



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE CUENCA

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

**ANÁLISIS DEL CONFORT EN UN CHEVROLET AVEO EN LAS VÍAS DE ADOQUÍN Y
ASFALTO DE LA CIUDAD DE CUENCA**

Trabajo de titulación previo a la obtención del
título de Ingeniero Automotriz

AUTORES: BILLY FERNANDO GUTAMA GUTAMA

JAVIER FERNANDO UYAGUARI PLACENCIA

TUTOR: ING. JUAN PABLO SINCHI RIVAS, MSc.

Cuenca - Ecuador

2024

CERTIFICADOS DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACION

Nosotros, Billy Fernando Gutama Gutama con documento de identificación N° 0106621790 y Javier Fernando Uyaguari Placencia con documento de identificación N° 0106962608; manifestamos que:

Somos autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

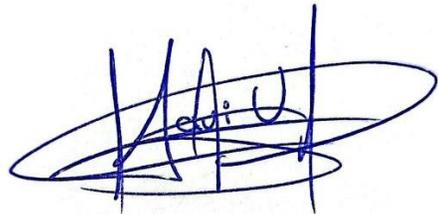
Cuenca, 02 de enero del 2024

Atentamente,



Billy Fernando Gutama Gutama

0106621790



Javier Fernando Uyaguari Placencia

0106962608

**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Nosotros, Billy Fernando Gutama Gutama con documento de identificación N° 0106621790, y Javier Fernando Uyaguari Placencia con documento de identificación N° 0106962608, manifestamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Proyecto técnico: “Análisis del confort en un Chevrolet Aveo en las vías de adoquín y asfalto de la ciudad de Cuenca”, el mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Automotriz, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

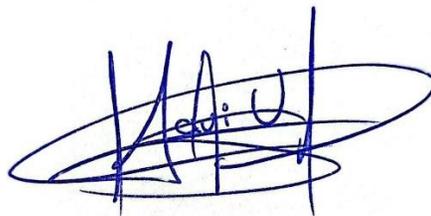
Cuenca, 02 de enero del 2024

Atentamente,



Billy Fernando Gutama Gutama

0106621790



Javier Fernando Uyaguari Placencia

0106962608

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Juan Pablo Sinchi Rivas con documento de identificación N° 0104168794, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: ANÁLISIS DEL CONFORT EN UN CHEVROLET AVEO EN LAS VÍAS DE ADOQUÍN Y ASFALTO DE LA CIUDAD DE CUENCA, realizado por Billy Fernando Gutama Gutama con documento de identificación N° 0106621790 y por Javier Fernando Uyaguari Placencia con documento de identificación N° 0106962608, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Proyecto técnico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 02 de enero del 2024

Atentamente,



Ing. Juan Pablo Sinchi Rivas, MSc.

0104168794

DEDICATORIA

Este proyecto está dedicado a Dios, por sus bendiciones, que me han proporcionado la fortaleza necesaria para superar desafíos desde el comienzo de mi vida. Asimismo, va dedicada de manera especial a mis padres, Luzmila Placencia y Ángel Duchitanga, así como a mis abuelitos, Otilia Marca y Daniel Placencia, por su apoyo inquebrantable. Igualmente, extendo esta dedicación a mis padrinos, José Pulla y Ruth Placencia, quienes confiaron en mis capacidades para alcanzar este gran logro. A toda mi familia, agradezco su constante atención, ánimos y palabras de aliento que han sido fundamentales en cada etapa de mi carrera.

Javier Fernando Uyaguari Placencia

DEDICATORIA

Quiero dedicar con cariño y gratitud este proyecto a mis padres, José Salustino Gutama Paucar y María Cristina Gutama Gutama, que creyeron en mi capacidad, dedicaron tiempo y paciencia, sacrificando parte de sus vidas para que lograra mi objetivo profesional. Sin su sacrificio, no habría superado las adversidades y alcanzado esta meta. Este trabajo es un homenaje a su amor, sacrificio y esfuerzo.

Billy Fernando Gutama Gutama

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi gratitud a Dios por haberme proporcionado la fortaleza necesaria para superar los desafíos que se presentaron en el camino. También agradezco a mis padres por otorgarme el valioso regalo del aprendizaje, permitiéndome presenciar ahora los frutos de mi esfuerzo diario. Este logro, que antes solo era un anhelo, se ha convertido en una meta alcanzada, y estoy seguro de que vendrán más éxitos en el futuro.

Quiero dedicar un reconocimiento especial a nuestro tutor, el Ingeniero Juan Sinchi, por su valiosa orientación, consejos y la amistad brindada durante la ejecución de este proyecto.

Además, quiero expresar mi agradecimiento al Ingeniero Néstor Rivera por su guía y disposición, ya que con su conocimiento y respaldo nos acompañó en cada etapa de este trabajo.

Javier Fernando Uyaguari Placencia

AGRADECIMIENTO

Mi profundo reconocimiento y agradecimiento a mis padres y hermanos, quienes creyeron en mí y me brindaron su respaldo sincero durante esta prolongada travesía.

Asimismo, deseo expresar mi gratitud al Ingeniero Juan Sinchi, director de nuestra tesis, por depositar su confianza en nosotros, dedicarnos su tiempo y darnos su apoyo para concluir con éxito este proyecto.

De igual forma, mi más sincera gratitud al Ingeniero Néstor Rivera por su colaboración y apoyo en el desarrollo de este proyecto.

Billy Fernando Gutama Gutama

RESUMEN

Este proyecto da a conocer el confort en un Chevrolet Aveo Family, evaluando las condiciones de las vías de adoquín y asfalto en la ciudad de Cuenca. Se emplea un estudio de los espectros de vibración característicos, obtenidos mediante la modificación de parámetros como presión de neumáticos, peso de ocupantes, velocidad del vehículo y tipo de superficie. La comparación se realiza comparando los indicadores estadísticos de los espectros característicos. El primer capítulo se inicia describiendo la finalidad y los elementos del sistema de suspensión, seguido por el desarrollo metodológico de la investigación. Se detallan las definiciones, diseños y etapas básicas de un diseño experimental, junto con el procedimiento experimental y el uso de software adecuado. El experimento implica la recolección de datos de vibración en superficies de adoquín y asfalto mediante Freematics, con programación para obtener características de las muestras. La base de datos resultante se emplea para el análisis estadístico con Minitab®. En el tercer capítulo, se analizan visualmente las señales obtenidas, utilizando gráficas de residuos, efectos principales e interacciones de las variables de respuesta. Se examinan características estadísticas como valor medio, varianza, desviación estándar, mediana, máximo, mínimo, potencia, energía, factor de Curtosis, asimetría y factor de cresta. También se evalúan los espectros más relevantes entre las condiciones originales del vehículo y los valores óptimos derivados del análisis.

***Palabras Claves:** Confort, Adoquín, Asfalto, Freematics, Espectros de vibración.*

ABSTRAC

This project reveals the comfort in a Chevrolet Aveo Family, evaluating the conditions of the cobblestone and asphalt roads in the city of Cuenca. A study of the characteristic vibration spectra is used, obtained by modifying parameters such as tire pressure, occupant weight, vehicle speed and type of surface. The comparison is carried out by comparing the statistical indicators of the characteristic spectra. The first chapter begins by describing the purpose and elements of the suspension system, followed by the methodological development of the research. The definitions, designs and basic stages of an experimental design are detailed, along with the experimental procedure and the use of appropriate software. The experiment involves collecting vibration data on cobblestone and asphalt surfaces using Freematics, with programming to obtain characteristics of the samples. The resulting database is used for statistical analysis with Minitab®. In the third chapter, the signals obtained are analyzed visually, using residual plots, main effects and interactions of the response variables. Statistical characteristics such as mean value, variance, standard deviation, median, maximum, minimum, power, energy, Kurtosis factor, skewness and crest factor are examined. The most relevant spectra between the original conditions of the vehicle and the optimal values derived from the analysis are also evaluated.

Keywords: *Comfort, Cobblestone, Asphalt, Freematics, Vibration spectra.*

INDICE GENERAL

DEDICATORIA.....	V
AGRADECIMIENTO	VII
RESUMEN	IX
ABSTRAC	1
1 INTRODUCCIÓN.....	19
2 PROBLEMA	20
2.1 Antecedentes	20
2.2 Importancia y Alcances	21
2.3 Delimitación.....	21
3 OBJETIVOS.....	22
3.1 Objetivo General:	22
3.2 Objetivo Específicos:	22
CAPÍTULO I	23
4 FUNDAMENTOS TEÓRICOS Y ESTADO DE ARTE	23
4.1 Sistema de suspensión.....	23

4.2	Función del sistema de suspensión del automóvil	23
4.3	Función y elementos del sistema de suspensión	25
4.3.1	Componentes elásticos de la suspensión.....	25
	Muelles.....	25
	Ballestas.....	26
	Barra de torsión.....	27
4.3.2	Componentes de amortiguación de la suspensión	29
4.3.3	Los amortiguadores cumplen las siguientes funciones:	29
4.3.4	Funcionamiento del amortiguador	30
4.4	Neumáticos.....	31
4.5	Características del neumático.....	32
4.6	Función del neumático	33
4.7	Componentes de un neumático	34
4.8	Comportamiento del automóvil en movimiento.....	36
4.8.1	Centro de balanceo y centro de gravedad	36
	Centro de balanceo.....	36

Centro de gravedad.	37
4.8.2 Transferencia de carga	37
Transferencia longitudinal.	38
Transferencia transversal.	38
Transferencia vertical.....	38
4.8.3 Oscilación	38
4.8.4 Masas suspendidas y no suspendidas.....	41
Masa suspendida.	41
Masa no suspendida.	42
4.9 Medición de Vibraciones.....	42
4.10 Herramientas y Equipos Utilizados para medición de vibraciones	43
4.10.1 Transductores de desplazamiento:	43
4.10.2 Transductor de velocidad.....	43
4.10.3 Acelerómetro.....	44
4.11 Respuesta humana a las vibraciones	45
4.12 Clasificación de las vibraciones	45

4.13	Normativas y límites de exposición	47
4.13.1	Límite de exposición:.....	48
4.13.2	Límite de capacidad reducida por fatiga:	48
4.13.3	Límite de confort reducido:	48
4.13.4	Limitaciones de exposición y Umbrales de Acción para la Exposición.	48
	Para la vibración transmitida al sistema mano-brazo.	48
	Para la vibración transmitida al cuerpo entero.....	48
4.14	Efectos Psicofisiológicos.....	48
4.14.1	Vibraciones mano-brazo	48
4.14.2	Vibraciones de cuerpo entero.....	49
4.15	Tabla de frecuencias y efectos producidos	51
4.16	El confort y las vibraciones	52
4.16.1	Confort	52
4.16.2	Generación de vibraciones.....	52
	Impacto del Tipo de Superficie Vial en la Generación de Vibraciones.....	52
	Tipos de superficies viales.	52

Flexibles:	53
Rígidos.	53
Semi-Rígidos.....	54
Articulados.	54
Impacto del estado de la suspensión en la Generación de Vibraciones.	55
CAPÍTULO II	56
5 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN Y PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL ...	56
5.1 Desarrollo de la metodología de la investigación	56
5.1.1 Experimentos Factoriales:.....	56
5.1.2 Diseño experimentos:.....	56
5.1.3 Unidad experimental.....	57
Variable de respuesta.....	57
Factores controlables.	57
Factores no controlables.	58
Factores estudiados.	58
Niveles y tratamientos.....	58

5.2	Etapas en el diseño de experimentos.....	58
5.2.1	Planeación y realización	59
5.2.2	Planear y organizar el trabajo experimental.....	60
5.2.3	Realizar el experimento.	60
5.2.4	Análisis	60
5.2.5	Interpretación	60
5.2.6	Control y conclusiones finales.....	61
5.3	Consideraciones prácticas del uso de métodos estadísticos	61
5.3.1	El conocimiento no estadístico es vital.....	61
5.3.2	Distinguir entre la significancia estadística y la relevancia práctica.	62
5.3.3	Priorizar experimentación progresiva sobre experimento único	62
5.4	Definiciones básicas.....	62
5.4.1	Bloqueo.....	62
5.5	Categorización y Elección de Diseños Experimentales	63
5.6	Obtención de datos de las vibraciones	64
5.6.1	Antecedentes del problema a resolver	64

5.6.2	Planteamiento de la hipótesis.....	64
5.6.3	Selección de variables independientes.....	64
5.6.4	Tratamientos.....	65
5.6.5	Lugar sobre el que se va a realizar la medida	68
5.6.6	Variable de respuesta.....	68
5.6.7	Variables de boqueo	69
	Clima.....	69
	Experiencia del conductor.....	69
	Estado del vehículo.....	69
5.6.8	Desarrollo del experimento.....	70
5.6.9	Preparación del dispositivo para la toma de datos	70
5.6.10	Instalación del Acelerómetro en el Vehículo.....	71
5.6.11	Obtención de datos.....	72
5.6.12	Procesamiento de los datos en Matlab	73
	Obtención de los datos del acelerómetro.	73
	Obtención de la resultante de los 3 ejes.	75

Procesamiento de la magnitud de los ejes.....	76
5.7 Obtención de parámetros estadísticos	77
5.8 Obtención de graficas de los indicadores estadísticos	79
CAPITULO III.....	82
6 ANÁLISIS DE RESULTADOS	82
6.1 Nomenclatura de las muestras y caracterización de espectros	82
6.2 Análisis de los espectros característicos.....	84
6.2.1 Análisis de los espectros más significativos	84
6.3 Evaluación de las características más relevantes	86
6.3.1 Análisis de residuos	86
6.3.2 Análisis de efectos principales.....	87
6.3.3 Análisis de interacciones.....	87
6.4 Análisis de las características destacadas.....	87
6.4.1 Análisis de Residuos.....	87
Gráficas de Residuos para Valor Medio.....	87
Gráficas de residuos para Varianza.	88

Gráficas de residuos para Desviación Estándar.	89
Gráficas de residuos para Mediana.	90
Gráficas de residuos del Máximo.	91
Gráficas de residuos para Mínimo.	92
Gráfica de residuos para Rango.	93
Gráficas de residuos para Potencia.	94
Gráficas de residuos para Energía.....	95
Gráficas de residuos para Factor De Curtosis.....	96
Gráfica de residuos para Asimetría.	97
Gráfica de residuos para Factor de Cresta.	98
6.4.2 Análisis de Efectos Principales.....	100
Gráfica de Efectos Principales para Valor Medio.	100
Gráfica de Efectos Principales para Varianza.	100
Gráfica de Efectos Principales para Desviación Estándar.	101
Gráfica de Efectos Principales para Mediana.	102
Gráfica de Efectos Principales para Máximo.....	102

Gráfica de Efectos Principales para Mínimo.	103
Gráfica de Efectos Principales para Potencia.	104
Gráfica de Efectos Principales para Energía.....	104
Gráfica de efectos principales para Factor De Curtosis.....	105
Gráfica de Efectos Principales para Asimetría.....	106
Gráfica de Efectos Principales para Factor de Cresta.....	106
6.4.3 Análisis de Interacciones	107
Gráfica de Interacción para Valor Medio.....	107
Gráfica de Interacción para Varianza.....	108
Gráfica de Interacción para Desviación Estándar.....	109
Gráfica de Interacción para Mediana.....	110
Gráfica de Interacción para Máximo.....	111
Gráfica de Interacción para Mínimo.....	112
Gráfica de Interacción para Potencia.....	113
Gráfica de Interacción para Energía.....	114
Gráfica de Interacción para Factor De Curtosis.....	115

Gráfica de Interacción para Asimetría.	116
Gráfica de Interacción para Factor De Cresta.	117
6.4.4 Optimización del MÁXIMO, RANGO Y FACTOR CRESTA en asfalto	118
6.4.5 Optimización del MÁXIMO, RANGO Y FACTOR CRESTA en adoquín	119
7 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	121
7.1 CONCLUSIONES	121
7.2 RECOMENDACIONES	123
8 REFERENCIAS	124

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 <i>Ubicación GPS</i>	21
Figura 2 <i>Función de la suspensión</i>	23
Figura 3 <i>Sistema de suspensión</i>	24
Figura 4 <i>Elementos del sistema de suspensión</i>	25
Figura 5 <i>Funcionamiento del muelle</i>	26
Figura 6 <i>Suspensión rígida ballesta</i>	27
Figura 7 <i>Barra de torsión</i>	28
Figura 8 <i>Amortiguadores</i>	29
Figura 9 <i>Funcionamiento del amortiguador</i>	31
Figura 10 <i>Neumático radial</i>	32
Figura 11 <i>Componente del neumático</i>	34
Figura 12 <i>Ejes geométricos y movimiento del vehículo</i>	37
Figura 13 <i>Oscilaciones del vehículo</i>	39
Figura 14 <i>Oscilación de un muelle</i>	40
Figura 15 <i>Masa suspendida y masa no suspendida del vehículo</i>	41

Figura 16 <i>Transductor de desplazamiento</i>	43
Figura 17 <i>Transductor de velocidad</i>	44
Figura 18 <i>Acelerómetro</i>	45
Figura 19 <i>Ejes de referencia para la medida de vibraciones de cuerpo entero</i>	46
Figura 20 <i>Ejes de referencia para la medida de vibraciones mano-brazo</i>	47
Figura 21 <i>Pavimento flexible</i>	53
Figura 22 <i>Pavimento rígidos</i>	54
Figura 23 <i>Pavimentos articulados</i>	55
Figura 24 <i>Variables de entrada y salida</i>	57
Figura 25 <i>Factores que intervienen en la unidad experimental</i>	58
Figura 26 <i>Variables del proceso</i>	65
Figura 27 <i>Sujeción del Freematics One y cableado</i>	68
Figura 28 <i>Variables de bloqueo</i>	70
Figura 29 <i>Esquema de conexión Freematics</i>	71
Figura 30 <i>Datos del espectro de vibración</i>	73
Figura 31 <i>Apertura del software Matlab</i>	74

Figura 32 <i>Ventana con ingreso de la programación</i>	75
Figura 33 <i>Espectro magnitud</i>	76
Figura 34 <i>Magnitud de ejes procesando</i>	77
Figura 35 <i>Obtención parámetros estadísticos</i>	78
Figura 36 <i>Indicadores estadísticos en Excel</i>	78
Figura 37 <i>Indicadores estadísticos en Minitab</i>	79
Figura 38 <i>Análisis del diseño experimental</i>	80
Figura 39 <i>Gráficas de residuos</i>	80
Figura 40 <i>Gráficas de efectos principales</i>	81
Figura 41 <i>Gráficas de interacciones</i>	81
Figura 42 <i>Espectros más significativos en adoquín</i>	84
Figura 43 <i>Espectros más significativos en asfalto</i>	85
Figura 44 <i>Gráficas de residuos para Valor Medio</i>	88
Figura 45 <i>Gráficas de residuos para Varianza</i>	89
Figura 46 <i>Gráficas de residuos para Desviación Estándar</i>	90
Figura 47 <i>Gráficas de residuos para Mediana</i>	91

Figura 48 <i>Gráficas de residuos para Máximo</i>	92
Figura 49 <i>Gráficas de residuos para Minino</i>	93
Figura 50 <i>Gráficas de residuos para Rango</i>	94
Figura 51 <i>Gráficas de residuos para potencia</i>	95
Figura 52 <i>Gráficas de residuos para energía</i>	96
Figura 53 <i>Gráficas de residuos para Factor de Curtosis</i>	97
Figura 54 <i>Gráficas de residuos para Asimetría</i>	98
Figura 55 <i>Gráficas de residuos para Factor Cresta</i>	99
Figura 56 <i>Gráfica de efectos principales para Valor Medio</i>	100
Figura 57 <i>Gráfica de efectos principales para Varianza</i>	101
Figura 58 <i>Gráfica de efectos principales para desviación estándar</i>	101
Figura 59 <i>Gráfica de efectos principales para mediana</i>	102
Figura 60 <i>Gráfica de efectos principales para máximo</i>	103
Figura 61 <i>Gráfica de efectos principales para mínimo</i>	103
Figura 62 <i>Gráfica de efectos principales para potencia</i>	104
Figura 63 <i>Gráfica de efectos principales para energía</i>	105

Figura 64 <i>Gráfica de efectos principales para curtosis</i>	105
Figura 65 <i>Gráfica de efectos principales para asimetría</i>	106
Figura 66 <i>Gráfica de efectos principales para factor de cresta</i>	107
Figura 67 <i>Gráfica de interacción para Valor Medio</i>	108
Figura 68 <i>Gráfica de interacción para varianza</i>	109
Figura 69 <i>Gráfica de interacción para desviación estándar</i>	110
Figura 70 <i>Gráfica de interacción para mediana</i>	111
Figura 71 <i>Gráfica de interacción para máximo</i>	112
Figura 72 <i>Gráfica de interacción para mínimo</i>	113
Figura 73 <i>Gráfica de interacción para potencia</i>	114
Figura 74 <i>Gráfica de interacción para energía</i>	115
Figura 75 <i>Gráfica de interacción para factor curtosis</i>	116
Figura 76 <i>Gráfica de interacción para asimetría</i>	117
Figura 77 <i>Gráfica de interacción para factor de cresta</i>	118
Figura 78 <i>Optimización del máximo, rango y factor cresta en asfalto</i>	119
Figura 79 <i>Optimización del máximo, rango y factor cresta en adoquín</i>	120

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Frecuencias que puede producir un vehículo.....	51
Tabla 2 Indicadores estadísticos	65
Tabla 3 Nomenclatura de espectros	82
Tabla 4 Resultados de optimización en asfalto y adoquín	120

1 INTRODUCCIÓN

Este proyecto se orienta hacia el análisis del confort en un vehículo Chevrolet Aveo, el cual fue uno de los automóviles más vendidos en los años 2012, 2013 y 2014 en la provincia de Azuay. En la ciudad de Cuenca, las vías predominantes están revestidas con adoquines y asfalto, siendo estas las más representativas del entorno. Es imperativo comprender las frecuencias y amplitudes que estos pavimentos emiten, dada su relevancia.

Las pruebas se llevan a cabo utilizando un instrumento conocido como Freematics One +, que incorpora internamente un acelerómetro capaz de registrar los movimientos en los tres ejes (x, y, z). Al procesar estos datos mediante el software Matlab, se generan gráficos que representan los espectros vibratorios. Estas representaciones gráficas permiten realizar un análisis para obtener tanto la amplitud como la frecuencia de las vibraciones presentes en las vías.

2 PROBLEMA

Las vibraciones generadas por las vías pueden afectar la experiencia de conducción y la salud tanto física como psicológica de los ocupantes. En el centro histórico de la ciudad de Cuenca, gran parte de sus calles están pavimentadas con adoquines, que plantean un desafío en términos de vibraciones en los vehículos, y no se ha evaluado si están dentro de los estándares recomendados. Por otro lado, en otras áreas de las calles de Cuenca, se utiliza el asfalto como material de pavimentación, lo que introduce un tipo diferente de vibración, que también requiere evaluación. Por tanto, es necesario realizar estos análisis para garantizar condiciones que promuevan un mayor confort en la conducción.

2.1 Antecedentes

La comodidad busca minimizar las incomodidades asociadas al movimiento y ofrecer una experiencia placentera y relajada a los ocupantes del habitáculo. En este sentido, el análisis de vibraciones se convierte en una necesidad fundamental, particularmente en el contexto urbano de la ciudad de Cuenca.

En la Universidad Politécnica Salesiana se llevó a cabo una investigación titulada 'Estudio de los efectos de los diferentes tipos de calzada en la suspensión delantera de un vehículo Chevrolet Steem mediante el análisis de vibraciones'. Este estudio analizó cómo los diversos tipos de pavimento afectan la suspensión del vehículo. La investigación realizada sirve como punto de partida y referencia fundamental para comprender cómo las condiciones de las vías de adoquín y asfalto inciden en la experiencia de confort del Chevrolet Aveo en la ciudad de Cuenca.

2.2 Importancia y Alcances

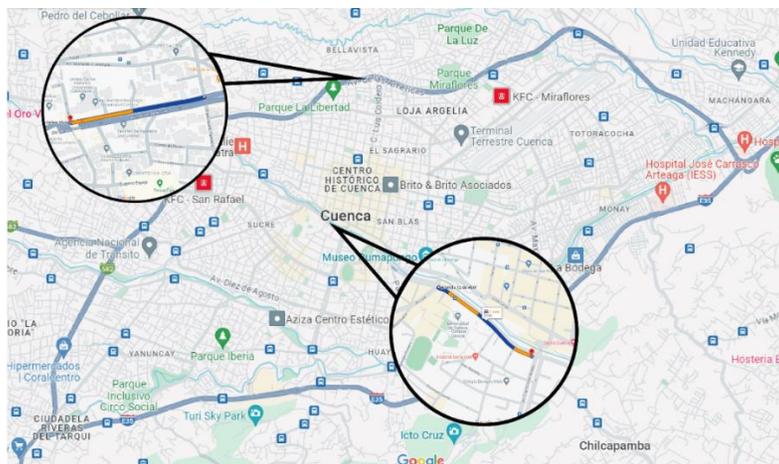
El análisis del confort en un Chevrolet Aveo en las vías de adoquín y asfalto de Cuenca tiene una importancia significativa para el sector automotriz. Este estudio se enfoca en comprender cómo el tipo de pavimento, y otros factores influyen en la comodidad de los ocupantes del vehículo, ofreciendo valiosa información para mejorar el diseño de la suspensión y la experiencia de conducción. Sus resultados serán útiles para propietarios, conductores, ingenieros y urbanistas, proporcionando datos con los cuales se podrá optimizar el confort en la conducción en las carreteras urbanas de Cuenca.

2.3 Delimitación

El proyecto de Tesis se llevará a cabo en la Ciudad de Cuenca - Ecuador, concretamente en dos ubicaciones específicas: en la avenida de las Américas, entre la Calle de los Balcones y la Calle Tarqui; y en la Avenida 12 de abril, entre la Avenida Loja y la Avenida Fray Vicente Solano.

Figura 1

Ubicación GPS



Nota. Lugar donde se tomaron los datos. Tomado de: (Google Maps)

3 OBJETIVOS

3.1 Objetivo General:

Determinar el Confort en un vehículo Chevrolet Aveo en las Vías de Adoquín y Asfalto en la Ciudad de Cuenca.

3.2 Objetivo Específicos:

- Establecer una revisión del estado del arte a través de fuentes bibliográficas relevantes que contribuyan al desarrollo de la investigación.
- Obtener una base de datos mediante la implementación de acelerómetros en un vehículo automotor para determinar las frecuencias de las vías de adoquín y asfalto de la ciudad de Cuenca.
- Analizar los resultados obtenidos mediante una estadística descriptiva y presentación de datos en forma de tabla y gráficos, para el establecimiento de las conclusiones.

CAPÍTULO I

4 FUNDAMENTOS TEÓRICOS Y ESTADO DE ARTE

4.1 Sistema de suspensión

El sistema de suspensión de un automóvil figura 2, tiene la finalidad de sostener el peso del vehículo y facilitar su desplazamiento de manera flexible y regulada a lo largo de sus ejes, al mismo tiempo que absorbe la energía generada por las imperfecciones del camino para preservar la estabilidad del automóvil. Esto conduce a un mayor confort y la seguridad de los ocupantes.

Figura 2

Función de la suspensión



Nota. Funcionamiento de la suspensión del vehículo. Tomado de: (González et al., 2017)

4.2 Función del sistema de suspensión del automóvil

La función principal del sistema de suspensión figura 3, es garantizar que las ruedas permanezcan en contacto con la carretera, manteniendo así el control del vehículo. (Gomez, 2020)

Figura 3

Sistema de suspensión



Nota. Sistema de suspensión del automóvil. Tomado de: (Edporsan, 2017)

Tambien cumplen un papel importante como:

- a) **Absorber impactos y vibraciones:** El sistema de suspensión absorbe las irregularidades del terreno, como baches y desniveles, para evitar que estas vibraciones y sacudidas lleguen a la carrocería y a los ocupantes del vehículo.
- b) **Mantener el contacto de las ruedas con la superficie:** La suspensión permite que las ruedas mantengan un contacto constante con la carretera, lo que garantiza la adherencia y la tracción, contribuyendo a la estabilidad y seguridad del vehículo.
- c) **Mejorar la estabilidad y el control:** El sistema de suspensión ayuda a mantener el equilibrio del vehículo durante las curvas y maniobras, lo que resulta en una mejor respuesta de la dirección y un mayor control del conductor.
- d) **Minimizar el desgaste de los neumáticos:** Al absorber las irregularidades de la carretera, la suspensión reduce el desgaste de los neumáticos, lo que prolonga su vida útil y reduce los costos de mantenimiento.

- e) **Aumentar la calidad del viaje:** La suspensión proporciona una experiencia de conducción más suave y placentera al reducir la sensación de los impactos del terreno.

4.3 Función y elementos del sistema de suspensión

La primera es la función de amortiguación, que previene el excesivo movimiento oscilante de los componentes de la suspensión y evita que se transmita al resto del vehículo.

La segunda es la capacidad de ser elástico, lo que evita que el chasis sufra impactos bruscos debido a las imperfecciones del terreno.

Figura 4

Elementos del sistema de suspensión



Nota. Componentes elásticos y amortiguador de la suspensión. Tomado de: (Francisco & Carlos, 2001)

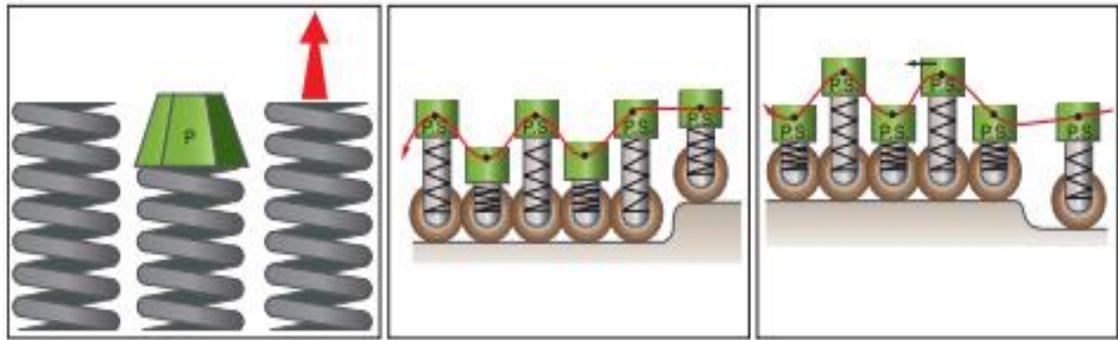
4.3.1 Componentes elásticos de la suspensión

Muelles. Consisten en una varilla cilíndrica (de 10 a 14 mm de diámetro) de acero especial enrollada en espiral. Los resortes helicoidales actúan torsionalmente, girando en respuesta a la

fuerza externa que soportan. Cuando se carga el resorte figura 5, este giro reduce la longitud del resorte, y cuando cesa la fuerza que actúa sobre el resorte, el resorte regresa a su posición original debido a su elasticidad. El resorte tiene excelentes propiedades de elasticidad y su función es absorber los golpes del vehículo debido a las irregularidades de la superficie de la carretera. Pero tiene poca capacidad para almacenar energía, por lo que se necesitan amortiguadores para absorber la reacción del muelle. (González et al., 2017)

Figura 5

Funcionamiento del muelle

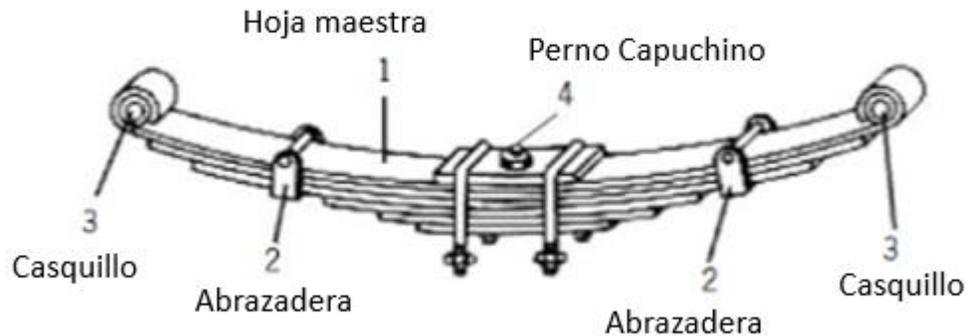


Nota. Diversas posiciones del muelle y funcionamiento. Tomado de: (González et al., 2017)

Ballestas. En la figura 6, consisten en un conjunto de placas (1) de acero especial para resortes unidas por abrazaderas (2) que se deslizan entre las placas cuando se deforman por el peso del soporte. La placa superior, llamada placa de cabeza, está doblada en sus extremos para formar orificios sobre los cuales se montan los casquillos (3) para ser empernados o empernados a los soportes del marco. El número y espesor de las placas depende de las tensiones que deben soportar. Todas las hojas se fijan en el medio mediante tornillos con tuercas llamados capuchino (4). La suspensión de ballestas se utiliza generalmente en vehículos con ejes delantero y traseros rígidos.

