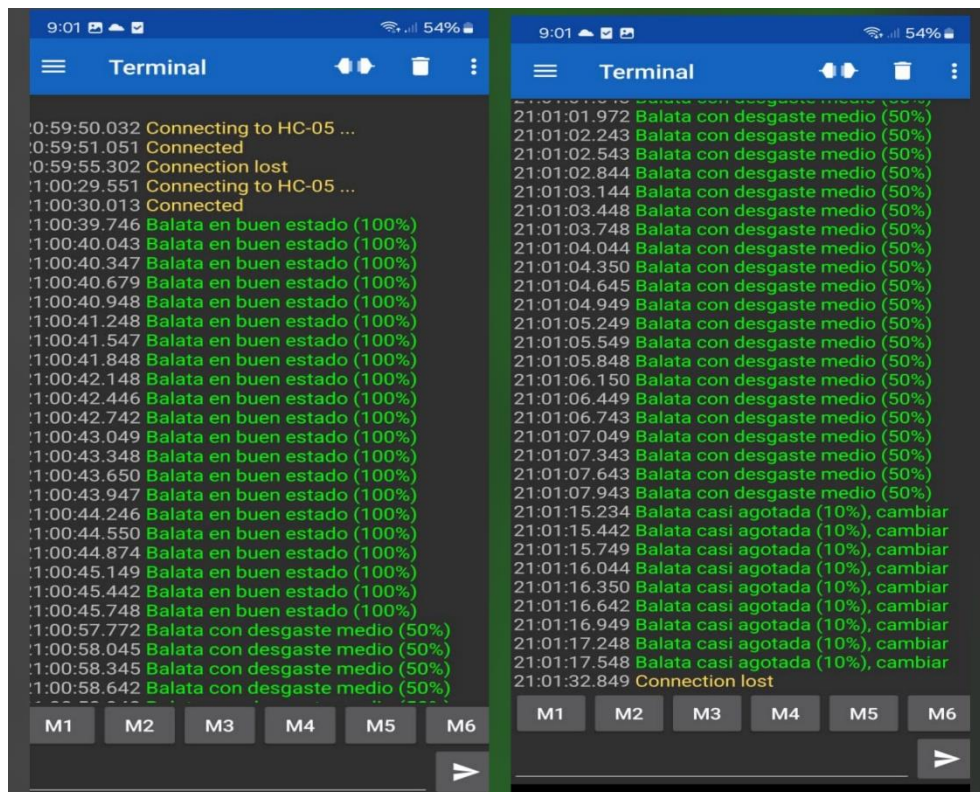
3. Programación del Arduino:

- Se desarrolló un programa que recibe comandos vía Bluetooth y enciende el LED correspondiente al estado de la balata:
- Verde: Balata en buen estado 100%
- Amarillo: Balata con desgaste medio 50%
- Rojo: Balata casi agotada 10% cambiar
- Se utilizó el entorno de desarrollo Arduino IDE para cargar el código.



