UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE MATRIZ CUENCA

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA AUTOMOTRIZ

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de ingeniero mecánico automotriz

PROYECTO TÉCNICO:

"ELABORACIÓN DE UNA BASE DE DATOS A PARTIR DE LAS CARACTERÍSTICAS DE SEÑALES DE RUIDO DEL MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA ALTERNATIVO, OBTENIDAS DEL PROCESO DE REVISION TECNICA VEHICULAR Y SU RELACION CON LAS EMISIONES CONTAMINANTES"

AUTORES:

Feijoo Ullauri Jorge Alberto

Zapatán Baculima Julio Cesar

DIRECTOR:

Ing. Néstor Diego Rivera Campoverde MsC.

Cuenca, Septiembre 2016

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Nosotros, Feijoo Ullauri Jorge Alberto, con documento de identificación N° 0704663343 y Zapatán Baculima Julio Cesar, con documento de identificación N° 0104789474, manifestamos nuestra voluntad y cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del trabajo de grado titulado: "ELABORACIÓN DE UNA BASE DE DATOS A PARTIR DE LAS CARACTERÍSTICAS DE SEÑALES DE RUIDO DEL MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA ALTERNATIVO, OBTENIDAS DEL PROCESO DE REVISION TECNICA VEHICULAR Y SU RELACION CON LAS EMISIONES CONTAMINANTES", mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Mecánico Automotriz, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en nuestra condición de autores nos reservamos los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribimos este documento en el momento que hacemos entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Feijoo Ullauri Jorge Alberto	Zapatán Baculima Julio Cesar
CI: 0704663343	CI: 0104789474
30/09/2016	30/09/2016

CERTIFICACION

Yo declaro que, bajo mi dirección fue desarrollado el trabajo de titulación: "ELABORACIÓN DE UNA BASE DE DATOS A PARTIR DE LAS CARACTERÍSTICAS DE SEÑALES DE RUIDO DEL MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA ALTERNATIVO, OBTENIDAS DEL PROCESO DE REVISION TECNICA VEHICULAR Y SU RELACION CON LAS EMISIONES CONTAMINANTES", realizado por los autores: Feijoo Ullauri Jorge Alberto y Zapatán Baculima Julio Cesar, obteniendo el Proyecto Técnico que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, Septiembre de 2016

Ing. Néstor Diego Rivera Campoverde MsC.

CI: 0103898995

DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, Feijoo Ullauri Jorge Alberto, con documento de identificación N° 0704663343 y Zapatán Baculima Julio Cesar, con documento de identificación N° 0104789474; autores del Proyecto "ELABORACIÓN DE UNA BASE DE DATOS A PARTIR DE LAS CARACTERÍSTICAS DE SEÑALES DE RUIDO DEL MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA ALTERNATIVO, OBTENIDAS DEL PROCESO DE REVISION TECNICA VEHICULAR Y SU RELACION CON LAS EMISIONES CONTAMINANTES", certificamos que el total contenido de esta investigación es de nuestra exclusiva responsabilidad y autoría.

Cuenca, Septiembre de 2016

Feijoo Ullauri Jorge Alberto
CI: 0704663343

Zapatán Baculima Julio Cesar
CI: 0104789474

AGRADECIMIENTO

En el camino universitario en el que se presentan tropiezos y barreras, quiero agradecer de modo especial a mis padres Jorge y Galina, quienes son mi apoyo incondicional.

A mis hermanas Josse y Jessi que de una u otra manera han puesto su granito de arena para darme fuerzas y seguir adelante en mis estudios.

A mi compañero Julio, por su dedicación y esfuerzo para lograr culminar este proyecto.

Al Ing. Néstor Rivera, que desinteresadamente transmitió sus conocimientos y ha sido guía del trabajo de titulación.

Jorge

AGRADECIMIENTO

A Dios por iluminar mi camino y darme la fortaleza necesaria para ir superando barreras.

A mi madre Rosario, por brindarme su apoyo incondicional y por todo el esfuerzo mostrado para que pueda culminar esta etapa en mi vida.

A mis hermanas Belén y Fernanda, por hacer ameno cada momento compartido y ser un pilar fundamental para poder cumplir mis objetivos.

A mi amigo y compañero de trabajo de titulación Jorge Feijoo, por la predisposición mostrada para sacar adelante este proyecto.

De manera especial a nuestro director de proyecto Ing. Néstor Rivera, por brindarnos su ayuda y aportar con sus conocimientos al desarrollo de esta investigación.

Julio César

DEDICATORIA

Este proyecto está dedicado a las personas que forman parte de mi vida, las que estuvieron alentándome con su cariño y consejos, quienes anhelaban con entusiasmo ver culminada esta etapa, mis abuelos J. Alberto (+), Ruth (+) y quien lo sigue haciendo mi abuela Livia.

Además, se lo dedico a mis padres Jorge Feijoo y Galina Ullauri, siendo ellos partícipes de lograr concluir una fase muy importante; ya que, sin su gran dedicación, amor, fuerza y lucha para seguir creciendo, esto no sería posible. Mis infinitas gracias a ellos.

Jorge

DEDICATORIA

Este proyecto está dedicado a mis padres Julio Cesar Zapatán (+) y Rosario Baculima, que encontrándose o no presentes, me hacer sentir su cariño y son una fuente de inspiración cotidiana.

También se lo dedico a toda mi familia en especial a mi primo John Baculima, por todos sus consejos y valores impartidos para hacer de mí una persona de bien, y en quien puedo ver a una figura paternal.

Julio César

RESUMEN

En esta investigación se presenta la elaboración de una base de datos de las características de señales de ruido del motor de combustión interna, y su relación con las emisiones contaminantes.

Para la obtención de las señales de ruido se implementan dos variables de medición por cada vehículo, las cuales se realizaron mediante tomas a ralentí y ralentí elevado; adquiriendo un total de 1164 muestras en el proceso de revisión técnica vehicular dentro de la Ciudad de Cuenca; el mismo que se ejecutó, durante la medición de emisiones contaminantes del vehículo; obteniendo finalmente la señal de audio y el porcentaje de emisiones contaminantes correspondientes.

Debido a que ciertas señales acústicas presentan ruido provocado por factores externos al del análisis, es necesario la implementación de un proceso de filtrado de todas las muestras disponibles. Las muestras adquiridas son señales temporales en las cuales una de sus variables es el tiempo; para el análisis y relación de los fenómenos físicos que se producen, es necesario obtener su espectro de frecuencias, mediante la Transformada Rápida de Fourier (FFT). Todo este proceso del filtrado de señales se lo realiza con la finalidad de atenuar y minimizar errores que puedan presentar las muestras.

Las señales presentan valores característicos, para extraer dichos valores, es necesario emplear comandos o funciones propias del software de análisis matemático Matlab® en el procesamiento de señales.

Dentro del Análisis de resultados se establece la relación existente entre las muestras acústicas obtenidas y las emisiones contaminantes, de acuerdo a las características de cada señal y su respectivo procesamiento. Los métodos a utilizar son tres tipos de análisis; método de Análisis de Varianza Anova, método de Análisis de Componentes Principales (ACP) y finalmente se ejecuta el método de Análisis discriminante Lineal.

Posteriormente al análisis de las variables características, se obtienen los resultados finales, mediante los cuales se procede a elaborar la relación existente en la “Base de Datos”.

ABSTRACT

In this research the development of a database of the characteristics of noise signals internal combustion engine, and its relation to pollutant emissions is presented. To obtain noise signals measuring two variables were obtained for each vehicle, which were performed by shots at idle and high idle; They were acquired in total 1164 samples in the technical review process vehicular within the City of Cuenca, the same that runs for measuring vehicle emissions; finally obtaining the temporal audio signal and the percentage of exhaust emissions.

Because certain acoustic signals exhibit noise caused by external factors to the analysis, it is necessary to implement a filter process for all available samples. The samples acquired are temporary signals in which one of the variables is time; for analysis and relation of physical phenomena that occur, it is necessary to obtain its frequency spectrum by Fast Fourier Transform (FFT). This entire process of filtering signals is performed in order to reduce and minimize errors that may present the samples. The signals have characteristic values, to extract these values, you must use commands or functions of mathematical analysis software Matlab® in signal processing.

Analysis of results in the relationship between the acoustic samples obtained and pollutant emissions, according to the characteristics of each signal and its respective processing states. The methods to be used are three types of analysis; method ANOVA, method Principal Component Analysis (PCA) and finally the linear discriminant analysis method is executed. Following the analysis of the variables, the final results are obtained, by which we proceed to develop the relationship in the "Database".

ÍNDICE GENERAL

1 INTRODUCCIÓN 1
2 PROBLEMA 1
2.1 ANTECEDENTES 2
2.2 IMPORTANCIA Y ALCANCES 2
3 OBJETIVOS 2
3.1 GENERAL 2
3.2 ESPECÍFICOS 2
4 ESTADO DEL ARTE 3
4.1 Ruido 3
4.1.1 Fuentes del ruido del motor 3
4.2 Frecuencia 4
4.3 Señales de emisiones acústicas 5
4.3.1 Señal transitoria (bursts) 5
4.3.2 Señal continua 6
4.3.3 Parámetros de señal acústica 6
4.3.4 Espectro 7
4.4 La transformada de Fourier 7
4.4.1 Transformada continua de Fourier 8
4.4.2 Transformada discreta de Fourier 8
4.4.3 La transformada rápida de Fourier 9
4.5 Filtros 9
4.5.1 Respuesta impulsional, frecuencial y de fase de un filtro 9
4.5.2 Tipos de Filtros 10
4.6 Análisis de Ruido 10
5 MARCO METODOLÓGICO 12
5.1 Adquisición de Señales Acústicas 13
5.1.1 Instrumentación de muestreo 13
5.1.2 Parámetros de la Señal Acústica 14
5.1.3 Protocolo de Medición 14
5.2 Procesamiento de las señales de ruido del motor 18
5.2.1 Recorte de señales 18
5.2.2 Filtrado de las señales 18
5.2.3 Transformada Rápida de Fourier 21

5.2.4 Valores Característicos de las Señales 23
6 ANÁLISIS DE RESULTADOS 27
6.1 Análisis de Varianza ANOVA 28
6.1.1 Análisis de la Media a Ralentí 29
6.1.2 Análisis de la Mediana a Ralentí 30
6.1.3 Análisis de la Varianza a Ralentí 31
6.1.4 Análisis de la Desviación Estándar a Ralentí 32
6.1.5 Análisis del Máximo a Ralentí 33
6.1.6 Análisis del Mínimo a Ralentí 34
6.1.7 Análisis de la Potencia a Ralentí 35
6.1.8 Análisis de la Energía a Ralentí 36
6.1.9 Análisis de la Curtosis a Ralentí 37
6.1.10 Análisis de la Asimetría a Ralentí 38
6.1.11 Análisis de RMS a Ralentí 39
6.1.12 Análisis del Factor de Cresta a Ralentí 40
6.1.13 Análisis de la Media a Ralentí Elevado 41
6.1.14 Análisis de la Mediana a Ralentí Elevado 42
6.1.15 Análisis de la Varianza a Ralentí Elevado 43
6.1.16 Análisis de la Desviación Estándar a Ralentí Elevado 44
6.1.17 Análisis del Máximo a Ralentí Elevado 45
6.1.18 Análisis del Mínimo a Ralentí Elevado 46
6.1.19 Análisis de la Potencia a Ralentí Elevado 47
6.1.20 Análisis de la Energía a Ralentí Elevado 48
6.1.21 Análisis de la Curtosis a Ralentí Elevado 49
6.1.22 Análisis de la Asimetría a Ralentí Elevado 50
6.1.23 Análisis de RMS a Ralentí Elevado 51
6.1.24 Análisis del Factor de Cresta a Ralentí Elevado 52
6.1.25 Resumen de la Varianza Anova 53
6.2 Análisis de componentes Principales (ACP) 54
6.2.1 ACP para un régimen de giro a ralentí 55
6.2.2 ACP para un régimen de giro a ralentí elevado 57
6.3 Análisis Discriminante Lineal 59
6.3.1 Análisis Discriminante Lineal a Ralentí 59
6.3.2 Análisis Discriminante Lineal a Ralentí elevado 60
7 BASE DE DATOS 62

8 CONCLUSIONES 63
9 RECOMENDACIONES 64
10 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 64
ANEXOS 68

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Identificación de las fuentes de ruido del vehículo [3] 4
Figura 2. Tipo de ondas [2] 5
Figura 3. Señal transitoria [4] 5
Figura 4. Señal continua [4] 6
Figura 5. Parámetros de la señal acústica [4] 6
Figura 6. Espectro de frecuencias 7
Figura 7. Representación frecuencial de los filtros: a) paso bajo; b) paso alto; c) de banda eliminada; d) paso banda [8] 10
Figura 8. Señal acústica temporal. 13
Figura 9. Instrumento de muestreo. [11] 13
Figura 10. Parámetros de muestreo. 15
Figura 11. Ruido externo en la muestra. 15
Figura 12. Resultados de medición de gases RTV. 16
Figura 13. Protocolo de muestreo. 17
Figura 14. Recorte de Señales. 18
Figura 15. Filtrado y sistema con ruido externo. 19
Figura 16. Atenuación de la señal mediante filtrado [12] 19
Figura 17. Frecuencia de corte del filtro. 20
Figura 18. Atenuación de las perturbaciones. 21
Figura 19. Espectro de frecuencias de la señal a ralentí. 22
Figura 20.Espectro de frecuencias de la señal a ralentí elevado. 22
Figura 21. Respuesta en un espectro de frecuencias del filtro 23
Figura 22. Representación de los valores característicos de las señales. 23
Figura 23. Representación gráfica de la asimetría [18] 27
Figura 24. Intervalos y Tukey para la Media a Ralentí 29
Figura 25. Gráfica de Caja para la Media a Ralentí 29
Figura 26.Intervalos y Tukey para la Mediana a Ralentí 30
Figura 27. Gráfica de Caja para la Mediana a Ralentí 30
Figura 28. Intervalos y Tukey para la Varianza a Ralentí 31
Figura 29. Gráfica de Caja para la Varianza a Ralentí 31
Figura 30. Intervalos y Tukey para la Desviación Estándar a Ralentí 32
Figura 31. Gráfica de Caja para la Desviación Estándar a Ralentí 32

Figura 32. Intervalos y Tukey para el Máximo a Ralentí 33
Figura 33. Gráfica de Caja para el Máximo a Ralentí..... 33
Figura 34. Intervalos y Tukey para el Mínimo a Ralentí 34
Figura 35. Gráfica de Caja para el Mínimo a Ralentí 34
Figura 36. Intervalos y Tukey para la Potencia a Ralentí 35
Figura 37. Gráfica de Caja para la Potencia a Ralentí 35
Figura 38. Intervalos y Tukey para la Energía a Ralentí..... 36
Figura 39. Gráfica de Caja para la Energía a Ralentí..... 36
Figura 40. Intervalos y Tukey para la Curtosis a Ralentí..... 37
Figura 41. Gráfica de Caja para la Curtosis a Ralentí..... 37
Figura 42. Intervalos y Tukey para la Asimetría a Ralentí 38
Figura 43. Gráfica de Caja para la Asimetría a Ralentí 38
Figura 44. Intervalos y Tukey para RMS a Ralentí 39
Figura 45. Gráfica de Caja para RMS a Ralentí..... 39
Figura 46. Intervalos y Tukey para el Factor de cresta a Ralentí..... 40
Figura 47. Gráfica de Caja para el Factor de cresta a Ralentí..... 40
Figura 48. Intervalos y Tukey para la Media a Ralentí Elevado..... 41
Figura 49. Gráfica de Caja para la Media a Ralentí Elevado..... 41
Figura 50. Intervalos y Tukey para la Mediana a Ralentí Elevado..... 42
Figura 51. Gráfica de Caja para la Mediana a Ralentí Elevado 42
Figura 52. Intervalos y Tukey para la Varianza a Ralentí Elevado 43
Figura 53. Gráfica de Caja para la Varianza a Ralentí Elevado..... 43
Figura 54. Intervalos y Tukey para la Desviación Estándar a Ralentí Elevado..... 44
Figura 55. Gráfica de Caja para la Desviación Estándar a Ralentí Elevado 44
Figura 56. Intervalos y Tukey para el Máximo a Ralentí Elevado 45
Figura 57. Gráfica de Caja para el Máximo a Ralentí Elevado 45
Figura 58. Intervalos y Tukey para el Mínimo a Ralentí Elevado 46
Figura 59. Gráfica de Caja para el Mínimo a Ralentí Elevado 46
Figura 60. Intervalos y Tukey para la Potencia a Ralentí Elevado 47
Figura 61. Gráfica de Caja para la Potencia a Ralentí Elevado 47
Figura 62. Intervalos y Tukey para la Energía a Ralentí Elevado 48
Figura 63. Gráfica de Caja para la Energía a Ralentí Elevado..... 48
Figura 64. Intervalos y Tukey para la Curtosis a Ralentí Elevado..... 49
Figura 65. Gráfica de Caja para la Curtosis a Ralentí Elevado..... 49

Figura 66. Intervalos y Tukey para la Asimetría a Ralentí Elevado 50
Figura 67. Gráfica de Caja para la Asimetría a Ralentí Elevado 50
Figura 68. Intervalos y Tukey para RMS a Ralentí Elevado 51
Figura 69. Gráfica de Caja para RMS a Ralentí Elevado 51
Figura 70. Intervalos y Tukey para el Factor de cresta a Ralentí Elevado..... 52
Figura 71. Gráfica de Caja para el Factor de cresta a Ralentí Elevado..... 52
Figura 72. Gráfica de sedimentación a ralentí 55
Figura 73. Gráficas de puntuación y doble proyección de ACP a ralentí 56
Figura 74. Gráfica de distribución del primer y segundo componente a ralentí 56
Figura 75. Gráfica de sedimentación a ralentí elevado 58
Figura 76. Gráficas de puntuación y doble proyección de ACP a ralentí elevado..... 58
Figura 77. Gráfica de distribución del primer y segundo componente a ralentí elevado 58
Figura 78. Clasificación de las muestras y emisiones contaminantes..... 62
Figura 79. Valores de las características principales 63
Figura 80. Función discriminante por grupos 63

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Especificaciones Técnicas del Equipo de Muestreo. 14
Tabla 2. Parámetros de la señal acústica 14
Tabla 3. Designación de variables de filtrado 20
Tabla 4. Asignación del predictor 28
Tabla 5. Valor “P value” de Varianza Anova 53
Tabla 6. Componentes a analizar por ACP 54
Tabla 7. Valores y vectores de la matriz de ACP a ralentí 55
Tabla 8. Valores y vectores de la matriz de ACP a ralentí elevado 57
Tabla 9. Coeficientes de componentes principales a ralentí 59
Tabla 10. Clasificación a ralentí..... 60
Tabla 11. Función discriminativa lineal a ralentí..... 60
Tabla 12. Coeficientes de componentes principales a ralentí elevado..... 61
Tabla 13. Clasificación a ralentí elevado 61
Tabla 14. Función discriminativa lineal a ralentí elevado 62

1 INTRODUCCIÓN

El constante desarrollo en el sector tecnológico de la industria automotriz a nivel mundial, sigue contemplando como uno de sus objetivos la reducción y control en materia de gases contaminantes emitidos por los motores de combustión alternativos, contando también con grandes avances en el campo del mantenimiento enfocados a cumplir el objetivo planteado.

Uno de esos avances tiene como vía de desarrollo la evaluación y el análisis de señales de tipo acústicas y vibratorias que facilite el identificar ciertos fenómenos ocurridos en el motor durante el proceso de combustión; por lo que la presente investigación plantea la creación de una base de datos estadística que permita relacionar el ruido característico del motor con sus respectivas emisiones contaminantes; contribuyendo de esta manera a futuras investigaciones en el diagnóstico de fallas y fenómenos puntuales a través de métodos no intrusivos.

La adquisición de las señales de ruido se evalúa experimentalmente dentro de un análisis, mediante la aplicación de software matemático y estadístico; como son el uso de la Transformada Rápida de Fourier (FFT) y el Análisis de Componentes Principales (ACP), interpretando los datos obtenidos.

2 PROBLEMA

En la actualidad se vienen desarrollando nuevas técnicas de mantenimiento predictivo para motores de combustión interna; las mismas que se fundamentan en la relación de las diferentes anomalías que se presentan en su funcionamiento, a través del análisis de señales tanto acústicas como vibratorias, utilizando principalmente el método de la Transformada de Fourier o la Transformada Rápida de Fourier (FFT); sin embargo, se ha visto la necesidad de relacionar las señales acústicas o de ruido generado por el motor, con sus respectivas emisiones contaminantes; para de esta forma, determinar si un vehículo cumple con los estándares de emisiones contaminantes, que permitan que se apruebe la RTV de acuerdo a este factor.

2.1 ANTECEDENTES

Actualmente, se pueden encontrar proyectos que han sido desarrollados o que se encuentran en fase de desarrollo, que utilizan técnicas no intrusivas de diagnóstico de fallas puntuales que se puedan dar en los motores empleados; sin embargo, no se encuentran casos o proyectos que se enfoquen en relacionar estas fallas con los gases emitidos y sus correspondientes señales acústicas, de una manera generalizada a través del proceso de RTV.

2.2 IMPORTANCIA Y ALCANCES

La mayor importancia que se considera en el desarrollo de este proyecto, radica en la disminución de los tiempos empleados en la detección o diagnóstico de fallos de un motor de combustión; así como también en el proceso de determinación de los porcentajes de emisiones contaminantes y si estos se encuentran dentro de los regímenes establecidos.

Este proyecto se encuentra dirigido al Grupo de Investigación Ingeniería del Transporte (GIIT), de la Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca, a través de su línea de investigación de mantenimiento automotriz; contribuyendo de esta forma a establecer nuevos métodos que permitan identificar las fallas que se presentan en el funcionamiento del motor a través de la relación con sus respectivas emisiones contaminantes.

3 OBJETIVOS

3.1 GENERAL

Elaborar una base de datos a partir de las características de señales del ruido del motor y su relación con las emisiones contaminantes.

3.2 ESPECÍFICOS

- Obtener y procesar las señales de ruido del motor.
- Adquirir los valores característicos de las señales.
- Analizar estadísticamente los resultados.
- Generar una base de datos.

4 ESTADO DEL ARTE

4.1 Ruido

Se puede definir como sonido o fuente de este, a la energía acústica generada por las vibraciones mecánicas de cualquier componente o en su defecto como el producto de la incidencia directa de la turbulencia del aire sobre estos. El oído humano es extremadamente sensible a las fluctuaciones de la presión del aire, las cuales se convierten en sensaciones auditivas. [1]

Debido a que no existe una unidad de medición objetiva para el ruido; es necesario dar al menos, una representación aproximada mediante valores cuantitativos. Para este propósito, se describe la parte física del ruido, a través de magnitudes cuantitativas, relativas a sus tres características principales: [1]

- Amplitud (percibida como fuerza, potencia o sonoridad).
- Frecuencia (percibida como tono).
- Patrón temporal.

4.1.1 Fuentes del ruido del motor

En la actualidad el confort acústico, juega un papel muy importante durante la conducción; es por esto que el control del ruido producido a través del proceso de combustión, permite verificar o constatar el estado del motor de un vehículo.

Para ello se deben identificar y separar las fuentes generadoras de ruido en un vehículo. En la Figura 1, se puede observar algunas de las fuentes responsables de la generación de ruido. [2]

4.1.1.1 Motor

Una de las más importantes o la principal fuente de ruido en un vehículo es el motor, ya que en este se distingue el ruido emitido por el bloque del motor y los accesorios (Figura 1); puede distinguirse entre ruido de combustión y ruido mecánico. [3]

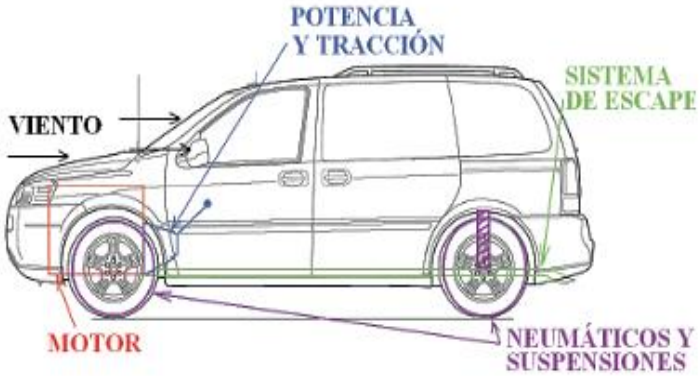


Figura 1. Identificación de las fuentes de ruido del vehículo [3]

4.1.1.1.1 Ruido mecánico

El ruido mecánico se produce a través del impacto entre la estructura del motor, las partes en movimiento y los elementos auxiliares.

Las principales fuentes de ruido mecánico son:

- Cabeceo del pistón
- Sistema de inyección
- Válvulas
- Elementos de transmisión y unión (cojinetes y engranajes)

El ruido proveniente de las frecuencias mecánicas generalmente domina el rango de altas frecuencias a altas velocidades. [3]

4.2 Frecuencia

La frecuencia es la periodicidad con la que se repite un fenómeno en un cierto régimen de tiempo y cuya unidad de medida es el Hercio; la misma que establece el número de ciclos o repeticiones por segundo con la que se produce el fenómeno. La frecuencia de un sonido y de una onda acústica en general, es una magnitud física muy importante pues genera la sensación de tono. En un tono la longitud de onda (Figura 2) depende de la velocidad y, por lo tanto, del medio de propagación [2].

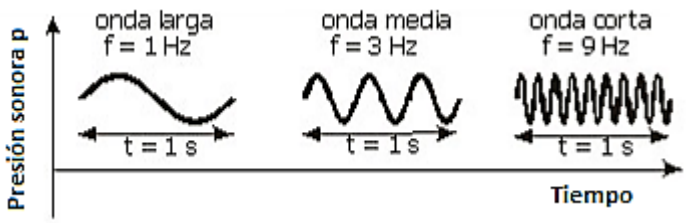


Figura 2. Tipo de ondas [2]

4.3 Señales de emisiones acústicas

La Emisión Acústica (EA) es un fenómeno en el cual se generan ondas elásticas transitorias debido a la expulsión fulminante de energía a partir de fuentes localizadas. Se tiene como fuentes clásicas de emisiones acústicas a los procesos de deformación relacionados con defectos tales como la generación y propagación de fisuras, las deformaciones del material, los desprendimientos del agregado de la matriz y las contracciones o dilataciones originadas por variaciones de temperatura. [4]

Las señales en EA pueden clasificarse por:

4.3.1 Señal transitoria (bursts)

Son señales que tienen claramente definidos los puntos de principio y final del ruido provocado por un defecto (Figura 3). Son características de aparición y crecimiento de fisuras de un material. [4]

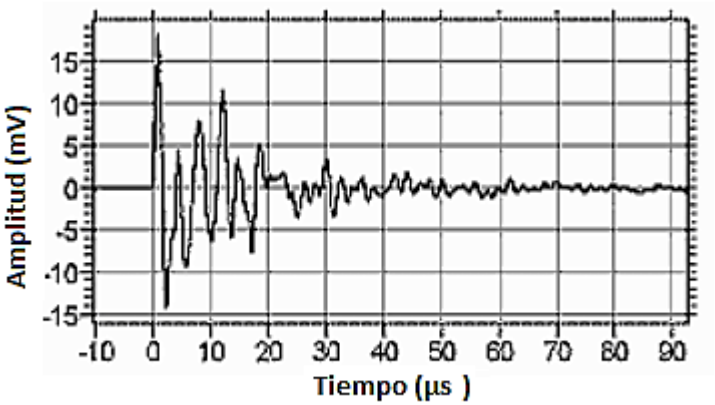


Figura 3. Señal transitoria [4]

4.3.2 Señal continua

Son ondas continuas que tienen amplitudes variadas y frecuencias, pero nunca se terminan. La Figura 4, representa un modelo de señal continuo típico. Estas señales están caracterizadas de movimientos o dislocaciones. [4]

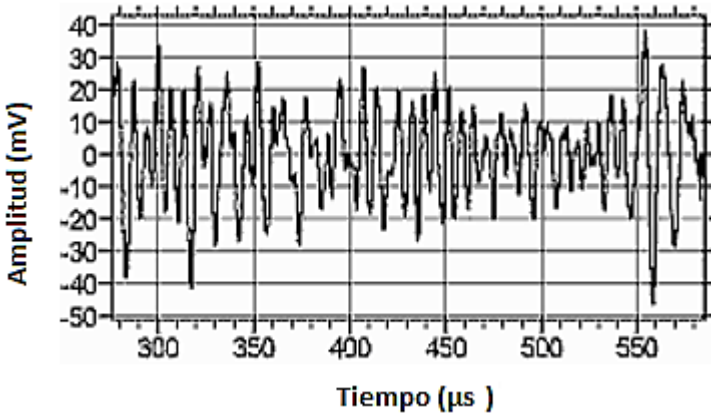


Figura 4. Señal continua [4]

4.3.3 Parámetros de señal acústica

Mediante la identificación de los datos o parámetros sobre la forma de onda, se puede obtener la información sobre la fuente, relacionada a, su actividad e intensidad. Una señal común es la representada en la Figura 5. [4]

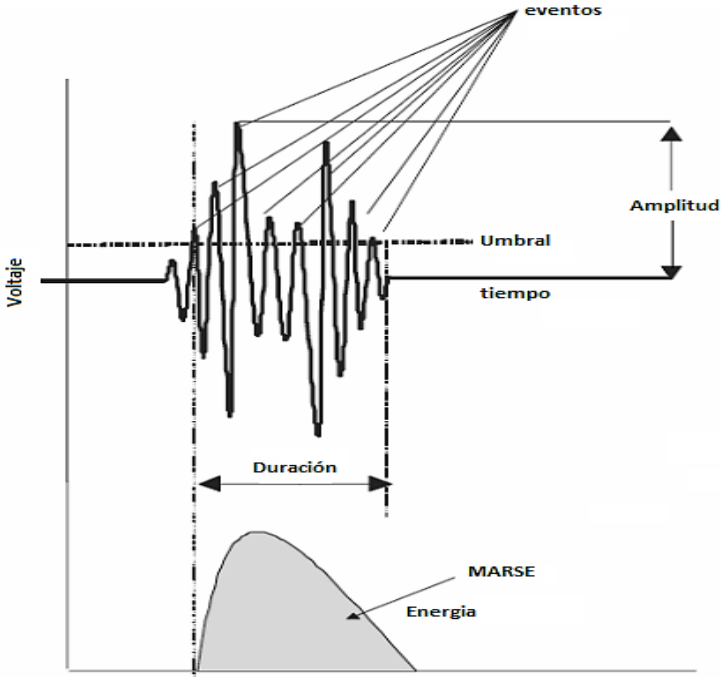


Figura 5. Parámetros de la señal acústica [4]

4.3.4 Espectro

El esquema descriptivo de los tonos que componen el sonido a través de su representación gráfica, no resulta ser muy practico; por lo que es necesario establecer el concepto de espectro sonoro, para así, descifrar e interpretar un sonido complejo de una manera apropiada. El espectro del sonido se deduce a través de las frecuencias y amplitudes de los tonos que lo constituyen mediante su interpretación gráfica; la misma que proporciona información importante para su análisis.

La manera más conveniente para realizar el análisis de la forma de onda (dominio del tiempo), es a través de un análisis de frecuencias o de espectro de la señal de ruido (dominio de la frecuencia), obteniendo para cada caso una gráfica representativa. [2]

4.3.4.1 Análisis del espectro

El análisis de espectros se define como la transformación de una señal de la representación en el dominio del tiempo hacia la representación en el dominio de la frecuencia establecida en la Figura 6, para esto se utiliza una herramienta muy útil como es la transformada de Fourier. [2]

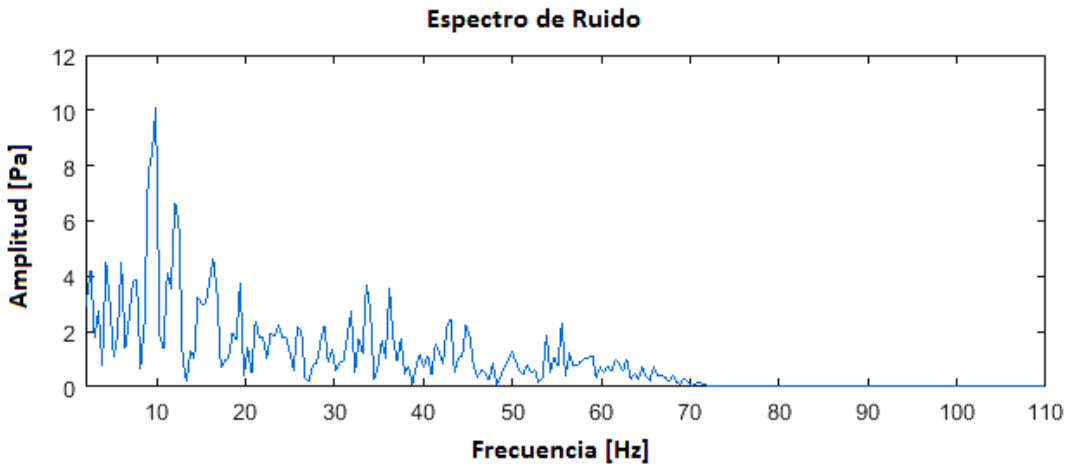


Figura 6. Espectro de frecuencias

4.4 La transformada de Fourier

La transformada de Fourier es una herramienta de análisis matemático muy utilizada en el campo científico (acústica, ingeniería biomédica, métodos numéricos, procesamiento de señal, radar, electromagnetismo, comunicaciones, etc). Transforma

una señal representada en el dominio del tiempo al dominio de la frecuencia, pero sin alterar su contenido de información solo es una forma diferente de representarla. [5]

Mediante el análisis espectral de una señal, es posible realizar un análisis más completo del comportamiento y aporte de las componentes armónicas en el domingo de la frecuencia. Para determinar el espectro más simple de una función se puede recurrir a la transformada de Fourier. [6]

La función que inicialmente se define en el tiempo f(t) es la transformada al dominio de la frecuencia F(w). Esta nueva función F(w) se llama la Transformada de Fourier o Serie de Fourier cuando la función es periódica. [6]

La ecuación de la transformada de Fourier se representa mediante

$$F(w) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t)e^{-iwt}dt \qquad (4.\ 1)$$

4.4.1 Transformada continua de Fourier

Mientras que la transformada continua de Fourier está definida por la ecuación:

$$x(f) = \int_{-\infty}^{\infty} x\ (t)e^{-j2\pi ft}\ dt \qquad (4.\ 2)$$

4.4.2 Transformada discreta de Fourier

En la transformada de Fourier, se descompone la señal en senos y cosenos de diferentes frecuencias y amplitudes; para lo cual su utilización implica la solución de integrales que hacen el análisis continuo para todo tiempo. En la práctica, no siempre es posible por el consumo de tiempo o el desconocimiento de la función original, puesto que solo se poseen datos discretos resultantes de una captura. Debido a que en la mayoría de aplicaciones dentro de la ingeniería y en el campo del procesamiento de señales, es complejo obtener y analizar la totalidad de la información, se emplea el proceso de manera discreta en detrimento del proceso de manera continua. [6]

$$x\ [\ k] = \sum_{n=0}^{N-1} x\ [n]e^{-\frac{2\pi j}{N}\ kn} \qquad (4.\ 3)$$

4.4.3 La transformada rápida de Fourier

La transformada rápida de Fourier FFT emplea un algoritmo para una evaluación eficiente y un análisis más rápido en función o partiendo de la transformada discreta de Fourier DFT, reduciendo el número de operaciones empleadas en el cálculo a partir de la implementación de “atajos” matemáticos. Su optimización se fundamenta en la descomposición de la transformada a tratar en otras más simples y así sucesivamente hasta llegar a transformadas de 2 elementos donde k puede tomar los valores 0 y 1. Posteriormente las transformadas más simples se agrupan en otras de nivel superior, resolviéndolas sucesivamente hasta llegar al nivel más alto. Al final de este proceso se ordenan los resultados obtenidos. [6]

4.5 Filtros

Un filtro se puede definir como un proceso en el cual se altera la naturaleza de una señal, obteniendo una transformación en manera de secuencia de muestras o señal digital de salida en base a una señal o secuencia de muestras original de entrada.

Los filtros son muy utilizados en todos los ámbitos del procesado de señales y son un componente esencial en todo enlace de comunicación. Constituyen la base del procesado de la señal, que puede aplicarse a señales de todo tipo (sonidos, imágenes, videos, vibraciones sísmicas). [7]

4.5.1 Respuesta impulsional, frecuencial y de fase de un filtro

La respuesta al impulso, es la relación de un filtro a un impulso que se envía a su entrada, caracterizándolo y actuando en el dominio temporal. Al trabajar en el dominio digital, dicha respuesta estará discretizada en el tiempo y por tanto definida por una serie de muestras. [7]

La transformada de Fourier de una respuesta impulsional de un filtro corresponde a su función de transferencia o representación frecuencial, que caracteriza al filtro en el dominio frecuencial. Dicha caracterización se realiza a través de su espectro de amplitud y de su espectro de fase. [7]

4.5.2 Tipos de Filtros

Los filtros más utilizados para atenuar o eliminar ciertos parámetros o frecuencias previamente establecidas son:[8]

- Filtro paso Alto.
- Filtro paso Bajo.
- Filtro paso Banda.
- Filtro de Banda Eliminada.

La Figura 7, muestra la representación frecuencial de cada uno de estos filtros:

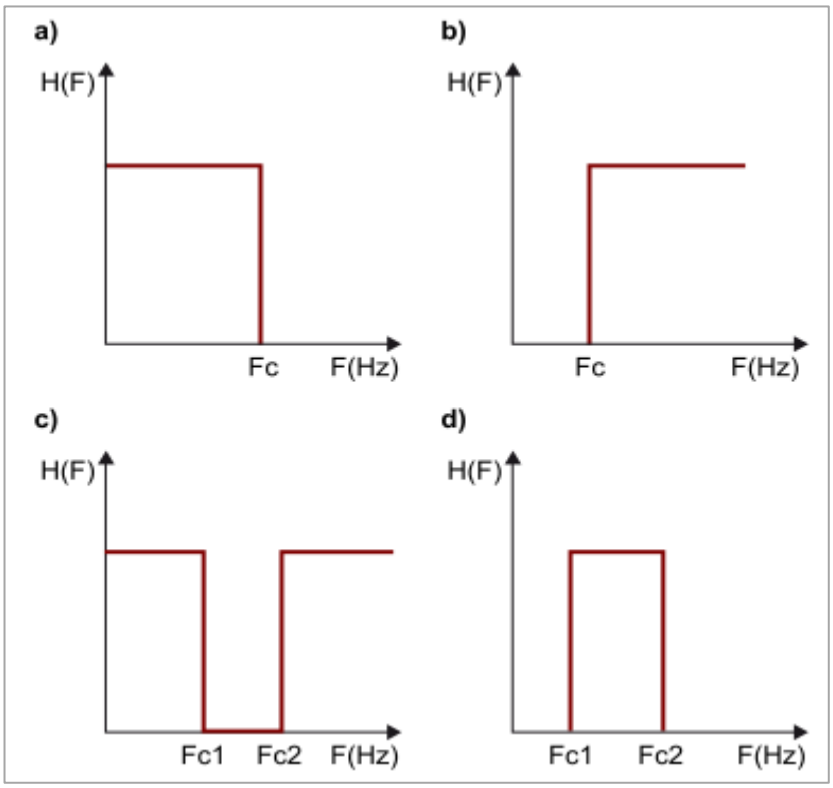


Figura 7. Representación frecuencial de los filtros: a) paso bajo; b) paso alto; c) de banda eliminada; d) paso banda [8]

4.6 Análisis de Ruido

Dentro de las investigaciones realizadas para la aplicación del método Análisis de Ruido; este resulta ser un método que se ha venido desarrollando de manera innovadora con técnicas no invasivas, mediante el cual se estudia el comportamiento de los motores de combustión interna.

Entre los principales usos de este método, se lo puede emplear como un “Diagnóstico de fallos en el proceso de combustión en motores alternativos de encendido por comprensión utilizando el método de análisis de ruido”; investigación desarrollada en la ciudad de Cuenca, Ecuador, en la Universidad Politécnica Salesiana. Parte del desarrollo de esta investigación consiste en la adquisición y procesamiento de señales sonoras emitidas por un Equipo de (Capacitación Educativo CRDI Diesel ENG, y Sistema de Control A/T), motor Hyundai Santa Fe 2.0, dichas señales fueron obtenidas en el dominio de la frecuencia, para luego ser analizadas en un tratamiento mediante la transformada rápida de Fourier. [2]

Siguiendo con los usos del método de Análisis de Ruido, se han realizado otro tipo de investigaciones como la “Interpretación de los efectos de baja de presión en un motor de combustión interna Hyundai Santa Fe 2.0 mediante el análisis de ruido”, investigación que fue realizada en la ciudad de Cuenca, Ecuador, en la Universidad Politécnica Salesiana. El autor utiliza una Cámara Semi anecoica para realizar el tratamiento de las señales de ruido en el dominio de la frecuencia, aplicando el método del análisis espectral, obtenidas debido a los efectos de la baja de presión de un motor de combustión interna de encendido por compresión. El análisis de datos de espectros característicos de los fallos, se analizó mediante el método de Pareto. [9]

En otros estudios, se ha realizado “El estudio CDF de la resonancia en la cámara de combustión de los motores Diésel HDI”; dentro de los motores de combustión interna de encendido por compresión, el proceso de combustión es una de las principales fuentes de ruido, debido al incremento brusco de la presión que provoca el autoencendido en la cámara de combustión. El incremento rápido, origina un proceso de oscilación de los gases quemados en la cámara de combustión, conocido como fenómeno de resonancia, que transmite el bloque, empeorando la calidad acústica del motor. [3]

Investigación realizada en la Ciudad de Valencia, España, en la Universidad Politécnica de Valencia, el autor cita que existen numerosos procedimientos experimentales orientados al estudio sobre los efectos provocado por el proceso de combustión de motores Diésel. Se emplea principalmente el método de la teoría modal y el método CFD (Computacional Fluid Dynamics), la teoría modal permite estimar el comportamiento de los modos de oscilación; pero su uso, se limita a

cámaras de combustión de geometría cilíndrica. En cuanto al método CFD puede utilizarse en cámaras de cualquier geometría.

Durante los últimos años las normas de emisiones para motores de combustión interna son cada vez más restrictivas, en particular para los NOx y el hollín de las emisiones de los motores diésel.

El trabajo que tiene por título “El ruido de combustión y contaminantes predicción para patrón de inyección y EGR de sintonización en un motor de automóvil Common-Rail Diésel” presenta un análisis; a través de simulaciones sobre el impacto del patrón de inyección y recirculación de gases de escape (EGR) en la tasa de consumo de combustible, ruido de la combustión, las emisiones de NOx y de hollín que se presentan para un motor Common-Rail Diésel de automoción. Las simulaciones se realizan por medio de un cuasi-dimensional modelo de múltiples zonas de procesos en cilindros.

La validación del modelo se lleva a cabo mediante una comparación de huellas; simulando presión dentro del cilindro y verificando las emisiones de escape, con datos experimentales obtenidos en un banco de pruebas en condiciones de estado estacionario.

