

Trabajo Fin de Carrera

Grado en Ingeniería de las Tecnologías Industriales

Estudio experimental de confort de la conducción

Autor: Alberto Goldaracena de la Vega

Tutor: Johan Wideberg

**Dpto. Ingeniería y Ciencia de los Materiales y
del Transporte**
Universidad de Sevilla

Sevilla, 2024



Trabajo Fin de Grado
Grado en ingeniería en las tecnologías industriales

Estudio experimental de confort de la conducción

Autor:

Alberto Goldaracena de la Vega

Tutor:

Johan Wideberg

Profesor titular

Dpto. Ingeniería y Ciencia de los Materiales y del Transporte

Escuela Técnica Superior de Ingeniería

Universidad de Sevilla

Sevilla, 2024

Trabajo Fin de Grado: Estudio experimental de confort de la conducción

Autor: Alberto Goldaracena de la Vega

Tutor: Johan Wideberg

El tribunal nombrado para juzgar el Proyecto arriba indicado, compuesto por los siguientes miembros:

Presidente:

Vocales:

Secretario:

Acuerdan otorgarle la calificación de:

Sevilla, 2024

El Secretario del Tribunal

A mi familia

A mis maestros

Agradecimientos

Quisiera expresar mi sincero agradecimiento a todas las personas que han contribuido de manera significativa a la realización de este trabajo de fin de grado y que me han acompañado durante la carrera.

A mi familia y en especial a mis padres por su paciencia y su apoyo.

Alberto Goldaracena de la Vega

Sevilla, 2024

Resumen

Este estudio se centra en analizar las aceleraciones experimentadas por los pasajeros durante la conducción de turismos. El objetivo principal es obtener un parámetro que tenga la capacidad de caracterizar el nivel de confort experimentado por los pasajeros al realizar distintos trayectos en el mismo turismo, pero conducido por diferentes conductores. La consideración de la variabilidad en la experiencia de conducción, tanto en términos de trayectos como de conductores, busca proporcionar una medida integral y significativa del confort en situaciones prácticas y variadas.

Abstract

This study focuses on analyzing the accelerations experienced by passengers during the driving of sedans. The main objective is to derive a parameter capable of characterizing the comfort level experienced by passengers when undertaking different journeys in the same sedan but driven by different drivers. The consideration of variability in the driving experience, both in terms of routes and drivers, aims to provide a comprehensive and meaningful measure of comfort in practical and diverse situations.

Índice

Agradecimientos	ix
Resumen	xi
Abstract	xiii
Índice	xiv
Índice de Tablas	xv
Índice de Figuras	xvi
Notación	xvii
1 Introducción	11
1.1 <i>Parámetro indicador del tipo de conducción y su relación con el confort</i>	11
1.2 <i>Descripción general del trabajo</i>	11
2 Análisis Bibliográfico	13
2.1 <i>Definición de confort en la conducción de turismos</i>	13
2.2 <i>Estudios previos</i>	13
2.2.1 <i>The Prediction of Passenger Riding Comfort from Acceleration Data.</i>	14
2.2.2 <i>Ride Quality of Passenger Cars: An Overview on the Research Trends</i>	19
3 Herramientas y descripción del análisis	23
3.1 <i>Descripción de las pruebas de conducción</i>	23
Trayecto	24
Medida del confort	24
3.2 <i>Descripción del análisis y procesamiento de datos de la aceleración</i>	25
3.3 <i>Búsqueda del Nuevo parámetro de confort</i>	28
4 Toma de datos, análisis y resultados	29
4.1 <i>Medidas del confort</i>	29
4.2 <i>Resultados del postprocesamiento</i>	30
4.3 <i>Relación resultados confort y postprocesamiento</i>	31
5 Conclusiones	45
Anexo 1: Ecuaciones de confort	47
Referencias	49

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	29
Tabla 2	29
Tabla 3	30
Tabla 4	30
Tabla 5	30
Tabla 6	30
Tabla 7	31
Tabla 8	31
Tabla 9	31
Tabla 10	42
Tabla 11	47
Tabla 12	47

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	32
Figura 2	32
Figura 3	33
Figura 4	33
Figura 5	34
Figura 6	34
Figura 7	35
Figura 8	35
Figura 9	36
Figura 10	36
Figura 11	37
Figura 12	37
Figura 13	38
Figura 14	38
Figura 15	39
Figura 16	39
Figura 17	40
Figura 18	40
Figura 19	41
Figura 20	41
Figura 21	42
Figura 22	43
Figura 23	44
Figura 24	44

Notación

Smith x	Valor de la ecuación de confort de Smith en la dirección X
Smith y	Valor de la ecuación de confort de Smith en la dirección Y
Smith z	Valor de la ecuación de confort de Smith en la dirección Z
Smith xy	Valor de la ecuación de confort de Smith en las direcciones X e Y
Smith xz	Valor de la ecuación de confort de Smith en las direcciones X y Z
Smith yz	Valor de la ecuación de confort de Smith en las direcciones Y y Z
Smith xyz	Valor de la ecuación de confort de Smith en las direcciones X, Y y Z
RMS	Root Mean Square – Raíz cuadrática media
Cc.	Confort en los movimientos cervicales
Ct	Confort en los movimientos del tronco y la cadera
Ce	Confort en las extremidades inferiores
Cg	Confort general

1 INTRODUCCIÓN

A la hora de conducir un vehículo, hay una gran variedad formas de conducción que afectan a varios factores tales como la eficiencia, rendimiento, seguridad tanto de los ocupantes del vehículo como de otros y el que va a ser objeto de este trabajo, el confort de los pasajeros.

El confort y comodidad de los pasajeros, al igual que los otros factores, se ven afectados no solo por el tipo de conducción pues, por ejemplo, el tipo de vehículo, su antigüedad, la climatología o el estado de la vía pueden ser determinantes.

Debido a estas variables, tanto externas como internas a los vehículos, invitan al estudio de la calidad y el confort de la conducción y su influencia en los ocupantes del vehículo.

Por lo general, estos estudios son llevados a cabo por las mismas empresas que fabrican los vehículos. Estas buscan innovar y desarrollar sistemas para maximizar la comodidad de sus usuarios y así conseguir ventajas competitivas respecto a la competencia.

1.1 Parámetro indicador del tipo de conducción y su relación con el confort

Cuando se conduce un vehículo, hay muchos parámetros y factores que influyen y es por ello que uno de los objetivos de este estudio es la búsqueda de un parámetro que pueda clasificar los tipos de conducción y correlacionarlo con el confort de los pasajeros.

Una vez que se disponga del indicador del tipo de conducción, se busca encontrar la relación que guarda el valor de ese parámetro con el confort y la comodidad que los pasajeros experimentan durante el trayecto.

Para conseguir los objetivos planteados se realiza un estudio basado en la conducción de un turismo por diferentes conductores y distintos trayectos, que serán analizado y estudiado para relacionar la comodidad y el confort con parámetros de la conducción basándose en estudios previos en este campo indicados en la bibliografía.

1.2 Descripción general del trabajo

Este trabajo se enfoca en analizar el nivel de confort experimentado por los pasajeros en un vehículo durante diferentes trayectos y con diferentes conductores. Se busca establecer un parámetro que permita caracterizar el tipo de conducción y su relación con el confort de los pasajeros.

El estudio se realiza mediante un análisis de campo, en el cual se evalúa la conducción de un turismo en varios trayectos, mientras se toman en cuenta variables como el tipo de vehículo, su antigüedad, la climatología y el estado de la vía. El análisis se basa en estudios previos en el campo de la calidad y el confort de la conducción. El objetivo final es proporcionar información útil para mejorar la comodidad de los pasajeros.

En los dos primeros apartados de este trabajo, se han definido los objetivos y se ha introducido el contexto en el que se desarrolla el fenómeno de estudio y las variables que afectan a su desarrollo y determinación.

En segundo se ha realizado un resumen de la bibliografía analizada, la cual trata de analizar la influencia que varios factores tienen sobre el confort en la conducción, la seguridad y el bienestar y comodidad de los pasajeros.

En el tercer apartado, se han descrito las herramientas y los medios que se han usado para simular los factores que afectan a la conducción, realizar pruebas y para registrar la influencia de los factores sobre la misma. Además, se han explicado los métodos de análisis y los programas informáticos empleados.

El capítulo cuatro, ha servido para registrar los datos obtenidos de las pruebas anteriores, explicar cómo se han procesado usando variables estadísticas y se han hallado resultados que indican relaciones entre los factores que afectan a la conducción y el confort de los pasajeros.

En el quinto apartado, se han analizado los resultados obtenidos, así como relacionarlos entre sí para poder llegar a un resultado final.

En el apartado seis, se han hallado las conclusiones al trabajo y estudio realizado y en el séptimo se hace referencia a la bibliografía consultada.

2 ANALISIS BIBLIOGRÁFICO

Este apartado se centra en revisar y evaluar estudios, artículos y publicaciones existentes sobre el confort en la conducción de turismos. En este contexto, se aborda la importancia de comprender y mejorar la experiencia de los pasajeros durante los trayectos en vehículos, considerando diversos factores que afectan al confort, como la vibración, la aceleración y la inclinación.

El análisis bibliográfico se presenta como un componente crucial para contextualizar el estudio actual, destacando referencias clave que han influido en la comprensión del confort en la conducción. En este proceso, se exploran las contribuciones de estudios previos, normativas y conceptos fundamentales que han moldeado el entendimiento actual del confort en la conducción de turismos

2.1 Definición de confort en la conducción de turismos

Según la RAE, el confort es "Bienestar o comodidad material." En el contexto de la conducción, este término se refiere a la sensación de comodidad y bienestar que experimentan los pasajeros durante un viaje en un vehículo. Este concepto abarca diversos aspectos, como la suavidad en la marcha, la estabilidad del vehículo, la reducción de ruidos y vibraciones, el control de la temperatura y la calidad de los asientos, entre otros.

La importancia del confort en la conducción radica en la creación de un entorno agradable para los ocupantes del vehículo, lo que no solo contribuye al bienestar físico, sino que también tiene un impacto significativo en la satisfacción general de los pasajeros.

Además, la atención al confort en la conducción ha llevado a avances tecnológicos y mejoras en el diseño de vehículos, incluyendo sistemas de suspensión avanzados, materiales de aislamiento acústico y sistemas de asientos ergonómicos. Estos elementos buscan crear un ambiente interior que minimice las molestias y fatigas asociadas con la conducción, contribuyendo así a la seguridad y al disfrute del trayecto por parte de los ocupantes. En última instancia, la consideración del confort en la conducción se ha convertido en un criterio esencial en el diseño y desarrollo de vehículos modernos.

En el contexto español, según el estudio Cuentas Ecológicas del Transporte de Ecologistas en Acción, se estima que diariamente cada persona recorre en promedio 41,6 kilómetros, de los cuales casi 30 kilómetros se realizan en vehículos, ya sean turismos o motocicletas. Anualmente, se calcula que la longitud total recorrida en turismos alcanza los 489.918 millones de kilómetros, mientras que en motocicletas asciende a los 20.768 millones de kilómetros (Sanz, 2014). Estos datos subrayan la relevancia del confort en la conducción, considerando el extenso uso de vehículos en la vida cotidiana y la importancia de mejorar la experiencia de los usuarios durante sus desplazamientos.

2.2 Estudios previos

Antes de abordar el análisis detallado de los resultados del estudio, es importante contextualizar el trabajo dentro del marco de investigaciones previas sobre el confort en la conducción. En este sentido, se realizara un análisis exhaustivo de estudios previos y trabajos relevantes que hayan abordado temas similares, con el objetivo de

comprender mejor las tendencias, los enfoques metodológicos y los hallazgos encontrados en la literatura científica. Este análisis permite identificar brechas en el conocimiento, establecer puntos de comparación y contrastar nuestros resultados con investigaciones anteriores.

2.2.1 The Prediction of Passenger Riding Comfort from Acceleration Data.

En 1976, Smith et. al realizaron un estudio basándose en referencias y estudios previos, sobre dos tipos diferentes de turismos.

En su estudio, los investigadores llevaron a cabo mediciones de las aceleraciones generadas por las vibraciones tanto en dirección vertical como lateral del suelo y del asiento del vehículo. Además, recabaron las evaluaciones subjetivas proporcionadas por los diferentes pasajeros después de cada recorrido realizado. Posteriormente, estos datos fueron sometidos a un análisis comparativo con los resultados obtenidos en estudios previos realizados hasta la fecha en el campo del confort en la conducción.

El estudio de Smith se basó en diversas fuentes y referencias relevantes en el campo del confort en la conducción de vehículos, con el fin de comparar los parámetros propuestos con los datos recopilados durante su investigación. Entre las principales fuentes utilizadas se encuentran:

- "A Guide to the Evaluation of Human Exposure to Whole Body Vibration", emitida por la Organización Internacional de Estandarización (ISO 2631) en 1972. Esta guía proporciona directrices detalladas para evaluar la exposición humana a la vibración de todo el cuerpo, lo que resulta esencial para comprender cómo afectan las vibraciones al confort de los pasajeros durante la conducción.
- El concepto de "potencia absorbida", definido por Lee y Pradko en 1972 en su trabajo titulado "Analytical Analysis of Human Vibration". Este concepto ofrece un método cuantitativo para medir cómo el cuerpo humano absorbe y responde a las vibraciones, lo que resulta fundamental para evaluar el impacto del movimiento del vehículo en la comodidad de los pasajeros.
- "Vehicle Vibration Limits to Fit the Passenger", desarrollado por Dieckmann y Janeway en 1948. Este estudio establece límites de vibración destinados a garantizar un nivel adecuado de comodidad para los pasajeros durante la conducción, lo que sirve como punto de referencia para evaluar el confort en diferentes situaciones.
- "Design Specifications for Urban Tracked Air Cushion Vehicles", una especificación de diseño anónima realizada por el Departamento de Transporte de Estados Unidos de América en 1972. Este documento proporciona información detallada sobre los estándares de diseño para vehículos que utilizan tecnologías específicas para mejorar el confort de los pasajeros.
- "Passenger Response to Random Vibration in Transportation Vehicles - A Literature Review", realizado por Healey en 1975. Este estudio examina la literatura existente sobre cómo responden los pasajeros a las vibraciones aleatorias en vehículos de transporte, ofreciendo perspectivas útiles sobre cómo diferentes tipos de vibraciones afectan la percepción del confort.
- "Power Spectral Density and Ride Evaluation", de Butkunas en 1966. Este trabajo se centra en la densidad espectral de potencia y su relación con la evaluación del viaje en vehículos, lo que proporciona información valiosa sobre cómo la distribución de energía en las vibraciones influye en la experiencia de los pasajeros durante la conducción.

Ante la base establecida por estos estudios previos, Smith et al. llevaron a cabo su experimento con el objetivo de profundizar en el análisis del confort en la conducción de vehículos. Para ello, realizaron

mediciones objetivas de las aceleraciones verticales y laterales en el suelo y en el asiento de dos vehículos diferentes: un Buick Century Lexus de 1974 y un Ford Maverick de 1975. Simultáneamente, recopilaron las calificaciones personales de los ocupantes durante estos viajes para su posterior comparación y análisis. El proceso experimental se dividió en varias etapas, que incluyeron el cálculo de la aceleración RMS ponderada, la medición de las calificaciones personales, la comparación de los datos recopilados, el estudio de correlación entre los parámetros objetivos y subjetivos, la formulación de conclusiones basadas en los resultados obtenidos y la determinación de la ecuación de confort. A través de este enfoque metodológico completo, se buscaba obtener una comprensión más completa y detallada del impacto de las vibraciones y movimientos del vehículo en la experiencia de confort de los ocupantes durante la conducción.