Figura 6

Suspensión rígida ballesta



Nota. Partes de la ballesta. Tomado de: (Sanchez, 2021)

Las ballestas tienen una cierta curvatura que tiende a enderezarse cuando la rueda sube por irregularidades de la superficie de la carretera, extendiendo así su longitud, por lo que su conexión al chasis debe tener un sistema que les permita absorber este estiramiento. Normalmente, esta unidad está ubicada en la parte trasera de la ballesta y está atornillada al chasis.

Además, el bucle de la ballesta contiene un casquillo flexible llamado Silent-block, que consta de dos casquillos de acero que están conectados entre sí a través de un casquillo de goma. El casquillo de goma se coloca entre los dos bajo presión para actuar como una pequeña conexión de movimiento que no hace ruido y no requiere lubricación.

Barra de torsión. Una barra de torsión es un componente de la suspensión de un vehículo figura 7, normalmente fabricado en acero, cuya función es reducir el movimiento del chasis en las curvas y mantener la geometría del vehículo figura 12. De esta manera se puede conseguir una mayor estabilidad y, por tanto, seguridad. La posición de montaje de estas barras puede ser

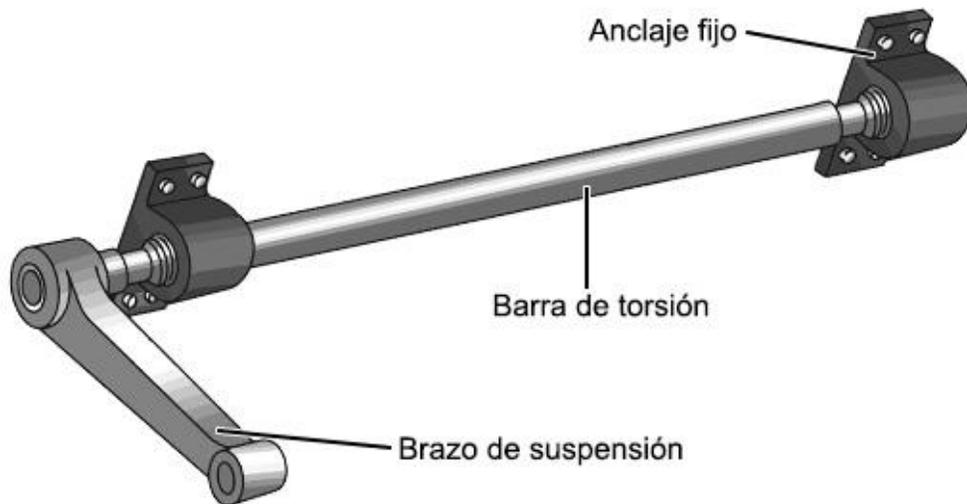
longitudinal o transversal. Como mencionamos, el material con el que están fabricados es acero común, pero también está reforzado mediante tratamiento térmico o estiramiento para una mejor resistencia a la fatiga.

La función de este componente es controlar las vibraciones y el balanceo que se producen cuando el coche maniobra o toma una curva. La inclusión de este componente provoca un comportamiento diferente en el automóvil en el que se instala. Normalmente este componente está unido al bastidor e indirectamente a las ruedas. Su parte trasera suele estar conectada al chasis, mientras que la parte delantera de la barra está conectada a la suspensión.

Una barra de torsión crea un efecto de palanca cuando las ruedas se mueven verticalmente, luego se mueve la barra y se devuelve a su posición original.

Figura 7

Barra de torsión



Tomado de: (González et al., 2017)

4.3.2 Componentes de amortiguación de la suspensión

Los amortiguadores de los vehículos (figura 8), son esenciales para la seguridad activa del vehículo ya que protegen a los ocupantes y otras partes del vehículo de impactos, choques y vibraciones.

Figura 8

Amortiguadores



Nota. Amortiguadores de un vehículo. Tomado de: (Motors, 2022)

4.3.3 Los amortiguadores cumplen las siguientes funciones:

- Su función principal es absorber las irregularidades de la calzada, evitando que estas se transmitan a la carrocería y a los ocupantes del vehículo.
- Garantizar un buen contacto de las ruedas con la calzada: Los amortiguadores evitan que las ruedas salten o se desplacen lateralmente, lo que garantiza una buena adherencia y una conducción más segura.

- Asegurar la estabilidad de marcha: Los amortiguadores ayudan a mantener el vehículo estable en curvas y en condiciones de mal firme.
- Disminuir las oscilaciones: Los amortiguadores reducen las vibraciones y los movimientos bruscos de la carrocería, lo que mejora el confort de marcha y reduce el desgaste de los componentes del vehículo.
- Evitar o disminuir el balanceo de la carrocería: Los amortiguadores ayudan a mantener la carrocería en su posición correcta, evitando que se balancee de forma excesiva.
- Disminuir el desgaste de los neumáticos y de los componentes del chasis: Los amortiguadores ayudan a proteger los neumáticos y los componentes del chasis del desgaste prematuro, prolongando su vida útil.

4.3.4 Funcionamiento del amortiguador

Un amortiguador típico consta de un cilindro lleno de un fluido (generalmente aceite) y un pistón que se mueve hacia arriba y hacia abajo dentro del cilindro figura 9.

Uno de los extremos del amortiguador está conectado al chasis, mientras que el otro extremo está conectado al eje de la rueda.

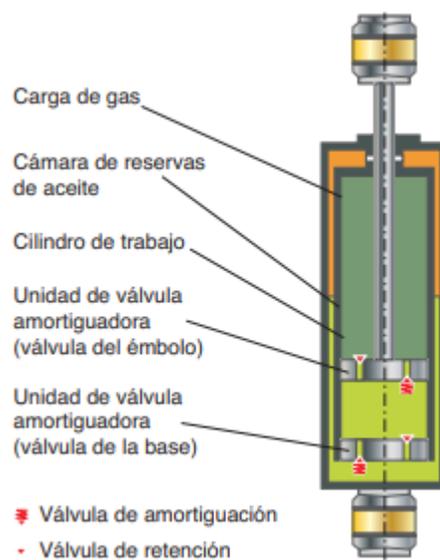
Lo mencionado, donde un extremo del amortiguador está unido al chasis y el otro al eje de la rueda, permite que el amortiguador controle eficazmente el movimiento vertical del chasis, contribuyendo a una conducción más suave y un mejor manejo del vehículo.

En cuanto al elemento de resistencia al retroceso, los amortiguadores suelen contener aceite, y algunos también incorporan gas (como nitrógeno) para proporcionar una resistencia adicional y

ayudar a mantener el equilibrio. Cuando el pistón del amortiguador se mueve hacia arriba y hacia abajo, el aceite se comprime, lo que crea resistencia y disipa la energía generada por el movimiento del resorte o la suspensión. La presencia de gas puede ayudar a controlar la velocidad de retorno del pistón y mantener el equilibrio del sistema.

Figura 9

Funcionamiento del amortiguador



Nota. Para completar el principio de funcionamiento del amortiguador, debemos considerar el volumen del vástago que se mueve con el pistón. Tomado de: (González et al., 2017)

4.4 Neumáticos

Un neumático figura 10, también conocido como, caucho o llanta, es un componente a base de caucho que se coloca en las ruedas de un vehículo para proporcionar tracción, estabilidad y comodidad.

Constituye el único punto de contacto del vehículo con el suelo, por lo que el comportamiento dinámico del vehículo depende en gran medida de los neumáticos: es decir, de cómo se mueve el vehículo sobre el suelo. Además, en gran medida, el neumático determina si la rueda puede cumplir adecuadamente sus funciones principales, como proporcionar tracción, permitir la dirección, absorber impactos, garantizar la estabilidad y sostener la carga. Sin embargo, para que esto sea posible, el neumático debe encontrarse en condiciones adecuadas, sin cortes, fisuras o deformaciones, y su presión de inflado debe ser la correcta. (Camós, 2012)

Figura 10

Neumático radial



Tomado de: (Galan, 2020)

4.5 Características del neumático

Se consideran ciertas características con el objetivo de alcanzar altos estándares de seguridad, comodidad y rendimiento en el vehículo. Algunas de estas características incluyen:

- a) Una fuerte adherencia en carreteras secas y mojadas, tanto en términos de agarre longitudinal como lateral.
- b) Reducción de la resistencia a la fricción durante el desplazamiento.
- c) Habilidad para resistir las fuerzas dinámicas que actúan desde el exterior.
- d) Durabilidad y resistencia al desgaste, entre otros factores.
- e) Reducción del ruido y de la generación de vibraciones al mínimo.
- f) Flexibilidad adecuada en direcciones radial, circunferencial y lateral.

4.6 Función del neumático

Los neumáticos desempeñan varias funciones esenciales en un vehículo, y estas funciones incluyen: (Lopez, 2017)

- **Tracción:** Los neumáticos proporcionan tracción al entrar en contacto con la carretera. La banda de rodadura, con sus patrones específicos, está diseñada para agarrar la superficie de la carretera y permitir que el vehículo se mueva hacia adelante, hacia atrás y gire de manera controlada.
- **Dirección:** Los neumáticos permiten al conductor dirigir el vehículo. Girando las ruedas delanteras hacia la izquierda o hacia la derecha, se cambia la dirección del vehículo, y los neumáticos transmiten esta acción al suelo.
- **Soporte y carga:** Los neumáticos también son responsables de soportar el peso del vehículo y su carga. Deben ser lo suficientemente fuertes para soportar la masa del vehículo y cualquier carga adicional sin deformarse excesivamente.

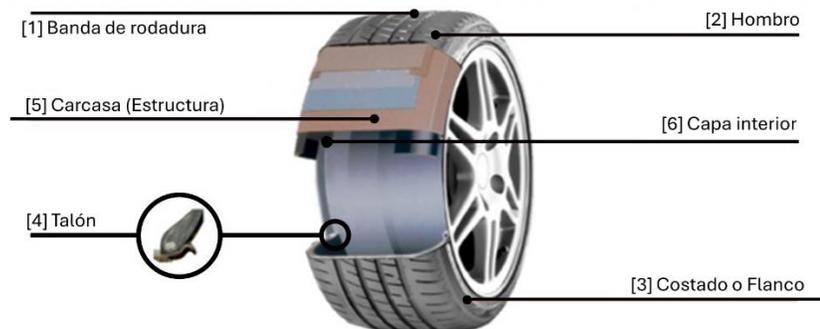
- **Amortiguación de impactos:** Los neumáticos ayudan a absorber impactos y vibraciones al circular por carreteras irregulares. El caucho y la estructura interna de los neumáticos actúan como elementos de amortiguación, lo que mejora la comodidad del viaje.
- **Seguridad:** Los neumáticos influyen significativamente en la seguridad de un vehículo. Un buen agarre y una banda de rodadura adecuada son cruciales para mantener el control del vehículo en diversas condiciones, como carreteras mojadas o resbaladizas.

4.7 Componentes de un neumático

Los neumáticos de un vehículo están compuestos (figura 11) por varios componentes esenciales que trabajan juntos para proporcionar el rendimiento necesario en la carretera. (Continental, 2019)

Figura 11

Componente del neumático



Nota. Un neumático tiene múltiples componentes, diseñados para brindar seguridad, tracción, comodidad y durabilidad en la conducción. Tomado de: (Plaza, 2018)

Algunos de los componentes principales de un neumático son:

- **Banda de rodadura:** La banda de rodadura es la parte exterior del neumático que entra en contacto directo con la carretera. Su diseño y patrón influyen en la tracción y el agarre del neumático en diferentes condiciones de la carretera.
- **Carcasa:** La carcasa es la estructura interna del neumático que le proporciona forma y rigidez. Está compuesto por varias capas de tejido, como tejido de poliéster o cordón de acero, y ayuda a mantener la forma del neumático, resistir la presión interna y soportar la carga del vehículo.
- **Talón:** Los talones son anillos de alambre de acero ubicados en el interior del neumático en la zona donde se asienta en la llanta del vehículo. Ayuda a mantener el neumático firmemente unido a la llanta.
- **Pared Lateral:** La pared lateral es la parte del neumático que conecta la banda de rodadura con la carcasa. Proporciona flexibilidad y absorción de impactos.
- **Flanco:** El flanco es la parte externa de la pared lateral y generalmente contiene información importante, como el tamaño del neumático, la marca y otros datos.
- **Caucho:** El caucho es el material principal del neumático y se compone de varias mezclas de caucho diseñadas para ofrecer resistencia al desgaste, tracción, durabilidad y flexibilidad.
- **Refuerzos internos:** En el interior del neumático, se encuentran refuerzos adicionales, como cinturones de acero o tejidos de poliéster, que brindan estabilidad y refuerzan la estructura del neumático.

- **Canales de drenaje:** Estos canales están diseñados en la banda de rodadura para ayudar a evacuar el agua y mejorar el rendimiento en carreteras mojadas al reducir el riesgo de aquaplaning.
- **Hendiduras y laminillas:** Estos elementos en la banda de rodadura ayudan a mejorar la tracción en superficies resbaladizas y proporcionan un agarre adicional.

4.8 Comportamiento del automóvil en movimiento

Para comprender el funcionamiento de la suspensión de un vehículo es necesario conocer los principios básicos en los que se basa.

Estos principios son:

- Centro de balanceo y centro de gravedad
- Transferencia de carga
- Oscilación
- Masas suspendidas y no suspendidas

4.8.1 Centro de balanceo y centro de gravedad

Centro de balanceo. Es un punto imaginario a través del cual se transmiten las fuerzas laterales que actúan sobre las ruedas de un eje cuando el vehículo se inclina en una curva. Es el centro virtual de rotación de la suspensión de ese eje. La altura del centro de balanceo determina el efecto de la geometría de la suspensión y el comportamiento dinámico del vehículo. Un centro de balanceo más bajo proporciona un comportamiento más estable en las curvas, mientras que un

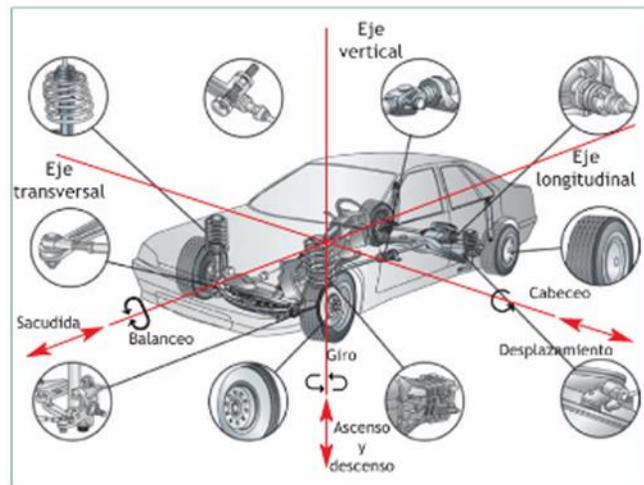
centro de balanceo más alto proporciona un comportamiento más cómodo. La línea imaginaria que une los centros de balanceo delantero y trasero se llama eje de balanceo. (Esteban & Julián, 2011)

Centro de gravedad. El centro de gravedad es el punto imaginario en el que se concentra toda la masa de un vehículo. En este punto se aplican tanto la fuerza de gravedad terrestre como los esfuerzos dinámicos debidos al movimiento del vehículo. La posición del centro de gravedad depende de los distintos ejes geométricos del vehículo y de la carga que soporte. Un centro de gravedad más bajo proporciona un comportamiento más estable, mientras que un centro de gravedad más alto proporciona un comportamiento más ágil.

4.8.2 Transferencia de carga

Figura 12

Ejes geométricos y movimiento del vehículo



Nota. El movimiento de un vehículo genera distintas fuerzas que se transmiten por toda la carrocería. Tomado de: (Esteban & Julián, 2011)

En el vehículo están definidos tres ejes de rotación:

- Eje longitudinal
- Eje transversal
- Eje vertical

Transferencia longitudinal. La transferencia longitudinal se produce cuando el vehículo acelera o frena. En el caso de la aceleración, el peso se transfiere hacia la parte trasera del vehículo, ya que la fuerza de propulsión actúa sobre el eje trasero. En el caso del frenado, el peso se transfiere hacia la parte delantera del vehículo, ya que la fuerza de frenado actúa sobre el eje delantero.

Transferencia transversal. La transferencia transversal se produce cuando el vehículo gira. La fuerza centrífuga actúa sobre la carrocería del vehículo, provocando que el peso se transfiera hacia el exterior de la curva. En el caso de un giro a la derecha, el peso se transfiere hacia la rueda derecha del vehículo, mientras que la rueda izquierda se descarga de peso.

Transferencia vertical. La transferencia vertical se produce cuando el vehículo se somete a distintas cargas o durante su movimiento de ascenso y descenso. Por ejemplo, cuando el vehículo transporta carga, el peso se transfiere hacia las ruedas que soportan la carga. En el caso de un vehículo que asciende una pendiente, el peso se transfiere hacia las ruedas traseras, ya que estas soportan la mayor parte del peso del vehículo.

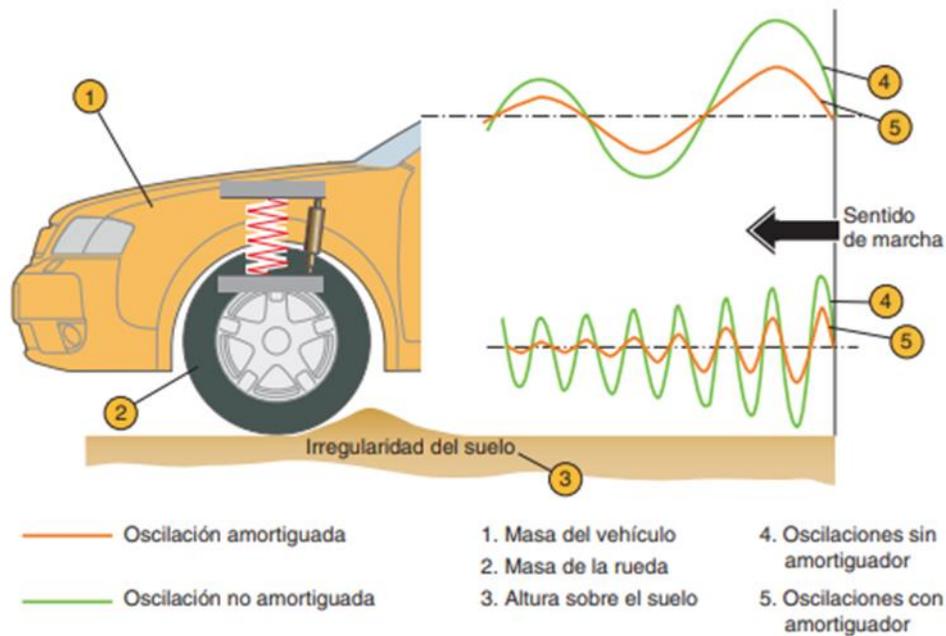
4.8.3 Oscilación

Las oscilaciones son causadas por el movimiento hacia arriba y hacia abajo de la masa figura 13. Cuando una masa en reposo conectada a un resorte cambia de posición bajo la acción de una fuerza, se crea una fuerza restauradora en el resorte que hace que la masa oscile en la dirección

opuesta. Durante esta acción, el cuerpo de masa vuelve a salir de su posición de reposo para generar una nueva fuerza de recuperación. Este efecto se repite hasta que las vibraciones se equilibran con diversas fuerzas de resistencia, aire, fricción, etc.

Figura 13

Oscilaciones del vehículo



Nota. El amortiguador es responsable de amortiguar la amplitud de las oscilaciones, haciéndolas más suaves. Tomado de: (González et al., 2017)

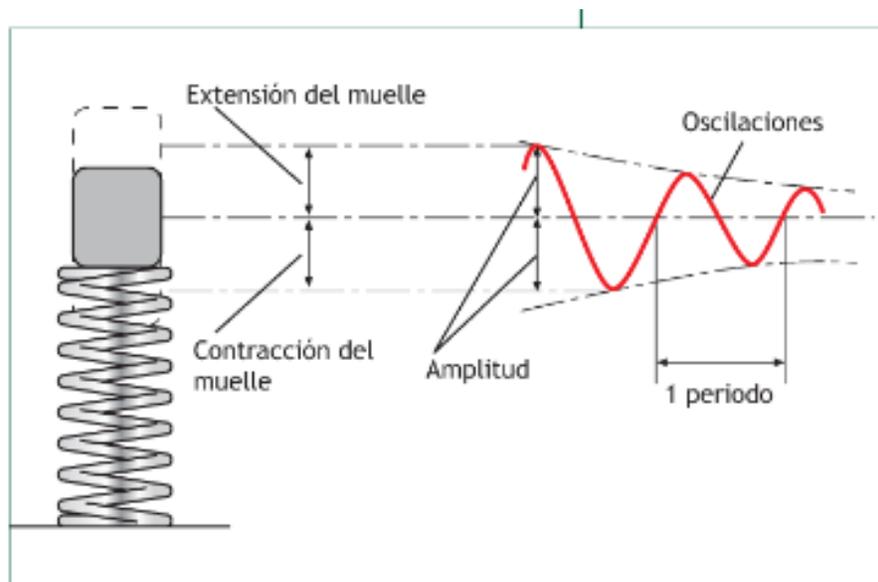
Las oscilaciones se definen por período, amplitud y frecuencia figura 14. (Esteban & Julián, 2011)

El período de una oscilación es el tiempo que lleva completar una oscilación completa. Los períodos cortos son fluctuaciones rápidas características de primaveras duras, mientras que los períodos largos son primaveras suaves.

El período de oscilación de la suspensión de 0,5 a 1 segundo (1-2 Hz) corresponde al balanceo normal del cuerpo humano al caminar, por lo que los pasajeros pueden tolerarlo y garantizar un confort normal. (Esteban & Julián, 2011)

Figura 14

Oscilación de un muelle



Tomado de: (Esteban & Julián, 2011)

La frecuencia es el número de oscilaciones por unidad de tiempo y está determinada por la rigidez y la masa del resorte del vehículo. La amplitud del resorte es la distancia máxima de una masa oscilante con respecto a su posición de reposo durante sus movimientos de extensión y compresión.

Las frecuencias naturales de las masas no suspendidas en un vehículo típico están entre 10 y 16 Hz, mientras que las frecuencias naturales de las masas suspendidas cuando la suspensión se activa están entre 1 Hz y 1,5 Hz. (Esteban & Julián, 2011)

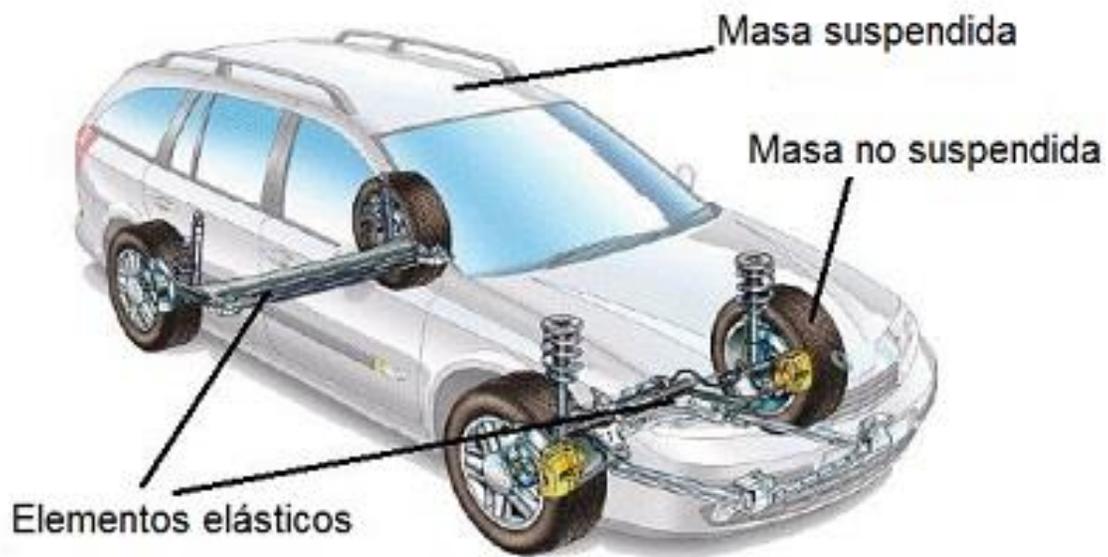
La frecuencia se puede cambiar de modo que más masa o un resorte más suave dé como resultado una frecuencia corporal más baja y una amplitud de resorte mayor. Y masas más bajas o resortes más rígidos dan como resultado frecuencias de cuerpo más altas y menos recorrido del resorte.

4.8.4 Masas suspendidas y no suspendidas

El sistema de suspensión consta de dos partes principales figura 15, que es la masa suspendida y la masa no suspendida.

Figura 15

Masa suspendida y masa no suspendida del vehículo



Nota. Elementos elásticos, amortiguador y tipo de masas. Tomado de: (Eina, 2019)

Masa suspendida. Se refiere a la parte del peso del vehículo que es soportada por el sistema de suspensión. Esto incluye el chasis, la carrocería, el motor y otros componentes que se encuentran

directamente sobre el sistema de suspensión, lo que permite que la suspensión absorba impactos y mantenga la estabilidad del vehículo, proporcionando comodidad a los ocupantes. (Ortega, 2021)

Masa no suspendida. Se refiere a la parte del peso del vehículo que no es sostenida por el sistema de suspensión. Esto incluye las ruedas, los neumáticos, los frenos y otros componentes que están directamente conectados a las ruedas. La masa no suspendida puede afectar la capacidad de la suspensión para mantener el contacto de las ruedas con la superficie de la carretera y la estabilidad del vehículo, ya que no se beneficia de la capacidad de absorción de impactos de la suspensión. (Ortega, 2021)

Cualquier sistema de suspensión en automóviles debe poseer dos características esenciales que desempeñan un papel crucial para garantizar aspectos como el confort, estabilidad, seguridad y la calidad del viaje.

4.9 Medición de Vibraciones

La medición de vibraciones implica el estudio de las oscilaciones generadas por un sistema en movimiento. Para realizar estas mediciones con precisión, se requiere el empleo de herramientas especializadas que posibiliten la obtención de datos. Dispositivos como los acelerómetros u otros instrumentos de medición resultan fundamentales para adquirir información detallada sobre las vibraciones mecánicas. Estos datos, una vez recopilados y analizados, permiten extraer conclusiones valiosas, contribuyendo así a una mejor comprensión de su impacto, y así poder tomar decisiones para poder mitigarla o reducirla. (Taylor & James, 1994)

4.10 Herramientas y Equipos Utilizados para medición de vibraciones

4.10.1 Transductores de desplazamiento:

- **Transductor de Desplazamiento en Contacto:** Emplea un émbolo para medir el movimiento relativo entre dos superficies. La salida diferencial del transformador proporciona la señal de desplazamiento.
- **Transductor de Desplazamiento sin Contacto:** Utiliza campos y flujos magnéticos para medir el desplazamiento dinámico.

Figura 16

Transductor de desplazamiento



Nota. Elemento para medición de desplazamiento. Tomado de: (OMEGA, 2018)

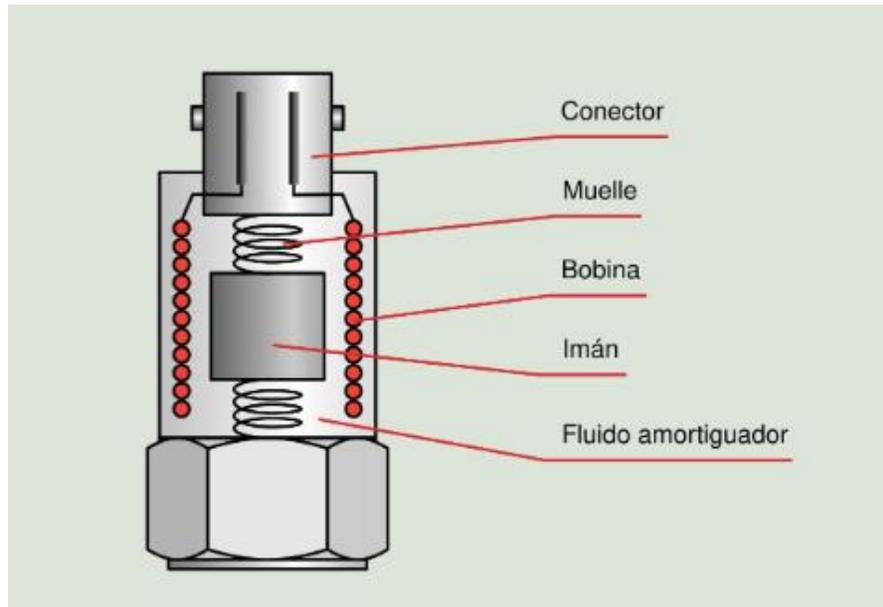
4.10.2 Transductor de velocidad

El transductor de velocidad (figura 17), al emplear un imán permanente y una bobina de alambre sobre un resorte, detecta la velocidad lineal o angular de un objeto en movimiento. Su respuesta de frecuencia es uniforme en el rango de 10 a 2000 Hz, permitiendo la conversión eficiente de energía mecánica a eléctrica. Esta herramienta es versátil, capaz de medir velocidades

desde 0 hasta cientos de metros por segundo, adaptándose a diversas aplicaciones en entornos industriales y automotrices.

Figura 17

Transductor de velocidad



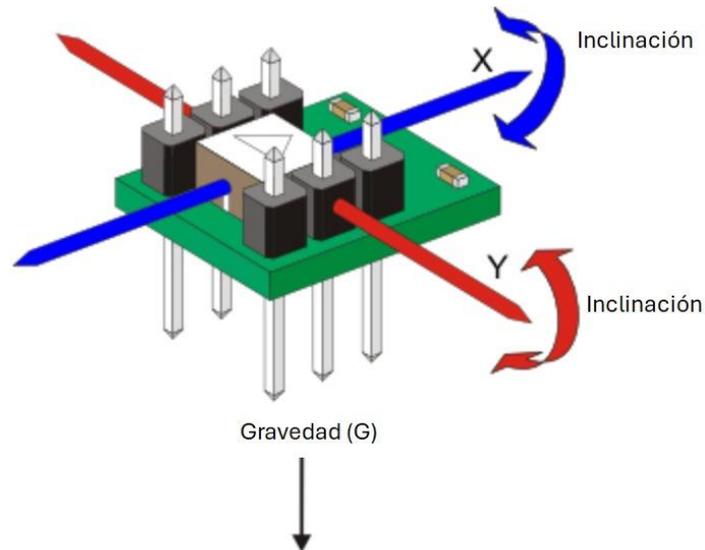
Nota. Componentes de un transductor de velocidad. Tomado de: (Fernandez, 2017)

4.10.3 Acelerómetro

El acelerómetro (figura 18) piezoeléctrico se destaca por su amplio rango de frecuencia, por ser dinámico, excelente linealidad y estabilidad a largo plazo en las mediciones. Es robusto, fiable, no requiere fuente de alimentación externa y genera señales eléctricas naturales. Su capacidad para convertir esfuerzos mecánicos en señales eléctricas proporcionales lo hace esencial para la medición de vibraciones.

Figura 18

Acelerómetro



Nota. Ejes de medición de un acelerómetro. Tomado de: (PC Solución, 2018)

4.11 Respuesta humana a las vibraciones

Las vibraciones experimentadas por conductores y pasajeros tienen un impacto muy relevante en su bienestar y salud. Hay documentos que hablan de este tema, como el libro Aspectos Ergonómicos de las Vibraciones. (Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT), 2014)

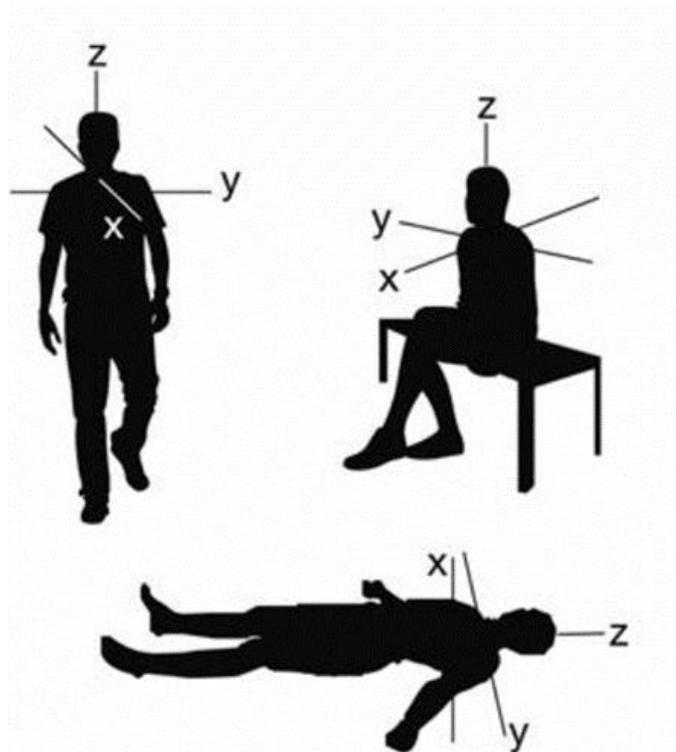
4.12 Clasificación de las vibraciones

Dentro de las múltiples formas de clasificar las vibraciones, en este aspecto importa la que se centra en su modo de transmisión al cuerpo humano. En este sentido, se puede categorizarlas en dos grupos distintos:

Vibraciones de cuerpo completo en la figura 19: Estas vibraciones se originan cuando una gran parte del peso del cuerpo humano se encuentra en contacto con una superficie vibrante. Normalmente, se transmiten a través de los asientos o los pies.