Los efectos de las variables de control sobre el rendimiento del motor, el ruido y los contaminantes se analizan mediante la imposición de desviación significativa de la tasa de EGR y el patrón de inyección. La presente metodología está dirigida a predecir el impacto de estas emisiones de hollín sobre el ruido producido en la combustión. [10]

5 MARCO METODOLÓGICO

La realización de este proyecto, contempla emplear una metodología en la que se desarrollen los siguientes procedimientos:

- Recolección de datos, a través de la adquisición y el procesamiento de señales acústicas.
- Convalidación de los datos mediante un análisis estadístico de los resultados.
- Establecer la base de datos que contenga los parámetros adquiridos y los evaluados.

5.1 Adquisición de Señales Acústicas

La adquisición de las señales acústicas características del motor, se realiza a través del proceso de RTV llevado a cabo en la Ciudad de Cuenca, el mismo que se ejecuta durante la medición de emisiones contaminantes del vehículo, obteniendo de esta manera la señal temporal de audio como la representada en la Figura 8, así como su porcentaje de emisiones contaminantes correspondiente.

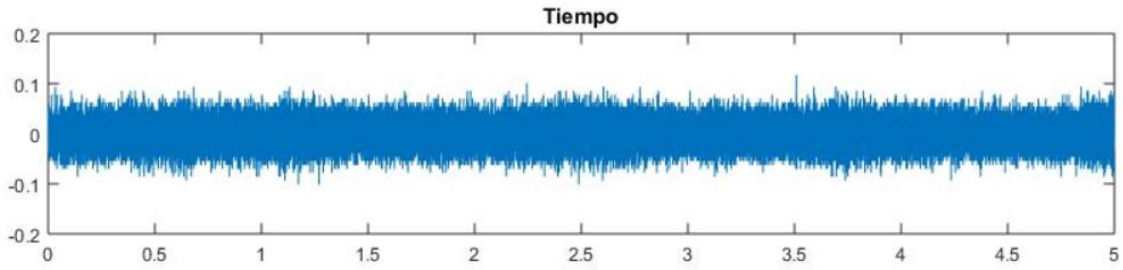


Figura 8. Señal acústica temporal.

5.1.1 Instrumentación de muestreo

El instrumento que se utiliza para la adquisición de las señales acústicas es un celular similar al de la Figura 9, el cual permite obtener una muestra de audio en formato .wav.

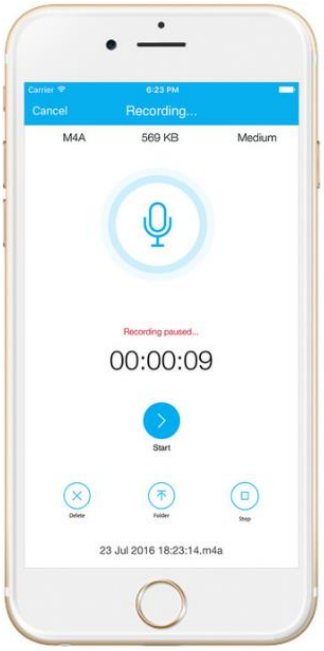


Figura 9. Instrumento de muestreo. [11]

5.1.1.1 Especificaciones Técnicas del Equipo

Tabla 1. Especificaciones Técnicas del Equipo de Muestreo.

Sistema Operativo	iOS 9.3.2
Chipset	Apple A6
Procesador	1.3 GHz Dual Core
RAM	1 Gb DDR2
Audio Recorder	16 Bits con cancelación activa de ruido
Frecuencia de Muestreo	44,1 kHz

5.1.2 Parámetros de la Señal Acústica

En la toma de las muestras, se consideran ciertos parámetros que debe cumplir la señal acústica como los descritos en la Tabla 2, obteniendo de esta manera una señal óptima para su procesamiento y posterior análisis.

Tabla 2. Parámetros de la señal acústica

Parámetro	Cuantificación
Tamaño de la muestra	220500 Elementos
Tiempo	5 s
Frecuencia de Muestreo	44100 Hz

5.1.3 Protocolo de Medición

Para garantizar la repetitividad confiabilidad y correlación de las muestras durante el proceso; es necesario la implementación de un protocolo de toma de muestras (Figura 13), el mismo que se describe a continuación.

- Preparar los instrumentos de medición como el analizador de gases y la herramienta de muestreo de audio del celular.
- Encender el motor.
- Establecer la temperatura del refrigerante mayor a 87° C, obteniendo de esta manera una temperatura optima de funcionamiento del motor.

- Posicionar el celular de acuerdo con las especificaciones mostradas en la Figura 10.

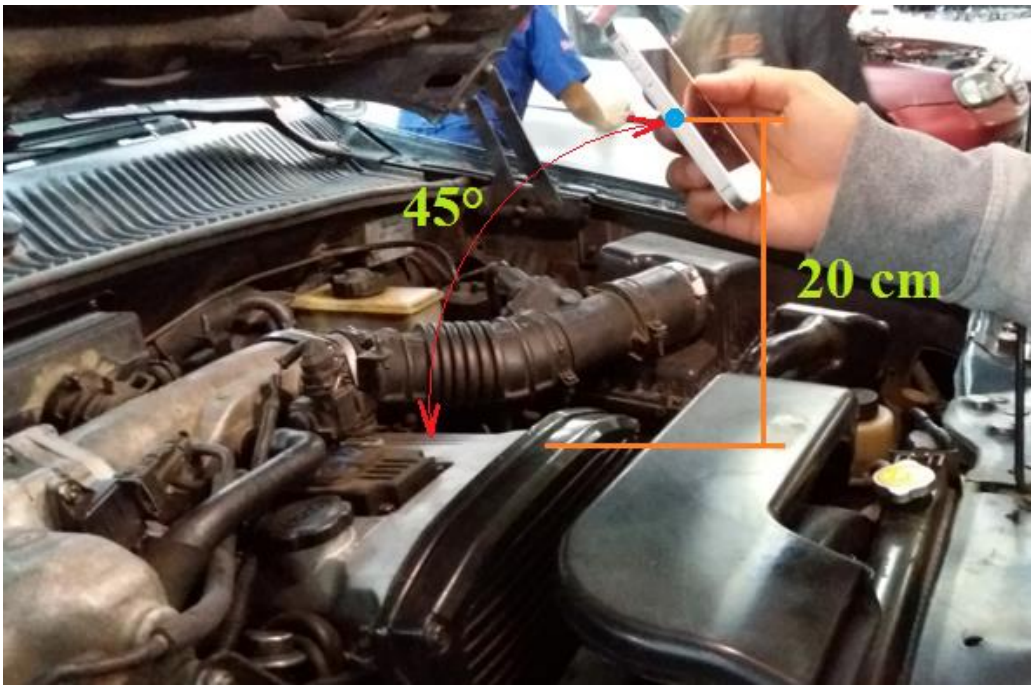


Figura 10. Parámetros de muestreo.

- Estabilizar el motor a un régimen de Ralentí
- Realizar la toma de la muestra acústica a Ralentí
- Adquirir los valores de CO, CO2, HC, O2 y Lambda obtenidos del analizador de gases.
- Verificar que la señal no represente interferencias externas significativas (Figura 11), que puedan afectar las características propias de la señal correspondiente; en caso de presentar la señal ruido externo, repetir el procedimiento de muestreo.

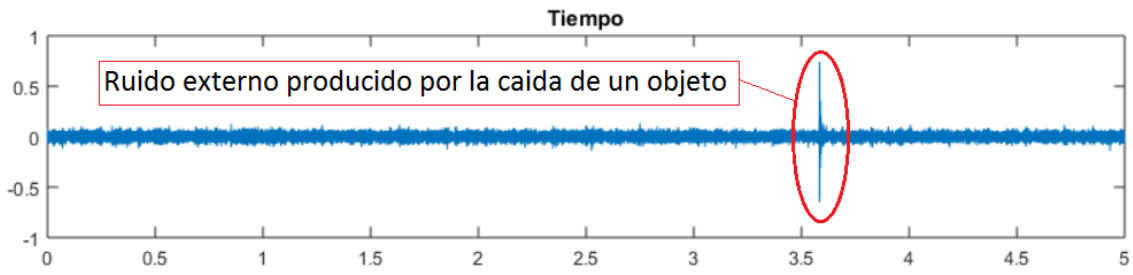


Figura 11. Ruido externo en la muestra.

- Estabilizar el motor a un régimen de 2500 RPM
- Realizar la toma de la muestra acústica a un régimen de 2500 RPM.
- Adquirir los valores de CO, CO2, HC, O2 y Lambda obtenidos del analizador de gases (Figura 12) para 2500 RPM.

Figura 12. Resultados de medición de gases RTV.

- Verificar que la señal no represente interferencias externas significativas, que puedan afectar las características propias de la señal correspondiente; en caso de presentar la señal ruido externo, repetir el procedimiento de muestreo para el régimen establecido.

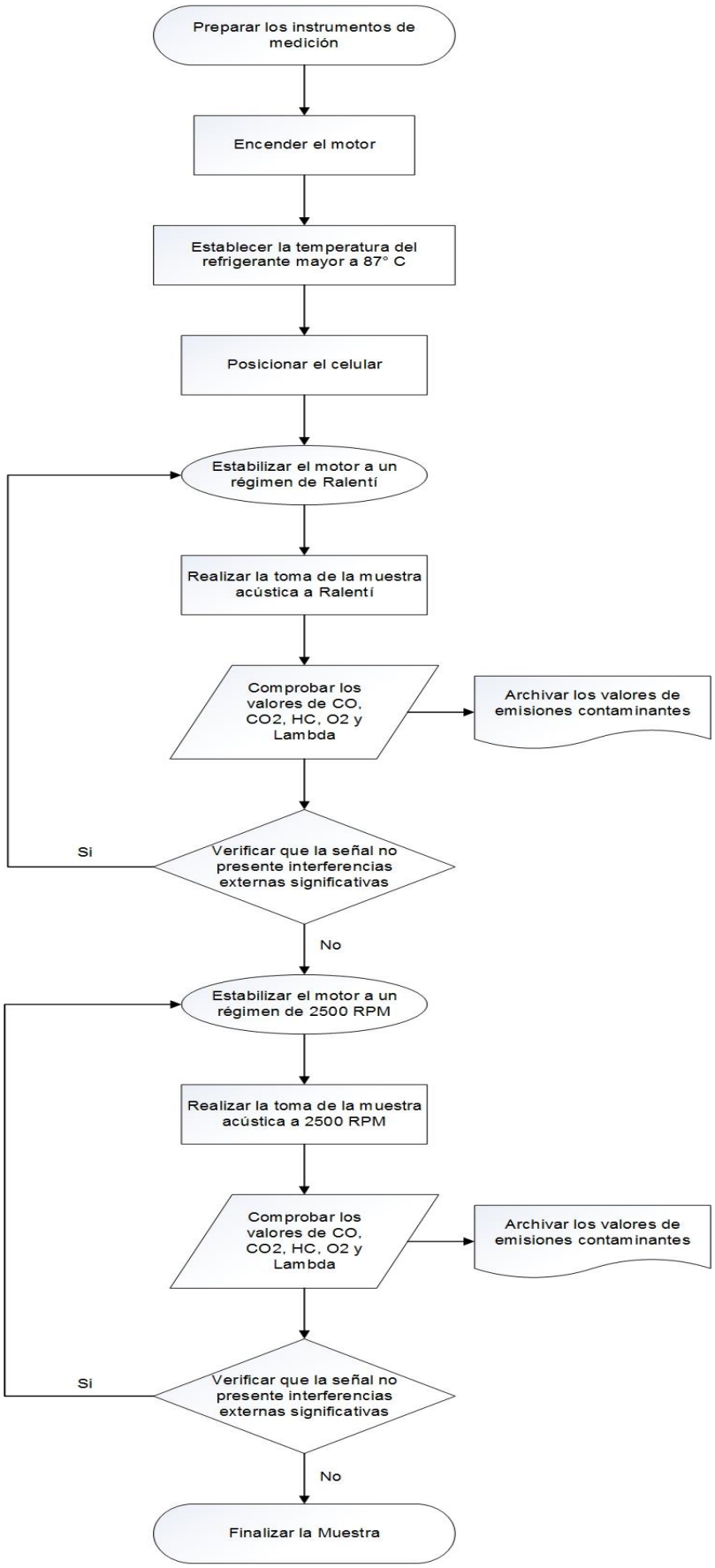


Figura 13. Protocolo de muestreo.

5.2 Procesamiento de las señales de ruido del motor

Una vez obtenidas las señales de ruido características del motor, es necesario realizar un proceso de acondicionamiento de estas; para así garantizar que la información contenida en cada señal corresponda al funcionamiento del motor y no a factores externos que puedan alterar los resultados.

5.2.1 Recorte de señales

Con la finalidad de cumplir con los parámetros establecidos para la señal acústica, es obligatorio recortar y comprobar que cada una de las señales presenten un tiempo determinado de 5 segundos. Un factor importante a considerar durante el recorte de las muestras, es revisar que el audio de las señales no se encuentre contaminado con ruidos extraños o que no procedan del funcionamiento del motor, eliminando de ser necesario durante este proceso la parte contaminada o en su defecto rechazar la señal.

Figura 14. Recorte de Señales.

5.2.2 Filtrado de las señales

Considerando que ciertas señales acústicas presenten ruido provocado por factores externos al del análisis que sean fácilmente perceptibles y a su vez que estos no permitan ser eliminados por el proceso de recorte; es necesario la implementación de un proceso de filtrado de todas las muestras disponibles, minimizando de esta manera los efectos que se puedan dar por estos factores.

Para este procedimiento se considera la señal de audio de entrada proveniente del sistema, la misma que ha sido contaminada por un ruido generado por un sistema externo y sobre la cual se realiza la aplicación de un filtro de respuesta en frecuencia,

de esta manera se obtiene una nueva señal de salida, reduciendo el impacto de la señal externa sobre la de entrada como se presenta en el diagrama de la Figura 15.

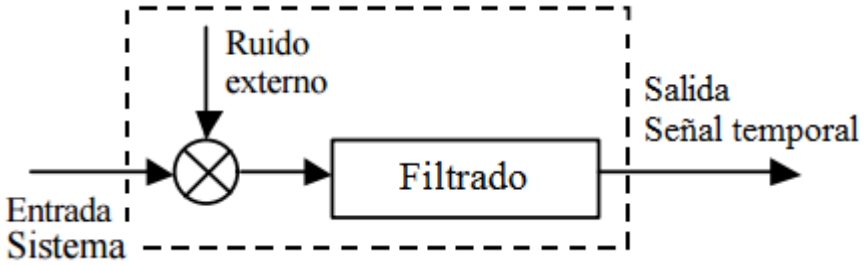


Figura 15. Filtrado y sistema con ruido externo.

El filtrado de las señales acústicas, permite eliminar o reducir las interferencias o ruidos externos (Figura 16) que no provienen del funcionamiento del motor y que no se pueden eliminar durante el recorte de las señales, actuando sobre la muestra de audio original para posteriormente obtener una señal que conserva todas y cada una de las características propias del sistema; lo que permite atenuar y minimizar los errores que puedan presentar las muestras.

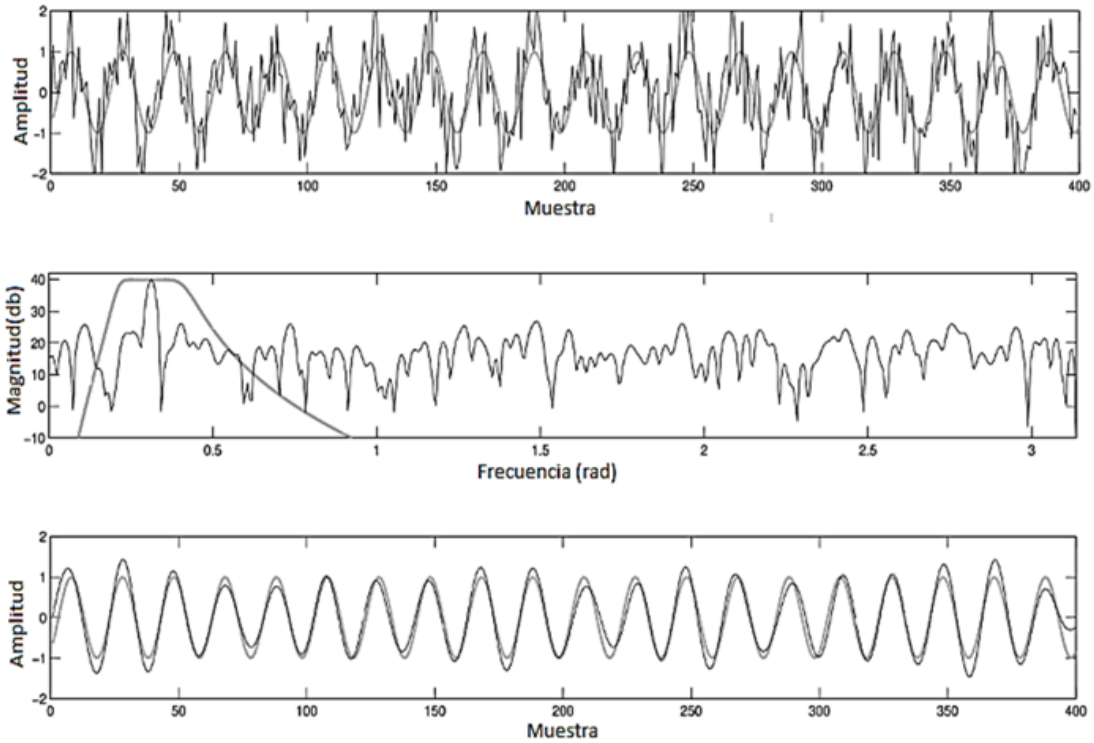


Figura 16. Atenuación de la señal mediante filtrado [12]

5.2.2.1 Implementación de un Filtro Pasa Banda

Debido a que la mayor cantidad de información relacionada con el funcionamiento del motor, se presenta en frecuencias menores; la frecuencia fundamental del espectro, es decir la frecuencia que está relacionada con la velocidad de giro del motor para un régimen de 2500 RPM seleccionado, corresponde a 41,66 Hz. [13] Por éste motivo, se considera para el estudio emplear un filtro pasa banda, el cual actúa sobre la señal temporal original y permite el paso de la misma en un intervalo de frecuencias mayores o iguales a 1 Hz y menores o iguales a 60 Hz representado en la Figura 17.

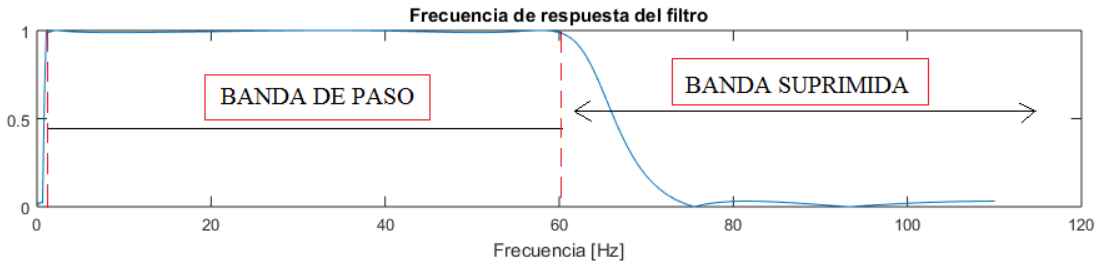


Figura 17. Frecuencia de corte del filtro.

5.2.2.2 Respuesta al Filtrado

El procesamiento de las señales obtenidas se realiza a través de la implementación del filtro pasa banda, generado por medio de un código de programación en el software de análisis matemático Matlab®.

$$y = filter(b, a, x) \tag{5. 1}$$

Siendo

Tabla 3. Designación de variables de filtrado

Variable	Designación
y	Función de la señal filtrada
b	Valores que describen la secuencia de la función de la señal original
a	
x	Función de la señal original

En la Figura 18, se presenta la respuesta del filtro aplicado sobre la señal temporal original, en la cual se observa la supresión del ruido qué no se encuentre en el determinado régimen de frecuencias (1 hasta 60 Hz).

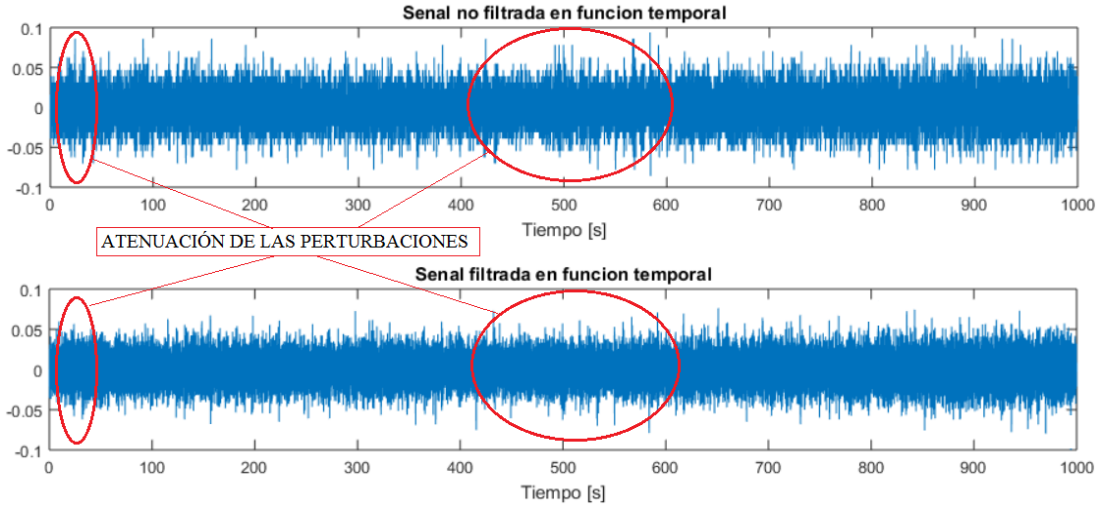


Figura 18. Atenuación de las perturbaciones.

Los círculos rojos señalan los picos de sobre salto que tiene la señal, que son eliminados o atenuados al momento del filtrado; obteniendo de esta manera una señal optima sobre la cual extraer sus características principales.

5.2.3 Transformada Rápida de Fourier

Las muestras acústicas captadas durante la adquisición de datos, son señales temporales en las cuales una de sus variables es el tiempo; para el análisis y relación de los fenómenos físicos que se producen, es necesario obtener su espectro de frecuencias, mediante la FFT (Transformada Rápida de Fourier).

La FFT es simplemente la transformación de una señal del dominio del tiempo al dominio de la frecuencia, en la cual es posible observar los picos correspondientes a los armónicos que se producen de acuerdo a las características propias del funcionamiento del motor.

Es fundamental establecer un espectro patrón en condiciones normales de funcionamiento de acuerdo a las características propias del vehículo, para así poder determinar el correcto funcionamiento del motor en condiciones de operación similares.

En la Figura 19, se presenta el espectro patrón para el motor de un vehículo KIA Rio 1.4 L LX, establecido en funcionamiento a régimen de ralentí.

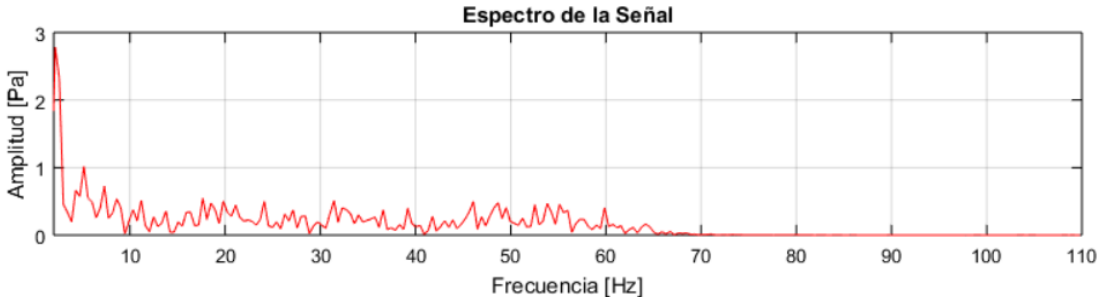


Figura 19. Espectro de frecuencias de la señal a ralentí.

En la Figura 20, se presenta el espectro patrón para el motor de un vehículo KIA Rio 1.4 L LX, establecido en funcionamiento a régimen de 2500 RPM.

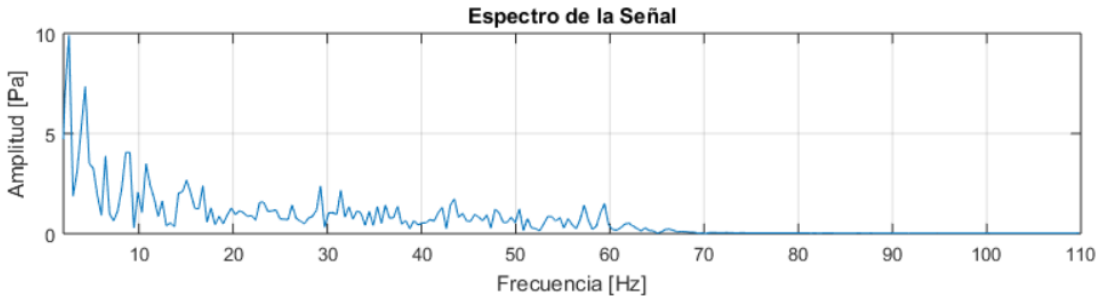


Figura 20.Espectro de frecuencias de la señal a ralentí elevado.

A partir de la obtención de los espectros de frecuencia mediante la Transformada Rápida de Fourier, es posible visualizar el comportamiento o respuesta que tiene la aplicación del filtro sobre la señal original y sobre su espectro correspondiente.

En la Figura 21, se presenta la respuesta del filtro sobre el espectro de frecuencias, en el cual se visualiza la supresión de ruido provocado por factores externos, así como también la atenuación de la señal a partir de una frecuencia de 60Hz.

La banda de transición corresponde al comportamiento no lineal del filtro aplicado, actuando a partir de la frecuencia establecida de 60Hz; disminuyendo la amplitud de las frecuencias hasta la eliminación completa de estas.

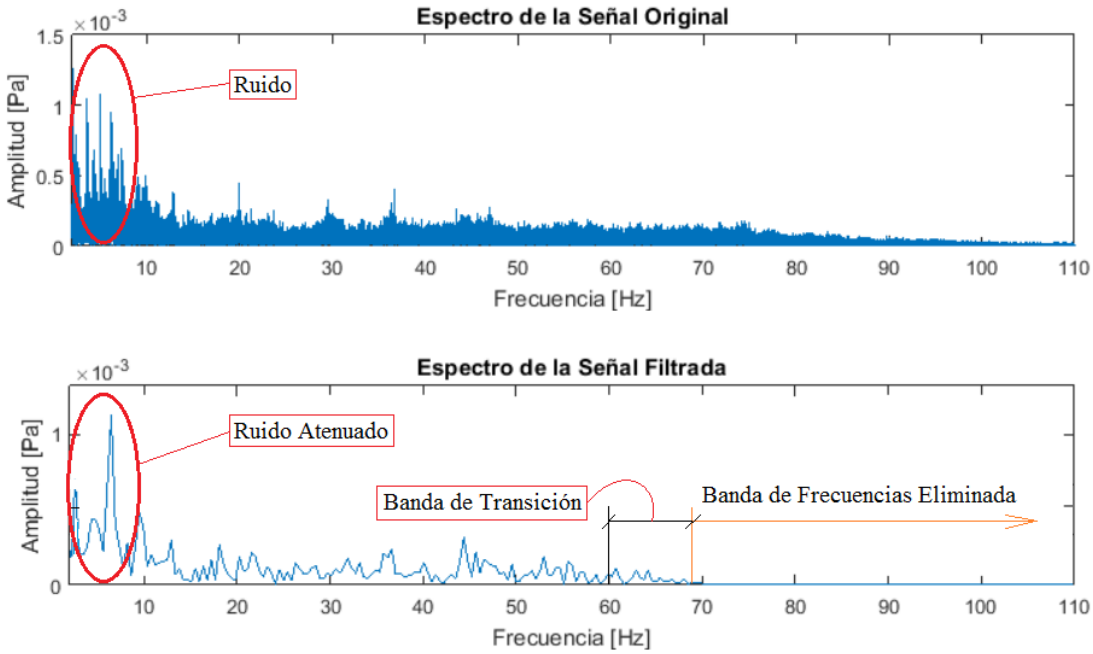


Figura 21. Respuesta en un espectro de frecuencias del filtro

5.2.4 Valores Característicos de las Señales

Para extraer los valores característicos de las señales, es necesario emplear comandos o funciones propias del software de análisis matemático Matlab®.

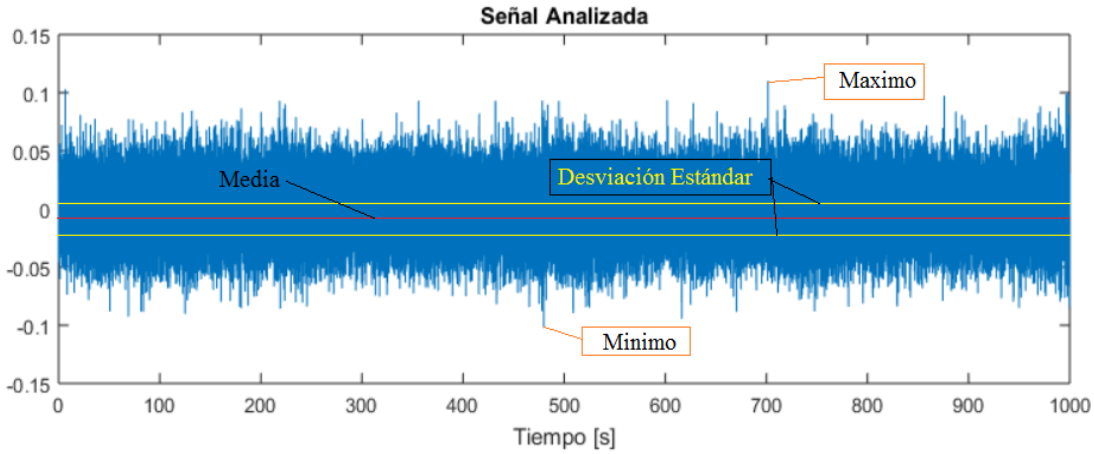


Figura 22. Representación de los valores característicos de las señales.

En la Figura 22, se puede observar la representación de ciertas características que se obtienen a través del procesamiento de las señales.

5.2.4.1 Media

Describe un conjunto entero de observaciones con un valor individual que representa el centro de los datos. [14]

Como es frecuente que las formulas estadísticas comprendan la suma de números, sé utiliza un símbolo para indicar el proceso de sumar. Suponiendo que hay n mediciones en la variable “x” y que las llamamos x1, x2, ……., xn. Para sumar las n mediciones, tenemos la siguiente ecuación: [15]

$$\sum_{i=1}^{n} x_i \quad que\ significa \quad x_1 + x_2 + x_3 \ldots\ldots\ldots\ldots. + x_n \tag{5. 2}$$

5.2.4.2 Varianza

Una medida de dispersión que representa el grado en que un conjunto o distribución de datos aparece disperso alrededor de su media.

La varianza de una población de N mediciones es el promedio de los cuadrados de las desviaciones de las mediciones alrededor de su media. La varianza poblacional se denota con: [15]

$$\sigma^2 = \frac{\sum(x_i - \mu)^2}{N} \tag{5. 3}$$

5.2.4.3 Desviación STD

La medida de dispersión más común, que indica cuán separados de la media están los datos, la desviación estándar estima aproximadamente la distancia "promedio" de las observaciones individuales con respecto a la media. Mientras mayor sea la desviación estándar, mayor será la dispersión de los datos. [15]

La desviación estándar se puede utilizar como un valor de referencia preliminar para estimar la variación general de un proceso. [16]

La desviación estándar de un conjunto de mediciones es igual a la raíz cuadrada positiva de la varianza. [15]

$$\sigma = \sqrt{\sigma^2} \tag{5. 4}$$

5.2.4.4 Mediana

El centro del rango de datos, la mitad de las observaciones es menor que o igual al valor y la mitad de las observaciones es mayor que o igual al valor.

En comparación con la media, la mediana no es sensible a datos con valores extremos, de modo que la mediana es frecuentemente una medida más informativa en relación con el centro de un conjunto de datos asimétricos. [14]

5.2.4.5 Potencia

Es la energía por unidad de tiempo en un intervalo, siendo en este caso específico el intervalo el número total de muestras. [17]

Para una señal discreta se emplea la ecuación:

$$P = \frac{1}{N_2 - N_1 + 1} \sum_{i=N_1}^{N_2} {x_n}^2 \tag{5. 5}$$

Donde

$N_2 - N_1$ El rango de medición en número de muestras.

X_n Es el valor muestral.

5.2.4.6 Energía

La energía de una señal está definida por la ecuación, siendo esta aplicada para una señal en tiempo discreto. [17]

$$E = \sum_{n=N_1}^{N_2} |x(n)|^2 \tag{5. 6}$$

5.2.4.7 Curtosis

La Curtosis mide el grado de agudeza o achatamiento de una distribución con relación a la distribución normal, es decir, mide cuan puntiaguda es una distribución.

Determina el grado de concentración que presentan los valores en la región central de la distribución. [18]

$$\alpha = \frac{\sum(x_i - \bar{x})^4}{n\sigma^4} \tag{5. 7}$$

5.2.4.8 Asimetría

Es una medida de forma de una distribución que permite identificar y describir la manera como los datos tienden a reunirse de acuerdo con la frecuencia con que se hallen dentro de la distribución. Permite identificar las características de la distribución de datos sin necesidad de generar el grafico (Figura 23). [18]

$$As = \frac{3(\bar{x} - Md)}{s} \tag{5. 8}$$

5.2.4.8.1 Asimetría Negativa o a la izquierda

Se da cuando en una distribución la minoría de los datos está en la parte izquierda de la medida. Este tipo de distribución presenta un alargamiento hacia la izquierda, es decir, la distribución de los datos tiene a la izquierda una cola más larga que a la derecha. [18]

También se dice que una distribución es simétrica a la izquierda, cuando el valor de la media aritmética es menor que la mediana y este valor de mediana a su vez es menor que la moda, en símbolos $\bar{x} < Md < Mo$. [18]

5.2.4.8.2 Asimetría Positivo o a la derecha

Se da cuando en una distribución la minoría de los datos está en la parte derecha de la media aritmética. Este tipo de distribución presenta un alargamiento hacia la derecha, es decir, la distribución de los datos tiene a la derecha una cola más larga que a la izquierda. [18]

También se dice que una distribución es simétrica a la derecha, cuando el valor de media aritmética es mayor que la mediana y este a valor de la mediana a su vez es mayor que la moda, en símbolos $\bar{x} > Md > Mo$. [18]

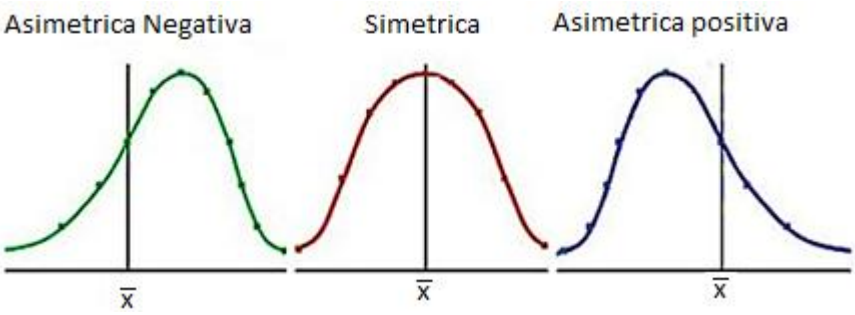


Figura 23. Representación gráfica de la asimetría [18]

5.2.4.9 RMS

El RMS (Root Mean Square) es un estadístico global, que se define como la raíz cuadrada del promedio de la suma de los cuadrados de los valores de la señal en el intervalo de análisis. Su comportamiento es análogo al de la potencia y de la energía. [17]

Se determina mediante la ecuación:

$$RMS = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} xi^2} \qquad (5.\ 9)$$

5.2.4.10 Factor de cresta

El factor de cresta es una medida normalizada de la amplitud del pico máximo respecto del RMS. [17]

Se determina mediante la ecuación:

$$FC = \frac{|x_{max}|}{RMS} \qquad (5.\ 10)$$

6 ANÁLISIS DE RESULTADOS

El análisis de resultados permite establecer la relación existente entre las muestras acústicas obtenidas y las emisiones contaminantes, de acuerdo a las características de

cada señal y su respectivo procesamiento. Para este fin, es necesario constituir o implementar predictores estadísticos, cuya finalidad es la de clasificar o asignar un valor a un grupo previamente establecido a través de una discriminación.

Los predictores estadísticos o grupos de predicción para este análisis, se encuentran determinados en función de si aprueba o no el proceso de RTV de acuerdo a las emisiones contaminantes; por lo tanto, se asignan dos grupos predictores uno para la variable Pasa y otro para la variable No pasa, mediante los valores asignados en la Tabla 4.

Tabla 4. Asignación del predictor

	Predictor
Aprueba	1
Reprueba	0

A continuación, se verifica mediante un análisis de varianza ANOVA que las medias de las características representativas de las muestras, difieren en función de si aprueba o no la RTV. Este análisis se lo realiza agrupando las características de acuerdo al régimen de funcionamiento en el cual se ha realizado el muestreo.

Posteriormente, se realiza un Análisis de Componentes Principales (ACP) que permite reducir el número de variables o características de un mismo régimen; simplificando el análisis de resultados y perdiendo la menor cantidad de información posible.

Para finalizar, se ejecuta un análisis discriminante lineal, el cual permite categorizar a una variable dentro de un grupo; en este caso si aprueba o no la RTV de acuerdo a las relaciones lineales que mejor discriminen a los componentes.

6.1 Análisis de Varianza ANOVA

El análisis de varianza ANOVA examina los efectos de múltiples factores en una respuesta continua, para esto se basa en el estudio de varianza para cada variable de respuesta. Esta técnica estadística es útil para determinar si un modelo cumple con los supuestos del análisis. [16]

6.1.1 Análisis de la Media a Ralentí

En la gráfica de intervalos para la característica “Media” de la Figura 24, se aprecia que no existe una inferencia significativa de esta característica a ralentí, para poder determinar si un vehículo pasa o no la RTV de acuerdo a su relación con las emisiones contaminantes; debido a que, sus intervalos para la condición “Pasa” están sobre posicionados. La gráfica de Tukey presenta un comportamiento similar, con un intervalo que contiene valores de cero y por lo tanto las medias correspondientes no son significativamente diferentes.

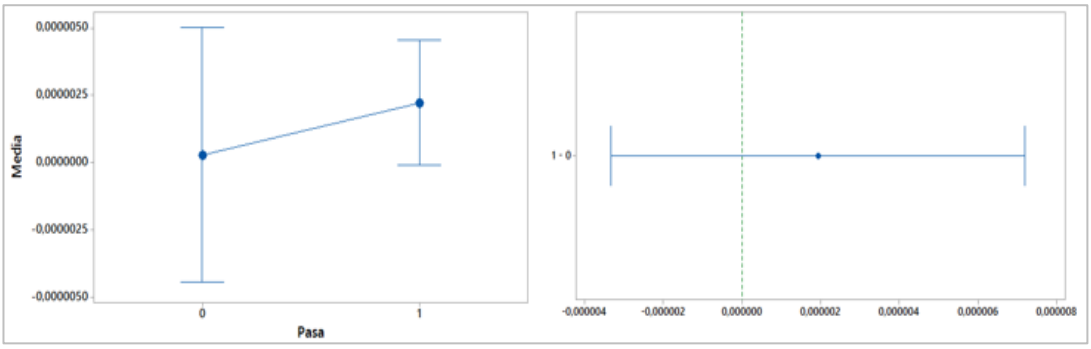


Figura 24. Intervalos y Tukey para la Media a Ralentí

En la gráfica de caja para la característica “Media” de la Figura 25, se presentan valores atípicos dentro de las mediciones; lo que no permite una agrupación adecuada de los datos y por lo tanto excluyendo esta característica del análisis a ralentí.

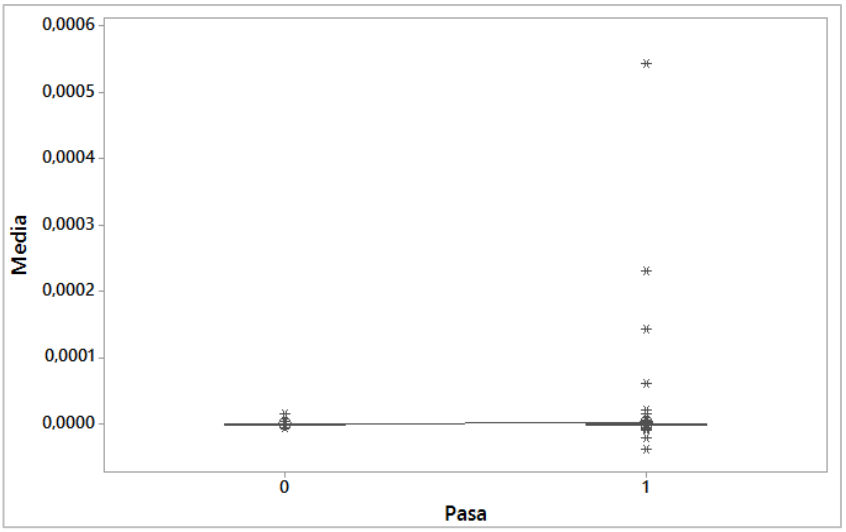


Figura 25. Gráfica de Caja para la Media a Ralentí

6.1.2 Análisis de la Mediana a Ralentí

En la gráfica de intervalos para la característica “Mediana” de la Figura 26, de igual forma, se aprecia que no existe una inferencia amplia de esta característica a ralentí, para poder determinar si un vehículo pasa o no la RTV de acuerdo a su relación con las emisiones contaminantes; esto debido a que, sus intervalos se encuentran sobrepuestos y por lo cual sus medias no son disímiles para la condición Pasa. La gráfica de Tukey presenta un comportamiento similar, con un intervalo que contiene valores de cero y por lo tanto las medias correspondientes no son significativamente diferentes.

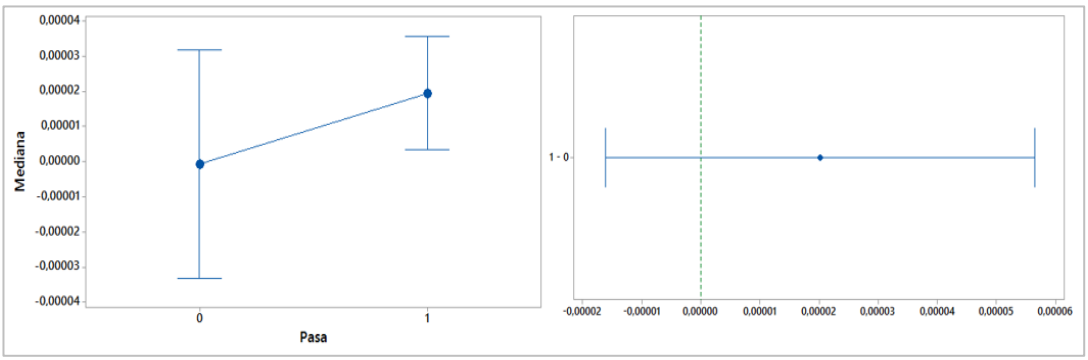


Figura 26.Intervalos y Tukey para la Mediana a Ralentí

En la gráfica de caja para la característica “Mediana” de la Figura 27, se presentan valores atípicos dentro de las mediciones; sin embargo, si demuestra una agrupación de datos que se pueden considerar para el análisis a ralentí; si bien sus medias no presentan una diferencia significativa.

