

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

**ANÁLISIS Y DIAGNÓSTICO DE VIBRACIONES EN VEHÍCULOS
LIVIANOS DE COMBUSTIÓN INTERNA**

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO MECÁNICO**

VEGA GALARZA DAVID MAURICIO

davidvegagalarza@gmail.com

DIRECTOR: Ing. SERRANO BUSTAMANTE JUAN ANTONIO

juan.serrano@epn.edu.ec

QUITO, Enero 2014

DECLARACIÓN

Yo, David Mauricio Vega Galarza, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación profesional; y, que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

David Mauricio Vega Galarza

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por David Mauricio Vega Galarza, bajo mi supervisión.

Ing. Juan Antonio Serrano Bustamante

DIRECTOR DEL PROYECTO

AGRADECIMIENTO

A mis padres, por el amor, el apoyo, la paciencia y la motivación que fueron necesarios para que alcance esta meta.

A mis hermanos por enseñarme que nunca hay que darse por vencido sin importar todas las adversidades que se pueden presentar.

A mis familiares, por todo el cariño y aliento que me supieron brindar.

A mis amigos, por todas las vivencias y anécdotas que tendré para contar.

Un agradecimiento especial al Ing. Roberto Álvarez por su ayuda que fue esencial para lograr este objetivo.

Todos son actores directos de este logro y por ello les agradeceré inmensamente toda mi vida.

DEDICATORIA

Dedico este proyecto a mis padres, a mis hermanos y a mi abuelito, porque siempre estuvieron a mi lado siendo esa base sólida sobre la cual he podido sostenerme y apoyarme en los momentos difíciles.

CONTENIDO

CONTENIDO.....	IV
CONTENIDO DE FIGURAS.....	XIII
CONTENIDO DE TABLAS.....	XIX
RESUMEN.....	XX
ABSTRACT.....	XXI
PRESENTACIÓN.....	XXII
CAPÍTULO 1.....	1
FUNDAMENTO TEÓRICO.....	1
1.1 INTRODUCCIÓN.....	1
1.2 VIBRACIÓN.....	2
1.3 VIBRACIÓN DE CUERPO ENTERO.....	2
1.4 TIPOS DE VIBRACIONES.....	4
1.4.1 VIBRACIÓN LIBRE.....	4
1.4.1.1 Vibración libre no amortiguada.....	4
1.4.1.2 Vibración libre amortiguada.....	6
1.4.2 VIBRACIÓN FORZADA.....	8
1.4.2.1 Vibración forzada sin amortiguamiento.....	8
1.4.2.2 Vibración forzada amortiguada.....	9
1.4.2.3 Caso 1: $\xi > 1$	11
1.4.2.4 Caso 2: $\xi < 1$	11
1.4.2.5 Caso 3: $\xi = 1$	12
1.5 SONIDO.....	13
1.5.1 CARACTERÍSTICAS DEL SONIDO.....	13
1.6 PERCEPCIÓN DE SONIDOS, RANGO AUDIBLE.....	14

1.7	RUIDO	14
1.7.1	NIVEL DE PRESIÓN SONORA	15
1.8	RUIDO VIBRACIONES Y GOLPETEOS (NOISE, VIBRATION AND HARSHNESS - NVH)	16
1.9	ANÁLISIS DE VIBRACIONES	17
1.10	MEDICIÓN DE LAS VIBRACIONES	20
1.10.1	MEDICIÓN DE LA AMPLITUD DE LA VIBRACIÓN	20
1.10.1.1	Amplitud pico a pico	20
1.10.1.2	Amplitud pico	21
1.10.1.3	Amplitud RMS y promedio	22
1.11	TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE VIBRACIONES ^[22]	22
1.11.1	ANÁLISIS ESPECTRAL	22
1.11.2	ANÁLISIS DE LA FORMA DE ONDA	23
1.11.3	ANÁLISIS DE FASE DE VIBRACIONES	23
1.11.4	ANÁLISIS DE LOS PROMEDIOS SINCRÓNICOS EN EL TIEMPO....	23
1.11.5	ANÁLISIS DE ÓRBITAS	24
1.11.6	ANÁLISIS DE DEMODULACIONES	24
1.11.7	ANÁLISIS DE VIBRACIONES EN ARRANQUE Y PARADA DE MÁQUINA.....	25
1.12	EQUIPOS PARA MEDICIÓN DE VIBRACIONES.....	25
1.12.1	ANALIZADOR DE VIBRACIONES ^[5]	25
1.12.1.1	Recolector analizador digital de datos	26
1.12.1.2	Analizador en tiempo real	26
1.12.1.3	Sistemas escaneados	27
1.12.2	TRANSDUCTOR ^[20]	27
1.12.2.1	Acelerómetros ^[20]	28
1.12.2.1.1	Acelerómetros piezoeléctricos ^[30]	28

1.12.2.1.2	Acelerómetros piezoresistivos	29
1.12.2.2	Transductores de desplazamiento	30
1.12.2.2.1	Transformador Diferencial Lineal Variable (LVDT Linear Variable DifferentialTransformer) ^[17]	30
1.12.2.2.2	Transductor de desplazamiento (Corriente Eddy) ^[20]	31
1.12.2.2.3	Transductor de desplazamiento tipo capacitivo ^[20]	32
1.12.2.3	Transductores de velocidad ^[30]	32
1.12.3	SOFTWARE.....	33
CAPÍTULO 2		34
TRANSMISIÓN DE VIBRACIONES EN VEHÍCULOS		34
2.1	TRANSMISIÓN DE VIBRACIONES.....	34
2.2	ORÍGEN DE UNA VIBRACIÓN.....	34
2.3	FUERZAS DE EXCITACIÓN HABITUALES EN VEHÍCULOS.....	35
2.3.1	FLUCTUACIÓN DEL PAR MOTOR.....	36
2.3.2	DESALINEAMIENTO DE LAS RUEDAS	38
2.3.2.1	Ruedas.....	38
2.3.2.2	Neumáticos	39
2.3.2.3	Alineación de las ruedas	40
2.3.2.3.1	Ángulo de caída.....	40
2.3.2.3.2	Avance del pivote	41
2.3.2.3.3	Inclinación del eje de dirección.....	42
2.3.2.3.4	Base	42
2.3.2.3.5	Radio de giro	43
2.3.2.4	Desequilibrio estático y dinámico.....	44
2.3.2.4.1	Desequilibrio estático.....	44
2.3.2.4.2	Desequilibrio dinámico.....	45
2.3.3	DESVIACIÓN DE LAS RUEDAS	46

