



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL

**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA E
INDUSTRIAS**

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

**DETERMINACIÓN DEL GRADO DE AMORTIGUACIÓN QUE
CUMPLE UN BLOCK DE FUNDICIÓN DE UN MOTOR EN
FUNCIONAMIENTO**

**TRABAJO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO
DE INGENIERO AUTOMOTRIZ**

ADRIÁN PATRICIO JIMÉNEZ CAJAS

DIRECTOR: ING. CARLOS ROSALES MEDINA

Quito, mayo 2016

© Universidad Tecnológica Equinoccial. 2016
Reservados todos los derechos de reproducción.

DECLARACIÓN

Yo **ADRIÁN PATRICIO JIMÉNEZ CAJAS**, declaro que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Universidad Tecnológica Equinoccial puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.




Adrián Patricio Jiménez Cajas

C.I. 172334667-0

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo que lleva por título “**Determinación del grado de amortiguación que cumple un block de fundición de un motor en funcionamiento**”, que, para aspirar al título de **Ingeniero Automotriz** fue desarrollado por **Adrián Jiménez**, bajo mi dirección y supervisión, en la Facultad de Ciencias de la Ingeniería; y cumple con las condiciones requeridas por el reglamento de Trabajos de Titulación artículos 18 y 25.



Ing. Carlos Rosales Medina
DIRECTOR DEL TRABAJO

C.I. 180196922-9

DEDICATORIA

El presente trabajo se lo dedico a Dios que siempre ha guiado mi camino y es la luz que alumbra mi vida.

A mis padres Patricio y Marlene, por todo el sacrificio que han hecho para darme todo lo necesario sin esperar nada a cambio, especialmente a mi madre Marlene que siempre estuvo pendiente de mí con sus oraciones.

A mis hermanos Ismael, Andrea y Brandon, que fueron mis mejores amigos y mi soporte en los momentos duros que atravesé.

Y a Los Primos porque no sé dónde estaría sin ellos, quizás me hubiera graduado hace mucho tiempo o quizás no pero han estado ahí, aunque sea molestando pero han estado ahí.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por haberme dado la vida, la salud y bendecirme en todo el transcurso de mi carrera.

A la Universidad Tecnológica Equinoccial porque en ella pase los mejores momentos que hasta ahora he vivido, llenos de aprendizaje y caídas superadas.

A mis padres, por todo su amor, apoyo incondicional y por la paciencia brindada que me ayudo a culminar este proyecto.

A los Ingenieros Carlos Rosales, Milton Revelo y Lenin Valencia por haberme asesorado en el proyecto.

A todos los maestros de mi carrera estudiantil que de la mejor manera estuvieron ahí para enseñarme y guiarme.

Y a todas las personas que estuvieron pendiente de que culmine esta etapa de mi vida.

FORMULARIO DE REGISTRO BIBLIOGRÁFICO
PROYECTO DE TITULACIÓN

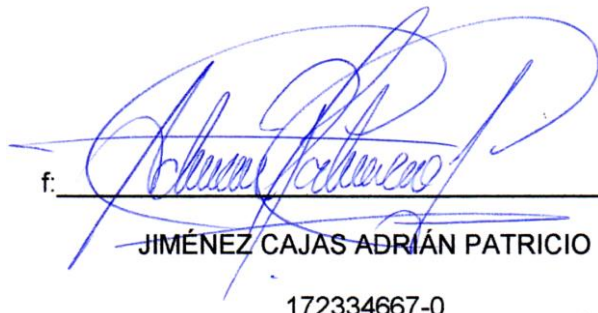
DATOS DE CONTACTO	
CÉDULA DE IDENTIDAD:	172334667-0
APELLIDO Y NOMBRES:	JIMÉNEZ CAJAS ADRIÁN PATRICIO
DIRECCIÓN:	COTOPAXI N9-48 Y ORIENTE
EMAIL:	adr_1601@hotmail.com
TELÉFONO FIJO:	023150654
TELÉFONO MOVIL:	0995902585

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	DETERMINACIÓN DEL GRADO DE AMORTIGUACIÓN QUE CUMPLE UN BLOCK DE FUNDICIÓN EN FUNCIONAMIENTO
AUTOR O AUTORES:	JIMÉNEZ CAJAS ADRIÁN PATRICIO
FECHA DE ENTREGA DEL PROYECTO DE TITULACIÓN:	24 DE MAYO DE 2016
DIRECTOR DEL PROYECTO DE TITULACIÓN:	ING. CARLOS ROSALES MEDINA
PROGRAMA	PREGRADO <input checked="" type="checkbox"/> POSGRADO <input type="checkbox"/>
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	INGENIERO AUTOMOTRIZ
RESUMEN: Mínimo 250 palabras	Este proyecto tuvo la finalidad de comprobar la amortiguación de las vibraciones que se generan en el interior de un bloque de cilindros de un motor que se encuentra en funcionamiento, teniendo en cuenta el material de fabricación del mismo, para lo cual se tomó un bloque de fundición de aluminio de un motor

	<p>de un Suzuki Forsa 1 de 1990. Para las mediciones fueron tomados varios puntos siguiendo las normas para mediciones de vibración. Se realizó las respectivas mediciones con el analizador de vibraciones DigivibeMX, un equipo especializado en la recepción de las vibraciones, por medio de los acelerómetros piezoeléctricos colocados en puntos estratégicos. Para un mejor análisis se tomó medidas en dos rangos diferentes de operación del vehículo una en ralentí y la otra a 2000 rpm. Una vez tomadas las respectivas mediciones, el programa proporcionó los espectros de frecuencias y los valores los cuales indicaron en qué estado se encontraba la máquina en la cual se realizaron las mediciones. Según los resultados obtenidos se analizaron los datos para así determinar la severidad de las vibraciones y comparamos si las vibraciones internas son más intensas que las externas tanto en frecuencia como en amplitud. Con eso se pudo confirmar el hecho de que el bloque de fundición amortigua y absorbe las vibraciones internas para que externamente no se provoque mucha vibración. También se pudo verificar en qué condiciones se encontraba el motor y si era necesario realizar un mantenimiento del mismo o de las bases que lo sostienen. Las vibraciones van relacionadas directamente con la vida útil del motor de dos maneras; un alto nivel de vibraciones indica que el motor está entrando en una fase de avería o sus soportes ya necesitan un ajuste o cambio, en cambio un bajo nivel de vibraciones dice que el motor está funcionando correctamente.</p>
PALABRAS CLAVES:	Vibración, DigivibeMX, Mantenimiento, Bloque de motor
ABSTRACT:	<p>This project aimed to check the damping of vibrations generated inside a cylinder block of an engine is in operation, taking into account the material of manufacture thereof, for which a block was taken cast aluminum engine of a Suzuki Forsa 1, 1990. For measurements were taken several points following the standards for</p>

	<p>vibration measurements. The measurements were performed with the vibration analyzer DigivibeMX, a specialized device in receiving vibrations through piezoelectric accelerometers placed at strategic points. For a better analysis were taken measures in two different ranges of vehicle operation at neutral and the other at 2000 rpm. Once the respective measurements were taken, the program provided us the frequency spectrums and values which told us the condition of the machine on which the measurements were doing was. According to the results obtained data were analyzed to determine the severity of the vibrations and compared if internal vibrations are more intense than the external both frequency and amplitude. With that we could confirm that the cast block cushions and absorbs vibrations internal to externally much vibration is caused. We also realized under what conditions it was engine and if necessary perform maintenance thereof or bases that support. The vibrations are directly related to the life of the engine in two ways; a high level of vibration indicates that the engine is entering a phase fault or its supports longer need an adjustment or change, whereas a low vibration level tells us that the engine is working properly.</p>
KEYWORDS	Vibration, DigivibeMX, Maintenance, Block

Se autoriza la publicación de este Proyecto de Titulación en el Repositorio Digital de la Institución.

f. 

JIMÉNEZ CAJAS ADRIÁN PATRICIO

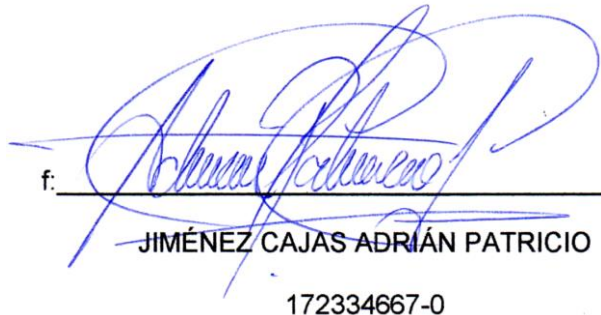
172334667-0

DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **JIMÉNEZ CAJAS ADRIÁN PATRICIO**, con CI 172334667-0 autor del proyecto titulado: **Determinación del grado de amortiguación que cumple un block de fundición de un motor en funcionamiento** previo a la obtención del título de **INGENIERO AUTOMOTRIZ** en la Universidad Tecnológica Equinoccial.

1. Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las Instituciones de Educación Superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de graduación para que sea integrado al Sistema Nacional de información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.
2. Autorizo a la BIBLIOTECA de la Universidad Tecnológica Equinoccial a tener una copia del referido trabajo de graduación con el propósito de generar un Repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Quito, 24 de mayo de 2016

f: 

JIMÉNEZ CAJAS ADRIÁN PATRICIO
172334667-0

ÍNDICE DE CONTENIDOS

PÁGINA

RESUMEN	xi
ABSTRACT	xii
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 PROBLEMA	2
1.2 JUSTIFICACIÓN	3
1.3 OBJETIVOS DEL PROYECTO.....	3
1.3.1. OBJETIVO GENERAL.....	3
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	4
2. MARCO TEÓRICO	5
2.1 EL AUTOMÓVIL.....	5
2.2 SISTEMAS DEL AUTOMÓVIL.....	6
2.2.1 SISTEMA DE ALIMENTACIÓN	6
2.2.2 SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN	7
2.2.3 SISTEMA DE LUBRICACIÓN	8
2.2.4 SISTEMA DE REFRIGERACIÓN	9
2.2.5 SISTEMA ELÉCTRICO Y ELECTRÓNICO	10
2.2.6 SISTEMA DE TRANSMISIÓN	11
2.2.7 SISTEMA DE SUSPENSIÓN	11

2.2.8 SISTEMA DE DIRECCIÓN.....	12
2.2.9 SISTEMA DE FRENOS.....	13
2.3 EL MOTOR.....	13
2.3.1 CICLOS DE FUNCIONAMIENTO DEL MOTOR.....	14
2.3.1.1 Primer tiempo (Admisión)	14
2.3.1.2 Segundo tiempo (Compresión)	14
2.3.1.3 Tercer tiempo (Explosión)	14
2.3.1.4 Cuarto Tiempo (Escape)	14
2.3.2 PARTES.....	15
2.3.2.1 Culata.....	15
2.3.2.2 Cáster	15
2.4 BLOQUE DE CILINDROS	16
2.4.1 CILINDRO	17
2.4.2 FUNCIÓN DEL BLOQUE DE CILINDROS	18
2.4.3 MATERIALES DEL BLOQUE DE CILINDROS.....	18
2.4.3.1 Fundición de Hierro Gris.....	19
2.4.3.2 Aleación de Aluminio	20
2.4.3.3 Fundición de Hierro con Grafito Compactado.....	20
2.4.4 TIPOS	21
2.4.4.1 Bloque integral	21
2.4.4.2 Bloque encamisado.....	22
2.4.4.3 Cilindros en línea.....	23
2.4.4.4 Cilindros en “V”	24
2.4.4.5 Cilindros en “V” estrecha:	24
2.4.4.6 Cilindros Opuestos	25
2.4.4.7 Cilindros en “W”.....	26

2.4.4.8 Cilindros en Estrella	27
2.5 MANTENIMIENTO	27
2.5.1 MISIÓN DEL MANTENIMIENTO	28
2.5.2 TIPOS DE MANTENIMIENTO	28
2.5.2.1 Mantenimiento Correctivo	29
2.5.2.2 Mantenimiento Proactivo	29
2.5.2.3 Mantenimiento Preventivo	29
2.5.2.4 Mantenimiento Cero horas (Overhaul)	30
2.5.2.5 Mantenimiento en uso	30
2.6 MANTENIMIENTO PREDICTIVO	31
2.6.1 VENTAJAS DEL MANTENIMIENTO PREDICTIVO	33
2.6.2 DESVENTAJAS DEL MANTENIMIENTO PREDICTIVO	34
2.6.3 MANTENIMIENTO PREDICTIVO BASADO EN ANÁLISIS DE VIBRACIONES	34
2.7 VIBRACIÓN	34
2.7.1 VIBRACIONES MECÁNICAS	35
2.7.1.1 Vibración Libre	36
2.7.1.2 Vibración Forzada	37
2.7.2 CARACTERÍSTICAS DE LA VIBRACIÓN	37
2.7.2.1 Frecuencia	37
2.7.2.2 Amplitud	38
2.7.2.3 Velocidad	39
2.7.2.4 Aceleración	40
2.7.2.5 Spike Energy	40
2.8 MEDICIÓN DE LA VIBRACIÓN	41
2.8.1 TRANSDUCTORES DE MEDICIÓN DE VIBRACIÓN	42

2.8.1.1 Transductor de Proximidad	42
2.8.1.2 Transductor de Velocidad.....	43
2.8.1.3 Acelerómetros	44
2.8.2 PUNTOS DE MEDICIÓN.....	45
2.8.2.1 Orientación de sensor de vibración	45
2.9 SEVERIDAD DE LA VIBRACIÓN	46
2.9.1 CLASIFICACIÓN DE LAS MÁQUINAS	47
3. METODOLOGÍA.....	49
3.1 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO	49
3.2 IDENTIFICACIÓN DE PUNTOS DE MEDICIÓN.....	50
3.3 MEDICIÓN	50
3.4 OBTENCIÓN DE RESULTADOS	50
3.5 INTERPRETACIÓN DE DATOS.....	51
4. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	52
4.1 IDENTIFICACIÓN DE LOS PUNTOS	52
4.2 CALIBRACIÓN DEL EQUIPO.....	55
4.3 MEDICIÓN	58
4.4 RESULTADOS DE LOS DATOS	61
4.4.1 PARTE LATERAL IZQUIERDA DEL BLOQUE.....	62
4.4.2 PARTE FRONTAL SUPERIOR DEL BLOQUE.....	68
4.4.3 PARTE FRONTAL INFERIOR DEL BLOQUE	74

4.4.4 PARTE LATERAL DERECHA DEL BLOQUE.....	80
4.4.5 PARTE POSTERIOR CENTRAL DEL BLOQUE	86
4.5 ANÁLISIS GENERAL	92
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	93
.1 CONCLUSIONES.....	93
5.2 RECOMENDACIONES.....	94
BIBLIOGRAFÍA.....	95
ANEXOS	98

ÍNDICE DE TABLAS

	PÁGINA
Tabla 1. Técnicas del mantenimiento predictivo	32
Tabla 2. Límites de vibración según norma ISO	47
Tabla 3. Valores de punto 1 ralentí.....	63
Tabla 4. Picos máximos punto 1 ralentí.....	65
Tabla 5. Valores de punto 1 a 2000 rpm.....	66
Tabla 6. Picos máximos punto 1 a 2000 rpm.....	68
Tabla 7. Valores de punto 2 en ralentí.....	69
Tabla 8. Picos máximos punto 2 en ralentí.....	71
Tabla 9. Valores de punto 2 a 2000 rpm.....	72
Tabla 10. Picos máximos punto 2 a 2000 rpm.....	74
Tabla 11. Valores de punto 3 en ralentí.....	75
Tabla 12. Picos máximos punto 3 ralentí.....	77
Tabla 13. Valores de punto 3 a 2000 rpm.....	78
Tabla 14. Picos máximos punto 3 a 2000 rpm.....	80
Tabla 15. Valores de punto 4 en ralentí.....	81
Tabla 16. Picos máximos punto 4 ralentí.....	83
Tabla 17. Valores de punto 4 a 2000 rpm.....	84
Tabla 18. Picos máximos punto 4 a 2000 rpm.....	86
Tabla 19. Valores de punto 5 en ralentí.....	87
Tabla 20. Picos máximos punto 5 ralentí.....	89
Tabla 21. Valores de punto 5 a 2000 rpm.....	90
Tabla 22. Picos máximos punto 5 a 2000 rpm.....	92

ÍNDICE DE FIGURAS

	PÁGINA
Figura 1. Primer automóvil	5
Figura 2. Circuito del sistema de alimentación	6
Figura 3. Sistema de distribución	7
Figura 4. Sistema de lubricación	8
Figura 5. Sistema de refrigeración	9
Figura 6. Sistema eléctrico.....	10
Figura 7. Sistema de transmisión.....	11
Figura 8. Sistema de suspensión	12
Figura 9. Sistema de dirección.....	12
Figura 10. Circuito del sistema de frenos	13
Figura 11. Ciclos de funcionamiento del motor	15
Figura 12. Bloque de Motor.....	16
Figura 13. Cilindro.....	17
Figura 14. Bloque Integral.....	21
Figura 15. Bloque de camisas secas.....	22
Figura 16. Bloque de camisas húmedas	22
Figura 17. Cilindros en línea	23
Figura 18. Cilindros en “V”	24
Figura 19. Cilindros en “V” estrecha.....	25
Figura 20. Cilindros Opuestos.....	26
Figura 21. Cilindros en “W”	26
Figura 22. Cilindros en Estrella	27
Figura 23. Categorías del mantenimiento Preventivo.....	30
Figura 24. Pronóstico de futura falla	31
Figura 25. Representación gráfica de la vibración.....	35
Figura 26. Vibración amortiguada	36
Figura 27. Frecuencia	38
Figura 28. Representación gráfica de la amplitud de onda.....	39
Figura 29. Gráfica de la velocidad de un objeto que vibra.....	39

Figura 30. Gráfica de la aceleración de un objeto que vibra.....	40
Figura 31. Sistema de medición de vibraciones	42
Figura 32. Transductor de proximidad.....	43
Figura 33. Transductor de velocidad.....	43
Figura 34. Acelerómetro.....	44
Figura 35. Ubicación de sensor.....	45
Figura 36. Planos de medición.....	46
Figura 37. Vehículo utilizado (Suzuki Forsa 1)	49
Figura 38. Esquema de punto de medición 1	52
Figura 39. Esquema punto de medición 2	53
Figura 40. Esquema punto 3 posición horizontal.....	53
Figura 41. Esquema punto de medición 4.....	54
Figura 42. Esquema punto de medición 5.....	54
Figura 43. Ventana “Adquisición de datos”.	55
Figura 44. Calibración del equipo.....	55
Figura 45. Ventana de conexión de cable USB.....	56
Figura 46. Ventana de configuración de interfaz.	56
Figura 47. Interfaz y calibrador.....	57
Figura 48. Cuadro de diálogo de calibración.	57
Figura 49. Cuadro de calibración exitosa.	58
Figura 50. Punto 1 lateral izquierda	58
Figura 51. Punto 2 frontal superior	59
Figura 52. Punto 3 frontal inferior.....	59
Figura 53. Punto 4 lateral derecha	60
Figura 54. Punto 5 posterior.....	60
Figura 55. Espectro amplitud - tiempo.....	61
Figura 56. Espectro amplitud – frecuencia	62
Figura 57. Amplitud vs Tiempo punto 1 ralentí	62
Figura 58. Espectro FFT del punto 1 en ralentí	63
Figura 59. Adquisición de datos del punto 1 en ralentí	64
Figura 60. Amplitud vs tiempo punto 1 a 2000rpm	65
Figura 61. Espectro FFT del punto 1 a 2000 rpm.....	66

Figura 62. Adquisición de datos de punto 1 a 2000 rpm	67
Figura 63. Amplitud vs tiempo punto 2 ralenti	68
Figura 64. Espectro FFT del punto 2 en ralenti	69
Figura 65. Adquisición de datos de punto 2 en ralenti.....	70
Figura 66. Amplitud vs tiempo punto 2 a 2000 rpm	71
Figura 67. Espectro FFT del punto 2 a 2000 rpm.....	72
Figura 68. Adquisición de datos de punto 2 a 2000 rpm	73
Figura 69. Amplitud vs tiempo punto 3 ralenti	74
Figura 70. Espectro FFT del punto 3 ralenti	75
Figura 71. Adquisición de datos de punto 3 en ralenti.....	76
Figura 72. Amplitud vs tiempo punto 3 a 2000 rpm	77
Figura 73. Espectro FFT punto 3 a 2000 rpm.....	78
Figura 74. Adquisición de datos de punto 3 a 2000 rpm	79
Figura 75. Amplitud vs tiempo punto 4 en ralenti	80
Figura 76. Espectro FFT punto 4 en ralenti.....	81
Figura 77. Adquisición de datos de punto 4 en ralenti.....	82
Figura 78. Amplitud vs tiempo punto 4 a 2000 rpm	83
Figura 79. Espectro FFT punto 4 a 2000 rpm.....	84
Figura 80. Adquisición de datos de punto 4 a 2000 rpm	85
Figura 81. Amplitud vs tiempo punto 5 ralenti	86
Figura 82. Espectro FFT punto 5 ralenti.....	87
Figura 83. Adquisición de datos de punto 5 en ralenti.....	88
Figura 84. Amplitud vs tiempo punto 5 a 2000 rpm	89
Figura 85. Espectro FFT punto 5 a 2000 rpm.....	90
Figura 86. Adquisición de datos de punto 5 a 2000 rpm	91

ÍNDICE DE ANEXOS

	PÁGINA
ANEXO 1	
Instalación del software.....	98
ANEXO 2	
Reporte de análisis.....	102

RESUMEN

Este proyecto tuvo la finalidad de comprobar la amortiguación de las vibraciones que se generan en el interior de un bloque de cilindros de un motor que se encuentra en funcionamiento, teniendo en cuenta el material de fabricación del mismo, para lo cual se tomó un bloque de fundición de aluminio de un motor de un Suzuki Forsa 1 de 1990. Para las mediciones fueron tomados varios puntos siguiendo las normas para mediciones de vibración. Se realizó las respectivas mediciones con el analizador de vibraciones DigivibeMX, un equipo especializado en la recepción de las vibraciones, por medio de los acelerómetros piezoeléctricos colocados en puntos estratégicos. Para un mejor análisis se tomó medidas en dos rangos diferentes de operación del vehículo una en ralentí y la otra a 2000 rpm. Una vez tomadas las respectivas mediciones, el programa proporcionó los espectros de frecuencias y los valores los cuales indicaron en qué estado se encontraba la máquina en la cual se realizaron las mediciones. Según los resultados obtenidos se analizaron los datos para así determinar la severidad de las vibraciones y comparamos si las vibraciones internas son más intensas que las externas tanto en frecuencia como en amplitud. Una vez tomadas las medidas se observó que la máxima vibración se obtuvo en la parte frontal del bloque con un valor de pico a pico de 71.25 mm/s, de amplitud 10.05 mm/s y una frecuencia máxima de 3446 CPM. Con eso se pudo confirmar el hecho de que el bloque de fundición amortigua y absorbe las vibraciones internas para que externamente no se provoque mucha vibración. También se pudo verificar en qué condiciones se encontraba el motor y si era necesario realizar un mantenimiento del mismo o de las bases que lo sostienen. Las vibraciones van relacionadas directamente con la vida útil del motor de dos maneras; un alto nivel de vibraciones indica que el motor está entrando en una fase de avería o sus soportes ya necesitan un ajuste o cambio, en cambio un bajo nivel de vibraciones dice que el motor está funcionando correctamente.

ABSTRACT

This project aimed to check the damping of vibrations generated inside a cylinder block of an engine in operation, taking into account the material of manufacture thereof, for which a block was taken cast aluminum engine of a Suzuki Forsa 1, 1990. For measurements were taken several points following the standards for vibration measurements. The measurements were performed with the vibration analyzer DigivibeMX, a specialized device in receiving vibrations through piezoelectric accelerometers placed at strategic points. For a better analysis were taken measures in two different ranges of vehicle operation at neutral and the other at 2000 rpm. Once the respective measurements were taken, the program provided the frequency spectrums and values which told us the condition of the machine on which the measurements were doing was. According to the results obtained data were analyzed to determine the severity of the vibrations and compared if internal vibrations are more intense than the external both frequency and amplitude. Once the measures taken was observed that the maximum vibration was obtained in the front of the block with a peak to peak value of 71.25 mm / s, amplitude 10.05 mm / s and a maximum frequency of 3446 CPM. With that we could confirm that the cast block cushions and absorbs vibrations internal to externally much vibration is caused. We also realized under what conditions it was engine and if necessary perform maintenance thereof or bases that support. The vibrations are directly related to the life of the engine in two ways; a high level of vibration indicates that the engine is entering a phase fault or its supports longer need an adjustment or change, whereas a low vibration level tells us that the engine is working properly.

INTRODUCCIÓN

1. INTRODUCCIÓN

A nivel mundial las empresas se han centrado en el crecimiento económico y organizacional, sin embargo el proceso de expansión no solo se reduce a nuevas instalaciones de producción y adquisición de tecnología extranjera, sino que se han visto en la necesidad de utilizar efectivamente las líneas de producción que ya tienen, y uno de los requisitos primordiales para ello es establecer un servicio de mantenimiento eficaz, económico y seguro de los bienes activos industriales.

Para lograr esto las compañías deben enfocarse en los procesos de mantenimiento de sus maquinarias, ya que en la vida útil de las maquinarias, agentes externos, paso del tiempo y obviamente por el uso, los elementos internos sufren una degradación que no se la puede apreciar a simple vista. Y uno de los mantenimientos que pueden alargar la vida útil de las máquinas es el mantenimiento predictivo.

Así mismo en los vehículos, como en cualquier otra maquinaria, el objetivo siempre han sido reducir los costos de reparaciones o bien si ya es necesario el cambio de elementos. El mantenimiento ayuda a mejorar el estado y funcionamiento de los elementos mecánicos del automóvil. Y como parte vital del vehículo es indispensable que el motor siempre tenga un adecuado mantenimiento.

Dicho lo anterior, todos los fabricantes de automóviles, independientemente de cual sea su labor, tamaño o naturaleza, se encuentran frente a una clara realidad la cual es la necesidad de desarrollar nuevos métodos para reducir la contaminación buscando mejores alternativas de combustibles (biocombustibles), otros tipos de energías propulsoras (motores eléctricos, vehículos solares, etc.), una mezcla ideal de combustión, disminuyendo el tamaño y peso de los elementos mecánicos del vehículo, entre otros, así también en el confort de los ocupantes creando materiales para reducir el sonido de los elementos móviles del vehículo, y también reducir las

vibraciones que genera el automóvil teniendo en cuenta las oscilaciones de los elementos de tracción del vehículo.

Por ello el bloque de cilindros es un elemento fundamental en el automotor ya que en el mismo se produce la combustión, van montados muchos elementos del vehículo en él y también es el encargado de absorber las vibraciones que se genera por dicha combustión.

Al referir un bloque de cilindros de fundición se refiere a el tipo de material con el cual fue fabricado el mismo, ya que hay varias alternativas de materiales para reducir peso, tamaño, volumen y mejorar la eficiencia, los cuales pueden ser de hierro fundido, aleaciones de aluminio entre otros dependiendo para cual sea su uso.

1.1 PROBLEMA

Uno de los grandes problemas en la industria automotriz en el ámbito del mantenimiento es que solo se centran en el mantenimiento preventivo y correctivo, y no toman en cuenta el mantenimiento predictivo el cual es muy importante ya que nos ayuda a reducir los costes de reparación y cambio de elementos.

Una de las muchas maneras de realizar un mantenimiento predictivo es la de medir las vibraciones en elementos mecánicos del automóvil el cual permite evaluar el estado mecánico de los elementos, pronosticar una posible falla y evitar paros que se puedan provocar por la misma y así mejorar la vida útil mediante la aplicación de criterios predictivos.

También permite diagnosticar la o las causas de las vibraciones excesivas las cuales al ser corregidas a tiempo pueden prolongar la vida de rodamientos y otros componentes.

1.2 JUSTIFICACIÓN

El mantenimiento tiene muchas técnicas y análisis que se aplican para su establecimiento. Parte del mantenimiento predictivo es realizar análisis vibratorios, y por ello se ha observado la necesidad de determinar la medición de las vibraciones en elementos mecánicos como parte del mantenimiento predictivo, y este estudio sirva como aporte a los estudiantes para que aprendan a cómo manejar herramientas y equipos predictivos tecnológicamente actuales de tal forma que se busque y solucione los problemas de vibraciones en los vehículos.

Una de las funciones que cumple el block del motor (bloque de cilindros) es la de amortiguar las vibraciones que generan los elementos rotatorios internos del motor, por ello este proyecto va enfocado a comprobar si el material de fundición cumple con esta función al medir las vibraciones del mismo y analizar los resultados obtenidos.

Con los resultados obtenidos se observa el estado del vehículo y sus elementos de absorción de vibración para de esta manera tomar las acciones más adecuadas.

1.3 OBJETIVOS DEL PROYECTO

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

Medir la vibración de un block de fundición de un motor en funcionamiento con el analizador de vibraciones DigivibeMX M20 para determinar su grado de absorción de vibración.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar las propiedades y características con las que se fabrica un block de fundición.
- Definir los parámetros para la medición de vibración en el block del motor.
- Medir las vibraciones a las que está sometido el block del motor de un vehículo con el analizador de vibraciones.
- Comparar los resultados de vibración tanto interna como externamente y confirmar que el block cumple con grado de amortiguación.

MARCO TEÓRICO

2. MARCO TEÓRICO

2.1 EL AUTOMÓVIL

Un automóvil o coche, es un vehículo mecánico de propulsión propia destinado al transporte de personas, generalmente con cuatro ruedas y capacidad entre una y nueve plazas. Las ruedas "delanteras" pueden moverse hacia los lados para permitir giros y tomar las curvas.

El automotor o automóvil, tal como lo conocemos en la actualidad, fue inventado en Alemania en 1886 por Carl Benz. El primer viaje largo en un automotor lo realizó Bertha Benz en 1888, al ir de Mannheim a Pforzheim, ciudades separadas entre sí por unos 105 km. Se ve en figura 1.



Figura 1. Primer automóvil

(http://www.elchapista.com/informacion_automoviles.html)

Después de este modelo, varios pioneros presentaron sus prototipos, y así fue hasta que en 1908, Henry Ford lanzó el primer coche fabricado en cadena el "Ford T", desde ese coche hasta la fecha se ha ido innovando y mejorando cada día al automóvil.

2.2 SISTEMAS DEL AUTOMÓVIL

El automóvil se divide en diferentes sistemas para que su funcionamiento sea el mejor posible. Todos los sistemas del automóvil son de vital importancia, los cuales se mencionan a continuación.

2.2.1 SISTEMA DE ALIMENTACIÓN

Es el encargado de recibir, almacenar y proporcionar el combustible para el funcionamiento del motor. Proporcionar en forma dosificada el combustible necesario para todos los regímenes de funcionamiento del motor, ya sea en ralentí, velocidad media o a plena carga. (Solis & Mejía, 2011), en la figura 2 se observa el esquema del sistema.