2.2.1.1 Cálculo de la aceleración RMS ponderada.

Para el cálculo de la aceleración RMS ponderada, Smith et al. emplearon un acelerómetro con una frecuencia de muestreo de 434 Hz. Con el fin de evitar el aliasing, que puede distorsionar la señal de interés, filtraron la señal con una frecuencia de corte de 100 Hz. Este proceso garantizó que la señal de entrada se muestreara adecuadamente sin superposición de frecuencias no deseadas.

Posteriormente, realizaron el procesamiento de los datos de los diferentes perfiles de aceleración, lo que implicó el cálculo de la densidad espectral de potencia. Esta medida proporciona información sobre la distribución de la energía de la señal en el dominio de la frecuencia, lo que resulta fundamental para comprender la contribución de diferentes componentes de frecuencia a la señal total.

Para calcular la amplitud cuadrática media de la señal, integraron la densidad espectral de potencia entre una frecuencia nula y la frecuencia de corte o de Nyquist. Este enfoque permitió obtener una estimación precisa de la magnitud cuadrática media del contenido de la señal en función de la frecuencia, proporcionando así una medida representativa de la intensidad de la aceleración experimentada durante el trayecto.

Las ecuaciones utilizadas por Smith et al. para calcular la amplitud cuadrática media de una señal y la raíz cuadrática media ponderada de una señal se presentan a continuación:

Ecuación 1: Amplitud cuadrática media de una señal.

$$\overline{x^2(t)} = \int_0^{f_m} D(f)df$$

Donde $D(f)$ representa la densidad espectral de potencia, obtenida mediante la Transformada Rápida de Fourier, y f_m es la frecuencia de corte para una señal determinada.

Ecuación 2: Raíz cuadrática media de una señal.

$$\alpha = \sqrt{\overline{x^2(t)}} = \sqrt{\int_0^{f_m} D(f)df}$$

Smith et al. supusieron que los pasajeros son más sensibles a la aceleración en ciertos rangos de frecuencia que en otros, por lo que ponderaron la raíz cuadrática media de la señal.

Ecuación 3: Raíz cuadrática media ponderada de una señal.

$$\alpha_p = \sqrt{x_p^2(t)} = \sqrt{\int_0^{fm} P(f) * D(f) df}$$

Donde $P(f)$ representa la función de ponderación deseada para reflejar la sensibilidad del pasajero, y 0 y f_m son los puntos finales del rango de frecuencia de interés. La función $P(f)$ se basó en varios contornos de confort constantes.

Ecuación 4: Función de ponderación.

$$P(f) = \frac{1/A^2(f)}{\int_0^{fm} \frac{1}{A^2(f)} df}$$

El denominador se incluyó arbitrariamente para normalizar la función de ponderación de modo que una vibración con espectro constante (ruido blanco) en el rango de frecuencia de interés tenga un índice ponderado (o RMS ponderado) igual a su valor RMS. Esta normalización no afecta la correlación.

2.2.1.2 Medición de las calificaciones personales

Durante el experimento, se llevaron a cabo pruebas con 78 pasajeros diferentes en 18 tramos de carreteras con variados niveles de rugosidad. Estos tramos abarcaban desde carreteras cercanas a zonas agrícolas con trayectos accidentados hasta autopistas interestatales con superficies más lisas y uniformes. La rugosidad de cada tramo se evaluó utilizando un índice de servicio (S.I) proporcionado por el Departamento de Carreteras y Transporte Público de Texas, que clasificaba la rugosidad en una escala del 0 al 5, donde 0 representaba una carretera extremadamente rugosa y 5 indicaba una superficie muy suave.

Durante estos trayectos, se mantuvo una velocidad constante de 80 km/h. Además, se recopiló la percepción subjetiva de cada ocupante sobre el confort durante el viaje. Se encontró una alta concordancia entre las calificaciones personales de confort en marcha y los índices de rugosidad de las carreteras, con un 92% de correlación para el Buick Century Lexus y un 87% para el Ford Maverick, respectivamente.

2.2.1.3 Comparación de los datos.

En la etapa de comparación de datos, se analizaron los espectros de vibración de los diferentes trayectos utilizando cada uno de los criterios propuestos anteriormente. En primer lugar, se compararon los límites establecidos por la norma ISO 2631 y la especificación UTACV con la densidad espectral de potencia de las aceleraciones medidas. Los espectros se clasificaron como suaves si todas sus frecuencias estaban por debajo de estos límites, medianos si solo algunos picos los superaban y rugosos si la mayoría de los picos estaban por encima.

Al comparar los límites de confort definidos en la especificación UTACV, se observó que ningún espectro de densidad de potencia estaba por debajo de lo que se consideraba suave según esta especificación. Esto sugirió que el límite UTACV podría ser demasiado conservador. Además, los espectros laterales y verticales parecían clasificarse de manera similar en cuanto a rugosidad, lo que dificultó determinar la prevalencia de uno sobre el otro en la determinación de la calidad del trayecto.

Por otro lado, al analizar el límite establecido en la norma ISO 2631, se observó que las calificaciones personales que estaban por encima de una nota de 3.85 se clasificaron como suaves en lo que respecta a las vibraciones laterales. Esto sugiere que las vibraciones verticales son más importantes para determinar la calidad de la conducción que las laterales.

En segundo lugar, se evaluó el método de la potencia absorbida propuesto por Lee y Pradko, que utiliza una

medida cuadrática media ponderada en lugar de una medida de raíz cuadrática media ponderada de la vibración. Sin embargo, se encontró que aplicar rigurosamente este criterio requeriría conocer los espectros de potencia y la impedancia en cada punto de contacto de la carrocería con el vehículo, lo que dificultaría su aplicación práctica.

Finalmente, se midió la aceleración RMS no ponderada, que equivale a utilizar una función de ponderación con valor unitario. El rango de frecuencias se mantuvo entre 40 y 100 hercios para componentes entre 40 y 100 hercios, y para componentes de menos de 40 hercios.

2.2.1.4 Estudio de correlación.

En el estudio de correlación, se calcularon índices ponderados para las vibraciones laterales y verticales de los vehículos utilizando los diferentes métodos mencionados anteriormente. Luego, se realizó un análisis para determinar la correlación entre estos índices ponderados y las calificaciones personales medias de los trayectos. Cuanto mayor fuera el grado de correlación entre los índices ponderados y las calificaciones personales, mejor sería el índice ponderado como predictor de la calidad del viaje.

Los resultados obtenidos fueron los siguientes:

Para las vibraciones verticales del suelo, ordenadas de mayor a menor correlación:

1. Potencia absorbida: 0,95.
2. Janeway: 0,93.
3. Norma ISO: 0,92.
4. RMS 40: 0,92.
5. RMS 100: 0,92.
6. Dieckmann: 0,91.
7. Especificación UTACV: 0,90.

Para las vibraciones verticales del asiento, de mayor a menor correlación:

1. Janeway: 0,92.
2. Especificación UTACV: 0,91.
3. Potencia absorbida: 0,90.
4. Dieckmann: 0,88.
5. RMS 100: 0,87.
6. Norma ISO: 0,86.
7. RMS 40: 0,84.

Para las vibraciones laterales del suelo, de mayor a menor correlación:

1. RMS 40: 0,66.
2. RMS 100: 0,62.
3. Especificación UTACV: 0,62.
4. Norma ISO: 0,56.
5. Potencia absorbida: 0,51.

Para las vibraciones laterales del asiento, de mayor a menor correlación:

1. RMS 40: 0,98.
2. RMS 100: 0,98.
3. Especificación UTACV: 0,95.
4. Norma ISO: 0,92.
5. Potencia absorbida: 0,87.

Estos coeficientes de correlación proporcionan una medida de la relación entre los diferentes índices ponderados y la percepción subjetiva del confort durante el trayecto. Los valores más altos indican una correlación más fuerte y, por lo tanto, una mejor capacidad predictiva del índice ponderado en términos de la experiencia de confort del pasajero.

2.2.1.5 Conclusiones de los estudios.

Las conclusiones de los estudios realizados arrojaron varios hallazgos importantes. En primer lugar, se observó que los estudios que utilizaron mediciones de aceleración ponderadas apenas mostraron mejoras significativas sobre los valores RMS no ponderados, lo que sugiere que la ponderación en frecuencia no proporcionó una mejora sustancial en la predicción del confort del viaje.

Además, se encontró que las vibraciones laterales eran de mayor magnitud que las verticales en las mediciones realizadas en los asientos de los vehículos. Sin embargo, las vibraciones verticales resultaron ser el indicador más informativo al medir la vibración en el suelo del vehículo. Ambas posiciones de medición proporcionaron datos útiles para estimar la calidad del viaje según la percepción de los pasajeros.

Otro aspecto relevante fue el rango de frecuencia en el que se realizaron las mediciones. Se observó que, en general, hubo poca diferencia entre los rangos de 0 a 40Hz y de 0 a 100Hz, lo que sugiere que frecuencias mayores de 40Hz podrían aportar poca información adicional. Sin embargo, se recomendó extender el análisis hasta frecuencias de hasta 100Hz para obtener una evaluación más exhaustiva.

El resultado principal de los estudios fue que, en general, los valores RMS no ponderados en frecuencia predijeron la calidad del viaje de manera tan efectiva como los valores ponderados. Tanto para el asiento como para el suelo, los valores RMS no ponderados demostraron ser buenos predictores, y los valores medidos en ambos lugares fueron aproximadamente iguales. Los valores brutos de aceleración vertical, lateral y total también fueron efectivos como indicadores del confort del viaje.

Por lo tanto, Smith y sus colegas concluyeron que la suma vectorial de los valores verticales y laterales de la aceleración RMS no ponderada era la mejor y más lógica solución para evaluar la comodidad de la conducción. Explicaron este resultado argumentando que, dado que los espectros de todas las aceleraciones contenían aproximadamente la misma composición de frecuencia relativa, los esquemas de ponderación no fueron efectivos. Las correlaciones brutas entre las mediciones y las calificaciones personales fueron lo suficientemente altas como para no esperar una mejora significativa con el uso de medidas ponderadas. En conclusión, la simplicidad y la alta correlación con las percepciones de los pasajeros respaldaron la elección de utilizar valores RMS no ponderados como método preferido para evaluar el confort en la conducción.

2.2.1.6 Resultados y ecuación de confort.

A partir de los resultados obtenidos en los estudios mencionados, Smith y sus colaboradores proponen una ecuación de confort que sintetiza los hallazgos y proporciona una medida cuantitativa del nivel de confort experimentado durante la conducción. Esta ecuación tiene en cuenta varios factores clave identificados a lo largo de la investigación y se formula de la siguiente manera:

Ecuación 5. Ecuación de confort. (Smith, 1976)

$$R = 5.43 - 40 * \alpha$$

Donde:

- R representa la calificación de confort durante la conducción.
- α es la magnitud de la aceleración RMS (la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados de las aceleraciones RMS verticales y laterales) medida en el suelo o en el asiento.

Además de la ecuación de confort, Smith y sus colaboradores también propusieron una ecuación para medir la incomodidad experimentada durante la conducción. Esta ecuación se basa en consideraciones similares a la ecuación de confort, pero se centra en capturar los aspectos del movimiento del vehículo que contribuyen a una experiencia incómoda para los pasajeros. La ecuación de incomodidad se formula de la siguiente manera:

Ecuación 6. Ecuación de incomodidad. (Smith, 1976)

$$D = 5 - R$$

Donde:

- D representa la calificación de incomodidad durante la conducción.
- R es la calificación de confort durante la conducción, como se definió anteriormente.

Esta ecuación establece una relación inversa entre la calificación de incomodidad y la calificación de confort. En otras palabras, cuanto mayor sea la calificación de confort, menor será la calificación de incomodidad y viceversa. La constante 5 indica el nivel máximo de calificación de incomodidad posible.

Smith y sus colegas establecieron diferentes rangos de valores de D para describir diferentes niveles de incomodidad durante el viaje:

- Si $D < 1.0$: corresponde a un viaje en una carretera muy suave, como una autopista o una autovía, donde se experimenta muy poca incomodidad.
- Si $1.0 < D < 2.0$: corresponde a un viaje en una carretera comarcal típica en buen estado, donde la incomodidad es moderada.
- Si $2.0 < D < 3.0$: corresponde a un viaje en una carretera secundaria accidentada e irregular, donde la incomodidad es considerable.

Estos rangos proporcionan una forma de categorizar y describir los diferentes niveles de incomodidad experimentados por los pasajeros durante la conducción, lo que permite una mejor comprensión y evaluación de la calidad del viaje en diferentes condiciones de carretera.

2.2.2 Ride Quality of Passenger Cars: An Overview on the Research Trends

En este estudio de 2012, Faris y sus colegas llevaron a cabo un estudio centrado en la calidad del viaje para los pasajeros de un automóvil (Faris, 2012). Este estudio se centró en tres áreas principales, de las cuales se discutirán aquí las que están relacionadas con la búsqueda del parámetro de confort del vehículo. Estas áreas incluyen la respuesta del vehículo a la excitación y las diferentes formas de probar y evaluar la calidad de la conducción

Respuesta del vehículo a la excitación:

Esta área del estudio se centra en comprender cómo responde el vehículo a diferentes excitaciones, como irregularidades en la carretera, vibraciones y perturbaciones externas. Comprender la respuesta dinámica del vehículo es fundamental para evaluar su comportamiento y confort durante la conducción. Los investigadores analizan cómo las características de suspensión, la rigidez del chasis y otros factores influyen en la capacidad del vehículo para absorber y mitigar las vibraciones, lo que a su vez afecta la experiencia de los pasajeros.

La respuesta del vehículo a la excitación se analiza comúnmente desde dos enfoques diferentes: modelos discretos y métodos de elementos finitos.

En el enfoque de modelos discretos, se agrupan las diferentes partes del vehículo en masa suspendida y no suspendida, teniendo en cuenta los parámetros de los amortiguadores y resortes para determinar la respuesta a la vibración. Este método es conocido por su sencillez y calidad de resultados, además de su bajo costo computacional. En contraste, los métodos de elementos finitos consideran el conjunto entero que compone el vehículo y utilizan técnicas numéricas avanzadas para simular su comportamiento. Aunque estos métodos ofrecen una mayor precisión y reducen errores de redondeo, requieren un cálculo computacional mucho mayor y a menudo más tiempo y esfuerzo para obtener resultados similares.

En general, el enfoque simplificado de modelos discretos es el más extendido para analizar la respuesta de vibraciones de los vehículos debido a su combinación de simplicidad y calidad de resultados. Esto se confirma en estudios como el realizado por Gillespie y Karamihas, quienes evaluaron un modelo de cuarto de automóvil bajo el efecto de la rugosidad de la carretera y encontraron que los modelos de un cuarto de automóvil son adecuados para evaluar las vibraciones producidas por la irregularidad de la carretera en una escala que se correlaciona bien con las puntuaciones de los pasajeros en cuanto a comodidad.

