



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE INGENIERIA

CARRERA DE INGENIERIA CIVIL

Influencia del tipo de vehículo y presión de hinchado del neumático para la obtención del IRI
a través de smartphone

Trabajo de Titulación para optar al título de Ingeniero Civil

Autores:

Vistin Naranjo Bryan Antonio

Ruiz Baño Daniel Alexander

Tutor:

Ing. Carlos Sebastián Saldaña García, Mgs.

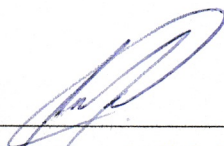
Riobamba, Ecuador. 2026

DECLARATORIA DE AUTORÍA

Nosotros, **Daniel Alexander Ruiz Baño**, con cédula de ciudadanía **0604810283** y **Bryan Antonio Vistin Naranjo**, con cédula de ciudadanía **0604787622**, autores del trabajo de investigación titulado: **“INFLUENCIA DEL TIPO DE VEHÍCULO Y PRESIÓN DE HINCHADO DEL NEUMÁTICO PARA LA OBTENCIÓN DEL IRI A TRAVÉS DE SMARTPHONE”**, certifico que la producción, ideas, opiniones, criterios, contenidos y conclusiones expuestas son de mí exclusiva responsabilidad.

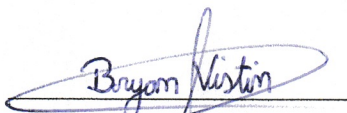
Asimismo, cedo a la Universidad Nacional de Chimborazo, en forma no exclusiva, los derechos para su uso, comunicación pública, distribución, divulgación y/o reproducción total o parcial, por medio físico o digital; en esta cesión se entiende que el cesionario no podrá obtener beneficios económicos. La posible reclamación de terceros respecto de los derechos de autor (a) de la obra referida, será de mi entera responsabilidad; librando a la Universidad Nacional de Chimborazo de posibles obligaciones.

En Riobamba, 20 de febrero del 2026



Daniel Alexander Ruiz Baño

C.I: 0604810283



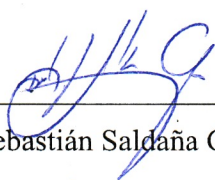
Bryan Antonio Vistin Naranjo

C.I: 0604787622

DICTAMEN FAVORABLE DEL PROFESOR TUTOR

Quien suscribe, Mgs. Carlos Sebastián Saldaña García, catedrático adscrito a la Facultad de ingeniería, por medio del presente documento certifico haber asesorado y revisado el desarrollo del trabajo de investigación titulado: **“INFLUENCIA DEL TIPO DE VEHÍCULO Y PRESIÓN DE HINCHADO DEL NEUMÁTICO PARA LA OBTENCIÓN DEL IRI A TRAVÉS DE SMARTPHONE”**, bajo la autoría de **Daniel Alexander Ruiz Baño y Bryan Antonio Vistin Naranjo**; por lo que se autoriza ejecutar los trámites legales para su sustentación.

Es todo cuanto informar en honor a la verdad; en Riobamba, a los 19 días del mes de enero de 2026



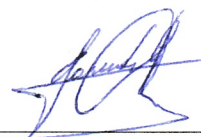
Mgs. Carlos Sebastián Saldaña García
TUTOR

CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL

Quienes suscribimos, catedráticos designados Miembros del Tribunal de Grado para la evaluación del trabajo de investigación **“Influencia del tipo de vehículo y presión de hinchado del neumático para la obtención del IRI a través de smartphone”**, presentado por **Daniel Alexander Ruiz Baño**, con cédula de identidad número **0604810283** y **Bryan Antonio Vistin Naranjo**, con cédula de identidad número **0604787622**, bajo la tutoría de **Ing. Carlos Sebastián Saldaña García Mgs.**; certificamos que recomendamos la **APROBACIÓN** de este con fines de titulación. Previamente se ha evaluado el trabajo de investigación y escuchada la sustentación por parte de su autor; no teniendo más nada que observar.

De conformidad a la normativa aplicable firmamos, en Riobamba 20 de febrero de 2026

Mgs. Ángel Edmundo Paredes García
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL DE GRADO



Mgs. Hernán Vladimir Pazmiño Chiluiza
MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO



Mgs. Julio Andres Fiallos Iglesias
MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO





CERTIFICACIÓN

Que, Daniel Alexander Ruiz Baño con cc 0604810283 y Bryan Antonio Vistin Naranjo con CC: 0604787622; estudiantes de la Carrera de **Ingeniería Civil, VIGENTE**, Facultad de **Ingeniería**; han trabajado bajo mi tutoría el trabajo de investigación titulado: " **Influencia del tipo de vehículo y presión de hinchado de neumático para la obtención del IRI a través de smartphone**", cumple con el **5%** de similitud con otros documentos y el **3%** de texto potencialmente generado por IA, de acuerdo al reporte del sistema Anti plagio **COMPILATIO**, porcentaje aceptado de acuerdo a la reglamentación institucional, por consiguiente autorizo continuar con el proceso.

Riobamba, 10 de febrero de 2025

Mgs. Carlos Saldaña García
TUTOR TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

DEDICATORIA

El presente trabajo está dedicado a Dios, ya que con su bendición he logrado concluir con la carrera, a mis padres, Wilson y Marina por su amor incondicional y por ser mi principal fuente de motivación y fortaleza en cada etapa de mi vida, a mi familia, personas quienes me enseñaron el valor del esfuerzo y la perseverancia. A mis hermanos y amigos, por su constante apoyo y compañía a lo largo de toda mi carrera universitaria ya que su presencia dentro y fuera de las aulas hizo de esta etapa una de las mejores y más llevaderas de mi vida. A todos ustedes, les dedico este logro, con toda la gratitud y amor.

Daniel A. Ruiz B.

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, agradezco a Dios, por su constante guía y protección a lo largo de mi vida. A la Universidad Nacional de Chimborazo por brindarme la oportunidad de formarme académicamente, su compromiso con la excelencia educativa y los recursos brindados en cada ciclo académico han sido vitales para el desarrollo profesional. Agradezco también a mi tutor, Ing. Carlos Saldaña por su tiempo y orientación durante todo el proceso de investigación. A los miembros de tribunal, por todos sus comentarios valiosos para la culminación de este trabajo. Finalmente agradecer a todos mis amigos y compañeros, quienes siempre estuvieron a mi lado ya sea o no en lo académico, sus experiencias y apoyo siempre serán recordados.

Daniel A. Ruiz B.

DEDICATORIA

A Dios, por ser mi fortaleza y guía en cada paso de este viaje académico. Su amor incondicional y su sabiduría han sido mi luz en los momentos más oscuros, inspirándome a seguir adelante con fe y determinación. En cada desafío, sé que estás a mi lado, brindándome tu apoyo y protección.

A mis padres, Germania Naranjo y Antonio Vistin, quienes me criaron con mucho amor, preocupándose por mis estudios y motivándome constantemente para alcanzar mis objetivos.

A mis hermanos, Estefany y Jonatan, por ser mi modelo a seguir y ejemplo constante de superación, me demostraron que los sueños se alcanzan con esfuerzo, constancia y humildad.

A mis sobrinas, Anthonella, Emilia y Selene, quienes son mi mayor alegría, que este logro sea para ustedes una prueba de que, con esfuerzo y disciplina todo se puede alcanzar.

A mi novia, Roxana Machado, por su amor incondicional y caminar conmigo desde el inicio de esta carrera que hoy culmino. Tu amor y apoyo fueron un pilar fundamental para no rendirme, creíste en mí incluso en los momentos difíciles. Este logro también es tuyo, porque sin ti, el camino no habría sido el mismo. Gracias por ser mi compañera, mi apoyo y mi mayor inspiración.

Bryan A. Vistin N.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por darme la vida, la fortaleza y la sabiduría para culminar esta meta tan importante. Gracias a mi familia y seres queridos por cada sacrificio y acompañarme durante todo este proceso, sin dejar nunca de creer en mí.

Expreso mi más sincera gratitud a la Universidad Nacional de Chimborazo, institución que me brindó la formación académica, al compartir sus conocimientos primordiales para formarme como profesional. Especialmente, a mi tutor de tesis Ing. Carlos Saldaña, por su orientación y dedicación brindada a lo largo de cada etapa, aportando significativamente a la calidad de este trabajo. Finalmente, agradezco a todos aquellos que de alguna manera formaron parte de este camino: familiares, amigos y docentes quienes, con sus palabras, enseñanzas y apoyo hicieron posible que esta meta se convierta en realidad.

Bryan A. Vistin N.

ÍNDICE GENERAL

DECLARATORIA DE AUTORÍA

DICTAMEN FAVORABLE DEL PROFESOR TUTOR

CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL

CERTIFICADO ANTIPLAGIO

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE TABLAS

ÍNDICE DE FIGURAS

ÍNDICE DE ANEXOS

RESUMEN

ABSTRACT

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN..... 20

1.1 Antecedentes 20

1.2 Planteamiento del problema..... 21

1.3 Objetivos..... 22

1.4 Justificación 22

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO..... 23

2.1 Antecedentes de la Investigación..... 23

2.2 Definición de pavimento y su clasificación 24

2.3 Indicadores del estado funcional para la gestión de los pavimentos 24

2.4 Regularidad superficial del pavimento 26

2.5 Modelo del cuarto de carro (Quarter Car) 27

2.6 Métodos y equipos para la medición del IRI 27

2.7 Physics Toolbox Sensor Suite..... 29

2.8 Sensores de smartphone para medición del IRI..... 30

2.9 Variables que afectan la medición del IRI con smartphones..... 30

CAPÍTULO III. METODOLOGÍA..... 32

3.1	Tipo de investigación.....	32
3.2	Diseño de la investigación	32
3.3	Diagrama metodológico.....	32
3.4	Procedimiento de recolección de datos.....	33
3.4.1	Levantamiento de datos con Rugosímetro Merlin.....	33
3.4.2	Levantamiento de datos con aplicación Physics Toolbox Sensor Suite.....	34
3.5	Condiciones del proceso de recolección de datos en campo	34
3.5.1	Presión de hinchado de los neumáticos	35
3.5.2	Tipo de vehículo	35
3.5.3	Velocidad del vehículo	37
3.5.4	Montaje del smartphone	37
3.5.5	Modelo de smartphone	37
3.6	Población de estudio y tamaño de muestra	38
3.6.1	Número de recorridos y variables analizadas	38
3.7	Hipótesis Principal	39
3.8	Hipótesis Secundarias	39
3.9	Cálculo del IRI con Merlin	39
3.10	Cálculo del IRI con smartphone	40
3.11	Método RMS.....	40
3.12	Análisis de datos	41
3.12.1	Armado de tramos mediante GPS	41
3.12.2	Filtro de señal con Butterworth – Pasa banda	42
3.12.3	Filtro de señal Savitzky – Golay.....	42
3.12.4	Cálculo del IRI RMS con ventana deslizante	42
3.13	Correlación entre el IRI con smartphone e IRI con Merlin.	43
3.13.1	Modelo de regresión lineal	43
3.13.2	Coeficiente de determinación R^2	43
3.13.3	Coeficiente de correlación lineal de Pearson.....	44

3.14	Valor p en prueba de hipótesis.....	44
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN		46
4.1	Cálculo del IRI con el rugosímetro Merlin.....	46
4.2	Cálculo del IRI con smartphone	47
4.3	Evaluación estadística entre el IRI obtenido con Merlin y el IRI estimado a partir de smartphone	47
4.3.1	Modelo de regresión lineal	47
4.3.2	Cálculo del coeficiente de correlación Pearson.....	49
4.4	Análisis del comportamiento de los smartphones.....	49
4.5	Correlación del IRI obtenido con Merlin y el IRI con smartphone	50
4.6	Análisis de la influencia del tipo de vehículo en el IRI con smartphone.....	51
4.7	Análisis de la influencia de la presión de hinchado del neumático en el IRI con smartphone	52
4.8	Cálculo de prueba de hipótesis p	53
4.8.1	Prueba de hipótesis nula	53
4.9	Análisis de hipótesis	54
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		56
5.1	Conclusiones.....	56
5.2	Recomendaciones	57
BIBLIOGRAFÍA.....		59
ANEXOS.....		61

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Rangos de clasificación del PCI	25
Tabla 2. Clasificación vial en función a la Serviabilidad	25
Tabla 3. IRI por niveles de comodidad en vía pavimentada	26
Tabla 4. Clasificación de equipos para medición del IRI	28
Tabla 5. Interpretación clásica del valor R^2	44
Tabla 6. Rangos de correlación para el coeficiente Pearson	44
Tabla 7. Resultados del IRI con el Rugosímetro Merlin	46
Tabla 8. IRI RMS Xiaomi 11 con vehículo Sedan 32 psi	47
Tabla 9. Resumen del ajuste lineal de cada smartphone para el vehículo Sedan en las distintas presiones	48
Tabla 10. Resultados de correlación Pearson: IRI smartphone vs IRI Merlin	49
Tabla 11. Coeficientes Pearson de los smartphones en vehículo Sedan con 28 psi aplicando escala de color	50
Tabla 12. Valor prueba de hipótesis p para el indicador Coeficiente de Determinación (R^2)...	53
Tabla 13. Valor de prueba de hipótesis p para el indicado Coeficiente de Correlación Pearson (r)	53
Tabla 14. Resultado de la prueba de hipótesis en los indicadores estadísticos	53

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Representación gráfica del modelo "Quarter-car"	27
Figura 2. Componentes del Rugosímetro Merlin	29
Figura 3. Aplicación móvil Physics Toolbox	29
Figura 4. Diagrama metodológico	33
Figura 5. Activación de los sensores	34
Figura 6. Manómetro	35
Figura 7. Vehículo tipo Hatchback (Hyundai Atos).....	36
Figura 8. Vehículo tipo Sedan (Ford Ecosport).....	36
Figura 9. Vehículo tipo Station Wagon (Chevrolet Captiva)	36
Figura 10. Posición de los smartphones dentro del vehículo	37
Figura 11. Tamaño de la muestra	38
Figura 12. Función de Regresión realizado mediante software Excel	45
Figura 13. Resultados del IRI con el Rugosímetro Merlin.....	46
Figura 14. Regresión Lineal de los smartphones vehículo Sedan con 32 psi.....	48
Figura 15. Correlaciones y modelos lineales en cada tipo de vehículo con 28 psi para smartphone Galaxy Note 20	51
Figura 16. Correlaciones y modelos lineales en cada presión de hinchado del neumático para smartphone Galaxy Note 20	52

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Resultados del cálculo del IRI con smartphone	61
Anexo 2. Regresión Lineal de los smartphones	79
Anexo 3. Resumen del ajuste lineal de cada smartphone y distinta presión	83
Anexo 4. Coeficientes Pearson de los smartphones aplicando escala de color	85
Anexo 5. Correlaciones y modelos lineales en cada tipo de vehículo para smartphone	87
Anexo 6. Correlaciones y modelos lineales en cada presión de hinchado del neumático para smartphone	88
Anexo 7. Valor de prueba de hipótesis p para los indicadores.....	89
Anexo 8. Registro fotográfico del estudio ejecutado en campo	92

TABLA DE ACRÓNIMOS

AASHTO American Association of State Highway and Transportation Officials (Asociación Americana de Funcionarios Estatales de Carreteras y Transporte)

CSV Comma-Separated Values (Valores separados por comas)

GPS Global Positioning System (Sistema de Posicionamiento Global)

Hz Hertz (unidad de frecuencia equivalente a ciclos por segundo)

IRI Índice de Regularidad Internacional

NEVI Norma Ecuatoriana Vial

PCI Pavement Condition Index (Índice de Condición del Pavimento)

PMS Pavement Management System (Sistema de Gestión de Pavimentos)

psi Pound per Square Inch (Libras por Pulgada Cuadrada)

PSI Present Serviceability Index (Índice de Serviciabilidad)

R² Coeficiente de determinación

RMS Root Mean Square (Raíz Cuadrática Media)

TRL Transport Research Laboratory

RESUMEN

La presente investigación evalúa la influencia del tipo de vehículo y la presión de hinchado del neumático en la estimación del Índice de Regularidad Internacional (IRI), mediante el uso de smartphones. Para ello, se empleó el método de la Raíz Cuadrática Media (RMS) a partir de la señal de aceleración vertical registrada por los sensores inerciales integrados en los distintos smartphones, los resultados obtenidos fueron comparados con los valores de IRI de referencia medidos con el Rugosímetro Merlin, equipo normado de primera clase. La recolección de datos se realizó sobre una vía pavimentada, considerando diferentes tipos de vehículos (Station Wagon, Sedan y Hatchback) y variaciones controladas en la presión de hinchado del neumático. La señal de aceleración fue registrada mediante aplicaciones especializadas y posteriormente procesada, filtrada y analizada empleando scripts desarrollados en Python. El análisis estadístico consideró el uso de modelos de regresión lineal, coeficiente de determinación (R^2) y coeficiente de correlación de Pearson (r), con el fin de evaluar la correlación entre ambos métodos, se unificaron recorridos para eliminar sesgos en los datos. Los resultados obtenidos indican que, el tipo de vehículo y la presión de hinchado del neumático no influyen de manera estadísticamente significativa en la correlación entre ambos métodos de medición. En conclusión, el método demuestra ser viable, confiable y de bajo costo para la estimación del IRI mediante smartphone, siempre que se controlen adecuadamente las condiciones mecánicas del vehículo.

Palabras clave: Rugosímetro Merlin, IRI, tipo de vehículo, presión de hinchado del neumático, RMS, regresión lineal, smartphone, sensores inerciales, amortiguación vehicular.

ABSTRACT

This study examines the impact of vehicle type and tire inflation pressure on smartphone-based estimation of the International Roughness Index (IRI). The Root Mean Square (RMS) method was applied to the vertical acceleration signal recorded by inertial sensors integrated into different smartphones. The obtained results were compared with reference IRI values measured using a Merlin roughness tester, a first-class standardized instrument. Data collection was conducted on a paved roadway, considering different vehicle types (station Wagon, Sedan, and Hatchback) and controlled variations in tire inflation pressure. Acceleration signals were recorded with specialized applications and subsequently processed, filtered, and analyzed using Python scripts. Statistical analysis included linear regression models, the coefficient of determination (R^2), and Pearson's correlation coefficient (r) to assess the correlation between both measurement methods. Travel segments were unified to eliminate potential data bias. The results indicate that vehicle type and tire inflation pressure do not have a statistically significant influence on the correlation between the two measurement methods. In conclusion, the proposed method is viable, reliable, and cost-effective for estimating the IRI using smartphones, provided the vehicle's mechanical conditions are adequately controlled.

Keywords: Merlin roughness tester, IRI, vehicle type, tire inflation pressure, RMS, linear regression, smartphone, inertial sensors, vehicle suspension.

Reviewed by:

Mgs. Sofia Freire Carrillo

ENGLISH PROFESSOR

C.C. 0604257881

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

La estructura vial es vital en la sociedad, ya que beneficia tanto al comercio como a la economía. En este contexto, se han implementado numerosos sistemas cuyo objetivo principal es optimizar los recursos, garantizando que las vías cumplan de forma eficiente y acorde a su capacidad operativa. Dentro de la infraestructura vial, su primordial elemento son los pavimentos, la regularidad superficial del pavimento es uno de los indicadores que ha ganado importancia en los últimos años, por ello es esencial medir el estado actual de un pavimento mediante el IRI (Índice de Regularidad Internacional), el cual se estableció como una escala para la rugosidad superficial [1].

El IRI constituye en la actualidad uno de los principales indicadores del estado funcional del pavimento, debido a su relación directa con los costos de operación vehicular, nivel de confort y seguridad, de tal forma que estima los beneficios que obtiene el usuario. Existen diversas metodologías de evaluación; aplicadas por diversos organismos de acuerdo a su necesidad y exigencias de control [2]. La principal filosofía que se busca implementar para que se cumpla con una adecuada gestión vial, se trata de que la inversión del Estado debe ser igual o lo más cercana al costo asumido por el usuario. Bajo este enfoque, quienes utilizan la infraestructura vial son también quienes generan su desgaste, por lo cual, deberían contribuir de manera proporcional a su financiamiento, mantenimiento y mejora; los recursos que sean destinados a la red vial no se consideran como un gasto público, sino como una inversión estratégica que retorna en forma de seguridad, eficiencia en el transporte y reducción en los tiempos de viaje. Al acercar la inversión estatal al costo asumido por el usuario, se promueve un sistema vial financieramente sostenible a largo plazo, lo cual resulta clave en el Ecuador, donde una correcta gestión vial impacta directamente al desarrollo económico, la integración territorial y a la calidad de vida de la población.

Para la medición del IRI existen diferentes equipos y distintas técnicas para la medición del perfil longitudinal, los cuales se diferencian ya sea por el grado de precisión o la forma de capturar la información, sin embargo la accesibilidad de estos instrumentos llegan a ser de alto costo y escasos recursos, lo cual conduce a la búsqueda de nuevas herramientas accesibles y métodos que proporcionen la misma o similar información sobre la condición de la regularidad superficial del pavimento [3]. En este sentido, el uso de vehículos y smartphone se presentan como una alternativa viable, debido a la capacidad de capturar información en corto tiempo.

En la era digital actual las aplicaciones para smartphone están transformando la gestión vial al facilitar el acceso eficiente y asequible a datos precisos sobre el estado de las carreteras; y del mismo modo beneficia a la toma de decisiones al brindar mayor seguridad vial y confort a los usuarios. De esta forma, se busca fortalecer la gestión vial y conservación de la infraestructura vial en la provincia de Chimborazo, promoviendo decisiones técnicas más oportunas y fomentar prácticas de mantenimiento vial que contribuyan a la optimización de recursos.

1.2 Planteamiento del problema

En la actualidad, la evaluación de la regularidad de los pavimentos es de suma importancia para la toma de decisiones relacionadas a la conservación, mantenimiento y/o rehabilitación de las redes viales, para lo cual el manual de las Normas de Diseño Geométrico de Carreteras (MOP), establece criterios que permiten calificar la condición en la que se encuentra la superficie de rodadura de la carretera, a través de distintos dispositivos de medición clasificados en equipos de alta, media y baja precisión.

Se debe tener en cuenta que determinar el IRI resulta costoso, por lo cual las instituciones públicas y privadas no cuentan con equipos especializados, ni recursos suficientes para ejecutar evaluaciones periódicas y confiables. Esta limitación dificulta la toma de decisiones oportunas y retrasa la aplicación de estrategias para mantenimientos preventivos o correctivos. Como consecuencia, las vías alcanzan estados de deterioro que obligan a ejecutar trabajos de reconstrucción, incrementando los costos, plazos de intervención prolongados e impacto en la seguridad del tránsito.

Ante esta problemática, el uso de smartphones como herramienta para estimar el IRI, surge como alternativa viable, aprovechando los sensores integrados de acelerómetros, giroscopios y GPS presentes en los smartphones, permitiendo medir las vibraciones, movimientos y ubicación del vehículo en tiempo real. Aunque su nivel de precisión aún es inferior al de instrumentos como el Merlin, su facilidad de uso y bajo costo lo convierten en una alternativa funcional.

Se debe tener en consideración que la medición del IRI se puede ver afectada por diversos factores externos, ya sea la velocidad, el tipo de automóvil, la presión de hinchado del neumático, la gama del smartphone, condiciones mecánicas del vehículo, entre otras. No obstante, en un estudio realizado, como lo afirma Gómez [4] la velocidad no presenta una incidencia directa en la correlación entre los valores del IRI estimado y del Merlin, no obstante, este parámetro sí influye en la estabilidad estructural de los modelos desarrollados y variabilidad en los resultados.

En definitiva, con la presente investigación se propone una nueva fase de estudio, esta vez controlando las variables externas, en específico el tipo de vehículo y la presión de hinchado del neumático.

Por lo expuesto nace la pregunta:

¿Cómo influye el tipo de vehículo y la presión de hinchado del neumático en la correlación entre la obtención del IRI a través del uso de smartphones y equipos de primera clase?

1.3 Objetivos

General

- Determinar la influencia del tipo de vehículo y la presión de hinchado del neumático en la medición del Índice de Regularidad Internacional (IRI) mediante el uso de smartphone.

Específicos

- Medir el IRI utilizando el equipo de primera clase Rugosímetro Merlin.
- Estimar el IRI utilizando los sensores inerciales y ubicación de un smartphone, controlando distintas presiones de hinchado del neumático.
- Estimar el IRI utilizando los sensores inerciales y ubicación de un smartphone, variando el tipo de vehículo.
- Establecer una correlación entre los valores del IRI obtenidos con el equipo de primera clase y los obtenidos con el smartphone.

1.4 Justificación

El confort de una vía se mide a través de las irregularidades en el pavimento, siendo el Índice de Regularidad Internacional (IRI), el indicador más usado para evaluar la calidad de la superficie de rodadura, de tal forma se busca fortalecer los métodos de evaluación de rugosidad superficial del pavimento a través de alternativas accesibles y confiables. La presente investigación propone la medición del IRI mediante un equipo de primera clase (Merlin) comparándolo con el aplicativo móvil Physics Toolbox Suite, considerando las variables que influyen directamente en la toma de datos, como el tipo de vehículo y la presión de hinchado del neumático. La utilización de smartphones representa una alternativa viable, sin embargo, es necesario analizar los factores que puedan alterar las vibraciones registradas por los sensores del dispositivo. El efecto de esas variables permitirá comprender su influencia en la correlación entre los valores de IRI obtenidos con smartphone y con equipos de primera clase, fortaleciendo la confiabilidad del método. Los resultados aportan condiciones de medición más controladas y reproducibles, permitiendo realizar ajustes que acerquen los valores estimados mediante smartphones a la realidad del estado de la vía. De esta manera el estudio aporta al desarrollo de metodologías de bajo costo para la evaluación de la regularidad vial, fortaleciendo la gestión, planificación y mantenimiento de la infraestructura vial; aportando a tener el control del estado de la vía y se podría evitar su rehabilitación, siendo solo necesario el mantenimiento, disminuyendo principalmente costos ya mencionados y dando un mayor confort y seguridad a los usuarios.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de la Investigación

En los últimos años, la evaluación de la regularidad superficial de los pavimentos ha cobrado relevancia dentro de la ingeniería vial, debido a su función de movilidad, seguridad al usuario y la planificación del mantenimiento de las vías. El avance de la tecnología y el desarrollo de aplicaciones móviles ha abierto nuevas posibilidades a métodos alternativos de bajo costo para la medición del Índice de Regularidad Internacional (IRI). Es así, que diversas investigaciones tanto a nivel nacional como internacional, han explorado la factibilidad de emplear smartphones como herramientas para la medición del IRI, estos estudios han permitido analizar la precisión, limitaciones y condiciones de aplicación de estos métodos y así mismo, la influencia de varios factores que pueden alterar la confiabilidad de los resultados.

