



Benemérita Universidad Autónoma de
Puebla

Facultad de Ciencias de la Electrónica

**“Desarrollo de un Prototipo con
Aplicación Móvil para la Medición en
Tiempo Real de Imperfecciones en
Superficies Asfálticas”**

Tesis presentada para obtener el grado de
Licenciatura en Ingeniería en Sistemas Automotrices

Presenta:

Daniel Beltrán Castellanos

Director:

Dr. Roberto Carlos Ambrosio Lázaro

Asesor:

Dr. Filiberto Candia García



H. Puebla de Zaragoza, Diciembre 2024

Agradecimientos

Le agradezco a Dios por la vida, su guía y su presencia a lo largo de la carrera, por los aprendizajes que tuve en esta etapa y por ser el fundamento en el que me apoyo siempre.

A mi familia que siempre estuvo para alentarme en los momentos difíciles, a quienes aprecio y que son ejemplo e impulso para seguir adelante.

A mis asesores de tesis al Dr. Roberto Carlos Ambrosio Lázaro y en especial a Rene Lázaro Pacheco Luna que me brindaban de sus experiencias y conocimientos.

A la Facultad de Ciencias de la Electrónica por permitirme trabajar en las instalaciones y utilizar el vehículo de pruebas para poder realizar este proyecto.

Índice

<i>CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN.....</i>	<i>1</i>
<i>JUSTIFICACIÓN</i>	<i>5</i>
<i>OBJETIVO GENERAL</i>	<i>8</i>
<i>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</i>	<i>8</i>
<i>CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO</i>	<i>9</i>
<i>Adherencia del neumático al asfalto.....</i>	<i>11</i>
<i>El concepto de distancia de frenado</i>	<i>14</i>
<i>Sistema principal de frenos</i>	<i>15</i>
<i>Sistemas de frenado de disco y tambor</i>	<i>15</i>
<i>Frenos antibloqueo.....</i>	<i>16</i>
<i>El sistema de suspensión.....</i>	<i>17</i>
<i>Barra estabilizadora</i>	<i>22</i>
<i>Círculo de tracción</i>	<i>23</i>
<i>La deriva.....</i>	<i>24</i>
<i>Vehículo sobrevirado.....</i>	<i>24</i>
<i>Vehículo subvirador.....</i>	<i>25</i>
<i>La microtextura y macrotextura en la adherencia.....</i>	<i>26</i>
<i>Medición de la rugosidad</i>	<i>27</i>
<i>Programación por bloques</i>	<i>31</i>

<i>MIT App Inventor</i>	32
<i>Entorno de desarrollo</i>	34
<i>Control</i>	35
<i>Lógica</i>	36
<i>Matemáticas</i>	36
<i>Texto</i>	37
<i>Listas</i>	37
<i>Diccionarios</i>	38
<i>Colores</i>	38
<i>Variables</i>	39
<i>Procedimientos</i>	39
<i>Bluetooth</i>	40
<i>Acelerómetro</i>	41
<i>CAPÍTULO 3. DISEÑO EXPERIMENTAL</i>	42
<i>Diagrama de aplicación móvil</i>	45
<i>Desarrollo de aplicación</i>	46
<i>Programación Arduino</i>	57
<i>Entorno Virtual</i>	60
<i>Implementación</i>	62
<i>Acondicionamiento</i>	66

<i>CAPÍTULO 4. RESULTADOS</i>	68
<i>CONCLUSIONES</i>	75
<i>RECOMENDACIONES</i>	77
<i>REFERENCIAS</i>	78
<i>ANEXO</i>	82

Capítulo I

Introducción

La industria automotriz es un sector clave para la sociedad mexicana actual, el sector siempre está en constante actualización, empezando desde 1886 en donde se registra la primera patente de un vehículo alimentado a gasolina [1] hasta el presente año 2024 en el que se escuchan conceptos como electromovilidad, vehículos eléctricos, vehículos híbridos y vehículos de hidrógeno, en general los vehículos han revolucionado la forma en que las sociedades se mueven, siempre teniendo en la mira una movilidad sustentable, cómoda, eficiente, conectando lugares, actividades económicas y mejorando la experiencia en la conducción.

En México la industria automotriz es considerada como un sector económico muy importante, según la Asociación Mexicana de la Industria Automotriz (AMIA) es el mayor generador de divisas, es el 5to exportador mundial de vehículos ligeros y el 7mo fabricante de vehículos en el mundo [2]. A esto se le suma que se contabilizó el parque vehicular en México en el año 2024 de más de 49 millones de vehículos según cifras del INEGI [3].

Tipo de vehículo	2024	
	Enero	Febrero
Automóvil	37,080,673	37,128,768
Camión de pasajero	1,047,224	1,094,612
Camión de carga	11,606,713	11,629,092

Tabla 1. vehículos de motor registrados en circulación.

El territorio mexicano es de alrededor de 1.973 millones km² y una cuenta con una red de carreteras de 178,217 km [La suma de kilómetros simplifica aquellas líneas paralelas modeladas por existencia de camellón o barra separadora (flujo y contraflujo de un solo sentido de circulación vehicular), dividiendo el total de kilómetros entre dos, para obtener un valor unificado en longitud.] Las tablas 2 y 3 muestran la distribución de la red de carreteras en kilómetros y en el tipo de camino.

Carreteras federales	51,339 km
Carreteras estatales	103,023 km
Otros (municipales, particulares)	23,855 km
Total	178,217 km

Tabla 2. Longitud y tipo de carreteras en México.

Vialidades urbanas e infraestructura de enlace	130,642 km
Caminos NO pavimentados	527,744 km
Veredas	21,463 km
Carreteras de cuota	11,094 km

Tabla 3. Longitud y tipo de vías en México.

Si se habla el tema de inversiones tanto pública y privada en carreteras federales de cuota en 2022 ascendió a 23 mil 685 millones de pesos, 58.9 % menos que la realizada en 2019 previo a la pandemia, de acuerdo con la Auditoría Superior de la Federación (ASF).

En tanto, la inversión en conservación de carreteras federales libres de peaje en 2022 fue de 11 mil 126.1 millones de pesos, una caída de casi 24% respecto a 2019. La dependencia redujo 12.9% las actividades de conservación carretera libre de peaje, pues en 2019, por ejemplo, se dio mantenimiento a 56 mil 700 kilómetros y en 2022 sólo a 49 mil 400 km.

La ASF recomendó a la Secretaría de Infraestructura, Comunicaciones y Transportes (SICT) realizar gestiones para elaborar programas de inversión de corto, mediano y largo plazo en construcción, modernización, ampliación y conservación de carreteras de cuota o concesionadas [4].

En este contexto el presupuesto destinado al mantenimiento, creación y modernización de las carreteras en México se ha reducido, esto se traduce en un evidente deterioro de la calidad de la carpeta asfáltica, basta con recorrer algunas colonias de la ciudad de Puebla para ver que las calles presentan poco o nulo mantenimiento, baches, deformaciones, grietas, parches o abultamiento de asfalto, entre otros problemas que se generan por la circulación de vehículos, las condiciones climáticas, el incremento de temperatura y poco presupuesto.

Existen múltiples estudios internacionales [5][6][7] que resaltan la relación directa entre el coeficiente de rozamiento de una carretera y la accidentalidad. Por ejemplo, la Administración Federal de Carreteras (FHWA) de Estados Unidos dice que un tratamiento de superficie de alta fricción es un tratamiento al pavimento que reducen dramática e inmediatamente los choques, lesiones y muertes asociados con problemas de demanda de fricción. Se estima que reduce los choques sobre pavimento mojado en un 83% y los choques totales en un 57% [8].

Según Ecoasfalt S.A una empresa certificada en ISO 9001 y especialista en infraestructura vial dice que una carretera en mal estado dificulta el acceso a una zona, por lo tanto, a servicios básicos como salud o educación, también acrecienta el consumo de combustible de los vehículos hasta un 34% y disminuye la vida útil de los vehículos hasta un 25%. Un pavimento en mal estado supone además un aumento de hasta un 34% de las emisiones de gases de efecto invernadero, con sus consecuentes problemas medioambientales y riesgos para la salud.

Si también se suma que irregularidades en el pavimento conllevan un alto nivel de vibraciones que suponen daños en la carrocería y estructuras del habitáculo (asiento, tablero, puertas, etc.), deformaciones de los neumáticos y en algunos casos extremos la rueda completa (llanta más neumático), el aumento de frecuencia de revisiones y el aumento del consumo de combustible [9].

Los neumáticos son el punto que relaciona el automóvil con el asfalto, también hay una relación significativa con la seguridad vial, el rendimiento y eficacia del automóvil en esta relación, para aprovechar y sacar el mayor beneficio a nuestros neumáticos es importante seguir las recomendaciones que ofrecen cada uno de los fabricantes con respecto a la presión del aire, la alineación y el balanceo.

Los beneficios de mantener los neumáticos en buenas condiciones se traducen en una mayor adherencia a la carretera, logrando un mejor control del automóvil en diferentes condiciones climáticas y de conducción, reduce la distancia de frenado, lo que permite reducir el riesgo de accidentes ante situaciones imprevistas, ahorro económico tanto en consumo de combustible y baja la frecuencia de cambio de neumáticos, cuidado ambiental con la reducción de partículas de CO₂ y reducción de desechos de neumáticos.

Aunque los beneficios son compartidos una parte por el buen mantenimiento de los neumáticos y otra parte por la calidad del asfalto, se sabe que las calles son transitadas por miles de usuarios, es normal que haya un desgaste en el asfalto que se produce como resultado del tráfico vehicular, las condiciones climáticas entre otros factores.

El número de accidentes vehiculares en 2022 según el INEGI fueron alrededor de 377 mil 231 siniestros en zonas urbanas y suburbanas, un número a considerar, si se analizan las principales causas de estos accidentes se debe al conductor, al peatón, a las fallas del automóvil y a las malas condiciones del camino, de las cuatro principales causas por lo menos dos tipos de causas están muy relacionadas con la posible falta de adherencia entre

el neumático y el asfalto. Solo el 3% fue causado por la salida del camino, para evitar este tipo de accidentes se deben ubicar las zonas en las que es muy probable encontrar distorsiones y asfalto con poca adherencia [10].

Uno de los problemas que menos se ha estudiado y documentado es la calidad del asfalto en México, contar con un vehículo de pruebas que pueda medir las variaciones del asfalto, mapeando en tiempo real y que de manera semi-automatizada vaya marcando en un mapa en donde se han detectado variaciones en el asfalto, es un área de oportunidad que se ha detectado y se espera que este trabajo ponga los cimientos de una posible solución.

Justificación

Las carreteras y calles de la ciudad de Puebla son parte esencial para el traslado de bienes y mercancías, en ellas transitan cientos de vehículos transportando a millones de poblanos, en el 2020 se proyectó que en la entidad de Puebla el tiempo de traslado de la casa al trabajo fue de 31.1 minutos, el 77.4% de la población (1,947,036 habitantes) tarda menos de una hora en trasladarse, por otro lado, el tiempo de traslado de la casa a la escuela fue de 19 minutos, el 95.2% de la población tarda menos de una hora de traslado y el 3.5% tarda más de 1 hora de traslado véase figura 1.

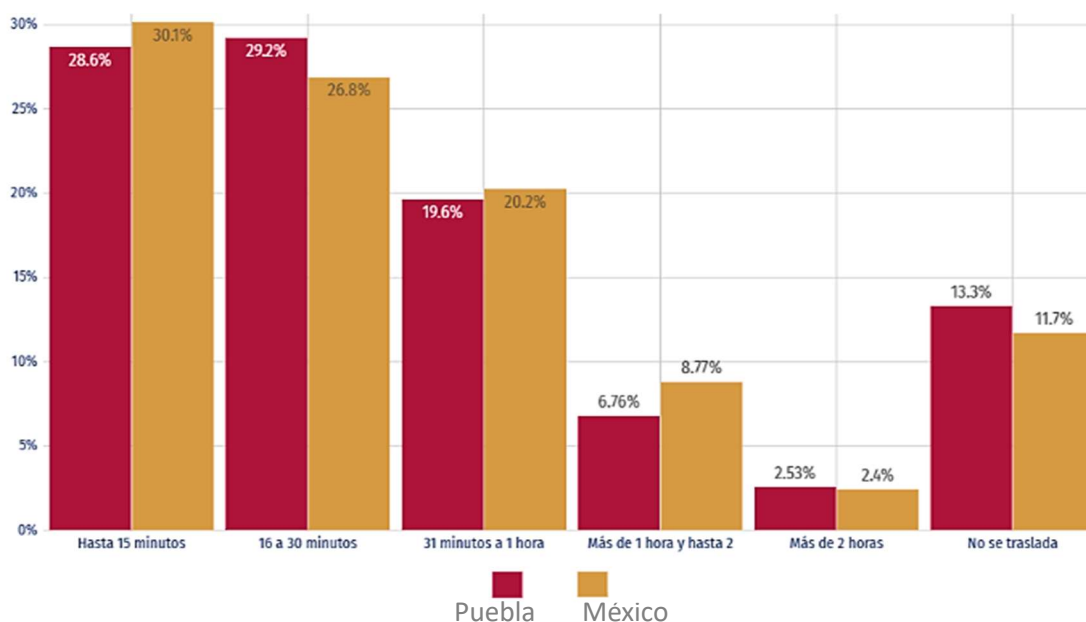


Fig.1 Relación entre población y tiempo de traslado al trabajo según Data México [11].

En ese mismo año 2020 el 36.6% de la población usó un medio de transporte motorizado como el camión, taxi, combi, o colectivo para llegar de su casa al lugar en que trabajaba y el 63.2% de la población en relación con transportarse de su casa al lugar de estudios usó un transporte motorizado como el camión, taxi, combi, o colectivo véase figura 2 [12].

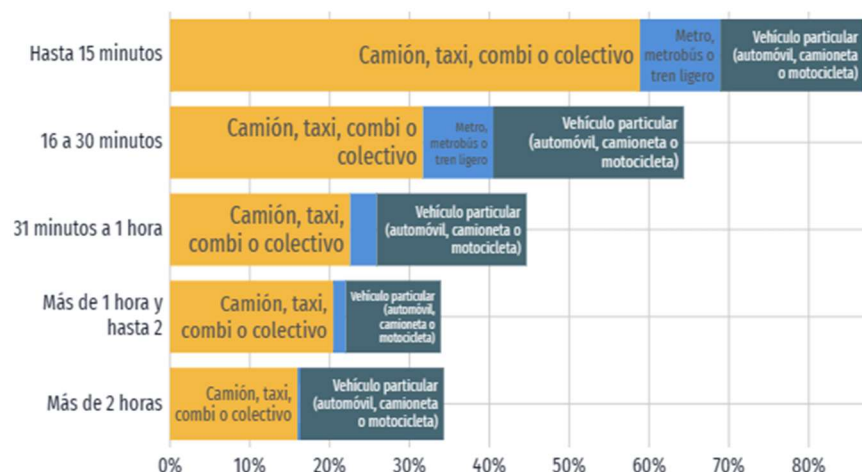


Fig. 2 Tipo de transporte por tiempo de traslado según Data México [13].

La combinación de vehículos y la cantidad de tiempo que se utilizan las vialidades da como resultado el deterioro, se menciona la entidad de Puebla como un ejemplo más específico, a nivel federal se estaría hablando en millones de personas transitando por diferentes vialidades, entonces dar mantenimiento a las calles y carreteras puede llegar a ser un desafío y algo costoso, especialmente cuando la población va en aumento y hay un incremento en los vehículos particulares, es evidente que se necesita determinar donde hay una pobre calidad del asfalto y dar mantenimientos en los lugares correctos.

Las principales causas por las que este estudio es clave, en primer lugar, porque la calidad del pavimento juega un papel crítico en la seguridad de los usuarios y peatones, visto anteriormente en cifras en la ciudad de Puebla, calles y carreteras poseen un índice internacional de rugosidad (IRI) elevado debido al deterioro del asfalto, esto puede aumentar el riesgo de accidentes recordando que se debe circular con mucha precaución especialmente durante condiciones climáticas adversas como lluvias o neblina. Identificar áreas de mejora puede reducir los incidentes viales asociados con el desgaste del asfalto y de las llantas.

El desgaste prematuro de los neumáticos debido a las condiciones del pavimento no solo afecta la seguridad, sino también los costos por mantenimiento de los vehículos principalmente a los amortiguadores de las llantas, al sistema de frenado y los posibles desajustes por vibraciones transmitidas por la condición del asfalto.

Los neumáticos desgastados liberan partículas contaminantes en el aire, mientras un reemplazo frecuente de llantas desgastadas contribuye a la generación de residuos y la mayoría de los casos no reutilizables. Al mejorar la calidad del asfalto, se promueve una conducción más eficiente reduciendo la quema de combustibles, reduciendo la frecuencia de visitas a la gasolinería y se ve incrementado el ahorro en el cambio de neumáticos.

En temas de inversión económica, el presupuesto que se otorga al mantenimiento vial es limitado, por eso la importancia de identificar los tramos con más defectos para optimizar los recursos disponibles. Mejorar la calidad del asfalto maximiza el retorno de inversión al reducir los costos asociados con el desgaste vehicular y los costos por accidentes. Tener datos en tiempo real pueden guiar a la toma de decisiones sobre inversiones en mantenimiento y rehabilitación de carreteras, contribuyendo así a mejorar la calidad de vida de los usuarios de las vías públicas.

Hay métodos que se encargan de medir estos desplazamientos tal es el caso del Índice Internacional de Rugosidad (IRI) que se basa en la acumulación de desplazamientos en valor absoluto de la masa superior con respecto a la masa inferior (medidos en milímetros, metros o pulgadas), que se produce debido a los movimientos del vehículo cuando viaja a una velocidad de 80 km/h. Este índice se estudiará más adelante, aunque este proyecto no medirá el IRI si se utilizará la escala de la figura 3 para limitar las pruebas a realizar con el vehículo hasta pavimentos viejos, asfaltos con mayor daño no se les harán pruebas.

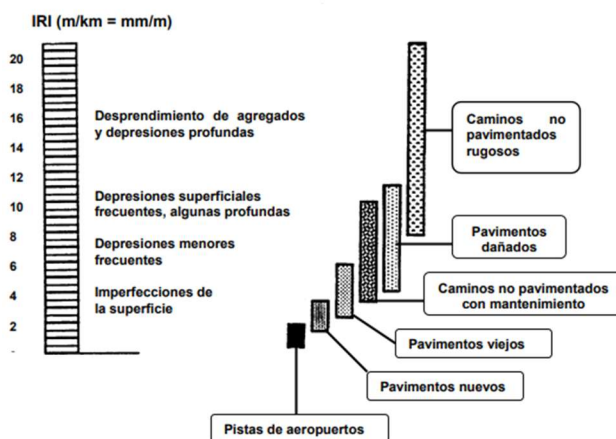


Fig. 3 Escala del IRI expresada en m/km y mm/m según la SCT [14].

En México es importante evaluar el Índice Internacional de Rugosidad y establecer parámetros, en tramos pavimentados de prueba donde se han realizado cálculos del IRI se observan valores comprendidos entre 1.6 y 8 m/Km., siendo los más comunes y representativos, los tramos que resultaron con valores entre 3 y 6 m/km. Saber el estado actual de la red carretera en México nos evitará sobrecostos antes mencionados, se pueden determinar las principales causas de su deterioro e implementar un mejor tratamiento a la carpeta asfáltica y que tramos no es necesario un mantenimiento [15].

En resumen, esta investigación abordar el problema crítico en el campo de la ingeniería y la seguridad vial, con el objetivo de proporcionar soluciones prácticas que busca el beneficio tanto a los usuarios, la seguridad y al medio ambiente. Este estudio tiene su fundamento en la necesidad de mostrar en tiempo real la ubicación de donde hay variaciones pronunciadas en el asfalto, fomentar una conducción más eficiente y la seguridad del transporte.

Objetivo General

Desarrollar una aplicación para dispositivos móviles Android que grafique y muestre la ubicación de imperfecciones más sobresalientes en la carpeta asfáltica con ayuda de un vehículo de pruebas acondicionado con sensores de movimiento.

Objetivos Específicos

- Buscar información documentada de la relación entre neumático y asfalto, así como artículos que hablen sobre la rugosidad y fricción del asfalto.
- Contar con los dispositivos electrónicos que tomarán las mediciones e implementar la instrumentación en nuestro vehículo de pruebas.
- Desarrollar la aplicación móvil Android con programación de bloques y enlazar nuestros sensores instalados en nuestro vehículo de pruebas.
- Generar un entorno virtual para probar cada etapa de desarrollo de la aplicación móvil.
- Plasmar los resultados finales y procedimientos en el documento de tesis.

Capítulo II

Marco Teórico

El Informe sobre la situación mundial de la seguridad vial publicado en 2023 por la Organización Mundial de la Salud (OMS) muestra que, en el año 2021 se produjeron 1,19 millones de muertes por accidentes de tráfico, una caída del 5% si se compara con los 1,25 millones de muertes en 2010. Lo que significa que los accidentes de tránsito matan a una persona cada dos minutos y que se producen más de 3,200 defunciones al día. Estos accidentes siguen siendo la principal causa de muerte de los niños y jóvenes de 5 a 29 años.

Según el informe, las defunciones de peatones aumentaron en un 3%, hasta 274,000, entre 2010 y 2021 (lo que representa el 23% del total mundial) y las de ciclistas, casi en un 20%, hasta 71,000 (el 6% del total). Los estudios muestran que el 80% de las carreteras no cumplen las normas de seguridad para peatones y que solo el 0,2% tienen carriles para ciclistas. Si se tiene en cuenta que 9 de cada 10 personas encuestadas se consideran prioritariamente peatones, resulta preocupante que sólo una cuarta parte de los países apliquen políticas de fomento de los desplazamientos a pie, en bicicleta y en transporte público [16].

La seguridad en la movilidad debe ser un tema de interés ya que las cifras de la OMS son llamativas por la cantidad de defunciones que se pueden derivar al conducir a un automóvil, la reducción de estas cifras es de carácter casi obligatorio, esto implementando políticas que ayuden a mejorar la infraestructura de los caminos, adjuntarle a la infraestructura y a la poca adherencia todas las causas de accidentes sería un error.

El factor humano, su estado físico y psicológico aunado a la capacidad de reaccionar ante un riesgo potencial sea de acción rápida sobre el pedal de freno, en cualquiera de estos casos es importante la educación vial e implementar campañas de concientización. El factor de la infraestructura de los caminos es también muy importante, tener un buen trazado, una correcta señalización y el tratamiento adecuado a la carpeta asfáltica para soportar diversos factores como los meteorológicos y la cantidad de tráfico que circula. Por último, se tiene el factor vehículo, nuevos sistemas como los de asistencia de frenado, los frenos antibloqueo y las suspensiones electrónicas, estos sistemas ayudan a evitar todo tipo de accidente, elegir el correcto compuesto de neumáticos, así también mantenerlos en la presión correcta y revisar la profundidad de su dibujo son aspectos importantes en la seguridad vial véase la figura 4.

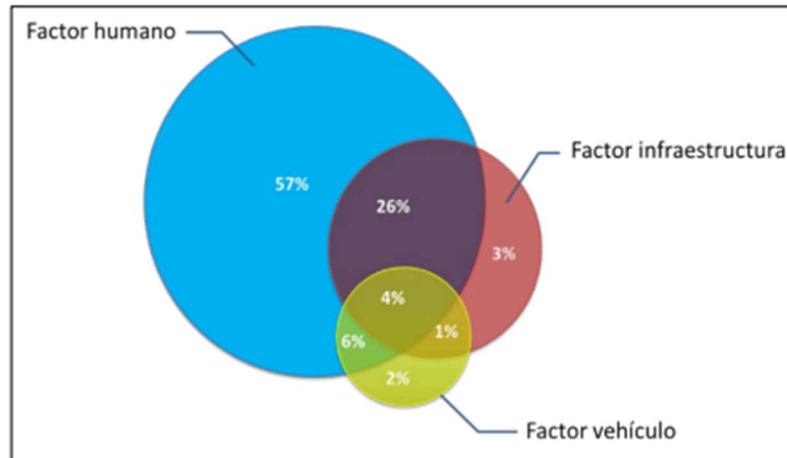


Fig. 4 Factores que intervienen y/o provocan un accidente de tránsito [17].

Adherencia del neumático al asfalto

Hay dos formas de incrementar esta adherencia, por un lado, si se mantienen en buen estado la carpeta asfáltica y utilizando los neumáticos adecuados para el tipo de camino, manteniendo un buen balanceo, una buena alineación de estos. La dinámica del vehículo y su comportamiento en carretera están estrechamente ligados al desempeño de los neumáticos. El neumático y asfalto trabajan juntos, las deficiencias que tenga uno el otro las debe de suplir, un accidente es muy posible cuando ambos fallan.

La rigidez del neumático se define como su capacidad para resistir la deformación bajo cargas externas, y esta propiedad desempeña un papel crucial en el control del balanceo y la inclinación del vehículo. La carga normal del neumático, que es la fuerza perpendicular ejercida por el vehículo sobre el neumático en contacto con la carretera, afecta directamente a su rigidez tanto en curvas como en línea recta véase la figura 5.

Las fuerzas de rozamiento entre las ruedas y la superficie se generan durante la aceleración, frenado o cambio de dirección del vehículo, provocando cambios en el área de contacto que afectan la resistencia al deslizamiento debido a las características superficiales, como la macrotextura del asfalto y las propiedades del neumático, incluyendo su geometría, presión de inflado, tipo de caucho y propiedades viscoelásticas. Los neumáticos actúan como el vínculo entre el automóvil y la carretera, transmitiendo las fuerzas y momentos necesarios para el movimiento.

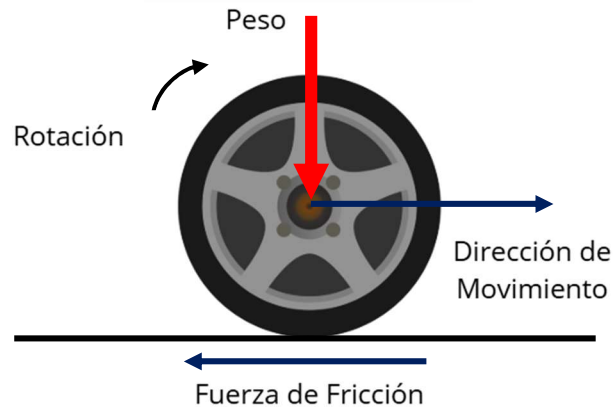


Fig. 5 Diagrama de fuerzas actuando sobre el neumático.

El hidroplaneo, ocurre cuando una capa de agua interfiere entre el neumático y la carretera, provoca que el neumático se levante y pierda adherencia. Esto impide que el neumático transmita las fuerzas y momentos necesarios para que el vehículo responda adecuadamente a las acciones del conductor. La posibilidad de deslizamiento se incrementa considerablemente en superficies mojadas. La resistencia al deslizamiento en mojado es un indicador fundamental de la seguridad de los neumáticos, especialmente en condiciones de lluvia y a altas velocidades véase figura 6 [18].

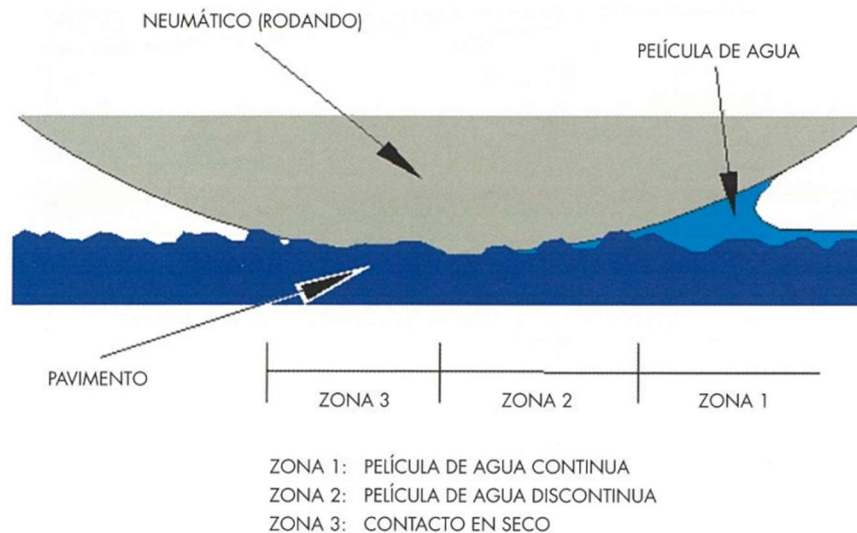


Fig. 6 Zonas de contacto sobre pavimento mojado [19].