Además, Soliman et al. llevaron a cabo un estudio sobre el efecto de varios tipos de suspensión en el rendimiento del sistema de suspensión del vehículo, utilizando modelos matemáticos como el modelo de cuarto de automóvil, el modelo de cuarto de automóvil con sistema de resorte doble, el sistema completamente activo de cuarto de automóvil y el modelo convencional de medio automóvil. Estos modelos proporcionaron información valiosa sobre cómo diferentes configuraciones de suspensión afectan la respuesta del vehículo a la excitación.

Los experimentos realizados para verificar el análisis teórico concluyeron que la capacidad de carga de la suspensión trasera de un vehículo se puede resolver utilizando una suspensión rígida o un sistema de suspensión con doble amortiguador. Sin embargo, se observó que un sistema de suspensión completamente activo puede mejorar significativamente el rendimiento del vehículo, aunque a un alto costo.

En cuanto al efecto de la amortiguación de los neumáticos en la comodidad de conducción, se encontró que tenía un impacto pequeño. Aumentar el parámetro de rigidez del neumático resultó en picos de resonancia de la rueda más altos en la respuesta dinámica de carga del neumático. Sin embargo, los valores predichos del espacio de trabajo de la suspensión y la aceleración vertical fueron solo un 8% -10% más bajos que los medidos, y el pico de resonancia para el espacio de trabajo de aceleración y suspensión del cuerpo a una cierta frecuencia fue similar a lo obtenido teóricamente.

Rajamani identificó varios parámetros de rendimiento que deben optimizarse en cualquier sistema de suspensión de un vehículo. Estos incluyen:

- Confort en marcha: Un sistema de suspensión debe poder aislar la carrocería del vehículo de las perturbaciones de la carretera para proporcionar una buena calidad de marcha, reduciendo las fuerzas vibratorias transmitidas desde el eje a la carrocería. La calidad del viaje se puede cuantificar mediante la aceleración vertical de las ubicaciones de los pasajeros.
- Minimizar los movimientos de la carrocería: Un buen sistema de suspensión debe minimizar los movimientos de balanceo y cabeceo del vehículo durante las curvas, el frenado y la tracción. Esto se puede estudiar utilizando modelos de medio automóvil y de automóvil completo.
- Mantener un buen agarre y tracción en carretera: Este parámetro se puede caracterizar en términos de las capacidades de giro, frenado y tracción del vehículo. Estas capacidades se pueden mejorar minimizando las variaciones en las cargas normales de los neumáticos.
- Soportar el peso estático del vehículo: El peso estático del vehículo se soporta bien si el espacio

requerido para las oscilaciones de la carrocería se mantiene pequeño. Esto se puede cuantificar en términos de la deflexión máxima de la suspensión.

Ihsan et al. estudiaron varios esquemas de control de un sistema semiactivo de un cuarto de coche, incluyendo control de anclaje al suelo, control de anclaje al vacío y control híbrido. Descubrieron que el esquema de control híbrido proporcionaba un mayor confort que una suspensión pasiva, sin sacrificar la adherencia a la carretera ni aumentar el desplazamiento de la masa suspendida. Además, lograba un mejor compromiso entre la comodidad, el agarre a la carretera y el desplazamiento de la suspensión que otros sistemas de control.

Por otro lado, Faris et al. se enfocaron en estudiar las respuestas cuadráticas medias (RMS) de la aceleración para varias variables de estado, como la aceleración vertical de la masa suspendida, la aceleración angular del balanceo de la masa suspendida y el desplazamiento de las suspensiones delantera y trasera. Compararon un modelo de medio automóvil con esquema de control semiactivo con el sistema pasivo de suspensión convencional. Los resultados mostraron mejoras significativas en las respuestas de balanceo y cabeceo de la masa suspendida utilizando el esquema de control semiactivo. Sin embargo, descubrieron que existían valores límite del coeficiente de amortiguación a partir de los cuales el sistema semiactivo resultaba más desfavorable que el sistema pasivo para la deflexión de las suspensiones delantera y trasera.

En otro estudio, Faris et al. compararon el confort en la conducción, el desplazamiento de la suspensión y el agarre a la carretera para tres modelos diferentes (de un cuarto de coche, medio y completo) utilizando varios esquemas de control. Concluyeron que, en general, todos los modelos daban una tendencia de respuestas muy similar, tanto en el dominio del tiempo como en el de la frecuencia. Sin embargo, encontraron que el modelo más simple de un cuarto de coche era incapaz de capturar las variaciones en la respuesta debido al cabeceo y balanceo, mientras que el modelo completo era necesario para predecir con precisión estas respuestas.

Formas de probar y evaluar la calidad de la conducción:

Esta área se centra en los métodos y técnicas utilizados para probar y evaluar la calidad de la conducción de un vehículo. Los investigadores revisan diferentes enfoques de evaluación. Comprender cómo evaluar objetivamente la calidad de la conducción es crucial para desarrollar vehículos que proporcionen una experiencia cómoda y placentera para los pasajeros.

Janeway propuso el uso de acelerómetros de galgas extensométricas como el instrumento más apropiado para analizar la conducción, argumentando su fácil calibración, amplio rango de frecuencia de interés, precisión y resistencia. Concluyó que los principales problemas de conducción se relacionan con los principales modos de vibración de baja frecuencia y recomendó el uso de un oscilógrafo de dos a cuatro canales con acelerómetros de galgas extensométricas y filtros de paso bajo como la instrumentación más práctica.

Butkunas se centró en el análisis y evaluación de vibraciones en el rango de 0,5 a 25 Hz y desarrolló un índice de confort en la conducción combinando el cojín del asiento, el respaldo del asiento y la bandeja del piso. Concluyó que, aunque un índice de viaje combinado era útil para comparar vehículos, era necesario analizar individualmente cada excitación transmitida al pasajero para obtener información detallada sobre el efecto de cada parte del sistema total.

Van Deusen se enfocó en evaluar la respuesta humana a la vibración del vehículo y clasificó cuatro enfoques diferentes para ello, destacando la importancia de la composición espectral de las vibraciones en las pruebas subjetivas. También enfatizó que la dirección de la vibración afectaba a la sensación de confort y sugirió que la varianza de la aceleración en cada banda de frecuencia y la covarianza entre direcciones debían tabularse para cuantificar la calidad de conducción en vehículos reales.

Allen desarrolló una técnica para evaluar la calidad de conducción en función de los parámetros de aislamiento de la cabina y concluyó que modificar los elementos de suspensión en la parte trasera de la cabina podía mejorar la vibración longitudinal pero a costa de perder confort en la dirección vertical.

Dempsey et al. realizaron un experimento para desarrollar criterios de predicción de la calidad del viaje en un entorno de ruido y vibración. Concluyeron que la adición de ruido aumentaba las respuestas de incomodidad y que las calificaciones del nivel de incomodidad aumentaban linealmente con la aceleración de la vibración cuando el ruido estaba ausente, pero de forma logarítmica con el nivel de ruido.

Ihsan et al. y BenLahcene realizaron varios estudios sobre sistemas de suspensión semiactivos, comparándolos con sistemas pasivos. Concluyeron que los sistemas semiactivos ofrecían una mejor comodidad de conducción sin sacrificar la adherencia a la carretera ni aumentar el desplazamiento de la suspensión, y que proporcionaban un mejor compromiso entre la comodidad, el agarre a la carretera y el desplazamiento de la suspensión que otros sistemas de control.

3 HERRAMIENTAS Y DESCRIPCIÓN DEL ANALISIS

3.1 Descripción de las pruebas de conducción

Para realizar las pruebas de conducción, se empleó exclusivamente un vehículo, descrito en la siguiente tabla, con el propósito de evaluar las variaciones en el confort durante la conducción. La elección de un único modelo de vehículo permite mantener una consistencia en las condiciones del experimento, centrándose así en las diferencias generadas por las variadas prácticas de conducción de los participantes.

Turismo	
Marca y modelo	Seat alhambra
MOM	1.653 kg
Dimensiones	<ul style="list-style-type: none">• Longitud: 4.634 mm• Ancho: 1.814 mm• Altura: 1.720 mm• Distancia entre ejes: 2.920 mm
Motor	Diesel, 1.9 TDi 115CV
Suspensión	<ul style="list-style-type: none">• Delantera: Independiente tipo McPherson• Trasera: Eje torsional con muelles helicoidales
Neumáticos	215/55R16

La elección de los vehículos tipo turismo como objeto de estudio se fundamenta en diversos motivos que aportan un enfoque significativo al análisis del confort en la conducción. En primer lugar, los turismos representan el medio de transporte preferido en casi el 75% de los casos, lo que los convierte en una opción común y ampliamente utilizada por la población. Esta familiaridad generalizada con los turismos facilita la conexión entre los resultados del estudio y las experiencias cotidianas de la mayoría de las personas.

En segundo lugar, la selección de turismos como objeto de estudio se respalda por la relativa facilidad para identificar y analizar las variables clave que influyen en la comodidad de los pasajeros y las condiciones del trayecto o la carretera.

Además, la accesibilidad a los turismos es notablemente alta, ya que son vehículos comunes y ampliamente disponibles. Esto facilita la ejecución del estudio, ya que la disponibilidad de participantes y vehículos es más práctica en comparación con otros medios de transporte menos comunes.

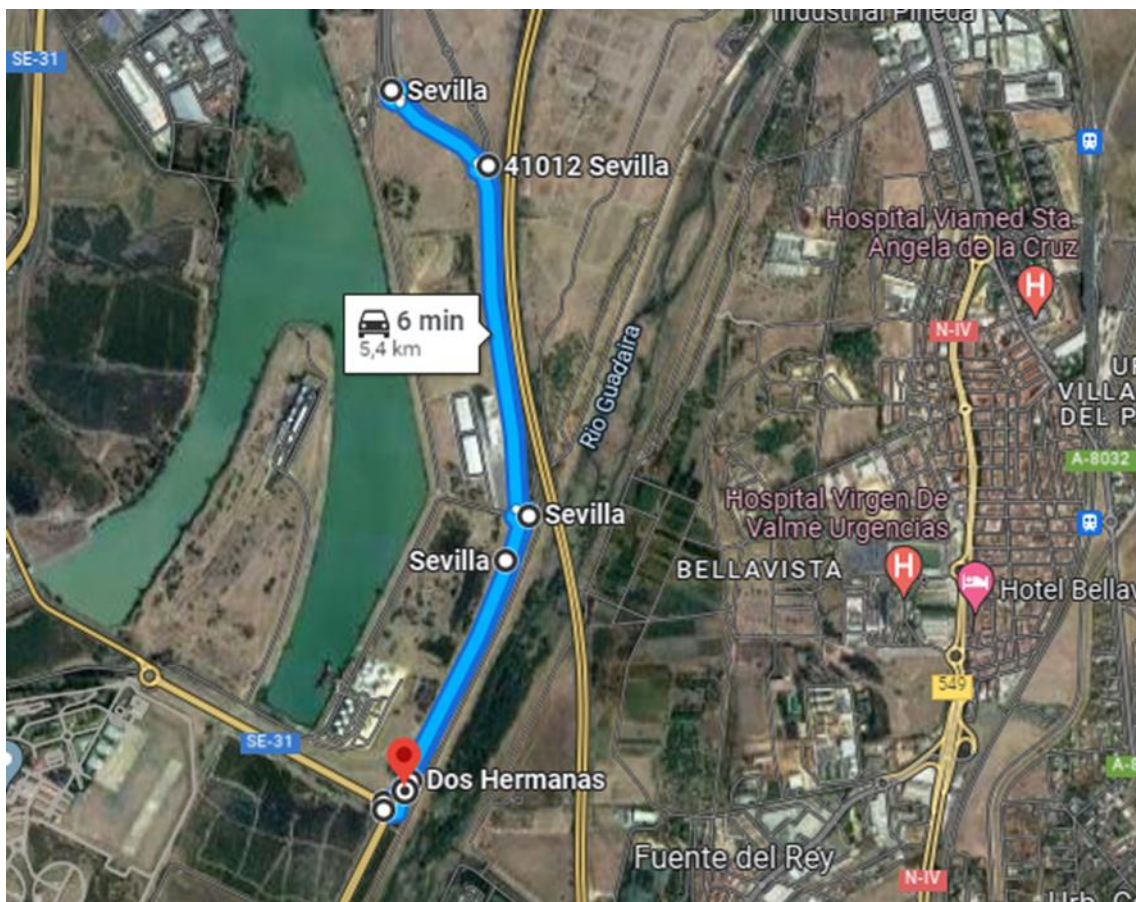
Por último, la elección de turismos se justifica por la abundancia de estudios previos centrados en el confort en la conducción de este tipo de vehículos. La existencia de investigaciones anteriores proporciona un sólido marco

de referencia y establece un contexto en el cual se puede construir y ampliar el estudio.

Una vez establecidos los vehículos a utilizar, se procede a definir los diferentes trayectos que se realizaron para el estudio. Se llevaron a cabo dos trayectos diferentes, cada uno conducido por seis conductores distintos.

Trayecto

Se trata de un recorrido por una carretera muy poco transitada, donde se han podido realizar las pruebas sin ningún impedimento. Se trata de un recorrido circular de 5,4 km de longitud sin desnivel, con varios giros leves, así como dos giros de 180° realizados en dos glorietas. El estado de la carretera no era deficiente en algunos puntos, lo que puede provocar pérdida del confort general, pero al realizarse todas las pruebas en el mismo recorrido el estudio no se vería afectado por esto.



Medida del confort

A los pasajeros y posteriormente conductores fueron seleccionados aleatoriamente entre personas cercanas al autor de este estudio. Posteriormente, se les administró una encuesta que abarcaba varios aspectos evaluados en una escala del 1 al 5, donde 1 representaba la puntuación menos confortable y 5 la puntuación máxima de confort. Los puntos evaluados incluían:

- Cc (Confort en los movimientos cervicales): Se refiere a la comodidad experimentada en los movimientos del cuello, tanto en dirección longitudinal como transversal.

- Ct (Confort en los movimientos del tronco y la cadera): Evalúa la comodidad en los movimientos de la parte superior del cuerpo y la zona lumbar, abarcando tanto movimientos longitudinales como transversales.
- Ce (Confort en las extremidades inferiores): Se centra en la comodidad experimentada en las nalgas y las piernas.
- Cg (Confort general): Representa la evaluación del confort global durante el trayecto.

Una vez recopiladas todas las calificaciones, se calculó un índice general de confort mediante la obtención de la media de las puntuaciones en cada categoría. La calificación final (C) proporciona una medida consolidada del confort atribuido a cada trayecto, integrando las percepciones de los pasajeros en diferentes aspectos de la experiencia de conducción.

3.2 Descripción del análisis y procesamiento de datos de la aceleración

El procesamiento de los datos de aceleración se realizó utilizando el software MATLAB. Se importaron los datos de aceleración registrados por el acelerómetro en un archivo CSV y se procedió a filtrarlos y procesarlos para su posterior análisis.

Para filtrar los datos, se utilizó un filtro digital de Kalman, el cual se encarga de estimar el valor verdadero de la aceleración a partir de las mediciones del acelerómetro, teniendo en cuenta el ruido y la incertidumbre en las mediciones. Este filtro es útil para eliminar el ruido y las fluctuaciones en los datos de aceleración, y proporciona una señal más suave y precisa.