Figura 19

Ejes de referencia para la medida de vibraciones de cuerpo entero

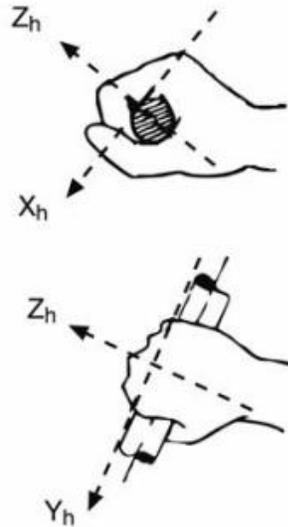


Nota. ejes de medición de vibraciones de cuerpo entero. Tomado de: (Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT), 2014)

Vibraciones mano-brazo 2 en la (figura 20): Estas vibraciones son típicamente transmitidas a través del agarre de herramientas mecánicas en las manos del trabajador.

Figura 20

Ejes de referencia para la medida de vibraciones mano-brazo



Nota. ejes de referencia para la medida de vibraciones mano-brazo. Tomado de: (Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT), 2014)

4.13 Normativas y límites de exposición

Establecer límites de tolerancia a las vibraciones en el cuerpo humano es desafiante debido a diferencias individuales en sensibilidad. Se utilizan criterios como la norma ISO para definir límites basados en frecuencia.

Se introdujo la norma 2631, que establece límites para vibraciones en el cuerpo humano en un amplio rango de frecuencias de 1-80 Hz (AEN/CTN, 2008). Estos límites se aplican tanto a vehículos de transporte como a la industria e incluyen:

4.13.1 Límite de exposición:

No se debe superar este valor (tabla 1), excepto en situaciones excepcionales, ya que representa un riesgo para la salud.

4.13.2 Límite de capacidad reducida por fatiga:

Indica el punto a partir del cual la capacidad para realizar trabajos eficazmente disminuye.

4.13.3 Límite de confort reducido:

Relacionado con la capacidad de realizar actividades como leer o escribir en vehículos de pasajeros.

4.13.4 Limitaciones de exposición y Umbrales de Acción para la Exposición.

Para la vibración transmitida al sistema mano-brazo. Se define un valor límite de exposición diaria normalizada durante un período de ocho horas de 5 m/s^2 . El valor de exposición diaria normalizada para un período de ocho horas que requiere intervención se establece en $2,5 \text{ m/s}^2$.

Para la vibración transmitida al cuerpo entero. Se fija un valor límite de exposición diaria normalizada durante un período de ocho horas de $1,15 \text{ m/s}^2$. El valor de exposición diaria normalizada para un período de ocho horas que requiere intervención se establece en $0,5 \text{ m/s}^2$.

4.14 Efectos Psicofisiológicos

4.14.1 Vibraciones mano-brazo

La manera en que las vibraciones se transmiten depende de sus características físicas, como su intensidad y frecuencia, así como de la dirección y cómo la mano reacciona. Los efectos dañinos

también están influenciados por factores como la presión del agarre, la fuerza estática, la posición del brazo y cuánto tiempo dura la exposición y el período de recuperación.

Los trastornos podrán ser:

- Trastornos vasculares
- Trastornos neurológicos
- Trastornos osteoarticulares
- Trastornos musculares
- Otros trastornos

4.14.2 Vibraciones de cuerpo entero

Hay dos tipos de efectos causador por vibraciones al cuerpo entero:

a) Efectos agudos

- **Trastornos respiratorios.** Pueden resultar en una respiración excesiva, probablemente debido a la influencia mecánica de las vibraciones sobre el diafragma y el pecho.
- **Trastornos musculoesqueléticos.** Algunos estudios han observado que las vibraciones activan ciertos grupos musculares, generando movimientos musculares pasivos e involuntarios.
- **Trastornos sensoriales y del sistema nervioso central.** Las vibraciones intensas pueden provocar lo que se conoce como "mal del movimiento" o "mareo inducido por el movimiento".

- **Otros efectos.** Pueden manifestarse como un aumento en la frecuencia cardíaca, la presión arterial y el consumo de oxígeno.

b) Respecto a los efectos a largo plazo

- **Efectos sobre el sistema musculoesquelético.** La vibración constante puede dañar la espalda, causando problemas como deformidades y desgaste en la región baja de la columna. Esto aumenta el riesgo de trastornos en la parte media de la espalda y problemas en las articulaciones, incluso si la vibración es suave.
- **Efectos sobre el sistema nervioso.** Los problemas más grandes se presentan cuando estás expuesto a frecuencias por encima de 20 hercios (Hz). Esto puede causar síntomas vagos como dolores de cabeza y cambios de humor. A veces, incluso puede afectar partes del cerebro y el flujo sanguíneo en el cerebro.
- **Efectos sobre el sistema coclear-vestibular.** Pueden provocar que haya más probabilidades de tener problemas de equilibrio, como sentirse mareado, y empeorar la pérdida de audición causada por el ruido.
- **Efectos sobre el sistema circulatorio.** Las vibraciones pueden causar problemas de circulación, como venas varicosas en las piernas, hemorroides, trastornos isquémicos, hipertensión y cambios en los vasos sanguíneos.
- **Efectos sobre el sistema digestivo.** Las vibraciones pueden causar problemas en el estómago y el intestino, como úlceras, gastritis, apendicitis y colitis, incluso en exposiciones a intensidad baja.
- **Efectos sobre los órganos reproductores.** En mujeres, hay más probabilidades de problemas con el período, riesgos de aborto y complicaciones en el embarazo. En hombres, hay más casos de prostatitis.

4.15 Tabla de frecuencias y efectos producidos

En la (tabla 1), se encuentran registradas las frecuencias que pueden surgir en el vehículo, así como sus impactos en el organismo humano. (Francisco & Carlos, 2001)

Tabla 1
Frecuencias que puede producir un vehículo

Frecuencias en Hz		Efectos producidos		
		Sobre las personas	Sobre los automóviles actuales	
Muy bajas	< 0.5		Sensación de mareo con grandes amplitudes	
Bajas 0.5 a 4	1 a 3	1.2 a 2	Frecuencias del movimiento vertical del paso humano	
		1 a 2	Resonancia de la cabeza en movimientos horizontales	
		1 a 3	Umbral mínimo de la ICV en movimientos horizontales	
Medias de 4 a 20	4 a 8	4 a 6	Resonancia del cuerpo en movimientos horizontales y verticales	
		4 a 8	Mínimo umbral de incomodidad en movimientos verticales	
	10 a 20	10 a 20		Frecuencia natural de masas semisuspendidas y frecuencias medias del conjunto (m.s y m.s.s) Frecuencia de rotación de ruedas a velocidad media o alta Oscilaciones localizadas en zonas de la carrocería y de otros sistemas o de deformación del bastidor a flexión o torsion.
		11 a 15	Poca resonancia en el cuerpo ante movimientos verticales	
		15 a 20	Resonancia de la cabeza con vibraciones verticales	
Altas > 20	20 a 200	20 a 200		Vibraciones provocadas por acciones directas
		60 a 90	Resonancia del globo ocular	
		80 a 95		Vibraciones de neumáticos radiales
		100 a 200	Resonancia mandíbulas	
		170 a 200		Vibraciones propias de neumáticos diagonales

4.16 El confort y las vibraciones

4.16.1 Confort

El confort en la conducción es el estado en el que el conductor experimenta un entorno favorable. Este estado está influenciado por diversos elementos, tales como los ruidos y vibraciones que se generan por el desplazamiento del vehículo al transitar por distintas superficies. La suspensión desempeña un papel esencial al reducir estas vibraciones que impactan en el habitáculo del vehículo, contribuyendo así a mejorar la experiencia del conductor. (Navarrete, 2022)

4.16.2 Generación de vibraciones

Cuando se trata de factores que generan vibraciones y, por ende, afectan el confort, varios elementos entran en juego. Estos incluyen el tipo de superficie de la carretera, la condición de los neumáticos y el estado de la suspensión (amortiguador, bujes y demás elementos elásticos), etc.

Impacto del Tipo de Superficie Vial en la Generación de Vibraciones. El tipo de superficie es un factor crucial en la generación de vibraciones, debido a que la amplitud y frecuencia de estas vibraciones varían significativamente según la superficie. Por ejemplo, transitar sobre adoquines producirá una cantidad distinta de vibraciones en comparación con el asfalto o pavimento.

Tipos de superficies viales. Existen cuatro categorías principales de pavimentos: flexibles, rígidos, semirrígidos y articulados. Esta clasificación se fundamenta en las propiedades y materiales de los pavimentos, ofreciendo una amplia variedad de alternativas para satisfacer diversas exigencias y situaciones.

Flexibles: Son estructuras viales conformadas por una capa de asfalto sobre capas menos rígidas, usualmente compuestas por materiales granulares no tratados o ligados (como base, sub-base y afirmado), las cuales se apoyan en el terreno natural o subrasante (figura 21). El asfalto, principal componente, une el agregado pétreo, proporcionando resistencia ante cargas, impermeabilidad y durabilidad.

Figura 21

Pavimento flexible



Nota. Capa asfáltica pavimento flexible. Tomado de: (Suárez, 2019)

Rígidos. Estos pavimentos se constituyen por losas de concreto hidráulico (figura 22) que descansan sobre la subrasante o una capa de material específico (sub-base). Debido a la alta rigidez del concreto y su elevado coeficiente de elasticidad, los esfuerzos se distribuyen ampliamente en la estructura.

Figura 22

Pavimento rígidos



Tomado de: (REVELSA, 2021)

Semi-Rígidos. En los pavimentos flexibles, se puede agregar una capa tratada con aditivos (como asfalto, emulsiones, etc.) con el fin de modificar las propiedades mecánicas de los materiales locales y adecuarlos para la construcción.

Articulados. Estos pavimentos (figura 23) consisten en una capa de rodadura hecha con bloques de concreto prefabricado (adoquines), dispuestos uniformemente. Pueden situarse sobre una capa delgada de arena, base granular o directamente sobre la subrasante, dependiendo de la calidad del terreno y la intensidad de las cargas que soportará.

Figura 23

Pavimentos articulados



Tomado de: (Muñoz, 2015)

Impacto del estado de la suspensión en la Generación de Vibraciones. La suspensión es un componente crucial que asegura el contacto del vehículo con la carretera, manteniendo así el control de este. En este proceso, la suspensión también desempeña un papel fundamental en la reducción de las vibraciones generadas por diferentes condiciones de la vía, como baches y tipos de superficies irregulares. Por lo tanto, el correcto funcionamiento de la suspensión no solo incide en la seguridad de los pasajeros, sino también en su comodidad durante el trayecto.

CAPÍTULO II

5 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN Y PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

5.1 Desarrollo de la metodología de la investigación

El análisis de un fenómeno requiere un proceso sistemático de investigación. Para ello, existen una variedad de fuentes que pueden ayudar a desarrollar las ideas de la investigación, como materiales escritos, libros, revistas, periódicos, tesis, etc. Las ideas planteadas pueden provenir de cualquier fuente, y su calidad no está necesariamente relacionada con la fuente de donde provengan. Sin embargo, es importante traducir las ideas vagas en problemas de investigación más concretos, para lo cual se requiere una revisión bibliográfica

5.1.1 Experimentos Factoriales:

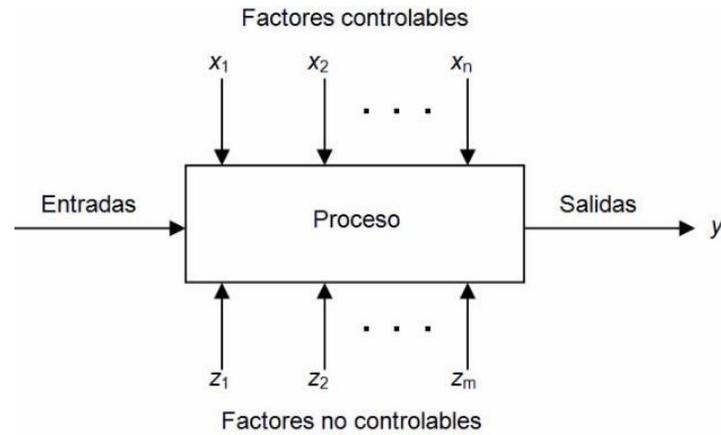
Un experimento factorial implica el diseño con dos o más factores, cada uno con niveles discretos, donde las unidades experimentales abarcan todas las combinaciones posibles de estos niveles en todos los factores. Esto permite al investigador analizar el impacto individual de cada factor en la variable de respuesta, así como evaluar las interacciones entre factores en relación con la variable de respuesta.

5.1.2 Diseño experimentos:

El diseño de experimentos se basa un método sistemático y eficiente que permite estudiar la relación entre múltiples variables de entrada (también conocidas como factores) y variables clave de salida (también conocidas como respuestas). Es un enfoque estructurado para recopilar datos y analizarlos (figua24).

Figura 24

Variables de entrada y salida



Tomado de: (Montgomery, 2004)

5.1.3 Unidad experimental

La unidad experimental se refiere a la(s) pieza(s) o muestra(s) empleada(s) para producir un valor que sea indicativo del resultado obtenido en el experimento o prueba.

Variable de respuesta. También conocida como variable dependiente (figura 25) es la que se observa para determinar los resultados de un experimento. Puede ser la calidad de un producto, el rendimiento de un proceso o cualquier otra medida que se desee mejorar.

Factores controlables. Las variables independientes (figura 25) son las que el investigador puede controlar o manipular en un experimento. Pueden ser variables de proceso, como la temperatura o la presión, o características de los materiales experimentales, como la composición o la estructura.

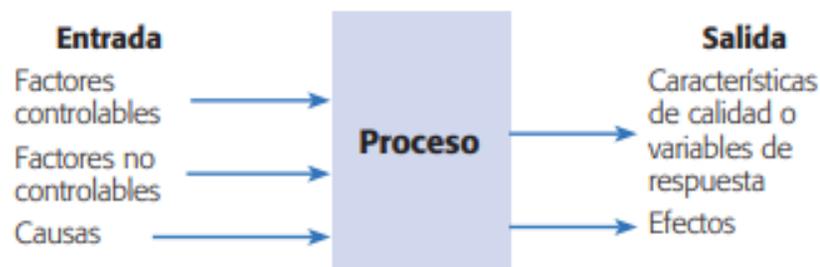
Factores no controlables. Las variables no controlables (figura 25) son aquellas que no se pueden manipular o fijar en un nivel dado durante un experimento o la operación normal de un proceso. Pueden ser variables ambientales, como la luz, la humedad, la temperatura, las partículas o el ruido, o características de los materiales o métodos utilizados.

Factores estudiados. Los factores estudiados son las variables que se investigan en un experimento para determinar su efecto sobre la variable dependiente (figura 25). Pueden ser variables controlables o no controlables, pero en ambos casos se deben probar en, al menos, dos niveles o condiciones.

Niveles y tratamientos. Los niveles de un factor son las diferentes condiciones en las que se puede probar ese factor en un experimento. Un tratamiento es una combinación específica de los niveles de todos los factores estudiados (figura 25).

Figura 25

Factores que intervienen en la unidad experimental



Tomado de: (Pulido & Salazar, 2008)

5.2 Etapas en el diseño de experimentos

Una de las tareas más importantes en el diseño de experimentos es decidir qué pruebas o tratamientos se van a realizar y cuántas veces se van a repetir cada uno. El objetivo es obtener la

máxima información posible al menor costo. El conjunto de todas las pruebas o tratamientos, incluidas las repeticiones, se conoce como matriz de diseño.

5.2.1 Planeación y realización

a) Entender y delimitar el problema u objeto de estudio.

En la etapa de planificación, es necesario realizar investigaciones preliminares para comprender y definir el problema o el objeto de estudio. Esto permitirá aclarar qué se va a estudiar, por qué es importante y, si es un problema, cuál es su magnitud.

b) Elegir la(s) variable(s) de respuesta que será medida en cada punto del diseño y verificar que se mide de manera confiable.

La elección de la variable dependiente es fundamental, ya que es la que refleja los resultados del experimento. Por ello, se deben elegir aquellas que mejor representen el problema o caractericen al objeto de estudio. Además, es importante que las mediciones sobre esa variable sean confiables. Esto significa que los instrumentos y/o métodos de medición deben ser capaces de repetir y reproducir las mediciones, y que deben tener la precisión y exactitud necesarias. Los sistemas de medición son la forma en que percibimos la realidad, por lo que, si son deficientes, las decisiones que se tomen con base en ellos pueden ser erróneas.

c) Determinar cuáles factores deben estudiarse o investigarse, de acuerdo a la supuesta influencia que tienen sobre la respuesta.

No es necesario que el experimentador sepa de antemano cuáles factores influyen en el resultado del experimento, ya que ese es el objetivo del experimento. Sin embargo, sí es importante

que utilice toda la información disponible para incluir los factores que se cree que tienen un mayor efecto.

d) Seleccionar los niveles de cada factor, así como el diseño experimental adecuado a los factores que se tienen y al objetivo del experimento.

Este paso también requiere decidir cuántas veces se repetirá cada tratamiento, considerando el tiempo, el costo y el nivel de precisión deseado.

5.2.2 Planear y organizar el trabajo experimental.

Una vez seleccionado el diseño experimental, se debe organizar y planificar con detalle el trabajo que se va a realizar. Esto incluye definir las personas que van a intervenir, la forma en que se van a realizar las pruebas o tratamientos, y los procedimientos que se van a seguir.

5.2.3 Realizar el experimento.

Realizar el experimento de acuerdo con el plan previsto, y en caso de que ocurra algún imprevisto, notificar a la persona responsable y tomar las medidas necesarias.

5.2.4 Análisis

En esta etapa, se deben analizar los resultados del experimento para determinar si hay diferencias significativas entre los grupos. Para ello, se utilizan métodos estadísticos inferenciales, como el análisis de varianza (ANOVA).

5.2.5 Interpretación

El análisis de los resultados del experimento es una tarea que debe realizarse con el apoyo del análisis estadístico formal. Este análisis debe permitirnos:

- a) Comprobar si las hipótesis iniciales se confirman o se rechazan.
- b) Identificar los nuevos aprendizajes obtenidos del experimento.
- c) Asegurarnos de que los resultados son válidos.
- d) Elegir el tratamiento ganador.

5.2.6 Control y conclusiones finales

Al finalizar el proyecto, se deben definir las medidas para mejorar los resultados del estudio y asegurar que las mejoras se mantengan. Además, se debe organizar una presentación para comunicar los logros obtenidos.

5.3 Consideraciones prácticas del uso de métodos estadísticos

El uso de métodos estadísticos generalmente ayuda a que el proceso de investigación y resolución de problemas sea más eficiente, los métodos estadísticos son únicos en sí mismos. Es importante considerar lo que necesita.

5.3.1 El conocimiento no estadístico es vital.

La importancia del conocimiento no estadístico es crucial para aplicar métodos estadísticos y diseños experimentales. Se requiere un sólido entendimiento técnico y práctico del fenómeno estudiado para identificar aspectos cruciales, formular conjeturas precisas y seleccionar apropiadamente factores y niveles. Este conocimiento también optimiza el análisis estadístico de resultados, generando conclusiones significativas que contribuyen al aprendizaje y ofrecen soluciones efectivas.

5.3.2 Distinguir entre la significancia estadística y la relevancia práctica.

Distinguir entre la significancia estadística y la importancia práctica es esencial. En algunos casos, un investigador puede determinar que hay diferencias estadísticas entre dos tratamientos, pero es posible que estas diferencias, a pesar de ser significativas, no tengan una relevancia práctica sustancial.

5.3.3 Priorizar experimentación progresiva sobre experimento único

Los investigadores principiantes a veces intentan abordar todas sus preguntas en una sola etapa experimental, lo cual puede resultar en experimentos prolongados y costosos. Se sugiere considerar en cambio fases experimentales secuenciales para obtener gradualmente mayor precisión en conocimientos y soluciones, evitando la confusión con el método de prueba y error. Cada fase de la experimentación secuencial sigue una estrategia planificada, asegurando resultados y conclusiones significativas, facilitando así la formulación efectiva de la siguiente fase.

5.4 Definiciones básicas

Es esencial ejercer una gran precaución al planificar y analizar un experimento. Para garantizar una planificación adecuada, es fundamental aplicar los principios fundamentales del diseño experimental: aleatorización, repetición y bloqueo. Estos principios están directamente relacionados con la utilidad de los datos recopilados para abordar las preguntas planteadas y asegurar la validez en el análisis de los datos.

5.4.1 Bloqueo

Consiste en neutralizar o considerar adecuadamente todos los factores que podrían influir en la respuesta observada. Al emplear el bloqueo, se parte de la premisa de que el subconjunto de

datos obtenido dentro de cada bloque (nivel específico del factor bloqueado) debería mostrar una mayor homogeneidad que el conjunto total de datos.

5.5 Categorización y Elección de Diseños Experimentales

Existen numerosos diseños experimentales destinados a abordar una amplia gama de problemas prácticos. La elección del diseño más adecuado para una situación particular implica considerar cinco aspectos clave:

- El objetivo del experimento.
- El número de factores a estudiar.
- El número de niveles para cada factor.
- Los efectos de interés (relación factores-respuesta).
- El costo del experimento en términos de tiempo y precisión deseada.

Estos aspectos están interrelacionados, y cambios en alguno de ellos suelen conducir a la elección de un diseño diferente. La clasificación de los diseños experimentales se basa en estos cinco puntos, donde el objetivo general del experimento guía la clasificación general, mientras que los otros aspectos son útiles para sub-clasificarlos. Algunas categorías de diseño incluyen la comparación de tratamientos, el estudio de efectos de múltiples factores, la determinación del punto óptimo del proceso, la optimización de mezclas y la creación de productos o procesos insensibles a factores no controlables.

5.6 Obtención de datos de las vibraciones

5.6.1 Antecedentes del problema a resolver

El crecimiento continuo de la ciudad de Cuenca ha impulsado un aumento notable en la cantidad de vehículos, lo cual no sorprende, dado que es un medio cómodo de transporte. Sin embargo, se ha prestado poca atención al confort proporcionado por las carreteras de la ciudad. Es fundamental comprender que las vibraciones generadas pueden ocasionar problemas a largo plazo para las personas.

Estos efectos pueden ser especialmente significativos cuando las vibraciones alcanzan amplitudes elevadas. Por ende, este estudio se centra en analizar vías representativas como el asfalto y el adoquín, con el objetivo de comprender y evaluar el nivel de confort que proporcionan a los conductores y pasajeros.

5.6.2 Planteamiento de la hipótesis

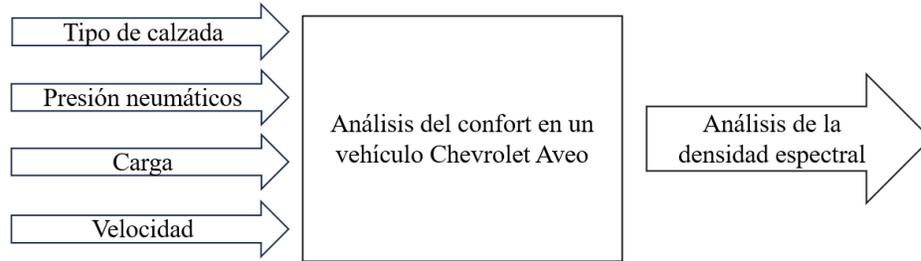
Se plantea hipotéticamente que las vibraciones generadas en el adoquín serán de mayor amplitud y frecuencia en comparación con el asfalto, debido a las irregularidades presentes en el adoquinado. Se espera que, debido a su superficie más uniforme, el asfalto genere vibraciones de menor intensidad, por ende, dando un mejor confort.

5.6.3 Selección de variables independientes

Estas variables representan las entradas para el experimento. Se efectúan varias modificaciones y combinaciones entre ellas con el apoyo del programa Minitab. El proyecto contempla 4 variables de entrada, tal como se observa en la figura 26.

Figura 26

Variables del proceso



Tomado de: Autores

Introducimos los valores asociados a las variables independientes para construir el diseño factorial del experimento que llevaremos a cabo.

5.6.4 Tratamientos

El número de tratamientos se estima utilizando el software denominado Minitab. Este valor se calcula considerando las posibles combinaciones de las variables de entrada y sus respectivos niveles. Una vez obtenidos los resultados, se determina la cantidad de ensayos a realizar, así como las combinaciones correspondientes, tal como se muestra en la tabla 2.

Tabla 2

Indicadores estadísticos

Run	Presión	Peso	Velocidad	Superficie
Order	(PSI)	(Kg)	(Km/h)	
1	20	180	50	Adoquín

2	30	120	35	Adoquín
3	25	120	50	Asfalto
4	20	120	35	Adoquín
5	25	120	20	Asfalto
6	25	180	35	Adoquín
7	20	180	20	Asfalto
8	25	240	20	Asfalto
9	25	120	50	Adoquín
10	25	180	35	Asfalto
11	20	180	20	Adoquín
12	25	240	50	Asfalto
13	20	240	35	Asfalto
14	25	180	35	Asfalto
15	30	180	20	Adoquín
16	20	180	50	Asfalto

17	25	240	50	Adoquín
18	30	180	50	Asfalto
19	25	180	35	Adoquín
20	25	240	20	Adoquín
21	20	120	35	Asfalto
22	30	240	35	Adoquín
23	25	120	20	Adoquín
24	30	120	35	Asfalto
25	30	240	35	Asfalto
26	30	180	20	Asfalto
27	25	180	35	Adoquín
28	30	180	50	Adoquín
29	20	240	35	Adoquín
30	25	180	35	Asfalto

5.6.5 Lugar sobre el que se va a realizar la medida

Hace referencia al lugar donde se efectuarán las mediciones para la comparación de resultados y el propósito del experimento: En la guantera central, se utilizará un dispositivo llamado Freematics One + como se muestra en la (Figura 27 a), el cual cuenta con un acelerómetro como instrumento de medida. Durante el ensayo, este dispositivo registrará las vibraciones del vehículo y las almacenará en una tarjeta SD en formato Excel. Aunque suele conectarse al OBD II, en este caso se ha adaptado para recibir alimentación desde la toma de corriente del encendedor de cigarrillos (Figura 27 b). Además, dispone de un interruptor en su parte superior para iniciar la captura de datos.

Figura 27

Sujeción del Freematics One y cableado



Tomado de: Autores

5.6.6 Variable de respuesta

Durante la ejecución de nuestro experimento, obtenemos como resultado la variable dependiente que analizaremos mediante la manipulación de las variables independientes

previamente mencionadas. La variable dependiente consistirá en el valor de la densidad espectral. En otras palabras, evaluamos los impactos de las calzadas de adoquín y asfalto en el confort del vehículo Chevrolet Aveo a través de un análisis de vibraciones, empleando diversas combinaciones de las variables de entrada.

5.6.7 Variables de bloqueo

En nuestro experimento, identificamos variables de bloqueo que incluirán el clima, estado del vehículo y nivel de experiencia del conductor, dado que estas variables influyen en nuestro estudio y resulta difícil controlarlas con precisión durante la recopilación de datos estadísticos.

Clima. La imprevisibilidad del clima en la ciudad de Cuenca nos lleva a considerarlo como una variable de bloqueo, ya que no es posible controlarlo. Su inclusión se justifica por la influencia que las condiciones climáticas podrían tener en los resultados.

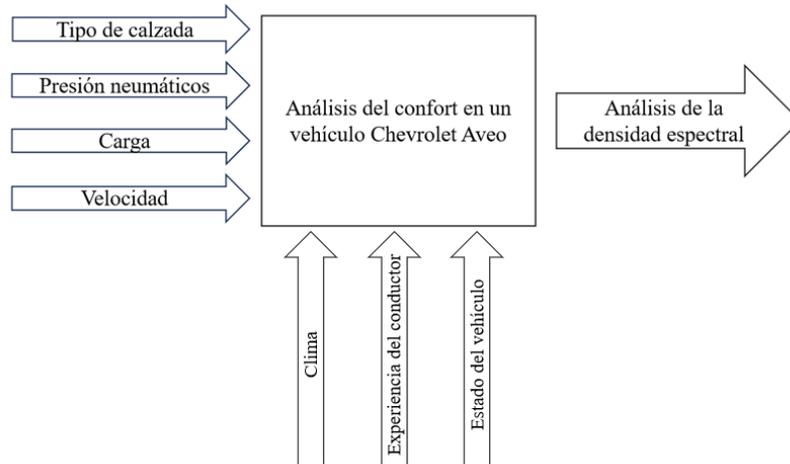
Experiencia del conductor. Esta variable se clasifica como bloqueo debido a su impacto en la percepción de la comodidad durante la conducción. Reconocemos que la experiencia del conductor puede afectar la interpretación de los resultados, por lo que se la considera como un factor de bloqueo.

Estado del vehículo. Consideramos esta variable como bloqueo, ya que diversos aspectos, como el estado de la suspensión y otros elementos del vehículo (como tornillos flojos o deteriorados), pueden influir en el confort del vehículo.

Las variables de bloqueo se representan en la (figura 28), donde se visualizan los factores que participan en nuestro experimento pero que no podemos controlar.

Figura 28

Variables de bloqueo



Tomado de: Autores

5.6.8 Desarrollo del experimento

En esta sección se detalla el procedimiento llevado a cabo con el objetivo de recopilar datos que posibiliten la comparación entre espectros de vibraciones. Estos datos se obtienen bajo las condiciones operativas normales y en situaciones donde se modifican los parámetros. La alteración intencional de los parámetros, considerados como variables independientes, incide directamente en las condiciones de confort del vehículo. Por consiguiente, la recopilación de datos se ejecuta en el habitáculo del vehículo, con el acelerómetro estratégicamente ubicado en la cabina, específicamente en la guantera central.

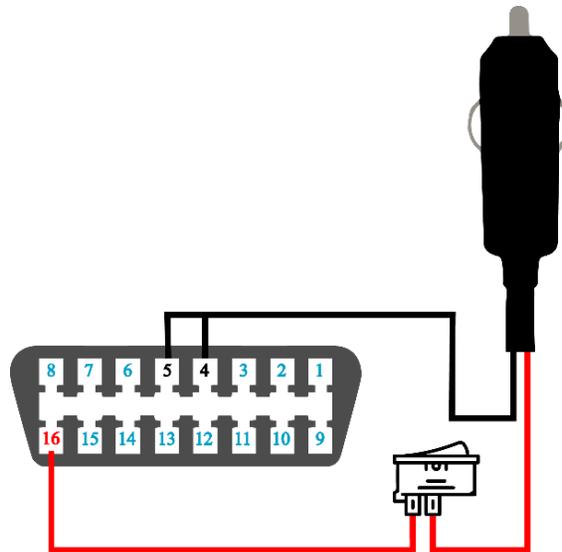
5.6.9 Preparación del dispositivo para la toma de datos

Para este estudio, se implementó una configuración diferente para el Freematics One+. En lugar de establecer una conexión directa con el OBD II del vehículo, se optó por vincularlo a la

toma de corriente del automóvil para garantizar su apropiada alimentación. La conexión se llevó a cabo mediante los terminales 4 y 5 del dispositivo Freematics, los cuales fueron enlazados al polo negativo de la toma de corriente, mientras que el terminal 16 se conectó al polo positivo. Además, se incorporó un interruptor entre el terminal 16 del OBD II del Freematics y el polo positivo de la toma de corriente. El esquema detallado de esta configuración se presenta en la figura 29. Cabe mencionar que la conexión se realizó específicamente a la cigarrera del vehículo.

Figura 29

Esquema de conexión Freematics



Tomado de: Autores

5.6.10 Instalación del Acelerómetro en el Vehículo

El proceso de adquisición de datos se inicia mediante la adecuada instalación del acelerómetro en el vehículo, garantizando una correcta obtención de datos. En el presente escenario experimental, se optó por utilizar un automóvil Chevrolet Aveo, identificado como uno de los

vehículos más comercializados en la región de Azuay, según los informes anuales de la Asociación AEDE correspondientes a los años 2010, 2011, 2012 y 2013. El lugar específico donde se ubicará el acelerómetro es la guantera central del vehículo.