2.3.3.1	Alabeo.....	46
2.3.3.2	Excentricidad	47
2.3.4	UNIFORMIDAD DE LOS NEUMÁTICOS.....	47
2.3.5	DESEQUILIBRIO DEL ÁRBOL DE TRANSMISIÓN	48
2.3.5.1	Tipos de transmisión.....	49
2.3.5.1.1	Motor delantero y tracción delantera	49
2.3.5.1.2	Motor delantero y propulsión trasera	49
2.3.5.1.3	Motor trasero y propulsión trasera.....	50
2.3.5.1.4	Propulsión doble.....	50
2.3.5.1.5	Tracción en las cuatro ruedas 4WD.....	50
2.3.5.2	Árbol de transmisión	52
2.3.6	VIBRACIÓN DE SEGUNDO ORDEN DEL ÁRBOL DE TRANSMISIÓN 53	
2.3.6.1	Ángulo de junta.....	53
CAPÍTULO 3		54
VIBRACIONES HABITUALES EN VEHÍCULOS.....		54
3.1	INTRODUCCIÓN	54
3.2	SACUDIDA DE LA CARROCERÍA	54
3.3	ALETEO DE LA DIRECCIÓN	57
3.4	OSCILACIÓN DE LA DIRECCIÓN	58
3.5	VIBRACIÓN DEL PEDAL DEL ACELERADOR	59
3.6	VIBRACIÓN DE LA PALANCA DE CAMBIOS.....	60
3.7	CONDUCCIÓN INCÓMODA.....	62
3.8	GOLPETEO	64
3.8.1	CARACTERÍSTICAS DE LOS NEUMÁTICOS	64
3.8.2	BUJES DE LOS BRAZOS DE SUSPENSIÓN	65
3.9	RUIDO DEBIDO AL PATRÓN DEL NEUMÁTICO	65

3.10	RUIDO DE ESTRUENDO DE LA CARROCERÍA.....	66
3.10.1	ÁNGULO DE JUNTA DEL EJE PROPULSOR	67
3.10.2	ÁRBOL DE TRANSMISIÓN DESBALANCEADO	67
3.10.3	VIBRACIONES DEL TUBO DE ESCAPE	68
3.10.4	VIBRACIÓN DE COMPONENTES AUXILIARES	68
3.11	RUIDO DE PERCUSIÓN DE LA CARROCERÍA	69
3.11.1	DESLIZAMIENTO DEL CONVERTIDOR DE PAR	70
3.11.1.1	Ruido causado por desequilibrio.....	70
3.11.1.2	Ruido causado por fluctuaciones del par	70
3.11.2	VIBRACIONES CAUSADAS POR LA RELACIÓN DEL ENGRANAJE DE TRANSMISIÓN	71
3.11.3	VIBRACIONES CAUSADAS POR LA RELACIÓN DE LA POLEA	71
3.11.4	VIBRACIONES CAUSADAS POR LA RELACIÓN DE LA REDUCCIÓN DIFERENCIAL.....	71
3.12	RUIDO DEL MOTOR ^[23]	72
3.13	RUIDO DEL VIENTO	73
3.13.1	RUIDOS CREADOS POR TURBULENCIAS DE AIRE CAUSADAS POR IRREGULARIDADES DE LA CARROCERÍA	74
3.13.2	RUIDOS CREADOS POR FUGAS DE AIRE	74
3.14	CHIRRIDO DEL ENGRANAJE DE LA TRANSMISIÓN	75
3.14.1	MOTOR DELANTERO. VEHÍCULOS CON PROPULSIÓN TRASERA	75
3.14.2	MOTOR DELANTERO. VEHÍCULOS CON TRACCIÓN DELANTERA	76
3.15	CHIRRIDO DEL ENGRANAJE DEL DIFERENCIAL.....	76
3.15.1	MOTOR DELANTERO. VEHÍCULOS CON PROPULSIÓN TRASERA	77
3.15.2	MOTOR DELANTERO. VEHÍCULOS CON TRACCIÓN DELANTERA	78
3.16	RUIDO DE ESCAPE Y ADMISIÓN DEL AIRE.....	78
3.17	SACUDIDA DEL EMBRAGUE O SALTO.....	79

3.18	VIBRACIÓN DE DESPEGUE O ACELERACIÓN	80
3.18.1	FLUCTUACIONES DEL PAR MOTOR	80
3.18.2	ÁNGULO DE JUNTA DE UN EJE PROPULSOR DE TRES JUNTAS .	80
3.19	VIBRACIÓN DE ARRANQUE	81
3.20	VIBRACIÓN DURANTE EL RALENTÍ	82
3.21	VIBRACIÓN DURANTE EL FRENADO	82
3.22	CHIRRIDO DE FRENADO	83
CAPÍTULO 4		85
	PRUEBAS Y RESULTADOS	85
4.1	INTRODUCCIÓN	85
4.1.1	VENTAJAS	87
4.1.2	DESVENTAJAS	87
4.2	PROTOCOLO DE PRUEBAS	87
4.2.1	EQUIPOS UTILIZADOS.....	89
4.2.2	PRUEBA CON DESBALANCEO DEL ÁRBOL DE TRANSMISIÓN.....	91
4.2.3	PRUEBA CON DESBALANCEO DEL MOTOR	93
4.2.4	PRUEBA CON DESBALANCEO DE LAS RUEDAS	93
4.3	ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	94
4.3.1	RESULTADOS DE LAS PRUEBAS CON DESBALANCEO DEL ÁRBOL DE TRANSMISIÓN	94
4.3.1.1	Acelerómetro en el volante de dirección	94
4.3.1.2	Acelerómetro en el asiento	98
4.3.1.3	Acelerómetro en el pedal del freno	103
4.3.1.4	Acelerómetro en el piso de la cabina	106
4.3.2	RESULTADOS DE LAS PRUEBAS CON DESBALANCEO DE LAS RUEDAS	108
4.3.2.1	Acelerómetro en el volante de dirección	109

4.3.2.2	Acelerómetro en el asiento	111
4.3.2.3	Acelerómetro en el pedal de freno	113
4.3.2.4	Acelerómetro en el piso de la cabina	115
4.3.3	RESULTADOS DE LAS PRUEBAS CON DESBALANCEO DEL MOTOR	117
4.3.3.1	Acelerómetro en el volante de dirección	117
4.3.3.2	Acelerómetro en el asiento	121
4.3.3.3	Acelerómetro en el pedal del freno	124
4.3.3.4	Acelerómetro en el piso de la cabina	128
CAPÍTULO 5		132
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		132
5.1	CONCLUSIONES	132
5.2	RECOMENDACIONES	134
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS		135
ANEXO 1.....		139
CATÁLOGO ANALIZADOR DE SEÑALES MULTICANAL ADQ.....		139

CONTENIDO DE FIGURAS

Figura 1-1 Sistema vibratorio de dos grados de libertad	3
Figura 1-2 Sistema masa-resorte, vibración libre	4
Figura 1-3 Diagrama de cuerpo libre del sistema masa resorte	5
Figura 1-4 Sistema vibratorio amortiguado.....	6
Figura 1-5 Diagrama de cuerpo libre del sistema masa-resorte-amortiguador.....	7
Figura 1-6 Sistema masa-resorte, vibración forzada	8
Figura 1-7 Diagrama de cuerpo libre del sistema masa resorte	9
Figura 1-8 Sistema vibratorio amortiguado, vibración forzada.....	10
Figura 1-9 Diagrama de cuerpo libre del sistema masa resorte	10
Figura 1-10 Respuesta de un sistema sobreamortiguado	11
Figura 1-11 Respuesta de un sistema sub amortiguado	12
Figura 1-12 Respuesta de un sistema en función del coeficiente de amortiguamiento.....	12
Figura 1-13 Nivel de presión sonora vs. Frecuencia	15
Figura 1-14 Rangos de frecuencia de oscilación asociados a los términos ruido, vibraciones y golpeteos.....	17
Figura 1-15 Movimiento armónico	18
Figura 1-16 Movimiento periódico	19
Figura 1-17 Movimiento aleatorio	19
Figura 1-18 Amplitud pico a pico	21
Figura 1-19 Amplitud pico.....	21
Figura 1-20 Valor RMS y promedio	22
Figura 1-21 Orbitas descritas por un rotor desbalanceado y con eje agrietado para diferentes velocidades de rotación	24
Figura 1-22 Recolector portátil	26
Figura 1-23 Sistema de monitoreo en línea.....	26
Figura 1-24 Sistema escaneado.....	27
Figura 1-25 Esquema de un acelerómetro piezoeléctrico	29
Figura 1-26 Esquema de un acelerómetro piezoresistivo.....	30
Figura 1-27 Configuración y aspecto físico de un transductor de desplazamiento LDVT	31
Figura 1-28 Sonda de medición Eddy	31