4. Desarrollo de la aplicación móvil:

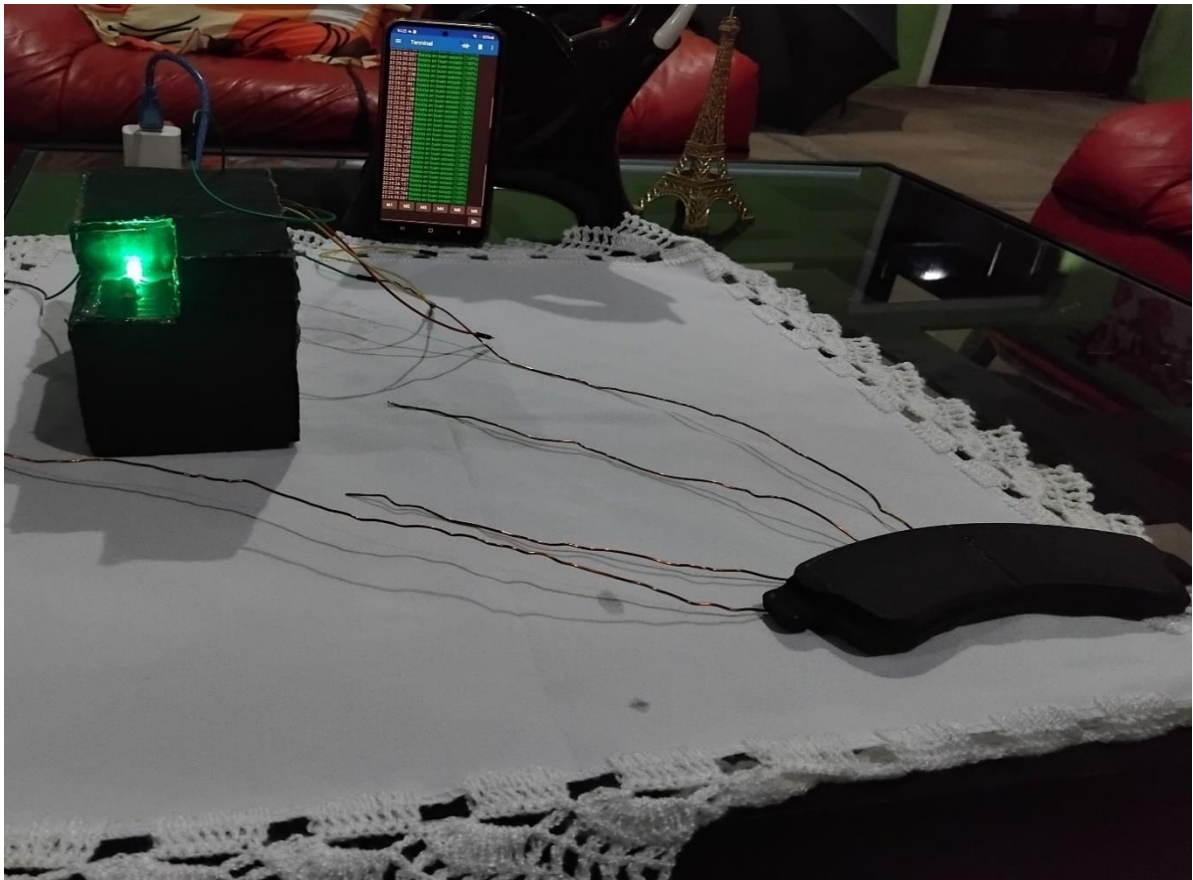
- Se diseñó una app Serial bluetooth terminal para enviar señales de control al módulo Bluetooth.
- La app contiene señales que permiten seleccionar el estado del desgaste, de balata enviando caracteres según corresponda.



5. Pruebas del prototipo:

- Se realizaron pruebas funcionales para verificar que el sistema reaccione correctamente a las señales enviadas desde la app.
- La interacción con el usuario se da a través de una aplicación móvil desarrollada con el nombre serial bluettoth Inventor se observa en la Figura 21 la cual se comunica con el sistema mediante un módulo Bluetooth HC-05, permitiendo enviar señales al Arduino y visualizar mensajes relacionados con el estado de las balatas.

Figura 21. *Prototipo Físico*



3.5 Pruebas o Testing

Esta fase de pruebas es importante para asegurar la fiabilidad, precisión y funcionalidad del sistema inteligente de monitoreo del desgaste de balatas se realizó unas pruebas para validar cada componente y la integración global del sistema.

Prueba 1: Interfaz de Usuario (App Móvil y LEDs)

Verificar que la aplicación móvil establezca correctamente la comunicación vía Bluetooth con el Arduino Nano, y que al seleccionar una opción (estado de desgaste), se encienda el LED correspondiente (verde, amarillo o rojo), indicando el estado de la balata.

Procedimiento de prueba:

1. Encender el módulo Arduino Nano conectado al HC-05.
2. Vincular el teléfono móvil al módulo Bluetooth HC-05.
3. Abrir la aplicación móvil desarrollada en MIT App Inventor.
4. Enviar una señal desde la app
5. Observar la activación del LED correspondiente.