El procedimiento de colocación es sencillo; se fija de manera segura sobre la guantera, y después de confirmar su correcta posición, se procede a realizar la conexión de alimentación, la cual, en este caso, se establece a través de la conexión a la cigarrera.

5.6.11 Obtención de datos

El dispositivo Freematics One + está equipado con una ranura destinada a una tarjeta microSD para la captura de datos. Para iniciar el proceso de obtención de datos, es necesario insertar una tarjeta de memoria en la mencionada ranura. El Freematics debe contar con su respectiva alimentación, y se debe encontrar con el interruptor en posición OFF, al iniciar cada prueba. Durante la ejecución de la prueba, el interruptor debe cambiar a la posición ON, y al concluir, se vuelve a colocar en OFF. Este proceso se repite para cada prueba realizada. Todos los datos generados durante las pruebas se almacenarán en archivos con formato .xls, como se ilustra en la figura 30.

Figura 30

Datos del espectro de vibración

Nombre	Fecha de modificación	Tipo
 1.CSV.xls	22/12/2023 10:11	Microsoft Excel 97...
 2.CSV.xls	22/12/2023 10:11	Microsoft Excel 97...
 3.CSV.xls	22/12/2023 10:11	Microsoft Excel 97...
 4.CSV.xls	22/12/2023 10:11	Microsoft Excel 97...
 5.CSV.xls	22/12/2023 10:11	Microsoft Excel 97...
 6.CSV.xls	22/12/2023 10:11	Microsoft Excel 97...
 7.CSV.xls	22/12/2023 10:11	Microsoft Excel 97...
 8.CSV.xls	22/12/2023 10:11	Microsoft Excel 97...
 9.CSV.xls	22/12/2023 10:11	Microsoft Excel 97...
 10.CSV.xls	22/12/2023 10:11	Microsoft Excel 97...
 11.CSV.xls	22/12/2023 10:11	Microsoft Excel 97...
 12.CSV.xls	22/12/2023 10:11	Microsoft Excel 97...
 13.CSV.xls	22/12/2023 10:11	Microsoft Excel 97...
 14.CSV.xls	22/12/2023 10:11	Microsoft Excel 97...
 15.CSV.xls	22/12/2023 10:11	Microsoft Excel 97...
 16.CSV.xls	22/12/2023 10:11	Microsoft Excel 97...
 17.CSV.xls	22/12/2023 10:11	Microsoft Excel 97...
 18.CSV.xls	22/12/2023 10:11	Microsoft Excel 97...
 19.CSV.xls	22/12/2023 10:11	Microsoft Excel 97...
 20.CSV.xls	22/12/2023 10:11	Microsoft Excel 97...
 21.CSV.xls	22/12/2023 10:11	Microsoft Excel 97...
 22.CSV.xls	22/12/2023 10:11	Microsoft Excel 97...
 23.CSV.xls	22/12/2023 10:11	Microsoft Excel 97...
 24.CSV.xls	22/12/2023 10:11	Microsoft Excel 97...
 25.CSV.xls	22/12/2023 10:11	Microsoft Excel 97...
 26.CSV.xls	22/12/2023 10:11	Microsoft Excel 97...
 27.CSV.xls	22/12/2023 10:11	Microsoft Excel 97...
 28.CSV.xls	22/12/2023 10:11	Microsoft Excel 97...
 29.CSV.xls	22/12/2023 10:11	Microsoft Excel 97...

Tomado de: Los autores

5.6.12 Procesamiento de los datos en Matlab

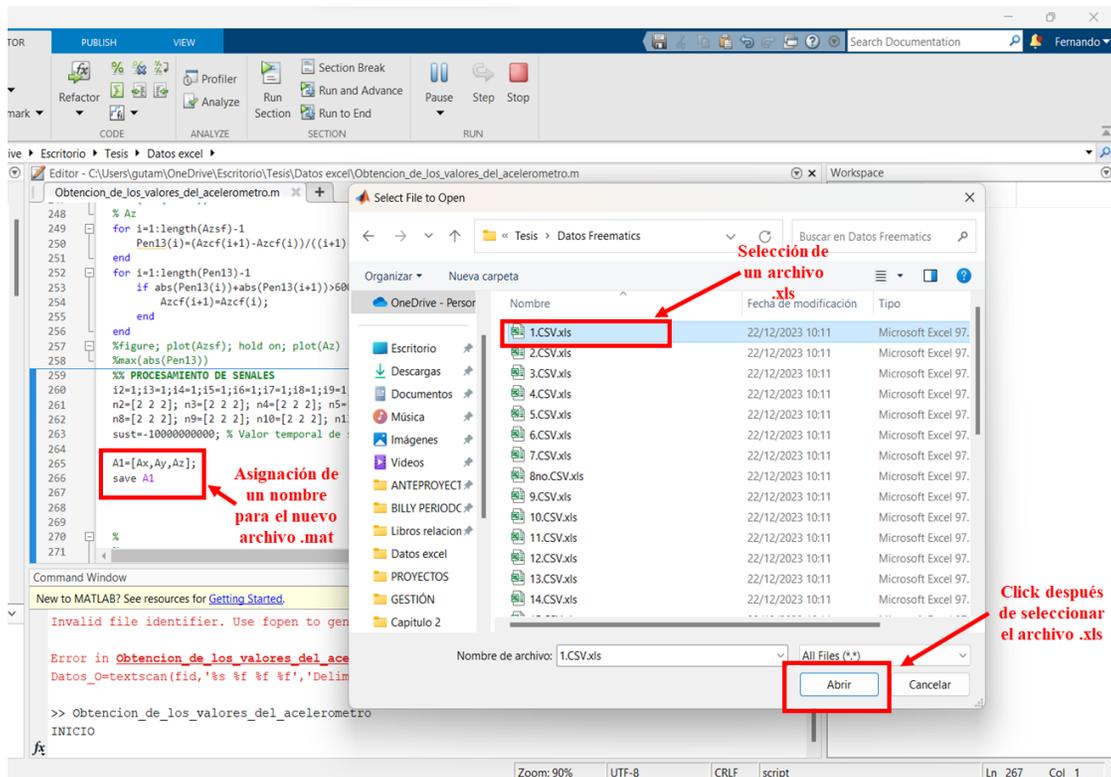
Obtención de los datos del acelerómetro. Una vez recopilados los datos de las 30 pruebas, se efectúa el procesamiento en Matlab con el objetivo de segmentar las lecturas provenientes del acelerómetro integrado en el Freematics. Tras la ejecución de este proceso, se obtienen datos en los

tres ejes (x, y, z) y se almacenan en archivos con extensión. mat, simplificando así su posterior análisis.

El procedimiento inicia con la apertura del software Matlab, donde se ejecutará el código del script llamado “Codigo1Obtenciondedatos”. En primer lugar, es esencial asignar un nombre al archivo que se creará en formato. mat, utilizando la línea de código designada como "save", así como la línea precedente, tal como se ilustra en la figura 31. A continuación, se ejecuta el script y se selecciona uno de los archivos de datos .xls, como se muestra.

Figura 31

Apertura del software Matlab



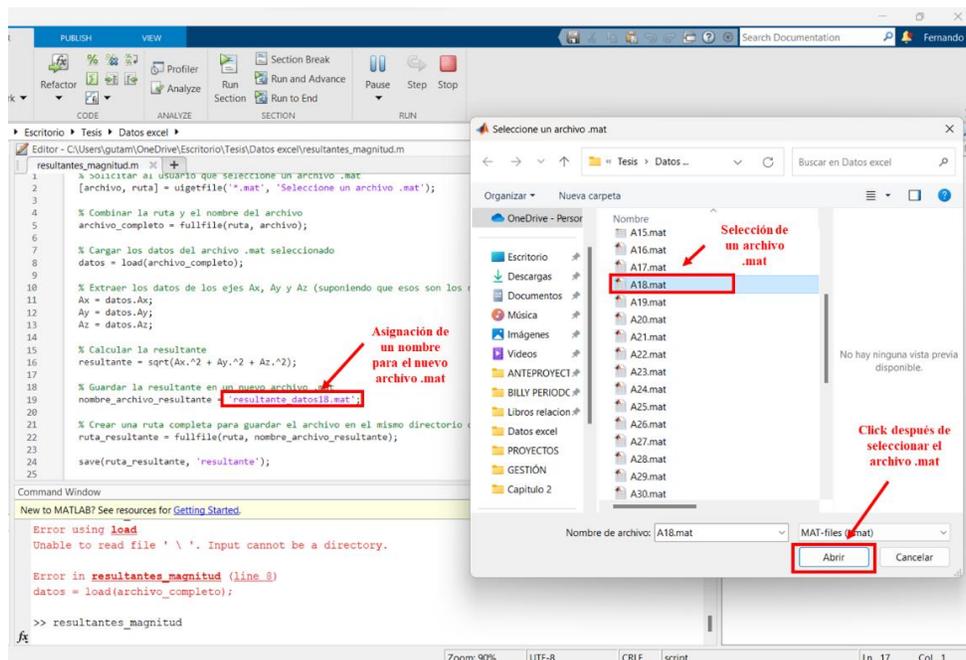
Tomado de: Autores

Al abrir este archivo, se guardará automáticamente el archivo .mat con el nombre preestablecido. Este proceso se debe replicar para cada conjunto de datos.

Obtención de la resultante de los 3 ejes. Durante la realización de las pruebas, no se puede asegurar que el dispositivo Freematics esté perfectamente alineado perpendicularmente a la vía, dada la presencia de irregularidades tanto en la carretera como en el vehículo. Con el objetivo de mejorar la precisión en el análisis de datos, se procede a calcular la resultante de las lecturas en los tres ejes (x, y, z). Este enfoque permite obtener una medida más precisa y comprensiva de la magnitud total de la aceleración, considerando todas las posibles direcciones de esta, independientemente de la orientación específica del dispositivo.

Figura 32

Ventana con ingreso de la programación



Tomado de: Autores

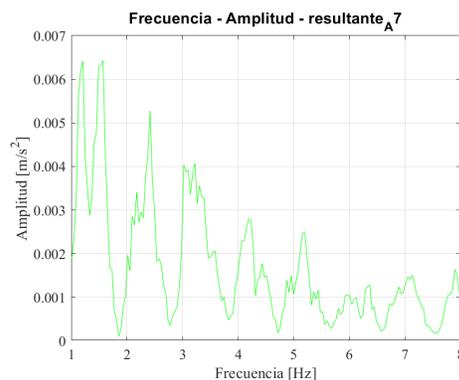
Para este proceso, se utiliza el script denominado "Codigo2CalculoMagnitud". Al igual que en el caso anterior, el resultado se guarda en un archivo. mat. En este script no es necesario asignar un nombre al archivo que se va a guardar, ya que el código lo guardará automáticamente con el nombre que le corresponda; durante la ejecución, se solicitará la selección de los archivos. mat previamente obtenidos en el paso anterior, tal como se observa en la figura 32.

Posteriormente, al hacer clic en "Abrir", el script se ejecutará por completo y se guardará automáticamente los archivos. mat con sus nombres respectivos.

Procesamiento de la magnitud de los ejes. Con el propósito de facilitar un análisis posterior, se llevará a cabo la generación de gráficas a partir de los datos magnitudes de los ejes. Para ello, ejecutaremos el script denominado "Codigo3Graficas". Al dar inicio al script, se deberá seleccionar los archivos previamente obtenidos, conforme se muestra en la figura 34. Al hacer clic en "Abrir", se generarán las gráficas y posteriormente se guardarán en formato .png como se observa en la figura 33, la cual será necesaria para análisis posteriores.

Figura 33

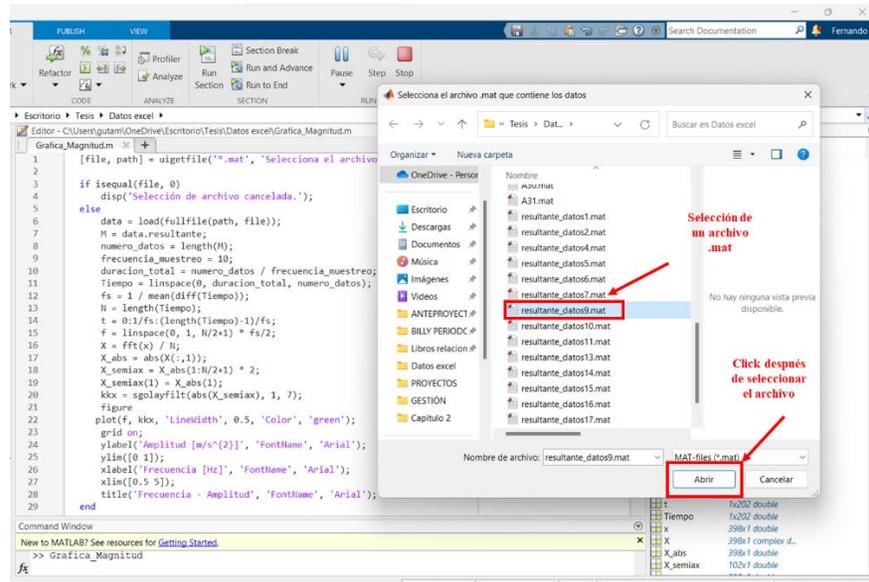
Espectro magnitud



Tomado de: Autores

Figura 34

Magnitud de ejes procesando



Tomado de: Autores

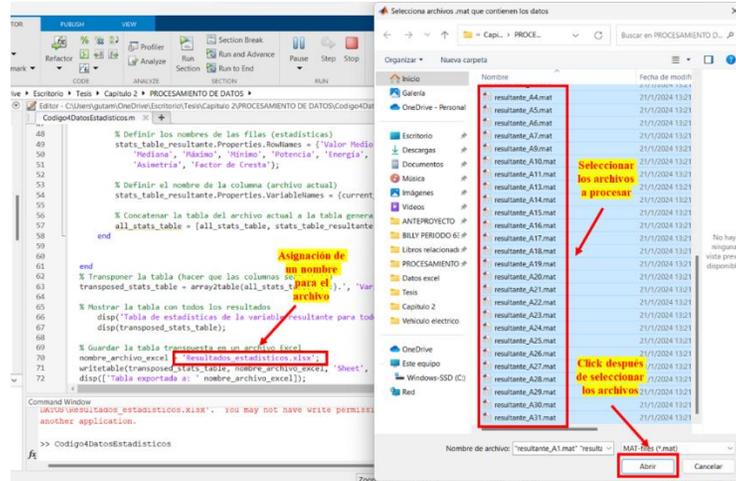
5.7 Obtención de parámetros estadísticos

Para llevar a cabo el análisis de vibraciones, resulta imperativo extraer indicadores estadísticos, dado que estos facilitan la interpretación de datos y proporcionan una evaluación de la validez de estos. La obtención de estos indicadores se lleva a cabo mediante la ejecución del script denominado "Codig04DatosEstadisticos".

Es esencial asignar un nombre al archivo .xlsx donde se almacenarán los resultados; esta tarea se realiza en la línea destinada a tal fin, como se ilustra en la figura 35. Al ejecutar el código, se solicitará la selección de archivos, y se procederá a elegir todos los archivos, tal como se exhibe en figura 35. Finalmente, al hacer clic en "abrir", el código procesará automáticamente los datos y los guardará.

Figura 35

Obtención parámetros estadísticos



Tomado de: Autores

Los indicadores estadísticos, una vez guardados, se presentarán visualmente, como se detalla en la figura 36.

Figura 36

Indicadores estadísticos en Excel

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	Valor Medio	Varianza	Desv. Estándar	Mediana	Máximo	Mínimo	Potencia	Energía	Curtosis	Asimetría	Factor de Cresta
2	-0,057160721	0,209777539	0,45801478	-0,090946548	1,591754251	-1,272435945	0,212060018	45,1687834	3,34743078	0,09615799	3,456580086
3	0,084395638	0,193243468	0,439594663	0,09403958	1,798617489	-1,179241053	0,19942344	40,8818052	4,20442506	0,08218767	4,0276406
4	0,385227254	0,222796063	0,472012778	0,390735265	1,702601791	-0,990702976	0,370936091	80,1221957	3,10918033	-0,088061061	2,795526029
5	0,527984197	0,100243749	0,316612932	0,53456379	1,389107107	-0,29790244	0,378759824	151,12517	2,88538573	0,041530216	2,257115485
6	0,527984197	0,100243749	0,316612932	0,53456379	1,389107107	-0,29790244	0,378759824	151,12517	2,88538573	0,041530216	2,257115485
7	0,226705521	0,15638733	0,39545838	0,2209519	1,406505695	-1,179820396	0,207016119	42,312882	3,63955687	-0,284090738	3,091287615
8	-1,79601968	0,188873299	0,434595558	-1,789401906	-0,602937493	-3,756075653	3,413633193	689,553905	4,76969684	-0,538925019	2,032946289
9	0,256761606	0,08536231	0,292168291	0,260253224	1,49707743	-0,86572809	0,151072726	59,6737266	3,91729395	0,009773767	3,851689154
10	0,084395638	0,193243468	0,439594663	0,09403958	1,798617489	-1,179241053	0,19942344	40,8818052	4,20442506	0,08218767	4,0276406
11	0,303900181	0,074828751	0,273548444	0,303851887	1,379727432	-0,926307074	0,166995585	66,2972473	4,03700242	0,035978113	3,376298253
12	0,401558209	0,492864312	0,702042956	0,464726274	2,30981848	-2,431653302	0,651477669	121,826324	5,01955672	-0,71892796	3,012672252
13	-1,47812677	0,186422578	0,43176681	-1,500367036	-0,254373385	-2,746714645	2,370362988	481,183687	3,37627505	0,307798754	1,784046273
14	-0,418996412	1,355724245	1,164355721	-0,509462381	2,977884892	-3,148919007	1,52790138	612,688453	2,90117025	0,247710013	2,547497865

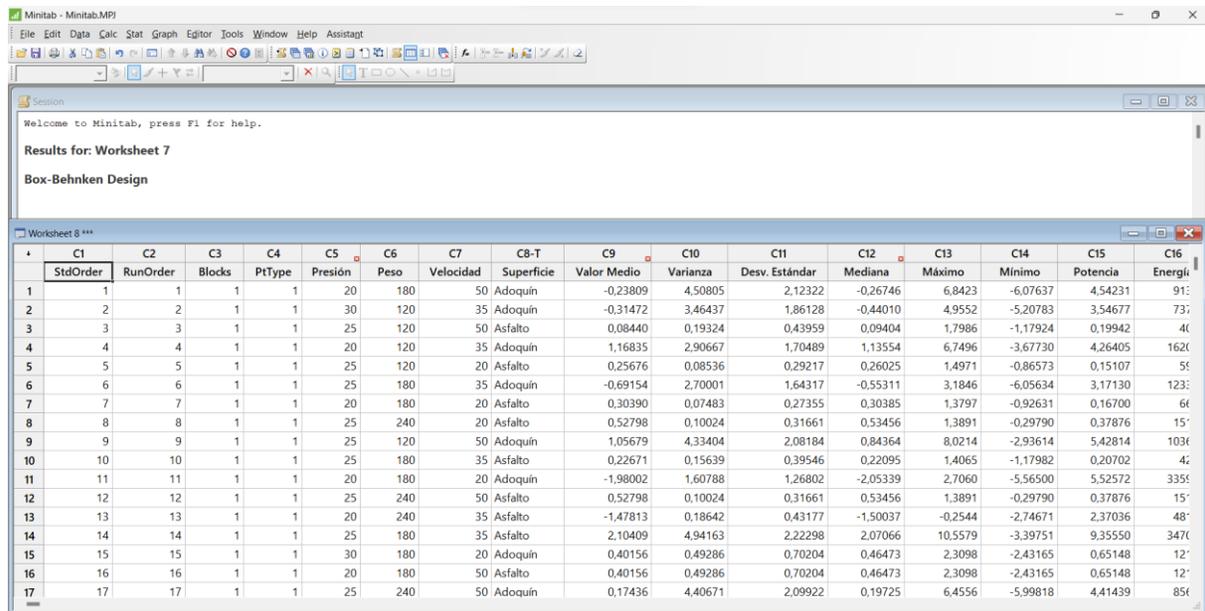
Tomado de: Autores

5.8 Obtención de graficas de los indicadores estadísticos

Con el objetivo de mejorar la facilidad y precisión en el análisis de espectros, es esencial contar con representaciones gráficas, ya que estas facilitan la interpretación de los resultados de las pruebas realizadas. En este contexto, se utilizará el software Minitab. Procedemos a abrirlo e introducir los datos de las diversas pruebas junto con los indicadores estadísticos, como se ilustra en la figura 37.

Figura 37

Indicadores estadísticos en Minitab



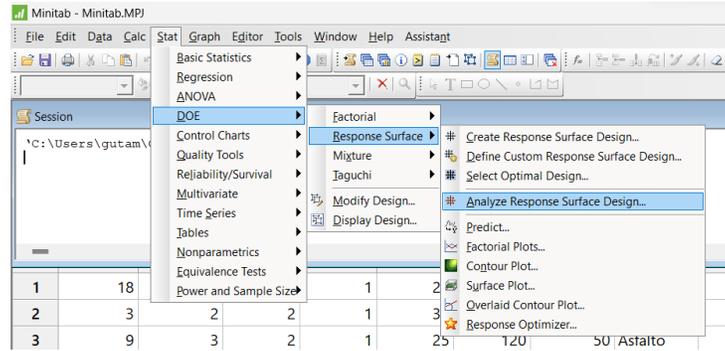
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8-T	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16
	StdOrder	RunOrder	Blocks	PtType	Presión	Peso	Velocidad	Superficie	Valor Medio	Varianza	Desv. Estándar	Mediana	Máximo	Mínimo	Potencia	Energía
1	1	1	1	1	20	180	50	Adoquín	-0.23809	4.50805	2.12322	-0.26746	6.8423	-6.07637	4.54231	91:
2	2	2	1	1	30	120	35	Adoquín	-0.31472	3.46437	1.86128	-0.44010	4.9552	-5.20783	3.54677	73:
3	3	3	1	1	25	120	50	Asfalto	0.08440	0.19324	0.43959	0.09404	1.7986	-1.17924	0.19942	4:
4	4	4	1	1	20	120	35	Adoquín	1.16835	2.90667	1.70489	1.13554	6.7496	-3.67730	4.26405	162:
5	5	5	1	1	25	120	20	Asfalto	0.25676	0.08536	0.29217	0.26025	1.4971	-0.86573	0.15107	5:
6	6	6	1	1	25	180	35	Adoquín	-0.69154	2.70001	1.64317	-0.55311	3.1846	-6.05634	3.17130	123:
7	7	7	1	1	20	180	20	Asfalto	0.30390	0.07483	0.27355	0.30385	1.3797	-0.92631	0.16700	6:
8	8	8	1	1	25	240	20	Asfalto	0.52798	0.10024	0.31661	0.53456	1.3891	-0.29790	0.37876	15:
9	9	9	1	1	25	120	50	Adoquín	1.05679	4.33404	2.08184	0.84364	8.0214	-2.93614	5.42814	103:
10	10	10	1	1	25	180	35	Asfalto	0.22671	0.15639	0.39546	0.22095	1.4065	-1.17982	0.20702	4:
11	11	11	1	1	20	180	20	Adoquín	-1.98002	1.60788	1.26802	-2.05339	2.7060	-5.56500	5.52572	335:
12	12	12	1	1	25	240	50	Asfalto	0.52798	0.10024	0.31661	0.53456	1.3891	-0.29790	0.37876	15:
13	13	13	1	1	20	240	35	Asfalto	-1.47813	0.18642	0.43177	-1.50037	-0.2544	-2.74671	2.37036	48:
14	14	14	1	1	25	180	35	Asfalto	2.10409	4.94163	2.22298	2.07066	10.5579	-3.39751	9.35550	347:
15	15	15	1	1	30	180	20	Adoquín	0.40156	0.49286	0.70204	0.46473	2.3098	-2.43165	0.65148	12:
16	16	16	1	1	20	180	50	Asfalto	0.40156	0.49286	0.70204	0.46473	2.3098	-2.43165	0.65148	12:
17	17	17	1	1	25	240	50	Adoquín	0.17436	4.40671	2.09922	0.19725	6.4556	-5.99818	4.41439	85:

Tomado de: Autores

Una vez ingresados los valores de los indicadores estadísticos en el software Minitab, se procede a realizar un análisis del diseño response surface de los datos figura 38. Posteriormente, se ejecutan las correspondientes gráficas que representan los resultados obtenidos en las distintas pruebas llevadas a cabo de acuerdo con el diseño response surface.

Figura 38

Análisis del diseño experimental

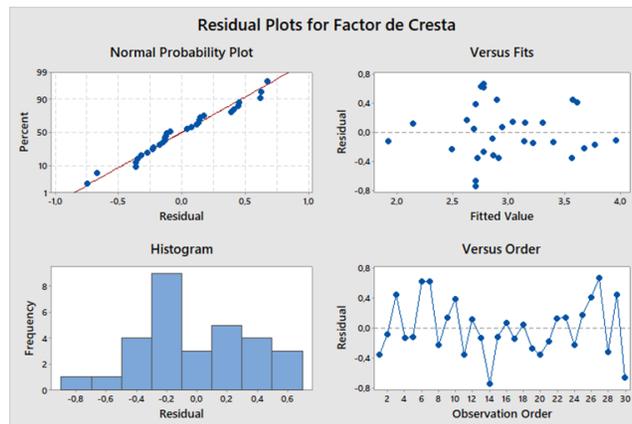


Tomado de: Autores

Tras el análisis del diseño response surface, se generan las siguientes gráficas: gráficas de residuos, gráfica de efectos principales y gráfica de interacciones, las cuales se visualizan en la figura 39, 40 y 41. Estas gráficas son fundamentales para la interpretación de las combinaciones de variables.

Figura 39

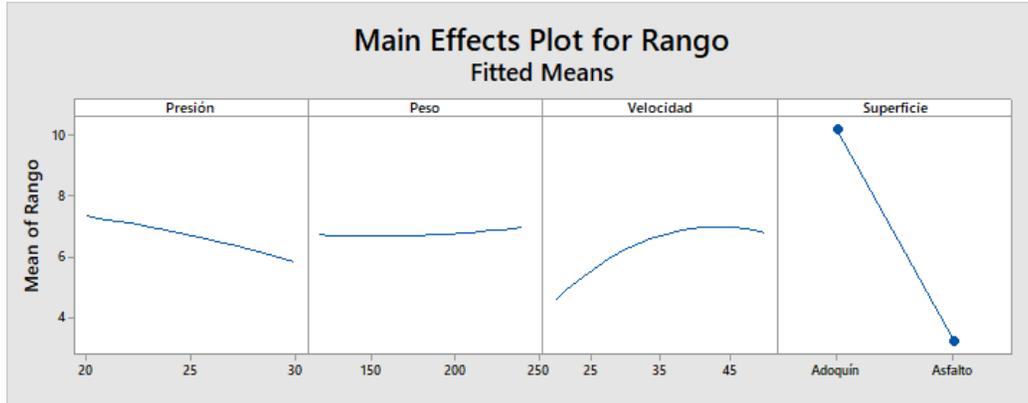
Gráficas de residuos



Tomado de: Autores

Figura 40

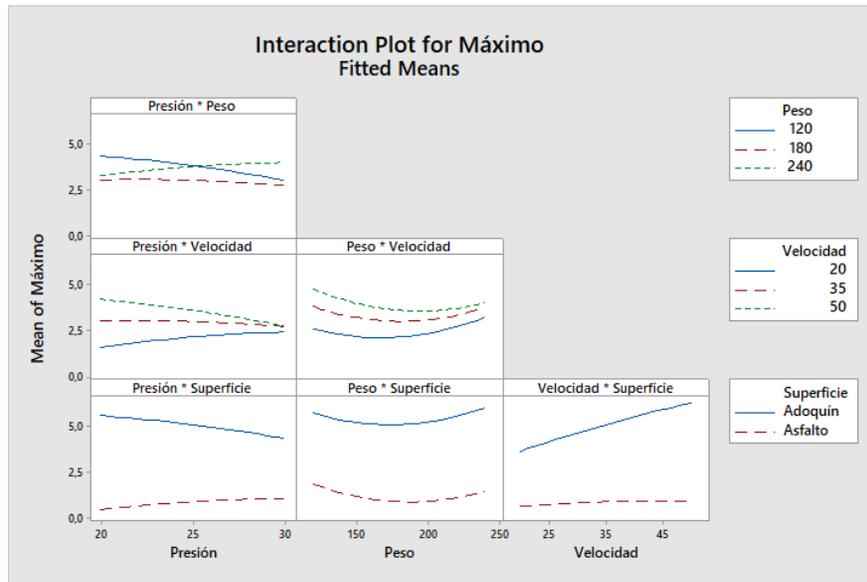
Gráficas de efectos principales



Tomado de: Autores

Figura 41

Gráficas de interacciones



Tomado de: Autores

CAPITULO III

6 ANÁLISIS DE RESULTADOS

6.1 Nomenclatura de las muestras y caracterización de espectros

Con el objetivo de simplificar el análisis de espectros, no se detallan todos los parámetros asociados a cada muestra, sino que se hace referencia a estas por su orden de corrida, como se ilustra en la tabla 3.

Tabla 3
Nomenclatura de espectros

Orden de corrida	Presión (PSI)	Peso (Kg)	Velocidad (Km/h)	Superficie
Muestra 1	20	180	50	Adoquín
Muestra 2	30	120	35	Adoquín
Muestra 3	25	120	50	Asfalto
Muestra 4	20	120	35	Adoquín
Muestra 5	25	120	20	Asfalto
Muestra 6	25	180	35	Adoquín
Muestra 7	20	180	20	Asfalto
Muestra 8	25	240	20	Asfalto
Muestra 9	25	120	50	Adoquín
Muestra 10	25	180	35	Asfalto
Muestra 11	20	180	20	Adoquín
Muestra 12	25	240	50	Asfalto

Muestra 13	20	240	35	Asfalto
Muestra 14	25	180	35	Asfalto
Muestra 15	30	180	20	Adoquín
Muestra 16	20	180	50	Asfalto
Muestra 17	25	240	50	Adoquín
Muestra 18	30	180	50	Asfalto
Muestra 19	25	180	35	Adoquín
Muestra 20	25	240	20	Adoquín
Muestra 21	20	120	35	Asfalto
Muestra 22	30	240	35	Adoquín
Muestra 23	25	120	20	Adoquín
Muestra 24	30	120	35	Asfalto
Muestra 25	30	240	35	Asfalto
Muestra 26	30	180	20	Asfalto
Muestra 27	25	180	35	Adoquín
Muestra 28	30	180	50	Adoquín
Muestra 29	20	240	35	Adoquín
Muestra 30	25	180	35	Asfalto

Este enfoque se mantendrá a lo largo de todo el análisis. Por ejemplo, al hacer referencia a la “muestra 1”, según la tabla 3, se determina que la presión del neumático es de 20 PSI, con un peso de 180 kg, a una velocidad de 50 km/h, y sobre una superficie de adoquín.

6.2 Análisis de los espectros característicos

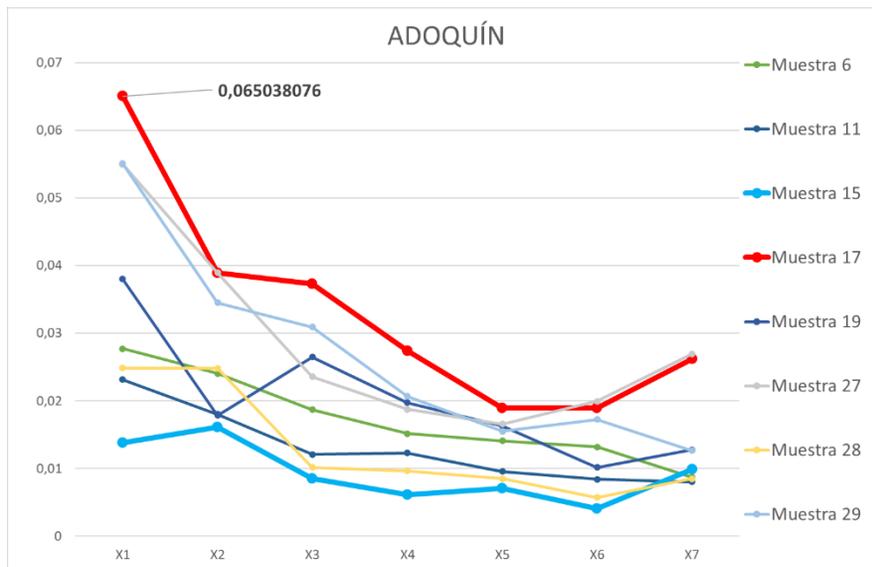
Durante el proceso de análisis, se seleccionan los resultados que exhiben las características más destacadas, condiciones ideales y valores óptimos, extraídos del análisis de las propiedades estadísticas. Los espectros mencionados se encuentran detallados en los anexos adjuntos.