Figura 1-29 Transductor de desplazamiento capacitivo	32
Figura 1-30 Transductor de velocidad	33
Figura 2-1 Comparación entre curvas de potencia	37
Figura 2-2 Sección transversal de una rueda de disco	39
Figura 2-3 Elementos de un neumático	40
Figura 2-4 Ángulo de caída	41
Figura 2-5 Avance del pivote	41
Figura 2-6 Inclinación del eje de la dirección o ángulo Kingpin	42
Figura 2-7 Ángulo de base	42
Figura 2-8 Radio de giro	43
Figura 2-9 Desequilibrio estático	45
Figura 2-10 Desequilibrio dinámico	46
Figura 2-11 Medición del alabeo	46
Figura 2-12 Medición de la excentricidad	47
Figura 2-13 Fuerzas sobre una rueda	48
Figura 2-14 Esquema de la transmisión con motor delantero y tracción delantera	49
Figura 2-15 Esquema de la transmisión con motor delantero y propulsión trasera	49
Figura 2-16 Esquema de la transmisión de un vehículo con motor trasero y propulsión trasera	50
Figura 2-17 Esquema de la transmisión de un vehículo con tracción en las cuatro ruedas	51
Figura 2-18 Tracción parcial 4WD	51
Figura 2-19 Tracción total 4WD	52
Figura 3-1 Sacudida de la carrocería	55
Figura 3-2 Mecanismo de generación de la sacudida de la carrocería	56
Figura 3-3 Sacudidas alternas	56
Figura 3-4 Mecanismo de generación del aleteo de la dirección	58
Figura 3-5 Oscilación de la dirección	59
Figura 3-6 Vibración del pedal de la aceleración	60
Figura 3-7 Vibración de la palanca de cambios	61
Figura 3-8 Conducción incómoda, sacudidas por mal estado de la calzada	62

Figura 3-9 Peso suspendido y no suspendido y su influencia en las vibraciones	63
Figura 3-10 Tipos de sacudidas provocados por el estado del camino	63
Figura 3-11 Golpeteo por impacto longitudinal	64
Figura 3-12 Generación del ruido debido al patrón del neumático	66
Figura 3-13 Ruido de estruendo debido a ángulo de junta	67
Figura 3-14 Vibración del tubo de escape	68
Figura 3-15 Sonidos de frecuencias diferentes A y B solapados	69
Figura 3-16 Deslizamiento del convertidor y fluctuación del par motor	70
Figura 3-17 Golpeteos debido a la reducción de la relación diferencial: a) Golpeteo rápido; b) Golpeteo lento	72
Figura 3-18 Ruido del motor y del sistema de admisión y escape	73
Figura 3-19 Fuentes de ruido aerodinámico	74
Figura 3-20 Zonas que generan ruido por fugas de aire	75
Figura 3-21 Holgura en los engranajes de la transmisión	76
Figura 3-22 Engranaje diferencial	77
Figura 3-23 Ruido generado en el engranaje diferencial: vehículo con propulsión trasera	78
Figura 3-24 Ruido generado en el engranaje diferencial: vehículo con tracción delantera	78
Figura 3-25 Tiempos de un motor de combustión y flujos creados en el interior	79
Figura 3-26 Ruido generado por ángulo de junta	81
Figura 4-1 Disposición de los acelerómetros dentro de la cabina	85
Figura 4-2 Vehículo utilizado para realizar las pruebas	86
Figura 4-3 Instalaciones del CCICEV	86
Figura 4-4 Vehículo ubicado sobre el dinamómetro	88
Figura 4-5 Vehículo ubicado sobre el dinamómetro	88
Figura 4-6 ADQ interconectado a la PC para monitoreo de vibraciones	88
Figura 4-7 Interfaz gráfica del dinamómetro: 10km/h – 100 km/h – 0km/h	89
Figura 4-8 Peso de desbalanceo en el árbol de transmisión	92
Figura 4-9 Pesas de balanceo de las ruedas	93
Figura 4-10 Comparación de formas de onda acelerómetro en el volante de dirección (velocidad RMS): Prueba de referencia arriba – Prueba con árbol desbalanceado abajo	94

Figura 4-11 Análisis de espectros de vibración a 210 rpm: Prueba de referencia arriba – Prueba con árbol desbalanceado abajo.....	95
Figura 4-12 Análisis de espectros de vibración a 500 rpm: Prueba de referencia arriba – Prueba con árbol desbalanceado abajo.....	96
Figura 4-13 Análisis de espectros de vibración a 320 rpm: Prueba de referencia arriba – Prueba con árbol desbalanceado abajo.....	97
Figura 4-14 Comparación de formas de onda acelerómetro en el asiento (velocidad RMS): Prueba de referencia arriba – Prueba con árbol desbalanceado abajo	98
Figura 4-15 Análisis de espectros de vibración a 380 rpm: Prueba de referencia arriba – Prueba con árbol desbalanceado abajo.....	99
Figura 4-16 Análisis de espectros de vibración a 630 rpm: Prueba de referencia arriba – Prueba con árbol desbalanceado abajo.....	100
Figura 4-17 Análisis de espectros de vibración a 580 rpm: Prueba de referencia arriba – Prueba con árbol desbalanceado abajo.....	101
Figura 4-18 Análisis de espectros de vibración a 380 rpm: Prueba de referencia arriba – Prueba con árbol desbalanceado abajo.....	102
Figura 4-19 Comparación de formas de onda acelerómetro en el pedal de freno (velocidad RMS): Prueba de referencia arriba – Prueba con árbol desbalanceado abajo	103
Figura 4-20 Análisis de espectros de vibración a 270 rpm: Prueba de referencia arriba – Prueba con árbol desbalanceado abajo.....	104
Figura 4-21 Análisis de espectros de vibración a 560 rpm: Prueba de referencia arriba – Prueba con árbol desbalanceado abajo.....	105
Figura 4-22 Comparación de formas de onda acelerómetro en el piso de la cabina (velocidad RMS): Prueba de referencia arriba – Prueba con árbol desbalanceado abajo	106
Figura 4-23 Análisis de espectros de vibración a 420 rpm: Prueba de referencia arriba – Prueba con árbol desbalanceado abajo.....	107
Figura 4-24 Análisis de espectros de vibración a 230 rpm: Prueba de referencia arriba – Prueba con árbol desbalanceado abajo.....	108