Durante la realización de las pruebas en los vehículos, se capturaron datos dinámicos relacionados con las aceleraciones en los ejes X, Y y Z, así como las inclinaciones de cabeceo (pitch) y balanceo (roll). Estos datos se adquirieron mediante un acelerómetro modelo WitMotion BWT61CL MPU6050, diseñado específicamente para este propósito. El dispositivo es versátil, siendo compatible con los sistemas operativos Windows y Android, y cuenta con sensores que miden aceleraciones, inclinaciones y velocidades angulares en los ejes X, Y y Z.

El acelerómetro a usar consta de las siguientes características principales:

- Rango de frecuencia de salida de datos: 0.2-100 Hz.
- Rango de medición: aceleración ($\pm 16g$), giroscopio ($\pm 2000^\circ / s$), ángulo (eje X y eje Z: $\pm 180^\circ$, eje Y: $\pm 90^\circ$)
- Precisión de ángulo (después de calibrado): eje X y eje Y: 0.05° (estático); eje X y eje Y: $0,1^\circ$ (dinámico).
- Resolución: aceleración (0.005 g), giroscopio ($0.61^\circ / s$)
- Filtrado digital de Kalman (filtro de programa).
- Interfaz: Tipo C, Bluetooth 2.0
- Voltaje: 3.3-5 V, batería recargable incorporada (capacidad de 260 mAh, 3.7 V)

La frecuencia de muestreo para las pruebas se fijó en 20Hz, y posteriormente, se procedió al procesamiento de los datos utilizando el software MATLAB. Los datos de aceleración, registrados en un archivo CSV, fueron importados y sometidos a un filtrado adicional mediante el filtro digital de Kalman. Este filtro desempeña un papel crucial al estimar con precisión las verdaderas aceleraciones a partir de las mediciones del acelerómetro, considerando el ruido e incertidumbre asociados. Este enfoque proporciona una señal más suave y precisa,

preparando los datos para su análisis posterior.

En cuanto a la ubicación adecuada para poner el acelerómetro, se tuvo en cuenta las afirmaciones del estudio de Smith, donde se aseguraba que las vibraciones laterales eran de mayor magnitud que las verticales en las medidas ejecutadas en los asientos de los vehículos y, por otro lado, las vibraciones verticales eran el indicador que más datos aportaba al medir la vibración en el suelo del vehículo. Por otro lado, se vio que, tanto para el asiento como para el suelo, los valores RMS no ponderados eran siempre buenos predictores, y los valores en el asiento y el suelo obtenidos en sus pruebas, fueron aproximadamente iguales (Smith, 1976). Por tanto, el acelerómetro se ubicó en la base del asiento central de las plazas traseras.

El código utilizado es el siguiente:

```

%%%TRATAMIENTO DE DATOS%%%

B=importdata('viaje6.txt'); %%Nombre del archivo con los datos a
tratar
A=B.data;
Tiempo=B.textdata(:,2);
Fad= 100 ; %%FRECUENCIA ADQUISICION (0.2-200 Hz)
F_nyq = .5*Fad;
j=length(A(:,1));

T=zeros(j,1);
for i=1:j; T(i)=i/Fad; end

T_total=T(end)/60; % MINUTOS
ax=A(:,1); %EN g
ay=A(:,2); %EN g
az=A(:,3)-ones(j,1); %EN g
wx=A(:,4); %deg/s
wy=A(:,5); %deg/s
wz=A(:,6); %deg/s
alphax=A(:,7); %deg
alphay=A(:,8); %deg
alphaz=A(:,9); %deg

Ax=ax*9.81; %m/s^2
Ay=ay*9.81; %m/s^2
Az=az*9.81; %m/s^2
wx=wx*2*pi/360; %rad/s
wy=wy*2*pi/360; %rad/s
wz=wz*2*pi/360; %rad/s
alphax=alphax*2*pi/360; %rad
alphay=alphay*2*pi/360; %rad
alphaz=alphaz*2*pi/360; %rad

%% filtrado de la señal

[b,a]=butter(2,4/F_nyq,'low');

ax=filtfilt(b,a,ax);
ay=filtfilt(b,a,ay);
az=filtfilt(b,a,az);
wx=filtfilt(b,a,wx);
wy=filtfilt(b,a,wy);

```

```

wz=filtfilt(b,a,wz);
alphax=filtfilt(b,a,alphax);
alphay=filtfilt(b,a,alphay);
alphaz=filtfilt(b,a,alphaz);

%% Derrivada de los parámetros

dwx=zeros(j,1);
dwy=zeros(j,1);
dwz=zeros(j,1);
dwx(2:j)=(diff(wx)*Fad)';
dwy(2:j)=(diff(wy)*Fad)';
dwz(2:j)=(diff(wz)*Fad)';
dax=zeros(j,1);
day=zeros(j,1);
daz=zeros(j,1);
dax(2:j)=(diff(ax)*Fad)';
day(2:j)=(diff(ay)*Fad)';
daz(2:j)=(diff(az)*Fad)';

%% Búsqueda de parámetros

%Ec. Smith
S_x=5.43-40*rms(ax);
S_y=5.43-40*rms(ay);
S_z=5.43-40*rms(az);
S_xy=5.43-40*rms(sqrt((ax).^2+(ay)).^2);
S_xz=5.43-40*rms(sqrt((ax).^2+(az)).^2);
S_yz=5.43-40*rms(sqrt((ay).^2+(az)).^2);
S_xyz=5.43-40*rms(sqrt((ax).^2+(ay).^2+(az).^2));
%Raiz cuadratica media
RMaxy=rms(sqrt((ax).^2+(ay)).^2);
RMaxz=rms(sqrt((ax).^2+(az)).^2);
RMayz=rms(sqrt((az).^2+(ay)).^2);
RMaxyz=rms(sqrt((ax).^2+(ay).^2+(az).^2);

RMdaxy=rms(sqrt((dax).^2+(day)).^2);
RMdaxz=rms(sqrt((dax).^2+(daz)).^2);
RMdayz=rms(sqrt((daz).^2+(day)).^2);
RMdaxyz=rms(sqrt((dax).^2+(day)).^2+(daz).^2);

sol = table(S_x, S_y, S_z, S_xy, S_xz, S_yz, S_xyz, rms(ax),
rms(ay), rms(az), rms(dax), rms(day),
rms(daz), RMaxy, RMaxz, RMayz, RMaxyz, RMdaxy, RMdaxz, RMdayz, RMdaxyz);

%% Guardar resultados
writetable(sol, 'resultados.xls')

```

Posteriormente partiendo de los parámetros obtenidos, para el análisis y la búsqueda de las correlaciones, se utiliza Excel, graficando así también estas relaciones.

3.3 Búsqueda del Nuevo parámetro de confort

Para la búsqueda del nuevo parámetro, una vez analizadas las aceleraciones de los trayectos y halladas las correlaciones con las calificaciones personales del confort, se sacaron varios parámetros que potencialmente podrían ser alternativa a la ecuación del confort de Smith.

Se estudió la sobreaceleración (Jerk), que se conoce también como el tirón o sacudida que experimenta un cuerpo al acelerar, que es la derivada de la aceleración respecto al tiempo, es decir, cómo aumenta o disminuye la aceleración respecto al tiempo. Para hallar la sobreaceleración en cada instante de tiempo, se aplicó el método de diferencias finitas, por el cual se puede obtener la derivada de una función $f(t)$ en un punto t como:

$$f'(t) \approx \frac{f(t + \Delta t) - f(t)}{\Delta t}$$

A su vez se calculan también la derivada de las sobreaceleraciones, con el mismo método numérico de derivación usado para la sobreaceleración.

Una vez hallados estos valores de todos los datos, se usaron diferentes variables estadísticas para buscar un parámetro diferente a los ya existentes, que, al igual que la ecuación de Smith, aportara información sobre el confort en la conducción de vehículos. Entre tantos, se hallaron la media de los valores, los máximos positivos y negativos, la amplitud máxima, la media de los valores positivos, la media de los negativos, la amplitud media, la varianza y la desviación típica.

A pesar de ello ninguno de estos valores aportó información concluyente que sirviera para relacionar los valores obtenidos frente a los datos que ya se tenían del análisis anterior mediante la ecuación de Smith.

Por tanto, se probó con los valores cuadráticos medios, al igual que Smith hizo con los valores de la aceleración, es decir, se halló la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados de las sobreaceleraciones RMS verticales y laterales. Esta variable estadística es útil para calcular la media de variables que toman valores negativos y positivos cuando el símbolo de la variable no es importante y lo que interesa es el valor absoluto de los mismos y por estos motivos se decidió usarla.

Por otro lado, con fin de confirmar que los datos de interés son los relacionados con los datos verticales y laterales, se calcularon los valores cuadráticos medios tanto individualmente en cada dirección como combinando todas las posibles combinaciones tanto con la ecuación de Smith como con las sobreaceleraciones y su derivada.

Una vez hallados todos estos parámetros, se buscó la correlación entre estos datos, la ecuación de Smith y las calificaciones personales de los pasajeros en los trayectos y se establecieron los valores umbrales a partir de los cuales la conducción dejaba de ser confortable.

4 TOMA DE DATOS, ANÁLISIS Y RESULTADOS

En esta sección, presentamos los resultados obtenidos del estudio sobre el confort en la conducción de turismos, que tiene como objetivo principal caracterizar y evaluar la experiencia de los pasajeros durante diferentes trayectos. A continuación, se detallan los resultados obtenidos y se analizan en función de los parámetros establecidos en el estudio.

4.1 Medidas del confort

Antes de adentrarnos en los resultados detallados de las encuestas de confort, es importante comprender los aspectos específicos evaluados durante el estudio. Las encuestas abarcaron varios puntos clave que reflejan diferentes aspectos de la experiencia del pasajero durante la conducción de turismos. Estos incluyeron el confort en los movimientos cervicales (Cc), en los movimientos del tronco y la cadera (Ct), en las extremidades inferiores (Ce), y el confort general (Cg). Cada uno de estos aspectos fue evaluado en una escala del 1 al 5, donde 1 representaba la puntuación menos confortable y 5 la puntuación máxima de confort. A través de estas encuestas, se buscó obtener una comprensión completa y detallada de la experiencia de los pasajeros en términos de comodidad durante la conducción. A continuación, se presentan los resultados obtenidos, detallando las calificaciones proporcionadas por los participantes en cada uno de estos aspectos.

Viaje 1	Cc	Ct	Ce	Cg	Media	
Conductor 1		3	2.5	3.5	3	3
Conductor 2		3	2.5	4	3	3.125
Conductor 3		2	2	4	2.5	2.625
Conductor 4		3	3	3.5	3.5	3.25
Conductor 5		2.5	2.5	4	3	3
Conductor 6		3	3	3.5	3	3.125
						Total
						3.02083333

Tabla 1

Viaje 2	Cc	Ct	Ce	Cg	Media	
Conductor 1		3.5	3	3.5	3	3.25
Conductor 2		3	3	3.5	3.5	3.25
Conductor 3		2.5	2.5	4	3	3
Conductor 4		3.5	3	4	3.5	3.5
Conductor 5		2.5	3.5	4	4	3.5
Conductor 6		3	4	4	3.5	3.625
						Total
						3.35416667

Tabla 2

Viaje 3	Cc	Ct	Ce	Cg	Media	
Conductor 1		3.5	4	4	4	3.875
Conductor 2		3	3.5	4	3.5	3.5
Conductor 3		3.5	4	4.5	3.5	3.875
Conductor 4		4	4	4	4	4

Conductor 5	3.5	4	4	4	3.875	Total
Conductor 6	3.5	3.5	4	3	3.5	3.77083333

Tabla 3

Viaje 4	Cc	Ct	Ce	Cg	Media	
Conductor 1	1.5	2	2.5	2	2	
Conductor 2	2	1.5	2.5	2.5	2.125	
Conductor 3	1.5	2	2	2	1.875	
Conductor 4	2	1.5	2	2	1.875	
Conductor 5	1.5	1.5	2.5	1.5	1.75	Total
Conductor 6	1	2	3	2	2	1.9375

Tabla 4

Viaje 5	Cc	Ct	Ce	Cg	Media	
Conductor 1	3.5	4	4	3.5	3.75	
Conductor 2	3	3.5	4	3.5	3.5	
Conductor 3	3.5	3.5	3.5	4	3.625	
Conductor 4	4	3.5	4	3	3.625	
Conductor 5	3	3.5	4	3.5	3.5	Total
Conductor 6	3.5	4	3.5	4	3.75	3.625

Tabla 5

Viaje 6	Cc	Ct	Ce	Cg	Media	
Conductor 1	3.5	4	3.5	4	3.75	
Conductor 2	3	4.5	4	4.5	4	
Conductor 3	4	4	3.5	3.5	3.75	
Conductor 4	4.5	4.5	3.5	4	4.125	
Conductor 5	4	4.5	4	4.5	4.25	Total
Conductor 6	4	4.5	3.5	4.5	4.125	4

Tabla 6

4.2 Resultados del postprocesamiento

A continuación, se presentan los resultados obtenidos del procesamiento de los datos, organizados en tres tablas que proporcionan una visión detallada de las mediciones realizadas durante las pruebas de conducción.

La primera tabla muestra los valores obtenidos de las pruebas de los datos en diferentes direcciones y combinaciones de direcciones de la ecuación de Smith, proporcionando una evaluación completa de las aceleraciones experimentadas en cada dirección durante los trayectos, así como permitiendo ver la relación del confort en varias direcciones y sus relaciones.

La segunda tabla presenta los resultados de las pruebas de los valores de la raíz cuadrática media de las aceleraciones y sus combinaciones en varias direcciones de igual forma que se ha realizado en la tabla anterior ofreciendo información adicional sobre la magnitud y la variabilidad de las aceleraciones en diferentes contextos.

Finalmente, la tercera tabla muestra los resultados de las pruebas de los valores de la raíz cuadrática media de las sobreaceleraciones y sus combinaciones en varias direcciones, proporcionando una evaluación más específica de las sobreaceleraciones experimentadas durante los trayectos.

TRAYECTO	SMITH X	SMITH Y	SMITH Z	SMITH XY	SMITH XZ	SMITH YZ	SMITH XYZ
1	0.98847958	-0.69628479	3.68445037	-0.74995226	3.32529807	2.87643743	-2.33565596
2	1.54354558	-0.23242859	3.7233868	-0.20761679	3.55825279	3.07385526	-1.64673329
3	2.70226008	0.0490302	3.84762076	0.04832802	3.82988741	3.2146489	-0.80693235
4	1.84802831	-1.28006438	3.51119629	-1.26152242	3.46144239	2.40718913	-2.41457091
5	2.97282615	0.75414299	4.07150458	0.75826436	4.0555246	3.61360207	-0.02406746
6	3.27525049	0.83549214	4.09491829	0.85074011	4.09198056	3.68243859	0.18263008

Tabla 7

TRAYECTO	RMSAX	RMSAY	RMSAZ	RMSAXY	RMSAXZ	RMSAYZ	RMSAXYZ
1	0.11103801	0.15315712	0.04363874	0.15449881	0.05261755	0.15327388	0.15474041
2	0.09716136	0.14156071	0.04266533	0.14094042	0.04679368	0.14179217	0.14127636
3	0.0681935	0.13452424	0.03955948	0.1345418	0.04000281	0.13464612	0.13471205
4	0.08954929	0.16775161	0.04797009	0.16728806	0.04921394	0.16789757	0.16752817
5	0.06142935	0.11689643	0.03396239	0.11679339	0.03436189	0.11708342	0.1170182
6	0.05386874	0.1148627	0.03337704	0.1144815	0.03345049	0.1149581	0.11460196

Tabla 8

TRAYECTO	RMSDAX	RMSDAY	RMSDAZ	RMSDAXY	RMSDAXZ	RMSDAYZ	RMSDAXYZ
1	0.2161784	0.1538592	0.40845508	0.24121002	0.44776475	0.44244026	0.4943994
2	0.19438844	0.14260237	0.41022884	0.19041008	0.42817536	0.45036991	0.48240019
3	0.15621166	0.13621368	0.39098291	0.17373399	0.40629853	0.39881718	0.42400135
4	0.18962273	0.16526672	0.42886422	0.21594131	0.453732	0.51134592	0.54548647
5	0.14418853	0.12741231	0.35371204	0.15219773	0.36267729	0.32885243	0.34952202
6	0.10606386	0.1544609	0.35051824	0.15115104	0.3526314	0.33734036	0.34292387

Tabla 9

4.3 Relación resultados confort y postprocesamiento

En esta sección, se establece una relación entre los resultados de las valoraciones personales del confort y los datos procesados obtenidos durante las pruebas de conducción. Con este fin, se han creado tablas en las que el eje x representa el nivel de confort evaluado por los pasajeros, mientras que el eje y incluye los parámetros específicos estudiados. Posteriormente, se ha aplicado una regresión lineal para analizar la relación entre el nivel de confort y cada parámetro, utilizando el valor del coeficiente de determinación (R^2) como medida de la correlación. A continuación, se presentan las tablas correspondientes y se discuten los resultados obtenidos.

