



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL

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

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

**DETERMINACIÓN DE LA VIBRACIÓN EN ELEMENTOS
MECÁNICOS DEL AUTOMÓVIL COMO PARTE DEL
MANTENIMIENTO PREDICTIVO**

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

JOSÉ ANDRÉS ENRÍQUEZ CEVALLOS

DIRECTOR: ING. CARLOS ROSALES

Quito, mayo 2016

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

DECLARACIÓN

Yo **JOSÉ ANDRÉS ENRÍQUEZ CEVALLOS**, 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.



JOSÉ ANDRÉS ENRIQUEZ

C.I. 1724159106

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo que lleva por título “**Determinación de la vibración en elementos mecánicos del automóvil como parte del mantenimiento predictivo**”, que, para aspirar al título de **Ingeniero Automotriz** fue desarrollado por **José Andrés Enríquez Cevallos**, 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

DIRECTOR DEL TRABAJO

C.I. 1801969229

AGRADECIMIENTO

Agradezco a mi Dios por haberme permitido culminar mis estudios, y especialmente a mi tutor, Ingeniero Carlos Rosales, quien con sus conocimientos, experiencia y su buena voluntad ha logrado en mí la culminación de mi trabajo de titulación.

A mi padre, por su apoyo incondicional y por siempre estar pendiente de mis estudios, de animarme para ser grande en la vida y enseñarme a ser un hombre de grandes valores y que nunca debo dudar de mi talento.

A mi madre querida, quien con su amor y su fuerza me ha formado por el camino correcto, a ser un buen hijo y hermano; es mi gran ejemplo como profesional y luchadora en la vida, me enseñó a ser fuerte en los tiempos difíciles y nunca darme por vencido.

A mi hermana, con la que puedo contar incondicionalmente, la que me aconseja y me ayuda a comprender cómo es la realidad de la vida.

A mi hermano, que es mi ejemplo como hijo, amigo y profesional, quien me ha demostrado que con esfuerzo y dedicación se puede salir adelante.

A mi hermosa novia, quien con su sencillez me ha hecho una mejor persona y con su apoyo me ha demostrado que es parte de mi vida.

A mis amigos Adrián, Joao, Alejo, quienes confiaron en mí y me demostraron con su apoyo una buena amistad.

A la Universidad Tecnológica Equinoccial por darme la oportunidad de estudiar y ser un buen profesional.

JOSÉ ANDRÉS ENRÍQUEZ CEVALLOS

“Cuando el objetivo te parezca difícil, no cambies de objetivo; busca un nuevo camino para llegar a él”.

FORMULARIO DE REGISTRO BIBLIOGRÁFICO

PROYECTO DE TITULACIÓN

DATOS DE CONTACTO	
CÉDULA DE IDENTIDAD:	172415910-6
APELLIDO Y NOMBRES:	ENRÍQUEZ CEVALLOS JOSÉ ANDRES
DIRECCIÓN:	AV. NAZACOTA PUENTO Y 10 DE AGOSTO
EMAIL:	uose_89@hotmail.com
TELÉFONO FIJO:	022 471530
TELÉFONO MOVIL:	0979265482

DATOS DE LA OBRA	
TITULO:	DETERMINACIÓN DE LA VIBRACIÓN EN ELEMENTOS MECÁNICOS DEL AUTOMOVIL COMO PARTE DEL MANTENIMIENTO PREDICTIVO.
AUTOR O AUTORES:	ENRÍQUEZ CEVALLOS JOSÉ ANDRES
FECHA DE ENTREGA DEL PROYECTO DE TITULACIÓN:	MIÉRCOLES, 10 DE MAYO DE 2016
DIRECTOR DEL PROYECTO DE TITULACIÓN:	ING. CARLOS ROSALES
PROGRAMA	PREGRADO <input checked="" type="checkbox"/> POSGRADO <input type="checkbox"/>
TITULO POR EL QUE OPTA:	INGENIERO AUTOMOTRIZ
RESUMEN: Mínimo 250 palabras	Este trabajo tiene como objetivo implementar el mantenimiento predictivo a través del análisis de vibraciones, con la finalidad de diagnosticar y analizar las fallas en las máquinas rotativas. Las mediciones se realizaron en el motor y en la caja de cambios de un vehículo a través de un acelerómetro, en donde se determinó los puntos de medición a diferentes RPM. Con la ayuda del software DigivibeMX M20 se pudo adquirir las señales de las mediciones realizadas, en donde se observó que la gráfica de amplitud vs tiempo se transformó a un espectro FFT, se pudo analizar los diferentes valores de frecuencia y amplitud en los picos de los espectros. Se determinó que la frecuencia indica el tipo de

falla mientras que la amplitud determina la severidad del daño, en la gráfica de amplitud vs frecuencia se pudo observar que el pico mayor del espectro señalaba dos valores, el primer valor era de frecuencia y el segundo valor de amplitud, con estos valores se analizó las posibles fallas del motor y de la caja de cambios en diferentes rangos. De acuerdo con la severidad de vibración se especificó que el motor y la caja de cambios están en la clase de máquina tipo II de acuerdo a las especificaciones de la norma ISO 2372. Con los valores obtenidos de las vibraciones mecánicas, se observó el valor de RMS, ya que con el mismo se identificó la severidad de vibración de la máquina, si es buena o inaceptable dependiendo del rango al cual pertenecía. Se diagnosticó que en casi todas las mediciones el motor y la caja de cambios presentaban una severidad inaceptable en diferentes RPM, al analizar los espectros de las diferentes señales se detectó fallas como: desbalanceo, falta de alineación, desgaste, aflojamiento mecánico, golpes mecánicos, etc. Finalmente se concluyó que el motor y la caja de cambios deben ser reparados inmediatamente para que su vida útil sea más larga.

PALABRAS CLAVES:

DIGIVIBEMX M20, ESPECTROS, VIBRACIONES, RMS, FFT, CPM.

ABSTRACT:

This work aims to implement predictive maintenance through vibration analysis, in order to diagnose and analyze faults in rotating machines. Measurements were made in the engine and gearbox of a vehicle through an accelerometer, wherein the measuring points are determined at different RPM. With the help of DigivibeMX M20 software is able to acquire signals from measurements taken, where it was observed that the graph of amplitude vs. time became an FFT spectrum, could analyze the different values of frequency and amplitude peaks of the spectra. It was determined that the frequency indicates the type of failure while the amplitude determines the severity of damage in the graph of amplitude vs.

frequency was observed that the highest peak of the spectrum indicated two values, the first value was frequency and the second value amplitude, with these values possible failures of the engine and gearbox in different ranges analyzed. According to the severity of vibration it is specified that the engine and gearbox are in the class of type II machine according to the specifications of the ISO 2372 standard. With the values obtained from the mechanical vibrations, the RMS value was observed, with this value the severity of the machine is identified whether it is good or unacceptable depending on the range that is working. It was diagnosed in almost all measurements the engine and gearbox had an unacceptable severity in different RPM, when analyzing the spectra of different signals fault was detected as unbalance, misalignment, wear, mechanical loosening, mechanical shock, etc. Finally it is concluded that the engine and the gearbox must be repaired immediately so that life is longed.

KEYWORDS

DIGIVIBEMX M20, BREADTH, VIBRATIONS, RMS, FFT, CPM.

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

f: 

JOSÉ ANDRÉS ENRÍQUEZ CEVALLOS

1724159106

DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, ENRÍQUEZ CEVALLOS JOSÉ ANDRÉS, CI 1724159106 autor del proyecto titulado: **Determinación de la vibración en elementos mecánicos del automóvil como parte del mantenimiento predictivo** 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, 10 de mayo de 2016

f. _____

JOSÉ ANDRÉS ENRÍQUEZ CEVALLOS

1724159106

ÍNDICE DE CONTENIDOS

PÁGINA

RESUMEN	xii
ABSTRACT	xiii
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. PROBLEMA.....	2
1.2. JUSTIFICACIÓN.....	2
1.3. OBJETIVOS.....	3
1.3.1. OBJETIVO GENERAL	3
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3
1.4. ALCANCE.....	3
2. MARCO TEÓRICO	4
2.1. MANTENIMIENTO.....	4
2.1.1. IMPORTANCIA	4
2.1.2. TIPOS	4
2.1.2.1. Mantenimiento Correctivo	4
2.1.2.2. Mantenimiento Preventivo	5
2.1.2.3. Mantenimiento Predictivo	5
2.2. CARACTERÍSTICAS DEL MANTENIMIENTO PREDICTIVO	5
2.2.1. VENTAJAS.....	6
2.2.2. DESVENTAJAS	6

2.2.3.	BENEFICIOS	7
2.2.4.	ASPECTOS PRINCIPALES	7
2.2.5.	MANTENIMIENTO PREDICTIVO POR VIBRACIONES MECÁNICAS	8
2.3.	DEFINICIÓN DE VIBRACIÓN	9
2.3.1.	VIBRACIONES MECÁNICAS	9
2.3.2.	MEDICIÓN DE VIBRACIÓN.....	10
2.3.3.	TIPOS DE VIBRACIONES MECÁNICAS.....	10
2.3.3.1.	Simulaciones 3D ODS	11
2.3.3.2.	Espectro FFT	12
2.3.3.3.	Base de datos de maquinaria	13
2.3.3.4.	Curvas de tendencia de bandas con 1/3 de octavas	13
2.3.3.5.	Estadísticas del estado de la maquinaria, creación y lectura de códigos de barra	14
2.3.3.6.	Gráficos en cascada 3D reales.....	15
2.3.3.7.	Funciones de Dos Canales.....	15
2.3.3.8.	Espectrograma	16
2.3.4.	CARACTERÍSTICAS DE VIBRACIÓN.....	17
2.3.4.1.	Frecuencia.....	17
2.3.4.2.	Amplitud.....	17
2.3.4.3.	Velocidad.....	18
2.3.4.4.	Aceleración.....	18
2.3.4.5.	Spike energy o Energía de impulsos	19
2.3.4.6.	Factor de cresta.....	19
2.4.	SEVERIDAD DE LA VIBRACIÓN	20
2.5.	CLASES DE MÁQUINAS.....	21

2.5.1.	Clase I	21
2.5.2.	Clase II	22
2.5.3.	Clase III	22
2.5.4.	Clase IV.....	22
2.6.	ANÁLISIS DE DATOS	23
2.7.	DETERMINACIÓN DE CAUSAS DE VIBRACIÓN	25
2.7.1.	DESEQUILIBRIO	26
2.7.2.	DESALINEACIÓN	26
2.7.2.1.	Paralelo	27
2.7.2.2.	Angular	28
2.7.3.	ENGRANAJES.....	29
2.7.4.	PROBLEMAS ELÉCTRICOS	29
2.7.5.	RODAMIENTOS.....	30
3.	METODOLOGÍA.....	32
3.1.	ADQUISICIÓN DE DATOS.....	32
3.2.	IDENTIFICACIÓN DE MATERIALES	32
3.3.	CALIDAD DE LA VIBRACIÓN	33
3.4.	MEDICIÓN DE VIBRACIONES	34
3.5.	ANÁLISIS DE GRÁFICAS PARA DETECTAR DEFECTOS	34
4.	ANÁLISIS DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	36
4.1.	IDENTIFICACIÓN DE ASPECTOS A MEDIR.....	36
4.1.1.	TOMA DE LECTURAS.....	36
4.2.	ANÁLISIS DE VIBRACIÓN EN RALENTÍ.....	38
4.2.1.	CABEZOTE	38

4.2.1.1.	Radial	38
4.2.1.2.	Axial.....	43
4.2.1.3.	Horizontal.....	45
4.2.1.4.	Diagnóstico general	47
4.2.2.	BLOCK.....	48
4.2.2.1.	Horizontal.....	48
4.2.2.2.	Horizontal lado posterior	53
4.2.2.3.	Diagnóstico general	55
4.2.3.	CARTER	56
4.2.3.1.	Diagnóstico general	58
4.2.4.	EVALUACIÓN DEL MOTOR EN RALENTI.....	59
4.3.	ANÁLISIS DE VIBRACIÓN EN 2.000 RPM	59
4.3.1.	CABEZOTE	59
4.3.1.1.	Radial	59
4.3.1.2.	Axial.....	63
4.3.1.3.	Horizontal.....	64
4.3.1.4.	Diagnóstico general	65
4.3.2.	BLOCK.....	66
4.3.2.1.	Horizontal.....	66
4.3.2.2.	Horizontal lado posterior	70
4.3.2.3.	Diagnóstico general	71
4.3.3.	CARTER	72
4.3.3.1.	Diagnóstico general	73
4.3.4.	EVALUACIÓN DEL MOTOR EN 2.000 RPM	73
4.4.	ANÁLISIS DE VIBRACIÓN EN LA CAJA DE CAMBIOS	74
4.4.1.	EN RALENTI	74

4.4.1.1.	Radial	74
4.4.1.2.	Diagnóstico general	78
4.4.2.	EN 2000 RPM	78
4.4.2.1.	Radial	78
4.4.2.2.	Diagnóstico general	82
4.4.3.	EVALUACIÓN DE LA CAJA DE CAMBIOS	83
4.5.	MANUAL DEL EQUIPO	83
4.5.1.	DIGIVIBEMX M20	83
4.5.2.	ACELERÓMETRO CON BASE MAGNÉTICA	84
4.5.3.	CABLE ER HIGH GRADE OFC AUDIO (ACELERÓMETRO)..	85
4.5.4.	CABLE ER HIGH GRADE OFC AUDIO (CALIBRADOR)	86
4.5.5.	CALIBRADOR.....	86
4.5.6.	INTERFAZ.....	87
4.5.7.	DIGIVIBEMX M20	87
4.6.	INSTALACIÓN DEL SOFTWARE.....	88
4.7.	CALIBRACIÓN DEL EQUIPO.....	91
5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	94
5.1.	CONCLUSIONES	94
5.2.	RECOMENDACIONES.....	96
	GLOSARIO DE TÉRMINOS.....	97
	BIBLIOGRAFÍA.....	100
	ANEXOS.....	102

ÍNDICE DE FIGURAS

PÁGINA

Figura 1. Representación de una señal vibratoria.....	10
Figura 2. Evolución del nivel de vibración de una máquina	11
Figura 3. Configuración de puntos	12
Figura 4. Señal de tiempo y FFT dual.....	12
Figura 5. Base de datos	13
Figura 6. Curva de tendencia de octavas.....	14
Figura 7. Estados de la maquinaria y códigos de barra	14
Figura 8. 3D Cascada (Waterfall).....	15
Figura 9. Análisis de dos canales.....	15
Figura 10. Espectrograma.....	16
Figura 11. Velocidad de un objeto que vibra	18
Figura 12. Aceleración de un objeto que vibra	19
Figura 13. Rango de severidad para la vibración de máquinas	21
Figura 14. Monitorización de parámetros en el mantenimiento predictivo	22
Figura 15. Vibración radial y axial	24
Figura 16. Espectro de un problema de desequilibrio	26
Figura 17. Casos de graves faltas de desalineación.....	27
Figura 18. Tipos básicos de desalineación	27
Figura 19. Falta de alineamiento en paralelo	28
Figura 20. Falta de alineamiento angular	28
Figura 21. Espectro de un problema de engranajes	29
Figura 22. Espectro de un problema eléctrico.....	30
Figura 23. Espectro de un rodamiento defectuoso.....	31
Figura 24. Tabla del estado de la máquina	31
Figura 25. Toma de lecturas	37
Figura 26. Análisis de vibración	37
Figura 27. Radial, centro del cabezote.....	38
Figura 28. Señal en el tiempo	39
Figura 29. Valor RMS.....	39

Figura 30. Gráfica en el espectro FFT	40
Figura 31. Adquisición de datos de velocidad	40
Figura 32. Pico mayor en el espectro FFT	41
Figura 33. Rango de severidad para la vibración de máquinas	42
Figura 34. Factor de cresta	42
Figura 35. Posición axial al lado derecho del cabezote	43
Figura 36. Gráficas de la vibración en posición axial	44
Figura 37. Posición horizontal al frente del cabezote.....	45
Figura 38. Gráficas de la vibración en posición horizontal	46
Figura 39. Radial, centro del cabezote.....	49
Figura 40. Señal en el tiempo	50
Figura 41. Gráfica en el espectro FFT	50
Figura 42. Adquisición de datos de velocidad	51
Figura 43. Pico mayor en el espectro FFT	52
Figura 44. Factor de cresta	53
Figura 45. Posición horizontal lado posterior del block	53
Figura 46. Gráficas de la vibración en posición horizontal lado posterior	54
Figura 47. Posición radial en el cárter.....	56
Figura 48. Gráficas de la vibración en posición radial.....	57
Figura 49. Señal en el tiempo	60
Figura 50. Gráfica en el espectro FFT	60
Figura 51. Gráficas de la vibración en posición radial.....	61
Figura 52. Pico mayor en el espectro FFT	62
Figura 53. Factor de cresta	62
Figura 54. Gráficas de la vibración en posición axial	63
Figura 55. Gráficas de la vibración en posición horizontal	64
Figura 56. Señal en el tiempo	67
Figura 57. Gráfica en el espectro FFT	67
Figura 58. Adquisición de datos de velocidad	68
Figura 59. Pico mayor en el espectro FFT	69
Figura 60. Factor de cresta	69
Figura 61. Gráficas de la vibración en posición horizontal lado posterior	70

Figura 62. Gráficas de la vibración en posición radial.....	72
Figura 63. Radial, caja de cambios	74
Figura 64. Señal en el tiempo	75
Figura 65. Valor RMS.....	75
Figura 66. Gráfica en el espectro FFT	76
Figura 67. Adquisición de datos de velocidad	76
Figura 68. Pico mayor en el espectro FFT	77
Figura 69. Radial, caja de cambios	79
Figura 70. Señal en el tiempo	79
Figura 71. Valor RMS.....	80
Figura 72. Gráfica en el espectro FFT	80
Figura 73. Adquisición de datos de velocidad	81
Figura 74. Pico mayor en el espectro FFT	82
Figura 75. Acelerómetro.....	85
Figura 76. Cable ER HIGH GRADE OFC AUDIO (acelerómetro)	85
Figura 77. Cable ER HIGH GRADE OFC AUDIO (calibrador)	86
Figura 78. Calibrador	86
Figura 79. Interfaz	87
Figura 80. DigivibeMX M20.....	88
Figura 81. Asistente de instalación	89
Figura 82. Instalación de software	89
Figura 83. Activación.....	90
Figura 84. Confirmación de la activación DigivibeMX	90
Figura 85. Calibración del sistema	91
Figura 86. Interfaz desconectada.....	91
Figura 87. Interfaz conectada.....	92
Figura 88. Correcta configuración	92
Figura 89. Calibración	93
Figura 90. Confirmación de la calibración	93

ÍNDICE DE TABLAS

	PÁGINA
Tabla 1. Valores tomados en el cabezote	41
Tabla 2. Valores tomados en el cabezote	44
Tabla 3. Valores tomados en el cabezote	46
Tabla 4. Diagnóstico del cabezote.....	48
Tabla 5. Valores tomados en el block.....	51
Tabla 6. Valores tomados en el block.....	54
Tabla 7. Diagnóstico del block.....	56
Tabla 8. Valores tomados en el cárter.....	57
Tabla 9. Valores tomados en el cárter.....	58
Tabla 10. Valores tomados en el cabezote	61
Tabla 11. Valores tomados en el cabezote	63
Tabla 12. Valores tomados en el cabezote	65
Tabla 13. Diagnóstico del cabezote.....	66
Tabla 14. Valores tomados en el block.....	68
Tabla 15. Valores tomados en el block.....	70
Tabla 16. Diagnóstico del block.....	71
Tabla 17. Valores tomados en el cárter.....	72
Tabla 18. Valores tomados en el cárter.....	73
Tabla 19. Valores tomados en la caja de cambios	77
Tabla 20. Valores tomados en la caja de cambios	78
Tabla 21. Valores tomados en la caja de cambios	81
Tabla 22. Valores tomados en la caja de cambios	83

ÍNDICE DE ANEXOS

	PÁGINA
ANEXO 1	103
Reporte del análisis cabezote (radial)	
ANEXO 2	104
Reporte del análisis cabezote (axial)	
ANEXO 3	105
Reporte del análisis cabezote (horizontal)	
ANEXO 4	106
Reporte del análisis frente del block (horizontal)	
ANEXO 5	107
Reporte del análisis lado posterior del block (horizontal)	
ANEXO 6	108
Reporte del análisis cárter (posición radial)	
ANEXO 7	109
Reporte del análisis en 2000 RPM cabezote (radial)	
ANEXO 8	110
Reporte del análisis en 2000 RPM cabezote (axial)	
ANEXO 9	111
Reporte del análisis en 2000 RPM frente de cabezote (radial)	
ANEXO 10	112
Reporte del análisis en 2000 RPM block (horizontal)	
ANEXO 11	113
Reporte del análisis en 2000 RPM, posterior del block (horizontal)	

ANEXO 12	114
Reporte del análisis en 2000 RPM cárter (radial)	
ANEXO 13	115
Reporte del análisis en ralentí caja de cambios (radial)	
ANEXO 14	116
Reporte del análisis en 2000 RPM caja de cambios (radial)	

RESUMEN

Este trabajo tuvo como objetivo implementar el mantenimiento predictivo a través del análisis de vibraciones, con la finalidad de diagnosticar y analizar las fallas en las máquinas rotativas. Las mediciones se realizaron en el motor y en la caja de cambios de un vehículo a través de un acelerómetro, en donde se determinó los puntos de medición a diferentes RPM. Con la ayuda del software DigivibeMX M20 se pudo adquirir las señales de las mediciones realizadas, en donde se observó que la gráfica de amplitud vs tiempo se transformó a un espectro FFT, se pudo analizar los diferentes valores de frecuencia y amplitud en los picos de los espectros. Se determinó que la frecuencia indica el tipo de falla mientras que la amplitud determina la severidad del daño, en la gráfica de amplitud vs frecuencia se pudo observar que el pico mayor del espectro señalaba dos valores, el primer valor era de frecuencia y el segundo valor de amplitud, con estos valores se analizó las posibles fallas del motor y de la caja de cambios en diferentes rangos. De acuerdo con la severidad de vibración se especificó que el motor y la caja de cambios están en la clase de máquina tipo II de acuerdo a las especificaciones de la norma ISO 2372. Con los valores obtenidos de las vibraciones mecánicas, se observó el valor de RMS, ya que con el mismo se identificó la severidad de vibración de la máquina, si es buena o inaceptable dependiendo del rango al cual pertenecía. Se diagnosticó que en casi todas las mediciones el motor y la caja de cambios presentaban una severidad inaceptable en diferentes RPM, al analizar los espectros de las diferentes señales se detectó fallas como: desbalanceo, falta de alineación, desgaste, aflojamiento mecánico, golpes mecánicos, etc. Finalmente se concluyó que el motor y la caja de cambios deben ser reparados inmediatamente para que su vida útil sea más larga.

ABSTRACT

This work aims to implement predictive maintenance through vibration analysis, in order to diagnose and analyze faults in rotating machines. Measurements were made in the engine and gearbox of a vehicle through an accelerometer, wherein the measuring points are determined at different RPM. With the help of DigivibeMX M20 software is able to acquire signals from measurements taken, where it was observed that the graph of amplitude vs. time became an FFT spectrum, could analyze the different values of frequency and amplitude peaks of the spectra. It was determined that the frequency indicates the type of failure while the amplitude determines the severity of damage in the graph of amplitude vs. frequency was observed that the highest peak of the spectrum indicated two values, the first value was frequency and the second value amplitude, with these values possible failures of the engine and gearbox in different ranges analyzed. According to the severity of vibration it is specified that the engine and gearbox are in the class of type II machine according to the specifications of the ISO 2372 standard. With the values obtained from the mechanical vibrations, the RMS value was observed, with this value the severity of the machine is identified whether it is good or unacceptable depending on the range that is working. It was diagnosed in almost all measurements the engine and gearbox had an unacceptable severity in different RPM, when analyzing the spectra of different signals fault was detected as unbalance, misalignment, wear, mechanical loosening, mechanical shock, etc. Finally it is concluded that the engine and the gearbox must be repaired immediately so that life is longer.

1. INTRODUCCIÓN

En las últimas cuatro décadas se ha aumentado en la industria automotriz, la aplicación del Mantenimiento basado en Condición (Predictivo), como un complemento fundamental del mantenimiento preventivo y correctivo. Este incremento responde a diferentes factores, pero cabe señalar que los más importantes son: los altos costos de refacciones y reposición de equipos. Por este motivo, el mantenimiento predictivo es fundamental para diagnosticar el análisis de fallas, teniendo en cuenta la conservación económica de los equipos y la minimización de las paradas.

Actualmente, el mantenimiento automotriz se está enfocando en el mantenimiento predictivo, que este a su vez ha evolucionado a gran escala con el paso del tiempo, ya que se ha considerado tan antiguo como la existencia de la humanidad, pasando de ser una herramienta básica de supervivencia a una actividad paralela a la producción y al control de calidad. Este cambio ha traído nuevas técnicas como es el análisis de vibración, que es una medida excelente para evaluar las condiciones mecánicas de un equipo antes que una causa, porque el origen es determinado por medio de un análisis espectral de la frecuencia de vibración.

La importancia de este método, consiste en llevar un control periódico de los niveles de vibración de cada equipo, que posteriormente se realizará un análisis comparativo de los cambios de los niveles de vibración, permitiendo diagnosticar el defecto específico.

El mantenimiento predictivo que se realizará, se enfoca en el análisis de vibraciones así como en distintos parámetros específicos, del motor y de la caja de cambios de un vehículo de marca Suzuki, modelo Forsa 1 y con un motor de 1000cc.

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 son: el motor y la caja de cambios, ya que estos sistemas son parte esencial del vehículo y ocasionalmente presentan fallos difíciles de detectar, si no se dispone de la tecnología necesaria. Este trabajo se realiza con el fin de comprobar la efectividad del mantenimiento predictivo con el manejo de una nueva tecnología, para determinar los defectos de las máquinas y generar una planificación reduciendo las horas posteriores de trabajo minimizando los gastos en reparaciones y desmontajes.

No se pudo obtener mucha información de análisis de vibraciones mecánicas en libros físicos y digitales,

1.1. PROBLEMA

En la actualidad los encargados de mantenimiento automotriz solo se centran en el preventivo y correctivo, y no toman en cuenta el predictivo así una de las maneras es medir las vibraciones en elementos mecánicos del automóvil para pronosticar una falla tempranamente y evitar paros que pueda acarrear y así mejorar la vida útil mediante la aplicación de criterios predictivos.

1.2. JUSTIFICACIÓN

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 como manejar herramientas y equipos predictivos tecnológicamente actuales de tal forma que se busque y solucione los problemas de vibraciones en los vehículos.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

Determinar la vibración en elementos mecánicos del automóvil como parte del mantenimiento predictivo.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar los elementos mecánicos del vehículo que presentan vibración.
- Definir los parámetros para la medición de la vibración en los diferentes elementos mecánicos.
- Medir las vibraciones a las que están sometidos los diferentes elementos del vehículo.
- Comparar los resultados de vibración con los estándares y así generar propuestas de mantenimiento ante las posibles fallas y evitar problemas futuros en los elementos mecánicos.

1.4. ALCANCE

Esta propuesta se va a realizar en las instalaciones del Taller Automotriz de la Universidad Tecnológica Equinoccial.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. MANTENIMIENTO

Mantenimiento son todas las actividades que se efectúan en un orden lógico de manera que se pueda conservar las condiciones iniciales de los equipos y garantizar una operación segura, efectiva y económica, de tal manera que cumplan con sus funciones para lo cual fueron diseñadas los equipos de producción, herramientas y demás activos físicos, de las diferentes instalaciones de un taller automotriz (García, 2012).

2.1.1. IMPORTANCIA

La importancia del mantenimiento se deriva por tanto, de la necesidad de contar con una estructura que permita establecer rápidamente las condiciones de operación ideal, para reducir al mínimo las pérdidas de producción, su principal fin es la conservación del servicio. Esto es, el equipo recibe mantenimiento para garantizar que la función que desempeña, dentro del sistema productivo se cumpla a cabalidad (García, 2012).

2.1.2. TIPOS

Entre los diferentes tipos de mantenimiento se puede indicar los siguientes:

- Mantenimiento correctivo
- Mantenimiento preventivo
- Mantenimiento predictivo

2.1.2.1. Mantenimiento Correctivo

El mantenimiento correctivo son todas las actividades para corregir las causas de las fallas, ejecutadas en los equipos, máquinas y componentes mecánicos cuando a consecuencia de una falla o avería debido a desgastes o roturas han dejado de prestar la misma calidad de servicio para la cual fueron diseñados. La actividad principal que desarrolla el Mantenimiento Correctivo es la reparación no planificada que resulta debido a las fallas, por tanto, las labores que deben llevarse a cabo hacer reparadas o remplazadas, tiene por objeto la recuperación inmediata de la calidad del servicio (García, 2012).

2.1.2.2. Mantenimiento Preventivo

El mantenimiento preventivo pretende reducir las reparaciones por medio de una rutina de inspecciones periódicas y la renovación de los elementos dañados. Su propósito es reducir las averías a niveles mínimos y convertir las fallas que se presentan en experiencias de aprendizaje para mejorar. El objetivo es asegurar la disponibilidad, la confiabilidad de los sistemas productivos con la aplicación de un método eficaz (García, 2012).

2.1.2.3. Mantenimiento Predictivo

El mantenimiento predictivo es el conjunto de actividades, programadas para detectar las fallas de los componentes mecánicos, por revelación antes de que sucedan, con los equipos en operación y sin perjuicio de la producción, usando aparatos de diagnóstico como el analizador de vibraciones y pruebas no destructivas (García, 2012).

2.2. CARACTERÍSTICAS DEL MANTENIMIENTO PREDICTIVO

2.2.1. VENTAJAS

- Aprovechar el máximo del tiempo para realizar el mantenimiento predictivo.
- Reducción al mínimo de las causas de fallas ejecutadas en los componentes mecánicos.
- Mejor gestión del inventario de repuestos.
- No interrumpe el funcionamiento al instalar los equipos de medición.
- Mejora de las condiciones de la planta (control de ruido, vibraciones, emisiones toxicas etc.).

2.2.2. DESVENTAJAS

- Mayor inversión, es muy costoso el mantenimiento predictivo debido a los equipos de medición y analizadores de vibración y la adquisición de datos.
- Tener técnicos que sepan identificar e interpretar los espectros y sepan utilizar los equipos de medición con un nivel apto para que puedan conocer el funcionamiento de los equipos.
- Limitaciones a la hora de elegir las instrumentaciones de medida y diagnóstico, derivadas de la necesidad de no apartar a la máquina de su funcionamiento normal durante el proceso de análisis.

2.2.3. BENEFICIOS

- Eliminación de inspecciones periódicas de mantenimiento, en que hay que desarmar los equipos.
- Aumento del intervalo entre las inspecciones generales del mantenimiento preventivo.
- Eliminación casi total de las fallas accidentales, lo cual se refleja en una mayor productividad.
- Aumento del factor de servicio y disminución del tiempo de paro necesario para las reparaciones debidamente programadas.
- Corrección a tiempo de muchos problemas de montaje que generan fallas recurrentes en la maquinaria.
- Reducción del número de equipos en Stand-by gracias al incremento de la confiabilidad de los que se encuentren en operación.
- Ahorro apreciable en los consumos de energía, cuando los equipos trabajan en óptimas condiciones.
- Garantía del cumplimiento de las características de diseño y mejora general de la seguridad de equipos (García, 2012).

2.2.4. ASPECTOS PRINCIPALES

El análisis de vibraciones es la mejor herramienta para el mantenimiento predictivo es una metodología que permite la vigilancia continua o periódica de los componentes mecánicos; el análisis, el control y la opinión técnica permiten conocer las condiciones y el estado de los componentes mecánicos (Mosquera, 2000).