Dado que la resistencia al deslizamiento y la profundidad de la textura son críticas para la seguridad vehicular, mejorar las propiedades de resistencia al deslizamiento, desgaste y rodadura es esencial para garantizar una mayor seguridad, durabilidad y eficiencia en la fabricación de neumáticos.

La banda de rodamiento se refiere al caucho de la circunferencia de la llanta que hace contacto con la carretera. No se trata de una superficie lisa salvo en algunos vehículos de competición véase figura 7, sino que presenta varios dibujos diseñados para proporcionar agarre, desplazar el agua en condiciones húmedas y evitar que el auto patine.



Fig. 7 Comparación de la banda de rodamiento en neumáticos de competición y vehículos particulares.

La profundidad mínima de la banda de rodamiento es de 1.6 mm. Esto significa que es obligatorio cambiar las llantas una vez alcanzado este límite para evitar poner en riesgo la seguridad e infringir la ley. Pero también significa que es prematuro cambiar las llantas antes de este umbral [17]. Aunque en camino mojado se recomienda circular al menos con una profundidad de 3 mm esto con el principal objetivo de que el neumático sea capaz de drenar el agua por los canales ante capas de agua de mayor espesor no sufrir de hidroplaneo o “aquaplaning”.

A continuación, se podrá ver la relación entre la profundidad del dibujo de la llanta y la distancia de frenado en mojado, un estudio hecho en Estados Unidos por uno de los más grandes distribuidor de llantas véase la tabla 4. Se presenta la correlación entre la profundidad del dibujo de las llantas y el rendimiento de frenado de un vehículo en condiciones de mojado. Las llantas se desgastaron artificialmente para alcanzar la profundidad de dibujo deseada para la prueba en México no cuenta con estas pruebas [20].

Profundidad de la banda de rodadura en milímetros (mm)	Distancia de frenado en mojado en metros (m)	Eficiencia de frenado (%)
12.1 mm	48.8 m	100 %
11.0 mm	49.41 m (+0.61 m)	98.8%
7.7 mm	54.25 m (+5.45 m)	90%
5.5 mm	59.44 m (+10.64 m)	82.1%
2.2 mm	76.2 m (+27.4 m)	64%
1.1 mm	91.44 m (+42.64 m)	53.3%

Tabla 4. Profundidad de la banda de rodadura contra la distancia de frenado.

Revisar periódicamente el desgaste desigual del neumático y el estado de las llantas. Si el desgaste se presenta en los dos bordes externos de la banda de rodadura o en el centro es debido a una alineación incorrecta de las ruedas.

La alineación normal de las ruedas delanteras es una forma de asegurarse que las ruedas funcionan en paralelo y que los neumáticos tocan el asfalto en el ángulo correcto. Una alineación sobre las cuatro ruedas asegura que las ruedas traseras sigan a las ruedas delanteras en su camino paralelo. Los fabricantes de neumáticos sugieren los ángulos que se crean entre la suspensión, la dirección, las ruedas y el chasis del vehículo, asegurarse que todas las ruedas estén alineadas mejora el desempeño con una fricción mínima de rodado, conseguir el kilometraje máximo del neumático, estabilidad en el camino y control de dirección para el conductor véase figura 8 [21].

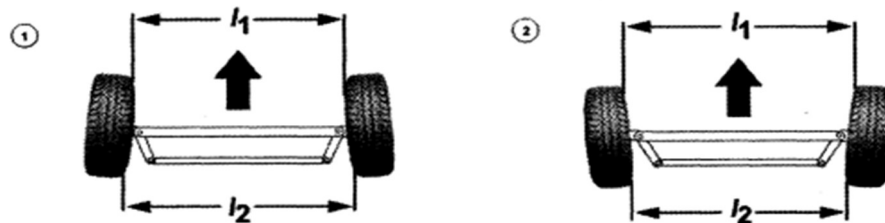


Fig. 8 Comparación de la alineación de las llantas [22].

El concepto de distancia de frenado

Cuando un conductor pisa el freno, el vehículo no se detiene inmediatamente. La distancia que recorre antes de detenerse es la distancia de frenado o de parada. Varios factores influyen en esta distancia, como la velocidad del vehículo, el tiempo de reacción del conductor, la eficacia de los frenos y, lo que es más importante, las condiciones de la carretera y la profundidad del dibujo de las llantas. En condiciones secas, la llanta puede adherirse eficazmente a la superficie de la carretera, lo que reduce la distancia de frenado. Esto se puede ver en la figura 9 donde se demuestra a dos vehículos, ambos a 80 km/h, pero la diferencia es que los neumáticos tienen distintas especificaciones, la gráfica verde corresponde a la clase A que tiene un mayor nivel de agarre, especialmente sobre mojado, en cuanto a la gráfica amarilla representa la clase E que claramente su agarre es menor. Sin embargo, cuando hablamos de distancia de frenado en mojado, la historia es diferente. Las carreteras mojadas disminuyen la tracción de las llantas, dificultando su agarre a la carretera y aumentando la distancia necesaria para que el vehículo se detenga por completo.

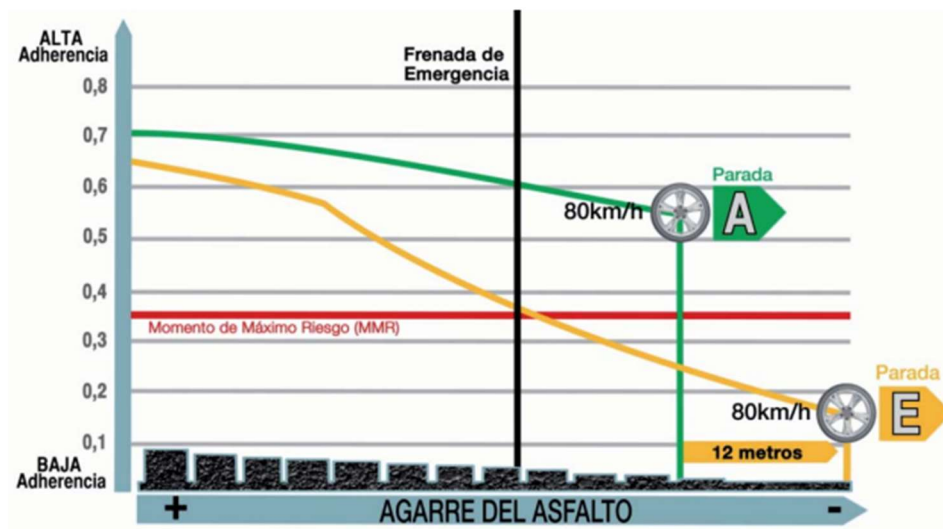


Fig. 9 Comparación de la distancia de frenado en dos diferentes clases de neumático [23].

Sistema principal de frenos

El sistema principal de frenado de un automóvil opera mediante hidráulica. Esto significa que cuando el conductor presiona el pedal del freno, la presión del líquido fuerza a los pistones a aplicar los frenos en cada rueda. Por otro lado, un sistema de freno de mano, generalmente operado por una palanca y cables, se utiliza para estacionar el vehículo. En la mayoría de los casos, los frenos de mano actúan sobre las ruedas traseras.

En vehículos convencionales se utilizan dos tipos de frenos. Anteriormente, los frenos de disco se empleaban en las ruedas delanteras de los autos y en la parte trasera se usaban frenos de tambor, pero en la actualidad, los vehículos modernos los utilizan en las cuatro ruedas [24].

Sistemas de frenado de disco y tambor

El lado izquierdo de la figura 10 muestra un freno de disco típico con pinzas, pastillas de freno y el disco. El lado derecho de la figura 10 muestra el freno de tambor, estos emplean zapatas de freno que se expanden dentro de un tambor giratorio para generar fricción y detener la rueda si bien son más económicos de fabricar se utilizan en pocos vehículos en las ruedas traseras.

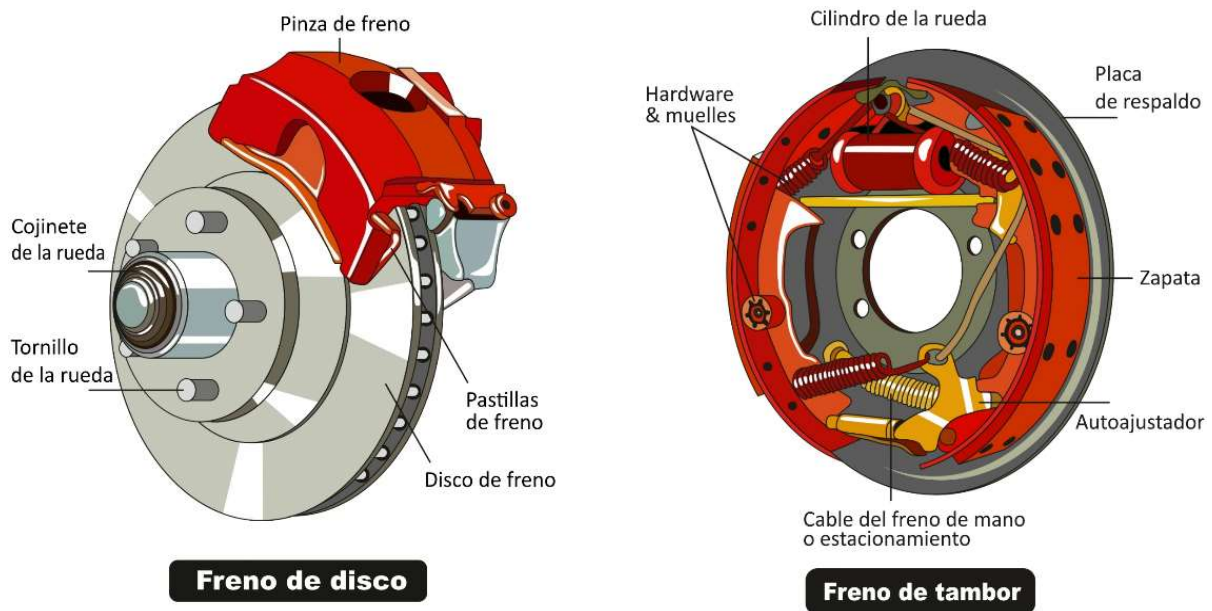


Fig. 10 Ejemplos de un freno de disco (izquierdo) y un freno de tambor (derecho) [25].

En caso de que los frenos se calienten y fallen se puede usar la transmisión como un elemento de frenado al momento de poner la transmisión a una marcha más baja para poder usar el freno motor. Se recomienda utilizar pastillas de freno de alta calidad, ya que los materiales de menor calidad tienden a sobrecalentarse y fallar con mayor facilidad [26].

Frenos antibloqueo

El sistema de frenos antibloqueo (ABS) se entiende como una idea central de control con múltiples entradas y salidas. En un diagrama de sistema de circuito cerrado es como lo muestra la figura 11, las entradas principales son los sensores de las ruedas, mientras que la salida principal es alguna forma de control sobre la presión en el sistema de frenos. La unidad de control es comparar las señales provenientes de cada sensor de rueda para detectar la aceleración o desaceleración de cada una de las ruedas de manera individual. Utilizando datos y tablas preprogramadas, la unidad de control puede regular la presión de frenado en una o más ruedas. Esta presión puede reducirse, mantenerse constante o permitirse que aumente, siempre dentro de los límites determinados por la presión ejercida por el conductor sobre el pedal de freno.

Actualmente, existen diversas variaciones entre fabricantes en cuanto al número de componentes utilizados en los sistemas de frenos antibloqueo (ABS), aunque la mayoría de estos sistemas se componen principalmente de tres componentes principales [27].

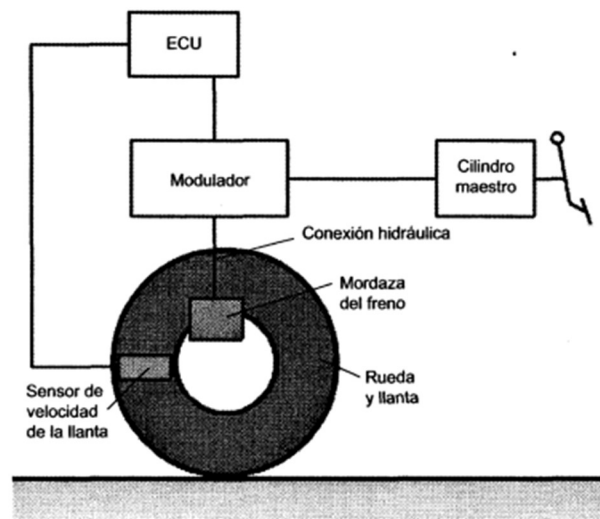


Fig. 11 Diagrama de bloques de ABS en circuito cerrado [28].

El sistema de suspensión

La carrocería del vehículo descansa sobre resortes que se encuentran entre la carrocería y los ejes de la rueda. Estos componentes, junto con unos amortiguadores, se conocen como el sistema de suspensión. La función primordial del sistema de suspensión en un automóvil es la capacidad de absorber las vibraciones y todas aquellas reacciones generadas en las ruedas al recorrer en terreno con irregularidades. Esto se realiza con el propósito de evitar que estas vibraciones se transmitan a la carrocería del vehículo, garantizando así el confort tanto del conductor como de los pasajeros, mientras se asegura el contacto adecuado de las ruedas con la superficie del suelo. El contacto óptimo es fundamental para mantener la estabilidad y la capacidad de direccionar al vehículo, esto eleva el nivel de seguridad durante un traslado. Además de las características ya descritas es necesario que el sistema de suspensión cumpla con otras funciones complementarias:

1. Transmitir las fuerzas de aceleración y de frenada entre los ejes y el bastidor.
2. Resistir el par motor y de frenada junto con las aceleraciones producidas en las curvas.
3. Conservar el ángulo de dirección en todo el recorrido.
4. Conservar el paralelismo entre los ejes y la perpendicularidad del bastidor.
5. Proporcionar una estabilidad adecuada ante el balanceo.
6. Soportar el peso y la carga del vehículo.

Los requerimientos de los *resortes* en un sistema de suspensión se pueden resumir en:

1. Absorber el impacto del terreno en superficies desiguales.
2. Controlar la altura de manejo y la distancia al suelo.
3. Asegurar la adherencia de los neumáticos.
4. Soportar el peso del vehículo.
5. Transmitir la fuerza de gravedad a las ruedas.

Las funciones del *amortiguador* se pueden resumir en:

1. Garantizar la estabilidad de la dirección.
2. Asegurar un buen contacto entre los neumáticos y el camino.
3. Prevenir la acumulación de movimientos verticales.
4. Reducir las oscilaciones.
5. Disminuir el desgaste de neumáticos y componentes del chasis.

Cuando un vehículo se desplaza sobre un terreno irregular, las ruedas experimentan una serie de impactos que, de no ser controlados, podrían transmitirse a la carrocería a través de los elementos de unión. En el caso de pequeñas irregularidades, la elasticidad de los neumáticos puede absorber estas imperfecciones. Cuando una rueda golpea a un obstáculo en el camino, se mueve hacia arriba con bastante fuerza. A una rueda sin resorte sólo le afecta la gravedad, esta a su vez tratará de regresar la llanta al camino, pero a la mayor parte de la energía de rebote se transmitirá la carrocería. Cuando se utiliza un resorte entre la rueda de la carrocería, la mayor parte de la energía de la llanta que rebota se almacena en el resorte y no se pasa la carrocería. En comparación con el movimiento de la llanta, la carrocería del vehículo solamente se moverá un poco hacia arriba.

En vehículos más viejos, se usaba un eje de barra para soportar los dos ejes del birlo. Los ejes de la barra ya rara vez se utilizan en los sistemas de suspensión, aunque muchos vehículos comerciales lo usan por su mayor resistencia en el camino [29].

Actualmente existen dos tipos de amortiguadores que son los más comunes en el mercado: los amortiguadores bitubo o de doble tubo y los amortiguadores monotubo o un solo tubo.

Los amortiguadores bitubo son los más extendidos en la actualidad. Se dividen en presurizados (aceite) y no presurizados (aceite y gas). El pistón y el cilindro se encuentran en el interior de una cámara mayor. El aceite fluye por el cilindro a través del pistón y también a la segunda cámara a través de una válvula situada entre ambas lado izquierdo de la figura 12.

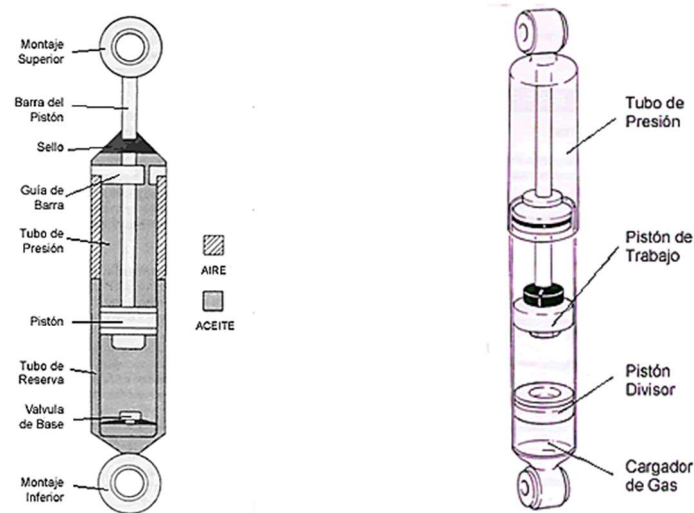


Fig. 12 Amortiguador bitubo básico (derecho) y amortiguador monotubo (izquierdo) [30].

Aparecidos más tarde que los amortiguadores bitubo, pero cada vez más comunes, los amortiguadores monotubo constan de dos cámaras principales: una con aceite y otra con gas (normalmente nitrógeno), separadas por un pistón flotante. El volumen de la cámara varía según la compresión ejercida sobre el gas por las fuerzas actuantes sobre el pistón, y sólo hay válvulas en el pistón lado izquierdo figura 12.

El sistema de suspensión está compuesto por elementos elásticos situados entre la masa suspendida y la masa no suspendida del vehículo. La masa suspendida incluye los componentes soportados por el chasis o bastidor, como el grupo motopropulsor, la carrocería, elementos auxiliares y de confort, y los pasajeros. La masa no suspendida comprende los componentes no mencionados anteriormente, como los discos/tambores de freno, pinzas de freno o zapatas, llantas y neumáticos.

El diseño del sistema de suspensión implica una relación entre el confort de los pasajeros (suspensión blanda) y el control óptimo del vehículo, minimizando o incluso impidiendo cualquier movimiento relativo de la carrocería respecto al suelo (suspensión rígida o dura). El comportamiento del vehículo depende en gran medida del sistema de suspensión y los elementos elásticos incorporados, permitiendo ajustar el comportamiento del vehículo desde una suspensión blanda hasta una suspensión dura.

Además, el sistema de suspensión debe absorber las oscilaciones producidas durante la conducción figura 13, incluyendo aquellas generadas por una distribución incorrecta de la carga. Estas oscilaciones se originan en el centro de gravedad del vehículo y se propagan en distintas direcciones.

Los tres tipos de oscilaciones que pueden ocurrir en un automóvil son:

1. Empuje (arriba/abajo): Oscilaciones alrededor del eje vertical, producidas al pasar por terrenos ondulados.
2. Cabeceo: Oscilaciones a lo largo del eje transversal del vehículo, principalmente durante frenadas y aceleraciones bruscas.
3. Basculamiento (balanceo): Oscilaciones alrededor del eje longitudinal del vehículo, producidas al tomar curvas a alta velocidad.

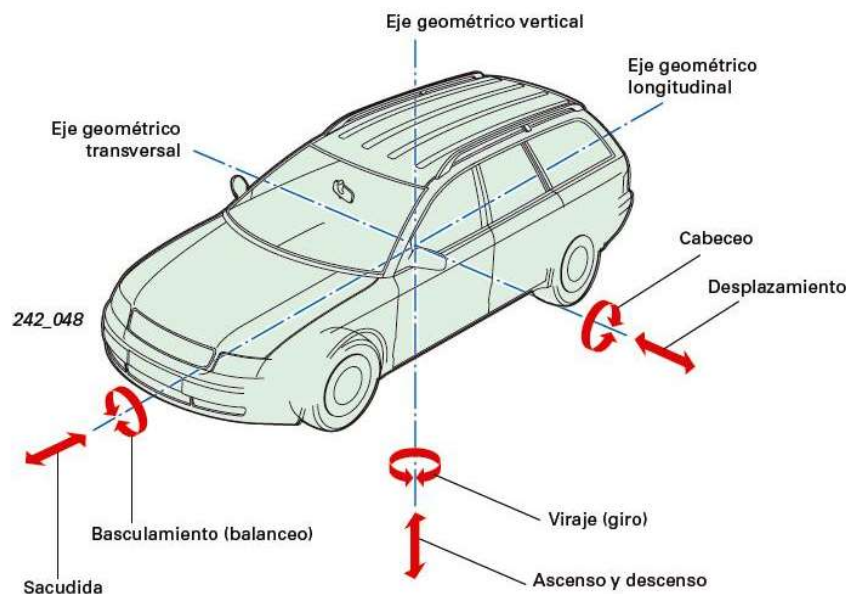


Fig. 13 Oscilaciones que se tienen en la conducción [31].

Dos propiedades fundamentales que la suspensión debe poseer son:

1. *Elasticidad*: Evita que las irregularidades del terreno se transmitan al vehículo en forma de impactos bruscos.
2. *Amortiguación*: Previene un balanceo excesivo de la carrocería y mantiene los neumáticos en contacto con el terreno.

La *elasticidad* en un sistema de suspensión depende principalmente del elemento elástico y del peso suspendido. Estos dos parámetros determinan, en una primera aproximación, la amplitud de las oscilaciones y su frecuencia (f), que se producen en un vehículo. Estos parámetros deben considerarse en el diseño de una suspensión, ya que las oscilaciones pueden resultar molestas e incluso perjudiciales tanto para los pasajeros como para los distintos componentes mecánicos del vehículo. Si se aumenta la compresión en los amortiguadores debido al peso del vehículo en estático, se incrementará el periodo de oscilación (T), que es inversamente proporcional a la frecuencia (f). Este efecto debe ser considerado, ya que está directamente relacionado con el confort y la seguridad: cuanto menor sea la rigidez del muelle (más blando), mayor será el periodo de las oscilaciones debido a la mayor compresión del muelle. Este fenómeno también ocurre de manera inversa.

En el año 1974 la “International Standard Organization” (ISO) publicó su norma 2631 en la que constituye una guía general para definir la tolerancia humana a las vibraciones, con aplicación en los automóviles.

En la UNE-ISO 2631 se define tres límites para el conjunto del cuerpo humano, que se encuentra en el intervalo de frecuencias de 1 a 80 Hz [32]. La tabla 6 se ve la relación que hay en el confort que siente un usuario en un intervalo de frecuencias de 0.8 a 5 Hz

Periodo de oscilación (s)	Frecuencia (Hz)	Sensación de confort en pasajeros	Tolerancia física
0.2	5	Muy mala	Intolerable
0.4	2.5	Muy mala	Intolerables
0.5	2	Suspensión rígida (sport)	Tolerable por poco tiempo
0.9	1.1	Confortable	Tolerable indefinidamente
1.0	1	Confortable	Tolerable indefinidamente
1.26	0.8	Excesivamente confortable	Tendencia al mareo

Tabla 6. Periodo y frecuencias de oscilación de la suspensión.

En conclusión al utilizar frecuencias de oscilaciones más rápidas, la aceleración en vertical que sufre el cuerpo son intolerables en una conducción normal del vehículo y más cuando se conduce por asfaltos con todo tipo de imperfecciones en el asfalto, las frecuencias de oscilación que se encuentra entre 0.5 y 1 segundos corresponde a un balanceo normal del cuerpo humano al caminar por lo que se considera confortable, más arriba de un segundo la sensación que se siente al manejar es muy lenta, similar a la que se produce en un barco lo que tiende al mareo y por ende no se aconseja sobrepasar estos valores.

Barra estabilizadora

El propósito principal de una barra estabilizadora es reducir el volteo de la carrocería en las curvas. Se puede considerar la barra estabilizadora como una barra de torsión. El centro pivotea sobre la carrocería y cada extremo se conecta con el ensamblaje de la suspensión/rueda. Cuando la suspensión se comprime en ambos lados, la barra estabilizadora no produce ningún efecto porque pivotea sobre sus monturas.



Fig. 14 Suspensión trasera de un Ford Mustang con barra estabilizadora [33].

Hasta este punto los sistemas que trabajan en conjunto para que el neumático se mantenga en constante contacto con el suelo y maximizar la tracción son los vistos con anterioridad, en esta etapa es bueno reconocer que tener un buen mantenimiento de estos sistemas son de suma importancia para que el vehículo no pierda dirección y provoque un accidente, los fenómenos físicos que interactúan junto con estos sistemas al momento de la conducción se explican en la siguiente parte del documento.

Círculo de tracción

Al momento de tomar una curva o cuando hay un incremento de la velocidad se presentan unas fuerzas que originan un movimiento de balanceo y cabeceo sobre el centro de masas del vehículo. Si aplicamos estas fuerzas a la rueda, observamos que la rueda está sometida a una fuerza longitudinal (flecha amarilla) debida a la aceleración del vehículo, una fuerza lateral (flecha negra) que se origina cuando tomamos una curva y a una fuerza vertical (flecha azul) debida al propio peso del vehículo y a la transferencia de masa originada por la aceleración de este véase la figura 15.

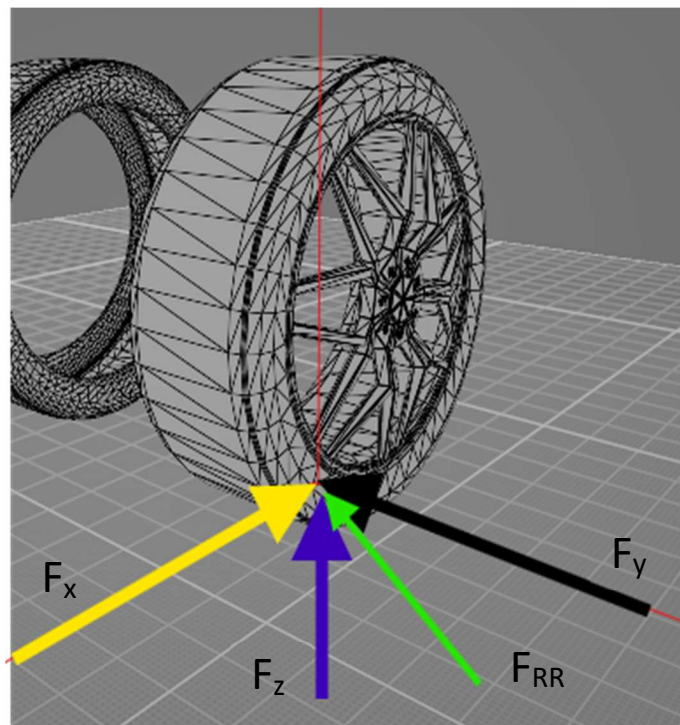


Fig. 15 Diagrama de esfuerzos y fuerza resultante.

Un coche comienza a patinar cuando la resultante (flecha verde) de la suma de las fuerzas en el eje longitudinal y el eje lateral proyectadas en la superficie del piso (ejes xy) se salen del círculo de Kamm [34].

Una rueda sólo tiene una determinada cantidad de tracción disponible y si esa rueda necesita acelerar además de girar, tenderá a subvirar. Esto hace que los coches de tracción delantera o integral y alta potencia tiendan a ser subviradores.

La deriva

La deriva se origina debido a la deformación experimentada por la banda de rodadura y los flancos del neumático cuando se someten a esfuerzos laterales, como los generados por la aceleración centrífuga en curvas o el empuje del aire. En el neumático actúa una fuerza en dirección perpendicular al plano de la rueda. El ángulo de deriva resulta de la combinación de dos componentes de dirección: uno asociado al movimiento teórico y otro al efecto real véase figura 16.

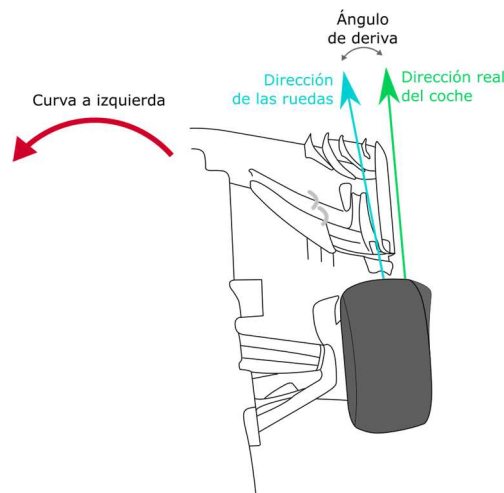


Fig. 16 Ángulo de deriva en el neumático [35].