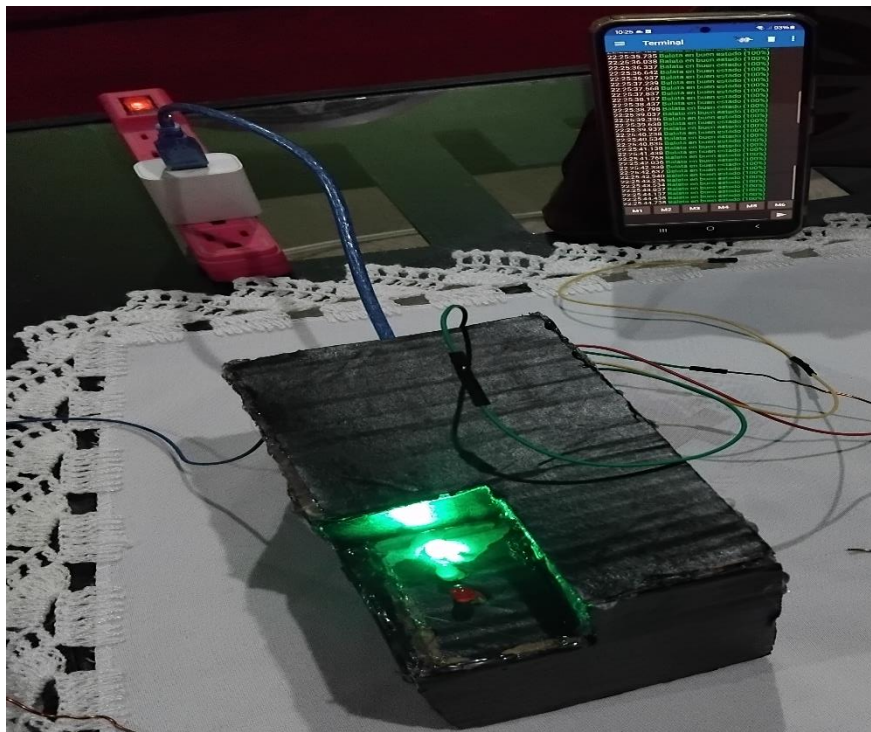
Resultados esperados:

Señal enviada desde App	LED esperado Mensaje en App
Verde	Balata en buen estado (100%)
Amarillo	Balata con desgaste medio (50%)
Rojo	Balata casi agotada (10%) cambiar

Resultados obtenidos:

- La conexión Bluetooth fue exitosa en el 100% de los intentos.
- Los LEDs respondieron correctamente a las señales enviadas
- El mensaje mostrado en pantalla coincidió correctamente con el estado de desgaste simulado.

Conclusión: La prueba fue exitosa se validó que la interfaz de usuario permite operar y monitorear el estado de la balata mediante la app móvil ya que respondió adecuadamente.



Prueba 2: Comunicación inalámbrica Bluetooth

Verificar que el módulo Bluetooth HC-05 se comunique correctamente con la aplicación móvil, permitiendo el envío de comandos desde la app al Arduino Nano, y que estos comandos activen el LED correspondiente (verde, amarillo o rojo) según el nivel de desgaste de la balata.

Procedimiento de prueba:

1. Energizar el sistema (Arduino Nano + HC-05).
2. Asegurar el emparejamiento del HC-05 con el teléfono móvil (por Bluetooth)
3. Ingresar a la aplicación móvil desarrollada en MIT App Inventor.
4. Establecer la conexión con el módulo HC-05 desde la app.
5. Presionar los botones que representan los distintos niveles de desgaste.
6. Observar si se enciende el LED correcto (verde, amarillo o rojo).
7. Verificar que el mensaje mostrado en la app coincida con el nivel de desgaste simulado.