El método de análisis por vibración es una de las mejores tecnologías de medición ya que permite detectar con gran precisión desde el desgaste de rodamientos, engranajes, cojinetes etc. Generan vibraciones cuando la máquina está en funcionamiento; en las vibraciones se almacena toda la

información que puede ser útil para conocer el estado del componente mecánico (Mosquera, 2000).

Con el análisis de vibraciones mecánicas se obtiene una reducción de costos y el aumento de seguridad, además mayor rentabilidad y precisión en el diagnóstico (Mosquera, 2000).

2.2.5. MANTENIMIENTO PREDICTIVO POR VIBRACIONES MECÁNICAS

Las vibraciones son una medida excelente para evaluar las condiciones mecánicas de un equipo; antes que una causa, la vibración es un síntoma de una falla potencial, cuyo origen se puede determinar por medio del análisis espectral de la frecuencia de la vibración.

El nivel de vibración es un indicador tan importante del estado de la maquinaria, como lo es la temperatura del cuerpo para el ser humano; cualquier anomalía en el nivel de vibración indica sin lugar a dudas cambio y posible deterioro en las condiciones del activo (García, 2012).

El estado de un componente mecánico se puede conocer con la base de datos de un software que permite incrementar la vida útil de las máquinas y el desempeño, un análisis de tendencias y comparaciones con espectros de vibración, con la ayuda de programas y las intervenciones de los equipos de vibración, en el momento en que sea necesaria para minimizar las vibraciones y reduciendo los desgastes de los diferentes componentes mecánicos, es decir, cuando las condiciones de deterioro han pasado de un determinado punto y antes de que se llegue a producir la avería (González, 2005).

2.3. DEFINICIÓN DE VIBRACIÓN

El movimiento continuo y repetitivo de un objeto alrededor de una posición de equilibrio. La posición de equilibrio es a la que se llegará cuando la fuerza que actúa sobre el objeto sea cero (Singiresu, 2012).

Un cuerpo vibra cuando tiene cambios alternativos, de tal manera que sus puntos oscilen sincrónicamente a su posición de equilibrio sin que el campo cambie de lugar, se puede decir que es un intercambio de energía cinética en cuerpos con rigidez y masa finitas, lo que ocasiona una entrada de energía dependiente del tiempo. El intercambio de energía puede ser producido por: desequilibrio en elementos rotativos, desalineación en acoplamientos, engranajes desgastados o dañados, rodamientos deteriorados entrada de energía acústica, circulación de fluidos o masa; energía electromagnética, estas son las causas por qué las fuerzas cambian de dirección o intensidad y estas fuerzas son causadas por el movimiento rotativo de las máquinas (Pernia, 2004).

2.3.1. VIBRACIONES MECÁNICAS

Los movimientos vibratorios en máquinas se presentan cuando sobre las piezas elásticas actúan fuerzas variables. Generalmente estos movimientos son indeseables, aun cuando en algunos casos se diseñan de manera deliberada en la máquina, la importancia de estudiar las vibraciones mecánicas es que todos los sistemas físicos y mecánicos poseen la capacidad de vibrar (Singiresu, 2012).

Cuando se mide las vibraciones de las máquinas siempre se genera un espectro, el cual es una representación gráfica de una señal vibratoria el cual se observa en la figura 1.

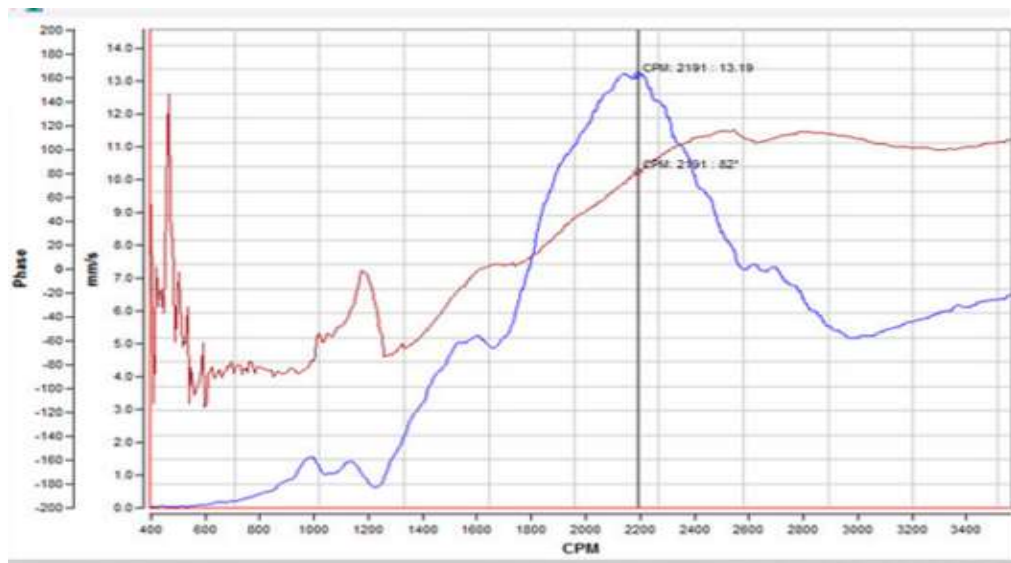


Figura 1. Representación de una señal vibratoria
(Erbessd Instruments, 2015)

2.3.2. MEDICIÓN DE VIBRACIÓN

Es el estudio de las oscilaciones mecánicas de un sistema dinámico, las mediciones de vibración tienen la finalidad de producir los datos necesarios, para saber sus conclusiones del sistema bajo prueba. Los datos que entrega la medición de vibración son usados para minimizar o eliminar la vibración en los componentes mecánicos, de esta manera se podrá eliminar el ruido resultante (Pernia, 2004).

2.3.3. TIPOS DE VIBRACIONES MECÁNICAS

Existen dos tipos generales de vibración, las libres y forzadas. La vibración libre ocurre cuando un sistema oscila bajo la acción de fuerzas inherentes al sistema mismo, es decir no existe ninguna fuerza aplicada o estas son nulas (Asociados, 2003).

La vibración forzada es la que 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 (desbalanceo mecánico) (Asociados, 2003).

También hay que estudiar los fallos de las máquinas, hay tres tipos de fallo que se puede observar en la figura 2. Es la curva de la bañera, se caracteriza por el incremento del nivel del ruido o de las vibraciones respecto al tiempo. El nivel de vibración decrece al principio, como consecuencia disminuye la fricción y el ajuste entre piezas, después se mantiene constante o un incremento ligero durante la mayor parte de su vida, finalmente se incrementa de manera rápida debido al desgaste excesivo esto hace que se produzca un fallo o la rotura, por eso la medida de vibración es un parámetro fundamental en el diagnóstico del estado de la máquina.

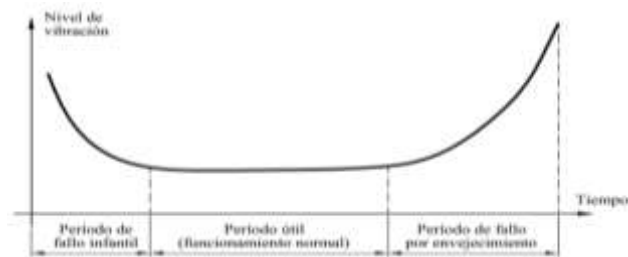


Figura 2. Evolución del nivel de vibración de una máquina
(Sánchez, Pérez, Sancho, & Pablo., 2007)

En la actualidad para el análisis de vibración se utiliza herramientas de última tecnología acompañados de un software que permite incrementar la vida útil y el desempeño de la maquina minimizando las vibraciones y reduciendo el desgaste; y está conformado por:

2.3.3.1. Simulaciones 3D ODS

Una vez que esté disponible el dibujo 3D, únicamente se elabora un nuevo análisis de ruta midiendo los puntos uno a uno hasta completar el análisis, como se observa en la figura 3. El análisis de fase para simulaciones 3D

también calcula la Coherencia entre las señales, así como la función Cross Power y la función de Transferencia para asegurar que todos los datos grabados son coherentes (Erbessd Instruments, 2015).

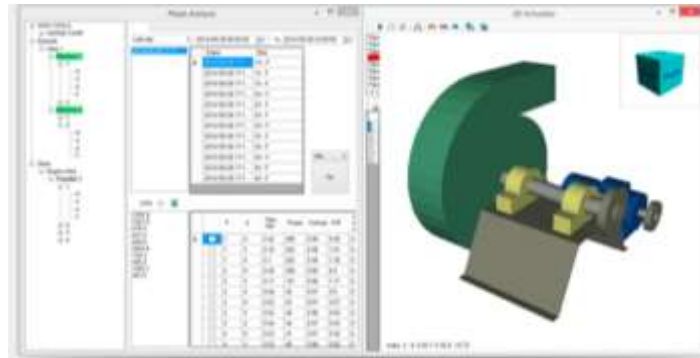


Figura 3. Configuración de puntos
(Erbessd Instruments, 2015)

2.3.3.2. Espectro FFT

En la figura 4 se indica el Algoritmo FFT, con un rango capaz de medir desde muy bajas velocidades (1 Hz) hasta velocidades superiores a los 10 kHz. La precisión del espectro varía dependiendo de las necesidades, pero puede alcanzar hasta varios millones de líneas de resolución. Su principal función es transformar la señal desde su representación en el dominio del tiempo al dominio de la frecuencia que permite identificar fenómenos como las armónicas, ruido eléctrico, entre otros (Erbessd Instruments, 2015).



Figura 4. Señal de tiempo y FFT dual
(Erbessd Instruments, 2015)

2.3.3.3. Base de datos de maquinaria

La base de datos generada por el software permite guardar toda la información de la maquinaria en un sólo lugar y después utilizar estos datos para realizar análisis de ruta, esta opción permite ordenar las mediciones de las maquinas en orden cronológico, de esta manera toda la documentación se encuentra de una manera más accesible como se observa en la figura 5 (Erbessd Instruments, 2015).

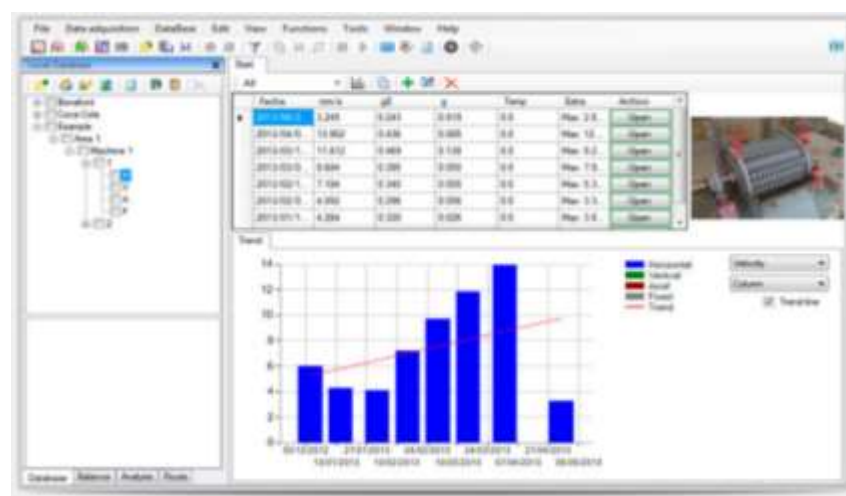


Figura 5. Base de datos

(Erbessd Instruments, 2015)

Las herramientas predictivas del analizador de vibraciones permiten evaluar la evolución de las vibraciones producidas por causas comunes como desbalanceo y ruido eléctrico, pero también por defectos en los rodamientos y el engranaje (Erbessd Instruments, 2015).

2.3.3.4. Curvas de tendencia de bandas con 1/3 de octavas

En la figura 6 se puede observar la curva de tendencia de octavas.

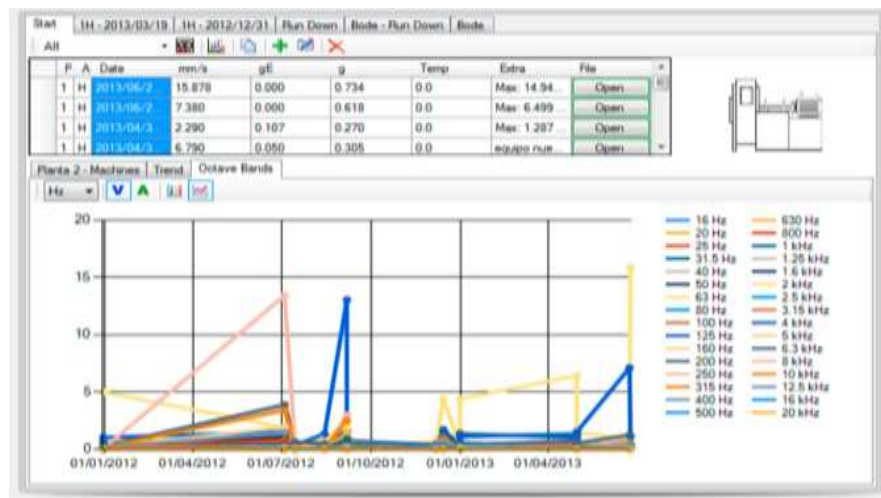


Figura 6. Curva de tendencia de octavas
(Erbesd Instruments, 2015)

2.3.3.5. Estadísticas del estado de la maquinaria, creación y lectura de códigos de barra

En la figura 7 se observa la configuración de la maquina con su respectivo código de barras, que entrega el analizador de vibraciones.

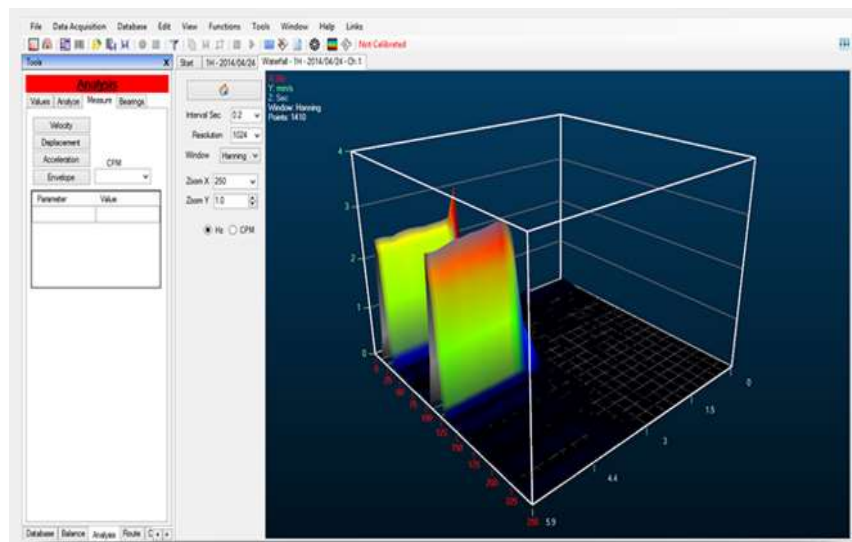


Figura 7. Estados de la maquinaria y códigos de barra
(Erbesd Instruments, 2015)

2.3.3.6. Gráficos en cascada 3D reales

Es una representación espectral variable en el tiempo (formando un dibujo 3D) que muestra como la densidad de una señal varía conforme avanza el tiempo, como se observa en la figura 8 (Erbessd Instruments, 2015).



Figura 8. 3D Cascada (Waterfall)

(Erbessd Instruments, 2015)

2.3.3.7. Funciones de Dos Canales

Los análisis de dos canales (duals) tienen grandes ventajas, no solo porque ahorran tiempo en la adquisición de datos, sino también porque permiten obtener información que no puede ser adquirida con el análisis de un solo canal, como se puede observar en la figura 9 (Erbessd Instruments, 2015).

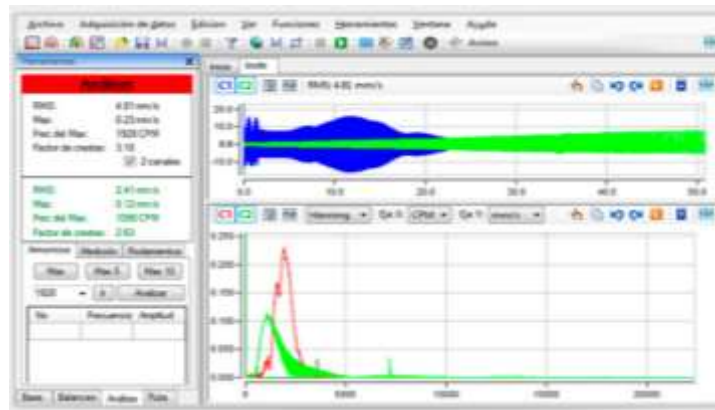


Figura 9. Análisis de dos canales

(Erbessd Instruments, 2015)

2.3.3.8. Espectrograma

Es una representación espectral variable en el tiempo (formando una imagen) que muestra la densidad espectral de una señal variable en el tiempo. El eje horizontal representa el tiempo y el eje vertical la frecuencia; una tercera dimensión indica la amplitud de una frecuencia en particular en un tiempo específico, como se observa en la figura 10, la cual es representada por una intensidad de color para cada punto de la imagen.

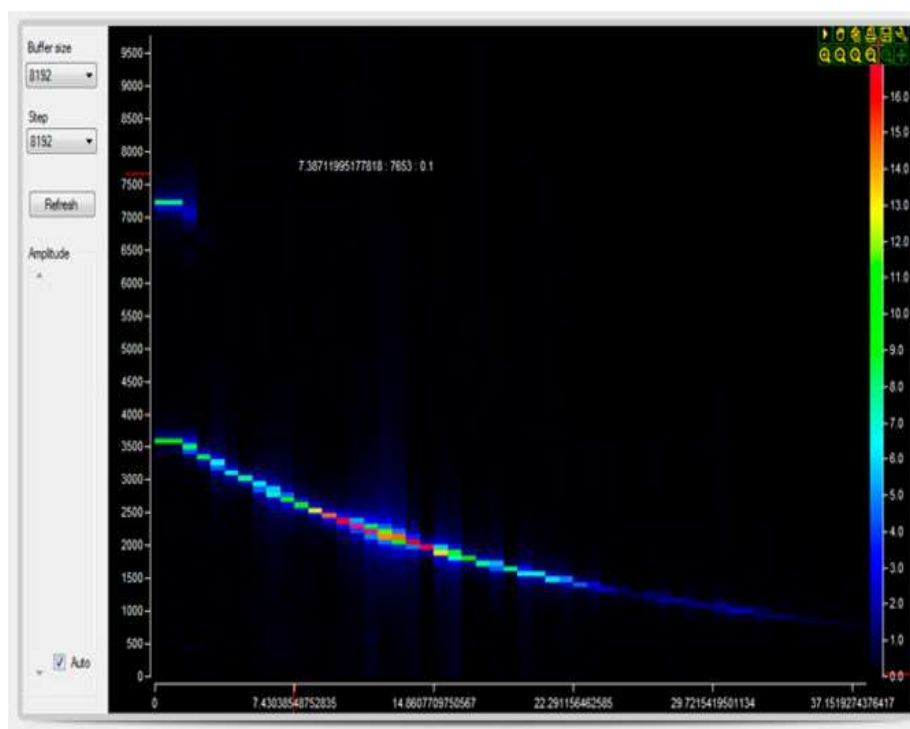


Figura 10. Espectrograma

(Erbesd Instruments, 2015)

Una vez que se apreciado todas las características del analizador de vibraciones hay que seleccionar diferentes aspectos como:

- Puntos y direcciones de medición axial y radial.
- Magnitudes de medición desplazamiento, velocidad y aceleración.

La determinación de vibración de los niveles normales de la vibración es importante para la implementación del mantenimiento predictivo por vibraciones mecánicas.

Un método es el análisis de tendencias es muy simple el cual se relaciona en la ilustración de los parámetros de la vibración de la máquina en la explotación. Si los niveles de vibración están en un estado aceptable sus valores son constantes.

Si indica alguna falla, entonces estos valores comienzan aparecer en la medida que esta se desarrolle, las diferentes características de las máquinas como su acabado superficial, rigidez, ajuste, etc.

Estos detalles hacen que determine un nivel de vibración característico, si hay una variación significa que está ocurriendo una avería (Mosquera, 2000).

2.3.4. CARACTERÍSTICAS DE VIBRACIÓN

2.3.4.1. Frecuencia

Es el número de ciclos completos en un período de tiempo, la unidad que le caracteriza es cpm (ciclos por minuto). Se tiene una relación importante entre frecuencia y velocidad angular de los elementos rotativos. 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 (Royo, Rabanaque, & Torres).

2.3.4.2. 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 (Royo, Rabanaque, & Torres).

2.3.4.3. Velocidad

La severidad de la vibración se indica de forma más precisa al medir la velocidad tienen una relación directa, se mide la velocidad cuando el intervalo esta de 600 y 60.000 cpm, y el pico mayor de todo el recorrido que realiza el elemento cuando vibra, como se observa en la figura 11 y su unidad es mm/s (Royo, Rabanaque, & Torres).

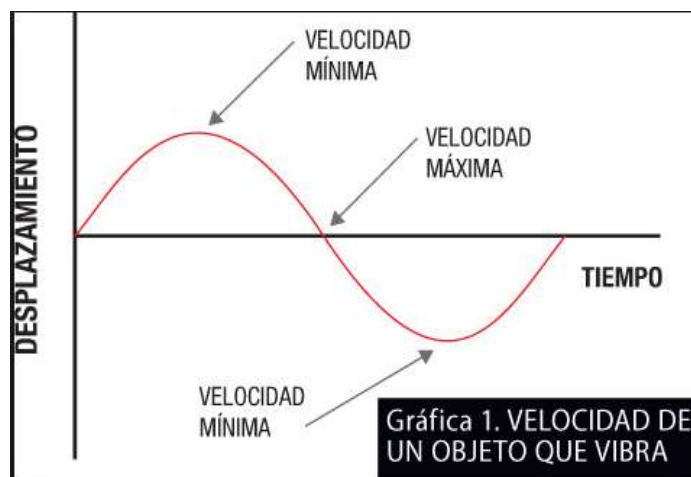


Figura 11. Velocidad de un objeto que vibra

(Nieto, 2013)

2.3.4.4. 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, como se observa en la figura 12. No importa si la velocidad y desplazamiento sean pequeños (Royo, Rabanaque, & Torres).

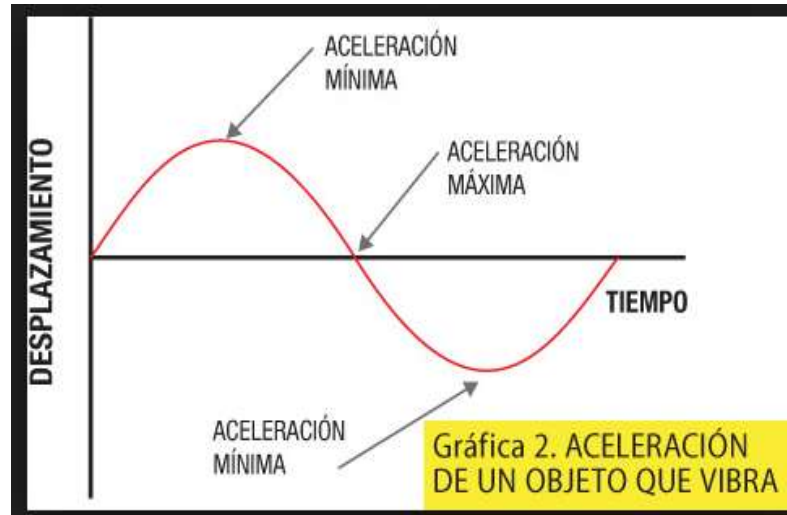


Figura 12. Aceleración de un objeto que vibra
(Nieto, 2013)

2.3.4.5. Spike energy o Energía de impulsos

Este parámetro mide los impulsos de energía de vibración de breve duración y de alta frecuencia, su unidad es g-SE (Royo, Rabanaque, & Torres).

2.3.4.6. Factor de cresta

El factor de cresta es muy importante para diagnosticar máquinas, indica el impacto que está sucediendo en la forma de la onda (amplitud vs tiempo), con este factor se puede analizar las fallas como el desgaste de rodamientos, engranajes y choques entre partes móviles, esto sucede cuando se encuentra un factor de cresta con valores mayores que 1.4142. Es expresado por el valor pico y el valor RMS (Sánchez, Pérez, Sancho, & Pablo., 2007).

Todas estas características se producen por los defectos en la superficie de elementos de rodamientos o engranajes. Rozamiento, impacto, contacto entre metal-metal en máquinas rotativas (Royo, Rabanaque, & Torres).

Existen fugas de aceite o de aire, también cavitación debido a turbulencia en fluidos o fisuras, sin estas características resulta complicado identificar algún componente mecánico que este en malas condiciones o defectuoso (Royo, Rabanaque, & Torres).

Las vibraciones poseen diferentes magnitudes (desplazamiento, velocidad y aceleración), y es necesario identificar con cuál de las tres magnitudes se va a medir, depende de cuántos CPM indica el espectro FFT, y dependiendo del material en donde se va a colocar el acelerómetro, se seleccionará el tipo de sensor a utilizar (tornillo de 1/8 y magnético), por ejemplo: el sensor de desplazamiento es mucho más sensible a bajas frecuencias, es decir menor o igual a las 600 CPM; el de velocidad su frecuencia son de rangos medios que se encuentra entre 600 y 60.000 CPM y el de aceleración su frecuencia es alta, mayor a 60.000 CPM (Royo, Rabanaque, & Torres).

2.4. SEVERIDAD DE LA VIBRACIÓN

Es muy importante conocer la severidad de la vibración, esta 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 International Standards Organization (ISO) define como severidad de la vibración el valor rms de la amplitud de velocidad de vibración obtenido en la banda de frecuencia 10 – 1.000 Hz y medido en unos puntos preestablecidos de la estructura.

La severidad de la vibración se basa en dos parámetros: frecuencia y amplitud. Como se observa en la figura 13, la severidad de la vibración se divide en cuatro aspectos: Bueno, Aceptable, Insatisfactorio, Inaceptable.

La norma ISO 2372, una vez que se obtiene el valor (RMS) de vibración entre 600 y 60.000 CPM se localiza en la tabla y eso va a depender de su característica y se clasifica (Royo, Rabanaque, & Torres).

Tabla de Severidad, ISO 2372						
RANGO DE VIBRACIÓN			CLASES DE MÁQUINAS			
VELOCIDAD RMS (mm/s)	VELOCIDAD 0-P (mm/s)	VELOCIDAD 0-P (pul/s)	Máquinas Pequeñas	Máquinas Medianas	Máquinas Grandes	
					Soporte rígido	soporte flexible
			CLASE I	CLASE II	CLASE III	CLASE IV
0.28	0.396	0.016	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO
0.45	0.636	0.025				
0.71	1.004	0.040				
1.12	1.584	0.062	ACEPTABLE	ACEPTABLE	ACEPTABLE	ACEPTABLE
1.80	2.546	0.100				
2.80	3.960	0.156	INSATISFACTORIO	INSATISFACTORIO	INSATISFACTORIO	INSATISFACTORIO
4.50	6.364	0.251				
7.10	10.041	0.395	INACEPTABLE	INACEPTABLE	INACEPTABLE	INACEPTABLE
11.20	15.839	0.624				
18.00	25.456	1.002				
28.00	39.598	1.559				
45.00	63.640	2.505				
71.00	100.409	3.953				

Figura 13. Rango de severidad para la vibración de máquinas
(Contreras, 2012)

2.5. CLASES DE MÁQUINAS

2.5.1. Clase I

Máquinas grandes con potencia superior a 300 KW y máquinas eléctricas con altura de eje superior a 315 mm.

2.5.2. Clase II

Máquinas medias con una potencia entre 15 KW y 300 KW y máquinas eléctricas con altura de eje entre 160 mm y 315 mm.

2.5.3. Clase III

Bombas multiálabe con motor independiente y potencia superior a 15 KW.

2.5.4. Clase IV

Bombas multiálabe con motor integrado y potencia superior a 15 KW (Sánchez, Pérez, Sancho, & Pablo., 2007).

Todas las máquinas se deben establecer los criterios de severidad, como se observa en la figura 14 considerados de la siguiente manera:

Alarma - nivel de vibración severo.

Parada – nivel de vibración no aceptable.

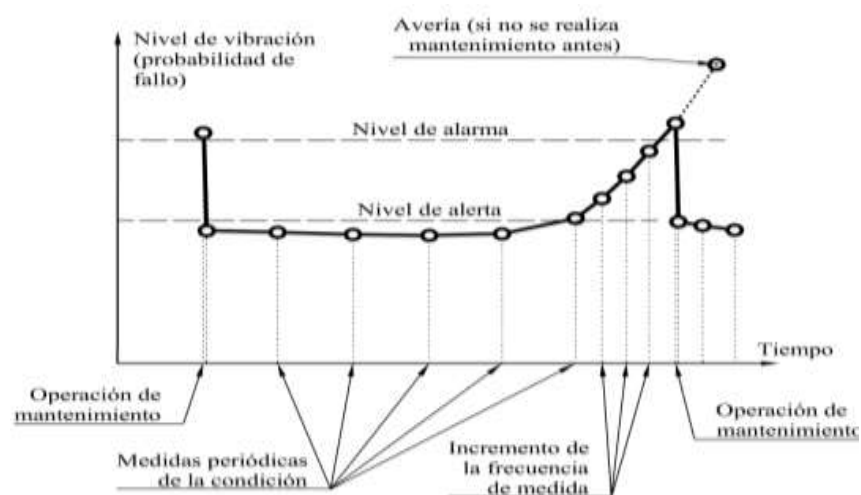


Figura 14. Monitorización de parámetros en el mantenimiento predictivo

(Royo, Rabanaque, & Torres)

2.6. ANALISIS DE DATOS

El primer y principal paso es la adquisición de datos, para hacer un análisis de vibraciones. Los datos que se deberán tomar, desplazamiento, velocidad o aceleración van a depender de la velocidad de la máquina, de acuerdo con su relación equivalente de frecuencia ($\text{rpm}=\text{cpm}$) (Royo, Rabanaque, & Torres).

A continuación se mencionan los pasos para la adquisición de datos:

- Las características de diseño y funcionamiento de la máquina, se determinaran con aspectos como son: velocidad de rotación de la máquina, tipo de rodamiento, engranaje y condiciones del entorno en que esté situada como es el tipo de apoyo, acoplamientos, ruido, etc. Se deberá tomar en cuenta las condiciones de funcionamiento como velocidad y cargas entre otras que normalmente afectarán a las mediciones de vibración (Royo, Rabanaque, & Torres).
- La finalidad de la vibración podrá incluir: Medidas de rutina para que detecten en un momento determinado un posible fallo y así las causas que lo originan. También las medidas para crear un histórico de datos y con él obtener un valor de base, sobre el que estará el valor de vibración que deba tener la máquina cuando sus condiciones de trabajo sean normales. Se debe llevar la toma de datos antes y después de una reparación, la medida de antes pondrá de manifiesto el problema, elemento defectuoso y será más eficaz así su reparación. Después de la reparación se tomarán medidas que indiquen la evolución del elemento sustituido o la corrección del defecto existente (Royo, Rabanaque, & Torres).
- Para determinar el transductor a utilizar, se debe realizar una selección de los parámetros de medición: desplazamiento, velocidad, aceleración, Spike energy (Royo, Rabanaque, & Torres).
- Para la determinación de posición y dirección de las medidas con los transductores, la vibración será tomada generalmente en rodamientos de

la máquina o puntos donde sea más probable un fallo por acoplamiento, equilibrio, puntos donde se transmitan las fuerzas vibratorias.