Vehículo sobrevirado

Cuando un vehículo experimenta un exceso de giro, se produce un deslizamiento lateral de las ruedas delanteras a un determinado ángulo, mientras que las ruedas traseras también se desplazan a un ángulo distinto mayor que el de las ruedas delanteras. De tal forma que el centro de gravedad se traslada al eje trasero, este aumento en el peso en las ruedas traseras amplía aún más el rango del ángulo de deriva, eso provoca un aumento en el arrastre lateral en comparación al eje delantero véase figura 17.

La disminución del radio de giro provoca un aumento en la fuerza centrífuga y, como consecuencia, incrementa el deslizamiento. Esto hace que el automóvil tienda a abrirse por detrás de las curvas o cerrarse por delante. Para restablecer la estabilidad direccional, el conductor debe girar el volante en sentido contrario a la dirección de giro.

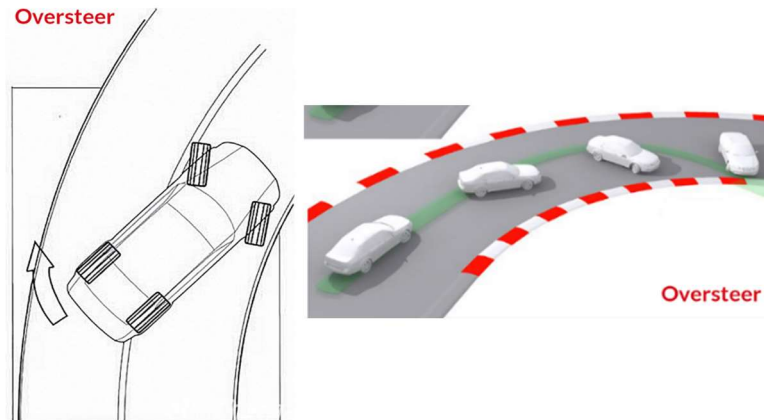


Fig. 17 Vehículo sobrevirador [36].

Vehículo subvirador

Cuando un automóvil presenta una capacidad de giro insuficiente, es decir, cuando el ángulo de las ruedas delanteras es mayor que el de las ruedas trasera, se observa un comportamiento distinto en su trayectoria. En este caso, el centro de giro se desplaza hacia el lado del automóvil donde actúa la fuerza lateral, en dirección opuesta a la fuerza centrífuga la cual provoca el deslizamiento de los neumáticos.

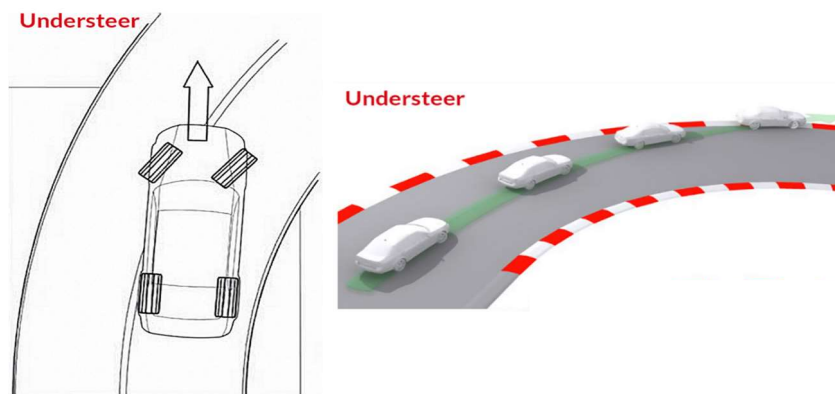


Fig. 18 Vehículo con insuficiencia de giro [37].

El peso en el eje delantero es mayor que en el trasero, se incrementa el ángulo de deriva en las ruedas delanteras, lo que resulta en un mayor desplazamiento lateral en estas ruedas. Si el centro de gravedad del automóvil también se traslada hacia el eje delantero y considerando el movimiento transversal, se produce un fenómeno conocido como subviraje. Esto significa que el vehículo tiende a abrirse por delante al tomar una curva más abierta, esto obliga al conductor a girar el volante de manera más pronunciada para mantener la trayectoria deseada véase figura 18 [38].

Los fenómenos físicos que un neumático soporta así como los sistemas que se involucran para que el automóvil pueda mantenerse de manera estable y todo el tiempo adherido al suelo para evitar una conducción no deseada o accidentes de tránsito, son los vistos de manera general en páginas anteriores, lo siguiente por mencionar son las características principales que tiene la carpeta asfáltica que visto con anterioridad proporcionan la otra parte de la adherencia en el vehículo, una vista general de todo lo que involucra la seguridad vehicular por parte de la infraestructura.

La microtextura y macrotextura en la adherencia

Estudios a nivel internacional han demostrado los beneficios que conlleva mejorar la capacidad de agarre entre los neumáticos y el pavimento en términos de seguridad vial. Un estudio realizado por Virginia Tech, centrado en pavimentos mojados, encontró una correlación estadísticamente significativa entre el aumento de accidentes y la disminución de la resistencia al deslizamiento [39].

Investigaciones como las realizadas por Elvik y Vaa (2006) respaldan estas conclusiones, sugiriendo que mejorar el coeficiente de fricción del pavimento puede reducir hasta 40% los accidentes con víctimas en condiciones de humedad. Además, otros estudios indican que la rehabilitación y reasfaltado de carreteras en áreas interurbanas podrían disminuir hasta un 20% los accidentes con víctimas y un 5% los accidentes con daños materiales [40].

Estos hallazgos ponen en evidencia la importancia y lo fundamental de la capacidad de agarre del pavimento para la seguridad vial, recalcando la necesidad de que el pavimento cuente con niveles de agarre adecuados para mantener el control del vehículo.

Las características del asfalto que contribuyen a la resistencia al deslizamiento son las pequeñas irregularidades superficiales deseables a las que se le denominan microtextura y macrotextura véase figura 19.

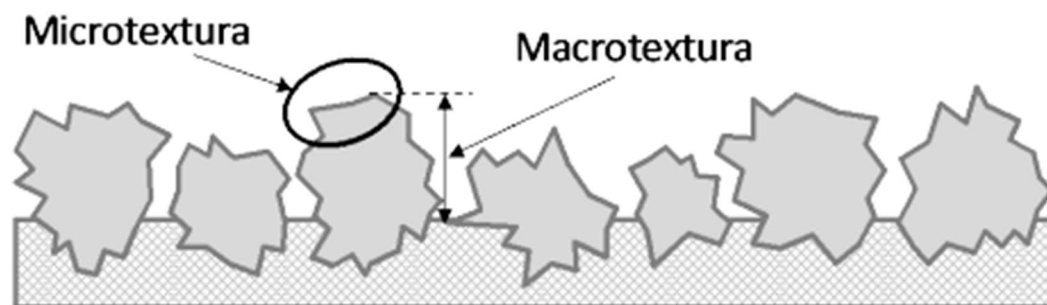


Fig. 19 Texturas de un asfalto [41].

Dentro de la textura se distingue entre microtextura, macrotextura y megatextura, de acuerdo con las longitudes de onda y amplitudes que se reflejan en la tabla 7.

Clase de textura	Longitud de onda	Amplitud
Microtextura	0 – 0.5 mm	0.01 – 0.5 mm
Macrotextura	0.5 – 50 mm	0.01 – 20 mm
Megatextura	50 – 500 mm	0.1 – 55 mm

Tabla 7. Longitudes de onda en las texturas del asfalto.

Las dos primeras (microtextura y macrotextura) son irregularidades deseables y buscadas por los técnicos, por contribuir a la resistencia al deslizamiento y a la prevención de los accidentes. Las irregularidades de longitud de onda entre 50 mm y 500 mm, correspondientes a la megatextura o defectos de regularidad superficial, no son deseables y deben evitarse en lo posible.

El coeficiente de fricción a baja velocidad depende fundamentalmente de la microtextura, ya que una mayor aspereza produce un mayor número de puntos de contacto "en seco" entre el neumático y el asfalto que se producen al romperse la película de agua que los separa. Por lo tanto, hay una estimación de la microtextura, que no puede medirse fácilmente de una forma directa.

Al aumentar la velocidad, disminuye la fricción, y un poco más cuanto menor sea la capacidad de evacuación del agua que proporciona la macrotextura y la banda de rodadura. Para evitar una gran disminución de la fricción a velocidades altas se requiere una macrotextura gruesa.

En conclusión, se necesitan al menos dos medidas para caracterizar la fricción a cualquier velocidad: normalmente, una relacionada con la microtextura (que influye sobre todo en el valor de la fricción a baja velocidad) y otra con la macrotextura (que influye en el grado de disminución de la fricción a medida que aumenta la velocidad).

Medición de la rugosidad

Debido a la diversidad de equipos utilizados para medir la regularidad superficial de los caminos y a los múltiples índices y escalas para establecer los criterios de aceptación de la funcionalidad de una carretera, se vio en la necesidad de adoptar un "índice único". A nivel mundial se propuso el uso del Índice Internacional de Rugosidad (IRI).

El Índice Internacional de Rugosidad, conocido como IRI "International Roughness Index", fue propuesto por el Banco Mundial en 1986 como un estándar estadístico para medir la rugosidad y sirve como parámetro de referencia en la evaluación de la calidad de rodadura de un camino. El IRI tiene sus orígenes en un programa norteamericano llamado "National Cooperative Highway Research Program" (NCHRP) y se basa en un modelo denominado "Golden Car" [42].

El cálculo matemático del IRI consiste en la acumulación de desplazamientos en valor absoluto de la masa superior con respecto a la masa inferior este desplazamiento es medido en milímetros, metros o pulgadas, de un modelo de vehículo conocido como cuarto de carro, figura 30, dividido entre la distancia recorrida sobre un camino (medida en metros, kilómetros o millas), que se produce debido a los movimientos del vehículo cuando viaja a una velocidad de 80 km/h. El IRI se expresa en unidades como mm/m, m/km, in/mi, etc.

Se parte que el tiempo está relacionado con una distancia longitudinal dividido sobre la velocidad como se muestra en la siguiente ecuación:

$$t = \frac{x}{V}$$

Donde x indica la distancia recorrida de nuestro modelo cuarto de carro, también se establece que se debe de recorrer a una velocidad V establecida en 80 km/h en cuanto al vector $x(t)$ contiene cuatro variables que son la altura y la velocidad de la masa superior y la altura y velocidad de la masa inferior.

$$x(t) = [H_s(t), H_{s'}(t), H_i(t), H_{i'}(t)]^T$$

donde $H_s(t)$ y $H_u(t)$ son la altura de la masa superior, la altura de la masa inferior, respectivamente.

Entonces el IRI de una sección de longitud determinada L se define como la ecuación

$$IRI = \frac{1}{L} \int_0^{\frac{L}{V}} |H_{s'}(t) - H_{i'}(t)| dt$$

Esta ecuación nos muestra como es la acumulación del movimiento de suspensión absoluto el desplazamiento de la masa superior y la masa inferior dividido por L . Es muy común dividir el perfil de la carretera en segmentos de longitud constante (las longitudes más comunes son $L = 20 \text{ m}$ o $L = 100 \text{ m}$) y el IRI se calcula en cada segmento por separado.

De esta manera, el IRI mide la respuesta de un vehículo a las condiciones de un camino y sirve como estándar para calibrar los equipos de medición de la regularidad superficial de una carretera [43].

El modelo de Cuarto de Carro utilizado en el algoritmo del IRI debe su nombre a que implica la cuarta parte de un vehículo. El modelo se muestra en la figura 20; que incluye una rueda representada por un resorte vertical, la masa del eje soportada por la llanta, un resorte de la suspensión, un amortiguador, y la masa del vehículo soportada por la suspensión de dicha rueda.

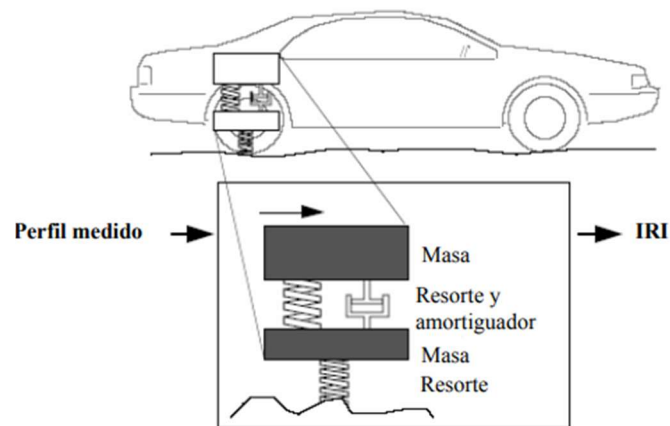


Fig. 20 Modelo "cuarto de carro" [44].

El rango de la escala del IRI para un camino pavimentado es de 0 a 12 m/km. (0 a 760 in/mi), donde 0 es una superficie perfectamente uniforme y 12 un camino intransitable. En la figura 21 se presentan las características de los pavimentos dependiendo del valor del IRI, según las experiencias recogidas por el Banco Mundial en diversos países.

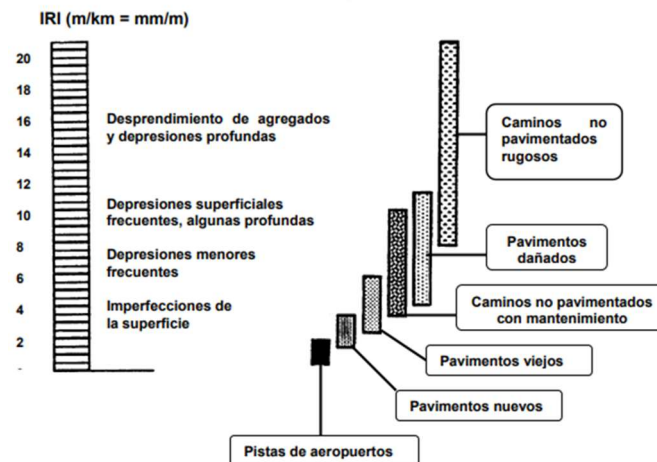


Fig. 21 Escala del IRI expresada en m/km y mm/m [45].

A nivel red carretero, partiendo de las mediciones de rugosidad de un camino, se puede definir el estado de los pavimentos mediante el índice de rugosidad la tabla 8 se muestran los valores establecidos por los gobiernos de diferentes países; si se realiza un programa de evaluación anual en esos mismos caminos se puede llegar a conocer el comportamiento del deterioro a través del tiempo.

Institución Pública	Requerimientos de IRI según tipo de pavimento o superficie				
	Procedimiento general	Asfáltico		Hidráulico	Tratamientos superficiales
Ministerio de obras públicas de Chile	IRI obtenido en 5 tramos consecutivos de 200 m de secciones homogéneas	Promedio de 5 tramos ≤ 2.0 m/km Promedio individual ≤ 2.8 m/km			Promedio de 5 tramos ≤ 3.0 m/km Promedio individual ≤ 4.0 m/km
Ministerio de Fomento de España	IRI obtenido en tramos de 100 m	IRI ≤ 1.5 m/km, en el 50% de los tramos del proyecto IRI ≤ 2 m/km, en el 80% de los tramos del proyecto IRI ≤ 2.5 m/km, en el 100% de los tramos del proyecto			
Estados Unidos (Wisconsin Department of Transportation) WisDOT	IRI obtenido en tramos de 1 milla (1,609 metros)	IRI m/km	Tiempo	-	-
		< 1.1	Pav. Nuevo		
		< 1.17	1 año		
		< 1.29	2 años		
		< 1.33	3 años		
		< 1.37	4 años		
		< 1.45	5 años		
Canada (Quebec)	IRI obtenido en tramos de 100 m	IRI ≤ 1.2 m/km en 70% de datos IRI ≤ 1.4 m/km en 10% de datos		-	-
Suecia	IRI en tramos de 20 m IRI en tramos de 200 m	IRI ≤ 1.4 m/km IRI ≤ 2.4 m/km		-	-
Ministerio de obras públicas de El Salvador	IRI obtenido en tramos de 100 m (zona rural) IRI obtenido en tramos de 100 m (zona urbana)	IRI no mayor a 3 m/km IRI no mayor a 2 m/km		IRI no mayor a 2.5 m/km	-

Tabla 8. Valores del IRI en diferentes vías del mundo [46].

En México es conveniente evaluar el Índice Internacional de Rugosidad en ciertos tramos para conocer el estado actual de la red y estimar el rango de valores en que se encuentran las carreteras y proponer una zona o umbral de alerta con respecto a la escala del IRI esto permitirá conocer cuáles son los tramos que en ese momento requieren de mantenimiento además un estudio más detallado para conocer las causas de su deterioro y cuales tramos son los que no es necesario invertir en mantenimientos. En tramos pavimentados de prueba donde se han realizado cálculos del IRI (antes del año 1998) se observan valores comprendidos entre 1.6 y 8 m/Km., siendo los más comunes y representativos, los tramos que resultaron con valores entre 3 y 6 m/km.

Los valores más comunes en México del IRI fueron de un rango de 3 y 6 m/km ubicándonos en las características del pavimentos de pista de aeropuerto hasta pavimentos viejos, en este trabajo se decidió por hacer pruebas experimentales en el rango de 0 a 8 m/km

abarcando también caminos no pavimentados, esto con el fin de recabar la suficiente información para poner un rango en el cual nuestra aplicación pueda funcionar y marcar en nuestro mapa las imperfecciones más notables en una conducción normal por la ciudad, al concluir con esta parte de los elementos físicos que se involucran en la conducción y la infraestructura que se debería tener para mejorar el rendimiento y alcanzar una mayor seguridad vial, la siguiente parte del trabajo es el enfoque al desarrollo de nuestra aplicación móvil, además de nuestra instrumentación.

Programación por bloques

La programación por bloques consiste en mover, compilar y arrastrar bloques de programación de una manera concreta para que el programa en cuestión cumpla la orden o tarea prevista.

La interfaz de las distintas herramientas de programación por bloques es sencilla y presenta una configuración fácil de usar para cualquier usuario. El abanico de herramientas digitales que se puede utilizar para trabajar la programación por bloques es muy variado. Algunas plataformas que utilizan la programación por bloques son las siguientes:

- MIT App Inventor
- Scratch Junior
- Minecraft for Education
- Code.org
- Blockly games
- Arduino Blocks

Se pueden enumerar muchas ventajas, aunque las principales son las siguientes:

- Promueve la adquisición de conocimientos, entre ellas, la competencia matemática y la competencia en ciencia, tecnología e ingeniería y la competencia digital.
- Mejora la autoestima según se va progresando y logrando avances.
- Fomenta la creatividad y la imaginación del alumnado al convertirse en los protagonistas de sus propias creaciones.
- Se adapta a las diferentes edades y capacidades de los discentes.
- Mejora la capacidad de solucionar problemas, ya que continuamente se debe resolver una situación para pasar a la siguiente o alcanzar el fin último, progresando en la planificación y la organización.
- Como la programación está secuenciada en bloques que se clasifican en categorías y colores, el trabajo resulta más visual e intuitivo.

MIT App Inventor

App Inventor es un entorno de desarrollo de software mantenido actualmente por el Instituto de Tecnología de Massachusetts (MIT). Originalmente fue creado por “Google Labs” (descontinuado) para desarrollar aplicaciones destinadas al sistema operativo Android. Este entorno permite a cualquier usuario crear aplicaciones de manera visual, utilizando un conjunto de herramientas básicas y enlazando una serie de bloques.

El sistema es gratuito y se puede usar fácilmente desde la web. Aunque las aplicaciones creadas con MIT App Inventor están limitadas en cuanto a su complejidad, pueden satisfacer muchas necesidades básicas en un dispositivo móvil. Los proyectos generados con esta herramienta se almacenan automáticamente en los servidores de App Inventor, lo que permite un seguimiento y control continuo del trabajo [47].

En la actualidad la aplicación se encuentra en su versión 2 y se ha convertido en la plataforma más importante para el desarrollo de aplicaciones móviles para Android para personas que comienzan a programar, gracias a su simplificación del código tradicional Java a través de bloques, cuenta con más de 8 millones de usuarios registrados provenientes de 195 países, y con alrededor de 34 millones de aplicaciones construidas.

Se ha hablado sobre la programación en bloques, dado que es muy visual e intuitivo es muy fácil de hacer programas sin la necesidad de aprender todas las sintaxis de cada uno de los lenguajes de programación en la que se pueden hacer aplicaciones Android, las funciones que incluyen este tipo de lenguajes puede llegar a ser un poco limitada, pero para un usuario que está entrando a esta era tecnológica pues queda muy fácil de entender además de ser muy amigable con el usuario.

En el caso de este proyecto se optó por lo más práctico, además de tener la mayoría de las funciones que se necesitan en este proyecto y por la ventaja de ser gratuito, accesible, fácil de replicar y modificar.

Ahora hablando más profundamente de los recursos de programación ofrecidos por MIT App Inventor, se pueden clasificar como se muestra en la figura 22:

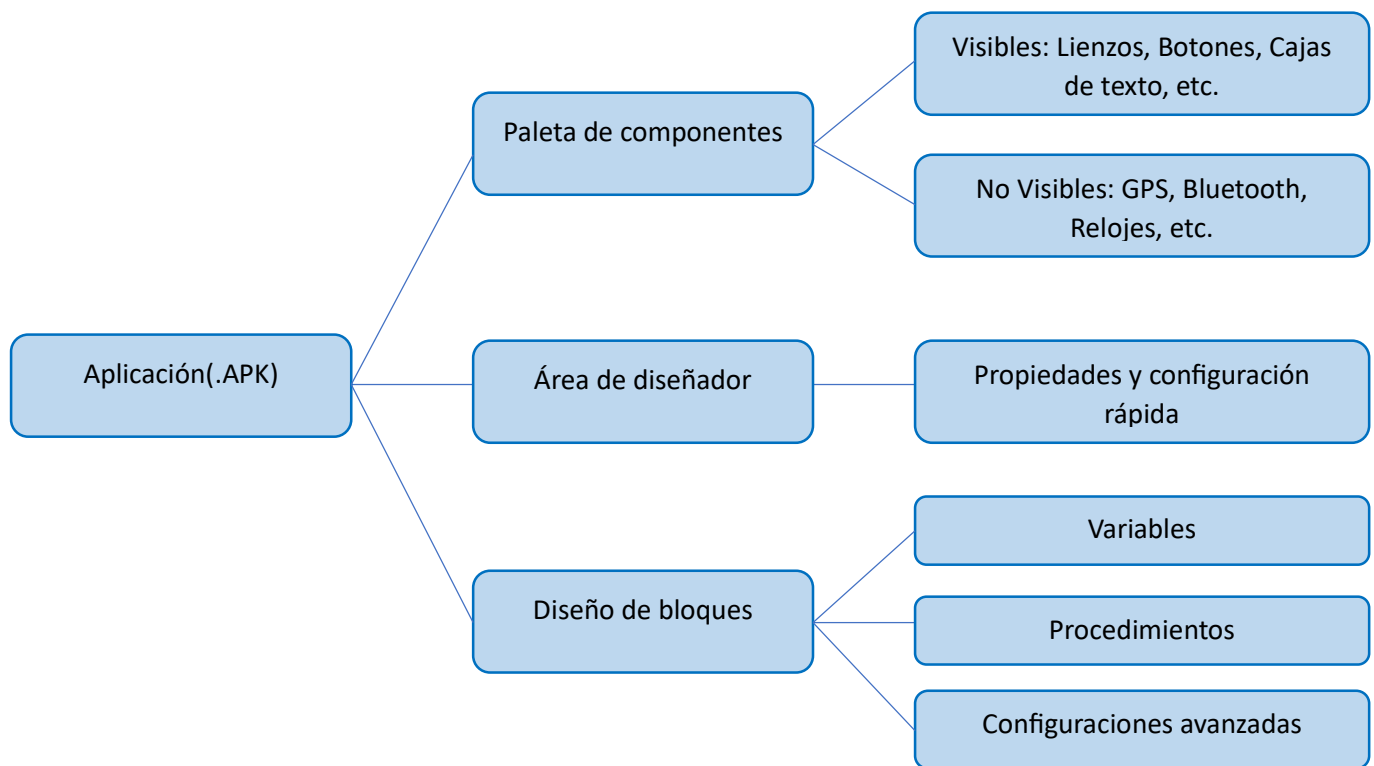


Fig. 22 Arquitectura interna de una aplicación Android con MIT App Inventor.

La paleta de componentes son parte esencial en cualquier aplicación, el caso de los componentes que son *visibles* son con aquellos elementos con el usuario va estar en contacto por eso la experiencia de usuario debe ser más simple de entender, es importante desde el desarrollo tener presente este concepto además de un diseño simple promete el éxito de la aplicación, por otro lado los componentes *no visibles* son aquellos elementos que usuario no puede hacer uso de ellos pero están en uso con la autorización por parte del usuario, como el uso del GPS o el uso de Bluetooth son ejemplos de componentes que se usarán en la aplicación pero no necesariamente el usuario hará uso de estos recursos.

Los *eventos* son aquellas instrucciones que reaccionan a una cierta acción hecha por el usuario, el evento puede ser un clic sobre un botón, arrastrar el dedo o tocar la pantalla en un área determinada. La aplicación reaccionará al evento llamando a las instrucciones preprogramadas y las ejecuta.

Las *variables* en programación son útiles para guardar datos de manera temporal. En App Inventor existen variables de dos tipos: globales y locales. Las variables globales son aquellas que están disponibles para acceder a su contenido desde cualquier lugar de la aplicación móvil desarrollada. En cuanto a las variables locales son aquellas que están declaradas dentro de un bloque particular.

Entorno de desarrollo

MIT App Inventor es una plataforma en línea, no es necesario descargar aplicaciones extras, todo se puede programar desde un navegador web en una computadora con los requisitos mínimos como una computadora con acceso estable a internet y contar con una cuenta de Google, básicamente es todo para crear una aplicación, además cuenta con su versión en español, también no contiene publicidad además de ser gratuito.

Lo primero que aparece al ingresar a la página oficial de App Inventor es un botón con la leyenda “Create Apps!”, posterior se selecciona una cuenta de Google donde se irán guardando los cambios realizados en cada proyecto de manera automática, luego cargará el entorno donde se desarrollará la aplicación móvil, es necesario hablar que se tiene 3 partes importantes, el diseñador de componentes, el editor de bloques y una muestra de lo que es un teléfono inteligente con los cambios realizados, esto se aprecia en la figura 23.

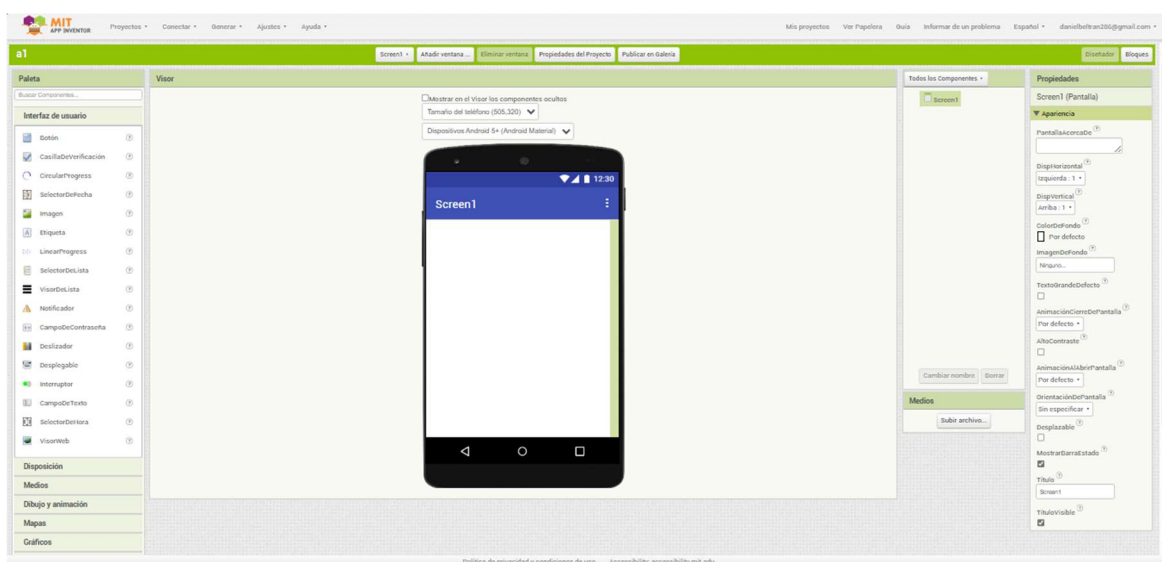


Fig. 23 Entorno de desarrollo de MIT App Inventor.