En el Anexo 1 se incluirán todas las ecuaciones que relacionan el confort con los parámetros estudiados durante el análisis. Estas ecuaciones proporcionarán una visión detallada de cómo se calcula y se relaciona el confort con las mediciones objetivas y subjetivas recopiladas durante el estudio.

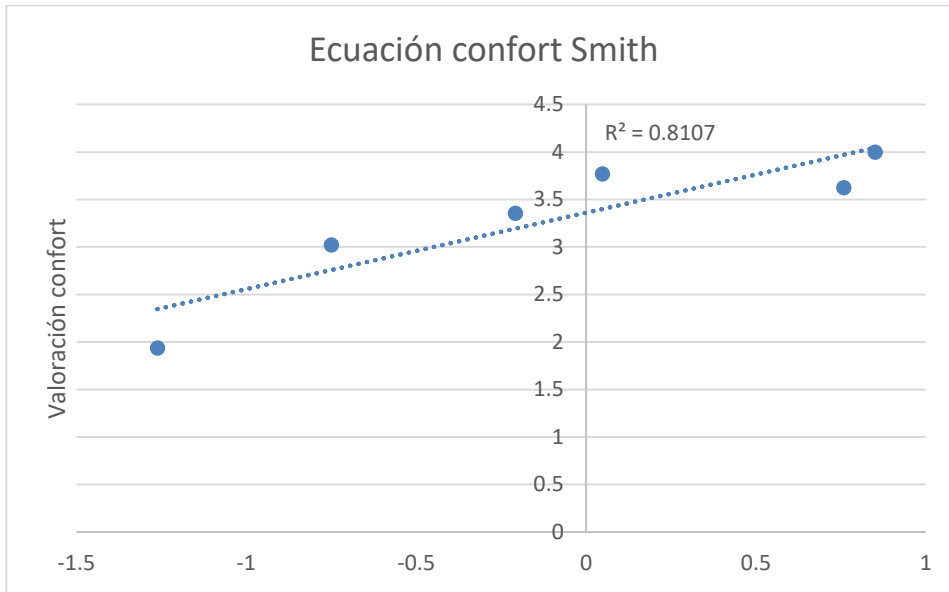


Figura 1

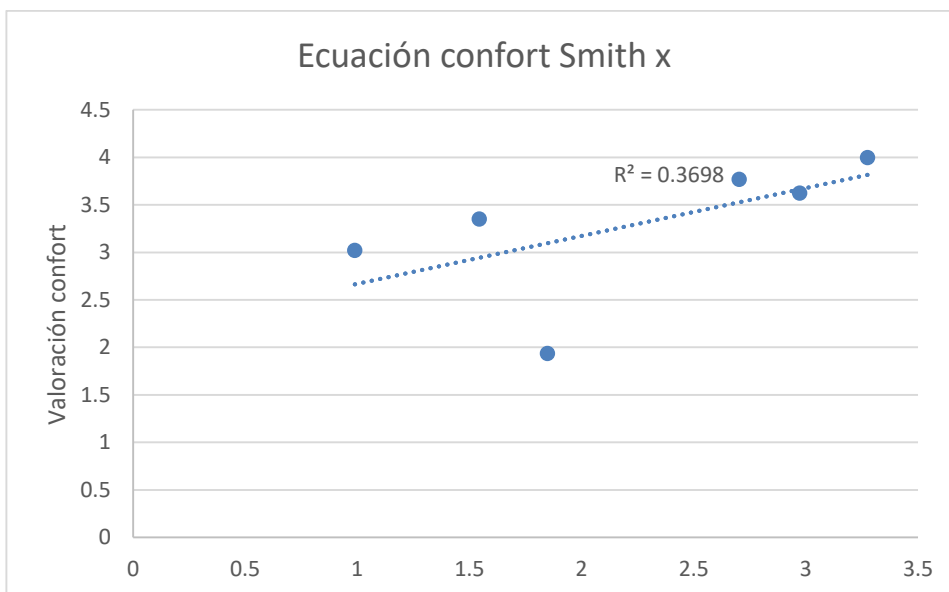


Figura 2

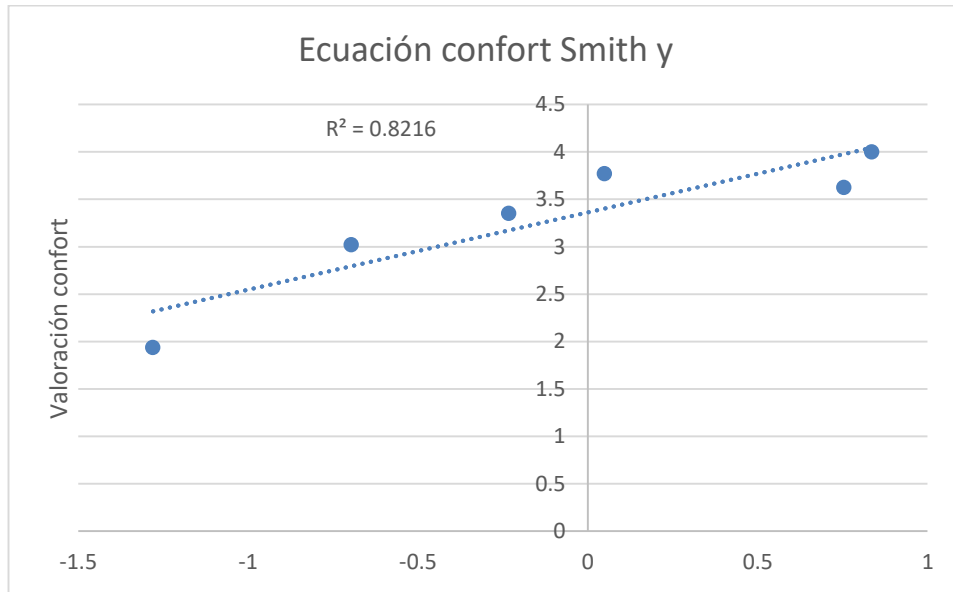


Figura 3

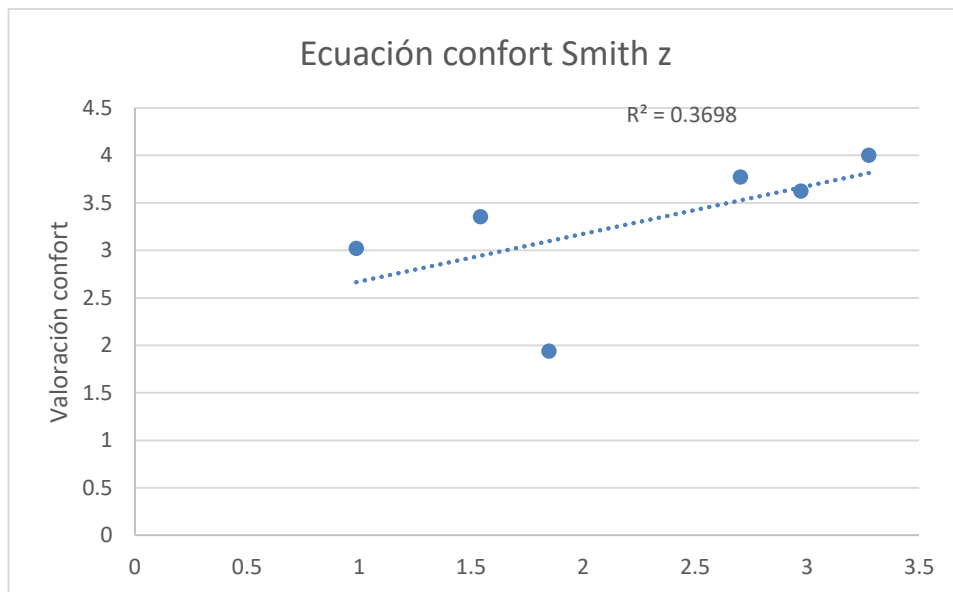


Figura 4

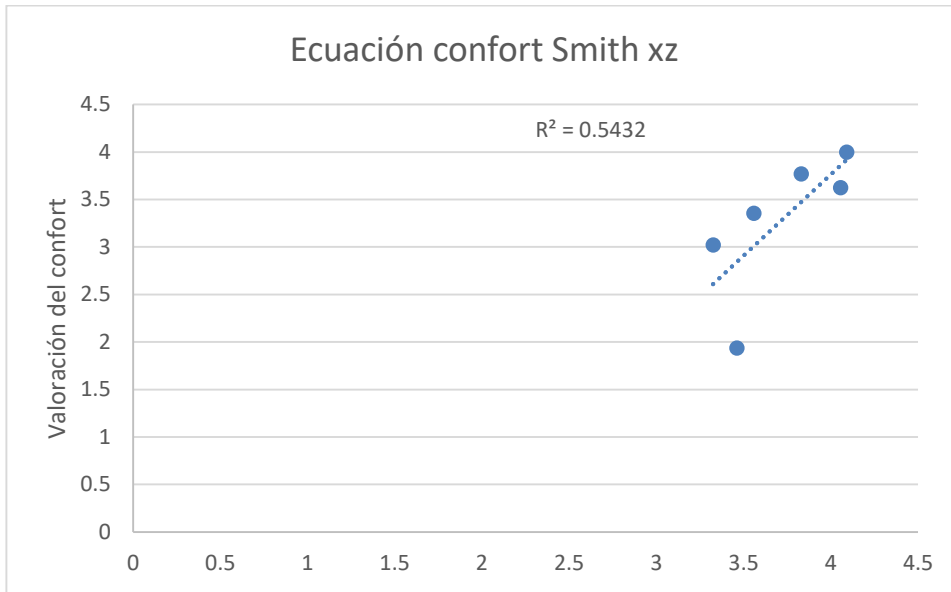


Figura 5

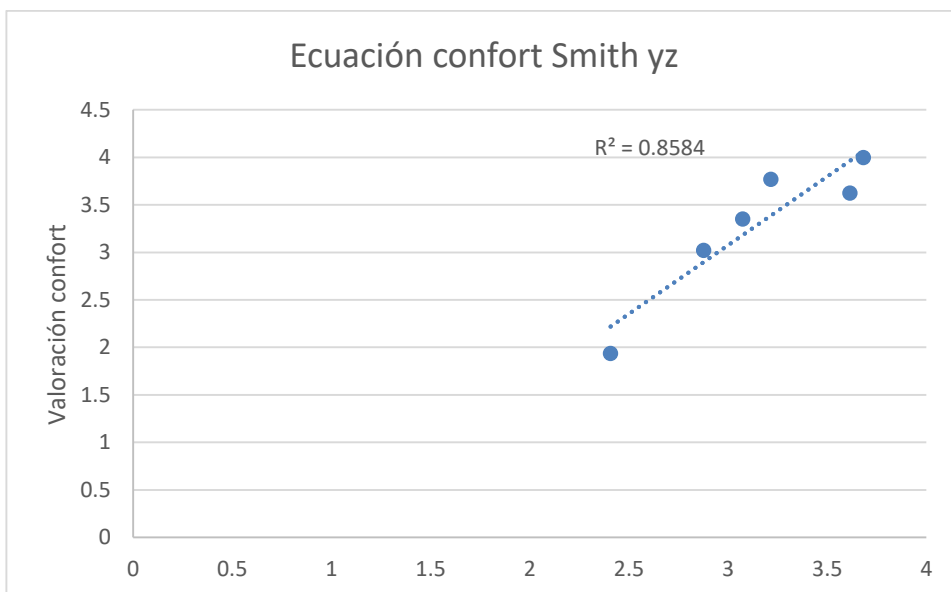


Figura 6

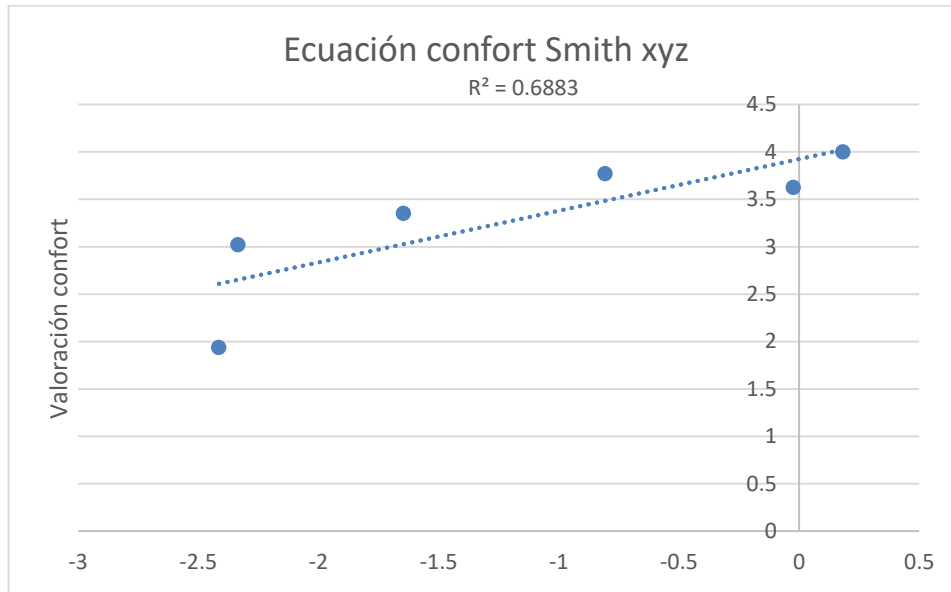


Figura 7

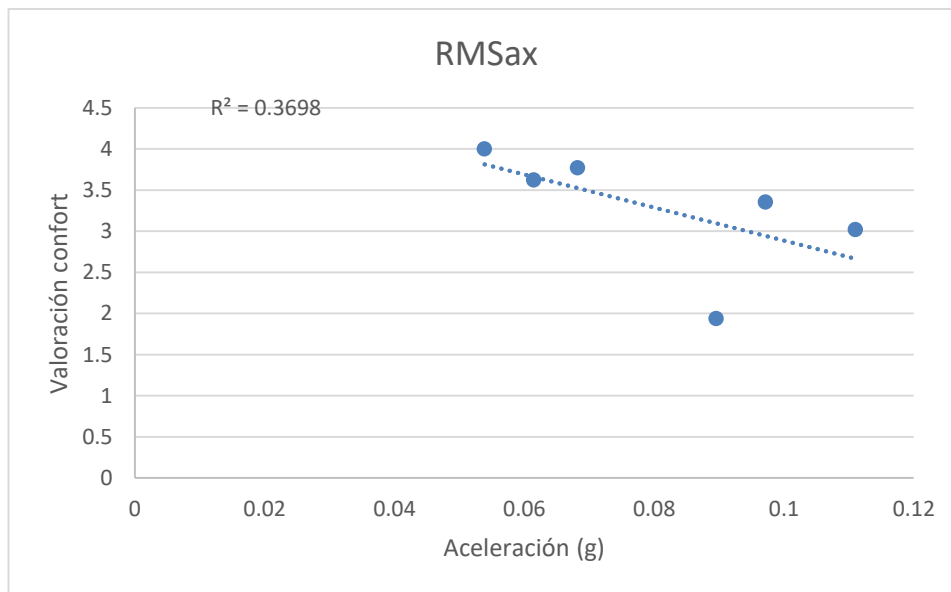


Figura 8

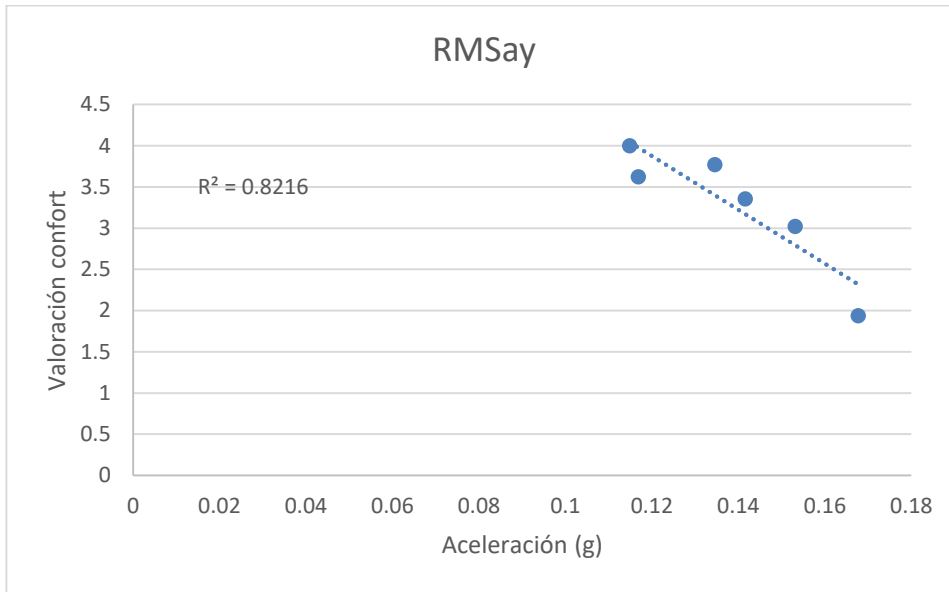


Figura 9

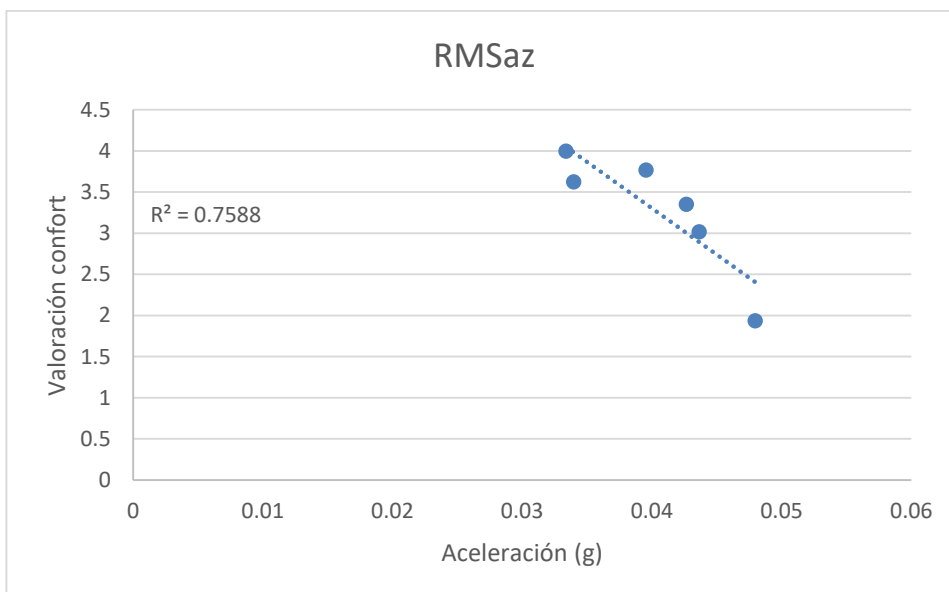


Figura 10

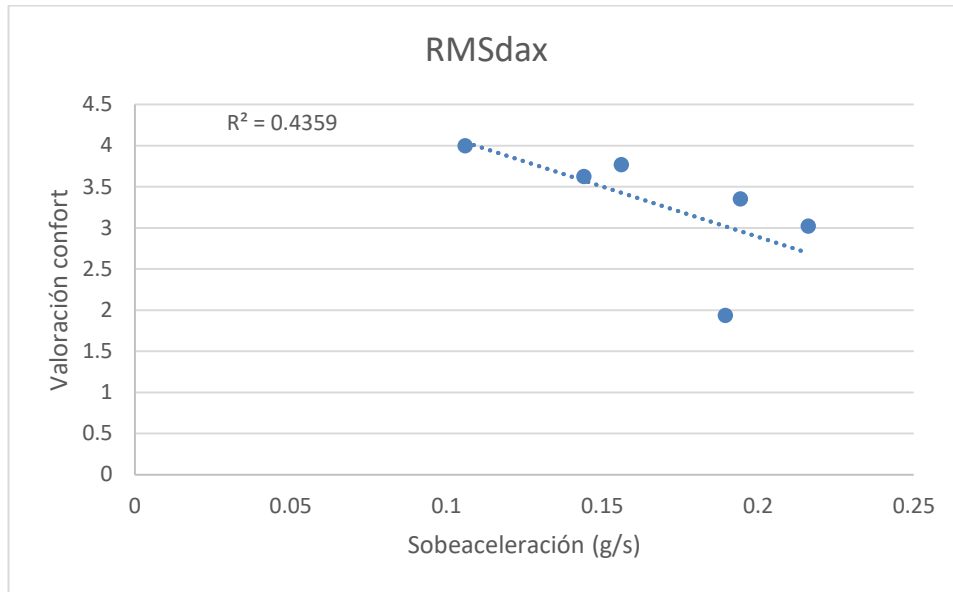


Figura 11

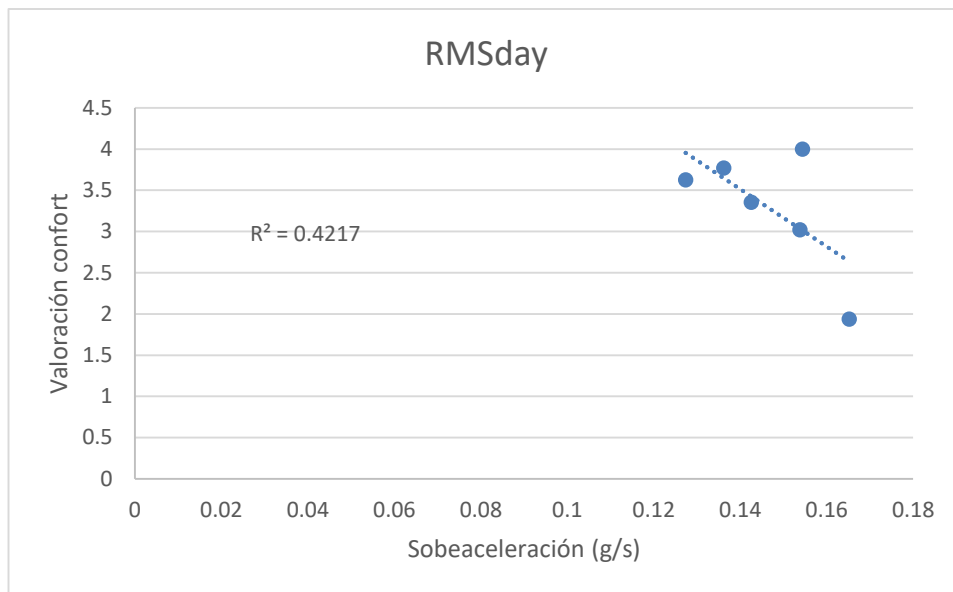


Figura 12

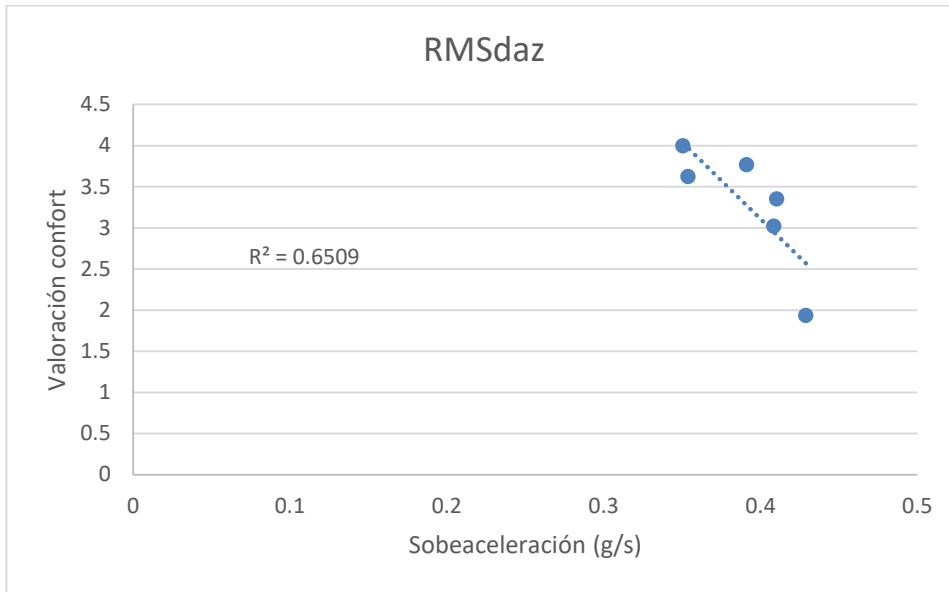


Figura 13

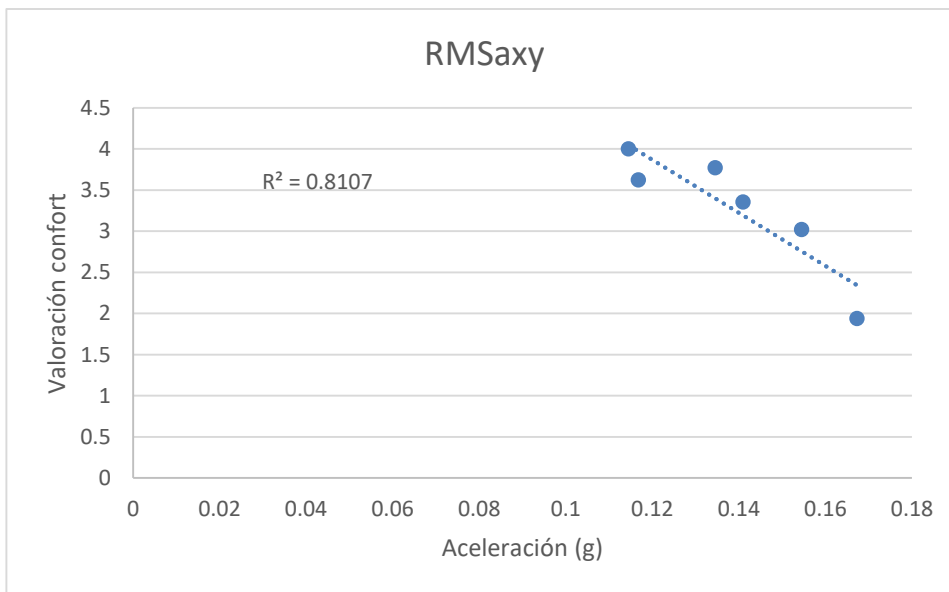


Figura 14

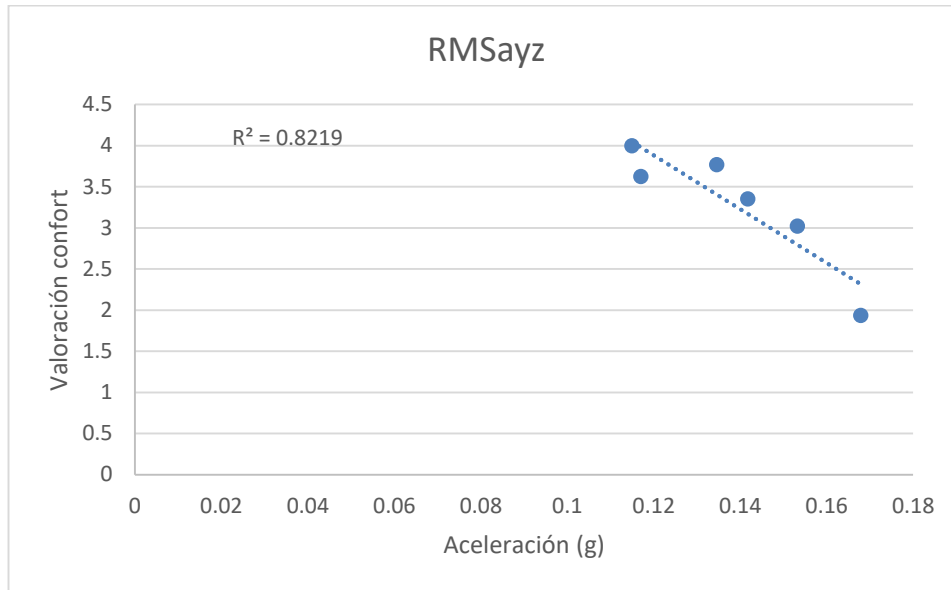


Figura 15

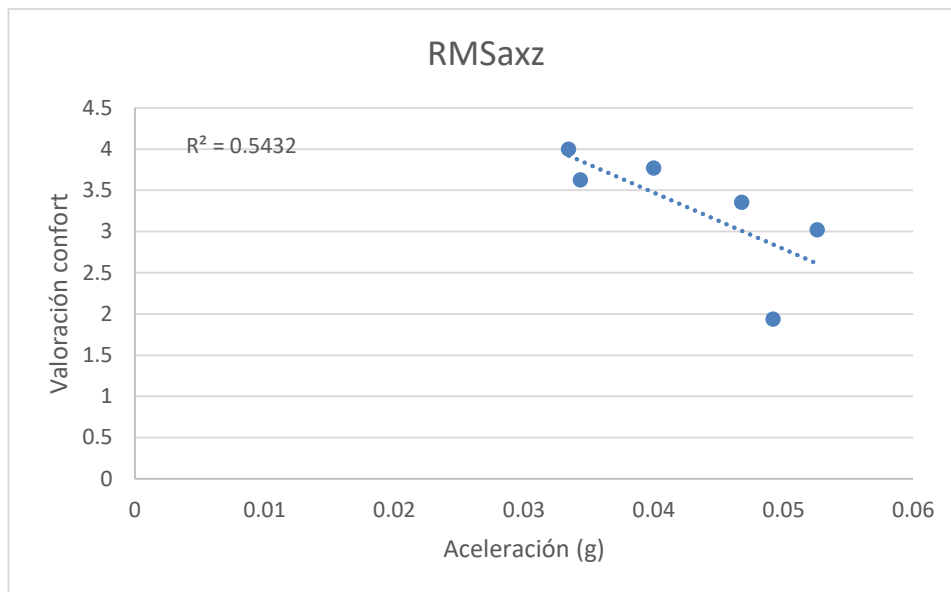


Figura 16

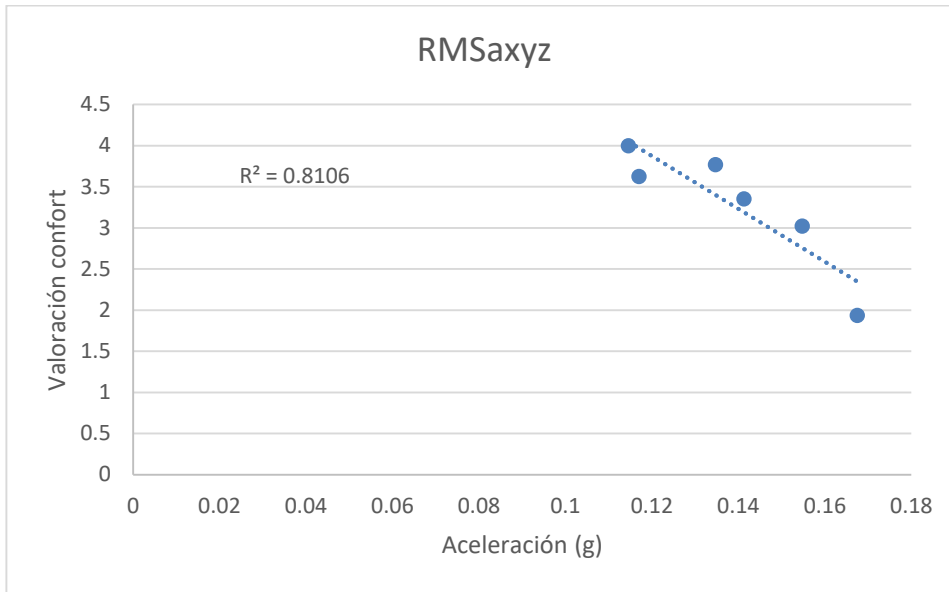


Figura 17

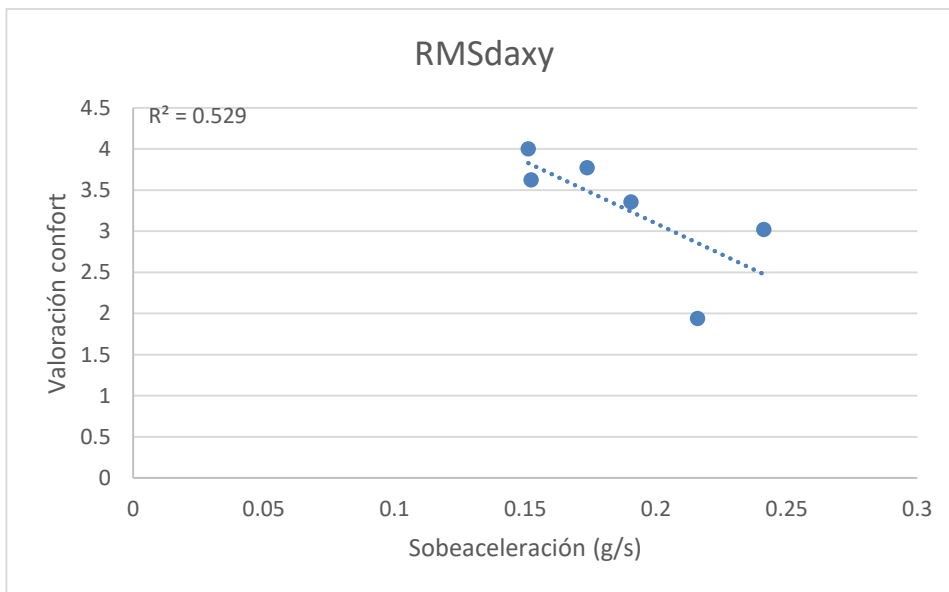


Figura 18

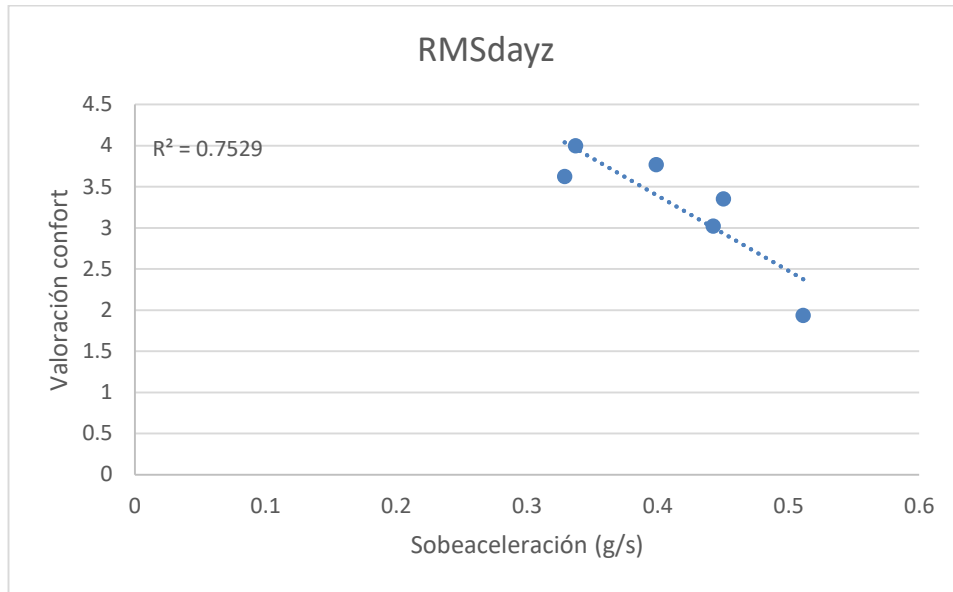


Figura 19

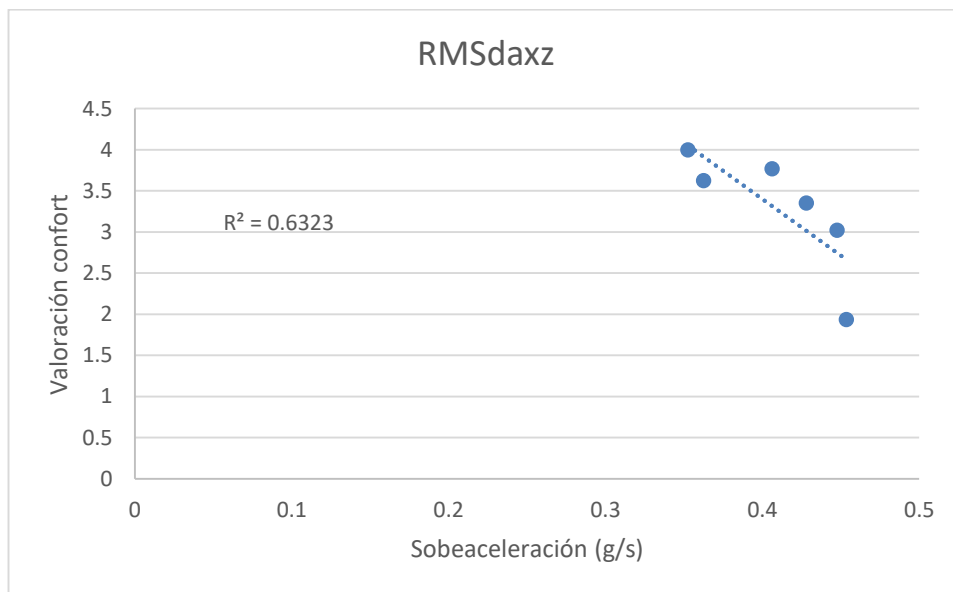


Figura 20

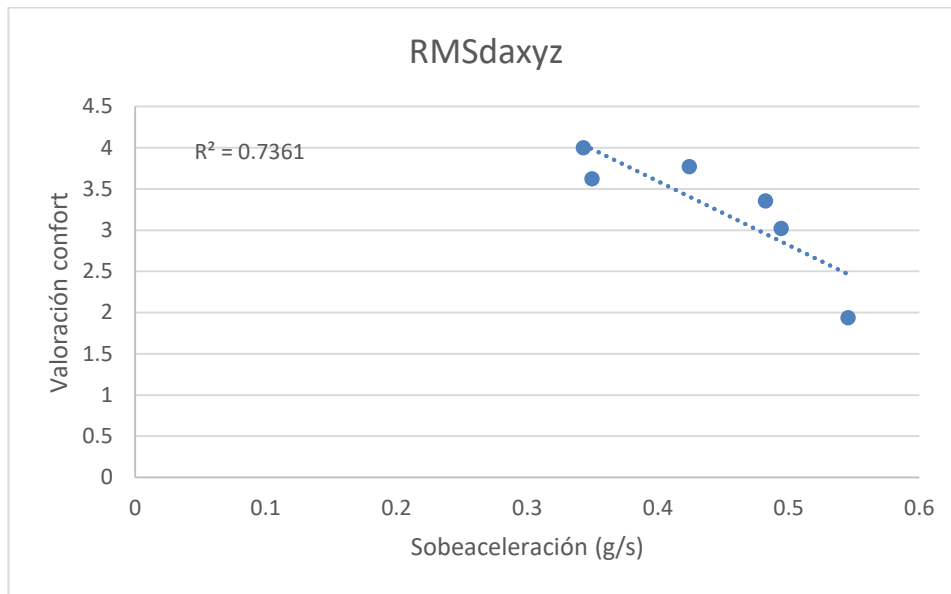