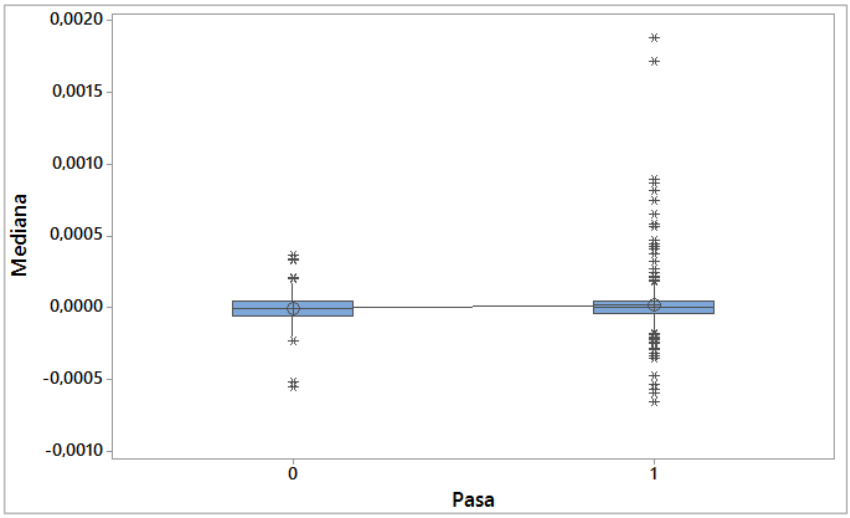


Figura 27. Gráfica de Caja para la Mediana a Ralentí

6.1.3 Análisis de la Varianza a Ralentí

En la gráfica de intervalos para la característica “Varianza” de la Figura 28, se aprecia que la inferencia es mínima de esta característica a ralentí, para poder determinar si un vehículo pasa o no la RTV de acuerdo a su relación con las emisiones contaminantes. La gráfica de Tukey presenta un comportamiento similar, con un intervalo que contiene valores de cero; por lo tanto, las medias correspondientes no son significativamente diferentes.

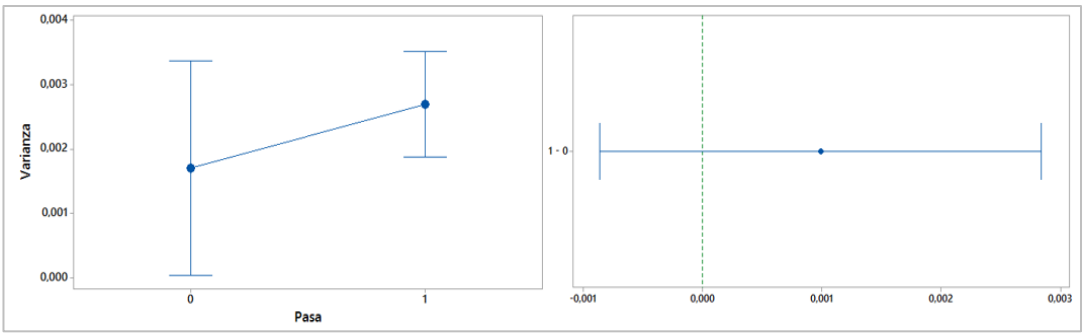


Figura 28. Intervalos y Tukey para la Varianza a Ralentí

En la gráfica de caja para la característica “Varianza” de la Figura 29, se presentan valores atípicos dentro de las mediciones; por lo que la agrupación de datos es pequeña al igual que la diferencia entre sus medias correspondientes.

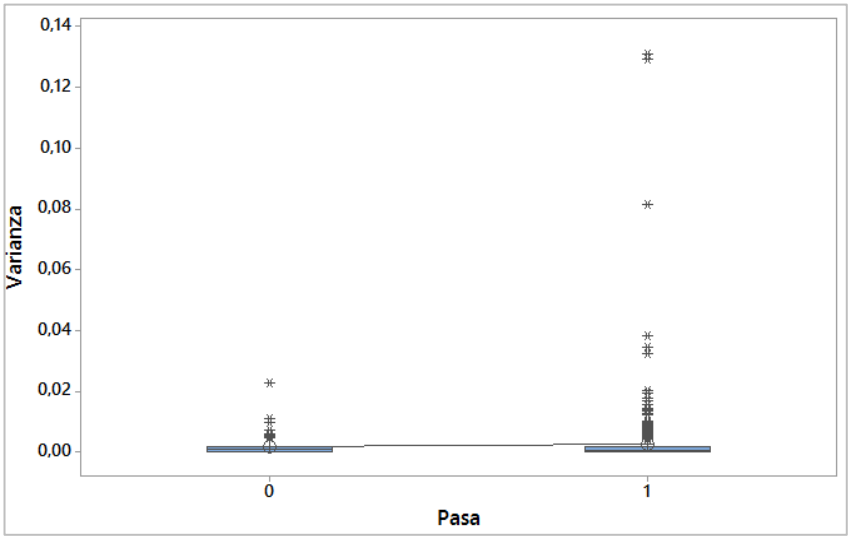


Figura 29. Gráfica de Caja para la Varianza a Ralentí

6.1.4 Análisis de la Desviación Estándar a Ralentí

En la gráfica de intervalos para la característica “Desviación Estándar” de la Figura 30, se aprecia que no existe una inferencia significativa de esta característica a ralentí, para poder determinar si un vehículo pasa o no la RTV de acuerdo a su relación con las emisiones contaminantes; debido a que, sus intervalos para la condición “Pasa” se encuentran sobre posicionados. La gráfica de Tukey presenta un comportamiento similar, con un intervalo que contiene valores de cero y por lo tanto las medias correspondientes no son significativamente diferentes.

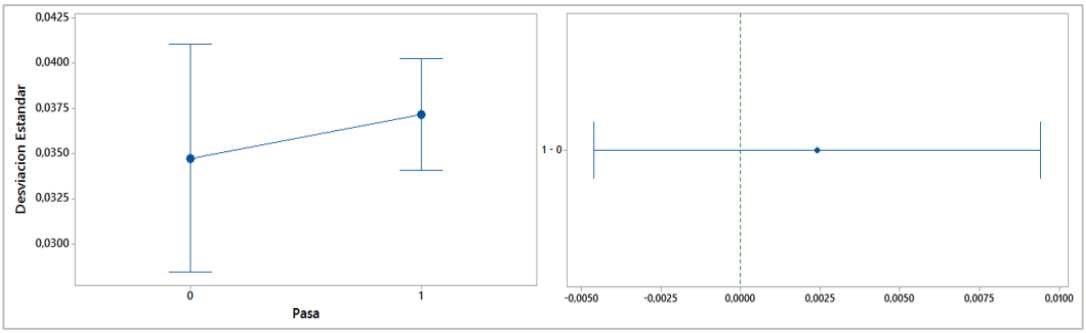


Figura 30. Intervalos y Tukey para la Desviación Estándar a Ralentí

En la gráfica de caja para la característica “Desviación Estándar” de la Figura 31, se presentan valores atípicos dentro de las mediciones, sin embargo, se puede visualizar que, si existe agrupación de datos, a pesar de una diferencia mínima de las medias de la condición “Pasa”.

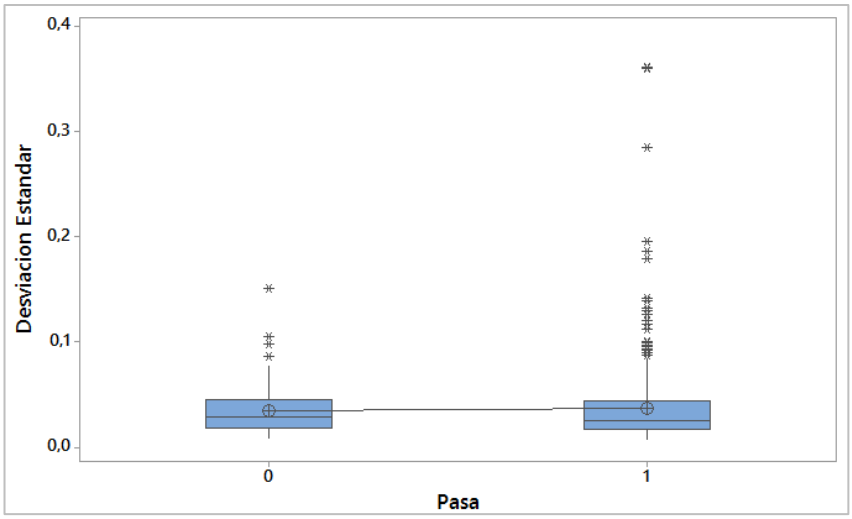


Figura 31. Gráfica de Caja para la Desviación Estándar a Ralentí

6.1.5 Análisis del Máximo a Ralentí

En la gráfica de intervalos para la característica “Máximo” de la Figura 32, se aprecia que si bien los intervalos para la condición “Pasa” se encuentran sobrepuesto; la media de cada uno de ellos si presenta una diferencia reducida de esta característica a ralentí, para poder determinar si un vehículo pasa o no la RTV de acuerdo a su relación con las emisiones contaminantes. La gráfica de Tukey presenta un comportamiento similar, con un intervalo que contiene valores de cero y por lo tanto las medias correspondientes no son significativamente diferentes.

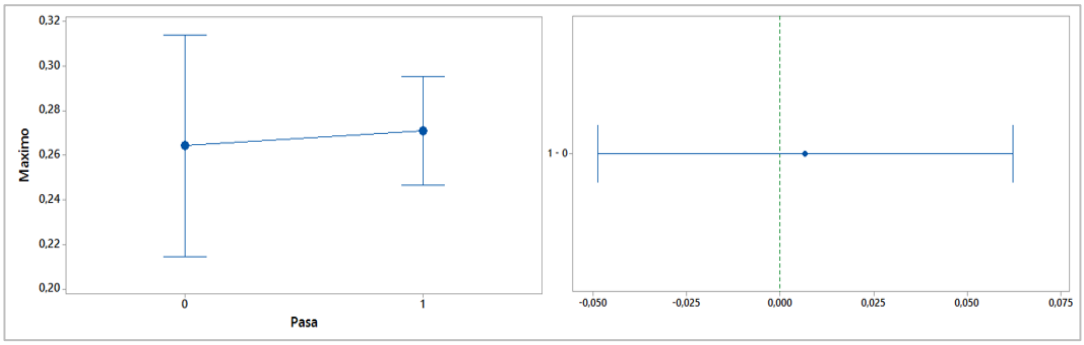


Figura 32. Intervalos y Tukey para el Máximo a Ralentí

En la gráfica de caja para la característica “Máximo” de la Figura 33, se visualizan valores atípicos dentro de las mediciones, presentando una agrupación pequeña de datos en la cual la diferencia de sus medias no son los suficientemente significativas para el análisis a ralentí.

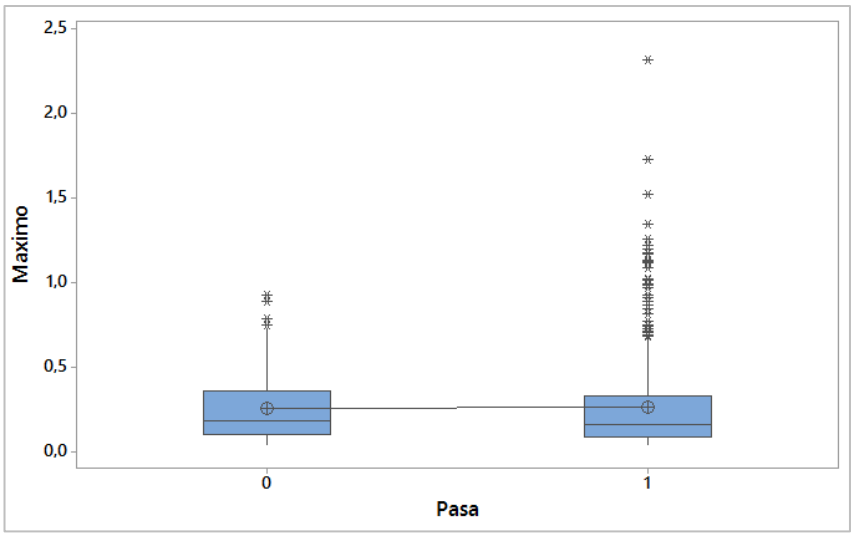


Figura 33. Gráfica de Caja para el Máximo a Ralentí

6.1.6 Análisis del Mínimo a Ralentí

En la gráfica de intervalos para la característica “Mínimo” de la Figura 34, se aprecia que no existe una inferencia significativa de esta característica a ralentí, para poder determinar si un vehículo pasa o no la RTV de acuerdo a su relación con las emisiones contaminantes, debido a que, sus intervalos para la condición pasan están sobre posicionados. La gráfica de Tukey presenta un comportamiento similar, con un intervalo que contiene valores de cero y por lo tanto las medias correspondientes no son significativamente diferentes.

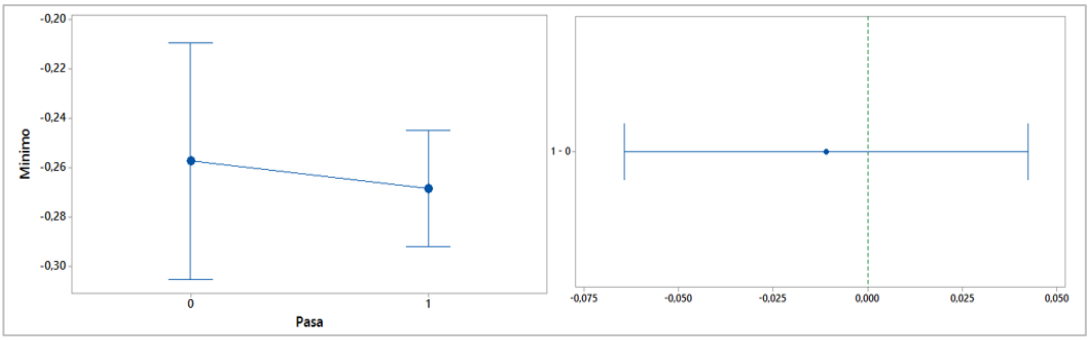


Figura 34. Intervalos y Tukey para el Mínimo a Ralentí

En la gráfica de caja para la característica “Mínimo” de la Figura 35, se presentan valores atípicos dentro de las mediciones; por lo que, la agrupación de datos es pequeña al igual que la diferencia entre sus medias correspondientes.

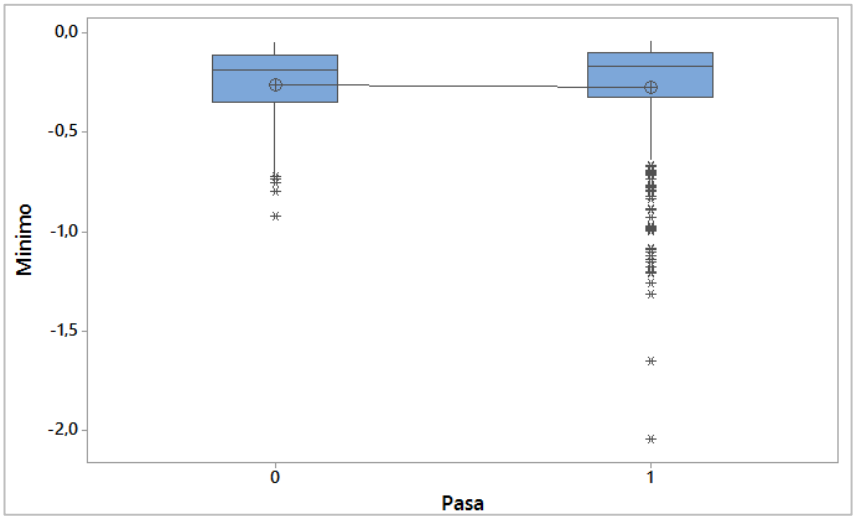


Figura 35. Gráfica de Caja para el Mínimo a Ralentí

6.1.7 Análisis de la Potencia a Ralentí

En la gráfica de intervalos para la característica “Potencia” de la Figura 36, se verifica que no existe una diferencia significativa de los intervalos para la condición “Pasa”; no así para sus medias correspondientes; por lo que, esta característica es potencialmente considerable para el análisis a ralentí. La gráfica de Tukey presenta un intervalo que contiene valores de cero, pero su media si presenta una variación con respecto este parámetro.

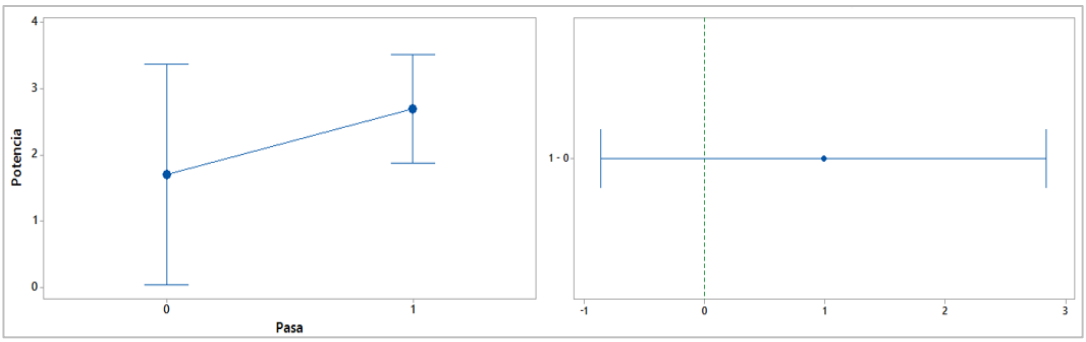


Figura 36. Intervalos y Tukey para la Potencia a Ralentí

En la gráfica de caja para la característica “Potencia” de la Figura 37, la agrupación de datos se encuentra reducida, debido a muestras con valores atípicos; sin embargo, sus medias presentan una variabilidad que corroboran el análisis de Intervalos y de Tukey.

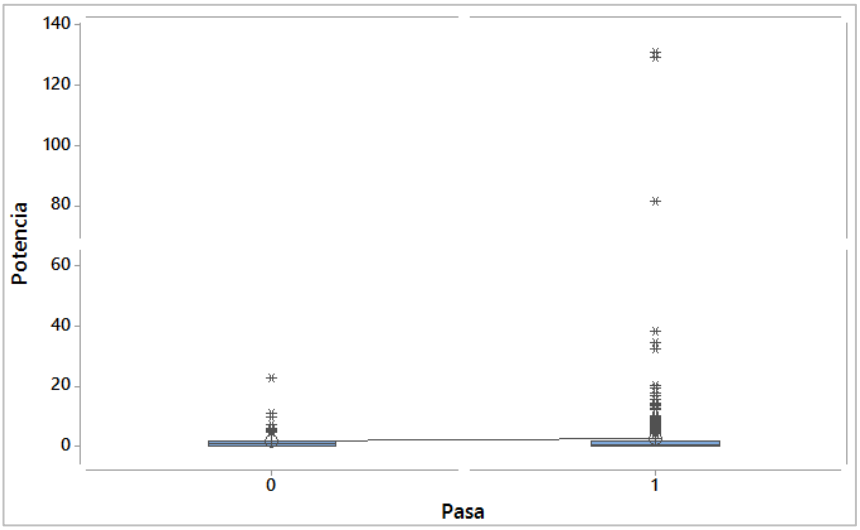


Figura 37. Gráfica de Caja para la Potencia a Ralentí

6.1.8 Análisis de la Energía a Ralentí

En la gráfica de intervalos para la característica “Energía” de la Figura 38, se observa de igual manera que no existe una diferencia significativa de los intervalos para la condición “Pasa” debido a que, estos se encuentran sobrepuesto en un tramo; no así, para sus medias correspondientes; por lo que, esta característica es potencialmente considerable para el análisis a ralentí, lo que es deducible ya que la Potencia y la Energía se encuentran relacionadas entre sí. La gráfica de Tukey presenta un intervalo que contiene valores de cero, pero su media si presenta una variación con respecto este parámetro.

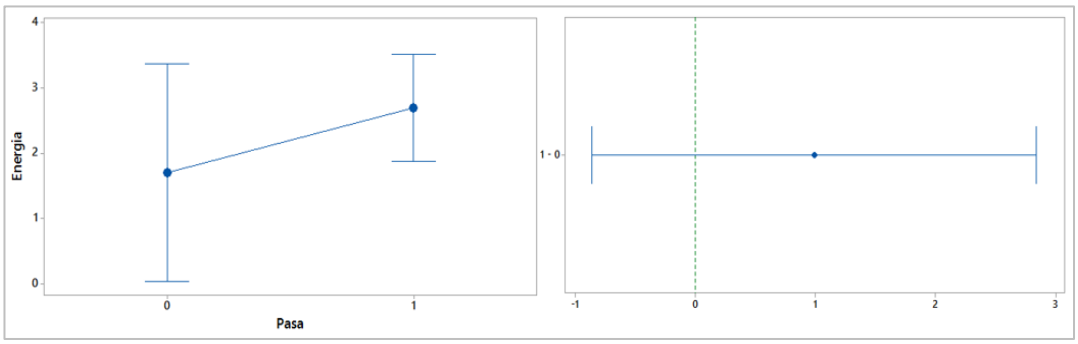


Figura 38. Intervalos y Tukey para la Energía a Ralentí

En la gráfica de caja para la característica “Energía” de la Figura 39, la agrupación de datos se encuentra reducida debido a muestras con valores atípicos; no obstante, sus medias presentan una variabilidad que corroboran el análisis de Intervalos y de Tukey similar a la gráfica de caja para la Potencia.

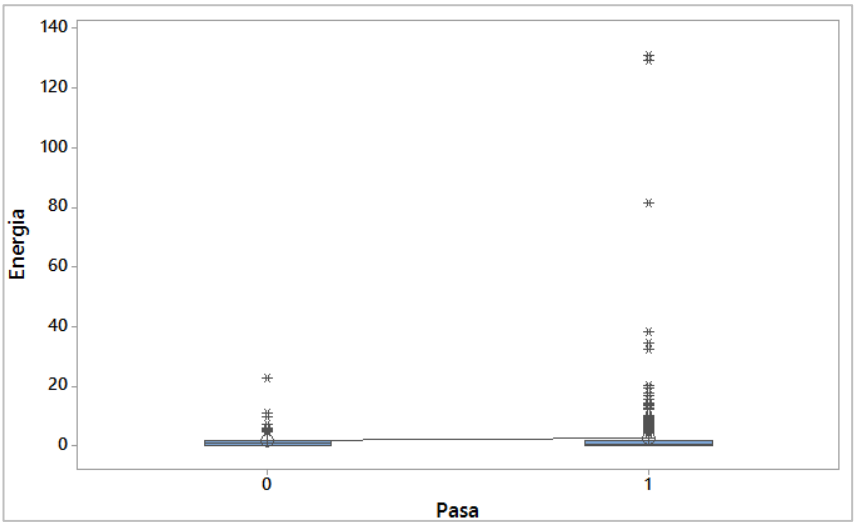


Figura 39. Gráfica de Caja para la Energía a Ralentí

6.1.9 Análisis de la Curtosis a Ralentí

En la gráfica de intervalos para la característica “Curtosis” de la Figura 40, se observa que los intervalos para la condición “Pasa” se encuentran sobrepuesto o incluidos los dos dentro de un mismo rango, al igual sus medias correspondientes no representan una diferencia significativa; por lo que, esta característica no es potencialmente considerable para el análisis a ralentí. La gráfica de Tukey presenta un intervalo que contiene una media cercana a cero, corroborando de esta manera lo descrito anteriormente en el análisis de intervalos.

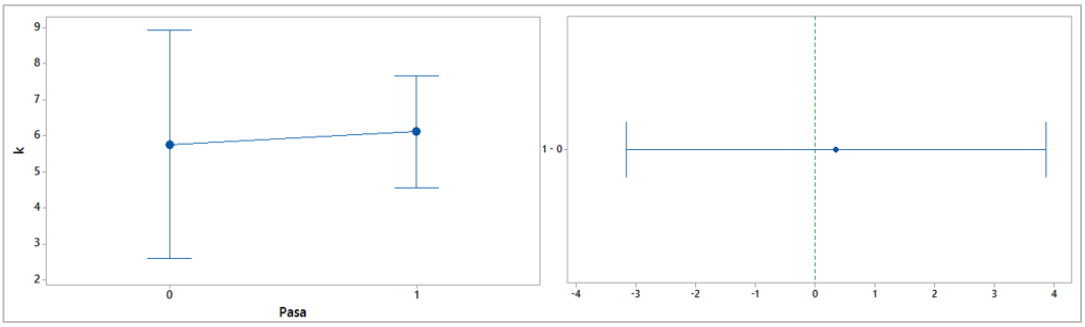


Figura 40. Intervalos y Tukey para la Curtosis a Ralentí

En la gráfica de caja para la característica “Curtosis” de la Figura 41, existe una gran cantidad de valores atípicos que se encuentran fuera de la caja de agrupación de datos, lo que reduce la dimensión de esta y por lo tanto se evidencia que la Curtosis no es una característica que sea concluyente en el análisis.

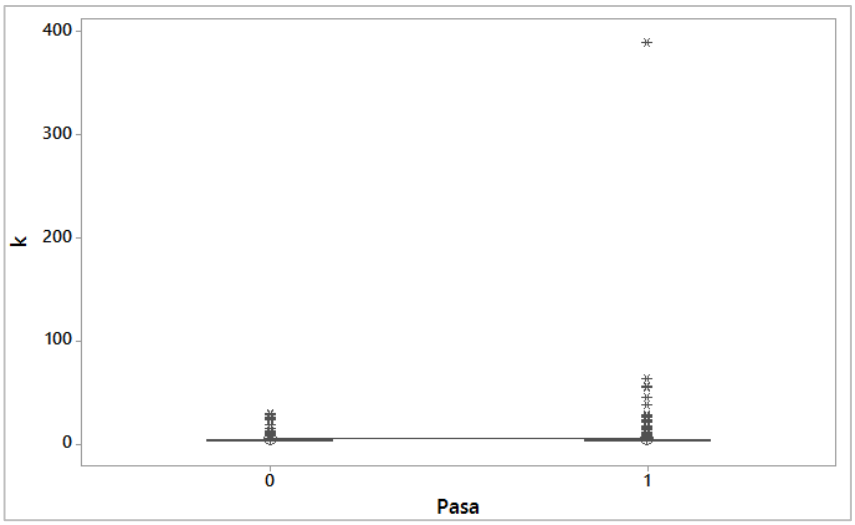


Figura 41. Gráfica de Caja para la Curtosis a Ralentí

6.1.10 Análisis de la Asimetría a Ralentí

En la gráfica de intervalos para la característica “Asimetría” de la Figura 42, se verifica que las medias de los intervalos para la condición “Pasa”, si bien demuestran una variación en sus valores; estos no son lo significativamente distantes entre sí como para considerar a esta característica determinante dentro del análisis. La gráfica de Tukey presenta un comportamiento similar, con un intervalo que contiene valores de cero y por lo tanto las medias correspondientes no son significativamente diferentes.

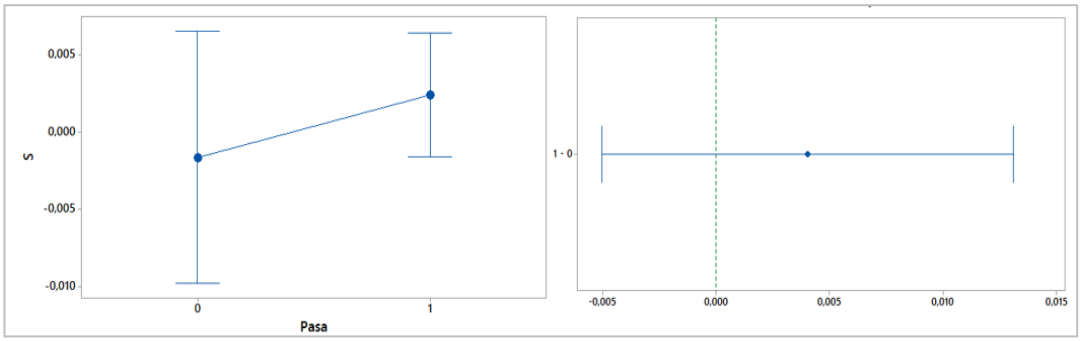


Figura 42. Intervalos y Tukey para la Asimetría a Ralentí

En la gráfica de caja para la característica “Asimetría” de la Figura 43, existen valores atípicos que se encuentran distribuidos por debajo y sobre la caja de agrupación de datos; así mismo las medias para la condición “Pasa”, no presentan una variación considerable demostrando que esta característica no es concluyente dentro del análisis.

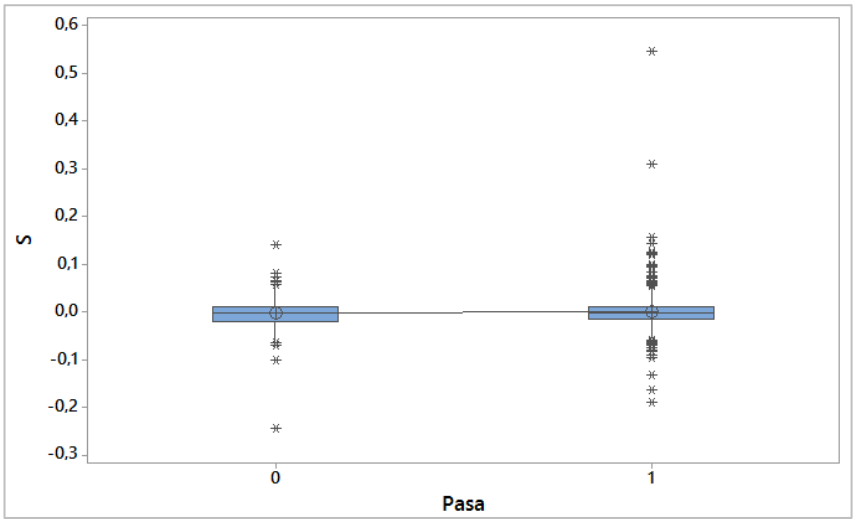


Figura 43. Gráfica de Caja para la Asimetría a Ralentí

6.1.11 Análisis de RMS a Ralentí

En la gráfica de intervalos para la característica “RMS” de la Figura 44, se visualiza que los intervalos de agrupación de datos para la condición Pasa, no presentan variación alguna; sino que estos se encuentran sobrepuestos. Esto hace que se excluya esta característica para el análisis a ralentí. La gráfica de Tukey presenta un comportamiento similar, con un intervalo que contiene valores de cero y por lo tanto las medias correspondientes no son significativamente diferentes.

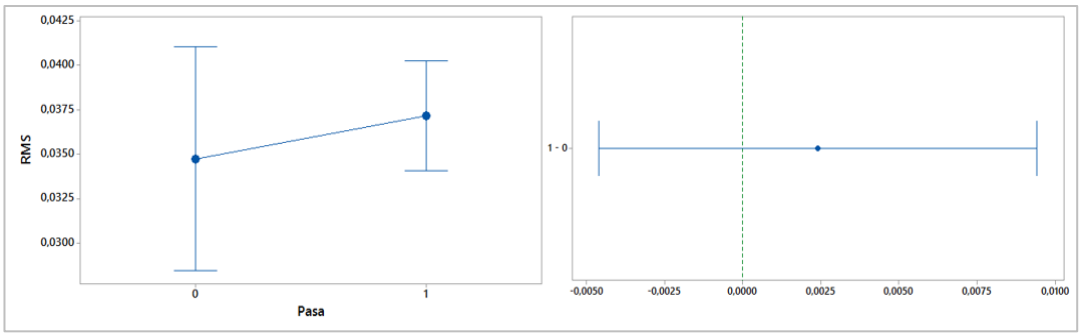


Figura 44. Intervalos y Tukey para RMS a Ralentí

En la gráfica de caja para la característica “RMS” de la Figura 45, si bien existen valores atípicos que se encuentran distribuidos fuera de la caja de agrupación de datos; las medias de estos para la condición “Pasa”, no presentan una variación considerable demostrando que esta característica no es concluyente dentro del análisis.

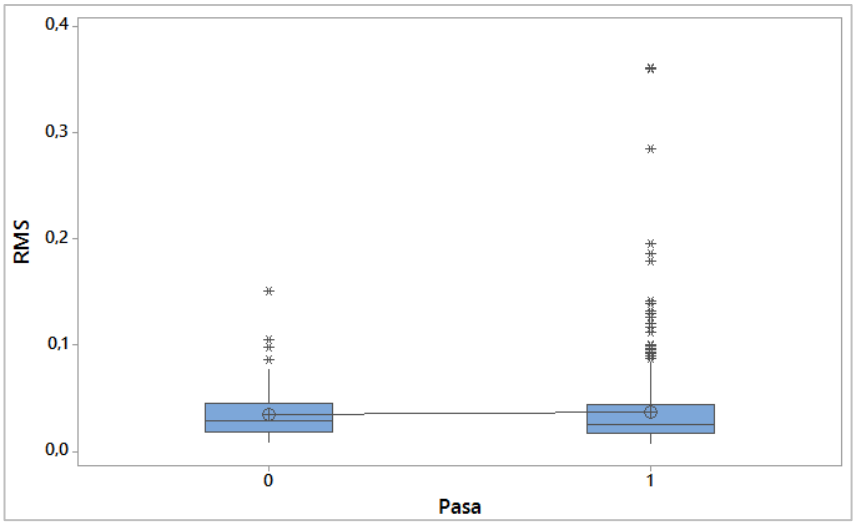


Figura 45. Gráfica de Caja para RMS a Ralentí

6.1.12 Análisis del Factor de Cresta a Ralentí

En la gráfica de intervalos para la característica “Factor de Cresta” de la Figura 46, se verifica de manera similar que las medias de los intervalos para la condición “Pasa”, si bien presentan una diferencia que puede ser significativa; los intervalos en los cuales se encuentran, demuestran una sobre posición entre sí o están dentro del mismo rango de valores; excluyendo de esta manera esta característica del análisis. La gráfica de Tukey presenta un comportamiento similar, con un intervalo que contiene valores de cero y por lo tanto las medias correspondientes no son significativamente diferentes.

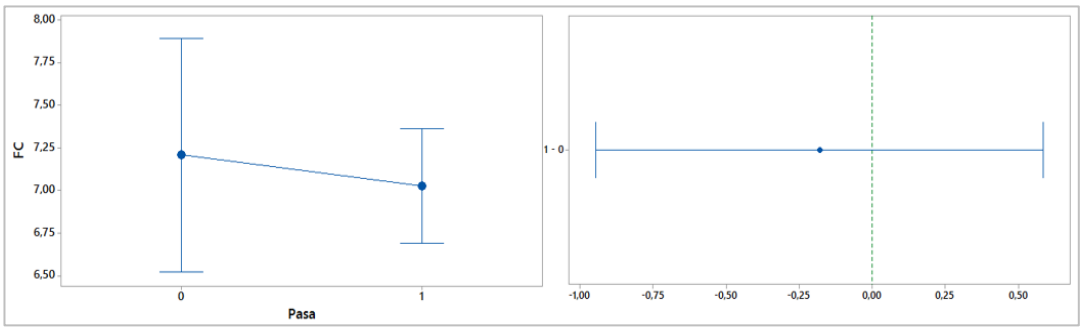


Figura 46. Intervalos y Tukey para el Factor de cresta a Ralentí

La gráfica de caja para la característica “Factor de Cresta” de la Figura 47, se presentan valores atípicos dentro de las mediciones; lo que no permite una agrupación adecuada de los datos y por lo tanto excluyendo esta característica del análisis.

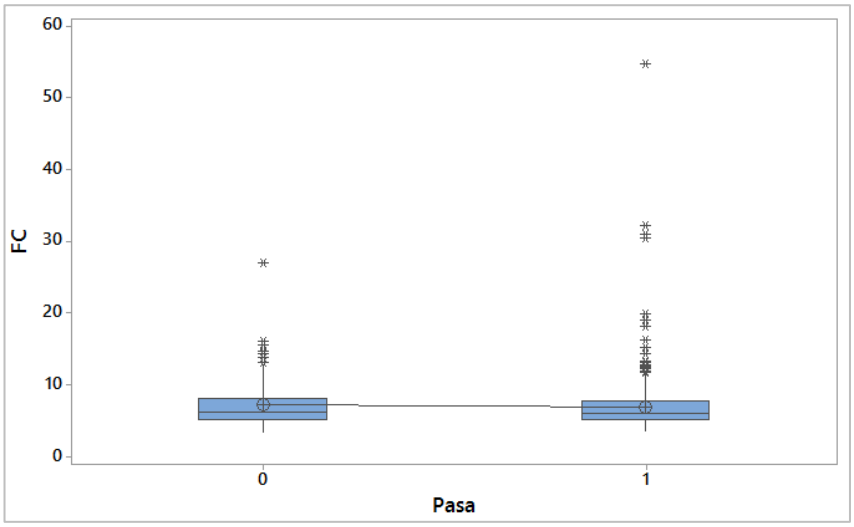


Figura 47. Gráfica de Caja para el Factor de cresta a Ralentí

6.1.13 Análisis de la Media a Ralentí Elevado

En la gráfica de intervalos para la característica “Media” de la Figura 48, se aprecia que existe una inferencia significativa de esta característica a ralentí elevado, para poder determinar si un vehículo pasa o no la RTV de acuerdo a su relación con las emisiones contaminantes; debido a que, sus intervalos para la condición “Pasa” no se encuentran sobrepuestos. La gráfica de Tukey presenta un comportamiento similar, con un intervalo que no contiene valores de cero y por lo tanto las medias correspondientes son significativamente diferentes.

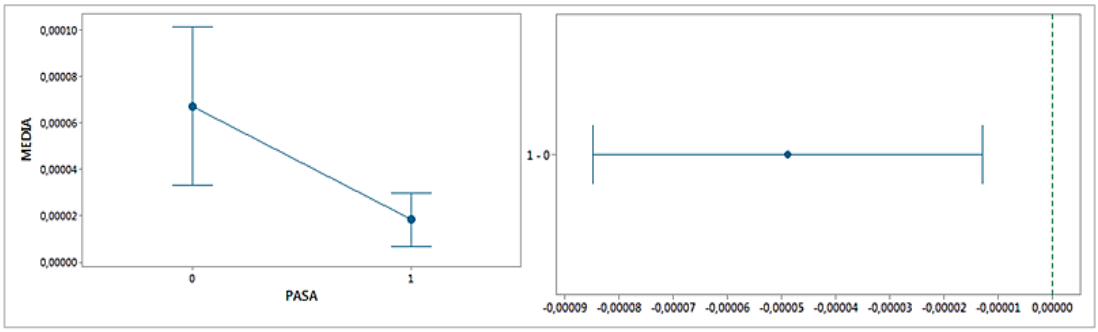


Figura 48. Intervalos y Tukey para la Media a Ralentí Elevado

En la gráfica de caja para la característica “Media” de la Figura 49, se presentan valores atípicos dentro de las mediciones, lo que no permite una agrupación adecuada de los datos; sin embargo, si presenta variabilidad en los resultados.

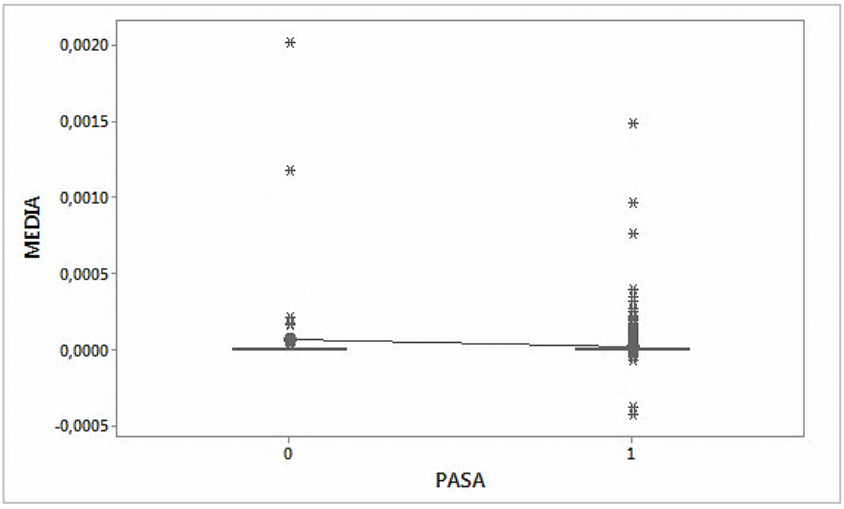


Figura 49. Gráfica de Caja para la Media a Ralentí Elevado

6.1.14 Análisis de la Mediana a Ralentí Elevado

En la gráfica de intervalos para la característica “Mediana” de la Figura 50, a diferencia del comportamiento en el análisis de la “Media”, se aprecia que existe una inferencia mínima de esta característica a ralentí elevado, para poder determinar si un vehículo pasa o no la RTV de acuerdo a su relación con las emisiones contaminantes; esto debido a que sus intervalos se encuentran sobrepuestos y por lo cual sus medias no son significativamente diferentes para la condición Pasa. La gráfica de Tukey presenta un comportamiento similar, con un intervalo que contiene valores de cero, pero su media si presenta una variación con respecto a este parámetro.

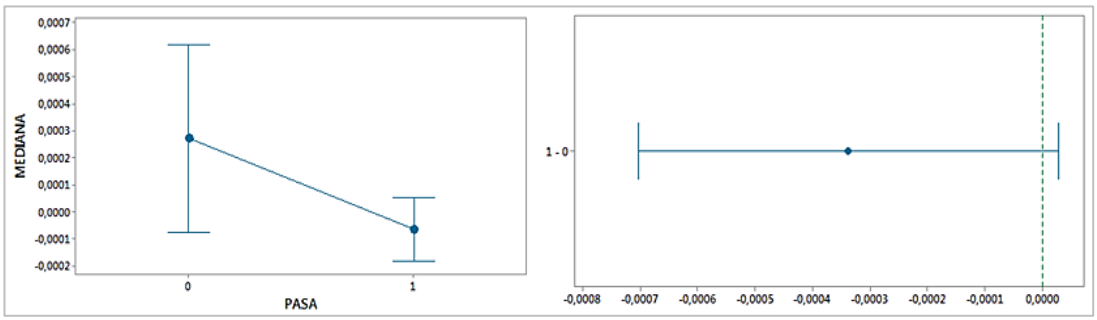


Figura 50. Intervalos y Tukey para la Mediana a Ralentí Elevado

En la gráfica de caja para la característica “Mediana” de la Figura 51, se presentan valores atípicos dentro de las mediciones; sin embargo, a la vez existe una agrupación de datos que se pueden considerar para el análisis a ralentí elevado; si bien sus medias no presentan una diferencia significativa.

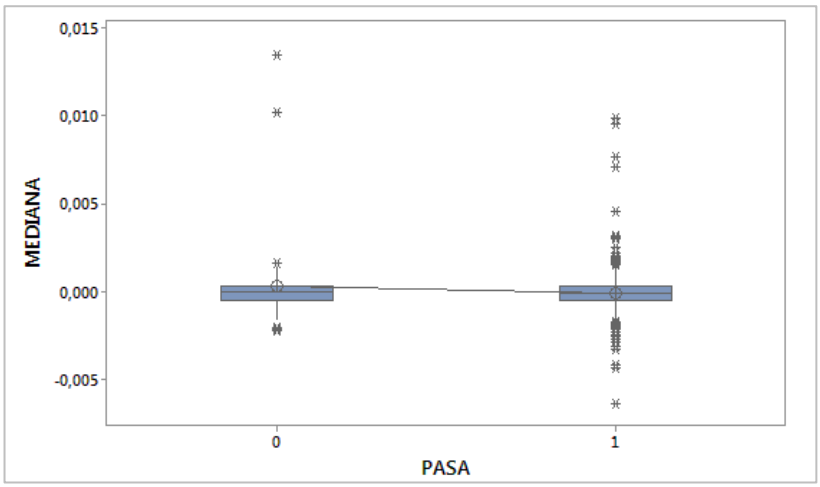


Figura 51. Gráfica de Caja para la Mediana a Ralentí Elevado

6.1.15 Análisis de la Varianza a Ralentí Elevado

En la gráfica de intervalos para la característica "Varianza" de la Figura 52, se verifica que esta característica no presenta una inferencia significativa a ralentí elevado, para poder determinar si un vehículo pasa o no la RTV de acuerdo a su relación con las emisiones contaminantes. La gráfica de Tukey presenta un comportamiento similar, con un intervalo que contiene valores de cero, por lo tanto, las medias correspondientes no son significativamente diferentes.