La ventana *diseñador de componentes* está dividida en cuatro apartados:

- Paleta: Se encuentra a la izquierda de la pantalla y recoge todos los componentes con los que se puede trabajar, se pueden agregar con extensiones especialmente diseñadas para su programación en bloques
- Visor: Simula como si fuera un dispositivo móvil, aquí es donde se va añadiendo los diferentes componentes y dando forma al aspecto que tendrá la aplicación.

- Componentes: Este apartado contiene la lista aquellos componentes que se están haciendo uso en la aplicación actual.
- Propiedades: En esta selección los componentes se podrá modificar sus propiedades (modificar textos, cambiar colores, añadir imágenes, etc.)

El editor de bloques es de las partes más importantes en cuanto a la programación y hacer la programación para que todo funcione como se espera, estos bloques están divididos en 9 secciones, la figura 24 muestra estas secciones, es necesario aclarar que todo proyecto va a tener estas 9 secciones, estas nueve secciones que se hablarán más detalladamente en hojas posteriores contienen los bloques para programar, cada bloque cumple como una línea de código, con la diferencia que no se aplica la sintaxis, pero si es necesario saber que función cumplen cada uno de estos bloques, por lo que se tiene la sección de ayuda, ahí se podrá consultar que bloques se pueden unir y que otros bloques no pueden ser unidos, los bloques se van agregando desde la paleta y el diseñador de componentes.



Fig. 24 Secciones en la que se dividen las funciones de bloques.

Control

Los bloques de la sección de control se pueden apreciar en la figura 25 lo que está disponibles hasta la fecha de la publicación de este proyecto, en la figura se notan por ejemplo los bloques *Si... entonces*, este bloque prueba la condicional si es que es verdadera, realiza lo que hay dentro del bloque, en caso de resultar falso ignora el bloque. Toda la información y cómo funcionan cada uno de los bloques se puede encontrar directamente en la página de MIT App Inventor, basta con dar clic derecho, en la parte de ayudas, directamente te manda a la descripción del bloque.

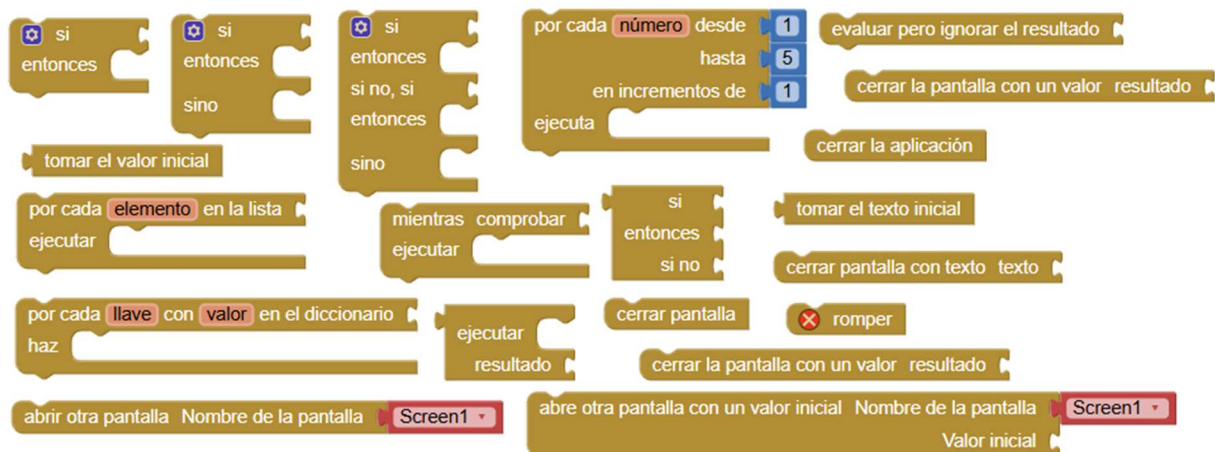


Fig. 25 Bloques disponibles en la sección de *Control*.

Lógica

La sección de lógica se utiliza para establecer valores en propiedades booleanas, así como para las asignar un valor a una variable que representan una condición. Un ejemplo es el valor constante verdadero, o el caso de la negación lógica de una entrada, regresará un falso si la entrada es verdadera y caso contrario, regresará verdadero si la entrada es falsa.



Fig. 26 Bloques disponibles en la sección de *Lógica*.

Matemáticas

Los bloques de la sección de matemáticas son una amplia gama de bloques que tienen distinto propósito, hay bloques para hacer operaciones aritméticas entre dos variables, otro tipo de bloques son los que puede agregar un número positivo o negativo, o comparar entre uno y otro número para determinar cuál es mayor, así como arrojar números aleatorios.

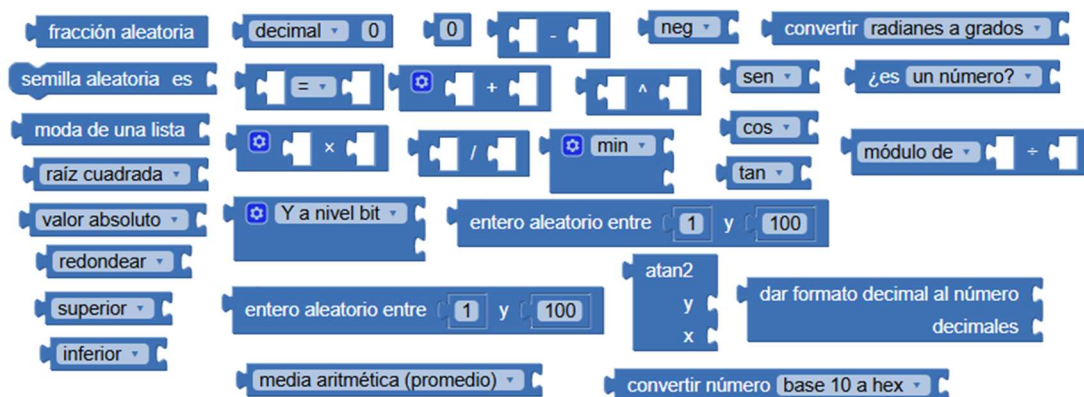


Fig. 27 Bloques disponibles en la sección de *Matemáticas*.

Texto

La sección de textos básicamente tiene que ver con cadenas de caracteres como letras, números u otros caracteres especiales, así como unir cadenas de caracteres, recortar un texto y sustituirlo por otro, saber el tamaño de la cadena de caracteres, en caso particular de este proyecto se utilizará para mandar cadenas de caracteres desde el Arduino a la aplicación móvil.



Fig. 28 Bloques disponibles en la sección de *Texto*.

Listas

La sección de listas nos ayuda para darle formato o guardar datos, las listas se utilizan en todos los lenguajes de programación. Entre los principales bloques se tienen crear listas, organizar los datos, comprobar si en la lista hay un elemento y poder sustituirlo o borrarlo, sacar los índices de cada elemento de lista, entre otros bloques útiles.



Fig. 29 Bloques disponibles en la sección de *Listas*.

Diccionarios

La sección de diccionarios permite la creación de diccionarios, Los diccionarios, denominados en otros idiomas términos como mapas, matrices asociativas o listas, son estructuras de datos que asocian un valor, normalmente llamado clave, con otro valor.

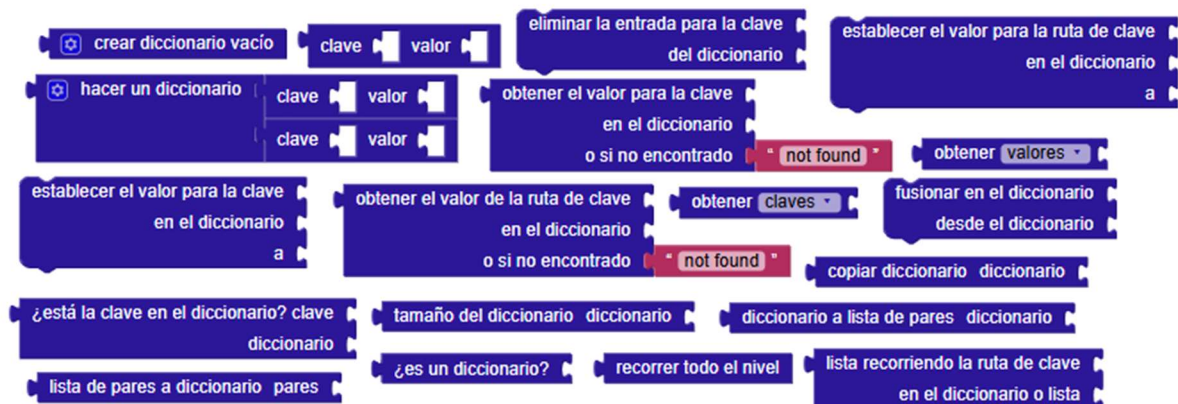


Fig. 30 Bloques disponibles en la sección de *Diccionarios*.

Colores

La sección de colores nos ayuda a darle más realce visual a nuestras aplicaciones, al usar el bloque de crear color, literalmente se pueden hacer la combinación de los valores del RGB, así como usar lo que ya vienen preprogramados.



Fig. 31 Bloques disponibles en la sección de *Colores*.

Variables

La sección de variables nos ayudará al nombrar nuestras variables con un nombre y valores que pueden ser utilizados desde cualquier bloque de la aplicación, así como una variable global, también se tienen las variables locales que solo se ejecutan en el bloque en el que están ancladas esas variables.



Fig. 32 Bloques disponibles en la sección de *Variables*.

Procedimientos

La sección de procedimientos nos da bloques que recogen una secuencia de bloques juntos en un grupo también de un bloque para llamar a este procedimiento.



Fig. 33 Bloques disponibles en la sección de *Procedimientos*.

Bluetooth

La tecnología Bluetooth conecta dispositivos móviles y dispositivos periféricos como los auriculares, relojes, pantallas, etc. Los dispositivos Bluetooth se comunican mediante transmisiones de radio de corto alcance en el rango de frecuencia de 2,4 GHz.

El uso de esta tecnología estará implicado en el proyecto al conectar nuestro dispositivo móvil y un módulo de comunicación Bluetooth con Arduino usando la frecuencia de 2,4 GHz esta a su vez ofrece numerosos canales que los dispositivos con Bluetooth pueden aprovechar para comunicarse entre sí. Los dispositivos emparejados saltan entre estos canales en lockstep, buscando constantemente la menor interferencia y la mejor calidad de señal. Este proceso, conocido como salto de frecuencia, ayuda a los dispositivos con Bluetooth a ofrecer un desempeño consistente y de baja latencia.

Al usar dispositivos Bluetooth por primera vez con el dispositivo móvil requiere un proceso de configuración inicial conocido como emparejamiento, en el que cada dispositivo intercambia información esencial como los ID de los dispositivos y las claves de seguridad. Normalmente, los usuarios necesitan introducir un PIN o código clave, o ambos, en uno o ambos dispositivos para autenticar el proceso de emparejamiento. Después del proceso inicial, se guarda la información de conexión vital para optimizar los emparejamientos futuros.

La aplicación se conectará usando los permisos necesarios para que el módulo bluetooth de Arduino pueda transmitir los datos del Arduino en tiempo real al dispositivo móvil véase figura 34, graficar las salidas y mostrar los puntos en el mapa que se recibieron una mayor cantidad de movimiento vertical en las llantas, esto al transmitir los datos tomados desde los sensores que se instalarán en las cuatro ruedas de un vehículo, sensores de movimientos o acelerómetros que se describirán en posterior a este tema.

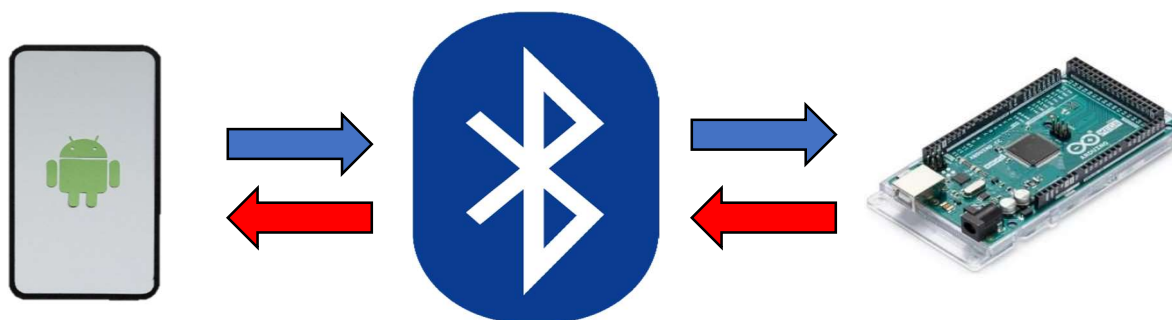


Fig. 34 Planteamiento de la conexión bluetooth con Arduino.

Acelerómetro

Son dispositivos electromecánicos que detectan las fuerzas de aceleración, ya sea estática o dinámica. Las fuerzas estáticas incluyen la gravedad, mientras que las fuerzas dinámicas pueden incluir vibraciones y movimiento. Los acelerómetros pueden medir la aceleración en uno, dos o tres ejes. Siendo los de tres ejes los más comunes.

Generalmente, los acelerómetros contienen placas capacitivas internamente. Algunos de estos son fijos, mientras que otros están unidos a resortes minúsculos que se mueven internamente conforme las fuerzas de aceleración actúan sobre el sensor. Como estas placas se mueven en relación el uno al otro, la capacitancia entre ellos cambia. A partir de estos cambios en la capacitancia, la aceleración se puede determinar véase figura 35.

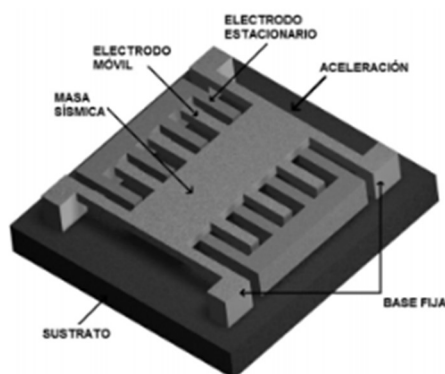


Fig. 35 Composición de un acelerómetro [48].

Los acelerómetros se comunican a través de un convertidor analógico, digital, o interfaz de conexión modulada por ancho de impulsos (PWM). Los acelerómetros con una interfaz analógica entregan un voltaje proporcional a la aceleración en cada uno de sus ejes, normalmente fluctúan entre tierra y el valor de alimentación V_{cc} . Estos suelen ser más baratos que los digitales y mucho más fáciles de usar. Los acelerómetros con una interfaz digital pueden comunicarse a través de los protocolos de comunicación de SPI o I2C. Estos tienden a tener más funcionalidad y ser menos susceptibles al ruido que acelerómetros analógicos. Los acelerómetros con salida modulada en ancho de pulso (PWM) sus salidas son de onda cuadrada con un periodo conocido, pero un ciclo de trabajo varía con cambios en la aceleración. Los acelerómetros son generalmente dispositivos de baja potencia. La corriente requerida cae típicamente en la gama de micro o mili – amperios, con una tensión de alimentación de 5 V o menos [49].

Capítulo III

Diseño experimental

En este capítulo se presenta de manera documentada el proceso realizado para el desarrollo de la aplicación móvil Android junto con todos los elementos de la instrumentación, entorno virtual y diseño, posteriormente presentar los resultados obtenidos con este proceso, también presentar al final del capítulo el sistema completo.

En cuanto al diseño del circuito, se planea montar cuatro acelerómetros uno para cada llanta específicamente en el brazo de la suspensión inferior, cuyos movimientos en el eje vertical serán detectados por los acelerómetros.

Estos acelerómetros irán conectados en una placa de desarrollo Arduino Mega, junto con un módulo bluetooth para emparejar el Arduino con un dispositivo Android.

El ADXL335 es un acelerómetro de 3 ejes de dimensiones pequeñas, delgado y de baja potencia con salidas de voltaje condicionadas por señal. Este sensor mide la aceleración con un rango mínimo de escala completa de ± 3 g.

El ADXL335 contiene un sensor de micromecanizado de superficie de poli silicio y circuitos de acondicionamiento de señal para implementar una arquitectura de medición de aceleración en bucle abierto. Las señales de salida son voltajes analógicos proporcionales a la aceleración. El acelerómetro puede medir la aceleración estática de la gravedad en aplicaciones de detección de inclinación, así como la aceleración dinámica resultante del movimiento, el impacto o la vibración las características del ADXL335 se ve en la figura 36.

Tensión de funcionamiento	1,8 V-3,6 V
Corriente de funcionamiento	350 μ A (típico)
Rango de detección	± 3 g (escala completa)
Rango de temperatura	-40 a +85°C
Eje de detección	3 ejes
Sensibilidad	270 a 330mV/g (ratiométrico)
Resistencia a los golpes	Hasta 10.000g
Dimensión	4 mm x 4 mm x 1,45 mm

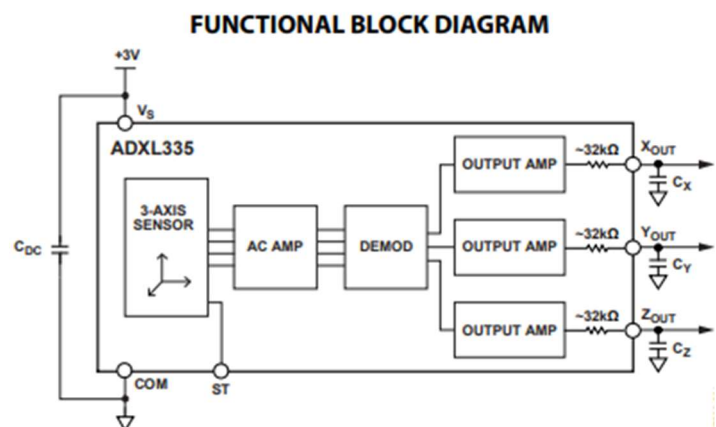


Fig. 36 Especificaciones del acelerómetro ADXL 335.

Aprovechando de las salidas analógicas del sensor ADXL335 se puede acondicionar la señal para que nuestra aplicación también grafique en tiempo real, el módulo bluetooth tomará nuestra salida acondicionada y mandará al teléfono inteligente la información para actualizarse los gráficos todo mientras se va desplazando el automóvil.

Nuestra placa Arduino es una placa de desarrollo que se basa en el microcontrolador ATmega2560. Se elige esta tarjeta de desarrollo por la cantidad de pines que tiene, cuenta con 54 pines de entrada/salidas digitales (de los cuales 15 se pueden usar como salidas PWM), 16 entradas analógicas, 4 UART, además es la tarjeta que se tiene disponible para este proyecto, entre otras ventajas, una tarjeta similar a la figura 37.



Fig. 37 Arduino Mega+WiFi.

Diagrama de aplicación móvil

La figura 38 plantea como sería el desarrollo de la aplicación móvil, empieza con la configuración del dispositivo móvil, otorgando permisos para que la aplicación pueda operar de la manera correcta, así como definir las variables que se le asignarán los datos, la interfaz del usuario también se agregarán los gráficos y el mapa para que se vaya marcando donde hay una imperfección, la conexión más importante es el bluetooth pues es el vínculo entre la tarjeta y el dispositivo móvil, por eso tiene retroalimentación para configurarlo bien hasta que reciba los datos y entonces así la aplicación pueda trabajar con toda la información proporcionada por los sensores mediante la placa de Arduino y el módulo bluetooth.

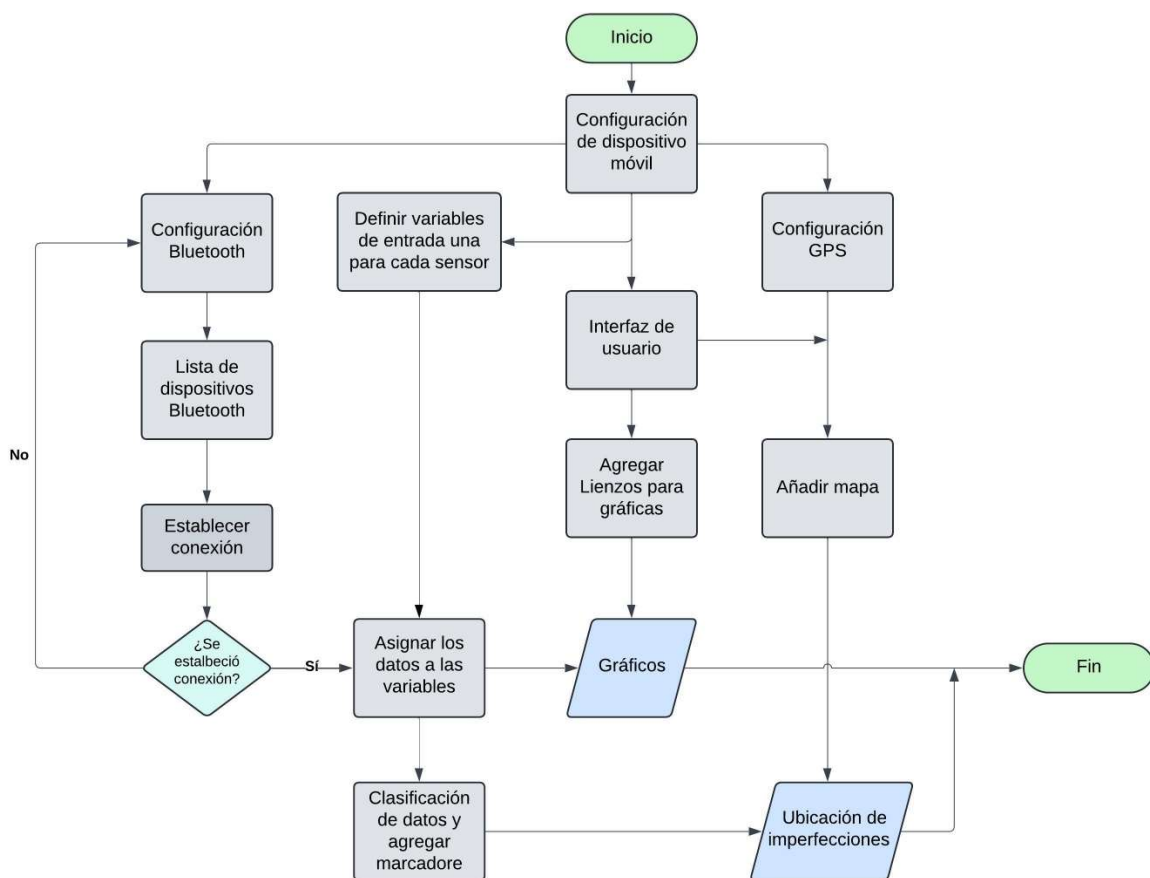


Fig. 38 Diagrama de flujo para aplicación móvil.

Desarrollo de aplicación

A continuación se explica el diseño de la aplicación, nuestra pantalla principal está distribuida como se muestra en la figura 39 en primer lugar se agrega un selector de lista para buscar dispositivos bluetooth, el siguiente es un botón de lado derecho “marcar defecto” su función principal es que el conductor o copiloto de manera manual pueda poner una marca sobre nuestro mapa, al lado derecho se encuentra el botón “conectar” lo que hace es enlazar el dispositivo bluetooth seleccionado con el teléfono móvil y empieza mandar/recibir los datos de nuestra placa.

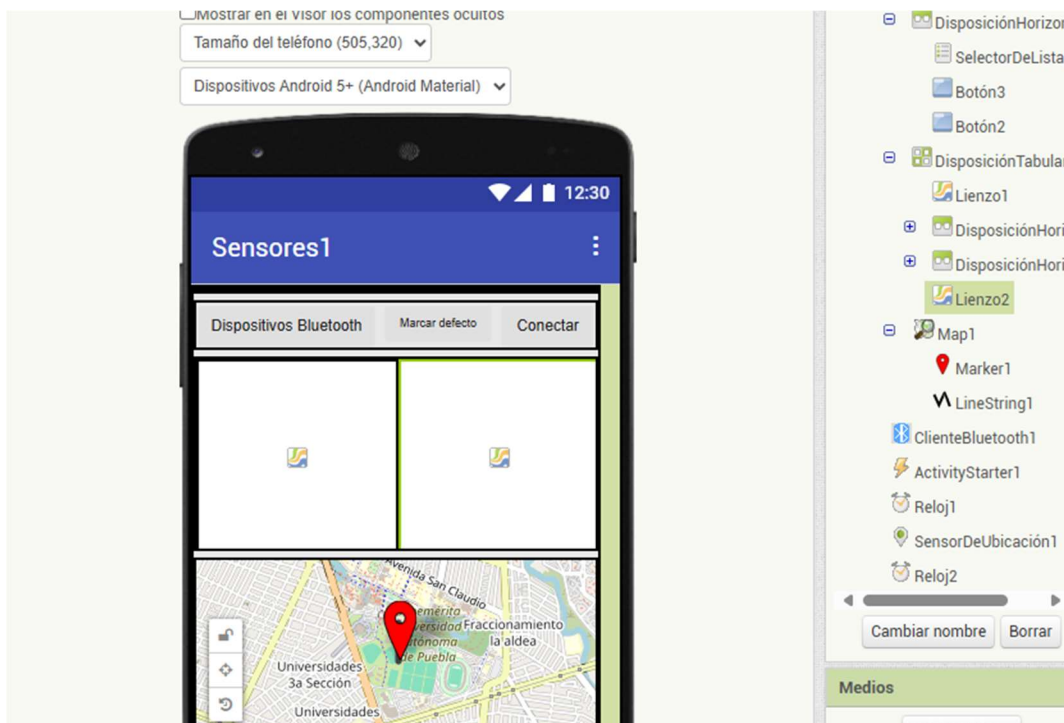


Fig. 39 Elementos de la pantalla principal de aplicación móvil.

Se agregaron cuatro lienzo para ir graficando cada sensor en tiempo real los imperfectos encontrados en el asfalto, en la parte de abajo tenemos nuestro mapa en la que se irá marcando la ruta que el vehículo va recorriendo, para eso es útil mencionar que directamente se toma la ubicación del sensor integrado en el teléfono móvil, no se utilizará ningún módulo ya que MIT App cuenta con esa función, por último se agregan un “LineString” que va dibujando sobre el mapa la ruta tomada y un “Marker” que nos va a marcar los lugares donde se detectan mayores defectos directamente en el mapa.

Se pueden apreciar los siguientes componentes utilizados:

Interfaz de usuario

1. Botones: Se ejecutan ciertas acciones al ser pulsados.
2. Selector de lista: Un botón que muestra una lista de textos para que el usuario elija.

Dibujo y animación

3. Lienzos: Dibuja o gráfica sobre la pantalla.

Mapas

4. Mapa: Muestra de manera bidimensional un mapa, los mapas son proporcionados por los contribuyentes de OpenStreetMap y el Servicio Geológico de Estados Unidos.
5. Marker: Un icono colocado en un punto para indicar información sobre un mapa.
6. LineString: Es un componente para dibujar una secuencia continua de líneas sobre mapas.

Conectividad

7. Cliente Bluetooth: Conecta el dispositivo móvil con otros dispositivos usando bluetooth.
8. Activity Starter: Componente para iniciar una actividad.

Sensores

9. Relojes: Componente no visible que proporciona el instante en el tiempo mediante el reloj interno del teléfono móvil.
10. Sensor de ubicación: Componente no visible que ofrece información sobre la ubicación, incluye longitud y latitud.

A continuación, se muestran los bloques para desarrollar la aplicación, además de mencionar los elementos principales de cada uno de estos bloques.

El primer bloque se muestra en la figura 40, está diseñado para habilitar el sensor de ubicación y el cliente bluetooth, se determina el carácter de fin de línea y en caso de que el cliente bluetooth no esté habilitado, lo habilita.



Fig. 40 Programación de bloque 1.

En versiones más recientes de Android de la versión 11 en adelante se conceden permisos para usar el bluetooth, versiones anteriores no se incluye este bloque véase figura 41.