Figura 21

Llegando a la siguiente lista donde se ha ordenado los parametros en función de su correlación con el confort experimentado:

Parametro	R^2
1.Smith yz	0.8584
2.RMSayz	0.8219
3.Smith y	0.8216
4.RMSay	0.8216
5.Smith xy	0.8107
6.RMSaxy	0.8107
7.RMSaxyz	0.8106
8.RMSaz	0.7588
9.RMSdayz	0.7529
10.RMSdaxyz	0.7361
11.Smith xyz	0.6883
12.RMSdaz	0.6509
13.RMSdaxz	0.6223
14.Smith xz	0.5432
15.RMSaxz	0.5432
16.RMSdaxy	0.529
17.RMSdax	0.4359
18.RMSday	0.4217
19.Smith x	0.3698
20.Smith z	0.3698
21.RMSax	0.3698

Tabla 10

A la luz de los resultados obtenidos en este estudio, se justifica la exploración de relaciones parciales entre los diferentes parámetros analizados y los valores individuales de confort. Dado que se observaron correlaciones significativas entre ciertos parámetros y el nivel de confort percibido por los pasajeros, es importante profundizar en el análisis para comprender mejor la influencia de cada variable en la experiencia global de conducción. Por lo tanto, se llevará a cabo una investigación adicional para identificar las relaciones más relevantes y significativas entre estos parámetros y el confort experimentado por los usuarios durante los trayectos en vehículos. Este enfoque permitirá una comprensión más completa de los factores que influyen en el confort en la conducción.