Gómez [4], en su tesis sobre; Influencia de la velocidad vehicular en la obtención del IRI con smartphone. La investigación se centra en analizar la influencia de la velocidad vehicular en la obtención del IRI con smartphone. Se utilizaron diferentes métodos y herramientas para medir la rugosidad de la capa de rodadura de la vía y evaluar su condición. Los resultados obtenidos evidencian la existencia de una correlación significativa entre los valores de IRI estimados con smartphones y aquellos determinados con el equipo Merlin. Lo cual se puede verificar en la correlación de Pearson, reflejando valores superiores a 0,7, lo cual indica una relación positiva fuerte.

Reyes [5], en su investigación titulada; Determinación del índice de rugosidad internacional en la av. La Prensa, usando aparatos inteligentes y el rugosímetro Merlin. Se enfoca en analizar la similitud de los resultados obtenidos mediante el uso de la aplicación Vial ProVAL, en comparación con el Rugosímetro Merlin, lo cual permite determinar la confiabilidad y precisión de los smartphones. Los resultados obtenidos han concluido que el Rugosímetro Merlin es sin duda la opción más viable para la obtención del IRI, sin embargo, la aplicación ProVal es muy versátil, ofreciendo resultados que varían en relación a los del Rugosímetro Merlin, pero dentro de la tabla de clasificación del banco mundial se encuentra dentro del rango bueno.

Ramírez [6], en su tesis titulada; Cálculo del IRI mediante acelerómetro de smartphone en el tramo Huarmey – Casma de la carretera Panamericana Norte, Perú. Su objetivo es comparar los resultados del cálculo del IRI mediante la aplicación Roadroid y un perfilómetro láser. Obteniendo que los smartphones, con respecto al perfilómetro, varían entre 8.1% y 17.24%, por lo tanto, se acepta la confiabilidad de resultados de Roadroid.

Oscó [7], en su tesis sobre; Factores que influyen en las lecturas del aplicativo móvil Abakal IRI para determinar la rugosidad del pavimento flexible en la carretera Costanera sur, Tacna – Perú. Se enfoca en determinar el Índice de Rugosidad Internacional (IRI), a través de un aplicativo para smartphone llamado ABAKAL IRI y del Rugosímetro Merlin. Se determina como influyen en los resultados factores como: gama alta y baja de smartphone, vehículo del año 2021 y 2014, presión en neumáticos de 35 psi y 25 psi y variación de carga viva con una

velocidad constante de 80 km/h. Las mejores correlaciones no se obtienen con un solo viaje aislado, sino con diversas combinaciones de recorridos, es decir, promedio entre dos o tres pasadas sobre el mismo tramo. Se obtuvo resultados similares al equipo Merlin con el vehículo marca Toyota año 2021, con presión de llantas de 35 psi y haciendo uso del smartphone de gama alta con una carga de 300 kilogramos.

2.2 Definición de pavimento y su clasificación

Los pavimentos se definen como una estructura formada por varias capas que trabajan en conjunto y que se diseñan a través de criterios técnicos y normativos, considerando las propiedades de los materiales, las condiciones del suelo y las cargas generadas por el tránsito. Estas capas se construyen mediante procesos específicos de conformación y compactación con el fin de proporcionar una superficie que garantice niveles adecuados de resistencia, estabilidad y durabilidad [8]. Se clasifican en:

- Pavimento flexible: Esta conformado por capas superpuestas que distribuyen las cargas hacia la subrasante. La carpeta de rodadura está elaborada con mezcla asfáltica; la base está conformada por material granular que se compone por partículas de diferentes tamaños (triturados, arenas y materiales finos); la sub - base, formada por material granular grueso y la subrasante que es el terreno natural donde se ubica la estructura del pavimento.
- Pavimento rígido: Tienen una carpeta de rodamiento formada por losas de concreto de cemento hidráulico y una capa inferior de base granular, la cual descansa sobre el suelo compactado. Cuenta con mayor rigidez y distribución de las cargas eficiente en toda la superficie de la losa.
- Pavimento articulado: Están conformados por una capa de rodadura que está construida por bloques de concreto prefabricado, también denominados adoquines, los cuales se encuentran sobre una cama de arena, base granular y sub - base, apoyados en la subrasante.
- Pavimento semiflexible: Están conformados por un asfalto de alta porosidad en combinación de un mortero de alta fluidez. Este material compuesto combina la flexibilidad del asfalto con la rigidez del cemento, dando como resultado una estructura con mayor resistencia mecánica y mejor susceptibilidad al ahuellamiento.

2.3 Indicadores del estado funcional para la gestión de los pavimentos

La gestión de los pavimentos permite la toma de decisiones para el mantenimiento y preservación de la estructura vial, lo cual incluyen etapas como la planificación, programación y ejecución de actividades para el mantenimiento preventivo o correctivo.

En este contexto, se promueve la adopción de la herramienta Pavement Management System (PMS), entendido como un conjunto organizado de procedimiento orientados a la recolección, almacenamiento, procesamiento y análisis de información relacionada al estado y desempeño de los pavimentos. Su principal función es desarrollar estrategias de tratamiento que garanticen

condiciones óptimas del pavimento, al menor costo posible, tanto a corto como a largo plazo [4].

La evaluación del estado de los pavimentos se apoya en el uso de diferentes indicadores que permiten describir de manera objetiva su condición y desempeño entre los principales se encuentran:

- Índice de Condición del Pavimento (PCI): Permite evaluar y calificar objetivamente los pavimentos tanto flexibles como rígidos, no requiere herramientas o ensayos destructivos. Se fundamenta en inspecciones visuales, permitiendo estimar el nivel de deterioro, siendo utilizado ampliamente en sistemas de gestión vial [9].

Tabla 1. Rangos de clasificación del PCI

Rango	Clasificación
100 - 86	Excelente
85 - 71	Muy bueno
70 - 56	Bueno
55 - 41	Regular
40 - 26	Malo
25 - 11	Muy malo
10 - 0	Fallado

- Índice de Serviciabilidad (PSI): Está orientado en medir el bienestar (comodidad) que ofrece una vía a través de su capa de rodadura, califica en una escala del 0 a 5 el bienestar que el usuario siente al transitar por una carretera [9].

Tabla 2. Clasificación vial en función a la Serviciabilidad

PSI	Condición
0 - 1	Muy mala
1 - 2	Mala
2 - 3	Regular
3 - 4	Buena
4 - 5	Muy buena

- Índice de Regularidad Internacional (IRI): Se trata de un parámetro estadístico que permite cuantificar la rugosidad superficial de la capa de rodadura. Sirve para valorar la calidad y comodidad de la capa de rodadura; se basa en una apreciación matemática en la acumulación de los desplazamientos sobre la masa superior en relación a la masa inferior (mm, m o pulgadas), dividido sobre la distancia recorrida en longitud (km, milla) [9].

Tabla 3. IRI por niveles de comodidad en vía pavimentada

DESCRIPCIÓN DE LA COMODIDAD PARA LA CIRCULACIÓN	IRI (m/km)
V > 120 km/h Ondulaciones apenas perceptibles a 80 km/h, en el rango de IRI de 1.3 a 1.8. No hay abultamientos ni ojos de pescado. Depresiones < 2 mm/3m. Mezcla asfáltica o tratamiento superficial de alta calidad.	< 2.5
V = 100 – 120 km/h Percepción de movimientos moderados y ondulaciones suaves a 80 km/h. Depresiones, parches y ojos de pescado ocasionales (5 – 15 mm / 3 m, con recurrencia de 1 a 2 cada 50 m). Desprendimientos poco profundos (por ejemplo, desprendimientos de gravilla en un tratamiento superficial). Superficie con ondulaciones amplias y abultamientos moderados.	4.0 – 5.5
V = 70 – 90 km/h Movimientos fuertes y balanceo del vehículo. Depresiones y parches frecuentes pero de moderada magnitud (15 – 20 mm / 3m). Ojos de pescado ocasionales (1 a 3 en 50 m). Superficie con ondulaciones y abultamientos fuertes.	7.0 – 8.0
V = 50 – 60 km/h Movimientos repentinos frecuentes y balanceos, asociados con defectos graves como depresiones profundas (20 – 40 mm / 3m) y frecuentes (6 – 20 / 100m) u ojos de pescado (4 – 6 / 50m).	9.0 – 10.0
V < 50 km/h Depresiones y ojos de pescado frecuentes y profundos (40 – 80 mm / 3m), frecuencia de 10 – 20 / 50 m.	11.0 – 12.0
Notas: • El valor “V” se refiere a la velocidad normal de circulación sobre una carretera recta y seca, sin la interferencia de otros usuarios. • Las condiciones de circulación corresponden a la sensación que tiene el usuario al rodar por la carretera con un vehículo de tamaño medio. • Dentro de la descripción de las fallas, se omiten los agrietamientos por carecer de pertinencia dentro de la estimación de la regularidad de la superficie.	

2.4 Regularidad superficial del pavimento

La regularidad superficial constituye un parámetro fundamental del comportamiento funcional del pavimento, y representa el principal aspecto percibido por el usuario al transitar por una vía, manifestando sensaciones de mayor o menor confort durante la circulación. Este concepto puede entenderse como el conjunto de respuestas dinámicas inducidas en los vehículos debido a las irregularidades del perfil real de la calzada, respecto del hipotético del proyecto. Se determinó que la rugosidad de las carreteras constituía uno de los factores más influyentes en la evaluación de la calidad de las vías, debido a su relación con los costos de operación vehicular y el nivel de servicio al usuario.

Debido a la diversidad de dispositivos de medición, junto con la diversidad de índices y escalas para calificar la regularidad superficial, surgió la necesidad de establecer un parámetro unificado que estandarice la evaluación funcional de las carreteras, como respuesta a la problemática, en

1982 el Banco Mundial desarrolló un estudio experimental con el objetivo de analizar la correlación entre distintos equipos de medición y definir un procedimiento común de calibración. Uno de los objetivos fue encontrar un índice de referencia al que se denominó Índice Internacional de Rugosidad, el cual mide la regularidad de la superficie de la capa de rodadura de una vía [5].

2.5 Modelo del cuarto de carro (Quarter Car)

El cálculo del Índice de Regularidad Internacional hace uso de un modelo matemático denominado Cuarto de Carro, el cual reproduce el comportamiento dinámico de la suspensión mediante la simulación de las deflexiones de un sistema mecánico y la reacción de respuesta al desplazamiento vertical del automóvil estándar a lo largo del trayecto. Los desplazamientos de la suspensión del modelo son acumulados y divididos entre la distancia recorrida, lo cual está representado en unidades de m/km, mm/m, in/mi, entre otros [10]. Se presenta una sola rueda con su suspensión, como si el vehículo se dividiera en cuatro partes iguales, como se representa en la figura 1.

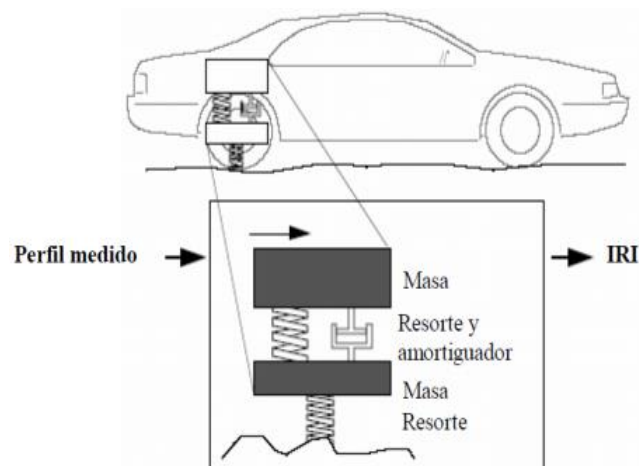


Figura 1. Representación gráfica del modelo "Quarter-car"

2.6 Métodos y equipos para la medición del IRI

Los diversos métodos existentes fueron agrupados en cuatro categorías, en base a cuán directamente sus mediciones se aproximan al IRI real y cumplen con los estándares establecidos por el modelo desarrollado por la ASTM E-950-98 y Banco Mundial.

Tabla 4. Clasificación de equipos para medición del IRI

CLASIFICACIÓN DE EQUIPO	CLASIFICACIÓN SEGÚN BANCO MUNDIAL, BOLETÍN TÉCNICO N° 46	CLASIFICACIÓN SEGÚN ASTM E-950-98	
		REQUERIMIENTOS	
	REQUERIMIENTOS	INTERVALOS LONGITUDINALES DE ALMACENAMIENTO DE DATOS	RESOLUCIÓN DE MEDICIONES VERTICALES
Clase 1	Perfilógrafos de precisión. Requiere que el perfil longitudinal de un camino sea medido como una serie de puntos de elevación equidistantes a través de la huella o rodada de la vía para calcular el IRI. Esta distancia no debera superar los 0.25 mm y la precisión en la medición de la elevación debera de ser 0.5 mm para pavimentos que aporten valores de IRI ente 1 y 3 m/km para pavimentos con valores de IRI entre 10 y 20 m/km.	Menor o igual a 25 mm	Menor o igual a 0.1 mm
Clase 2	Otros métodos Perfilométricos. Requieren una frecuencia de puntos de perfil, no superior a 0.5 m y una precisión en la medición de la elevación comprendida entre 1.0 mm para pavimentos con valores de IRI entre 10 y 20 m/km.	Mayor que 25 mm. Hasta 150 mm	Mayor que 0.1 mm. Hasta 0.2 mm
Clase 3	IRI estimado mediante ecuaciones de correlación. La obtencion del perfil longitudinal se hace mediante equipos tipo respuesta (RTRRM), los cuales han sido calibrados previamente con perfilómetros de precisión mediante ecuaciones de correlación.	Mayor que 150 mm. Hasta 300 mm	Mayor que 0.2 mm. Hasta 0.5 mm
Clase 4	Estimaciones subjetivas y mediciones no calibradas. Incluyen mediciones realizados con equipos no calibrados, estimaciones subjetivas con base en la experiencia en la calidad de viaje o inspecciones visuales de las carreteras.	Mayor que 300 mm	Mayor que 0.5 mm

El Rugosímetro Merlin es un equipo desarrollado por el Laboratorio Británico de Investigación de Transportes y caminos (TRRL), cuyo diseño se basa en el principio del perfilómetro estático. Su principio de operación consta en medir la desviación vertical de la superficie del pavimento en relación con una línea imaginaria que conecta los apoyos delantero y trasero, registrando el movimiento mediante un sistema de puntero sobre papel [11].

Las lecturas se realizan en un intervalo de cada 2 m, dependiendo del tramo para lo que se requiera calcular el IRI, en nuestro país está regulado por tramos de 100 a 400 m. Se traza un histograma de frecuencia de las mediciones descartando 5% de datos a ambos lados para poder obtener la distancia “D”, para lo cual se utilizan las siguientes expresiones:

Cuando $2.4 < \text{IRI} < 15.9$, entonces $\text{IRI} = 0.593 + 0.0471 D$

Cuando el $IRI < 2.4$, entonces $IRI = 0.0485 D$

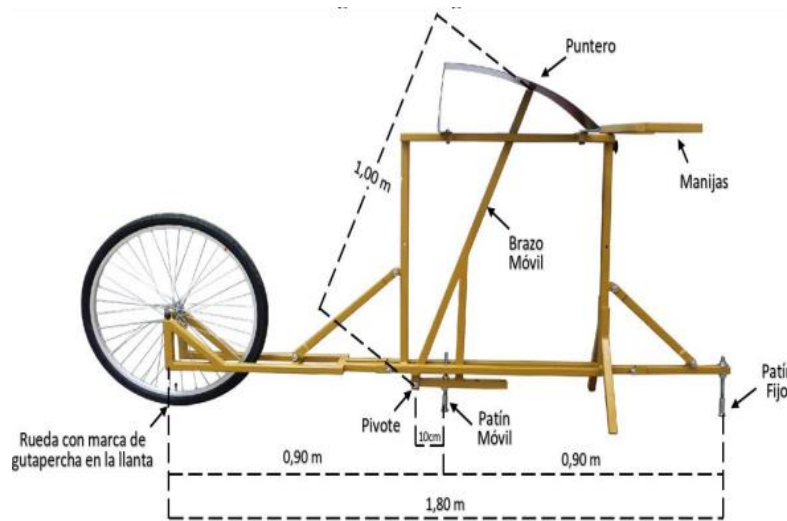


Figura 2. Componentes del Rugosímetro Merlin

2.7 Physics Toolbox Sensor Suite

Es una aplicación para smartphones desarrollada por Vieyra Software, la cual registra en tiempo real múltiples parámetros, a través de sensores integrados en el celular como aceleración, giroscopio, magnetómetro, sensores de sonido, GPS, etc. Según las posibilidades de cada dispositivo se podrá visualizar y registrar datos de: fuerza G, acelerómetro lineal, giroscopio, presión atmosférica, higrómetro, termómetro, entre otros [12].

La aplicación se encuentra disponible para iOS y Android, en su versión básica de forma gratuita, su facilidad de uso y capacidad que tiene para exportar datos registrados en formato .csv, facilitando el análisis en herramientas como Excel, Python o MATLAB. Su funcionalidad es monitorear la condición de la vía por medio del acelerómetro del teléfono el cual capta las vibraciones del vehículo.



Figura 3. Aplicación móvil Physics Toolbox

2.8 Sensores de smartphone para medición del IRI

Los smartphones actuales incorporan sensores que permiten registrar el comportamiento dinámico de un vehículo durante su desplazamiento sobre una vía, convirtiéndose en herramientas potenciales para la estimación del Índice de Regularidad Internacional. Entre los principales sensores utilizados se encuentra:

- Acelerómetro lineal: Sensor encargado de medir las aceleraciones del dispositivo en los tres ejes espaciales (x, y, z), excluyendo la componente gravitacional. Permite registrar las vibraciones verticales inducidas por las irregularidades del pavimento.
- Giroscopio: Sensor que detecta la orientación, inclinación y rotación del dispositivo respecto a sus ejes.
- GPS (Sistema de Posicionamiento Global): Sensor que permite determinar la ubicación geográfica del dispositivo. Su uso permite georreferenciar las mediciones y segmentar los tramos evaluados.

Estos sensores captan información en tiempo real y, dependiendo del aplicativo utilizado, permiten almacenar un volumen significativo de datos que, tras un adecuado proceso de filtrado, suavizado y análisis, pueden emplearse para estimar la regularidad superficial de una vía. [13]

2.9 Variables que afectan la medición del IRI con smartphones

La estimación del IRI a partir de smartphones puede verse afectada por múltiples variables, algunas asociadas directamente al dispositivo móvil y otras a las condiciones dinámicas del vehículo. Existen factores que pueden ser controlados y estandarizados durante la adquisición de datos. Los factores asociados al smartphone son:

- Frecuencia de muestreo: Influye directamente a la estimación del IRI, ya que determina la capacidad del sistema de captar las vibraciones del pavimento. Se recomienda en un rango aproximado de 80 a 120 Hz para obtener registros adecuados de la regularidad superficial [14].
- Gama y calidad del smartphone: Los smartphones de gama media y alta suelen integrar sensores con mayor precisión y menor nivel de error, lo que mejora la calidad de la señal registrada y una mayor consistencia en los resultados.
- Ubicación y fijación del smartphone: La posición del dispositivo dentro del vehículo y su correcta fijación resultan determinantes, ya que una instalación inadecuada introduce vibraciones ajenas al pavimento. Se ha reportado que el sistema de montaje puede modificar los valores de aceleración vertical en aproximadamente $\pm 15\%$ [14].

Los factores relacionados con el vehículo son los siguientes:

- Velocidad del vehículo: La variación de la velocidad influye en la magnitud de las aceleraciones registradas, estudios basados en simulación indican que el valor RMS de

la aceleración vertical se incrementa de forma no lineal al aumentar la velocidad, incluso sobre un mismo tramo [14].

- Tipo de vehículo: Las características propias de cada vehículo generan respuestas dinámicas distintas, pudiendo presentarse diferencias significativas en los valores estimados de IRI.
- Rigidez y amortiguación de la suspensión: Cambios en la rigidez y en la capacidad de amortiguamiento del sistema de suspensión producen variaciones en la señal registrada, con efectos reportados entre 5% y 15% ante condiciones mecánicas malas [14].
- Masa suspendida: La masa del vehículo y la carga transportada influyen en la respuesta vibratoria; se ha observado que incrementos aproximados de 70 kg pueden generar reducciones cercanas al 5% en la señal medida [14].
- Estilo de conducción: Las maniobras de aceleración y frenado modifican el comportamiento dinámico del sistema, produciendo variaciones adicionales en el valor RMS de la aceleración vertical, generando cambios 3% - 7% [14].

CAPÍTULO III. METODOLOGÍA

3.1 Tipo de investigación

La investigación es de carácter aplicada, parte del conocimiento existente sobre la medición del IRI mediante smartphone y busca determinar bajo que variables operativas puede ser más precisa, confiable y replicable en el campo de la evaluación vial.

El enfoque para esta investigación es cuantitativo, ya que se centra en la recolección y análisis de datos numéricos obtenidos a través de instrumentos de medición específicos, con el objetivo de establecer relaciones entre variables. Se registran valores de IRI utilizando equipos de primera clase y dispositivos smartphone, se emplean técnicas estadísticas que posibilitan identificar patrones, consistencias o discrepancias entre los datos recolectados, sin recurrir a interpretaciones subjetivas, permitiéndonos determinar el grado de correlación entre los valores obtenidos.

3.2 Diseño de la investigación

La investigación es de tipo no experimental, transversal y correlacional. La investigación no experimental es aquella en la que se observan y analizan los fenómenos tal como suceden en su entorno natural, se trata de un tipo de estudio en el que no se modifican las condiciones ni se manipulan las variables. En el tipo de investigación no experimental, se busca establecer relaciones entre variables o describir comportamientos y características, pero sin influir activamente en ella [15]. Es de tipo transversal ya que, en la investigación se levantará datos del IRI del pavimento en su estado natural, para luego determinar cuál es la influencia de las variables que se están analizando, al medir el IRI con smartphone en relación con el IRI medido con el equipo de primera clase.

El nivel de investigación predomina en ser correlacional, ya que se busca establecer la existencia y grado de relación entre los valores del IRI obtenidos mediante un equipo de primera clase y aquellos registrados a través de un dispositivo smartphone. Además, se considera un enfoque complementario de nivel explicativo, se analizan las variables del tipo de vehículo y presión de hinchado del neumático, con el fin de comprender si las variables pueden influir en la precisión y confiabilidad de la medición del IRI con smartphone.

3.3 Diagrama metodológico

La presente investigación seguirá el flujo metodológico, el cual resume las etapas principales del proceso desarrollado:

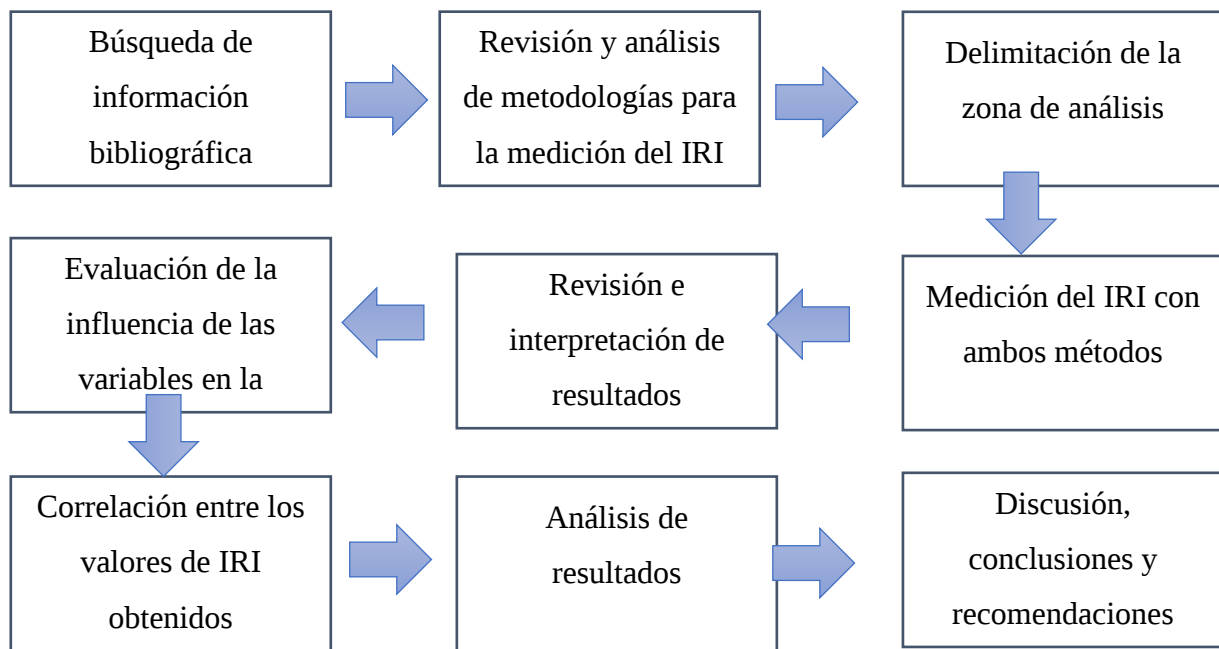


Figura 4. Diagrama metodológico

3.4 Procedimiento de recolección de datos

En esta investigación, la recolección de datos se realizó mediante el uso de dos dispositivos, el primer dispositivo fue el equipo de primera clase Merlin, utilizado para medir la regularidad superficial de los pavimentos. El segundo consistió en el uso de los sensores incorporados en los smartphones inteligentes, específicamente sensores que registren datos de aceleración y posicionamiento GPS, mediante una aplicación móvil que permite obtener y exportar la información para su posterior procesamiento y análisis. Ambos métodos se aplicaron siguiendo un procedimiento estandarizado, con el propósito de asegurar la reproducibilidad de los resultados y su validez.