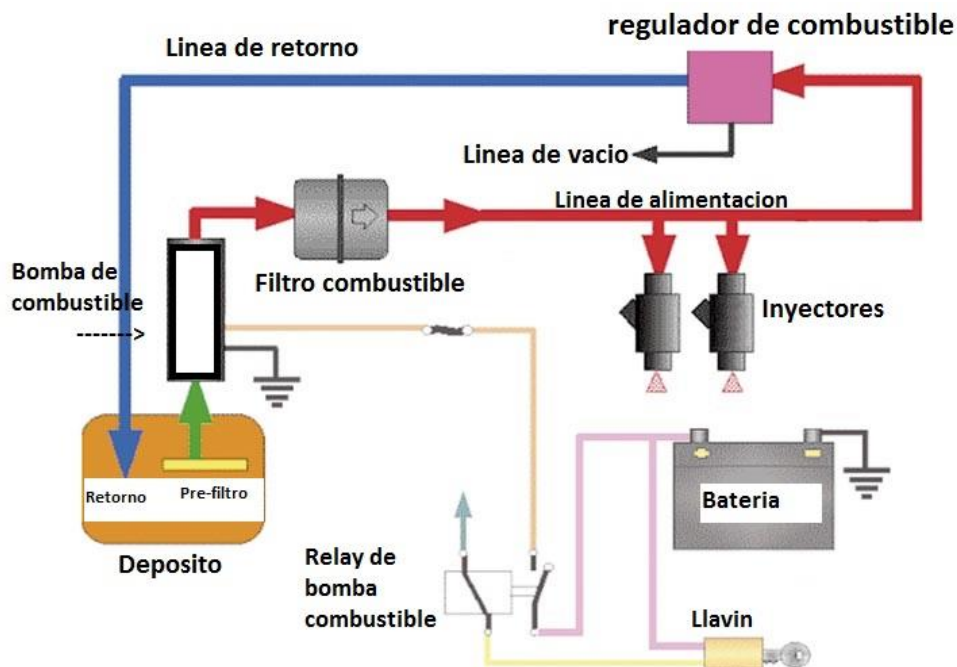


Figura 2. Circuito del sistema de alimentación

(Alvarado, 2004)

Se considera una mezcla normal cuando la proporción es de 1 parte de gasolina por cada 14,7 partes de aire para los motores de explosión, y de 1 parte de gasoil por cada 18 partes de aire para los diésel.

Se compone de las siguientes piezas: tanque, tuberías, bomba de combustible, filtro e inyectores.

2.2.2 SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN

Es el encargado de coordinar los movimientos del conjunto móvil para permitir el llenado de los cilindros con la mezcla aire-combustible, su encendido y el vaciado de los cilindros, a fin de aprovechar al máximo la energía química del combustible. (Orivio, 2010)

Tiene como función la apertura y cierre de las válvulas en forma sincronizada con el desplazamiento del pistón, también coordina la señal de encendido al sincronizar el árbol de levas con el cigüeñal mediante una banda o cadena. Ver figura 3.

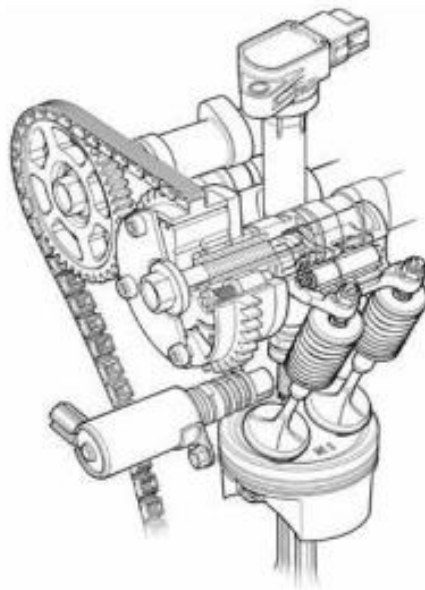


Figura 3. Sistema de distribución

(Solis & Mejía, 2011)

2.2.3 SISTEMA DE LUBRICACIÓN

La lubricación es una parte fundamental de las operaciones del mantenimiento preventivo que se deben realizar al vehículo para evitar que el motor sufra desgastes prematuros o daños por utilizar aceite contaminado o que ha perdido sus propiedades (Águeda E. C., 2014). La lubricación tiene varios objetivos. Entre ellos se pueden mencionar los siguientes:

- Reducir el rozamiento
- Disminuir el desgaste
- Refrigerar los elementos del motor
- Amortiguar el ruido de los componentes en contacto
- Limpiar los residuos de la combustión

Para permitir que el aceite pase por los pasajes perforados en el bloque del motor y lubrique el cigüeñal, los cojinetes principales deben tener agujeros de alimentación de aceite, de modo que a cada rotación de la bomba de aceite, la cual está montada en el árbol de levas, de éste permitan el paso del líquido lubricante. Se observa en la figura 4.

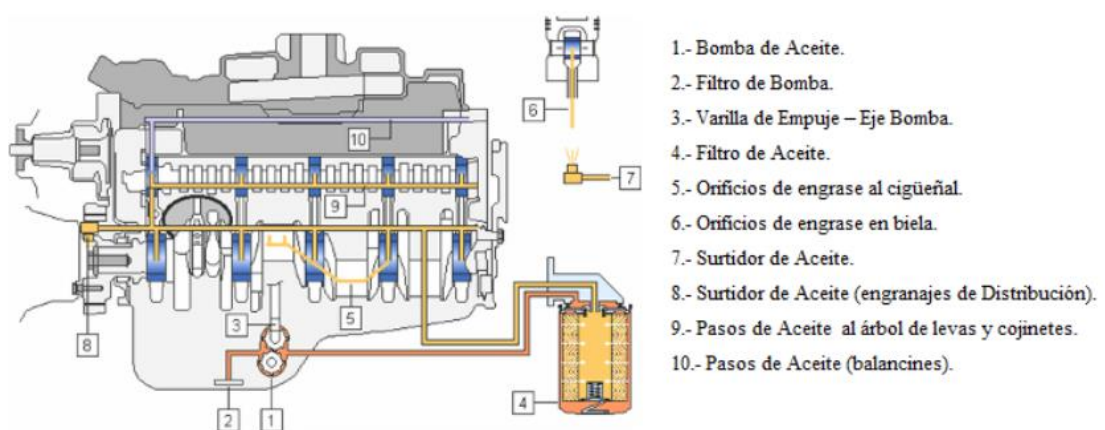


Figura 4. Sistema de lubricación

(Solis & Mejía, 2011)

2.2.4 SISTEMA DE REFRIGERACIÓN

El Sistema de Refrigeración está diseñado para disipar parte de la temperatura generada a través del proceso de combustión del motor, por lo que el sistema debe absorber, circular, controlar y disipar la temperatura. Consta de las siguientes partes:

- Bomba de agua
- Radiador
- Termostato
- Ventilador
- Enfriadores de aceite
- Refrigerante

En la figura 5 se observa el esquema del sistema.

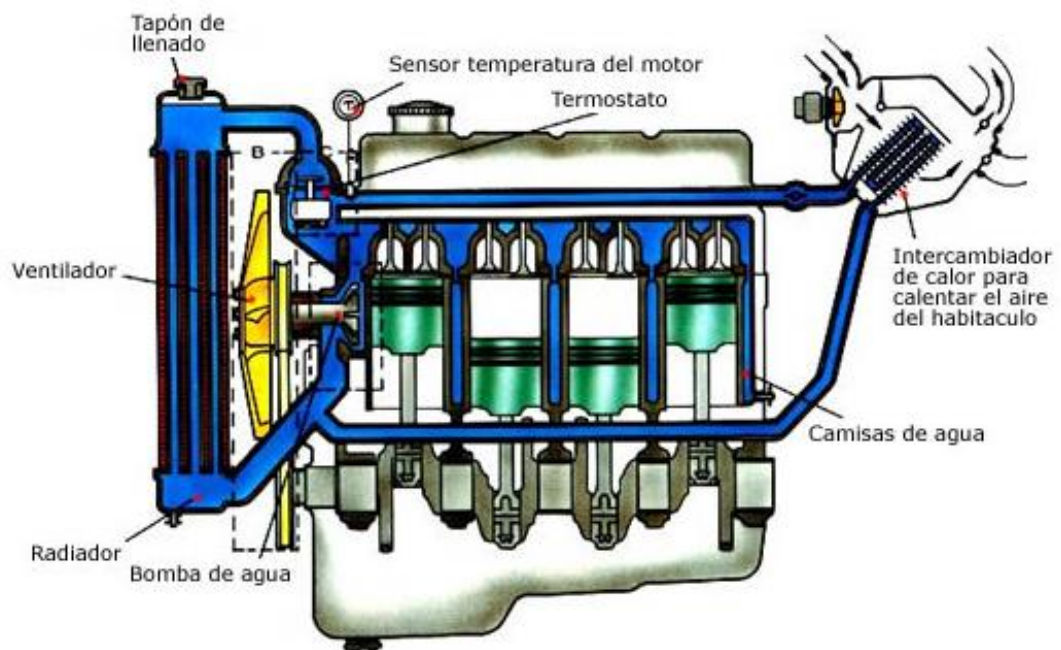


Figura 5. Sistema de refrigeración

(Solis & Mejía, 2011)

2.2.5 SISTEMA ELÉCTRICO Y ELECTRÓNICO

El sistema eléctrico tiene como misión, disponer de energía eléctrica suficiente y en todo momento a través de los circuitos que correspondan reglamentariamente de alumbrado y señalización, y de otros, que siendo optativos, colaboran en comodidad y seguridad (Águeda, Martín , & Gómez, 2009). El sistema eléctrico lo compone lo siguiente:

- Batería
- Alternador
- Bujías
- Motor de arranque
- Circuito de iluminación y otros (luces, radio, bocinas, etc.)
- Circuito electrónico (sensores, actuadores y ECU que dosifica la gasolina por medio de los inyectores).

En la figura 6 se observa un esquema de un sistema eléctrico.

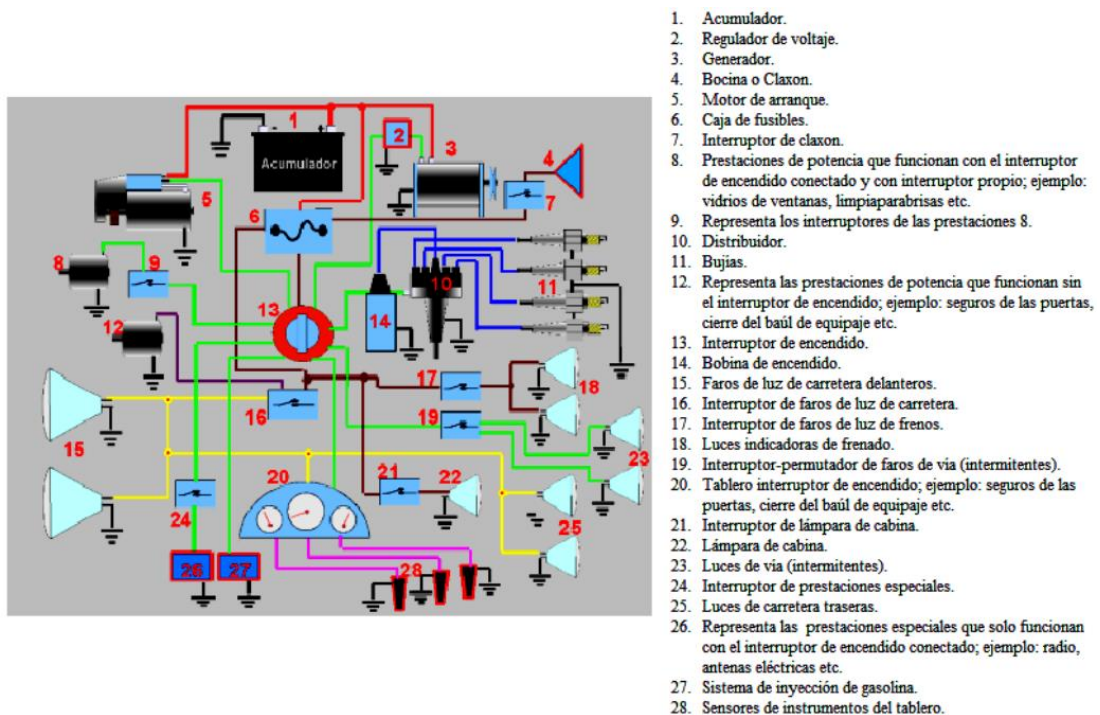


Figura 6. Sistema eléctrico

(Solis & Mejía, 2011)

2.2.6 SISTEMA DE TRANSMISIÓN

Está formado por mecanismos encargados de transmitir, a las ruedas motrices del vehículo, la fuerza desarrollada por el motor. Sus partes constitutivas cumplen tareas específicas y a su vez interactúan para trabajar en conjunto. El sistema está constituido por embrague, caja de cambios, árbol de transmisión, diferencial, semiejes. (Orivio, 2010)

En vehículos de transmisión automática el convertidor de par sustituye al embrague. En la figura 7 se observa el esquema del sistema.

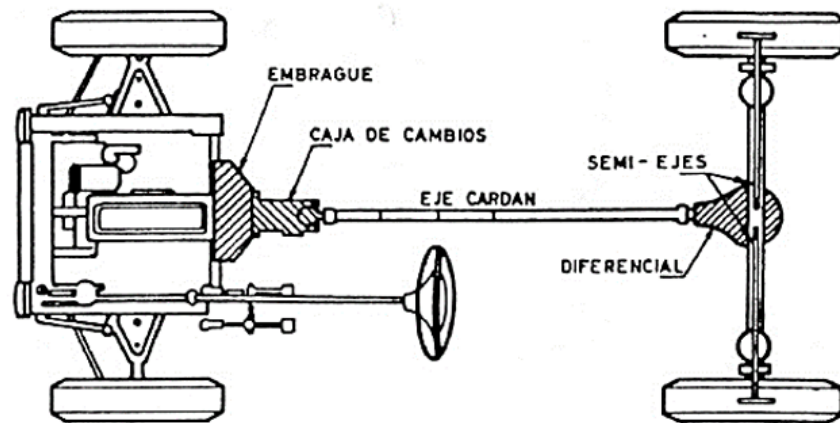


Figura 7. Sistema de transmisión

(Orivio, 2010)

2.2.7 SISTEMA DE SUSPENSIÓN

El sistema de suspensión de un automóvil tiene la misión de hacer más cómoda la marcha del mismo para los pasajeros absorbiendo las irregularidades de la calzada y contribuir en todo momento a la mayor estabilidad del vehículo. Para cumplir estos objetivos deberá tener elasticidad, que evita que las desigualdades del terreno se transmitan al vehículo en forma de golpes secos, y amortiguación, que impide un balanceo excesivo. En la figura 8 se ve el sistema.



Figura 8. Sistema de suspensión
(Dominguez & Ferrer, 2008)

2.2.8 SISTEMA DE DIRECCIÓN

Este sistema tiene la misión de orientar las ruedas delanteras. Consiste en el volante de dirección y columna de dirección, que transmite la fuerza del conductor al engranaje de dirección; dicho engranaje lleva a cabo la reducción de velocidad de giro del volante, transmitiendo una gran fuerza a las articulaciones; y las articulaciones transmiten los movimientos del engranaje a las ruedas delanteras. La figura 9 muestra un sistema de dirección.

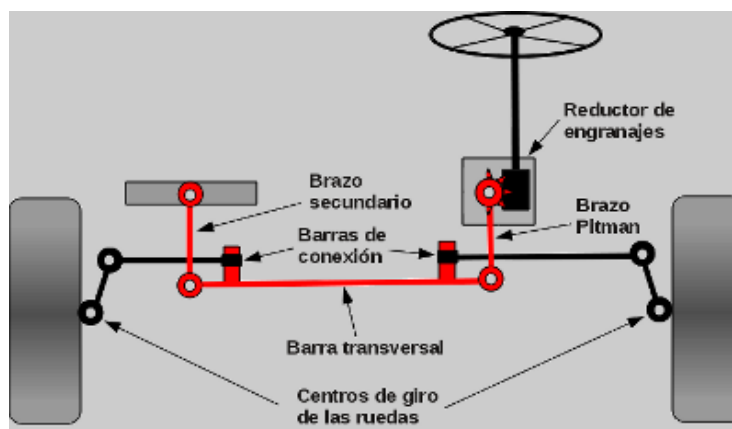


Figura 9. Sistema de dirección
(Dominguez & Ferrer, 2008)

2.2.9 SISTEMA DE FRENOS

El sistema de frenos reúne todos aquellos elementos cuya misión es la de disminuir o anular progresivamente la velocidad del vehículo, o mantenerlo inmovilizado cuando está detenido. Ello se realiza por frotamiento de unas “zapatas” sobre un tambor, o de unas pastillas contra un disco, según los casos. En la figura 10 se puede observar un esquema del sistema.

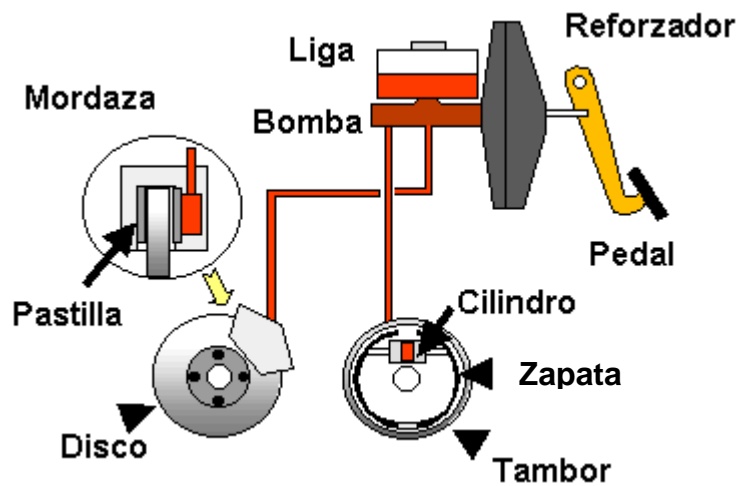


Figura 10. Circuito del sistema de frenos
(Orivio, 2010)

2.3 EL MOTOR

Un motor constituye una máquina termodinámica formada por un conjunto de piezas o mecanismos fijos y móviles, cuya función principal es transformar la energía química que proporciona la combustión de una mezcla de aire y combustible en energía mecánica o movimiento, para que se pueda realizar un trabajo útil como, por ejemplo, mover un coche o cualquier otro vehículo automotor.

2.3.1 CICLOS DE FUNCIONAMIENTO DEL MOTOR

El motor para cumplir con un ciclo de funcionamiento realiza 4 tiempos, los cuales son:

2.3.1.1 Primer tiempo (Admisión)

El pistón se encuentra en el Punto Muerto Superior, la válvula de admisión se abre, el pistón baja hasta llegar al Punto Muerto Inferior, lo que ocasiona que el cilindro se llene de mezcla aire-combustible. (Águeda E. C., 2014)

2.3.1.2 Segundo tiempo (Compresión)

Cuando el pistón alcanza el Punto Muerto Inferior, el pistón comienza a subir y comprime la mezcla. (Dominguez & Ferrer, 2008)

2.3.1.3 Tercer tiempo (Explosión)

Cuando se alcanza la compresión máxima, salta una chispa generada por la bujía que quema la mezcla y hace que el pistón retroceda debido por los gases combustionados.

2.3.1.4 Cuarto Tiempo (Escape)

El pistón vuelve al Punto Muerto Superior expulsando los gases de combustión a través de la válvula de escape.

En la figura 11 se observa los 4 tiempos del motor.

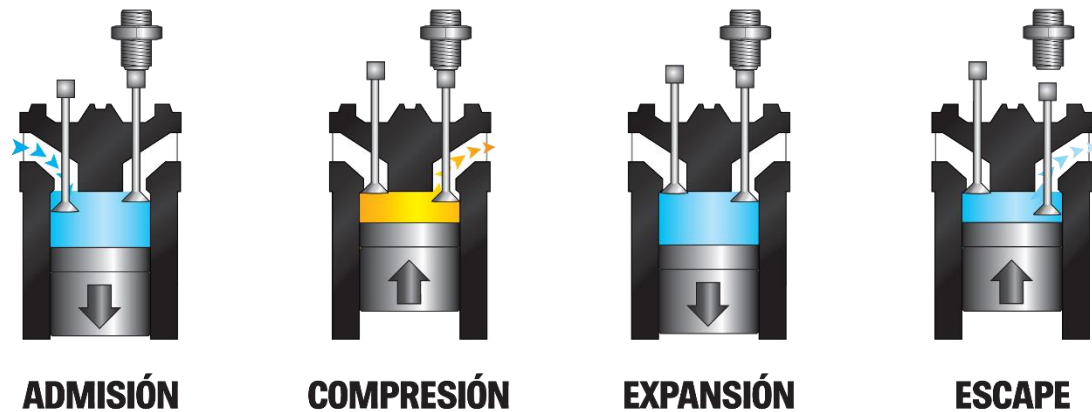


Figura 11. Ciclos de funcionamiento del motor
(Solis & Mejía, 2011)

2.3.2 PARTES

El motor de combustión interna consta de tres partes fundamentales las cuales son: culata, bloque de cilindros y cárter.

2.3.2.1 Culata

Es la parte superior del motor, sirve entre otras cosas de cierre a los cilindros en la parte superior. Se encuentran en la culata las válvulas de admisión y escape, las bujías, el árbol de levas y los conductos.

2.3.2.2 Cárter

Es la parte inferior del motor, en la cual se deposita el aceite para la lubricación de todas las partes del motor.

El bloque de cilindros es la parte central del motor y se lo estudiará más profundamente.

2.4 BLOQUE DE CILINDROS

“Es el elemento que sirve de soporte de todos los componentes del motor (cigüeñal, culata, pistones, motor de arranque, alternador, compresor del aire acondicionado, etc.)”. (Dominguez & Ferrer, 2008)

Como lo dice la cita anterior, el bloque del motor es una pieza fundida en aluminio o hierro el cual aloja los cilindros de un motor de combustión interna así como también los soportes de apoyo del cigüeñal. Como se puede observar en la figura 12 un bloque de 4 cilindros.

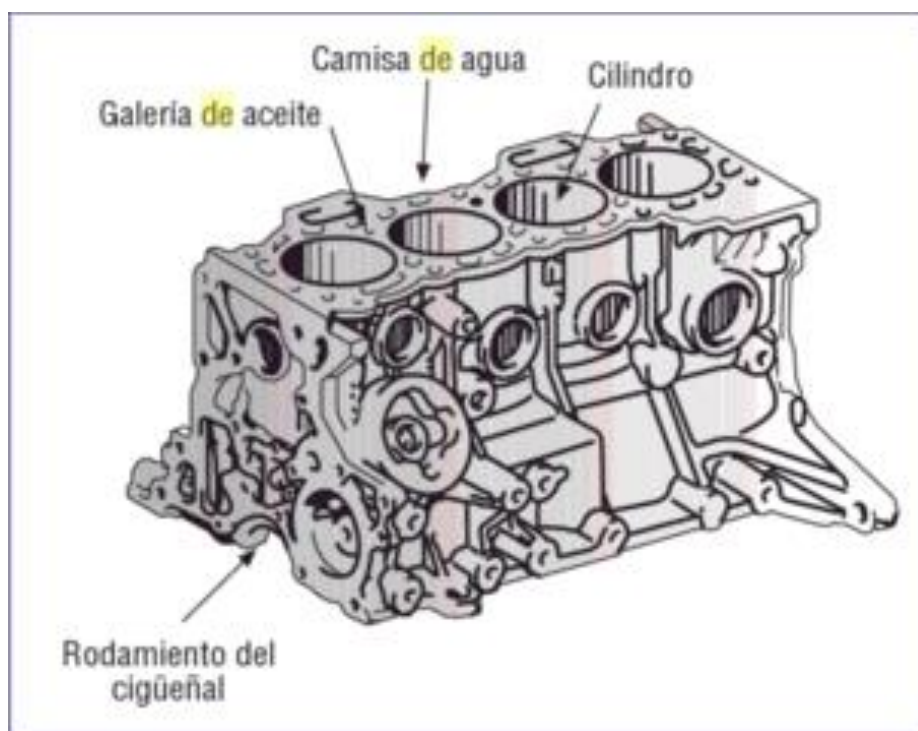


Figura 12. Bloque de Motor

(Picabea & Ortega , 2010)

El bloque de cilindros contiene internamente a los cilindros, pistones, bielas, el cigüeñal, entre otros elementos mecánicos, así como la red de lubricación, y externamente soporta las poleas, bomba de agua, filtro de aceite, etc.

El bloque contiene conexiones y aperturas a través de las cuales muchos dispositivos adicionales se controlan con el movimiento (rotación) del cigüeñal, como son: bomba de agua, bomba de aceite, alternador y distribuidor (en el caso que posea el vehículo).

2.4.1 CILINDRO

El cilindro es la superficie donde se desliza el émbolo o pistón, el mismo puede estar mecanizado en el mismo bloque o puede ajustarse una pieza desmontable llamada camisa.

Como su nombre lo indica es una pieza cilíndrica cuya superficie interior está rectificada con un alto grado de precisión y pulido ya que se encuentra en continuo rozamiento y sometido a presiones fuertes. Como se observa en la figura 13.



Figura 13. Cilindro

(<http://www.ecured.cu/Archivo:Camisas.JPG>)

2.4.2 FUNCIÓN DEL BLOQUE DE CILINDROS

Además de alojar los cilindros, donde se mueven los pistones, el bloque de motor soporta la culata en la parte superior y el cárter en la parte inferior. En la parte interior existen cavidades tubulares a través de las cuales circula el líquido de refrigeración, así como también el aceite de lubricación cuyo filtro también es generalmente fijo a su estructura.

2.4.3 MATERIALES DEL BLOQUE DE CILINDROS

Como el bloque de cilindros es la carcasa principal del motor tiene que tener ciertos requisitos. Estos requisitos incluyen resistencia al desgaste, mantenimiento de larga duración y soportar la presión provocada a causa de la combustión. También tiene que soportar altas temperaturas y la vibración cuando el motor está en funcionamiento.

Con el fin de cumplir los requisitos anteriores el material utilizado para fabricar el producto debe contener muchas propiedades, el material debe tener una alta resistencia, alto módulo de elasticidad, alta resistencia al desgaste, capacidad de soportar vibraciones y resistencia a la corrosión. Alta resistencia se refiere sobre todo en motores diésel debido a sus altas relaciones de compresión en comparación con los motores de gasolina. En el motor diésel la relación de compresión es normalmente 17: 1 o mayor, pero en motor de gasolina es casi 10: 1.

El material también debe tener baja densidad para reducir su peso, pero con mayor fuerza. También debe tener una baja expansión térmica bajo altas temperaturas de funcionamiento y también una buena conductividad térmica para conducir o disipar el calor en un tiempo mínimo. Cuando el motor está en condiciones de funcionamiento se genera una vibración más elevada debido

a los movimientos en las partes internas (cigüeñal y los pistones), por lo tanto, el material tiene que ser capaz de absorber la energía de vibración sin fracturarse.

Se utilizan aleaciones de hierro fundido, ya que contienen buenas propiedades mecánicas, de bajo costo y disponibilidad en comparación con otros metales. Sin embargo, ciertas aleaciones de aluminio contienen la mayor parte de las características de fundición de hierro pero con bajo peso.

La fundición de aluminio es más ligera y con mejores propiedades disipadoras, pero de elevado precio. Resisten al roce de los pistones más que los de hierro, ya que normalmente están revestidos por unas camisas de acero.

El bloque motor de aleación de aluminio fundido también da un buen acabado superficial y alto maquinado en comparación con las aleaciones de hierro fundido. A medida que la tecnología avanza los ingenieros ha encontrado nuevos materiales como el grafito de hierro fundido que es más ligero y más fuerte que el hierro fundido mencionado anteriormente.

2.4.3.1 Fundición de Hierro Gris

La fundición gris es la primera y más utilizada para la fabricación de bloques de motor. A pesar de que la aleación de aluminio también contiene muchas similitudes con bajo peso, todavía se utiliza en la fabricación de bloques de motores diésel debido a que sus tensiones internas son más altas. La fundición gris contiene 2,5-4% de carbono, 1-3% de silicio, 0,2-1% de manganeso, 0,02-0,25% de azufre, y 0,02-1% de fósforo. Tiene una excelente absorción de amortiguación, buen desgaste y resistencia térmica, y es fácilmente de mecanizar y menos coste debido a su disponibilidad.

2.4.3.2 Aleación de Aluminio

Las aleaciones de aluminio se caracterizan principalmente por su bajo peso, esto ayuda a reducir el peso del motor, así como del vehículo. Sin embargo, la principal desventaja es su costo en comparación con la fundición gris. La aleación de aluminio tiene buenas propiedades de maquinabilidad en comparación con el hierro fundido gris. Hay dos aleaciones de aluminio que se utilizan principalmente en la fabricación de bloques de motor, son A319 y A356.

La aleación de aluminio A319 contiene 85,8-91,5% de aluminio, 5.5-6.5% de silicio, 3-4% de cobre, 0,35% de níquel, 0,25% de titanio, 0,5% de manganeso, 1% de hierro, 0,1% de magnesio, y 1% de zinc. Esta aleación tiene buenas características de fundición, resistencia a la corrosión y buena conductividad térmica. (Mechanical Engineering, 2009)

La aleación de aluminio A356 contiene 91,1-93,3% de aluminio, 6.5 hasta 7.5% de silicio, 0,25-0,45% de magnesio, 0,2% de cobre, 0,2% de titanio, 0,2% de hierro y 0,1% de zinc. Aunque las propiedades mecánicas son similares a A319, cuando está bajo el proceso de tratamiento térmico T6 se gana una mayor resistencia que el A319. Pero tiene menor módulo de elasticidad (72,4 GPa) que el A319 con módulo de elasticidad de 74 GPa.

2.4.3.3 Fundición de Hierro con Grafito Compactado

La fundición de grafito compactado tiene una resistencia a la tracción y un módulo de elasticidad más altos en comparación con la fundición gris. Es debido a que el grafito compacto encontrado en la microestructura de CGI. Al igual que la fundición gris tiene una buena absorción de amortiguación y conducción térmica, pero su baja maquinabilidad ha limitado su uso amplio.

2.4.4 TIPOS

Los bloques se pueden clasificar en dos tipos según el sistema de refrigeración empleado.

- Bloque refrigerado por líquido.
- Bloque refrigerado por aire (aletas)

Los motores refrigerados por líquido pueden ser de dos tipos

2.4.4.1 Bloque integral

“Las superficies están trabajadas directamente en el material del bloque”.

(Dominguez & Ferrer, 2008)

En la figura 14 se observa un bloque integral.

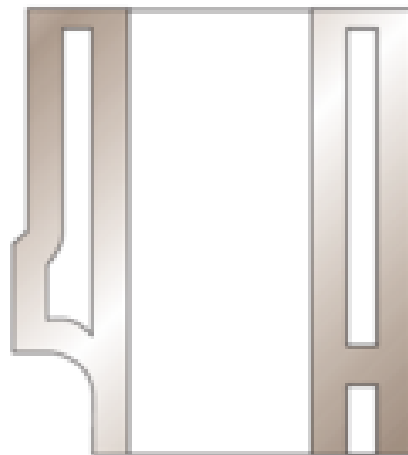


Figura 14. Bloque Integral

(Dominguez & Ferrer, 2008)

2.4.4.2 Bloque encamisado

Pueden ser de camisas secas y húmedas. La figura 15 muestra un bloque con camisas secas.

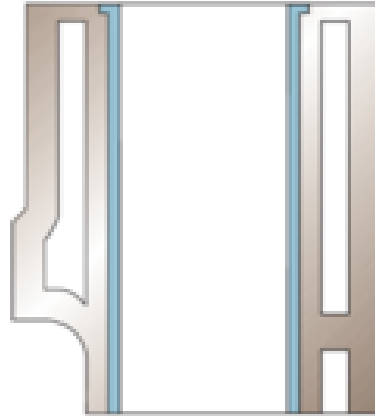


Figura 15. Bloque de camisas secas

(Dominguez & Ferrer, 2008, pág. 22)

En la figura 16 se observa un bloque de cilindros de camisas húmedas.