- Los sentidos principales en una medición son horizontales, verticales y axiales, teniendo en cuenta que los sentidos radiales son horizontales y verticales, se toman con eje del transductor a 90° respecto al eje de rotación, como se observa en la figura 15 (Royo, Rabanaque, & Torres).

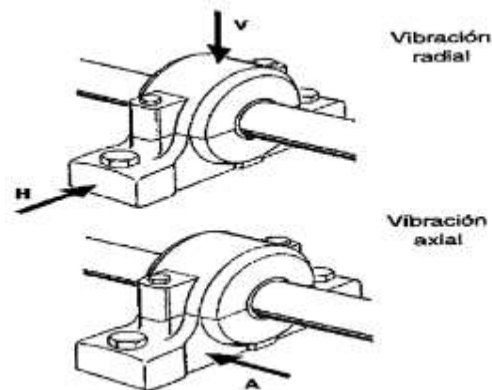


Figura 15. Vibración radial y axial

(Royo, Rabanaque, & Torres)

- Selección del instrumento de medición y transductores (Royo, Rabanaque, & Torres).
- Se debe determinar el tipo específico de datos requeridos para la interpretación de las medidas realizadas, porque se ahorrará tiempo a la hora de realizar las medidas y se obtendrá de estas, información más útil en el análisis. Los datos a obtener pueden ser: valores de magnitud total, espectro de frecuencias amplitud-frecuencia que indica el tipo de problema existente, amplitud-tiempo para vibraciones transitorias rápidas o vibraciones muy lentas, Spike energy en rodamientos, engranajes y problemas de cavitación (Royo, Rabanaque, & Torres).
- La toma de datos es un paso esencial en el análisis, pero precisa de atención y fiabilidad de las medidas tomadas (Royo, Rabanaque, & Torres).

Para la adquisición de datos es importante tener en cuenta: secuencias de medición, tomar datos correctos y lo más rápido posible, evitan perder

tiempo. El lugar de toma de datos siempre será el mismo, con el transductor unido de una forma firme, para la veracidad de los datos (Nieto, 2013).

Se debe realizar el seguimiento de la máquina, significando que hay que mantener un contacto con los operarios que trabajan con ella y los de mantenimiento, ellos serán las personas que conocen de cerca la máquina. También estar siempre atentos de controlar el entorno exterior de la máquina, aspecto, ruido, etc., así como atender las tendencias inesperadas. El equipo de trabajo debe estar preparado para tomar más datos, cuando pueda haber signos de algún problema, y así mantener los datos coherentes, tomados con precisión (Nieto, 2013).

2.7. DETERMINACIÓN DE CAUSAS DE VIBRACIÓN

Cuando ya obtuvo todos los datos de vibraciones de las diferentes clases de máquinas, toca identificar los fallos o las roturas, de tal forma que al momento de reparar sea más eficiente y con un costo mínimo.

Los datos de las vibraciones mecánicas de sus espectros son lavase para analizar todos los defectos y causa y poder estudiar el defecto.

Hay que tomar en cuenta los otros efectos de la vibración como los es el ruido, la pérdida de aceite, los más serios problemas y son comunes en las máquinas que ocasionan vibración son:

- Desequilibrio
- Desalineación
- Engranajes
- Problemas eléctricos
- Rodamientos (García & Tinoco, 2011).

2.7.1. DESEQUILIBRIO

La causa más común que se pueden dar en las vibraciones mecánicas es la del desequilibrio, es sencillo obtener un pico en el gráfico de amplitud con respecto a la frecuencia que muestra un desequilibrio como se puede observar en la figura 16 (Royo, Rabanaque, & Torres, s.f.).

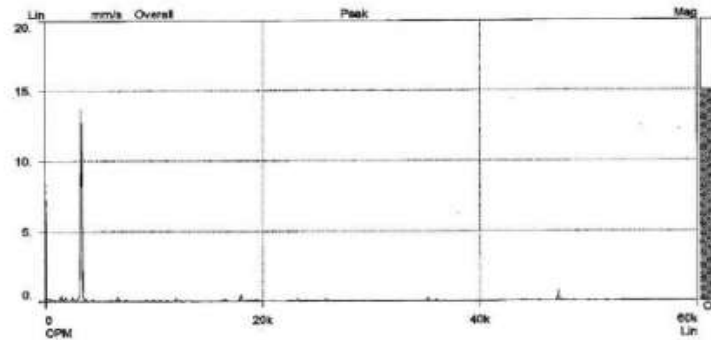


Figura 16. Espectro de un problema de desequilibrio

(Royo, Rabanaque, & Torres, s.f.)

Para determinar la cantidad de desequilibrio hay que hallar la amplitud de la vibración en la frecuencia igual a 1 x rpm, la amplitud es similar a la cantidad de desequilibrio. Las máquinas con ejes horizontales la amplitud es mayor en sentido radial (horizontal y vertical). El desequilibrio no es la única causa cuando existe un pico en frecuencia igual a 1 x rpm, también puede ocurrir en la desalineación. En esta frecuencia las posibles causas son en los engranajes, poleas, eje torcido si hay alta vibración axial, bandas en malas condiciones o problemas eléctricos (Royo, Rabanaque, & Torres, s.f.).

2.7.2. DESALINEACIÓN

La frecuencia de vibración es de 1 x rpm, también 2 x y 3 x rpm en los casos de una grave falta de alineamiento como se observa en la figura 17 (García & Tinoco, 2011).

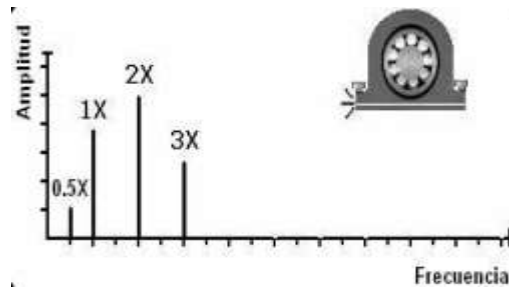


Figura 17. Casos de graves faltas de desalineación
(García & Tinoco, 2011)

La vibración de un eje torcido es similar a la de una mala alineación angular. La amplitud es similar a la falta de alineamiento y a la gravedad del defecto, puede ser alta también en sentido axial además de radial, y si la axial es mayor que la mitad de la radial puede existir un problema de desalineación o ejes torcidos, existen tres tipos básicos de desalineación, en paralelo, angular y una combinación de ambos, como se observa en la figura 18 (García & Tinoco, 2011)

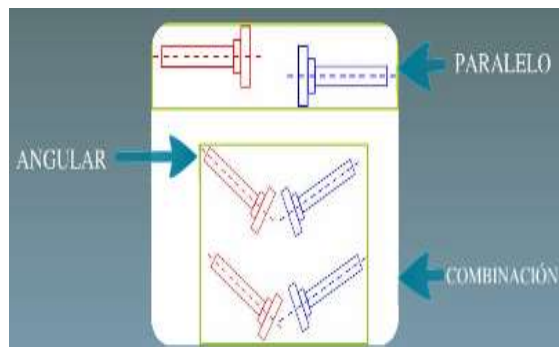


Figura 18. Tipos básicos de desalineación
(García & Tinoco, 2011)

2.7.2.1. Paralelo

Se produce principalmente en vibración radial con una frecuencia igual al doble de la velocidad de rotación del eje, como se observa en la figura 19 (García & Tinoco, 2011).

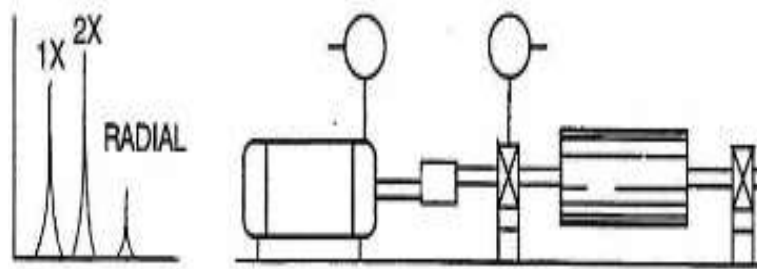


Figura 19. Falta de alineamiento en paralelo

(García & Tinoco, 2011)

2.7.2.2. Angular

Se produce principalmente los ejes de las máquinas y generando esto una fuerte vibración a frecuencias 1 x y 2 x rpm, en dirección axial igual a la velocidad de rotación (rpm) del eje, como se observa en la figura 20 (García & Tinoco, 2011).

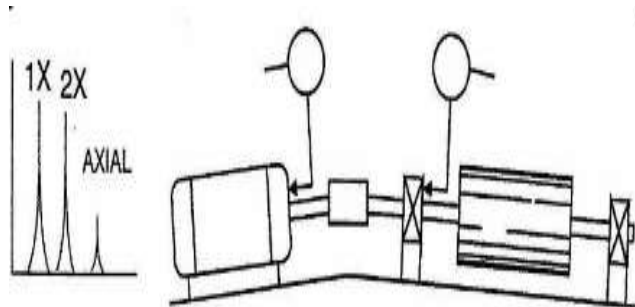


Figura 20. Falta de alineamiento angular

(García & Tinoco)

El desalineamiento no es fácil de observar en la máquina que está trabajando lo que se observa son algunas consecuencias que se relaciona con el desalineamiento que son: sellos, fugas de aceite, incremento de temperatura y de vibración radial y axial esto hace que disminuya la vida útil del rodamiento (García & Tinoco, 2011).

2.7.3. ENGRANAJES

Se puede observar al encontrar picos a frecuencias que coinciden con múltiplos enteros de la velocidad de giro del engranaje que falla, existirá vibración de amplitud menor de forma simétrica a la frecuencia del engranaje, como se puede observar en la figura 21 (Royo, Rabanaque, & Torres, s.f.).

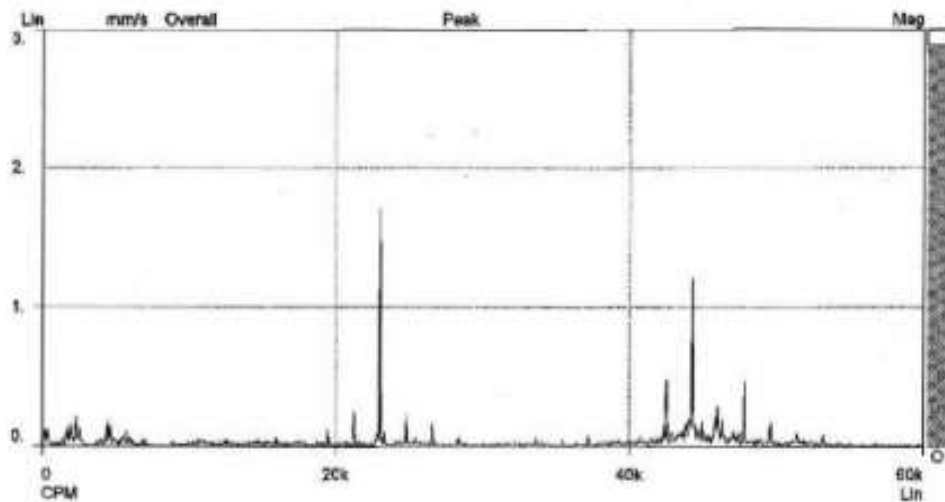


Figura 21. Espectro de un problema de engranajes

(Royo, Rabanaque, & Torres, s.f.)

Las principales causas de vibración en los engranajes son: desgaste excesivo de los dientes, inexactitud de los dientes, fallos de lubricación, elementos extraños entre dientes, estos tipos de vibraciones se pueden detectar en varios puntos de las máquinas. Cuando hay un fallo de engranaje o rodamiento va a ver ruido (Royo, Rabanaque, & Torres, s.f.).

2.7.4. PROBLEMAS ELÉCTRICOS

La vibración se produce por fuerzas desiguales las cuales pueden ser causadas por la forma interna de elemento. Es difícil reconocer gráficamente este problema, ya que no tiene características que indiquen de

forma sencilla que esta es la causa de vibración. El espectro se puede equivocar por ser similar a la del desequilibrio, hay que desconectar la corriente para que el problema desapareciera. Se detectarán picos mayores a distancias iguales a cuatro veces la velocidad de giro, como se puede observar en la figura 22 (Royo, Rabanaque, & Torres, s.f.).

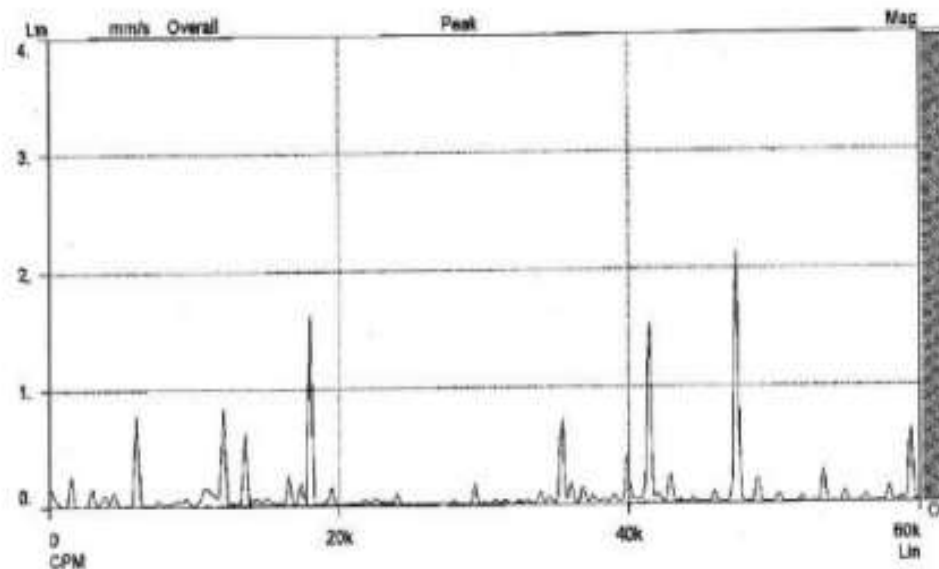


Figura 22. Espectro de un problema eléctrico
(Royo, Rabanaque, & Torres, s.f.)

2.7.5. RODAMIENTOS

Los rodamientos dan vibraciones a frecuencias altas no relacionadas con la velocidad de rotación y de amplitud también aleatoria. Reconocer el fallo de los rodamientos en la gráfica de amplitud vs frecuencia es muy fácil, tiende a tener muchos picos a altas frecuencias y de amplitud variable eso va a depender del problema, como se puede observar en la figura 23 (Royo, Rabanaque, & Torres, s.f.).

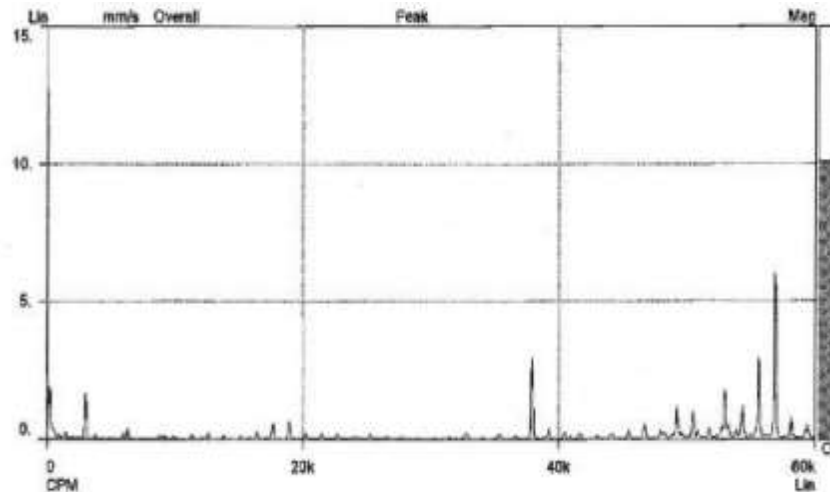


Figura 23. Espectro de un rodamiento defectuoso
(Royo, Rabanaque, & Torres, s.f.)

Hay que tener cuidado con los rodamientos ya que pueden fallar por errores en el montaje, lubricación inadecuada, defectos internos en la fabricación, corriente eléctrica, desalineación, rodamiento no preparado para la carga que soporta, estas causas son las más comunes de fallo de un rodamiento (Royo, Rabanaque, & Torres, s.f.).

Cuando falla un rodamiento o está defectuoso se va a oír el exceso de ruido, cuando esta es la causa de la vibración es importante conocer el valor de Spike energy, como se observa en la figura 24 (Royo, Rabanaque, & Torres, s.f.).

	Nivel de vibración			
Estado máquina	Desplazamiento	Velocidad	Aceleración	Spike energy
Buenas condiciones	Normal	Normal	Normal	Normal
Rodamiento defectuoso Funcionamiento	Normal	Normal	Normal	Alto
Rodamiento defectuoso Funcionamiento	Normal	Normal	Alto	Alto
Problemas Analizar, parar	Normal	Alto	Alto	Alto
Problemas Analizar, parar	Alto	Alto	Alto	Alto

Figura 24. Tabla del estado de la máquina
(Royo, Rabanaque, & Torres, s.f.)

3. METODOLOGÍA

Para el desarrollo del presente trabajo por medio de la investigación de campo, se identificó los elementos para muestreo de la vibración.

3.1. ADQUISICIÓN DE DATOS

Para la toma de datos se recurrió al uso del equipo de medición de vibraciones DigivibeMX M20, para ello se aplicó métodos validados y usados internacionalmente de acuerdo a la normativa.

En este caso se utilizó la norma ISO 2372, para especificar los estándares de evaluación del motor, esta norma en general establece la severidad vibratoria para las máquinas rotatorias, con el fin de garantizar un comportamiento eficiente de la máquina.

La adquisición de datos consistió en obtener la información acerca del desplazamiento, velocidad o aceleración; estos parámetros dependieron de la máquina según su frecuencia (RPM = CPM), es decir que si la máquina presentaba un bajo RPM, el CPM también debía presentar esta característica.

Las mediciones se realizaron cuando el motor y la caja de cambios estaban en funcionamiento y cuando alcanzaron su temperatura de trabajo, para obtener lecturas más precisas de las vibraciones de ambos componentes.

3.2. IDENTIFICACIÓN DE MATERIALES

Se determinó que los componentes del vehículo donde más se generan vibraciones y defectos son en el motor y la caja de cambios, ya que en estos elementos se producen más esfuerzos mecánicos, por ende existen más

vibraciones ocasionando alteraciones en el funcionamiento del vehículo, que pueden ser defectos en la superficie de elementos de rodamientos o engranajes, contacto entre metal-metal, o finalmente por fugas de alta presión.

Analizando la estructura y materiales que compone tanto el motor como la caja de cambios, se definió que si estos presentan materiales ferrosos o no ferrosos, se debe seleccionar un tipo de acelerómetro específico en el momento de realizar la medición de vibraciones. En el caso de que el motor o la caja de cambios estén compuestos de materiales ferrosos se utilizará el acelerómetro con base magnética, pero en caso contrario se utilizará un acelerómetro de tornillo.

Según las características del motor se realizó la clasificación de acuerdo a la potencia y el tipo de montaje para determinar su clase, en este caso se definió que el motor es de clase II.

3.3. CALIDAD DE LA VIBRACIÓN

Para conocer la calidad de vibración se debe tener un parámetro, el cual permite evaluar el motor y la caja de cambios, este presenta diferentes marcadores que son representados con letras en donde:

A: Buena (color verde)

B: Satisfactoria (color amarillo)

C: Insatisfactoria (color naranja)

D: Inaceptable (color rojo)

Esto significa que si existe un nivel vibratorio bueno, tanto en el motor como la caja de cambios, estos pueden funcionar sin ningún problema. Si presenta un nivel vibratorio inaceptable significa que ambos elementos presentan

fallas, por lo tanto el motor o la caja de cambios pueden sufrir daños como puede ser: desgaste, fisuras por fatiga, pérdida de efectividad de sellos, rotura de asientos, ruidos, etc.

3.4. MEDICIÓN DE VIBRACIONES

Existen distintas formas de medir las vibraciones en las máquinas rotativas para identificar fallos en las mismas. En una gran mayoría los problemas mecánicos pueden identificarse realizando un análisis de vibración, que consiste en frecuencia vs amplitud, ya que con estos parámetros la frecuencia se puede relacionar con el problema específico, y la amplitud entrega una indicación de la severidad de que tan grave es el problema.

Se determinó la posición y dirección del acelerómetro o transductor, generalmente se tomarán las vibraciones en puntos donde se transmitan las fuerzas vibratorias. Existen tres sentidos específicos para una medición como son: horizontal, vertical y axial. Se debe tomar en cuenta que dentro de los sentidos radiales están el horizontal y vertical.

3.5. ANÁLISIS DE GRÁFICAS PARA DETECTAR DEFECTOS

Generalmente el análisis de las gráficas indican los tipos de defectos que pueda presentar la máquina según las lecturas obtenidas. La señal vibratoria obtenida es descompuesta en el dominio del tiempo en sus componentes espectrales en frecuencia, mediante el análisis espectral de la misma. Los espectros son la base para encontrar las causas y la forma de corregir los defectos que sean indicados, debido a que es fácil encontrar un pico en el gráfico de frecuencia vs amplitud.

Los problemas mecánicos que son los más comunes en el motor y en la caja de cambios son: desequilibrio en ejes, defectos en rodamientos y engranajes, falta de alineación de acoplamientos y problemas eléctricos; ya que las vibraciones ocurridas en el motor de combustión interna son producidas por dos tipos de excitación, la primera debida a la vibraciones senoidales que resulta del movimiento del pistón, y la segunda es una vibración al azar resultante de todos los demás movimientos.

Las vibraciones de la caja de transmisión son similares a las del motor, lo que les diferencia es que en las pruebas pueden tener valores mayores.

Por último se debe obtener el reporte comparativo, el cual indica los defectos que presenta el motor como la caja de cambios, ya que se comparan los mismos parámetros pero a diferentes rpm. Los resultados son presentados en gráficas, en donde se puede observar los diferentes espectros.

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Una vez instalado y calibrado el equipo DigivibeMX M20, se procedió a medir las vibraciones, que consta en adquirir e interpretar las diferentes señales de vibraciones mecánicas, para analizar el estado del motor y la caja de cambios. De esta forma se puede corregir de manera eficaz un posible fallo, mediante un diagnóstico espectral.

4.1. IDENTIFICACIÓN DE ASPECTOS A MEDIR

Antes de realizar las mediciones se deben definir los aspectos siguientes:

- Puntos y direcciones de medición (axial, radial, horizontal).
- Magnitudes de medición (Velocidad, Desplazamiento, Aceleración).
- Sensor adecuado (acelerómetro).
- Establecer el tiempo.
- Definir los parámetros de las unidades de medición.

4.1.1. TOMA DE LECTURAS

Una vez calibrado el equipo se procedió a desconectar el calibrador de la interfaz, se inició el software conectada la interfaz con el acelerómetro en el canal 1. Posteriormente se seleccionó un nuevo análisis de vibración en el programa DigivibeMX M20, como se indica en la figura 25.

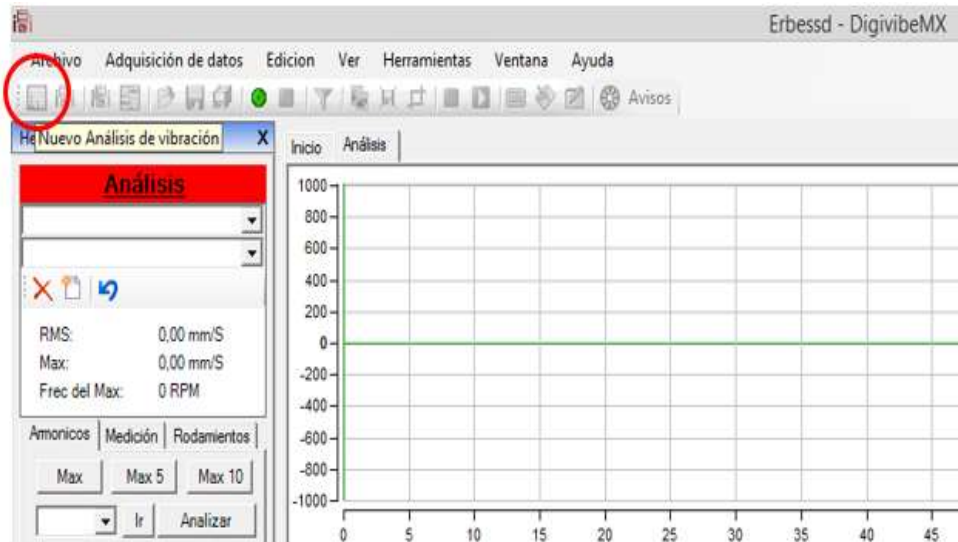


Figura 25. Toma de lecturas

(DigivibeMX, 2015)

Se encendió el motor del vehículo en el que se va realizar el análisis de vibración, se colocó el acelerómetro de tres posiciones axial, radial, horizontal en tres sitios determinados del motor, como son: cabezote, block, cárter, y en la caja de cambios. Se inició las capturas por 30 segundos en ralentí y en 2.000 rpm, como se señala en la figura 26.

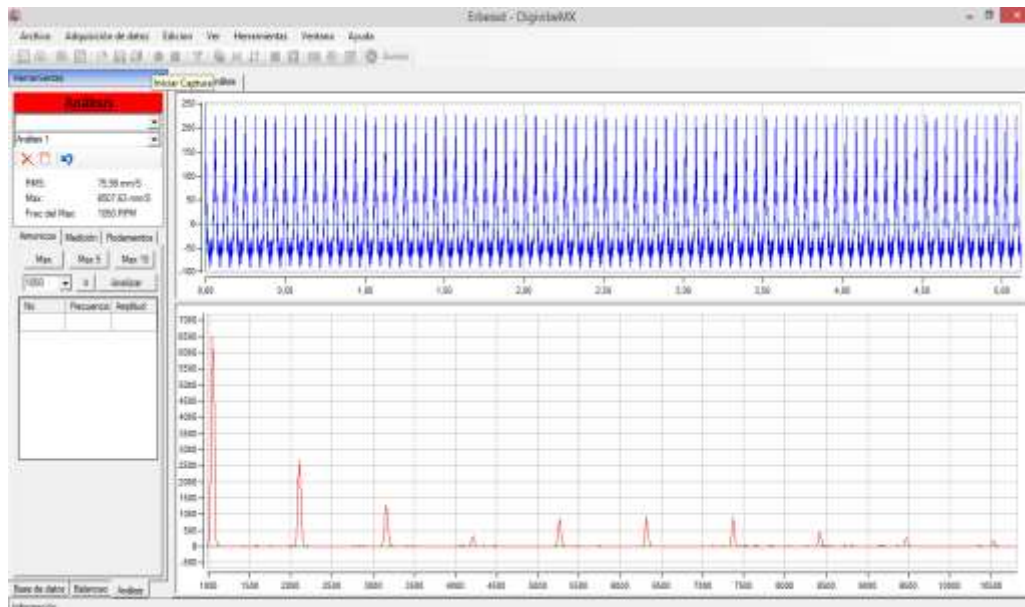


Figura 26. Análisis de vibración

(DigivibeMX, 2015)

4.2. ANÁLISIS DE VIBRACIÓN EN RALENTÍ

Antes de realizar cualquier lectura, se tomó en cuenta que el parámetro de velocidad con su gráfica es el más utilizado para máquinas de 600 a 60.000 CPM, como es el caso del motor analizado.

Con la frecuencia de la vibración se determina el tipo de falla o causa que se produce por la vibración, mientras que la amplitud indica la severidad del daño.

4.2.1. CABEZOTE

4.2.1.1. Radial

El primer análisis de las vibraciones se efectuó en el centro del cabezote, donde se tomó como punto de medición la posición radial, cuando el motor se encontraba en ralentí, como se observa en la figura 27.



Figura 27. Radial, centro del cabezote

Una vez obtenidos los resultados del análisis de vibración en ralentí, se obtuvieron dos tipos de gráficas, la primera gráfica fue de Amplitud (mm/s) vs Tiempo (s), como se observa en la figura 28.

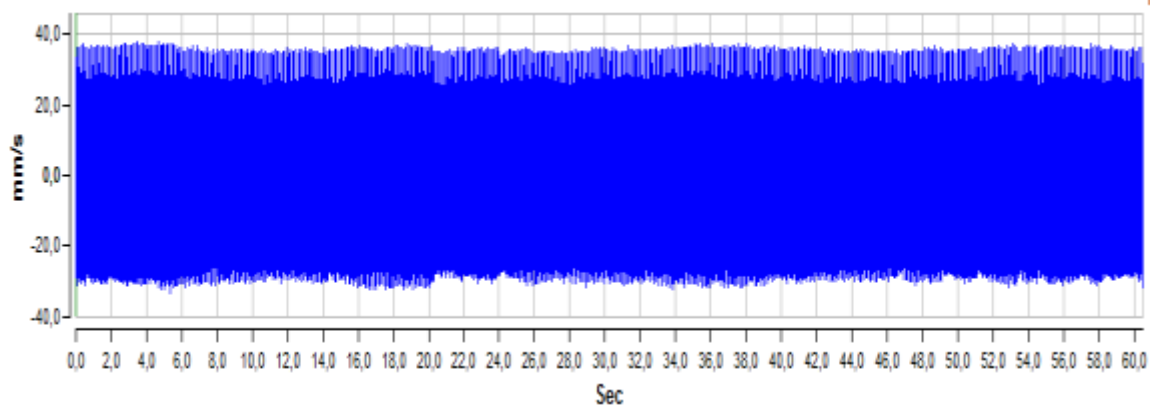


Figura 28. Señal en el tiempo

(DigivibeMX, 2015)

En la figura 29, se observó que el valor global (RMS) de la vibración fue de 20,82 mm/s en 30 segundos.

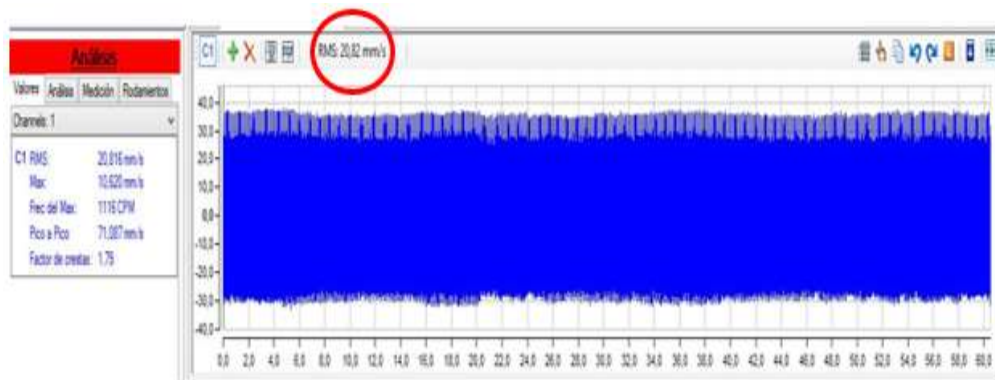


Figura 29. Valor RMS

(DigivibeMX, 2015)

La segunda gráfica fue de Amplitud (mm/s) vs Frecuencia (CPM), esta gráfica compone el espectro FFT, donde la señal en el dominio de tiempo es representada en el dominio de la frecuencia, como se observa en la figura 30.