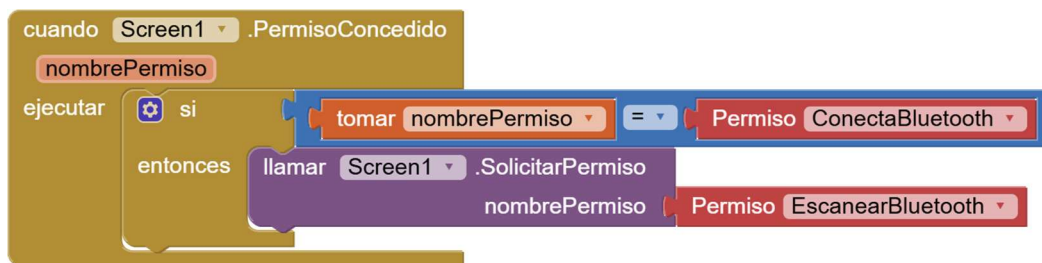


Fig. 41 Programación de bloque 2.

La figura 42 corresponde a la lista “Dispositivos Bluetooth”, al dar clic sobre ese botón desplegará una lista con todos los dispositivos disponibles para conectarse.



Fig. 42 Programación de bloque 3.

Una vez se despliega la lista se procede a tomar la dirección MAC del dispositivo seleccionado para luego establecer la conexión, también se reinician los lienzos para empezar a graficar datos desde bluetooth véase figura 43.

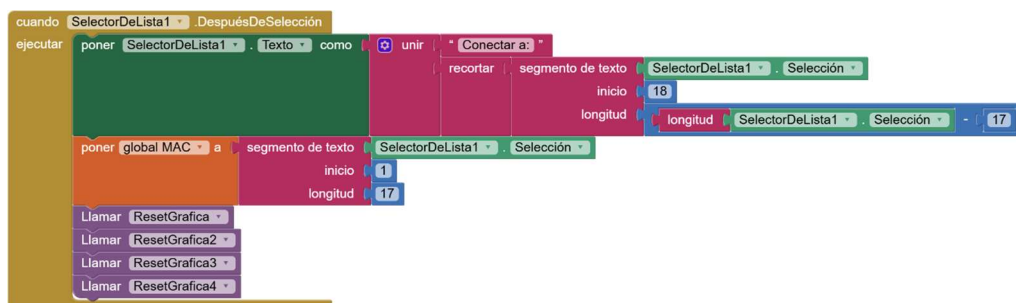


Fig. 43 Programación de bloque 4.

Una vez que se tiene la información necesaria para establecer la conexión al dispositivo seleccionado anteriormente, se procede a programar el botón conectar el cual se encarga de establecer comunicación con la dirección MAC, se prepara el cliente bluetooth para recibir datos, así también se inicia el reloj 1, el botón cambia de leyenda de “conectar” a “desconectar” y al presionar desconectar se interrumpe la conexión bluetooth véase figura 44.

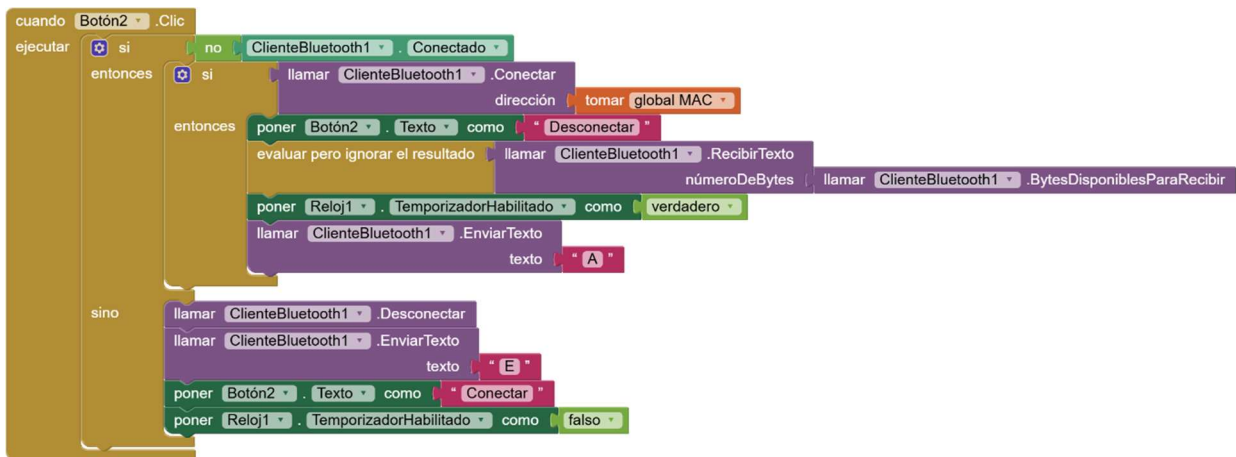


Fig. 44 Programación de bloque 5.

El bloque para iniciar el sensor de ubicación se activó en el primer bloque, ahora lo que se realiza es ubicar en el mapa donde se encuentra actualmente el dispositivo, se configura el mapa en unidades métricas, también se configura para que el marcador siempre se ubique en el centro del mapa véase figura 45.

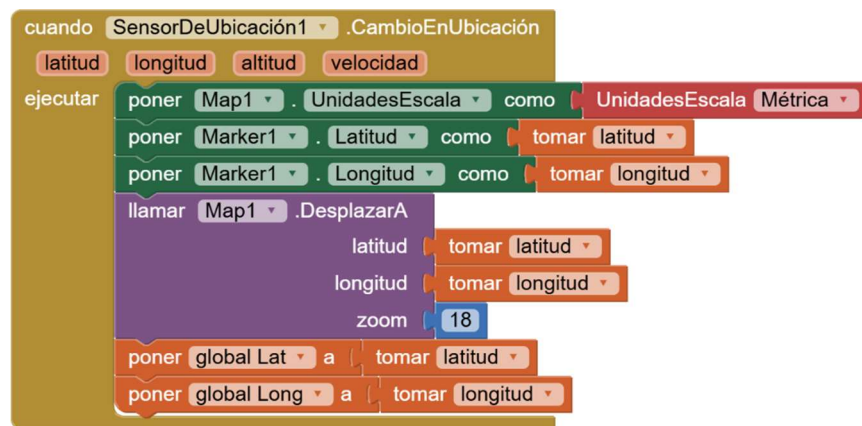


Fig. 45 Programación de bloque 6.

La figura 46 muestra el cambio de orientación de pantalla al girar de forma vertical a forma horizontal, lo que hace que las gráficas se reinicien con la nueva orientación.



Fig. 46 Programación de bloque 7.

Se definen las variables globales que estarán presentes en todo el programa, se puede observar una dirección MAC genérica, otras variables como “Pulsado” que dejarán un marca siempre que se pulse el botón “Marcar defecto”, las variables de “Severidad” son los que van a marcar en el mapa de manera automática y la variable “PasoX” cuyo valor es 4 son la cantidad de sensores/datos de entrada y variables que se les asigna listas vacías para que se vayan llenando de datos como “ListaPuntos” que irá dejando el rastreo de nuestro vehículo en el mapa, las variables de “Marcador” son las que se harán cargo de ubicar en el mapa las marcas de los defectos encontrados véase figura 47.



Fig. 47 Programación de bloque 8.

Otra variable global en forma de lista es la que se denomina con el nombre de “ValorActual” su principal función es la de ir guardando las entradas del sensor e ir las acomodando en los diferentes elementos de la lista al ser 4 sensores se asigna una lista con 4 elementos cuyo valor inicial es 0 véase figura 48.



Fig. 48 Programación de bloque 9.

Se declara una variable global con nombre de “SensoreValAnt” en forma de lista y dentro de esta lista se incluye otra lista, esta va guardando el valor anterior obtenido por el sensor, se incluyen 4 listas una lista para cada sensor, dentro de la lista está una lista que toma el valor actual y otra donde se toma el valor anterior inmediato del sensor, esto con el objetivo de poder graficar los puntos sobre el lienzo, además aquí se le agrega un color en el que se unirán los puntos, formando un trazo sobre el lienzo, figura 49.



Fig. 49 Programación de bloque 10.

La figura 50 y figura 51 son un mismo bloque, contiene la mayoría de información de nuestro programa, en la primera sección se tiene una condicional *si – entonces*, comprueba si hay una conexión bluetooth, en caso de ser afirmativa procede a ejecutar todo lo de abajo, se inicia una variable local de nombre “mensaje” este se configura para recibir texto desde el dispositivo bluetooth conectado anteriormente, se abre otro condicional de *si – entonces*, donde se toma la cadena de texto procedente del bluetooth, se pone un carácter de referencia “#” el cual indicará que la cadena de texto empieza desde ese carácter, al ejecutar la condicional Si-entonces se procede a asignar valores a las variables locales, además se manda a llamar un procedimiento que nos ayudará con la lectura de datos de cada sensor, una vez recibida la información de cada sensor se van organizando en listas de manera local, luego se llaman a los procedimientos “GraficarSensores” figura 53 que se verá más detalladamente más adelante, estos procedimientos ordenan los datos y van acomodando directamente los datos en el lienzo y formar una gráfica en nuestra pantalla, son necesario cuatro procedimiento para cada sensor, después de estos procedimientos se pone una condicional *si – entonces* cuando la gráfica llega al ancho del lienzo se resetea limpiando los gráficos y manda a iniciar de nuevo las gráficas sobre el lienzo, por último se van sustituyendo los datos por nuevos en las listas globales para que se siga graficando los sensores una y otra vez, se agrega también condicionales *si – entonces* en el que al recibir un carácter ya sea “\$”, “&” y “%” se active una marca de diferente color en el mapa. Estos símbolos se verán más adelante junto con las variables de “Severidad” además de que nuestra placa usará estos símbolos como parámetros para medir que tanto movimiento se ha recibido de los sensores y nuestra aplicación ponga estas marcas de un color dependiendo de la cantidad de desplazamiento esto se verá más adelante en la figura 58.

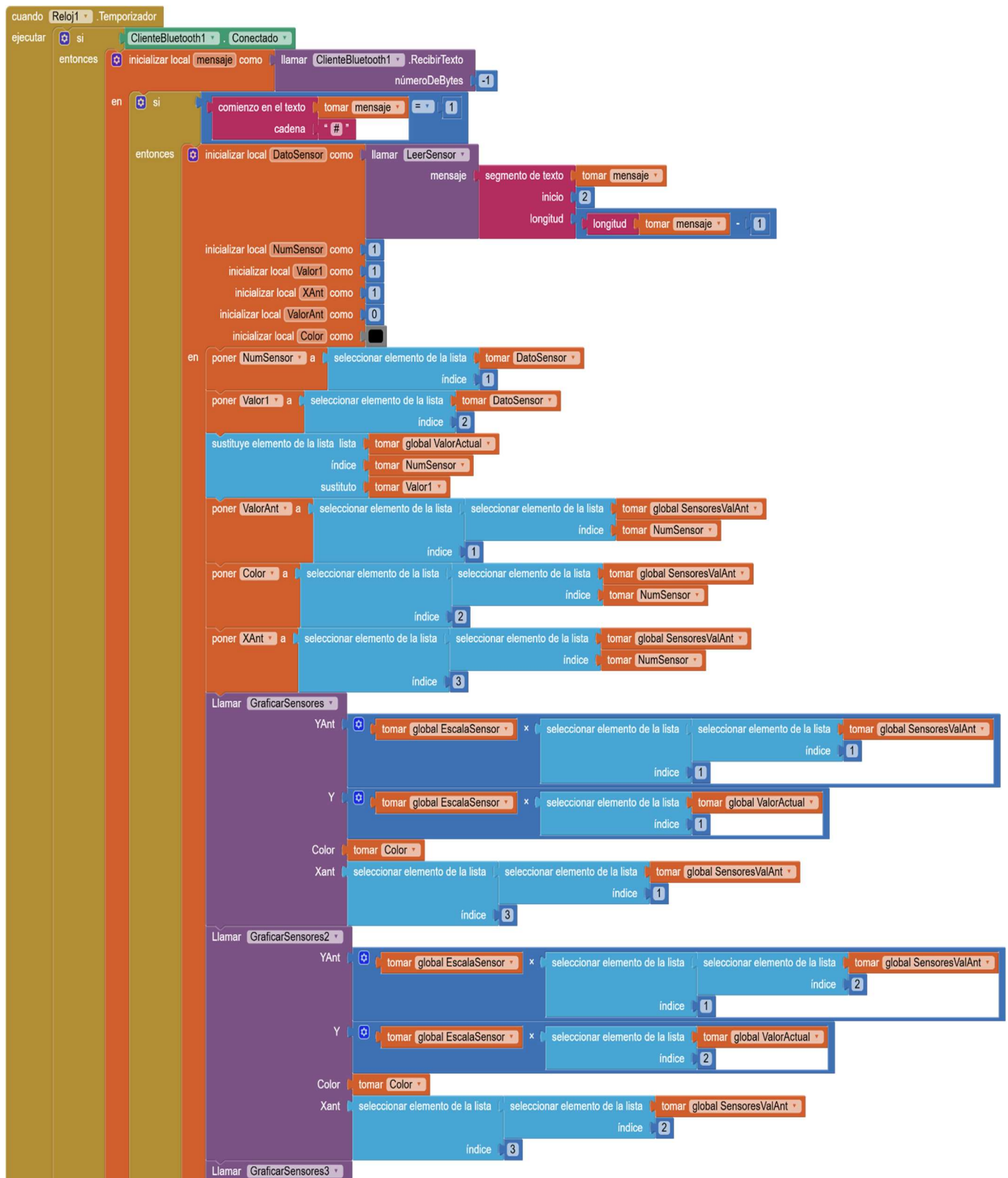


Fig. 50 Programación de bloque 11 (Parte superior).

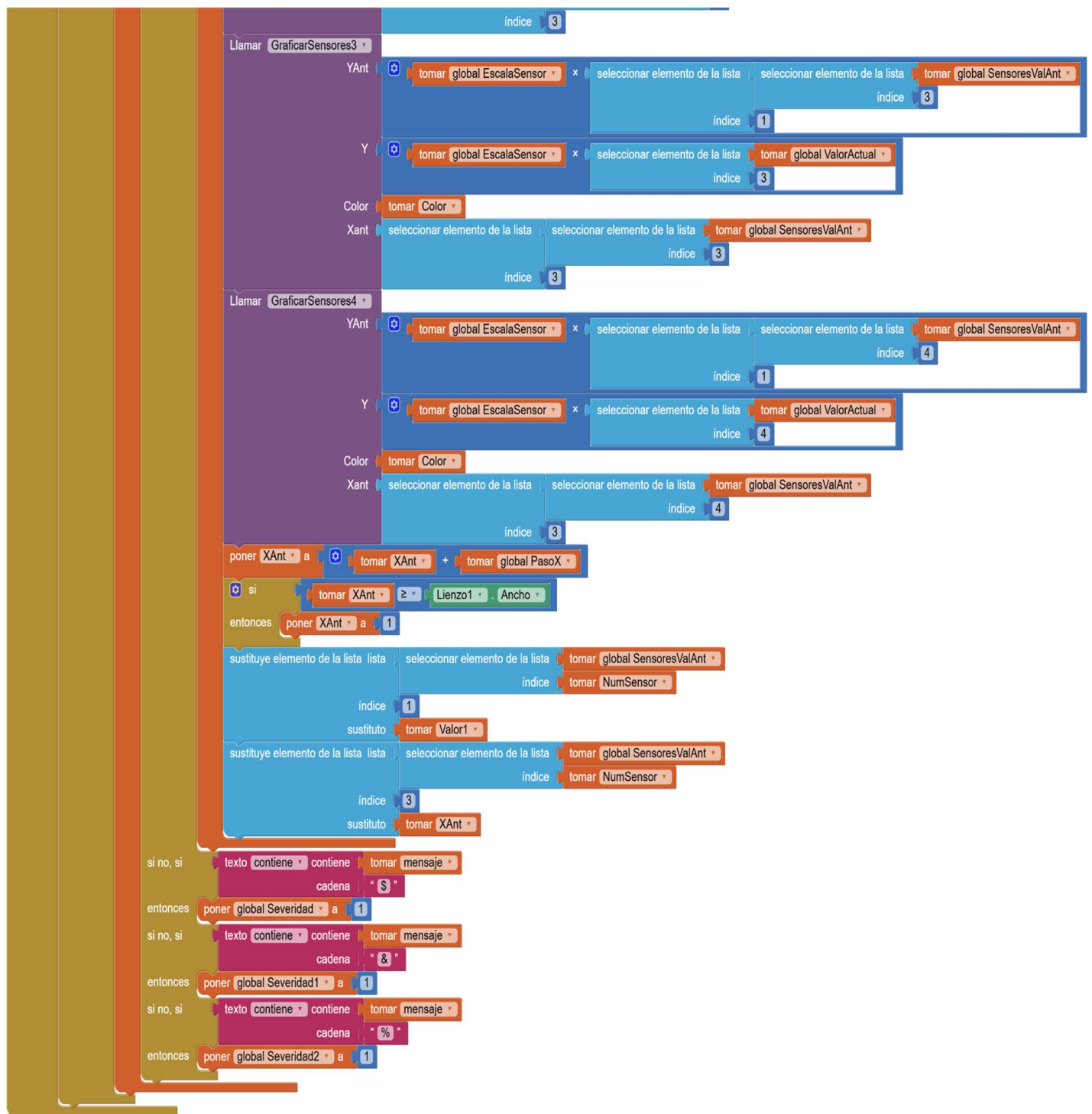


Fig. 51 Programación de bloque 11 (Parte inferior).

El bloque “LeerSensor” separa la cadena de texto entre el número de sensor y el dato de dicho sensor, se usa el carácter “,” para hacer la división de la cadena de texto, figura 52.



Fig. 52 Programación de bloque 12.

Al llamar los procedimientos “GraficarSensores” se tienen una variables internas que son las que se verán plasmadas en el lienzo, para eso primero se pone el color del dibujo sobre el lienzo, se llama al bloque dibujar línea en lienzo y se van seleccionando los puntos en el que se colocaran los punto en coordenadas X y Y al poner dos puntos en el lienzo procede a unirlos en una línea, al final se abre una condicional *si – entonces* para resetear la gráfica al momento de llegar al final del ancho del lienzo véase figura 53.

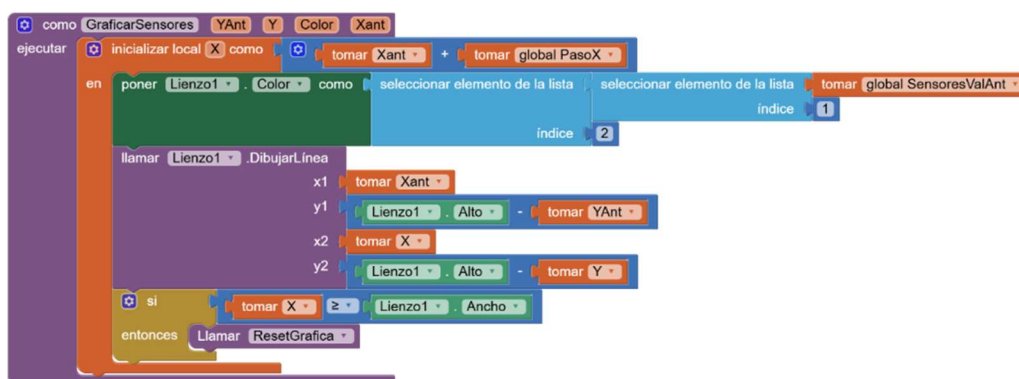


Fig. 53 Programación de bloque 13.

Al llamar el procedimiento “ResetGrafica” se limpian los puntos graficados, el lienzo se coloca de nuevo con el fondo indicado, en la parte de en medio se escribe un texto que ayuda a identificar en que rueda se encuentra el sensor, también se divide en 5 el alto del lienzo para tener valores entre 0 y 5, véase figura 54.

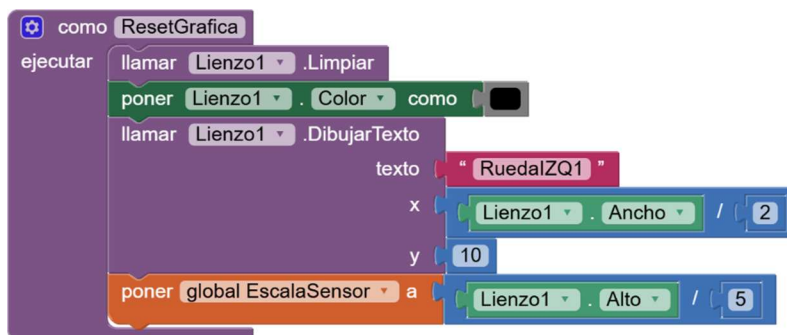


Fig. 54 Programación de bloque 14.

Cada sensor debe tener estos dos procedimientos para que los lienzos puedan graficar lo que pasa en cada sensor en tiempo real, las figuras 55, 56 y 57 muestran los bloques.



Fig. 55 Programación de bloques 15 y 16.

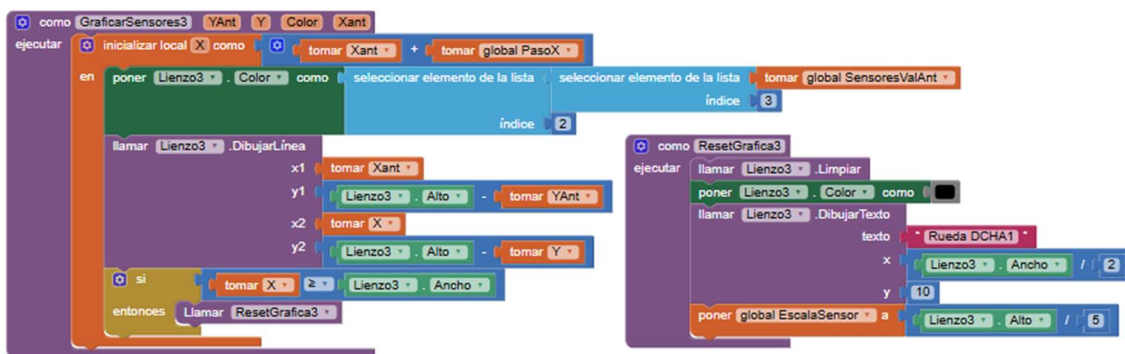


Fig. 56 Programación de bloques 17 y 18.

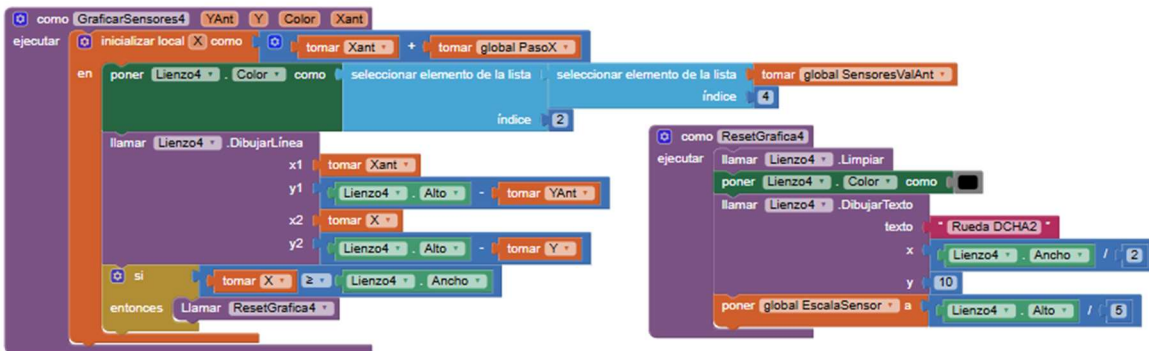


Fig. 57 Programación de bloques 19 y 20.

Se agrega un bloque para el botón3 que es el botón para tener poner una marca sobre el mapa de manera manual para eso se utiliza la variable Pulsado y determinar si se ha pulsado el botón, véase figura 58.

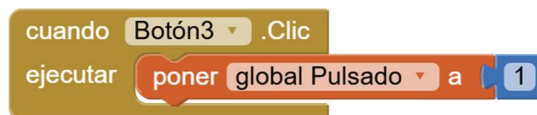


Fig. 58 Programación de bloque 21.

Se agrega un bloque para el Reloj2 que al igual que en el caso de del Reloj1 se tiene todo el procedimiento para dibujar sobre el mapa y colocar los marcadores, en primera instancia se agrega el bloque de permisos bluetooth para no agregar un tercer reloj solo para esta función, luego se toma la variable “ListaPuntos” para tener una lista con la latitud y longitud del dispositivo, si la lista tiene más de dos datos ejecutar los bloques para dibujar sobre el mapa de la aplicación, como el color de la línea o el grosor y la ubicación. También se agrega una condicional *Si-entonces* para añadir un marcador de color verde, amarillo o rojo según el valor de los sensores esto de manera automática o de manera manual con el botón “marcar defecto” señalando en el mapa los defectos encontrados véase figura 59.

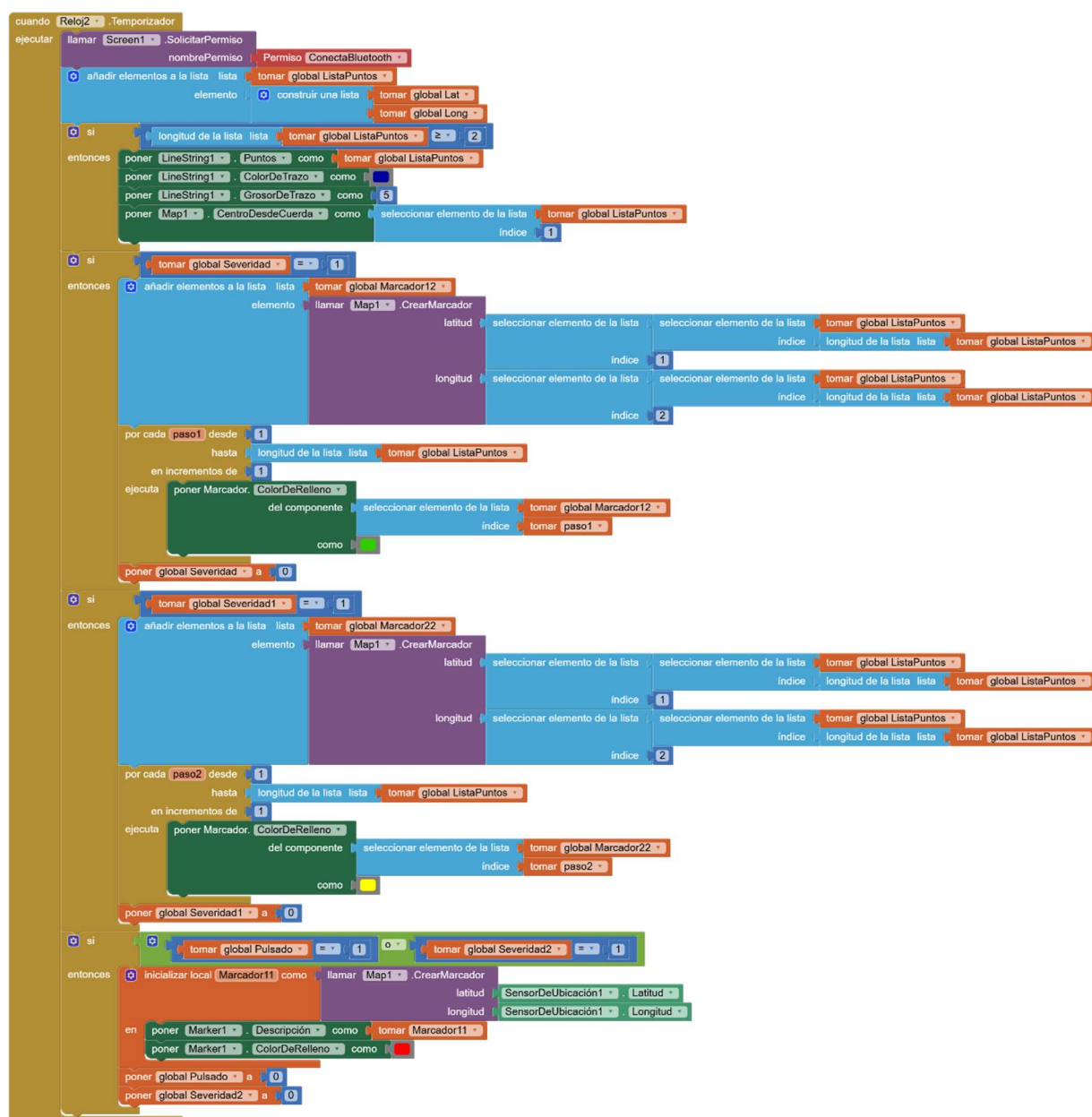


Fig. 59 Programación de bloque 22.