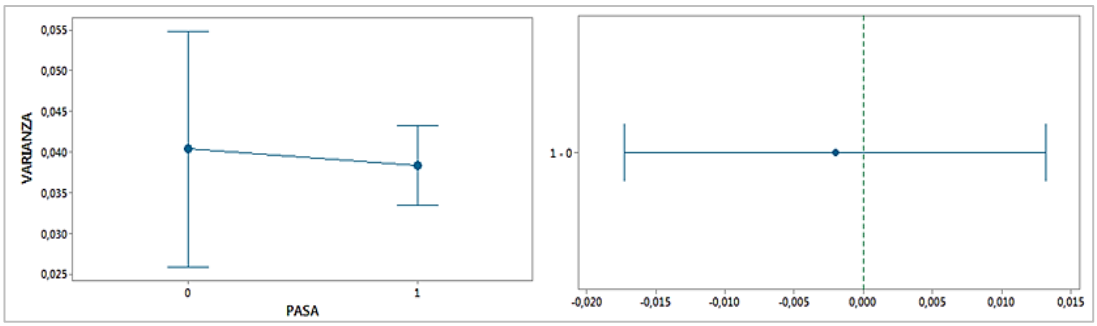


Figura 52. Intervalos y Tukey para la Varianza a Ralentí Elevado

En la gráfica de caja para la característica "Varianza" de la Figura 53, se presentan valores atípicos dentro de las mediciones; sin embargo, si demuestra una agrupación de datos que se pueden considerar para el análisis a ralentí elevado; de tal manera que sus medias presentan una diferencia mínima significativa.

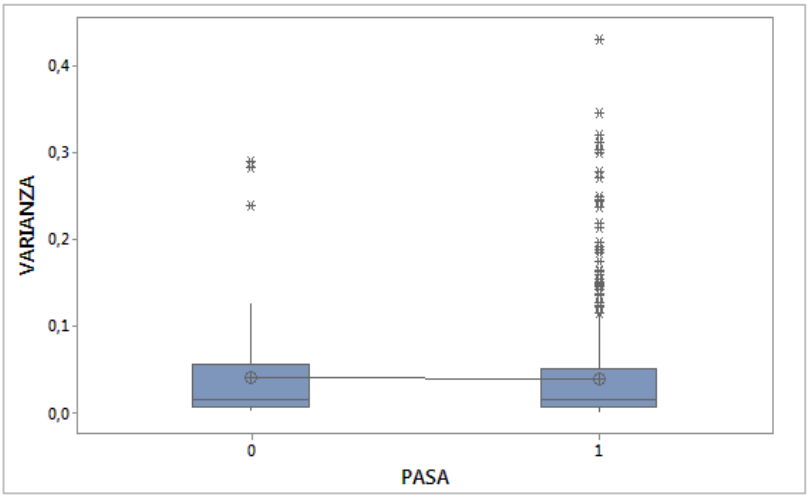


Figura 53. Gráfica de Caja para la Varianza a Ralentí Elevado

6.1.16 Análisis de la Desviación Estándar a Ralentí Elevado

En la gráfica de intervalos para la característica "Desviación Estándar" de la Figura 54, se aprecia que no existe una inferencia significativa de esta característica a ralentí elevado, para poder determinar si un vehículo pasa o no la RTV de acuerdo a su relación con las emisiones contaminantes; debido a que, sus intervalos para la condición "Pasa" se encuentran sobre posicionados. La gráfica de Tukey de igual manera presenta un comportamiento similar, con un intervalo que contiene valores de cero y por lo tanto las medias correspondientes no son significativamente diferentes.

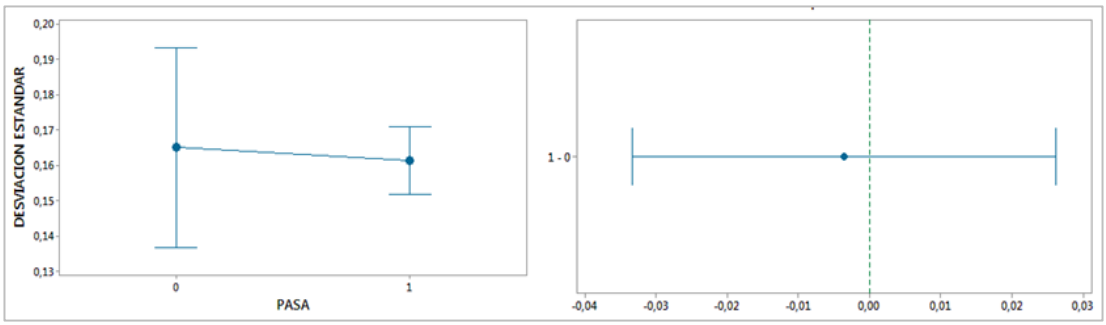


Figura 54. Intervalos y Tukey para la Desviación Estándar a Ralentí Elevado

En la gráfica de caja para la característica "Desviación Estándar" de la Figura 55, se presentan valores atípicos dentro de las mediciones; sin embargo, existe una agrupación de datos que se puede considerar para el análisis; a pesar de que sus medias presentan una diferencia significativa.

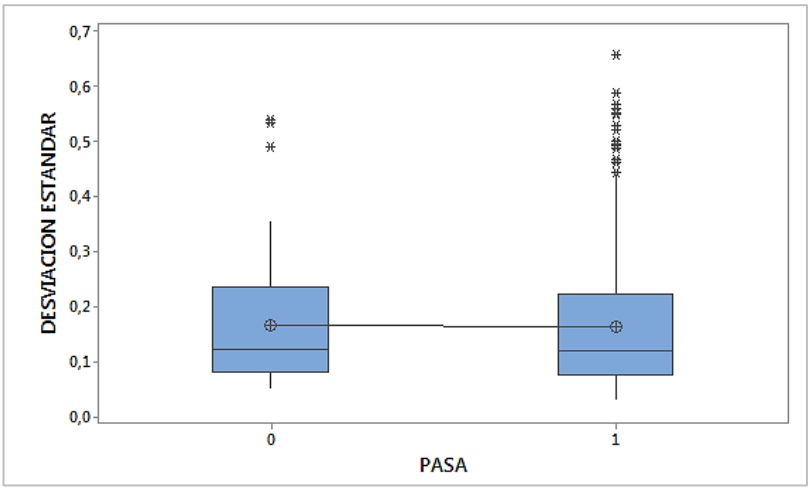


Figura 55. Gráfica de Caja para la Desviación Estándar a Ralentí Elevado

6.1.17 Análisis del Máximo a Ralentí Elevado

En la gráfica de intervalos para la característica “Máximo” de la Figura 56, se aprecia que no existe una inferencia significativa de esta característica a ralentí elevado, para poder determinar si un vehículo pasa o no la RTV de acuerdo a su relación con las emisiones contaminantes. La gráfica de Tukey presenta un comportamiento similar, con un intervalo que contiene valores de cero, por lo tanto, las medias correspondientes no son significativamente diferentes.

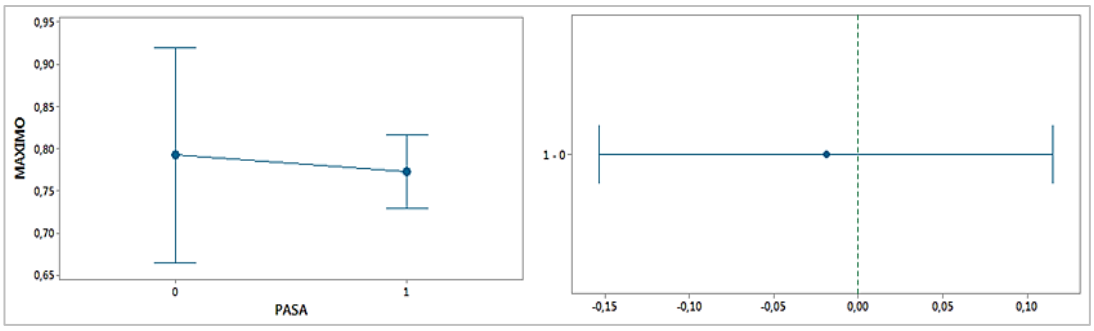


Figura 56. Intervalos y Tukey para el Máximo a Ralentí Elevado

En la gráfica de caja para la característica “Máximo” de la Figura 57, se presentan valores atípicos en menor proporción dentro de las mediciones; sin embargo, se puede visualizar que si existe agrupación de datos; a pesar, de que no se visualiza una diferencia significativa de las medias para la condición “Pasa”.

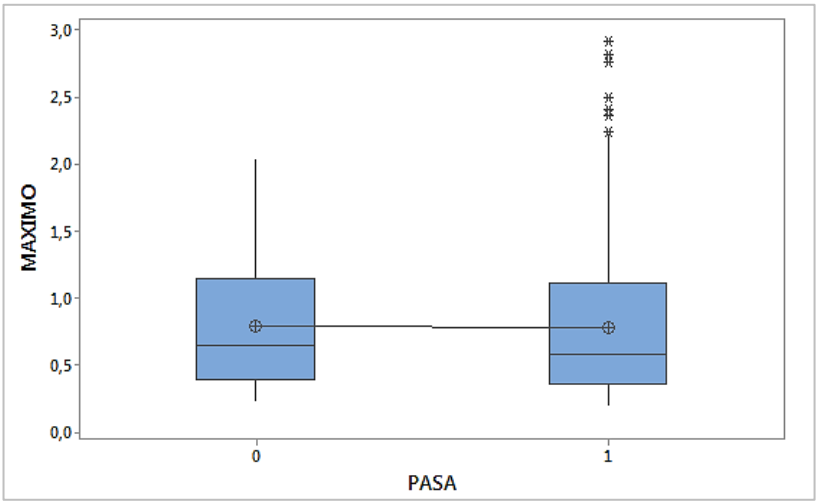


Figura 57. Gráfica de Caja para el Máximo a Ralentí Elevado

6.1.18 Análisis del Mínimo a Ralentí Elevado

En la gráfica de intervalos para la característica “Mínimo” de la Figura 58, se aprecia que si bien los intervalos para la condición “Pasa” se encuentran sobrepuestos, la media de cada uno de ellos presenta una diferencia insignificante de esta característica a ralentí elevado; para poder determinar si un vehículo pasa o no la RTV de acuerdo a su relación con las emisiones contaminantes. La gráfica de Tukey presenta un comportamiento similar, con un intervalo que contiene valores de cero y por lo tanto las medias correspondientes no son significativamente diferentes.

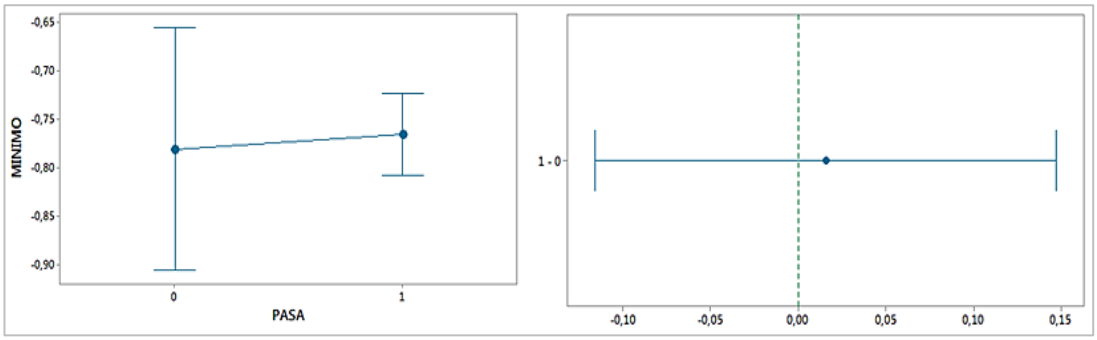


Figura 58. Intervalos y Tukey para el Mínimo a Ralentí Elevado

En la gráfica de caja para la característica “Mínimo” de la Figura 59, se presentan valores atípicos dentro de las mediciones en un menor resultado; por lo que, la agrupación de datos es pequeña al igual que la diferencia entre sus medias correspondientes.

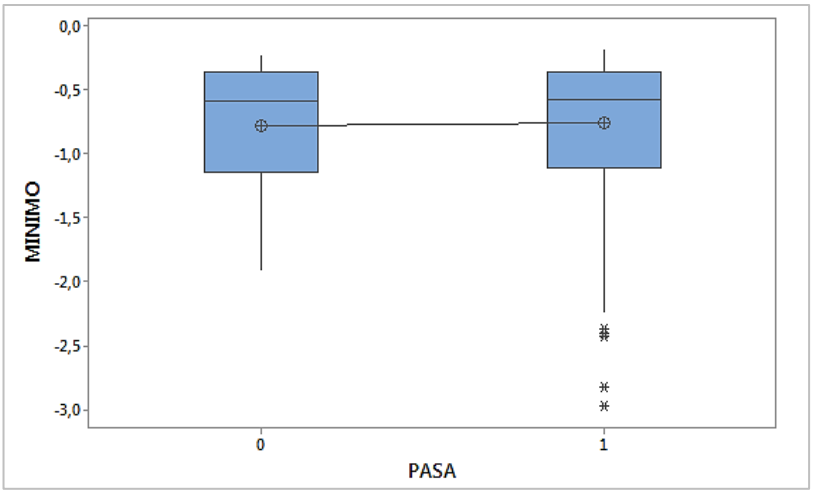


Figura 59. Gráfica de Caja para el Mínimo a Ralentí Elevado

6.1.19 Análisis de la Potencia a Ralentí Elevado

En la gráfica de intervalos para la característica “Potencia” de la Figura 60, se observa que los intervalos no tienen una inferencia significativa de esta característica a ralentí elevado, para poder determinar si un vehículo pasa o no la RTV de acuerdo a su relación con las emisiones contaminantes. La gráfica de Tukey presenta un intervalo que contiene valores de cero y por lo tanto las medias correspondientes no son significativamente diferentes.

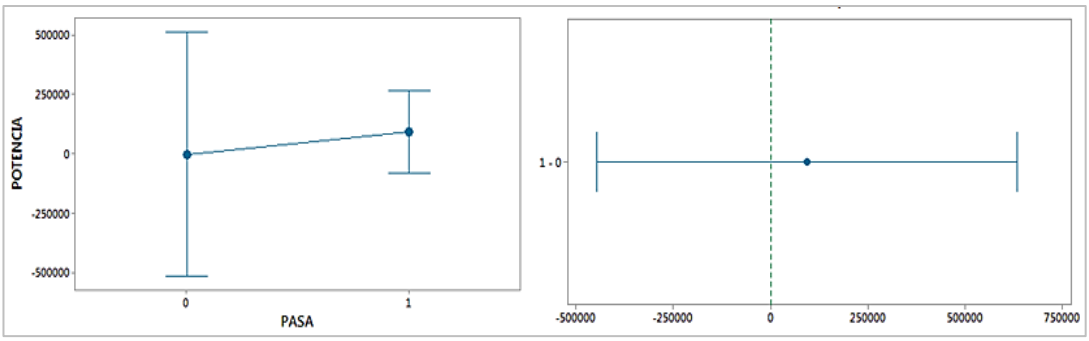


Figura 60. Intervalos y Tukey para la Potencia a Ralentí Elevado

En la gráfica de caja para la característica “Potencia” de la Figura 61, se presentan una cierta cantidad de valores atípicos dentro de las mediciones, lo que no permite una agrupación adecuada, de tal manera las medidas correspondientes no tienen mayor significancia.

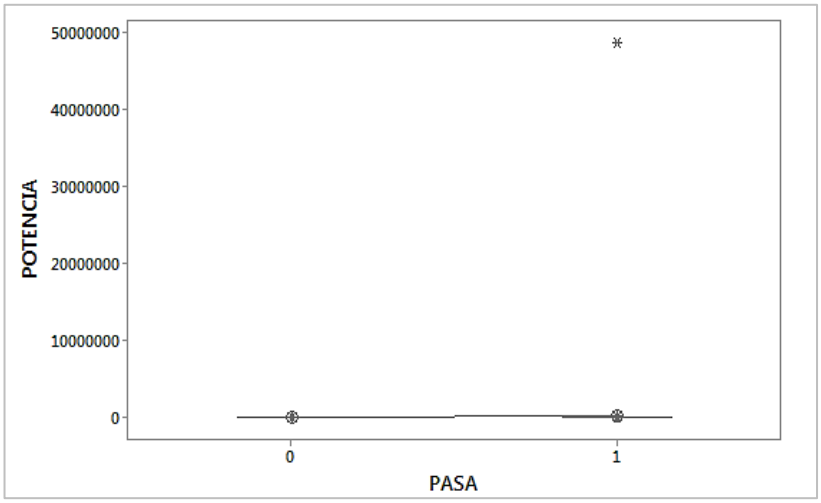


Figura 61. Gráfica de Caja para la Potencia a Ralentí Elevado

6.1.20 Análisis de la Energía a Ralentí Elevado

En la gráfica de intervalos para la característica "Energía" de la Figura 62, se aprecia que no existe una inferencia amplia de esta característica a ralentí elevado, para poder determinar si un vehículo pasa o no la RTV de acuerdo a su relación con las emisiones contaminantes; esto debido a que, sus intervalos se encuentran sobrepuestos y por lo cual sus medias no son semejantes para la condición Pasa. La gráfica de Tukey presenta un intervalo que contiene valores de cero y por lo tanto las medias correspondientes no comprenden diferencias significantes.

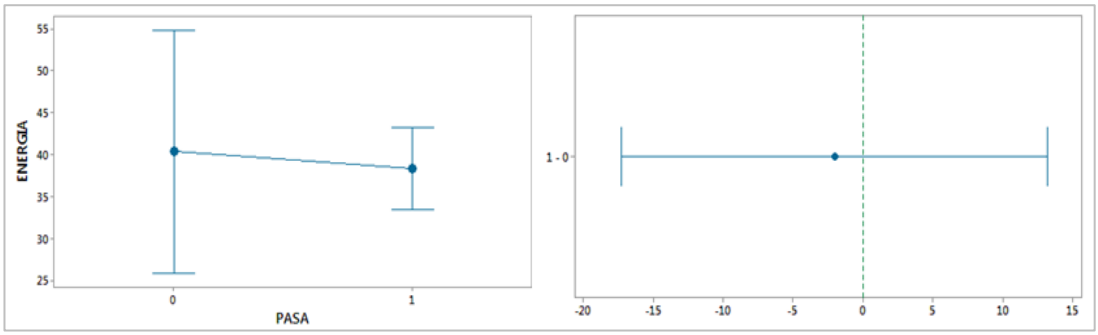


Figura 62. Intervalos y Tukey para la Energía a Ralentí Elevado

En la gráfica de caja para la característica "Energía" de la Figura 63, se presentan valores atípicos en mayor proporción dentro de las mediciones; sin embargo, se puede visualizar que si existe agrupación de datos; a pesar de una diferencia significativa de las medias de la condición "Pasa".

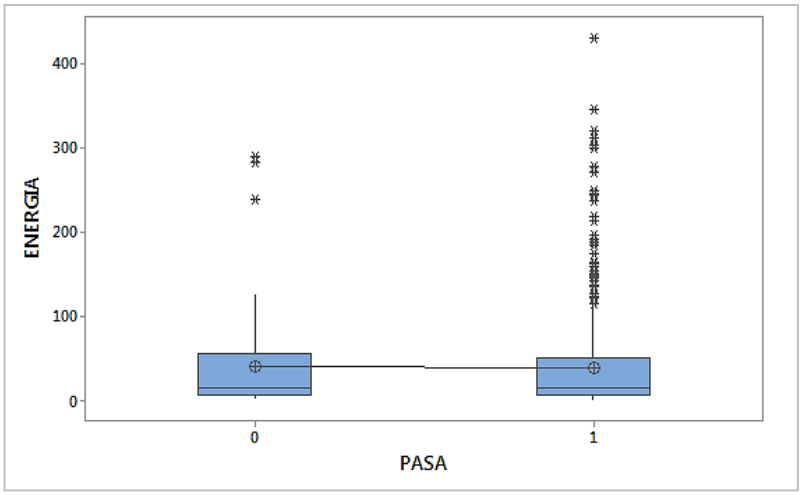


Figura 63. Gráfica de Caja para la Energía a Ralentí Elevado

6.1.21 Análisis de la Curtosis a Ralentí Elevado

En la gráfica de intervalos para la característica “Curtosis” de la Figura 64, se aprecia que no existe una inferencia amplia de esta característica a ralentí elevado, para poder determinar si un vehículo pasa o no la RTV de acuerdo a su relación con las emisiones contaminantes. La gráfica de Tukey presenta un comportamiento similar, con un intervalo que contiene valores de cero, por lo tanto, las medias correspondientes no son significativamente diferentes.

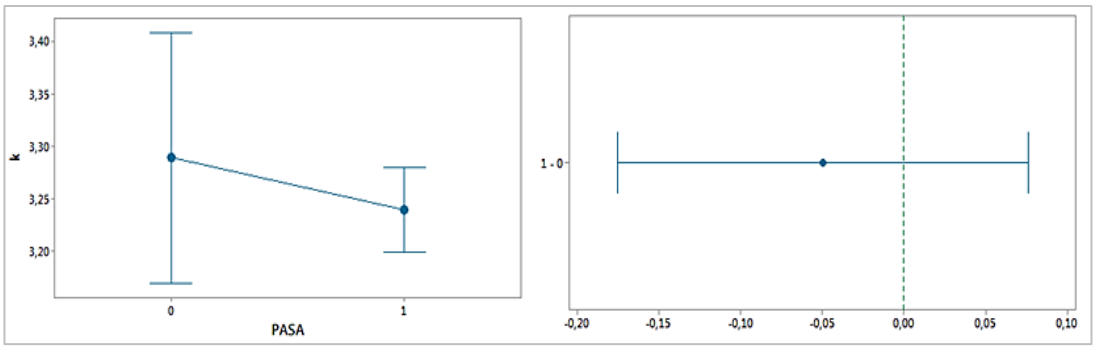


Figura 64. Intervalos y Tukey para la Curtosis a Ralentí Elevado

En la gráfica de caja para la característica “Curtosis” de la Figura 65, se presentan valores atípicos dentro de las mediciones; sin embargo, se puede visualizar que si existe agrupación de datos; a pesar de una diferencia significativa de las medias de la condición “Pasa”.

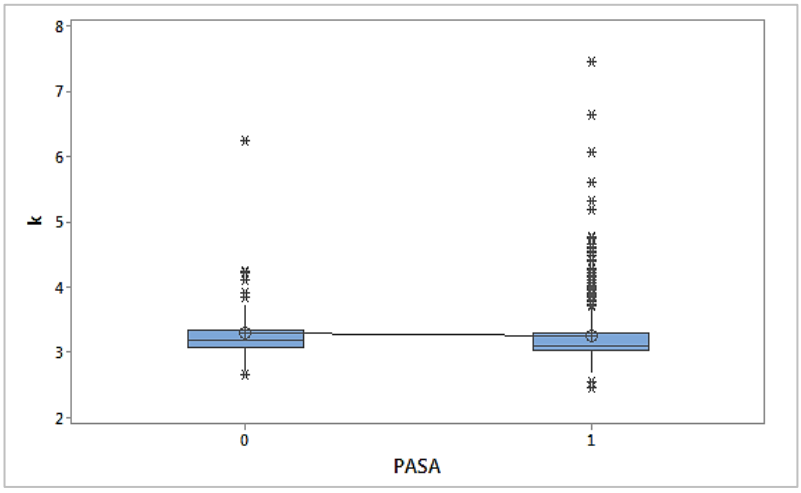


Figura 65. Gráfica de Caja para la Curtosis a Ralentí Elevado

6.1.22 Análisis de la Asimetría a Ralentí Elevado

En la gráfica de intervalos para la característica “Asimetría” de la Figura 66, se aprecia que no existe una inferencia significativa de esta característica a ralentí elevado para poder determinar si un vehículo pasa o no la RTV de acuerdo a su relación con las emisiones con; ya que, sus intervalos para la condición “Pasa” están sobre posicionados. La gráfica de Tukey presenta un comportamiento similar, con un intervalo que contiene valores de cero y por lo tanto las medias correspondientes no son significativamente diferentes.

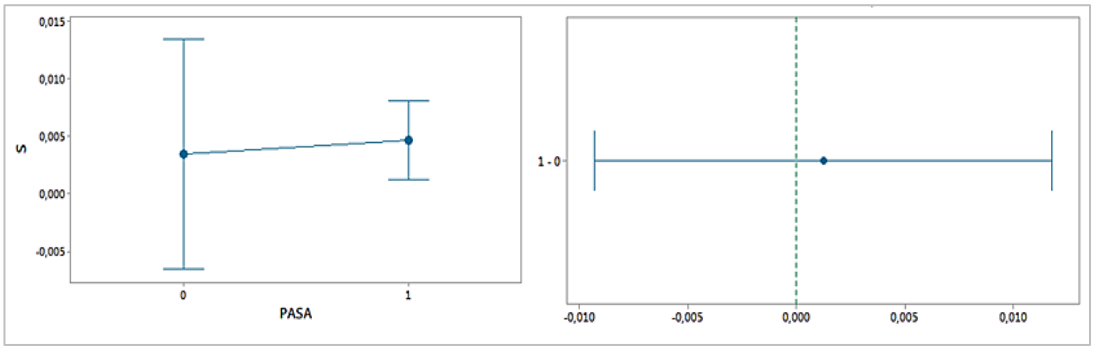


Figura 66. Intervalos y Tukey para la Asimetría a Ralentí Elevado

En la gráfica de caja para la característica “Asimetría” de la Figura 67, se presentan valores atípicos positivos y negativos dentro de las mediciones; pero a la vez, se observa una agrupación de los datos en esta característica del análisis a ralentí elevado.

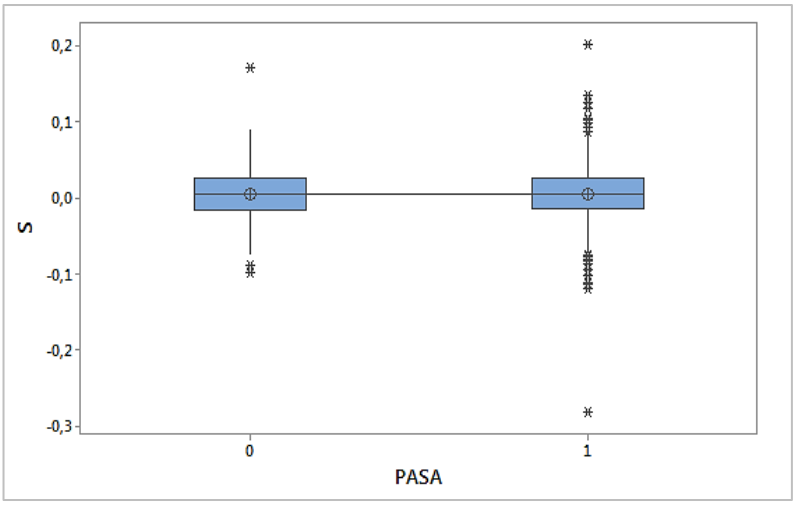


Figura 67. Gráfica de Caja para la Asimetría a Ralentí Elevado

6.1.23 Análisis de RMS a Ralentí Elevado

En la gráfica de intervalos para la característica “RMS” de la Figura 68, se presenta que no existe una inferencia significativa de esta característica a ralentí elevado, para poder determinar si un vehículo pasa o no la RTV de acuerdo a su relación con las emisiones contaminantes. La gráfica de Tukey presenta un comportamiento similar, con un intervalo que contiene valores de cero, de tal manera las medias correspondientes no son significativamente diferentes.

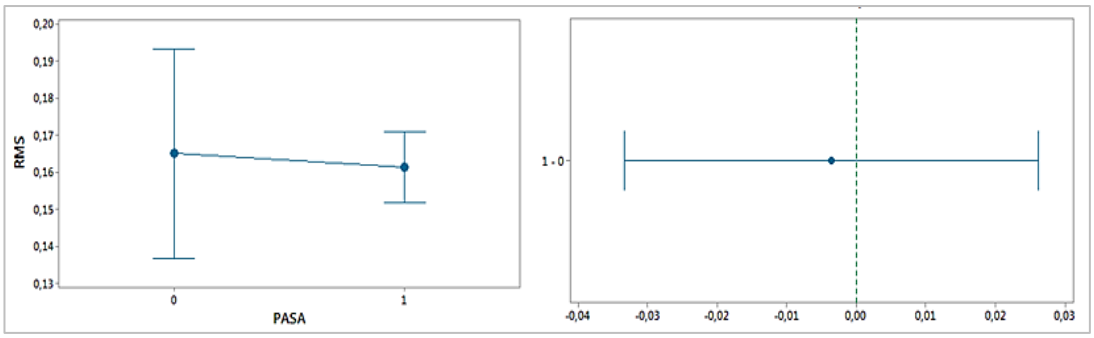


Figura 68. Intervalos y Tukey para RMS a Ralentí Elevado

En la gráfica de caja para la característica “RMS” de la Figura 69, se visualizan valores atípicos dentro de las mediciones; sin embargo, se puede visualizar que, si existe una mayor agrupación de datos, a pesar de una diferencia significativa para el análisis a ralentí elevado.

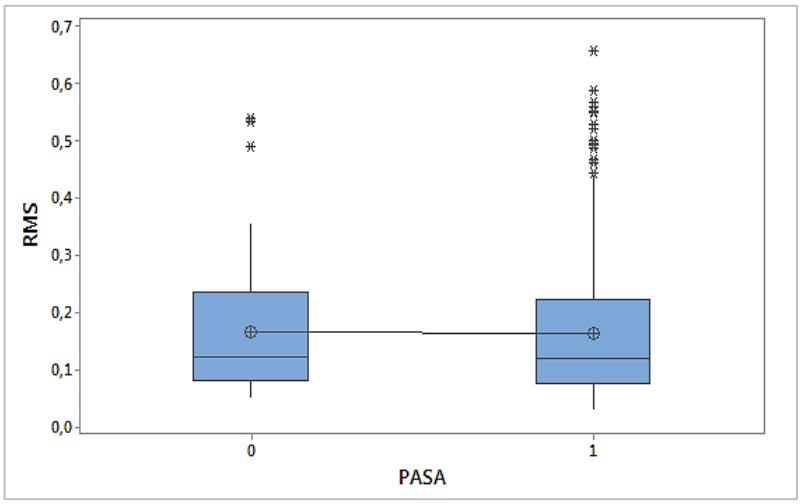


Figura 69. Gráfica de Caja para RMS a Ralentí Elevado

6.1.24 Análisis del Factor de Cresta a Ralentí Elevado

En la gráfica de intervalos para la característica “Factor de Cresta” de la Figura 70, se aprecia que existe una inferencia mínima de esta característica a ralentí elevado, para poder determinar si un vehículo pasa o no la RTV de acuerdo a su relación con las emisiones contaminantes; esto debido a que sus intervalos se encuentran sobrepuestos y por lo cual sus medias son similares para la condición Pasa. La gráfica de Tukey presenta un comportamiento de un intervalo que contiene valores de cero, pero su media si presenta una mínima variación con respecto este parámetro.

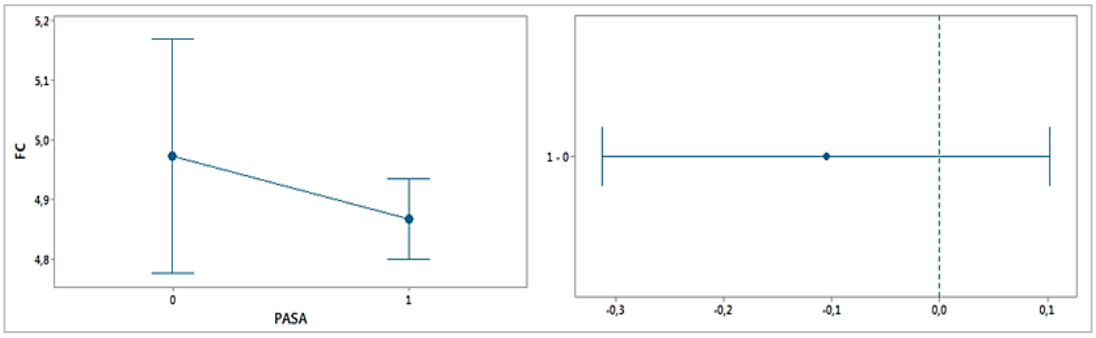


Figura 70. Intervalos y Tukey para el Factor de cresta a Ralentí Elevado

En la gráfica de caja para la característica “Factor de cresta” de la Figura 71, se presentan valores atípicos dentro de las mediciones; sin embargo, si demuestra una agrupación de datos que se pueden considerar para el análisis a ralentí elevado; por lo que sus medias presentan una diferencia mínima significativa.

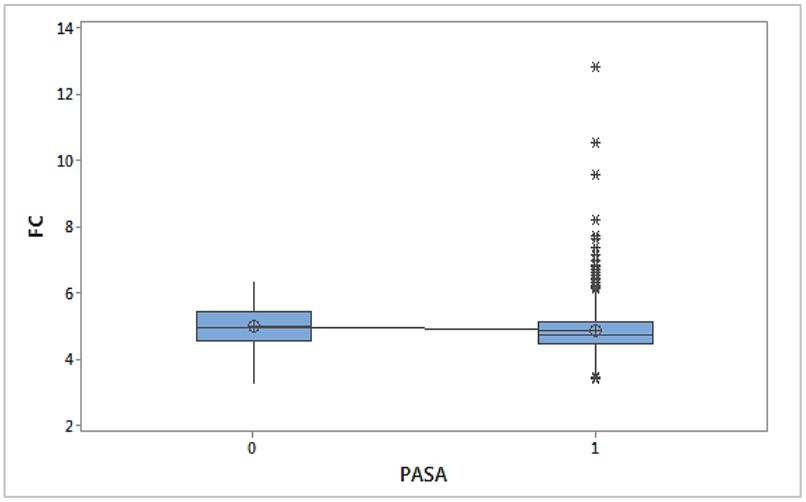


Figura 71. Gráfica de Caja para el Factor de cresta a Ralentí Elevado

6.1.25 Resumen de la Varianza Anova

Utilizando el valor “P value” para determinar si los resultados son estadísticamente significativos. Los valores P suelen utilizarse en las pruebas de hipótesis, donde se rechaza o no una hipótesis nula. [16]

Un valor P oscila entre 0 y 1. Para un nivel de significancia, suele utilizarse un valor de 0.05, entonces, si el valor P es menor que o igual a 0.05, el valor tiende a ser no significativo [16].

Tabla 5. Valor “P value” de Varianza Anova

Valor “P value” de las características principales		
Características	Ralentí	Ralentí Elevado
Media	0,471	0,008
Mediana	0,275	0,070
Varianza	0,295	0,792
Desviación estándar	0,501	0,810
Máximo	0,813	0,778
Mínimo	0,685	0,818
Potencia	0,295	0,735
Energía	0,295	0,792
Curtosis	0,845	0,440
Asimetría	0,381	0,821
RMS	0,501	0,810
Factor de cresta	0,644	0,319

De acuerdo al análisis del resumen de Varianza Anova mediante el valor “P value” de la Tabla 5, el único parámetro que no cumple con el nivel de significancia que permita determinar si la hipótesis de que los resultados, presentan una diferencia que sea considerable; es la media a un régimen de funcionamiento a ralentí elevado, debido a que, su valor es menor a 0,05.

6.2 Análisis de componentes Principales (ACP)

El análisis de componentes principales es un proceso en el cual se busca reducir el conjunto de variables correlacionadas entre sí, de manera que se pueda encontrar nuevas variables no correlacionadas con la finalidad de obtener una mejor interpretación de los resultados.

Estas nuevas variables son conocidas como componentes principales, siendo la primera componente la que contiene la mayor variabilidad del grupo de datos. [19]

El análisis de componentes principales no requiere la suposición de normalidad multivariante de los datos, pero si esto se llegara a cumplir puede darse una interpretación más profunda de los componentes encontrados. [20]

Se aplica el procedimiento de ACP a las características espectrales descritas en la Tabla 6, para los diferentes regímenes de funcionamiento a ralentí y ralentí elevado; a través de un software estadístico.

Tabla 6. Componentes a analizar por ACP

Régimen de giro	Características
Ralentí Ralentí elevado	✓ Media ✓ Mediana ✓ Varianza ✓ Desviación estándar ✓ Máximo ✓ Mínimo ✓ Potencia ✓ Energía ✓ Curtosis ✓ Asimetría ✓ RMS ✓ Factor de cresta

6.2.1 ACP para un régimen de giro a ralentí

Los valores y vectores propios de la matriz de correlación para el ACP a ralentí, se presentan en la Tabla 7.

Tabla 7. Valores y vectores de la matriz de ACP a ralentí

Parámetro	CP 1	CP 2	CP 3	CP 4	CP 5	CP 6	CP 7	CP 8	CP 9	CP10
Valor Propio	6,9024	2,4897	1,0435	0,7972	0,35	0,2361	0,1318	0,0395	0,0098	0
Proporción	0,575	0,207	0,087	0,066	0,029	0,02	0,011	0,003	0,001	0
Acumulada	0,575	0,783	0,87	0,936	0,965	0,985	0,996	0,999	1	1

Los valores y vectores de la matriz de ACP, además del resultado de la gráfica de sedimentación (Figura 72), sirven para determinar el número de componentes a utilizar, para así abarcar la mayor cantidad de información del evento. [21]

Aplicando el criterio de Káiser se indica que hay que conservar los componentes principales cuyos valores propios son mayores que uno, siendo estos los que abarcan la mayor cantidad de información posible. [22]

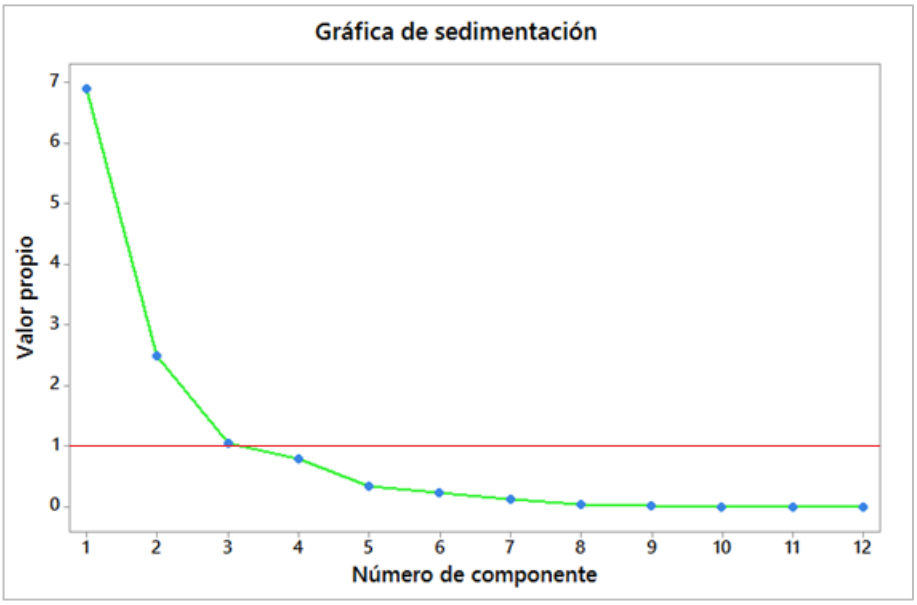


Figura 72. Gráfica de sedimentación a ralentí

De acuerdo a la tabla de valores y vectores propios de la matriz de correlación para ralentí (Tabla 7) y aplicando el criterio de Káiser, los componentes utilizados para el análisis son los tres primeros que abarcan el 87% del total de la información,

distribuidos en un 57,5% para el componente 1, el 20,7% para el componente 2 y el 8,7% para el componente 3. La gráfica de sedimentación de la Figura 72 corrobora este criterio, debido a que los componentes seleccionados; se encuentran sobre la línea de puntuación de la unidad marcada con color rojo.

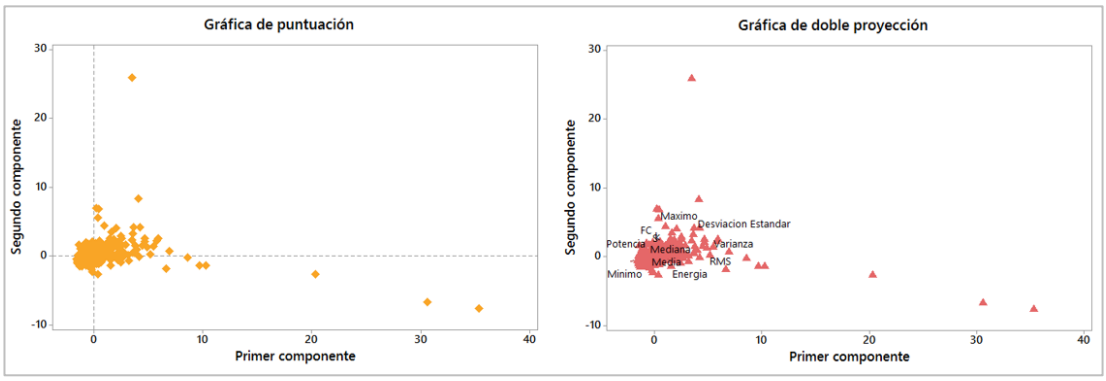


Figura 73. Gráficas de puntuación y doble proyección de ACP a ralentí

Las gráficas de puntuación y de doble proyección de ACP a ralentí de la Figura 73, permiten observar que no existe demasiada variabilidad de los datos obtenidos en el primer y segundo componente; sin embargo, si presentan valores altos cada uno de estos componentes y por lo tanto se encuentran influenciados por estos factores.

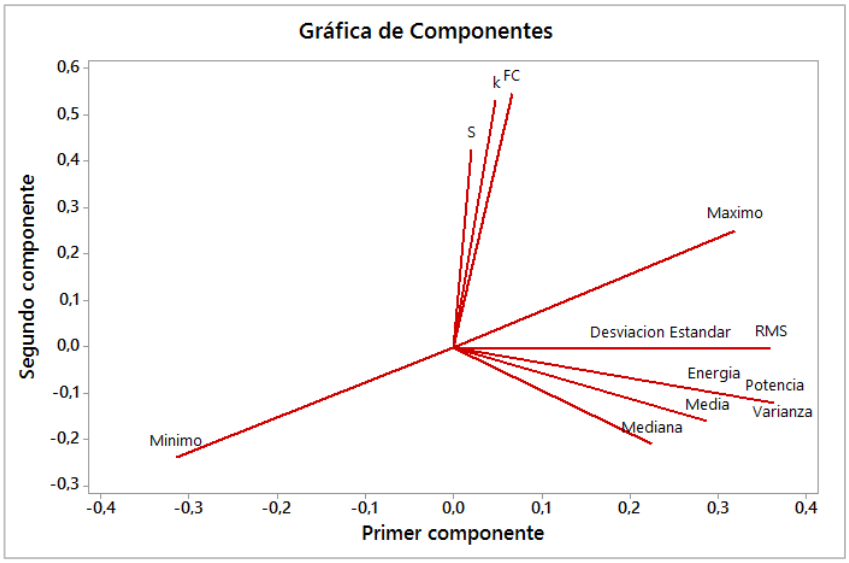


Figura 74. Gráfica de distribución del primer y segundo componente a ralentí

La gráfica de distribución del primer y segundo componente (Figura 74), permite visualizar de mejor manera, las características por las cuales se encuentran influenciados en mayor o menor medida los dos primeros componentes. Mientras

que el primer componente tiene mayor influencia por las características Máximo, Desviación Estándar, RMS, Energía, Potencia, Varianza, Media y Mediana; el segundo componente presenta mayor influencia por la Curtosis, Asimetría y Factor de cresta.