6.2.1 Análisis de los espectros más significativos

Durante el proceso de análisis, se seleccionan los resultados que exhiben las características más destacadas figura 42, condiciones ideales y valores óptimos, extraídos del análisis de las propiedades estadísticas. Los espectros mencionados se encuentran detallados en los anexos adjuntos.

Figura 42

Espectros más significativos en adoquín

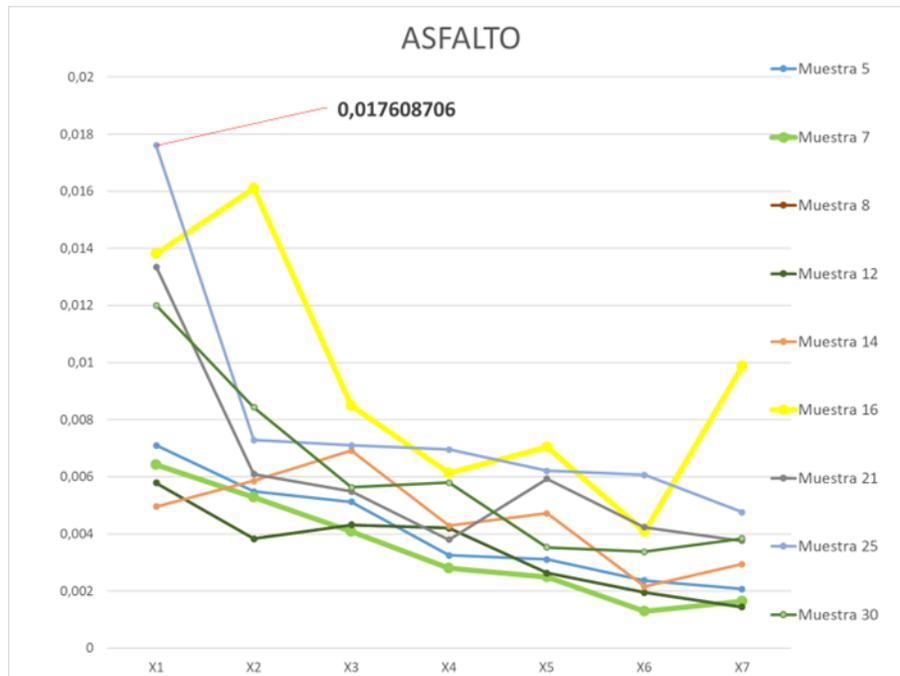


Tomado de: Autores

En el análisis gráfico de los espectros relacionados con la superficie de adoquín, destaca la curva representada en color celeste (Muestra 15), que exhibe un rendimiento particularmente positivo. Esta muestra presenta condiciones óptimas que contribuyen a una experiencia de conducción más confortable. En contraste, la curva de color rojo (Muestra 17) revela condiciones menos favorables, evidenciadas por picos elevados. Estos resultados señalan posibles inconvenientes en términos de confort al transitar sobre esa superficie.

Figura 43

Espectros más significativos en asfalto



Tomado de: Autores

En el análisis gráfico de los espectros relacionados con la superficie de asfalto, sobresale la curva representada en verde claro (Muestra 7) al exhibir un rendimiento especialmente positivo. Esta muestra presenta condiciones óptimas que contribuyen a una experiencia de conducción

confortable. En contraste, la curva de color amarillo (Muestra 16) revela condiciones menos favorables, evidenciadas por picos elevados. Estos resultados indican posibles inconvenientes en términos de confort al transitar sobre esa superficie.

6.3 Evaluación de las características más relevantes

6.3.1 Análisis de residuos

Con el propósito de verificar la congruencia o adaptación del modelo al diseño experimental, se emplea un gráfico de residuos "cuatro en uno", el cual presenta cuatro representaciones gráficas distintas de los residuos en una única ventana gráfica. Los residuos se utilizan para evaluar el cumplimiento de las premisas de linealidad en las relaciones y la normalidad de los residuos. Estas representaciones gráficas de residuos resultan fundamentales para analizar los datos en relación con diversas problemáticas, tales como la falta de normalidad, la presencia de variación no aleatoria, la falta de constancia en la varianza, posibles relaciones de orden superior y la identificación de valores atípicos. Las gráficas específicas incluidas en el diseño "cuatro en uno" son las siguientes:

- a) **Histograma:** Indica la presencia de sesgo en los datos o la existencia de valores atípicos.
- b) **Gráfica de probabilidad normal:** Evalúa la normalidad de la distribución de datos, detecta posibles influencias de otras variables en la respuesta o identifica valores atípicos.
- c) **Residuos versus valores ajustados:** Permite verificar la constancia de la varianza, detectar relaciones no lineales o identificar valores atípicos en los datos.

- d) **Residuos versus orden de los datos:** Indica la presencia de efectos sistemáticos en los datos relacionados con el tiempo o el orden de recopilación de los mismos.

6.3.2 Análisis de efectos principales

La representación gráfica de efectos principales analiza las variaciones en las medias de nivel con el objetivo de identificar qué variables categóricas tienen una mayor influencia en la respuesta. Se considera que existe un efecto principal cuando la media de la respuesta experimenta cambios en los distintos niveles de la variable. En otras palabras, si el valor p es inferior a α (establecido en 0.05), se considera que hay una influencia significativa; en caso contrario, si es mayor, no se observa un impacto significativo en la respuesta.

6.3.3 Análisis de interacciones

Las representaciones gráficas de interacción examinan las relaciones entre dos factores, analizando las líneas para comprender el impacto conjunto de las interacciones en la respuesta. En casos en los que hay más de tres variables, se emplea una representación gráfica en forma de matriz que crea un panel para cada par de variables en el conjunto de datos.

6.4 Análisis de las características destacadas

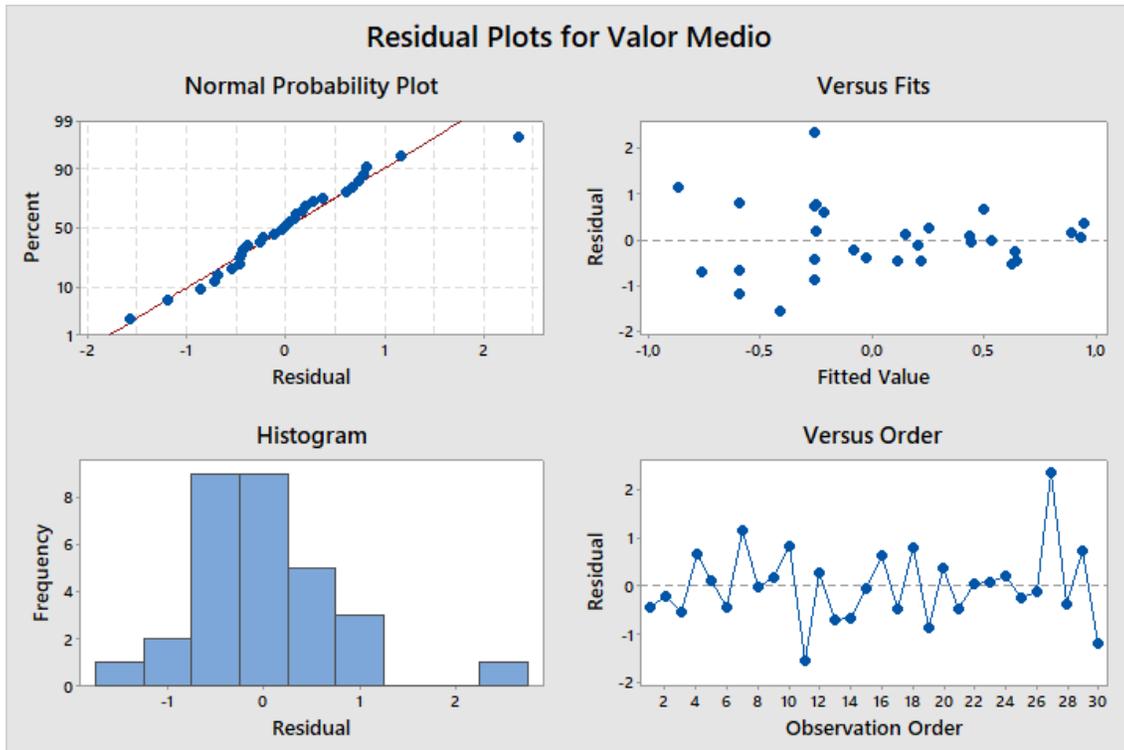
6.4.1 Análisis de Residuos

Gráficas de Residuos para Valor Medio. En la figura 44, el análisis de la gráfica de probabilidad normal, se evidencia que los datos se alinean con la línea de referencia, indicando la presencia de normalidad en los datos. Las curvas ligeramente reducidas en las colas sugieren la existencia de pequeños sesgos insignificantes en los resultados. Por otro lado, al examinar la gráfica de ajuste, se observa un espacio entre las muestras, lo cual señala la presencia de evidencia

relacionada con una variabilidad no constante, posiblemente derivada de algún error en el proceso de toma de muestras.

Figura 44

Gráficas de residuos para Valor Medio.

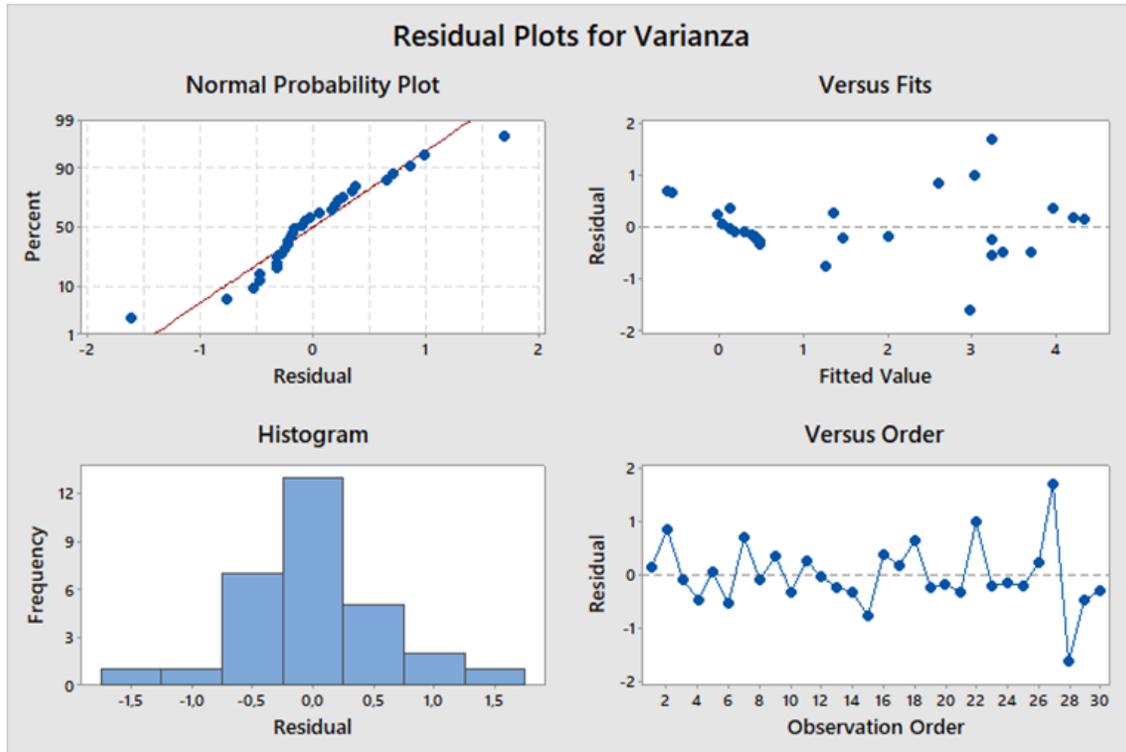


Tomado de: Autores

Gráficas de residuos para Varianza. En la figura 45, la gráfica de probabilidad normal muestra que la distribución de los datos no es normal. Esto se debe a que las colas de la distribución son curvas y hay puntos atípicos. La gráfica del histograma confirma este análisis, ya que muestra que la distribución de los datos no es simétrica. La gráfica de ajustes muestra que hay un espacio entre las muestras, lo que indica que la varianza no es constante.

Figura 45

Gráficas de residuos para Varianza

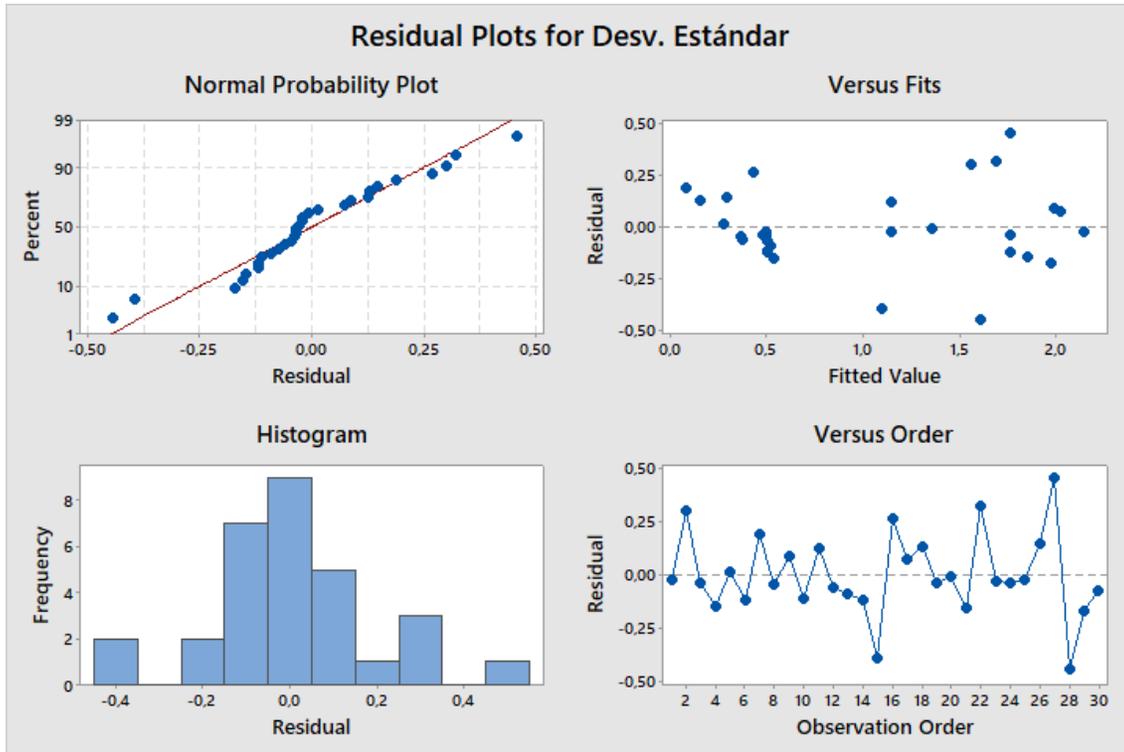


Tomado de: Autores

Gráficas de residuos para Desviación Estándar. En la figura 46, las colas de la distribución de los datos tienen una curvatura mínima, lo que se observa en la gráfica de probabilidad normal. La gráfica de ajustes muestra que hay un espacio entre los residuos, lo que indica que la varianza no es constante.

Figura 46

Gráficas de residuos para Desviación Estándar

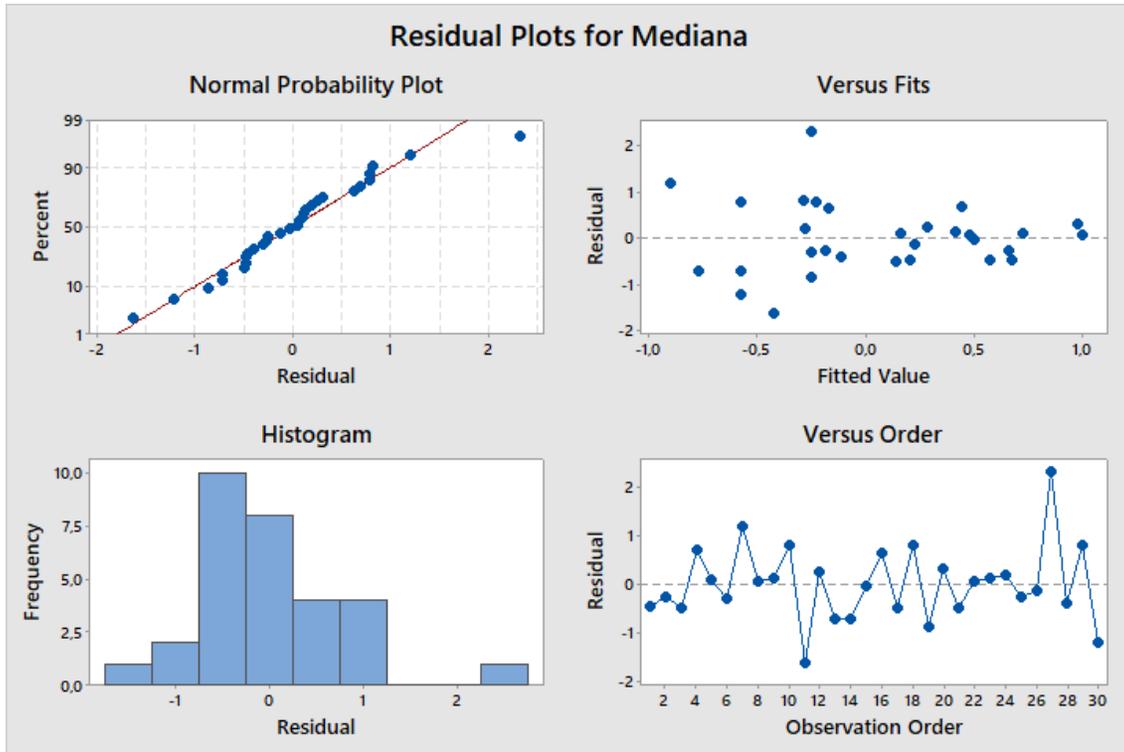


Tomado de: Autores

Gráficas de residuos para Mediana. En la figura 47, la gráfica de probabilidad normal indica que hay un valor atípico en las muestras, lo que sugiere que existen variables no identificadas. Esto se confirma en la gráfica del histograma, que muestra un punto atípico. La gráfica de ajustes también muestra que la varianza no es constante, ya que los residuos no están dispersos aleatoriamente alrededor de la línea de referencia.

Figura 47

Gráficas de residuos para Mediana

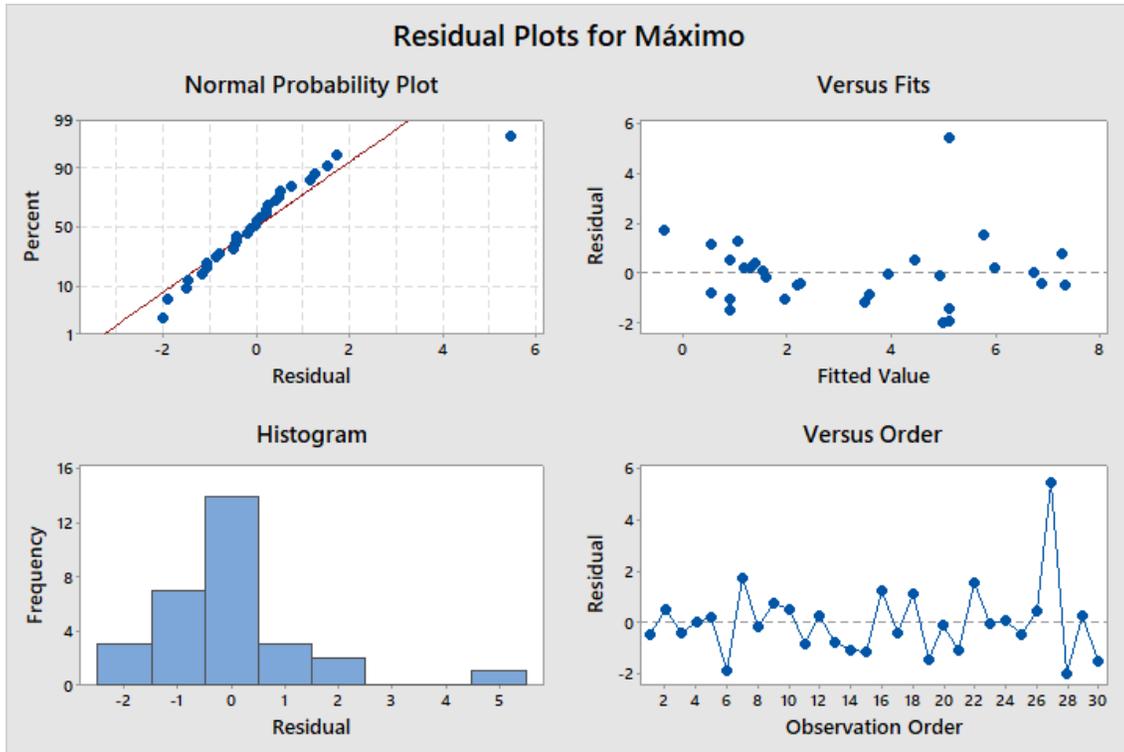


Tomado de: Autores

Gráficas de residuos del Máximo. En la figura 48, el gráfico de probabilidad normal revela una curvatura significativa en las colas de la distribución, con dos valores atípicos que se encuentran fuera de la misma, indicando una falta de normalidad. Con el análisis del histograma, se confirma la presencia de puntos atípicos en este análisis. Por otro lado, en la gráfica de ajuste, aparece un espacio entre las muestras, sugiriendo la presencia de variación no constante.

Figura 48

Gráficas de residuos para Máximo

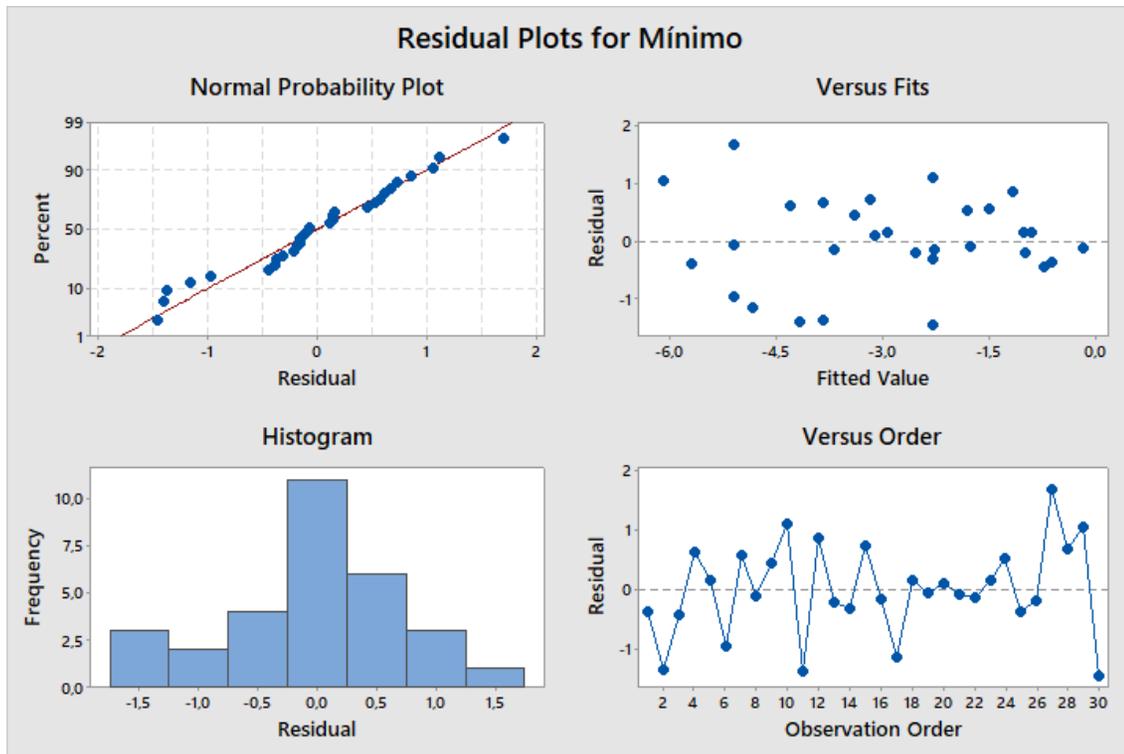


Tomado de: Autores

Gráficas de residuos para Mínimo. En la figura 49, la gráfica de probabilidad normal muestra que la distribución de los datos tiene una curvatura mínima en las colas. Esta curvatura indica que las muestras tienen una ligera tendencia a sesgarse hacia un lado. Esto se confirma en la gráfica del histograma, que muestra un punto atípico. Sin embargo, la gráfica de ajustes muestra que los residuos están dispersos aleatoriamente alrededor de cero, lo que indica que no hay evidencia de varianza no constante, términos faltantes o valores atípicos.

Figura 49

Gráficas de residuos para Minino

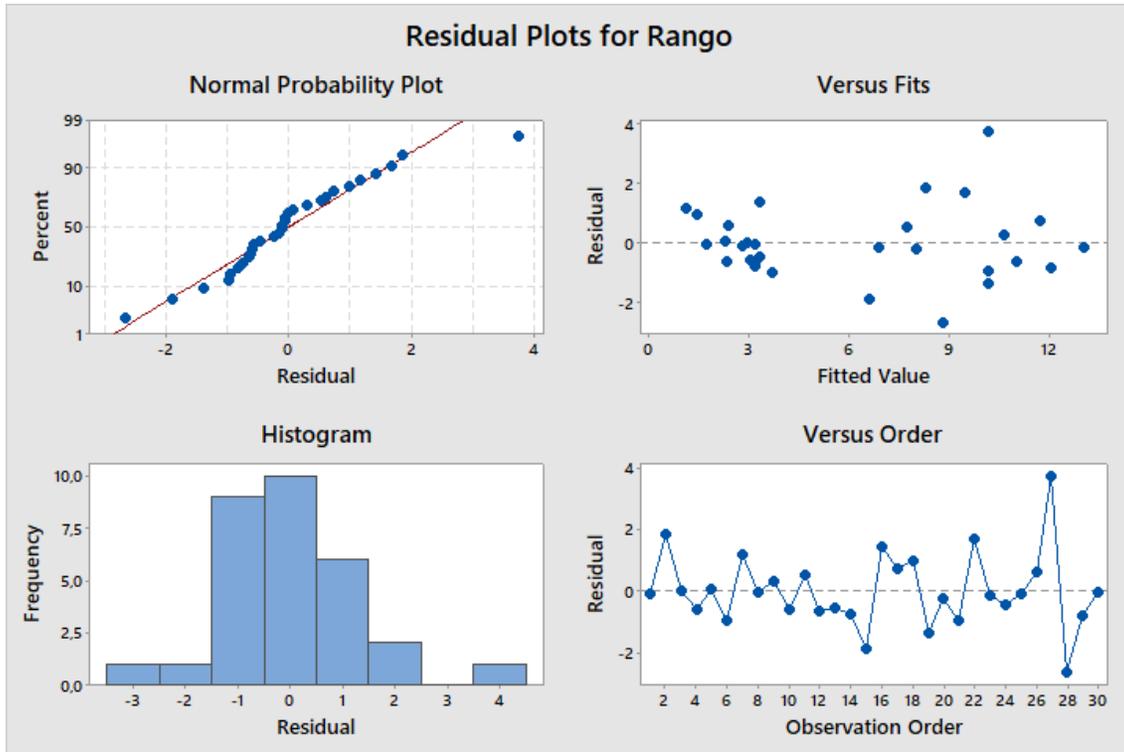


Tomado de: Autores

Gráfica de residuos para Rango. En la figura 50, el gráfico de probabilidad normal indica que la distribución de datos tiene una curvatura mínima en las colas. Esta curvatura indica que las muestras tienen poca tendencia a inclinarse hacia un lado. La representación del histograma, que muestra un punto atípico, confirma esto. Sin embargo, el gráfico de ajuste muestra que los residuos están distribuidos de manera aleatoria alrededor de cero, lo que indica que no hay evidencia de variación no constante, términos faltantes o valores atípicos.

Figura 50

Gráficas de residuos para Rango.

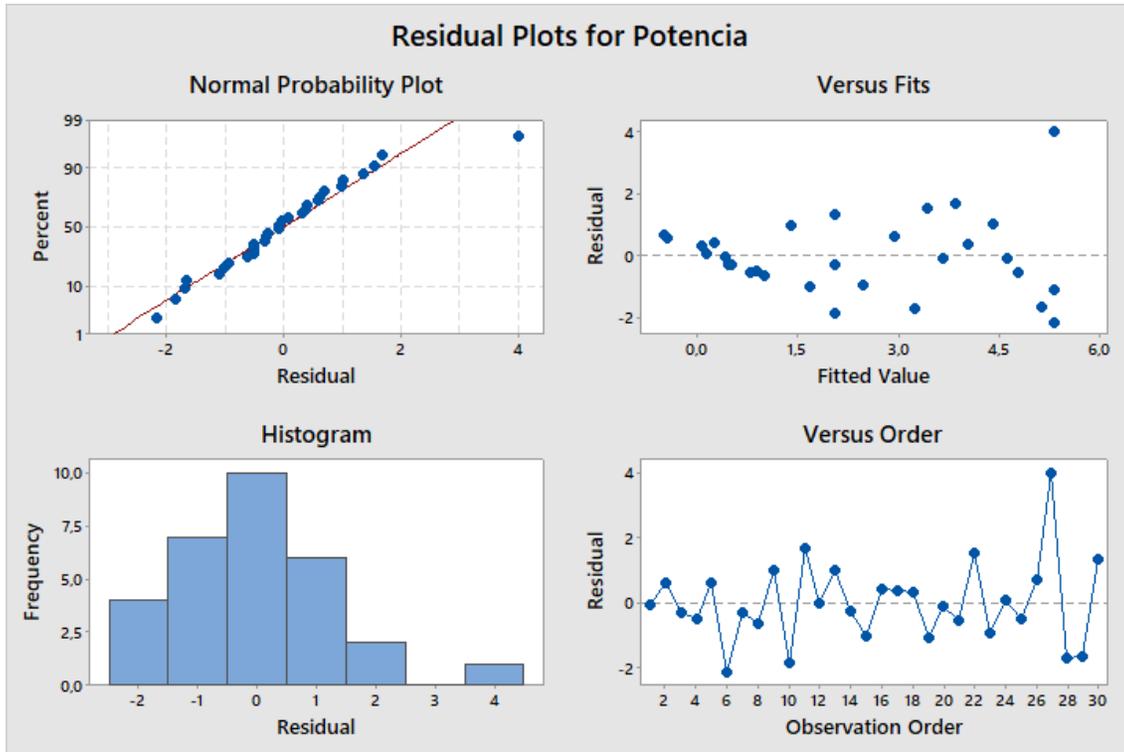


Tomado de: Autores

Gráficas de residuos para Potencia. En la figura 51, la gráfica de probabilidad normal muestra puntos negativos alejados de la línea de referencia. Estos puntos indican que existen valores atípicos, lo que se confirma en la gráfica del histograma. La gráfica de ajustes muestra que los residuos están dispersos aleatoriamente alrededor de cero, lo que indica que no hay evidencia de varianza no constante.

Figura 51

Gráficas de residuos para potencia

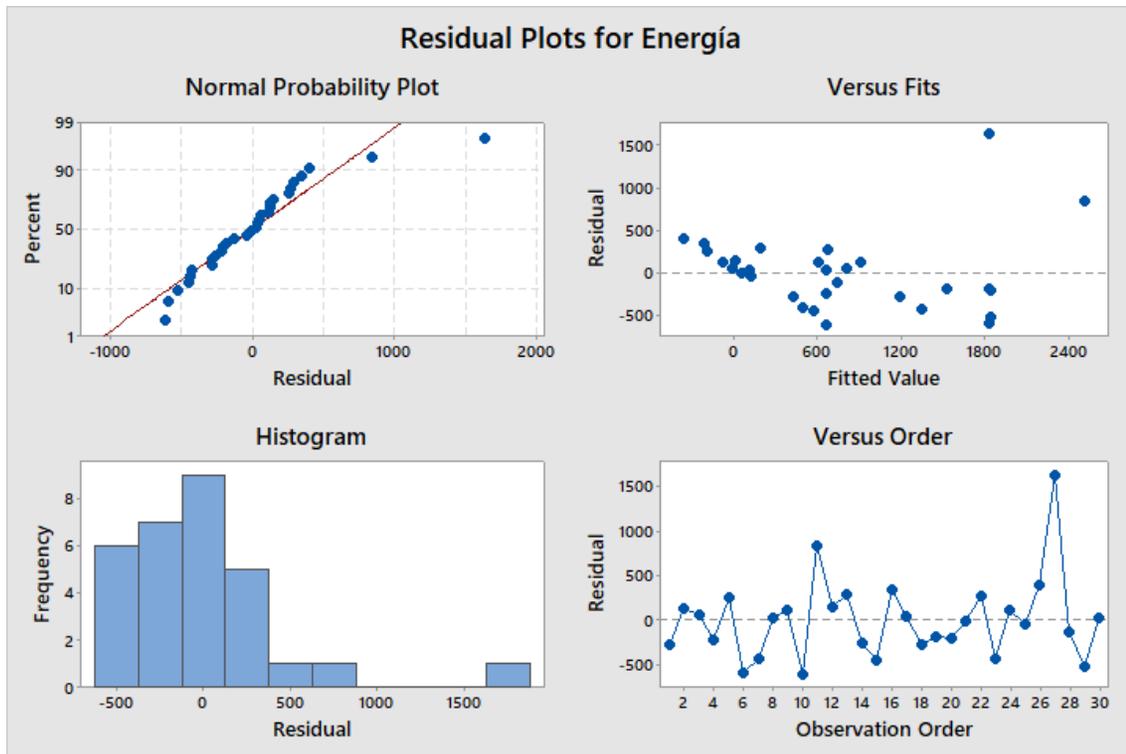


Tomado de: Autores

Gráficas de residuos para Energía. En la figura 52, la gráfica normal de probabilidad muestra puntos negativos cercanos a la línea de referencia. Estos puntos indican la presencia de valores atípicos en las observaciones, lo cual es respaldado por el gráfico del histograma. Como resultado, se concluye que la gráfica carece de normalidad. La gráfica de ajuste muestra que los residuos están distribuidos aleatoriamente alrededor de cero, indicando que no hay evidencia de variación no constante.