Figura 4-25 Comparación de formas de onda acelerómetro en el volante de dirección (velocidad RMS): Prueba de referencia arriba – Prueba con ruedas desbalanceadas abajo	109
Figura 4-26 Análisis de espectros de vibración a 890 rpm: Prueba de referencia arriba – Prueba con ruedas desbalanceadas abajo	110
Figura 4-27 Comparación de formas de onda acelerómetro en el asiento (velocidad RMS): Prueba de referencia arriba – Prueba con ruedas desbalanceadas abajo	111
Figura 4-28 Análisis de espectros de vibración a 900 rpm: Prueba de referencia arriba – Prueba con ruedas desbalanceadas abajo	112
Figura 4-29 Comparación de formas de onda acelerómetro en el pedal de freno (velocidad RMS): Prueba de referencia arriba – Prueba con ruedas desbalanceadas abajo	113
Figura 4-30 Análisis de espectros de vibración a 890 rpm: Prueba de referencia arriba – Prueba con ruedas desbalanceadas abajo	114
Figura 4-31 Comparación de formas de onda, acelerómetro en el piso de la cabina (velocidad RMS): Prueba de referencia arriba – Prueba con ruedas desbalanceadas abajo	115
Figura 4-32 Análisis de espectros de vibración a 920 rpm: Prueba de referencia arriba – Prueba con ruedas desbalanceadas abajo	116
Figura 4-33 Comparación de formas de onda, acelerómetro en el volante de dirección (velocidad RMS): Prueba de referencia arriba – Prueba con motor desbalanceado abajo	117
Figura 4-34 Análisis de espectros de vibración a 190 rpm: Prueba de referencia arriba – Prueba con motor desbalanceado, armónicos de la frecuencia de las ruedas al centro, armónicos de la frecuencia del motor abajo	118
Figura 4-35 Análisis de espectros de vibración a 400 rpm: Prueba de referencia arriba – Prueba con motor desbalanceado, armónicos de la frecuencia de las ruedas al centro, armónicos de la frecuencia del motor abajo	119
Figura 4-36 Análisis de espectros de vibración a 402 rpm: Prueba de referencia arriba – Prueba con motor desbalanceado, armónicos de la frecuencia de las ruedas al centro, armónicos de la frecuencia del motor abajo	120

Figura 4-37 Comparación de formas de onda, acelerómetro en el asiento (velocidad RMS): Prueba de referencia arriba – Prueba con motor desbalanceado abajo	121
Figura 4-38 Análisis de espectros de vibración a 190 rpm: Prueba de referencia arriba – Prueba con motor desbalanceado, armónicos de la frecuencia de las ruedas al centro, armónicos de la frecuencia del motor abajo	122
Figura 4-39 Análisis de espectros de vibración a 400 rpm: Prueba de referencia arriba – Prueba con motor desbalanceado, armónicos de la frecuencia de las ruedas al centro, armónicos de la frecuencia del motor abajo	123
Figura 4-40 Comparación de formas de onda, acelerómetro en el pedal del freno (velocidad RMS): Prueba de referencia arriba – Prueba con motor desbalanceado abajo	124
Figura 4-41 Análisis de espectros de vibración a 200 rpm: Prueba de referencia arriba – Prueba con motor desbalanceado, armónicos de la frecuencia de las ruedas al centro, armónicos de la frecuencia del motor abajo	125
Figura 4-42 Análisis de espectros de vibración a 270 rpm: Prueba de referencia arriba – Prueba con motor desbalanceado, armónicos de la frecuencia de las ruedas al centro, armónicos de la frecuencia del motor abajo	126
Figura 4-43 Análisis de espectros de vibración a 380 rpm: Prueba de referencia arriba – Prueba con motor desbalanceado abajo.....	127
Figura 4-44 Comparación de formas de onda, acelerómetro en el piso de la cabina (velocidad RMS): Prueba de referencia arriba – Prueba con motor desbalanceado abajo	128
Figura 4-45 Análisis de espectros de vibración a 220 rpm: Prueba de referencia arriba – Prueba con motor desbalanceado, armónicos de la frecuencia de las ruedas al centro, armónicos de la frecuencia del motor abajo	129
Figura 4-46 Análisis de espectros de vibración a 300 rpm: Prueba de referencia arriba – Prueba con motor desbalanceado, armónicos de la frecuencia de las ruedas al centro, armónicos de la frecuencia del motor abajo	130
Figura 4-47 Análisis de espectros de vibración a 380 rpm: Prueba de referencia arriba – Prueba con motor desbalanceado abajo.....	131

CONTENIDO DE TABLAS

Tabla 1-1 Percepción de vibraciones y sonidos.....	14
Tabla 1-2 Nivel de presión sonora de diferentes fuentes sonoras	16
Tabla 1-3 Rango típico de frecuencias de diferentes transductores	33
Tabla 4-1 Especificaciones técnicas del dinamómetro	89
Tabla 4-2 Especificaciones técnicas del juego de rodillos	90
Tabla 4-3 Especificaciones técnicas del Analizador de vibraciones	90
Tabla 4-4 Especificaciones técnicas de los acelerómetros.....	91
Tabla 4-5 Datos del vehículo de prueba	91

RESUMEN

En el presente proyecto se realiza un estudio de las vibraciones que pueden aparecer en un vehículo durante la conducción, y que pueden representar una molestia y falta de confort para el usuario.

Cuando el vehículo presenta vibraciones al momento de la conducción, estas no necesariamente son inherentes al funcionamiento normal del mismo; por lo cual es necesario conocer cuales son los síntomas que representan un mal estado del vehículo y que necesitan de una acción correctiva.

Para realizar el estudio se analiza cuáles son los problemas más comunes que pueden aparecer en el vehículo y cuyos síntomas son vibraciones perceptibles al interior de la cabina, como son, entre otros, las vibraciones excesivas del motor, las vibraciones en la carrocería o en componentes del interior de la cabina como el tablero, el volante, la palanca de cambios, etc.; determinar sus posibles causas y las soluciones.

La metodología utilizada es la de análisis de espectros de vibración en el dominio del tiempo y de la frecuencia. Se realiza un caso práctico con un vehículo, al cual se monitorea por medio de un analizador de vibraciones a fin de obtener niveles de vibraciones en funcionamiento normal para establecerlos como referencia. Luego de esto se procede a inducir vibraciones en el vehículo simulando tres de las fallas más comunes que sufre un automóvil para obtener espectros de vibración para cada uno de estos y compararlos con los espectros de referencia.

Las tres fallas provocadas en el automóvil son las siguientes:

- Desbalanceo en el árbol de transmisión
- Desbalanceo de las ruedas
- Desequilibrio del motor

ABSTRACT

In the present project, a study of vibration that appears and makes uncomfortable the driving of a vehicle is made.

When a vehicle presents vibration during the driving, they are not necessarily inherent in normal functioning; so it is necessary to know what the malfunction symptoms that require corrective action are.