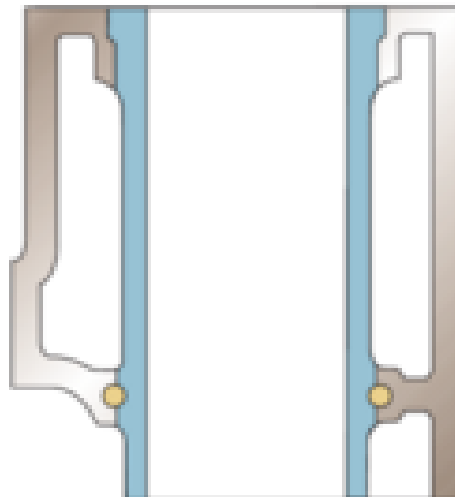


Figura 16. Bloque de camisas húmedas

(Dominguez & Ferrer, 2008, pág. 22)

Según la disposición de los cilindros.

- Cilindros en línea.
- Cilindros en “V”.
- Cilindros en “V” estrecha.
- Cilindros opuestos.
- Cilindros en “W”.
- Cilindros en estrella.

2.4.4.3 Cilindros en línea

Es el más utilizado ya que resulta menos complicado de fabricar y reparar. Sin embargo en motores de grande cilindradas tiene el inconveniente de ser excesivamente largo. (Águeda E. C., 2014)

En la figura 17 se observa un bloque de 4 cilindros en línea.

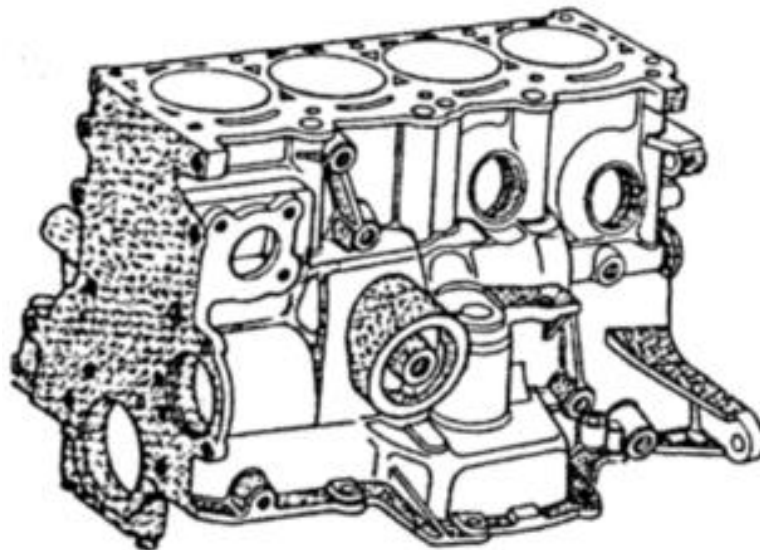


Figura 17. Cilindros en línea

(Alvarado, 2004)

2.4.4.4 Cilindros en “V”

“Con el número de cilindros en línea la longitud del motor crece proporcionalmente, lo que exige más espacio en el automóvil”. (Orivio, 2010, pág. 156). Como se puede observar en la figura 18, un bloque de cilindros en “V”.

“La ventaja que ofrece es la de acortar la longitud del bloque”. (Águeda E. C., 2014)

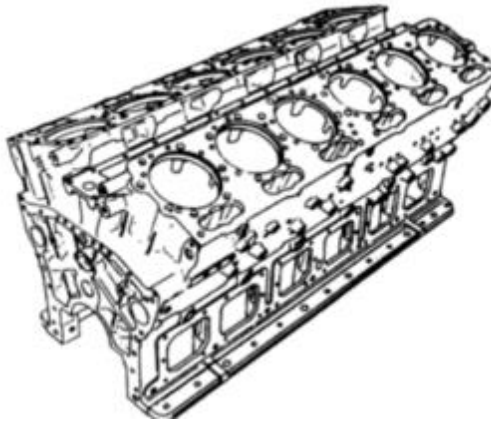


Figura 18. Cilindros en “V”

(Alvarado, 2004)

Cuando se habla de motores con cilindros en “V” se debe tener en cuenta el ángulo que forman los bloques de la “V”. Lo más común es que formen 60° o 90°, aunque también existen otras alternativas.

2.4.4.5 Cilindros en “V” estrecha:

“Un paso más para reducir el tamaño del motor, partiendo del motor en “V” es cerrar sensiblemente el ángulo entre bloques de la “V””. (Orivio, 2010, pág. 157). Ver la figura 19, un bloque de cilindros en “V” estrecha.



Figura 19. Cilindros en “V” estrecha

(Águeda E. C., 2014, pág. 21)

“La altura del conjunto es algo menor que un motor en línea equivalente y mayor que si fuese en “V” abierta pero su relación entre longitud y anchura queda muy equilibrada”. (Orivio, 2010, pág. 158)

Tienen la ventaja de que sólo usan una culata para el motor, en cambio los de cilindros en “V” normales usan dos.

2.4.4.6 Cilindros Opuestos

“Los motores con cilindros situados en posición horizontal opuestos ofrecen entre otras la ventaja de disminuir la altura del bloque”. (Águeda E. C., 2014). Ya que al estar situados horizontalmente disminuyen la altura considerablemente del motor.

“Esta disposición es idónea para la refrigeración por aire y aceite y ha sido bastante utilizada”. (Orivio, 2010). Como muestra la figura 20, los cilindros casi van pegados al suelo, esto ayuda a la refrigeración.

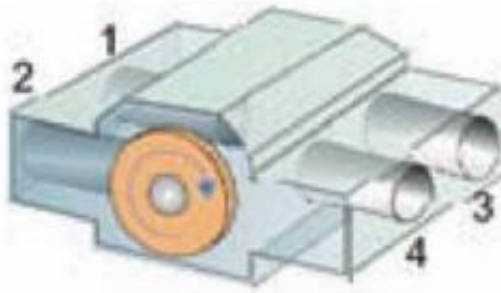


Figura 20. Cilindros Opuestos
(Águeda, Martín , & Gómez, 2009)

2.4.4.7 Cilindros en “W”

Es la denominación más habitual para la unión de dos motores en “V estrecha” como se aprecia en la figura 21. (Orivio, 2010, pág. 158)



Figura 21. Cilindros en “W”
(Águeda E. C., 2014, pág. 22)

La ventaja de estos motores es que para disponer de una gran cilindrada no necesitan de un gran espacio, ya que son más compactos.

2.4.4.8 Cilindros en Estrella

“Esta disposición ha sido muy utilizada en aviación debido a la excelente refrigeración de los cilindros por el aire batido al girar las hélices”. (Orivio, 2010, pág. 159), como se aprecia en la figura 22, un motor de 4 cilindros en estrella.

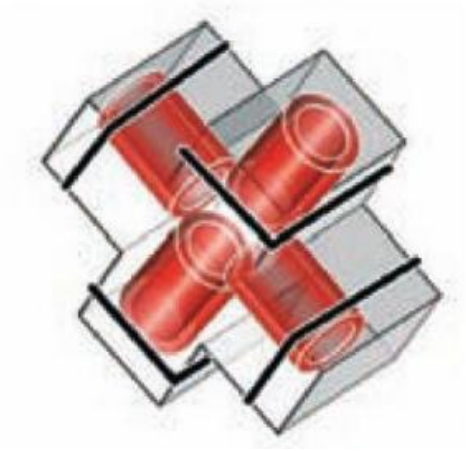


Figura 22. Cilindros en Estrella

(Orivio, 2010, pág. 159)

Estos motores pueden constar de 4 cilindros, de 5 cilindros, de 7 cilindros, de 9 cilindros y hasta 12 cilindros.

2.5 MANTENIMIENTO

“Son todas las actividades que deben ser desarrolladas en orden lógico, con el propósito de conservar en condiciones de operación segura, efectiva y económica, los equipos de producción, herramientas y demás activos físicos, de las diferentes instalaciones de una empresa”. (García, 2012, pág. 23)

Dicho en otras palabras, el principal objetivo del mantenimiento es hacer que la empresa gane más dinero, asegurándose que todos los activos continúen desempeñando las funciones correctas evitando pérdidas por elementos defectuosos o por paradas inesperadas de producción.

2.5.1 MISIÓN DEL MANTENIMIENTO

“El mantenimiento industrial como parte integral de la producción, tiene como propósito garantizar el óptimo funcionamiento de los equipos, y demás infraestructura empresarial, mediante programas de prevención y predicción de fallas, reparación de daños y mejoramiento de sus condiciones operativas.”
(García, 2012, pág. 24)

Citado lo anterior se puede decir que el mantenimiento busca aumentar la producción manteniendo operable el equipo e instalaciones, con métodos básicos y complejos, y con programas que puedan prevenir las fallas antes de que estas provoquen una pérdida en la producción de cualquier tipo de sistema o empresa.

2.5.2 TIPOS DE MANTENIMIENTO

A continuación se puede observar qué tipos de mantenimientos existen:

- Mantenimiento Correctivo
- Mantenimiento Proactivo
- Mantenimiento Predictivo
- Mantenimiento Preventivo
- Mantenimiento Cero horas (Overhaul)
- Mantenimiento en Uso. (Valdiviezo, 2010, pág. 44)

2.5.2.1 Mantenimiento Correctivo

Es un mantenimiento también conocido como mantenimiento “a rotura” (breakdown maintenance), el cual sólo se lo realiza en equipos donde el fallo ya se ha producido. (Sánchez, Pérez, & Rodríguez, 2007) *“Se trata, por tanto, de una actitud pasiva frente a la evolución del estado de los equipos, a la espera de la avería o fallo”.* (Gómez de León, 1998, pág. 25)

Cuando no se produce ninguna falla, no se realiza el mantenimiento, esto quiere decir que una vez producido el fallo se toman acciones al respecto. (Valdiviezo, 2010)

2.5.2.2 Mantenimiento Proactivo

En el mantenimiento proactivo las acciones de mantenimiento se realizan antes de presentarse la falla del equipo. En la operación proactiva la prevención de fallas se hace a través de inspecciones y acciones preventivas y predictivas. (García, 2012, pág. 51)

2.5.2.3 Mantenimiento Preventivo

El mantenimiento preventivo es efectuado con la intención de reducir la probabilidad de fallo, y puede ser de dos modalidades: sistemático, efectuado a intervalos regulares de tiempo y basado en la estadística y confiabilidad, y condicional, basado en condiciones y subordinado a un acontecimiento predeterminado. (Tamaris, 2014)

El figura 23 se observa las categorías del mantenimiento preventivo.

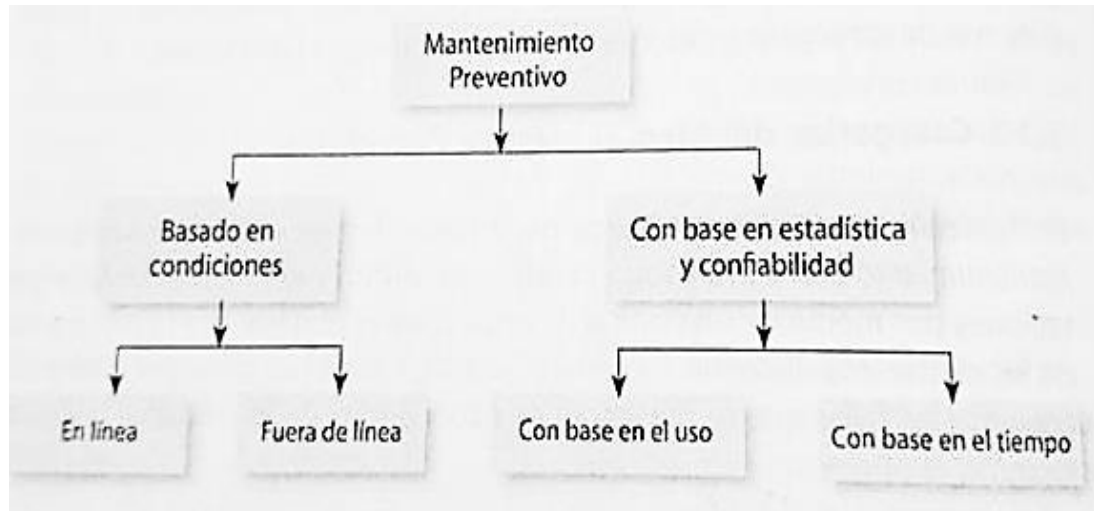


Figura 23. Categorías del mantenimiento Preventivo

(García, 2012)

2.5.2.4 Mantenimiento Cero horas (Overhaul)

El mantenimiento a cero horas es el conjunto de tareas cuyo objetivo es revisar los equipos a intervalos programados bien antes de que aparezca ningún fallo, bien cuando la fiabilidad del equipo ha disminuido apreciablemente de manera que resulta arriesgado hacer previsiones sobre su capacidad productiva. (Tamaris, 2014)

2.5.2.5 Mantenimiento en uso

Es el mantenimiento que realizan los usuarios del equipo (mantenimiento básico), la cual se basa en tareas elementales como la toma de datos, reajuste de pernos, inspecciones visuales, lubricación, etc., para las que no es necesario un gran conocimiento del tema sino sólo un entrenamiento breve. (Tamaris, 2014, pág. 51)

El mantenimiento que resta por estudiar es al que va enfocado el presente proyecto, el mantenimiento predictivo que a su vez tiene muchas herramientas

importantes para dar un diagnóstico eficiente y en el cual se estudiará con más profundidad el tema.

2.6 MANTENIMIENTO PREDICTIVO

El mantenimiento predictivo debe entenderse como aquella metodología que basa las intervenciones en la máquina o instalación sobre la que se aplica, en la evolución de una determinada variable que sea realmente identificadora de su funcionamiento y fácil de medir. (González, 2009, pág. 139)

En otras palabras en el mantenimiento predictivo se detecta una falla antes de que suceda, así tenemos tiempo de corregir dicha falla sin detener la producción y sin generar pérdidas.

En la figura 24 se explica el mantenimiento predictivo con la curva de fallo respecto al tiempo P-F, el intervalo P-F indica el tiempo transcurrido entre un fallo potencial y su empeoramiento hasta que logra convertirse en un fallo funcional.

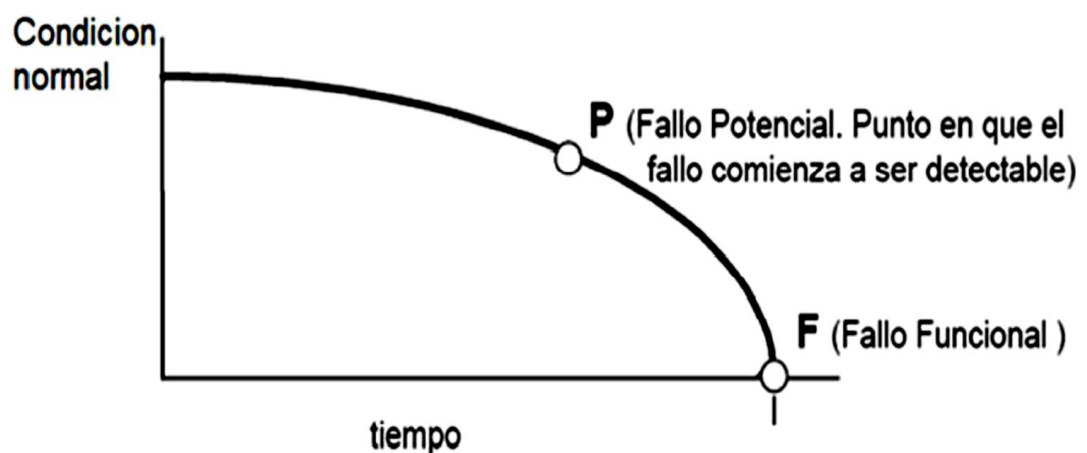


Figura 24. Pronóstico de futura falla

(Tandalla, 2012)

El mantenimiento predictivo debe verse complementado por la utilización de técnicas estadísticas. No es un tipo de mantenimiento que se base en la intuición y en la experiencia solamente del operador o del técnico. (González, 2009)

Las técnicas con las que se complementa el mantenimiento predictivo son:

- Mantenimiento predictivo basado en vibraciones
- Mantenimiento predictivo basado en análisis de aceites
- Mantenimiento predictivo basado en la temperatura
- Mantenimiento predictivo de máquinas eléctricas
- Mantenimiento predictivo aplicado en baterías
- Mantenimiento predictivo basado en la medición de la corrosión
- Mantenimiento predictivo basado en ensayos no destructivos

En la tabla 1 se observa las técnicas más usuales y equipos utilizados en el mantenimiento predictivo.

Tabla 1. Técnicas del mantenimiento predictivo

TÉCNICAS PREDICTIVAS MÁS USUALES, VARIABLES IDENTIFICATIVAS Y EQUIPOS O INSTALACIONES DE APLICACIÓN		
Variable identificadora a medida	Técnicas de diagnóstico	Tipo de instalación o equipo
Vibraciones	Medición de vibraciones Impulsos de choque	Maquinaria rotativa
Viscosidad, partículas y degradación de Lubricantes	Monitorización de color Oxidación Análisis espectroquímicos	Reductores, cajas de cambio, motores térmicos compresores

Temperatura	Termografía Pintura térmica Adhesivos de bandas	Sistemas estáticos, térmicos, electrónicos
Valor óhmico y capacidad	Medida de resistencia Ondas de choque, Corrientes de absorción, conducción y reabsorción	Motores eléctricos
Fugas	Detectores de ultrasonidos Gases halógenos Líquidos coloreados(trazadores) Detectores de grietas	Depósitos y tuberías
Grietas	Fluido magnético Resistencia eléctrica Corrientes inducidas Ondas ultrasónicas Ondas de radiación	Estructuras metálicas y equipos estáticos
Ruidos	Estetoscopio Radioscopio	Maquinaria rotativa
Corrosión	Ultrasonidos Detector de gas Radioscopio, magnetoscopio	Depósitos, tuberías, cráteres, calderas, etc.
Obstrucciones	Radioscopio Indicador de presión	Tuberías, válvulas, depósitos, racores
Deformaciones, doblados	Escalas Indicadores de nivel Teodolitos	Tuberías

(González, 2009)

2.6.1 VENTAJAS DEL MANTENIMIENTO PREDICTIVO

- Disminuye el costo de mantenimiento.
- Aprovecha vida útil completa.
- No aplica actividades preventivas innecesarias.
- Se fundamenta en el monitoreo de condiciones.
- Mejora el conocimiento y control del estado de la maquinaria.
- Reduce los tiempos de parada. (Valdiviezo, 2010)

2.6.2 DESVENTAJAS DEL MANTENIMIENTO PREDICTIVO

- No permite tan buena planificación como el mantenimiento preventivo.
- Depende de la confiabilidad de los diagnósticos.
- Requiere instrumentos sofisticados.
- Requiere técnicas complejas de gran inversión. (Creus, 2011)

2.6.3 MANTENIMIENTO PREDICTIVO BASADO EN ANÁLISIS DE VIBRACIONES

“Esta técnica del mantenimiento predictivo se basa en la detección de fallos en equipos rotativos principalmente, a través del estudio de los niveles de vibración”. (Tandalla, 2012). El objetivo de aquello es obtener la representación de los espectros de las vibraciones mediante un equipo para su posterior análisis.

2.7 VIBRACIÓN

Se dice que un cuerpo se encuentra en estado de vibración cuando el mismo experimenta cambios alternativos, de tal modo que sus puntos oscilen sincrónicamente en torno a sus posiciones de equilibrio, sin que el campo cambie de lugar. Así mismo se puede decir otro concepto de vibración el cual que es un intercambio de energía cinética en cuerpos con rigidez y masa finitas, el cual surge de una entrada de energía dependiente del tiempo.

La vibración suele ser beneficiosa en algunos casos como lo es en el funcionamiento de instrumentos musicales que utilizan cuerdas, ya que por medio de la vibración de sus cuerdas se produce el sonido y hace trabajar a

dicho instrumento; sin embargo la mayoría de las veces la vibración perjudica sistemas llevándolos a perder partes, aflojar uniones o incluso desensamblarse por causa del mismo movimiento. En la figura 25 se puede apreciar gráficamente de la vibración.

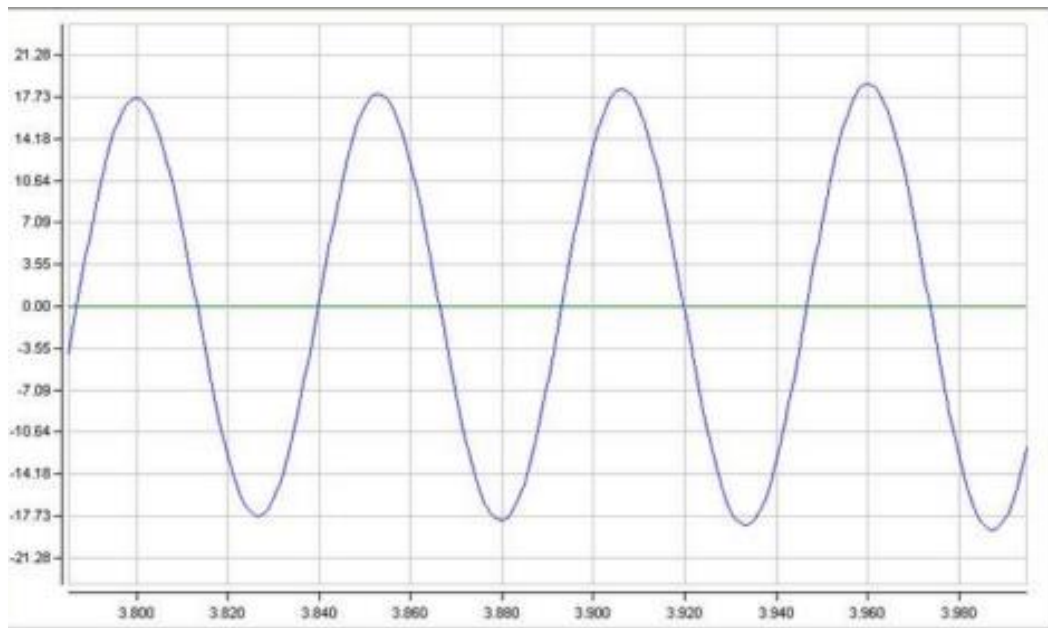


Figura 25. Representación gráfica de la vibración.

(Manual DigivibeMX)

2.7.1 VIBRACIONES MECÁNICAS.

Se sabe que todo cuerpo o sistema que tiene masa y elasticidad, es capaz de vibrar a una o más de las frecuencias naturales del mismo, en este caso se dice que el sistema tiene o experimenta una vibración libre (o natural) y que la misma se produce sin que existan estímulos externos aplicados a él. Esto considerando que es mínima o nula la amortiguación.

Existen dos tipos generales de vibraciones mecánicas las cuales son vibración libre y vibración forzada.

2.7.1.1 Vibración Libre

Se dice que una estructura está en vibración libre cuando de su posición estática o de equilibrio empieza a vibrar sin la ayuda de una fuerza externa. Esto ocurre cuando el sistema se balancea bajo la acción de fuerzas propias al sistema mismo, es decir no existe ninguna fuerza aplicada o estas son nulas.

“Se produce vibración libre en una máquina como reacción a un golpe o efecto de golpe. La frecuencia natural es inherente a cada máquina, a cada sistema y de un valor dado por el diseño, construcción y montaje”. (Tandalla, 2012, pág. 12)

La vibración libre puede ser amortiguada y no amortiguada. La vibración libre amortiguada se caracteriza porque la energía mecánica como la amplitud se reducen con el tiempo por el efecto llamado “amortiguamiento”. La vibración libre no amortiguada en cambio es cuando las fuerzas que se oponen a las fuerzas recuperadoras son despreciables. (Riley & Sturges, 2005)

La figura 26 muestra la representación de una vibración amortiguada.

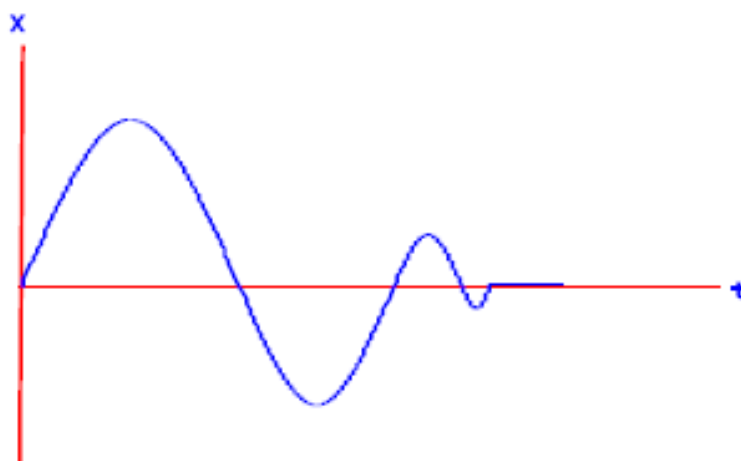


Figura 26. Vibración amortiguada

(Tandalla, 2012)

2.7.1.2 Vibración Forzada

Cuando fuerzas externas son las responsables de las vibraciones que se producen en el sistema. Ocurre cuando existe excitación de fuerzas externas al sistema, por ejemplo de una vibración forzada es la ejercida por la fuerza centrífuga de una masa no compensada de un elemento rotatorio.

Los sistemas mecánicos para trabajar normalmente necesitan de la acción de un agente externo. Si los sistemas están perfectamente alineados y balanceados no surgirán fuerzas que cambien su estado, por lo tanto no habrá vibración.

“La vibración forzada en un sistema rotativo puede ser el desbalanceo, el desalineamiento, las fuerzas reactivas a los movimientos alternativos de pistones en motores de combustión, en compresores, etc.” (Tandalla, 2012, pág. 13)

2.7.2 CARACTERISTICAS DE LA VIBRACIÓN

Las características más importantes de la vibración son: frecuencia, amplitud, velocidad, aceleración, spike energy (energía de impulsos).

2.7.2.1 Frecuencia

Es una magnitud que mide el número de repeticiones por unidad de tiempo de cualquier fenómeno o suceso periódico.

Como lo dice lo citado anterior, frecuencia es el número de ciclos completos en un período de tiempo, se caracteriza por su unidad en CPM (ciclos por minuto). Se tiene una relación importante entre frecuencia y velocidad angular

de los elementos rotativos. La figura 27 muestra la representación de frecuencia.

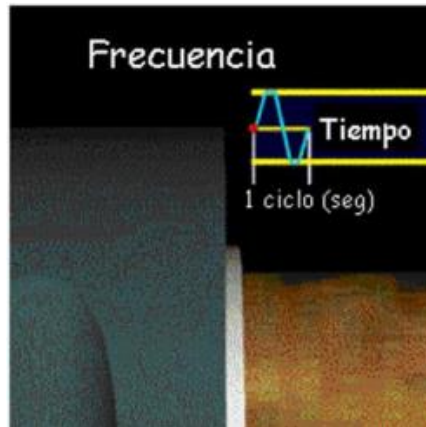


Figura 27. Frecuencia

(Manual DigivibeMX)

La correspondencia existente entre cpm y rpm (ciclos por minuto-revoluciones por minuto) identificará el problema y la pieza responsable de la vibración, esta es debida a que las fuerzas cambian de dirección y amplitud de acuerdo a la velocidad de giro. Los distintos problemas son detectados por las frecuencias iguales a la velocidad de giro. Cada tipo de frecuencia tiene diferente vibración.

2.7.2.2 Amplitud

Se podrá medir la amplitud de desplazamiento, velocidad o aceleración. Un indicador directo de la severidad de vibración es la velocidad de vibración que está tomado en cuenta con el desplazamiento. La velocidad, aceleración o desplazamiento se puede medir con más precisión la severidad de vibración según sus intervalos de frecuencias de forma más precisa, para medir desplazamiento su frecuencia debe ser por debajo de 600 cpm.

La figura 28 muestra cómo se representa la amplitud de onda.

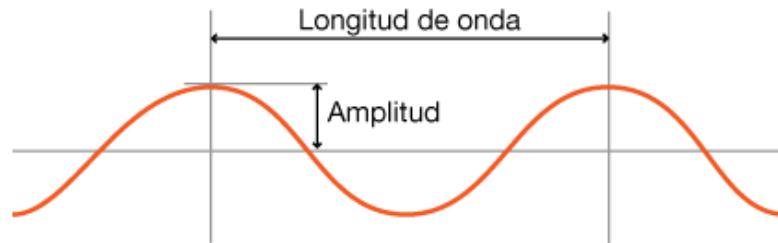


Figura 28. Representación gráfica de la amplitud de onda.

(Tandalla, 2012)

2.7.2.3 Velocidad

“La velocidad tiene una relación directa con la severidad de vibración, por este motivo es el parámetro que siempre se mide.” (Guemisa, 2016) Se mide la velocidad cuando el intervalo está de 600 y 60.000 cpm, y el pico mayor de todo el recorrido que realiza el elemento cuando vibra. (Acosta & Molina, 2011) Se observa gráficamente en la figura 29 la velocidad de un objeto que vibra.

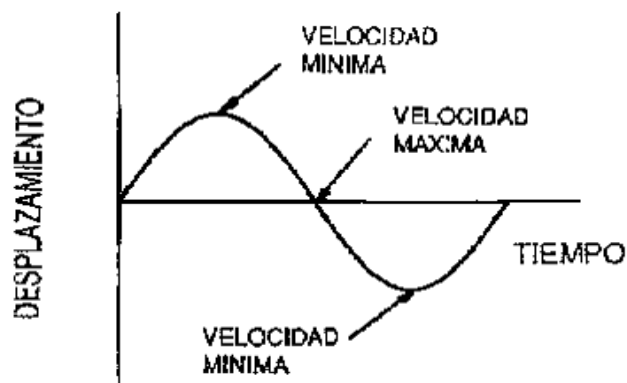


Figura 29. Gráfica de la velocidad de un objeto que vibra

(Guemisa, 2016)

2.7.2.4 Aceleración

La relación que tienen la fuerza que provoca la aceleración con la fuerza que provoca la vibración, se toman las altas frecuencias que pasan más de los 60.000 cpm para medir la aceleración. No importa si la velocidad y desplazamiento sean pequeños. (Acosta & Molina, 2011) Ver figura 30, aceleración de un objeto que vibra.



Figura 30. Gráfica de la aceleración de un objeto que vibra

(Guemisa, 2016)

2.7.2.5 Spike Energy

El spike energy o energía de impulsos a la hora de analizar vibraciones nos proporciona una información de los impulsos de energía en periodo corto de tiempo, por lo tanto son parámetros de alta frecuencia.

Este parámetro es importante para detectar defectos en rodamientos y engranajes. Es una medida de aceleración pero tiene una unidad de medida en g-SE.

Los datos a tomar, desplazamiento, velocidad o aceleración dependerán de la velocidad de acuerdo con su relación equivalente de frecuencia (rpm=cpm). Así, para bajas rpm, (bajos cpm) de 0 hasta 600 rpm, se tomarán datos de desplazamientos. Para velocidades en el rango de 600 a 60.000 rpm, se medirán velocidades. Y para los que sean superiores a 60.000 rpm, los datos tomados serán de aceleración.

La medición de vibración, juega un papel muy importante en el desarrollo de técnicas para mitigarla o reducirla, y en el establecimiento de límites en los niveles de ruido de la maquinaria existente en una instalación industrial.

2.8 MEDICIÓN DE LA VIBRACIÓN

La medición de la vibración se puede definir como el estudio de las oscilaciones mecánicas de un sistema dinámico.