Figura 52

Gráficas de residuos para energía

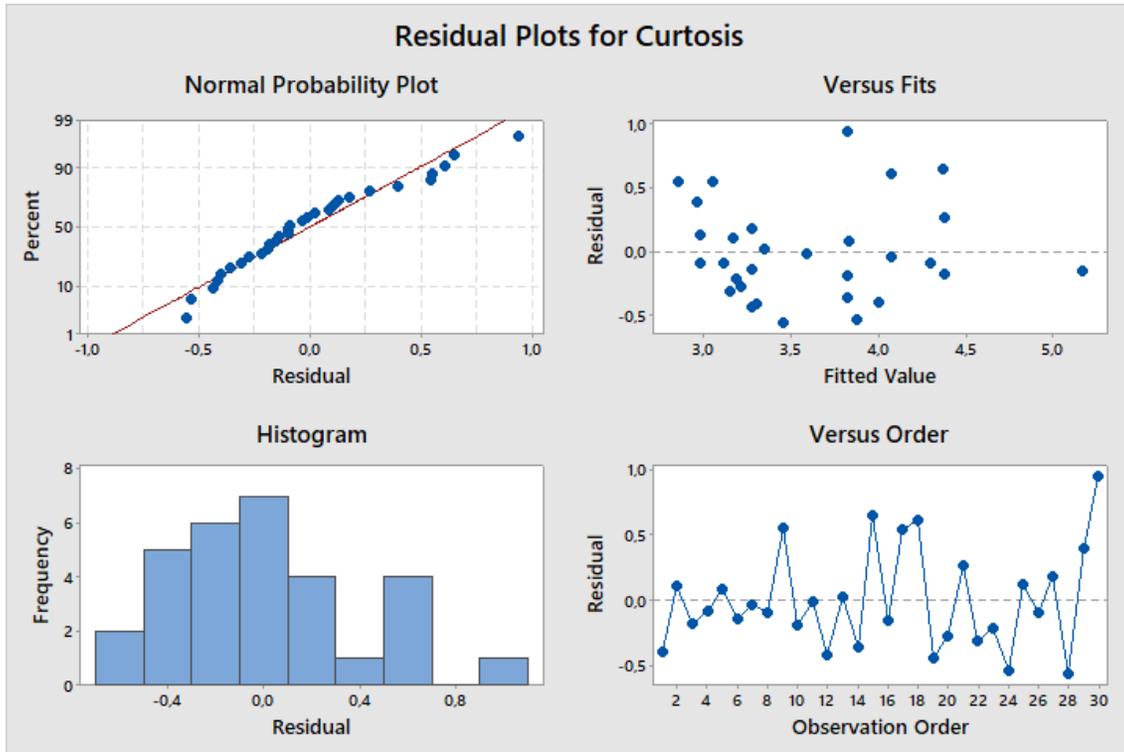


Tomado de: Autores

Gráficas de residuos para Factor De Curtosis. En la figura 53, la distribución de los datos tiene valores atípicos positivos y negativos, lo que se confirma en la gráfica del histograma. Las gráficas de ajustes y orden muestran que los residuos están dispersos aleatoriamente y simétricos alrededor de cero, lo que indica que no hay evidencia de varianza no constante, términos faltantes o valores atípicos.

Figura 53

Gráficas de residuos para Factor de Curtosis

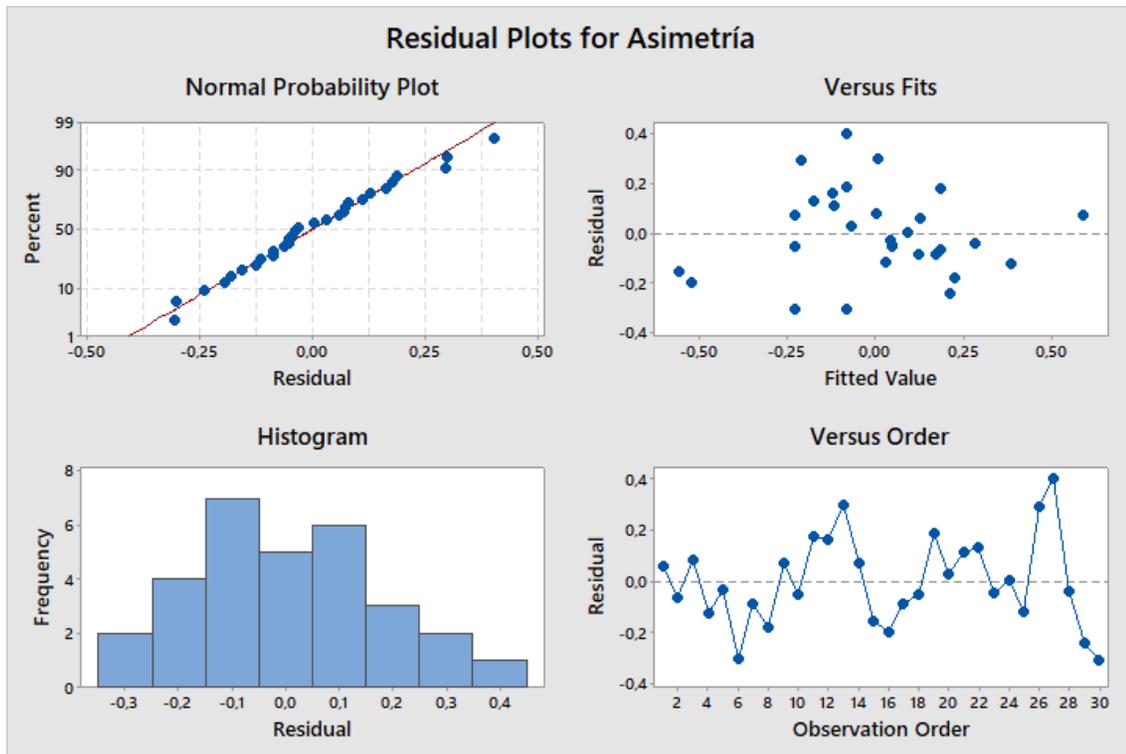


Tomado de: Autores

Gráfica de residuos para Asimetría. En la figura 54, la distribución de los datos tiene una curvatura mínima en las colas, lo que indica que no existen sesgos en las muestras. Esto se confirma en la gráfica del histograma. Las gráficas de ajustes y orden muestran que los residuos están dispersos aleatoriamente y simétricos alrededor de cero, lo que indica que no hay evidencia de varianza no constante, términos faltantes o valores atípicos.

Figura 54

Gráficas de residuos para Asimetría

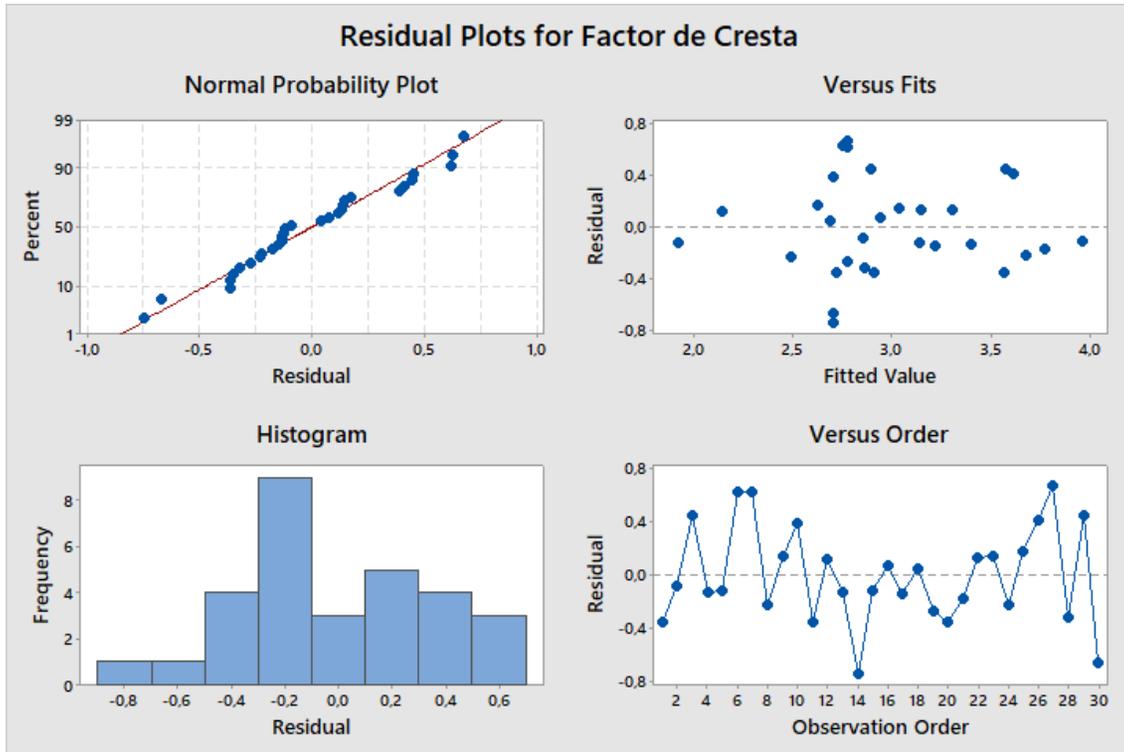


Tomado de: Autores

Gráfica de residuos para Factor de Cresta. En la figura 55, la distribución de los datos tiene una curvatura en las colas, lo que indica que existe una ligera tendencia a sesgarse hacia un lado. También existe un valor atípico negativo, lo que se confirma en la gráfica del histograma. Las gráficas de ajustes y orden muestran que los residuos están dispersos aleatoriamente y simétricos alrededor de cero, lo que indica que no hay evidencia de varianza no constante, términos faltantes o valores atípicos.

Figura 55

Gráficas de residuos para Factor Cresta



Tomado de: Autores

Analizando las gráficas de residuos de las diferentes características de los espectros, observamos que los residuos están distribuidos simétricamente alrededor de cero en todas las características. Esto indica que no hay evidencia de que los términos de error estén correlacionados entre sí.

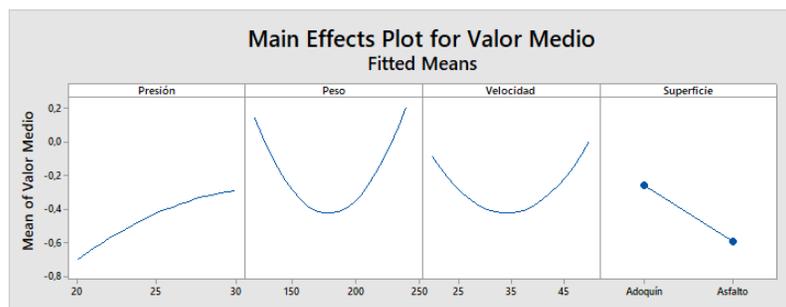
También observamos que las gráficas de probabilidad normal de todas las características muestran curvatura o sesgo en las colas. Esto podría deberse a que las gráficas tienen menos de 50 observaciones.

6.4.2 Análisis de Efectos Principales

Gráfica de Efectos Principales para Valor Medio. En la figura 56, el análisis gráfico, se observa que todas las variables (PRESIÓN, PESO, VELOCIDAD, SUPERFICIE) son representativas, ya que sus gráficas no son paralelas al eje x. Sin embargo, el análisis gráfico se descarta debido a que los valores de p son 0.436, 0.893, 0.868 y 0.382 respectivamente. Estos valores de p resultan ser mayores que α , lo que lleva a la conclusión de que los factores no son representativos.

Figura 56

Gráfica de efectos principales para Valor Medio

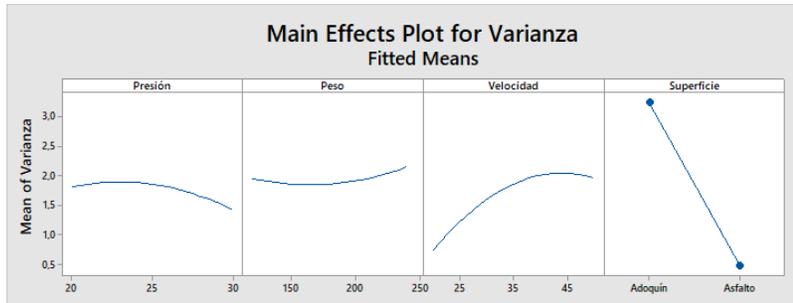


Tomado de: Autores

Gráfica de Efectos Principales para Varianza. En la figura 57, durante el análisis gráfico, se destaca que las variables influyentes son la VELOCIDAD y la SUPERFICIE, dado que sus gráficas no siguen una trayectoria paralela al eje x. Al corroborar estos hallazgos con los valores de p , se confirma la validez del análisis gráfico, ya que los valores de p son 0.008 y 0.000, respectivamente. Estos valores de p resultan ser menores que α , lo cual conduce a la conclusión de que estos factores son representativos.

Figura 57

Gráfica de efectos principales para Varianza

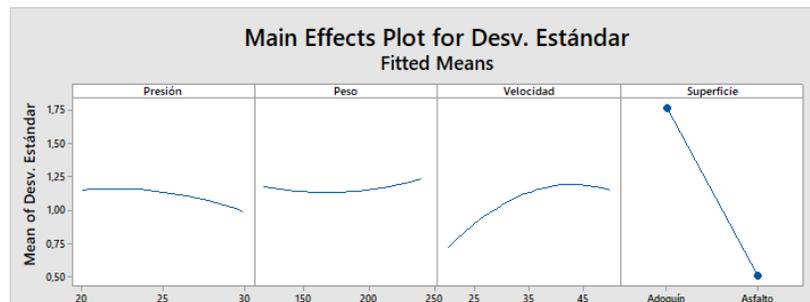


Tomado de: Autores

Gráfica de Efectos Principales para Desviación Estándar. En la figura 58, el análisis gráfico, se resalta la influencia principal de la variable SUPERFICIE, y aunque la VELOCIDAD no sigue exactamente una dirección perpendicular al eje x, se puede deducir que también es un factor representativo. Al respaldar estos descubrimientos con los valores de p, se valida el análisis gráfico, ya que los valores de p son 0.000 y 0.004, respectivamente. Dado que estos valores de p son inferiores a α , se llega a la conclusión de que ambos factores son representativos.

Figura 58

Gráfica de efectos principales para desviación estándar

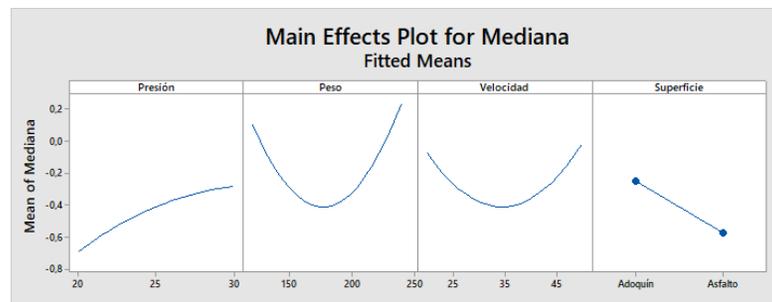


Tomado de: Autores

Gráfica de Efectos Principales para Mediana. En la figura 59, durante la evaluación gráfica, se nota que todas las variables (PRESIÓN, PESO, VELOCIDAD, SUPERFICIE) son significativas, evidenciado por la falta de paralelismo de sus gráficas con el eje x. Sin embargo, se descarta el análisis gráfico al considerar que los valores de p son 0.448, 0.796, 0.913 y 0.406 respectivamente. Estos valores de p resultan ser superiores a α , lo cual conduce a la conclusión de que los factores no poseen representatividad.

Figura 59

Gráfica de efectos principales para mediana

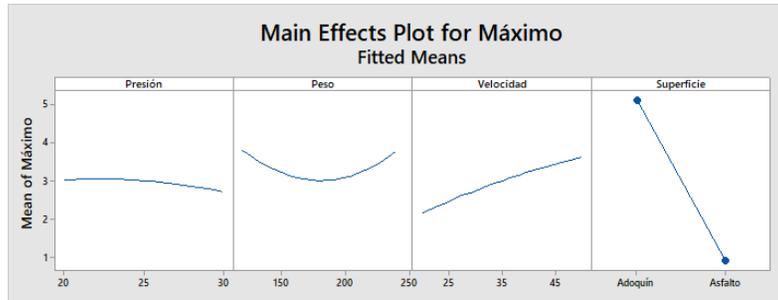


Tomado de: Autores

Gráfica de Efectos Principales para Máximo. En la figura 60, la evaluación gráfica, se destaca la influencia predominante de la variable SUPERFICIE, evidenciada por su falta de paralelismo con el eje x. Al respaldar este análisis con el valor de p , se confirma la validez del enfoque gráfico, dado que el valor de p para la SUPERFICIE es 0.000. Dado que este valor es inferior a α , se concluye que el factor es representativo.

Figura 60

Gráfica de efectos principales para máximo

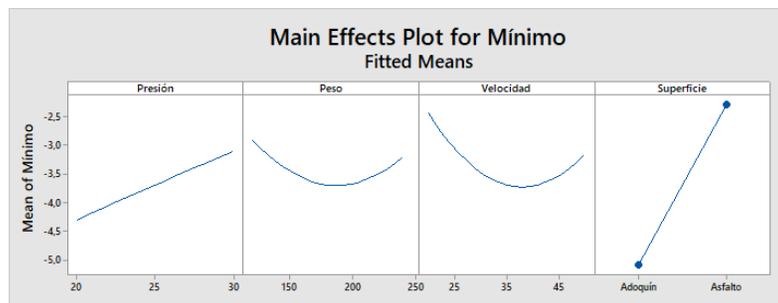


Tomado de: Autores

Gráfica de Efectos Principales para Mínimo. En la figura 61, durante el análisis gráfico, se destaca que las variables influyentes son la PRESIÓN y la SUPERFICIE, dado que sus gráficas no siguen una trayectoria paralela al eje x. Al corroborar estos hallazgos con los valores de p , se confirma la validez del análisis gráfico, ya que los valores de p son 0.036 y 0.000, respectivamente. Estos valores de p resultan ser menores que α , lo cual conduce a la conclusión de que estos factores son representativos.

Figura 61

Gráfica de efectos principales para mínimo

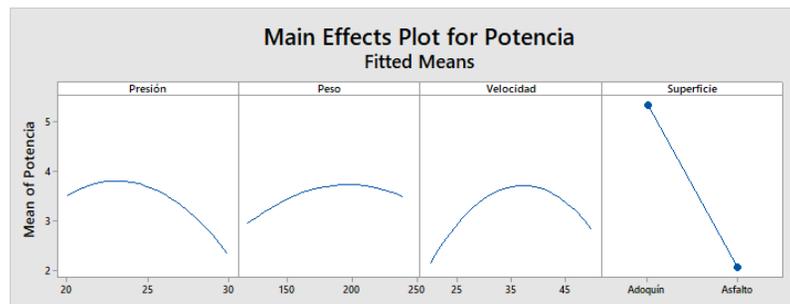


Tomado de: Autores

Gráfica de Efectos Principales para Potencia. En la figura 62, durante el análisis gráfico, se resalta la influencia principal de la variable SUPERFICIE, notada por su ausencia de paralelismo con el eje x. Al comprobar este análisis con el valor de p , se valida la integridad del enfoque gráfico, ya que el valor de p para la Superficie es 0.000. Debido a que este valor es menor que α , se llega a la conclusión de que el factor es representativo.

Figura 62

Gráfica de efectos principales para potencia

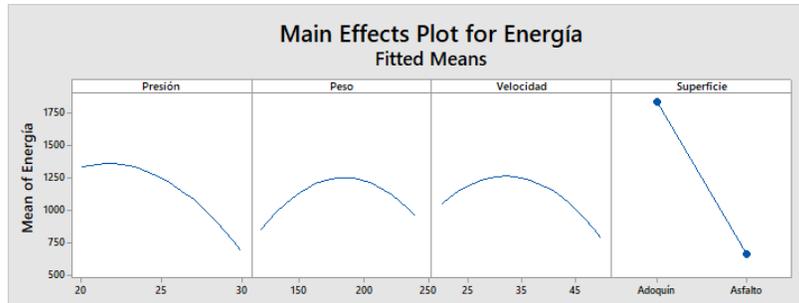


Tomado de: Autores

Gráfica de Efectos Principales para Energía. En la figura 63, el análisis gráfico, se destaca la influencia predominante de la variable SUPERFICIE, y aunque la PRESIÓN no sigue exactamente una dirección paralela al eje x, no se puede afirmar completamente que sea un factor representativo. Al respaldar estos hallazgos con los valores p , se descarta el análisis gráfico, ya que los valores de p son 0.000 y 0.048, respectivamente. Y dado que los valores de p son menores que α , se concluye que ambos factores son representativos.

Figura 63

Gráfica de efectos principales para energía

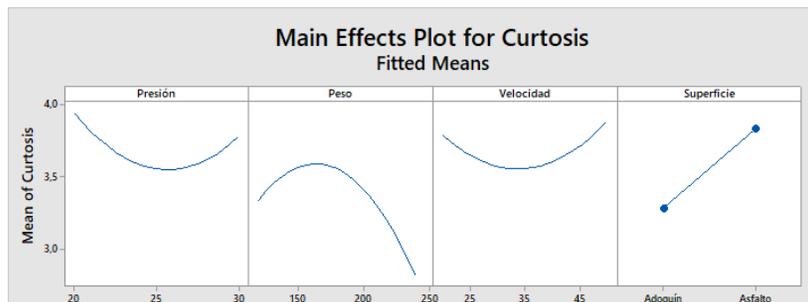


Tomado de: Autores

Gráfica de efectos principales para Factor De Curtosis. En la figura 64, el análisis gráfico, se nota que los factores PESO y SUPERFICIE son representativos, dado que sus gráficas no son paralelas al eje x. Sin embargo, se descarta el análisis gráfico debido a que los valores de p son 0.57 y 0.010, respectivamente. En consecuencia, al ser el valor de p para PESO mayor que α y el valor de p para SUPERFICIE menor que α , se concluye que solo el factor SUPERFICIE es representativo.

Figura 64

Gráfica de efectos principales para curtosis

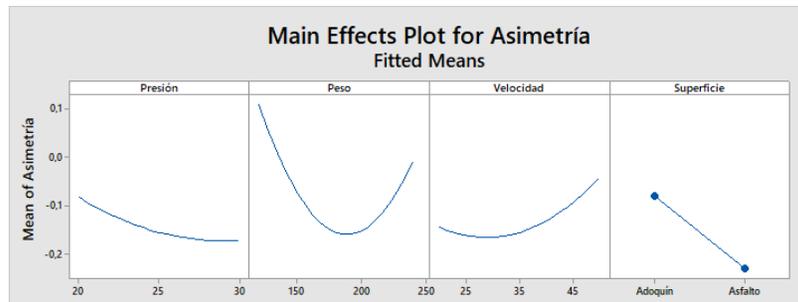


Tomado de: Autores

Gráfica de Efectos Principales para Asimetría. En la figura 65, a través del análisis gráfico, se puede determinar que los factores PRESIÓN, PESO, VELOCIDAD Y SUPERFICIE carecen de representatividad, ya que su alcance en el eje y es insignificante y no presentan una marcada perpendicularidad con el eje x. Al verificar los valores de p , se llega a la conclusión de que dichos factores no son representativos, dado que los de p son 0.462, 0.331, 0.404 y 0.101 respectivamente.

Figura 65

Gráfica de efectos principales para asimetría

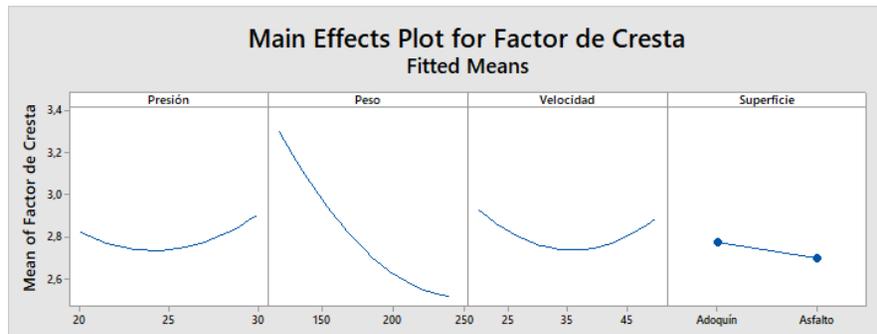


Tomado de: Autores

Gráfica de Efectos Principales para Factor de Cresta. En la figura 66, el análisis gráfico, se destaca que el factor PESO es representativo, ya que su presenta una perpendicularidad considerable respecto al eje x. Al verificar esta observación con el valor de p , se confirma la corrección del análisis gráfico, dado que el valor de p para este factor es 0.006. Dado que p es menor que α , se concluye que solo el factor PESO es representativo.

Figura 66

Gráfica de efectos principales para factor de cresta



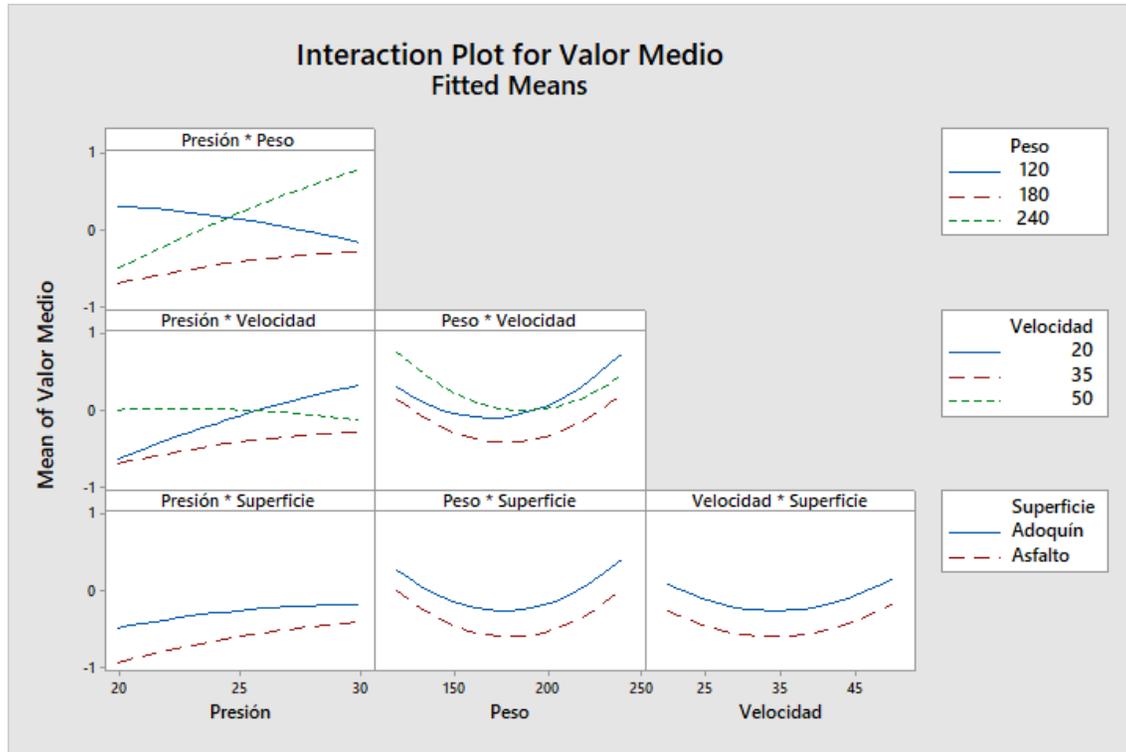
Tomado de: Autores

6.4.3 Análisis de Interacciones

Gráfica de Interacción para Valor Medio. En la figura 67, la gráfica de interacción, se evidencia la ausencia de interacciones significativas, ya que en varias de las gráficas las líneas son notoriamente paralelas y el rango medio de los valores que abarcan no resulta representativo. Además, al observar que el valor de p en todas las interacciones es mayor que α , se concluye que no existe una interacción fuerte.

Figura 67

Gráfica de interacción para Valor Medio.

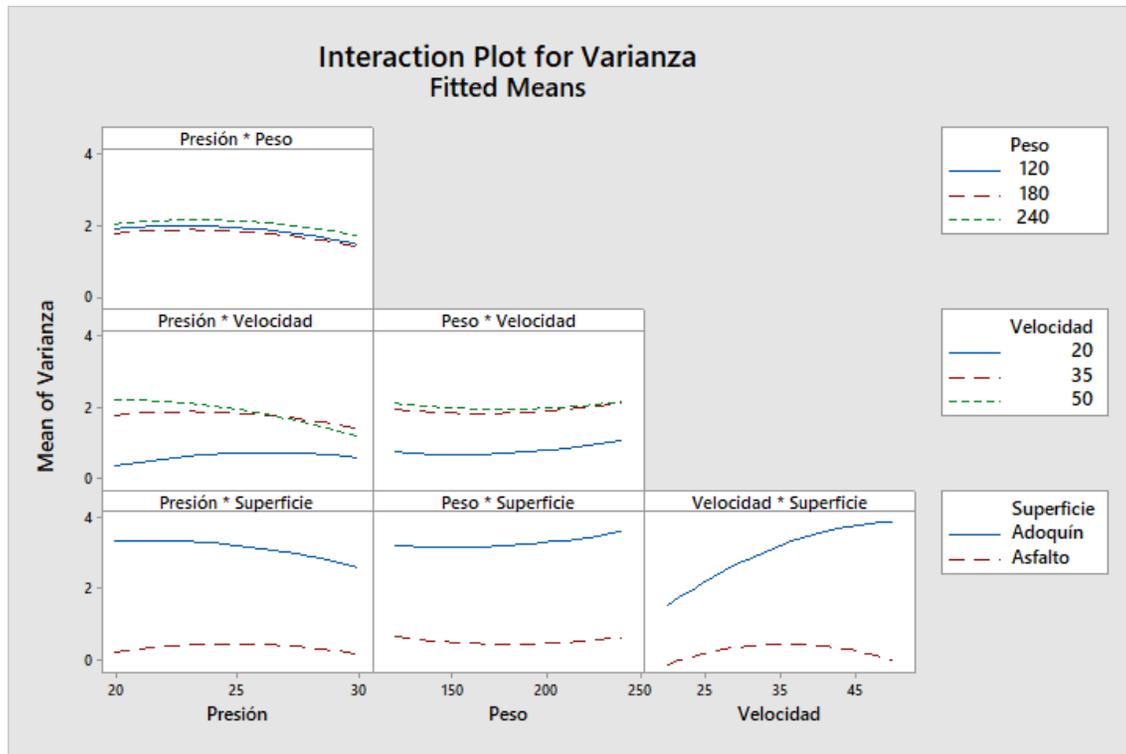


Tomado de: Autores

Gráfica de Interacción para Varianza. En la figura 68, la gráfica de interacción, resalta la influencia más significativa en la interacción VELOCIDAD*SUPERFICIE, evidenciada por la falta de paralelismo entre sus líneas. Al verificar el valor de p , confirmamos la interpretación anterior, ya que el valor de p para esta interacción es de 0.014, menor que α , indicando la presencia de una interacción fuerte. En contraste, las otras interacciones no muestran ser representativas, ya que sus valores de p son mayores que α . Por lo tanto, se concluye que la única interacción fuerte es la de VELOCIDAD*SUPERFICIE.