For the study is discussed what the more common problems with vibration symptoms that can be perceived inside the vehicle are; such as excessive vibration in engine, vibration in bodywork or in elements inside the car like panel, wheel, gear lever, etc. It is also discussed what the possible causes and solutions are.

The vibration spectrum analysis in time and frequency domain is used for the study. A practical case with a vehicle is presented, in which utilizing a vibration analyzer, the vibration in normal functioning is obtained. These data is established as reference. After that, vibration is induced by simulating three of the most common failures in a vehicle to obtain vibration spectra for each one and compare them with the reference spectra.

The three failures induced in the car are:

- Drive shaft imbalance
- Tire imbalance
- Engine imbalance

PRESENTACIÓN

El presente proyecto busca proporcionar una guía práctica para los usuarios de automóviles livianos que les facilite la identificación de problemas que presenten como síntomas vibraciones excesivas el momento de la conducción. Esto debido a que el usuario no tiene un conocimiento profundo del funcionamiento de un vehículo, ni de su mantenimiento; por lo tanto esta información proporcionada le será de gran utilidad al momento de encontrarse con vibraciones anormales al conducir su vehículo. Los objetivos son aplicar la teoría de vibraciones enfocada a las vibraciones en vehículos, establecer los parámetros de vibraciones perceptibles para el ser humano y las posibles fuentes de generación, e identificar las vibraciones que producen las partes móviles de un vehículo liviano perceptibles por el conductor.

Este estudio se lo realiza debido a que es necesario tener en cuenta que además de causar una molestia, estas vibraciones pueden ser síntomas de anomalías, que a la larga van a acarrear problemas mayores en el vehículo; por lo que a través del análisis de vibraciones podemos anticiparnos a estos eventos indeseables.

Además, el conocimiento de los síntomas facilita el diagnóstico del estado del vehículo, pues permite descartar varios problemas y enfocarse en aquellos que presentan síntomas similares, para de esta manera encontrar rápidamente las fuentes de generación de vibraciones y poder realizar acciones correctivas sobre el origen de las fallas.

En el primer capítulo se presenta la información teórica acerca de vibraciones, sus tipos, el análisis matemático de cada uno; y finalmente se establece las bases teóricas del análisis de vibraciones, sus técnicas; y los equipos y sensores que se pueden utilizar, con su respectivo principio de funcionamiento.

El segundo capítulo describe el origen y los procesos de transmisión de las vibraciones. Por otra parte se describen las fuerzas de excitación más comunes que se pueden presentar en un vehículo.

En el tercer capítulo se establece cuales son los problemas que se presentan más a menudo en un vehículo, cuyos síntomas son vibraciones perceptibles por el usuario; sus posibles causas, la forma en que se transmiten desde la fuente hasta el habitáculo del vehículo y cuál es la solución para cada uno de estos.

El cuarto capítulo muestra un caso práctico de problemas en un vehículo CHEVROLET GRAND VITARA, el protocolo de pruebas que se realizaron en el vehículo, los datos obtenidos de las mismas y su posterior tratamiento y análisis de resultados.

Por último en el quinto capítulo se muestran las conclusiones y recomendaciones obtenidas del presente proyecto.

CAPÍTULO 1

FUNDAMENTO TEÓRICO

1.1 INTRODUCCIÓN

Las vibraciones pueden estar presentes en un sinnúmero de actividades de nuestra vida cotidiana, al conducir un automóvil, al operar maquinaria e incluso al practicar algún deporte.

En la práctica podemos encontrar vibraciones en todas las máquinas sin excepción. En ciertos motores, se tienen niveles de vibración y ruido que son inherentes al funcionamiento normal del propio motor, por ejemplo el sonido característico de un motor Diesel, en el cual se tienen niveles de vibración mayores a los presentes en un motor Otto.

Es muy común en todos los usuarios de vehículos de combustión interna que durante su uso diario detecten ruidos y vibraciones, pero no necesariamente están vinculados al funcionamiento normal del vehículo; sino que proceden de otras fuentes, pero que definitivamente causan una molestia e incomodan al usuario.

Es por esto que resulta imprescindible localizar las fuentes que producen estos molestos ruidos y/o vibraciones, para determinar si son causados por anomalías que a la larga traerán consecuencias indeseables para el funcionamiento del vehículo, y poder establecer una alternativa de corrección.

Para realizar correctamente la localización y solución de problemas de vibraciones y ruidos, conviene tener conocimientos profundos sobre éstos y comprender los mecanismos que los generan.

Por ello el análisis de vibraciones se convierte en una herramienta de mucha utilidad al momento de realizar un diagnóstico sobre el estado de un vehículo.

El estudio de las vibraciones se refiere a los movimientos de los cuerpos y a las fuerzas asociadas con ellos. Todos los cuerpos que poseen masa y elasticidad, son capaces de vibrar.

1.2 VIBRACIÓN

Se puede definir una vibración como la oscilación o el movimiento repetitivo de un sistema alrededor de una posición de equilibrio. Una vibración se genera cuando el sistema es desplazado desde su posición de equilibrio estable, entonces este trata de regresar a dicha posición, bajo la acción de fuerzas de restitución elásticas o gravitacionales, describiendo un movimiento de vaivén hasta alcanzar su posición de equilibrio. La posición de equilibrio es aquella que el sistema alcanzará cuando la fuerza que actúa sobre él sea cero. Las vibraciones se caracterizan por su período, frecuencia y amplitud.

Período.-El período se define como el intervalo de tiempo necesario para que el sistema efectúe un ciclo completo de movimiento.

Frecuencia.- La frecuencia es el número de veces por segundo que se realiza el ciclo completo de oscilación y se mide en Hertzios (Hz) o ciclos por segundo (cps).

Amplitud.- La amplitud indica la intensidad de la vibración del sistema y se puede medir en: aceleración (m/s^2), en velocidad (m/s) y en desplazamiento (m).

Dirección.- Las vibraciones pueden producirse en tres direcciones lineales y en tres rotacionales. Los ejes lineales se pueden designar como eje x (longitudinal), eje y (lateral) y eje z (vertical) Las rotaciones alrededor de los ejes x, y, z se designan como r_x (balanceo), r_y (cabeceo) y r_z (deriva), respectivamente.

1.3 VIBRACIÓN DE CUERPO ENTERO

Se denomina vibración de cuerpo entero cuando todas las partes del cuerpo se mueven juntas en la misma dirección en cualquier momento.

Grados de libertad.- Son los parámetros necesarios o variables independientes necesarias para definir de forma unívoca la configuración del sistema vibratorio. Por ejemplo, el sistema de la Figura 1.1 tiene dos grados de libertad que son las coordenadas x_1 y x_2 que determinan la posición de cada bloque respecto a su posición de referencia.^[3]

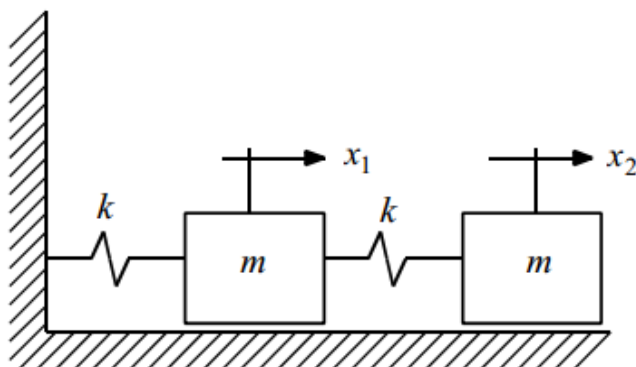


Figura 1-1 Sistema vibratorio de dos grados de libertad

FUENTE: AVELLO, A.; "Tecnun, Capítulo 9: Vibraciones en sistemas de un grado de libertad"; Universidad de Navarra; pág. 187

El movimiento vibratorio de un cuerpo entero se puede describir completamente como una combinación de movimientos individuales de 6 diferentes tipos:

Movimientos de traslación en tres direcciones ortogonales x , y , z , y movimientos de rotación alrededor de los ejes x , y , z .