Datos de prueba

Botón en la App	Comando enviado	LED que debe encender	Mensaje en pantalla
100%	A	Verde	Balata en buen estado (100%)
50%	B	Amarillo	Balata con desgaste medio (75%)
10%	C	Rojo	Balata casi agotada 10) Cambiar

Resultados obtenidos:

- La conexión Bluetooth se estableció correctamente en todos los intentos (5/5).
- Los comandos enviados desde la app fueron recibidos por el Arduino en tiempo real (<1 segundo).
- Los tres LEDs respondieron correctamente a los comandos recibidos.
- Los mensajes mostrados en la app coincidieron con el nivel de desgaste indicado.

Conclusión:

La comunicación inalámbrica entre la app y el Arduino Nano mediante el módulo Bluetooth HC-05 fue exitosa. Se confirmó la confiabilidad y rapidez del sistema para transmitir información de estado desde la interfaz móvil hacia el hardware, cumpliendo con los objetivos del proyecto.



Capítulo IV: Resultados y Conclusiones

4.1 Resultados

Se investigaron distintas alternativas de monitoreo y sistemas mecánicos interruptores eléctricos sensores resistivos y digitales sensores capacitivos/piezoeléctricos con IoT) se seleccionó una solución basada en sensor resistivo alambre de cobre galvanizado, Arduino Nano y módulo Bluetooth HC-05, por su bajo costo, fácil implementación y confiabilidad en el monitoreo del desgaste.

Se establecieron las especificaciones del sistema: detección en tres niveles (100%, 75%, 0%), precisión de $\pm 5\%$, tiempo de respuesta ≤ 2 s, compatibilidad con al menos el 80% de modelos de balatas estándar y posibilidad de integración futura.

Pruebas Funcionales y de Campo para el Diseño Detallado

Se diseñó y se implementó un módulo electrónico en placa fenólica compuesto por Arduino Nano, HC-05, LEDs indicadores y resistencias limitadoras para que el módulo mida en tiempo real el desgaste de las balatas y lo representa de manera visual (LED verde, amarillo y rojo) y digital al envío de datos vía Bluetooth a una app móvil

Se realizaron cálculos eléctricos para garantizar precisión y confiabilidad: resistencias de $220\ \Omega$, consumo total $\approx 100\text{ mA}$, disipación de resistencias $< 0.25\text{ W}$ y divisor de voltaje para comunicación HC-05 de igual manera se verificó el funcionamiento en simulación (Proteus) y en el prototipo físico, obteniendo resultados estables

Visualización de Resultados de la Simulación

Se desarrolló una aplicación móvil con interfaz sencilla e intuitiva para que la app permitiera la conexión Bluetooth estable HC-05 en el 100% de los intentos el sistema notificó al usuario en tiempo real mediante mensajes y colores:

Balata en buen estado (100%)

Balata con desgaste medio (50%)

Balata casi agotada (10%) cambiar

Durante pruebas:

Tiempo de respuesta < 1 segundo

Correspondencia 1:1 entre el estado del sensor y la notificación en la app.

La aplicación cumple con la función de alertar oportunamente al conductor mejorando la seguridad y fomentando el mantenimiento preventivo.

Al finalizar el proyecto, los siguientes productos serán entregados como evidencia tangible de los logros alcanzados

Informe técnico completo: Documentación detallada del proceso de desarrollo, incluyendo la investigación previa, diseño del sistema, metodologías utilizadas y resultados obtenidos.

Prototipo funcional del sistema: Un módulo operativo que demuestra la viabilidad y efectividad de la detección del desgaste de las balatas. Esto incluye la interacción del Arduino Nano, el módulo Bluetooth HC-05, la placa fenólica y los LEDs indicadores.