3.4.1 Levantamiento de datos con Rugosímetro Merlin

Según las especificaciones técnicas emitidas por las Normas de Diseño Geométrico de Carreteras (MOP) y el método estandarizado para la medición de la regularidad superficial de los pavimentos empleando este dispositivo establece, realizar la calibración del dispositivo colocándolo sobre una superficie plana, rígida y nivelada, para calibrar el pivote, de modo que el palpador en el gráfico de medición a escalas se encuentre inicialmente en un valor de 25.

Para la recolección de datos el dispositivo Merlin se coloca al inicio del tramo, asegurando que el dispositivo este correctamente apoyado sobre el pavimento y alineado con la dirección de avance, que será la línea que ocupa una de las llantas del vehículo, las mediciones se deben tomar en un intervalo de 2 metros a lo largo de la vía.

3.4.2 Levantamiento de datos con aplicación Physics Toolbox Sensor Suite

Para la recolección de datos a través de la aplicación Physics Toolbox Sensor Suite se debe instalar y abrir la aplicación, otorgando todos los permisos necesarios para el uso de los sensores del dispositivo smartphone, en la parte superior izquierda se encuentra el menú representado por tres líneas horizontales donde, ingresaremos y buscamos el apartado “Combinación” seleccionamos la opción de “Multi Registro”, dentro de esta opción en la parte superior derecha se encuentra la configuración de esta opción donde activaremos la opción de mantener la pantalla del dispositivo siempre encendida, retrocedemos a la ventana de Multi Registro donde, se deben activar los sensores que ayudaran a la recolección de los datos necesarios para medir el IRI de la vía, los cuales son: “Acelerómetro Lineal”, “Giroscopio” y “GPS” tal como se muestra en la figura 5:

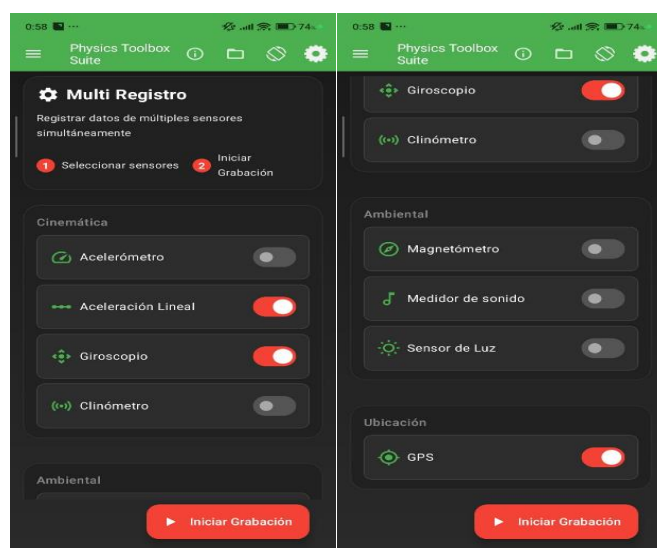


Figura 5. Activación de los sensores

Una vez activados los sensores necesarios se debe presionar el botón rojo de “Iniciar” que se encuentra en la parte inferior derecha, para que la aplicación comience a registrar y grabar los datos a través de los sensores, al finalizar el recorrido de la vía se debe volver a presionar el mismo botón rojo para detener la grabación, al momento se abrirá una ventana donde se debe colocar el nombre del archivo y se procede a exportar dicho archivo en formato .csv.

3.5 Condiciones del proceso de recolección de datos en campo

Las condiciones bajo las cuales se realiza la recopilación de datos mediante los sensores del smartphone son fundamentales para obtener resultados concluyentes, especialmente al tratarse de un método aun en etapa de desarrollo, como el aplicado en esta investigación. Tal como se indicó en el Capítulo II, existen diversos factores que influyen directamente en la precisión y confiabilidad de la estimación del IRI a partir de dispositivos smartphone, entre ellos la presión de hinchado de los neumáticos, el tipo de vehículo, la velocidad, así como la forma de montaje y la ubicación del smartphone, etc.

3.5.1 Presión de hinchado de los neumáticos

Es una de las variables a analizar en el presente trabajo de investigación, por ende, se evaluará directamente y se determinará la influencia real que tiene la presión de hinchado de los neumáticos, se eligieron 3 presiones para realizar el recorrido de la misma vía, y controlando de la manera más rigurosa posible las demás variables que puedan influir en los resultados. Las presiones para los neumáticos seleccionadas para realizar el recorrido de la vía fueron escogidas entre un rango de uso común, ya sea urbanas o rurales. En Ecuador no existe un valor estandarizado para la presión de hinchado de los neumáticos de un vehículo, pero esta se puede consultar según las recomendaciones del fabricante del vehículo, bajo estas condiciones se escogieron 3 tipos de presiones que se mantienen constantes en los cuatro neumáticos del vehículo por cada recorrido, las cuales fueron: una presión alta (36 psi), presión óptima (32 psi) y una presión baja (28 psi).

Al ser una variable importante para este estudio, se realizó un control riguroso de la presión de cada neumático antes de comenzar cada recorrido de recolección, con la ayuda de un manómetro como se puede apreciar en la figura 6.



Figura 6. Manómetro

3.5.2 Tipo de vehículo

Otra de las variables a analizar en el presente trabajo de investigación, y una de las variables con influencia directa en los resultados, puesto que, debido al tipo de vehículo, su fabricante, entre otros, se puede llegar a determinar factores importantes que lleguen a incidir en la obtención del IRI, como son la suspensión del vehículo, el estado del vehículo, entre otros. Para este trabajo de investigación se escogieron 3 tipos de vehículos: Hatchback, Sedan, Station Wagon. Los vehículos fueron seleccionados por su disponibilidad para la ejecución de las pruebas y además responde a la necesidad de analizar la influencia del tipo de vehículo debido a sus distintas características dinámicas como peso, altura, distancia entre ejes, tipo de suspensión, etc.

Para el tipo Hatchback se escogió un vehículo, marca HYUNDAI, modelo Atos Prime GL, año 2008, el cual representa un vehículo subcompacto y liviano, como se puede apreciar en la figura 7.



Figura 7. Vehículo tipo Hatchback (Hyundai Atos)

Para el tipo Sedan se escogió un vehículo, marca FORD, modelo Ecosport Básico XLT 4x2 TM, año 2008, el cual fue seleccionado por representar características intermedias, en diferencia a los otros modelos, como se puede apreciar en la figura 8.



Figura 8. Vehículo tipo Sedan (Ford Ecosport)

Para el tipo Station Wagon se escogió un vehículo, marca CHEVROLET, modelo Captiva premier turbo 7pas AC 1.5, año 2020, el cual representa un vehículo de mayor tamaño, como se puede apreciar en la figura 9.



Figura 9. Vehículo tipo Station Wagon (Chevrolet Captiva)

3.5.3 Velocidad del vehículo

Es una de las variables controladas en la recolección de datos para este trabajo de investigación, la cual se escogió a través de una investigación previa realizada en la misma vía donde, se analizó la variable de la velocidad, obteniendo así los mejores resultados con una velocidad de 55 km/h, la cual se utilizará para esta investigación y esta se mantendrá constante a lo largo del trayecto.

3.5.4 Montaje del smartphone

Una de las variables importantes es el montaje del smartphone en el vehículo, debido a que el vehículo puede experimentar distintas vibraciones naturales del funcionamiento del vehículo, para esta investigación se utilizaron 4 dispositivos smartphone, puesto que, una variable a analizar es el tipo de vehículo, se optó por colocar cada celular en el suelo en el espacio de cada ocupante del vehículo, así el dispositivo estará en contacto con el vehículo y los sensores detectarán directamente las aceleraciones producidas por el mismo, cada celular se mantuvo en la misma posición para los distintos tipos de vehículos y para todos los recorridos. Tal como se muestra en la figura 10.



Figura 10. Posición de los smartphones dentro del vehículo

Esta posición de los smartphones ayudó al mejor análisis entre vehículos, ya que todos se mantuvieron en la misma posición y cada celular se ancló al suelo con ayuda de cinta, para poder restringir el movimiento del mismo y evitar recolectar datos erróneos a la hora de realizar la medición como movimientos del dispositivo dentro del vehículo, de esta manera con el smartphone anclado al suelo cerca de cada neumático, las vibraciones captadas reflejarán con mayor precisión la regularidad superficial del pavimento de la vía que se está analizando con el vehículo.

3.5.5 Modelo de smartphone

Es otra de las variables que pueden afectar al momento de la obtención del IRI con smartphone, debido a que cada modelo de smartphone tiene distintos sensores y componentes internos, los

mismos que dependerán de la marca y gama del smartphone. Para esta investigación se optó por controlar esta variable eligiendo 4 dispositivos, seleccionados por disponibilidad y cumpliendo el estándar de ser smartphones de gama media, los siguientes modelos fueron: Samsung Galaxy Note 20, Honor Magic 7, Xiaomi 13 y Xiaomi 11.

3.6 Población de estudio y tamaño de muestra

La población de análisis se centra en la carretera Guano – Ilapo, ubicada en la provincia de Chimborazo. Esta vía se encuentra asfaltada y tiene una longitud total de 12.3 km. Para esta investigación se realizó el análisis hasta los 5.6 km, ya que esta vía se caracteriza por una topografía de montaña con pendientes pronunciadas que presenta numerosas curvas, incluyendo curvas muy cerradas. Se presenta el tramo que fue analizado para la obtención del IRI entre ambos métodos, como se puede observar en la figura 11.

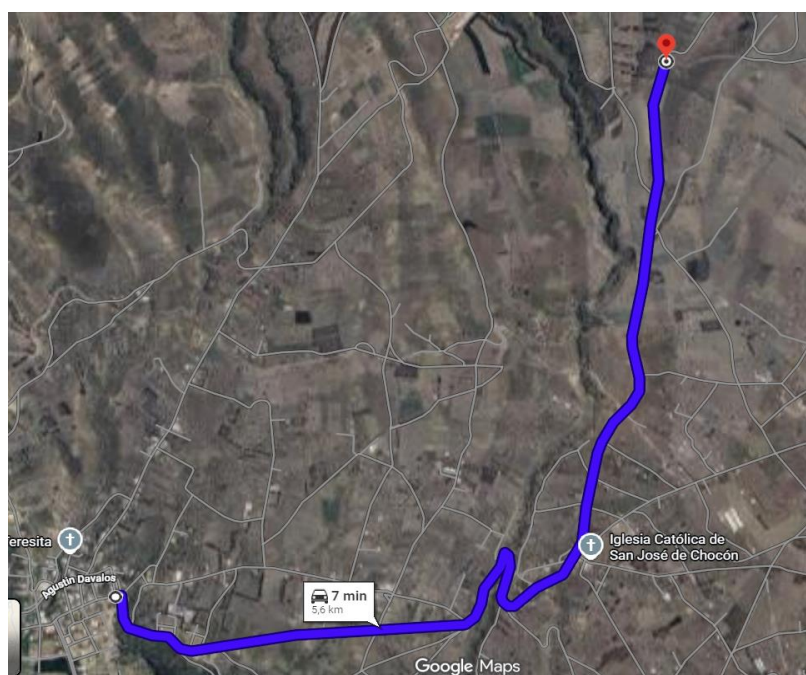


Figura 11. Tamaño de la muestra

Si bien existe la limitación al tener un segmento vial único como tamaño de muestra para esta investigación, este tramo reúne las características técnicas necesarias para validar el método propuesto y analizar el impacto directo de la presión de hinchado de los vehículos y el tipo de vehículo en las mediciones. Aunque los hallazgos no son generalizables para todas las redes viales, constituyen un precedente riguroso para futuras investigaciones exploratorias. Estos datos son fundamentales para perfeccionar el ajuste de variables en el cálculo del IRI mediante dispositivos móviles en futuros estudios.

3.6.1 Número de recorridos y variables analizadas

Si bien la investigación está centrada en un segmento vial único, a fin de obtener una buena y sólida base de datos estadísticos para su mejor análisis y procesamiento, se determinó que para

cada presión de hinchado de neumáticos establecidas anteriormente de 36, 32 y 28 psi, se realizó un mínimo de tres recorridos para cada una de las tres presiones, debido a que la comparación directa entre los cuatro smartphones no proporciona una validación concluyente atribuible a posibles errores de humanos o de medición durante la toma de datos, se optó por validarlos de forma interna para cada dispositivo y para los distintos recorridos realizados en las distintas presiones y tipo de vehículo. Este procedimiento incrementó de manera significativa la capacidad predictiva del modelo lineal en cada caso, lo cual se reflejó en una mejora de los valores de coeficiente de determinación (R^2) y el coeficiente de correlación de Pearson (r) al comparar el IRI RMS ajustado con el IRI real medido por el rugosímetro Merlin.

3.7 Hipótesis Principal

- **Hipótesis Nula (H_0):** El tipo de vehículo y la presión de hinchado del neumático no influyen significativamente en la correlación entre los valores del IRI obtenidos mediante smartphone y los valores de referencia obtenidos con el equipo Merlin.
- **Hipótesis Alternativa (H_1):** El tipo de vehículo y la presión de hinchado del neumático sí influyen significativamente en la correlación entre los valores del IRI obtenidos mediante smartphone y los valores de referencia obtenidos con el equipo Merlin.
 - Variable Dependiente: Correlación entre IRI medido con Rugosímetro Merlin e IRI con smartphone
 - Variable Independiente: Tipo de vehículo y la presión de hinchado del neumático

3.8 Hipótesis Secundarias

- **Hipótesis Secundaria 1**
 - H_0 – Las condiciones de amortiguación del vehículo no influyen de manera significativa para los valores del IRI obtenidos mediante smartphone.
 - H_1 – Las condiciones de amortiguación del vehículo si influyen de manera significativa para los valores del IRI obtenidos mediante smartphone
- **Hipótesis Secundaria 2**
 - H_0 – El tipo de smartphone no influye de manera significativa en la representatividad física de la señal de aceleración utilizada para la estimación del IRI.
 - H_1 – El tipo de smartphone si influye de manera significativa en la representatividad física de la señal de aceleración utilizada para la estimación del IRI.

3.9 Cálculo del IRI con Merlin

El cálculo del Índice de Regularidad Internacional (IRI) utilizando el equipo Merlin se llevó a cabo conforme a los lineamientos establecidos en las especificaciones técnicas emitidas por las Normas de Diseño Geométrico de Carreteras (MOP) [16].

1. Definición de tramos: Se estableció un tramo estándar para la presente investigación de 400 m, lo que equivale a 200 lecturas consecutivas del equipo Merlin.
2. Análisis estadístico: para cada conjunto de 200 lecturas se elaboró un histograma de frecuencias, en el cual se excluyó el 5% de los datos ubicados en los extremos inferior y superior del histograma, lo que equivale a la eliminación de 10 lecturas en cada extremo.
3. Ajuste de clases: Se identificaron las clases afectadas por el proceso de descarte, las cuales fueron representadas como clases fraccionadas cuando fue necesario.
4. Cálculo del desvío total: Se determinó el desvío total D , expresado en milímetros, mediante la siguiente expresión matemática:

$$D = (N_{clases} + f_{inf} + f_{sup}) * s$$

Donde:

N_{clases} = número de clases intermedias completas

f_{inf} = fracción restante de la clase inferior

f_{sup} = fracción restante de la clase superior

s = factor de escala del equipo Merlin = 5 mm

5. El cálculo del IRI se lleva a cabo considerando el siguiente criterio condicional:

$$IRI = \begin{cases} 0.0485 \times D, & \text{si } 0.593 + 0.0471 \times D \leq 2.4 \\ 0.593 + 0.0471 \times D, & \text{si } 0.593 + 0.0471 \times D > 2.4 \end{cases}$$

3.10 Cálculo del IRI con smartphone

Se utilizó la aplicación Physics Toolbox Sensor Suite, la cual permitió realizar un registro múltiple de datos junto con la información del GPS de cada dispositivo y así exportarlos en formato .csv para un posterior análisis, a partir de estos datos, se obtuvo la aceleración vertical registrada durante el recorrido del vehículo sobre la vía, la cual fue procesada mediante el cálculo de la raíz media cuadrática (RMS); este parámetro constituyó la base para la estimación del Índice de Regularidad (IRI), permitiendo evaluar las condiciones de la superficie de la vía de manera eficiente mediante el uso de smartphones.

El levantamiento de información se realizó mediante cuatro dispositivos los cuales recolectaron datos en tres tipos de vehículos, en cada recorrido se trabajó con una presión de hinchado diferente del neumático (tres presiones distintas). Para obtener una mejor base de datos se realizaron tres recorridos por cada presión de hinchado del neumático y tipo de vehículo resultando en un total de 27 recorridos, se realizó un promedió entre los tres recorridos de cada smartphone, en cada una de las variables obteniendo un total de 9 tablas de IRI RMS por dispositivo.

3.11 Método RMS

El método RMS se basa en el cálculo del valor cuadrático medio de la señal de aceleración vertical previamente filtrada, representada como $az, f(t)$, dentro de cada tramo de análisis

definido, procurando que su longitud sea lo más cercana posible a 400 m. Esto permite que, al momento de comparar y ajustar dichos valores con el IRI de referencia obtenido con el equipo Merlin, exista una correspondencia física directa entre los datos, facilitando su correlación. Este método requiere de un ajuste inicial empírico con valores de IRI reales, con el fin de desarrollar un modelo que permita estimar un IRI representativo de las condiciones reales de la vía [4].

La expresión utilizada para el cálculo del IRI RMS se presenta a continuación:

$$IRI \text{ RMS} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N a_{z,f,i}^2}$$

Donde:

IRI RMS = valor cuadrático de la aceleración vertical

$a_{z,f,i}$ = aceleración vertical en el instante i , después del filtrado

N = número total de muestras por tramo

3.12 Análisis de datos

Una vez obtenido los datos crudos en campo, es importante mencionar que existen factores externos que podrían alterar los registros de los sensores, como vibraciones del chasis o del propio motor, para ello es necesario que estos registros se los procese de forma adecuada. Los sensores de los dispositivos registraron aceleraciones en X, Y, y Z, para obtener la estimación del IRI mediante el método RMS se necesitan los registros en Z, es así que se decidió realizar el procesamiento de información mediante scripts desarrollados en el lenguaje Python, utilizando librerías especializadas como pandas, numpy, scipy.signal y geopy, las cuales proporcionan las funciones y herramientas de cálculo requeridas para la aplicación del método propuesto.

3.12.1 Armado de tramos mediante GPS

Para el armado de tramos se utilizaron los registros obtenidos por el GPS de cada dispositivo, es importante considerar que la aplicación Physics Toolbox Sensor Suite, dependiendo del modelo del dispositivo y su gama, el sensor GPS puede mostrar imprecisiones o discontinuidades en el registro de la posición, lo que incide directamente en la correcta definición de los tramos reales utilizados para la estimación del IRI mediante el método RMS. Para ello se implementó una corrección en el script de cálculo del IRI RMS, para que el armado de los tramos tenga correspondencia física con los tramos reales del IRI Merlin, obteniendo así un mejor espacio de análisis entre ambos métodos.

Se utilizó la ecuación de Haversine, la cual permite calcular la distancia efectiva entre puntos consecutivos registrados.

$$d = 2r * \arcsen(\sqrt{\sen^2\left(\frac{\Delta Lat}{2}\right) + \cos(Lat_1) * \cos(Lat_2) * \sen^2\left(\frac{\Delta Long}{2}\right)})$$

Donde:

$r = \text{radio terrestre } (\approx 6371 \text{ km})$

$Lat \text{ y } Long = \text{Latitud y Longitud en radianes}$

3.12.2 Filtro de señal con Butterworth – Pasa banda

Un filtro de paso de banda se define como un circuito de selección de frecuencia que separa las señales dentro de un rango de frecuencia específico mientras atenúa o bloquea las frecuencias fuera de ese rango. Se establecen dos puntos de corte, uno de baja frecuencia (filtro pasa bajos) y otro de alta frecuencia (filtro pasa altos). Este método resulta adecuado para aislar la señal de interés, correspondiente en este estudio a la vibración generada por la regularidad de la superficie del pavimento, lo cual se logra mediante el ajuste adecuado de los parámetros, de modo que este se enfoque en un rango específico de frecuencias [17].

3.12.3 Filtro de señal Savitzky – Golay

El filtro de Savitzky – Golay es una técnica de filtrado digital utilizada para el suavizado de series de datos, la cual consiste en ajustar de manera sucesiva conjuntos de puntos adyacentes mediante polinomios de bajo orden, empleando el método de mínimos cuadrados lineales. La principal ventaja radica en que este filtro permite reducir el ruido sin alterar significativamente las características esenciales de la señal original, como picos y valles, que podrían verse distorsionados con otros métodos de suavizado [18].

3.12.4 Cálculo del IRI RMS con ventana deslizante

La aplicación de una ventana deslizante para el cálculo del IRI RMS, permite que los tramos obtenidos del procesamiento de datos se ajusten con la mayor precisión posible, al tramo real definido de 400 m. Este procedimiento consiste en el uso de un subconjunto de datos que se desplaza de forma secuencial a lo largo de la señal, yendo punto por punto o en saltos definidos, para este caso, se considera una tolerancia dimensional de ± 5 metros respecto al tramo de referencia de 400 m.

La ventana deslizante consiste en reunir un conjunto específico de muestras consecutivas para calcular un valor RMS correspondiente a cada tramo de longitud definida. Con cada desplazamiento de la ventana se obtiene un nuevo cálculo de RMS, lo que permite estimar el IRI en tramos consecutivos.

Se recalca la necesidad de que los tramos analizados mantengan una correspondencia física directa, garantizando que cada valor de IRI RMS contenga la misma información que su respectivo valor de referencia del IRI real con Merlin, para el mismo tramo [4].

3.13 Correlación entre el IRI con smartphone e IRI con Merlin.

Para analizar la concordancia y el grado de correlación entre los valores de IRI obtenidos mediante smartphones utilizando el método RMS y los valores de referencia correspondientes al IRI real de la vía medido con el equipo de primera clase Merlin se realizó un análisis de regresión lineal. Se seleccionó esta técnica por la sencillez de extrapolación en la estimación del IRI. Adicionalmente, se llevaron a cabo análisis complementarios para respaldar los resultados y evaluar la relación existente entre ambas variables cuantitativas.

3.13.1 Modelo de regresión lineal

Se aplicó un modelo de regresión lineal simple para cada dispositivo smartphone y por cada una de las variables que se están analizando, el modelo de regresión lineal fue aplicado entre el IRI obtenido con Merlin y la aceleración vertical por tramo obtenidas a través del método RMS. La ecuación aplicada para cada dispositivo y cada variable es:

$$IRI_{RMS} = a \cdot a_{RMS} + b$$

Donde:

IRI_{RMS} = IRI con smartphone

a = pendiente del modelo

b = ordenada al origen

a_{RMS} = valor RMS de la aceleración por tramo

3.13.2 Coeficiente de determinación R^2

El coeficiente de determinación R^2 se utiliza como el indicador fundamental para evaluar la correlación y la exactitud del modelo, ya que permite medir la proporción de la variabilidad del IRI de referencia (Merlin) explicada por el modelo basado en el método RMS:

$$R^2 = 1 - \left[\frac{\sum (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum (y_i - \bar{y}_i)^2} \right]$$

Donde:

y_i = IRI con Merlin

$\hat{y}_i$ = IRI estimado por el modelo de regresión lineal

$\bar{y}_i$ = valor promedio del IRI con Merlin

El coeficiente de determinación presenta valores comprendidos entre 0 y 1. Valores próximos a 1 indican un mayor grado de ajuste del modelo respecto a la variable analizada, mientras que valores cercanos a 0 reflejan un ajuste limitado, lo que implica una menor capacidad explicativa, por ende, una menor confiabilidad del modelo [4].

En la tabla 5 se puede apreciar los rangos de interpretación clásica que se asignan a los valores del coeficiente de determinación R^2 .