Programación Arduino

El código de Arduino no tiene muchas complicaciones, las líneas de código vienen con un comentario en la parte derecha que incluye el funcionamiento de la línea de código, al utilizar el sensor ADXL335 se incluyen las entradas analógicas de nuestro Arduino y se hacen unas operaciones que más adelante se explicará para que la salida acondicionada esté entre los 0 y 5V, esta salida será enviada a través de nuestro módulo bluetooth HC-05, nuestra aplicación está diseñada para recibir cadena de textos mismos que tendrán la información de cada sensor, tanto la programación de bloques como la de Arduino trabajan en conjunto.

```
//-----Definición_de_variables-----  
#define z1Pin A1 // se define la variable Z1 al puerto analógico A1  
#define z2Pin A2  
#define z3Pin A3  
#define z4Pin A4  
int LEDV = 24; // el puerto digital 24 se encarga de prender el led verde  
int LEDR = 26; // el puerto digital 26 se encarga de prender el led rojo  
char conectar; // se recibe una cadena de texto  
//-----  
// Para reducir el posible ruido se toman 10 muestras  
const int samples = 10;  
//-----Configuración-----  
  
void setup()  
{  
  Serial.begin(9600); //comunicación serial de 9600 baudios  
  pinMode(LEDV, OUTPUT); // configuración de puerto digital como salida  
  pinMode(LEDR, OUTPUT); // configuración de puerto digital como salida  
}
```

```

void loop()
//-----Parpadeo_Led-----
{ digitalWrite(LEDV, HIGH); //Se prende el Led Verde
  if(Serial.available(>0){ //Al conectar el Bluetooth la aplicación manda un símbolo
    conectar=Serial.read();
  }
  if (conectar=='A'){ //Vease Figura 53
    digitalWrite(LEDV, HIGH); // Se prende el Led Verde
    delay(300); // espera por 300 milisegundos
    digitalWrite(LEDV, LOW); // Se apaga el Led Verde
    delay(100);
    digitalWrite(LEDV, HIGH); // Se prende el Led Verde
    delay(300);
    digitalWrite(LEDV, LOW); // Se apaga el Led Verde
    delay(4000); }
    else if (conectar=='E'){
    digitalWrite(LEDV, LOW); }
//-----Lectura_de_datos-----
int z1=0,z2=0,z3=0,z4=0;
for(int i=0;i<samples;i++){ // Ciclo For para tomar 10 muestras y sacar un promedio
  z1+=analogRead(z1Pin);
  z2+=analogRead(z2Pin);
  z3+=analogRead(z3Pin);
  z4+=analogRead(z4Pin);
}
z1/=samples;
z2/=samples;
z3/=samples;
z4/=samples;
//-----Acondicionamiento_señal-----
float Val1=((z1-230.0)/77.0)*3.0;
float Val2=((z2-956.0)/9.0)*3.0;
float Val3=((z3-946.0)/10.0)*3.0;
float Val4=((z4-788.0)/296.0)*3.0;

```

```

//-----Cadena_de_Datos-----
Serial.print("#1"); //Se mandan a imprimir el símbolo # véase Figura 59
    Serial.print(","); //Se mandan a imprimir el símbolo , véase Figura 61
        Serial.println(Val1); //Se mandan a imprimir el valor acondicionado del sensor 1
Serial.print("#2");
    Serial.print(",");
        Serial.println(Val2); //Se mandan a imprimir el valor acondicionado del sensor 2
Serial.print("#3");
    Serial.print(",");
        Serial.println(Val3); //Se mandan a imprimir el valor acondicionado del sensor 3
Serial.print("#4");
    Serial.print(",");
        Serial.println(Val4); //Se mandan a imprimir el valor acondicionado del sensor 4
//-----Marcadores_mapa-----
    if (Val1>=3.5 || Val2>=3.5 || Val3>=3.5 || Val4 >=3.5){
        Serial.println("$");
//Manda un caracter $ para poner un marcador verde en el mapa véase Figura 60 y 68
    }
    if (Val1<= -0.5 || Val2<= -0.5 || Val3 <= -0.5 || Val4 <= -0.5){
        Serial.println("$");
//Manda un caracter $ para poner un marcador verde en el mapa véase Figura 60 y 68
    }
    if (Val1>=4.0 || Val2>=4.0 || Val3>=4.0 || Val4 >=4.0){
        Serial.println("&");
//Manda un caracter & para poner un marcador amarillo en el mapa véase Figura 60 y 68
    }
    if (Val1 <= -1.0 || Val2<=-1.0 || Val3<=-1.0 || Val4 <=-1.0){
        Serial.println("&");
//Manda un caracter & para poner un marcador amarillo en el mapa véase Figura 60 y 68
    }
    if (Val1>=4.5 || Val2>=4.5 || Val3>=4.5 || Val4 >=4.5){
        Serial.println("%");
//Manda un caracter % para poner un marcador rojo en el mapa véase Figura 60 y 68
    }

```

```

if (Val1 <= -1.5 || Val2<=-1.5 || Val3<=-1.5 || Val4 <=-1.5){
    Serial.println("%");
    //Manda un caracter % para poner un marcador rojo en el mapa véase Figura 60 y 68
}
delay(300); // espera 300 ms antes de mandar nueva información a la aplicación
}

```

Entorno Virtual

Proteus es un software de automatización de diseño electrónico, normalmente utilizado para la creación de esquemáticos y la manufactura de circuitos impresos, una de las herramientas que Proteus trae integrada es la extensión ISIS el cual se puede simular circuitos en tiempo real.

Para probar la programación realizada tanto en Arduino y la programación de bloques se recurre a generar este entorno virtual, este entorno contiene los elementos mostrados en la figura 60.

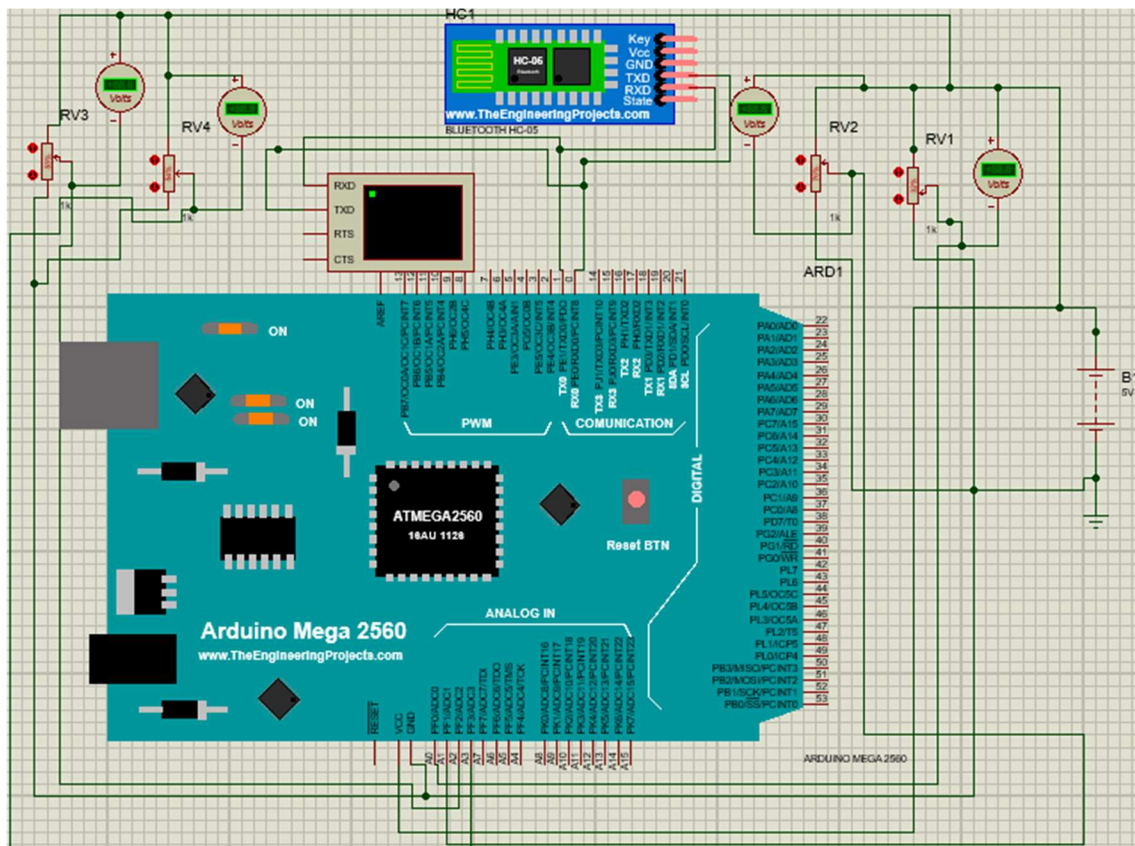


Fig. 60 Entorno virtual en Proteus.

Los elementos principales en este entorno es el modelo de Arduino Mega, un módulo bluetooth HC-05, cuatro potenciómetros, y la terminal virtual que ofrece el simulador, los cuatro potenciómetros harán la función de nuestros sensores ya que no están incluidos los sensores ADXL335, la conexión se realiza en la parte de los puertos analógicos definidos en nuestro programa de Arduino, el módulo Bluetooth va en los puertos de comunicación Tx y Rx.

En paralelo a la conexión con el módulo bluetooth se colocó la terminal virtual para ver los valores de cada potenciómetro, los valores son parecidos a los que se van a obtener directamente de los sensores ADXL335, la figura 61 muestra las cadenas de texto con los valores que estaría recibiendo la aplicación móvil.

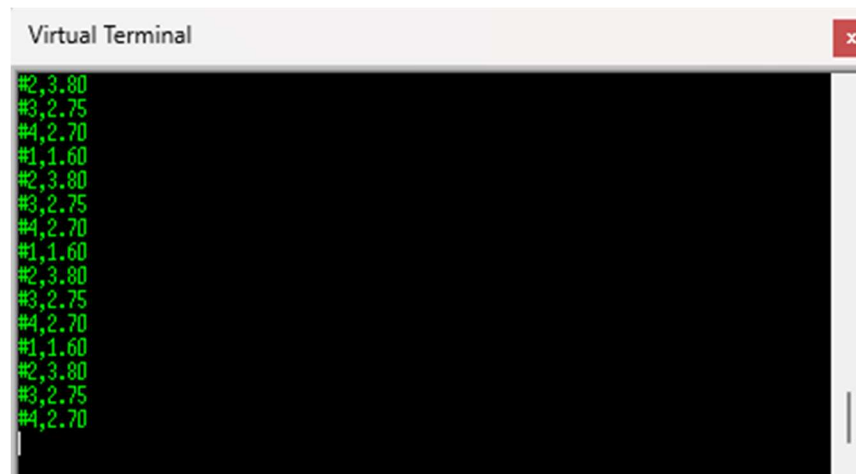


Fig. 61 Terminal Virtual con valores entre 0 y 5 volts.

Para las pruebas de este entorno se utilizó un dispositivo móvil Android marca LG modelo LM-V600TM cuenta con la versión de Android 13, también para simular el recorrido del vehículo se utilizó una aplicación para cambiar la ubicación en tiempo real con un joystick, las pruebas del entorno virtual se aprecian en la figura 62, en la parte posterior muestra unos gráficos de los datos de los potenciómetros, en la parte de arriba de estos gráficos dice que neumático está graficando, en la parte inferior se encuentra el mapa y el joystick, en esta prueba se muestra el trazado de la ruta que se ha circulado, además de poner un marcador de manera automática solo con los valores tomado de los potenciómetros, este entorno ayudó para probar que tanto la programación de Arduino como la de bloques estaban en sintonía y se podía probar ahora si en un entorno real.

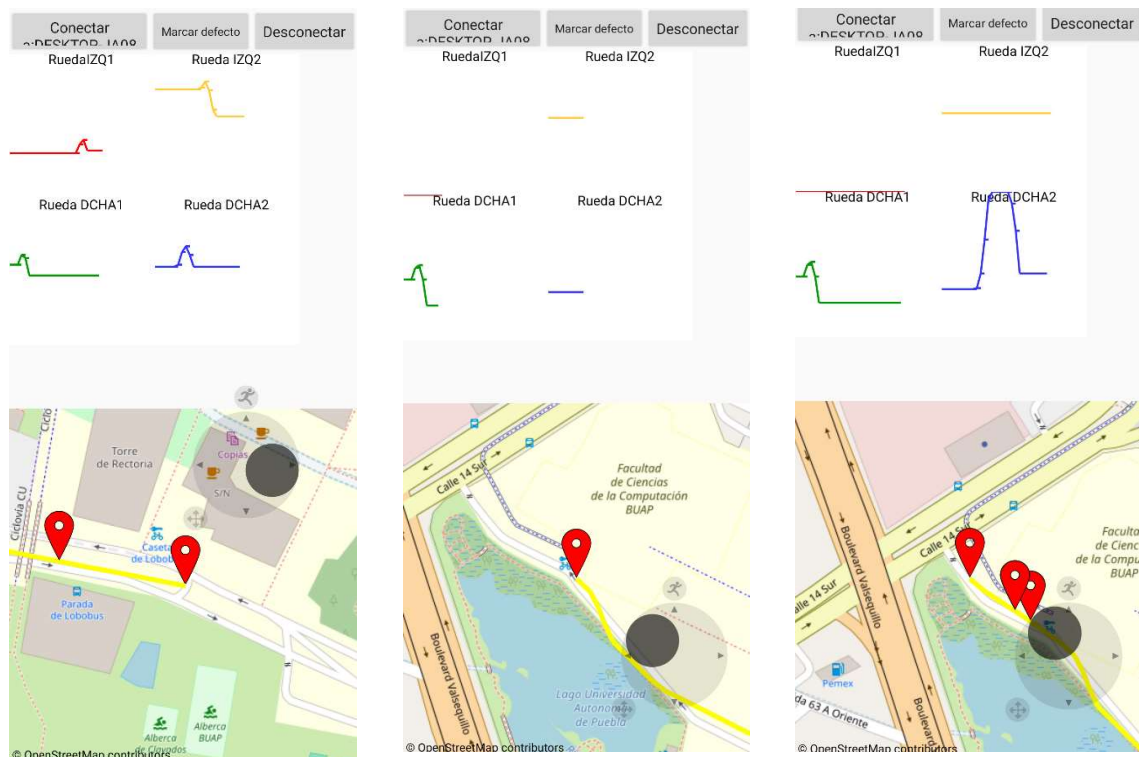


Fig. 62 Pruebas del entorno virtual en aplicación.

Implementación

La configuración de los sensores se puede ver en la figura 63, se colocará un sensor en cada una de las llantas, se han programado para que se desplacen sobre el eje “Z” y el eje “Y” usando sus salidas analógicas de estos ejes, al detectar movimiento de abajo hacia arriba nos mandará los datos al microcontrolador que a su vez mandará las señales al dispositivo móvil, que irá marcando en el mapa la trayectoria y los tramos con más daño o mayor desplazamiento dejará sobre el mapa unos marcadores de colores vistos con anterioridad.

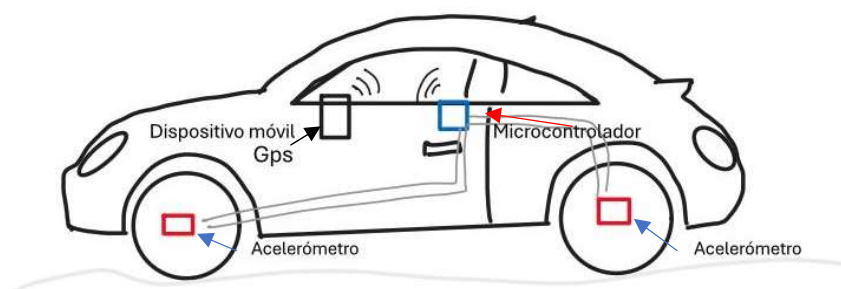


Fig. 63 Configuración de vehículo de pruebas.

El vehículo de pruebas es el New Beetle de la marca Volkswagen, este vehículo se encuentra dentro de las instalaciones de ciudad universitaria, en la ciudad de Puebla, como se muestra en la figura 64.



Fig. 64 New Beetle usado como vehículo de pruebas.

La instalación de los sensores se realizó en la parte inferior del brazo de la suspensión, justo en donde se presentan la mayor cantidad de movimiento en las llantas, estos movimientos se absorben por la suspensión y no se transmiten a otras partes de la carrocería o el habitáculo, es por lo que la mejor forma de obtener los movimientos arriba y debajo de un vehículo es en esa sección del vehículo, la cual reflejará el estado actual de una carretera o un camino. La figura 65 muestran la instalación de los sensores ADXL335 en las ruedas delanteras usando el eje “Y” y en las ruedas traseras se usa el eje “Z”, se añade también una placa plástica para que se asiente el sensor y de esta forma ningún pin de la placa toca directamente la carrocería, la sujeción mediante tornillos hace que nuestro sensor esté completamente fijo.



Fig. 65 Instalación de los sensores en el eje Y (lado derecho) y el eje Z (lado izquierdo).

Los cintillos de sujeción están sosteniendo la parte de la placa de plástico y no directamente el sensor, estos cintillos tienen la ventaja al adaptarse a la pieza en la que el sensor se necesita sujetar, además la placa de plástico contiene dos canales para que la sujeción del cintillo y el sensor sea la mayor posible, evitando que el sensor tenga movimientos indeseados.

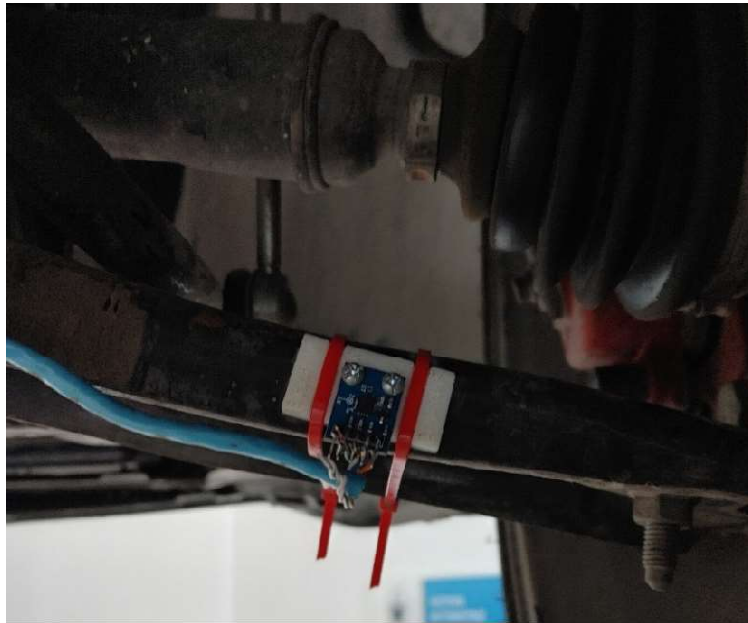


Fig. 66 Instalación de los sensores en el eje Y.

Los sensores están conectados a cables de UTP o de red, ya que tiene varias ventajas, el uso de los cables internos al alimentar y transmitir los datos a nuestra microcontrolador, en la figura 36 se observan las cinco conexiones que necesita el sensor, además de tener una protección plástica los cables están seguros de una posible rotura pues están a la intemperie, la flexibilidad es el ideal por la cantidad de movimiento y la instalación es sencilla, por último el costo por metro que puede tener es relativamente bajo.



Fig. 67 Instalación de los sensores en el eje Z.

En las primeras pruebas realizadas se utilizó un protoboard, diseño que se puede apreciar en la figura 68, los datos recolectados en dos ocasiones se notaron que no tenían correlación además que no se pudieron repetir tomando en cuenta que se condujo sobre la misma ruta, este diseño resultó no ser confiable.

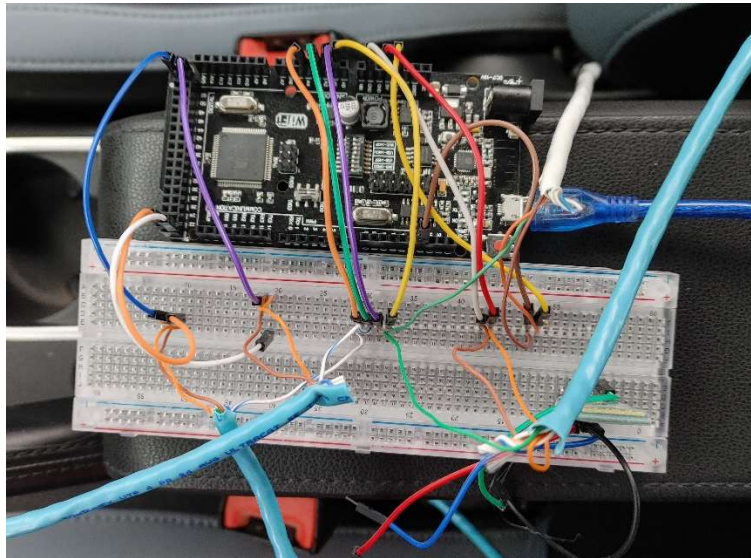


Fig. 68 Primer diseño para alimentación y recolección de datos.

Las gráficas obtenidas se pueden ver en el Anexo, gráfico 1, en este gráfico de primera prueba de conducción, las cuatro ruedas presentaron valores que no había relación entre ellas, por lo que se procedió a realizar una segunda prueba, véase Anexo, gráfico 2.

Para solucionar este problema se utiliza un conector como se muestra en la figura 69 que tiene un conector macho y un hembra con 17 pines, se utilizarán al menos 16 pines para la alimentación y la recolección de datos, esto ayudará a mantener todos los cables en su lugar y no haya desconexiones durante el trayecto.



Fig. 69 Conector de 17 pines.

Acondicionamiento

Los datos que se obtuvieron después de esta mejora se pueden apreciar en el Anexo, gráfico 3,4,5 la gran diferencia son los datos uniformes y la repetibilidad, ahora se pueden usar estos datos como referencia y así acondicionar las señales de salida para que la aplicación reciba valores entre 0 y 3 Volts.

El vehículo se sometió a una conducción que se experimenta en una conducción cotidiana. Estos datos se recolectaron distintos días, los sensores al reaccionar con el movimiento, la cantidad de movimiento arroja un valor numérico para posteriormente dejar marcas en el mapa de nuestra aplicación, es por esto que definir límites en la cual no habrá reacción alguna en la aplicación dando por sentado que el asfalto presenta muy poca variación y que es meramente absorbida por el neumático, por el contrario si se sale de esos límites supondría que el asfalto presenta muchas más variaciones e imperfecciones.

El método utilizado para definir los límites tanto superior como inferior es el siguiente, al tomar el muestreo se notó que hay una distribución normal en el aspecto que la mayoría de donde se recorrió el asfalto presentaba muy buenas condiciones, además que se descartaron el rango de valores cuando el vehículo se encuentra sin movimiento y en ralenti, gráficos que se ven en el Anexo, gráfico 6. El hecho que se descarten esos datos se ahorra una gran parte del proceso, el siguiente paso fue determinar la media μ de cada uno de los sensores dependiendo el día de muestreo, todos los datos fueron exportados en una hoja de cálculo en Excel, herramienta que fue de ayuda a conseguir de manera más rápida la media μ y la desviación estándar poblacional σ , usando las funciones de Excel como:

- = *PROMEDIO*(B:B) : Devuelve el promedio (media aritmética) de los argumentos.
- = *DESVEST.P*(B:B) : Determina la Desviación Estándar Poblacional utiliza la

siguiente fórmula
$$\frac{\sqrt{\sum(X-\mu)^2}}{n}$$

Donde X es un dato del conjunto de datos, μ es la media, y n es el total de datos.

Los datos obtenidos en cada sensor se muestran en las tablas 1, 2, 3 y 4 que se encuentran en el Anexo, los límites y la media son promediados dando resultado la tabla 9.

	Sensor 1	Sensor 2	Sensor 3	Sensor 4
LS	307	965	956	1,082
LC	268	960	951	935
LI	230	956	946	788

Tabla 9. Límite superior, central e inferior de cada sensor.

A cada uno de los sensores se le pusieron límites para acondicionar la salida y obtener una salida entre 0 y 3V, entonces se procede a usar una transformación lineal para escalar estos valores. Esto se puede hacer utilizando la fórmula de normalización lineal, que convierte un rango de valores a otro.

La fórmula de normalización lineal utilizada es la siguiente:

$$y = \frac{(x - \min_x)}{\max_x - \min_x} \times (\max_y - \min_y) + \min_y$$

Donde, x es el dato de salida de un sensor, $\min_x$ es el que fijamos como el límite inferior, $\max_x$ es el que fijamos como el límite superior, $\max_y$ toma el valor de salida rectificada más alto en este caso 3 (volts) y por último $\min_y$ toma el valor de salida rectificada más bajo en este caso 0 (volts).

Entonces para el sensor 1 quedaría de la siguiente manera:

$$y = \frac{(x - 230)}{307 - 230} \times (3 - 0) + 0 \Rightarrow y = \frac{(x - 230)}{77} \times 3$$

Para el sensor 2 quedaría de la siguiente manera:

$$y = \frac{(x - 965)}{965 - 956} \times (3 - 0) + 0 \Rightarrow y = \frac{(x - 965)}{9} \times 3$$

Para el sensor 3 quedaría de la siguiente manera:

$$y = \frac{(x - 955)}{955 - 945} \times (3 - 0) + 0 \Rightarrow y = \frac{(x - 955)}{10} \times 3$$

Para el sensor 4 quedaría de la siguiente manera:

$$y = \frac{(x - 1082)}{1082 - 788} \times (3 - 0) + 0 \Rightarrow y = \frac{(x - 1082)}{294} \times 3$$

Todos los datos que sobre pasen los 3 volts o estén por debajo de los 0 volts quiere decir que esa zona en particular hay mucha más variación de lo normal, se pondrá una marca de un color verde si se encuentra una medición arriba de 3.5 volts, pero menor de 4.0, una marca amarilla si pasa de 4.0 volts, pero menor de 4.5 volts y una marca roja a mayores de 4.5 volts, esta programación fue antes vista en la sección de programación Arduino.

Capítulo IV

Resultados

En esta sección se mostrarán una serie de imágenes relacionadas a la búsqueda de imperfecciones en la carpeta asfáltica, en la parte superior izquierda se aprecia la aplicación con los gráficos de cada sensor, junto con las marcas dejadas en el mapa, la parte superior derecha se usa el servicio de Google maps para presentar donde fueron tomadas las fotos y en la parte posterior de cada imagen se pueden notar las imperfecciones encontradas.

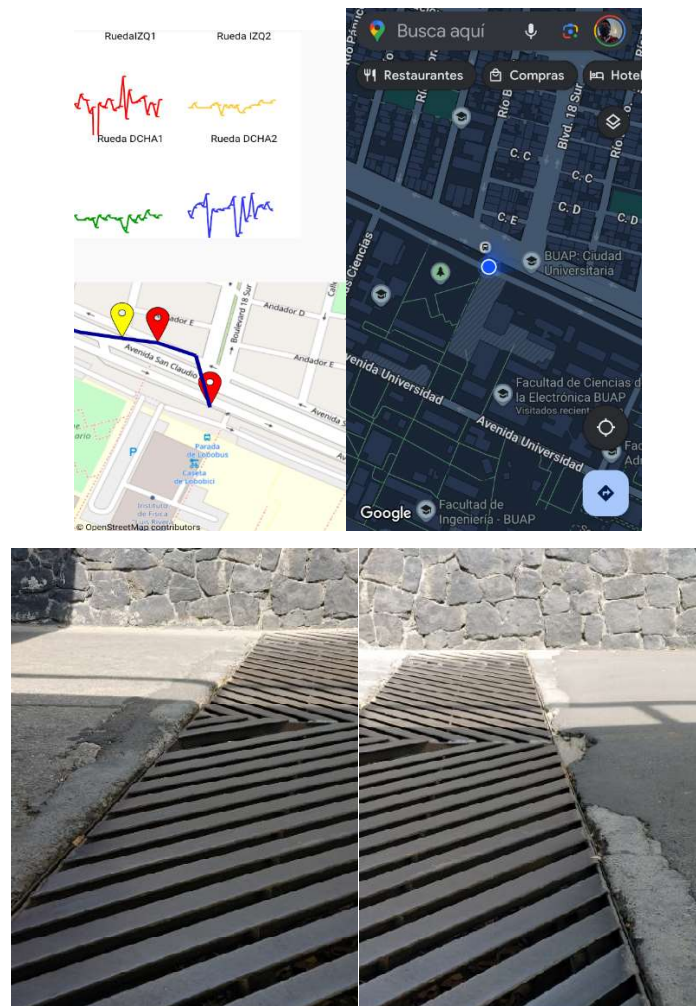


Fig. 70 Variación detectada por borde de alcantarilla.