4.2 Conclusiones

En conclusión el Módulo de Sistema Inteligente de Monitoreo del Desgaste del Material de Fricción en Balatas ha demostrado una solución innovadora y altamente efectiva para la seguridad vial y el mantenimiento vehicular preventivo ya que mediante la integración estratégica de un Arduino Nano, un módulo Bluetooth HC-05, y un sistema de basado en alambre de cobre galvanizado y resistencia a calor, se ha logrado un monitoreo continuo y preciso del desgaste de las balatas ya que este sistema ha mostrado una indicación visual clara a través de LEDs tricolores (verde para 100%, amarillo para 50% y rojo para 10% de vida útil) directamente en el módulo, sino que también transmite esta información vital a una aplicación móvil intuitiva, superando significativamente las limitaciones de los métodos tradicionales de inspección los resultados obtenidos validan la alta precisión en la detección de los niveles de desgaste y la robustez de la conectividad, lo que posiciona que el proyecto como un avance crucial que contribuye directamente a la seguridad automotriz y sienta las bases para futuros sistemas de monitoreo inteligente, alineados con las tendencias de movilidad conectada y autónoma.

Conclusión el sistema desarrollado para el monitoreo del desgaste de las balatas mediante tres interfaces LED y transmisión Bluetooth ha alcanzado los objetivos planteados al inicio del proyecto lo que se hace una implementación del sistema ha demostrado ser exitosa en cuanto a su precisión, fiabilidad y facilidad de uso tiene la inteligencia tanto en condiciones de simulación como en pruebas de campo, funcionando correctamente en diversos entornos y alcanzando el objetivo general de proporcionar una herramienta útil para los conductores en la gestión del desgaste de las balatas.

Capítulo V: Competencias desarrolladas y/o aplicadas

El desarrollo de este proyecto permitió la integración de conocimientos teóricos y prácticos, fomentando el fortalecimiento de competencias profesionales, técnicas y personales en el área de la ingeniería. Durante la planeación, diseño, implementación y validación del Módulo de Monitoreo Inteligente de Desgaste en Balatas, se desarrollaron y aplicaron las siguientes competencias

Diseño e integración de sistemas electrónicos:

Se aplicaron conocimientos de electrónica para seleccionar, calcular y ensamblar componentes como resistencias, diodos LED, cableado, placa fenólica y sensores, garantizando el correcto funcionamiento del sistema.

Programación de microcontroladores:

Se desarrolló y cargó el código en el Arduino Nano, empleando lenguaje C/C++ en el entorno de Arduino IDE, lo que permitió gestionar la lectura de señales y la activación de salidas de estado (100%, 50% y 10% de desgaste).

Comunicación inalámbrica:

Se configuró y empleó el módulo Bluetooth HC-05 para la transmisión de datos hacia la aplicación móvil, consolidando la competencia en el diseño de sistemas.

Diseño de interfaces de usuario:

Se elaboró una aplicación móvil básica para recibir los datos enviados por el Arduino Nano, mostrando en tiempo real el estado de las balatas al usuario.

Simulación y validación del sistema:

Se realizaron pruebas de simulación de desgaste y su respuesta en el prototipo, garantizando la fiabilidad del sistema antes de su uso real.

Autonomía y autoaprendizaje:

La investigación sobre el uso de módulos electrónicos, programación en Arduino y desarrollo de aplicaciones móviles permitió ampliar los conocimientos de manera autodidacta.

Creatividad e innovación:

Se generó una propuesta tecnológica innovadora en el área automotriz, con potencial de aplicación en sistemas inteligentes de mantenimiento preventivo.

Responsabilidad y disciplina:

El cumplimiento de los objetivos planteados exigió compromiso, constancia y gestión eficiente del tiempo. Se realizaron pruebas de simulación de desgaste y su respuesta en el prototipo, garantizando la fiabilidad del sistema antes de su uso real.