Es posible descomponer cualquier tipo de movimiento de un cuerpo entero, por complejo que sea, en una combinación de esos seis movimientos. A estos cuerpos se dice que poseen seis grados de libertad.

Por otra parte, si se supone que un objeto tiene restringido el movimiento en todas las direcciones excepto en una, como por ejemplo el péndulo de un reloj que solamente se puede mover en un plano, se dice que es un sistema con un solo grado de libertad.

1.4 TIPOS DE VIBRACIONES

Existen dos tipos de vibraciones: vibraciones libres y vibraciones forzadas

1.4.1 VIBRACIÓN LIBRE

Cualquier sistema elástico es capaz de vibrar libremente a consecuencia de un impulso inicial, donde el movimiento es mantenido únicamente por las fuerzas de restitución inherentes a dicho sistema. El sistema bajo vibración libre vibrará en una o más de sus frecuencias naturales, dependientes de la distribución de su masa, rigidez y grados de libertad.

1.4.1.1 Vibración libre no amortiguada

Este tipo de vibración se presenta cuando el sistema no está sometido a la acción de una fuerza perturbadora externa y tampoco posee amortiguamiento.

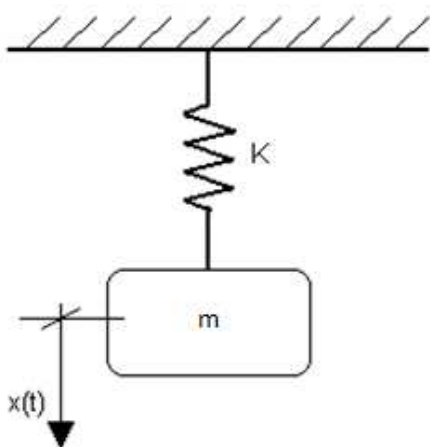


Figura 1-2 Sistema masa-resorte, vibración libre

FUENTE: Propia

Suponiendo que al sistema de la Figura 1-2 se le mueve de su posición de equilibrio estirando el resorte y soltándolo nuevamente, se producirá vibración libre pues en el sistema sólo actuarían las fuerzas inherentes a él, sin acción de

ninguna fuerza externa. De igual forma ninguno de sus componentes absorben energía por lo cual no existe amortiguamiento.

Al realizar el diagrama de cuerpo libre para este sistema se tiene:

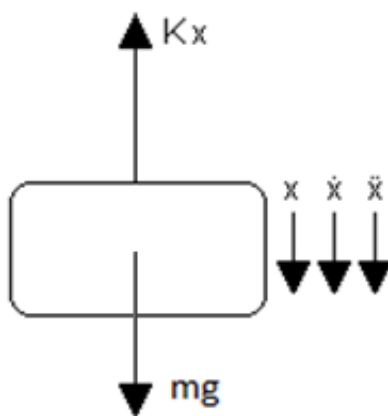


Figura 1-3 Diagrama de cuerpo libre del sistema masa resorte

FUENTE: Propia

Se debe tener en cuenta que en el punto de equilibrio estable del sistema, el resorte se encuentra estirado una magnitud δ debido al peso del cuerpo suspendido. Es decir:

$$k\delta = mg$$

Si se realiza la sumatoria de fuerzas actuantes en el sistema se tiene:

$$\sum F_x = ma$$

$$mg - k(x + \delta) = m\ddot{x}$$

$$mg - kx - k\delta = m\ddot{x}$$

$$-kx = m\ddot{x}$$

Donde al reordenar y dividir para la masa m se tiene:

$$\ddot{x} + \frac{k}{m}x = 0$$

$$\ddot{x} + w_n^2 x = 0$$

Por lo tanto:

$$w_n^2 = \frac{k}{m}$$

$$w_n = \sqrt{\frac{k}{m}}$$

Donde w_n se la conoce como la frecuencia natural de vibración del sistema. Esta frecuencia depende de la masa y de la rigidez del sistema, que son propiedades naturales del sistema cuando éste está en vibración libre.

1.4.1.2 Vibración libre amortiguada

Este tipo de vibración se presenta en sistemas que poseen elementos que absorben energía. Estos elementos se los conoce como amortiguadores y su capacidad de absorción de energía está dada por el coeficiente de amortiguamiento "c" que está en unidades de fuerza sobre velocidad.

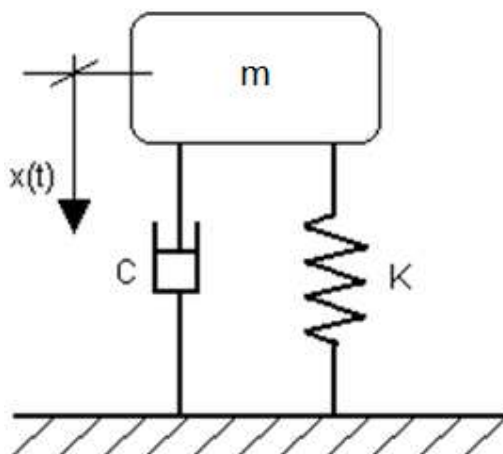


Figura 1-4 Sistema vibratorio amortiguado

FUENTE: Propia

Análogamente al suponer que al sistema de la Figura 1-4 se le mueve de su posición de equilibrio estirando el resorte y soltándolo nuevamente, se producirá

vibración libre pues en el sistema sólo actuarían las fuerzas inherentes a él, sin acción de ninguna fuerza externa. Pero en este caso el amortiguador absorberá energía.

Al realizar el diagrama de cuerpo libre para este sistema se tiene:

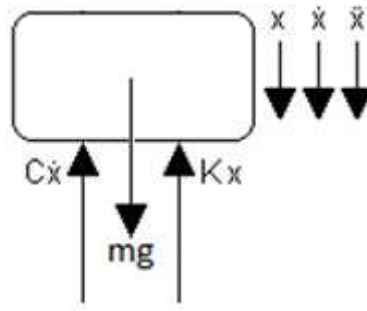


Figura 1-5 Diagrama de cuerpo libre del sistema masa-resorte-amortiguador

FUENTE: Propia

Si se realiza la sumatoria de fuerzas actuantes en el sistema se tiene:

$$\sum F_x = ma$$

$$mg - c\dot{x} - k(x + \delta) = m\ddot{x}$$

Al reordenar y dividir para la masa m se tiene:

$$\ddot{x} + \frac{c}{m}\dot{x} + \frac{k}{m}x = 0$$

$$\ddot{x} + 2\xi\omega_n\dot{x} + \omega_n^2x = 0$$

Por lo tanto:

ξ =Factor de amortiguamiento

$$\xi = \frac{c}{c_{cr}}$$

c_{cr} =Coeficiente crítico de amortiguamiento

$$c_{cr} = 2m\omega_n$$

1.4.2 VIBRACIÓN FORZADA

Cuando al sistema se le aplican fuerzas perturbadoras externas, el movimiento resultante es una vibración forzada. Cuando la excitación es oscilatoria, ya sea periódica o no, el sistema es obligado a vibrar a la frecuencia de excitación.