La medición de vibración es realizada con la finalidad de obtener los datos necesarios que nos permitan realizar significativas conclusiones del objeto al que sometemos a prueba. Estos datos pueden ser usados para disminuir o eliminar la vibración y así eliminar un ruido excesivo. En ciertas aplicaciones, el ruido no es el parámetro a controlar, sino la calidad del producto obtenido por el sistema. (Steidel, 1991)

Un sistema de medición de vibración, como se observa en la figura 31, está formado por los siguientes elementos:

- Los transductores de vibración que son los encargados de transformar en señales eléctricas las vibraciones.
- Un sistema de acondicionamiento de señal (interfaz).
- Un procesador (computador) que muestre las señales analógicas obtenidas transformándolas en señales digitales.



Figura 31. Sistema de medición de vibraciones

2.8.1 TRANSDUCTORES DE MEDICIÓN DE VIBRACIÓN

“La generación y transmisión de vibraciones a ser procesadas como señales eléctricas por el analizador de vibraciones requieren de transductores. Estos son de 3 tipos: de proximidad, de velocidad y de aceleración”. (Tandalla, 2012, pág. 15)

2.8.1.1 Transductor de Proximidad

Básicamente consiste en un núcleo ferroso con una bobina alrededor la cual crea un campo magnético. Esta se coloca cercano al eje, de manera que al vibrar se completa el campo magnético generando corrientes inducidas que modifican la señal proporcionalmente al desplazamiento del objeto medido.

La figura 32 muestra la parte interna de un transductor de velocidad.

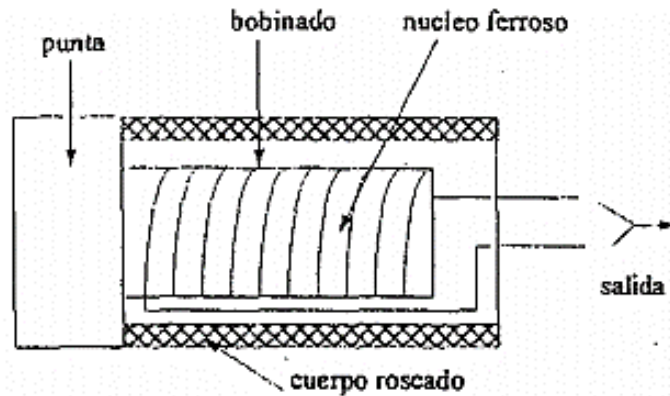


Figura 32. Transductor de proximidad

(Tandalla, 2012, pág. 16)

2.8.1.2 Transductor de Velocidad

Compuesto por una bobina cilíndrica y un imán permanente el cual está suspendido en un medio fluido por resortes. Cuando se coloca este transductor sobre un rodamiento, la vibración producida transmite una oscilación en la magneto, el cual induce una diferencia de potencial de la bobina que es proporcional a la amplitud de la vibración. Se muestra en la figura 33 un transductor de velocidad. (Tandalla, 2012)

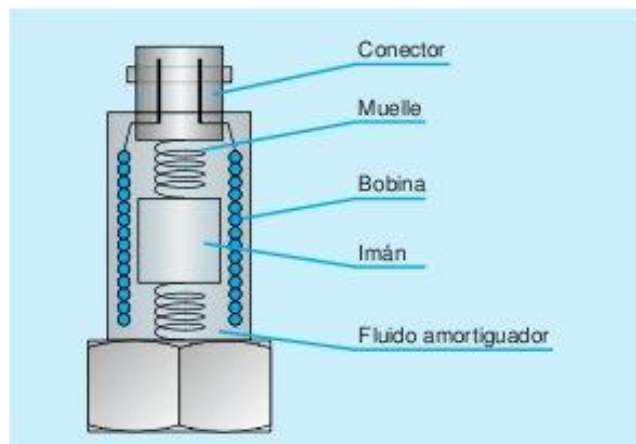


Figura 33. Transductor de velocidad

(<http://www.sinais.es/images/Recursos/Curso%20vibraciones/sismico.jpg>)

Al colocarse el transductor de velocidad en los soportes de rodamientos (chumaceras), se produce una oscilación en el magneto, por causa de la vibración transmitida, que induce una corriente eléctrica y diferencia de potencial en la bobina que es proporcional a la amplitud de vibración.

2.8.1.3 Acelerómetros

Son dispositivos para medir vibración y aceleración. Están hechos de un material piezoeléctrico que se encuentra en contacto con una masa. Funciona cuando se comprime un retículo cristalino piezoeléctrico al ponerlo en contacto con un medio vibrante generando así una carga eléctrica proporcional a la fuerza aplicada.

Son muy comunes, operan en una muy amplia gama de frecuencias, desde 0 hasta más de 400 kHz, son recomendables para maquinaria de alta velocidad y para detectar vibraciones de alta frecuencia en general. (Tandalla, 2012, pág. 17)

En la figura 34 se puede observar internamente un acelerómetro.

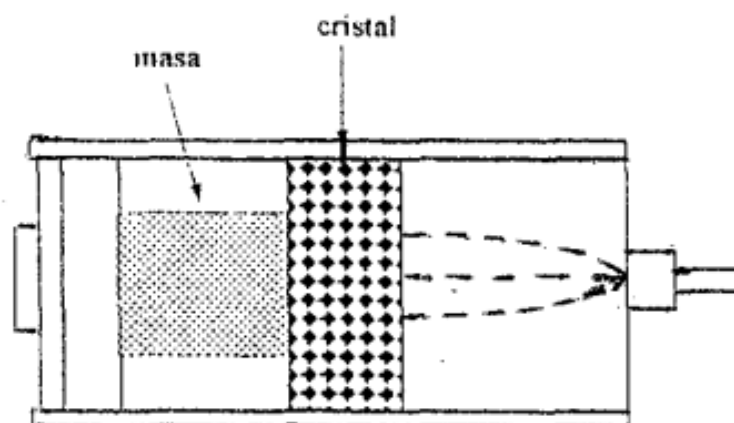


Figura 34. Acelerómetro

(Tandalla, 2012, pág. 17)

2.8.2 PUNTOS DE MEDICIÓN

Por lo general es recomendable colocar el transductor de prueba lo más cerca posible elemento a medir. En la figura 35 se observa la correcta posición del transductor.

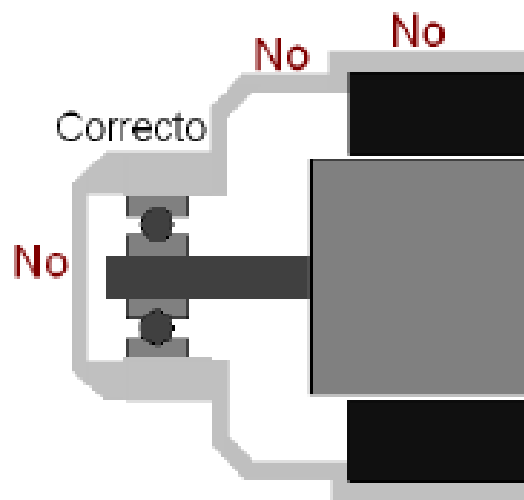


Figura 35. Ubicación de sensor

(Tandalla, 2012)

2.8.2.1 Orientación de sensor de vibración

Para ayudar en la determinación de problemas de máquinas es muy útil obtener datos de vibración de cada punto de medición en tres direcciones. Esas direcciones se llaman axial, radial, y tangencial. Axial es la dirección paralela a la flecha, radial es la dirección desde el transductor hacia el centro de la flecha, y tangencial es 90 grados de radial, tangente a la flecha. (Tandalla, 2012)

La figura 36 muestra los planos axial, radial y tangencial de la orientación de un sensor.

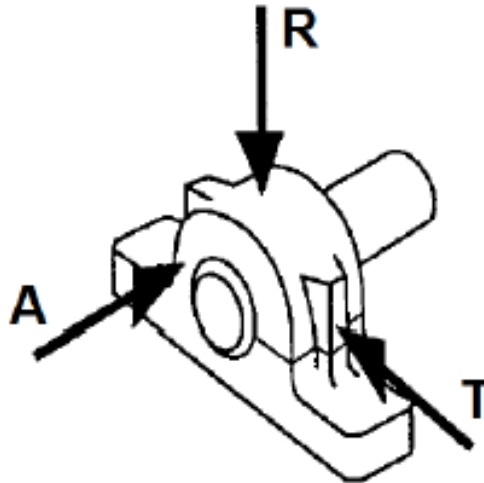


Figura 36. Planos de medición

(Tandalla, 2012, pág. 20)

2.9 SEVERIDAD DE LA VIBRACIÓN

Es muy importante conocer la severidad de la vibración, ya que indica la gravedad de un defecto. Cuando hay un fallo es difícil establecer valores límites de vibración, la amplitud de vibración expresa la gravedad del problema. La severidad se basa en dos parámetros muy importantes que son frecuencia y amplitud.

ISO 2372-1974. “Vibración mecánica de máquinas con velocidades de operación entre 10 y 200 rev/s. Bases para la especificación de estándares de evaluación”. (Universidad de Navarra, 2015)

Este estándar internacional define bases y reglas específicas a emplear en la evaluación de la vibración mecánica de máquinas que operan entre 10 y 200 (rev/s) y en un rango de 10 a 1000 Hz.

La tabla 2 muestra los límites de velocidad de vibraciones según la norma ISO.

Tabla 2. Límites de vibración según norma ISO

Velocidad RMS mm/s	Grupo I	Grupo II	Grupo III	Grupo IV
0.28	A	A	A	A
0.45	A	A	A	A
0.71	A	A	A	A
1.12	B	A	A	A
1.80	B	B	A	A
2.80	C	B	B	A
4.50	C	C	B	B
7.10	C	C	C	B
11.2	D	C	C	C
18.0	D	D	C	C
28.0	D	D	D	D
45.0	D	D	D	D

(González, 2009)

Según el cuadro anterior estos límites se basan para definir la severidad de una determinada vibración en cuatro lumbrales que son:

- A: Bueno
- B: Satisfactorio
- C: Aceptable
- D: Inaceptable

Pero antes de realizar las mediciones se debe encuadrar a un grupo de los anteriores la máquina que se está midiendo.

2.9.1 CLASIFICACIÓN DE LAS MÁQUINAS

Esta clasificación se basa en la potencia que genera la máquina, el tipo de montaje y sus componentes, y que giran entre 10 – 200 (rev/s). Así se tiene cuatro grupos que son:

- **Grupo I:** Partes individuales de motores y máquinas. Maquinas pequeñas con potencia de hasta 15 kW.
- **Grupo II:** Máquinas de tamaño mediano (típicamente motores eléctricos entre 15 y 75 kW de salida), o máquinas con apoyos especiales hasta 300 kW.
- **Grupo III:** Máquinas grandes motrices y otras con masas rotativas sobre apoyos rígidos.
- **Grupo IV:** Máquinas motrices de gran tamaño y otras con masas rotativas montadas en apoyos blandos (ejemplo turbogeneradores, turbinas con potencias de salidas mayores que 10 MW). (Acosta & Molina, 2011)

METODOLOGÍA

3. METODOLOGÍA

3.1 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

El proyecto para medir y tomar datos de las vibraciones consta básicamente de 3 partes las cuales son: mecánica, electrónica y uso software. La parte mecánica está constituida por el motor de fundición del cual se va a extraer los datos, el cual es un motor de un vehículo Suzuki Forsa 1 de 1000 centímetros cúbicos de cilindrada del año 1990 el cual se encuentra en funcionamiento. Se ve en la figura 37 el vehículo usado.



Figura 37. Vehículo utilizado (Suzuki Forsa 1)

La parte electrónica está conformada por dos sensores (un piezoeléctrico y un óptico), cables de conexión, una interfaz I500-100 y finalmente el software el cual va a generar los diferentes resultados y espectros respectivos.

3.2 IDENTIFICACIÓN DE PUNTOS DE MEDICIÓN

Para el presente proyecto se identificó los puntos de medición para la toma de datos en puntos de referencia para medir las vibraciones del bloque de cilindros, tanto interna como externamente de los puntos identificados.

3.3 MEDICIÓN

Se procedió con la toma de los datos con el equipo según los puntos identificados y se seleccionó el acelerómetro piezoeléctrico para una buena lectura de datos.

Para la medición se tiene el equipo DigivibeMX el cual consta con las siguientes herramientas:

- Un acelerómetro
- Un sensor óptico
- Una base magnética
- Los cables de conexión
- La interfaz de dos canales.

3.4 OBTENCIÓN DE RESULTADOS

Después de haber realizado las mediciones, se realizó los análisis y se comparó los resultados entre si teniendo en cuenta la normativa, en este caso se utilizó la norma de vibraciones ISO 2372.

3.5 INTERPRETACIÓN DE DATOS

En función del sistema aplicado con la medición se obtiene las gráficas en el software, estas graficas serán analizadas en función de los parámetros a medir, determinando los valores máximos y su severidad.

ANÁLISIS DE RESULTADOS

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1 IDENTIFICACIÓN DE LOS PUNTOS

Una vez identificadas las herramientas que se va a utilizar y las tareas a realizar se establece la ubicación de los puntos de medición tanto axial, radial y tangencialmente.

Dicho esto, el primer punto se lo tomó en la parte lateral izquierda del bloque. Como se observa en el esquema de la figura 38.

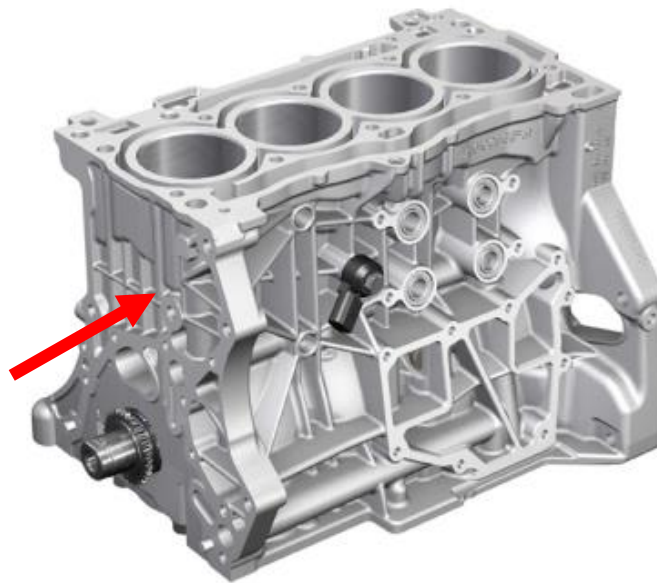


Figura 38. Esquema de punto de medición 1

El segundo punto de medición se lo tomo en posición horizontal cerca del primer cilindro en la parte frontal superior del bloque como se puede ver en el esquema de la figura 39.

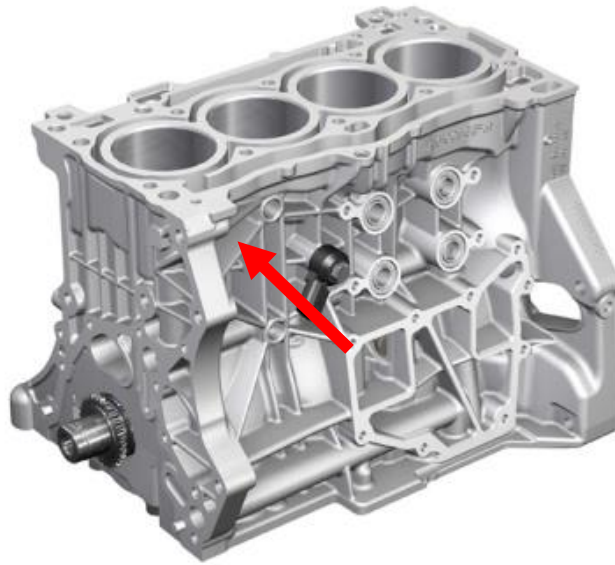


Figura 39. Esquema punto de medición 2

El tercer punto de medida se lo tomo en la parte frontal inferior del punto 2, igualmente en posición horizontal, como se ve en la figura 40.

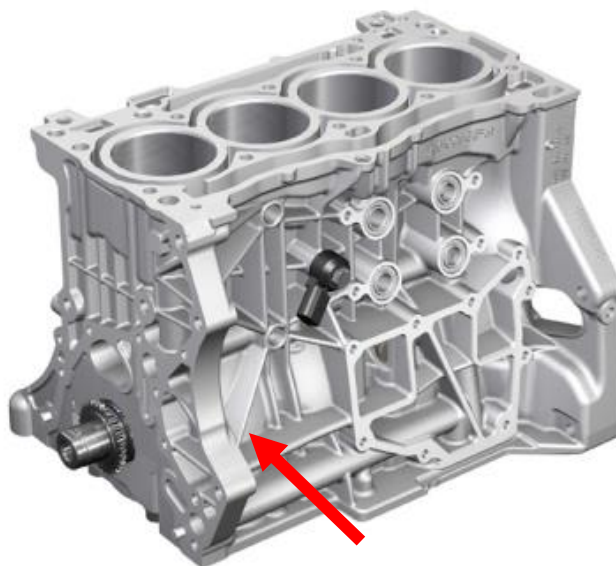


Figura 40. Esquema punto 3 posición horizontal

El cuarto punto se lo tomó de manera axial en la parte lateral derecha del bloque cerca del distribuidor como se puede observar en la figura 41.

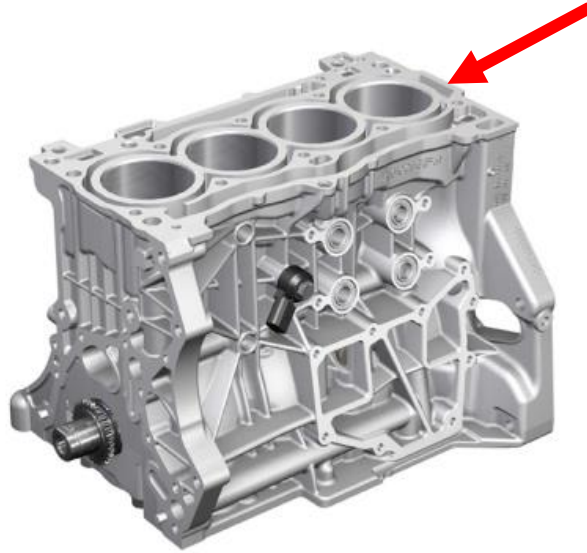


Figura 41. Esquema punto de medición 4

El quinto punto de medición se lo realizó en posición horizontal en la parte posterior central del bloque como se muestra en el esquema de la figura 42.

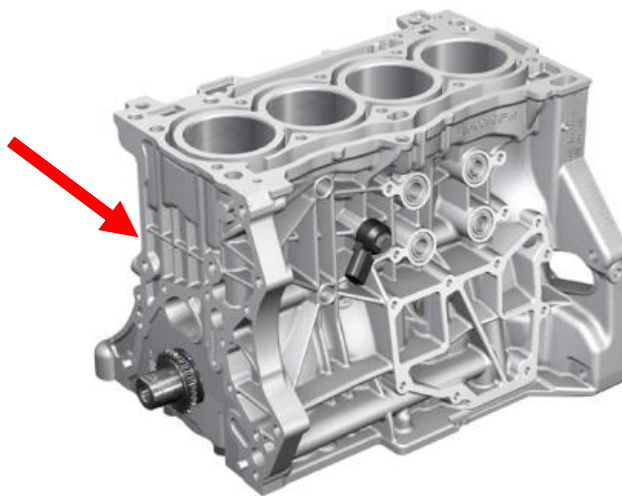


Figura 42. Esquema punto de medición 5

4.2 CALIBRACIÓN DEL EQUIPO

Una vez realizada la activación del programa DigivibeMX M20, se procedió a la calibración del sistema, seleccionando la pestaña “Adquisición de datos” y se selecciona la opción calibración, como se observa en la figura 43.

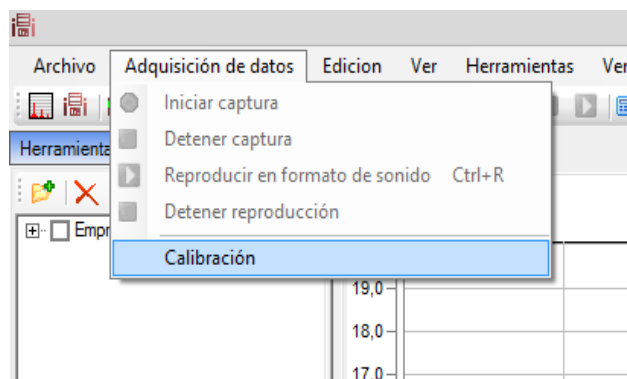


Figura 43. Ventana “Adquisición de datos”.

Se siguió los pasos solicitados para la configuración del interfaz, el primero paso consistía en desconectar la interfaz como se observa en la figura 44.



Figura 44. Calibración del equipo.

Luego el programa solicita que se conecte nuevamente la interfaz. Una vez realizado este procedimiento en el asistente de configuración se seleccionó la opción next (siguiente) como se observa en la figura 45.



Figura 45. Ventana de conexión de cable USB.

Después de haber observado el mensaje de que se configuró correctamente la interfaz como se observa en la figura 46, se inició la calibración.



Figura 46. Ventana de configuración de interfaz.

Se conectó la interfaz en un puerto USB de la laptop, en el puerto 1 de la interfaz se conectó el acelerómetro cable de dos pines y en el puerto OP se conectó el calibrador cable de cinco pines como se ve en la figura 47.



Figura 47. Interfaz y calibrador

Se inició la calibración automáticamente como se ve en la figura 48.

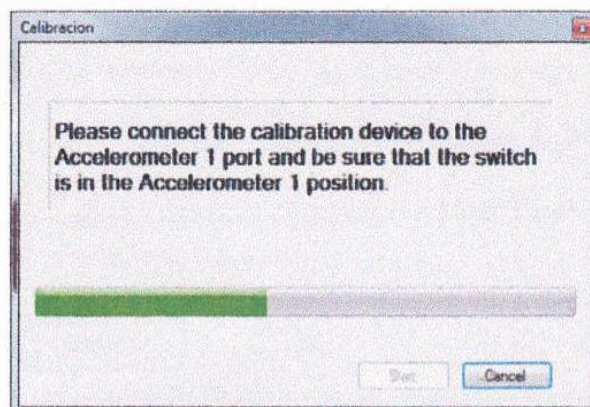


Figura 48. Cuadro de diálogo de calibración.

Una vez finalizado este procedimiento, se observó la confirmación de la calibración con la respectiva información de la sensibilidad del acelerómetro que es de 330 mV/g, como se observa en la figura 49.

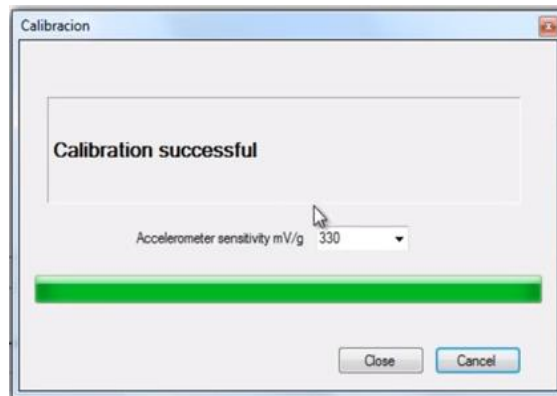


Figura 49. Cuadro de calibración exitosa.

4.3 MEDICIÓN

La primera medida se realizó en el centro del bloque de cilindros junto a la banda de distribución, como se observa en la figura 50.

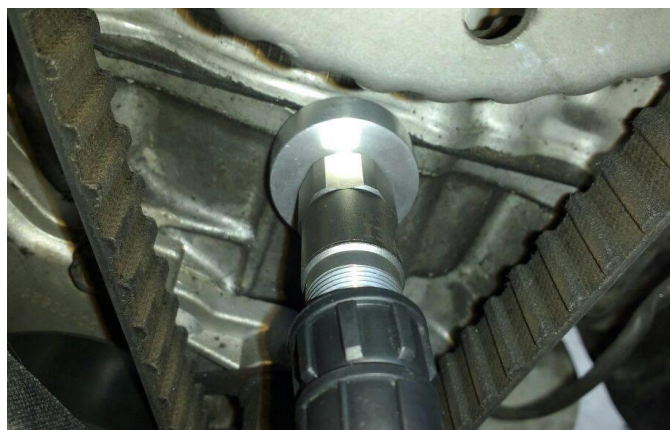


Figura 50. Punto 1 lateral izquierda

Se tomó los datos en el segundo punto de medición antes ya establecido como se observa en la figura 51.



Figura 51. Punto 2 frontal superior

Se procedió a tomar los datos en el punto 3 ya establecido en posición horizontal, como se muestra en la figura 52.

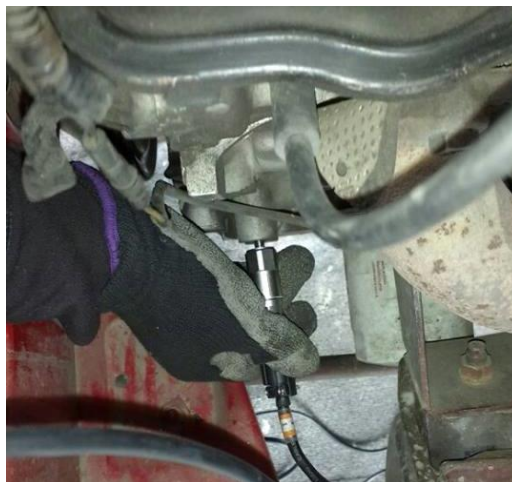


Figura 52. Punto 3 frontal inferior

De la misma manera, se tomó los datos en el punto 4, este punto es en posición axial, ver en la figura 53.



Figura 53. Punto 4 lateral derecha

Se procedió a tomar los datos del punto 5 como se muestra en la figura 54.



Figura 54. Punto 5 posterior

En todos los puntos anteriores se tomó medidas tanto internas como externas del bloque de cilindros, y en dos rangos de velocidad de operación del vehículo para que no haya una variable considerable en la obtención de las mediciones.

4.4 RESULTADOS DE LOS DATOS

Una vez adquiridas las mediciones con el DigivibeMX el software muestra dos espectros uno azul el cual es una gráfica de la amplitud con respecto al tiempo y que da una referencia en mm/s-sec como se puede observar en la figura 55, y otro de color rojo de amplitud con respecto a la frecuencia que se mide mm/s-CPM la cual se observa en la figura 56, esta gráfica compone el espectro FFT.

Este espectro FFT (transformada rápida de Fourier) toma muestras digitales en el dominio del tiempo y calcula su representación en el dominio de la frecuencia.

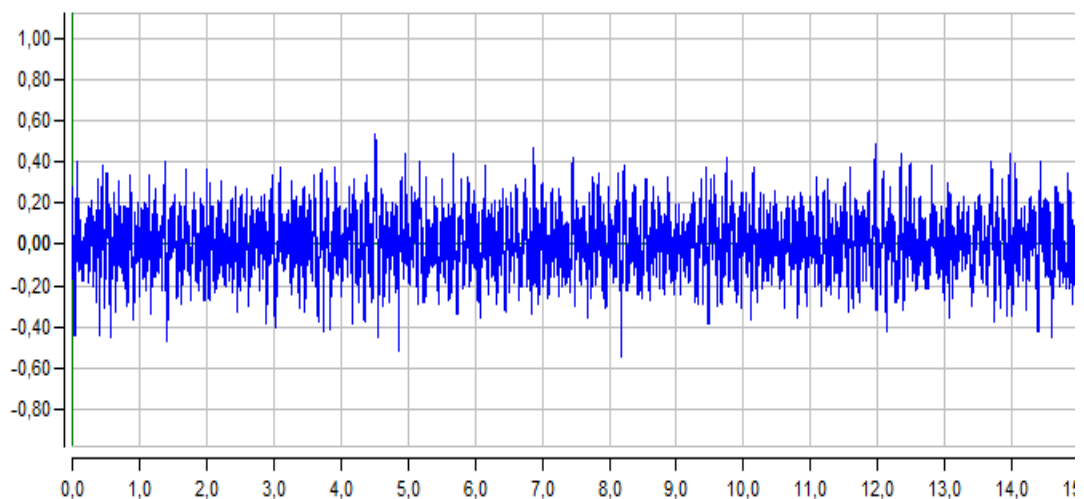


Figura 55. Espectro amplitud - tiempo

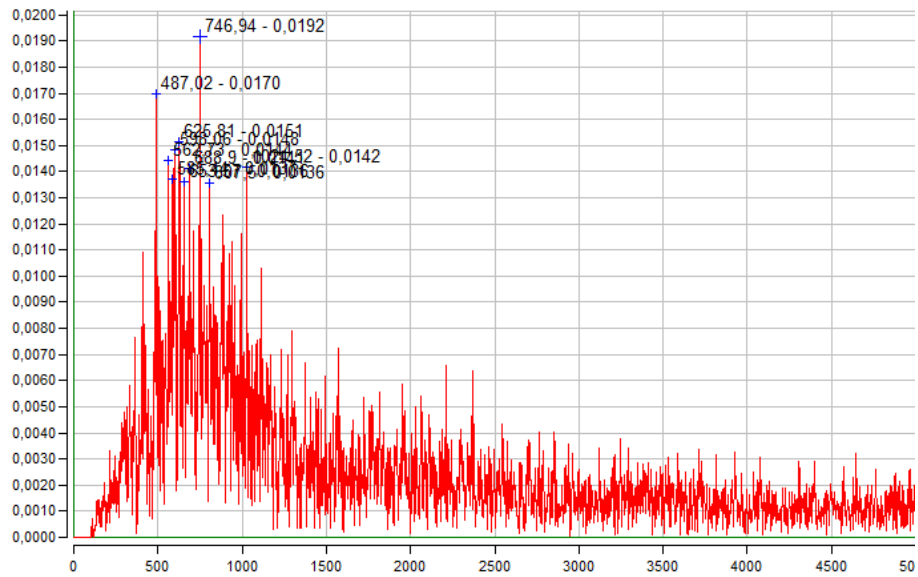


Figura 56. Espectro amplitud – frecuencia

4.4.1 PARTE LATERAL IZQUIERDA DEL BLOQUE

El primer punto de medida es la parte lateral izquierda del bloque. Se tomó los datos en ralenti, el programa generó las gráficas. La primera grafica fue la de Amplitud con respecto al Tiempo (mm/s-sec), como se observa en la figura 57.

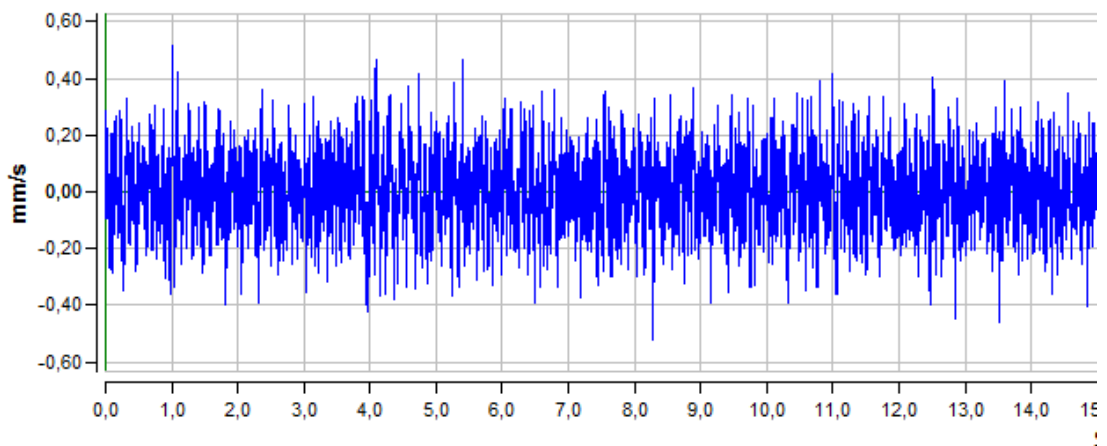


Figura 57. Amplitud vs Tiempo punto 1 ralenti

El segundo gráfico mostrado por el programa fue el de Amplitud en función de la Frecuencia (mm/s-CPM), la cual es el espectro de Fourier FFT, como se observa en la figura 58.