Tabla 5. Interpretación clásica del valor R^2

R^2	Interpretación clásica
0.00 – 0.25	Muy débil
0.25 – 0.50	Débil a moderada
0.50 – 0.75	Moderado a fuerte
0.75 – 1.00	Fuerte a excelente

3.13.3 Coeficiente de correlación lineal de Pearson

Se consideró el coeficiente de correlación lineal de Pearson (r) con el fin de evaluar la relación lineal entre los valores de IRI obtenidos para ambos métodos, el cual se determina mediante la siguiente expresión matemática:

$$r = \frac{\sum[(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})]}{[\sqrt{\sum(x_i - \bar{x})^2} \cdot \sqrt{\sum(y_i - \bar{y})^2}]}$$

Donde:

x_i y y_i = valores emparejados de a_{RMS} e IRI Merlin

$\bar{x}$ y $\bar{y}$ = promedios de cada variable

El coeficiente de correlación adopta valores dentro del intervalo de valores entre -1 y +1. Un valor cercano a cero indica que no hay relación entre las variables analizadas. Valores mayores a cero reflejan una asociación directa, en la que el incremento de una variable se acompaña de un aumento en la otra, mientras que los valores negativos evidencian una relación inversa, donde el aumento de una variable se asocia con la disminución de la otra [4].

En la tabla 6 se puede apreciar los rangos de interpretación para la correlación lineal de Pearson.

Tabla 6. Rangos de correlación para el coeficiente Pearson

r	Interpretación de la correlación
$r = 1$	Correlación perfecta
$0.8 < r < 1$	Correlación muy alta
$0.6 < r < 0.8$	Correlación alta
$0.4 < r < 0.6$	Correlación moderada
$0.2 < r < 0.4$	Correlación baja
$0 < r < 0.2$	Correlación muy baja
$r = 0$	Correlación nula

3.14 Valor p en prueba de hipótesis

El valor p se utilizó para evaluar el grado de compatibilidad entre los datos observados y la o las hipótesis planteadas. Se utiliza con el fin de evaluar la validez de la hipótesis nula propuesta, a partir del análisis de los datos o resultados obtenidos.

- $p < 0.05$, La hipótesis nula se rechaza.
- $p > 0.05$, La hipótesis nula no se rechaza.

Esta prueba de hipótesis se aplicará a los resultados del análisis de correlación entre el IRI estimado mediante smartphone y el IRI de referencia obtenido con el quipo Merlin, considerando los valores del coeficiente de determinación (R^2) y el coeficiente de correlación de Pearson (r).

Para el cálculo de la prueba de hipótesis p , para cada uno de los indicadores estadísticos y la presión de hinchado del neumático en cada tipo de vehículo y smartphones utilizados, se obtuvieron a través del software Excel, en el apartado de datos y la herramienta de análisis de datos, se aplicó la función para análisis de Regresión, en la cual se ingresaron como variables en Y los valores de los indicadores estadísticos de coeficiente de determinación (R^2) y el coeficiente de correlación Pearson (r) y como variable en X la presión de hinchado del neumático para cada vehículo, como se muestra en la figura 12.

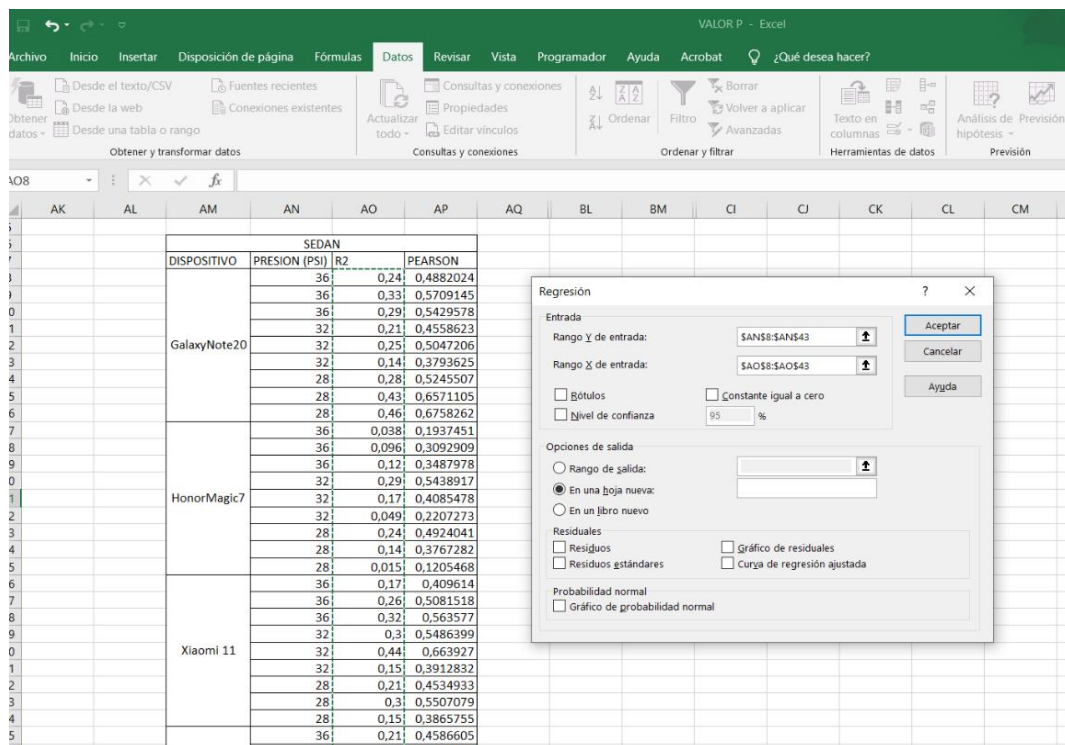


Figura 12. Función de Regresión realizado mediante software Excel

CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El proceso de validación de los datos es fundamental para sustentar que el método RMS es válido para realizar la correlación entre el IRI con Merlin y smartphone. Finalmente analizar cómo influyen las variables del tipo de vehículo y presión de hinchado del neumático.

4.1 Cálculo del IRI con el rugosímetro Merlin

El ensayo fue aplicado en la vía Guano – Ilapo (Provincia: Chimborazo), teniendo una longitud de análisis de 5.6 km, resultando en un total de 14 tramos, como se puede apreciar en la figura 13.

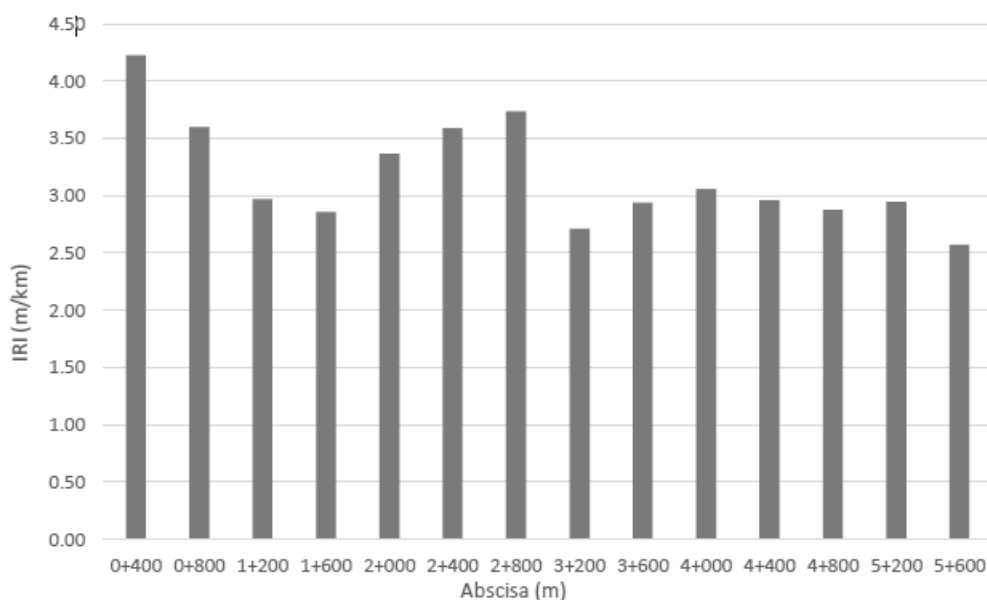


Figura 13. Resultados del IRI con el Rugosímetro Merlin

En la tabla 7 se observan los resultados del cálculo del IRI con el equipo de primera clase Merlin, el cual se encuentra distribuido por tramos y abscisas.

Tabla 7. Resultados del IRI con el Rugosímetro Merlin

Tramo N°	Abscisa (m)		IRI (m/km)
1	0+000	- 0+400	4,226
2	0+400	- 0+800	3,599
3	0+800	- 1+200	2,972
4	1+200	- 1+600	2,86
5	1+600	- 2+000	3,366
6	2+000	- 2+400	3,591
7	2+400	- 2+800	3,737
8	2+800	- 3+200	2,713
9	3+200	- 3+600	2,94
10	3+600	- 4+000	3,058
11	4+000	- 4+400	2,959
12	4+400	- 4+800	2,877
13	4+800	- 5+200	2,948
14	5+200	- 5+600	2,573

4.2 Cálculo del IRI con smartphone

A continuación, se muestra una tabla representativa con el IRI RMS obtenido a partir del dispositivo Xiaomi 11, vehículo tipo Sedan con 32 psi de hinchado del neumático, las demás tablas de resultados se encontrarán completas en el apartado de anexos en el Anexo 1.

En la tabla 8 se presentan los valores del IRI obtenidos mediante smartphone, calculados a partir del método RMS o también conocido como IRI estimado.

Tabla 8. IRI RMS Xiaomi 11 con vehículo Sedan 32 psi

Xiaomi 11 - SEDAN 32 (psi)				
Tramo Nº	IRI RECORRIDO 1	IRI RECORRIDO 2	IRI RECORRIDO 3	IRI RMS promedio (m/km)
1	0,532	0,624	0,541	0,566
2	0,533	0,516	0,454	0,501
3	0,517	0,557	0,509	0,528
4	0,511	0,438	0,456	0,468
5	0,425	0,534	0,448	0,469
6	0,446	0,480	0,517	0,481
7	0,592	0,719	0,817	0,709
8	0,443	0,500	0,464	0,469
9	0,469	0,500	0,622	0,530
10	0,481	0,568	0,514	0,521
11	0,493	0,483	0,587	0,521
12	0,471	0,429	0,484	0,461
13	0,473	0,526	0,440	0,480
14	0,414	0,449	0,427	0,430

4.3 Evaluación estadística entre el IRI obtenido con Merlin y el IRI estimado a partir de smartphone

Para identificar si existe la correlación entre IRI obtenido con Merlin y el IRI con smartphone, se realizó un ajuste de regresión lineal para las dos variables del tipo de vehículo y presión de hinchado del neumático, en la cual cada uno cuenta con su línea de tendencia del modelo, la función de ajuste y el coeficiente de determinación R^2 .

4.3.1 Modelo de regresión lineal

A continuación, se muestra los modelos de regresión lineal obtenidos a partir de los dispositivos colocados dentro del vehículo Sedan con 32 psi de hinchado del neumático, los demás modelos de ajuste lineal se encontrarán completos en el apartado de anexos en el Anexo 2.

La figura 14 presenta los resultados del ajuste por regresión lineal para los 4 smartphones colocados dentro del vehículo tipo Sedan con 32 psi de hinchado del neumático.

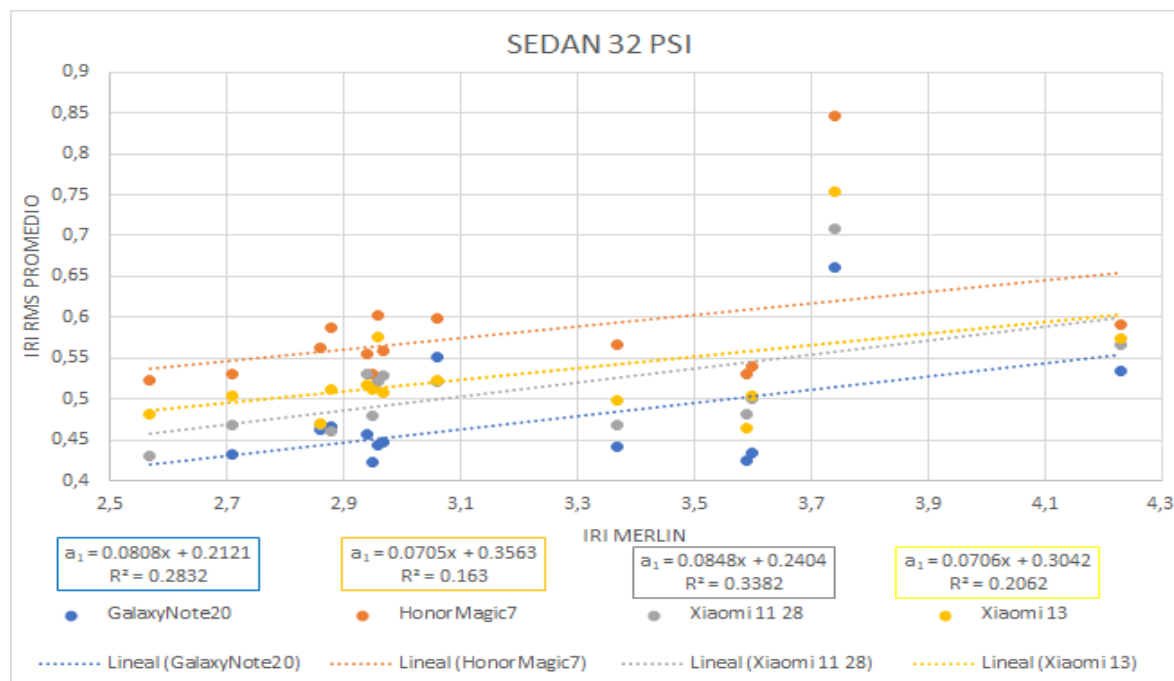


Figura 14. Regresión Lineal de los smartphones vehículo Sedan con 32 psi

Una vez obtenidos los modelos de regresión lineal para cada condición de estudio, se presenta un resumen de los 12 modelos de regresión lineal obtenidos al ajustar los valores del IRI RMS con respecto a los del IRI Merlin para el vehículo tipo Sedan, la cual está separada por tipo de smartphone y por presión de hinchado del neumático, se presenta la información de la pendiente, el intercepto y el coeficiente de determinación (R^2), las demás tablas de resúmenes se encontrarán completas en el apartado de anexos en el Anexo 3.

Tabla 9. Resumen del ajuste lineal de cada smartphone para el vehículo Sedan en las distintas presiones

IRI PROMEDIO				
PRESION	CELULAR	a x	b	R^2
36	GalaxyNote20	0,1258	0,1243	0,32
32	GalaxyNote20	0,0808	0,2121	0,28
28	GalaxyNote20	0,0965	0,1901	0,48
36	HonorMagic7	0,0548	0,4517	0,11
32	HonorMagic7	0,0705	0,3563	0,16
28	HonorMagic7	0,0677	0,3741	0,14
36	Xiaomi 11	0,114	0,1591	0,31
32	Xiaomi 11	0,0848	0,2404	0,34
28	Xiaomi 11	0,0777	0,2793	0,25
36	Xiaomi 13	0,0811	0,3106	0,18
32	Xiaomi 13	0,0706	0,3042	0,21
28	Xiaomi 13	0,0553	0,3733	0,17

4.3.2 Cálculo del coeficiente de correlación Pearson

El uso del coeficiente de correlación Pearson permite determinar en qué medida los valores de IRI obtenidos mediante smartphone evalúan la correlación del IRI medido con el equipo Merlin, resumidos en la Tabla 10, la cual presenta los resultados para los 4 smartphone separados por tipo de vehículo y presión de hinchado del neumático.

Tabla 10. Resultados de correlación Pearson: IRI smartphone vs IRI Merlin

COEFICIENTE PEARSON		PRESIÓN DE HINCHADO DEL NEUMÁTICO		
TIPO DE VEHÍCULO	MODELO DE SMARTPHONE	28 (psi)	32 (psi)	36 (psi)
HATCHBACK	Xiaomi 11	0.048	-0.047	-0.018
	Xiaomi 13	0.083	-0.087	-0.026
	GalaxyNote20	0.215	0.310	0.126
	HonorMagic7	0.403	0.201	0.201
SEDAN	Xiaomi 11	0.496	0.582	0.557
	Xiaomi 13	0.41	0.454	0.425
	GalaxyNote20	0.691	0.532	0.565
	HonorMagic7	0.379	0.404	0.334
STATION WAGON	Xiaomi 11	0.587	0.67	0.593
	Xiaomi 13	0.453	0.54	0.584
	GalaxyNote20	0.406	0.455	0.408
	HonorMagic7	0.476	0.522	0.537

Como se puede apreciar en la tabla 4, en el vehículo Hatchback se obtuvieron correlaciones muy bajas y valores negativos de -0.047, 0.087, -0.018 y -0.026, los cuales son cercanos a 0 por lo que no representa una correlación negativa real fuerte, indican ruido en la medición y no una relación inversa significativa. Estos valores negativos no invalidan el método, solo indican que en esas condiciones el smartphone no logro reproducir el patrón del IRI Merlin, siendo Hatchback el vehículo menos confiable para estimar el IRI con smartphone.

Al contrario con el vehículo Sedan y Station Wagon, se obtuvieron valores moderados a altos, como por ejemplo 0.691 con el dispositivo Galaxy Note 20; teniendo en cuenta que, cuando se emplean vehículos con buenas condiciones mecánicas los resultados demuestran que el uso de smartphones es viable para la estimación del IRI y permite representar de manera adecuada el estado actual de la vía en estudio, confirmando la capacidad de esta metodología como una opción de bajo costo, fácilmente accesible y confiable para la evaluación de la regularidad superficial siempre que se consideren criterios técnicos adecuados.

4.4 Análisis del comportamiento de los smartphones.

Para el análisis de los resultados de cada smartphone, se optó por organizar los dispositivos en las mismas condiciones, considerando el mismo tipo de vehículo y presión de hinchado del neumático por cada recorrido, permitiéndonos observar el comportamiento del dispositivo en cada recorrido.

A continuación, se muestra una tabla de resumen de los valores de Pearson obtenidos de cada smartphone en el vehículo tipo Sedan con una presión de 28 psi, donde se aplicó una escala de colores: verde, amarillo y rojo, permitiendo identificar visualmente los rangos de mejor ajuste, mayor correlación y menor error de estimación. Las demás tablas de resumen se encontrarán en el apartado de anexos en el Anexo 4.

Tabla 11. Coeficientes Pearson de los smartphones en vehículo Sedan con 28 psi aplicando escala de color

SEDAN	PRESIÓN 28 psi		
SMARTPHONE	Recorrido 1	Recorrido 2	Recorrido 3
GALAXY NOTE 20	0,525	0,657	0,676
XIAOMI 11	0,453	0,551	0,387
HONOR MAGIC7	0,492	0,377	0,121
XIAOMI 13	0,309	0,253	0,471

Como se puede apreciar los dispositivos que presentan una relación débil son el Honor Magic 7 y Xiaomi 13, lo cual indica una alta dispersión en la señal y menor captación de vibraciones, dichos dispositivos no garantizan una confiabilidad adecuada para la estimación del IRI.

El dispositivo con los mejores resultados es el Galaxy Note 20 debido a que existe una mayor estabilidad con una baja dispersión entre ellos, presentando valores más altos y consistentes de correlación entre los tres recorridos, dando un valor máximo de 0,676 en el recorrido 3, lo que evidencia un mejor desempeño frente a los demás dispositivos. Cabe recalcar que se mantuvo una igualdad de condiciones para cada recorrido, pese a ello la ruta a analizar es una vía pública y no es un entorno controlado, por ello se puede observar que existe una variación entre recorridos debido a agentes externos, principalmente el tráfico de la vía.

A partir de este análisis, se descartó aquellos dispositivos que presentan correlaciones bajas y comportamientos inestables, debido a que podrían introducir sesgos y reducir la confiabilidad en el estudio. En consecuencia, la investigación se orienta a trabajar únicamente con los dispositivos Galaxy Note 20 y Xiaomi 11, los cuales demostraron mejor desempeño en el vehículo Sedan con una presión de hinchado del neumático de 28 psi.

4.5 Correlación del IRI obtenido con Merlin y el IRI con smartphone

Con los resultados obtenidos el método alternativo basado en smartphone, muestra que existe una relación lineal positiva de magnitud moderada a alta, bajo condiciones controladas de medición. Esta correlación indica que el smartphone es capaz de reproducir la tendencia del IRI tradicional, aunque con cierta dispersión atribuible a factores externos como el tipo de vehículo, la dinámica de la suspensión, la presión de hinchado de los neumáticos y la sensibilidad de los sensores de los smartphones.

Con estos resultados se puede validar la correlación entre ambos métodos, sin embargo, el enfoque de la investigación no es determinar la viabilidad del método para estimar el IRI

empleando smartphone, sino analizar cuál es la influencia del tipo de vehículo y presión de hinchado del neumático para la obtención del IRI a través de smartphone.

4.6 Análisis de la influencia del tipo de vehículo en el IRI con smartphone

Para el análisis de la influencia del tipo de vehículo se realizó una gráfica comparativa entre los distintos tipos de vehículo para los dispositivos con mejores resultados, la cual permite observar el comportamiento de los dispositivos en el vehículo tipo Hatchback, Sedan y Station Wagon, en la presión de hinchado de neumático de 28 psi. La grafica del dispositivo Xiaomi 11 se encontrará en el apartado de anexos en el Anexo 5.

A continuación, se presenta los modelos de regresión lineal del dispositivo Galaxy Note 20 en las condiciones indicadas anteriormente:

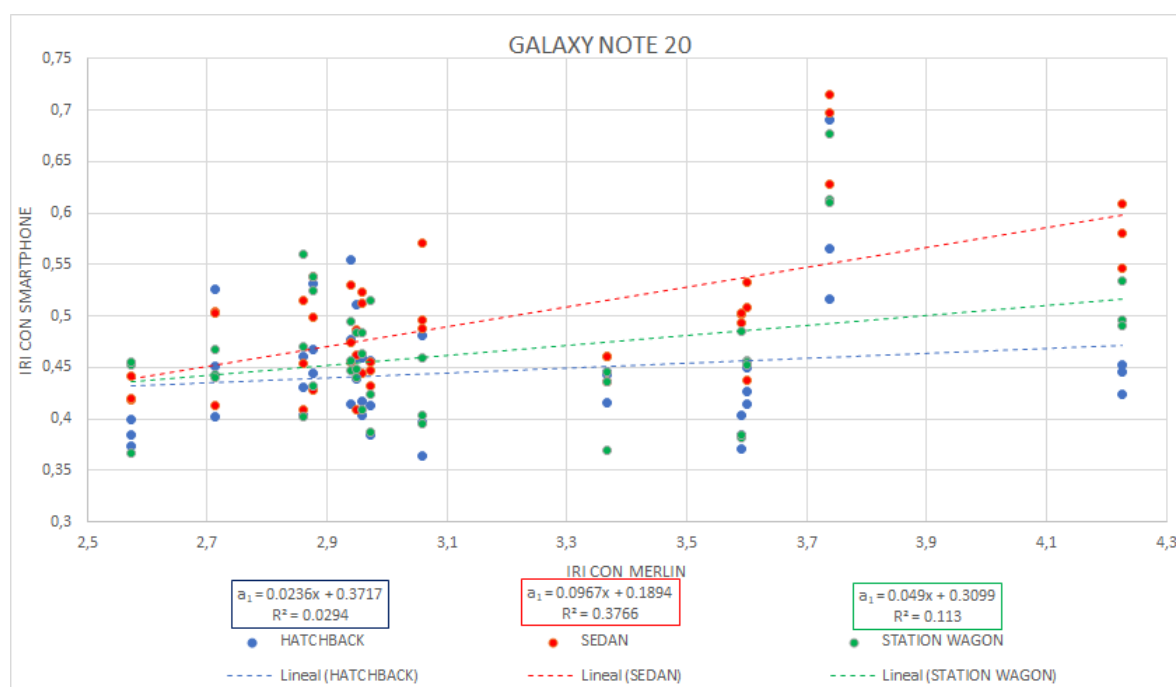


Figura 15. Correlaciones y modelos lineales en cada tipo de vehículo con 28 psi para smartphone Galaxy Note 20

Como se puede apreciar en la figura 15, está separada por tipo de vehículos, cada una de ellas contiene los resultados unificados de los 3 recorridos realizados, con el fin de obtener más puntos de análisis y así mejorar los modelos de regresión lineal. Se observa que los valores de R^2 entre el vehículo Sedan y Station Wagon tienen una diferencia moderada, a comparación del vehículo Hatchback presentando un valor de R^2 cercano a 0, lo que indica una ausencia de correlación con este vehículo. Como se puede evidenciar en la gráfica el vehículo tipo Sedan y Station Wagon presentan pendientes similares, mientras que, el vehículo tipo Hatchback su pendiente es prácticamente nula. Después de realizar un análisis riguroso del por qué el vehículo Hatchback presento una pendiente diferente, se verifico que el vehículo se encontraba en malas condiciones mecánicas especialmente los amortiguadores del mismo.

Con este análisis se puede evidenciar que el tipo de vehículo no influye significativamente en la obtención del IRI con smartphone, descubriendo que el factor dominante es el estado de los amortiguadores del vehículo.

4.7 Análisis de la influencia de la presión de hinchado del neumático en el IRI con smartphone

Para el análisis de la influencia de la presión de hinchado del neumático se realizó una gráfica comparativa entre los distintos tipos de presión considerando los dispositivos que obtuvieron mejores resultados, así como el vehículo que obtuvo mayor correlación siendo el tipo de vehículo Sedan, dicha gráfica permite observar el comportamiento de los dispositivos en cada presión de 28, 32 y 36 psi. La grafica del dispositivo Xiaomi 11 se encontrará en el apartado de anexos en el Anexo 6.