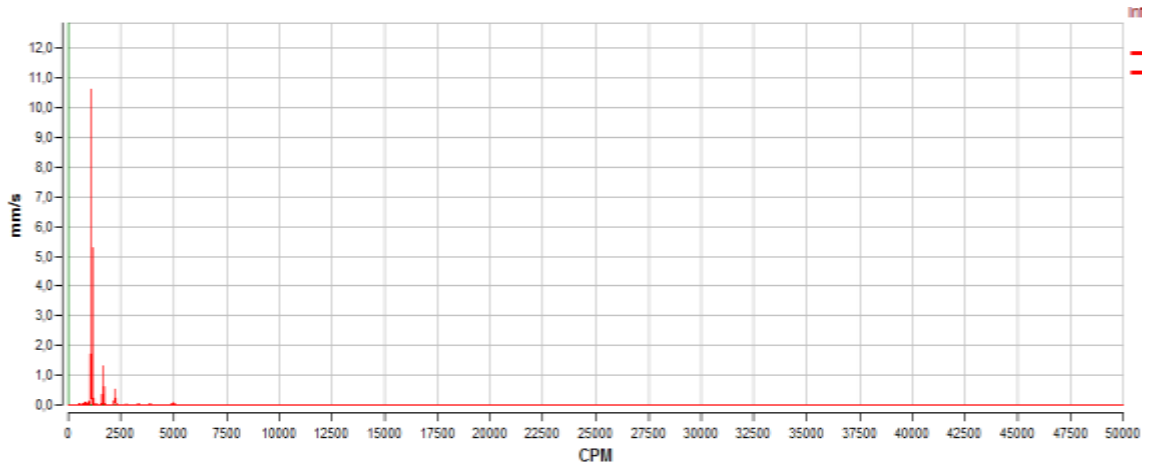


Figura 30. Gráfica en el espectro FFT

(DigivibeMX, 2015)

Se seleccionó la frecuencia de 1116 CPM, ya que esta indicó los 10 valores más altos de la medición en el parámetro de velocidad, estos valores se representaron con marcadores en los picos del espectro FFT, como se observa en la figura 31.

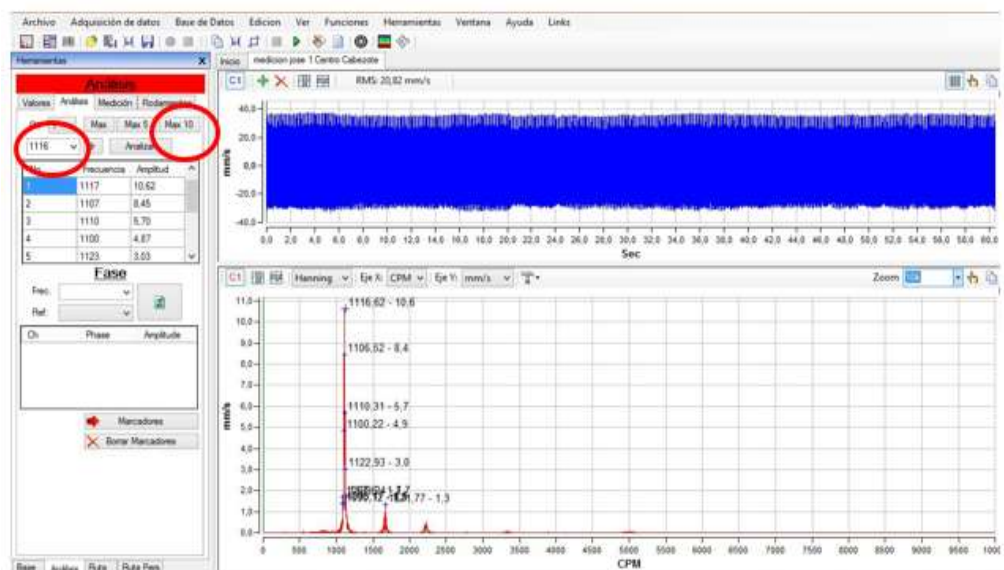


Figura 31. Adquisición de datos de velocidad

(DigivibeMX, 2015)

Los valores obtenidos en el análisis de vibración se resumen en la tabla 1, en donde se indican: la posición del acelerómetro y sus respectivos valores de acuerdo a diferentes variables que se analizan en la vibración.

Tabla 1. Valores tomados en el cabezote

Posición	Lecturas de vibración (Velocidad)					
	Ralentí					
	Frec CPM	Ampl (mm/s)	Frec. Max (CPM)	RMS (mm/s)	Pico a Pico (mm/s)	Factor de cresta
Radial	1116	10,62	1116	20,82	71,09	1,79

De los resultados obtenidos se indicó un pico de primer orden, el cual se observó en el espectro FFT en unidades de velocidad, fue medido en dirección radial en el centro del cabezote, donde el pico mayor presentó una amplitud de 10,6 mm/s, como se observa en la figura 32.

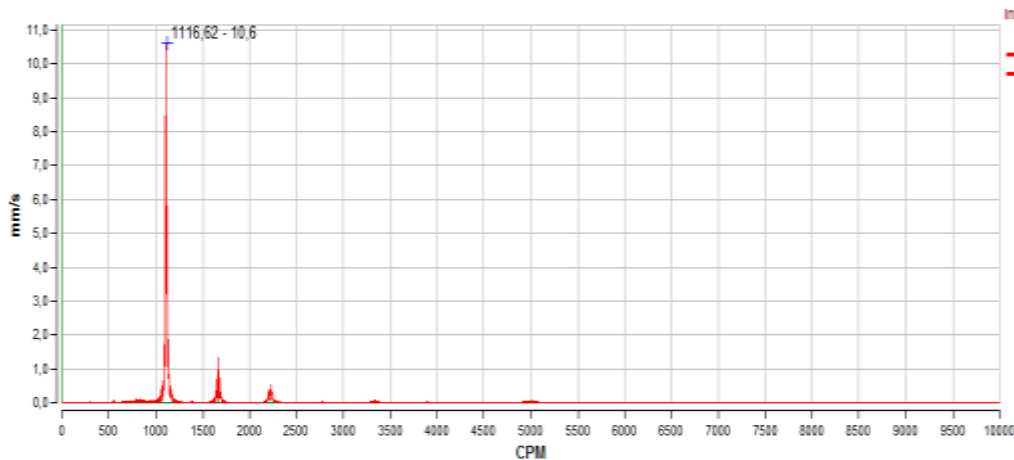


Figura 32. Pico mayor en el espectro FFT

(DigivibeMX, 2015)

El valor de RMS en el centro del cabezote fue de 20,82 mm/s, este valor está dentro del rango de la severidad entre 18 y 28 mm/s, en clase tipo II de máquinas; dando como resultado que la severidad de la vibración es inaceptable, como se observa en la figura 33. Esto quiere decir que la vida útil de la máquina disminuirá significativamente, y debe ser detenida para una reparación inmediata.

Tabla de Severidad, ISO 2372						
RANGO DE VIBRACIÓN			CLASES DE MÁQUINAS			
VELOCIDAD RMS (mm/s)	VELOCIDAD 0-P (mm/s)	VELOCIDAD 0-P (pul/s)	Máquinas Pequeñas	Máquinas Medianas	Máquinas Grandes	
					Soporte rígido	soporte flexible
			CLASE I	CLASE II	CLASE III	CLASE IV
0.28	0.396	0.016	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO
0.45	0.636	0.025				
0.71	1.004	0.040				
1.12	1.584	0.062	ACEPTABLE	ACEPTABLE	ACEPTABLE	ACEPTABLE
1.80	2.546	0.100				
2.80	3.960	0.156	INSATISFACTORIO	INSATISFACTORIO	INSATISFACTORIO	INSATISFACTORIO
4.50	6.364	0.251				
7.10	10.041	0.395	INACEPTABLE	INACEPTABLE	INACEPTABLE	INACEPTABLE
11.20	15.839	0.624				
18.00	25.456	1.002				
28.00	39.598	1.559				
45.00	63.640	2.505				
71.00	100.409	3.953				

Figura 33. Rango de severidad para la vibración de máquinas
(Contreras, 2012)

En condiciones normales el valor del factor de cresta es de 1,414, si este valor incrementa representa un desbalanceo a medida que los rodamientos empiezan a desgastarse, esto indicó que el motor presenta impactos en la posición radial, porque su valor del factor de cresta es de 1,79, como se observa en la figura 34.

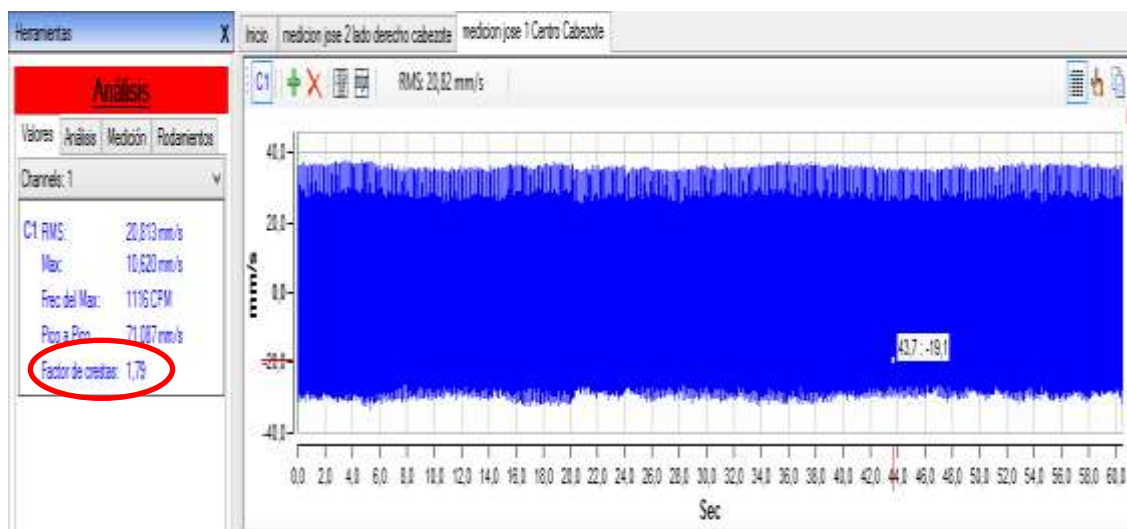


Figura 34. Factor de cresta
(DigivibeMX, 2015)

4.2.1.2. Axial

La segunda medida se realizó en posición axial al lado derecho del cabezote, como se observa en la figura 35.



Figura 35. Posición axial al lado derecho del cabezote

Con los resultados obtenidos del análisis de vibración en posición axial, se presentó un valor global (RMS) de la vibración de 23,99 mm/s en 30 segundos, se seleccionó la frecuencia de 1182 CPM, porque dentro de esta se encontraban los 10 valores más altos en el espectro FFT, así como el pico de mayor amplitud que tuvo un valor de 12,4 mm/s. El valor del factor de cresta es de 1,57, esto quiere decir que presenta impactos en la posición axial, como se observa en la figura 36.

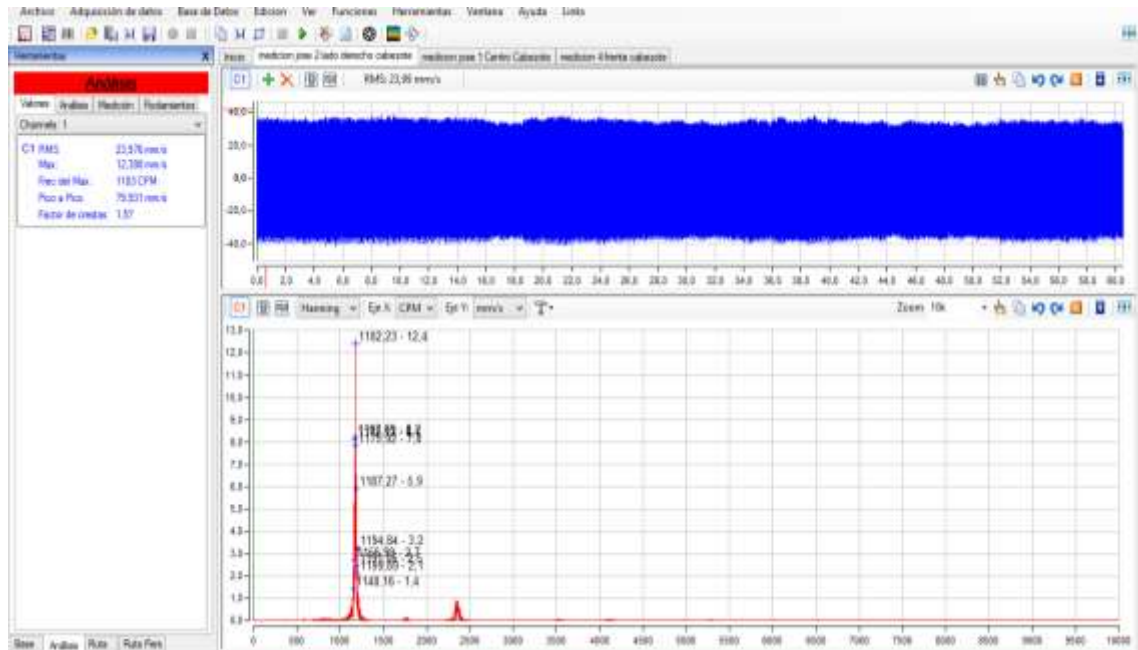


Figura 36. Gráficas de la vibración en posición axial
(DigivibeMX, 2015)

En la tabla 2 se resumen los valores obtenidos de las diferentes variables que se analizan en la vibración en posición axial.

Tabla 2. Valores tomados en el cabezote

Posición	Lecturas de vibración (Velocidad)					
	Ralentí					
	Frec CPM	Ampl (mm/s)	Frec. Max (CPM)	RMS (mm/s)	Pico a Pico (mm/s)	Factor de cresta
Axial	1182	12,40	1183	23,99	79,93	1.57

El valor RMS del análisis de vibración en posición axial fue de 23,99 mm/s, este valor está dentro del rango de la severidad entre 18 y 28 mm/s, en la clase tipo II de máquinas, obteniendo como resultado que la severidad de la vibración es inaceptable, como se observa en la figura 33. Esto quiere decir

que la vida útil de la máquina disminuirá significativamente, y debe ser detenida para una reparación inmediata.

4.2.1.3. Horizontal

La tercera medida se realizó en posición horizontal al frente del cabezote, como se observa en la figura 37.



Figura 37. Posición horizontal al frente del cabezote

Con los resultados obtenidos del análisis de vibración en posición horizontal, se presentó un valor global (RMS) de la vibración de 17,39 mm/s en 30 segundos, se seleccionaron dos frecuencias con sus 10 valores, en donde presentaron los picos de mayor amplitud en el espectro FFT. La primera

frecuencia fue de 1183 CPM con una amplitud de 8,7 mm/s y la segunda frecuencia fue de 1774 CPM, con una amplitud de 4,8 mm/s. El valor del factor de cresta es de 2,29, esto quiere decir que presenta grandes impactos en la posición horizontal, por rodamientos desgastados y presenta desbalanceo la máquina, como se observa figura 38.

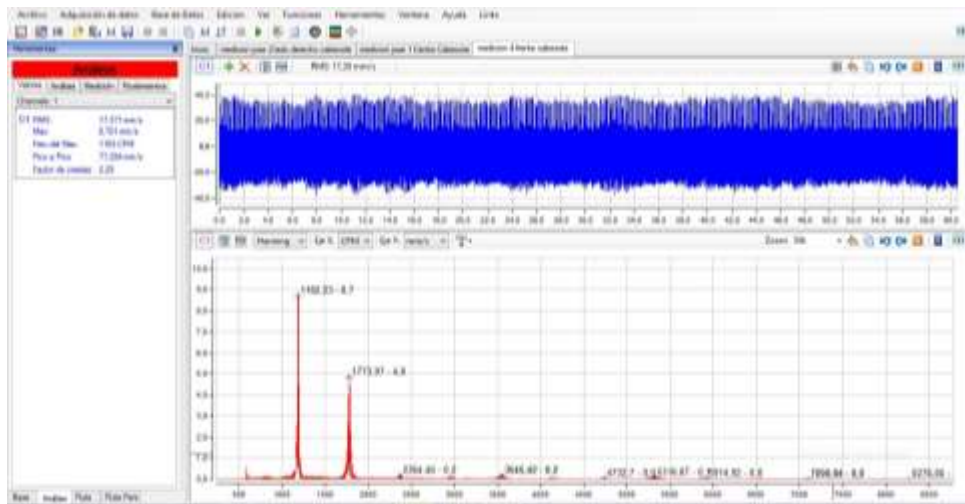


Figura 38. Gráficas de la vibración en posición horizontal
(DigivibeMX, 2015)

En la tabla 3 se resumen los valores obtenidos de las diferentes variables que se analizan en la vibración en posición horizontal.

Tabla 3. Valores tomados en el cabezote

Posición	Lecturas de vibración (Velocidad)					
	Ralentí					
	Frec CPM	Ampl (mm/s)	Frec. Max (CPM)	RMS (mm/s)	Pico a Pico (mm/s)	Factor de cresta
Horizontal	1182	8,70	1183	17,39	77,29	2,29
Horizontal	1774	4,8	1183	17,39	77,29	2,29

En este caso se obtuvo dos espectros, se pudo observar que el primer espectro tiene mayor amplitud en comparación con el segundo, pero el

segundo espectro tiene mayor frecuencia que el primer espectro, como se observa en la figura 39. En este caso el valor RMS del análisis de vibración es el mismo valor en posición horizontal para los dos espectros fue de 17,39 mm/s, este valor está dentro del rango de la severidad entre 11,20 y 18 mm/s, en la clase tipo II de máquinas, obteniendo como resultado que la severidad de la vibración es inaceptable pero está muy cercano a insatisfactorio, como se observa en la figura 33. Esto quiere decir que el motor necesita una reparación inmediata.

4.2.1.4. Diagnóstico general

De acuerdo con el análisis de vibración realizado se diagnosticó que en la posición radial su valor de la amplitud daba en la tabla de severidad una máquina inaceptable, esto quiere decir que se debe realizar una reparación inmediata en el motor ya que presenta fallas en el cabezote.

Su frecuencia indicó que el motor está presentando un desbalance en la posición radial del cabezote, ya que indicó un espectro alrededor de las 1000 CPM.

En la posición horizontal se analizó que el motor tendría una falta grave de alineamiento ya que en el segundo espectro se encontraba cerca de las 2000 CPM.

Según el promedio de la tabla 4, se pudo observar en general que el motor presenta fallos en el cabezote debido a que las gráficas indican que existe desbalanceo y se pudo determinar por el valor del factor de cresta ya que sobrepasa el valor límite, el cabezote se debe reparar inmediatamente.

Tabla 4. Diagnóstico del cabezote

Posición	Lecturas de vibración (Velocidad)					
	Ralentí					
	Frec CPM	Ampl (mm/s)	Frec. Max (CPM)	RMS (mm/s)	Pico a Pico (mm/s)	Factor de cresta
Radial	1116	10,62	1116	20,82	71,09	1,79
Axial	1182	12,40	1183	23,99	79,93	1.57
Horizontal	1182	8,70	1183	17,39	77,29	2,29
Horizontal	1774	4,8	1183	17,39	77,29	2,29
Promedio	1160	10,57	1160,67	20,73	76,10	1,88

4.2.2. BLOCK

4.2.2.1. Horizontal

El primer análisis de las vibraciones se efectuó en el frente del block, donde se tomó como punto de medición la posición horizontal, cuando el motor se encontraba en ralentí, como se observa en la figura 39.



Figura 39. Radial, centro del cabezote

Una vez obtenidos los resultados del análisis de vibración en ralentí, se obtuvieron dos tipos de gráficas, la primera gráfica fue de Amplitud (mm/s) vs Tiempo (s), como se observa en la figura 40.

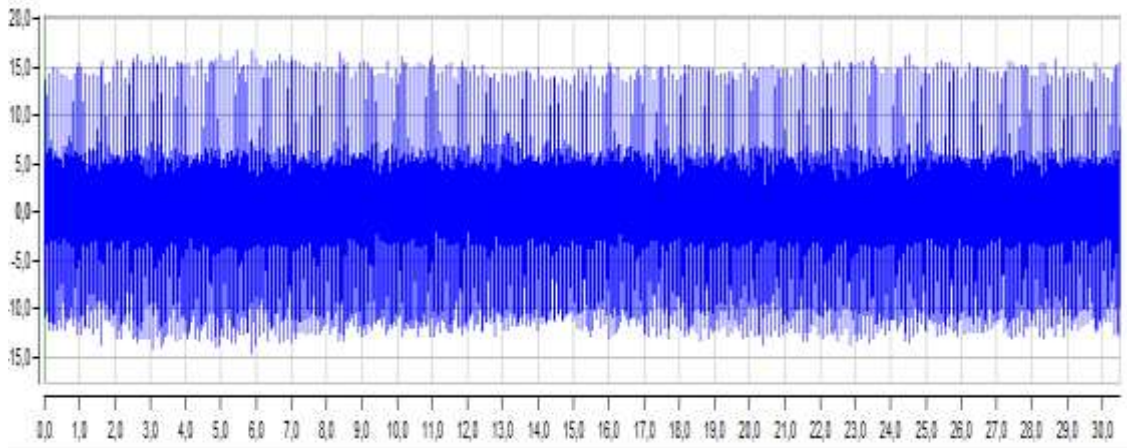


Figura 40. Señal en el tiempo

(DigivibeMX, 2015)

La segunda gráfica fue de Amplitud (mm/s) vs Frecuencia (CPM), esta gráfica compone el espectro FFT, donde la señal en el dominio de tiempo es representada en el dominio de la frecuencia, como se observa en la figura 41.

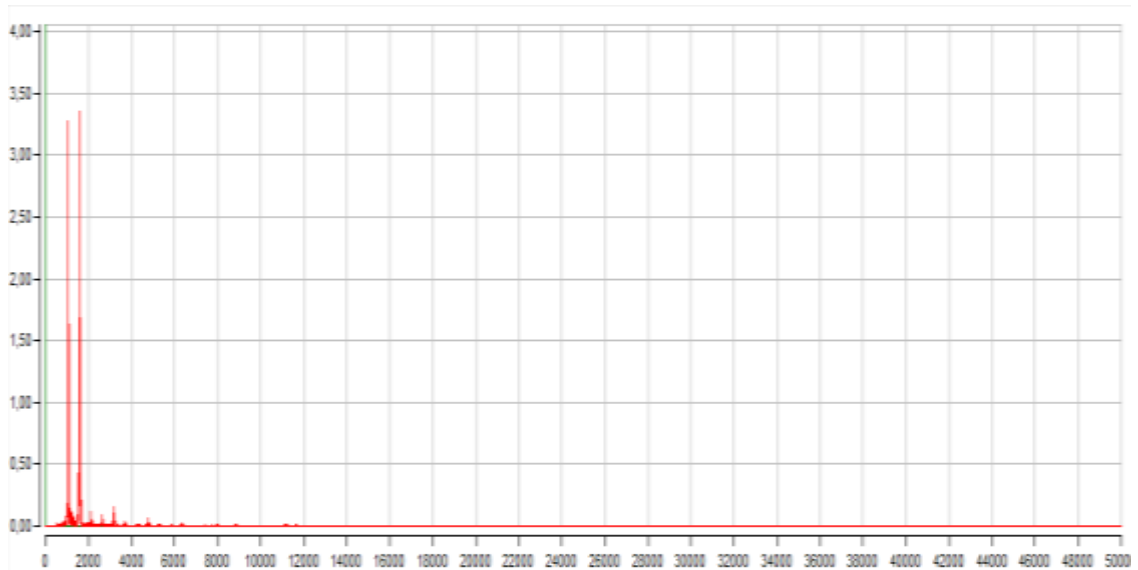


Figura 41. Gráfica en el espectro FFT

(DigivibeMX, 2015)

Se seleccionó la frecuencia de 1597 CPM, ya que esta indicó los 10 valores más altos de la medición en el parámetro de velocidad, estos valores se

representaron con marcadores en los picos del espectro FFT, como se observa en la figura 42.

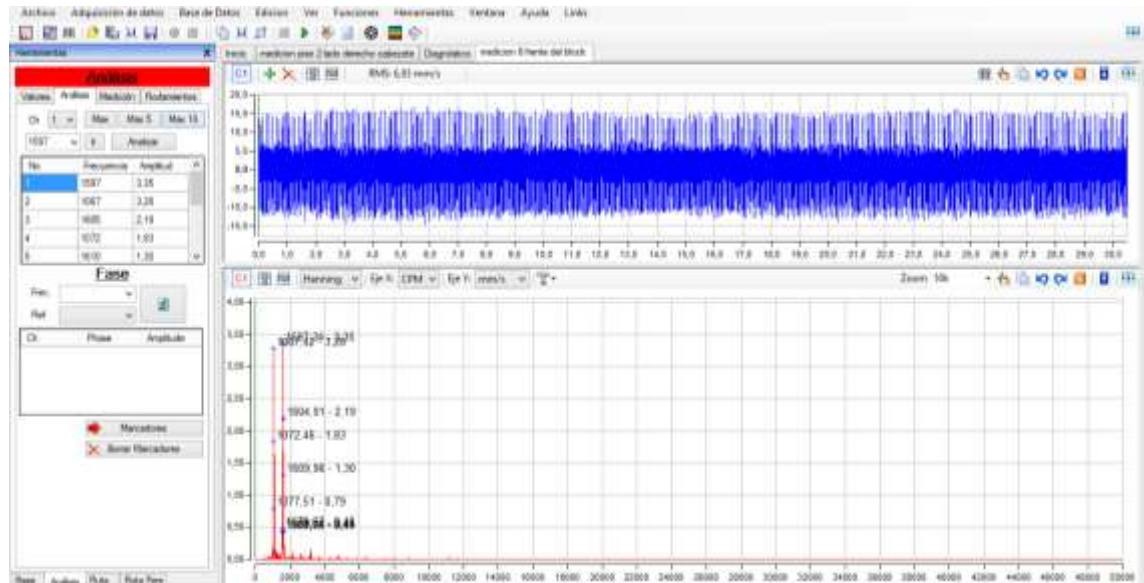


Figura 42. Adquisición de datos de velocidad
(DigivibeMX, 2015)

Los valores obtenidos en el análisis de vibración se resumen en la tabla 5, en donde se indican: la posición del acelerómetro y sus respectivos valores de acuerdo a diferentes variables que se analizan en la vibración.

Tabla 5. Valores tomados en el block

Posición	Lecturas de vibración (Velocidad)					
	Ralentí					
	Frec CPM	Ampl (mm/s)	Frec. Max (CPM)	RMS (mm/s)	Pico a Pico (mm/s)	Factor de cresta
Horizontal	1597	3,350	1599	6,83	31,38	2.42
Horizontal	1067	3,28	1599	6,83	31,38	2.42

De los resultados obtenidos se identificó dos picos de primer orden, los cuales se observaron en el espectro FFT en unidades de velocidad, la medición se realizó en dirección horizontal en el frente del block, donde el primer pico mayor presentó una amplitud de 3,35 mm/s, y el segundo pico fue de 3,28 mm/s como se observa en la figura 43.

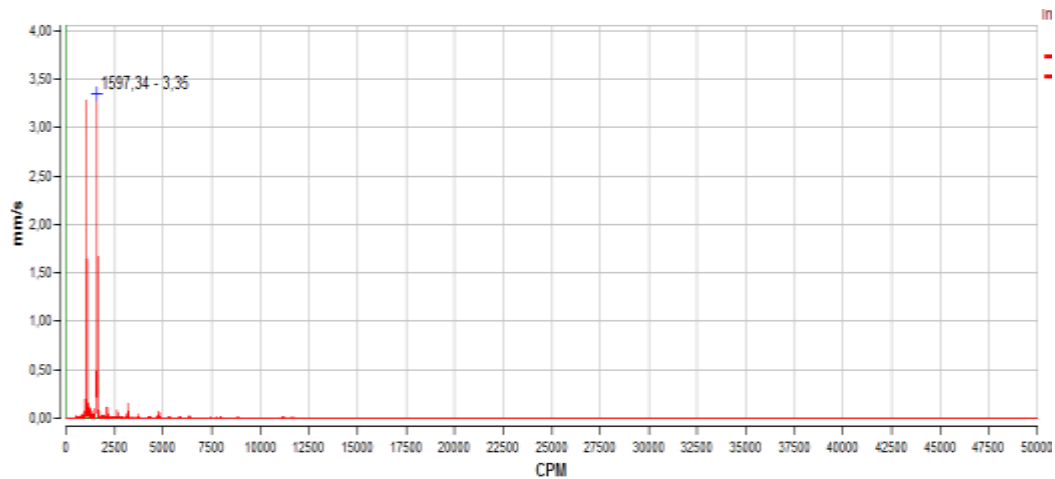


Figura 43. Pico mayor en el espectro FFT

(DigivibeMX, 2015)

El valor de RMS en el block fue de 6,83 mm/s, este valor está dentro del rango de la severidad entre 4,50 y 7,10 mm/s, en clase tipo II de máquinas; dando como resultado que la severidad de la vibración es inaceptable, como se observa en la figura 33. Esto quiere decir que la vida útil de la máquina disminuirá significativamente, y debe ser detenida para una reparación inmediata.

En condiciones normales el valor del factor de cresta es de 1,414, si este valor incrementa representa un desbalanceo a medida que los rodamientos empiezan a desgastarse, esto indicó que el motor presenta impactos en la posición horizontal, porque su valor del factor de cresta es de 2,42, como se observa en la figura 44.

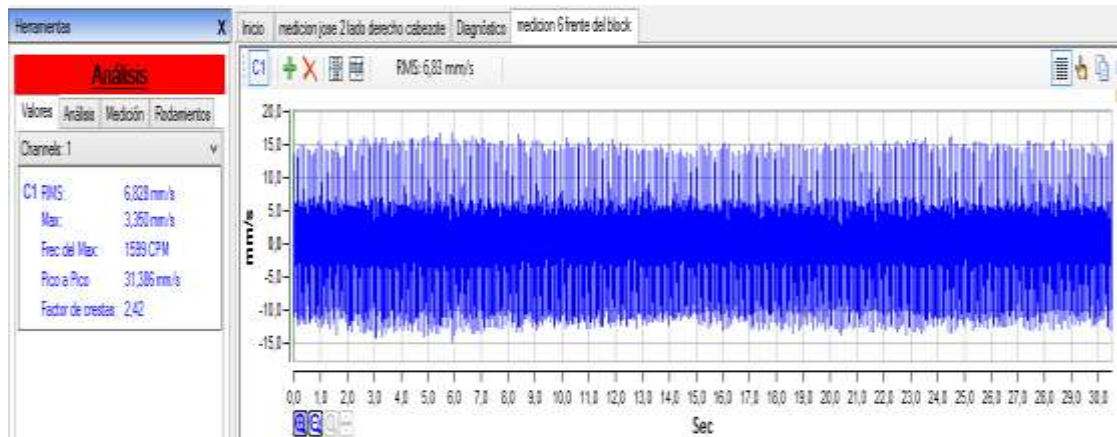


Figura 44. Factor de cresta

(DigivibeMX, 2015)

4.2.2.2. Horizontal lado posterior

La segunda medida se realizó en posición horizontal lado posterior del block, como se observa en la figura 45.



Figura 45. Posición horizontal lado posterior del block

Con los resultados obtenidos del análisis de vibración en posición horizontal, se presentó un valor global (RMS) de la vibración de 4,77 mm/s en 30 segundos, se seleccionó la frecuencia de 1660 CPM, porque dentro de esta se encontraban los 10 valores más altos en el espectro FFT, así como el pico de mayor amplitud que tuvo un valor de 4,06 mm/s. El valor del factor de cresta es de 1,91, esto quiere decir que presenta impactos en la posición horizontal en el lado posterior del block, como se observa en la figura 46.