6.2.2 ACP para un régimen de giro a ralentí elevado

Los valores y vectores propios de la matriz de correlación para el ACP a ralentí elevado, se presentan en la Tabla 8.

Tabla 8. Valores y vectores de la matriz de ACP a ralentí elevado

Parámetro	CP 1	CP 2	CP 3	CP 4	CP 5	CP 6	CP 7	CP 8	CP 9	CP10
Valor Propio	5,9519	1,9008	1,5221	1,0015	0,8868	0,3623	0,191	0,1595	0,0166	0,0075
Proporción	0,496	0,158	0,127	0,083	0,074	0,030	0,016	0,013	0,001	0,001
Acumulada	0,496	0,654	0,781	0,865	0,939	0,969	0,985	0,998	0,999	1

De igual manera que el análisis de ACP a ralentí y mediante el criterio de Káiser, para el análisis de ACP a ralentí elevado, se seleccionan los cuatro primeros componentes que son los que presentan valores superiores a la unidad. Entre estos componentes seleccionados se abarca un 86,5% del total de la información disponible a este régimen, distribuyéndolo en un 49,6% en el componente 1, el 15,8% en el componente 2, el 12,7% en el componente 3 y el 8,3% en el componente 4.

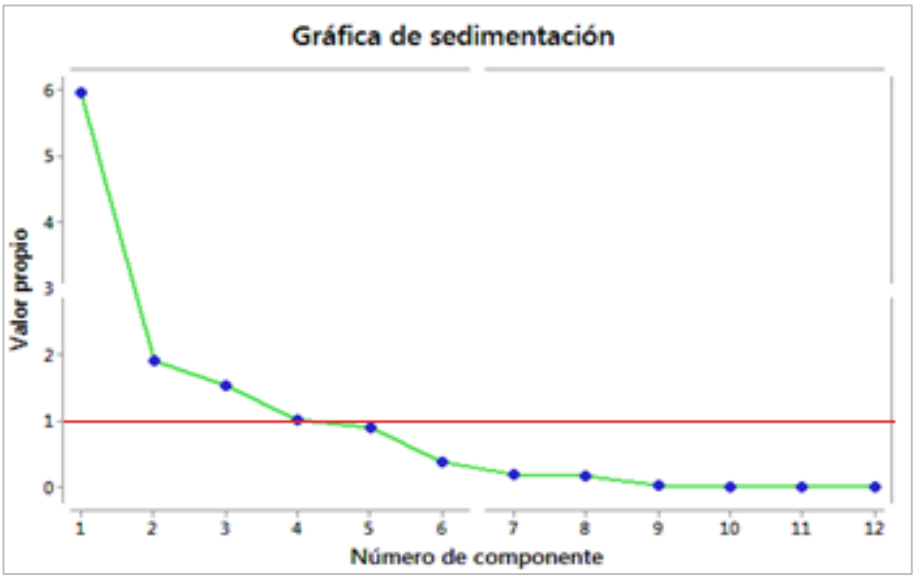


Figura 75. Gráfica de sedimentación a ralentí elevado

En la gráfica de sedimentación a ralentí elevado de la Figura 75, se observa que los cuatro primeros componentes se encuentran sobre la línea de puntuación de la unidad marcada con color rojo; corroborando así el método de selección de los cuatro primeros componentes de la Tabla 8.

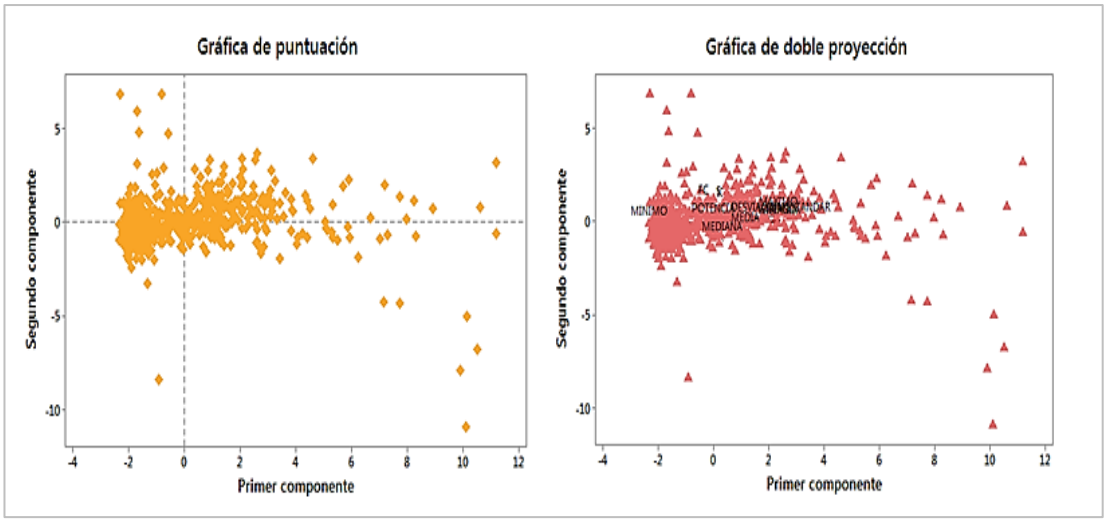


Figura 76. Gráficas de puntuación y doble proyección de ACP a ralentí elevado

Las gráficas de puntuación y de doble proyección de ACP a ralentí elevado de la Figura 76, permiten observar qué si existe variabilidad de los datos obtenidos en el primer y segundo componente al régimen establecido; por lo que, su utilización posibilita obtener mejores resultados.

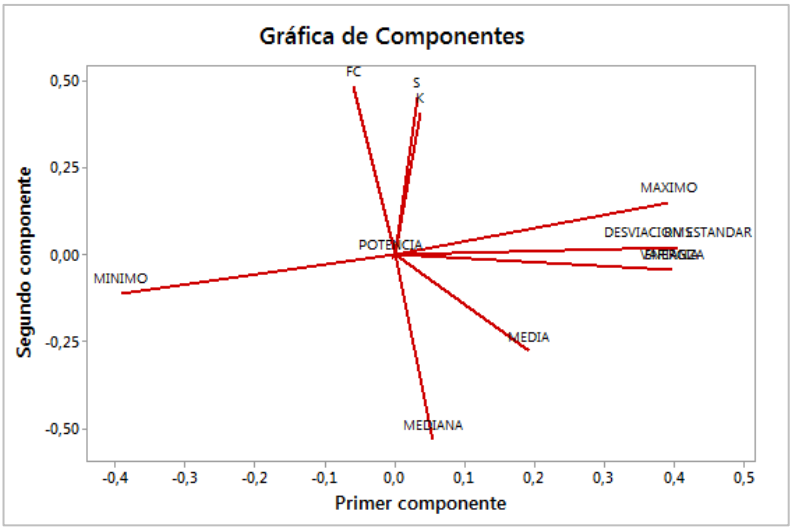


Figura 77. Gráfica de distribución del primer y segundo componente a ralentí elevado

La gráfica de distribución del primer y segundo componente (Figura 77), indica las características por las cuáles se encuentran mayormente influenciados estos componentes. Las características significativas para el primer componente son la Desviación Estándar, el Máximo, la Varianza, la Energía y el RMS; mientras que para el segundo componente lo son la Mediana, la Curtosis, la Asimetría, el Factor de cresta y en menor medida la Media.

6.3 Análisis Discriminante Lineal

Una vez obtenidas las Componentes Principales, las cuales permiten obtener una mejor lectura en la interpretación de los resultados; se procede a realizar un Análisis discriminantes a las características de las muestras, con la finalidad de obtener un análisis de regresión donde la variable dependiente es categórica y tiene como categorías la etiqueta de cada uno de los grupos, siendo las variables continuas y determinando a que grupos pertenecen las muestras. [23]

6.3.1 Análisis Discriminante Lineal a Ralentí

Después de adquiridos los coeficientes de los componentes principales a utilizar (Tabla 9) determinados anteriormente a este régimen de funcionamiento, se procede a obtener los valores de los tres componentes para cada una de las muestras.

Tabla 9. Coeficientes de componentes principales a ralentí

Variable	PC1	PC2	PC3
Media	0,289	-0,161	-0,44
Varianza	0,364	-0,12	-0,148
Desviación Estándar	0,361	-0,003	0,248
Mediana	0,225	-0,21	-0,362
Máximo	0,32	0,251	0,32
Mínimo	-0,314	-0,239	-0,372
Potencia	0,364	-0,12	-0,148

Mediante software estadístico se procede a realizar un análisis multivariado discriminante, utilizando como predictores los valores de los componentes

principales PC1, PC2 y PC3 de cada muestra; obteniendo en resumen de calificación un porcentaje significativo para la proporción del grupo “Si pasa”, y un porcentaje no significativo para la proporción del grupo “No pasa”, presentados en la Tabla 10.

Tabla 10. Clasificación a ralentí

	Grupo “Pasa”	
Proporción de porcentaje %	Si Pasa “1”	No Pasa “0”
	60,8 %	44,2 %
Muestras	580	
Proporción correcta (%)	57,6 %	

A partir de esto se obtiene la función discriminativa lineal general para el régimen de funcionamiento a ralentí (Tabla 11).

Tabla 11. Función discriminativa lineal a ralentí

Función discriminativa lineal grupo “Pasa”			
Predictores	No pasa “0”	Si pasa “1”	Función discriminativa general
Constante	-2,71692	-2,9086	0,191712
PC1	1,6262	1,6811	-0,054909
PC2	1,4930	1,5591	-0,066162
PC3	2,9524	3,0864	-0,134008

Desarrollando se obtiene:

$$FDR = 0{,}191712 - 0{,}054909PC1 - 0{,}066162PC2 - 0{,}134008PC3$$

6.3.2 Análisis Discriminante Lineal a Ralentí elevado

De manera similar, obtenidos los coeficientes de los componentes principales a utilizar (Tabla 12) establecidos anteriormente a este régimen de funcionamiento, se

procede a determinar los valores de los cuatro componentes para cada una de las muestras.

Tabla 12. Coeficientes de componentes principales a ralentí elevado

Variable	PC1	PC2	PC3	PC3
Media	0,289	-0,161	-0,44	0,048
Varianza	0,364	-0,12	-0,148	0,097
Desviación Estándar	0,361	-0,003	0,248	0,119
Mediana	0,225	-0,21	-0,362	-0,575
Máximo	0,32	0,251	0,32	-0,071
Mínimo	-0,314	-0,239	-0,372	0,106
Potencia	0,364	-0,12	-0,148	0,097

Posteriormente, se procede a realizar un análisis multivariado discriminante utilizando como predictores los valores de Media, Mediana, Desviación Estándar, Potencia, Asimetría y Varianza de cada una de las muestras y debido a que los componentes principales PC1, PC2, PC3 y PC4 se encuentran altamente correlacionados para este régimen; obteniendo en resumen de calificación un porcentaje significativo para la proporción del grupo “Si pasa”, y un porcentaje no significativo para la proporción del grupo “No pasa”, presentados en la Tabla 13.

Tabla 13. Clasificación a ralentí elevado

	Grupo “Pasa”	
Proporción de porcentaje %	Si Pasa “1”	No Pasa “0”
	91,7 %	13,3 %
Muestras	581	
Proporción correcta (%)	83,6 %	

A partir de esto se obtiene la función discriminativa lineal general para el régimen de funcionamiento a ralentí elevado de la Tabla 14.

Tabla 14. Función discriminativa lineal a ralentí elevado

Función discriminativa lineal grupo "Pasa"			
Predictores	No pasa "0"	Si pasa "1"	Función discriminativa general
Constante	-3,9	-3,8	0,12835096
Media	881,2	-1888,8	4,60921004
Mediana	480,3	392,9	-1,10064301
Desviación estándar	79,8	78,7	-87,393117
Potencia	-0,0	0,0	-2769,92366
Asimetría	5,0	4,1	2,2736E-08
Varianza	-138,8	-134,2	-0,83969741

7 BASE DE DATOS

La base de datos establecida en el DVD anexado, se encuentra diferenciada de acuerdo al régimen de funcionamiento en el cual se realiza el análisis, por lo tanto, existe una para un régimen de funcionamiento a ralentí y otra para un régimen de funcionamiento a 2500 rpm o ralentí elevado.

Cada base de datos está compuesta por 580 muestras convalidadas que se encuentran clasificadas por el código de placa del vehículo y que a su vez contienen:

- Porcentaje de emisiones contaminantes emitidos por el proceso de RTV, los mismos que son CO, CO2, HC y O2; además se añade su valor lambda correspondiente para cada muestra (Figura 78).

PLACA	PASA	CO	CO2	HC	O2	LAMBDA
AAM0693	1	3,25	7,99	104	6,52	1,268

Figura 78. Clasificación de las muestras y emisiones contaminantes

- La clasificación por grupos predictores Pasa y No pasa, de acuerdo al porcentaje de emisiones contaminantes establecido en la RTV.
- Los valores de las características principales (Tabla 6) de cada muestra.

Media	Varianza	Desviacion Estandar	Mediana	Maximo	Minimo	Potencia	Energia
0,0000025	0,0005183	0,0228	0,0000000	0,1173	-0,1016	0,5183	0,0026000

Figura 79. Valores de las características principales

- Los valores de los componentes principales obtenidos y utilizados para el análisis.
- La función discriminante lineal para los grupos Pasa y No pasa, así como también la función discriminante lineal general (Figura 80).

FD0	FD1	FDG
-2,71692124	-2,90863373	0,19171249

Figura 80. Función discriminante por grupos

- El resumen de clasificación por los grupos analizados.

También se anexa en la misma unidad, el análisis correspondiente a cada régimen de funcionamiento aplicando un software estadístico.

8 CONCLUSIONES

Los parámetros para la obtención de las señales implementados en la realización de este proyecto (protocolo); así como, un correcto procesamiento de las mismas, permitieron optimizar los resultados y elevar el porcentaje de respuesta para los grupos discriminantes, eliminando de esta forma interferencias que puedan modificar y alterar su orden de respuesta.

El establecimiento de la base de datos en función de las características principales de cada señal acústica, permitió establecer muestras patrón de acuerdo a cada vehículo, año y modelo, representadas mediante su espectro de frecuencias.

El análisis mediante ACP, nos brinda la posibilidad de elevar el parámetro de respuesta en base a eliminar características que cumplen una función correlativa

entre sí y que disminuyen el porcentaje de respuesta para cada grupo, sobre todo a un régimen elevado.

En base a los resultados obtenidos, es posible deducir que la mayor variabilidad de los parámetros de respuesta, se obtienen a un régimen de giro de ralentí elevado o a 2500 rpm, por lo tanto, se puede concluir más fácilmente si un vehículo cumple o no los estándares de emisiones contaminantes.

9 RECOMENDACIONES

Para de la obtención de las señales de ruido se recomienda realizar el procedimiento del protocolo dentro de una cámara anecoica, para garantizar una mejor señal acústica; evitando de esta forma, cualquier interferencia de ruidos externos que no provienen del funcionamiento del motor.

Dentro de los protocolos de medición de presión sonora existen normas SAE, ISO DIN. En futuras investigaciones es recomendable utilizar la normativa ISO (Viro, 2002), norma 3745 que establece el procedimiento para determinación del nivel de presión sonora en una fuente de ruido dentro de una cámara anecoica o semi-anecoica.

Para el proceso de las señales acústicas, es mejor tomar las mismas con un instrumento que garantice una alta calidad de medición, como es el “micrófono piezoeléctrico”. El cual viene integrado con su adecuada calibración; sin embargo, el proyecto contempló la utilización de un elemento de características diferentes como un celular.

A partir de la base de datos generada, se recomienda su implementación a través de redes neuronales que permitan identificar de una mejor y más rápida forma a que grupo de respuesta corresponde cada muestra obtenida.

10 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] G. B. O. G. D. &. R. F. Viro, PROTOCOLO DE MEDICIONES PARA TRAZADO DE MAPAS DE RUIDO NORMALIZADOS, Buenos Aires, 2002.

[2] G. F. Guarango Pillco y K. M. Lazo Naula, DIAGNÓSTICO DE FALLOS EN EL PROCESO DE COMBUSTIÓN EN MOTORES ALTERNATIVOS DE ENCENDIDO POR COMPRESIÓN UTILIZANDO EL MÉTODO DE ANÁLISIS DE RUIDO, Cuenca, 2014.

[3] J. C. Donayre Ramírez, ESTUDIO CFD DE LA RESONANCIA EN LA CÁMARA DE COMBUSTIÓN DE MOTORES DIESEL HDI, Valencia, 2012.

[4] A. Sidorova, APLICACIÓN DEL MÉTODO DE LA EMISIÓN ACÚSTICA EN LA MONITORIZACIÓN DE LAS ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN, Catalunya, 2010.

[5] J. Bernal, P. Gómez y Jesús Bobadilla, UNA VISÍON PRÁCTICA EN EL USO DE LA TRANSFORMADA DE FOURIER COMO HERRAMIENTA PARA EL ANÁLISIS ESPECTRAL DE LA VOZ, Madrid, 1999.

[6] J. A. Córtes O., F. A. Medina A. y J. A. Chaves O., DEL ANÁLISIS DE FOURIER A LAS WAVELETS ANÁLISIS DE FOURIER, Pereira, 2007.

[7] E. Gómez Gutiérrez, INTRODUCCIÓN AL FILTRADO DIGITAL, Catalunya, 2009.

[8] M. Ruiz Costa y H. Duxans Barrobés, DISEÑO Y ANÁLISIS DE FILTROS EN PROCESAMIENTO DE AUDIO, Catalunya, 2010.

[9] I. A. Ordoñez Astudillo , INTERPRETACIÓN DE LOS EFECTOS DE LA BAJA DE PRESIÓN EN UN MOTOR DE COMBUSTION INTERNA ENCENDIDO POR COMPRESION CRDI HYUNDAY SANTA FÉ 2.0 MEDIANTE EL ÁNALISIS DE RUIDO, Cuenca, 2015.

[10] I. Arsie, R. Di Leo, C. Pianese y M. De Cesare, COMBUSTION NOISE AND POLLUTANTS PREDICTION FOR INJECTION PATTERN AND EGR TUNING IN AN AUTOMOTIVE COMMON-RAIL DIESEL ENGINE, Rueil-Malmaison, 2012.

[11] Apple, «itunes.apple.com,» [En línea]. Available: https://itunes.apple.com/es/app/audio-recorder-professional/id998800990?mt=8.

[Último acceso: 18 Agosto 2016].

[12] E. U. d. Música, «eumus.edu.uy,» [En línea]. Available: http://www.eumus.edu.uy/eme/ensenanza/electivas/dsp/presentaciones/clase10.pdf. [Último acceso: 14 Junio 2016].

[13] K. F. Juca Vivar, IDENTIFICACIÓN DE ESPECTROS ACÚSTICOS EN MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA A TRAVÉS DEL ANÁLISIS EN TIEMPOS CORTOS, Cuenca, 2015.

[14] Minitab®, «support.minitab.com,» 05 Julio 2016. [En línea]. Available: http://support.minitab.com/es-mx/minitab/17/topic-library/basic-statistics-and-graphs/summary-statistics/measures-of-central-tendency/. [Último acceso: 04 Agosto 2016].

[15] W. Mendenhall, R. J. Beaver y B. M. Beaver, INTRODUCCION A LA PROBABILIDAD Y ESTADISTICA, Mexico, 2008.

[16] Minitab®, «support.minitab.com,» 06 Julio 2016. [En línea]. Available: http://support.minitab.com/es-mx/minitab/17/topic-library/basic-statistics-and-graphs/introductory-concepts/standard-deviation-variance-and-the-normal-distribution/standard-dev/. [Último acceso: 04 Agosto 2016].

[17] N. D. Rivera Campoverde y J. F. Chica Segovia, ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DE UN MOTOR CICLO OTTO DE INYECCION ELECTRONICA RESPECTO A LA ESTEQUIOMETRIA DE LA MEZCLA Y DEL ADELANTO AL ENCENDIDO PARA LA CIUDAD DE CUENCA, Quito, 2015.

[18] M. O. Suárez y F. A. Tapia, INTERAPRENDIZAJE DE ESTADISTICA BASICA, IBARRA, 2012.

[19] F. Santiago de la Fuente, COMPONENTES PRINCIPALES ACP, Madrid, 2011.

[20] J. A. Sánchez Rivera, ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES, Granada, 2012.

[21] C. Guisande González, A. Barreiro Felpeto, I. Maneiro Estraviz, I. Riveiro Alarcón, A. R. Vergara Castaño y A. Vaamonde Liste, TRATAMIENTO DE DATOS, Diaz de Santos, S.A., 2006.

[22] J. J. Bernal García, S. M. Martínez María-Dolores y J. F. Sánchez García, MODELIZACIÓN DE LOS FACTORES MÁS IMPORTANTES QUE CARACTERIZAN UN SITIO EN LA RED, Cartagena, 2003.

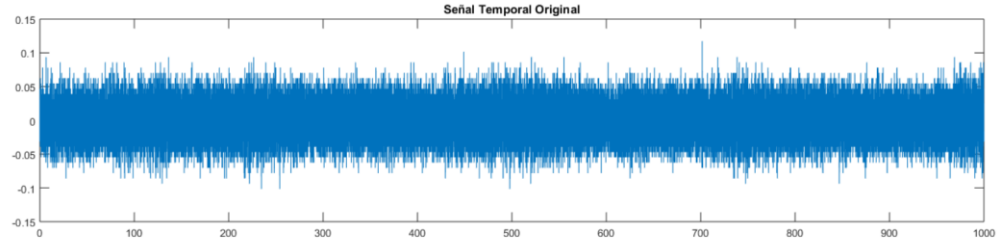
[23] J. Marín, «Universidad Calos III de Madrid,» 2009. [En línea]. Available: http://halweb.uc3m.es/esp/Personal/personas/jmmarin/esp/DM/tema1dm.pdf. [Último acceso: 13 Julio 2016].

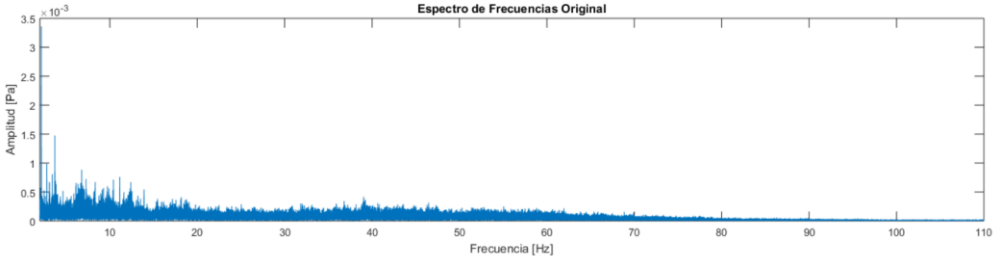
ANEXOS

ESPECTROS DE FRECUENCIA PATRÓN

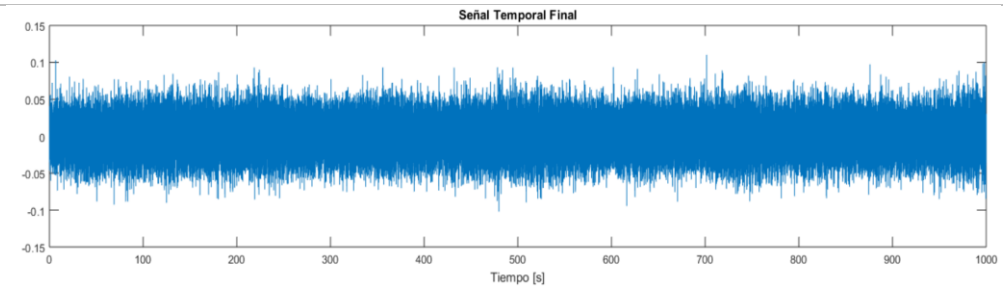
ESPECTRO DE FRECUENCIAS N° 1			
Marca:	Nissan	Cilindrada:	1600
Modelo:	Sentra M/T	PLACA:	AAM0693
Año:	1998	Régimen:	Ralentí

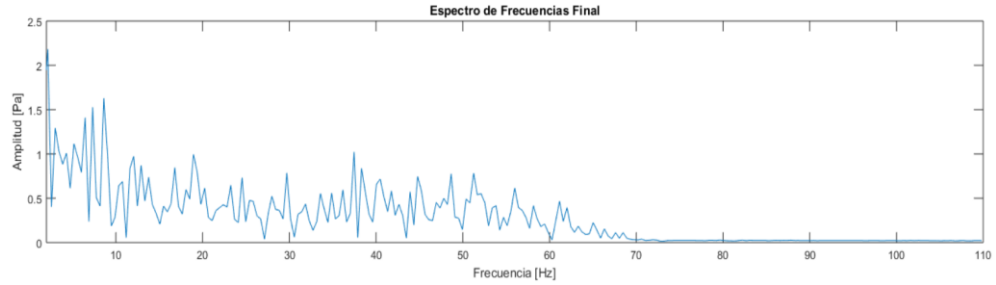
MUESTRA ORIGINAL





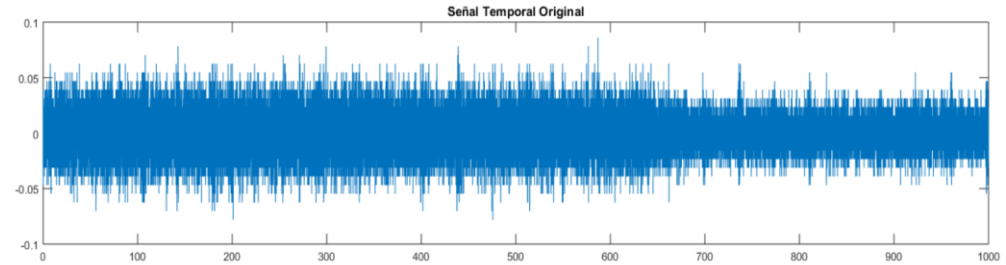
MUESTRA PROCESADA

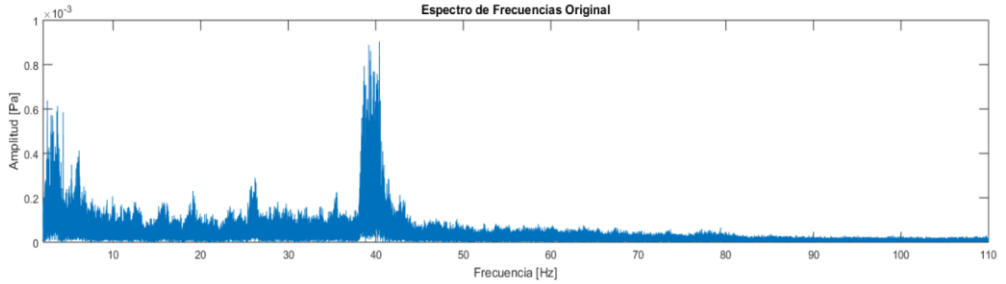




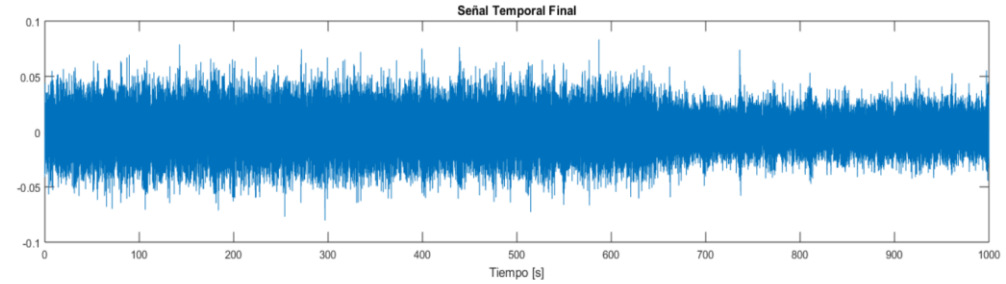
ESPECTRO DE FRECUENCIAS N° 2			
Marca:	Chevrolet	Cilindrada:	2300
Modelo:	Luv C/S 4x2	PLACA:	AAN264
Año:	1994	Régimen:	Ralentí

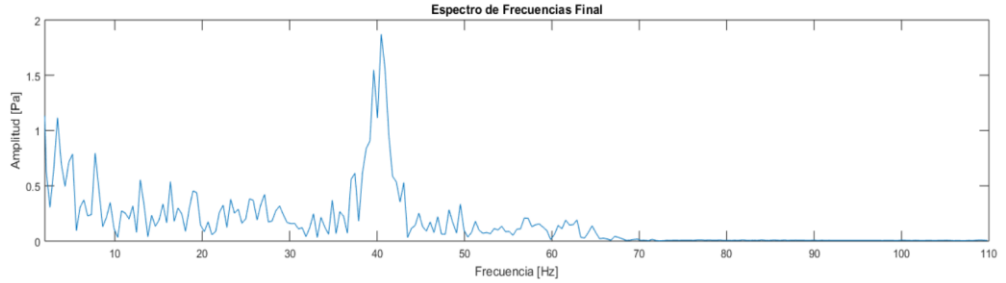
MUESTRA ORIGINAL





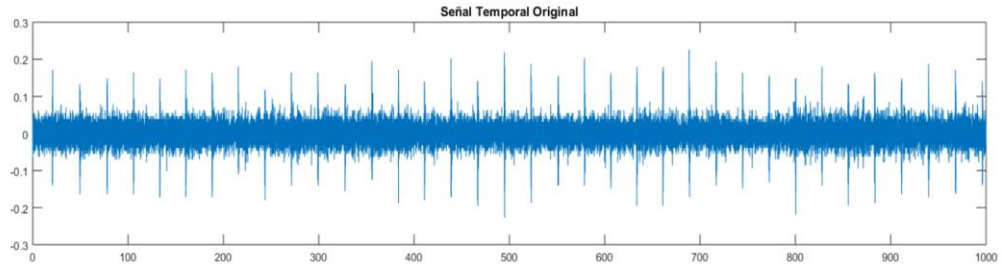
MUESTRA PROCESADA

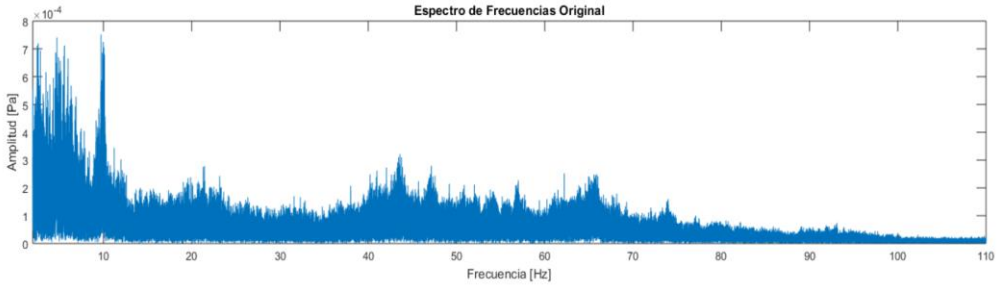




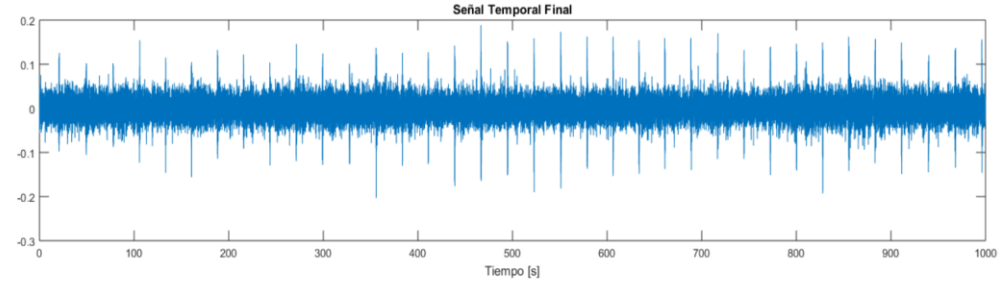
ESPECTRO DE FRECUENCIAS N° 3			
Marca:	Daewoo	Cilindrada:	1500
Modelo:	Cielo BX	PLACA:	AAR890
Año:	1999	Régimen:	Ralentí

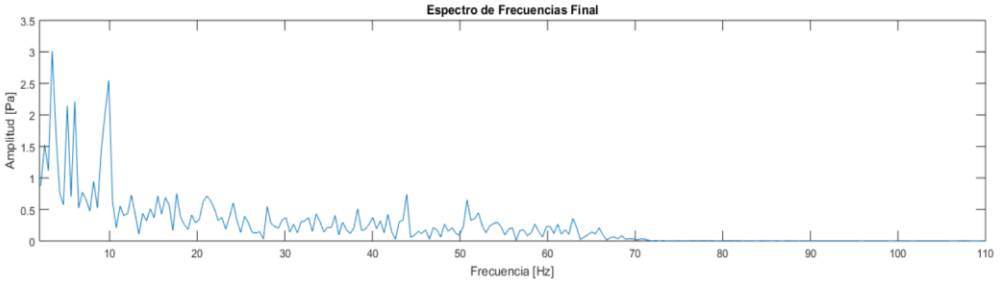
MUESTRA ORIGINAL





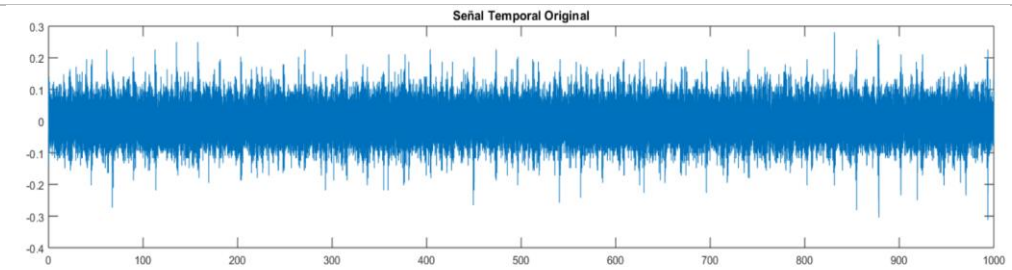
MUESTRA PROCESADA

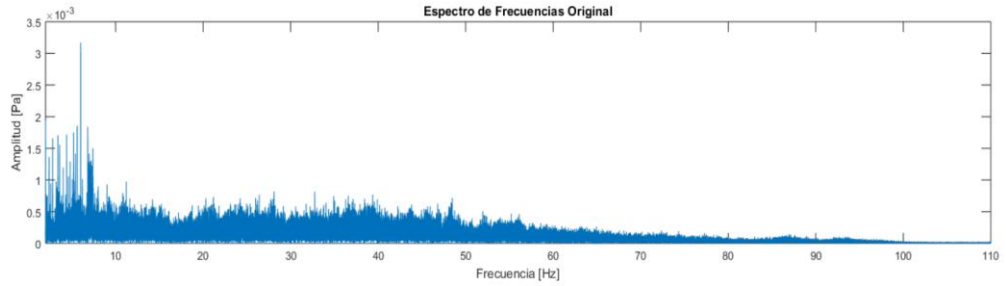




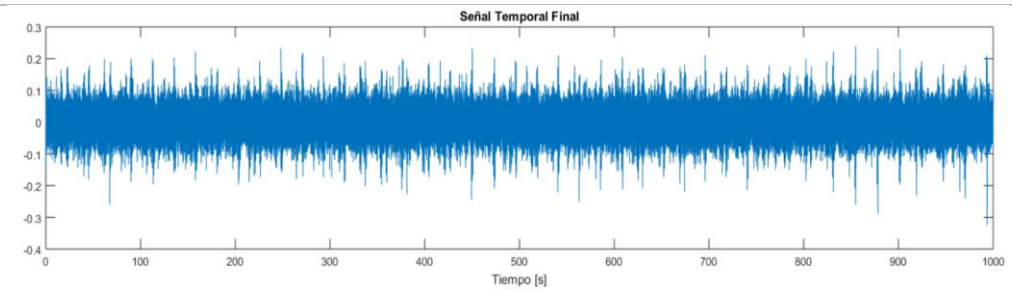
ESPECTRO DE FRECUENCIAS N° 4			
Marca:	Daewoo	Cilindrada:	1490
Modelo:	Cielo BX	PLACA:	AAT0593
Año:	1997	Régimen:	Ralentí

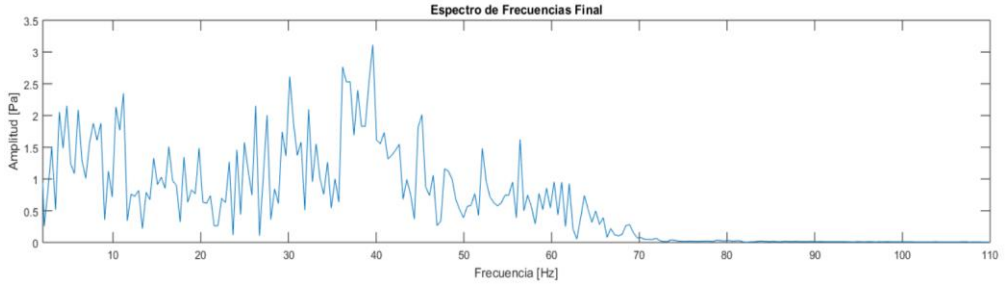
MUESTRA ORIGINAL





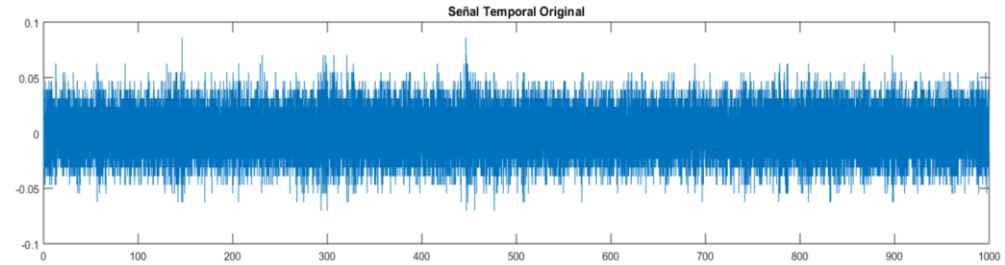
MUESTRA PROCESADA

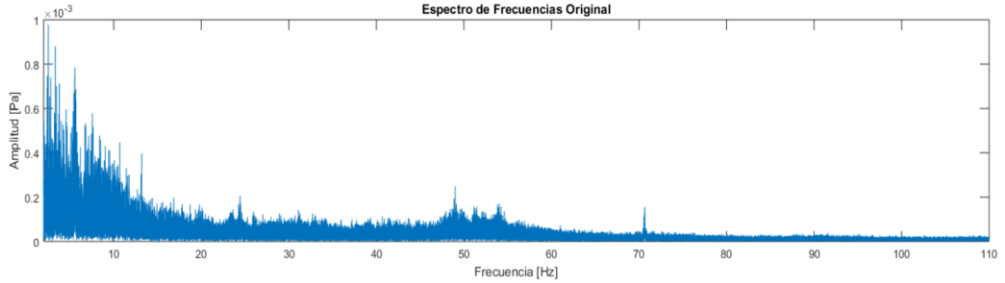




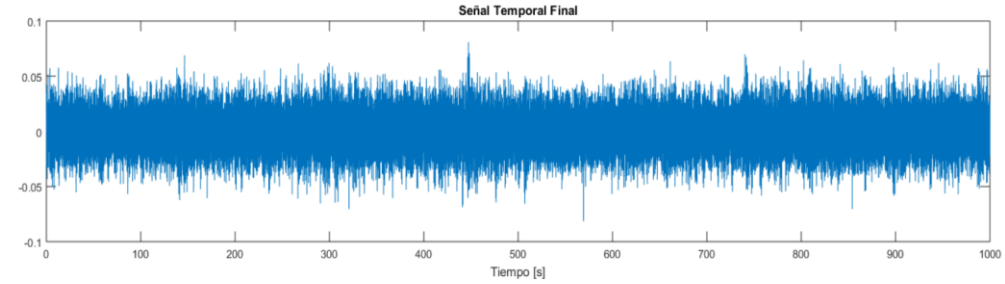
ESPECTRO DE FRECUENCIAS N° 5			
Marca:	Hyundai	Cilindrada:	1600
Modelo:	Accent 4DR	PLACA:	AAV0326
Año:	2005	Régimen:	Ralentí

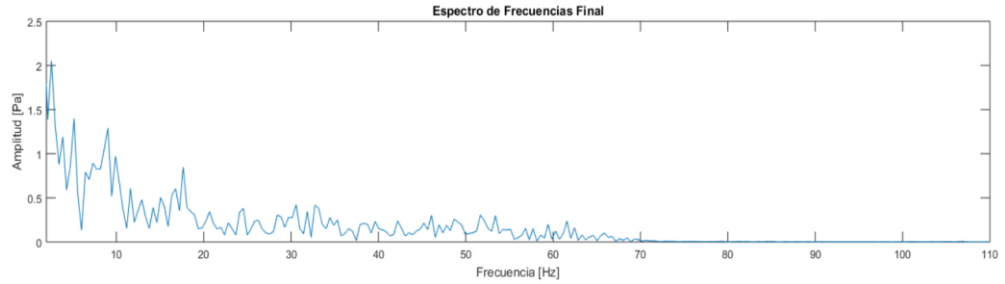
MUESTRA ORIGINAL





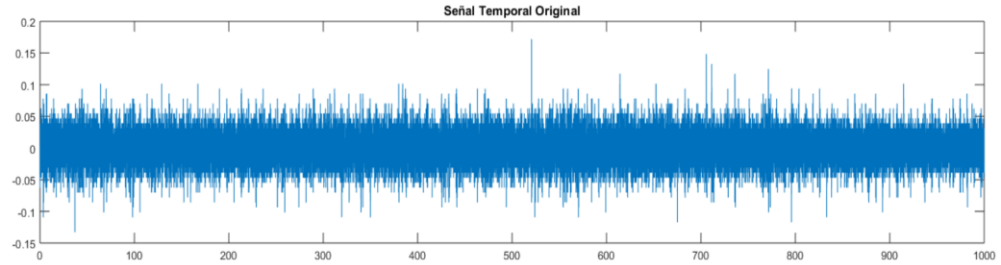
MUESTRA PROCESADA

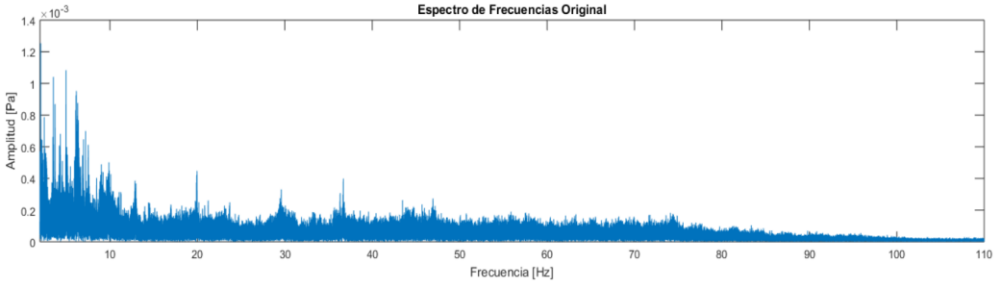




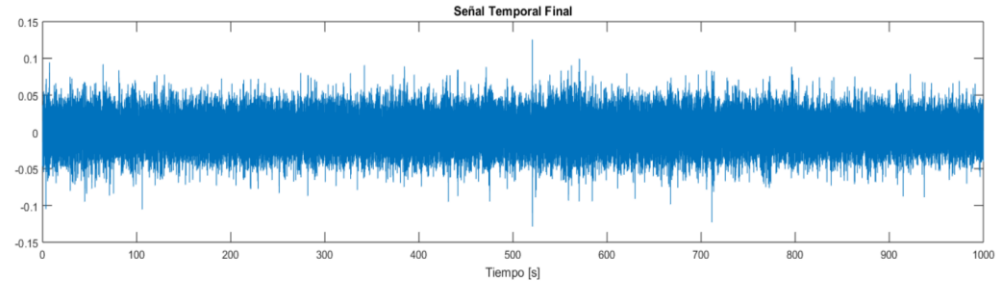
ESPECTRO DE FRECUENCIAS N° 6			
Marca:	Chevrolet	Cilindrada:	1600
Modelo:	Chevytaxi	PLACA:	AAW0112
Año:	2006	Régimen:	Ralentí