La parte inferior de la figura 70 muestra como el borde del asfalto y la alcantarilla muestra primero un desfase de alrededor de 4 cm, otra cuestión es que la alcantarilla no es fija si no que presenta movimiento, esto hace que el valor entre el borde y la alcantarilla aumente, en segundo lugar, se muestra el desgaste de pavimento formándose un bache, esta imperfección hizo que se marcaran tanto una marca amarilla y roja en nuestro mapa, como muestra de mucho desplazamiento.

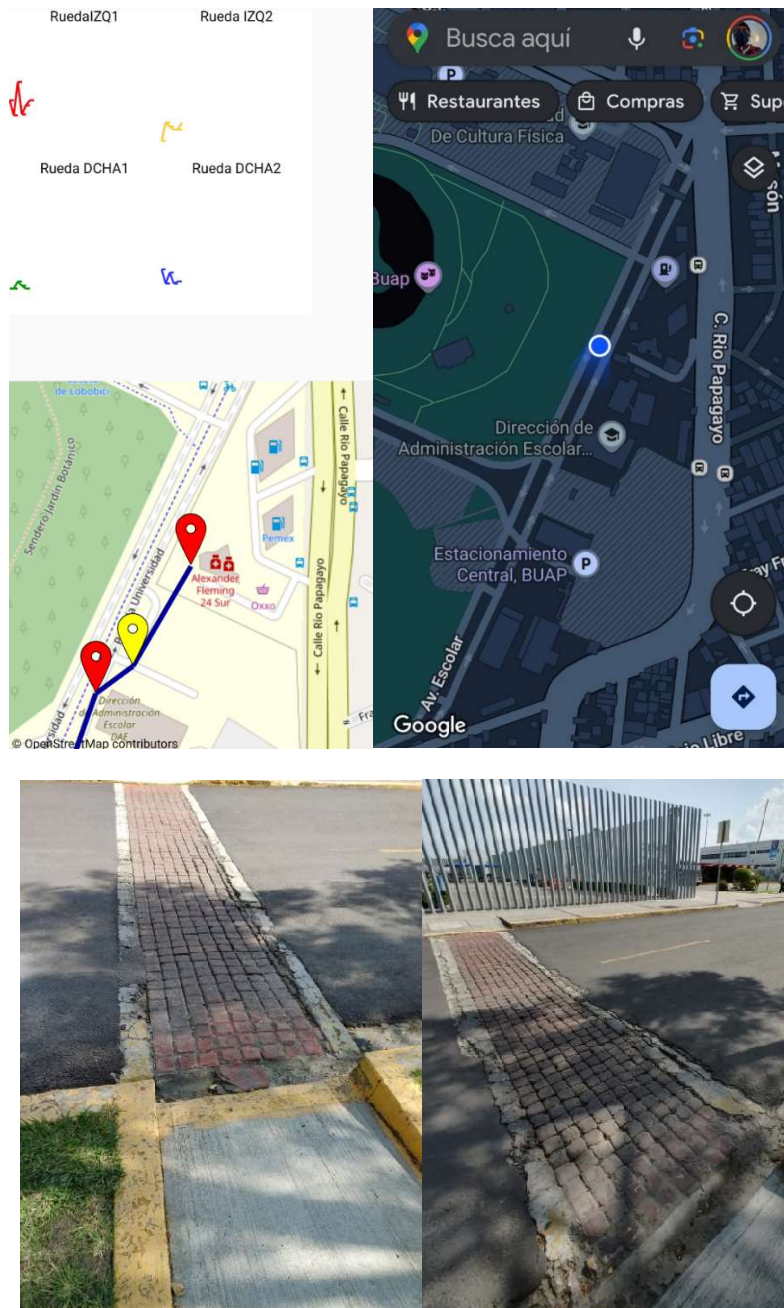


Fig. 71 Imperfección por borde de cruce peatonal en mal estado.

La figura 71 muestra dos marcas distintas, encontrando como un pequeño desnivel entre la carpeta asfáltica y un paso peatonal ya deteriorada, al estar a desnivel se detecta como un bache, en los bordes también se puede notar también agrietamientos por la falta de mantenimiento.

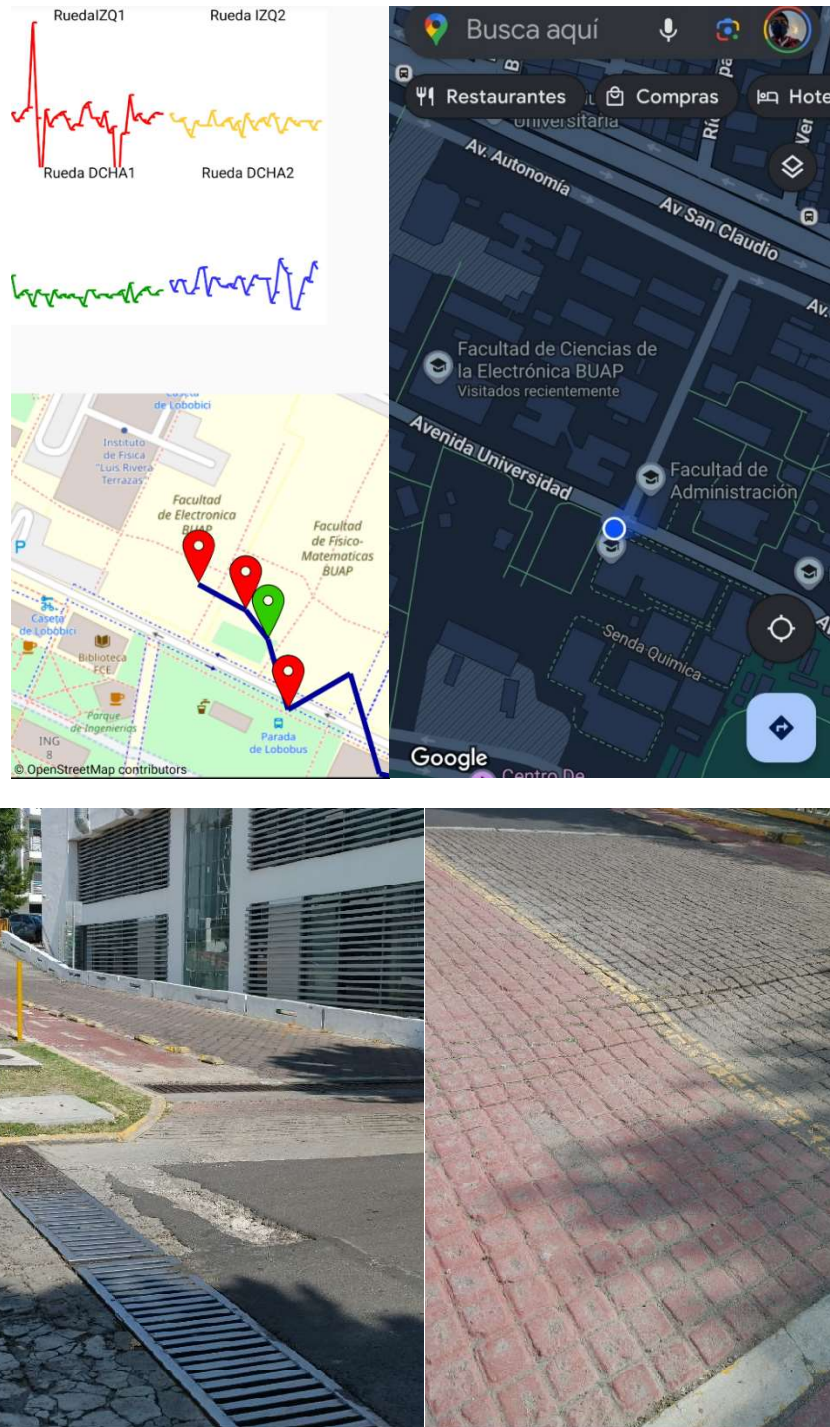


Fig. 72 Imperfecciones detectadas por bache, alcantarilla y desnivel.

Las imperfecciones mostradas en la figura 72 son las más comunes, los baches y los desniveles, el vehículo pasó por estas imperfecciones y ambas dejaron marcas rojas como muestra de un mayor desplazamiento, otra observación es que dejó un punto verde que no había una variación grande se debe a las grietas posteriores al bache.

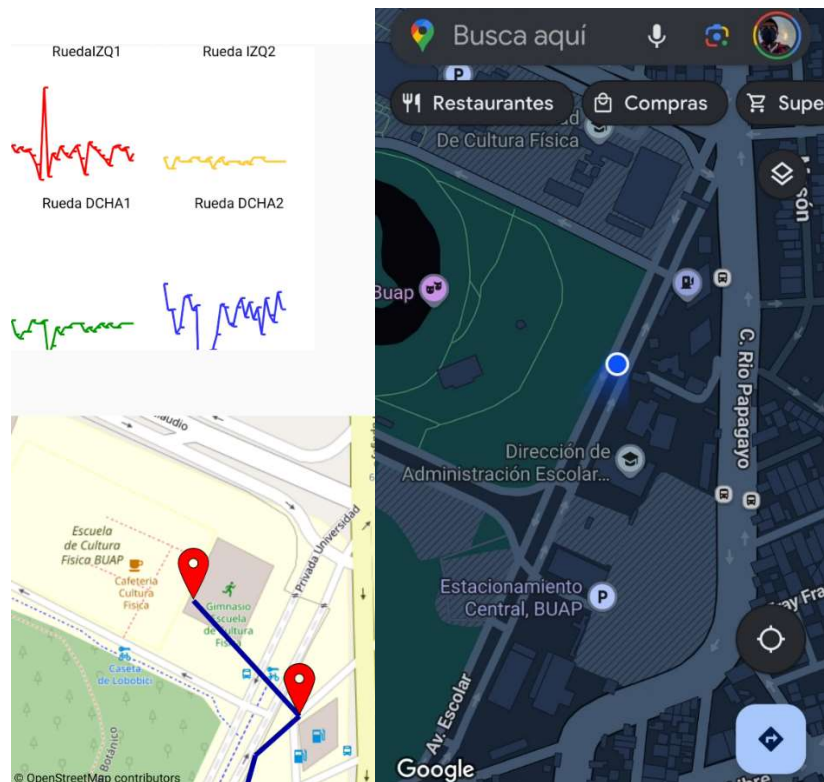


Fig. 73 Imperfección por saliente de alcantarilla.

La figura 73 muestra una situación común en México, los parches, primero hay desnivel desde el asfalto a la alcantarilla, pero las fotos muestran como la alcantarilla esta sobresaliente del suelo de aproximadamente 2 y crece hasta los 3 cm en lo más alto del parche, cuando se hacen “mantenimiento” de baches dejan un saliente de este tipo y si se ve en las gráficas muestra como las llantas se mueven en señal de mucho movimiento, el amortiguador tiene que absorber esa energía.

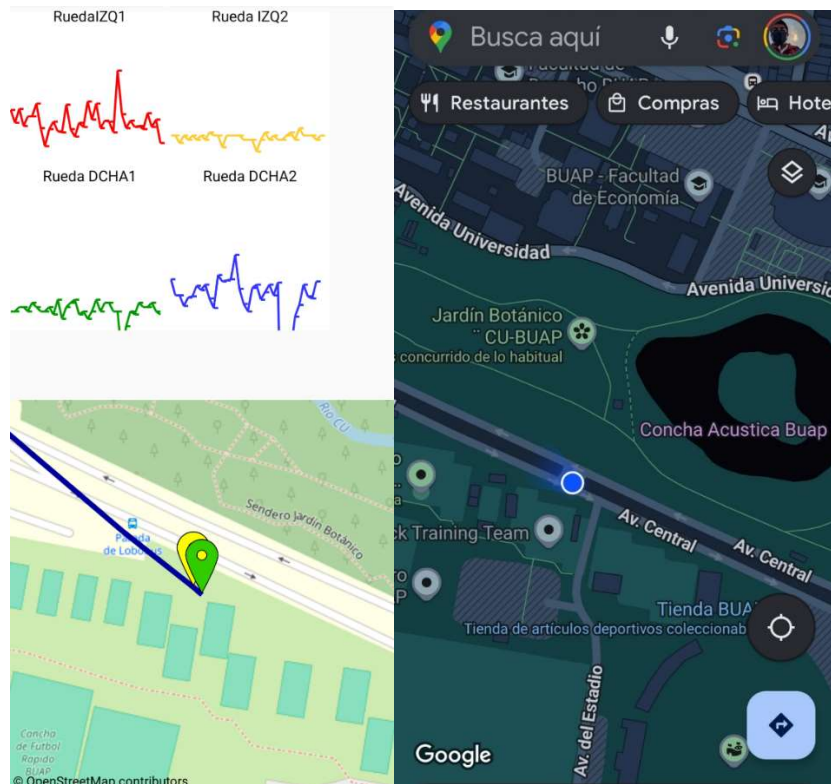


Fig. 74 Imperfecciones detectadas por tope y bordes de alcantarilla en mal estado.

Los reductores de velocidad son buenos para moderar la velocidad, aunque tener una cultura vial es mejor, respetar los límites de velocidad, tener menos baches y topes hace más eficiente la conducción y con esto hay muchas ventajas, la aplicación muestra que se detectaron reductores de velocidad y una alcantarilla en mal estado, los bordes muestran daño, la figura 74 muestra como la aplicación dejó dos marcas, una verde y una amarilla a pesar de que la gráfica muestra un desplazamiento mayor en la “Rueda Derecha 2”.



Fig. 75 Imperfecciones detectadas por borde en mal estado de alcantarillas y pasos peatonales.

La figura 75 muestra el mapa de una conducción seguida de alrededor de 5 minutos, esta fue una de las pruebas finales, en la que se detectaron reductores de velocidad, bordes en mal estado y baches.

Conclusiones

- El motivo de este trabajo era crear un prototipo enlazado a una aplicación móvil Android que detectara imperfecciones en la carpeta asfáltica, la aplicación desarrollada en el capítulo III en la página de MIT App Inventor funciona tal cual se esperaba, es decir, grafica los datos desde cada sensor instalado en un el vehículo de pruebas, además la aplicación muestra la ubicación de cada imperfección encontrada en recorridos dentro de Ciudad Universitaria, por último el prototipo desarrollado se enlaza y mantiene la comunicación con el dispositivo móvil, algunas características e imágenes del prototipo desarrollado se encuentran en la parte del Anexo Imágenes 1 y 2.
- Es de conocimiento general que a nivel nacional y en particular la ciudad de Puebla, los accidentes por vialidades en mal estado vayan en aumento año tras año, es imposible reducir a cero, pero mientras más cercano a cero se puedan tener los accidentes es mejor, ya que no solo se juega con daños materiales si no involucra la vida de pasajeros y terceros, como se ha visto en capítulos anteriores, tener una carpeta asfáltica en buen estado ayuda a que los accidentes se reduzcan hasta en un 50%.
- El tener una mejor infraestructura en las vialidades puede tener un notable ahorro de tiempo de traslados, ahorro económico tanto en gasolina como por mantenimiento a los vehículos particulares, sobre todo al cambiar componentes como neumáticos y ahorro en emisiones y desechos contaminantes.
- En parte las autoridades tienen una obligación con la sociedad de mejorar la infraestructura de las vialidades y tenerlas en óptimas condiciones, así mismo la sociedad tiene como obligación mejorar la cultura vial, respetando los límites de velocidad, obedeciendo los señalamientos y obedeciendo los reglamentos de tránsito, de esta forma se mejora en todos los aspectos una conducción más eficiente.

- Con los avances tecnológicos que se tienen es posible detectar de manera inmediata que vialidades son las más afectadas por el constante tránsito, por las condiciones climáticas y por la falta de mantenimiento, esto con la finalidad de optimizar los recursos y planear que vialidades van a estar en mantenimiento para ofrecer rutas alternas mientras esto ocurre y así los automovilistas puedan prever que rutas serán cerradas, además de aprovechar las ventajas que nos ofrece la tecnología para hacerlo de manera automática.
- Este proyecto es la primera fase dejando las bases de lo que puede ser un proyecto a gran escala ya sea a nivel estado y a nivel nacional, el prototipo que se expone tiene el potencial para mejorar en muchos aspectos, así también se planea en un futuro próximo montarlo en una flota de vehículos para que el mapeo sea más rápido y también se utilice en otras ciudades del país y aun fuera que sufren este mismo problema, este proyecto ofrece la ventaja que cualquier vehículo puede ser acondicionado además que nuestro prototipo es portable y fácil de producir volviéndose así un proyecto rentable además del beneficio para los automovilistas, mejorando así la calidad de vida de toda la sociedad.

Recomendaciones

- Se recomienda usar el siguiente diagrama de procesos para iniciar la aplicación:

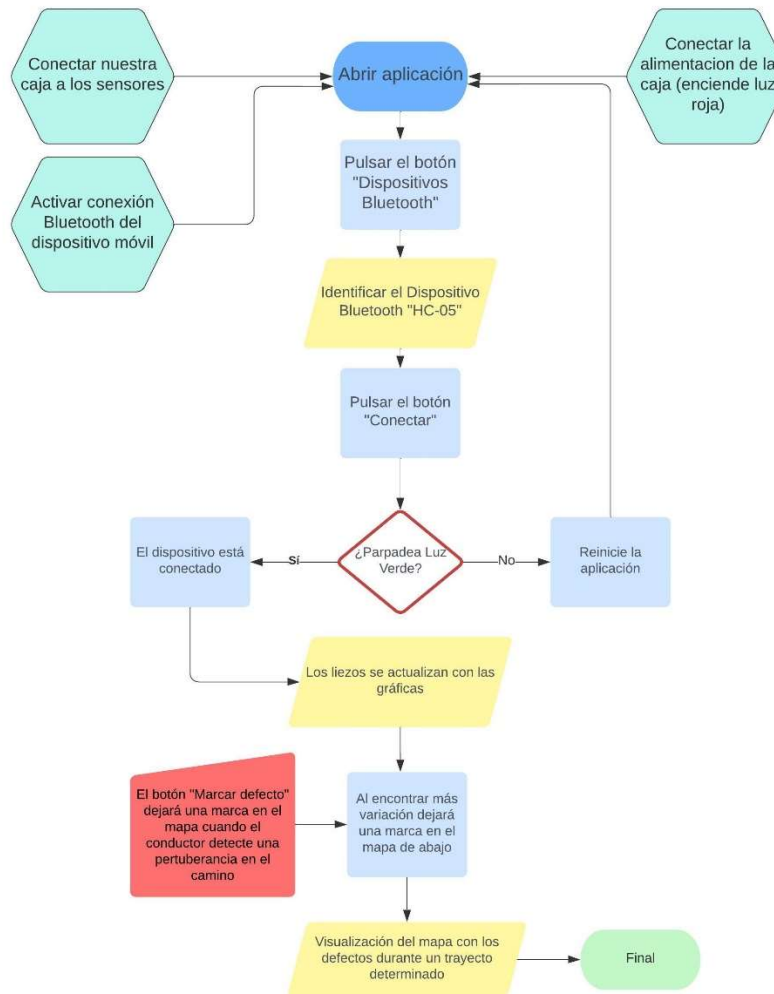


Fig. 76 Diagrama de flujo de uso de aplicación móvil.

- Para la adquisición de datos es necesario llevar el carro de pruebas a una velocidad constante no mayor a 20 km/h, posterior a esta velocidad es necesario contar con otro tipo de sensores y la actualización de datos debe ser otra
- Los datos se quedarán guardados en la tarjeta y en el mapa del teléfono, se plantea una mejora para guardar los datos en la nube, esto en una actualización más adelante.
- El GPS utilizado directamente en el teléfono requiere de datos móviles para su actualización, al usar un software libre la precisión puede no ser la mejor, se plantea mejorar este sistema GPS en actualizaciones posteriores.

Referencias

- [1] La Vanguardia (noviembre de 2019). Karl Benz y la creación del primer automóvil... Recuperado 2024, de <https://www.lavanguardia.com/historiayvida/historia-contemporanea/20191125/471783996973/karl-benz-automovil.html>
- [2] AMIA (s. f.). Importancia de la Industria Automotriz. Recuperado 2024, de https://www.amia.com.mx/publicaciones/industria_automotriz/
- [3] INEGI (s. f.). Estadísticas Parque vehicular. Recuperado 2024, de <https://www.inegi.org.mx/temas/vehiculos/>
- [4] Saraí Cervantes - Reforma (marzo de 2024.). Desciende inversión en carreteras. Recuperado 2024, de <https://www.reforma.com/desciende-inversion-en-carreteras/ar2767229>
- [5] Vaa, Truls (1997) Effects of road traffic safety measures: a presentation of the traffic safety handbook. Recuperado 2024. https://www.researchgate.net/publication/229045126_EFFECTS_OF_ROAD_TRAFFIC_SAFE TY_MEASURES_A_PRESENTATION_OF_THE_TRAFFIC_SAFETY_HANDBOOK
- [6] Francisco Alonso, Cristina Esteban, Francisco Tortosa, Sergio Useche (2017). Perception of Road Safety in Children's Environment. Recuperado 2024. DOI: 10.12691/education-5-3-7.
- [7] Priscilla Tobias, Edgar de León Izeppi, Gerardo Flintsch, Samer Katicha, and Ross McCarthy (febrero 2023) Pavement Friction for Road Safety: Primer on Friction Measurement and Management Methods. Recuperado 2024, de <https://highways.dot.gov/sites/fhwa.dot.gov/files/2023-06/FHWA%20Pavement%20Friction%20for%20Road%20Safety%20Primer.pdf>
- [8] FHWA. (julio de 2024). High Friction Surface Treatments (HFST). Recuperado 2024, de <https://highways.dot.gov/safety/rwd/keep-vehicles-road/pavement-friction/hfst>
- [9] ECOASFALT (marzo de 2019). Consecuencias del asfalto en mal estado de conservación. Recuperado 2024, de <https://www.ecoasfalt.es/consecuencias-del-asfalto-en-mal-estado-de-conservacion/>
- [10] Ali Gutiérrez – GNP Autos (septiembre de 2023). Accidentes automovilísticos en México 2023. Recuperado 2024, de <https://gnpautos.mx/blog/estadisticas-de-accidentes-de-autos/>
- [11] Data México (2020). Tiempos de traslado entidad Puebla. Recuperado 2024, de <https://www.economia.gob.mx/datamexico/es/profile/geo/puebla-pu#calidad-vida-tiempo-traslado-trabajo>
- [12] Data México (2020). Tiempos de traslado entidad Puebla. Recuperado 2024, de <https://www.economia.gob.mx/datamexico/es/profile/geo/puebla-pu#calidad-vida-tiempo-traslado-trabajo>
- [13] Data México (2020). Medio de transporte al trabajo y al colegio. Recuperado 2024, de <https://www.economia.gob.mx/datamexico/es/profile/geo/puebla-pu#calidad-vida-medios-transporte>
- [14] SCT (1998). índice internacional de rugosidad en la red carretera de México. Recuperado 2024, de <https://www.imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt108.pdf>

- [15] SCT (1998). Índice internacional de rugosidad en la red carretera de México. Recuperado 2024, de <https://www.imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt108.pdf>
- [16] OMS (diciembre de 2023). A pesar de los notorios progresos, la seguridad vial sigue siendo un problema apremiante para el mundo. Recuperado 2024, de <https://www.who.int/es/news/item/13-12-2023-despite-notable-progress-road-safety-remains-urgent-global-issue#:~:text=El%20Informe%20sobre%20la%20situaci%C3%B3n,millones%20anuales%20de%20este%20a%C3%B1o.>
- [17] Pérez-Acebo, H., Ziolkowski, R., & Gonzalo-Orden, H. (2021). Evaluation of the Radar Speed Cameras and Panels Indicating the Vehicles' Speed as Traffic Calming Measures (TCM) in Short Length Urban Areas Located along Rural Roads. *Energies*, 14(23), 8146. <https://doi.org/10.3390/en14238146>
- [18] Achútegui Viada, F. (2001). La adherencia neumático-pavimento y la seguridad en la circulación. *Revista Digital Del Cedex*, (124), 119. Recuperado a partir de <https://ingenieriacivil.cedex.es/index.php/ingenieria-civil/article/view/1610>
- [19] Flor de María Yanira Zevallos Calle y Sócrates Pedro Muñoz Pérez (diciembre de 2020). Factores influyentes en la resistencia al deslizamiento en pavimentos flexibles: una revisión literaria. Recuperado 2024, de <https://www.cic.cn.umich.mx/cn/article/view/535/411>
- [20] Michelin (s. f.). Profundidad de la banda de rodamiento de la llanta y límite legal. Recuperado 2024, de <https://www.michelin.com.mx/auto/consejos/aspectos-basicos-de-las-llantas/profundidad-de-la-banda-de-rodamiento-de-la-llanta>
- [21] Repsa Autocentro (junio de 2023). Maximizar la seguridad: Cómo influye la profundidad de la banda de rodadura en la distancia de frenado en mojado. Recuperado 2024, de <https://repsaaautocentro.com/maximizar-la-seguridad-como-influye-la-profundidad-de-la-banda-de-rodadura-en-la-distancia-de-frenado-en-mojado/>
- [22] Denton, Tom. (enero de 2016). Diagnóstico Avanzado de Fallas Automotrices (3ª Edición) pp. 278 - 279. Alfaomega.
- [23] Denton, Tom. (enero de 2016). Diagnóstico Avanzado de Fallas Automotrices (3ª Edición) pp. 278 - 279. Alfaomega.
- [24] Race Goodyear (2014). Neumático y asfalto. Juntos por tu seguridad. Recuperado 2024, de <https://www.race.es/wp-content/uploads/2014/04/InformeRACEGOODYEAR-Neumaticos-y-asfalto-2014-juntos-por-tu-seguridad.pdf>
- [25] Kartik Rangam (abril 2020). Automotive Brakes, Safety, and Control Systems | Explained. Recuperado 2024, de <https://gomechanic.in/blog/automotive-brakes-explained/>
- [26] Denton, Tom. (enero de 2016). Diagnóstico Avanzado de Fallas Automotrices (3ª Edición) p. 259. Alfaomega.
- [27] Denton, Tom. (enero de 2016). Diagnóstico Avanzado de Fallas Automotrices (3ª Edición) pp. 264 - 267. Alfaomega.
- [28] Denton, Tom. (enero de 2016). Diagnóstico Avanzado de Fallas Automotrices (3ª Edición) pp. 286 - 291. Alfaomega.
- [29] Aparicio Francisco, Vera Carlos, Diaz Vicente. (2016) Teoría de los vehículos automóviles. (2ª Edición) p. 469. Dextra Editorial S.L

- [30] Chacón, Víctor. (2009) Adaptación de una suspensión magneto-reológica. Escuela politécnica superior de la universidad Carlos III de Madrid
- [31] Auto soporte (2017) Estado de un vehículo en movimiento página de Facebook Recuperado 2024, de <https://autosoporte.com/>
- [32] Chacón, Víctor. (2009) Adaptación de una suspensión magneto-reológica. Escuela politécnica superior de la universidad Carlos III de Madrid
- [33] Chacón, Víctor. (2009) Adaptación de una suspensión magneto-reológica. Escuela politécnica superior de la universidad Carlos III de Madrid
- [34] Ingeniería y mecánica automotriz (mayo de 2020) ¿Qué es el Circulo de Kamm y cómo funciona? Recuperado 2024, de <https://www.ingenieriaymecanicaautomotriz.com/que-es-el-circulo-de-kamm-y-como-funciona/>
- [35] Lebalap (s. f.) Subviraje y Sobreviraje. Recuperado 2024, de [https://autosoporte.com/ Subviraje y Sobreviraje - Lebalap Academy](https://autosoporte.com/Subviraje-y-Sobreviraje-Lebalap-Academy)
- [36] TOC Automotive college (s. f.) Understeer VS Oversteer. Recuperado 2024, de <https://www.toc.edu.my/automotiveandmotorsports-hub/understeer-vs-oversteer>
- [37] TOC Automotive college (s. f.) Understeer VS Oversteer. Recuperado 2024, de <https://www.toc.edu.my/automotiveandmotorsports-hub/understeer-vs-oversteer>
- [38] Moncayo Luis (2004) Cálculo y análisis dinámico del automóvil durante su desplazamiento en carretera. Recuperado 2024. Universidad Politécnica Salesiana.
- [39] Jeffrey S. Kuttlesch (2004) Quantifying the Relationship between Skid Resistance and Wet Weather Accidents for Virginia Data. Recuperado 2024. Faculty of Virginia Polytechnic Institute and State University
- [40] Elvik, R., Vaa, T. (2006). El manual de medidas de seguridad vial. Recuperado 2024. Fundación Instituto Tecnológico para Seguridad del Automóvil. Madrid.
- [41] David Llopis Castelló (noviembre 2020) Resistencia al deslizamiento y seguridad vial. Recuperado 2024, de <https://dallocas.blogs.upv.es/2020/11/21/resistencia-al-deslizamiento-y-seguridad-vial/>
- [42] SCT (1998). Índice internacional de rugosidad en la red carretera de México. Recuperado 2024, de <https://www.imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt108.pdf>
- [43] Šroubek, F., Šorel, M. & Žák, J. Precise International Roughness Index Calculation. Int. J. Pavement Res. Technol. (2021). Recuperado 2024 de <https://library.utia.cas.cz/separaty/2021/ZOI/sroubek-0545847.pdf>
- [44] Chen, S. -L., Lin, C. -H., Tang, C. -W., Chu, L. -P., & Cheng, C. -K. (2020). Research on the International Roughness Index Threshold of Road Rehabilitation in Metropolitan Areas: A Case Study in Taipei City. Recuperado 2024 de, <https://doi.org/10.3390/su122410536>
- [45] SCT (1998). Índice internacional de rugosidad en la red carretera de México. Recuperado 2024, de <https://www.imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt108.pdf>

- [46] José Ventura (mayo de 2005) Determinación del Índice de Regularidad Internacional IRI Recuperado 2024 de <https://www.mop.gob.sv/wp-content/uploads/2010/03/IRI.pdf>
- [47] Universidad de Salamanca (2015) Manual de Introducción a ApplInventor Recuperado 2024 de <https://diarium.usal.es/igallego/files/2015/06/Basicos-APPIinventor-Manual-de-Introduccion.pdf>
- [48] 5Hertz Electrónica (s.f.) ABC del acelerómetro Recuperado 2024 de https://www.5hertz.com/index.php?route=tutoriales/tutorial&tutorial_id=2#:~:text=Los%20aceler%C3%B3metros%20son%20dispositivos%20electromec%C3%A1nicos,uno%2C%20dos%20o%20tres%20ejes.
- [49] 5Hertz Electrónica (s.f.) ABC del acelerómetro Recuperado 2024 de https://www.5hertz.com/index.php?route=tutoriales/tutorial&tutorial_id=2#:~:text=Los%20aceler%C3%B3metros%20son%20dispositivos%20electromec%C3%A1nicos,uno%2C%20dos%20o%20tres%20ejes.