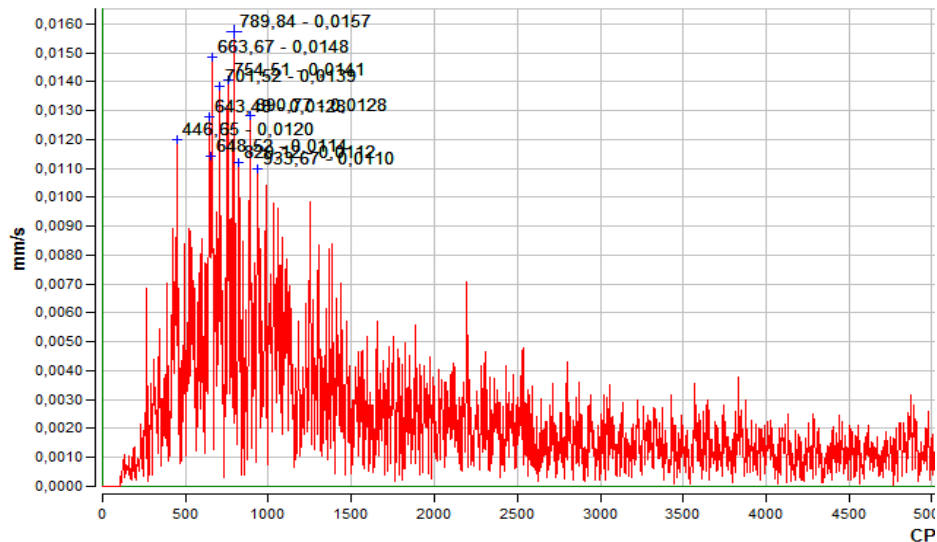


Figura 58. Espectro FFT del punto 1 en ralentí

La tabla 3 indica los valores obtenidos del análisis de acuerdo con las variables de vibración tanto interna como externamente.

Tabla 3. Valores de punto 1 ralentí

Lectura de vibración punto 1						
Posición Lateral Izquierda	Velocidad: Ralentí					
	Frec (CPM)	Amplt. (mm/s)	Frec Máx. (CPM)	RMS (mm/s)	Pico a Pico (mm/s)	Factor de crestas
Interior	824.16	0.018	824	0.124	1.076	4.48
Exterior	789.33	0.016	789	0.112	1.042	4.22
Diferencia	34.67	0.002	35	0.012	0.034	0.26

Los espectros y datos de los puntos medidos nos indican que se debe analizar los datos en velocidad ya que la severidad máxima del espectro obtenido está en el rango de 600-60000 rpm.

Se tomó los valores 789.33 CPM (exterior) y 825.64 CPM (interior) ya que estos valores indicaron los 10 parámetros más altos de velocidad, dichos valores están marcados en los picos del espectro FFT, como se muestra en la figura 59.

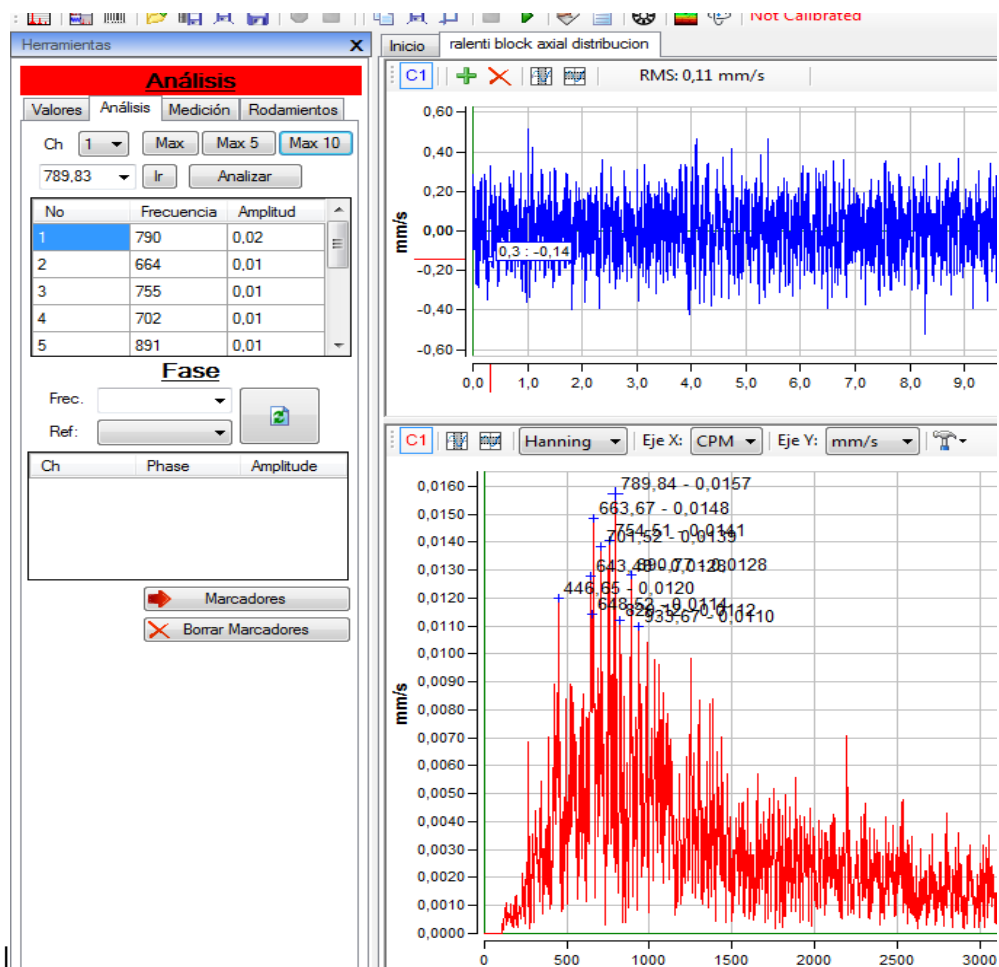


Figura 59. Adquisición de datos del punto 1 en ralentí

En la tabla 4 se observa los 10 valores picos máximos obtenidos parte lateral izquierda del bloque de cilindros en ralentí, tanto interior como exterior.

Tabla 4. Picos máximos punto 1 ralenti

Velocidad Picos Máximos				
Picos máximos	Amplitud		Frecuencia	
	Interno	Externo	Interno	Externo
Max 1	0.018	0.016	825.64	789.83
Max 2	0.016	0.015	723.58	663.66
Max 3	0.016	0.014	854.25	754.50
Max 4	0.015	0.014	736.85	701.51
Max 5	0.014	0.013	896.44	890.77
Max 6	0.013	0.013	742.18	643.47
Max 7	0.013	0.012	654.85	446.65
Max 8	0.012	0.011	702.56	648.52
Max 9	0.012	0.011	825.13	820.11
Max 10	0.012	0.011	963.57	933.67

Se tomó los datos a 2000 rpm en la parte lateral izquierda del bloque, el programa generó las gráficas. La primera grafica fue la de Amplitud con respecto al Tiempo (mm/s-sec), como se observa en la figura 60.

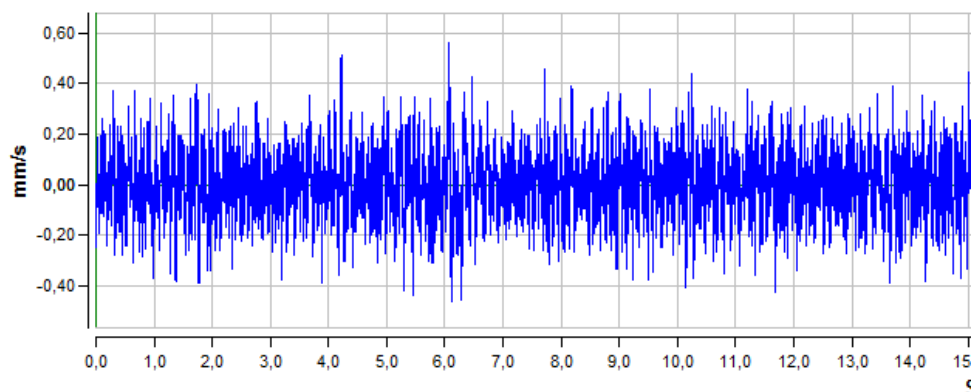


Figura 60. Amplitud vs tiempo punto 1 a 2000rpm

El segundo gráfico mostrado por el programa fue el de Amplitud en función de la Frecuencia (mm/s-CPM), la cual es el espectro de Fourier FFT, como se observa en la figura 61.

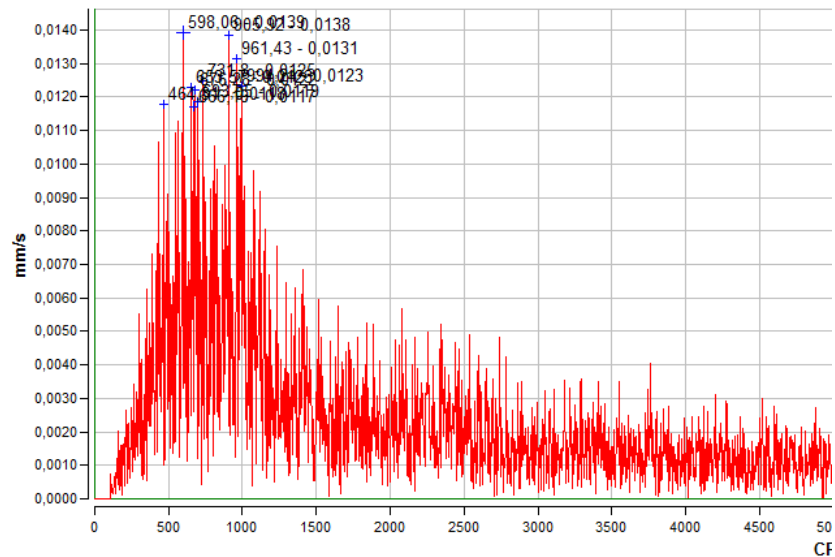


Figura 61. Espectro FFT del punto 1 a 2000 rpm

La tabla 5 indica los valores obtenidos del análisis de acuerdo con las variables de vibración tanto interna como externamente.

Tabla 5. Valores de punto 1 a 2000 rpm

Lectura de vibración punto 1						
Posición Lateral Izquierda	Velocidad: 2000 rpm					
	Frec (CPM)	Amplt. (mm/s)	Frec Máx. (CPM)	RMS (mm/s)	Pico a Pico (mm/s)	Factor de crestas
Interior	671.23	0.015	671	0.109	1.068	4.78
Exterior	598.05	0.014	598	0.109	1.029	4.22
Diferencia	73.18	0.001	73	0	0.039	0.56

Se tomó los valores 598.21 CPM (exterior) y 670.69 CPM (interior) ya que estos valores indicaron los 10 parámetros más altos de velocidad, dichos valores están marcados en los picos del espectro FFT, como se muestra en la figura 62.

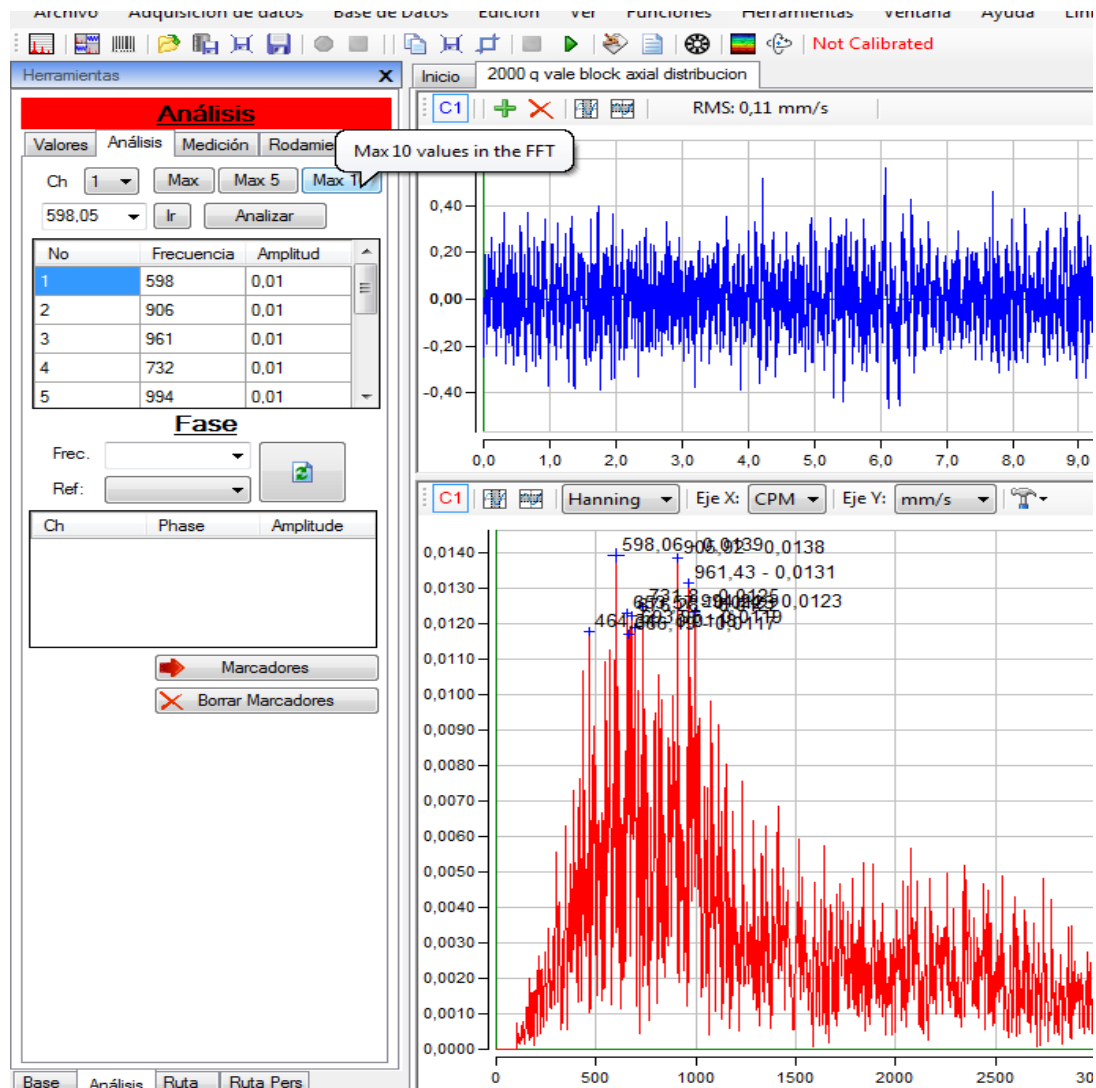


Figura 62. Adquisición de datos de punto 1 a 2000 rpm

En la tabla 6 se observa los 10 valores picos máximos obtenidos parte lateral izquierda del bloque de cilindros a 2000 rpm, tanto interior como exterior.

Tabla 6. Picos máximos punto 1 a 2000 rpm

Picos máximos	Velocidad Picos Máximos			
	Amplitud		Frecuencia	
	Interno	Externo	Interno	Externo
Max 1	0.015	0.014	671.23	598.05
Max 2	0.012	0.014	956.38	905.9
Max 3	0.012	0.013	678.80	961.42
Max 4	0.012	0.012	810.02	731.79
Max 5	0.011	0.012	625.81	994.22
Max 6	0.011	0.012	567.77	653.56
Max 7	0.011	0.012	802.45	676.27
Max 8	0.011	0.012	600.57	693.94
Max 9	0.011	0.012	759.55	464.3
Max 10	0.011	0.012	1014.42	666.18

4.4.2 PARTE FRONTAL SUPERIOR DEL BLOQUE

Se tomó los datos en velocidad ralentí en la parte frontal superior del bloque, el programa generó las gráficas. La primera grafica fue la de Amplitud con respecto al Tiempo (mm/s-sec), como se observa en la figura 63.

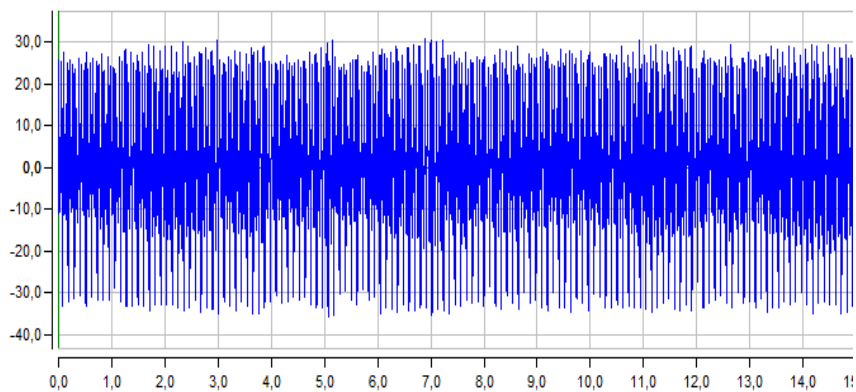


Figura 63. Amplitud vs tiempo punto 2 ralentí

El segundo gráfico mostrado por el programa fue el de Amplitud en función de la Frecuencia (mm/s-CPM), la cual es el espectro de Fourier FFT, como se observa en la figura 64.

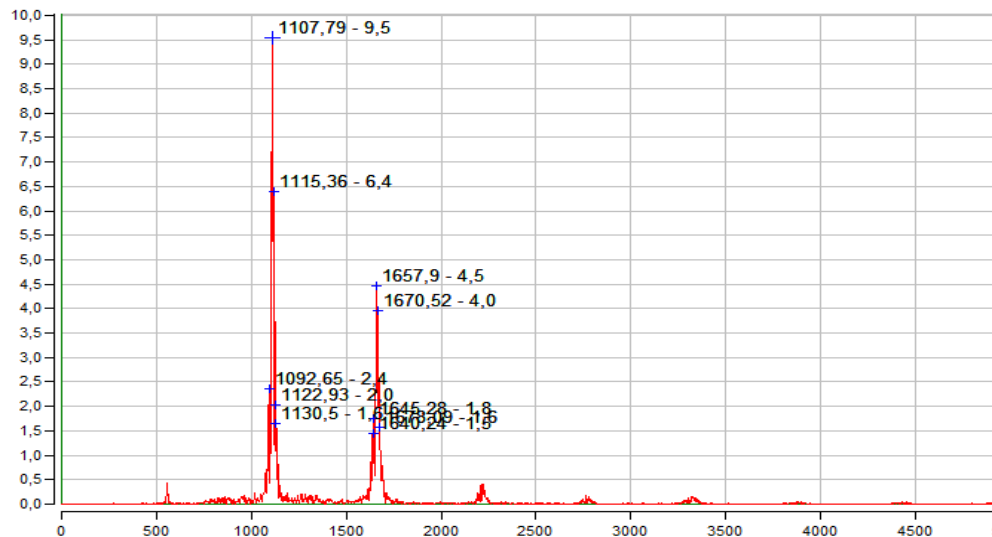


Figura 64. Espectro FFT del punto 2 en ralenti

La tabla 7 indica los valores obtenidos del análisis de acuerdo con las variables de vibración tanto interna como externamente.

Tabla 7. Valores de punto 2 en ralenti

Lectura de vibración punto 2						
Posición Frontal Superior	Velocidad: Ralenti					
	Frec (CPM)	Amplt. (mm/s)	Frec Máx. (CPM)	RMS (mm/s)	Pico a Pico (mm/s)	Factor de crestas
Interior	1257.58	10.05	1257	17.39	71.25	1.94
Exterior	1107.78	9.54	1107	16.50	66.66	1.87
Diferencia	149.80	0.51	150	0.89	4.59	0.07

Se tomó los valores 1107.05 CPM (exterior) y 1257.36 CPM (interior) ya que estos valores indicaron los 10 parámetros más altos de velocidad, dichos valores están marcados en los picos del espectro FFT, como se muestra en la figura 65.

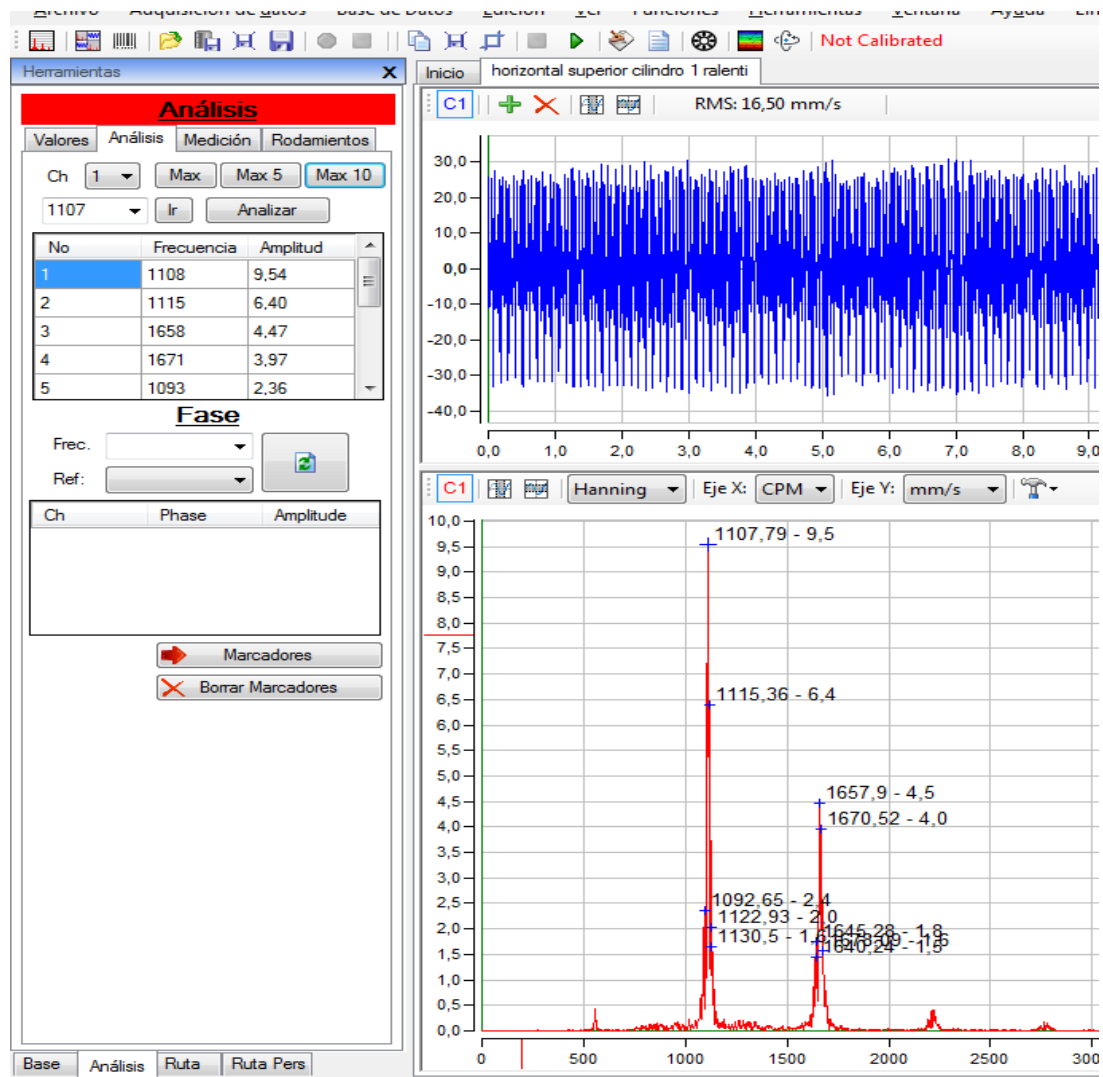


Figura 65. Adquisición de datos de punto 2 en ralenti

En la tabla 8 se observa los 10 valores picos máximos obtenidos del parte frontal superior del bloque de cilindros a velocidad ralenti, tanto interior como exterior.

Tabla 8. Picos máximos punto 2 en ralenti

Picos máximos	Velocidad Picos Máximos			
	Amplitud		Frecuencia	
	Interno	Externo	Interno	Externo
Max 1	10.68	9.54	1257.58	1107.78
Max 2	8.24	6.40	1287.46	1115.35
Max 3	7.48	4.47	1754.35	1657.89
Max 4	7.02	3.97	1789.28	1670.51
Max 5	6.37	2.36	1354.87	1092.64
Max 6	5.34	2.04	1232.19	1122.92
Max 7	4.88	1.76	1436.58	1645.27
Max 8	3.54	1.64	1248.21	1130.49
Max 9	3.07	1.56	1685.34	1678.08
Max 10	2.46	1.46	1697.25	1640.22

Se tomó los datos a 2000 rpm en la parte frontal superior del bloque, el programa generó las gráficas. La primera grafica fue la de Amplitud con respecto al Tiempo (mm/s-sec), como se observa en la figura 66.

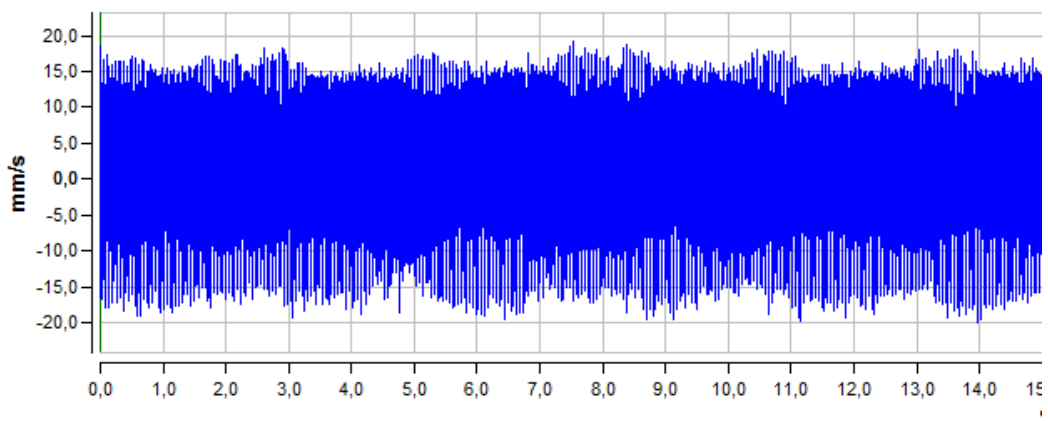


Figura 66. Amplitud vs tiempo punto 2 a 2000 rpm

El segundo gráfico mostrado por el programa fue el de Amplitud en función de la Frecuencia (mm/s-CPM), la cual es el espectro de Fourier FFT, como se observa en la figura 67.

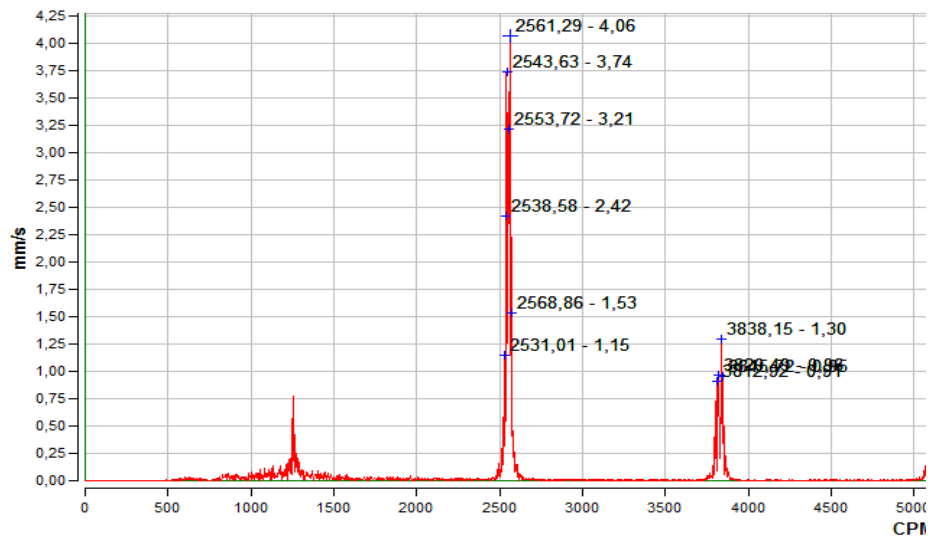


Figura 67. Espectro FFT del punto 2 a 2000 rpm

La tabla 9 indica los valores obtenidos del análisis de acuerdo con las variables de vibración tanto interna como externamente.

Tabla 9. Valores de punto 2 a 2000 rpm

Lectura de vibración punto 2						
Posición Frontal Superior	Velocidad: 2000 rpm					
	Frec (CPM)	Amplt. (mm/s)	Frec Máx. (CPM)	RMS (mm/s)	Pico a Pico (mm/s)	Factor de crestas
Interior	2893.39	4.31	2893	8.33	43.44	2.37
Exterior	2561.29	4.06	2561	8.13	39.11	2.31
Diferencia	332.1	0.25	332	0.20	4.33	0.06

Se tomó los valores 2561.29 CPM (exterior) y 2893.39 CPM (interior) ya que estos valores indicaron los 10 parámetros más altos de velocidad, dichos valores están marcados en los picos del espectro FFT, como se muestra en la figura 68.

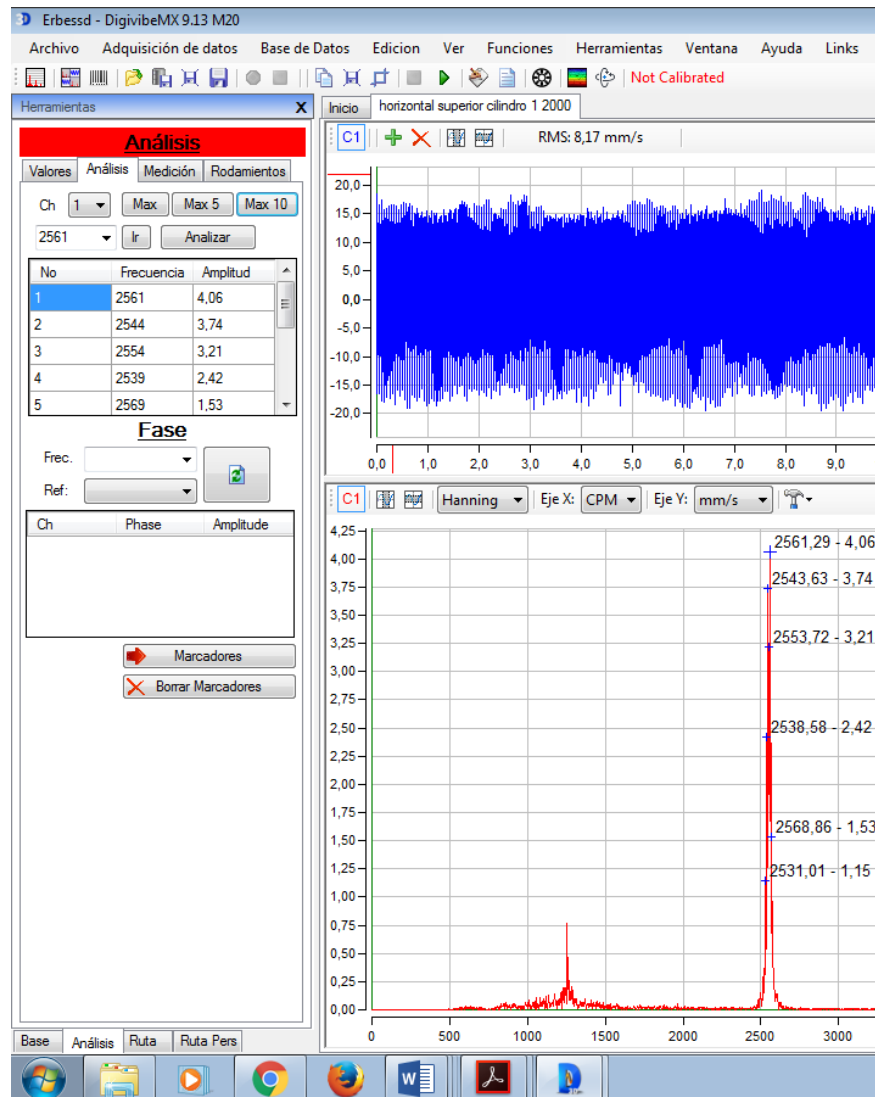


Figura 68. Adquisición de datos de punto 2 a 2000 rpm

En la tabla 10 se observa los 10 valores picos máximos obtenidos parte frontal superior del bloque a 2000 rpm, tanto interior como exterior.