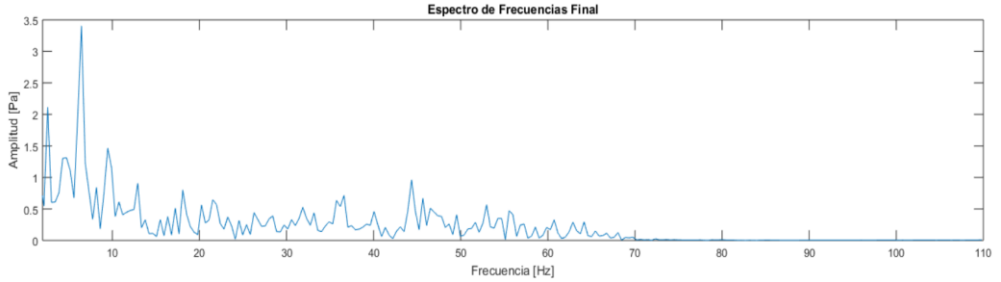
MUESTRA ORIGINAL





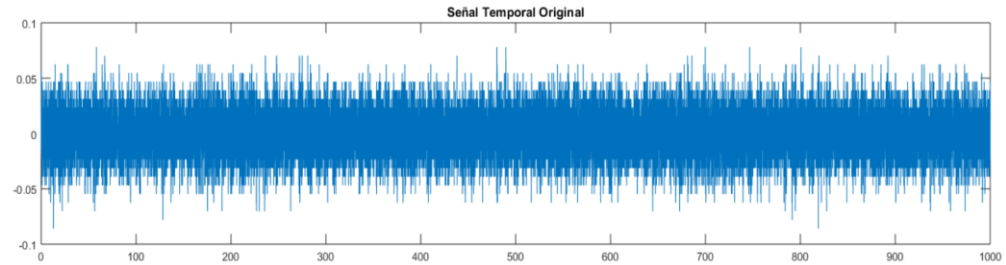
MUESTRA PROCESADA

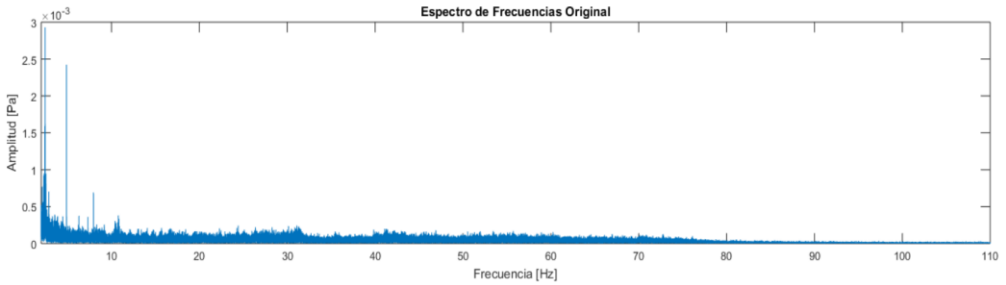




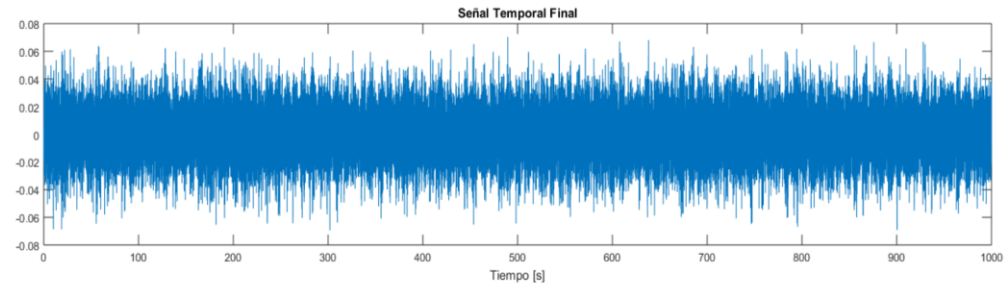
ESPECTRO DE FRECUENCIAS N° 7			
Marca:	Toyota	Cilindrada:	1300
Modelo:	Yaris Nitro	PLACA:	ABA1732
Año:	2009	Régimen:	Ralentí

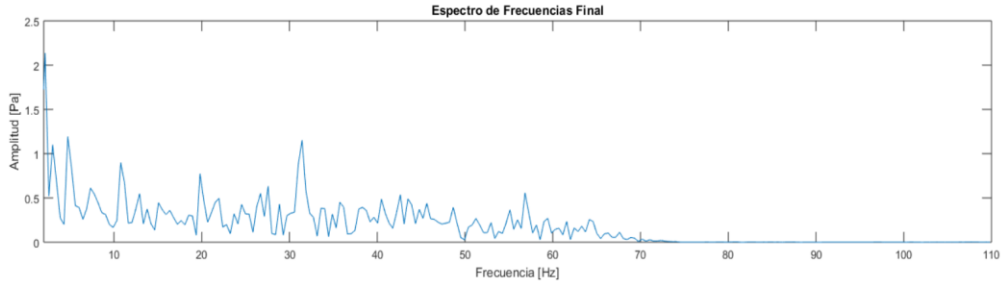
MUESTRA ORIGINAL





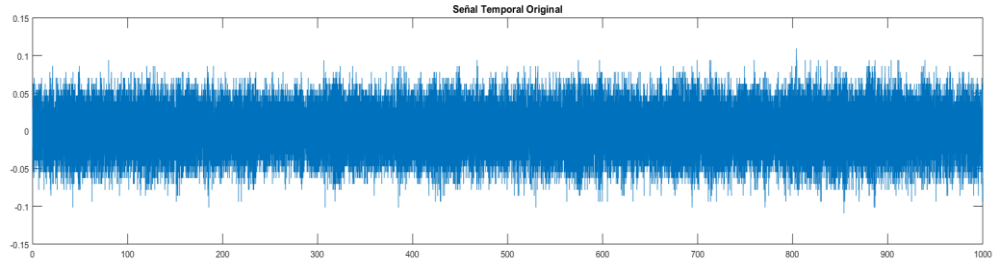
MUESTRA PROCESADA

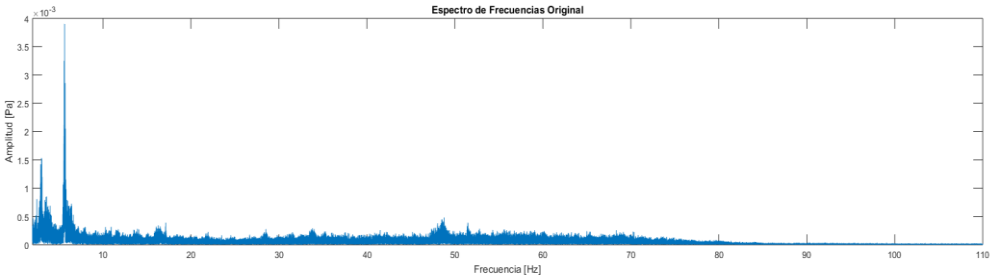




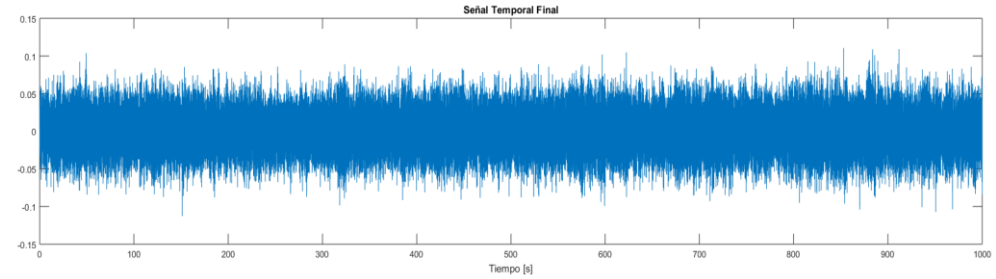
ESPECTRO DE FRECUENCIAS N° 8			
Marca:	Nissan	Cilindrada:	1200
Modelo:	1200	PLACA:	ABA2463
Año:	1997	Régimen:	Ralentí

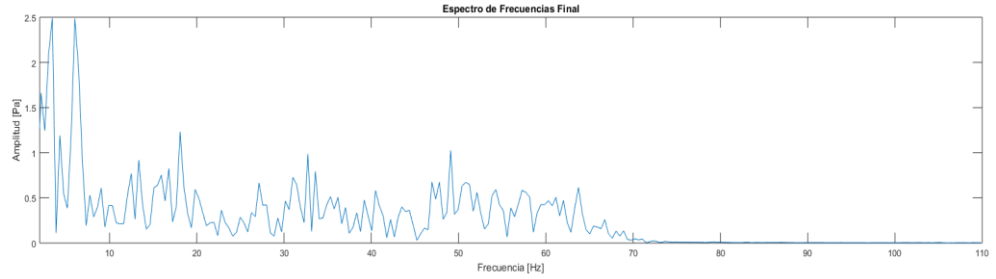
MUESTRA ORIGINAL





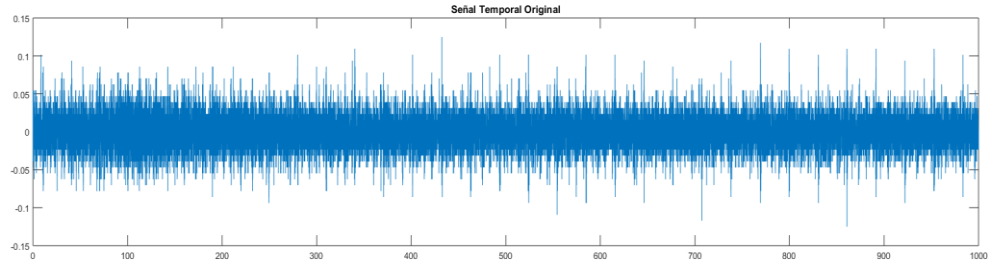
MUESTRA PROCESADA

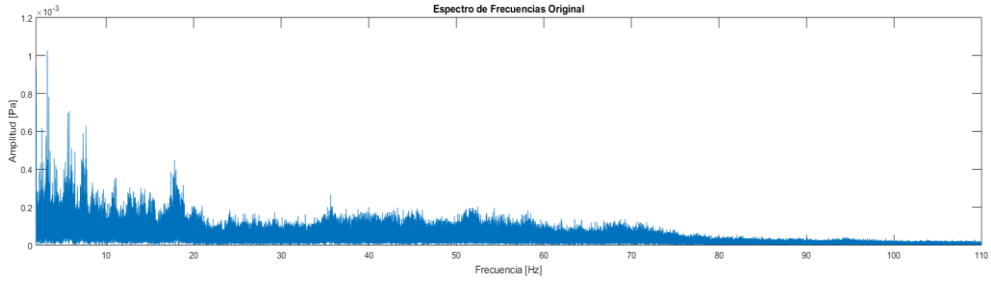




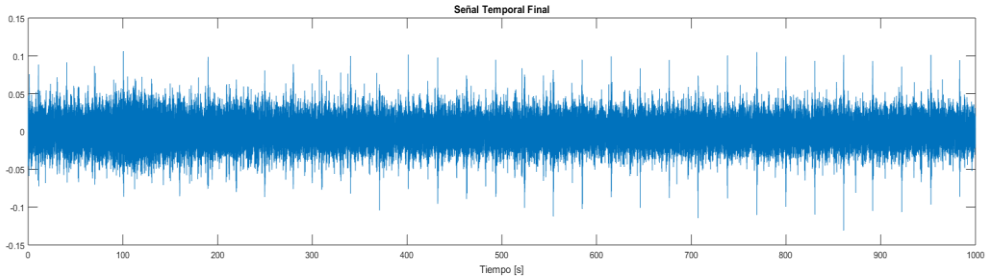
ESPECTRO DE FRECUENCIAS N° 9			
Marca:	Chevrolet	Cilindrada:	1000
Modelo:	Spark 5P STD	PLACA:	ABA3243
Año:	2010	Régimen:	Ralentí

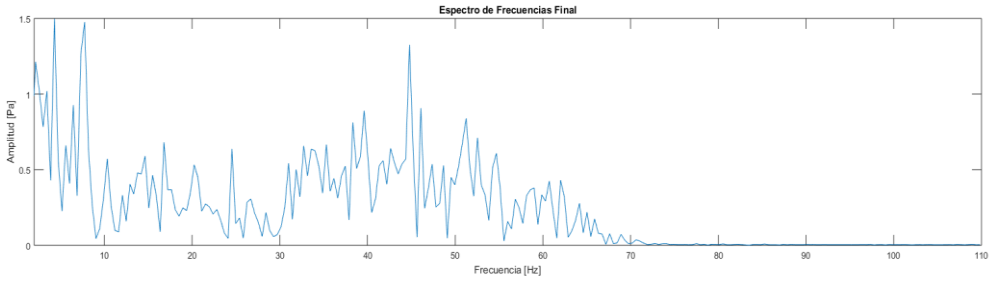
MUESTRA ORIGINAL





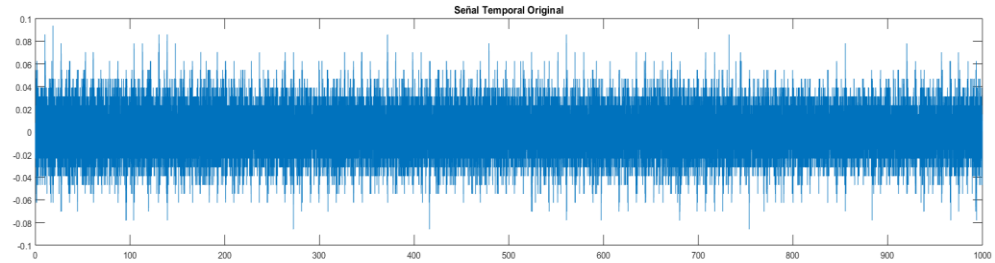
MUESTRA PROCESADA

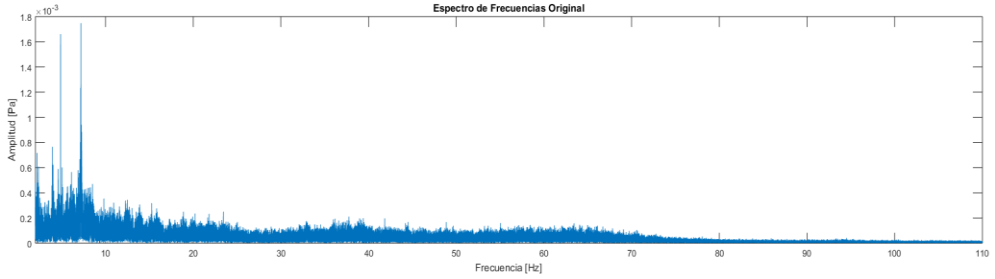




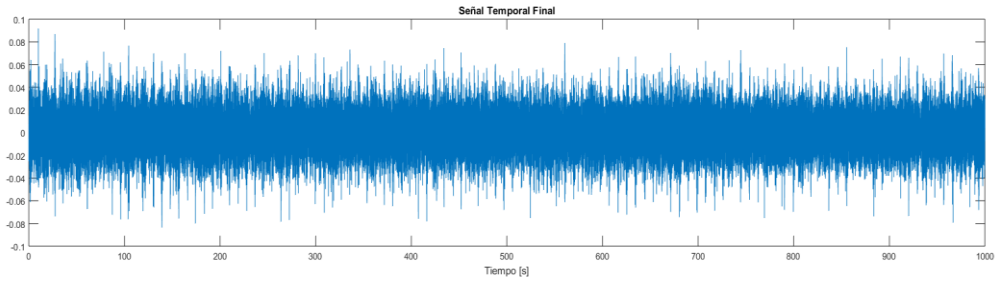
ESPECTRO DE FRECUENCIAS N° 10			
Marca:	Toyota	Cilindrada:	2700
Modelo:	Hilux 4x2 CS	PLACA:	ABA3343
Año:	2010	Régimen:	Ralentí

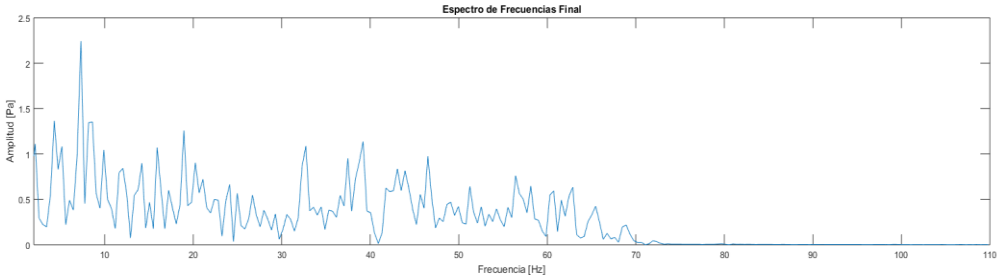
MUESTRA ORIGINAL





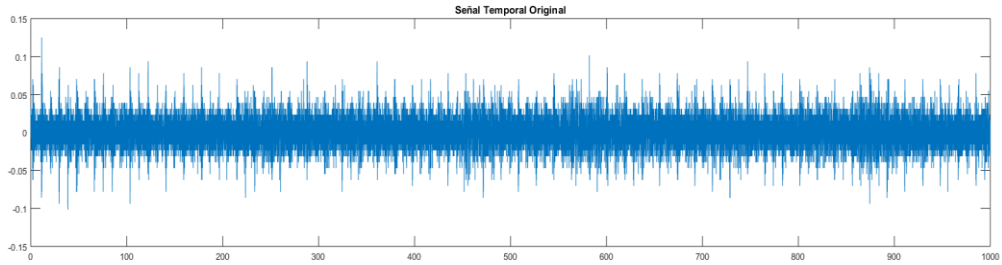
MUESTRA PROCESADA

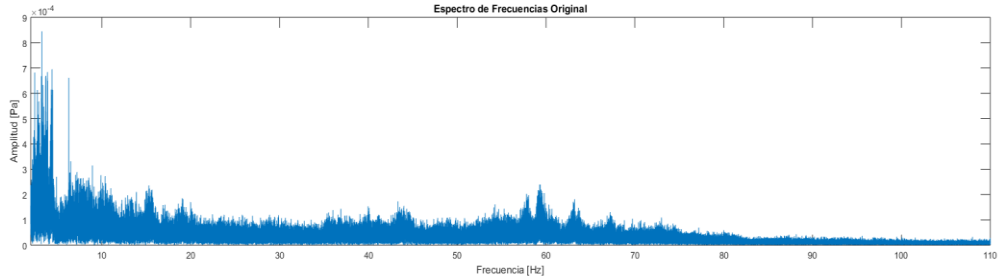




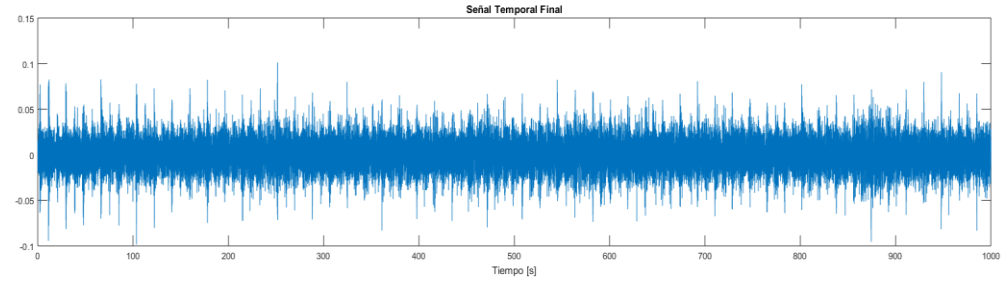
ESPECTRO DE FRECUENCIAS N° 11			
Marca:	Hyundai	Cilindrada:	2000
Modelo:	Tucson IX GL 5P	PLACA:	ABA4713
Año:	2011	Régimen:	Ralentí

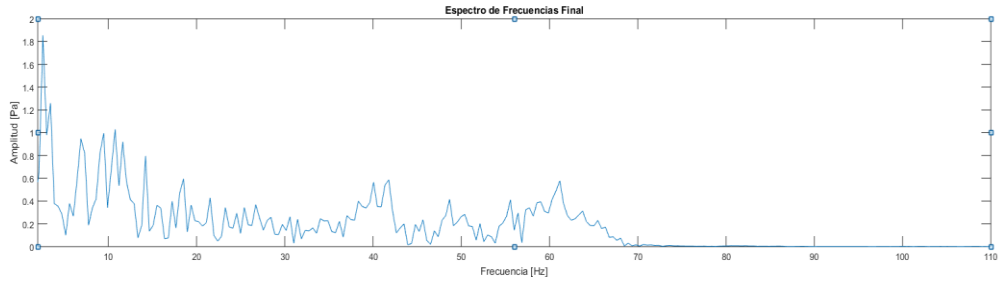
MUESTRA ORIGINAL





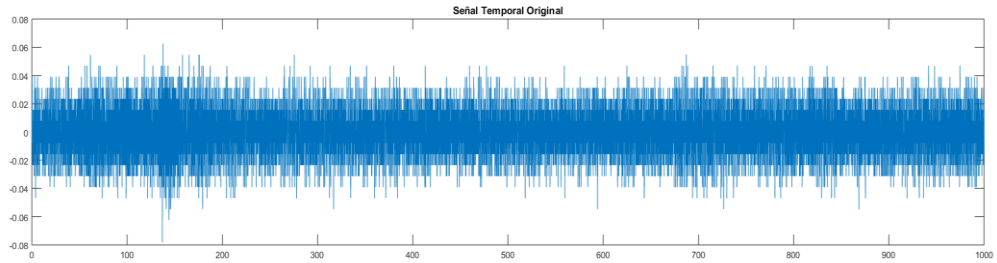
MUESTRA PROCESADA

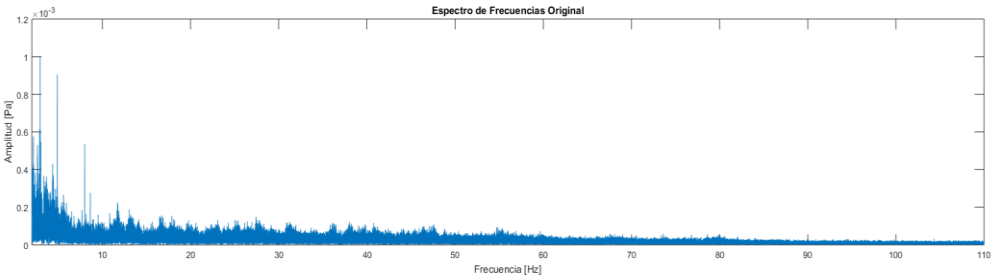




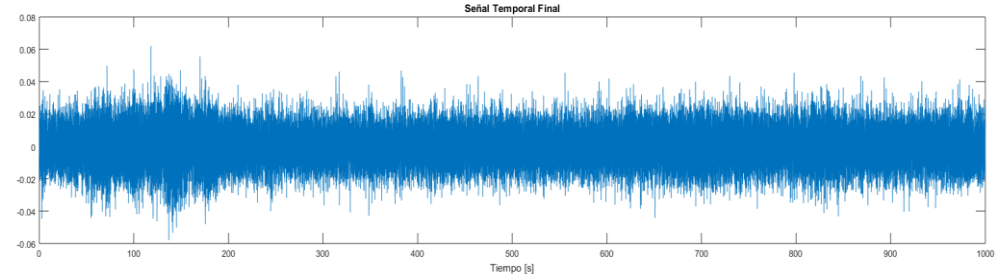
ESPECTRO DE FRECUENCIAS N° 12			
Marca:	Nissan	Cilindrada:	2000
Modelo:	Sentra 2.0	PLACA:	ABA6113
Año:	2011	Régimen:	Ralentí

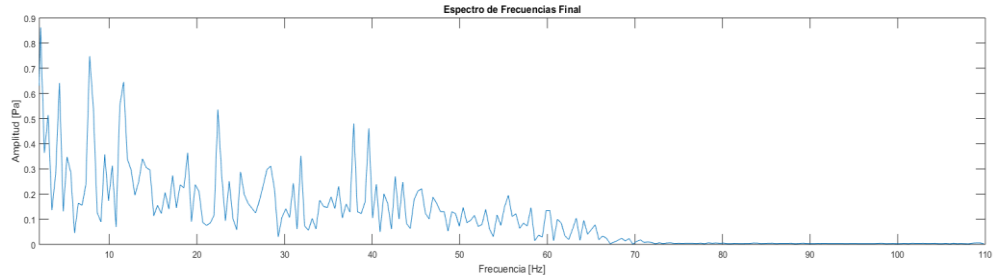
MUESTRA ORIGINAL





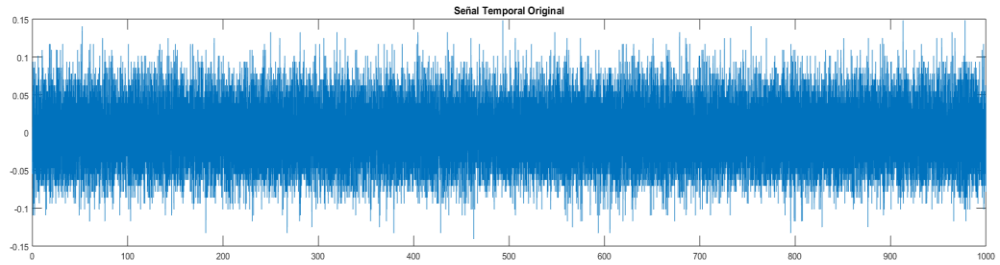
MUESTRA PROCESADA

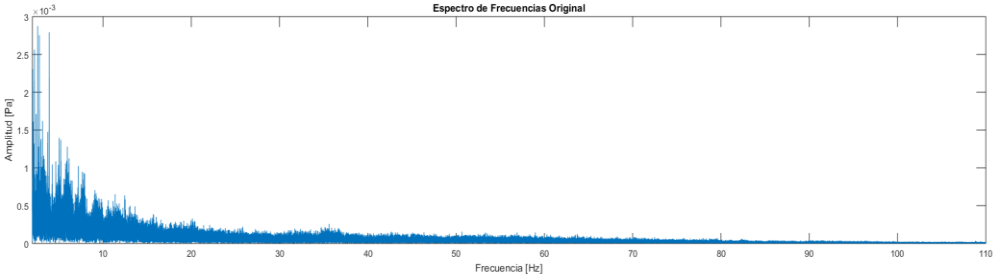




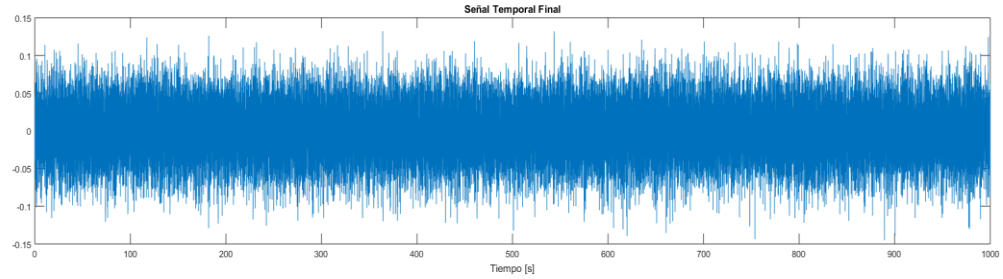
ESPECTRO DE FRECUENCIAS N° 13			
Marca:	Suzuki	Cilindrada:	2000
Modelo:	Grand Vitara SZ	PLACA:	ABB1423
Año:	2011	Régimen:	Ralentí

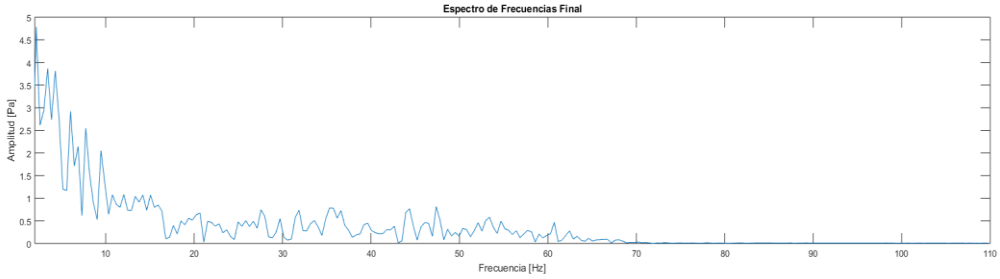
MUESTRA ORIGINAL





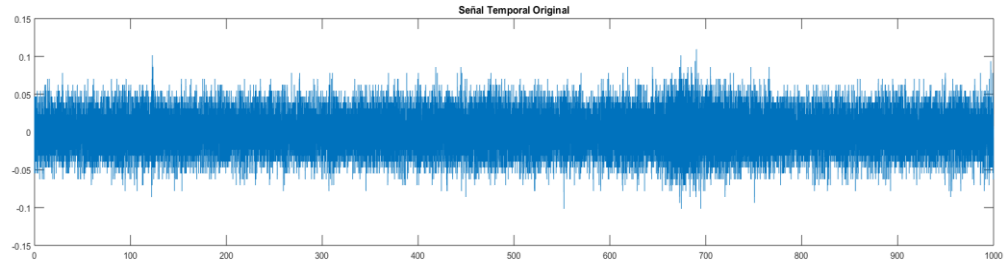
MUESTRA PROCESADA

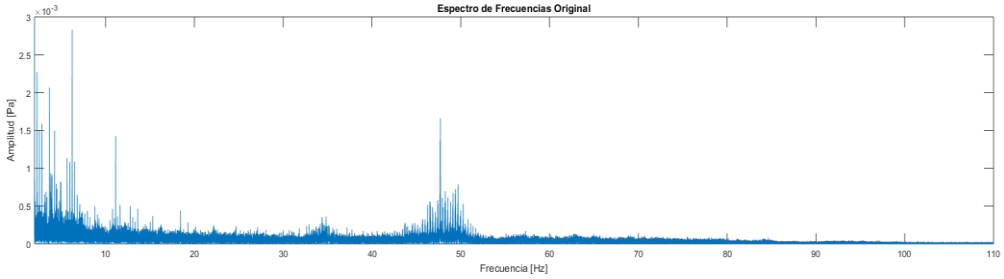




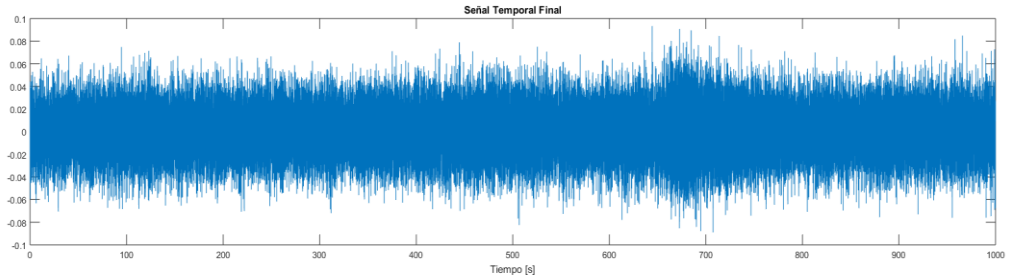
ESPECTRO DE FRECUENCIAS N° 14			
Marca:	Mazda	Cilindrada:	2200
Modelo:	BT50 CD 4x2	PLACA:	ABB1593
Año:	2010	Régimen:	Ralentí

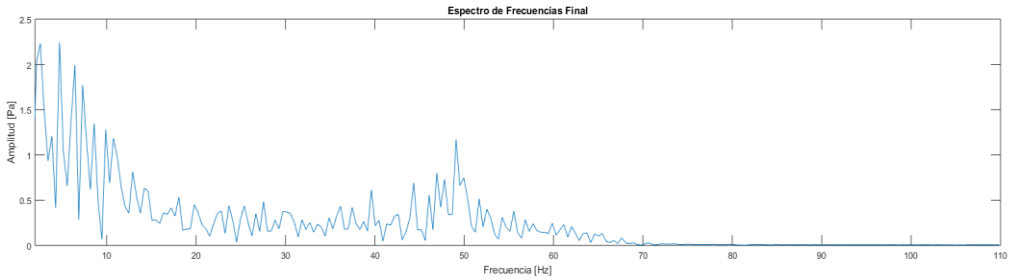
MUESTRA ORIGINAL





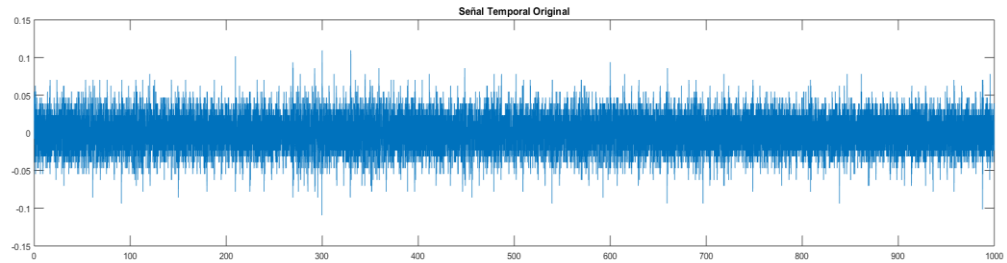
MUESTRA PROCESADA

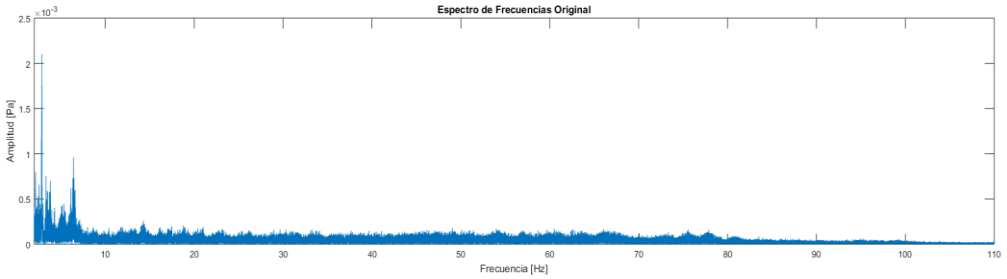




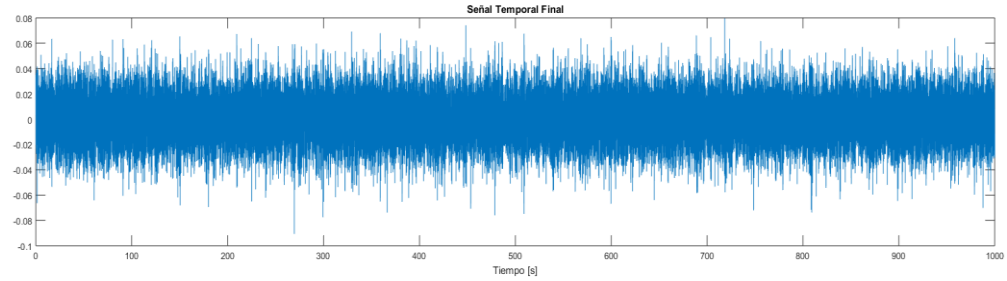
ESPECTRO DE FRECUENCIAS N° 15			
Marca:	Chevrolet	Cilindrada:	1500
Modelo:	Aveo Family	PLACA:	ABB2358
Año:	2011	Régimen:	Ralentí

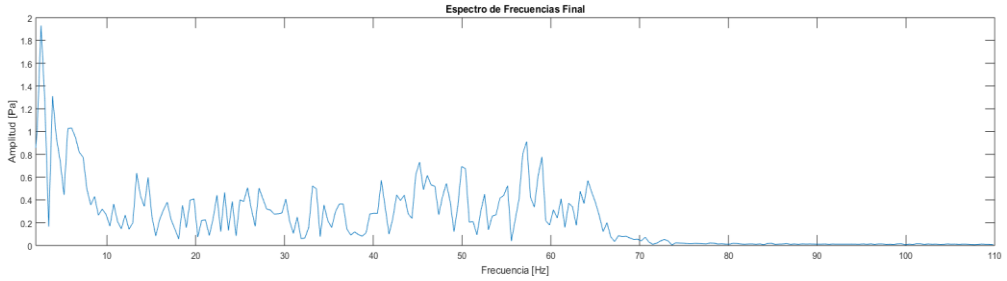
MUESTRA ORIGINAL





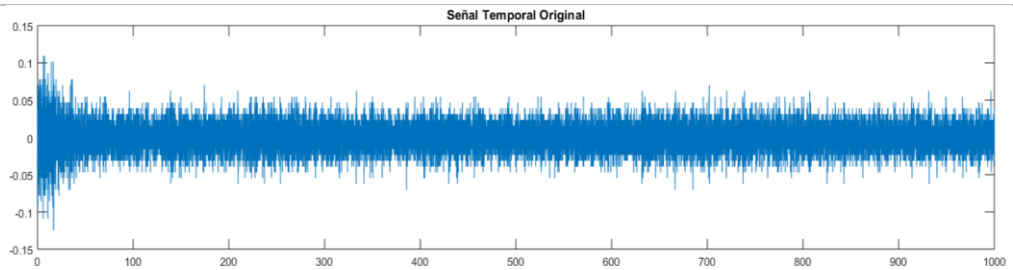
MUESTRA PROCESADA

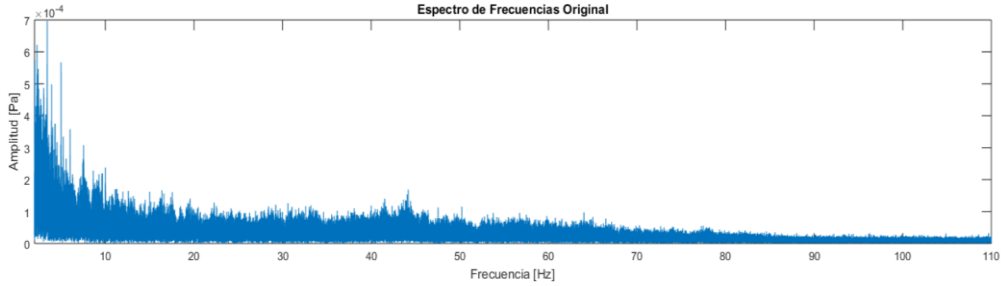




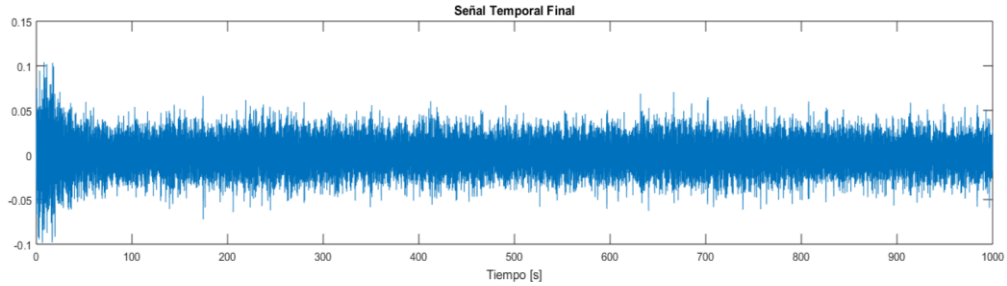
ESPECTRO DE FRECUENCIAS N° 16			
Marca:	Hyundai	Cilindrada:	2400
Modelo:	Santa Fe 4x4 2.4 TM	PLACA:	ABB2371
Año:	2010	Régimen:	Ralentí

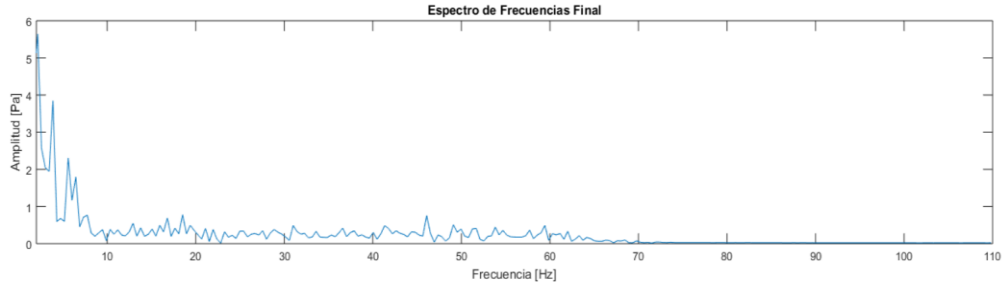
MUESTRA ORIGINAL





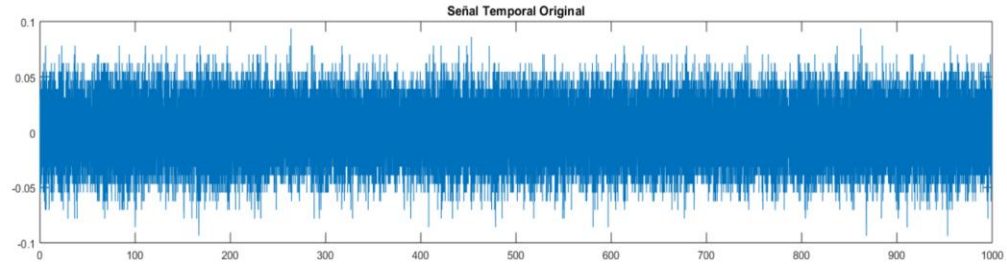
MUESTRA PROCESADA

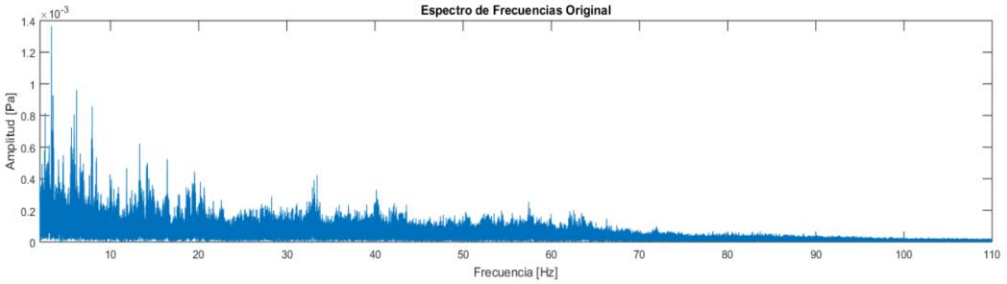




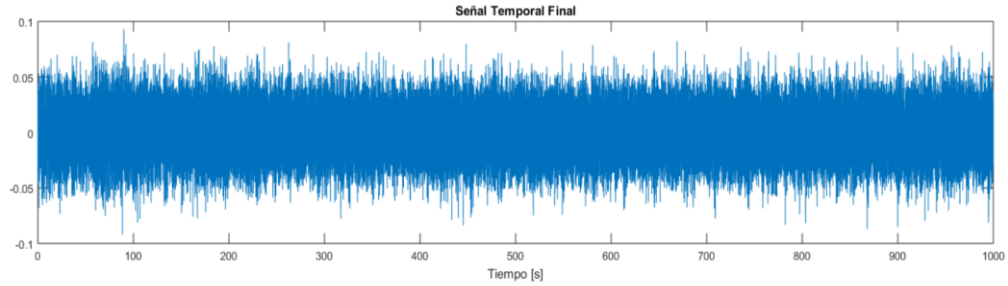
ESPECTRO DE FRECUENCIAS N° 17			
Marca:	Renault	Cilindrada:	1600
Modelo:	Sandero 1.6 MT	PLACA:	ABB2521
Año:	2011	Régimen:	Ralentí