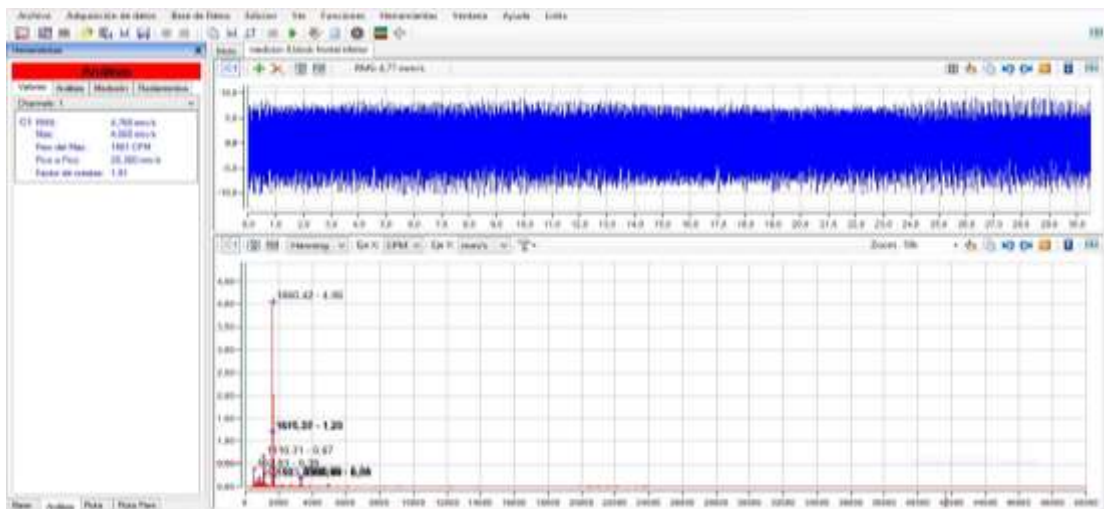


Figura 46. Gráficas de la vibración en posición horizontal lado posterior
(DigivibeMX, 2015)

En la tabla 6 se resumen los valores obtenidos de las diferentes variables que se analizan en la vibración en posición horizontal en el lado posterior del block.

Tabla 6. Valores tomados en el block

Posición	Lecturas de vibración (Velocidad)					
	Ralentí					
	Frec CPM	Ampl (mm/s)	Frec. Max (CPM)	RMS (mm/s)	Pico a Pico (mm/s)	Factor de cresta
Horizontal	1660	4,06	1661	4,76	20,36	1,91

El valor RMS del análisis de vibración en posición horizontal fue de 4,76 mm/s, este valor está dentro del rango de la severidad entre 18 y 28 mm/s, en la clase tipo II de máquinas, obteniendo como resultado que la severidad de la vibración es inaceptable, como se observa en la figura 33. Esto quiere decir que la vida útil de la máquina disminuirá significativamente, y debe ser detenida para una reparación inmediata.

4.2.2.3. Diagnóstico general

De acuerdo con el análisis de vibración realizado se diagnosticó que en la posición horizontal en el block su valor de la amplitud daba en la tabla de severidad una máquina inaceptable, esto quiere decir que se debe realizar una reparación inmediata en el motor ya que presenta fallas en el block.

Su frecuencia indicó que el motor está presentando una falta de alineamiento en el segundo espectro que presenta mayor frecuencia y un pico de amplitud más alto que el primer espectro sus valores estaban alrededor de las 1000 y 1800 CPM, en la posición horizontal del block.

En la posición horizontal posterior del block se analizó que el motor tendría una falta grave de alineamiento ya que en el segundo espectro se encontraba cerca de las 2000 CPM.

Según el promedio de la tabla 7, se pudo observar en general que el motor presenta fallos en el block debido a que las gráficas indican que existe una falta de alineamiento y desbalanceo y se pudo determinar por el valor del factor de cresta ya que sobrepasa el valor límite, en el block se está produciendo golpes y debe ser reparada inmediatamente.

Tabla 7. Diagnóstico del block

Posición	Lecturas de vibración (Velocidad)					
	Ralentí					
	Frec CPM	Ampl (mm/s)	Frec. Max (CPM)	RMS (mm/s)	Pico a Pico (mm/s)	Factor de cresta
Horizontal (f)	1597	3,35	1599	6,83	31,38	2.42
Horizontal (p)	1067	3,28	1599	6,83	31,38	2.42
Horizontal (p)	1660	4,06	1661	4,76	20,36	1,91
Promedio	1441,3	3,56	1619,6	6,14	27,71	2,25

4.2.3. CARTER

La primera medida se realizó en posición radial del cárter, como se observa en la figura 47.



Figura 47. Posición radial en el cárter

Con los resultados obtenidos del análisis de vibración en posición radial, se presentó un valor global (RMS) de la vibración de 22,06 mm/s en 30 segundos, se seleccionó la frecuencia de 1119 CPM, porque dentro de esta se encontraban los 10 valores más altos en el espectro FFT, así como el pico de mayor amplitud que tuvo un valor de 9,94 mm/s. El valor del factor de cresta es de 1,70, esto quiere decir que presenta impactos en la posición radial en el cárter, como se observa en la figura 48.

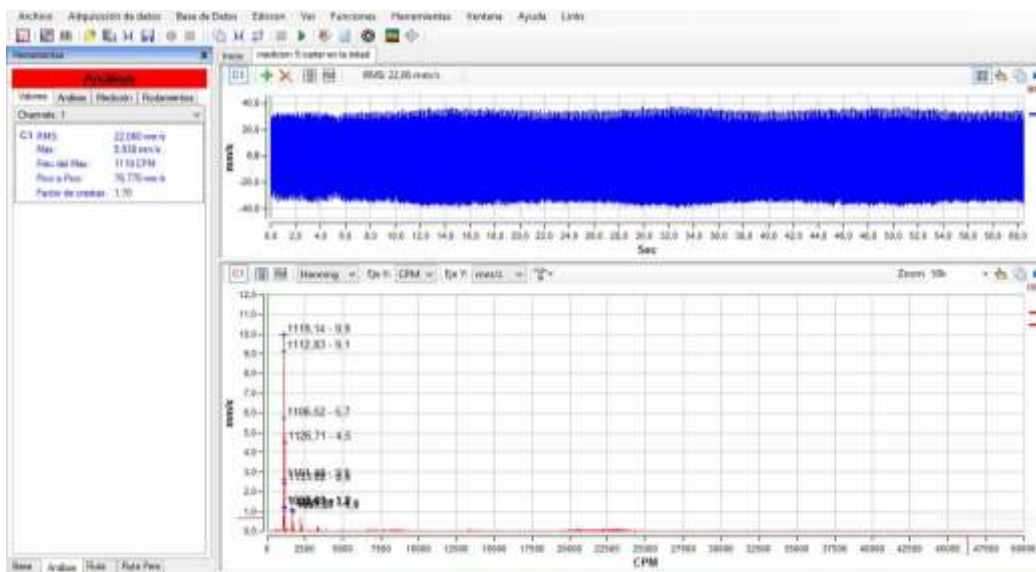


Figura 48. Gráficas de la vibración en posición radial

(DigivibeMX, 2015)

En la tabla 8 se resumen los valores obtenidos de las diferentes variables que se analizan en la vibración en posición radial en el cárter.

Tabla 8. Valores tomados en el cárter

Posición	Lecturas de vibración (Velocidad)					
	Ralentí					
	Frec CPM	Ampl (mm/s)	Frec. Max (CPM)	RMS (mm/s)	Pico a Pico (mm/s)	Factor de cresta
Radial	1119	9,94	1119	22,06	76,77	1,70

El valor RMS del análisis de vibración en posición radial fue de 22,06 mm/s, este valor está dentro del rango de la severidad entre 18 y 28 mm/s, en la clase tipo II de máquinas, obteniendo como resultado que la severidad de la vibración es inaceptable, como se observa en la figura 33. Esto quiere decir que la vida útil de la máquina disminuirá significativamente, y debe ser detenida para una reparación inmediata.

4.2.3.1. Diagnóstico general

De acuerdo con el análisis de vibración realizado se diagnosticó que en la posición radial en el centro del cárter su valor de la amplitud daba en la tabla de severidad una máquina inaceptable, esto quiere decir que se debe realizar una reparación inmediata en el motor ya que presenta perdidas de aceite en el cárter. Su frecuencia indicó que el motor está presentando un desbalance en la posición radial del cárter, ya que indicó un espectro alrededor de las 1000 CPM, como se indica en la tabla 9. El valor del factor de cresta sobrepasa el valor límite, el cárter se debe reparar inmediatamente.

Tabla 9. Valores tomados en el cárter

Posición	Lecturas de vibración (Velocidad)					
	Ralentí					
	Frec CPM	Ampl (mm/s)	Frec. Max (CPM)	RMS (mm/s)	Pico a Pico (mm/s)	Factor de cresta
Horizontal	1119	9,94	1119	22,06	76,77	1,70

4.2.4. EVALUACIÓN DEL MOTOR EN RALENTI

Con la información obtenida de las vibraciones generadas por el motor en varios puntos de medida, se determinó que el motor presenta un desbalance, en la parte en la que más tuvo esta falla fue en el block, ya que su frecuencia máxima es la mayor de todas las medidas realizadas, su valor fue de 1661 CPM, además presenta falta de alineamiento en el cabezote y en el block en posición horizontal, y un aflojamiento mecánico.

La vibración del motor se encontró en un rango de severidad inaceptable, debido a que en la posición axial del cabezote se obtuvo un pico con la mayor amplitud y el factor de cresta indicó que en el block existen severos impulsos posiblemente por choques mecánicos, esto quiere decir que el motor no está en buen estado y por lo tanto no tiene un óptimo funcionamiento.

4.3. ANÁLISIS DE VIBRACIÓN EN 2.000 RPM

4.3.1. CABEZOTE

4.3.1.1. Radial

El primer análisis de las vibraciones se efectuó en el centro del cabezote, donde se tomó como punto de medición la posición radial, cuando el motor se encontraba en 2.000 rpm.

Con los resultados del análisis de vibración en 2.000 rpm, se obtuvieron dos tipos de gráficas, la primera gráfica fue de Amplitud (mm/s) vs Tiempo (s), como se observa en la figura 49.

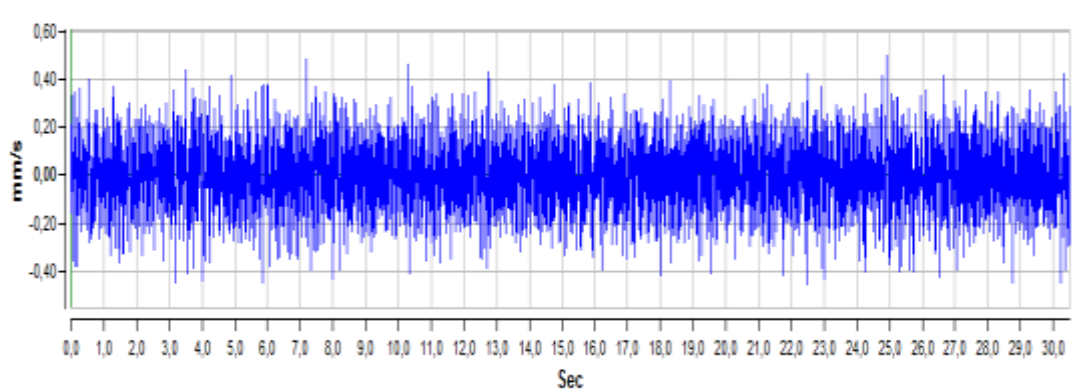


Figura 49. Señal en el tiempo

(DigivibeMX, 2015)

La segunda gráfica fue de Amplitud (mm/s) vs Frecuencia (CPM), esta gráfica compone el espectro FFT, donde la señal en el dominio de tiempo es representada en el dominio de la frecuencia, como se observa en la figura 50.

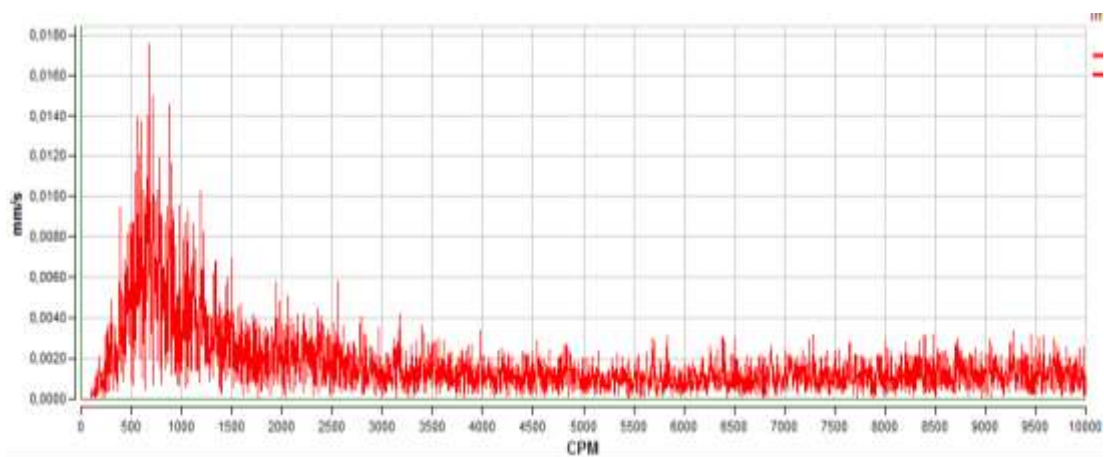


Figura 50. Gráfica en el espectro FFT

(DigivibeMX, 2015)

Se seleccionó la frecuencia de 675 CPM, ya que esta indicó los 10 valores más altos de la medición en el parámetro de velocidad, estos valores se representaron con marcadores en los picos del espectro FFT, como se observa en la figura 51.

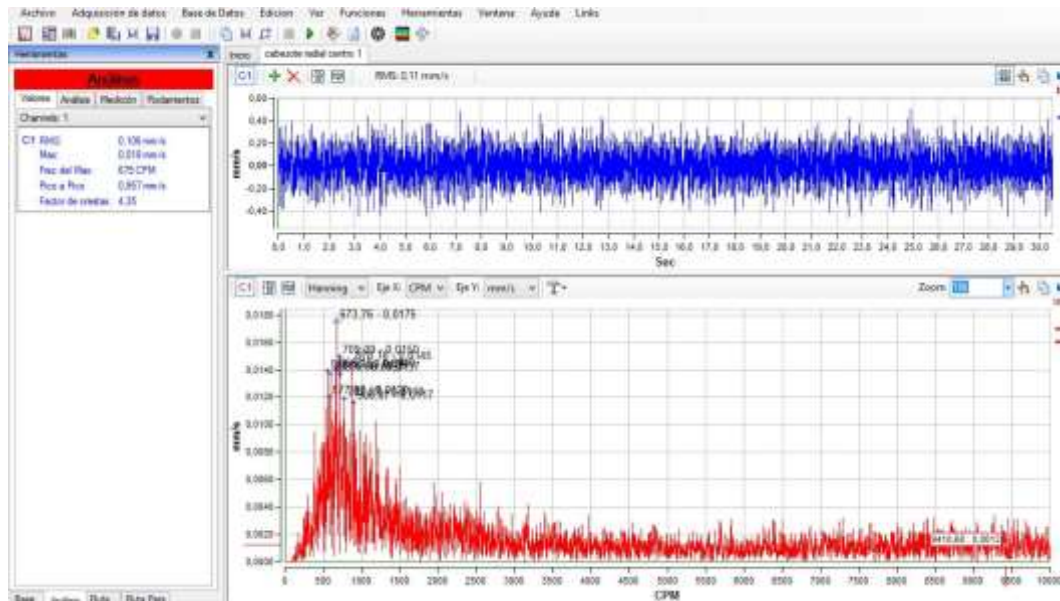


Figura 51. Gráficas de la vibración en posición radial
(DigivibeMX, 2015)

Los valores obtenidos en el análisis de vibración se resumen en la tabla 10, en donde se indican: la posición del acelerómetro y sus respectivos valores de acuerdo a diferentes variables que se analizan en la vibración.

Tabla 10. Valores tomados en el cabezote

Posición	Lecturas de vibración (Velocidad)					
	2.000 rpm					
	Frec CPM	Ampl (mm/s)	Frec. Max (CPM)	RMS (mm/s)	Pico a Pico (mm/s)	Factor de cresta
Radial	675	0,0175	675	0,11	0,957	4,35

De los resultados obtenidos se indicó varios picos de primer orden, el cual se observó en el espectro FFT en unidades de velocidad, fue medido en dirección radial en el centro del cabezote, donde el pico mayor presentó una

amplitud de 0,0175 mm/s, se aprecia picos bajos de amplitud debido a las RPM del motor, como se observa en la figura 52.

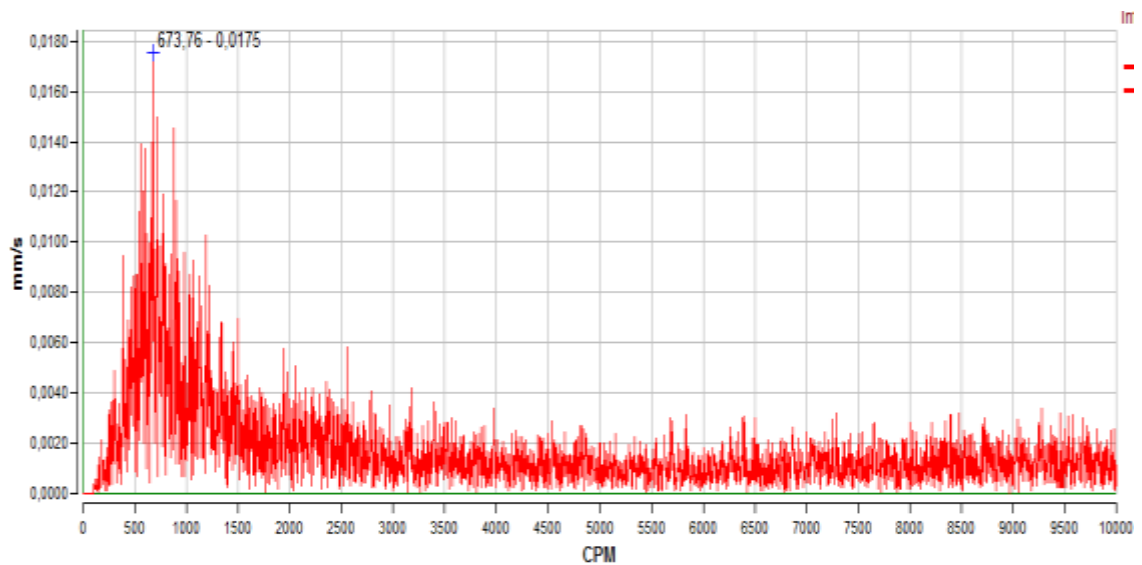


Figura 52. Pico mayor en el espectro FFT

(DigivibeMX, 2015)

En la gráfica FFT se observó varios espectros de vibración en la posición radial del cabezote con diferentes frecuencias, la mayor frecuencia fue de 673,76 CPM. El valor del factor de cresta es de 4,35 esto quiere decir que en la posición radial del cabezote presencia una falla catastrófica, como se observa en la figura 53.

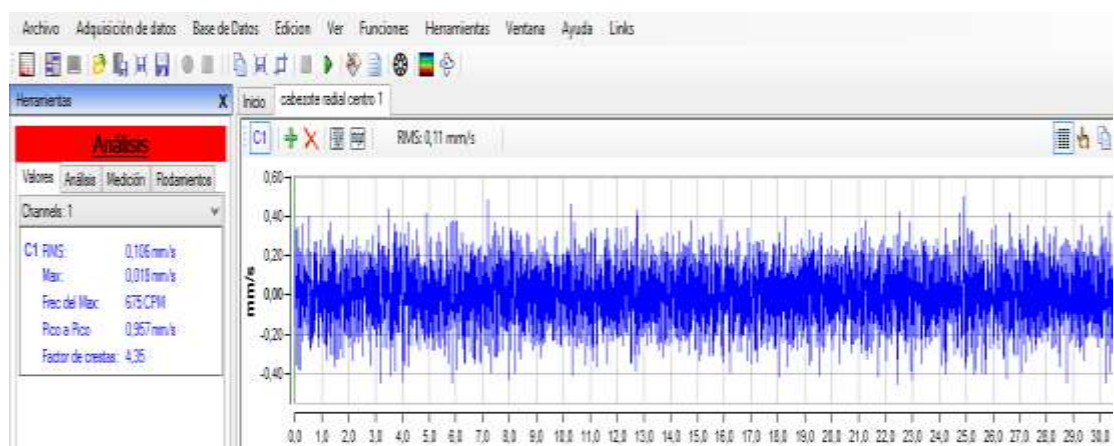


Figura 53. Factor de cresta

(DigivibeMX, 2015)

4.3.1.2. Axial

La segunda medida se realizó en posición axial al lado derecho del cabezote, cuando el motor se encontraba a 2.000 rpm. Con los resultados obtenidos del análisis de vibración en posición axial, se presentó un valor global (RMS) de la vibración de 0,11 mm/s en 30 segundos, se seleccionó la frecuencia de 603 CPM, porque dentro de esta se encontraban los 10 valores más altos en el espectro FFT, así como el pico de mayor amplitud que tuvo un valor de 0,02 mm/s, como se observa en la figura 54.

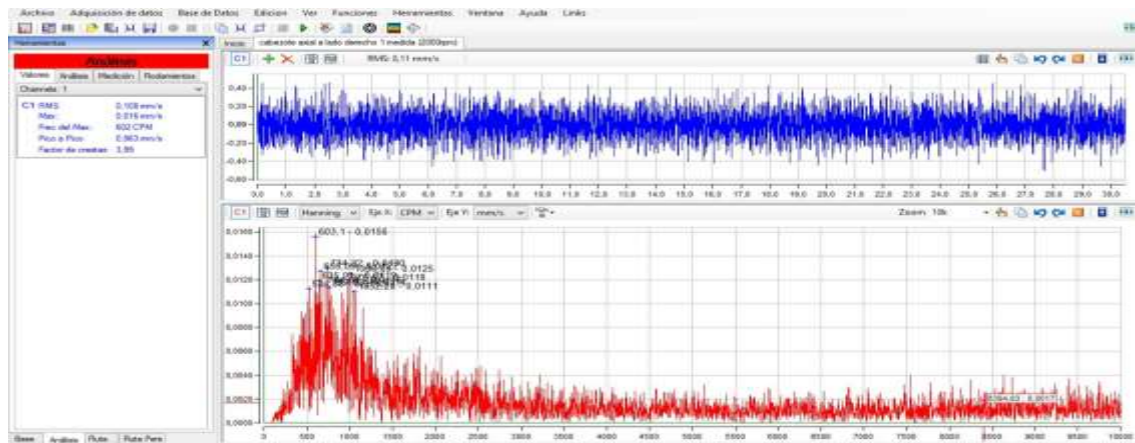


Figura 54. Gráficas de la vibración en posición axial
(DigivibeMX, 2015)

En la tabla 11 se resumen los valores obtenidos de las diferentes variables que se analizan en la vibración en posición axial.

Tabla 11. Valores tomados en el cabezote

Posición	Lecturas de vibración (Velocidad)					
	2.000 rpm					
	Frec CPM	Ampl (mm/s)	Frec. Max (CPM)	RMS (mm/s)	Pico a Pico (mm/s)	Factor de cresta
Axial	603	0,02	602	0,11	0,963	3,99

El valor del factor de cresta es de 3,99, esto quiere decir que presenta impactos en la posición axial y presenta golpes mecánicos.

4.3.1.3. Horizontal

La segunda medida se realizó en posición horizontal frente del cabezote, cuando el motor se encontraba a 2.000 rpm. Con los resultados obtenidos del análisis de vibración en posición horizontal, se presentó un valor global (RMS) de 0,11 mm/s en 30 segundos, se seleccionó la frecuencia de 820 CPM, porque dentro de esta se encontraban los 10 valores más altos en el espectro FFT, así como el pico de mayor amplitud que tuvo un valor de 0,01 mm/s, como se observa en la figura 55.

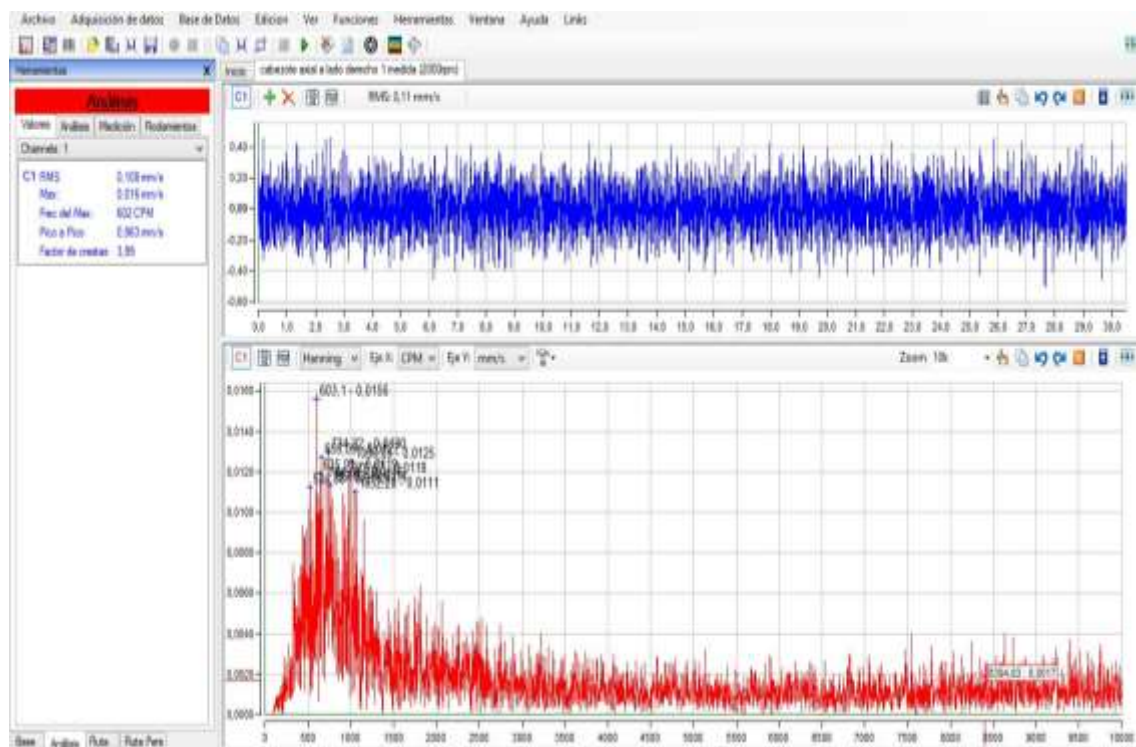


Figura 55. Gráficas de la vibración en posición horizontal

(DigivibeMX, 2015)

En la tabla 12 se resumen los valores obtenidos de las diferentes variables que se analizan en la vibración en posición horizontal.

Tabla 12. Valores tomados en el cabezote

Posición	Lecturas de vibración (Velocidad)					
	2.000 rpm					
	Frec CPM	Ampl (mm/s)	Frec. Max (CPM)	RMS (mm/s)	Pico a Pico (mm/s)	Factor de cresta
Axial	820	0,01	820	0,11	1,321	6,84

El valor del factor de cresta es de 6,84, esto quiere decir que presenta impactos en la posición horizontal y presenta golpes mecánicos y presencia una falla catastrófica.

4.3.1.4. Diagnóstico general

De acuerdo con el análisis de vibración realizado se diagnosticó que en la posición horizontal del cabezote presenta choques mecánicos debido a aflojamientos mecánicos, en la posición axial su frecuencia indicó que el motor está presentando una falta de alineamiento, mientras que en la posición radial se analizó que existe un desbalanceo.

Según el promedio de la tabla 13, se pudo observar en general que el cabezote presenta fallos severos a 2.000 rpm, se pudo determinar por el valor del factor de cresta que sobrepasa el valor límite, se está produciendo golpes y debe ser reparada inmediatamente.

Tabla 13. Diagnóstico del cabezote

Posición	Lecturas de vibración (Velocidad)					
	2.000 rpm					
	Frec CPM	Ampl (mm/s)	Frec. Max (CPM)	RMS (mm/s)	Pico a Pico (mm/s)	Factor de cresta
Radial	675	0,0175	675	0,11	0,957	4,35
Axial	603	0,02	602	0,11	0,963	3,99
Horizontal	820	0,01	820	0,11	1,321	6,84
Promedio	699.33	0,02	699	0,11	1,1	5,06

4.3.2. BLOCK

4.3.2.1. Horizontal

El primer análisis de las vibraciones se efectuó en el frente del block, donde se tomó como punto de medición la posición horizontal, cuando el motor se encontraba en 2.000 rpm.

Una vez obtenidos los resultados del análisis de vibración en 2.000 rpm, se obtuvieron dos tipos de gráficas, la primera gráfica fue de Amplitud (mm/s) vs Tiempo (s), como se observa en la figura 56.

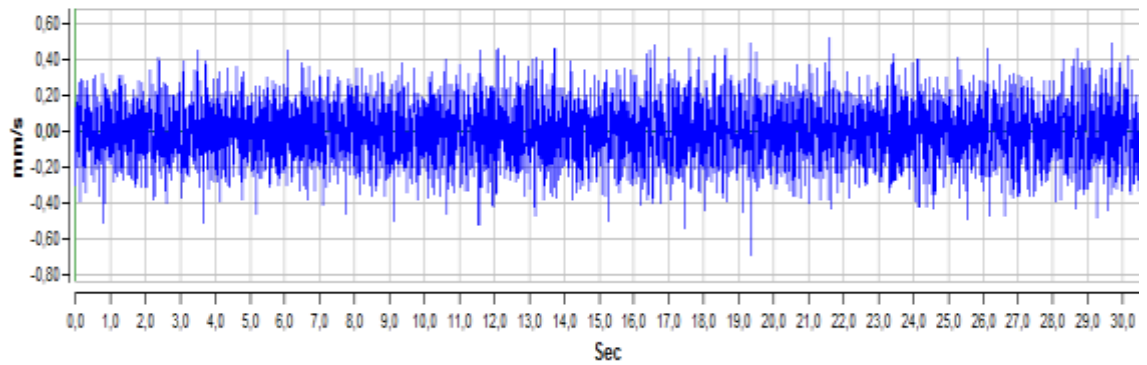


Figura 56. Señal en el tiempo

(DigivibeMX, 2015)

La segunda gráfica fue de Amplitud (mm/s) vs Frecuencia (CPM), esta gráfica compone el espectro FFT, donde la señal en el dominio de tiempo es representada en el dominio de la frecuencia, como se observa en la figura 57.

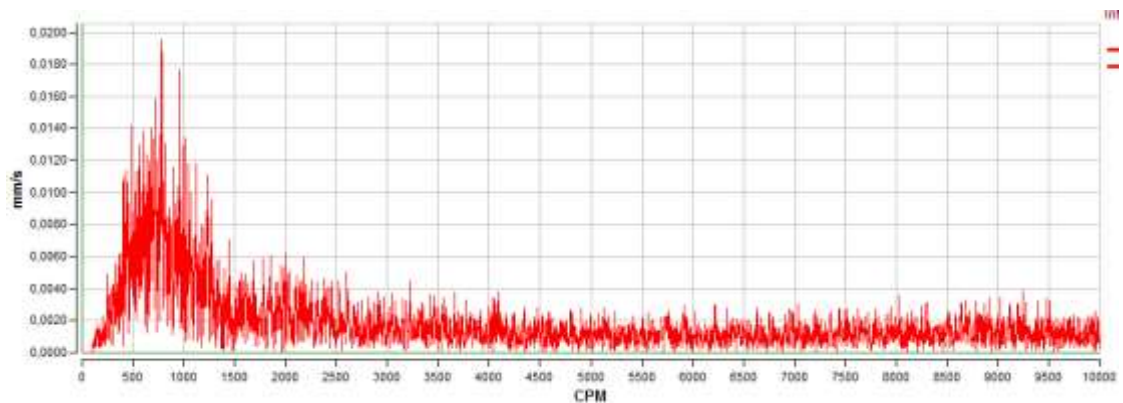


Figura 57. Gráfica en el espectro FFT

(DigivibeMX, 2015)

Se seleccionó la frecuencia de 782,26 CPM, ya que esta indicó los 10 valores más altos de la medición en el parámetro de velocidad, estos valores se representaron con marcadores en los picos del espectro FFT, como se observa en la figura 58.