Tabla 10. Picos máximos punto 2 a 2000 rpm

Picos máximos	Velocidad Picos Máximos			
	Amplitud		Frecuencia	
	Interno	Externo	Interno	Externo
Max 1	4.31	4.06	2894.37	2561.27
Max 2	2.76	3.74	2985.21	2543.61
Max 3	1.17	3.21	4340.29	2553.70
Max 4	0.89	2.42	2904.46	2538.56
Max 5	0.74	1.53	4476.55	2568.84
Max 6	0.73	1.30	2909.51	3838.13
Max 7	0.71	1.15	2914.55	2530.99
Max 8	0.63	0.96	2932.22	3820.46
Max 9	0.57	0.95	2947.36	3845.70
Max 10	0.51	0.91	2924.65	3812.89

4.4.3 PARTE FRONTAL INFERIOR DEL BLOQUE

Se tomó los datos en velocidad ralenti en la parte frontal inferior del bloque, el programa generó las gráficas. La primera grafica fue la de Amplitud con respecto al Tiempo (mm/s-sec), como se observa en la figura 69.

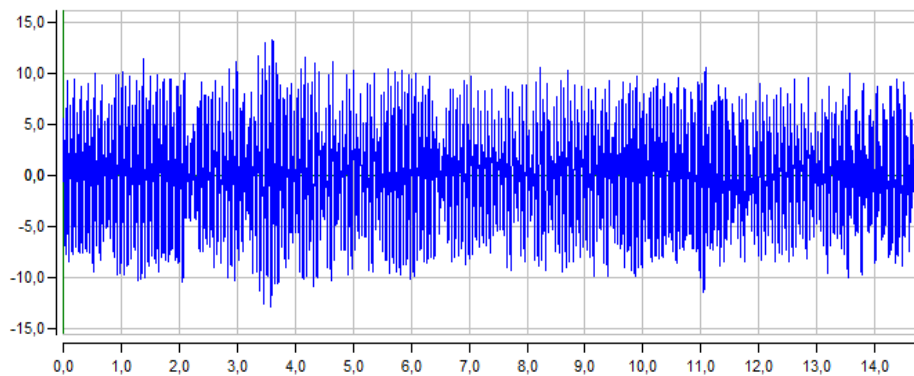


Figura 69. Amplitud vs tiempo punto 3 ralenti

El segundo gráfico mostrado por el programa fue el de Amplitud en función de la Frecuencia (mm/s-CPM), la cual es el espectro de Fourier FFT, como se observa en la figura 70.

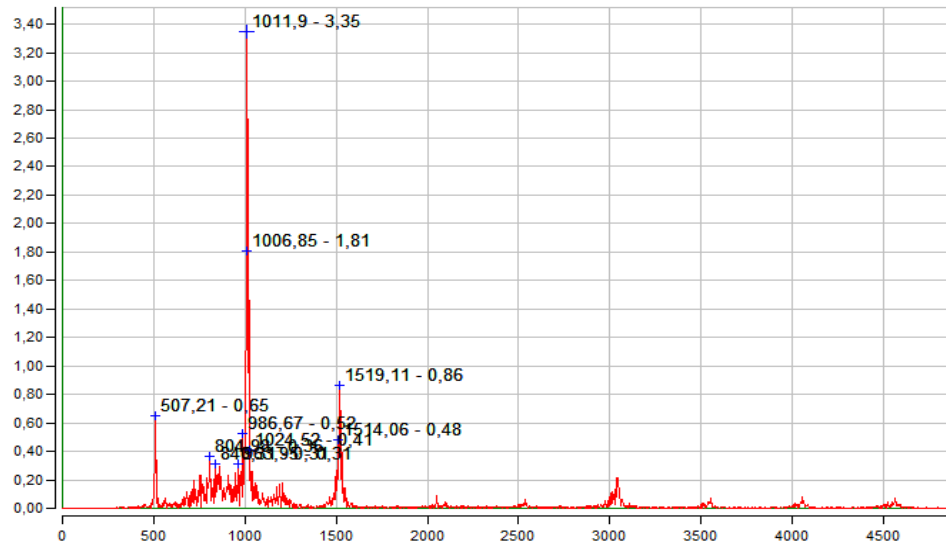


Figura 70. Espectro FFT del punto 3 ralenti

La tabla 11 indica los valores obtenidos del análisis de acuerdo con las variables de vibración tanto interna como externamente.

Tabla 11. Valores de punto 3 en ralenti

Lectura de vibración punto 3						
Posición Frontal Inferior	Velocidad: Ralenti					
	Frec (CPM)	Amplt. (mm/s)	Frec Máx. (CPM)	RMS (mm/s)	Pico a Pico (mm/s)	Factor de crestas
Interior	1252.64	3.81	1253	4.86	30.16	2.42
Exterior	1011.89	3.34	1012	4.70	26.22	2.35
Diferencia	240.75	0.47	241	0.16	3.94	0.07

Se tomó los valores 1011.89 CPM (exterior) y 1252.64 CPM (interior) ya que estos valores indicaron los 10 parámetros más altos de velocidad, dichos valores están marcados en los picos del espectro FFT, como se muestra en la figura 71.

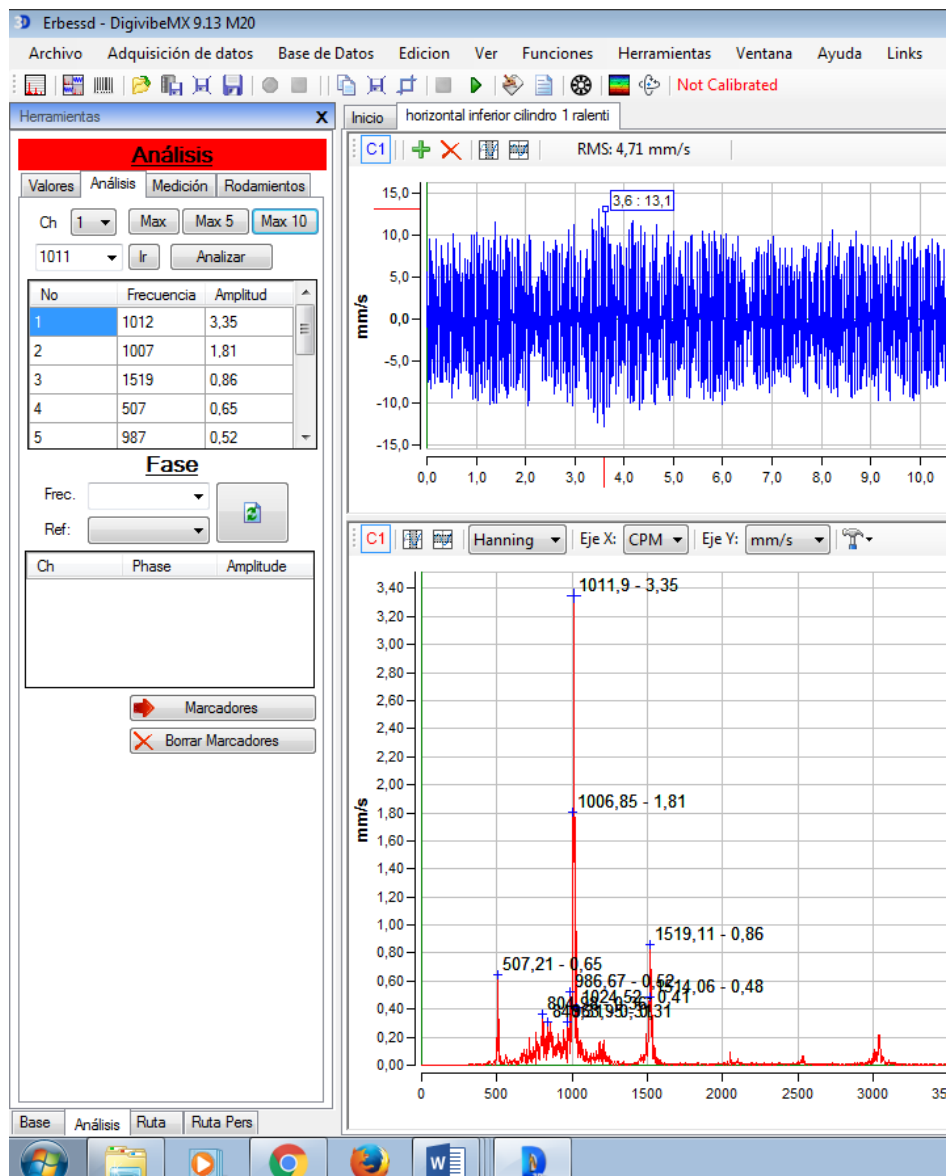


Figura 71. Adquisición de datos de punto 3 en ralenti

En la tabla 12 se observa los 10 valores picos máximos obtenidos parte frontal inferior del bloque en velocidad ralenti, tanto interior como exterior.

Tabla 12. Picos máximos punto 3 ralenti

Picos máximos	Velocidad Picos Máximos			
	Amplitud		Frecuencia	
	Interno	Externo	Interno	Externo
Max 1	4.65	3.35	1252.64	1011.89
Max 2	2.73	1.81	1108.69	1006.85
Max 3	2.06	0.86	1586.26	1519.10
Max 4	1.84	0.65	649.72	507.21
Max 5	1.55	0.52	998.16	986.66
Max 6	0.86	0.48	1607.32	1514.05
Max 7	0.76	0.41	1143.58	1024.51
Max 8	0.53	0.36	873.69	804.97
Max 9	0.47	0.31	865.41	840.30
Max 10	0.35	0.31	995.24	963.95

Se tomó los datos a 2000 rpm en parte frontal inferior, el programa generó las gráficas. La primera grafica fue la de Amplitud con respecto al Tiempo (mm/s-sec), como se observa en la figura 72.

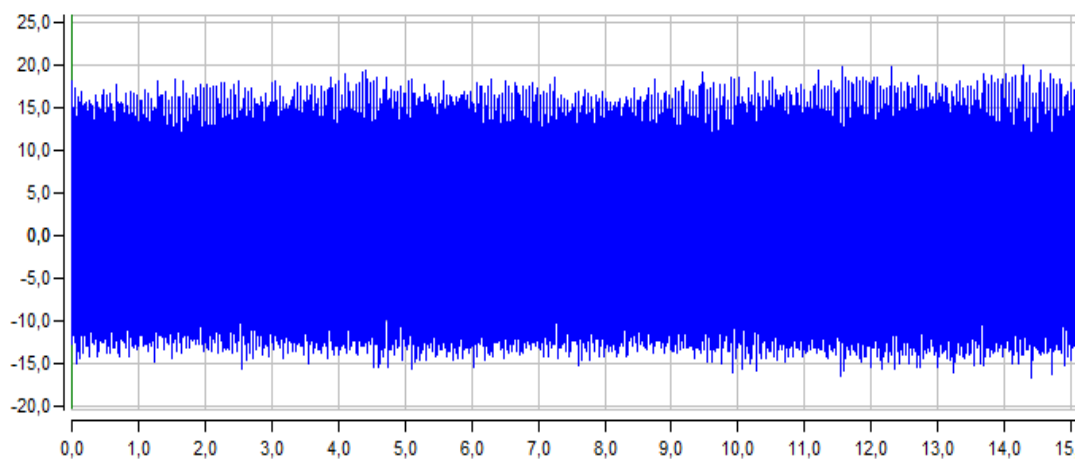


Figura 72. Amplitud vs tiempo punto 3 a 2000 rpm

El segundo gráfico mostrado por el programa fue el de Amplitud en función de la Frecuencia (mm/s-CPM), la cual es el espectro de Fourier FFT, como se observa en la figura 73.

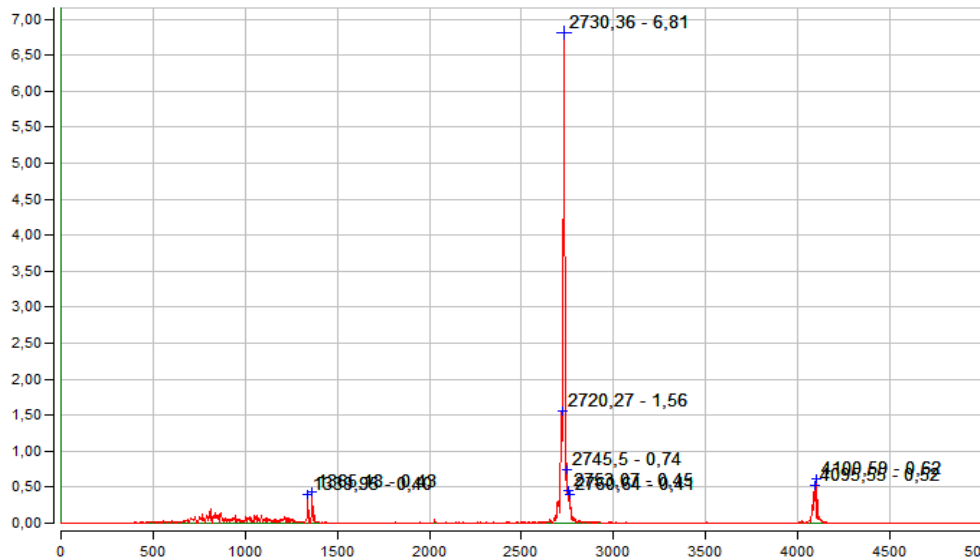


Figura 73. Espectro FFT punto 3 a 2000 rpm

La tabla 13 indica los valores obtenidos del análisis de acuerdo con las variables de vibración tanto interna como externamente.

Tabla 13. Valores de punto 3 a 2000 rpm

Lectura de vibración punto 3						
Posición Frontal Inferior	Velocidad: 2000 rpm					
	Frec (CPM)	Amplt. (mm/s)	Frec Máx. (CPM)	RMS (mm/s)	Pico a Pico (mm/s)	Factor de crestas
Interior	3446.99	6.33	3447	12.04	53.56	2.45
Exterior	2730.34	6.81	2730	8.85	38.27	2.41
Diferencia	716.65	0.48	717	3.19	15.29	0.04

Se tomó los valores 2730.34 CPM (exterior) 3446.99 CMP (interior) ya que estos valores indicaron los 10 parámetros más altos de velocidad, dichos valores están marcados en los picos del espectro FFT, como se muestra en la figura 74.

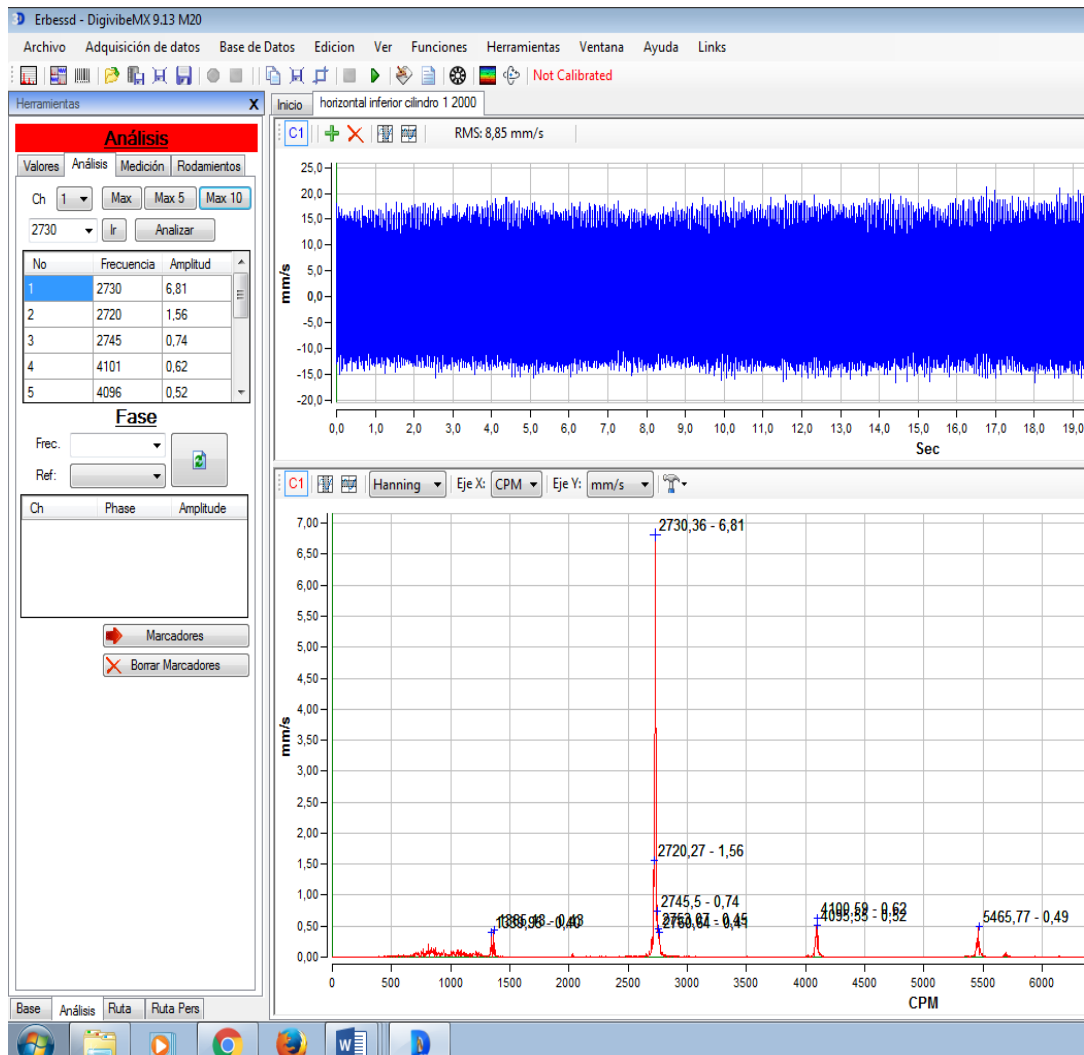


Figura 74. Adquisición de datos de punto 3 a 2000 rpm

En la tabla 14 se observa los 10 valores picos máximos obtenidos parte frontal inferior del bloque a 2000 rpm, tanto interior como exterior.

Tabla 14. Picos máximos punto 3 a 2000 rpm

Picos máximos	Velocidad Picos Máximos			
	Amplitud		Frecuencia	
	Interno	Externo	Interno	Externo
Max 1	6.34	6.81	3446.99	2730.34
Max 2	5.19	1.56	3434.38	2720.25
Max 3	2.56	0.74	3421.76	2745.48
Max 4	1.26	0.62	3464.66	4100.56
Max 5	1.24	0.52	3457.09	4095.51
Max 6	0.84	0.49	6888.94	5465.73
Max 7	0.75	0.45	6893.99	2753.05
Max 8	0.69	0.43	5167.97	1365.17
Max 9	0.67	0.41	6866.23	2760.62
Max 10	0.64	0.40	3472.23	1339.94

4.4.4 PARTE LATERAL DERECHA DEL BLOQUE

Se tomó los datos a velocidad ralenti en la parte lateral derecha del bloque, el programa generó las gráficas. La primera grafica fue la de Amplitud con respecto al Tiempo (mm/s-sec), como se observa en la figura 75.

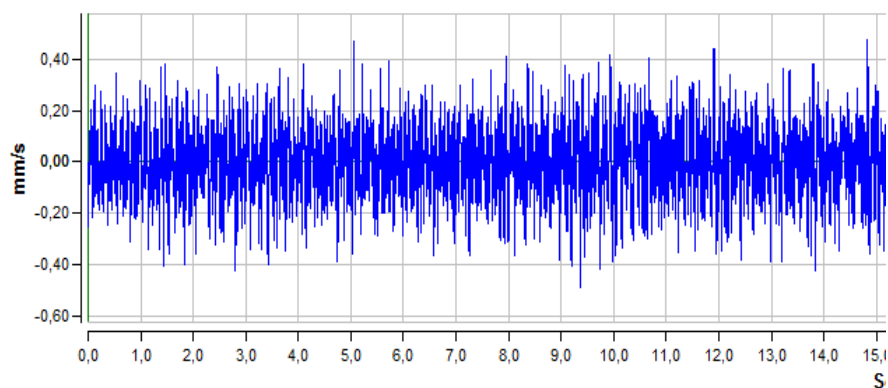


Figura 75. Amplitud vs tiempo punto 4 en ralenti

El segundo gráfico mostrado por el programa fue el de Amplitud en función de la Frecuencia (mm/s-CPM), la cual es el espectro de Fourier FFT, como se observa en la figura 76.

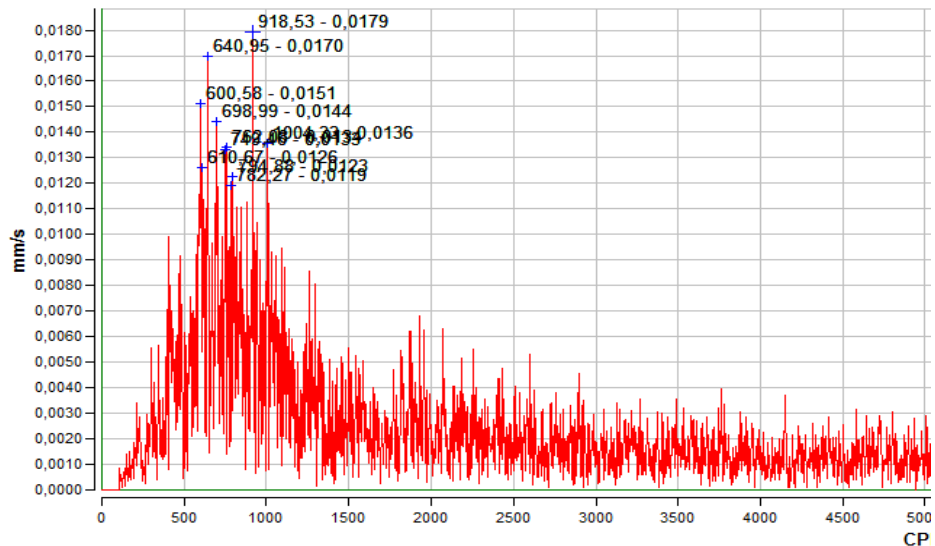


Figura 76. Espectro FFT punto 4 en ralentí

La tabla 15 indica los valores obtenidos del análisis de acuerdo con las variables de vibración tanto interna como externamente.

Tabla 15. Valores de punto 4 en ralentí

Lectura de vibración punto 4						
Posición Lateral Derecha	Velocidad: Ralentí					
	Frec (CPM)	Amplt. (mm/s)	Frec Máx. (CPM)	RMS (mm/s)	Pico a Pico (mm/s)	Factor de crestas
Interior	1024.58	0.019	1024	0.121	1.08	4.13
Exterior	918.53	0.018	919	0.117	0.994	4.07
Diferencia	106.05	0.001	105	0.004	0.086	0.06

Se tomó los valores 918.52 CPM (exterior) 1024.58 CMP (interior) ya que estos valores indicaron los 10 parámetros más altos de velocidad, dichos valores están marcados en los picos del espectro FFT, como se muestra en la figura 77.

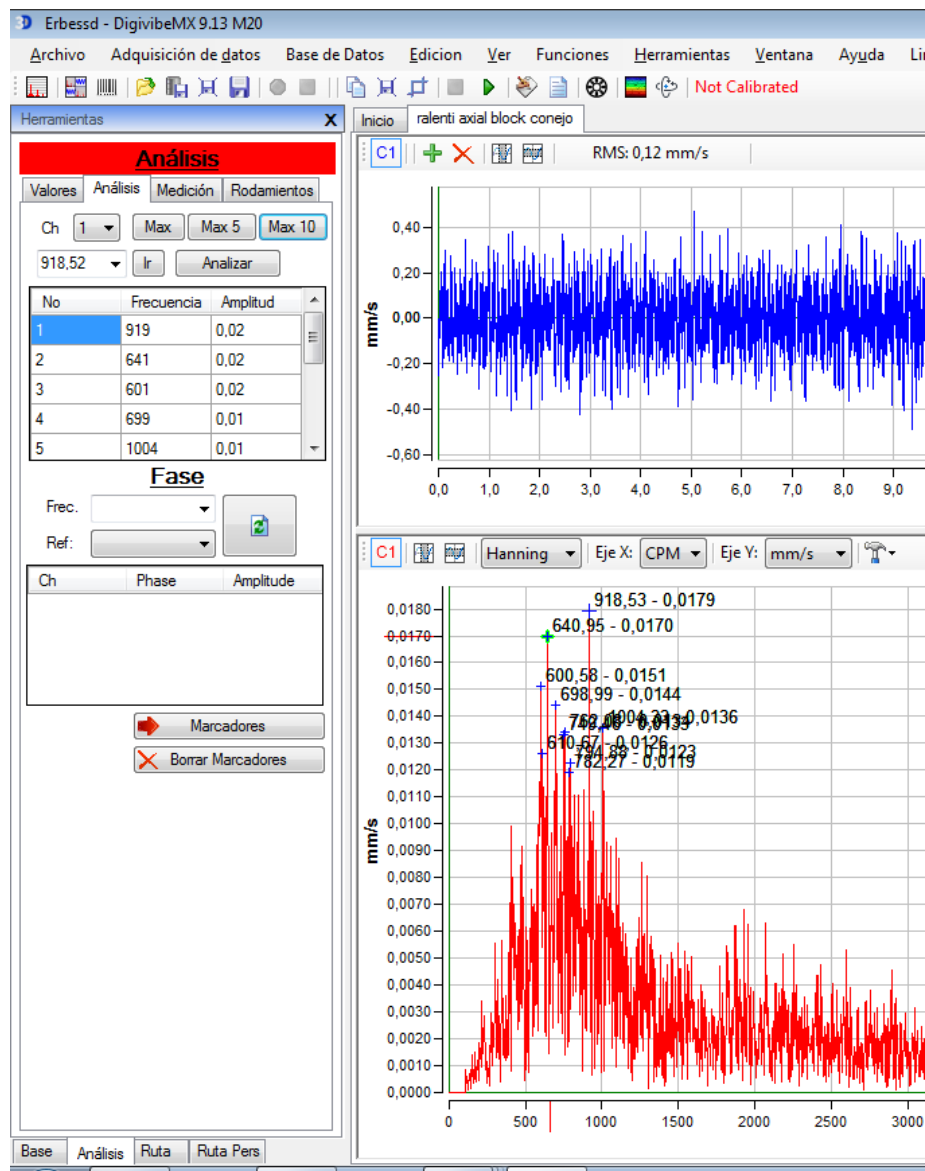


Figura 77. Adquisición de datos de punto 4 en ralenti

En la tabla 16 se observa los 10 valores picos máximos obtenidos de la parte lateral derecha en velocidad ralenti, tanto interior como exterior.

Tabla 16. Picos máximos punto 4 ralenti

Picos máximos	Velocidad Picos Máximos			
	Amplitud		Frecuencia	
	Interno	Externo	Interno	Externo
Max 1	0.019	0.018	1024.58	918.52
Max 2	0.018	0.017	705.22	640.94
Max 3	0.018	0.015	650.49	600.57
Max 4	0.016	0.014	741.25	698.98
Max 5	0.015	0.014	1058.26	1004
Max 6	0.015	0.013	804.72	762.07
Max 7	0.015	0.013	798.24	749.45
Max 8	0.014	0.013	683.33	610.66
Max 9	0.014	0.012	805.69	794.87
Max 10	0.013	0.012	799.15	782.26

Se tomó los datos a 2000 rpm en la parte lateral derecha del bloque, el programa generó las gráficas. La primera grafica fue la de Amplitud con respecto al Tiempo (mm/s-sec), como se observa en la figura 78.

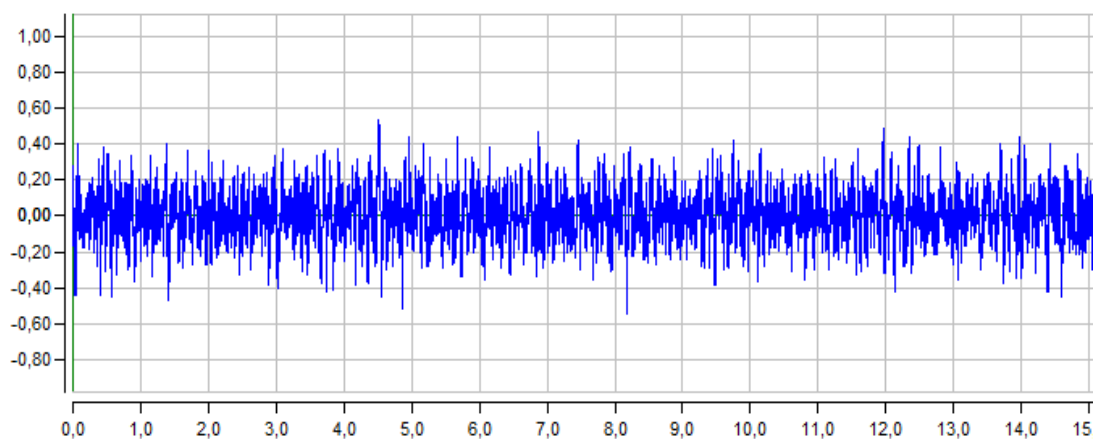


Figura 78. Amplitud vs tiempo punto 4 a 2000 rpm

El segundo gráfico mostrado por el programa fue el de Amplitud en función de la Frecuencia (mm/s-CPM), la cual es el espectro de Fourier FFT, como se observa en la figura 79.

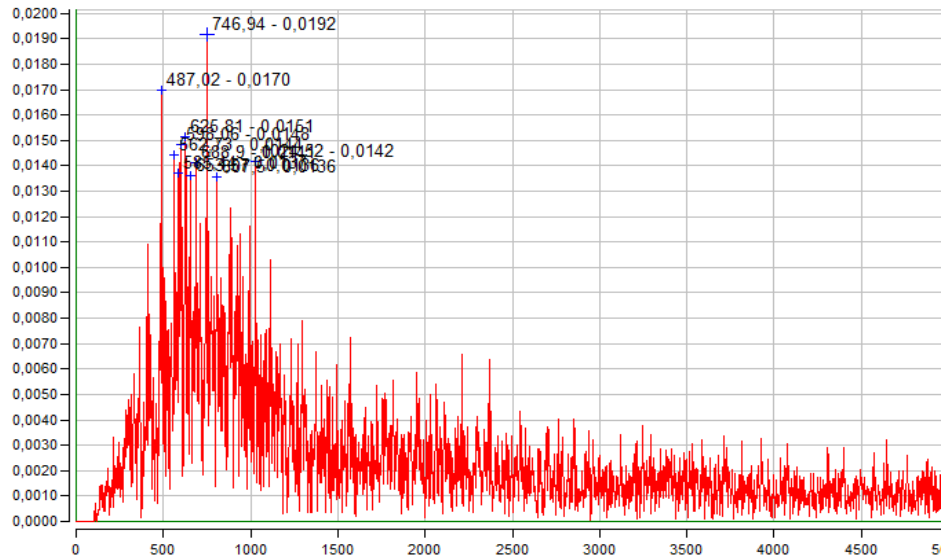


Figura 79. Espectro FFT punto 4 a 2000 rpm

La tabla 17 indica los valores obtenidos del análisis de acuerdo con las variables de vibración tanto interna como externamente.