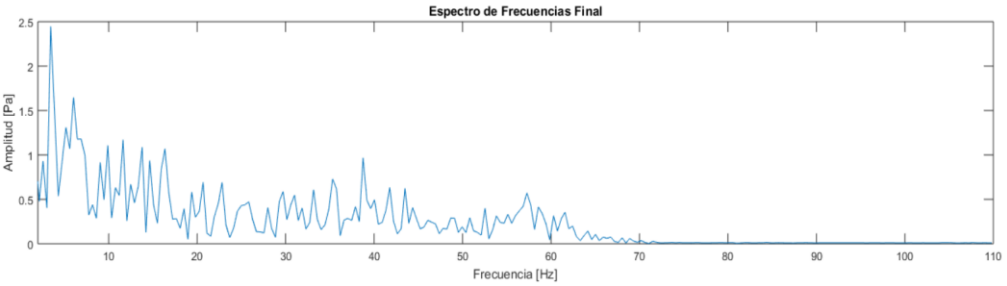
MUESTRA ORIGINAL





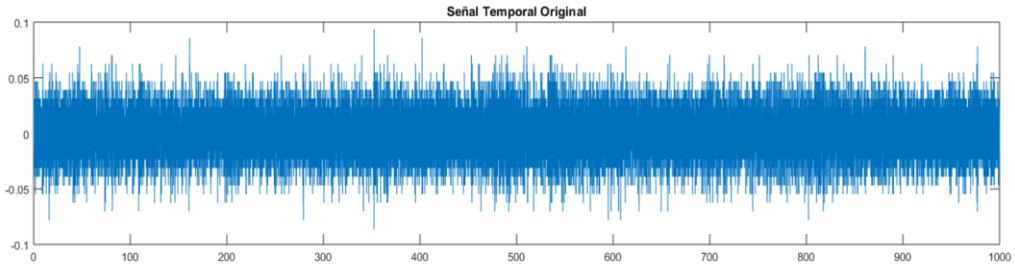
MUESTRA PROCESADA

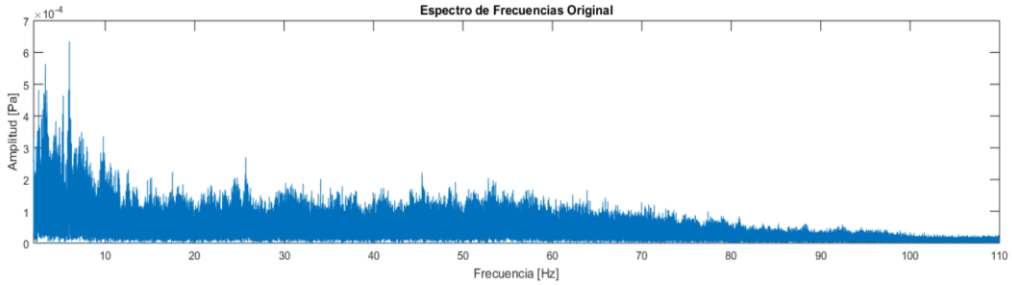




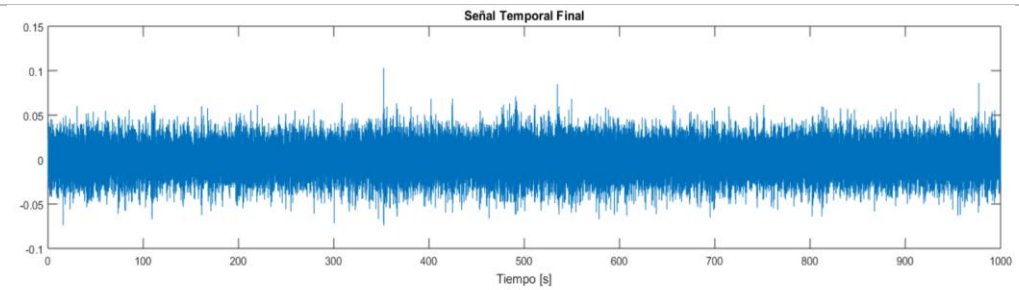
ESPECTRO DE FRECUENCIAS N° 18			
Marca:	Chevrolet	Cilindrada:	2400
Modelo:	Luv D-MAX 4x2	PLACA:	ABB2975
Año:	2010	Régimen:	Ralentí

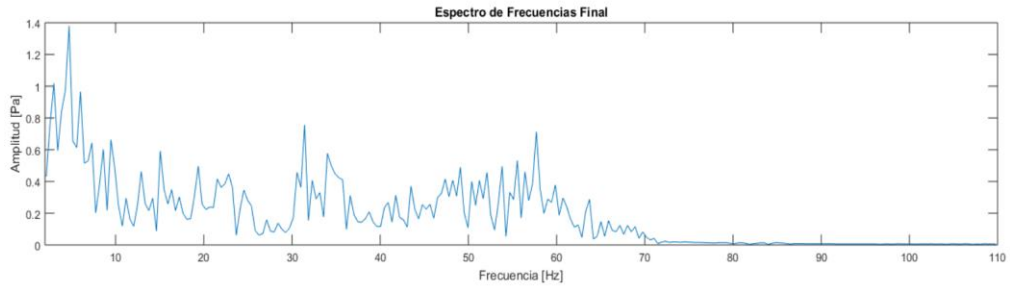
MUESTRA ORIGINAL





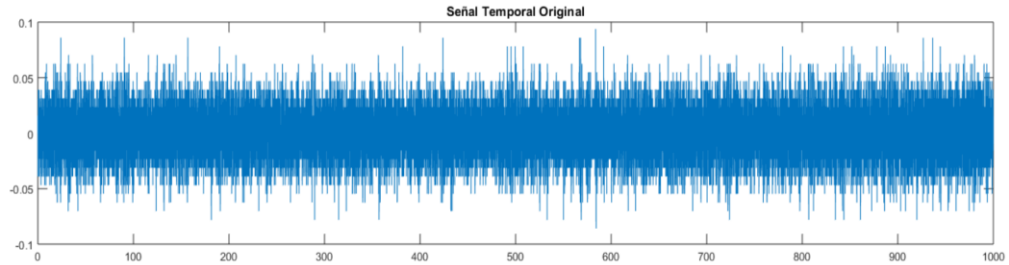
MUESTRA PROCESADA

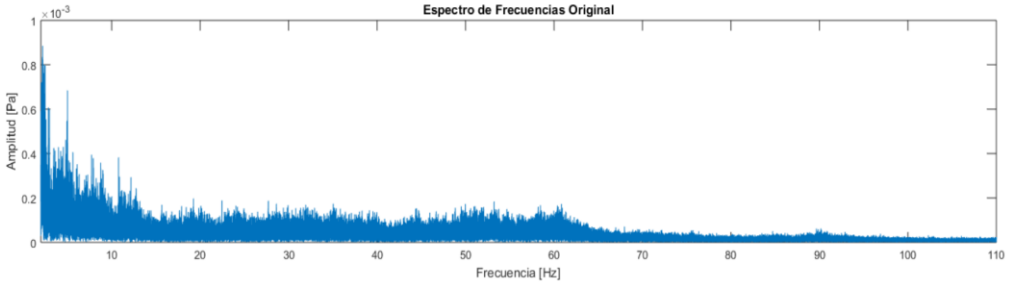




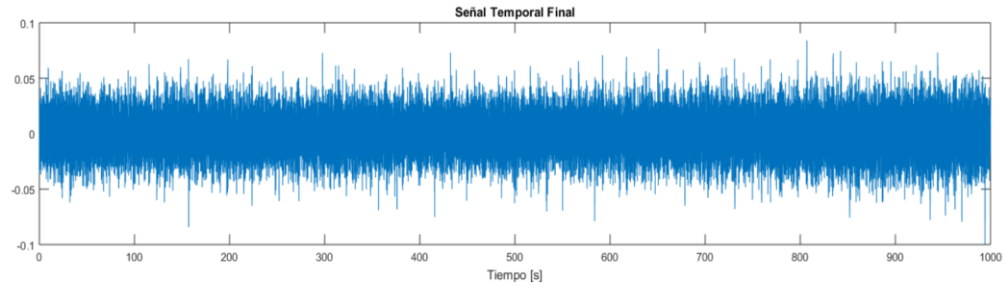
ESPECTRO DE FRECUENCIAS N° 19			
Marca:	Kia	Cilindrada:	1400
Modelo:	Rio 1.4L LX	PLACA:	ABB3803
Año:	2011	Régimen:	Ralentí

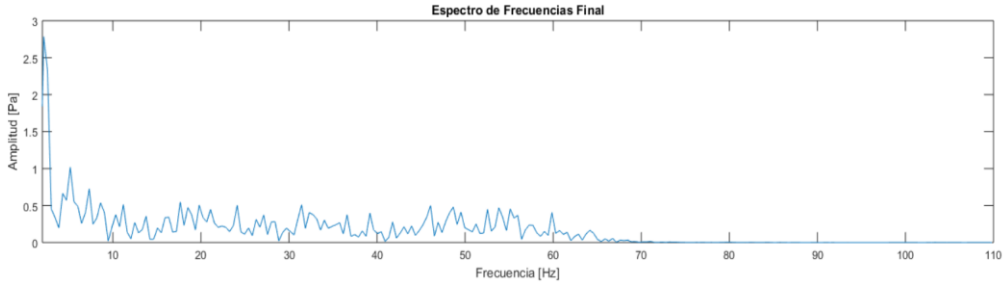
MUESTRA ORIGINAL





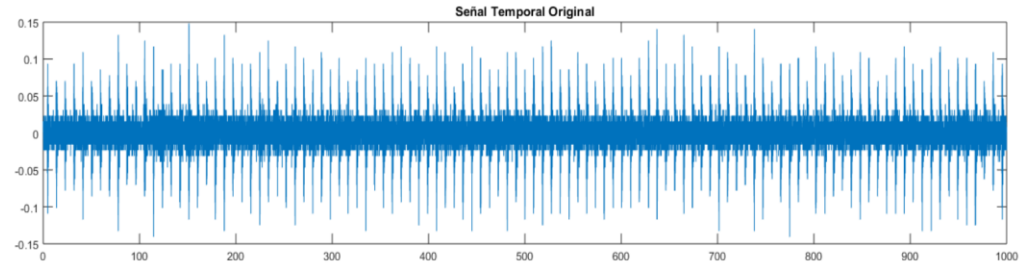
MUESTRA PROCESADA

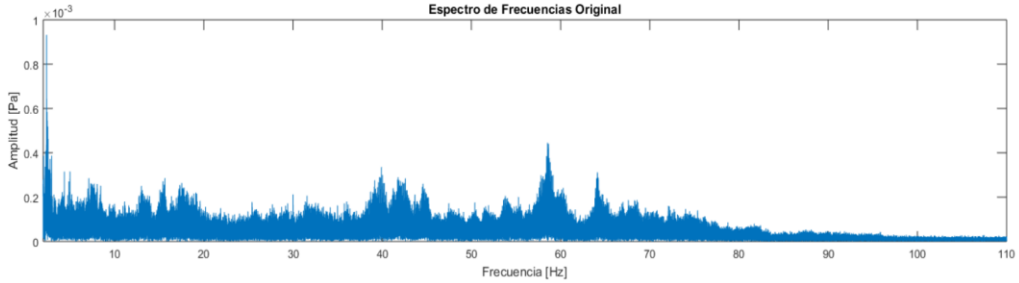




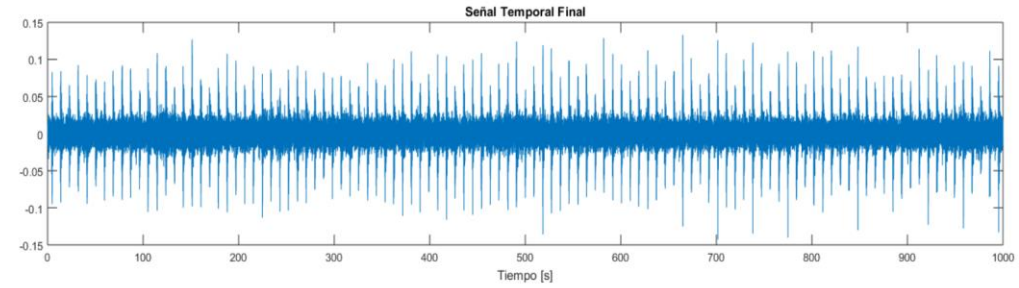
ESPECTRO DE FRECUENCIAS N° 20			
Marca:	Hyundai	Cilindrada:	2000
Modelo:	Sonata 4P 2.0 TM	PLACA:	ABB6401
Año:	2011	Régimen:	Ralentí

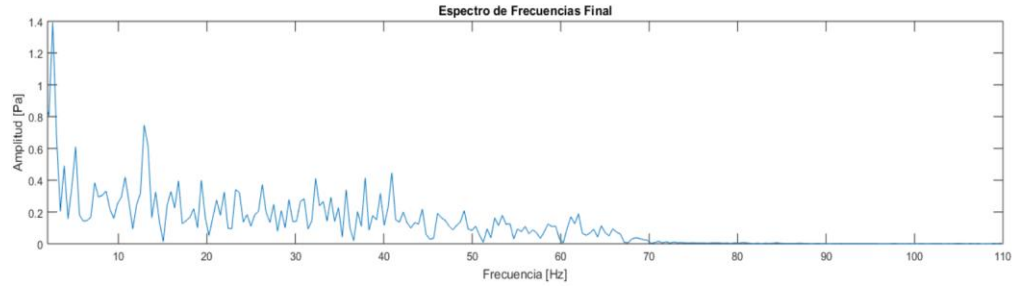
MUESTRA ORIGINAL





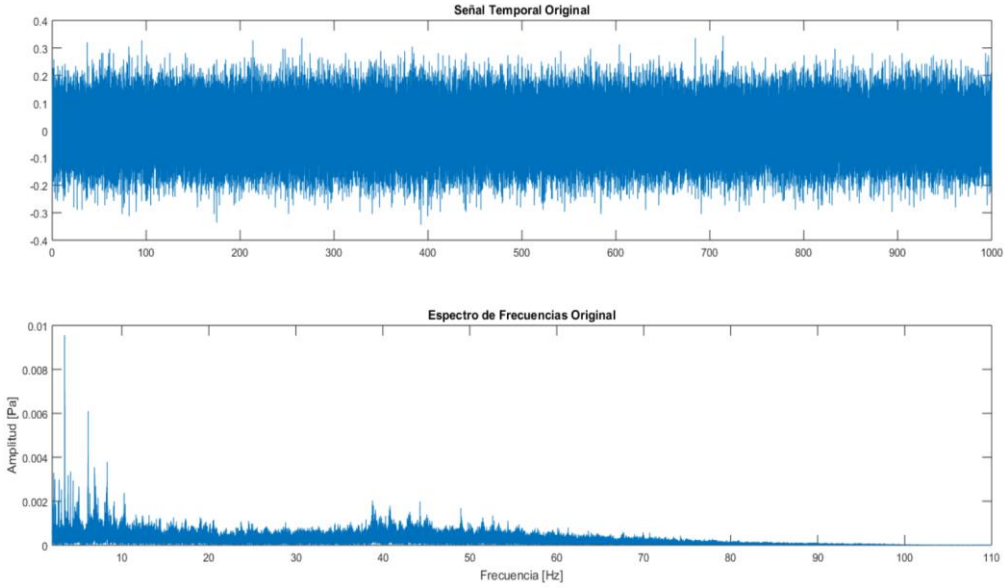
MUESTRA PROCESADA



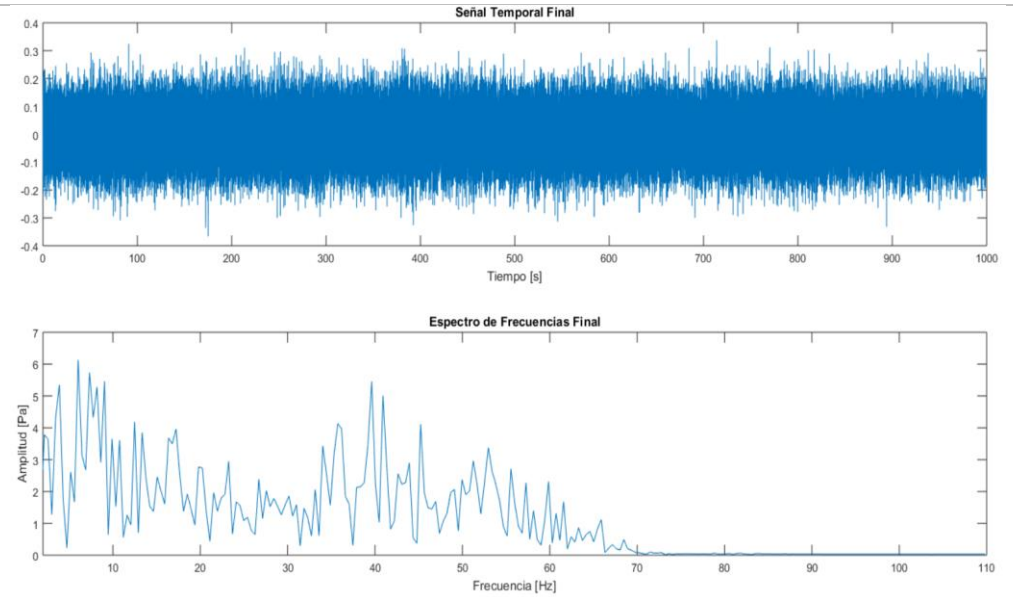


ESPECTRO DE FRECUENCIAS N° 21			
Marca:	Nissan	Cilindrada:	1600
Modelo:	Sentra M/T	PLACA:	AAM0693
Año:	1998	Régimen:	Ralentí Elevado

MUESTRA ORIGINAL

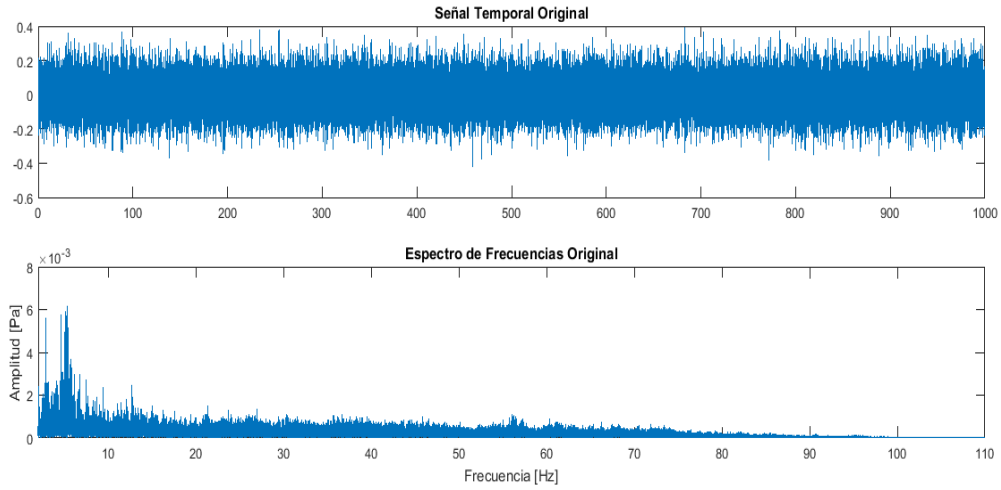


MUESTRA PROCESADA

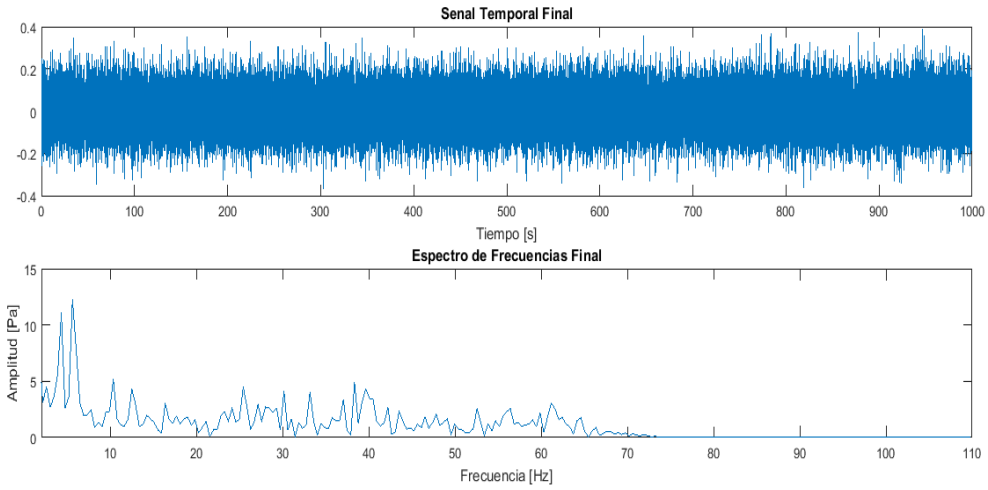


ESPECTRO DE FRECUENCIAS N° 22			
Marca:	Chevrolet	Cilindrada:	2300
Modelo:	Luv 4x2	PLACA:	AAN0264
Año:	1994	Régimen:	Ralentí Elevado

MUESTRA ORIGINAL

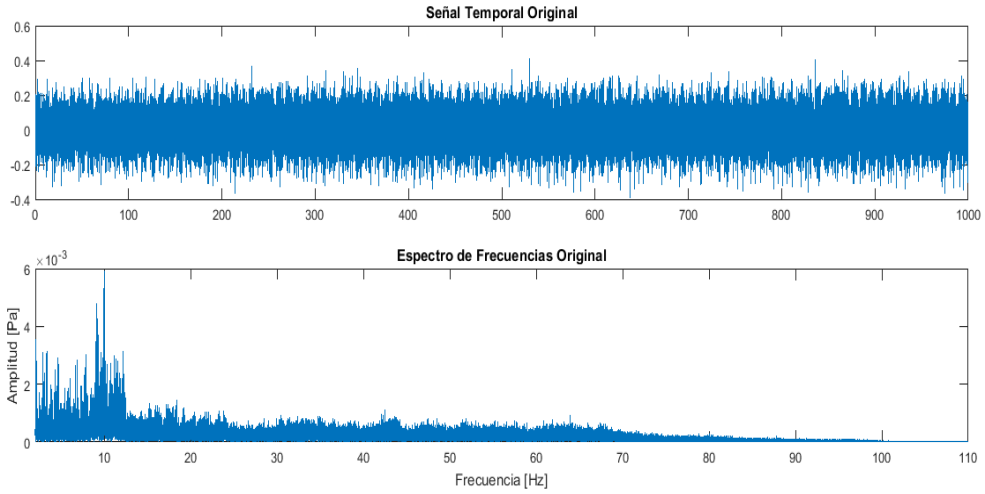


MUESTRA PROCESADA

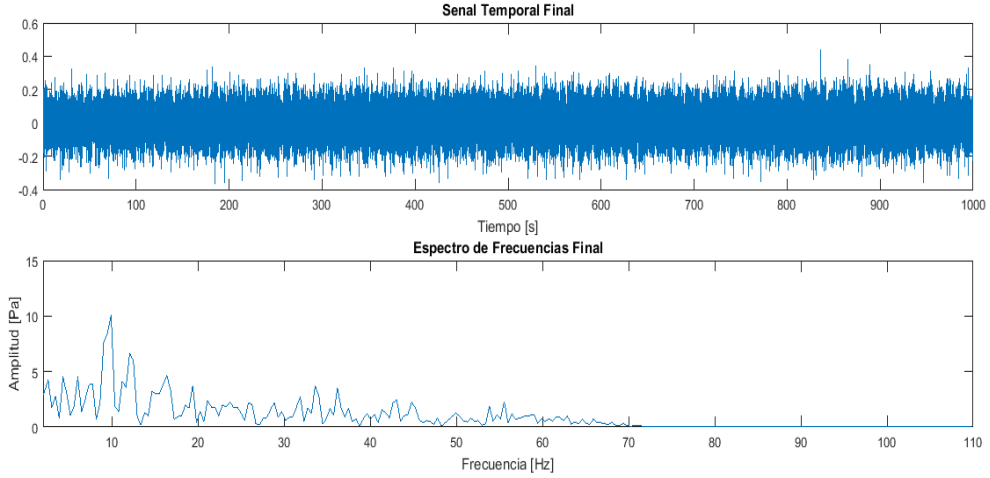


ESPECTRO DE FRECUENCIAS N° 23			
Marca:	Daewoo	Cilindrada:	1500
Modelo:	Cielo bx sedán	PLACA:	AAR0890
Año:	1999	Régimen:	Ralentí Elevado

MUESTRA ORIGINAL

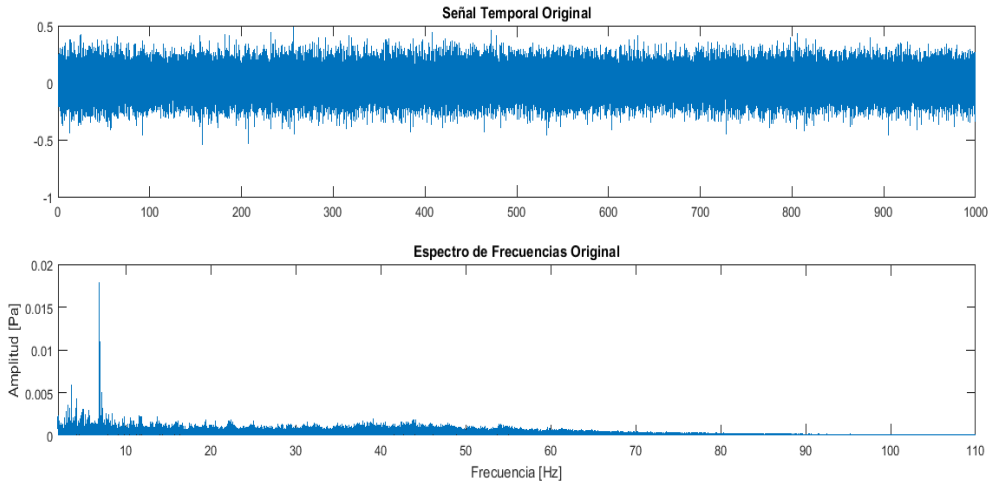


MUESTRA PROCESADA

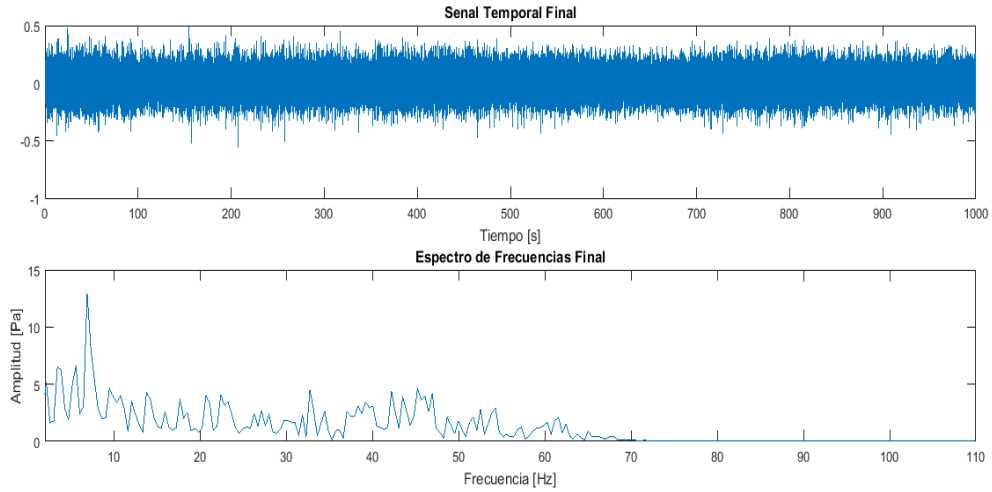


ESPECTRO DE FRECUENCIAS N° 24			
Marca:	Mazda	Cilindrada:	1500
Modelo:	323 SWFL	PLACA:	AAT0593
Año:	1997	Régimen:	Ralentí Elevado

MUESTRA ORIGINAL

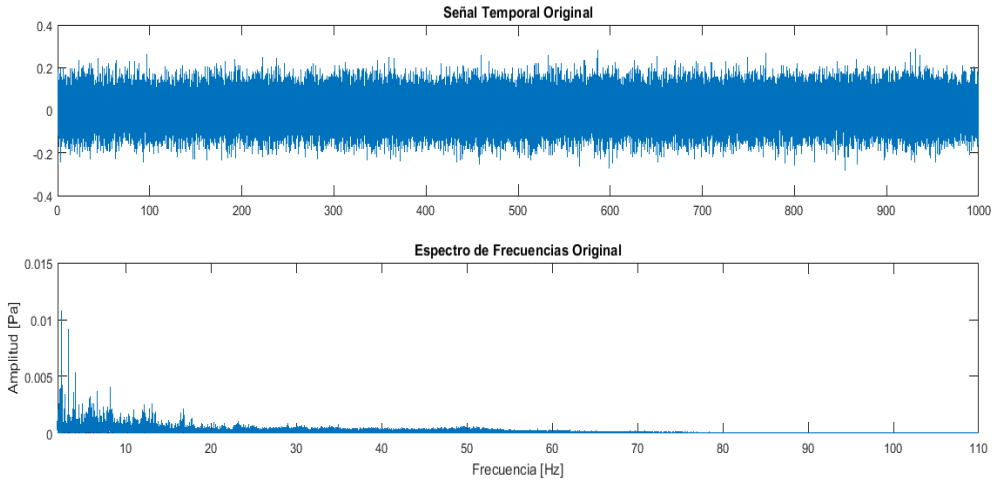


MUESTRA PROCESADA

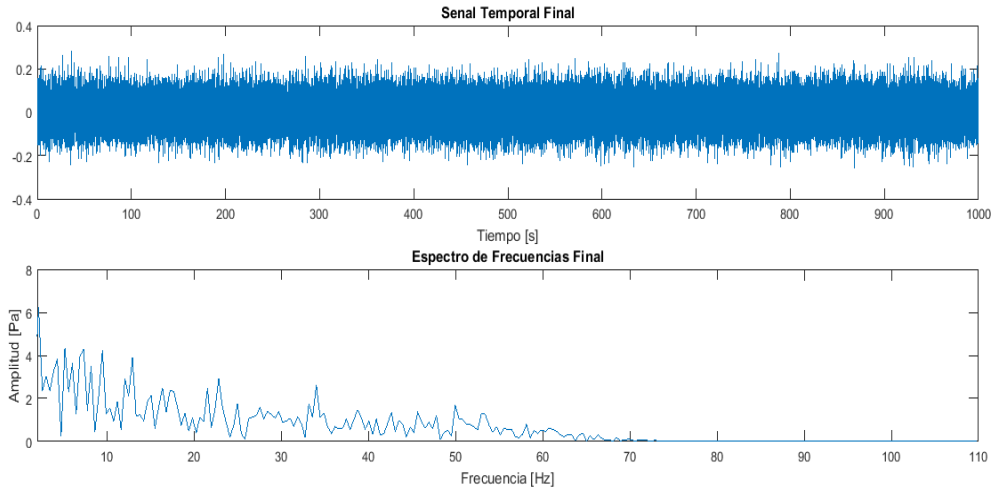


ESPECTRO DE FRECUENCIAS N° 25			
Marca:	Hyundai	Cilindrada:	1600
Modelo:	Accent 4DR	PLACA:	AAV0326
Año:	2005	Régimen:	Ralentí Elevado

MUESTRA ORIGINAL

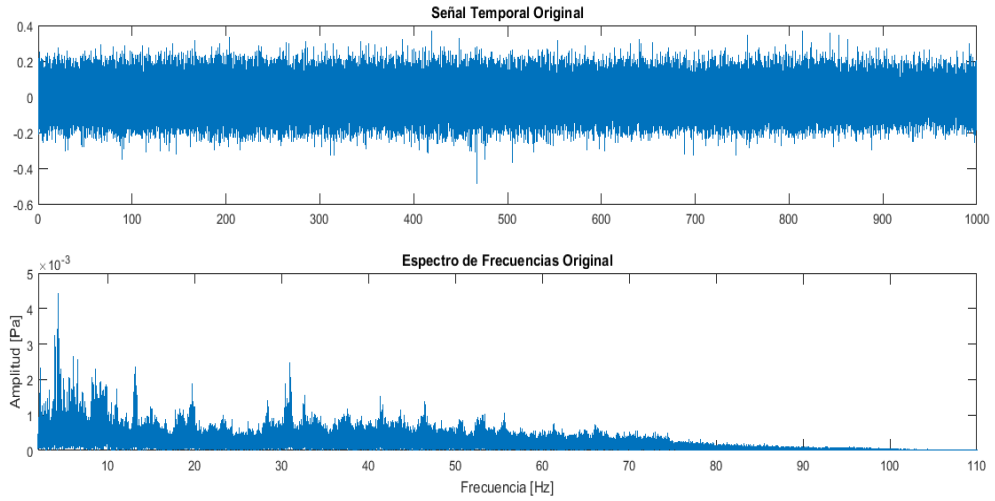


MUESTRA PROCESADA

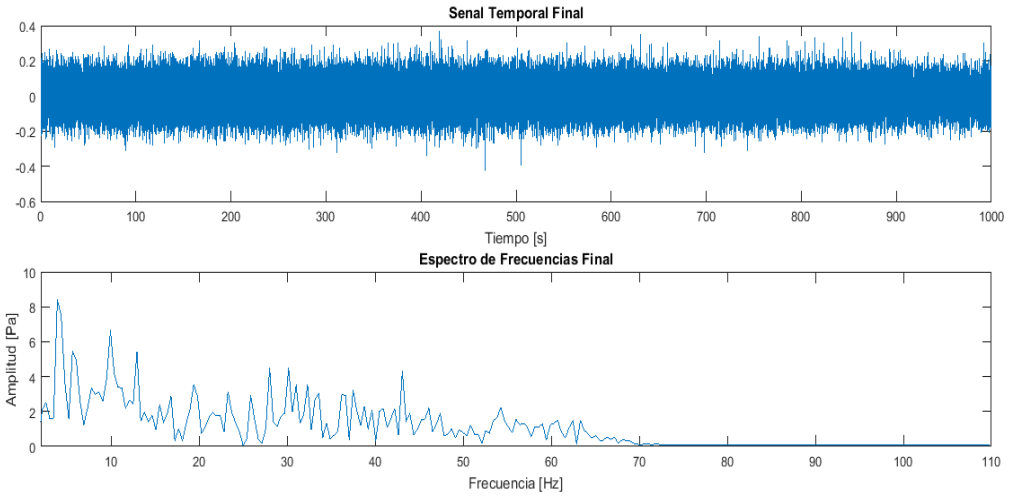


ESPECTRO DE FRECUENCIAS N° 26			
Marca:	Chevrolet	Cilindrada:	1600
Modelo:	Chevytaxi	PLACA:	AAW0112
Año:	2006	Régimen:	Ralentí Elevado

MUESTRA ORIGINAL

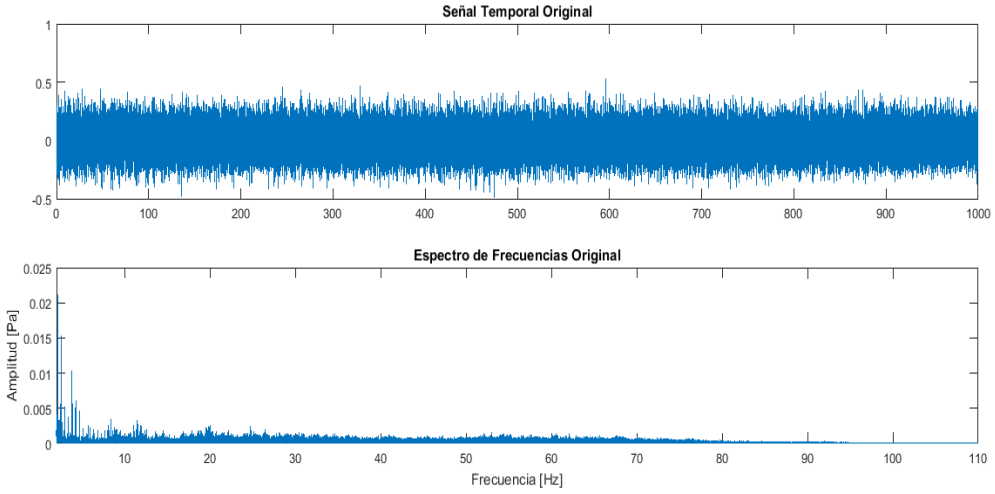


MUESTRA PROCESADA

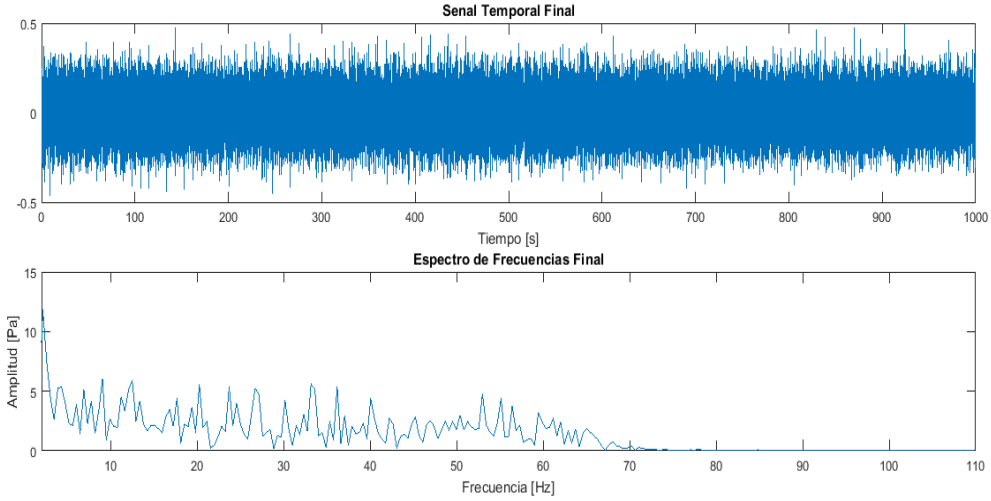


ESPECTRO DE FRECUENCIAS N° 27			
Marca:	Toyota	Cilindrada:	1300
Modelo:	Yaris Nitro 5P	PLACA:	ABA1732
Año:	2009	Régimen:	Ralentí Elevado

MUESTRA ORIGINAL

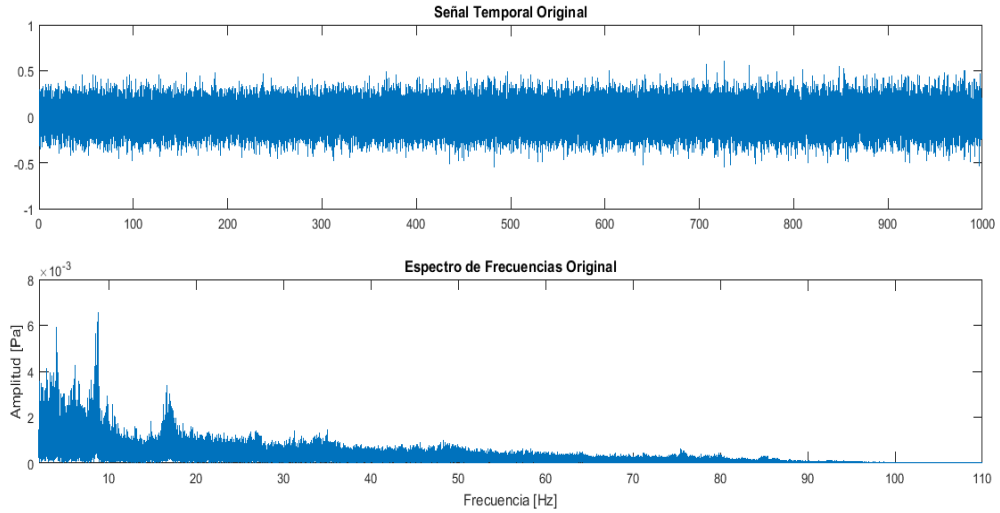


MUESTRA PROCESADA

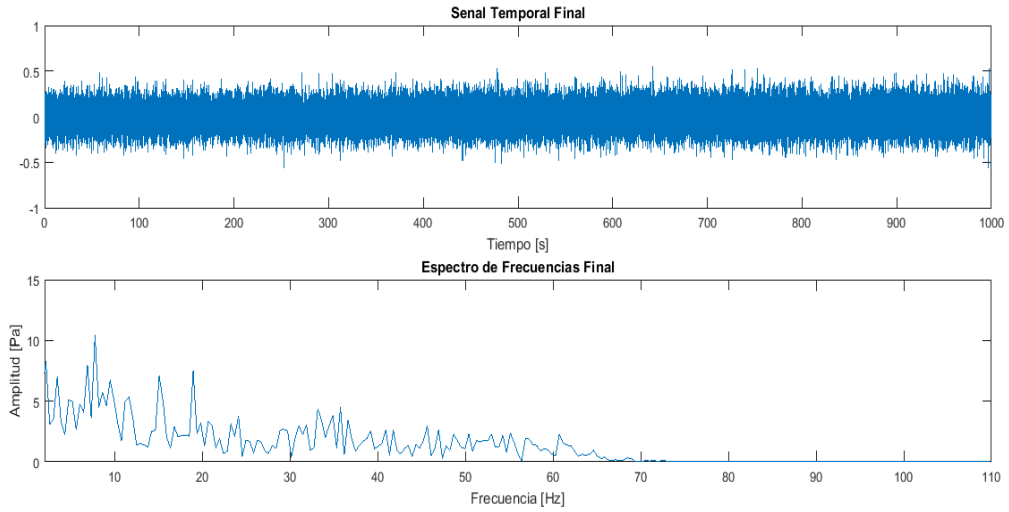


ESPECTRO DE FRECUENCIAS N° 28			
Marca:	Nissan	Cilindrada:	1200
Modelo:	1200	PLACA:	ABA2463
Año:	1997	Régimen:	Ralentí Elevado