A continuación, se presenta los modelos de regresión lineal del dispositivo Galaxy Note 20 en las condiciones indicadas anteriormente:

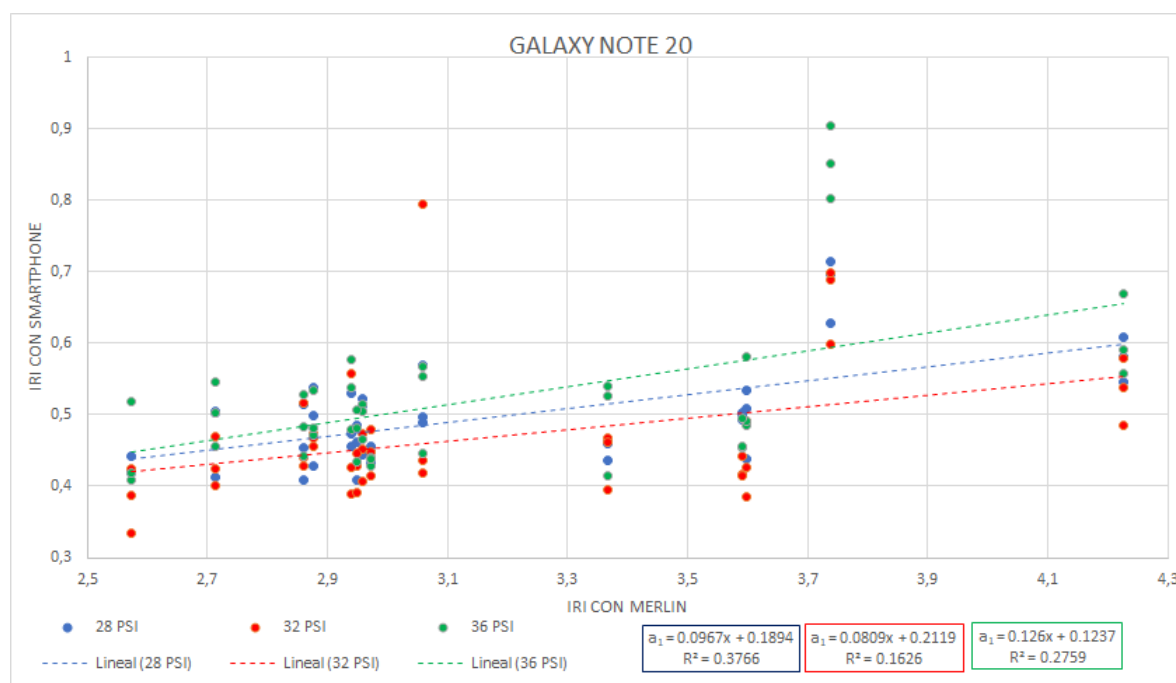


Figura 16. Correlaciones y modelos lineales en cada presión de hinchado del neumático para smartphone Galaxy Note 20

La gráfica 16, se realizó manteniendo el mismo procedimiento de análisis del capítulo de resultados específicamente en el punto 4.6. Como se puede observar en la gráfica las 3 presiones unificadas de los 3 recorridos, presentan pendientes positivas similares, lo que indica que la tendencia general se mantiene, las diferencias de R^2 son moderadas excepto en el vehículo Hatchback debido a sus condiciones mecánicas, por ende, la presión no influye de manera significativa, es decir no es un factor dominante que altere el proceso para la obtención del IRI con smartphone.

4.8 Cálculo de prueba de hipótesis p

Se realizó la prueba de hipótesis p para los dos indicadores estadísticos y las variables analizadas que son tipo de vehículo y presión de hinchado del neumático, cuyos resultados se muestran a continuación. Se siguió la metodología explicada en el Capítulo III en el apartado 3.14. Se presentan los valores de prueba de hipótesis p obtenidos para el vehículo tipo Sedan con el smartphone Galaxy Note 20, los demás resultados se encontrarán en el apartado de anexos en el Anexo 7.

Tabla 12. Valor prueba de hipótesis p para el indicador Coeficiente de Determinación (R^2)

SEDAN - GALAXY NOTE 20								
R^2	Coeficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%	Inferior 95.0%	Superior 95.0%
Intercepción	0,706	0,322	2,194	0,064	-0,055	1,466	-0,055	1,466
Variable X 1	-0,013	0,010	-1,292	0,237	-0,037	0,011	-0,037	0,011

Tabla 13. Valor de prueba de hipótesis p para el indicado Coeficiente de Correlación Pearson (r)

SEDAN - GALAXY NOTE 20								
r	Coeficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%	Inferior 95.0%	Superior 95.0%
Intercepción	0,874	0,301	2,902	0,023	0,162	1,586	0,162	1,586
Variable X 1	-0,011	0,009	-1,137	0,293	-0,033	0,011	-0,033	0,011

4.8.1 Prueba de hipótesis nula

Se presenta una tabla de resumen de los valores de hipótesis p obtenidos, para cada smartphone en los diferentes tipos de vehículos y los valores de los indicadores estadísticos de coeficiente de determinación (R^2) y el coeficiente de correlación Pearson (r).

Tabla 14. Resultado de la prueba de hipótesis en los indicadores estadísticos

VALOR P				
DISPOSITIVO	INDICADOR ESTADISTICO	STATION WAGON	SEDAN	HATCHBACK
GalaxyNote20	R^2	0,649	0,237	0,773
	r	0,737	0,293	0,499
HonorMagic7	R^2	0,979	0,571	0,076
	r	0,861	0,714	0,278
Xiaomi 11	R^2	0,199	0,729	0,199
	r	0,660	0,722	0,799
Xiaomi 13	R^2	0,494	0,614	0,167
	r	0,433	0,647	0,231

Los resultados obtenidos indican que los valores p son mayores a 0.05, por lo tanto, no se puede descartar la hipótesis nula y afirmar la hipótesis alternativa. No obstante, los altos valores de coeficiente de determinación (R^2) y coeficiente de correlación Pearson (r) observados en ciertas configuraciones demuestran que el método basado en smartphone es consistente y capaz de reproducir adecuadamente el comportamiento del IRI.

4.9 Análisis de hipótesis

- **Hipótesis Nula (H_0):** El tipo de vehículo y la presión de hinchado del neumático no influye significativamente en la correlación entre los valores del IRI obtenidos mediante smartphone y los valores de referencia obtenidos con el equipo Merlin.
- **Hipótesis Alternativa (H_1):** El tipo de vehículo y la presión de hinchado del neumático si influye significativamente en la correlación entre los valores del IRI obtenidos mediante smartphone y los valores de referencia obtenidos con el equipo Merlin.
 - Variable Dependiente: Correlación entre IRI con smartphone e IRI medido con Merlin
 - Variable Independiente: Tipo de vehículo y la presión de hinchado del neumático
- **Respuesta:** “El análisis de prueba de hipótesis realizado mediante regresión entre el tipo de vehículo y presión hinchado del neumático, y correlación existente entre el IRI de referencia Merlin y el IRI estimado con smartphone, evaluada a través de los indicadores estadísticos coeficiente de determinación (R^2) y coeficiente de correlación Pearson (r), mostro que en todos los casos analizados y para los distintos smartphones los valores de significancia estadística p fueron superiores a 0.05. En consecuencia, no se rechaza la hipótesis nula, lo que permite concluir que el tipo de vehículo y la presión de hinchado de los neumáticos no influye de manera estadísticamente significativa en la correlación de ambos métodos de obtención del IRI.”
- **Hipótesis Secundaria 1**
 - H_0 – Las condiciones de amortiguación del vehículo no influyen de manera significativa para los valores del IRI obtenidos mediante smartphone.
 - H_1 – Las condiciones de amortiguación del vehículo si influyen de manera significativa para los valores del IRI obtenidos mediante smartphone.
- **Respuesta:** “Del análisis de los resultados obtenidos se evidencia que el vehículo tipo Hatchback presenta sistemáticamente los valores más bajos de correlación, tanto para el coeficiente de determinación (R^2), como el coeficiente de correlación Pearson (r), en comparación con los vehículos tipo Station Wagon y Sedan. Durante el proceso de análisis de los resultados, se constató que dicho vehículo se encontraba en deficientes condiciones mecánicas, particularmente su sistema de amortiguación y suspensión. Esta condición provocó una mayor amplificación y distorsión de la señal de aceleración registrada por los smartphones, afectando la estabilidad y representatividad de la señal utilizada para la señal del IRI. En consecuencia, aunque el análisis estadístico global no evidencio significancia al nivel establecido, los resultados permiten concluir que el

estado de amortiguación influye de manera directa en la calidad de los valores de IRI obtenidos mediante smartphone. Por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula (H_0) y se acepta la hipótesis alternativa (H_1), al demostrarse que las condiciones de amortiguación del vehículo influyen en la estimación del IRI.”

- **Hipótesis Secundaria 2**

- H_0 – El tipo de smartphone no influye de manera significativa en la representatividad física de la señal de aceleración utilizada para la estimación del IRI.
- H_1 – El tipo de smartphone si influye de manera significativa en la representatividad física de la señal de aceleración utilizada para la estimación del IRI.

- **Respuesta:** “Los resultados obtenidos muestran diferencias claras en los niveles de correlación entre el IRI con smartphone y el IRI con Merlin, dependiendo del dispositivo móvil empleado. Estas diferencias se atribuyen principalmente a la calidad y sensibilidad de los sensores integrados en cada smartphone, así como a sus tasas de muestreo y capacidad de procesamiento de la señal. En función a lo dicho anteriormente, se concluye que el tipo de smartphone si influye en la representatividad de la señal de aceleración y, por ende, en la estimación del IRI, motivo por el cual se rechaza la hipótesis nula (H_0) y se acepta la hipótesis alternativa (H_1).”

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

- A partir de los modelos de regresión lineal y pruebas de hipótesis aplicadas en la correlación del IRI estimado con smartphone y el IRI con Merlin, se concluye que el tipo de vehículo y la presión de hinchado del neumático no influyen de manera estadísticamente significativa en la correspondencia entre ambos métodos de medición, dentro de las condiciones evaluadas en el presente estudio. Esta conclusión se sustenta en los valores de p obtenidos para los indicadores empleados de coeficiente de determinación (R^2) y el coeficiente de correlación Pearson (r), que resultaron en un valor de $p > 0,05$, manteniendo la hipótesis nula que indica que el tipo de vehículo y la presión de hinchado del neumático no influyen de manera estadísticamente significativa en el cálculo del IRI con smartphone.
- A partir de analizar los resultados obtenidos por cada vehículo, se concluye que las condiciones de estado del sistema de amortiguación del vehículo influyen de manera directa en la calidad de la señal de aceleración vertical registrada por el smartphone, afectando la estabilidad de dicha señal para la estimación del IRI con smartphone. Vehículos en malas condiciones mecánicas en el sistema de amortiguación presentan una mayor dispersión y distorsión de la señal, lo que ocasiona menores niveles de correlación con los valores del IRI de referencia medido con Merlin.
- Se concluye que el tipo de smartphone utilizado influye en la lectura de la señal de aceleración, utilizada para la estimación del IRI con smartphone, debido a las diferencias entre gamas de calidad de los sensores y capacidad de recolección de datos. Smartphones con sensores de mayor calidad permiten una captura más real de la respuesta dinámica del vehículo, lo que se refleja en mejores niveles de correlación entre el IRI estimado con smartphone y el IRI de referencia Merlin. Aunque estas diferencias no siempre reflejan un nivel alto de influencia, su efecto es notable en la precisión y consistencia de los resultados obtenidos.
- Se logró evaluar de manera satisfactoria el IRI real de la vía de estudio mediante el uso del rugosímetro Merlin, cuyos resultados fueron empleados como valores de referencia para el desarrollo de los análisis comparativos y la validación del método de estimación basado en smartphone.
- Se estimó el IRI utilizando los sensores de aceleración y posicionamiento integrados en smartphones, controlando la variable de la presión de hinchado de neumático demostrando que el procedimiento de adquisición, procesamiento y análisis de la señal de aceleración permite obtener valores de IRI coherentes con la condición real de la vía, independientemente de las variaciones de presión evaluadas.
- De igual manera, se estimó el IRI mediante smartphone considerando distintos tipos de vehículo, observando que, no existen variaciones significativas en los resultados obtenidos, lo que evidencia que el método no es frágil ni dependiente de una sola

configuración vehicular y puede aplicarse en distintos escenarios sin perder confiabilidad.

- Se estableció una correlación positiva entre los valores de IRI obtenidos con el equipo Merlin y aquellos estimados mediante smartphones, expresada a través de valores elevados del coeficiente de correlación Pearson (r) y de coeficiente de determinación (R^2), lo que demuestra una adecuada capacidad predictiva de los modelos de regresión empleados para la estimación del IRI.
- Los resultados encontrados confirman que usar un smartphone como herramienta para la estimación del IRI es viable y técnicamente consistente, siempre que se controlen condiciones mecánicas aceptables del vehículo y se utilicen dispositivos con sensores de calidad suficiente para captar la señal de aceleración correctamente.

5.2 Recomendaciones

- Para futuras investigación de medición del IRI mediante smartphone, se recomienda verificar previamente el estado mecánico del vehículo, independientemente del tipo de carrocería, en particular el sistema de suspensión y amortiguación, con el propósito de garantizar una respuesta dinámica más estable durante la recolección de datos y mejorar la representatividad física de la señal registrada por el smartphone.
- Es aconsejable realizar calibraciones preliminares del smartphone, con el fin de eliminar y restringir posibles ruidos, sesgos o limitaciones propias de cada dispositivo.
- Aunque la presión de hinchado del neumático no mostro una influencia estadísticamente significativa en la correlación del IRI, se recomienda mantener presiones de hinchado controladas y dentro de los rangos recomendados por el fabricante, con el fin de reducir variaciones operativas y asegurar condiciones homogéneas durante el levantamiento de información.
- Se recomienda controlar el proceso de instalación y fijación del smartphone dentro del vehículo, asegurando una orientación y posición constantes, con el fin de reducir la influencia de vibraciones externas o desplazamientos del dispositivo que puedan alterar la señal de aceleración registrada.
- Para el procesamiento de los datos se recomienda aplicar filtros digitales como por ejemplo el filtro pasa banda, que ayuda a eliminar ruido y componentes no deseados de la señal de aceleración antes de calcular el IRI.
- En estudios similares, se ha demostrado que una frecuencia de muestreo mayor tiende a producir mediciones más consistentes, aunque con mayor volumen de datos, mientras que una frecuencia muy baja puede no captar adecuadamente las irregularidades del pavimento, la aplicación utilizada en esta investigación delimita ajustar la frecuencia de muestreo, por ello a futuros investigadores se recomienda la creación de una aplicación que permita ajustar la frecuencia de muestreo para el levantamiento de los datos de la vía.

- Para futuras investigaciones se recomienda que para vías públicas los recorridos sean entornos controlados, además, de analizar la influencia de la frecuencia de muestreo, la ubicación del smartphone dentro del vehículo y la cantidad de ocupantes que influyen en la masa suspendida.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] A. O. S. Antonio y J. P. W. Andrés, «Evaluación del IRI de campo de una vía rural (Caso de estudio Av. Pichincha (Ayora) hasta Galo Plaza Laso (Ibarra)),» Ecuador , 2023.
- [2] J. Montoya, «Análisis del IRI para un proyecto de carretera sinuosa concesionada en el Perú,» Lima, 2013.
- [3] J. O. C. TORIBIO, «CÁLCULO DEL INDICE DE REGULARIDAD INTERNACIONAL (IRI) A TRAVÉS DE IMAGENES OBTENIDAS DE UN VEHICULO AÉREO NO TRIPULADO,» Rodrigo Facio, Costa Rica, 2022.
- [4] L. J. G. Vargas, «Influencia de la velocidad vehicular en la obtención del IRI con smartphone,» ECUADOR, Riobamba, 2025.
- [5] B. A. R. Pionce, «DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL EN LA V. LA PRENSA, USANDO APARATOS INTELIGENTES Y EL RUGOSÍMETRO DE MERLIN,» MANABÍ - ECUADOR, 2020.
- [6] C. B. S. Ramirez, «CÁLCULO DEL IRI MEDIANTE ACELERÓMETRO DE SMARTPHONE EN EL TRAMO HUARMEY – CASMA DE LA CARRETERA PANAMERICANA NORTE,» Lima - Perú, 2017.
- [7] M. J. G. Osco, «FACTORES QUE INFLUYEN EN LAS LECTURAS DEL APLICATIVO MÓVIL ABAKAL IRI PARA DETERMINAR LA RUGOSIDAD DEL PAVIMENTO FLEXIBLE EN LA CARRETERA COSTANERA SUR, TACNA-2021,» Tacna - Perú, 2022.
- [8] J. J. Mocondino, «Construyored,» 2020. [En línea]. Available: <https://construyored.com/noticias/2299-que-es-un-pavimento>.
- [9] C. L. T. Narváez, «METODOLOGÍA PARA LA EVALUACIÓN DE VÍAS RURALES, CONSIDERANDO LA REGULARIDAD SUPERFICIAL DE PAVIMENTOS FLEXIBLES: ESTUDIO CASO VÍA SANTA ROSA –BELLAVISTA – LA AVANZADA DEL CANTÓN SANTA ROSA, PROVINCIA DE EL ORO.,» MACHALA, 2022.
- [10] A. G. B. Adolfo, «“EVALUACIÓN FUNCIONAL DEL PAVIMENTO DE LA VÍA A NOBOA EN EL ACCESO ORIENTAL DE LA CIUDAD DE JIPIJAPA-PROVINCIA DE MANABÍ, DESDE LA ABSCISA 0+000 HASTA 1+000,» Manabí - Jipijapa, 2021.
- [11] D. A. A. Mendoza, «EVALUACIÓN DEL MODELO “QUARTER CAR” PARA LA ESTIMACIÓN DEL ÍNDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL (IRI) DEL TRAMO HUANCAVELICA - SANTA INÉS,» Puno - Perú, 2014.
- [12] V. Software, «Physics Toolbox Sensor Suite,» 2023. [En línea]. Available: <https://www.vieyrasoftware.net/>.

- [13] S. F. Yeganeh, A. Mahmoudzadeh, M. A. Azizpour y A. Golroo, «Validation of smartphone based pavement roughness measures,» arXiv > cs >arXiv:1902.10699, 2019. [En línea]. Available: <https://arxiv.org/abs/1902.10699>.
- [14] G. Wang, M. Burrow y G. Ghataora, «Study of the Factors Affecting Road Roughness Measurement Using Smartphones,» *Journal of Infrastructure Systems*, vol. 26, nº 3, art. 04020020, 2020.
- [15] T. Kiss, «Investigación no experimental,» 2025. [En línea]. Available: <https://concepto.de/investigacion-no-experimental/>.
- [16] N.-. 12, «Norma Ecuatoriana Vial,» 2013. [En línea]. Available: <https://es.scribd.com/doc/291740456/Manual-NEVI-12-VOLUMEN-6>.
- [17] L. Hulatt y G. Freitas, «Study Smarter,» 2024. [En línea]. Available: <https://www.studysmarter.es/resumenes/ingenieria/ingenieria-de-telecomunicaciones-ingenieria/filtros-paso-banda/>.
- [18] T. Konstantinovsky, «Introduction to the Savitzky-Golay Filter: A Comprehensive Guide (Using Python),» 2024. [En línea]. Available: <https://medium.com/pythoneers/introduction-to-the-savitzky-golay-filter-a-comprehensive-guide-using-python-b2dd07a8e2ce>.

ANEXOS

Anexo 1. Resultados del cálculo del IRI con smartphone

- GalaxyNote20 - HATCHBACK 28 (psi)

GalaxyNote20 - HATCHBACK 28 (psi)				
Tramo Nº	IRI RECORRIDO 1	IRI RECORRIDO 2	IRI RECORRIDO 3	IRI RMS promedio (m/km)
1	0,446	0,424	0,452	0,441
2	0,426	0,415	0,450	0,430
3	0,413	0,456	0,384	0,418
4	0,461	0,404	0,430	0,432
5	0,416	0,443	0,445	0,435
6	0,371	0,385	0,404	0,387
7	0,565	0,690	0,516	0,590
8	0,402	0,526	0,451	0,460
9	0,554	0,415	0,477	0,482
10	0,397	0,481	0,364	0,414
11	0,460	0,404	0,418	0,427
12	0,531	0,468	0,444	0,481
13	0,511	0,459	0,439	0,470
14	0,385	0,399	0,374	0,386

- Xiaomi 11 - HATCHBACK 28 (psi)

Xiaomi 11 - HATCHBACK 28 (psi)				
Tramo Nº	IRI RECORRIDO 1	IRI RECORRIDO 2	IRI RECORRIDO 3	IRI RMS promedio (m/km)
1	0,483	0,527	0,580	0,530
2	0,488	0,556	0,558	0,534
3	0,549	0,575	0,544	0,556
4	0,559	0,478	0,518	0,518
5	0,467	0,531	0,469	0,489
6	0,495	0,434	0,513	0,481
7	0,589	0,810	0,636	0,678
8	0,605	0,585	0,661	0,617
9	0,525	0,650	0,487	0,554
10	0,534	0,571	0,518	0,541
11	0,619	0,589	0,511	0,573
12	0,512	0,699	0,457	0,556
13	0,519	0,549	0,508	0,525
14	0,473	0,548	0,458	0,493

- HonorMagic7 - HATCHBACK 28 (psi)

HonorMagic7 - HATCHBACK 28 (psi)				
Tramo Nº	IRI RECORRIDO 1	IRI RECORRIDO 2	IRI RECORRIDO 3	IRI RMS promedio (m/km)
1	0,587	0,501	0,534	0,541
2	0,507	0,516	0,539	0,521
3	0,492	0,567	0,574	0,544
4	0,736	0,496	0,482	0,571
5	0,497	0,571	0,482	0,517
6	0,460	0,463	0,494	0,473
7	0,734	0,737	0,823	0,765
8	0,514	0,471	0,479	0,488
9	0,564	0,497	0,479	0,513
10	0,516	0,580	0,490	0,528
11	0,523	0,513	0,528	0,521
12	0,562	0,558	0,508	0,543
13	0,598	0,456	0,551	0,535
14	0,431	0,413	0,417	0,420

- Xiaomi 13 - HATCHBACK 28 (psi)

Xiaomi 13 - HATCHBACK 28 (psi)				
Tramo Nº	IRI RECORRIDO 1	IRI RECORRIDO 2	IRI RECORRIDO 3	IRI RMS promedio (m/km)
1	0,548	0,581	0,552	0,560
2	0,560	0,503	0,608	0,557
3	0,564	0,578	0,561	0,568
4	0,567	0,500	0,584	0,550
5	0,517	0,511	0,425	0,484
6	0,495	0,461	0,594	0,517
7	0,986	0,901	0,839	0,909
8	0,499	0,620	0,726	0,615
9	0,738	0,580	0,589	0,635
10	0,563	0,651	0,656	0,623
11	0,646	0,578	0,622	0,616
12	0,701	0,635	0,600	0,645
13	0,615	0,640	0,688	0,648
14	0,498	0,611	0,611	0,574

- GalaxyNote20 - HATCHBACK 32 (psi)

GalaxyNote20 - HATCHBACK 32 (psi)				
Tramo N°	IRI RECORRIDO 1	IRI RECORRIDO 2	IRI RECORRIDO 3	IRI RMS promedio (m/km)
1	0,446	0,464	0,536	0,482
2	0,516	0,493	0,444	0,485
3	0,532	0,467	0,564	0,521
4	0,489	0,577	0,505	0,523
5	0,469	0,439	0,438	0,448
6	0,464	0,389	0,497	0,450
7	0,655	0,618	0,711	0,661
8	0,544	0,497	0,379	0,473
9	0,459	0,563	0,476	0,499
10	0,509	0,436	0,432	0,459
11	0,486	0,483	0,447	0,472
12	0,474	0,461	0,422	0,452
13	0,433	0,501	0,459	0,464
14	0,496	0,370	0,452	0,439

- Xiaomi 11 - HATCHBACK 32 (psi)

Xiaomi 11 - HATCHBACK 32 (psi)				
Tramo N°	IRI RECORRIDO 1	IRI RECORRIDO 2	IRI RECORRIDO 3	IRI RMS promedio (m/km)
1	0,590	0,632	0,600	0,607
2	0,482	0,716	0,601	0,600
3	0,528	0,568	0,647	0,581
4	0,467	0,787	0,559	0,605
5	0,544	0,625	0,635	0,601
6	0,496	0,504	0,633	0,544
7	0,804	0,772	0,913	0,829
8	0,689	0,752	0,658	0,700
9	0,571	0,746	0,651	0,656
10	0,606	0,884	0,621	0,704
11	0,663	0,662	0,647	0,658
12	0,710	0,730	0,703	0,714
13	0,611	0,690	0,598	0,633
14	0,570	0,631	0,662	0,621

- HonorMagic7 - HATCHBACK 32 (psi)

HonorMagic7 - HATCHBACK 32 (psi)				
Tramo Nº	IRI RECORRIDO 1	IRI RECORRIDO 2	IRI RECORRIDO 3	IRI RMS promedio (m/km)
1	0,537	0,573	0,518	0,543
2	0,468	0,532	0,542	0,514
3	0,505	0,486	0,563	0,518
4	0,489	0,600	0,503	0,531
5	0,622	0,549	0,536	0,569
6	0,536	0,514	0,460	0,504
7	0,518	0,765	0,787	0,690
8	0,709	0,503	0,524	0,579
9	0,516	0,563	0,443	0,507
10	0,561	0,519	0,480	0,520
11	0,498	0,537	0,449	0,495
12	0,744	0,763	0,562	0,690
13	0,472	0,460	0,515	0,482
14	0,492	0,518	0,426	0,478

- Xiaomi 13 - HATCHBACK 32 (psi)