A partir de los resultados obtenidos, se ha identificado un particular interés en los valores de confort cervical (cc) y los relacionados con el movimiento del tronco y la cadera (ct). Estos parámetros han demostrado tener una correlación significativa con la experiencia global de confort durante la conducción. Dado su impacto destacado en la percepción del confort por parte de los pasajeros, se dedicará una atención especial a la exploración de relaciones parciales entre estos parámetros y otros factores analizados. Se llevará a cabo un análisis detallado para comprender mejor la influencia específica de estas variables en la experiencia de conducción y su contribución al nivel general de confort percibido. Este enfoque permitirá obtener información más precisa sobre los aspectos clave que influyen en la comodidad de los pasajeros y facilitará la implementación de medidas específicas para mejorar el confort en la conducción.

Además, se llevará a cabo una búsqueda exhaustiva de relaciones entre los parámetros de confort cervical (cc) y movimiento del tronco y la cadera (ct) y aquellos relacionados con el eje Y. Dado que la dirección Y ha demostrado ser particularmente relevante en la experiencia general de confort durante la conducción, se investigará cómo estos parámetros específicos se relacionan con las mediciones de aceleración en esta dirección. Este enfoque permitirá comprender mejor la interacción entre el movimiento del cuerpo y las fuerzas experimentadas en la dirección longitudinal.