Tabla 17. Valores de punto 4 a 2000 rpm

Lectura de vibración punto 4						
Posición Lateral Derecha	Velocidad: 2000 rpm					
	Frec (CPM)	Amplt. (mm/s)	Frec Máx. (CPM)	RMS (mm/s)	Pico a Pico (mm/s)	Factor de crestas
Interior	746.93	0.019	747	0.114	1.736	8.12
Exterior	736.83	0.018	738	0.114	2.278	9.56
Diferencia	10.10	0.001	9	0	0.542	1.44

Se tomó los valores 736.83 CPM (exterior) 746.93 CMP (interior) ya que estos valores indicaron los 10 parámetros más altos de velocidad, dichos valores están marcados en los picos del espectro FFT, como se muestra en la figura 80.

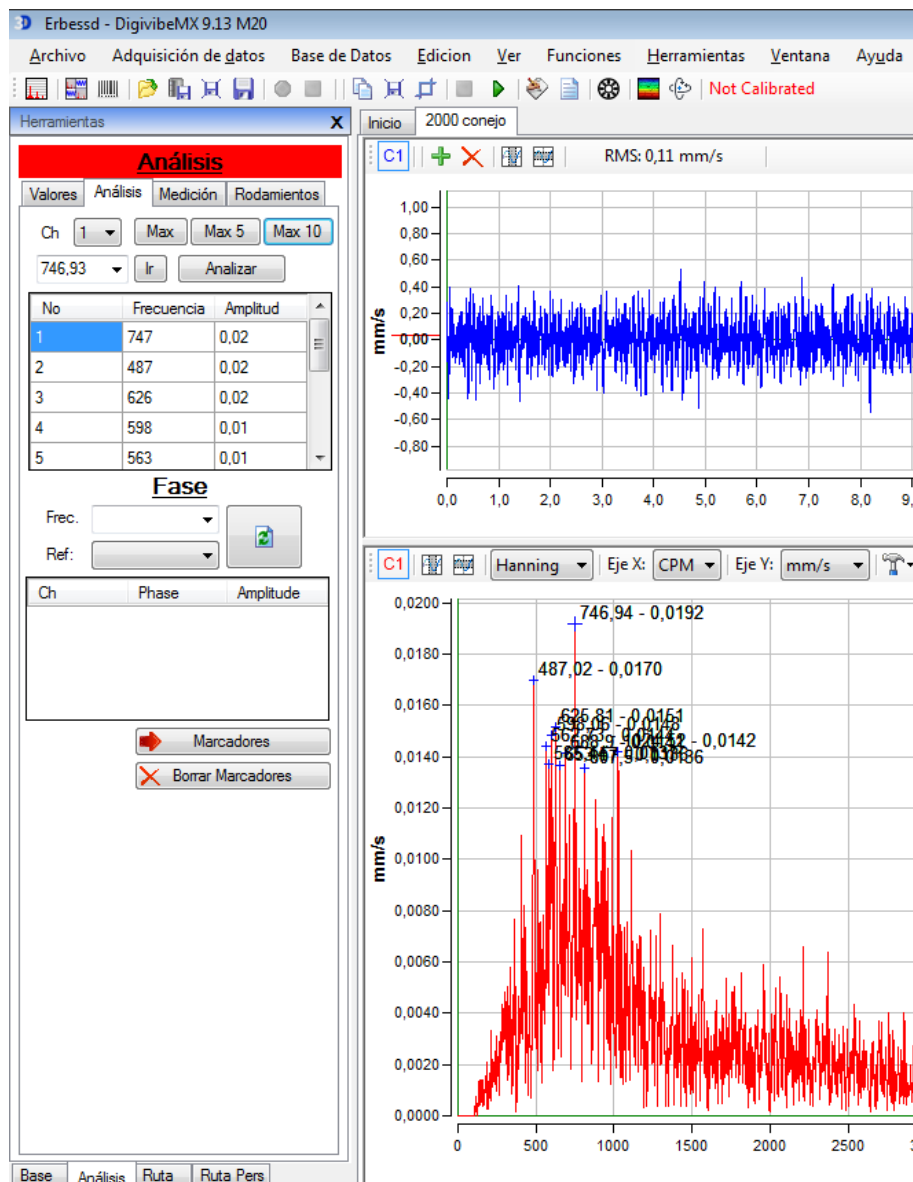


Figura 80. Adquisición de datos de punto 4 a 2000 rpm

En la tabla 18 se observa los 10 valores picos máximos obtenidos de la parte lateral derecha del bloque a 2000 rpm, tanto interior como exterior.

Tabla 18. Picos máximos punto 4 a 2000 rpm

Velocidad Picos Máximos				
Picos máximos	Amplitud		Frecuencia	
	Externo	Interno	Externo	Interno
Max 1	0.018	0.019	736.83	746.93
Max 2	0.016	0.017	820.11	487.02
Max 3	0.015	0.015	767.12	625.81
Max 4	0.015	0.015	772.16	598.05
Max 5	0.014	0.014	600.57	562.72
Max 6	0.013	0.014	567.67	1024.5
Max 7	0.013	0.014	630.85	688.89
Max 8	0.013	0.014	474.4	585.43
Max 9	0.013	0.014	557.67	653.57
Max 10	0.012	0.014	587.95	807.50

4.4.5 PARTE POSTERIOR CENTRAL DEL BLOQUE

Se tomó los datos a velocidad ralenti en la parte posterior central del bloque, el programa generó las gráficas. La primera grafica fue la de Amplitud con respecto al Tiempo (mm/s-sec), como se observa en la figura 81.

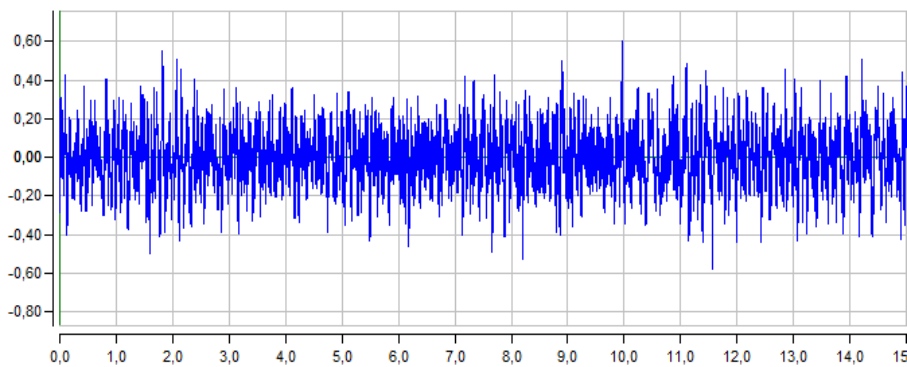


Figura 81. Amplitud vs tiempo punto 5 ralenti

El segundo gráfico mostrado por el programa fue el de Amplitud en función de la Frecuencia (mm/s-CPM), la cual es el espectro de Fourier FFT, como se observa en la figura 82.

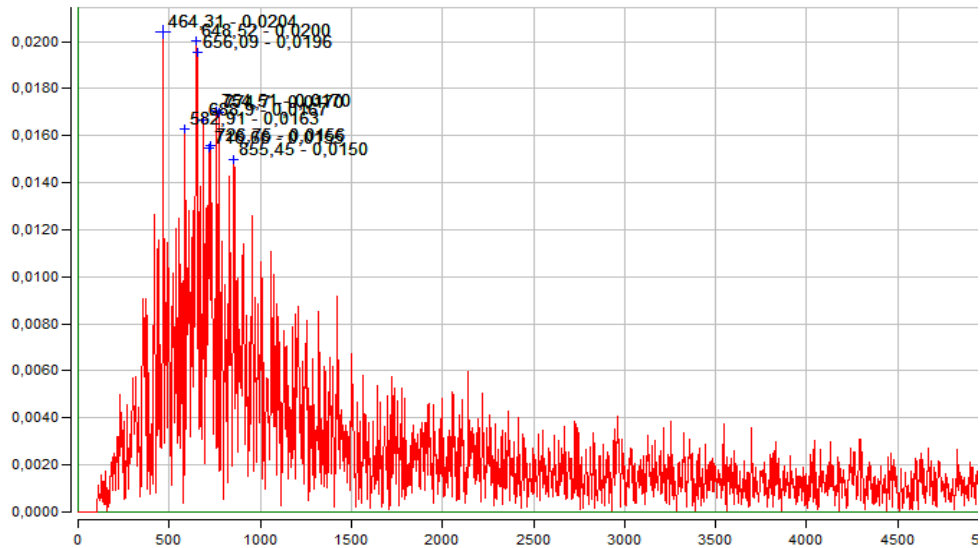


Figura 82. Espectro FFT punto 5 ralenti

La tabla 19 indica los valores obtenidos del análisis de acuerdo con las variables de vibración tanto interna como externamente.

Tabla 19. Valores de punto 5 en ralenti

Lectura de vibración punto 5						
Posición Posterior Central	Velocidad: Ralenti					
	Frec (CPM)	Amplt. (mm/s)	Frec Máx. (CPM)	RMS (mm/s)	Pico a Pico (mm/s)	Factor de crestas
Interior	588.22	0.024	588	0.139	1.863	5.18
Exterior	464.31	0.020	465	0.125	1.347	5.00
Diferencia	123.91	0.004	123	0.014	0.516	0.18

Se tomó los valores 464.31 CPM (exterior) 588.22 CMP (interior) ya que estos valores indicaron los 10 parámetros más altos de velocidad, dichos valores están marcados en los picos del espectro FFT, como se muestra en la figura 83.

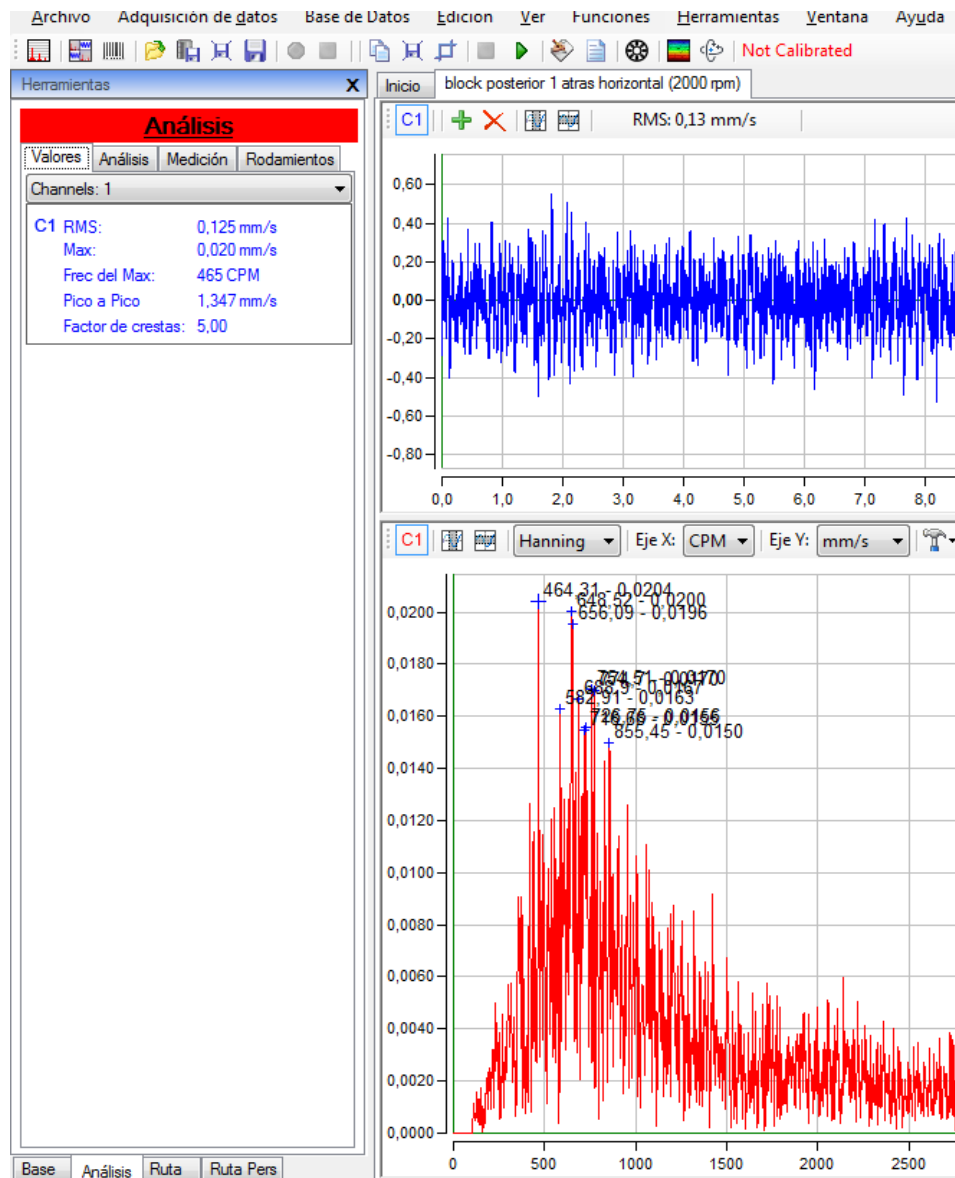


Figura 83. Adquisición de datos de punto 5 en ralenti

En la tabla 20 se observa los 10 valores picos máximos obtenidos de la parte posterior del bloque en velocidad ralenti, tanto interior como exterior.

Tabla 20. Picos máximos punto 5 ralentí

Picos máximos	Velocidad Picos Máximos			
	Amplitud		Frecuencia	
	Interno	Externo	Interno	Externo
Max 1	0.024	0.020	588.22	464.31
Max 2	0.021	0.020	738.51	648.52
Max 3	0.021	0.020	743.84	656.09
Max 4	0.019	0.017	816.47	754.50
Max 5	0.018	0.017	835.69	774.69
Max 6	0.018	0.017	761.42	688.89
Max 7	0.018	0.016	638.74	582.91
Max 8	0.016	0.016	799.66	726.75
Max 9	0.016	0.015	774.68	716.65
Max 10	0.016	0.015	884.44	855.44

Se tomó los datos 2000 rpm en la parte posterior central del bloque, el programa generó las gráficas. La primera grafica fue la de Amplitud con respecto al Tiempo (mm/s-sec), como se observa en la figura 84.

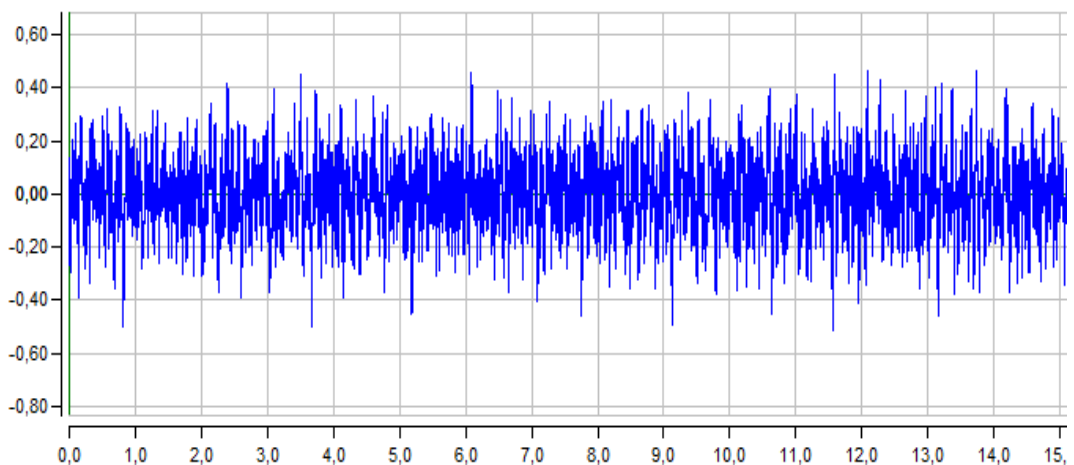


Figura 84. Amplitud vs tiempo punto 5 a 2000 rpm

El segundo gráfico mostrado por el programa fue el de Amplitud en función de la Frecuencia (mm/s-CPM), la cual es el espectro de Fourier FFT, como se observa en la figura 85.

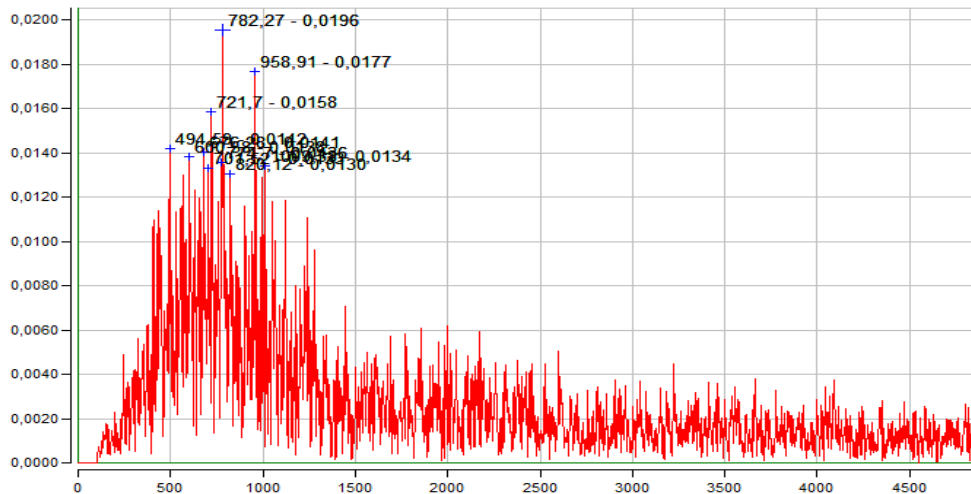


Figura 85. Espectro FFT punto 5 a 2000 rpm

La tabla 21 indica los valores obtenidos del análisis de acuerdo con las variables de vibración tanto interna como externamente, observando así la diferencia interna y externa de vibración.

Tabla 21. Valores de punto 5 a 2000 rpm

Lectura de vibración punto 5						
Posición Posterior Central	Velocidad: 2000 rpm					
	Frec (CPM)	Amplt. (mm/s)	Frec Máx. (CPM)	RMS (mm/s)	Pico a Pico (mm/s)	Factor de crestas
Interior	782.26	0.020	783	0.122	1.256	4.29
Exterior	678.80	0.017	678	0.111	1.025	4.73
Diferencia	103.46	0.003	105	0.011	0.231	0.44

Se tomó los valores 678.80 CPM (exterior) 782.26 (interior) ya que estos valores indicaron los 10 parámetros más altos de velocidad, dichos valores están marcados en los picos del espectro FFT, como se muestra en la figura 86.

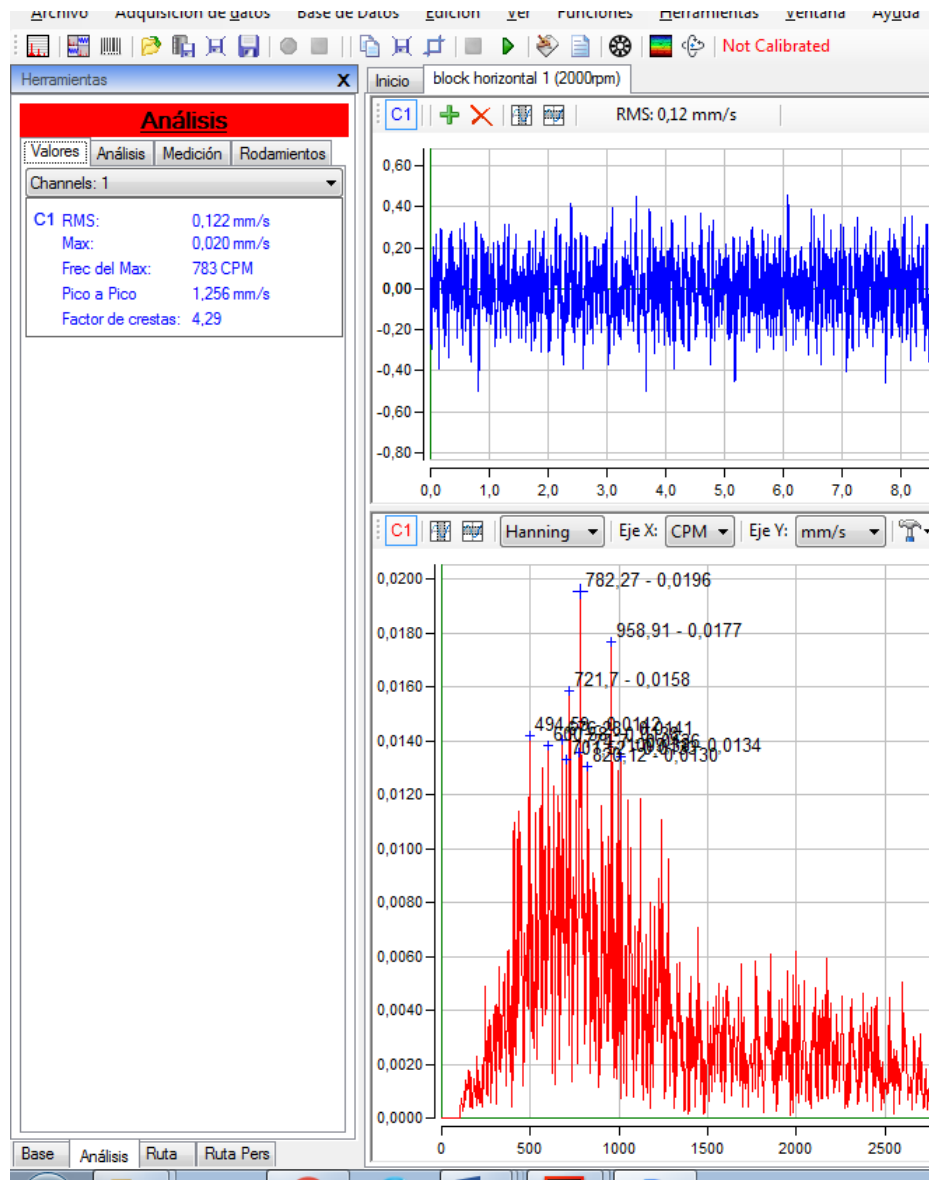


Figura 86. Adquisición de datos de punto 5 a 2000 rpm

En la tabla 22 se observa los 10 valores picos máximos obtenidos de la parte posterior del bloque a 2000 rpm, tanto interior como exterior.

Tabla 22. Picos máximos punto 5 a 2000 rpm

Picos máximos	Velocidad Picos Máximos			
	Amplitud		Frecuencia	
	Externo	Interno	Externo	Interno
Max 1	0.017	0.020	678.80	782.26
Max 2	0.015	0.018	749.46	958.90
Max 3	0.015	0.016	585.43	721.70
Max 4	0.014	0.014	868.06	494.59
Max 5	0.013	0.014	847.87	676.28
Max 6	0.013	0.014	1067.41	600.57
Max 7	0.013	0.014	726.75	774.69
Max 8	0.012	0.013	527.40	1009.37
Max 9	0.012	0.013	817.59	701.51
Max 10	0.012	0.013	479.45	820.11

4.5 ANÁLISIS GENERAL

Según los datos RMS obtenidos en los puntos muestran que el bloque de cilindros según la norma ISO 2372, se encuentra en el “grupo II” el cual referencia que en un rango de 0.28-0.71 RMS se encuentra en condición satisfactoria.

En los datos obtenidos las medidas muestran que está en 4.44 RMS lo que indica que el bloque de cilindros ya está próximo a una avería por los datos de severidad altos, es posible que necesite un mantenimiento u otra opción sería la de revisar las bases del motor para así determinar los respectivos procedimientos.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- El bloque de cilindros en el que se realizó las mediciones es de fundición de aluminio por lo tanto en base al material del mismo se utilizó el acelerómetro de tornillo para obtener las mediciones.
- Una vez que identificados los puntos se definió los parámetros a medir que nos proporcionó el equipo los cuales son frecuencia y amplitud.
- Una vez tomadas las medidas se observó que la máxima vibración se obtuvo en la parte frontal del bloque con un valor de pico a pico de 71.25 mm/s, de amplitud 10.05 mm/s y una frecuencia máxima de 3446 CPM.
- En función de las comparaciones de vibración interna y externa se puede comprobar que no existe mucha variación entre la vibración interna con la vibración externa, por tanto cumple con un nivel de amortiguación.

5.2 RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar este proyecto con otro tipo de motor de fundición, en este proyecto se tomó de fundición de aluminio, para así tener otros puntos de vista acerca del mejor material de absorción de vibraciones.
- Se recomienda tener cuidado con los criterios que se tomen acerca de la severidad de las vibraciones ya que en base a esto se selecciona el tipo de medición ya sea desplazamiento, aceleración o velocidad, y podría tomar resultados erróneos para realizar las respectivas actividades de mantenimiento.
- Tener en cuenta una calibración continua del equipo ya que por el movimiento o algún golpe puede descalibrarse y tomar lecturas erróneas.
- Siempre revisar que estén en buen estado los transductores de medición, limpiarlos, revisar el piezoeléctrico si su base se encuentra en perfectas condiciones y en el caso del sensor óptico montarlo en una base fija para su correcta medición.

BIBLIOGRAFÍA

BIBLIOGRAFÍA

- Acosta, D., & Molina, J. (2011). *Adquisición de Vibraciones Mecánicas de un Motor en Funcionamiento usando LABVIEW*. Guayaquil: Escuela Superior Politécnica del Litoral.
- Águeda, E. C. (2014). *Mecánica del Vehículo*. Ediciones Paraninfo.
- Águeda, E., Martín, J., & Gómez, T. (2009). *Técnicas Básicas de Mecánica y Electricidad*. Madrid: Editorial Paraninfo.
- Alvarado, A. (2004). *Maquinaria y Mecanización Agrícola* (1ra ed.). San José, Costa Rica: EUNED.
- Creus, A. (2011). *Neumática e Hidráulica* (2da ed.). Barcelona: Marcombo.
- Dominguez, E., & Ferrer, J. (2008). *Mecánica del Vehículo*. Madrid: Editex.
- García, O. (2012). *Gestión Moderna del Mantenimiento Industrial* (Primera ed.). Bogotá: Ediciones de la U.
- Gómez de León, F. C. (1998). *Tecnología del Mantenimiento Industrial* (Primera ed.). Murcia: EDITUM.
- González, F. (2009). *Teoría y Práctica del Mantenimiento Industrial Avanzado* (3ra ed.). Madrid: ARTEGRAF S.A.
- Guemisa. (14 de 4 de 2016). *Análisis de Vibraciones e Interpretación de Datos*. Obtenido de <http://www.guemisa.com/articul/pdf/vibraciones.pdf>
- Mechanical Engineering. (15 de Octubre de 2009). *Engine Block Manufacturing process*. Recuperado el 18 de Abril de 2016, de <http://newengineeringpractice.blogspot.com/2011/08/engine-block-manufacturing-process.html>
- Mosquera, G. (2001). *Las Vibraciones Mecánicas y su Aplicación al Mantenimiento Predictivo* (2da ed.). Caracas: CDCH.

- Orivio, M. (2010). *Tecnología del Automovil* (primera ed.). Madrid: Paraninfo.
- Picabea, A., & Ortega, J. (2010). *Mantenimiento Mecánico Preventivo del Vehículo* (1ra ed.). Madrid: Arán Ediciones.
- Riley, W. F., & Sturges, L. D. (2005). *Ingeniería Mecánica: Dinámica*. Barcelona: REVERTÉ S.A.
- Sánchez, F., Pérez, A., & Rodríguez, P. (2007). *Mantenimiento Mecánico de Máquinas*. Paris: Publicacions de la Universitat Jaume I.
- Solis, E., & Mejía, G. (2011). *Implementación de un Software para proceso de Reparación y Mantenimiento Preventivo en el Parque Automotor del Ilustre Municipio del Cantón de Píllaro Provincia de Tungurahua*. Riobamba: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
- Steidel, R. (1991). *Introducción al estudio de las Vibraciones Mecánicas* (Cuarta ed.). (J. Flores, Trad.) México: Compañía Editorial Continental.
- Tamaris, M. E. (2014). *Diseño del Plan de Mantenimiento Preventivo y Correctivo para los equipos móviles y fijos de la empresa de MIRASOL S.A.* Cuenca: Universidad de Cuenca.
- Tandalla, D. F. (31 de Enero de 2012). *Análisis Vibracional para la Estandarización de tareas de Mantenimiento Preventivo y Predictivo en la Línea de Producción de Poliestireno Expandible (EPS) de la empresa PANECONS*. Riobamba: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Recuperado el 18 de Abril de 2016, de Escuela Superior Politécnica de Chimborazo:
<http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/1880/1/25T00168.pdf>
- Universidad de Navarra. (24 de Abril de 2015). *Departamento de Ingeniería Mecánica, Energética y de Materiales, Normativa sobre Vibraciones*. Obtenido de http://www.imem.unavarra.es/EMyV/pdfdoc/vib/vib_normativa.pdf.

Valdiviezo, J. C. (2010). *Diseño de un Plan de Mantenimiento Preventivo para la empresa EXTRUPLAS S.A.* Cuenca: Universidad Politécnica Salesiana.

ANEXOS

ANEXOS

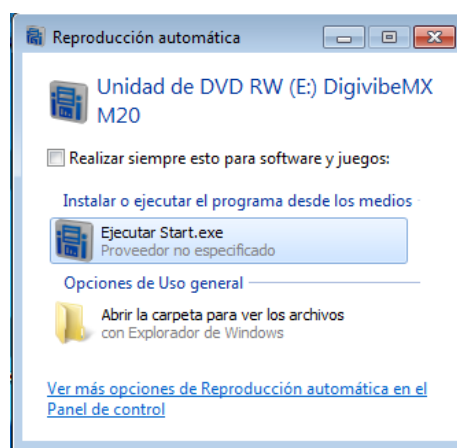
ANEXO 1

INSTALACIÓN DEL SOFTWARE

Para la respectiva instalación del software se verificó que el equipo (computador) cumpla con los requisitos mínimos los cuales son:

- Windows 7 o Windows 8
- 1.2 GHz procesador o superior
- 1 Gb de RAM o más
- 200 MB de espacio libre en el disco duro.
- Conexión a Internet
- Microsoft Office 2007 o superior
- Acrobat Reader 7.0 o superior

Una vez verificado los requisitos se procedió a insertar el CD de instalación hasta que aparezca el cuadro de ejecución del programa como se ve en la figura.