Xiaomi 13 - HATCHBACK 32 (psi)				
Tramo Nº	IRI RECORRIDO 1	IRI RECORRIDO 2	IRI RECORRIDO 3	IRI RMS promedio (m/km)
1	0,653	0,567	0,588	0,603
2	0,739	0,647	0,527	0,638
3	0,675	0,604	0,612	0,630
4	0,757	0,649	0,561	0,656
5	0,575	0,559	0,562	0,565
6	0,573	0,508	0,538	0,540
7	0,936	0,878	0,874	0,896
8	0,723	0,661	0,743	0,709
9	0,744	0,674	0,626	0,681
10	0,759	0,647	0,734	0,713
11	0,754	0,652	0,572	0,659
12	0,589	0,750	0,637	0,658
13	0,578	0,698	0,664	0,647
14	0,607	0,727	0,724	0,686

- GalaxyNote20 - HATCHBACK 36 (psi)

GalaxyNote20 - HATCHBACK 36 (psi)				
Tramo Nº	IRI RECORRIDO 1	IRI RECORRIDO 2	IRI RECORRIDO 3	IRI RMS promedio (m/km)
1	0,538	0,491	0,491	0,507
2	0,531	0,484	0,553	0,523
3	0,531	0,607	0,463	0,534
4	0,622	0,562	0,483	0,556
5	0,494	0,455	0,469	0,473
6	0,577	0,473	0,434	0,495
7	0,651	0,601	0,740	0,664
8	0,568	0,491	0,446	0,501
9	0,550	0,548	0,498	0,532
10	0,744	0,489	0,413	0,549
11	0,524	0,498	0,479	0,500
12	0,504	0,677	0,495	0,558
13	0,562	0,480	0,536	0,526
14	0,476	0,592	0,464	0,511

- Xiaomi 11 - HATCHBACK 36 (psi)

Xiaomi 11 - HATCHBACK 36 (psi)				
Tramo Nº	IRI RECORRIDO 1	IRI RECORRIDO 2	IRI RECORRIDO 3	IRI RMS promedio (m/km)
1	0,622	0,573	0,637	0,610
2	0,590	0,576	0,646	0,604
3	0,615	0,690	0,570	0,625
4	0,656	0,631	0,578	0,622
5	0,534	0,584	0,533	0,550
6	0,540	0,520	0,534	0,531
7	0,751	0,739	0,734	0,741
8	0,659	0,670	0,654	0,661
9	0,744	0,748	0,696	0,729
10	0,706	0,636	0,693	0,678
11	0,567	0,639	0,507	0,571
12	0,594	0,646	0,784	0,675
13	0,457	0,711	0,730	0,633
14	0,458	0,503	0,637	0,533

- HonorMagic7 - HATCHBACK 36 (psi)

HonorMagic7 - HATCHBACK 36 (psi)				
Tramo N°	IRI RECORRIDO 1	IRI RECORRIDO 2	IRI RECORRIDO 3	IRI RMS promedio (m/km)
1	0,547	0,553	0,598	0,566
2	0,524	0,446	0,518	0,496
3	0,601	0,622	0,548	0,590
4	0,565	0,482	0,515	0,521
5	0,498	0,569	0,478	0,515
6	0,615	0,567	0,574	0,585
7	0,634	0,759	0,733	0,708
8	0,607	0,460	0,595	0,554
9	0,560	0,516	0,554	0,543
10	0,647	0,581	0,641	0,623
11	0,536	0,496	0,700	0,577
12	0,594	0,870	0,645	0,703
13	0,467	0,502	0,527	0,499
14	0,420	0,498	0,527	0,481

- Xiaomi 13 - HATCHBACK 36 (psi)

Xiaomi 13 - HATCHBACK 36 (psi)				
Tramo N°	IRI RECORRIDO 1	IRI RECORRIDO 2	IRI RECORRIDO 3	IRI RMS promedio (m/km)
1	0,465	0,643	0,639	0,582
2	0,704	0,606	0,620	0,644
3	0,640	0,576	0,617	0,611
4	0,572	0,679	0,640	0,630
5	0,557	0,609	0,594	0,587
6	0,519	0,555	0,586	0,553
7	0,561	0,754	0,891	0,735
8	0,817	0,677	0,701	0,732
9	0,651	0,677	0,649	0,659
10	0,612	0,627	0,670	0,636
11	0,590	0,673	0,725	0,662
12	0,650	0,766	0,672	0,696
13	0,609	0,755	0,658	0,674
14	0,580	0,621	0,568	0,590

- GalaxyNote20 - SEDAN 28 (psi)

GalaxyNote20 - SEDAN 28 (psi)				
Tramo Nº	IRI RECORRIDO 1	IRI RECORRIDO 2	IRI RECORRIDO 3	IRI RMS promedio (m/km)
1	0,581	0,547	0,609	0,579
2	0,438	0,509	0,533	0,493
3	0,433	0,448	0,455	0,445
4	0,453	0,409	0,515	0,459
5	0,460	0,461	0,437	0,453
6	0,502	0,503	0,493	0,499
7	0,698	0,629	0,715	0,681
8	0,505	0,413	0,503	0,474
9	0,530	0,456	0,474	0,487
10	0,497	0,570	0,488	0,518
11	0,512	0,445	0,523	0,493
12	0,499	0,539	0,428	0,488
13	0,486	0,409	0,462	0,452
14	0,441	0,418	0,420	0,427

- Xiaomi 11 - SEDAN 28 (psi)

Xiaomi 11 - SEDAN 28 (psi)				
Tramo Nº	IRI RECORRIDO 1	IRI RECORRIDO 2	IRI RECORRIDO 3	IRI RMS promedio (m/km)
1	0,668	0,611	0,661	0,647
2	0,497	0,505	0,542	0,515
3	0,475	0,456	0,452	0,461
4	0,516	0,469	0,541	0,509
5	0,362	0,515	0,489	0,455
6	0,473	0,489	0,426	0,463
7	0,660	0,667	0,656	0,661
8	0,535	0,518	0,512	0,522
9	0,549	0,562	0,639	0,583
10	0,519	0,557	0,590	0,555
11	0,561	0,495	0,529	0,528
12	0,498	0,589	0,661	0,583
13	0,407	0,472	0,443	0,441
14	0,467	0,452	0,398	0,439

- HonorMagic7 - SEDAN 28 (psi)

HonorMagic7 - SEDAN 28 (psi)				
Tramo Nº	IRI RECORRIDO 1	IRI RECORRIDO 2	IRI RECORRIDO 3	IRI RMS promedio (m/km)
1	0,622	0,565	0,554	0,580
2	0,558	0,598	0,545	0,567
3	0,596	0,577	0,455	0,542
4	0,631	0,578	0,474	0,561
5	0,594	0,576	0,499	0,556
6	0,560	0,593	0,504	0,552
7	0,924	0,843	0,815	0,861
8	0,591	0,527	0,529	0,549
9	0,578	0,604	0,600	0,594
10	0,600	0,640	0,690	0,644
11	0,557	0,557	0,589	0,568
12	0,493	0,605	0,660	0,586
13	0,495	0,627	0,533	0,552
14	0,452	0,534	0,619	0,535

- Xiaomi 13 - SEDAN 28 (psi)

Xiaomi 13 - SEDAN 28 (psi)				
Tramo Nº	IRI RECORRIDO 1	IRI RECORRIDO 2	IRI RECORRIDO 3	IRI RMS promedio (m/km)
1	0,603	0,630	0,563	0,598
2	0,568	0,489	0,587	0,548
3	0,507	0,518	0,535	0,520
4	0,539	0,484	0,492	0,505
5	0,455	0,531	0,497	0,494
6	0,407	0,469	0,556	0,477
7	0,808	0,572	0,716	0,699
8	0,533	0,497	0,461	0,497
9	0,532	0,588	0,503	0,541
10	0,624	0,628	0,651	0,634
11	0,591	0,594	0,497	0,560
12	0,603	0,553	0,610	0,589
13	0,487	0,500	0,573	0,520
14	0,481	0,529	0,487	0,499

- GalaxyNote20 - SEDAN 32 (psi)

GalaxyNote20 - SEDAN 32 (psi)				
Tramo Nº	IRI RECORRIDO 1	IRI RECORRIDO 2	IRI RECORRIDO 3	IRI RMS promedio (m/km)
1	0,485	0,539	0,580	0,535
2	0,385	0,491	0,426	0,434
3	0,415	0,480	0,449	0,448
4	0,441	0,516	0,429	0,462
5	0,467	0,396	0,461	0,441
6	0,417	0,442	0,415	0,425
7	0,599	0,688	0,698	0,662
8	0,400	0,425	0,469	0,432
9	0,389	0,557	0,426	0,457
10	0,420	0,437	0,795	0,550
11	0,452	0,407	0,474	0,444
12	0,467	0,457	0,474	0,466
13	0,428	0,392	0,446	0,422
14	0,425	0,386	0,335	0,382

- Xiaomi 11 - SEDAN 32 (psi)

Xiaomi 11 - SEDAN 32 (psi)				
Tramo Nº	IRI RECORRIDO 1	IRI RECORRIDO 2	IRI RECORRIDO 3	IRI RMS promedio (m/km)
1	0,532	0,624	0,541	0,566
2	0,533	0,516	0,454	0,501
3	0,517	0,557	0,509	0,528
4	0,511	0,438	0,456	0,468
5	0,425	0,534	0,448	0,469
6	0,446	0,480	0,517	0,481
7	0,592	0,719	0,817	0,709
8	0,443	0,500	0,464	0,469
9	0,469	0,500	0,622	0,530
10	0,481	0,568	0,514	0,521
11	0,493	0,483	0,587	0,521
12	0,471	0,429	0,484	0,461
13	0,473	0,526	0,440	0,480
14	0,414	0,449	0,427	0,430

- HonorMagic7 - SEDAN 32 (psi)

HonorMagic7 - SEDAN 32 (psi)				
Tramo Nº	IRI RECORRIDO 1	IRI RECORRIDO 2	IRI RECORRIDO 3	IRI RMS promedio (m/km)
1	0,627	0,594	0,555	0,592
2	0,590	0,527	0,501	0,540
3	0,537	0,580	0,561	0,559
4	0,632	0,513	0,544	0,563
5	0,555	0,597	0,548	0,567
6	0,592	0,528	0,470	0,530
7	0,741	0,873	0,923	0,846
8	0,512	0,533	0,544	0,530
9	0,489	0,613	0,562	0,554
10	0,558	0,658	0,580	0,598
11	0,598	0,538	0,669	0,602
12	0,617	0,613	0,531	0,587
13	0,528	0,510	0,554	0,531
14	0,551	0,483	0,537	0,524

- Xiaomi 13 - SEDAN 32 (psi)

Xiaomi 13 - SEDAN 32 (psi)				
Tramo Nº	IRI RECORRIDO 1	IRI RECORRIDO 2	IRI RECORRIDO 3	IRI RMS promedio (m/km)
1	0,547	0,554	0,623	0,574
2	0,518	0,522	0,474	0,504
3	0,502	0,532	0,491	0,508
4	0,461	0,510	0,437	0,469
5	0,492	0,487	0,517	0,499
6	0,480	0,444	0,471	0,465
7	0,765	0,638	0,856	0,753
8	0,460	0,533	0,519	0,504
9	0,430	0,612	0,509	0,517
10	0,485	0,487	0,596	0,523
11	0,545	0,551	0,632	0,576
12	0,523	0,571	0,439	0,511
13	0,450	0,579	0,506	0,512
14	0,473	0,514	0,458	0,482

- GalaxyNote20 - SEDAN 36 (psi)

GalaxyNote20 - SEDAN 36 (psi)				
Tramo Nº	IRI RECORRIDO 1	IRI RECORRIDO 2	IRI RECORRIDO 3	IRI RMS promedio (m/km)
1	0,558	0,591	0,669	0,606
2	0,485	0,582	0,492	0,520
3	0,428	0,441	0,438	0,436
4	0,483	0,442	0,529	0,485
5	0,539	0,414	0,526	0,493
6	0,455	0,456	0,495	0,469
7	0,853	0,803	0,905	0,853
8	0,546	0,455	0,502	0,501
9	0,479	0,578	0,538	0,532
10	0,445	0,554	0,567	0,522
11	0,515	0,505	0,467	0,496
12	0,471	0,481	0,534	0,495
13	0,482	0,435	0,506	0,474
14	0,409	0,419	0,519	0,449

- Xiaomi 11 - SEDAN 36 (psi)

Xiaomi 11 - SEDAN 36 (psi)				
Tramo Nº	IRI RECORRIDO 1	IRI RECORRIDO 2	IRI RECORRIDO 3	IRI RMS promedio (m/km)
1	0,577	0,582	0,649	0,603
2	0,533	0,569	0,475	0,526
3	0,455	0,376	0,481	0,437
4	0,567	0,489	0,462	0,506
5	0,413	0,464	0,506	0,461
6	0,455	0,527	0,468	0,483
7	0,906	0,779	0,659	0,781
8	0,565	0,503	0,520	0,529
9	0,569	0,662	0,483	0,571
10	0,541	0,506	0,700	0,582
11	0,517	0,594	0,415	0,509
12	0,463	0,497	0,396	0,452
13	0,468	0,472	0,429	0,456
14	0,391	0,388	0,414	0,398

- HonorMagic7 - SEDAN 36 (psi)

HonorMagic7 - SEDAN 36 (psi)				
Tramo Nº	IRI RECORRIDO 1	IRI RECORRIDO 2	IRI RECORRIDO 3	IRI RMS promedio (m/km)
1	0,614	0,641	0,661	0,639
2	0,589	0,587	0,600	0,592
3	0,648	0,519	0,672	0,613
4	0,633	0,674	0,638	0,648
5	0,610	0,599	0,570	0,593
6	0,510	0,545	0,601	0,552
7	0,820	0,889	0,864	0,858
8	0,645	0,582	0,600	0,609
9	0,648	0,737	0,517	0,634
10	0,587	0,616	0,703	0,636
11	0,588	0,719	0,642	0,650
12	0,611	0,574	0,726	0,637
13	0,554	0,576	0,562	0,564
14	0,560	0,505	0,543	0,536

- Xiaomi 13 - SEDAN 36 (psi)

Xiaomi 13 - SEDAN 36 (psi)				
Tramo Nº	IRI RECORRIDO 1	IRI RECORRIDO 2	IRI RECORRIDO 3	IRI RMS promedio (m/km)
1	0,680	0,530	0,651	0,620
2	0,687	0,572	0,478	0,579
3	0,550	0,544	0,501	0,532
4	0,559	0,560	0,557	0,559
5	0,493	0,482	0,451	0,475
6	0,444	0,516	0,529	0,496
7	0,672	0,546	0,790	0,835
8	0,546	0,615	0,582	0,581
9	0,647	0,581	0,536	0,588
10	0,523	0,504	0,537	0,521
11	0,532	0,608	0,640	0,593
12	0,548	0,558	0,571	0,559
13	0,525	0,584	0,491	0,533
14	0,539	0,434	0,463	0,479

- GalaxyNote20 - STATION WAGON 28 (psi)

GalaxyNote20 - STATION WAGON 28 (psi)				
Tramo Nº	IRI RECORRIDO 1	IRI RECORRIDO 2	IRI RECORRIDO 3	IRI RMS promedio (m/km)
1	0,534	0,496	0,491	0,507
2	0,456	0,455	0,453	0,454
3	0,514	0,423	0,387	0,442
4	0,471	0,560	0,402	0,477
5	0,436	0,370	0,446	0,417
6	0,485	0,382	0,384	0,417
7	0,613	0,677	0,610	0,633
8	0,443	0,467	0,441	0,450
9	0,457	0,495	0,447	0,466
10	0,395	0,460	0,404	0,419
11	0,409	0,484	0,464	0,452
12	0,524	0,538	0,432	0,498
13	0,484	0,440	0,448	0,457
14	0,452	0,455	0,368	0,425

- Xiaomi 11 - STATION WAGON 28 (psi)

Xiaomi 11 - STATION WAGON 28 (psi)				
Tramo Nº	IRI RECORRIDO 1	IRI RECORRIDO 2	IRI RECORRIDO 3	IRI RMS promedio (m/km)
1	0,413	0,438	0,376	0,409
2	0,370	0,397	0,379	0,382
3	0,331	0,382	0,350	0,354
4	0,380	0,365	0,380	0,375
5	0,427	0,309	0,369	0,368
6	0,395	0,387	0,327	0,370
7	0,577	0,551	0,571	0,566
8	0,356	0,382	0,391	0,377
9	0,331	0,481	0,295	0,369
10	0,385	0,372	0,377	0,378
11	0,283	0,395	0,409	0,362
12	0,311	0,443	0,361	0,372
13	0,292	0,323	0,338	0,318
14	0,287	0,259	0,305	0,284

- HonorMagic7 - STATION WAGON 28 (psi)

HonorMagic7 - STATION WAGON 28 (psi)				
Tramo Nº	IRI RECORRIDO 1	IRI RECORRIDO 2	IRI RECORRIDO 3	IRI RMS promedio (m/km)
1	0,527	0,520	0,437	0,495
2	0,451	0,448	0,509	0,469
3	0,375	0,367	0,353	0,365
4	0,423	0,432	0,428	0,428
5	0,458	0,394	0,434	0,429
6	0,425	0,430	0,416	0,424
7	0,686	0,612	0,618	0,639
8	0,429	0,385	0,446	0,420
9	0,477	0,378	0,434	0,429
10	0,416	0,628	0,415	0,486
11	0,411	0,428	0,404	0,415
12	0,597	0,709	0,403	0,569
13	0,392	0,361	0,406	0,386
14	0,377	0,346	0,406	0,376

- Xiaomi 13 - STATION WAGON 28 (psi)

Xiaomi 13 - STATION WAGON 28 (psi)				
Tramo Nº	IRI RECORRIDO 1	IRI RECORRIDO 2	IRI RECORRIDO 3	IRI RMS promedio (m/km)
1	0,471	0,487	0,398	0,452
2	0,355	0,359	0,407	0,374
3	0,348	0,313	0,399	0,353
4	0,355	0,416	0,376	0,383
5	0,345	0,400	0,415	0,386
6	0,384	0,353	0,356	0,364
7	0,663	0,600	0,550	0,604
8	0,367	0,413	0,419	0,400
9	0,349	0,387	0,381	0,372
10	0,357	0,430	0,469	0,419
11	0,383	0,398	0,402	0,394
12	0,424	0,419	0,449	0,431
13	0,369	0,376	0,355	0,367
14	0,368	0,356	0,416	0,380

- GalaxyNote20 - STATION WAGON 32 (psi)

GalaxyNote20 - STATION WAGON 32 (psi)				
Tramo Nº	IRI RECORRIDO 1	IRI RECORRIDO 2	IRI RECORRIDO 3	IRI RMS promedio (m/km)
1	0,520	0,548	0,531	0,533
2	0,443	0,498	0,423	0,455
3	0,410	0,406	0,341	0,385
4	0,460	0,377	0,455	0,431
5	0,443	0,426	0,431	0,433
6	0,463	0,395	0,417	0,425
7	0,721	0,687	0,671	0,693
8	0,474	0,461	0,489	0,475
9	0,476	0,413	0,438	0,442
10	0,468	0,473	0,436	0,459
11	0,427	0,394	0,452	0,424
12	0,594	0,453	0,534	0,527
13	0,485	0,453	0,420	0,453
14	0,456	0,406	0,481	0,448

- Xiaomi 11 - STATION WAGON 32 (psi)

Xiaomi 11 - STATION WAGON 32 (psi)				
Tramo Nº	IRI RECORRIDO 1	IRI RECORRIDO 2	IRI RECORRIDO 3	IRI RMS promedio (m/km)
1	0,443	0,499	0,511	0,484
2	0,371	0,420	0,374	0,388
3	0,330	0,348	0,346	0,341
4	0,414	0,358	0,421	0,398
5	0,358	0,380	0,326	0,354
6	0,499	0,411	0,382	0,431
7	0,550	0,554	0,473	0,526
8	0,385	0,379	0,468	0,411
9	0,400	0,358	0,378	0,379
10	0,390	0,394	0,453	0,412
11	0,361	0,455	0,422	0,412
12	0,585	0,343	0,308	0,412
13	0,351	0,348	0,320	0,340
14	0,293	0,312	0,362	0,322

- HonorMagic7 - STATION WAGON 32 (psi)

HonorMagic7 - STATION WAGON 32 (psi)				
Tramo Nº	IRI RECORRIDO 1	IRI RECORRIDO 2	IRI RECORRIDO 3	IRI RMS promedio (m/km)
1	0,516	0,527	0,529	0,524
2	0,535	0,460	0,428	0,475
3	0,439	0,397	0,480	0,439
4	0,472	0,416	0,438	0,442
5	0,426	0,426	0,392	0,415
6	0,508	0,417	0,505	0,476
7	0,722	0,690	0,634	0,682
8	0,443	0,422	0,494	0,453
9	0,468	0,446	0,456	0,457
10	0,481	0,446	0,570	0,499
11	0,525	0,420	0,483	0,476
12	0,582	0,463	0,514	0,520
13	0,432	0,380	0,445	0,419
14	0,386	0,417	0,486	0,430

- Xiaomi 13 - STATION WAGON 32 (psi)

Xiaomi 13 - STATION WAGON 32 (psi)				
Tramo Nº	IRI RECORRIDO 1	IRI RECORRIDO 2	IRI RECORRIDO 3	IRI RMS promedio (m/km)
1	0,468	0,492	0,489	0,483
2	0,450	0,408	0,417	0,425
3	0,391	0,354	0,371	0,372
4	0,520	0,342	0,400	0,421
5	0,321	0,464	0,457	0,414
6	0,413	0,408	0,390	0,404
7	0,701	0,720	0,636	0,685
8	0,426	0,391	0,497	0,438
9	0,372	0,338	0,382	0,364
10	0,386	0,412	0,515	0,438
11	0,429	0,378	0,374	0,393
12	0,417	0,419	0,426	0,421
13	0,393	0,363	0,402	0,386
14	0,306	0,380	0,458	0,381

- GalaxyNote20 - STATION WAGON 36 (psi)

GalaxyNote20 - STATION WAGON 36 (psi)				
Tramo Nº	IRI RECORRIDO 1	IRI RECORRIDO 2	IRI RECORRIDO 3	IRI RMS promedio (m/km)
1	0,555	0,513	0,527	0,532
2	0,508	0,477	0,472	0,486
3	0,440	0,486	0,469	0,465
4	0,487	0,511	0,480	0,493
5	0,534	0,382	0,473	0,463
6	0,406	0,394	0,393	0,398
7	0,708	0,597	0,698	0,667
8	0,463	0,448	0,475	0,462
9	0,449	0,466	0,583	0,499
10	0,660	0,631	0,409	0,567
11	0,474	0,476	0,419	0,456
12	0,475	0,513	0,479	0,489
13	0,448	0,466	0,477	0,464
14	0,439	0,450	0,359	0,416

- Xiaomi 11 - STATION WAGON 36 (psi)

Xiaomi 11 - STATION WAGON 36 (psi)				
Tramo Nº	IRI RECORRIDO 1	IRI RECORRIDO 2	IRI RECORRIDO 3	IRI RMS promedio (m/km)
1	0,437	0,530	0,539	0,502
2	0,407	0,402	0,465	0,424
3	0,372	0,393	0,394	0,386
4	0,359	0,416	0,498	0,424
5	0,356	0,390	0,379	0,375
6	0,310	0,376	0,350	0,345
7	0,496	0,653	0,536	0,561
8	0,362	0,389	0,331	0,361
9	0,400	0,682	0,435	0,506
10	0,395	0,358	0,381	0,378
11	0,380	0,385	0,404	0,390
12	0,375	0,335	0,371	0,360
13	0,351	0,379	0,327	0,352
14	0,277	0,296	0,309	0,294

- HonorMagic7 - STATION WAGON 36 (psi)

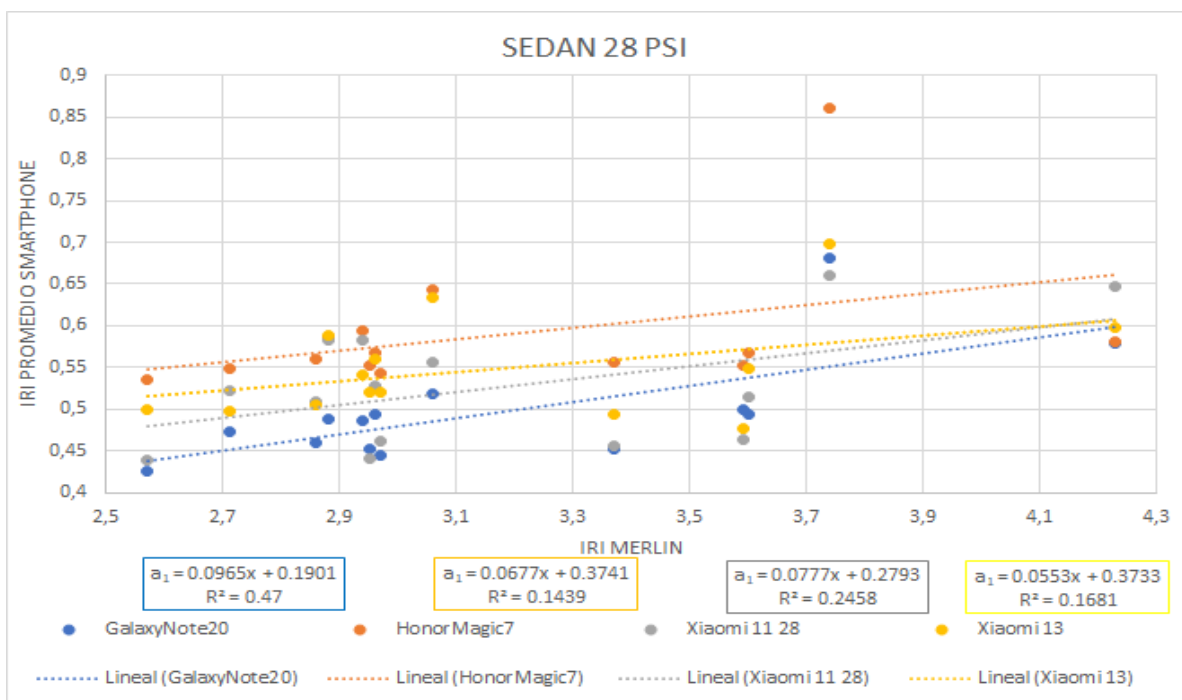
HonorMagic7 - STATION WAGON 36 (psi)				
Tramo Nº	IRI RECORRIDO 1	IRI RECORRIDO 2	IRI RECORRIDO 3	IRI RMS promedio (m/km)
1	0,512	0,607	0,647	0,589
2	0,516	0,493	0,447	0,485
3	0,469	0,445	0,455	0,456
4	0,417	0,525	0,522	0,488
5	0,432	0,360	0,401	0,398
6	0,447	0,440	0,397	0,428
7	0,555	0,766	0,662	0,661
8	0,458	0,464	0,432	0,451
9	0,473	0,535	0,552	0,520
10	0,709	0,466	0,404	0,527
11	0,442	0,567	0,455	0,488
12	0,513	0,476	0,460	0,483
13	0,422	0,513	0,433	0,456
14	0,497	0,383	0,357	0,413