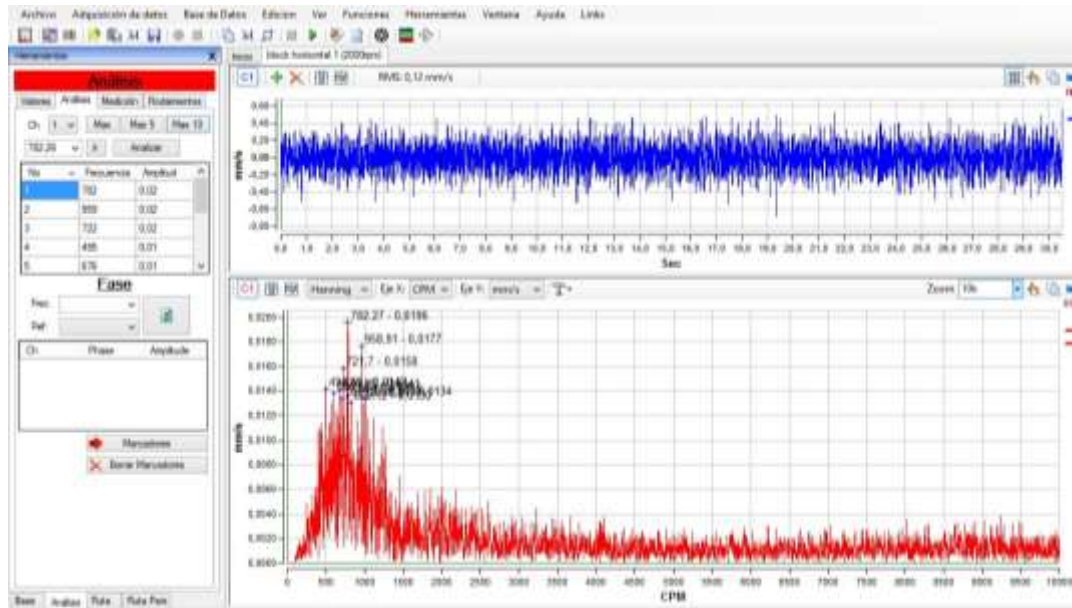


Figura 58. Adquisición de datos de velocidad
(DigivibeMX, 2015)

Los valores obtenidos en el análisis de vibración se resumen en la tabla 14, en donde se indican: la posición del acelerómetro y sus respectivos valores de acuerdo a diferentes variables que se analizan en la vibración.

Tabla 14. Valores tomados en el block

Posición	Lecturas de vibración (Velocidad)					
	2.000 rpm					
	Frec CPM	Ampl (mm/s)	Frec. Max (CPM)	RMS (mm/s)	Pico a Pico (mm/s)	Factor de cresta
Horizontal	782,27	0,02	783	0,122	1,256	4,29

De los resultados obtenidos se indicó varios picos de primer orden, el cual se observó en el espectro FFT en unidades de velocidad, fue medido en

dirección horizontal en el frente del block, donde el primer pico presentó una amplitud de 0,02 mm/s, como se observa en la figura 59.

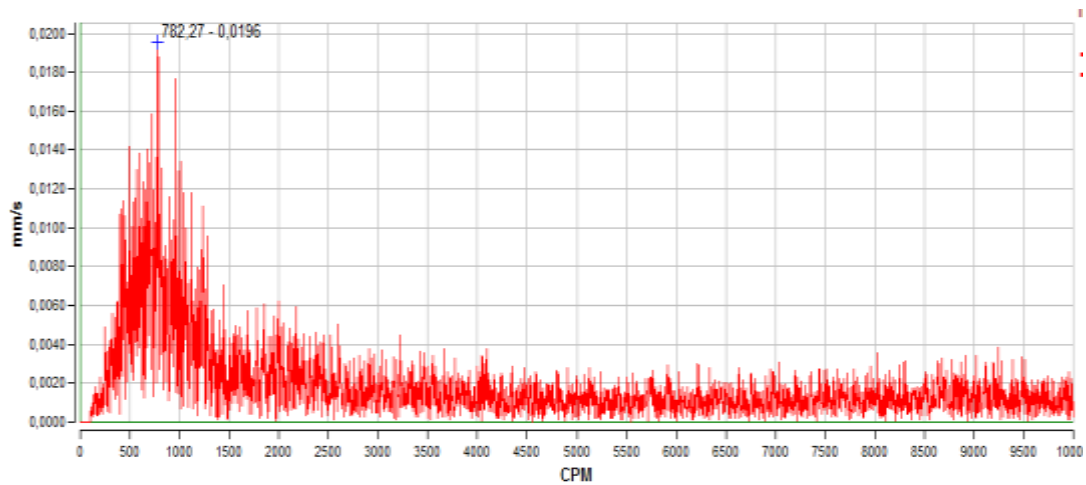


Figura 59. Pico mayor en el espectro FFT

(DigivibeMX, 2015)

En la gráfica FFT se observó varios espectros de vibración en la posición horizontal del block con diferentes frecuencias, la mayor frecuencia fue de 782,27 CPM. El valor del factor de cresta es de 4,29 esto quiere decir que en la posición horizontal del cabezote presencia una falla o golpes mecánicos, como se observa en la figura 60.

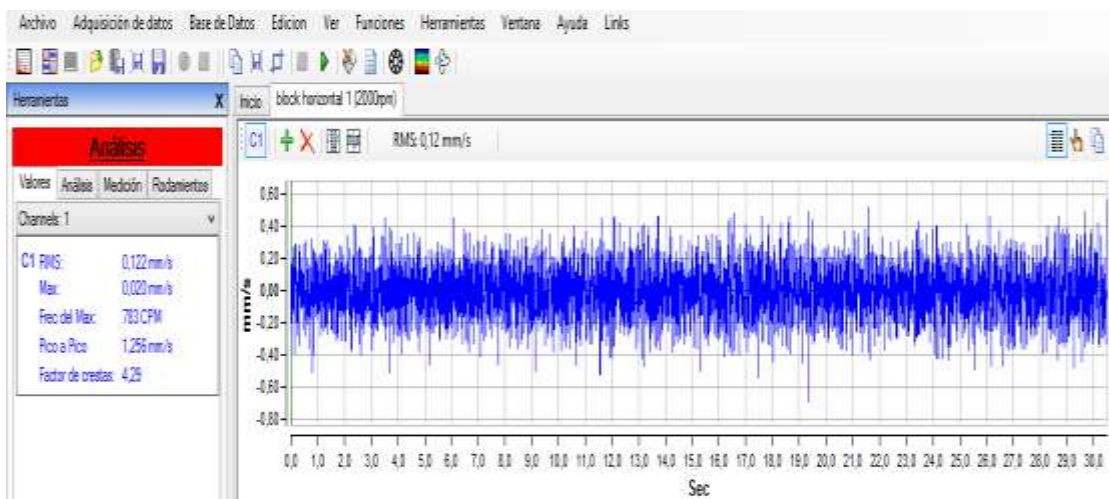


Figura 60. Factor de cresta

(DigivibeMX, 2015)

4.3.2.2. Horizontal lado posterior

La segunda medida se realizó en posición horizontal lado posterior del block, se presentó un valor global (RMS) de la vibración de 0,13 mm/s en 30 segundos, se seleccionó la frecuencia de 464,3 CPM, porque dentro de esta se encontraban los 10 valores más altos en el espectro FFT, así como el pico de mayor amplitud que tuvo un valor de 0,02 mm/s. El valor del factor de cresta es de 5,0, esto quiere decir que presenta impactos, en la posición horizontal en el lado posterior del block, como se observa en la figura 61.

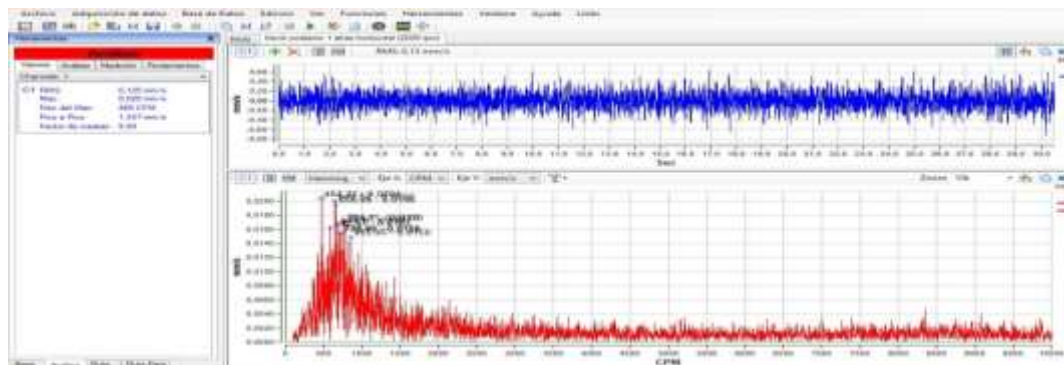


Figura 61. Gráficas de la vibración en posición horizontal lado posterior (DigivibeMX, 2015)

En la tabla 15 se resumen los valores obtenidos de las diferentes variables que se analizan en la vibración en posición horizontal en el lado posterior del block.

Tabla 15. Valores tomados en el block

Posición	Lecturas de vibración (Velocidad)					
	2.000 rpm					
	Frec CPM	Ampl (mm/s)	Frec. Max (CPM)	RMS (mm/s)	Pico a Pico (mm/s)	Factor de cresta
Horizontal	465	0,02	465	0,13	1,347	5,00

En la gráfica FFT se observó varios espectros de vibración en la posición horizontal en el lado posterior del block con diferentes frecuencias, la mayor frecuencia fue de 465 CPM, además que el valor del factor de cresta es de 5,00 esto quiere decir que presencia una falla o golpes mecánicos.

4.3.2.3. Diagnóstico general

De acuerdo con el análisis de vibración realizado se diagnosticó que en la posición horizontal del block presenta choques mecánicos debido a aflojamientos mecánicos, en la posición horizontal se frecuencia presentó una falta de alineamiento y que existe un desbalanceo.

Según el promedio de la tabla 16, se pudo observar en general que el block presenta fallos severos, se pudo determinar por el valor del factor de cresta que sobrepasa el valor límite, se está produciendo golpes y debe ser reparada inmediatamente.

Tabla 16. Diagnóstico del block

Posición	Lecturas de vibración (Velocidad)					
	2.000 rpm					
	Frec CPM	Ampl (mm/s)	Frec. Max (CPM)	RMS (mm/s)	Pico a Pico (mm/s)	Factor de cresta
Horizontal (f)	782,27	0,02	783	0,122	1,256	4,29
Horizontal (p)	465	0,02	465	0,13	1,347	5,00

4.3.3. CARTER

La primera medida se realizó en posición radial del cárter, con los resultados obtenidos del análisis de vibración en posición radial, se presentó un valor global (RMS) de la vibración de 0,11 mm/s en 30 segundos, se seleccionó la frecuencia de 613,19 CPM, porque dentro de esta se encontraban los 10 valores más altos en el espectro FFT, así como el pico de mayor amplitud que tuvo un valor de 0,02 mm/s. El valor del factor de cresta es de 4,93, esto quiere decir que presenta impactos en la posición radial en el cárter, como se observa en la figura 62.

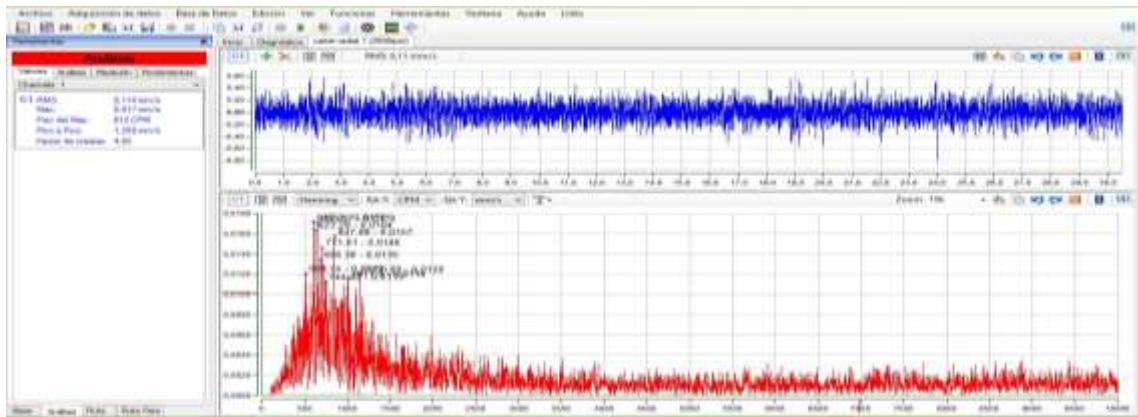


Figura 62. Gráficas de la vibración en posición radial
(DigivibeMX, 2015)

En la tabla 17 se resumen los valores obtenidos de las diferentes variables que se analizan en la vibración en posición radial en el cárter.

Tabla 17. Valores tomados en el cárter

Posición	Lecturas de vibración (Velocidad)					
	2.000 rpm					
	Frec CPM	Ampl (mm/s)	F. Max (CPM)	RMS (mm/s)	Pico a Pico (mm/s)	Factor de cresta
Radial	613	0,02	612	0,114	1,358	4,93

En la gráfica FFT se observó varios espectros de vibración en la posición radial en cárter con diferentes frecuencias, la mayor frecuencia fue de 612 CPM, además que el valor del factor de cresta es de 4,93 esto quiere decir que presencia fugas de aceite.

4.3.3.1. Diagnóstico general

De acuerdo con el análisis de vibración realizado, como se observa en la tabla 18; se diagnosticó que la frecuencia del motor está presentando un desbalance en la posición radial del cárter, ya que presentó varios espectros con frecuencias altas. El valor del factor de cresta sobrepasa el valor límite, esto quiere decir que el cárter se debe reparar inmediatamente.

Tabla 18. Valores tomados en el cárter

Posición	Lecturas de vibración (Velocidad)					
	2.000 rpm					
	Frec CPM	Ampl (mm/s)	Frec. Max (CPM)	RMS (mm/s)	Pico a Pico (mm/s)	Factor de cresta
Radial	613	0,02	612	0,114	1,358	4,93

4.3.4. EVALUACIÓN DEL MOTOR EN 2.000 RPM

Con la información obtenida de las vibraciones generadas por el motor en 2.000 rpm en varios puntos de medida, se determinó que el motor presenta un desbalance, en la parte en la que más tuvo esta falla fue en el cabezote, ya que su frecuencia máxima es la mayor de todas las medidas realizadas,

su valor fue de 820 CPM, además presenta falta de alineamiento, choques mecánicos y en el block en posición horizontal se determinó que existe aflojamiento mecánico esto produce que presente también un desbalanceo, esto quiere decir que el motor está en muy bajas condiciones de funcionamiento ya que tiene desgaste y fugas de aceite.

4.4. ANÁLISIS DE VIBRACIÓN EN LA CAJA DE CAMBIOS

4.4.1. EN RALENTI

4.4.1.1. Radial

El primer análisis de las vibraciones se efectuó en la caja de cambios, se tomó como punto de medición la posición radial con el acelerómetro de tornillo, cuando el motor se encontraba en ralentí, como se observa en la figura 63.



Figura 63. Radial, caja de cambios

Una vez obtenidos los resultados del análisis de vibración en ralentí, se obtuvieron dos tipos de gráficas, la primera gráfica fue de Amplitud (mm/s) vs Tiempo (s), como se observa en la figura 64.

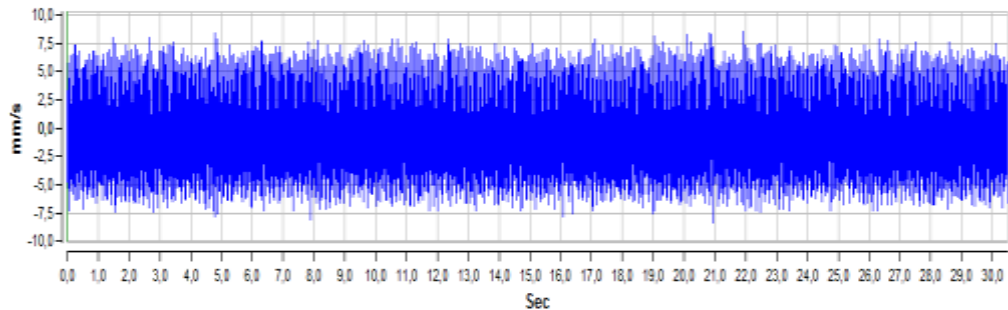


Figura 64. Señal en el tiempo

(DigivibeMX, 2015)

En la figura 65, se observó que el valor global (RMS) de la vibración fue de 3,40 mm/s en 30 segundos.

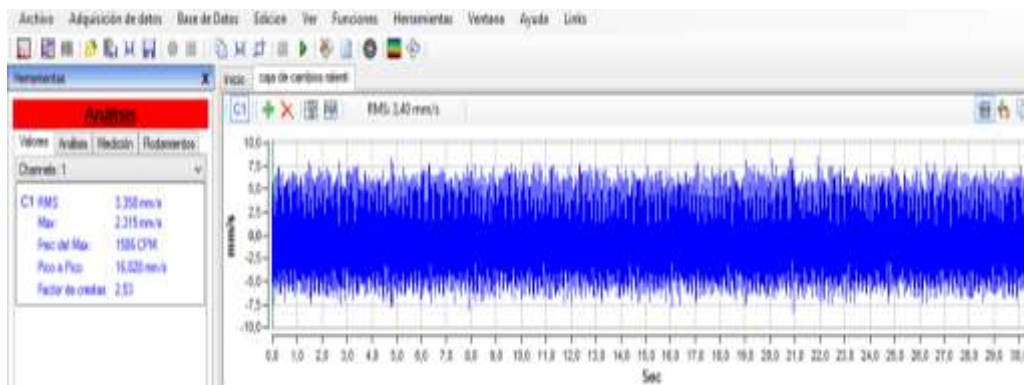


Figura 65. Valor RMS

(DigivibeMX, 2015)

La segunda gráfica fue de Amplitud (mm/s) vs Frecuencia (CPM), esta gráfica compone el espectro FFT, donde la señal en el dominio de tiempo es representada en el dominio de la frecuencia, como se observa en la figura 66.

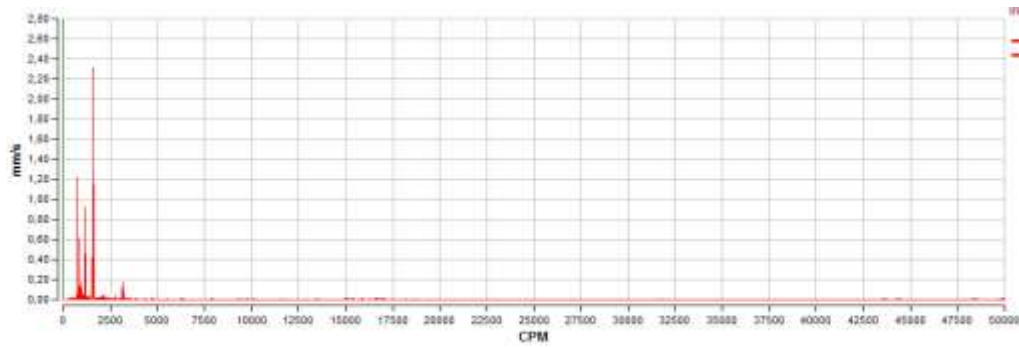


Figura 66. Gráfica en el espectro FFT
(DigivibeMX, 2015)

Se seleccionó la frecuencia de 1584 CPM, ya que esta indicó los 10 valores más altos de la medición en el parámetro de velocidad, estos valores se representaron con marcadores en los picos del espectro FFT, como se observa en la figura 67.

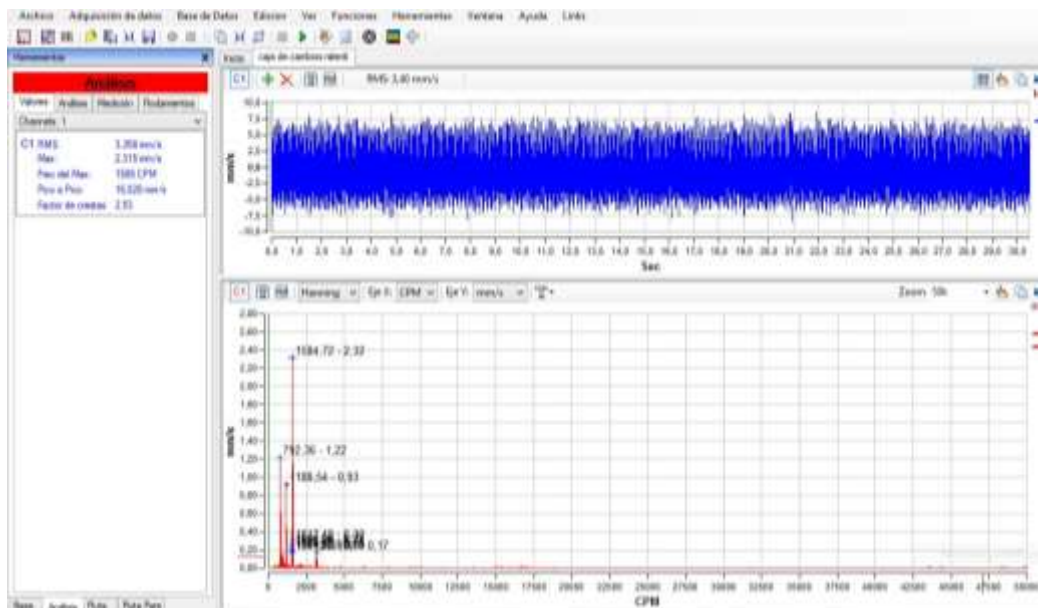


Figura 67. Adquisición de datos de velocidad
(DigivibeMX, 2015)

Los valores obtenidos en el análisis de vibración se resumen en la tabla 19, en donde se indican: la posición del acelerómetro y sus respectivos valores de acuerdo a diferentes variables que se analizan en la vibración.

Tabla 19. Valores tomados en la caja de cambios

Posición	Lecturas de vibración (Velocidad)					
	Ralentí					
	Frec CPM	Ampl (mm/s)	Frec. Max (CPM)	RMS (mm/s)	Pico a Pico (mm/s)	Factor de cresta
Radial	1584	2,32	1586	3,358	16,828	2,53

De los resultados obtenidos se indicó tres picos de primer orden, el cual se observó en el espectro FFT en unidades de velocidad, fue medido en dirección radial, donde el pico mayor presentó una amplitud de 2,32 mm/s, como se observa en la figura 68.

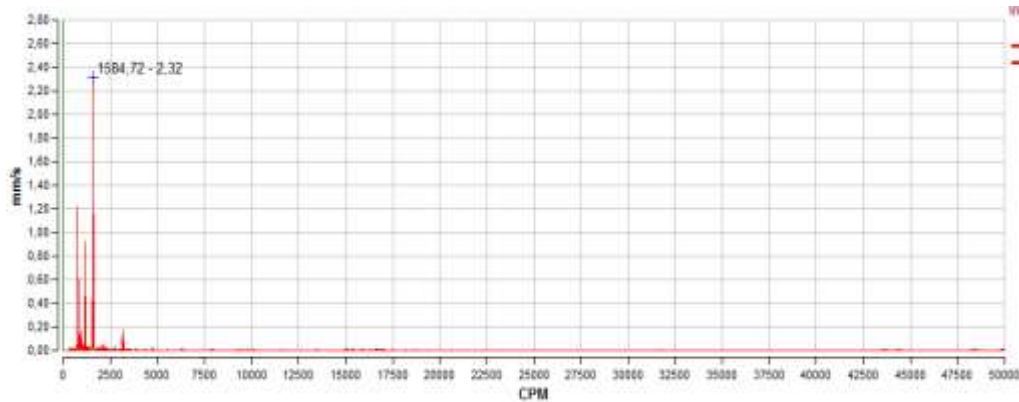


Figura 68. Pico mayor en el espectro FFT

(DigivibeMX, 2015)

El valor de RMS en la caja de cambios fue de 3,40 mm/s, este valor está dentro del rango de la severidad entre 2,80 y 4,50 mm/s, en clase tipo II de máquinas; dando como resultado que la severidad de la vibración es insatisfactorio, como se observa en la figura 33. Esto quiere decir que la caja de cambios presenta fallas detectables que debe ser revisada más frecuentemente.

El valor del factor de cresta es de 2,53, esto quiere decir que presenta impactos o golpes mecánicos debido a rodamientos desgastados en la caja de cambios.

4.4.1.2. Diagnóstico general

De acuerdo con el análisis de vibración realizado, como se observa en la tabla 20; se diagnosticó que las frecuencias de la caja de cambios están presentando un desbalance y una desalineación entre ejes en la posición radial, ya que presentó varios espectros con frecuencias altas. El valor del factor de cresta sobrepasa el valor límite, esto quiere decir que la caja de cambios se debe reparar inmediatamente.

Tabla 20. Valores tomados en la caja de cambios

Posición	Lecturas de vibración (Velocidad)					
	Ralentí					
	Frec CPM	Ampl (mm/s)	Frec. Max (CPM)	RMS (mm/s)	Pico a Pico (mm/s)	Factor de cresta
Radial	1584	2,32	1586	3,358	16,828	2,53

4.4.2. EN 2000 RPM

4.4.2.1. Radial

El primer análisis de las vibraciones se efectuó en la caja de cambios, se tomó como punto de medición la posición radial con el acelerómetro de

tornillo, cuando el motor se encontraba en 2.000 rpm, como se observa en la figura 69.



Figura 69. Radial, caja de cambios

Una vez obtenidos los resultados del análisis de vibración en 2.000 rpm, se obtuvieron dos tipos de gráficas, la primera gráfica fue de Amplitud (mm/s) vs Tiempo (s), como se observa en la figura 70.

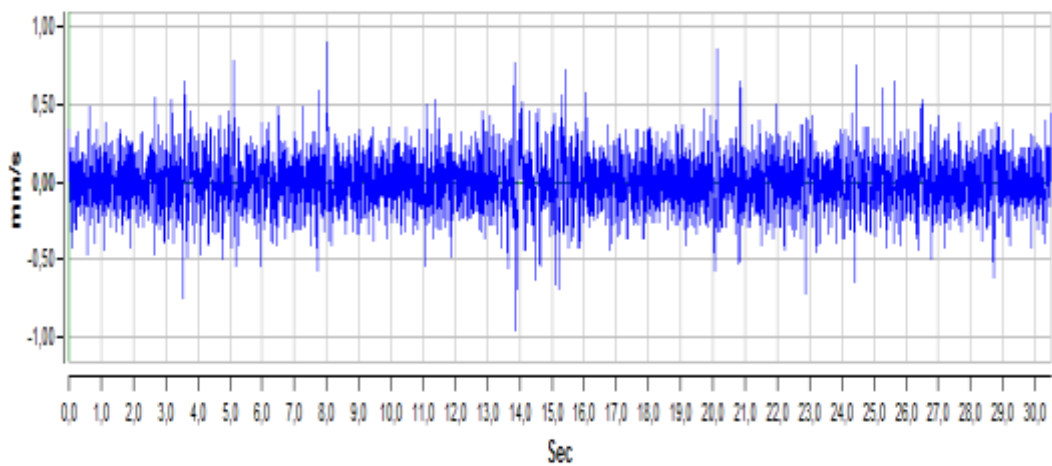


Figura 70. Señal en el tiempo

(DigivibeMX, 2015)

En la figura 71, se observó que el valor global (RMS) de la vibración fue de 0,12 mm/s en 30 segundos.

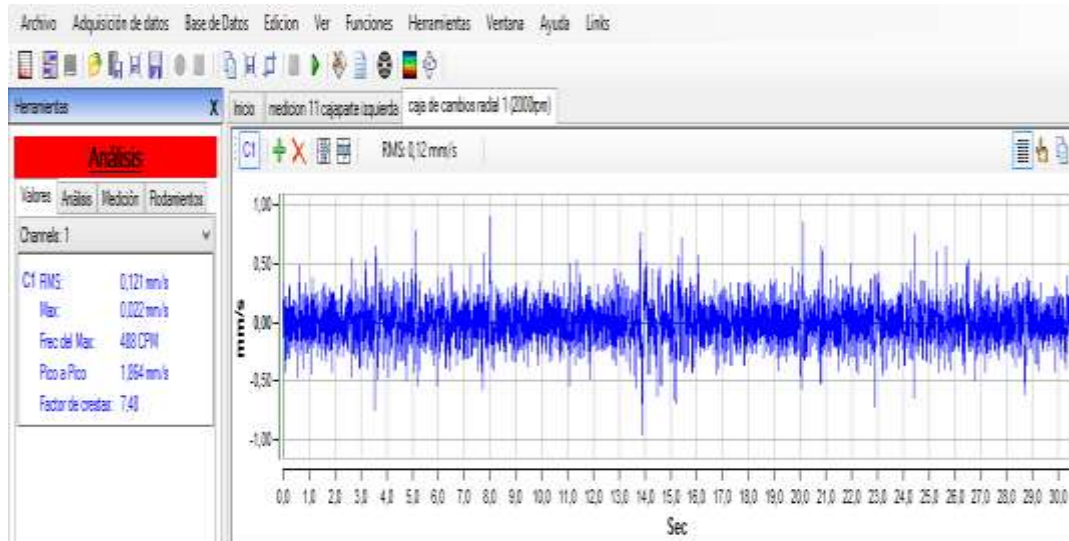


Figura 71. Valor RMS

(DigivibeMX, 2015)

La segunda gráfica fue de Amplitud (mm/s) vs Frecuencia (CPM), esta gráfica compone el espectro FFT, donde la señal en el dominio de tiempo es representada en el dominio de la frecuencia, como se observa en la figura 72.

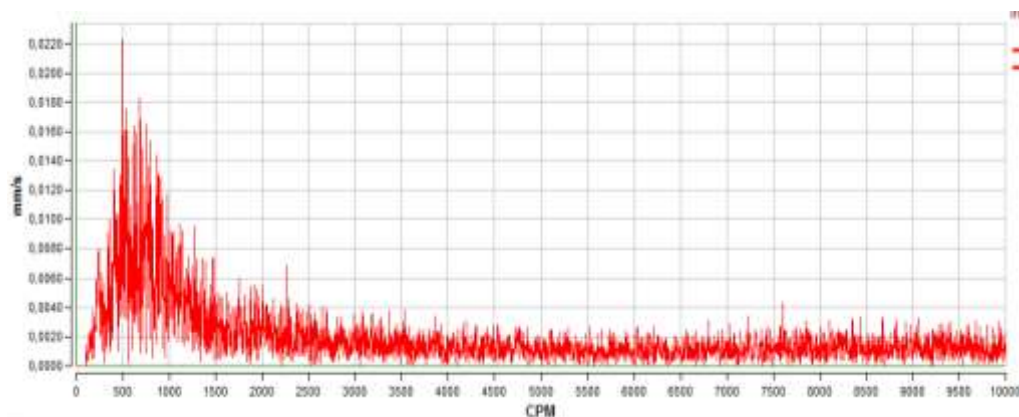


Figura 72. Gráfica en el espectro FFT

(DigivibeMX, 2015)

Se seleccionó la frecuencia de 487 CPM, ya que esta indicó los 10 valores más altos de la medición en el parámetro de velocidad, estos valores se

representaron con marcadores en los picos del espectro FFT, como se observa en la figura 73.