Referencias

- Aguirre, C. A. (2022). Análisis del mecanismo de desgaste en pastillas de freno de material compuesto en vehículos utilitarios (Tesis de maestría). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Recuperado de <http://dspace.espoch.edu.ec/bitstream/123456789/16181/1/25T00436>.
- Asimra. (2021). Indicadores visuales de desgaste en balatas de automóvil. Recuperado de <https://www.asimra.org>
- Bosch Mobility. (s.f.). Sensor de desgaste de pastillas de freno. Recuperado de <https://www.bosch-mobility.com/en/solutions/sensors/brake-pad-wear-sensor>
- Cuadra Silva, F., Rivera Ramírez, J. J., & Cobos de los Santos, J. D. (2020). Monitoreo del sistema de frenos. CIATEQ. Recuperado de <http://ciateq.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1020/485>
- Evans, C. K., & Castrilli, P. (2012). Wireless brake electronic wear sensors (U.S. Patent No. US8310356B2). United States Patent and Trademark Office. <https://patents.google.com/patent/US8310356B2>
- Fonseca Heras, J. E., Guashpa Rumipamba, E. C., Pérez Chafla, S. A., Zuluaga Yela, E. D., & Reyes Espíndola, J. A. (2024). Informe de sistemas de frenos. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. https://www.researchgate.net/publication/382491045_INFORME_SISTEMA_DE_FRENOS
- González, J. L., & Pérez, M. A. (2016). Sistema de monitoreo de desgaste de frenos mediante sensores piezorresistivos integrados. Revista Mexicana de Ingeniería Automotriz, 12(3), 45–58. <https://doi.org/10.1016/j.rmia.2016.03.002>
- Gronowicz, W. (2001). Brake pad wear sensor (U.S. Patent No. 6,302,241 B1). United States Patent and Trademark Office. <https://patents.google.com/patent/US6302241B1>

- Jaiswal, S. (2021). Design and working of brake pad wear indicating system. International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET), 8(5), 2285–2291. Recuperado de https://www.academia.edu/98141716/Design_and_Working_of_Brake_Pad_Wear_Indicating_System
- Jensen, K. M., Santos, I. F., & Corstens, H. J. P. (2024). Prediction of brake pad wear and remaining useful life considering varying vehicle mass and an experimental holistic approach. Wear, 552–553, 205433. <https://doi.org/10.1016/j.wear.2024.205433>
- Market Research Intellect. (2024). Automotive Brake Wear Sensors Market Size, Share | Industry Research Report 2032. <https://www.marketresearchintellect.com/product/automotive-brake-wear-sensors-market-size-and-forecast>
- Nguyen, H., & Tran, D. (2021). Condition monitoring of vehicle brake systems using wireless sensors. Sensors, 21(9), 3128. <https://doi.org/10.3390/s21093128>
- Red Hat. (2023, 20 de enero). ¿Qué es el Internet de las cosas (IoT) y cómo funciona? Recuperado de <https://www.redhat.com/es/topics/internet-of-things/what-is-iot>
- Verma, P. C., & Singh, P. K. (2022). A review on recent development and challenges in automotive brake pad-disc system. Procedia Materials Science, 2(1), 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.mspro.2022.01.001>
- Wang, S., Yu, Z., Wang, J., & Chen, S. (2023). Research on CNN-LSTM brake pad wear condition monitoring based on GTO multi-objective optimization. Actuators, 12(7), 301. <https://doi.org/10.3390/act12070301>
- Yáñez, I., & Guzmán, A. (2022). Sistema de inteligencia artificial para el control de frenado de un automóvil. ESPOCH Congresses: The Ecuadorian Journal of S.T.E.A.M., 2(4), 1131–1145. <https://doi.org/10.18502/epoch.v2i4.11742>
- Yilmaz, M., & Kose, S. (2021). Design and experimental validation of a wireless brake pad wear sensor. Measurement, 171, 108782. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2020.108782>

Zhang, J., Liu, Y., & Zhang, L. (2011). Piezoresistive pressure sensor for tire pressure measurement system. Science.gov. Recuperado de

<https://www.science.gov/topicpages/p/piezoresistive%2Bpressure%2Bsensor>

Wang, S., Yu, Z., Wang, J., & Chen, S. (2023). Research on CNN-LSTM brake pad wear condition monitoring based on GTO multi-objective optimization. Actuators, 12(7), 301.

<https://doi.org/10.3390/act12070301>