Anexo

El gráfico 1 muestra los datos que arrojaron los sensores en la primera prueba, cada sensor tiene un patrón distinto, ninguno se relaciona ni se ven patrones en los datos, las conexiones se hicieron en un protoboard, por lo que cualquier movimiento de los cables pudo interferir en los datos recabados.

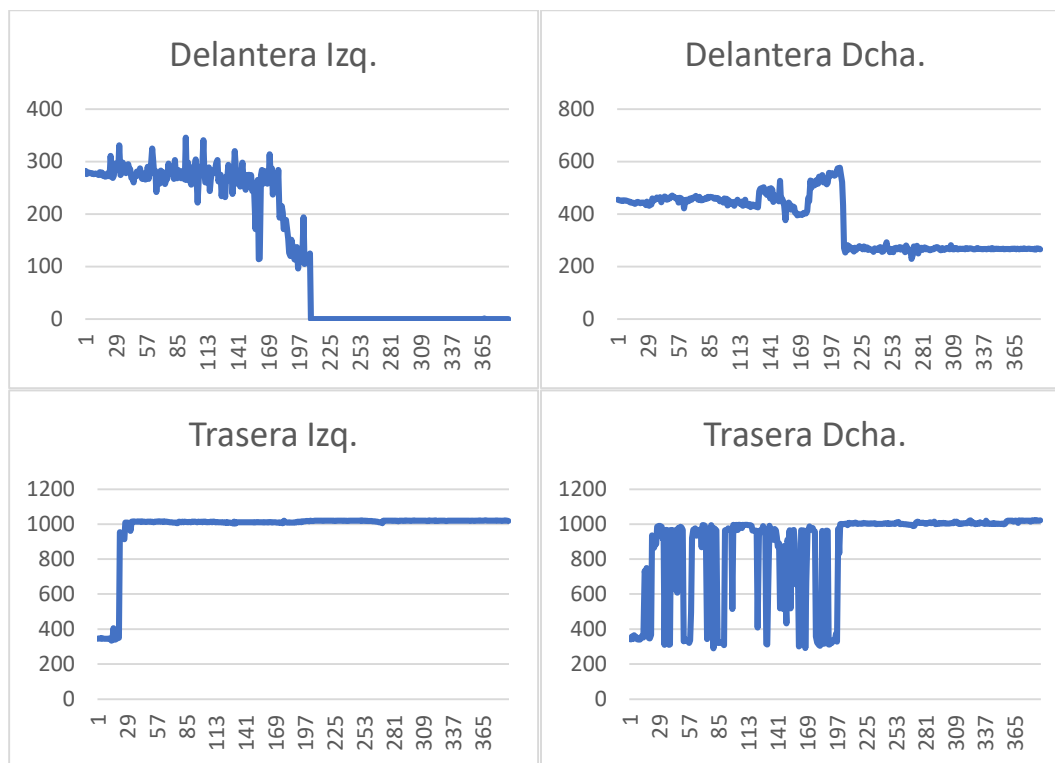
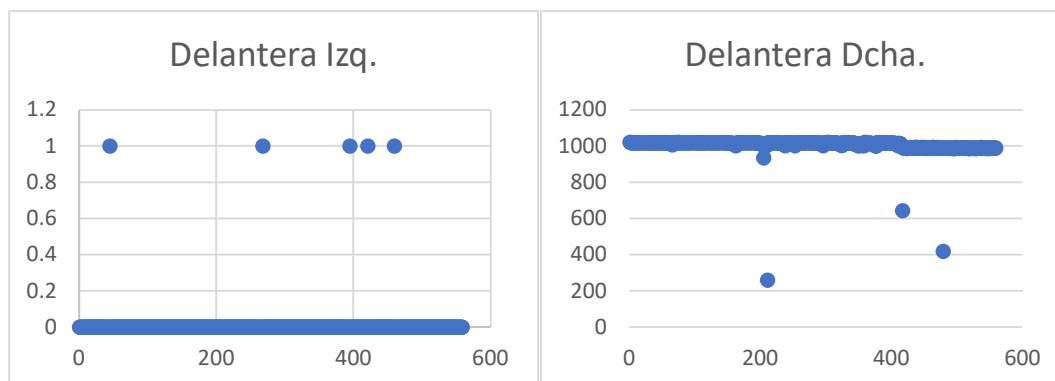


Gráfico 1. Primera prueba con protoboard.

El gráfico 2 muestra las pruebas después de modificar unas conexiones en nuestro circuito, además que se volvió a hacer el mismo recorrido que en el gráfico 1, se nota la similitud entre los datos de salida de cada sensor, además de que los datos son más uniformes, también muestra mucha similitud a los datos que se recabaron con el conector de 17 pines.



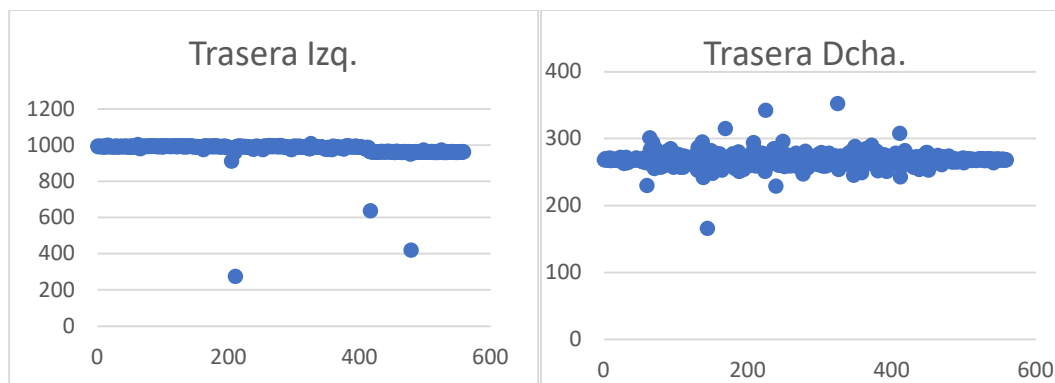


Gráfico 2. Segunda prueba con protoboard.

Los gráficos 3 al 5 son los datos que se utilizaron para acondicionar los datos de salida para la aplicación, las líneas naranjas muestran los límites inferior y superior, además estos datos se recabaron bajo ciertas condiciones.

- El gráfico 3 muestra los datos recolectados el viernes 23 de agosto al mediodía, con 22° de temperatura y un clima soleado, el recorrido duró 10 minutos dentro de CU, los datos se actualizaban cada 150 ms.
- El gráfico 4 muestra los datos del martes 3 de septiembre alrededor de la 1 de la tarde con una temperatura de 23° y un clima soleado, el recorrido duró aproximadamente 15 minutos, los datos se actualizaban cada 150 ms.
- El gráfico 5 muestra los datos recabados el viernes 6 de septiembre a las 11:30 am con una temperatura de 22° en clima parcialmente soleado, la prueba duró alrededor de 20 minutos con una actualización de 100 ms.
- El gráfico 6 muestra los datos en ralenti, el vehículo estaba dentro del taller automotriz, sin ningún tipo de movimiento, la prueba duró 5 minutos y los datos eran actualizados cada 100 ms, estos datos pueden servir para descartar datos que son los datos que se tienen por sólo la vibración si al caso del motor, que sería mínima en comparación de mover toda la suspensión por un bache.



Gráfico 3. Datos recabados el 23 de agosto.

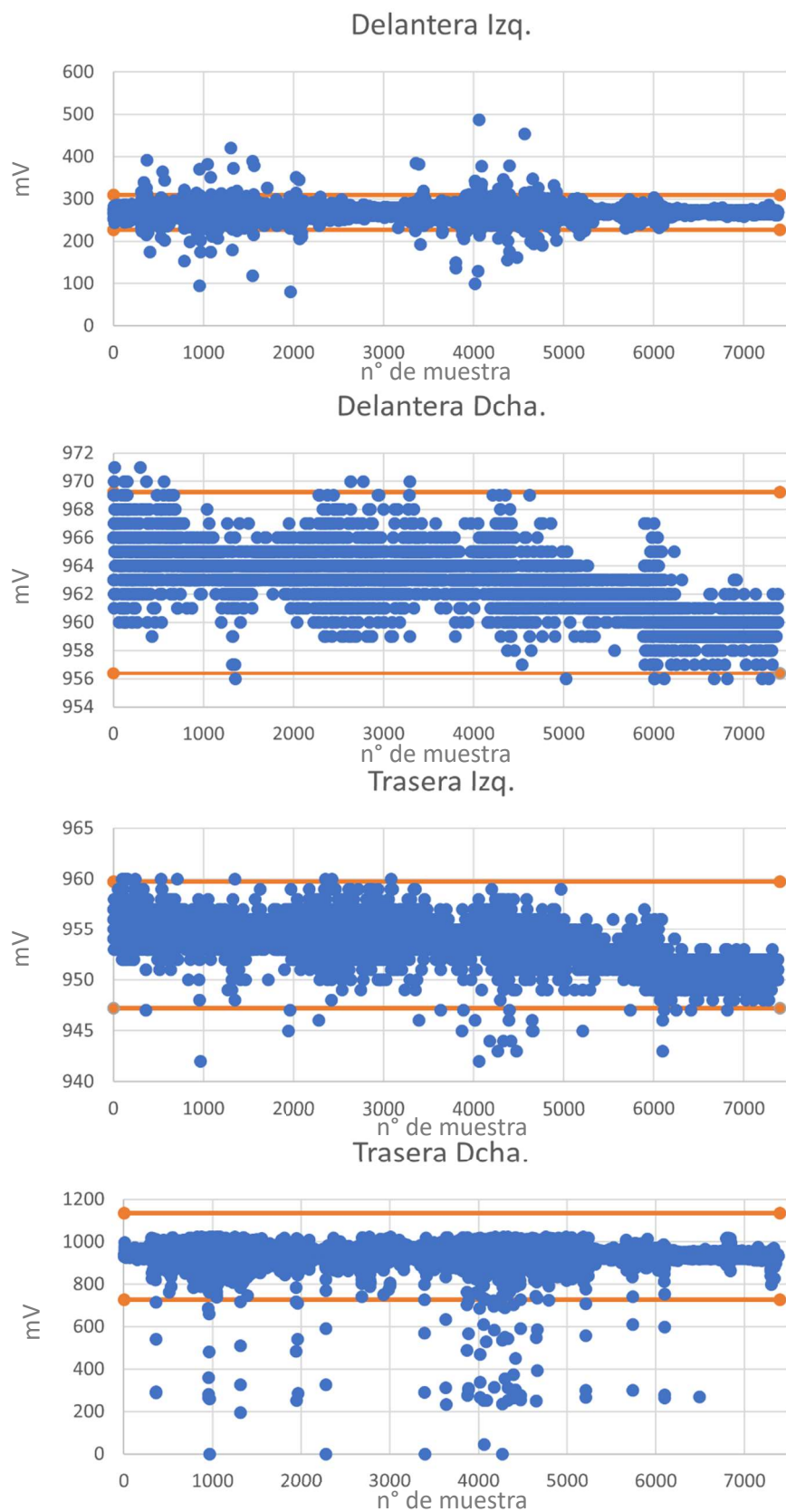


Gráfico 4. Datos recabados el 3 de septiembre.

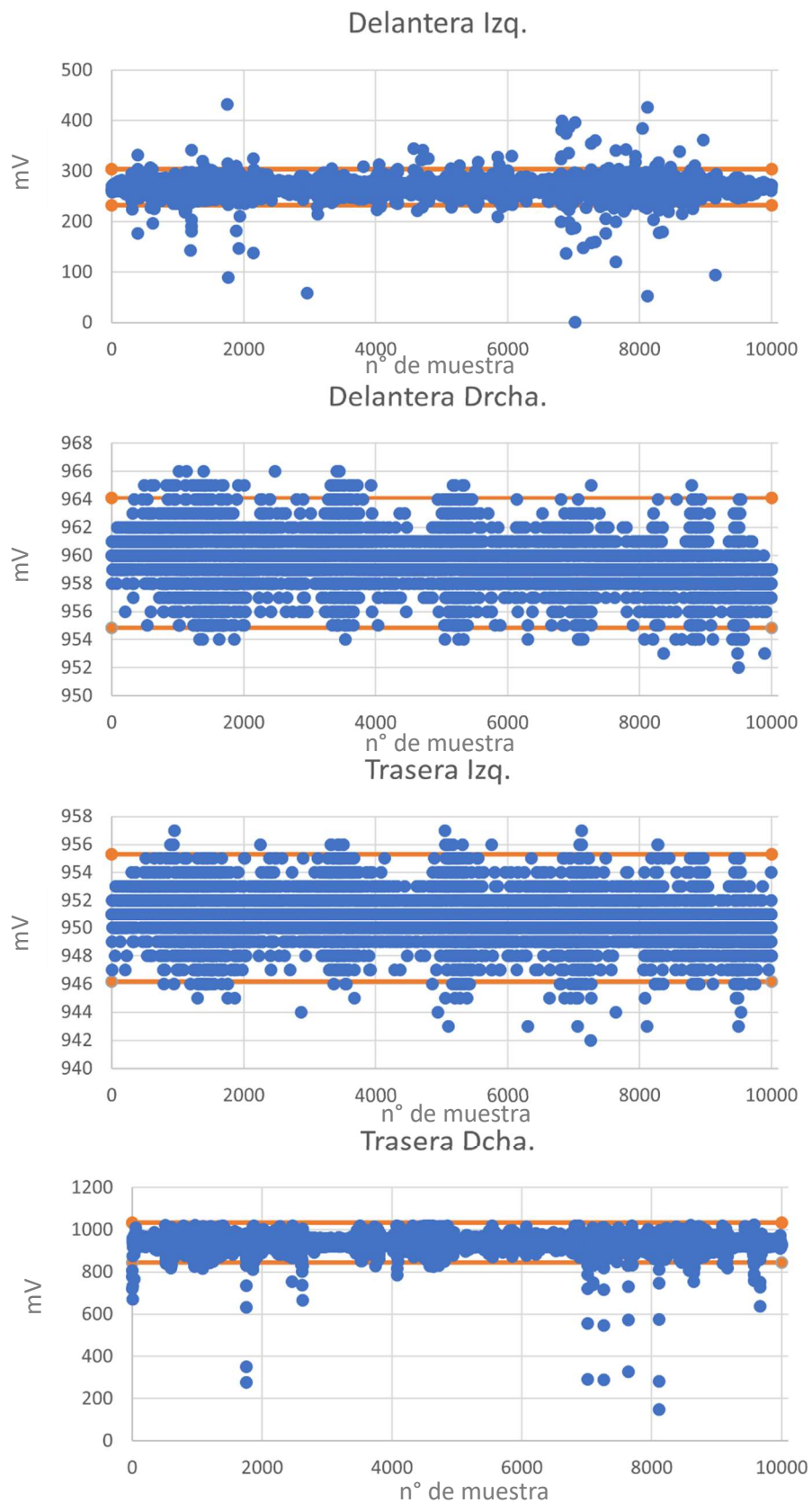


Gráfico 5. Datos recabados el 6 de septiembre.

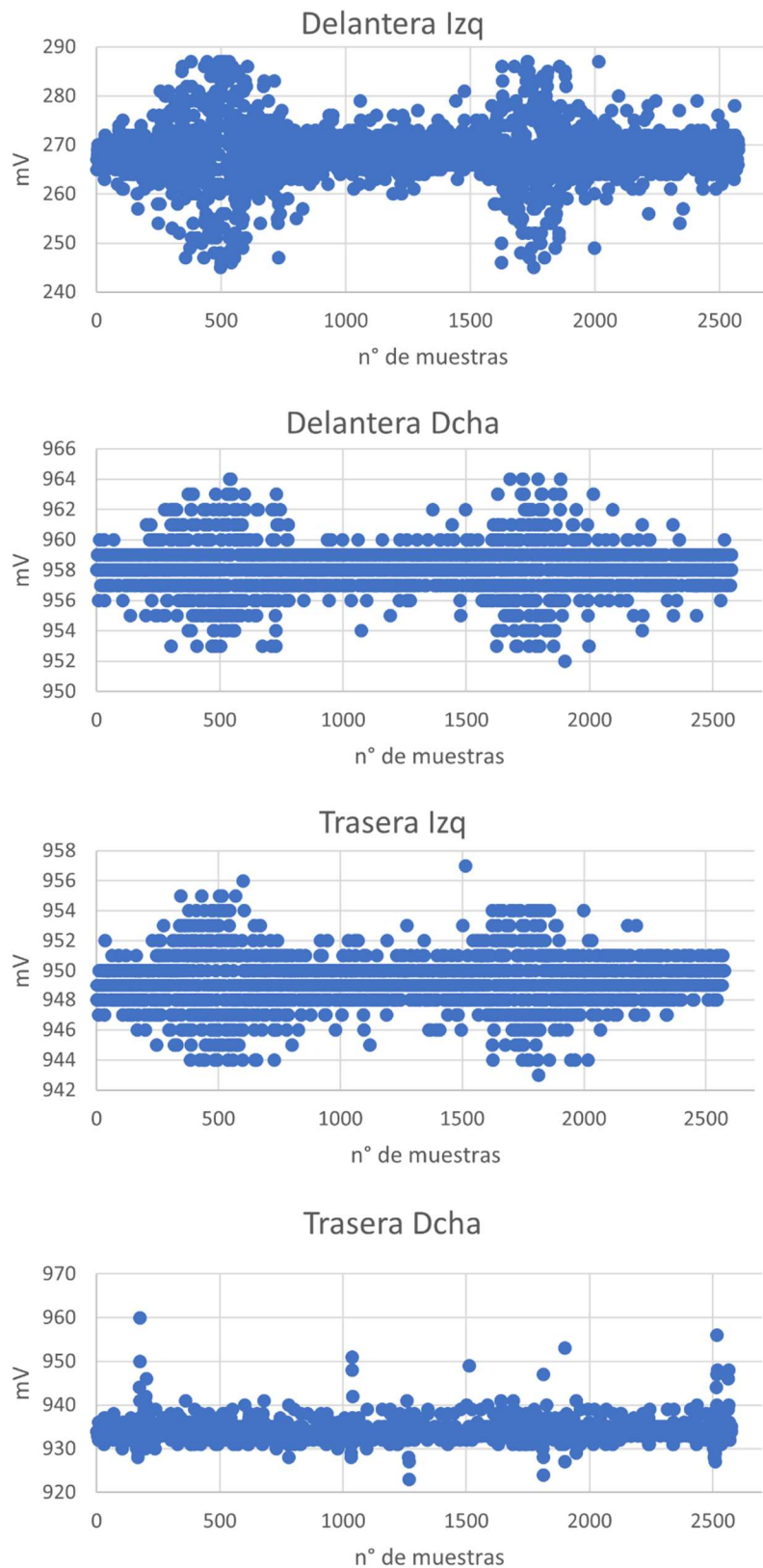


Gráfico 6. Datos recabados en ralentí.

La tabla 1 muestra la media de datos del sensor de la rueda delantera izquierda, de cuatro días de pruebas, siendo poca la variación, además muestra la suma/resta de la Desviación Estándar Poblacional a la media.

Sensor Delantera Izq. (mV)				
	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4
-3σ	230.446	227.089	228.891	231.822
-2σ	243.059	240.874	242.016	243.911
-σ	255.672	254.659	255.140	256.001
μ	268.285	268.443	268.265	268.090
+σ	280.899	282.228	281.389	280.179
+2σ	293.512	296.013	294.513	292.268
+3σ	306.125	309.797	307.638	304.357

Tabla 1. Media de datos y $\pm 3\sigma$ de sensor delantero izquierdo.

La tabla 2 muestra la media de datos del sensor de la rueda delantera derecha, de cuatro días de pruebas, la variación es poco más notoria en el día dos, además muestra la suma/resta de la Desviación Estándar Poblacional a la media.

Sensor Delantera Dcha. (mV)				
	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4
-3σ	955.474	956.403	955.410	954.846
-2σ	956.798	958.542	956.849	956.387
-σ	958.121	960.681	958.289	957.928
μ	959.445	962.820	959.728	959.469
+σ	960.769	964.959	961.167	961.010
+2σ	962.092	967.098	962.606	962.551
+3σ	963.416	969.237	964.045	964.091

Tabla 2. Media de datos y $\pm 3\sigma$ de sensor delantero derecho.

La tabla 3 muestra la media de datos del sensor de la rueda delantera izquierda, de cuatro días de pruebas, el día dos igual tiene ligera variación, además muestra la suma/resta de la Desviación Estándar Poblacional a la media.

Sensor Trasera Izq. (mV)				
	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4
-3σ	946.440	947.191	946.189	946.166
-2σ	947.876	949.281	947.663	947.692
-σ	949.312	951.371	949.136	949.217
μ	950.748	953.461	950.610	950.743
+σ	952.183	955.551	952.083	952.268
+2σ	953.619	957.641	953.556	953.794
+3σ	955.055	959.731	955.030	955.319

Tabla 3. Media de datos y $\pm 3\sigma$ de sensor trasero izquierdo.

La tabla 4 muestra la media de datos del sensor de la rueda delantera izquierda, de cuatro días de pruebas, este sensor tiene un poco más de variación en los cuatro días, esto se ve afectado en los límites superior e inferior además muestra la suma/resta de la Desviación Estándar Poblacional a la media.

Sensor Trasera Dcha. (mV)				
	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4
-3σ	798.939	727.330	782.524	843.700
-2σ	844.822	727.330	832.859	843.700
-σ	890.705	863.133	883.193	906.723
μ	936.588	931.034	933.527	938.235
+σ	982.471	998.935	983.862	969.746
+2σ	1,028.354	1,066.836	1,034.196	1,001.258
+3σ	1,074.237	1,134.738	1,084.531	1,032.769

Tabla 4. Media de datos y $\pm 3\sigma$ de sensor trasero derecho.



Imagen 1. Prototipo de recolección de datos.

La imagen 1 se puede ver nuestra caja que contiene nuestra placa Arduino y el módulo bluetooth, en la parte de arriba se pueden ver los dos leds que funcionan como indicadores, así también se puede ver las conexiones en la parte de abajo, un cable para la alimentación y el otro es la conexión a los sensores.

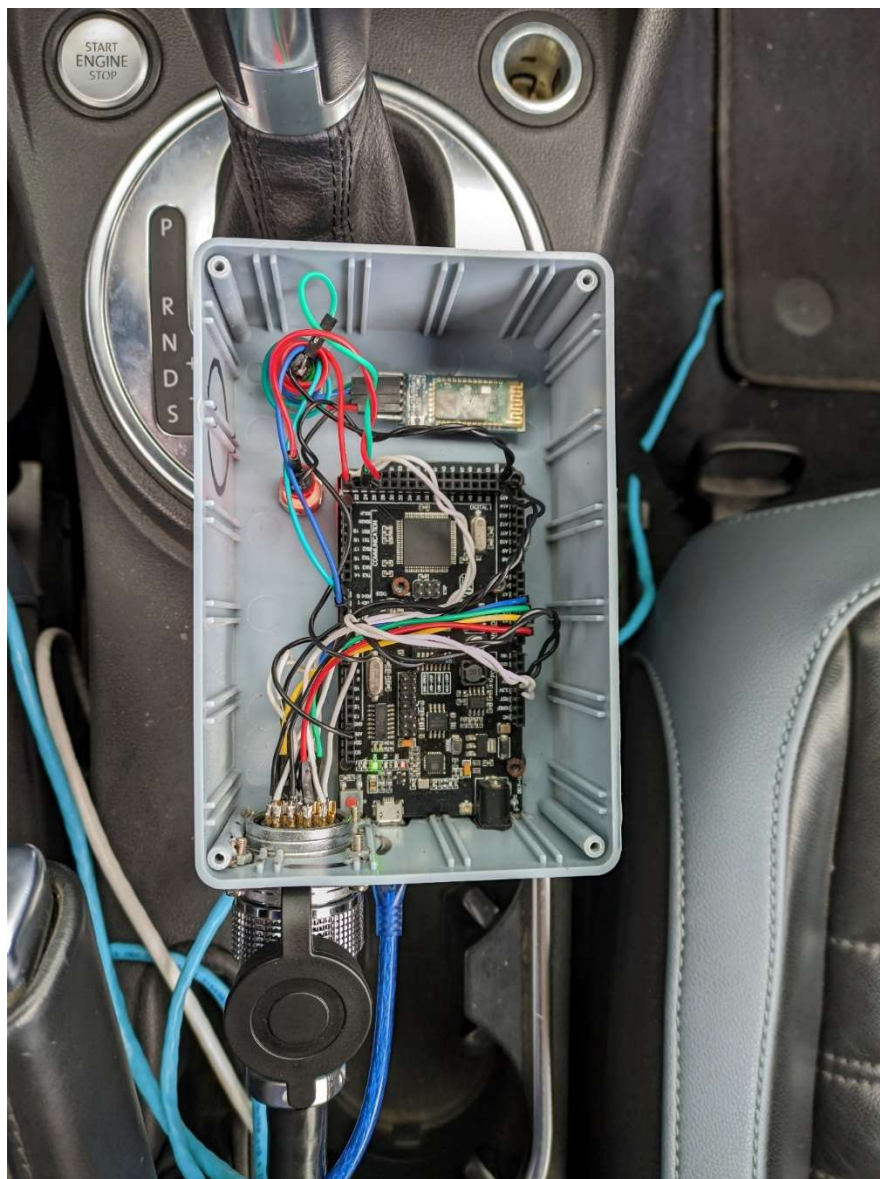


Imagen 2. Conexiones internas del prototipo.

La caja contiene internamente la placa Arduino, los leds indicadores, el módulo bluetooth y el conector de 17 pines que son alimentados por la placa y los cables de datos van a las entradas analógicas del Arduino.