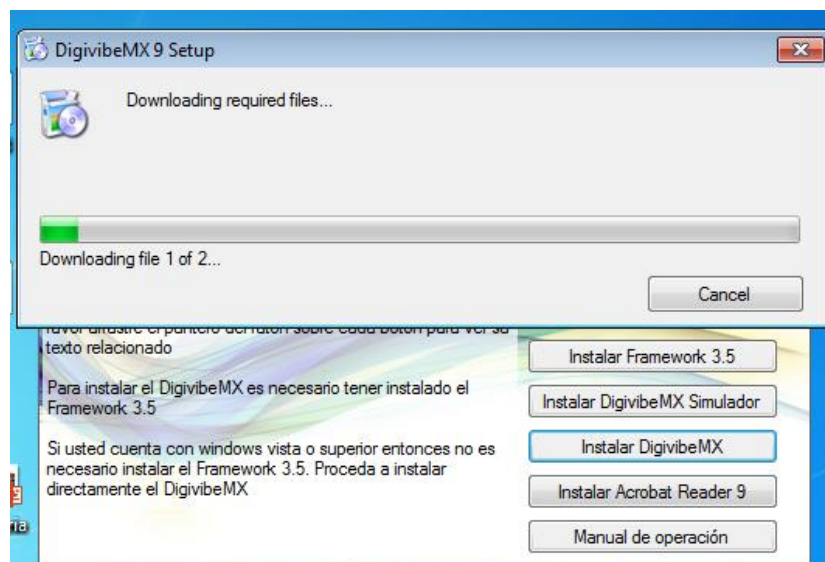
Cuadro de ejecución del programa.

Después de ejecutar el programa aparece una ventana de asistencia con varias opciones, como se observa en la siguiente figura, escogemos la opción “Instalar DigivibeMX”.



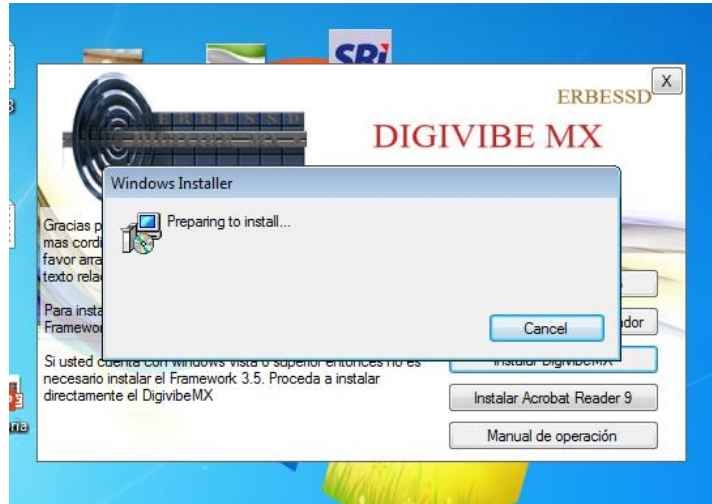
Ventana de asistencia.

Se esperó que se descarguen los archivos necesarios para la activación del equipo como se observa en la figura siguiente.



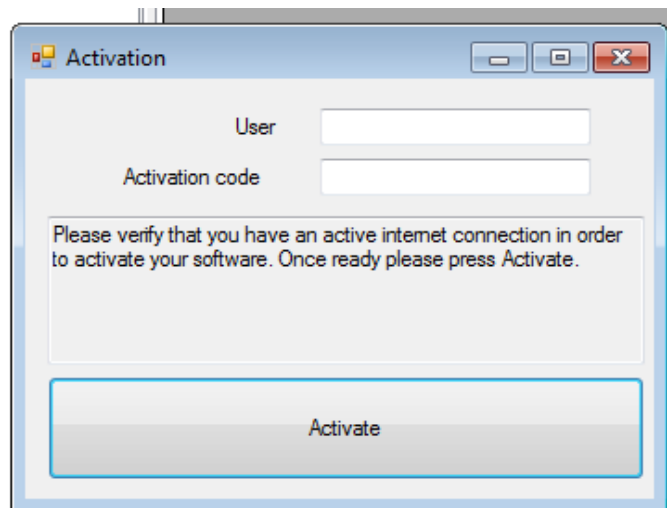
Cuadro de descarga de archivos.

Una vez descargados los archivos se instalan automáticamente como muestra la figura inferior.



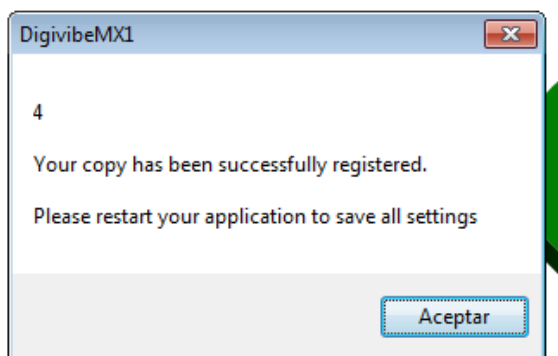
Ventana de instalación.

Una vez completada la instalación se abre el programa y se registra la licencia del software.



Usuario y contraseña

Ya para finalizar la instalación aparece un cuadro de reinicio del sistema. Se da clic en “Aceptar”.



Ventana de reinicio del sistema

ANEXO 2

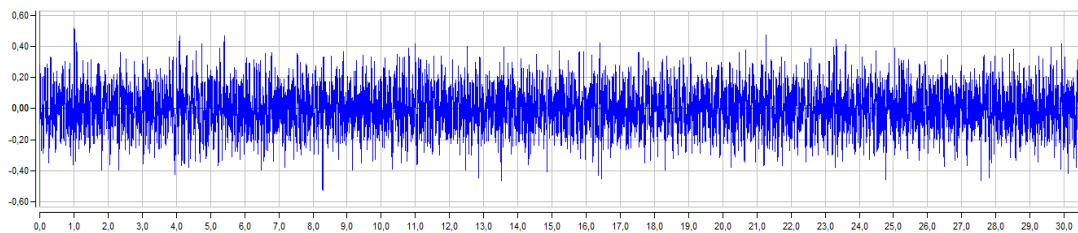
REPORTE DE ANALISIS

REPORTE DE ANÁLISIS DE VIBRACIÓN

PARTE LATERAL IZQUIERDA RALENTÍ

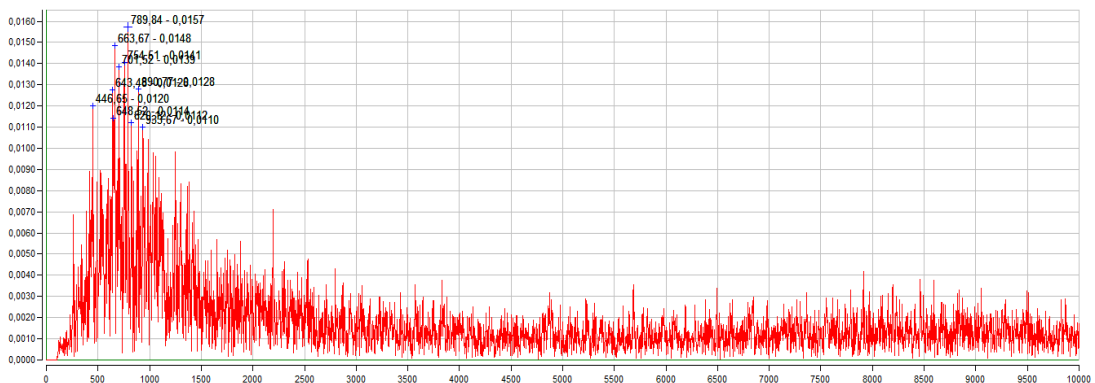
VELOCIDAD - Valores Generales

RMS	Máximo	Frecuencia del Máximo
0,11mm/s	0,02mm/s	789,09 CPM



VELOCIDAD - 10 Picos Máximos

	Max 1	Max 2	Max 3	Max 4	Max 5	Max 6	Max 7	Max 8	Max 9	Max 10
Amp	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Frec	789,83	663,66	754,50	701,51	890,77	643,47	446,65	648,52	820,11	933,67

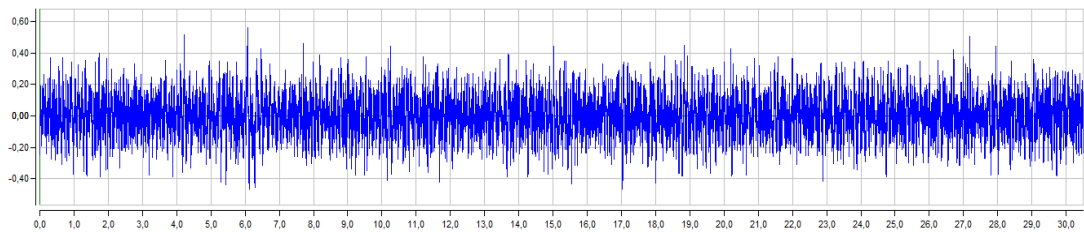


REPORTE DE ANÁLISIS DE VIBRACIÓN

PARTE LATERAL IZQUIERDA A 2000 RPM

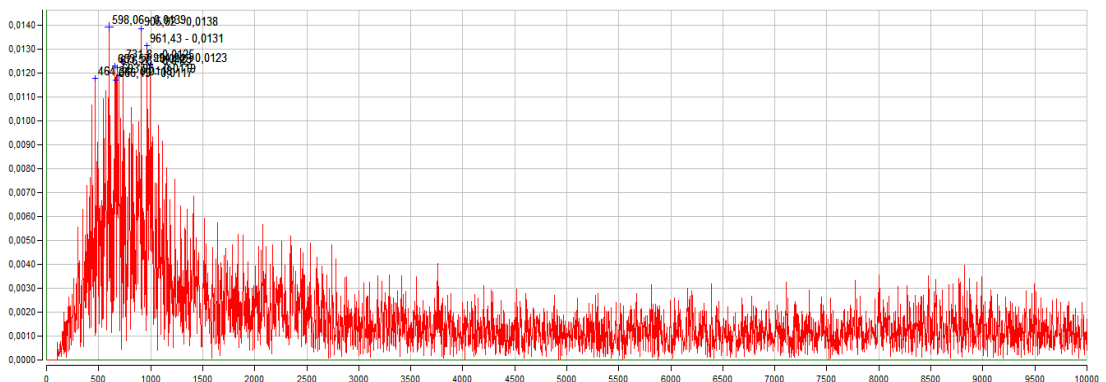
VELOCIDAD - Valores Generales

RMS	Máximo	Frecuencia del Máximo
0,11mm/s	0,01mm/s	598,21 CPM



VELOCIDAD - 10 Picos Máximos

	Max 1	Max 2	Max 3	Max 4	Max 5	Max 6	Max 7	Max 8	Max 9	Max 10
Amp	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Frec	598,05	905,91	961,42	731,79	994,23	653,57	676,28	693,94	464,31	666,18

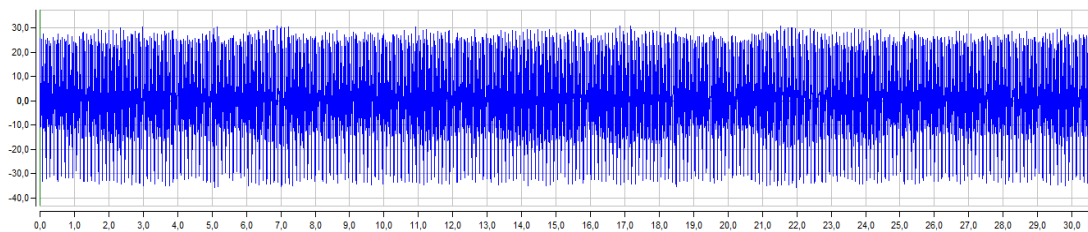


REPORTE DE ANÁLISIS DE VIBRACIÓN

PARTE FRONTAL SUPERIOR RALENTÍ

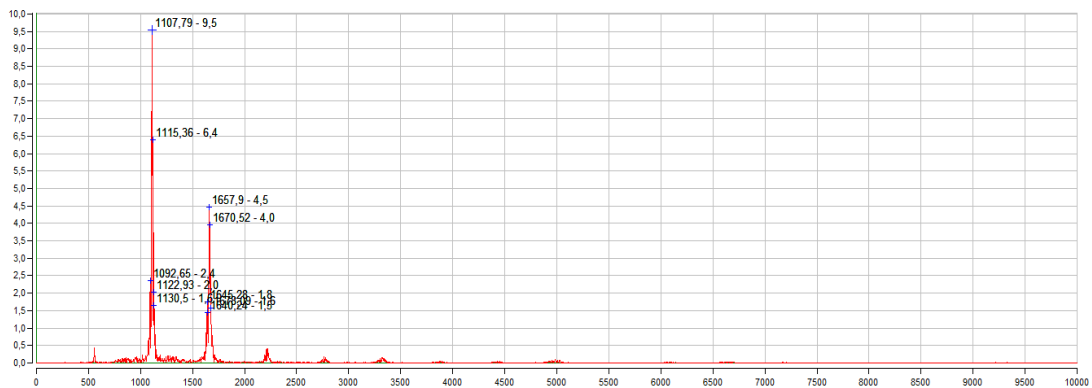
VELOCIDAD - Valores Generales

RMS	Máximo	Frecuencia del Máximo
16,50mm/s	9,54mm/s	1107,05 CPM



VELOCIDAD - 10 Picos Máximos

	Max 1	Max 2	Max 3	Max 4	Max 5	Max 6	Max 7	Max 8	Max 9	Max 10
Amp	9,54	6,40	4,47	3,97	2,36	2,04	1,76	1,64	1,56	1,46
Frec	1107,7	1115,3	1657,8	1670,5	1092,6	1122,9	1645,2	1130,4	1678,0	1640,2
	8	5	9	1	4	2	7	9	8	2

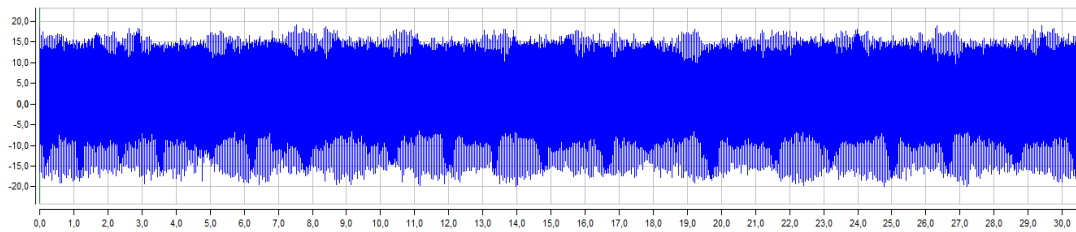


REPORTE DE ANÁLISIS DE VIBRACIÓN

PARTE FRONTAL SUPERIOR A 2000 RPM

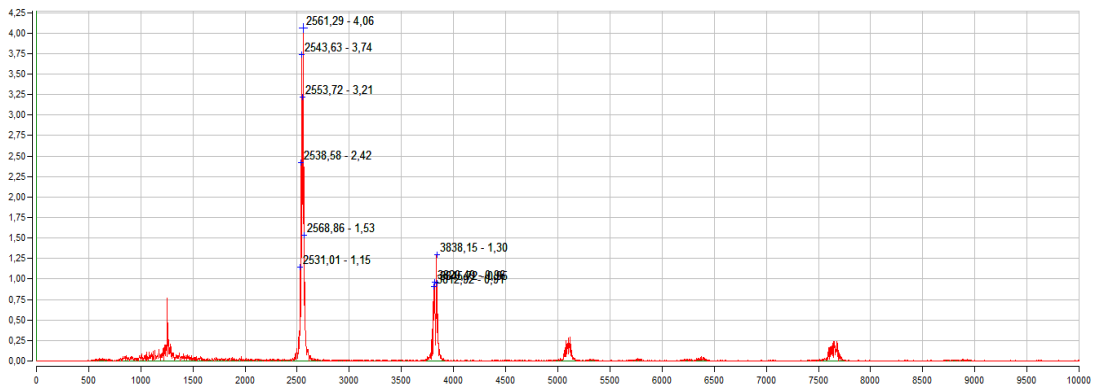
VELOCIDAD - Valores Generales

RMS	Máximo	Frecuencia del Máximo
8,17mm/s	4,06mm/s	2560,92 CPM



VELOCIDAD - 10 Picos Máximos

	Max 1	Max 2	Max 3	Max 4	Max 5	Max 6	Max 7	Max 8	Max 9	Max 10
Amp	4,06	3,74	3,21	2,42	1,53	1,30	1,15	0,96	0,95	0,91
Frec	2561,2	2543,6	2553,7	2538,5	2568,8	3838,1	2530,9	3820,4	3845,7	3812,8
	7	1	0	6	4	3	9	6	0	9

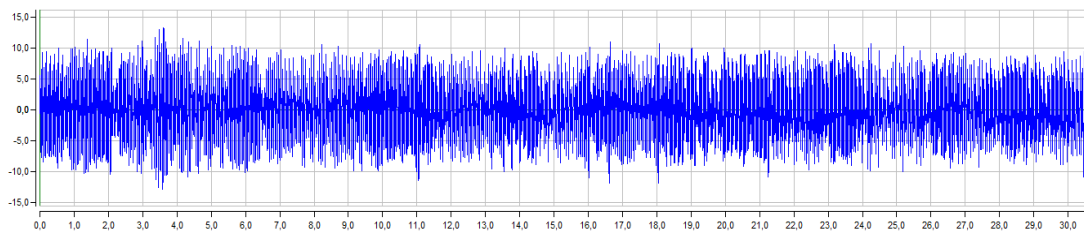


REPORTE DE ANÁLISIS DE VIBRACIÓN

PARTE FRONTAL INFERIOR RALENTÍ

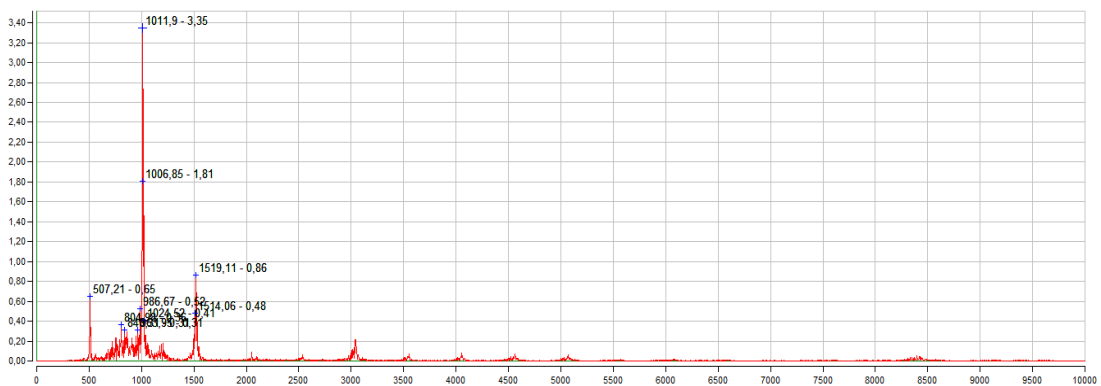
VELOCIDAD - Valores Generales

RMS	Máximo	Frecuencia del Máximo
4,71mm/s	3,35mm/s	1012,20 CPM



VELOCIDAD - 10 Picos Máximos

	Max 1	Max 2	Max 3	Max 4	Max 5	Max 6	Max 7	Max 8	Max 9	Max 10
Amp	3,35	1,81	0,86	0,65	0,52	0,48	0,41	0,36	0,31	0,31
Frec	1011,8	1006,8	1519,1	507,21	986,66	1514,0	1024,5	804,97	840,30	963,95
	9	5	0			5	1			

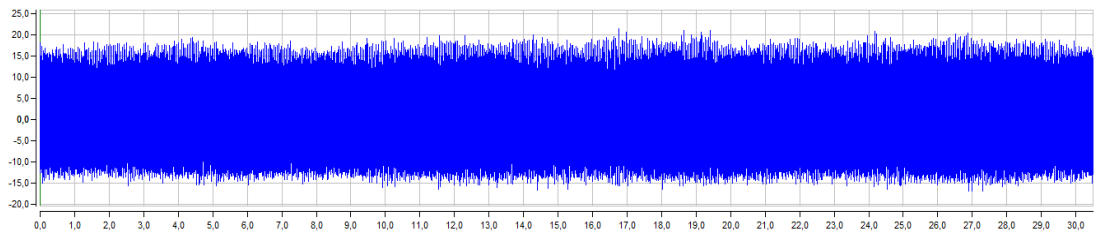


REPORTE DE ANÁLISIS DE VIBRACIÓN

PARTE FRONTAL INFERIOR A 200 RPM

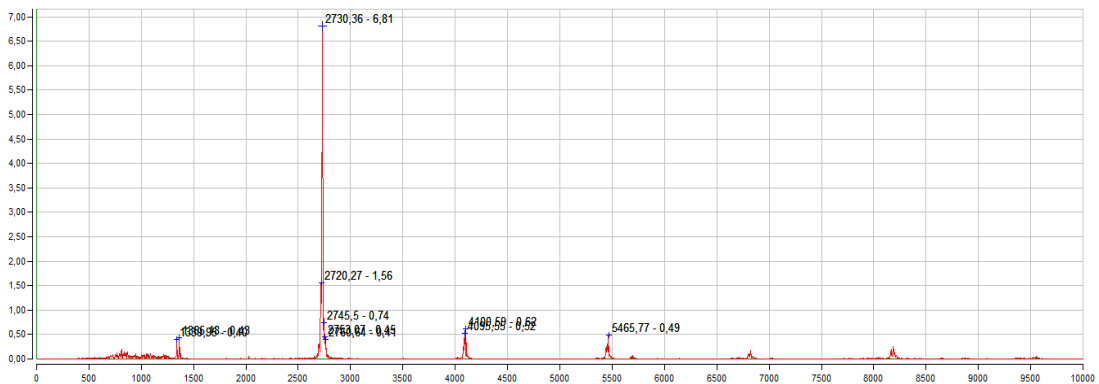
VELOCIDAD - Valores Generales

RMS	Máximo	Frecuencia del Máximo
8,85mm/s	6,81mm/s	2728,89 CPM



VELOCIDAD - 10 Picos Máximos

	Max 1	Max 2	Max 3	Max 4	Max 5	Max 6	Max 7	Max 8	Max 9	Max 10
Amp	6,81	1,56	0,74	0,62	0,52	0,49	0,45	0,43	0,41	0,40
Frec	2730,3	2720,2	2745,4	4100,5	4095,5	5465,7	2753,0	1365,1	2760,6	1339,9
	4	5	8	6	1	3	5	7	2	4

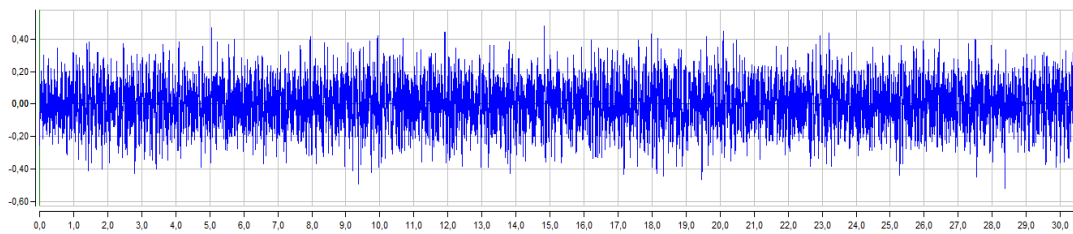


REPORTE DE ANÁLISIS DE VIBRACIÓN

PARTE LATERAL DERECHA RALENTÍ

VELOCIDAD - Valores Generales

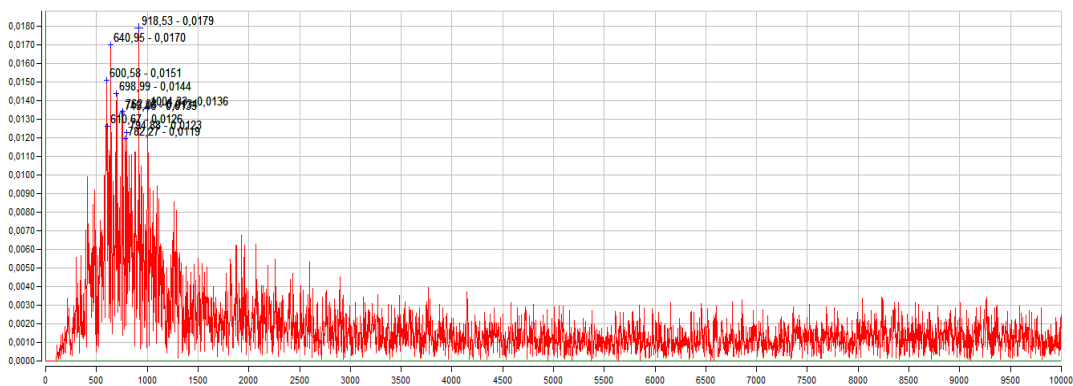
RMS	Máximo	Frecuencia del Máximo
0,12mm/s	0,02mm/s	918,92 CPM



VELOCIDAD - 10 Picos Máximos

	Max 1	Max 2	Max 3	Max 4	Max 5	Max 6	Max 7	Max 8	Max 9	Max 10
Amp	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Frec	918,53	640,95	600,57	698,99	1004,3	762,07	749,46	610,67	794,88	782,26

2

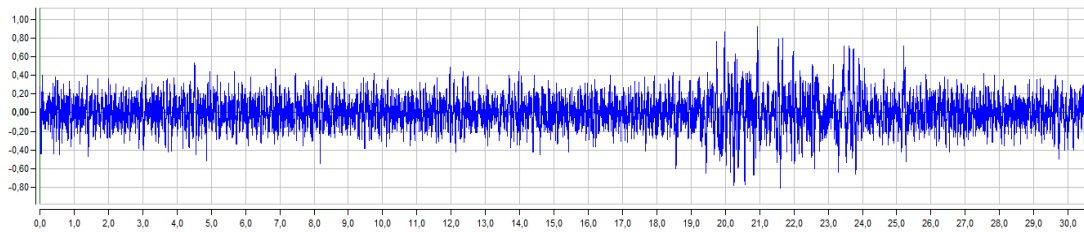


REPORTE DE ANÁLISIS DE VIBRACIÓN

PARTE LATERAL DERECHA A 2000 RPM

VELOCIDAD - Valores Generales

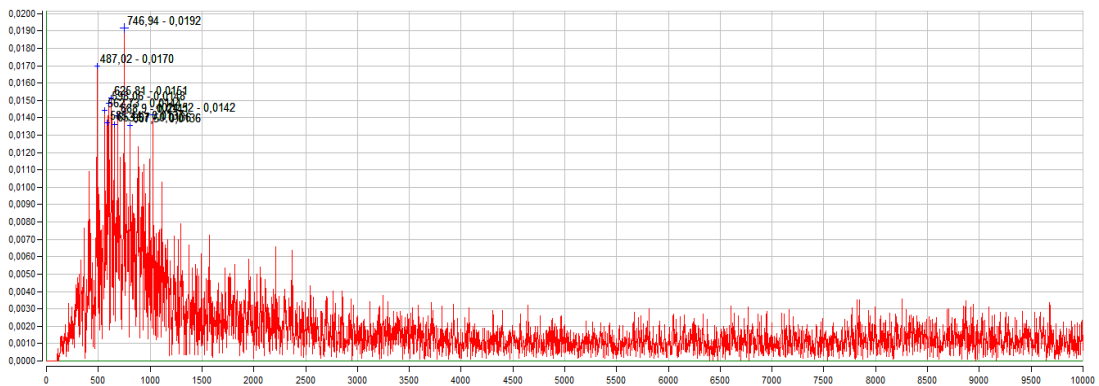
RMS	Máximo	Frecuencia del Máximo
0,11mm/s	0,02mm/s	747,32 CPM



VELOCIDAD - 10 Picos Máximos

	Max 1	Max 2	Max 3	Max 4	Max 5	Max 6	Max 7	Max 8	Max 9	Max 10
Amp	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Frec	746,93	487,02	625,81	598,05	562,72	1024,5	688,89	585,43	653,57	807,50

1

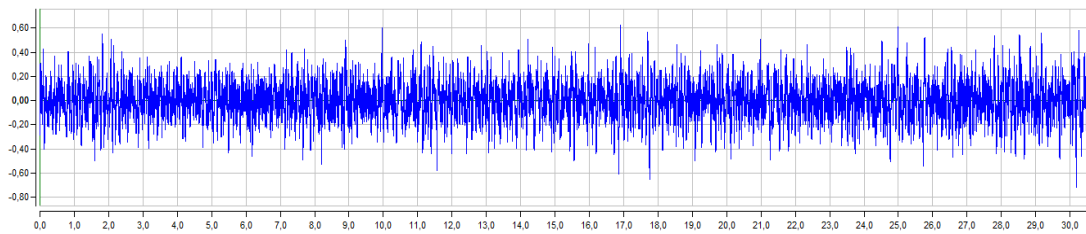


REPORTE DE ANÁLISIS DE VIBRACIÓN

PARTE POSTERIOR RALENTÍ

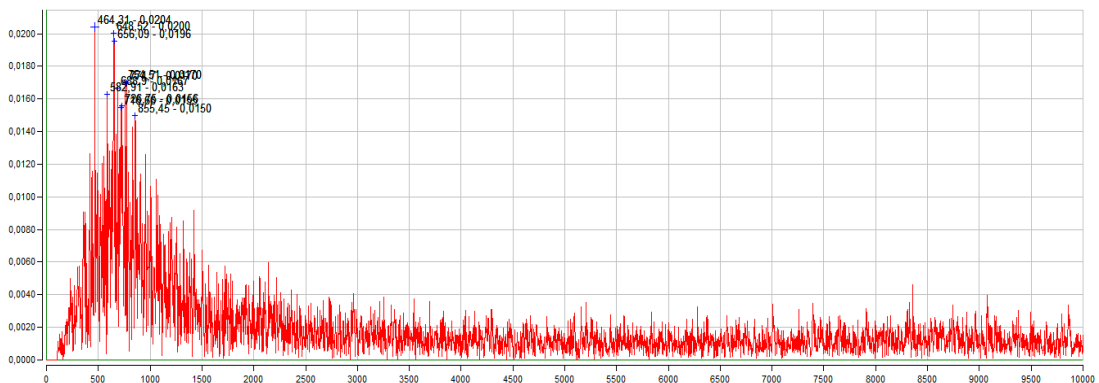
VELOCIDAD - Valores Generales

RMS	Máximo	Frecuencia del Máximo
0,13mm/s	0,02mm/s	465,35 CPM



VELOCIDAD - 10 Picos Máximos

	Max 1	Max 2	Max 3	Max 4	Max 5	Max 6	Max 7	Max 8	Max 9	Max 10
Amp	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01
Frec	464,31	648,52	656,09	754,50	774,69	688,89	582,91	726,75	716,65	855,44

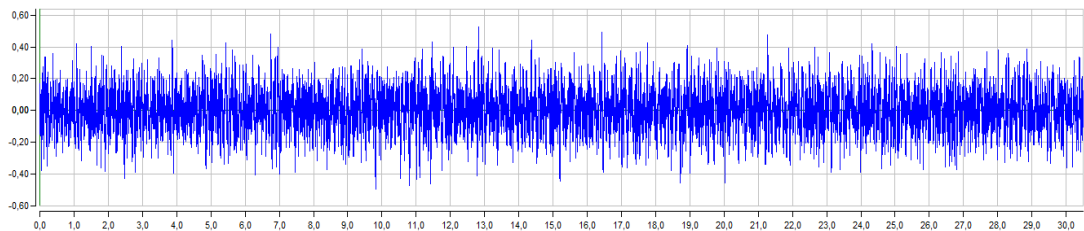


REPORTE DE ANÁLISIS DE VIBRACIÓN

PARTE POSTERIOR A 2000 RPM

VELOCIDAD - Valores Generales

RMS	Máximo	Frecuencia del Máximo
0,11mm/s	0,02mm/s	677,85 CPM



VELOCIDAD - 10 Picos Máximos

	Max 1	Max 2	Max 3	Max 4	Max 5	Max 6	Max 7	Max 8	Max 9	Max 10
Amp	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Frec	678,80	749,46	585,43	868,06	847,87	1067,4	726,75	527,40	817,59	479,45

1