Figura 68

Gráfica de interacción para varianza

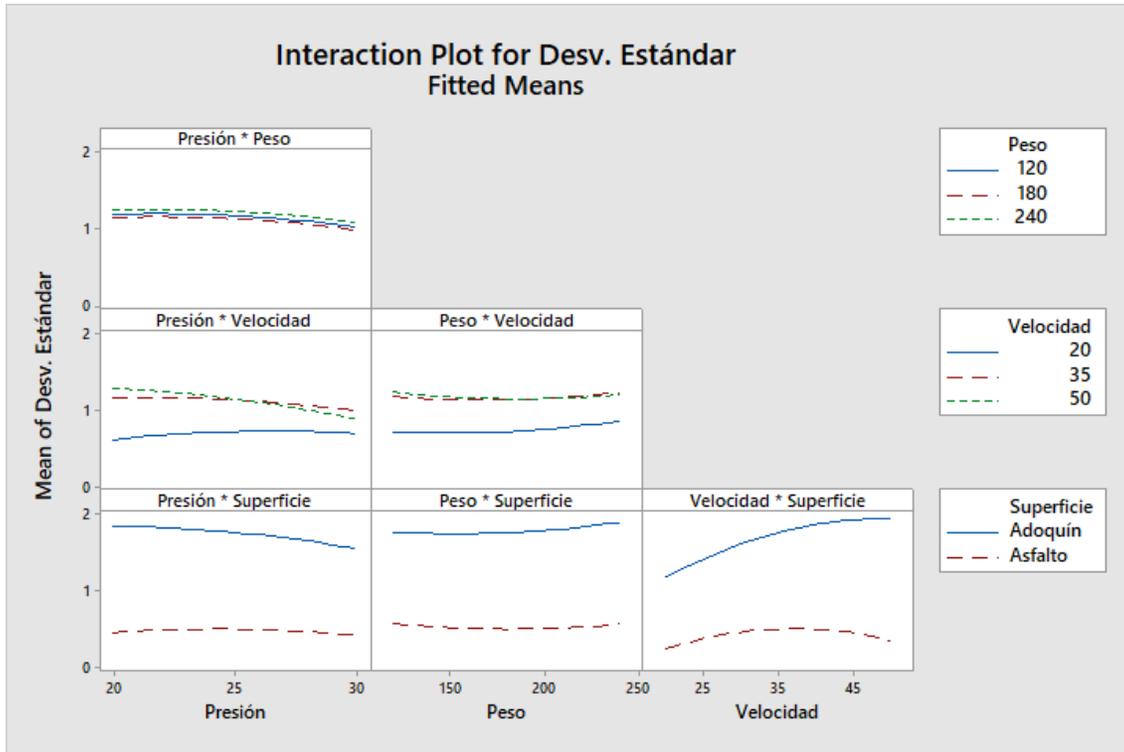


Tomado de: Autores

Gráfica de Interacción para Desviación Estándar. En la figura 69, la gráfica de interacción, destaca la influencia más significativa en la combinación VELOCIDAD*SUPERFICIE, evidenciada por la falta de paralelismo entre sus líneas. Al verificar el valor de p , corroboramos la interpretación previa, dado que el valor de p para esta interacción es 0.023, menor que α , señalando la existencia de una interacción fuerte. En contraste, las otras interacciones no son significativas, ya que sus valores de p son superiores a α . Por ende, se concluye que la única interacción fuerte es la de VELOCIDAD*SUPERFICIE.

Figura 69

Gráfica de interacción para desviación estándar

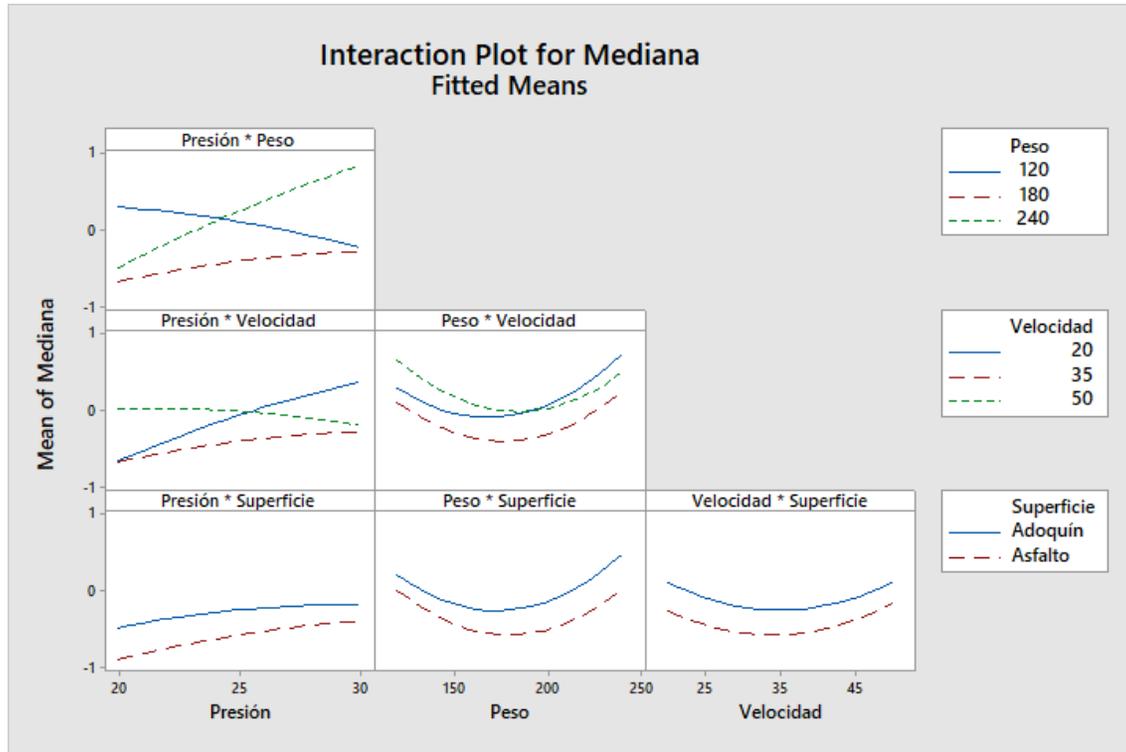


Tomado de: Autores

Gráfica de Interacción para Mediana. En la figura 70, la gráfica de interacción, se observa la falta de interacciones significativas, dado que en varias de las representaciones las líneas son claramente paralelas y el rango medio de los valores abarcados no es representativo. Además, al constatar que el valor de p en todas las interacciones es superior a α , se deduce que no hay presencia de una interacción fuerte.

Figura 70

Gráfica de interacción para mediana

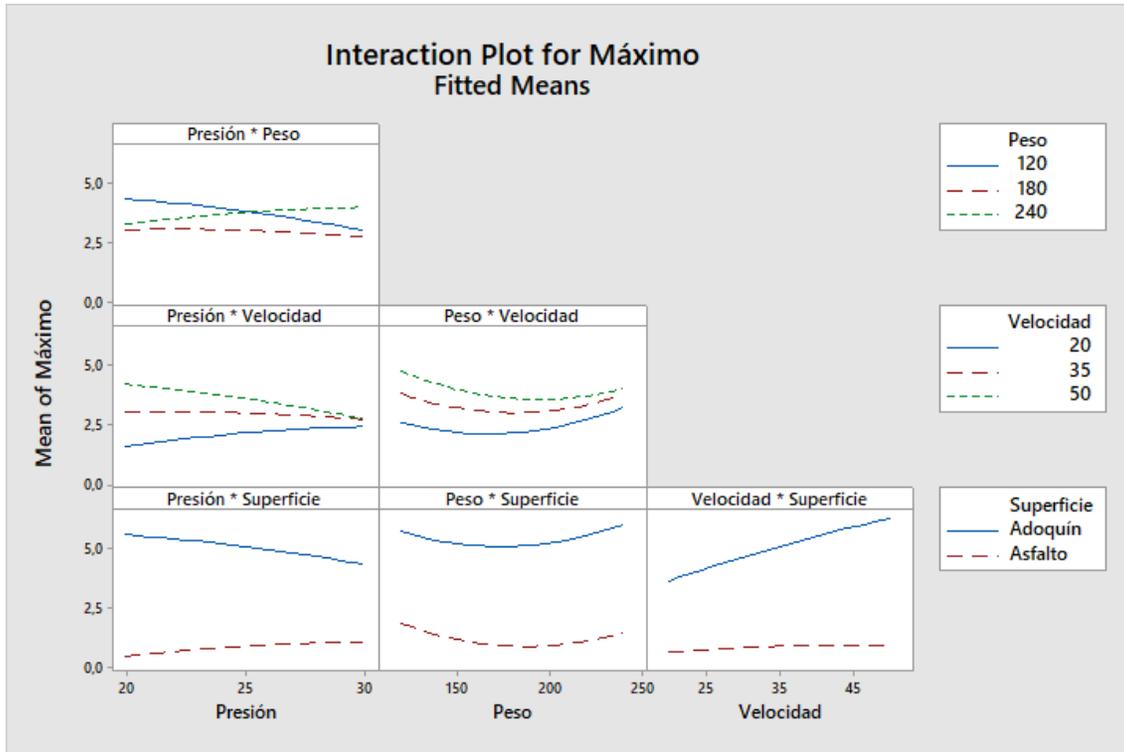


Tomado de: Autores

Gráfica de Interacción para Máximo. En la figura 71, la gráfica de interacción, parece destacar la combinación VELOCIDAD*SUPERFICIE, ya que se evidencia la falta de paralelismo entre sus líneas. Sin embargo, al examinar el valor de p , se descarta la interpretación previa, ya que el valor de p para esta interacción es 0.231, mayor que α , indicando la ausencia de una interacción fuerte. Por lo tanto, se concluye que en esta representación gráfica de interacciones no se presenta una interacción fuerte.

Figura 71

Gráfica de interacción para máximo

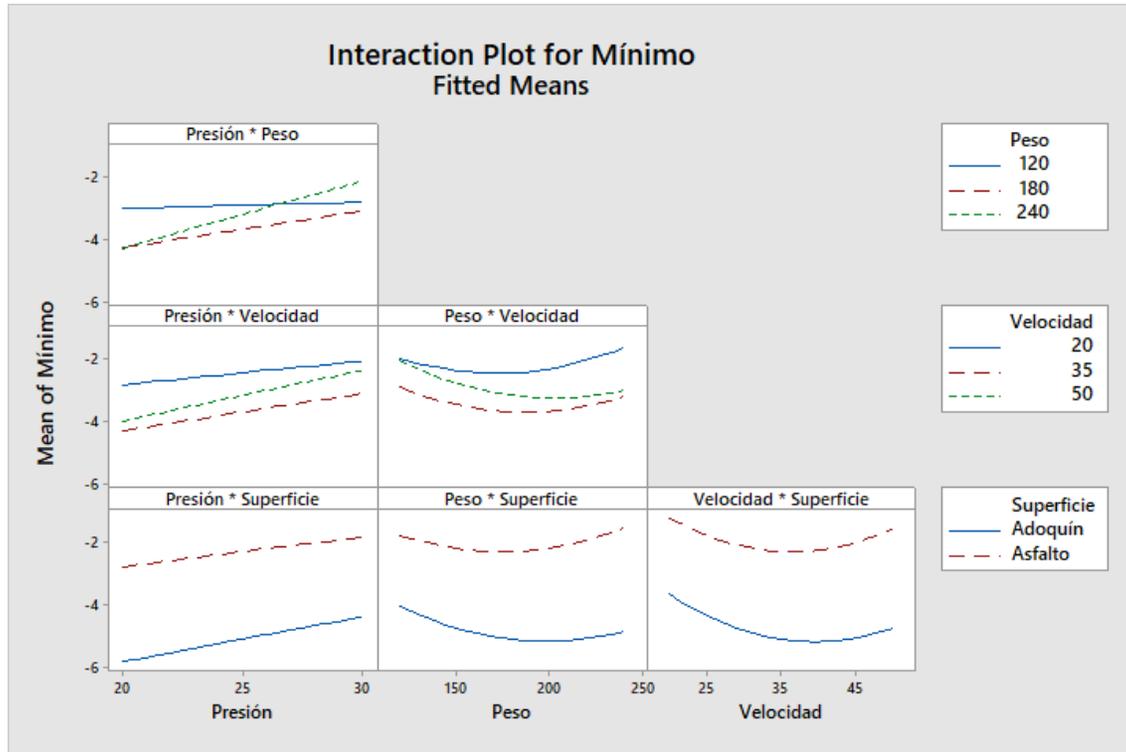


Tomado de: Autores

Gráfica de Interacción para Mínimo. En la figura 72, la gráfica de interacción, se nota la ausencia de interacciones significativas, ya que en varias representaciones las líneas son claramente paralelas y el rango medio de los valores incluidos no resulta representativo. Además, al verificar que todos los valores de p en las interacciones son mayores que α , se llega a la conclusión de que no hay indicios de una interacción fuerte.

Figura 72

Gráfica de interacción para mínimo

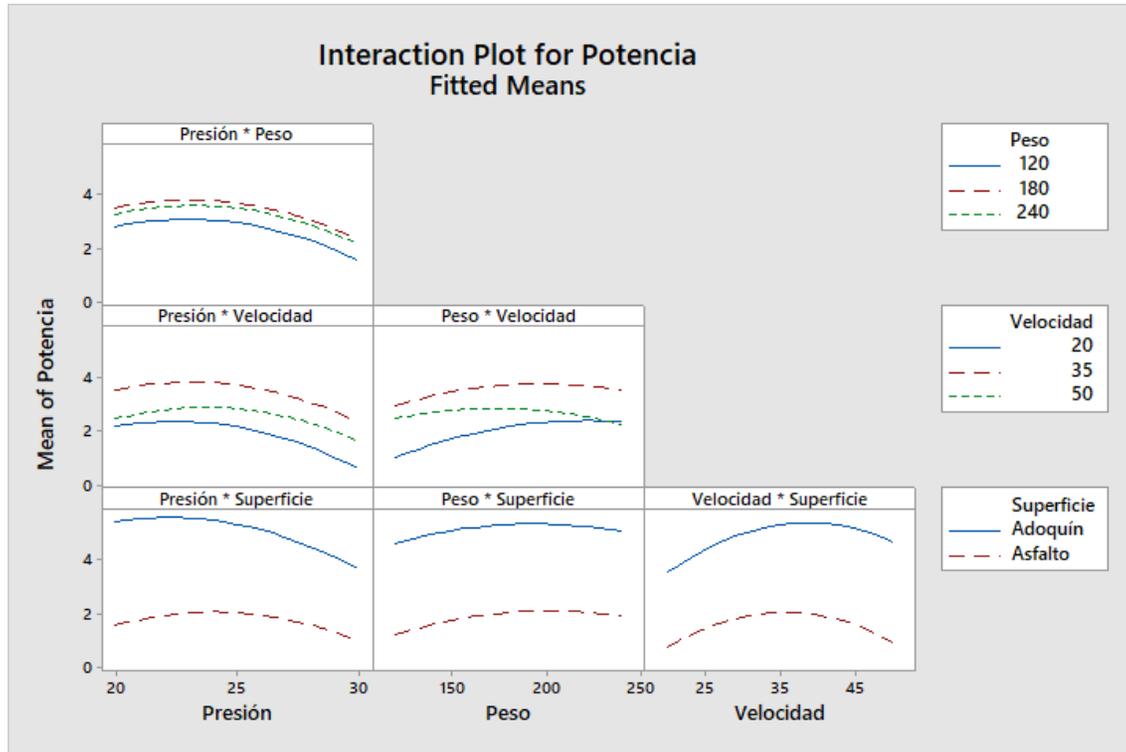


Tomado de: Autores

Gráfica de Interacción para Potencia. En la figura 73, la gráfica de interacción, se evidencia la falta de interacciones destacadas, ya que las líneas son claramente paralelas en varias representaciones y el rango medio de los valores abarcados no refleja de manera significativa las variaciones. Además, al constatar que todos los valores de p en las interacciones superan α , se infiere que no se presenta una interacción fuerte.

Figura 73

Gráfica de interacción para potencia

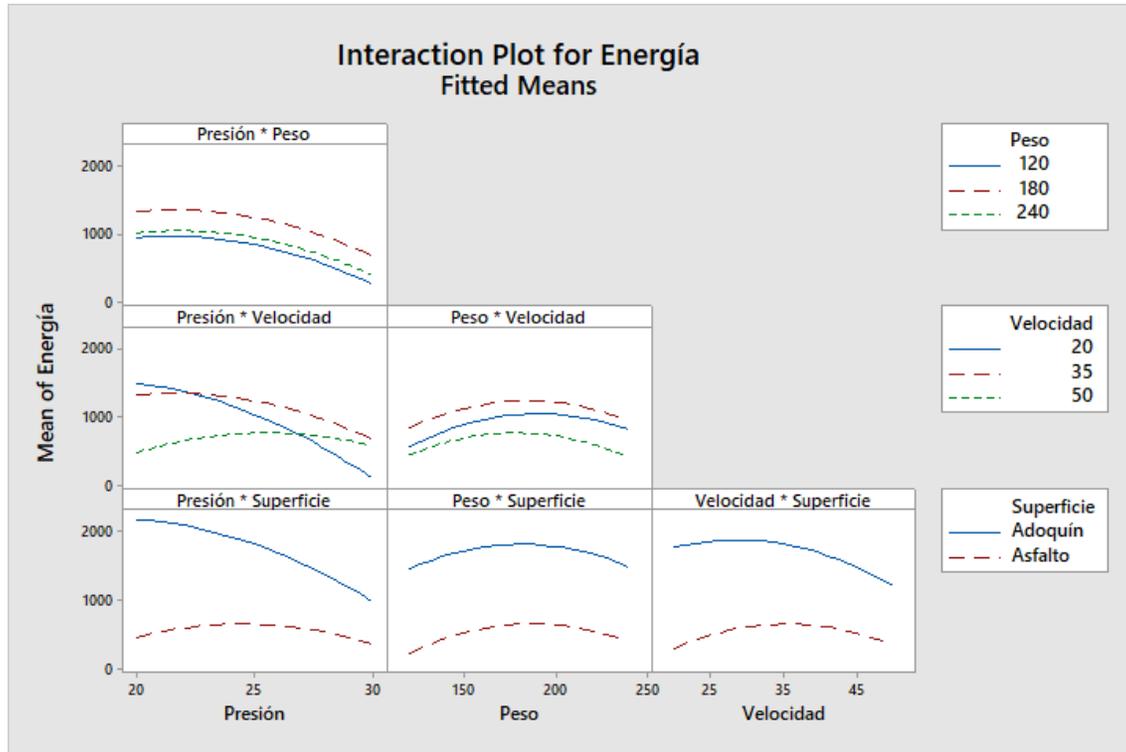


Tomado de: Autores

Gráfica de Interacción para Energía. En la figura 74, la gráfica de interacción, resalta la combinación PRESIÓN*SUPERFICIE, evidenciada por la divergencia entre sus líneas. No obstante, al analizar el valor de p , se desestima la interpretación inicial, ya que el valor de p para esta interacción es 0.090, superando a α , señalando la falta de una interacción fuerte. Por ende, se llega a la conclusión de que en esta representación gráfica de interacciones no se manifiesta un impacto fuerte.

Figura 74

Gráfica de interacción para energía

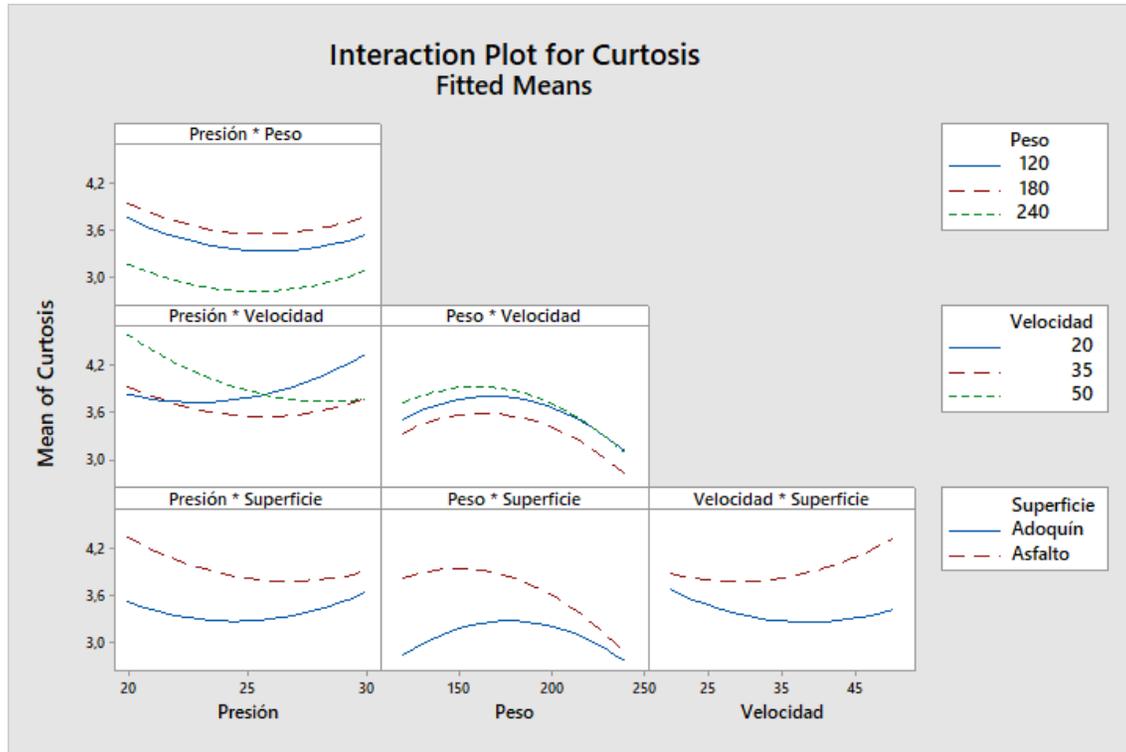


Tomado de: Autores

Gráfica de Interacción para Factor De Curtosis. En la figura 75, la gráfica de interacción, se nota la ausencia de interacciones notables, ya que las líneas transcurren de manera paralela en diversas representaciones y el rango medio de los valores abordados no capta de manera significativa las fluctuaciones. Asimismo, al confirmar que cada valor de p en las interacciones sobrepasa α , se sugiere que no hay evidencia de una interacción fuerte.

Figura 75

Gráfica de interacción para factor curtosis

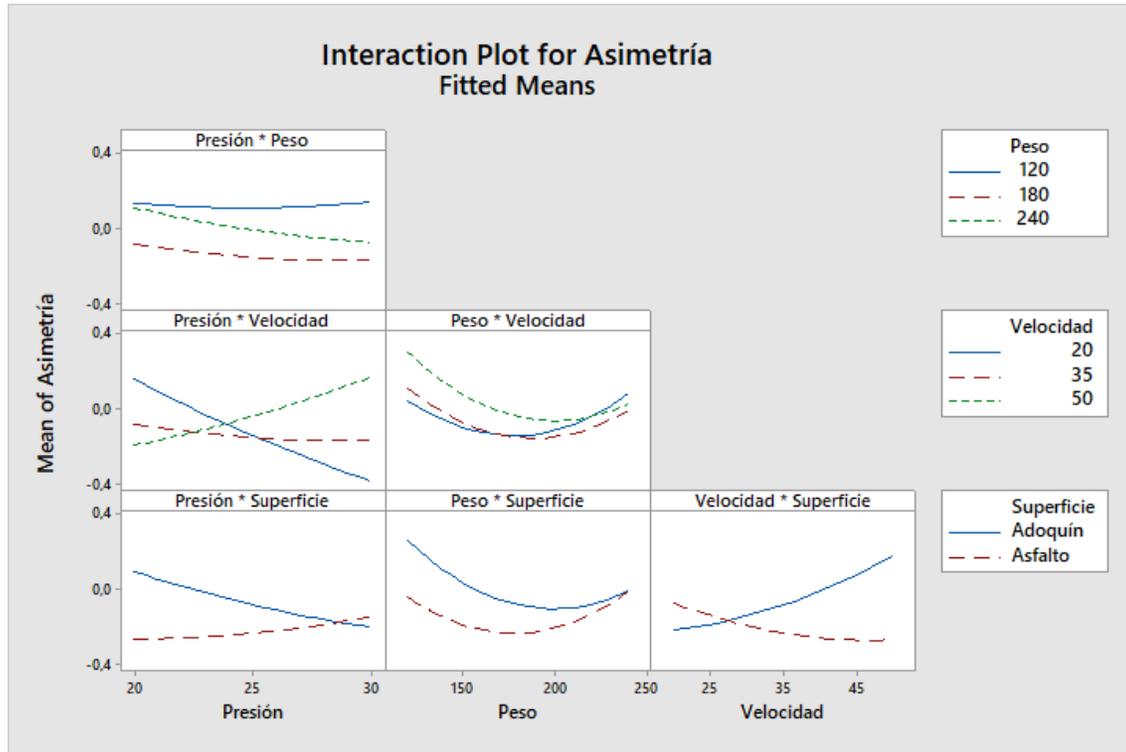


Tomado de: Autores

Gráfica de Interacción para Asimetría. En figura 76, la gráfica de interacción, resaltan las combinaciones **PRESIÓN*VELOCIDAD**, **PRESIÓN*SUPERFICIE** y **VELOCIDAD*SUPERFICIE**, notándose la ausencia de paralelismo entre sus líneas. No obstante, al analizar el valor de p , se concluye que la interacción **PRESIÓN*SUPERFICIE** no es estadísticamente significativa, ya que su valor de p es igual a 0.100. Por otro lado, las dos interacciones restantes mencionadas resultan ser relevantes, dado que sus valores de p son menores que α .

Figura 76

Gráfica de interacción para asimetría

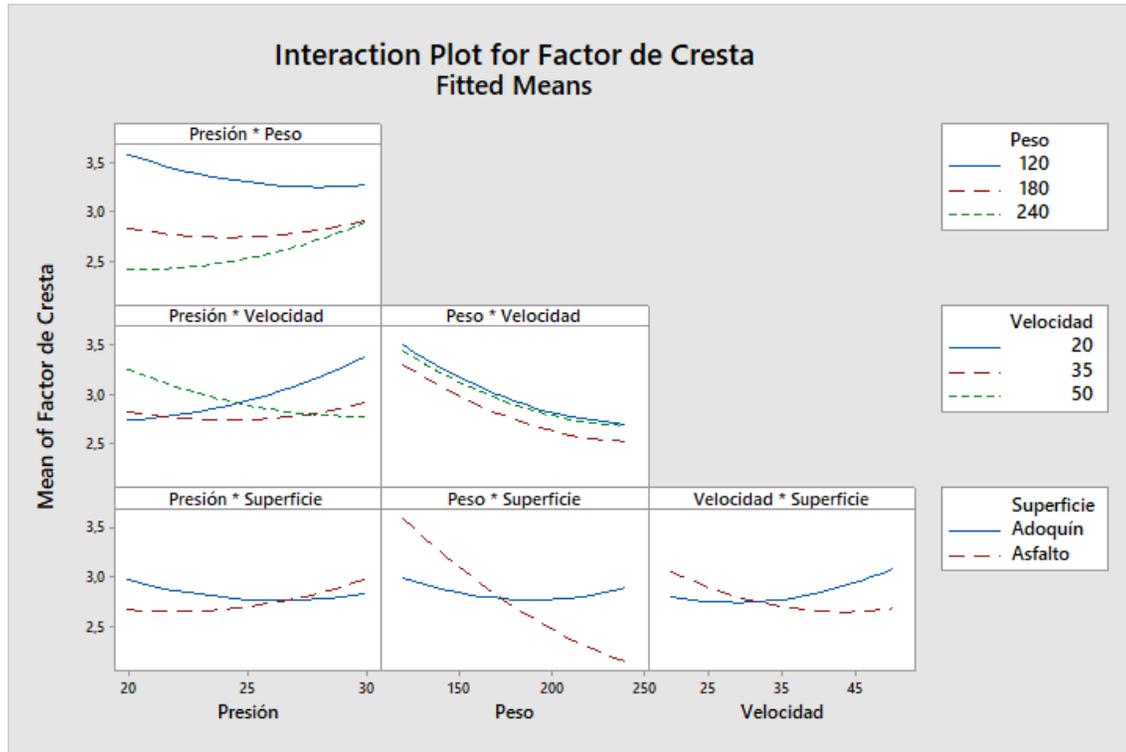


Tomado de: Autores

Gráfica de Interacción para Factor De Cresta. En la figura 77, la gráfica de interacción destaca la combinación PESO*SUPERFICIE, donde se observa una clara divergencia entre sus líneas. Al examinar el valor de p, se ratifica la interpretación previa, ya que el valor de p es inferior a α , confirmando que se trata de una interacción significativa.

Figura 77

Gráfica de interacción para factor de cresta



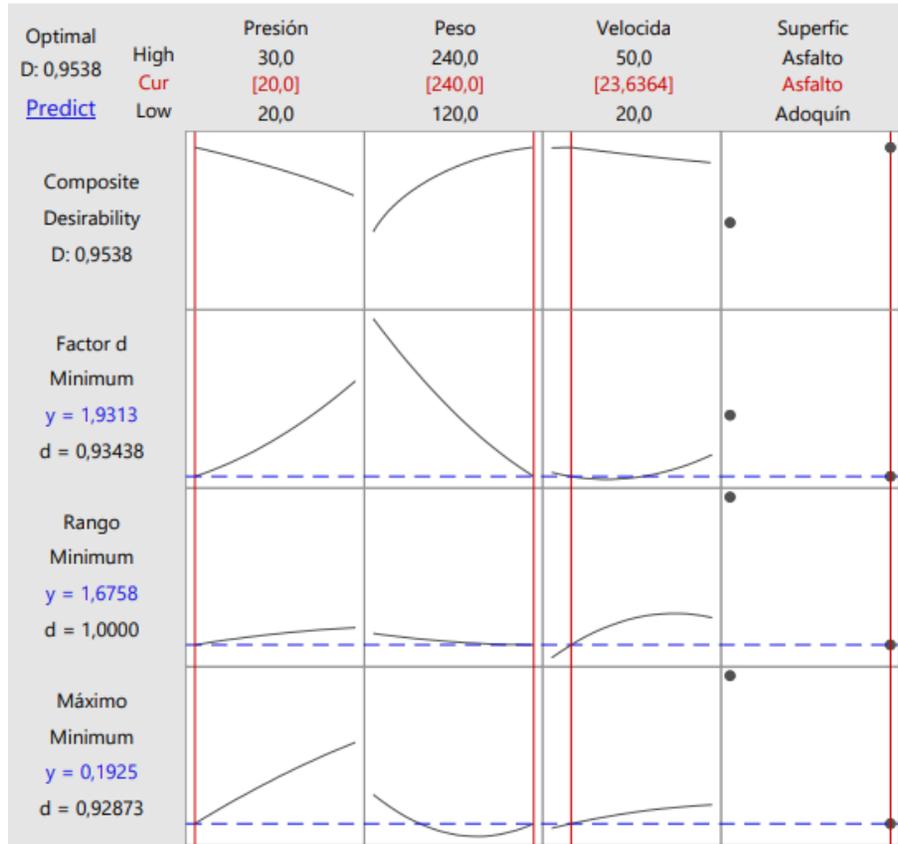
Tomado de: Autores

6.4.4 Optimización del MÁXIMO, RANGO Y FACTOR CRESTA en asfalto

Con el objetivo de establecer las condiciones óptimas para la circulación en pavimento asfáltico, se llevará a cabo un proceso de optimización utilizando el software Minitab figura 78, centrándose en los valores de MÁXIMO, RANGO y FACTOR CRESTA. Los resultados obtenidos se presentan en la figura 78. Mediante el análisis se determina que para minimizar (optimizar) los valores de MÁXIMO, RANGO y FACTOR CRESTA en pavimento asfáltico, se recomienda mantener una presión de neumáticos de 20 psi, una carga vehicular de 240 kg (equivalente al promedio de 4 pasajeros) y una velocidad de $23.64 \approx 24$ km/h.