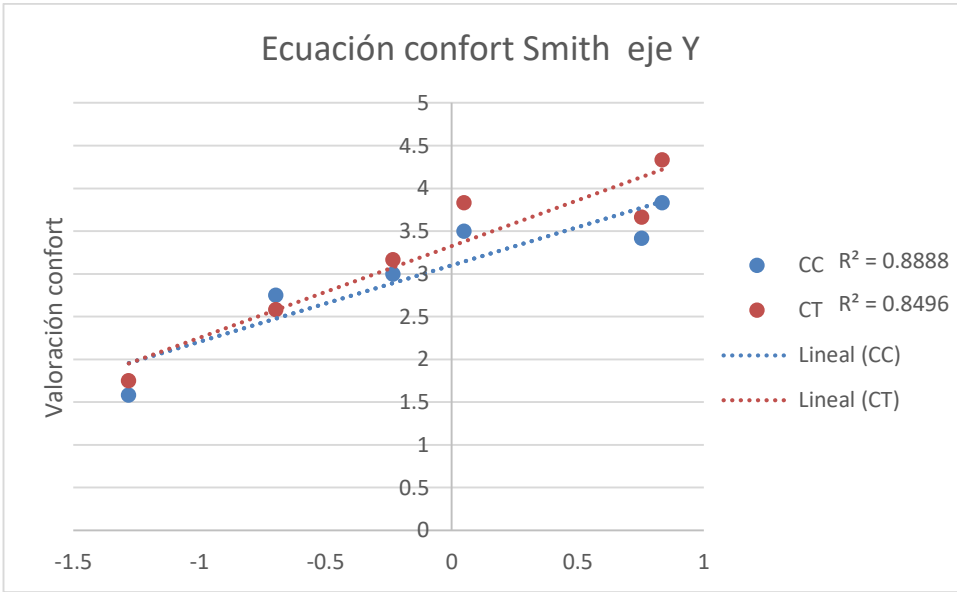


Figura 22

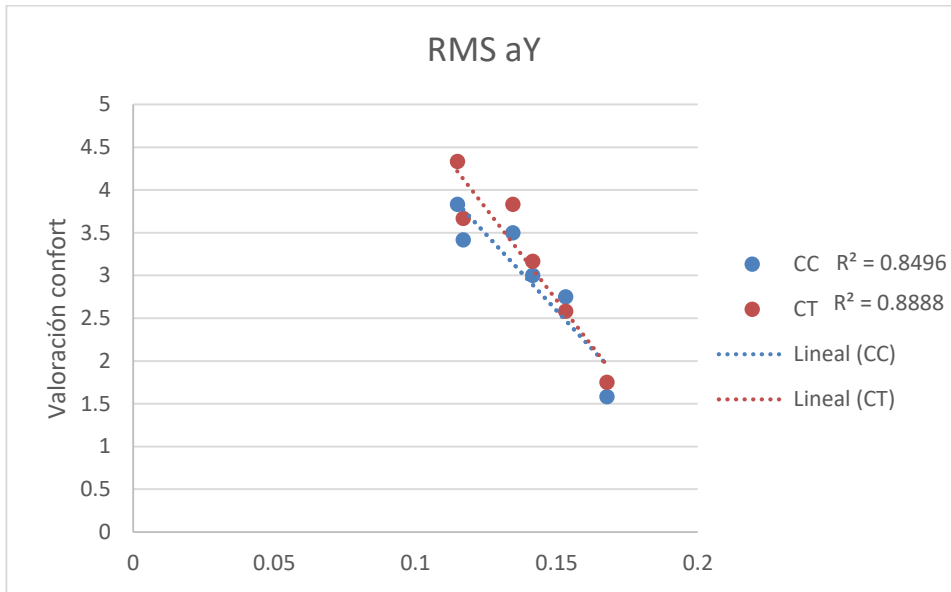


Figura 23

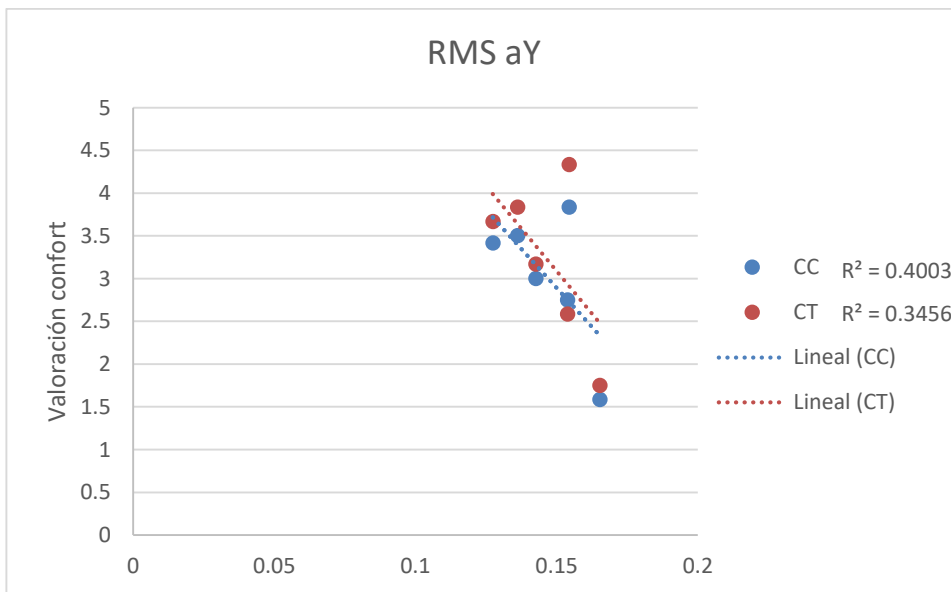


Figura 24

5 CONCLUSIONES

A continuación, se presentan las conclusiones derivadas del estudio sobre el confort en la conducción de turismos. Durante el transcurso de este trabajo, se han examinado diversos aspectos relacionados con la experiencia de los pasajeros durante los trayectos en vehículos, abordando tanto mediciones objetivas como percepciones subjetivas del confort. A partir de los datos recopilados y procesados, así como de las valoraciones personales proporcionadas por los participantes, se han extraído varias conclusiones relevantes que arrojan luz sobre la relación entre diferentes variables y la experiencia global de confort durante la conducción.

En lo que respecta a la evaluación de los parámetros utilizados, se observó que la ecuación de Smith mostró mejores resultados en términos de correlación con el confort percibido en comparación con la raíz cuadrática media de las aceleraciones y la raíz cuadrática media de las sobreaceleraciones. Aunque se esperaba que estas últimas proporcionaran una evaluación más precisa de las variaciones en la experiencia del pasajero durante la conducción, los hallazgos indican lo contrario. Este resultado resalta la importancia de seleccionar cuidadosamente los parámetros de análisis y sugiere que la ecuación de Smith puede ser más adecuada para evaluar el confort en la conducción en el contexto particular de este estudio. Sin embargo, es importante tener en cuenta que estos resultados pueden variar en función de diferentes condiciones de conducción y tipos de vehículos, por lo que se recomienda realizar análisis adicionales para validar estos hallazgos y explorar posibles ajustes en los criterios de evaluación del confort en futuras investigaciones.

Una de las conclusiones más destacadas de este estudio es la fuerte correlación observada entre el nivel de confort percibido por los pasajeros y los parámetros relacionados con los ejes Y y Z. Estos hallazgos indican que las aceleraciones experimentadas en estas direcciones juegan un papel crucial en la comodidad durante la conducción. Esta relación resalta la importancia de considerar tanto las mediciones objetivas de aceleración como las percepciones subjetivas de los pasajeros al evaluar el confort en la conducción. Asimismo, estos resultados subrayan la necesidad de diseñar y desarrollar vehículos con sistemas de suspensión y amortiguación que minimicen las vibraciones y las oscilaciones en las direcciones Y y Z, con el fin de mejorar la experiencia del usuario y proporcionar un mayor confort durante los trayectos.

Basándonos en este estudio, podemos concluir que la dirección más relevante en términos del confort experimentado por los pasajeros es la dirección longitudinal (eje Y), seguida por la dirección vertical (eje Z). Estos hallazgos resaltan la importancia de las aceleraciones experimentadas en la dirección de avance del vehículo y en la dirección vertical en la percepción general de confort durante la conducción. La fuerte correlación observada entre el nivel de confort percibido y las variables relacionadas con el eje Y indica que factores como las aceleraciones longitudinales tienen un impacto significativo en la experiencia del usuario. En este sentido, es crucial para los diseñadores de vehículos y fabricantes centrarse en mejorar la amortiguación y la estabilidad longitudinal para ofrecer una experiencia de conducción más cómoda y agradable para los pasajeros. Además, estos resultados destacan la importancia de considerar múltiples factores, incluidas las características de las aceleraciones en diferentes direcciones, al diseñar y desarrollar sistemas de suspensión y amortiguación que minimicen las vibraciones y los movimientos no deseados durante los trayectos en vehículos.

Se ha identificado una notable correlación entre los parámetros relacionados con el eje Y, como la ecuación de Smith en esta dirección, la raíz cuadrática media de la aceleración y la raíz cuadrática media de la sobreaceleración, y los valores de confort cervical (cc) y del movimiento del tronco y la cadera (ct). Estos

hallazgos indican una mejora significativa en los valores de confort en comparación con la evaluación general del confort. Esta relación sugiere que las fuerzas experimentadas en la dirección longitudinal durante la conducción juegan un papel crucial en la percepción de confort cervical y en el movimiento del tronco y la cadera por parte de los pasajeros. Estos resultados resaltan la importancia de considerar específicamente las mediciones de aceleración en el eje Y al diseñar vehículos para garantizar una experiencia de conducción cómoda y satisfactoria.

Además, se observó un hallazgo interesante durante el análisis de los datos, donde la aplicación de la ecuación de Smith con las direcciones YZ en lugar de XY resultó en correlaciones más fuertes con el confort percibido. Aunque inicialmente se sugirió utilizar las direcciones XY según las recomendaciones de Smith, los resultados obtenidos muestran una tendencia diferente. Si bien las razones exactas de este fenómeno no se exploraron en profundidad en este estudio, se pueden plantear algunas hipótesis. Es posible que factores como la distribución del peso del vehículo, el diseño de la suspensión o las características del terreno influyan en las aceleraciones experimentadas en las direcciones YZ y, por ende, en la percepción del confort por parte de los pasajeros. Este hallazgo destaca la importancia de considerar múltiples variables y enfoques en el estudio del confort en la conducción, y podría ser objeto de futuras investigaciones para comprender mejor sus implicaciones y aplicaciones prácticas.

Adicionalmente, se exploró la aplicación de criterios que unifican las tres direcciones X, Y y Z en un solo parámetro, sin embargo, no se observó una mejora significativa en las correlaciones con el confort percibido. A pesar de los esfuerzos por sintetizar las mediciones de aceleración en un único criterio, los resultados sugieren que las diferencias en las experiencias de los pasajeros durante la conducción no pueden ser completamente capturadas por un único valor agregado. Esto resalta la complejidad de la experiencia del confort en la conducción y la importancia de considerar múltiples variables y enfoques en su evaluación. Además, destaca la necesidad de desarrollar métodos más refinados y específicos para evaluar el confort en función de las diversas dimensiones y aspectos de la experiencia del usuario durante los trayectos.

ANEXO 1: ECUACIONES DE CONFORT

Ecuaciones que relacionan el confort general con parámetros, siendo y el valor del confort y x el parametro a estudiar:

	PARÁMETRO	ECUACIÓN	R^2
1.	Smith yz	$y = 1.4431x - 1.2533$	0.8584
2.	RMSayz	$y = -32.665x + 7.8015$	0.8219
3.	Smith y	$y = 0.8166x + 3.3623$	0.8216
4.	RMSay	$y = -32.663x + 7.7964$	0.8216
5.	Smith	$y = 0.8049x + 3.3601$	0.8107
6.	RMSaxy	$y = -32.194x + 7.7304$	0.8107
7.	RMSaxyz	$y = -32.138x + 7.7299$	0.8106
8.	RMSaz	$y = -112.82x + 7.8194$	0.7588
9.	RMSdayz	$y = -9.1186x + 7.0373$	0.7529
10.	RMSdaxyz	$y = -7.7489x + 6.6926$	0.7361
11.	Smith xyz	$y = 0.5437x + 3.9232$	0.6883
12.	RMSdaz	$y = -18.681x + 10.579$	0.6509
13.	RMSdaxz	$y = -13.755x + 8.9044$	0.6223
14.	Smith xz	$y = 1.7094x - 3.075$	0.5432
15.	RMSaxz	$y = -68.376x + 6.2071$	0.5432
16.	RMSdaxy	$y = -15.016x + 6.0994$	0.529
17.	RMSdax	$y = -12.227x + 5.3362$	0.4359
18.	RMSday	$y = -34.867x + 8.3975$	0.4217
19.	Smith x	$y = 0.5029x + 2.1673$	0.3698
20.	Smith z	$y = 0.5029x + 2.1673$	0.3698
21.	RMSax	$y = -20.117x + 4.8983$	0.3698

Tabla 11

Ecuaciones que relacionan el confort cervical con parámetros, siendo y el valor del confort y x el parametro a estudiar:

	PARÁMETRO	ECUACIÓN	R^2
1.	Smith y	$y = 0.8933x + 3.0988$	0.8888
2.	RMSay	$y = -35.731x + 7.9493$	0.8496
3.	RMSday	$y = -36.546x + 8.3728$	0.4003

Tabla 12

Ecuaciones que relacionan el confort del movimiento del tronco y caderas con parámetros, siendo y el valor del confort y x el parametro a estudiar:

	PARÁMETRO	ECUACIÓN	R^2
1.	RMSay	$y = -42.869x + 9.1436$	0.8888
2.	Smith y	$y = 1.0717x + 3.3241$	0.8496
3.	RMSday	$y = -39.832x + 9.0631$	0.3456

Tabla 13

REFERENCIAS

- Smith C. C., McGehee, D.Y., Healey, A. J. The Prediction of Passenger Riding Comfort From Acceleration Data : Research Report / U.S. Department of Transportation Office of University Research Washington, D. C. 20590 ; Council for Advanced Transportation Studies. The University of Texas at Austin. - Austin, Texas 78712 : 1976. - RR 16.
- Faris W.F., BenLahcene, Z. and Hasbullah, F. Ride quality of passenger cars: an overview on the research trends // *Int. J. Vehicle Noise and Vibration*. - 2012. - 3 : Vol. 8. - págs. 185–199..
- Rajamani R. *Vehicle Dynamics and Control* // Springer. - New York : 2006.
- Gillespie T.D. and Karamihas, S.M. Simplified models for truck dynamic response to road input // *Heavy Vehicle Systems*. - 2000. - 1 : Vol. 7. - págs. 52-63.
- Gillespie T.D. *Heavy truck ride Warrendale* // Society of Automotive Engineers, Inc.. - PA, USA : 1985. - Publication SP-607.
- Gillespie T.D., Sayers, M.W. and Segel, L. Calibration of response-type road roughness measuring systems // *Transportation Research Board*. - Ann Arbor, MI : 1980. - 228.
- Soliman A.M.A., Abd Allah, S.A., El-Beter, A.A. and Hamid, M.S. Effect of suspension spring stiffness on vehicle dynamics // *Heavy Vehicle System, A Series of the Int. J. of Vehicle Design*. - 2001. - 3/4 : Vol. 8. - págs. 316-334.
- Ihsan S.I., Ahmadian, M., Faris, W.F. and Blancard, E.D. Ride performance analysis of half-car model for semi-active system using RMS as performance criteria // *Shock and Vibration*. - 2009. - 6 : Vol. 16. - págs. 593– 605.
- Ihsan S.I., Faris, W.F. and Ahmadian, M. Analysis of control policies and dynamic response of a Q-car 2- DOF semi active system // *Shock and Vibration*. - 2008. - 5 : Vol. 15. - págs. 573-582.
- Ihsan S.I., Faris, W.F. and Ahmadian, M. Dynamics and control policies analysis of semiactive active suspension systems using a full-car model // *International Journal of Vehicle Noise and Vibration*. - 2007. - 4 : Vol. 3. - págs. 370–405.
- Janeway R. N. *Vehicle Vibration Limits to Fit he Passenger* // *S.A.E. J.*, 1948. - August : Vol. 56. - págs. 48- 49.
- Janeway R.N. *A practical approach to truck ride instrumentation and evaluation – a summary* // *SAE Paper* . - 1966. - 660140.
- Butkunas A. A. *Power Spectra Density and Ride Evaluation*: *S.A.E. Transactions* No. 660138, 1966. - págs. 681-687.
- Butkunas A.A. *Power spectral density and ride evaluation* // *SAE Paper*. - 1966. - 660138. - págs. 681–687
- Van Deusen B.D. *Human response to vehicle vibration* // *SAE Paper*. - 1968. - 680090.
- Allen R.E. *Limits of ride quality through cab isolation* // *SAE Paper* . 1975, 750165.
- Dempsey T.K., Leatherwood, J.D. and Clevenson, S.A. *Development of noise and vibration ride*

comfort criteria // J. of Acoustical Society of America. - 1979. - 1 : Vol. 65. - págs. 124-132

Benlahcene Z., Faris, W.F. and Ihsan, S.I. Analysis and simulation of semi-active suspension control policies for two-axle off-road vehicle using full model // International Conference on Mechatronics, Electronics and Automation Engineering (ICMAAE). - 2011.

Castillo Camacho, Miguel Ángel. Estudio del confort en la conducción de turismos y motocicletas. Sevilla: Escuela Técnica Superior de Ingeniería, Universidad de Sevilla, 2021.