- Xiaomi 13 - STATION WAGON 36 (psi)

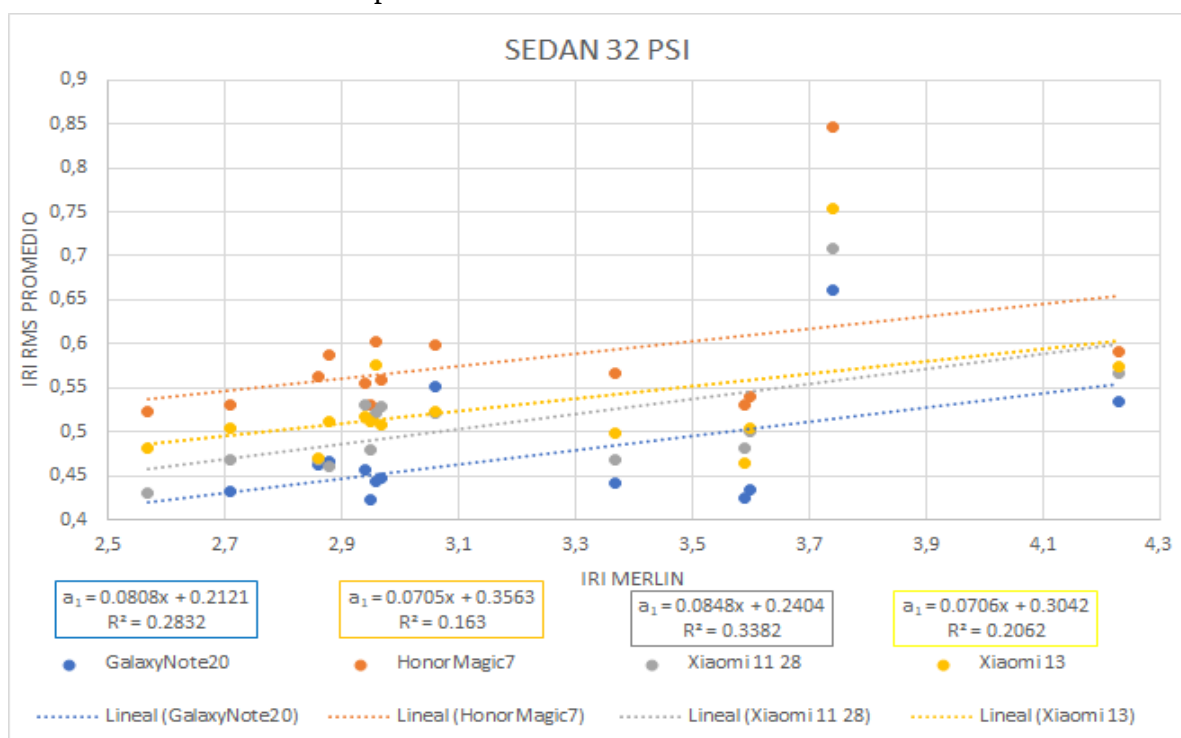
Xiaomi 13 - STATION WAGON 36 (psi)				
Tramo Nº	IRI RECORRIDO 1	IRI RECORRIDO 2	IRI RECORRIDO 3	IRI RMS promedio (m/km)
1	0,552	0,477	0,525	0,518
2	0,435	0,461	0,423	0,440
3	0,370	0,405	0,422	0,399
4	0,399	0,442	0,491	0,444
5	0,406	0,361	0,412	0,393
6	0,384	0,392	0,397	0,391
7	0,580	0,614	0,638	0,611
8	0,444	0,400	0,346	0,397
9	0,411	0,451	0,446	0,436
10	0,446	0,375	0,419	0,413
11	0,420	0,484	0,382	0,429
12	0,454	0,423	0,401	0,426
13	0,447	0,421	0,373	0,414
14	0,533	0,366	0,340	0,413

Anexo 2. Regresión Lineal de los smartphones

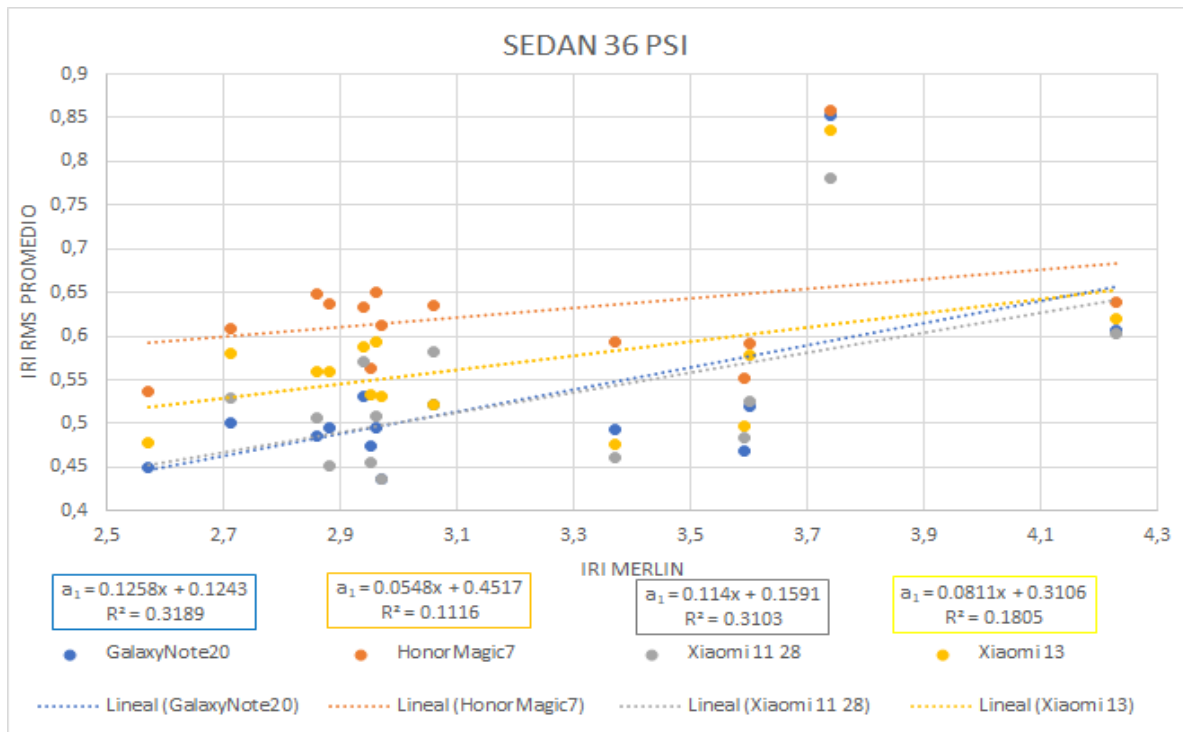
- Vehículo Sedan con 28 psi



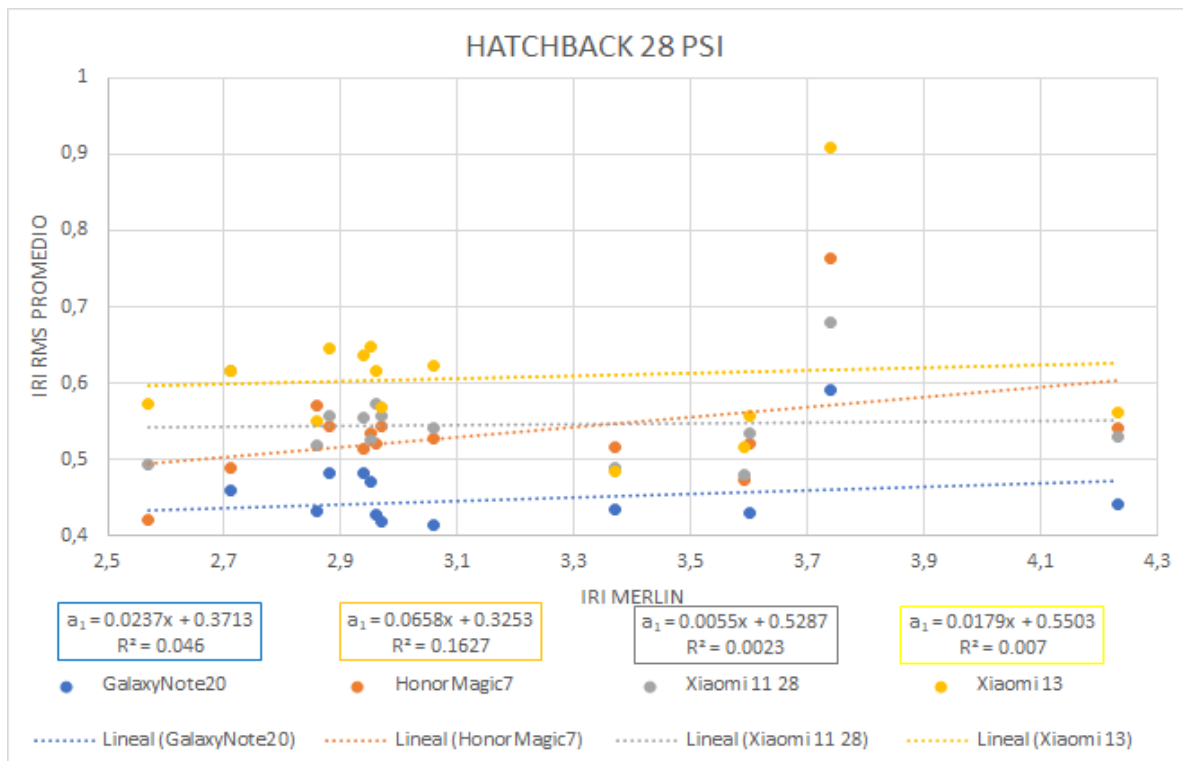
- Vehículo Sedan con 32 psi



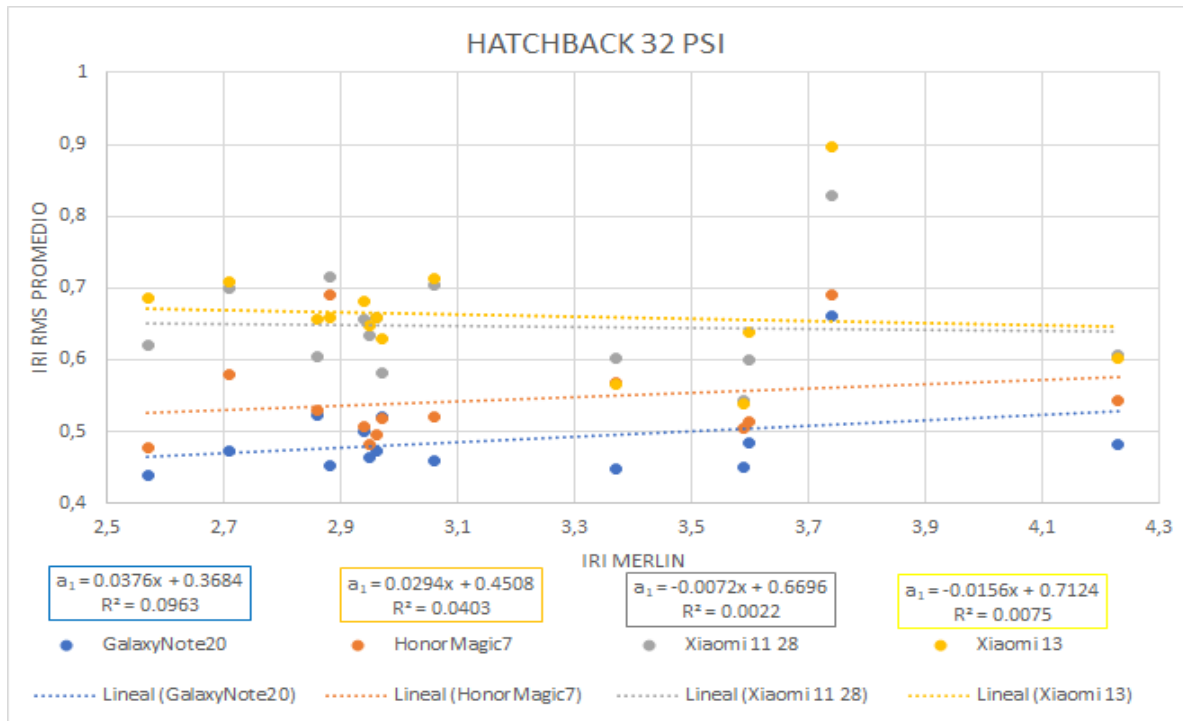
- Vehículo Sedan con 36 psi



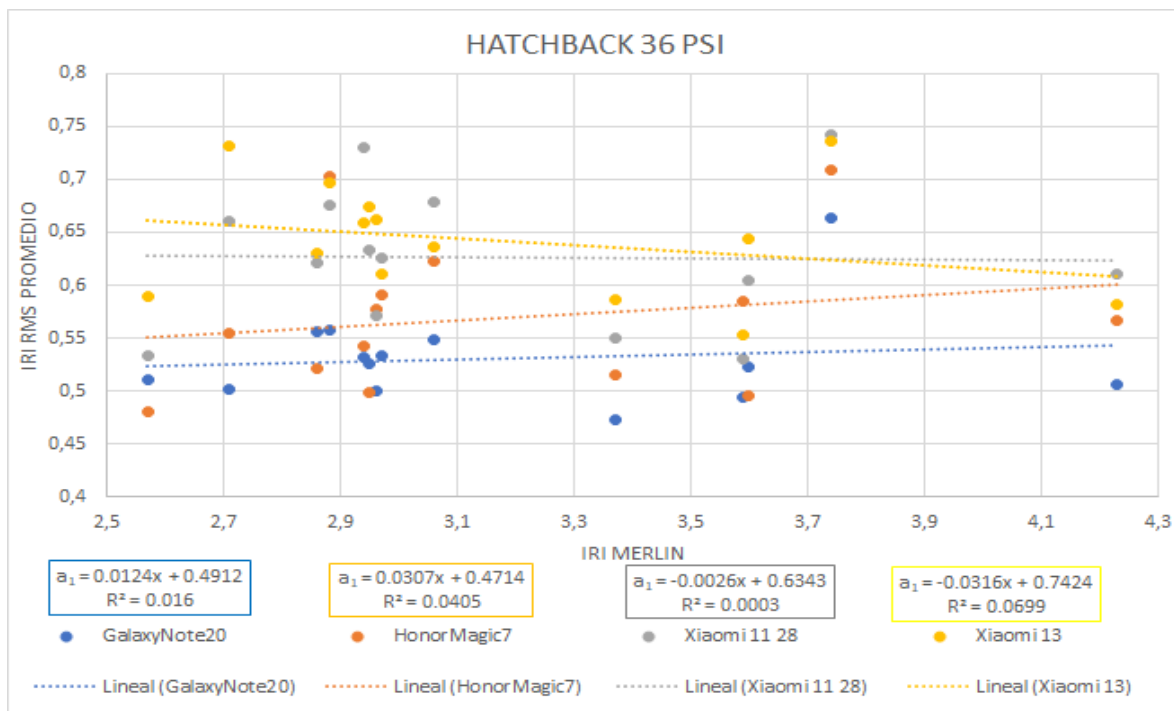
- Vehículo Hatchback con 28 psi



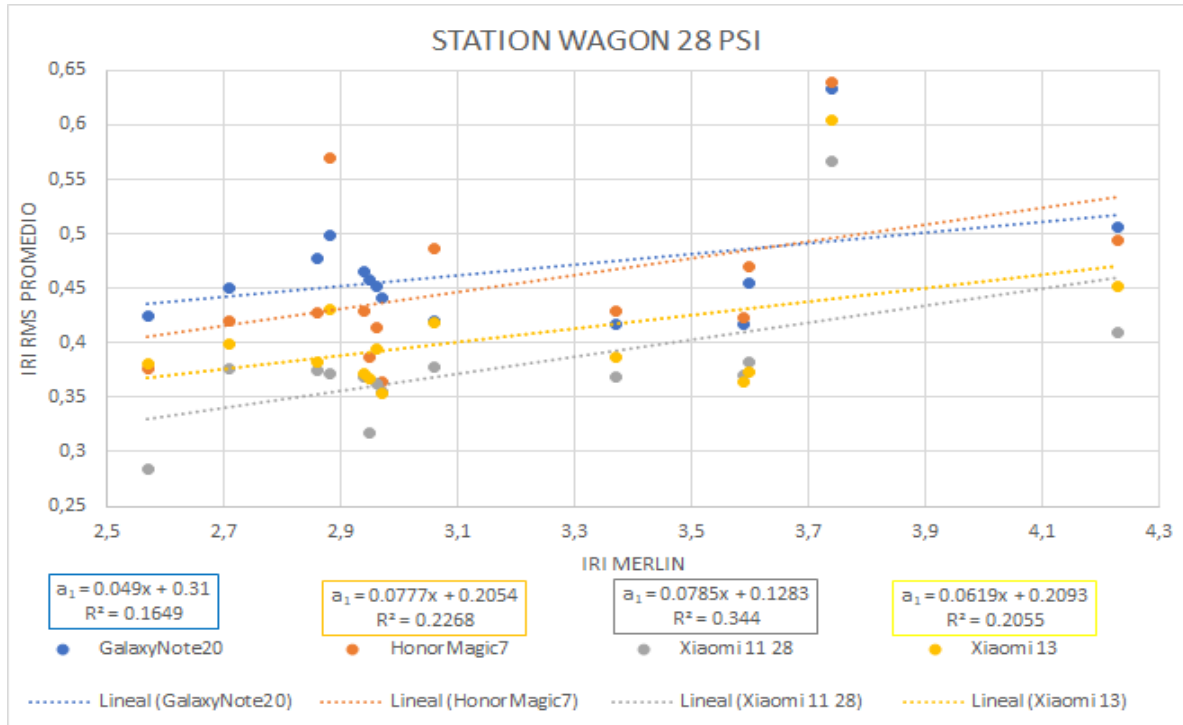
- Vehículo Hatchback con 32 psi



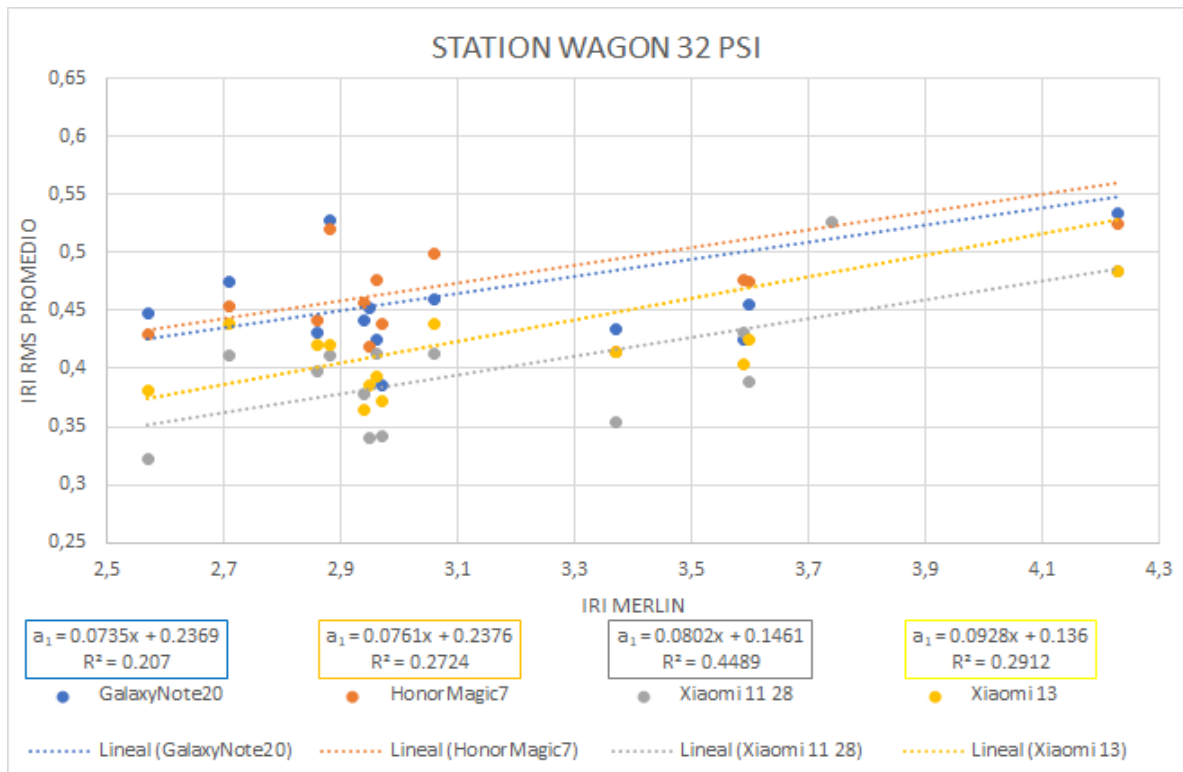
- Vehículo Hatchback con 36 psi



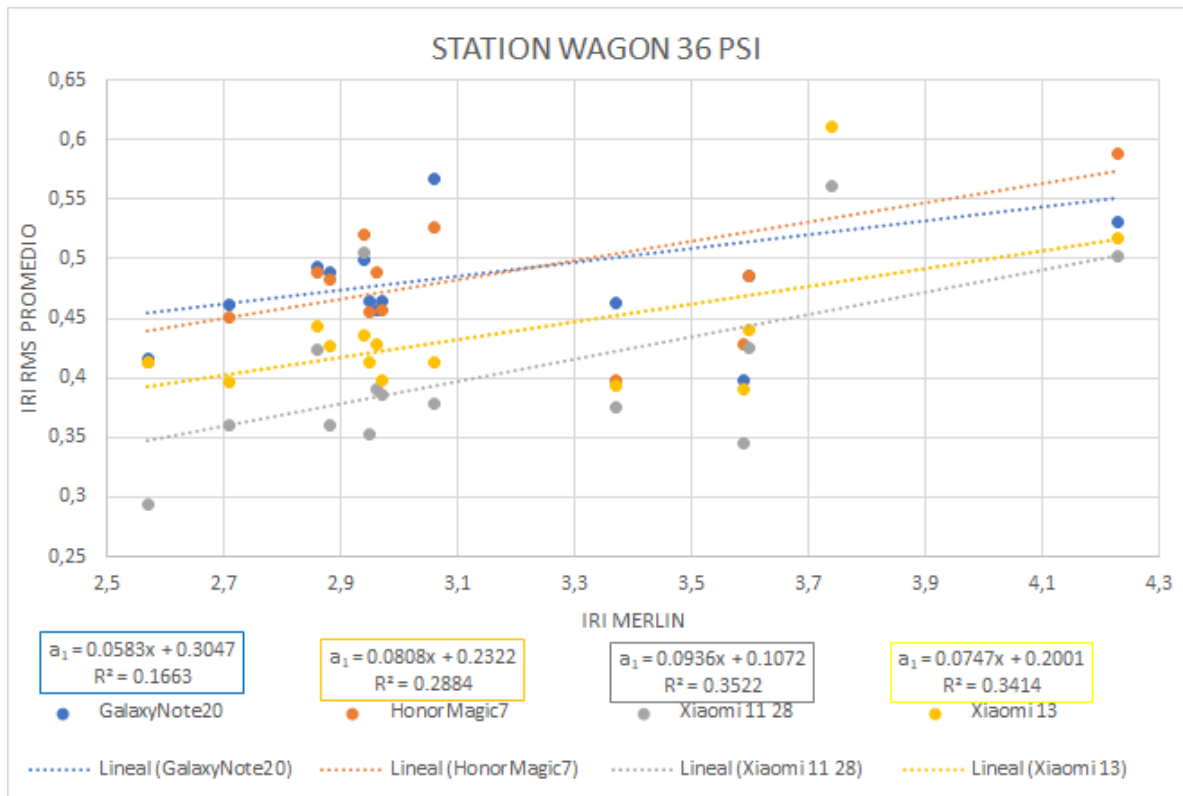
- Vehículo Station Wagon con 28 psi



- Vehículo Station Wagon con 32 psi



- Vehículo Station Wagon con 36 psi



Anexo 3. Resumen del ajuste lineal de cada smartphone y distinta presión

- Vehículo Sedan

IRI PROMEDIO				
PRESION	CELULAR	a x	b	R ²
36	GalaxyNote20	0,1258	0,1243	0,32
32	GalaxyNote20	0,0808	0,2121	0,28
28	GalaxyNote20	0,0965	0,1901	0,48
36	HonorMagic7	0,0548	0,4517	0,11
32	HonorMagic7	0,0705	0,3563	0,16
28	HonorMagic7	0,0677	0,3741	0,14
36	Xiaomi 11	0,114	0,1591	0,31
32	Xiaomi 11	0,0848	0,2404	0,34
28	Xiaomi 11	0,0777	0,2793	0,25
36	Xiaomi 13	0,0811	0,3106	0,18
32	Xiaomi 13	0,0706	0,3042	0,21
28	Xiaomi 13	0,0553	0,3733	0,17