De la misma manera en vibraciones forzadas se tienen dos subgrupos: las vibraciones forzadas sin amortiguamiento y las vibraciones forzadas amortiguadas.

1.4.2.1 Vibración forzada sin amortiguamiento

Este tipo de vibración se presenta cuando el sistema se encuentra sometido a la acción de una fuerza perturbadora externa pero no posee amortiguamiento.

Suponiendo que al sistema de la Figura 1-2 se le aplica una fuerza externa $f(t)$, como se muestra en la Figura 1-6.

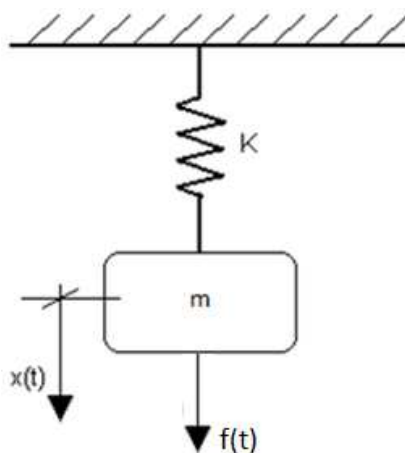


Figura 1-6 Sistema masa-resorte, vibración forzada

FUENTE: Propia

Si la fuerza externa $f(t)$ perturba el sistema y suponiendo que esta fuerza es oscilatoria entonces se genera una vibración forzada sobre el sistema, de frecuencia igual al de la fuerza externa. Ninguno de sus componentes absorben energía por lo cual no existe amortiguamiento.

Al realizar el diagrama de cuerpo libre para este sistema se tiene:

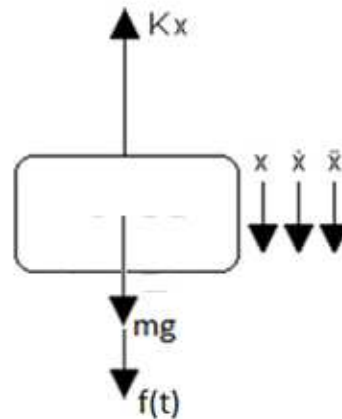


Figura 1-7 Diagrama de cuerpo libre del sistema masa resorte

FUENTE: Propia

Si se realiza la sumatoria de fuerzas actuantes en el sistema se tiene:

$$\sum F_x = ma$$

$$mg - k(x + \delta) = m\ddot{x}$$

Al reordenar y dividir para la masa m se tiene:

$$\ddot{x} + \frac{k}{m}x = f(t)$$

$$\ddot{x} + \omega_n^2 x = f(t)$$

1.4.2.2 Vibración forzada amortiguada

Este tipo de vibración se presenta en sistemas que además de estar bajo la acción de fuerzas externas poseen elementos que absorben energía.

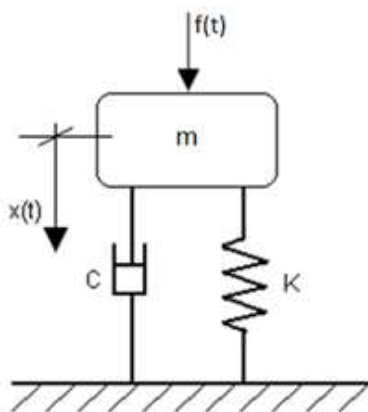


Figura 1-8 Sistema vibratorio amortiguado, vibración forzada

FUENTE: Propia

Al ejercer una fuerza externa en el sistema de la Figura 1-4 se obtiene un sistema bajo vibración forzada amortiguada como el de la Figura 1-8.

Al realizar el diagrama de cuerpo libre para este sistema se tiene:

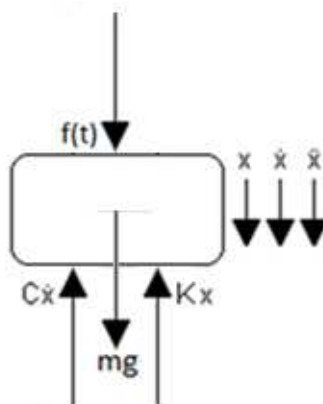


Figura 1-9 Diagrama de cuerpo libre del sistema masa resorte

FUENTE: Propia

Si se realiza la sumatoria de fuerzas actuantes en el sistema se tiene:

$$\sum F_x = ma$$

$$mg - c\dot{x} - k(x + \delta) + f(t) = m\ddot{x}$$

Al reordenar y dividir para la masa m se tiene:

$$\ddot{x} + \frac{c}{m}\dot{x} + \frac{k}{m}x = f(t)$$

$$\ddot{x} + 2\xi\omega_n\dot{x} + \omega_n^2x = f(t)$$

Cuando existe vibración amortiguada, se presentan tres casos dependiendo del valor del factor de amortiguamiento ξ .

1.4.2.3 Caso 1: $\xi > 1$

Cuando el factor de amortiguamiento es mayor que 1, el amortiguamiento está por encima del crítico, y se tiene un movimiento con sobre amortiguamiento o se dice que el sistema está sobre amortiguado.

En este caso el sistema no oscila pero retorna a su posición de equilibrio lentamente.

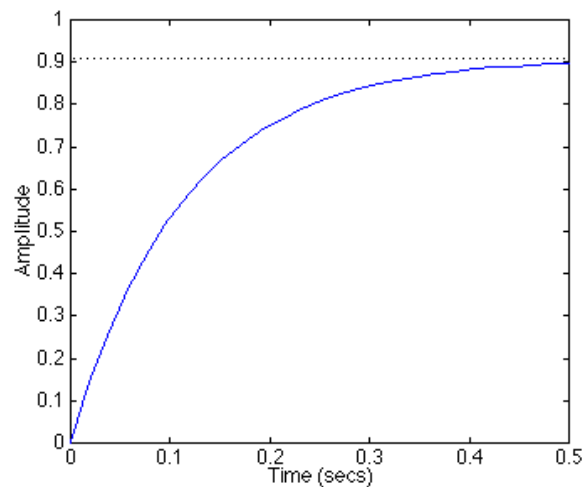


Figura 1-10 Respuesta de un sistema sobreamortiguado

FUENTE: Tutorial de Análisis y Diseño de la Respuesta en Frecuencia University of Michigan - http://www.ib.cnea.gov.ar/~instycti/Tutorial_Matlab_esp/freq.html

1.4.2.4 Caso 2: $\xi < 1$

Cuando el factor de amortiguamiento es menor que 1, el amortiguamiento está por debajo del crítico. El movimiento que se genera es de forma armónica, es

decir, el sistema oscila alrededor de su posición de equilibrio pero su amplitud decrece de manera progresiva.