MUESTRA ORIGINAL

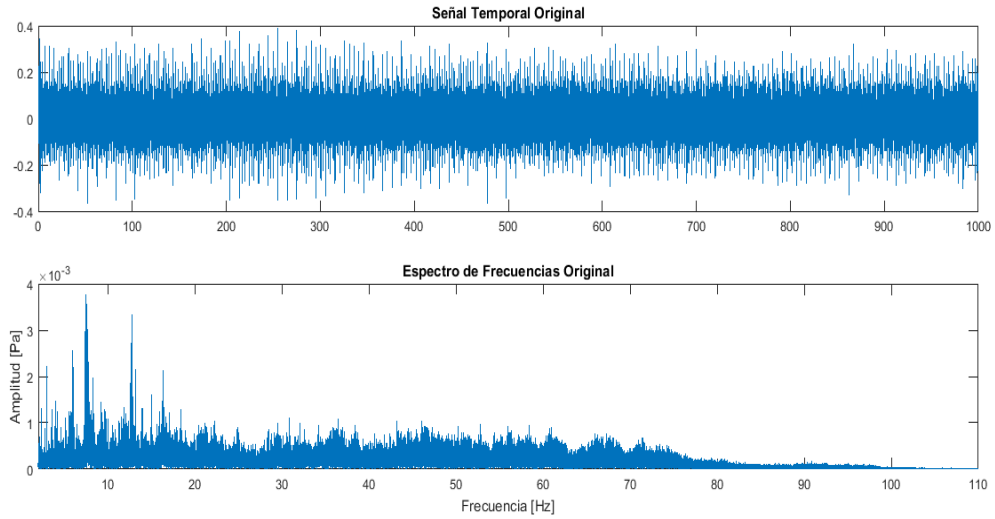


MUESTRA PROCESADA

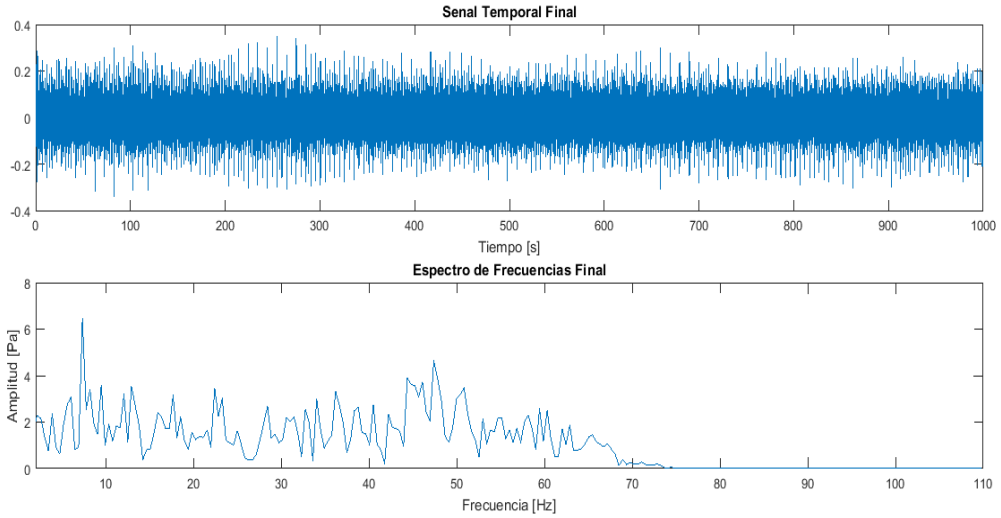


ESPECTRO DE FRECUENCIAS N° 29			
Marca:	Chevrolet	Cilindrada:	1000
Modelo:	Spark 5P Activo	PLACA:	ABA3243
Año:	2010	Régimen:	Ralentí Elevado

MUESTRA ORIGINAL

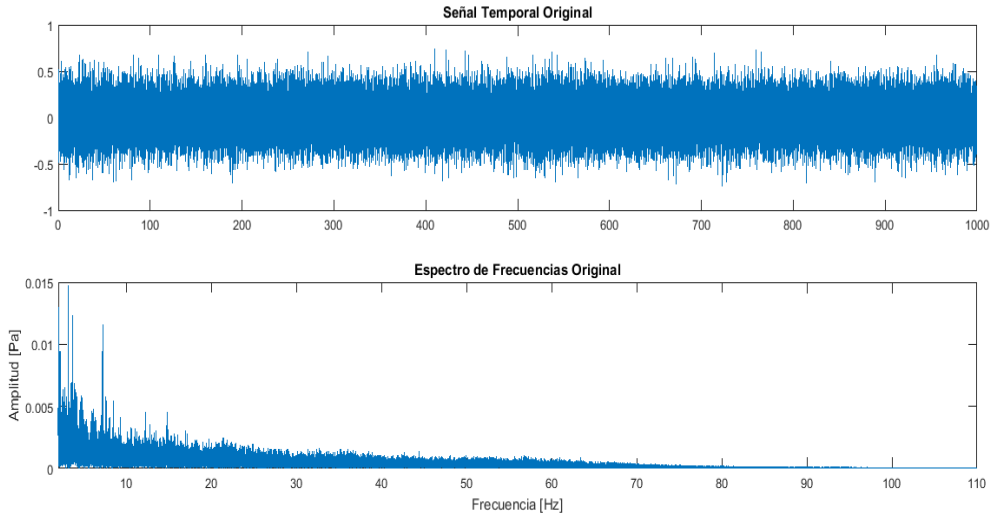


MUESTRA PROCESADA

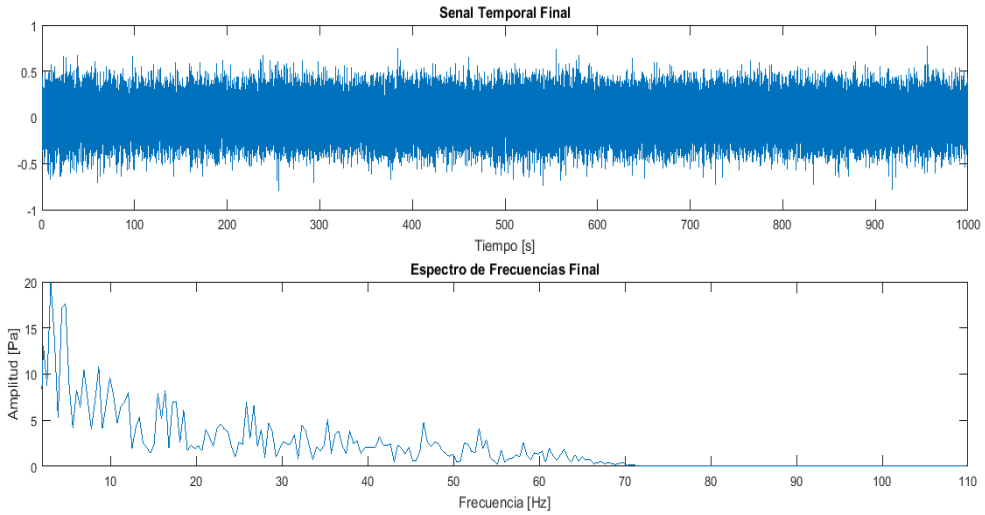


ESPECTRO DE FRECUENCIAS N° 30			
Marca:	Toyota	Cilindrada:	2700
Modelo:	Hilux 4x2	PLACA:	ABA3343
Año:	2010	Régimen:	Ralentí Elevado

MUESTRA ORIGINAL

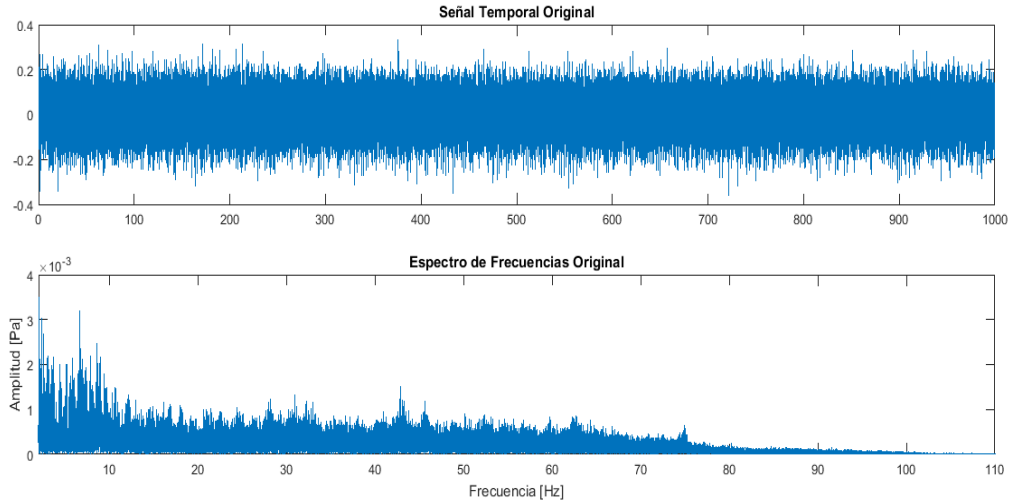


MUESTRA PROCESADA

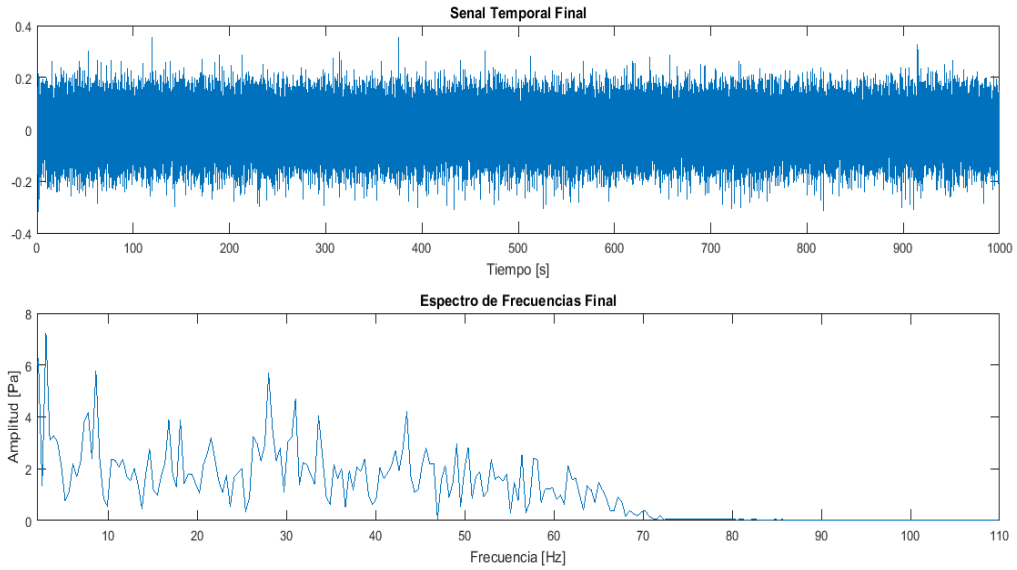


ESPECTRO DE FRECUENCIAS N° 31			
Marca:	Hyundai	Cilindrada:	2000
Modelo:	Tucson 4x2 5P	PLACA:	ABA4713
Año:	2011	Régimen:	Ralentí Elevado

MUESTRA ORIGINAL

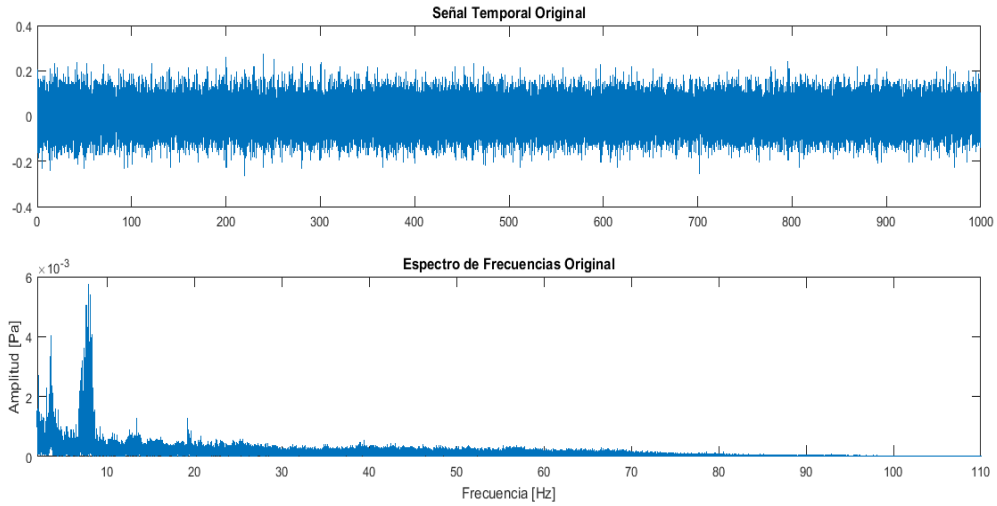


MUESTRA PROCESADA

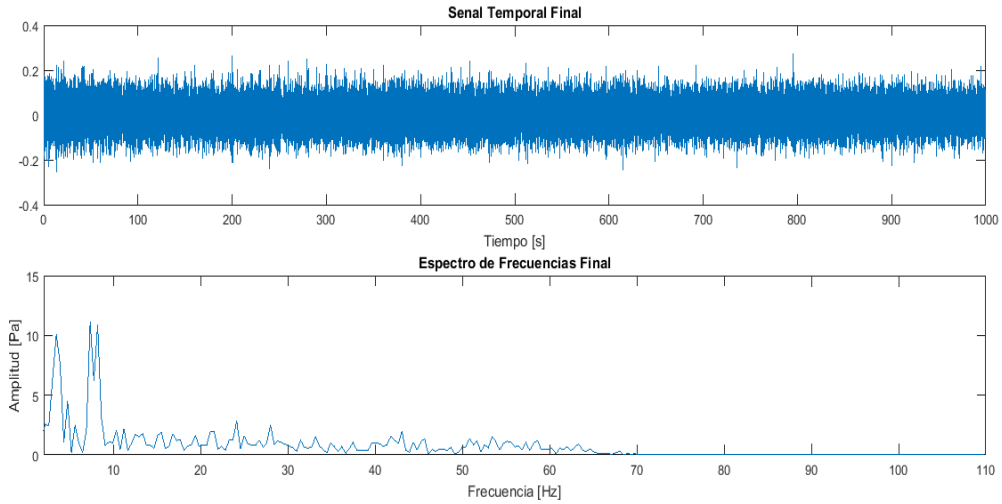


ESPECTRO DE FRECUENCIAS N° 32			
Marca:	Nissan	Cilindrada:	2000
Modelo:	Sentra Sport	PLACA:	ABA6113
Año:	2011	Régimen:	Ralentí Elevado

MUESTRA ORIGINAL

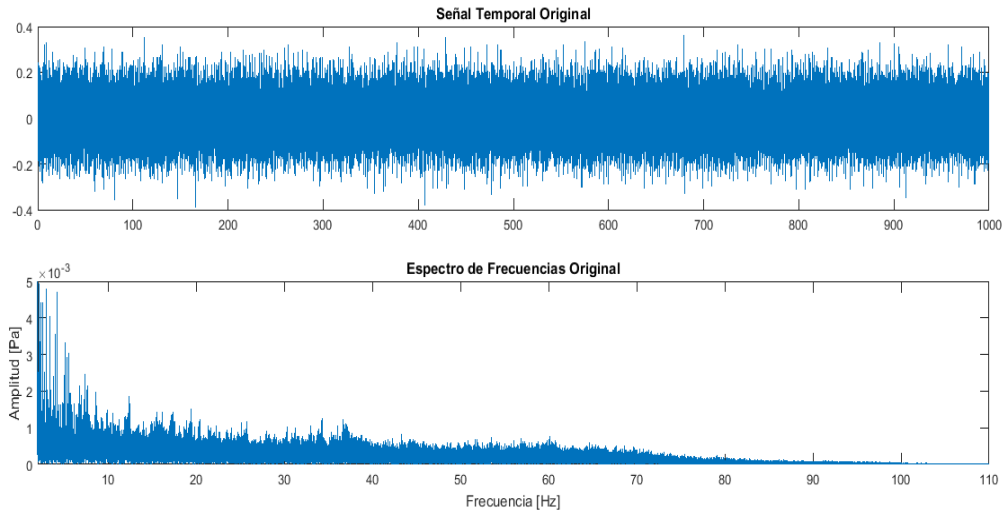


MUESTRA PROCESADA

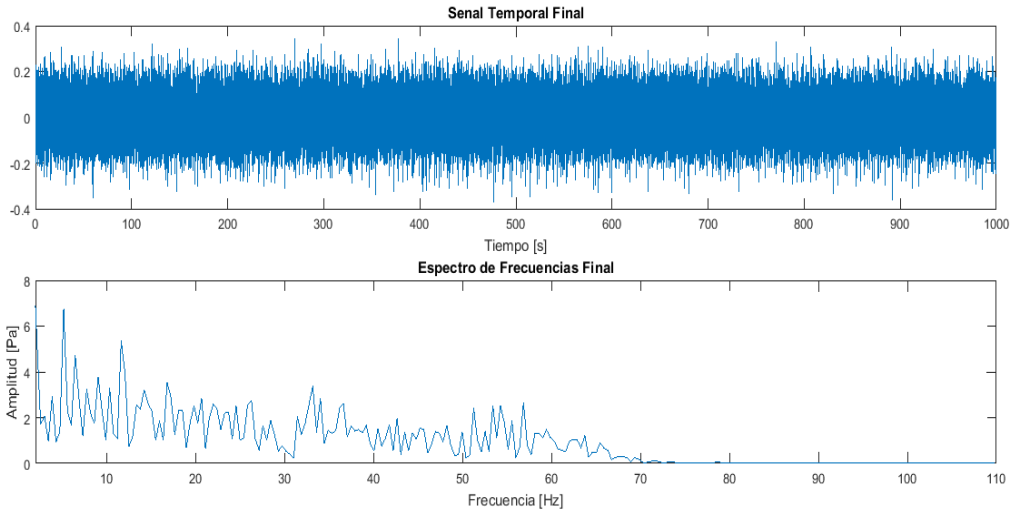


ESPECTRO DE FRECUENCIAS N° 33			
Marca:	Suzuki	Cilindrada:	2000
Modelo:	Grand Votará 5P 4x2	PLACA:	ABB1423
Año:	2011	Régimen:	Ralentí Elevado

MUESTRA ORIGINAL

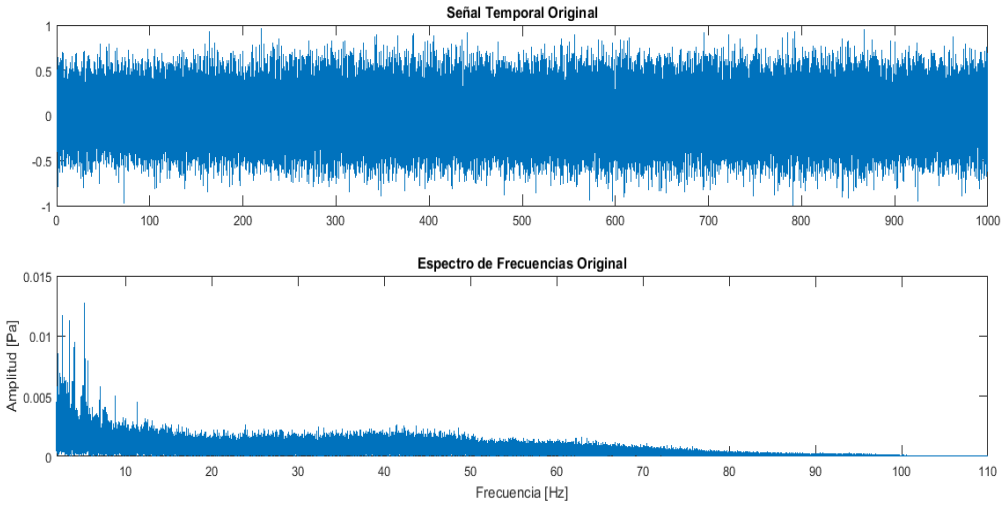


MUESTRA PROCESADA

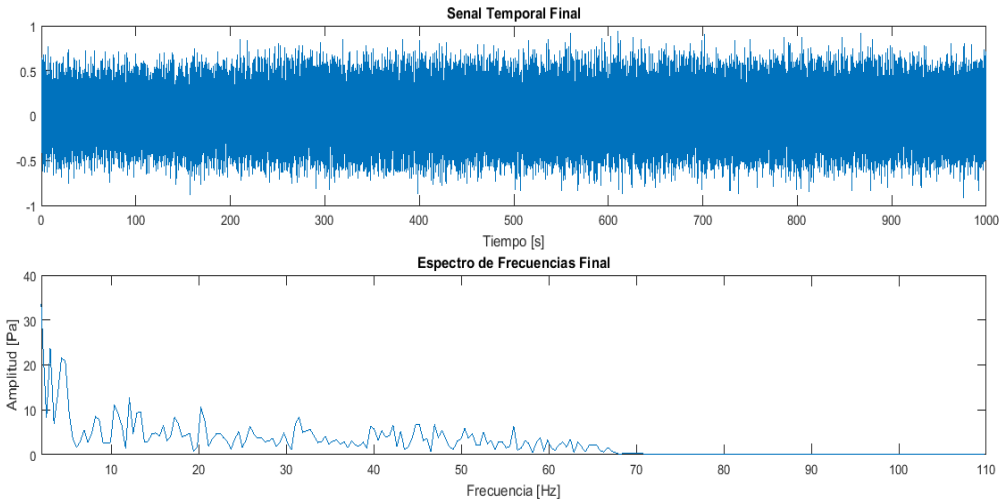


ESPECTRO DE FRECUENCIAS N° 34			
Marca:	Mazda	Cilindrada:	2200
Modelo:	BT50 4x2	PLACA:	ABB1593
Año:	2010	Régimen:	Ralentí Elevado

MUESTRA ORIGINAL

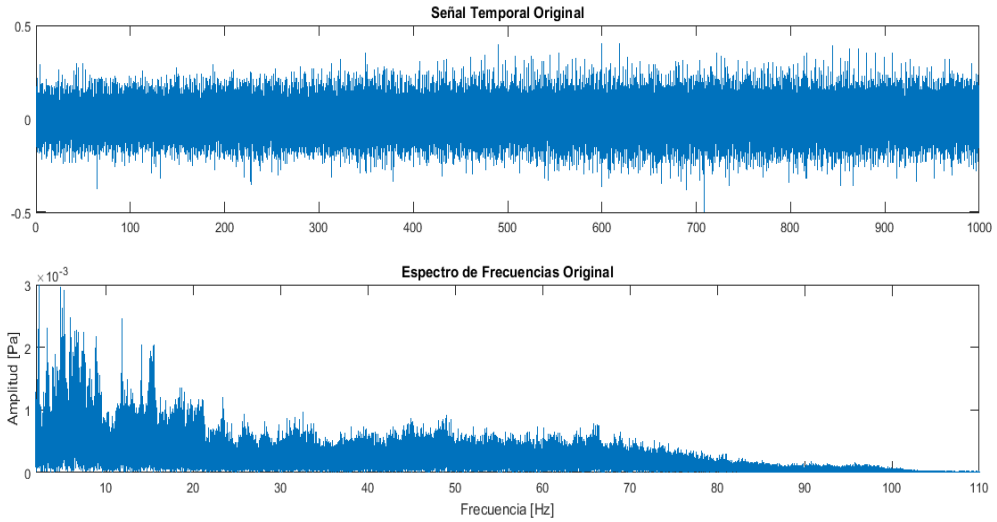


MUESTRA PROCESADA

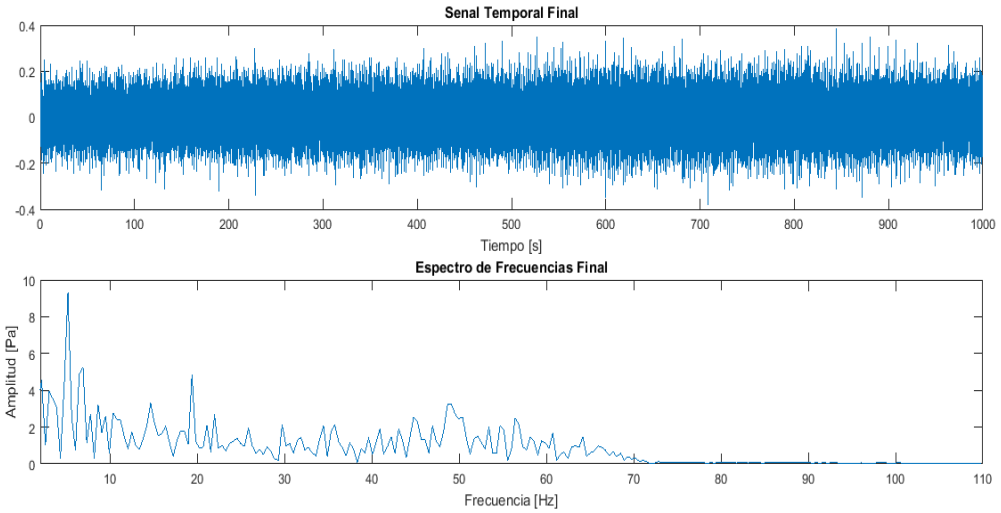


ESPECTRO DE FRECUENCIAS N° 35			
Marca:	Chevrolet	Cilindrada:	1500
Modelo:	Aveo Family	PLACA:	ABB2358
Año:	2011	Régimen:	Ralentí Elevado

MUESTRA ORIGINAL

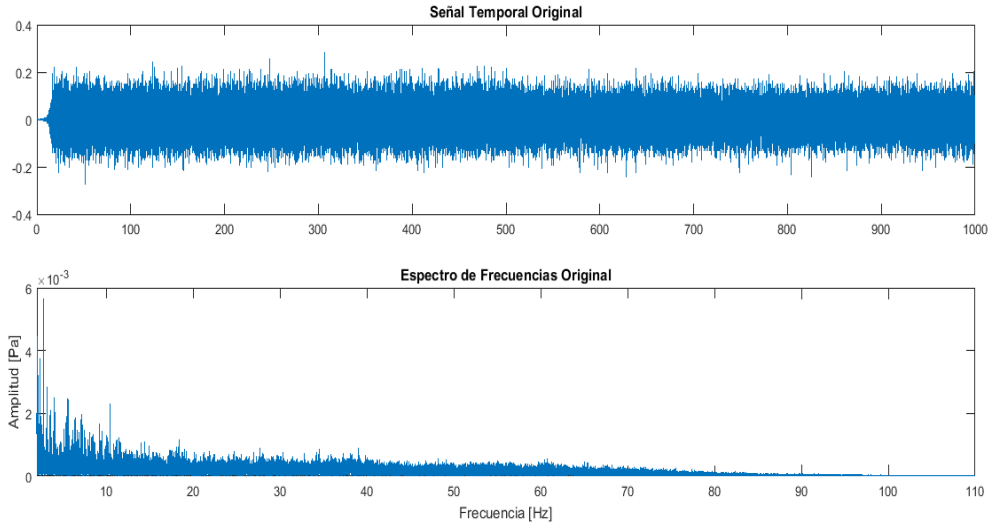


MUESTRA PROCESADA

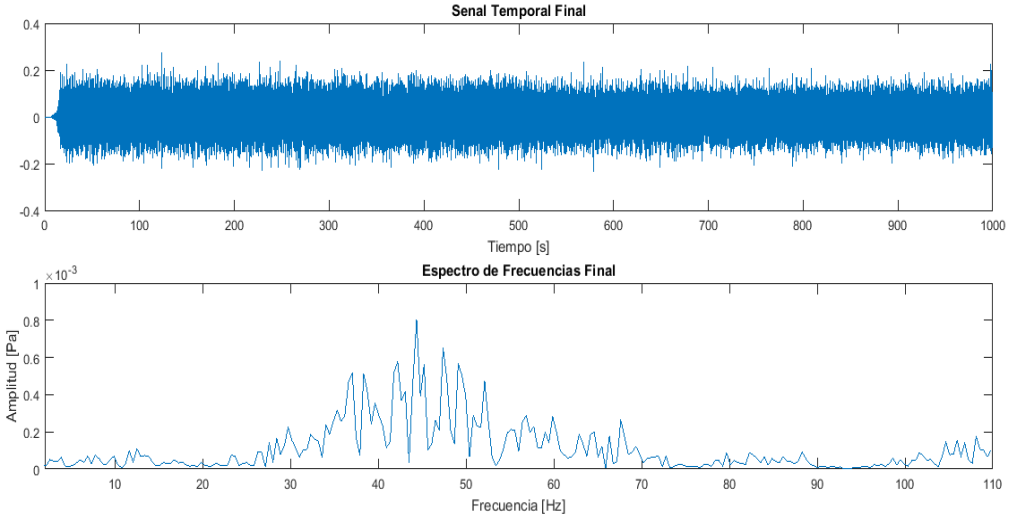


ESPECTRO DE FRECUENCIAS N° 36			
Marca:	Hyundai	Cilindrada:	2400
Modelo:	Santa Fe 4x4	PLACA:	ABB2371
Año:	2010	Régimen:	Ralentí Elevado

MUESTRA ORIGINAL

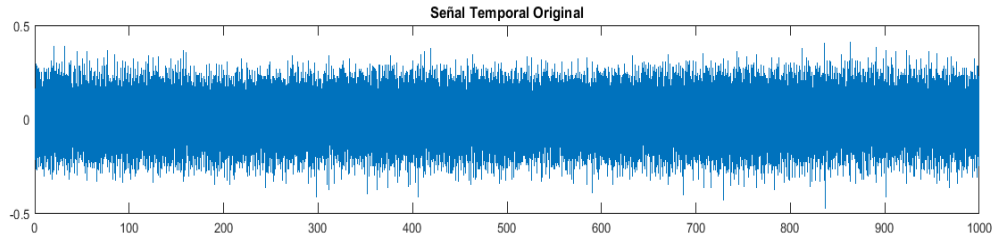


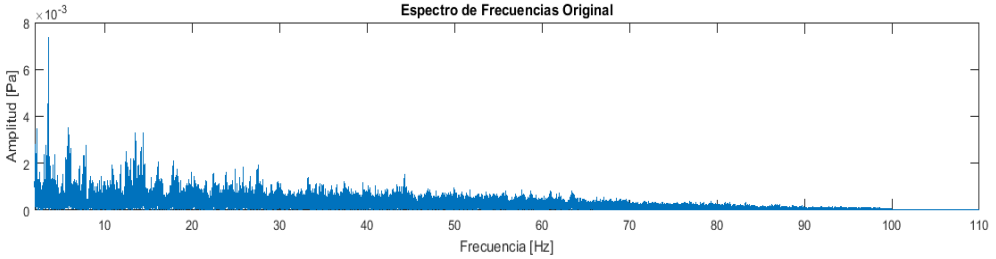
MUESTRA PROCESADA



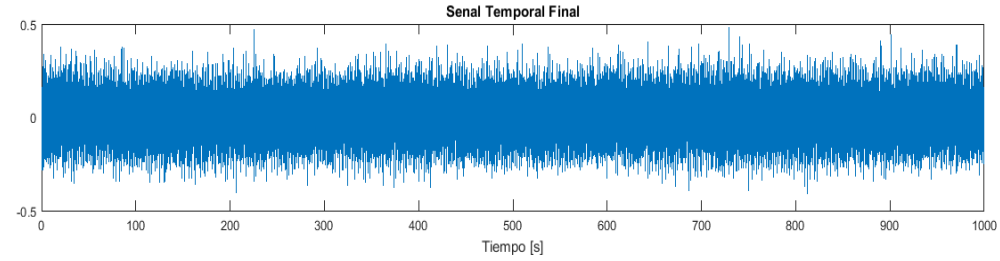
ESPECTRO DE FRECUENCIAS N° 37			
Marca:	Renault	Cilindrada:	1600
Modelo:	Sendero Dynamique	PLACA:	ABB2521
Año:	2011	Régimen:	Ralentí Elevado

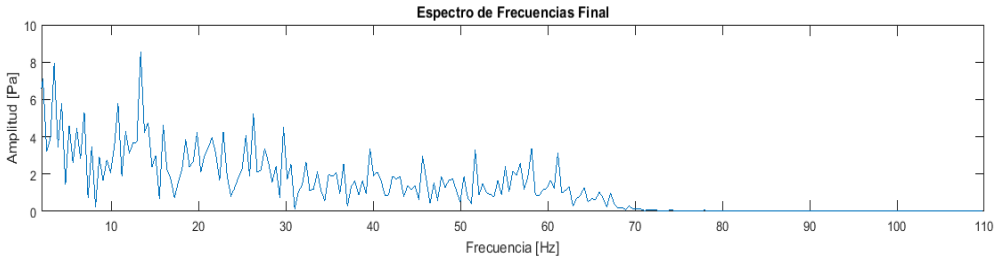
MUESTRA ORIGINAL





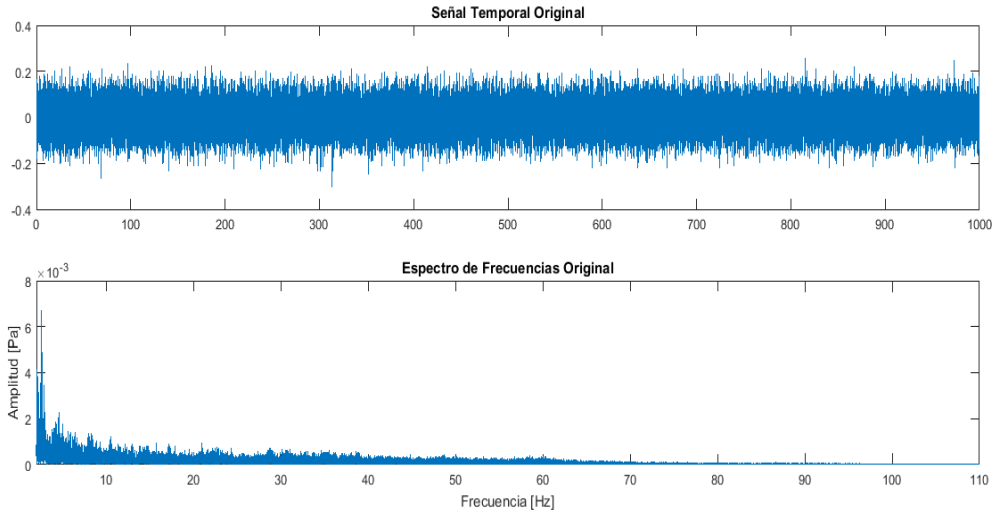
MUESTRA PROCESADA



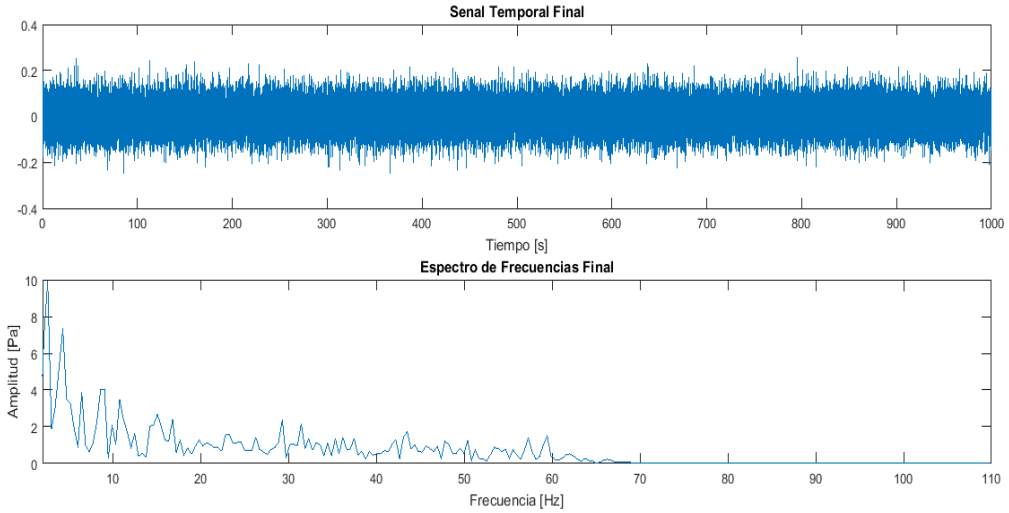


ESPECTRO DE FRECUENCIAS N° 38			
Marca:	Kia	Cilindrada:	1400
Modelo:	Rio 4P	PLACA:	ABB3803
Año:	2011	Régimen:	Ralentí Elevado

MUESTRA ORIGINAL

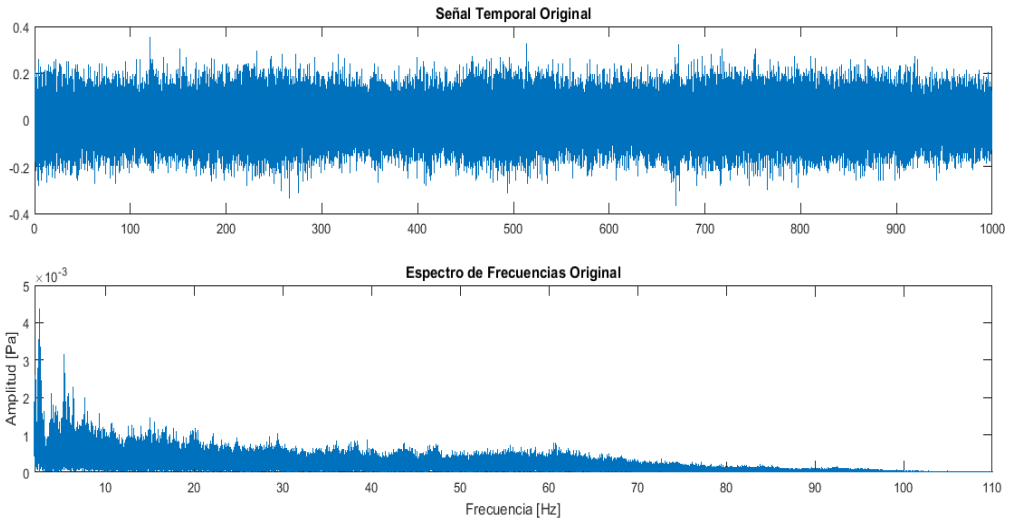


MUESTRA PROCESADA

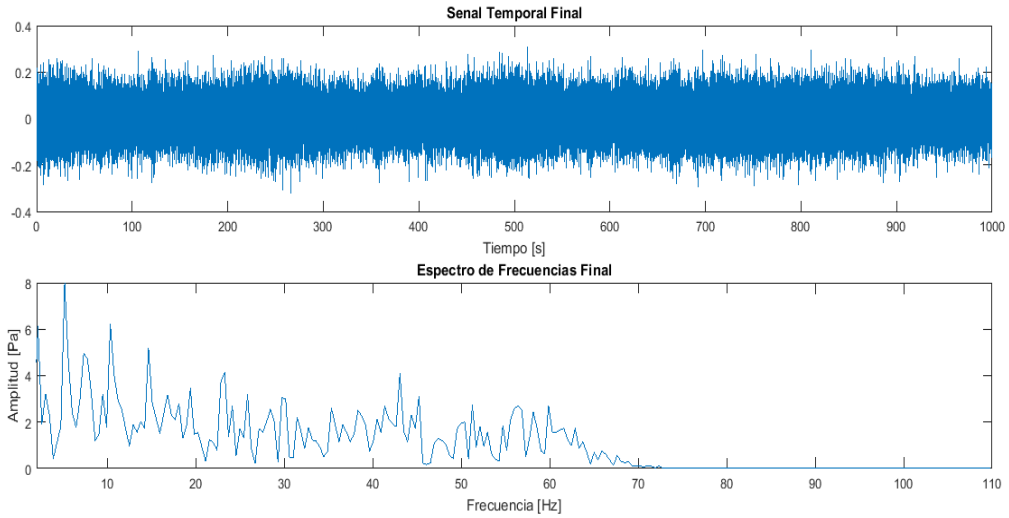


ESPECTRO DE FRECUENCIAS N° 39			
Marca:	Hyundai	Cilindrada:	2000
Modelo:	Sonata 4P	PLACA:	ABB6401
Año:	2011	Régimen:	Ralentí Elevado

MUESTRA ORIGINAL

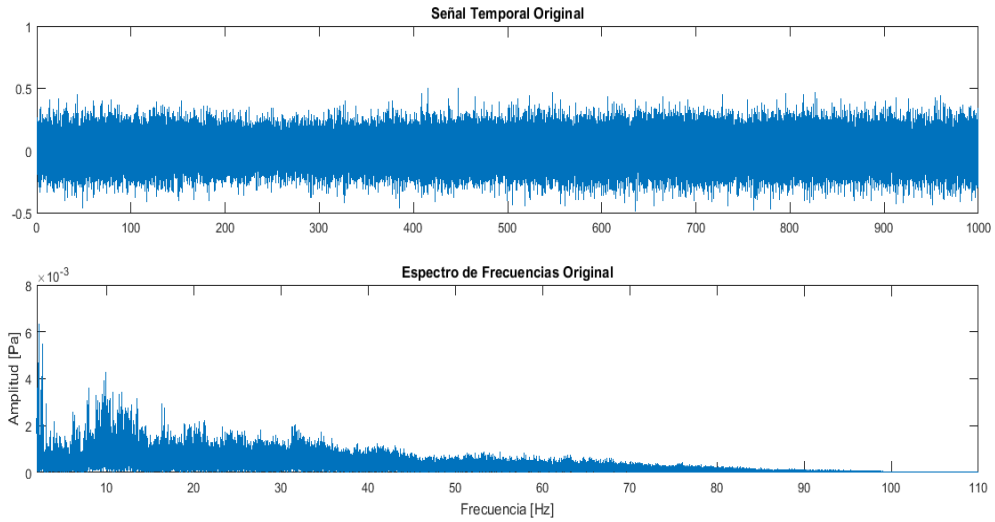
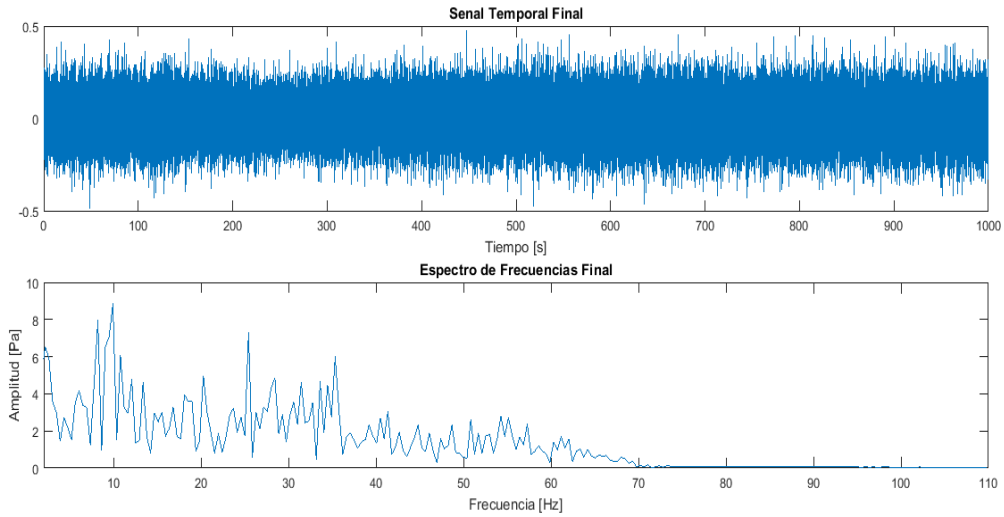


MUESTRA PROCESADA



ESPECTRO DE FRECUENCIAS N° 40			
Marca:	Nissan	Cilindrada:	2400
Modelo:	Frontier 4x2	PLACA:	ABB7270
Año:	2011	Régimen:	Ralentí Elevado

MUESTRA ORIGINAL



MUESTRA PROCESADA