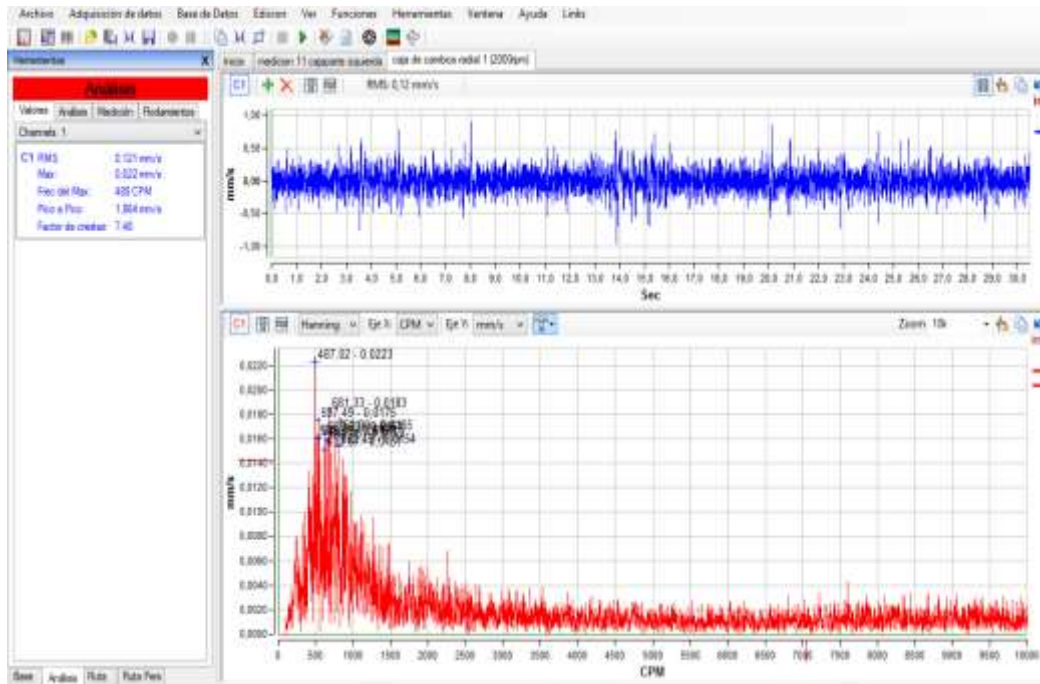


Figura 73. Adquisición de datos de velocidad
(DigivibeMX, 2015)

Los valores obtenidos en el análisis de vibración se resumen en la tabla 21, en donde se indican: la posición del acelerómetro y sus respectivos valores de acuerdo a diferentes variables que se analizan en la vibración.

Tabla 21. Valores tomados en la caja de cambios

Posición	Lecturas de vibración (Velocidad)					
	2.000 rpm					
	Frec CPM	Ampl (mm/s)	Frec. Max (CPM)	RMS (mm/s)	Pico a Pico (mm/s)	Factor de cresta
Radial	487	0,02	488	0,12	1,864	7,48

De los resultados obtenidos se indicó varios picos de primer orden, el cual se observó en el espectro FFT en unidades de velocidad, fue medido en dirección radial, donde el pico mayor presentó una amplitud de 0,002 mm/s, como se observa en la figura 74.

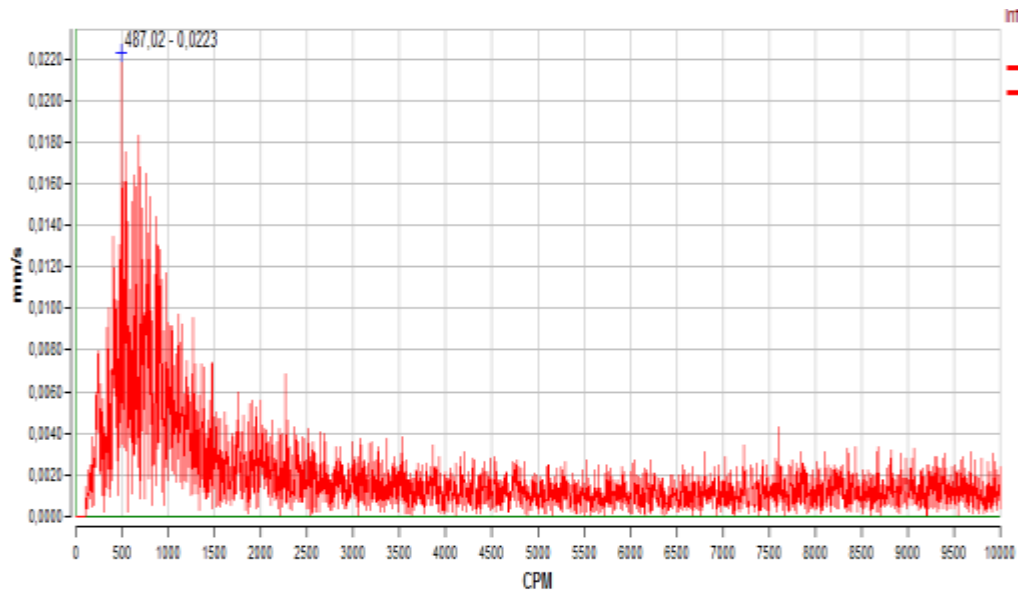


Figura 74. Pico mayor en el espectro FFT

(DigivibeMX, 2015)

En la gráfica FFT se observó varios espectros de vibración en la posición radial en la caja de cambios con diferentes frecuencias, la mayor frecuencia fue de 487 CPM. El valor del factor de cresta es de 7,48 esto quiere decir que en la posición radial de la caja de cambios presencia una falla o golpes mecánicos.

4.4.2.2. Diagnóstico general

De acuerdo con el análisis de vibración realizado, como se observa en la tabla 22; se diagnosticó que las frecuencias de la caja de cambios están presentando un desbalance, ya que presentó varios espectros con frecuencias altas en la posición radial. El valor del factor de cresta sobrepasa el valor límite.

Tabla 22. Valores tomados en la caja de cambios

Posición	Lecturas de vibración (Velocidad)					
	2.000 rpm					
	Frec CPM	Ampl (mm/s)	Frec. Max (CPM)	RMS (mm/s)	Pico a Pico (mm/s)	Factor de cresta
Radial	487	0,02	488	0,12	1,864	7,48

4.4.3. EVALUACIÓN DE LA CAJA DE CAMBIOS

Con la información obtenida de las vibraciones generadas en la caja de cambios en ralentí y en 2.000 rpm en la posición radial, se determinó que la caja de cambios presenta un desbalanceo, además una falta de alineación en los ejes, esto es debido a que los rodamientos están desgastados ya que su frecuencia máxima se obtuvo en ralentí, su valor fue de 1586 CPM. El valor del factor de cresta en 2.000 rpm es extremadamente alto quiere decir que se están produciendo choques mecánicos y existe aflojamiento mecánico esto produce que presente también un desbalanceo, esto quiere decir que la caja de cambios está en muy bajas condiciones de funcionamiento ya que tiene desgaste.

4.5. MANUAL DEL EQUIPO

4.5.1. DIGIVIBEMX M20

Para el mantenimiento predictivo es necesario la adquisición de datos de las vibraciones del motor y de la caja de cambios, en donde se utilizó un

analizador de vibraciones que consta de una interfaz de dos canales, un dispositivo de calibración, cables de conexión, un acelerómetro con base magnética, y un CD con el software de “DigivibeMX M20 Analizador de Vibraciones.”

4.5.2. ACELERÓMETRO CON BASE MAGNÉTICA

Para realizar una medición de vibración es necesario tomar en cuenta ciertos parámetros, en primer lugar presentan un rango de frecuencia muy amplio que va desde fracciones de Hz hasta miles de Hz; las respuestas en este rango de frecuencias son muy uniformes, debido a que no tienen partes móviles estos dispositivos; los acelerómetros mantienen su calibración durante mucho tiempo, debido que son pequeños y generalmente livianos, son adecuados para su uso portátil. Se debe tomar en cuenta como se fija el acelerómetro a la máquina, ya que se produce un fenómeno llamado resonancia debido a la fuerza que el acelerómetro está sujeta a la máquina, si la fuerza de sujeción es débil entonces la frecuencia del dispositivo será muy baja, si la fuerza es grande la frecuencia va hacer mayor, esto afecta al rango de frecuencia.

El acelerómetro es una pieza fundamental es el más utilizado para conocer la aceleración de vibración, velocidad de vibración, la frecuencia, el ruido acústico, el espectro de frecuencia (Vibración), la severidad de vibración, etc. Este tipo de señales son adquiridas y procesadas en una laptop con la ayuda de un software, para poder observar los diferentes espectros de las vibraciones mecánicas, es por eso que deberá trabajar en tiempo real, como se observa en la figura 75.



Figura 75. Acelerómetro
(Erbessd Instruments, 2015)

4.5.3. CABLE ER HIGH GRADE OFC AUDIO (ACELERÓMETRO)

El cable posee de 2 pines, permite conectar el acelerómetro piezoeléctrico AC500-2P a la interfaz del equipo para registrar las vibraciones, como se observa en la figura 76.



Figura 76. Cable ER HIGH GRADE OFC AUDIO (acelerómetro)
(Erbessd Instruments, 2015)

4.5.4. CABLE ER HIGH GRADE OFC AUDIO (CALIBRADOR)

El cable posee de 5 pines, permite conectar el calibrador a la interfaz del equipo para calibrar el equipo, como se observa en la figura 77.



Figura 77. Cable ER HIGH GRADE OFC AUDIO (calibrador)
(Erbessd Instruments, 2015)

4.5.5. CALIBRADOR

Cuando se instala el software en la laptop, el calibrador se debe conectar en el puerto OP de la interfaz, para no obtener errores en el momento que se capture la señal de las vibraciones, como se observa en la figura 78.



Figura 78. Calibrador
(Erbessd Instruments, 2015)

4.5.6. INTERFAZ

Es un módulo que consta de 3 canales para los acelerómetros que sirven para adquirir diferentes señales como: frecuencia, audio, balanceo, etc.

También consta de un canal para el calibrador, como se observa en la figura 79.



Figura 79. Interfaz

(Erbesd Instruments, 2015)

4.5.7. DIGIVIBEMX M20

El software del DigivibeMX M20 permite realizar análisis de vibración en tiempo real así como de balanceo dinámico, ya que posee una serie de herramientas de fácil uso; también posee un sistema eléctrico para la adquisición de datos a la que trabaja el motor del vehículo; el programa a la vez de medir y analizar vibraciones genera su propia base de datos, para llevar un registro del estado vibratorio del motor. Es por esto, que el software

ofrece realizar diferentes tipos de mediciones, y permite visualizar toda la información de manera gráfica.

Siguiendo todas las instrucciones del equipo y del fabricante será posible un buen desempeño al analizar las vibraciones, que permita visualizar los gráficos en cascada 3D, análisis ODS en 3D, curvas de tendencia de 1/3 de octavas, colores independientes para vibraciones generales y problemas en los rodamientos, así como tener acceso a las estadísticas y condiciones del motor, como se observa en la figura 80.



Figura 80. DigivibeMX M20
(Erbessd Instruments, 2015)

4.6. INSTALACIÓN DEL SOFTWARE

Antes de comenzar la instalación, se verificó que el equipo cumpla con los requisitos mínimos del software, que son los siguientes:

- 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

Posteriormente se insertó el CD y se esperó que aparezca la ventana de asistente, como se observa en la figura 81.



Figura 81. Asistente de instalación
(DigivibeMX, 2015)

Se seleccionó la opción “Instalar DigivibeMX” siguiendo los pasos que indica el asistente, así como se indica en la figura 82.



Figura 82. Instalación de software
(DigivibeMX, 2015)

Una vez instalado el software, se ingresó al mismo y se colocó el nombre de usuario y la respectiva contraseña para activar el mismo, como se observa en la figura 83. Para que se active correctamente el sistema se reinició el programa figura 84.

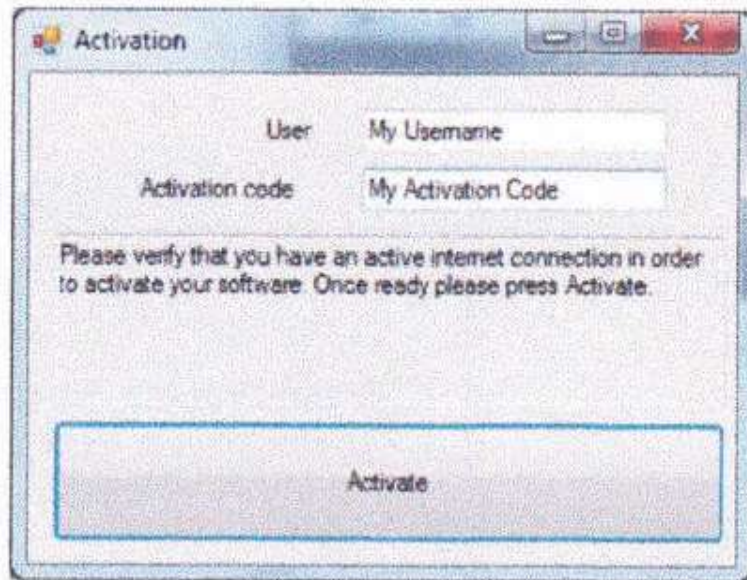


Figura 83. Activación
(DigivibeMX, 2015)

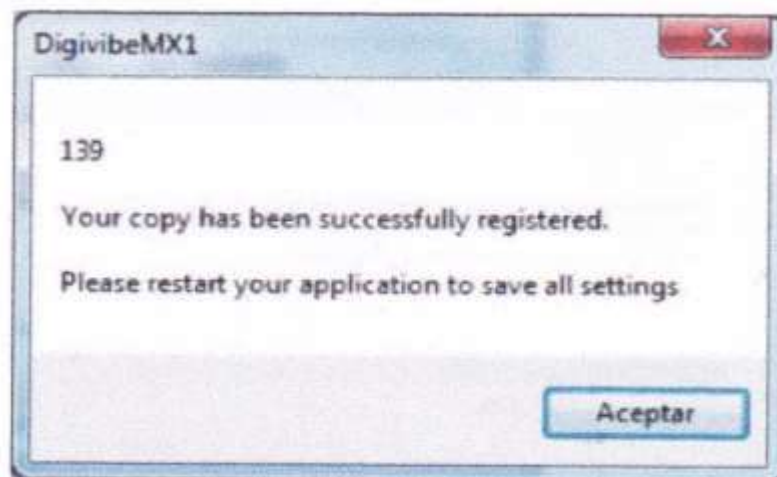


Figura 84. Confirmación de la activación DigivibeMX
(DigivibeMX, 2015)

4.7. 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 85.

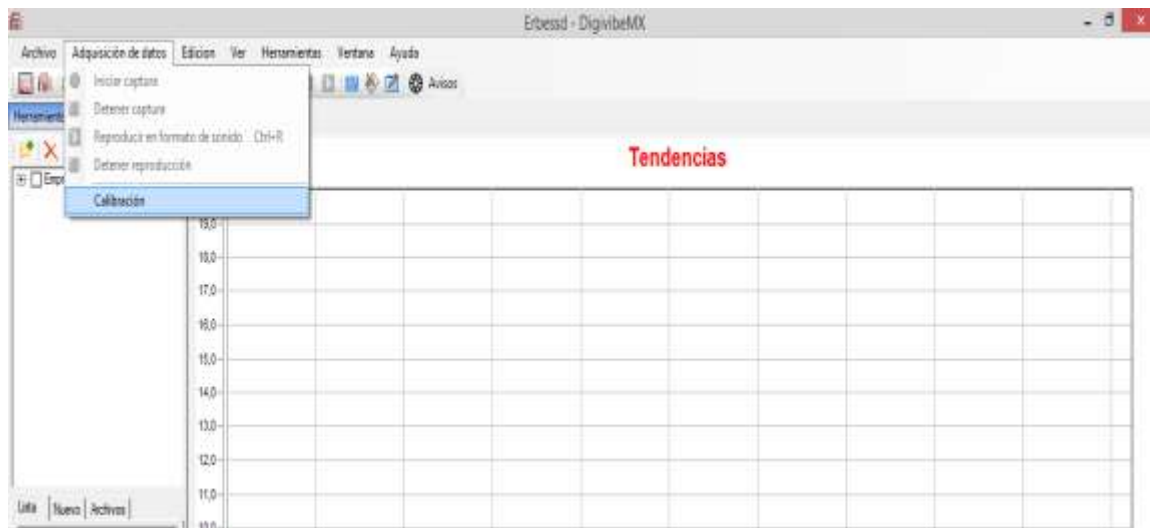


Figura 85. Calibración del sistema

(DigivibeMX, 2015)

Se siguió los pasos solicitados para la configuración del interfaz, el primero paso consistía en desconectar la interfaz como se observa en la figura 86.



Figura 86. Interfaz desconectada

(DigivibeMX, 2015)

Luego el programa solicitaba 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 87.



Figura 87. Interfaz conectada

(DigivibeMX, 2015)

Después de haber observado el mensaje de que se configuró correctamente la interfaz como se observa en la figura 88, se inició la calibración.



Figura 88. Correcta configuración

(DigivibeMX, 2015)

Se conectó la interfaz en un puerto USB de la laptop, en el puerto 1 de la interfaz se conectó el acelerómetro con su respectivo cable de dos pines y en el puerto OP se conectó el calibrador con su cable de cinco pines, se inició la calibración automáticamente, como se observa en la figura 89. 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 90. Se reinició el programa para que esté listo para ser utilizado.

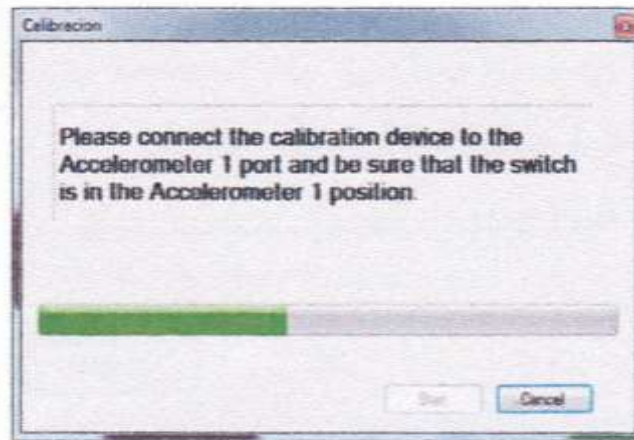


Figura 89. Calibración
(DigivibeMX, 2015)

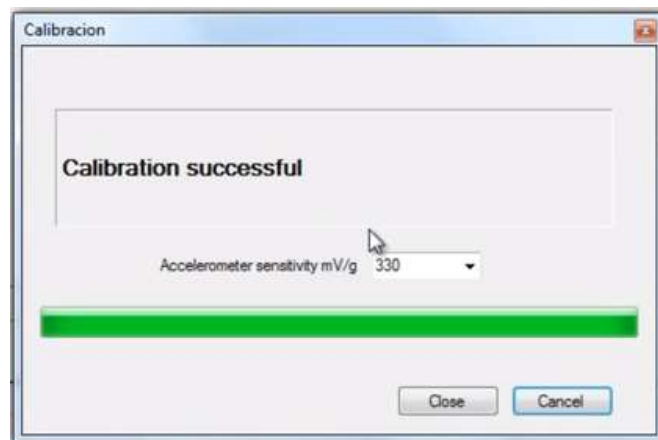


Figura 90. Confirmación de la calibración
(DigivibeMX, 2015)

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- Se identificó que el motor y la caja de cambios son las partes mecánicas que más generan vibración en el automóvil, debido a que las mismas están sometidas a distintos factores provocando fallas que alteran su ciclo de trabajo por lo tanto se reduce su vida útil.
- Se definió que el valor RMS es el valor global de la vibración, el mismo que puede ser comparado con la tabla de severidad y así conocer el estado de la máquina.
- El valor del factor de cresta indica de una forma rápida al operario de como se encuentra el funcionamiento de la máquina, solo observando el dato de la medición.
- Se determinó que la velocidad de la vibración es el mejor indicador de la severidad para frecuencias comprendidas entre 600 y 60.000 CPM.
- Se midió las vibraciones con la ayuda de un acelerómetro en puntos establecidos del motor y de la caja de cambios, ya que este dispositivo es un transductor que permite observar las señales de vibración en un espectro FFT.
- Es fundamental realizar una revisión exhaustiva de las bases del motor, porque de esta manera se pudo establecer diferentes posiciones para realizar las mediciones, con el fin de reducir las vibraciones excesivas al momento que se captó la vibración.

- Se realizó una revisión detallada de los componentes del vehículo en donde se encuentran asentados los elementos de estudio, para conocer su estado inicial.
- La aplicación de la norma ISO 2372 sirvió para conocer la severidad de la vibración en el parámetro de velocidad y clasificar el tipo de máquina.

5.2. RECOMENDACIONES

- Es muy importante que el programa DigivibeMX M20 se encuentre instalado correctamente y con su licencia actualizada, para no tener inconvenientes en las mediciones de vibraciones, y así tener un excelente funcionamiento del equipo.
- Antes de realizar cualquier medición de vibraciones, se debe calibrar el equipo para que funcione la interfaz de forma correcta y así no obtener errores al momento de la vibración.
- Cuando se realice mediciones radiales, axiales y horizontales, se debe asegurar que el acelerómetro este en su posición correcta y bien asentado, si la medición de vibraciones se va hacer en una parte ferrosa se debe utilizar el acelerómetro con la parte magnética, caso contrario con el de tornillo de 1/8.
- Se debe tener en cuenta el estado de los cables, los mismos que se deben encontrar en buenas condiciones para que no generen fallas o errores en el momento de tomar las lecturas. También se debe recordar que los sensores son sensibles a las temperaturas altas.
- Con los resultados obtenidos se determinó que la severidad de la vibración se encuentra en un rango insatisfactorio, por lo tanto se recomienda que el vehículo debe ser reparado inmediatamente, para prevenir fallas graves y paros indeseados.

GLOSARIO DE TÉRMINOS

ACELERÓMETRO	Sensor y transductor, su entrada es la amplitud de aceleración y tiene una salida de voltaje.
ACELERACIÓN	Es la variación de velocidad desde cero hasta el máximo de cada ciclo (m/s^2).
AMPLITUD	Medida de variación máxima del desplazamiento.
ANÁLISIS ESPECTRAL	Interpretación que se le hace a un espectro para determinar el estado físico en una máquina.
ARMÓNICO	Frecuencia de vibración que son múltiples integrales de una frecuencia específica.
AXIAL	Posición del sensor que va en el sentido de la línea del eje.
CICLO	Es un rango de valores en los cuales un fenómeno periódico se repite.
CPM	Ciclos por minuto.
DIGIVIBEMX M20	Software para adquisición de datos.
DOMINIO DE LA FRECUENCIA	Representación gráfica de la vibración, donde se enfrenta Amplitud vs Frecuencia.
DOMINIO DEL TIEMPO	Representación gráfica de una señal de vibración, donde se enfrenta Amplitud vs Tiempo.
ESPECTRO	Sinónimo de dominio de la frecuencia.
ESPECTROGRAMA	Muestra la densidad espectral de una señal.

FACTOR DE CRESTAS	Valor que da una idea de la forma de la onda.
FRECUENCIA	Número de ciclos completos en un período de tiempo.
FREC DEL MAX	Frecuencia donde se encuentra el valor máximo.
FFT	Técnica para calcular por medio de un computador la frecuencia de las series en el tiempo (Fast Fourier Transform).
G	Unidad de la aceleración de la gravedad.
HORIZONTAL	Posición que se le da al sensor, perpendicular al sentido de la gravedad.
Hz	Unidad de la frecuencia (Ciclos por segundos).
MAX	Es la amplitud máxima del FFT.
PICO	Cada una de las líneas que componen el espectro.
PICO A PICO	Valor del punto más alto hasta el punto más bajo de la señal en el dominio del tiempo.
RADIAL	Posición del sensor que va perpendicular a la línea del eje.
RMS	Valor global de la vibración.
RPM	Números de ciclo por minuto que presenta la máquina.
SENSOR	Dispositivo de medición que transforma una variable física en una señal eléctrica.
SEÑAL	Información de magnitud física variable que es convertida a magnitud eléctrica mediante un

transductor.

SEVERIDAD

Indica la gravedad de un defecto.

SPIKE ENERGY

Mide los impulsos de energía de vibración.

VELOCIDAD

Indicador directo de la severidad (mm/s).

VIBRACIÓN

Movimiento oscilatorio.

BIBLIOGRAFÍA

Asociados, M. (2003). Vibraciones mecánicas. La Guía MetAs, 1.

Contreras, A. (s.f.). Rangos de severidad para la vibración de máquinas. Recuperado el 16 de Diciembre de 2015, de Rangos de severidad para la vibración de máquinas: <http://slideplayer.es/slide/1075554/>

DigivibeMX. (28 de Diciembre de 2015). Instalación. Mexico D.F, Mexico.

Erbessd Instruments. (2015). Erbessd Instruments. Recuperado el 14 de Diciembre de 2015, de <http://www.erbessd-instruments.com/Esp/digivibemx/m20/overview.php>

García, A., & Tinoco, A. (24 de Febrero de 2011). Vibracion debido a la falta de alineacion. Recuperado el 12 de Enero de 2016, de Vibracion debido a la falta de alineacion: <https://prezi.com/ohjk8svuxhcl/vibracion-debido-a-la-falta-de-alineacion/>

García, O. (2012). Gestión moderna del mantenimiento industrial. Bogota: Ediciones de la U.

González, F. (2005). "Teoría y Práctica del Mantenimiento Industrial avanzado". Espana: Editorial FC.

Mosquera, G. (2000). Las vibraciones mecánicas y su aplicación al mantenimiento predictivo. Caracas: ProduGráficas, C.A.

Nieto, A. (28 de Enero de 2013). Análisis de vibración. Recuperado el 15 de Diciembre de 2015, de Análisis de vibración: <http://www.0grados.com/analisis-de-vibracion/>

Pernia, D. (2004). Introducción a la medición de vibración . Venezuela: Universidad de los Andes.

Royo, J. A., Rabanaque, G., & Torres, F. (s.f.). guemisa. Recuperado el 14 de Diciembre de 2015, de guemisa: <http://www.guemisa.com/articul/pdf/vibraciones.pdf>

Sánchez, F., Pérez, G., Sancho, J., & Pablo., R. (2007). Mantenimiento Mecánico de Máquinas. Book Print Digital, S.A.

Singiresu. (2012). Vibraciones Mecánicas. Prentice Hall.

ANEXOS

ANEXO 1



ERBESSD - INSTRUMENTS ®

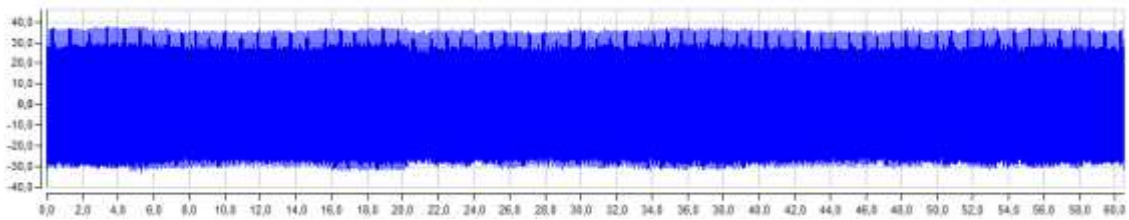
Fecha: 18/04/2016

REPORTE DE ANÁLISIS DE VIBRACIÓN

Cabezote (Radial)

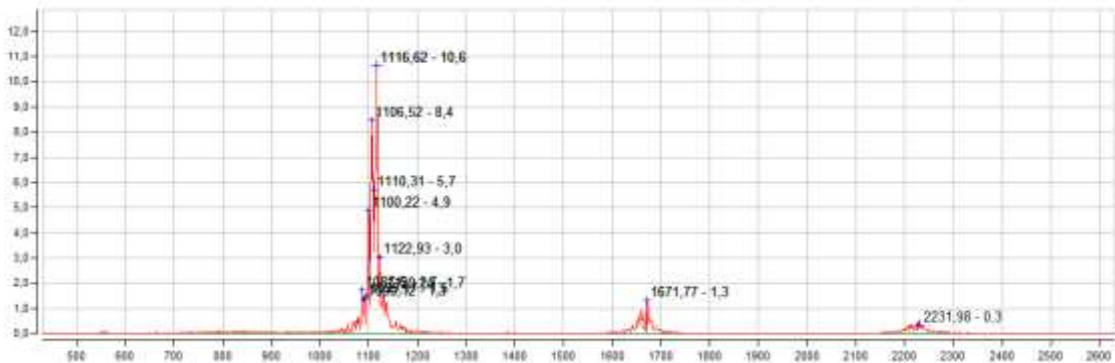
VELOCIDAD - Valores Generales

RMS	Máximo	Frecuencia del Máximo
20,81mm/s	10,62mm/s	1116,44 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	10,62	8,45	5,70	4,87	3,03	1,73	1,69	1,46	1,35	1,33
Frec	1116,61	1106,52	1110,31	1100,22	1122,93	1087,59	1129,23	1095,17	1090,12	1671,77



ANEXO 2



ERBESSD - INSTRUMENTS ®

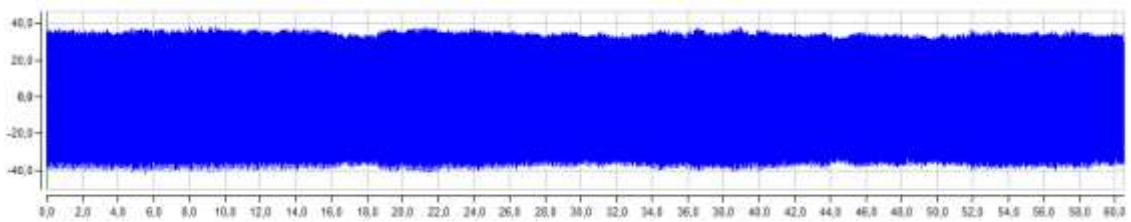
Fecha: 18/04/2016

REPORTE DE ANÁLISIS DE VIBRACIÓN

Cabezote (axial)

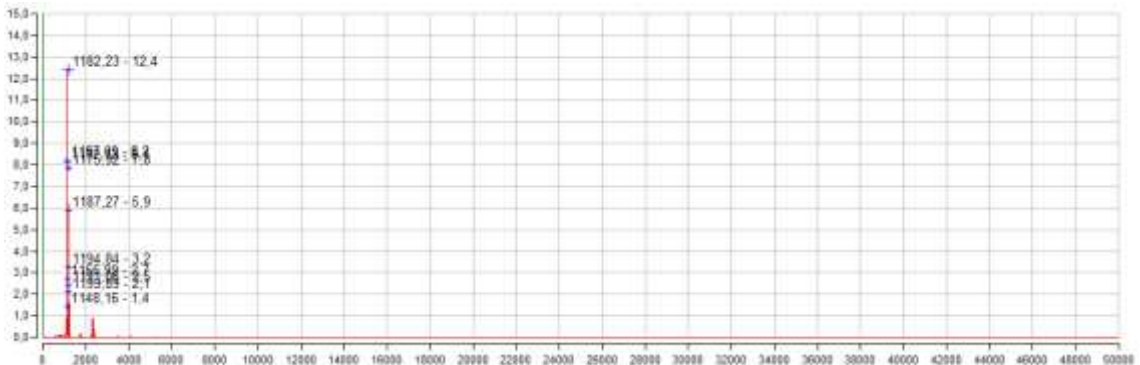
VELOCIDAD - Valores Generales

RMS	Máximo	Frecuencia del Máximo
23,98mm/s	12,40mm/s	1182,73 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	12,40	8,25	8,11	7,84	5,90	3,25	2,72	2,46	2,13	1,42
Frec	1182,22	1167,08	1172,13	1175,91	1187,27	1194,84	1156,99	1191,06	1199,89	1148,16