Figura 78

Optimización del máximo, rango y factor cresta en asfalto



Tomado de: Autores

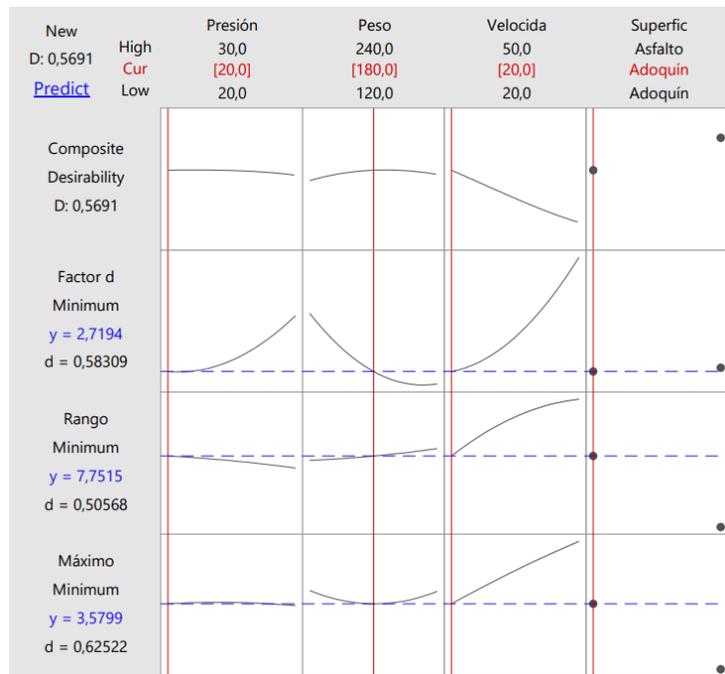
6.4.5 Optimización del MÁXIMO, RANGO Y FACTOR CRESTA en adoquín

Con el objetivo de establecer las condiciones óptimas para la circulación en pavimento adoquinado, se llevará a cabo un proceso de optimización utilizando el software Minitab figura 79, centrándose en los valores de MÁXIMO, RANGO y FACTOR CRESTA. Los resultados obtenidos se presentan en la 79. Mediante el análisis se determina que para minimizar (optimizar) los valores de MÁXIMO, RANGO y FACTOR CRESTA en pavimento adoquinado, se recomienda mantener

una presión de neumáticos de 20 psi, una carga vehicular de 180 kg (equivalente al promedio de 3 pasajeros) y una velocidad de 20 km/h.

Figura 79

Optimización del máximo, rango y factor cresta en adoquín



Tomado de: Autores

En la tabla 4, se representa un resumen de los resultados derivados del proceso de optimización.

Tabla 4

Resultados de optimización en asfalto y adoquín

RESULTADOS OPTIMIZACIÓN				
	PRESIÓN (psi)	PESO (kg)	VELOCIDAD (km/h)	DESEABILIDAD COMPUESTA
ASFALTO	20	240	24	0,9538
ADOQUÍN	20	180	20	0,5691

7 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 CONCLUSIONES

Mediante el análisis de espectros más significativos se determina que las condiciones ideales para circular por una vía de asfalto se alcanzan con una presión de neumáticos de 20 psi, una carga vehicular de 180 kg (equivalente al promedio de 3 pasajeros) y una velocidad de 20 km/h. Sin embargo, tras llevar a cabo un proceso de optimización, se ha determinado que, para lograr un nivel de confort óptimo, se recomienda circular bajo las siguientes condiciones: una presión de neumáticos de 20 psi, una carga vehicular de 240 kg (equivalente al promedio de 4 pasajeros) y una velocidad de 24 km/h.

El análisis de los espectros más relevantes establece que las condiciones más favorables para circular en una vía adoquinada se logran con una presión de neumáticos de 30 psi, carga vehicular de 180 kg (equivalente al promedio de 3 pasajeros) y una velocidad de 20 km/h. No obstante, mediante un proceso de optimización, se ha determinado que, para alcanzar un nivel óptimo de confort, se sugiere seguir las siguientes condiciones: una presión de neumáticos de 20 psi, una carga vehicular de 180 kg (equivalente al promedio de 3 pasajeros) y una velocidad de 20 km/h.

Los efectos más destacados, según el análisis de gráficas de efectos principales, son la velocidad y la superficie. Este reconocimiento se fundamenta en los p -values asociados a estos factores en diversas características estadísticas, los cuales son inferiores a α (0,05). Estos resultados indican la influencia significativa de la velocidad y la naturaleza de la superficie en la generación de vibraciones, y, por consiguiente, en el nivel de confort experimentado por los ocupantes del vehículo.

Mediante el análisis de interacciones, se determina que la interacción más significativa se evidencia entre los parámetros VELOCIDAD*SUPERFICIE. Este resultado se fundamenta en la evaluación de diversas características estadísticas, donde el valor p asociado a dicha interacción es menor que α (0,05). De este modo, se confirma la importancia sustancial de la interacción VELOCIDAD*SUPERFICIE en el nivel de confort experimentado por los usuarios del vehículo.

Mediante un análisis de las gráficas resultantes determinamos que las vibraciones se extienden hasta una frecuencia de 8 Hz tanto en el adoquín como en el asfalto.

Mediante la comparación de la amplitud más pronunciada en asfalto contra la de adoquín, es evidente que las vibraciones de estos últimos son significativamente mayores (0.065) que las del primero (0.017), lo que resulta en una diferencia de 0.048 (g). Como resultado, se concluye que los adoquines generan un nivel más alto de incomodidad para los usuarios del automóvil.

En base a los resultados de optimización y espectros más significativos se concluye que para circular por adoquín es aconsejable adoptar la práctica de circular a velocidades bajas (20-25 km/h). Este enfoque contribuye significativamente a mejorar la comodidad al circular por vías pavimentadas con este material.

7.2 RECOMENDACIONES

Al analizar y comparar las amplitudes obtenidas en los casos de pavimento asfáltico y adoquines, se abordan nuevas áreas de estudio, destinadas a interpretar los efectos de los factores estadísticos, estableciendo conexiones específicas con amortiguadores tanto en condiciones óptimas como en condiciones deterioradas.

Se sugiere realizar futuras investigaciones que involucren pruebas comparativas de análisis de vibraciones en varios vehículos bajo condiciones uniformes. Estandarizar los parámetros de prueba permitiría una comparación más significativa de amplitudes y frecuencias de vibraciones, proporcionando valiosos conocimientos sobre las variaciones en el comportamiento vibratorio de los vehículos. Esto podría contribuir a una comprensión más profunda con posibles implicaciones en el diseño y ajustes en el sistema de suspensión

Mediante el análisis efectuado en un vehículo de tracción delantera en nuestro estudio, queda pendiente llevar a cabo una investigación similar en vehículos de propulsión, como camionetas, donde la transmisión de vibraciones se supone que debería diferir. El objetivo es comparar los espectros característicos de cada vehículo para identificar diferencias en sus propiedades.

8 REFERENCIAS

AEN/CTN, C. t. (2008). *UNE-ISO 2631-1*. AENOR.

Camós, J. (06 de Septiembre de 2012). *¿Qué es el neumático?* Recuperado el 06 de Noviembre de 2023, de CIRCULA SEGURO: <https://www.circulaseguro.com/que-es-el-neumatico/>

Continental. (16 de Septiembre de 2019). *Continental*. Obtenido de Continental: <https://www.continental-neumaticos.es/b2c/tire-knowledge/tire-components/>

Edporsan. (11 de Diciembre de 2017). *Tipos de suspensión automotriz*. Obtenido de Autos y Autopartes: <https://www.autosyautopartes.com/tipos-suspension-automotriz-lo-minimo-debes-saber-esta/>

Eina. (25 de Octubre de 2019). *Masas del vehículo*. Obtenido de Blog Mecánicos: https://www.blogmecanicos.com/2019/10/neumaticos-autoinflables_25.html

Esteban, D., & Julián, F. (2011). *Circuitos de Fluidos. Suspensión y Dirección*. Macmillan Iberia, S.A. Recuperado el 20 de Noviembre de 2023

Fernandez, A. (7 de Julio de 2017). *Transductores sísmicos de velocidad*. Obtenido de Power-MI: <https://power-mi.com/es/content/transductores-s%C3%ADsmicos-de-velocidad>

Francisco, A., & Carlos, V. (2001). *Teoría de los vehículos automotores*.

Galan, D. (24 de Agosto de 2020). *Estas son las mejores marcas de neumáticos para el coche en cuanto a durabilidad o consumo, según la OCU*. Recuperado el 23 de Noviembre de 2023,

de motorpasion: <https://www.motorpasion.com/industria/estas-mejores-marcas-neumaticos-para-coche-a-durabilidad-consumo-ocu>

Gomez, J. (13 de Marzo de 2020). *Sistema de suspensión: definición, tipos de suspensiones y principales elementos*. Obtenido de Diario Motor: <https://www.diariomotor.com/que-es/tipos-esquemas-suspension/>

González, T., Río, G. d., Tena, J., & Torres, B. (2017). *Circuitos de fluidos. Suspensión y dirección*. Editex, S .A.

Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT). (2014). *Aspectos ergonómicos de las vibraciones*. Madrid: Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT).

Lopez, B. (16 de Enero de 2017). *Cuáles son las funciones de los neumáticos*. Obtenido de Un Como: <https://www.mundodeportivo.com/uncomo/motor/articulo/cuales-son-las-funciones-de-los-neumaticos-15182.html#:~:text=Los%20neum%C3%A1ticos%20aseguran%20el%20contacto,y%20confort%20de%20los%20ocupantes.>

Maps, G. (s.f.). *Google Maps*. Obtenido de Google Maps: <https://www.google.com/maps/@-2.8737456,-78.9853806,15z?entry=ttu>

Montgomery, D. C. (2004). *Diseño y Análisis de Experimentos*. Limusa Wiley.

Motors, M. (22 de Julio de 2022). *Todo lo que debes saber sobre los amortiguadores de un vehículo.*

Recuperado el 13 de Noviembre de 2023, de Mitsubishi Motors: <https://www.mitsubishi-motors.com.pe/blog/tipos-amortiguadores-vehiculo/>

Muñoz, J. (09 de Enero de 2015). *Cuenca, Ecuador: del diagnóstico al Plan de Acción para un crecimiento sostenible.* Obtenido de CIUDADES SOSTENIBLES:

<https://blogs.iadb.org/ciudades-sostenibles/es/cuenca/>

Navarrete, J. L. (2022). *Desarrollo e implementación de un sistema de control electrónico mediante comandos de voz para mejorar la seguridad, confort e interactividad de un vehículo convencional. [Tesis Maestría, Escuela Politécnica Nacional].* Repositorio Institucional.

<https://doi.org/http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/22035>

OMEGA. (2018). *¿Qué es un LVDT (transductor de desplazamiento lineal variable)?* Obtenido de

OMEGA: <https://es.omega.com/prodinfo/sensor-LVDT.html>

Ortega, J. (12 de Marzo de 2021). *Qué es la masa no suspendida y cómo afecta al vehículo.*

Obtenido de Club Seat Tarraco: <https://www.clubseattarraco.com/threads/que-es-la-masa-no-suspendida-y-como-afecta-al-vehiculo.1750/>

PC Solución. (10 de Septiembre de 2018). *Acelerómetro.* Obtenido de PC Solución: <https://pc-solucion.es/terminos/acelerometro/>

Plaza, D. (22 de Marzo de 2018). *Qué tipos de neumáticos hay.* Obtenido de Motor.es:

<https://www.motor.es/que-es/tipos-neumaticos>

Pulido, H. G., & Salazar, R. d. (2008). *Análisis y diseño.* Mc Graw Hill Interamericana.

REVELSA. (05 de Septiembre de 2021). *Asfalto vs concreto hidráulico en pavimentos. ¿Cuál es mejor?* Obtenido de REVELSA: <https://revelsa.com.mx/asfalto-vs-concreto-hidraulico-en-pavimentos-cual-es-mejor/>

Sanchez, J. (3 de Julio de 2021). *¿CÓMO FUNCIONA LA SUSPENSIÓN DE BALLESTA?* Obtenido de GRUPO TG: <https://grupotg.mx/boletin/suspension-de-ballesta>

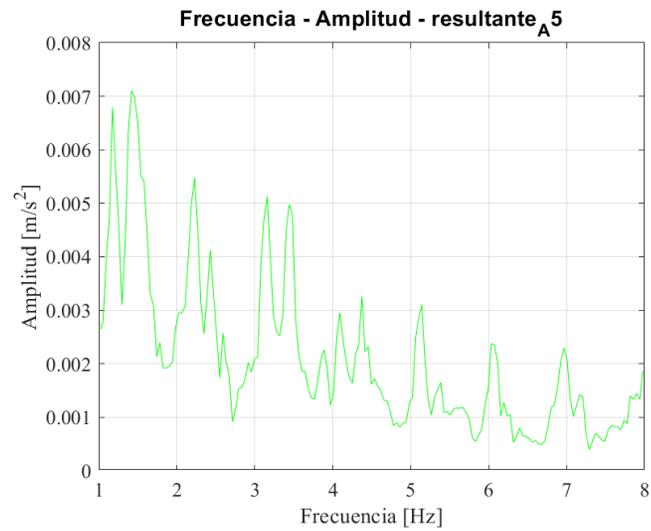
Suárez, E. (08 de Octubre de 2019). *El Asfalto – Usos y sus Características*. Obtenido de INGE CIVIL: <https://www.ingecivil.net/2019/08/12/el-asfalto-usos-y-sus-caracteristicas/>

Taylor, & James. (1994). *The Vibration Analisis Handbook*. Vibration Consultantes.

ANEXOS

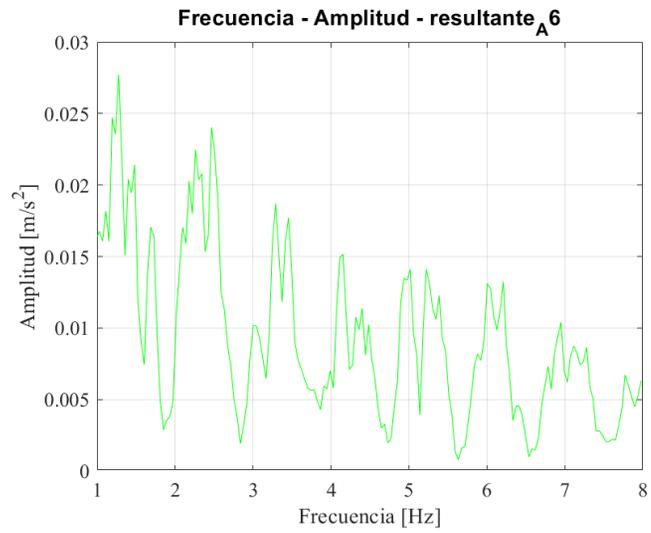
Espectro Muestra 5

Eje_X	Valores_Y
X1	0,007105377
X2	0,005485882
X3	0,005130257
X4	0,003255414
X5	0,003106362
X6	0,00237706
X7	0,002070285



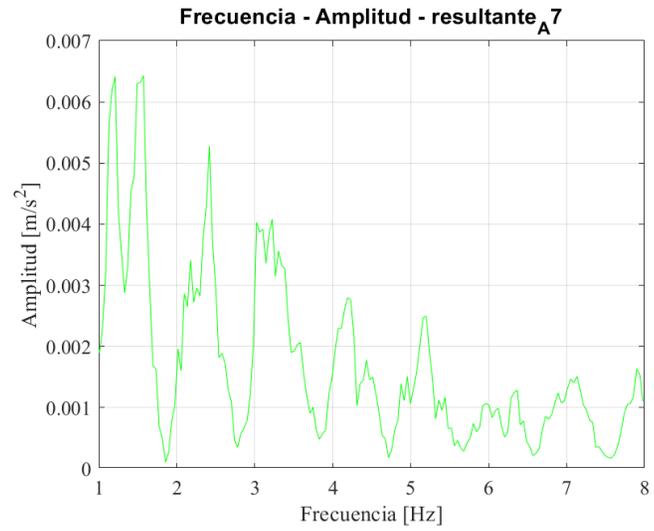
Espectro Muestra 6

Eje_X	Valores_Y
1	0,027726928
2	0,024029916
3	0,018699661
4	0,0151643
5	0,014096733
6	0,013213136
7	0,008722079



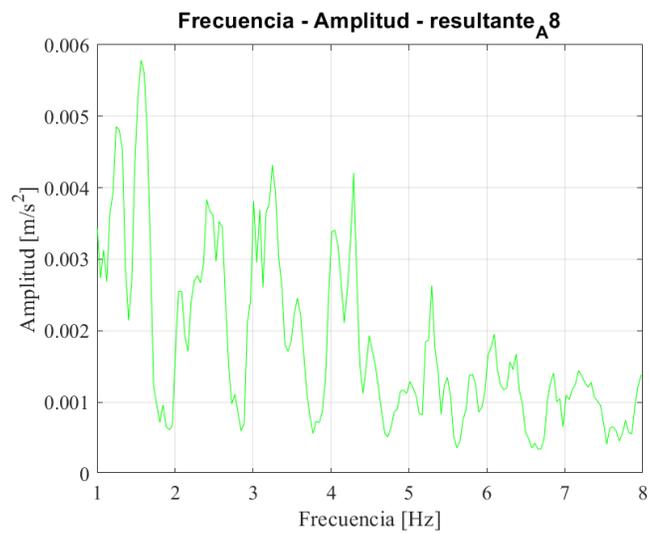
Espectro Muestra 7

Eje_X	Valores_Y
X1	0,006428066
X2	0,005279583
X3	0,004081537
X4	0,002797426
X5	0,002500176
X6	0,001286556
X7	0,00163694



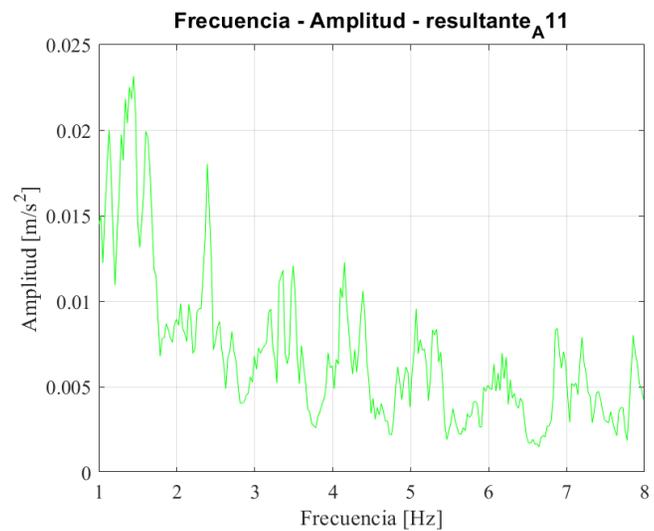
Espectro Muestra 8

Eje_X	Valores_Y
X1	0,005787771
X2	0,003834836
X3	0,004320638
X4	0,004208377
X5	0,002634166
X6	0,001950583
X7	0,00144168



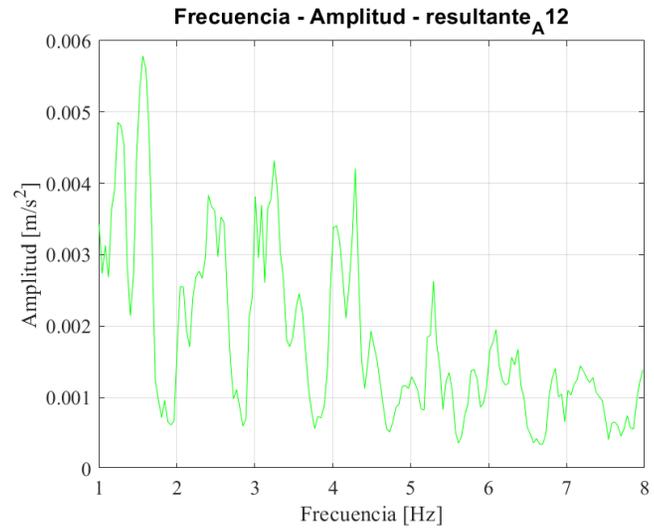
Espectro Muestra 11

Eje_X	Valores_Y
X1	0,023163
X2	0,018048
X3	0,012095
X4	0,012295
X5	0,009578
X6	0,008436
X7	0,008046



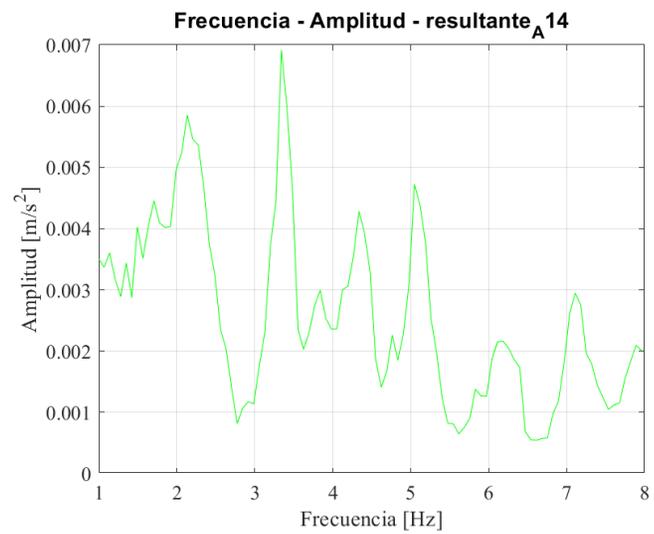
Espectro Muestra 12

Eje_X	Valores_Y
X1	0,005788
X2	0,003835
X3	0,004321
X4	0,004208
X5	0,002634
X6	0,001951
X7	0,001442



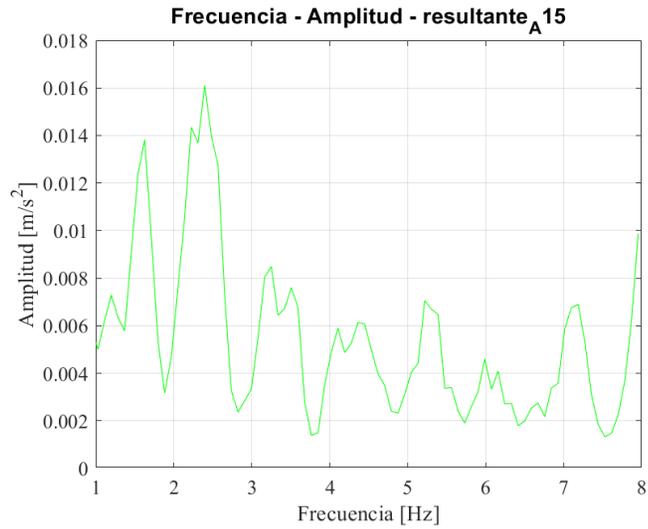
Espectro Muestra 14

Eje_X	Valores_Y
X1	0,004959
X2	0,005857
X3	0,006914
X4	0,004286
X5	0,004726
X6	0,002161
X7	0,002949



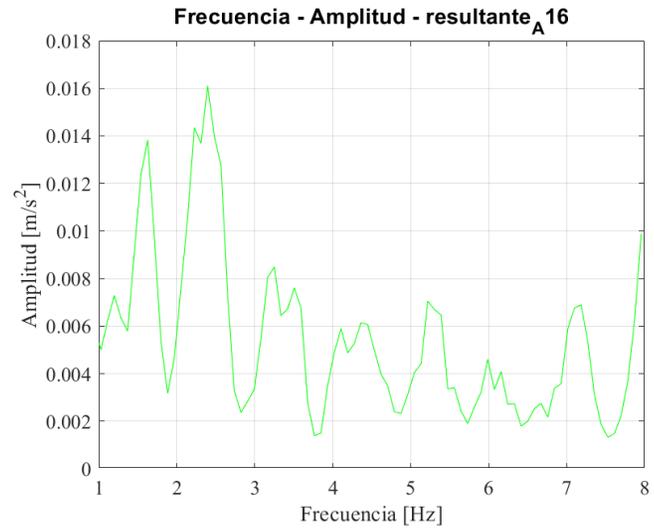
Espectro Muestra 15

Eje_X	Valores_Y
X1	0,013822
X2	0,016106
X3	0,008488
X4	0,006143
X5	0,007048
X6	0,004085
X7	0,009877



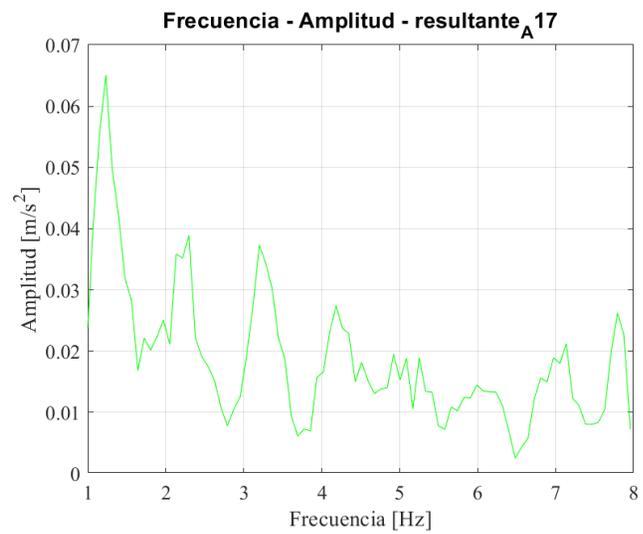
Espectro Muestra 16

Eje_X	Valores_Y
X1	0,0138222
X2	0,01610589
X3	0,00848823
X4	0,00614341
X5	0,00704838
X6	0,00408454
X7	0,00987723



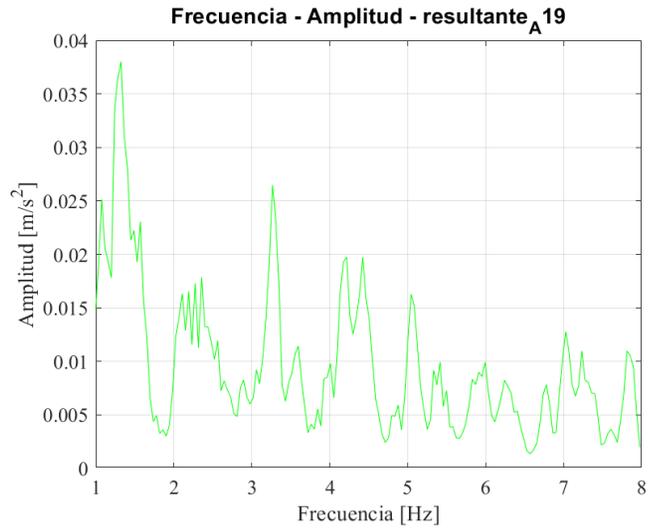
Espectro Muestra 17

Eje_X	Valores_Y
X1	0,06503808
X2	0,03890242
X3	0,03730297
X4	0,0274357
X5	0,01892784
X6	0,01891195
X7	0,02622787



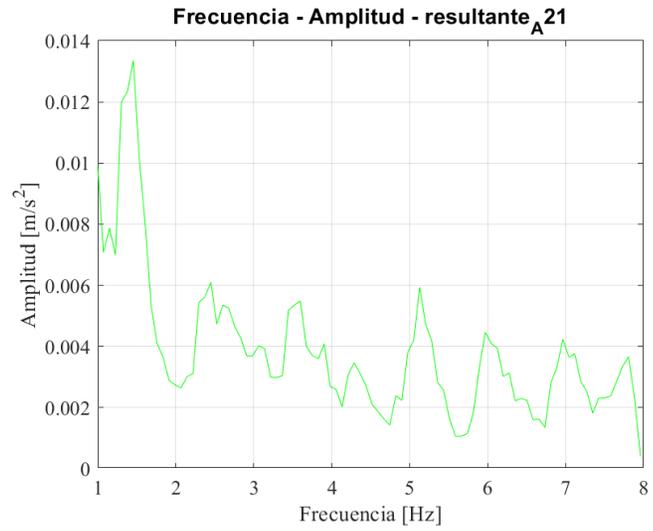
Espectro Muestra 19

Eje_X	Valores_Y
X1	0,03802148
X2	0,01787343
X3	0,0264914
X4	0,01975061
X5	0,01627958
X6	0,01015761
X7	0,01277537



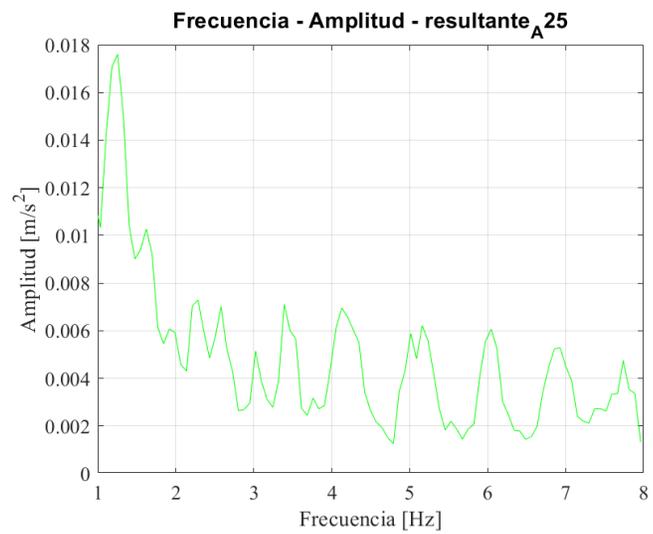
Espectro Muestra 21

Eje_X	Valores_Y
X1	0,01334769
X2	0,00610087
X3	0,00548694
X4	0,00380546
X5	0,00593662
X6	0,00423452
X7	0,00375677



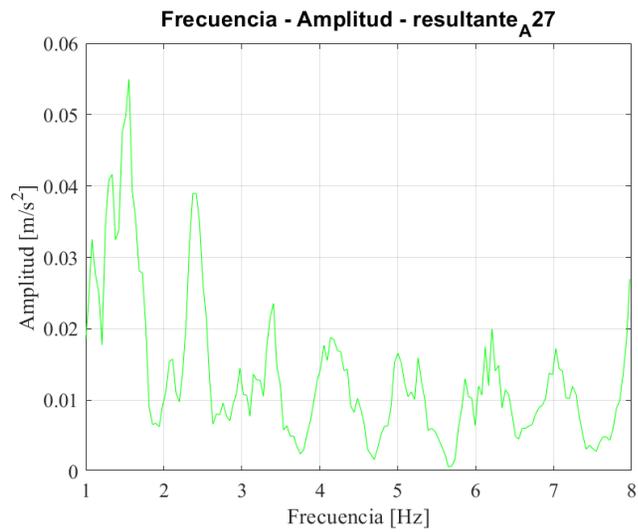
Espectro Muestra 25

Eje_X	Valores_Y
X1	0,01760871
X2	0,00728861
X3	0,0071038
X4	0,00695663
X5	0,00621608
X6	0,00606376
X7	0,00475978



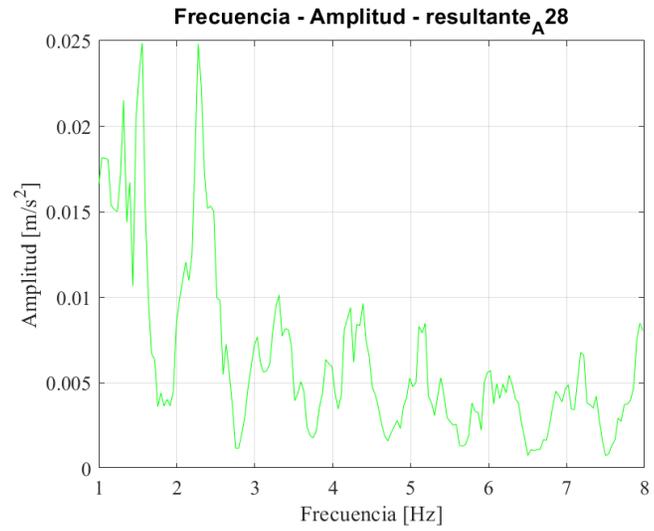
Espectro Muestra 27

Eje_X	Valores_Y
X1	0,054974912
X2	0,038973229
X3	0,023559658
X4	0,018766965
X5	0,016585353
X6	0,019952089
X7	0,026968949



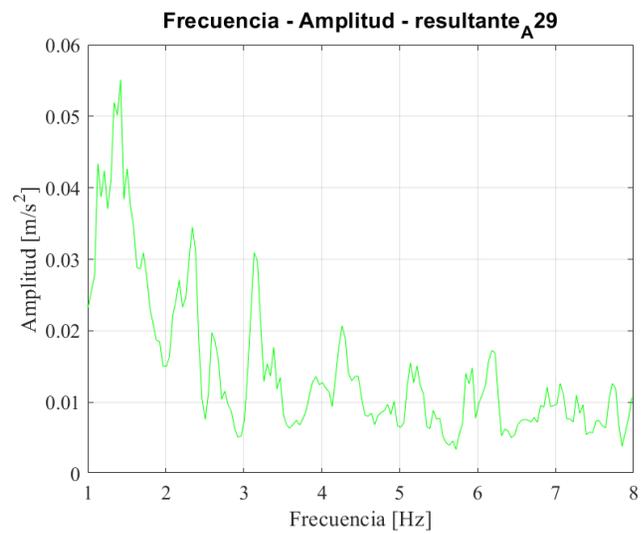
Espectro Muestra 28

Eje_X	Valores_Y
X1	0,024865329
X2	0,0248142
X3	0,010157693
X4	0,009656903
X5	0,008501621
X6	0,005741766
X7	0,008506109



Espectro Muestra 29

Eje_X	Valores_Y
X1	0,055121065
X2	0,034518693
X3	0,030919709
X4	0,02069151
X5	0,015515758
X6	0,017266559
X7	0,01262552



Espectro Muestra 30

Eje_X	Valores_Y
X1	0,012005119
X2	0,008432409
X3	0,00563107
X4	0,00579715
X5	0,003535852
X6	0,003374232
X7	0,0038443