- Vehículo Hatchback

IRI PROMEDIO				
PRESION	CELULAR	a x	b	R ²
36	GalaxyNote20	0,0124	0,4912	0,016
32	GalaxyNote20	0,0376	0,3684	0,096
28	GalaxyNote20	0,0237	0,3713	0,046
36	HonorMagic7	0,0307	0,4714	0,041
32	HonorMagic7	0,0294	0,4508	0,04
28	HonorMagic7	0,0658	0,3253	0,16
36	Xiaomi 11	-0,0026	0,6343	0,0003
32	Xiaomi 11	-0,0072	0,6696	0,0022
28	Xiaomi 11	0,0055	0,5287	0,0023
36	Xiaomi 13	-0,0316	0,7424	0,069
32	Xiaomi 13	-0,0156	0,7124	0,0075
28	Xiaomi 13	0,0179	0,5503	0,007

- Vehículo Station Wagon

IRI PROMEDIO				
PRESION	CELULAR	a x	b	R ²
36	GalaxyNote20	0,0583	0,3047	0,17
32	GalaxyNote20	0,0735	0,2369	0,21
28	GalaxyNote20	0,049	0,31	0,16
36	HonorMagic7	0,0808	0,2322	0,29
32	HonorMagic7	0,0761	0,2376	0,27
28	HonorMagic7	0,0777	0,2054	0,23
36	Xiaomi 11	0,0936	0,1072	0,35
32	Xiaomi 11	0,0802	0,1461	0,45
28	Xiaomi 11	0,0785	0,1283	0,34
36	Xiaomi 13	0,0747	0,2001	0,34
32	Xiaomi 13	0,0928	0,136	0,29
28	Xiaomi 13	0,0619	0,2093	0,21

Anexo 4. Coeficientes Pearson de los smartphones aplicando escala de color

- Vehículo Sedan con 28 psi

SEDAN	PRESIÓN 28 PSI		
SMARTPHONE	V1	V2	V3
GALAXY NOTE 20	0,52455073	0,65711055	0,6758262
XIAOMI 11	0,4534933	0,5507079	0,38657549
HONOR MAGIC7	0,49240413	0,37672823	0,12054676
XIAOMI 13	0,30865052	0,25261339	0,47143113

- Vehículo Sedan con 32 psi

SEDAN	PRESIÓN 32 PSI		
SMARTPHONE	V1	V2	V3
GALAXY NOTE 20	0,4558623	0,50472062	0,37936247
XIAOMI 11	0,4534933	0,5507079	0,3912832
HONOR MAGIC7	0,54389173	0,40854782	0,22072735
XIAOMI 13	0,52382601	0,0353656	0,48501393

- Vehículo Sedan con 36 psi

SEDAN	PRESIÓN 36 PSI		
SMARTPHONE	V1	V2	V3
GALAXY NOTE 20	0,48820241	0,57091455	0,54295776
XIAOMI 11	0,40961396	0,50815176	0,56357698
HONOR MAGIC7	0,19374508	0,3092909	0,34879776
XIAOMI 13	0,4586605	-0,10083792	0,4059194

- Vehículo Hatchback con 28 psi

HATCHABACK	PRESIÓN 28 PSI		
SMARTPHONE	V1	V2	V3
GALAXY NOTE 20	0,05016936	0,17089791	0,40315948
XIAOMI 11	-0,28515107	-0,00348506	0,35500031
HONOR MAGIC7	0,20424696	0,37418325	0,47029866
XIAOMI 13	0,17836373	0,0595447	-0,05166712

- Vehículo Hatchback con 32 psi

HATCHABACK	PRESIÓN 32 PSI		
SMARTPHONE	V1	V2	V3
GALAXY NOTE 20	0,09090058	0,09083808	0,50641324
XIAOMI 11	-0,0164199	-0,22735299	0,16535458
HONOR MAGIC7	-0,17490125	0,21969039	0,40481623
XIAOMI 13	0,14045601	-0,22684991	-0,15888376

- Vehículo Hatchback con 36 psi

HATCHABACK	PRESIÓN 36 PSI		
SMARTPHONE	V1	V2	V3
GALAXY NOTE 20	0,11572733	-0,32115254	0,38543058
XIAOMI 11	0,17853199	-0,18423462	-0,07377637
HONOR MAGIC7	0,20885178	0,14090971	0,1671742
XIAOMI 13	-0,54568157	-0,17618531	0,17522328

- Vehículo Station Wagon con 28 psi

STATION WAGON	PRESIÓN 28 PSI		
SMARTPHONE	V1	V2	V3
GALAXY NOTE 20	0,47553771	0,11264804	0,54703832
XIAOMI 11	0,66295091	0,45426273	0,391957
HONOR MAGIC7	0,48865851	0,30138509	0,49437346
XIAOMI 13	0,52544942	0,4820945	0,16756037

- Vehículo Station Wagon con 32 psi

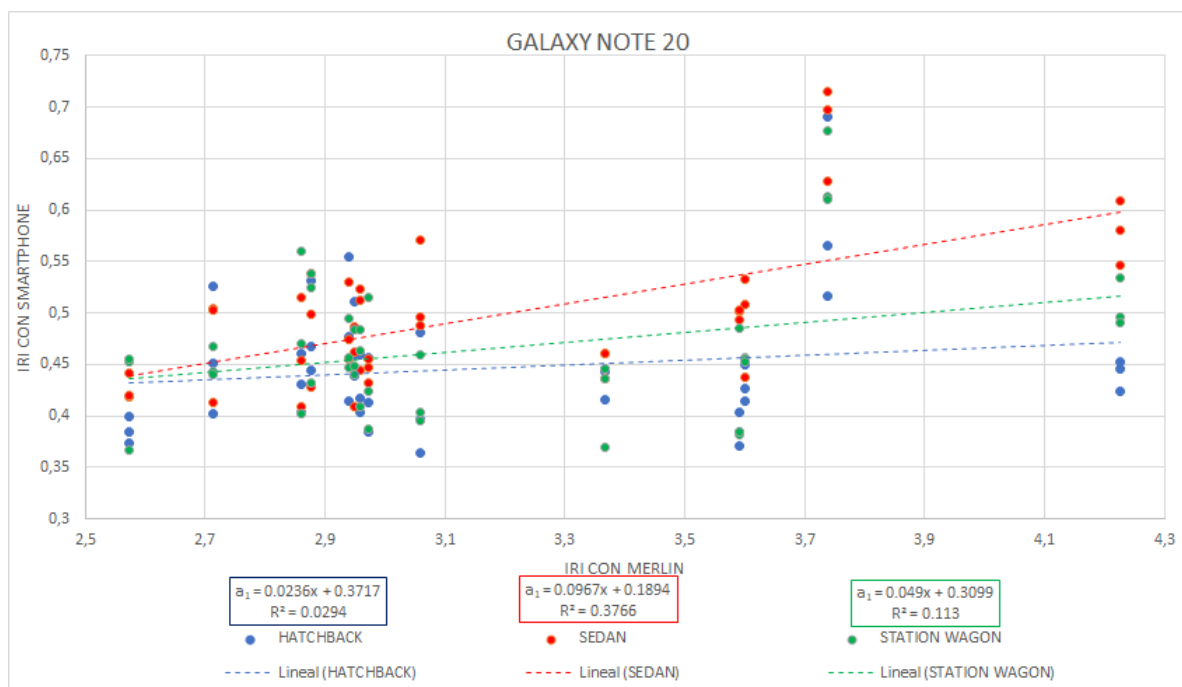
STATION WAGON	PRESIÓN 32 PSI		
SMARTPHONE	V1	V2	V3
GALAXY NOTE 20	0,34219151	0,61348748	0,32695146
XIAOMI 11	0,39560521	0,78357654	0,41902118
HONOR MAGIC7	0,51258079	0,59655565	0,28356799
XIAOMI 13	0,45168173	0,62030749	0,35476091

- Vehículo Station Wagon con 36 psi

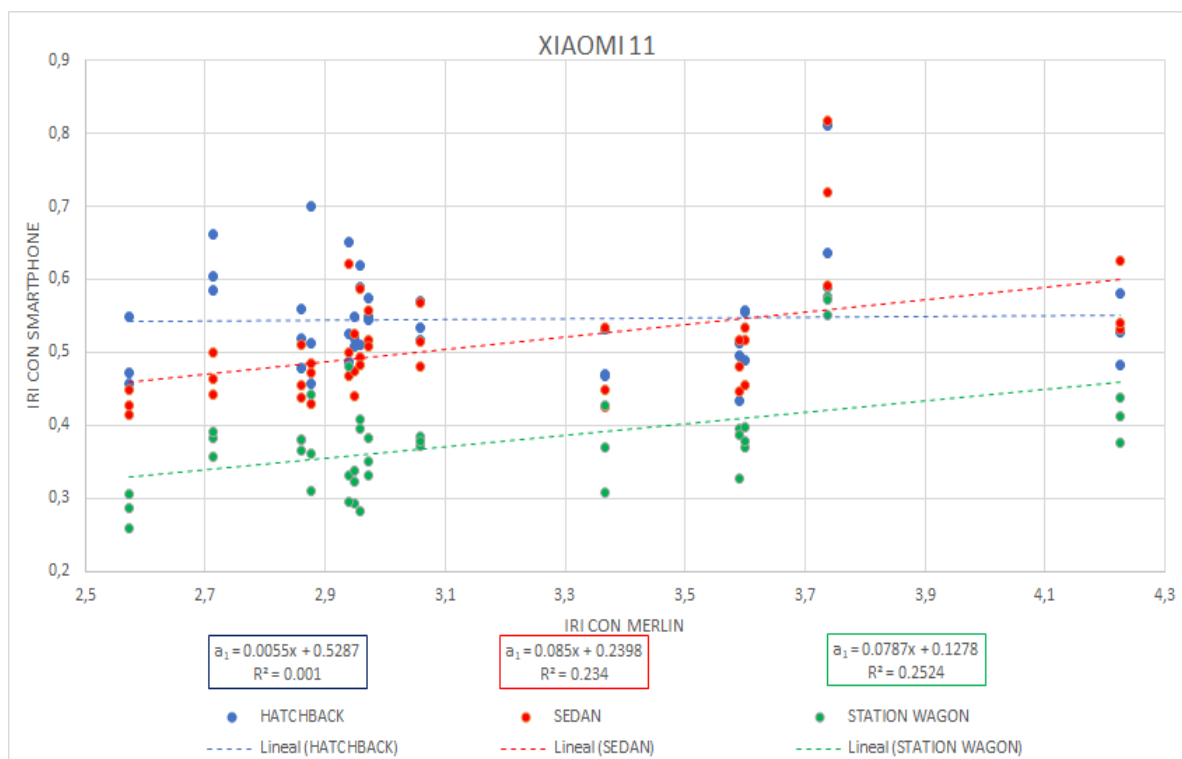
STATION WAGON	PRESIÓN 36 PSI		
SMARTPHONE	V1	V2	V3
GALAXY NOTE 20	0,45137546	0,11725383	0,40886555
XIAOMI 11	0,58108886	0,43617464	0,66286808
HONOR MAGIC7	0,1701532	0,46892172	0,57623149
XIAOMI 13	0,36291106	0,47196305	0,64294351

Anexo 5. Correlaciones y modelos lineales en cada tipo de vehículo para smartphone

- Galaxy Note 20 con 28 psi

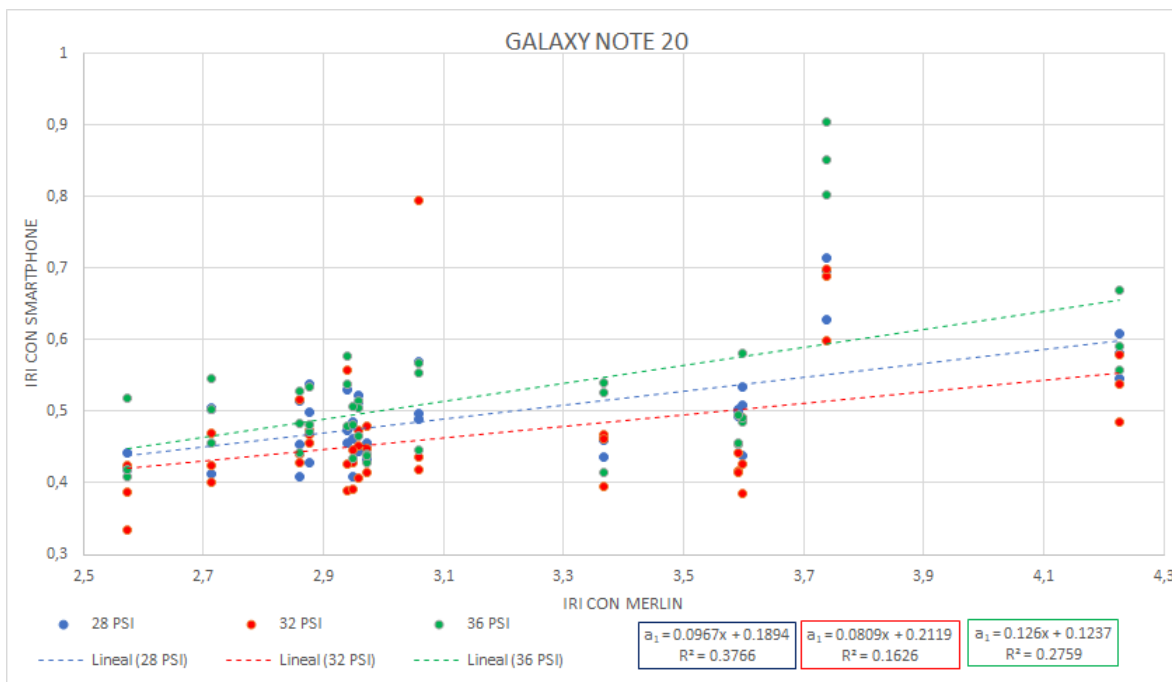


- Xiaomi 11 con 28 psi

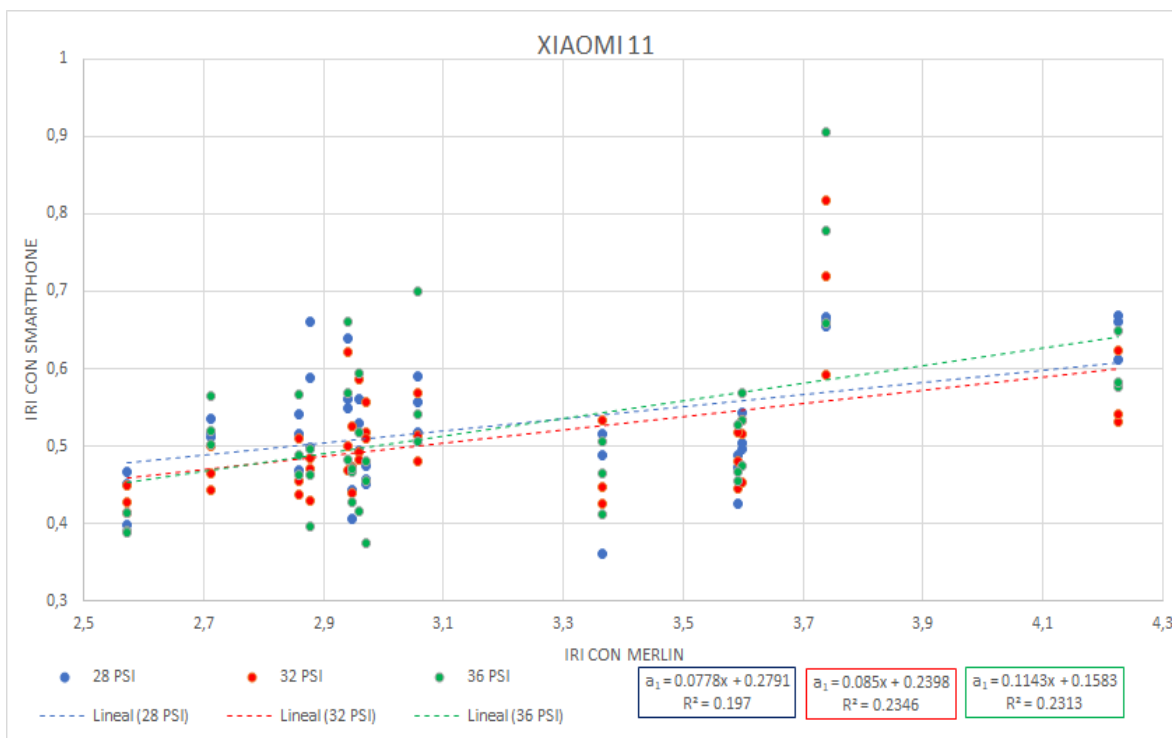


Anexo 6. Correlaciones y modelos lineales en cada presión de hinchado del neumático para smartphone

- Galaxy Note 20 en vehículo Sedan



- Xiaomi 11 en vehículo Sedan



Anexo 7. Valor de prueba de hipótesis p para los indicadores

- Galaxy Note 20 en vehículo Sedan

SEDAN - GALAXY NOTE20								
R ²	Coeficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%	Inferior 95.0%	Superior 95.0%
Intercepción	0,706	0,322	2,194	0,064	-0,055	1,466	-0,055	1,466
Variable X 1	-0,013	0,010	-1,292	0,237	-0,037	0,011	-0,037	0,011

SEDAN - GALAXY NOTE20								
r	Coeficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%	Inferior 95.0%	Superior 95.0%
Intercepción	0,874	0,301	2,902	0,023	0,162	1,586	0,162	1,586
Variable X 1	-0,011	0,009	-1,137	0,293	-0,033	0,011	-0,033	0,011

- Honor Magic 7 en vehículo Sedan

SEDAN - HONOR MAGIC7								
R ²	Coeficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%	Inferior 95.0%	Superior 95.0%
Intercepción	0,317	0,318	0,997	0,352	-0,435	1,068	-0,435	1,068
Variable X 1	-0,006	0,010	-0,595	0,571	-0,029	0,017	-0,029	0,017

SEDAN - HONOR MAGIC7								
r	Coeficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%	Inferior 95.0%	Superior 95.0%
Intercepción	0,519	0,484	1,071	0,320	-0,626	1,664	-0,626	1,664
Variable X 1	-0,006	0,015	-0,382	0,714	-0,041	0,030	-0,041	0,030

- Xiaomi 11 en vehículo Sedan

SEDAN - XIAOMI 11								
R ²	Coeficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%	Inferior 95.0%	Superior 95.0%
Intercepción	0,136	0,334	0,406	0,697	-0,654	0,925	-0,654	0,925
Variable X 1	0,004	0,010	0,361	0,729	-0,021	0,028	-0,021	0,028

SEDAN - XIAOMI 11								
r	Coeficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%	Inferior 95.0%	Superior 95.0%
Intercepción	0,377	0,327	1,151	0,287	-0,397	1,150	-0,397	1,150
Variable X 1	0,004	0,010	0,371	0,722	-0,020	0,028	-0,020	0,028

- Xiaomi 13 en vehículo Sedan

SEDAN - XIAOMI 13								
R ²	Coeficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%	Inferior 95.0%	Superior 95.0%
Intercepción	-0,007	0,307	-0,022	0,983	-0,734	0,720	-0,734	0,720
Variable X 1	0,005	0,010	0,527	0,614	-0,018	0,028	-0,018	0,028

SEDAN - XIAOMI 13								
r	Coeficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%	Inferior 95.0%	Superior 95.0%
Intercepción	0,674	0,754	0,895	0,401	-1,108	2,456	-1,108	2,456
Variable X 1	-0,011	0,023	-0,478	0,647	-0,067	0,044	-0,067	0,044

- Galaxy Note 20 en vehículo Station Wagon

STATION WAGON - GALAXY NOTE20								
R ²	Coeficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%	Inferior 95.0%	Superior 95.0%
Intercepción	0,368	0,420	0,878	0,409	-0,624	1,361	-0,624	1,361
Variable X 1	-0,006	0,013	-0,476	0,649	-0,037	0,025	-0,037	0,025

STATION WAGON - GALAXY NOTE20								
r	Coeficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%	Inferior 95.0%	Superior 95.0%
Intercepción	0,588	0,605	0,971	0,364	-0,844	2,019	-0,844	2,019
Variable X 1	-0,007	0,019	-0,349	0,737	-0,051	0,038	-0,051	0,038

- Honor Magic 7 en vehículo Station Wagon

STATION WAGON - HONOR MAGIC7								
R ²	Coeficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%	Inferior 95.0%	Superior 95.0%
Intercepción	0,194	0,400	0,487	0,641	-0,750	1,139	-0,750	1,139
Variable X 1	0,000	0,012	0,027	0,979	-0,029	0,030	-0,029	0,030

STATION WAGON - HONOR MAGIC7								
r	Coeficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%	Inferior 95.0%	Superior 95.0%
Intercepción	0,525	0,511	1,026	0,339	-0,684	1,733	-0,684	1,733
Variable X 1	-0,003	0,016	-0,181	0,861	-0,040	0,035	-0,040	0,035

- Xioami 11 en vehículo Station Wagon

STATION WAGON - XIAOMI 11								
R ²	Coeficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%	Inferior 95.0%	Superior 95.0%
Intercepción	0,226	0,132	1,715	0,130	-0,086	0,538	-0,086	0,538
Variable X 1	-0,006	0,004	-1,418	0,199	-0,016	0,004	-0,016	0,004

STATION WAGON - XIAOMI 11								
r	Coeficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%	Inferior 95.0%	Superior 95.0%
Intercepción	0,304	0,498	0,610	0,561	-0,874	1,482	-0,874	1,482
Variable X 1	0,007	0,015	0,460	0,660	-0,030	0,044	-0,030	0,044

- Xiaomi 13 en vehículo Station Wagon

STATION WAGON - XIAOMI 13								
R ²	Coeficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%	Inferior 95.0%	Superior 95.0%
Intercepción	-0,073	0,413	-0,177	0,865	-1,049	0,903	-1,049	0,903
Variable X 1	0,009	0,013	0,721	0,494	-0,021	0,040	-0,021	0,040

STATION WAGON - XIAOMI 13								
r	Coeficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%	Inferior 95.0%	Superior 95.0%
Intercepción	0,050	0,488	0,102	0,922	-1,104	1,203	-1,104	1,203
Variable X 1	0,013	0,015	0,832	0,433	-0,023	0,048	-0,023	0,048

- Galaxy Note 20 en vehículo Hatchback

HATCHBACK - GALAXY NOTE20								
R ²	Coeficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%	Inferior 95.0%	Superior 95.0%
Intercepción	-0,014	0,320	-0,044	0,966	-0,771	0,743	-0,771	0,743
Variable X 1	0,003	0,010	0,299	0,773	-0,021	0,027	-0,021	0,027

HATCHBACK - GALAXY NOTE20								
r	Coeficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%	Inferior 95.0%	Superior 95.0%
Intercepción	0,758	0,834	0,909	0,394	-1,214	2,731	-1,214	2,731
Variable X 1	-0,019	0,026	-0,714	0,499	-0,080	0,043	-0,080	0,043

- Honor Magic 7 en vehículo Hatchback

HATCHBACK - HONOR MAGIC7								
R ²	Coeficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%	Inferior 95.0%	Superior 95.0%
Intercepción	0,496	0,200	2,476	0,042	0,022	0,970	0,022	0,970
Variable X 1	-0,013	0,006	-2,081	0,076	-0,028	0,002	-0,028	0,002

HATCHBACK - HONOR MAGIC7								
r	Coeficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%	Inferior 95.0%	Superior 95.0%
Intercepción	0,933	0,606	1,539	0,168	-0,500	2,366	-0,500	2,366
Variable X 1	-0,022	0,019	-1,176	0,278	-0,067	0,022	-0,067	0,022

- Xiaomi 11 en vehículo Hatchback

HATCHBACK - XIAOMI 11								
R ²	Coeficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%	Inferior 95.0%	Superior 95.0%
Intercepción	0,226	0,132	1,715	0,130	-0,086	0,538	-0,086	0,538
Variable X 1	-0,006	0,004	-1,418	0,199	-0,016	0,004	-0,016	0,004

HATCHBACK - XIAOMI 11								
r	Coeficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%	Inferior 95.0%	Superior 95.0%
Intercepción	0,184	0,738	0,250	0,810	-1,560	1,929	-1,560	1,929
Variable X 1	-0,006	0,023	-0,265	0,799	-0,060	0,048	-0,060	0,048

- Xiaomi 13 en vehículo Hatchback

HATCHBACK - XIAOMI 13								
R ²	Coeficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%	Inferior 95.0%	Superior 95.0%
Intercepción	-0,364	0,272	-1,338	0,223	-1,008	0,280	-1,008	0,280
Variable X 1	0,013	0,008	1,544	0,167	-0,007	0,033	-0,007	0,033

HATCHBACK - XIAOMI 13								
r	Coeficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%	Inferior 95.0%	Superior 95.0%
Intercepción	0,910	0,748	1,216	0,263	-0,860	2,679	-0,860	2,679
Variable X 1	-0,031	0,023	-1,313	0,231	-0,086	0,024	-0,086	0,024

Anexo 8. Registro fotográfico del estudio ejecutado en campo

- Utilización del nanómetro en el vehículo Station Wagon



- Utilización del nanómetro en el vehículo Hatchback



- Posición del smartphone dentro del vehículo





- Activación de los sensores para la toma de datos