ANEXO 3



ERBESSD - INSTRUMENTS ®

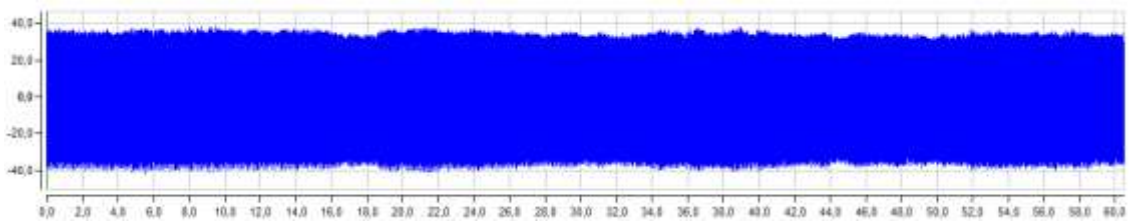
Fecha: 18/04/2016

REPORTE DE ANÁLISIS DE VIBRACIÓN

Cabezote (Horizontal)

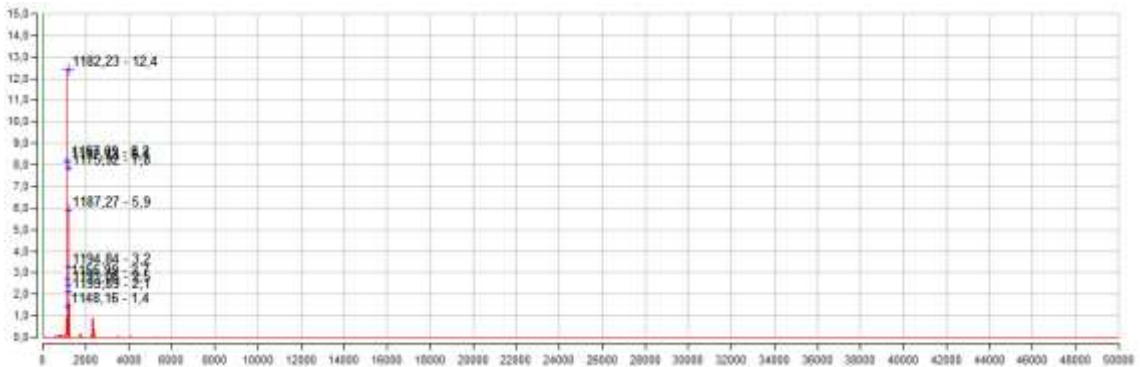
VELOCIDAD - Valores Generales

RMS	Máximo	Frecuencia del Máximo
23,98mm/s	12,40mm/s	1182,73 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	12,40	8,25	8,11	7,84	5,90	3,25	2,72	2,46	2,13	1,42
Frec	1182,22	1167,08	1172,13	1175,91	1187,27	1194,84	1156,99	1191,06	1199,89	1148,16



ANEXO 4



ERBESSD - INSTRUMENTS ®

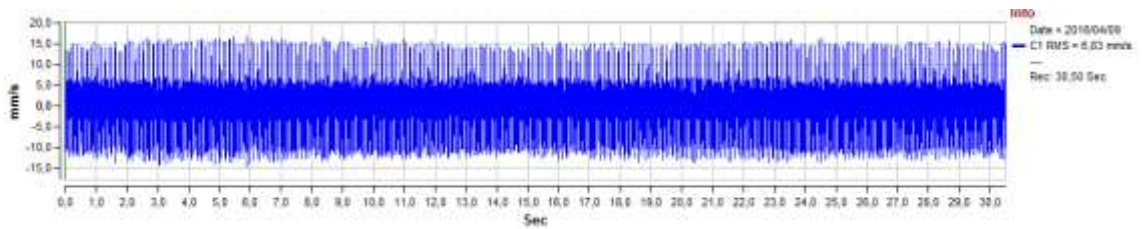
Fecha: 18/04/2016

REPORTE DE ANÁLISIS DE VIBRACIÓN

Frente del block (Horizontal)

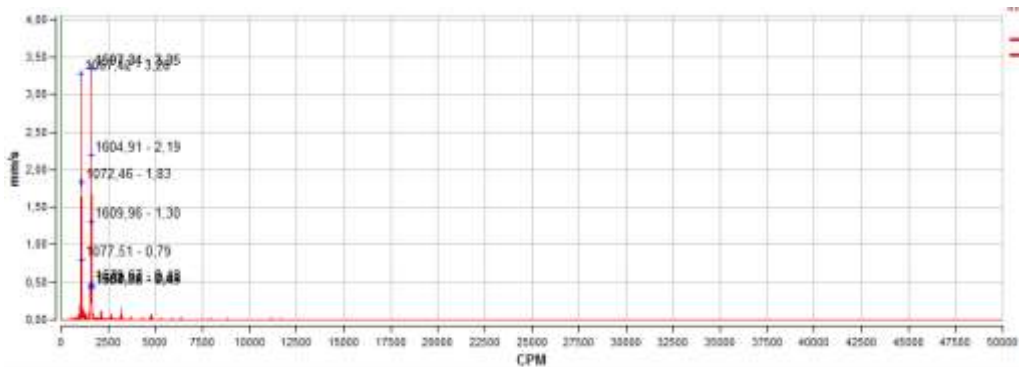
VELOCIDAD - Valores Generales

RMS	Máximo	Frecuencia del Máximo
6,83mm/s	3,35mm/s	1599,12 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	3,28	2,19	1,83	1,30	0,79	0,48	0,44	0,43	0,43
Frec	1597,33	1067,41	1604,90	1072,45	1609,94	1077,50	1579,66	1630,13	1584,71	1567,05



ANEXO 5



ERBESSD - INSTRUMENTS ®

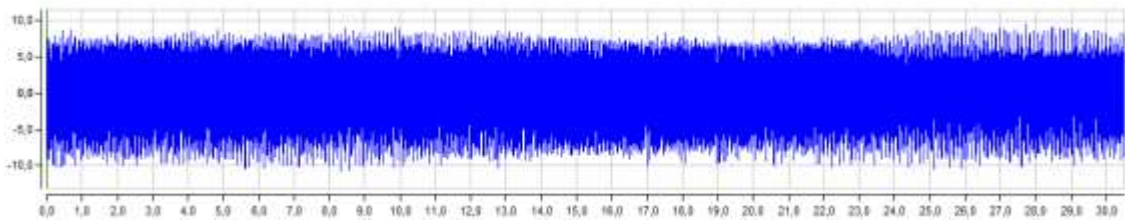
Fecha: 18/04/2016

REPORTE DE ANÁLISIS DE VIBRACIÓN

Block (Horizontal lado posterior)

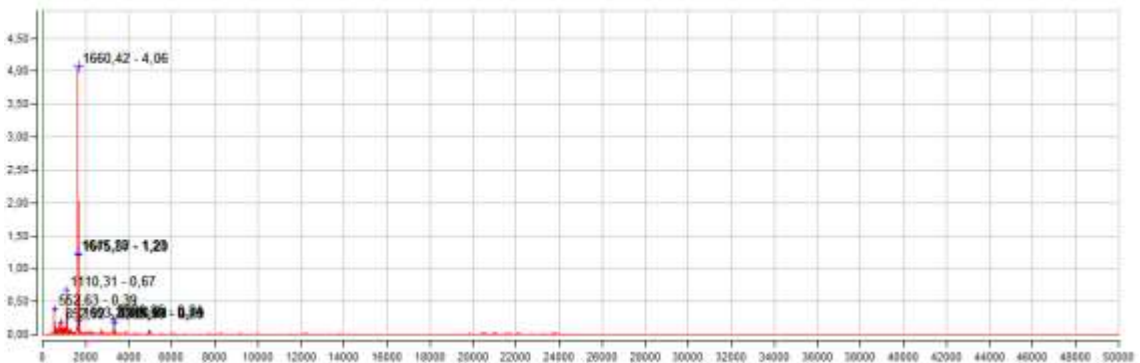
VELOCIDAD - Valores Generales

RMS	Máximo	Frecuencia del Máximo
4,76mm/s	4,06mm/s	1660,73 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	1,23	1,20	0,67	0,39	0,24	0,21	0,20	0,19	0,19
Frec	1660,41	1645,27	1675,55	1110,31	552,63	3320,82	1693,22	3303,16	3335,96	852,92



ANEXO 6



ERBESSD - INSTRUMENTS ®

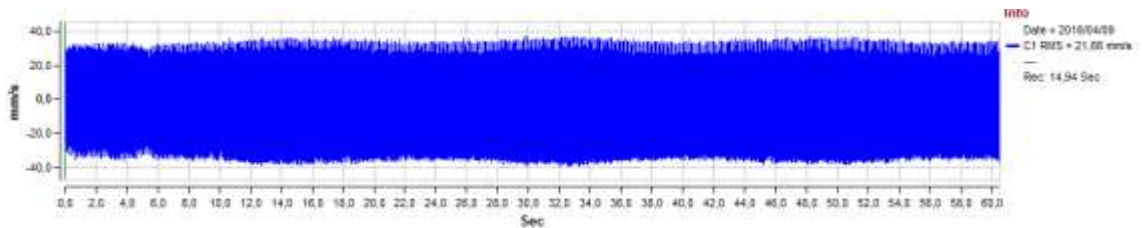
Fecha: 19/04/2016

REPORTE DE ANÁLISIS DE VIBRACIÓN

Carter (Radial)

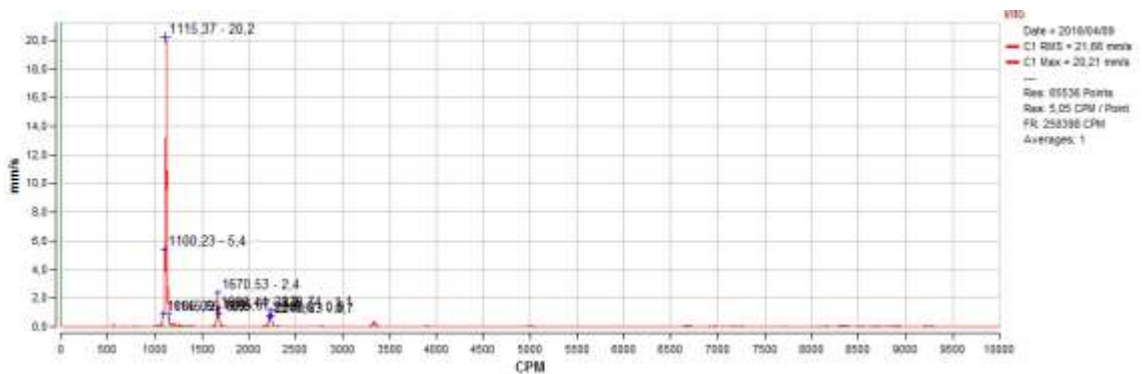
VELOCIDAD - Valores Generales

RMS	Máximo	Frecuencia del Máximo
21,66mm/s	20,21mm/s	1114,75 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	20,21	5,39	2,37	1,18	1,13	0,95	0,86	0,86	0,80	0,74
Frec	1115,37	1100,23	1670,51	1660,41	2230,71	1685,65	1145,63	1085,07	2215,56	2240,80



ANEXO 7



ERBESSD - INSTRUMENTS ®

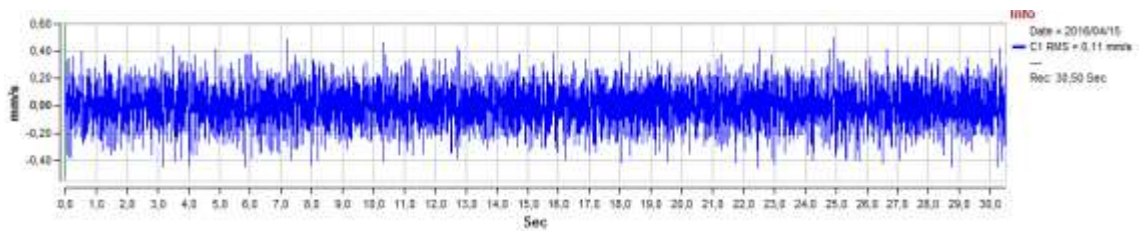
Fecha: 20/04/2016

REPORTE DE ANÁLISIS DE VIBRACIÓN

Cabezote (radial)2.000 rpm

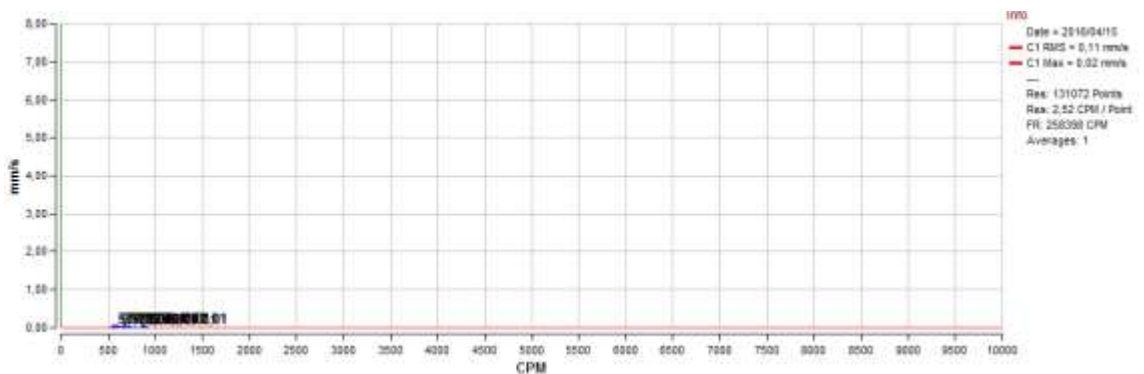
VELOCIDAD - Valores Generales

RMS	Máximo	Frecuencia del Máximo
0,11mm/s	0,02mm/s	674,79 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	673,7	709,0	878,1	666,1	555,1	603,1	716,6	577,8	782,2	900,8
	5	8	5	8	5	0	5	6	6	6



ANEXO 8



ERBESSD - INSTRUMENTS ®

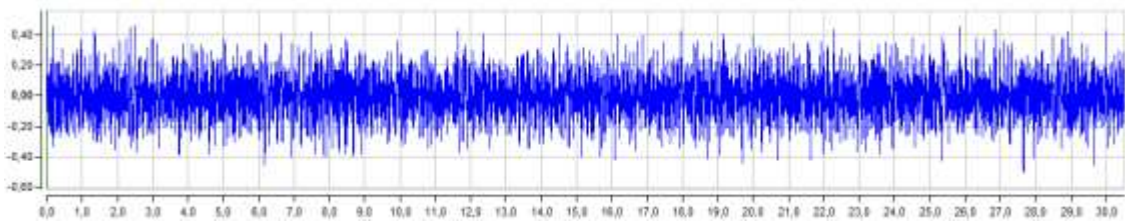
Fecha: 20/04/2016

REPORTE DE ANÁLISIS DE VIBRACIÓN

Cabezote 2000 rpm (axial)

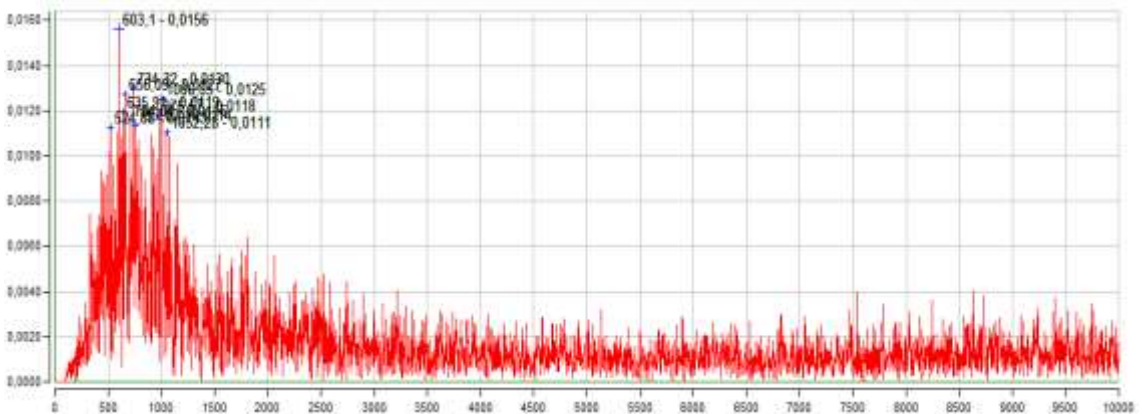
VELOCIDAD - Valores Generales

RMS	Máximo	Frecuencia del Máximo
0,11mm/s	0,02mm/s	602,02 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	603,1 0	734,3 2	656,0 9	1006, 85	635,9 0	976,5 6	704,0 3	757,0 3	524,8 7	1052, 27



ANEXO 9



ERBESSD - INSTRUMENTS ®

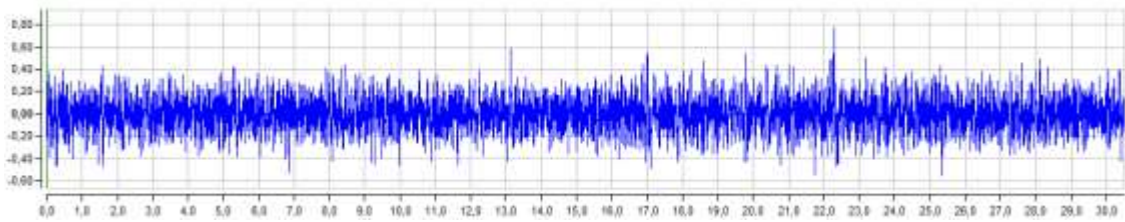
Fecha: 20/04/2016

REPORTE DE ANÁLISIS DE VIBRACIÓN

Cabezote horizontal frente (2000rpm)

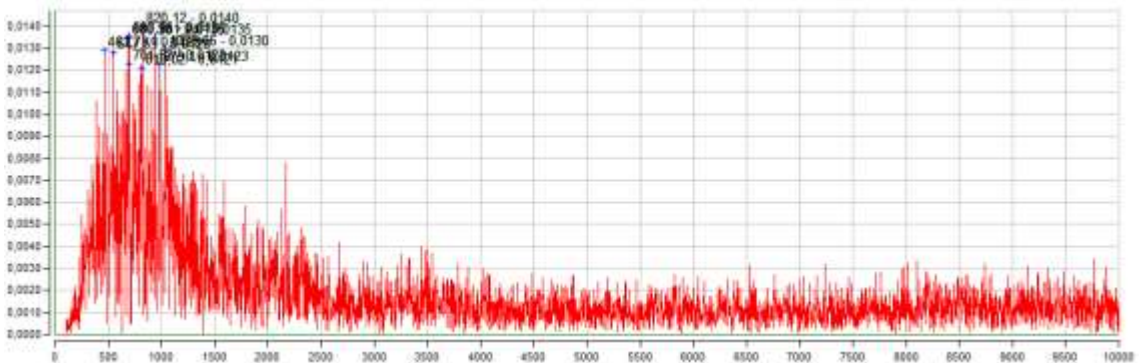
VELOCIDAD - Valores Generales

RMS	Máximo	Frecuencia del Máximo
0,11mm/s	0,01mm/s	819,99 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	820,1	693,9	941,2	686,3	1039,	461,7	547,5	701,5	979,0	810,0
	1	4	4	7	65	9	8	1	9	2



ANEXO 10



ERBESSD - INSTRUMENTS ®

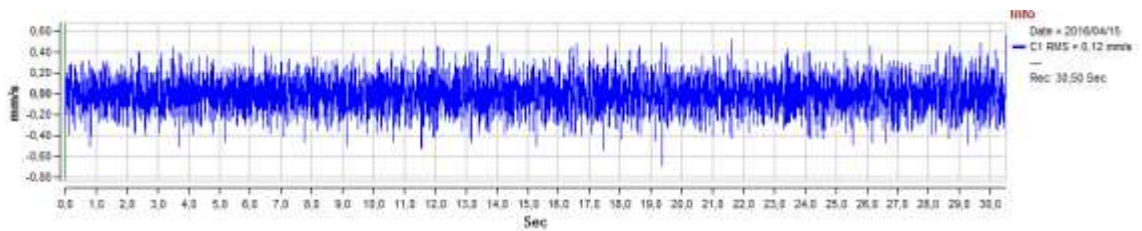
Fecha: 20/04/2016

REPORTE DE ANÁLISIS DE VIBRACIÓN

Block horizontal (2000rpm)

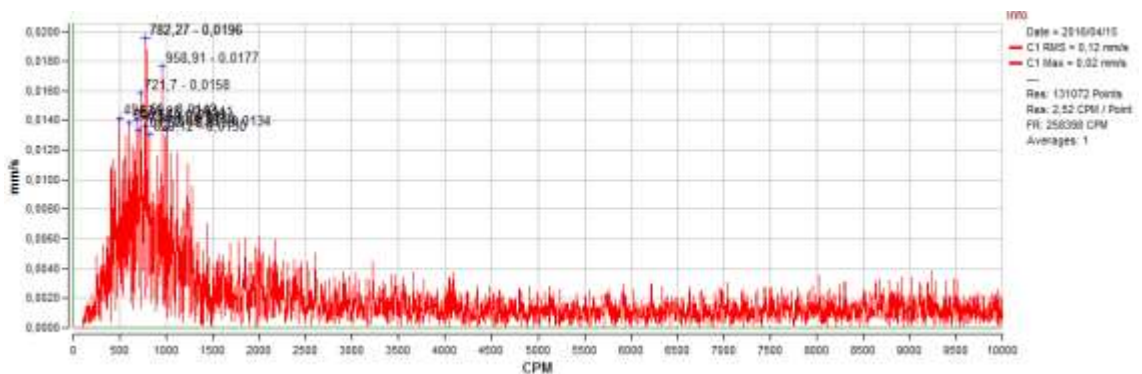
VELOCIDAD - Valores Generales

RMS	Máximo	Frecuencia del Máximo
0,12mm/s	0,02mm/s	783,21 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	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Frec	782,2 6	958,9 0	721,7 0	494,5 9	676,2 8	600,5 7	774,6 9	1009, 37	701,5 1	820,1 1



ANEXO 11



ERBESSD - INSTRUMENTS ®

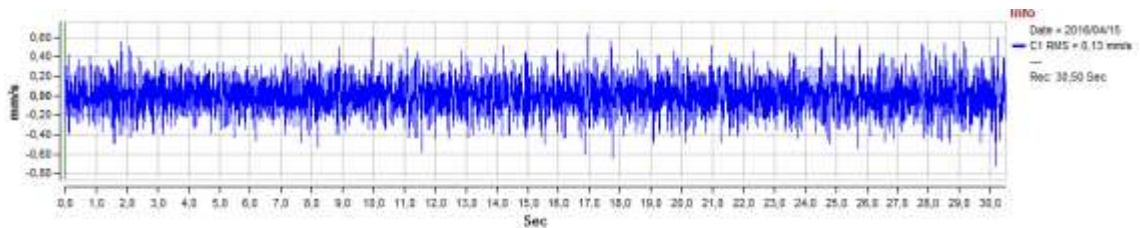
Fecha: 20/04/2016

REPORTE DE ANÁLISIS DE VIBRACIÓN

Block posterior horizontal (2000 rpm)

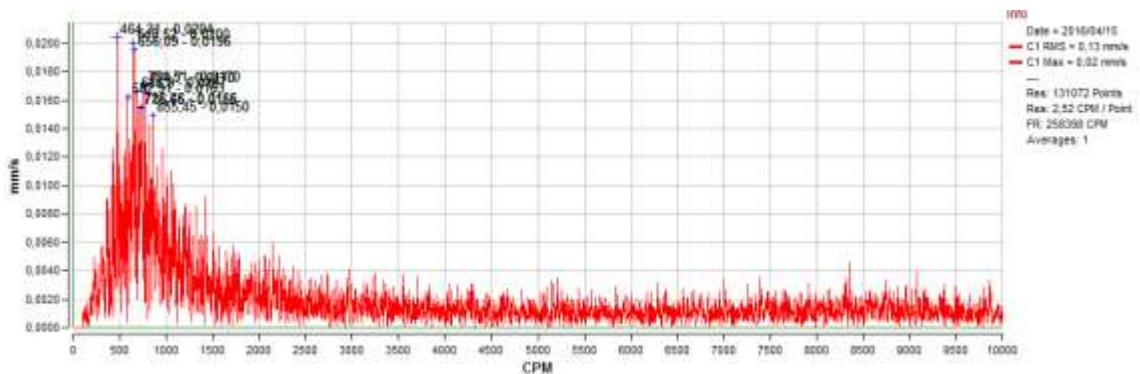
VELOCIDAD - Valores Generales

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	464,3	648,5	656,0	754,5	774,6	688,8	582,9	726,7	716,6	855,4
	1	2	9	0	9	9	1	5	5	4



ANEXO 12



ERBESSD - INSTRUMENTS ®

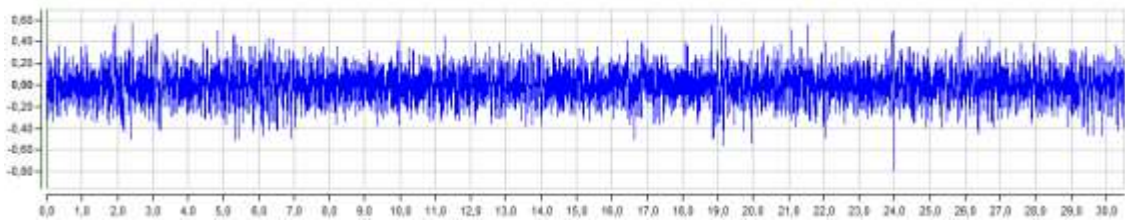
Fecha: 20/04/2016

REPORTE DE ANÁLISIS DE VIBRACIÓN

Carter radial (2000rpm)

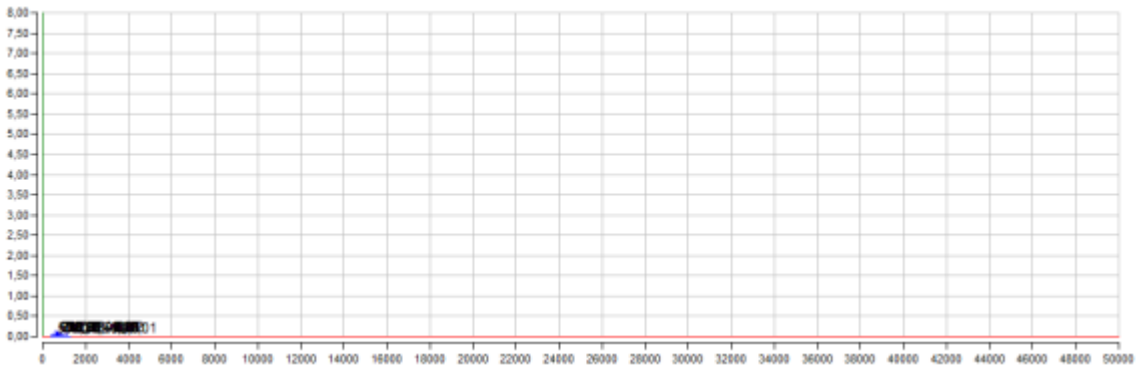
VELOCIDAD - Valores Generales

RMS	Máximo	Frecuencia del Máximo
0,11mm/s	0,02mm/s	611,91 CPM



VELOCIDAD - 10 Picos Máximos

	Max	Max	Max	Max	Max	Max	Max	Max	Max	Max
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Amp	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Frec	613,1	663,6	623,2	847,8	711,6	686,3	509,7	1150,	1011,	744,4
	9	6	9	7	1	7	3	68	89	1



ANEXO 13



ERBESSD - INSTRUMENTS ®

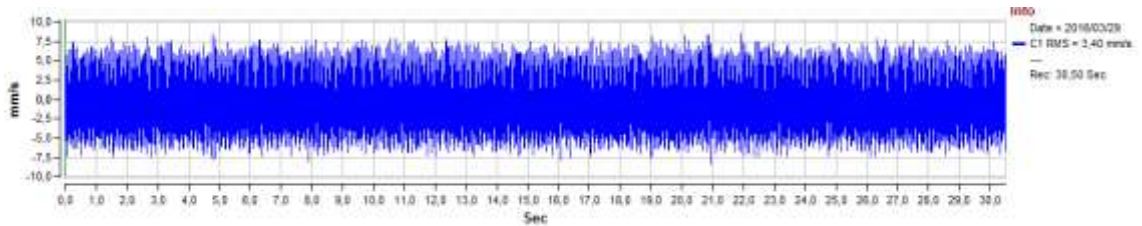
Fecha: 21/04/2016

REPORTE DE ANÁLISIS DE VIBRACIÓN

Caja de cambios lento

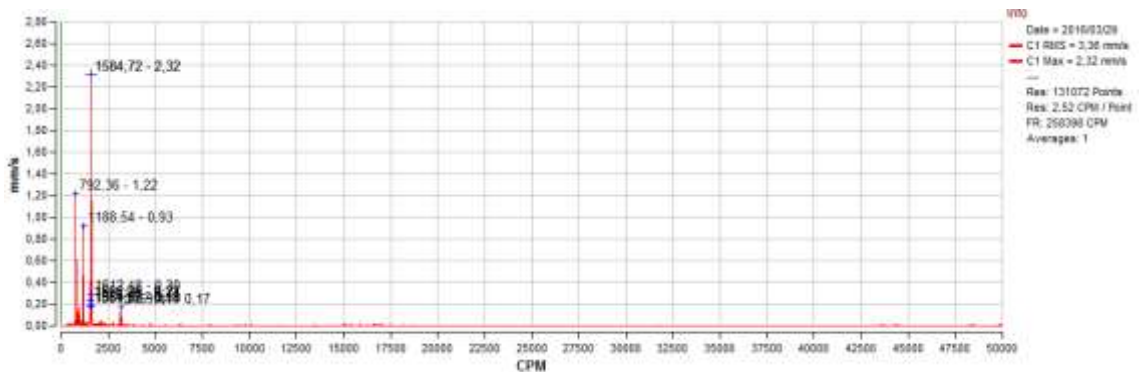
VELOCIDAD - Valores Generales

RMS	Máximo	Frecuencia del Máximo
3,36mm/s	2,32mm/s	1585,76 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	2,32	1,22	0,93	0,30	0,24	0,23	0,19	0,18	0,18	0,17
Frec	1584,71	792,35	1188,53	1612,47	1602,37	1556,95	1564,52	1569,57	1551,90	3169,42



ANEXO 14



ERBESSD - INSTRUMENTS ®

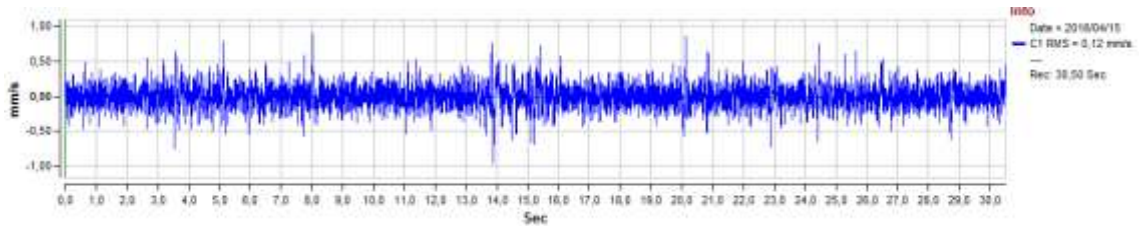
Fecha: 21/04/2016

REPORTE DE ANÁLISIS DE VIBRACIÓN

Caja de cambios radial (2000rpm)

VELOCIDAD - Valores Generales

RMS	Máximo	Frecuencia del Máximo
0,12mm/s	0,02mm/s	487,82 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	0,02
Frec	487,0 2	681,3 2	537,4 9	751,9 8	623,2 9	507,2 1	545,0 6	640,9 5	802,4 5	610,6 7