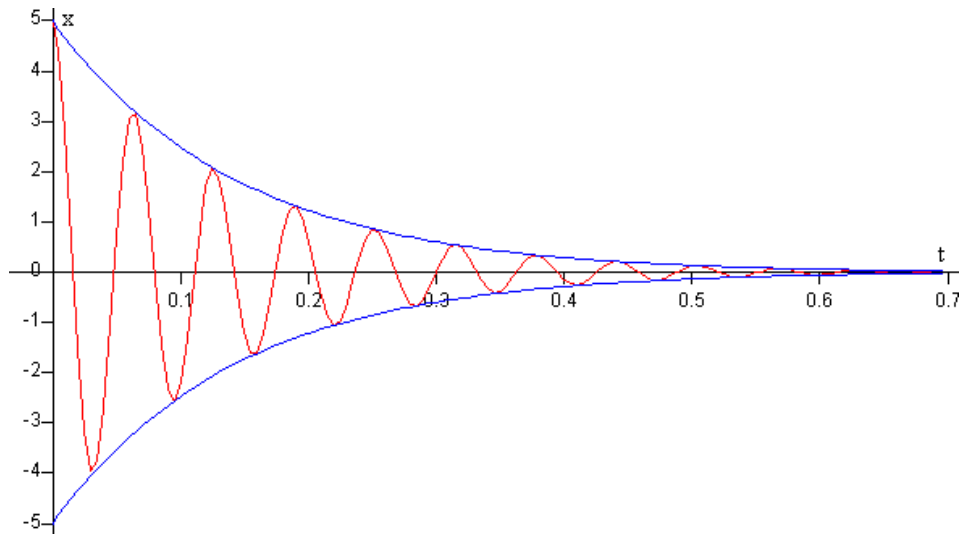


Figura 1-11 Respuesta de un sistema sub amortiguado

FUENTE: http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica_/oscilaciones/lineales/amortiguadas/amortiguadas.xhtml

1.4.2.5 Caso 3: $\xi = 1$

Cuando el factor de amortiguamiento es igual a 1, el sistema retorna a su posición de equilibrio sin oscilar. Por tal razón es llamado sistema críticamente amortiguado o sistema con amortiguamiento crítico.

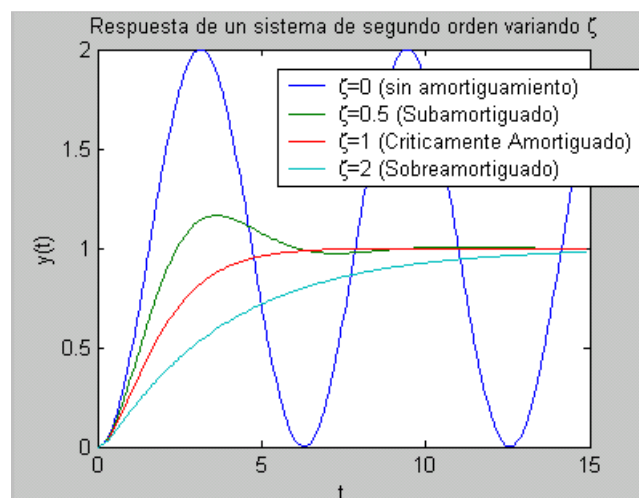


Figura 1-12 Respuesta de un sistema en función del coeficiente de amortiguamiento

FUENTE: <http://ingeniedia.blogspot.com/2011/03/sistema-de-segundo-orden-ejemplo.html>

1.5 SONIDO

El sonido es una onda mecánica que se propaga únicamente en presencia de un medio elástico, generalmente un fluido, transportando energía y no materia. Como las vibraciones que se producen tienen la misma dirección de propagación del sonido, se trata de ondas longitudinales.

Desde el punto de vista de la física, el sonido es cualquier fenómeno que involucre la propagación en forma de ondas elásticas, sean audibles o no.

Cada molécula del medio de propagación entra en oscilación en torno a su punto de reposo; es decir, el desplazamiento que sufre cada molécula es pequeño, pero el movimiento se propaga a través del medio. Entre la fuente sonora y el receptor se tiene una transmisión de energía pero no un traslado de materia.

1.5.1 CARACTERÍSTICAS DEL SONIDO

Cualquier sonido puede describirse por medio de tres características: *intensidad*, *tono* y *timbre*. Estas características corresponden a tres magnitudes físicas: amplitud, frecuencia y la forma de onda o contenido armónico.^[18]

Intensidad.- Está asociada con el nivel de presión sonora y suele expresarse en dB. Sin embargo, el oído no percibe por igual las variaciones de presión a diferentes frecuencias.

Tono.- Llamado también altura, es la característica por la cual se dice que los sonidos son altos o agudos y otros bajos o graves. El tono de un sonido depende de la frecuencia de vibración.

Timbre.- Es la característica del sonido que permite al oyente identificar las características de la fuente y poder distinguir el sonido de un determinado instrumento musical o la voz de una cierta persona.

1.6 PERCEPCIÓN DE SONIDOS, RANGO AUDIBLE

El sonido que el ser humano es capaz de percibir consiste en ondas sonoras que poseen una frecuencia entre 20 y 20000 Hz que producen oscilaciones de la presión del aire, que son convertidas en ondas mecánicas en el oído humano y percibidas por el cerebro.

La percepción de vibraciones y sonidos depende de la frecuencia:

Tabla 1-1 Percepción de vibraciones y sonidos

FRECUENCIA	PERCEPCIÓN
< 20 Hz	Sólo vibración
20 – 200 Hz	Vibración y sonido
200 – 20000 Hz	Sólo sonido
20 – 20000 Hz	Rango audible
> 20000 Hz	Ondas ultrasónicas

FUENTE: MIYARA, F.; "Niveles sonoros"

1.7 RUIDO

El ruido puede ser definido como un sonido no deseado y molesto, ya sea debido a su incoherencia o a su intensidad.

El problema con el ruido no es únicamente que sea no deseado, sino también que afecta negativamente la salud y el bienestar humanos. Algunos de los inconvenientes producidos por el ruido son la pérdida auditiva, el estrés, la alta presión sanguínea, la pérdida de sueño, la distracción y la pérdida de productividad, así como una reducción general de la calidad de vida y la tranquilidad.

1.7.1 NIVEL DE PRESIÓN SONORA

Presión sonora.- Se define como la diferencia entre la presión instantánea debido al sonido y la presión atmosférica, y de igual manera se mide en Pascales (Pa). Sin embargo, la presión sonora tiene en general valores mucho menores que el correspondiente a la presión atmosférica.

Nivel de presión sonora.- El nivel de presión sonora (NPS) nos permite distinguir entre sonidos fuertes y débiles. La unidad es el decibelio cuyo símbolo es dB, y corresponde a una escala logarítmica debido a que existe un margen elevado entre el umbral de audición y el umbral de dolor.^[13]

El nivel de presión sonora L_p se puede definir como:

$$L_p = 20 \log \left(\frac{P}{P_{ref}} \right)$$

Donde:

P = Presión sonora

P_{ref} = Presión de referencia (presión de un tono apenas audible, 20 μ Pa)

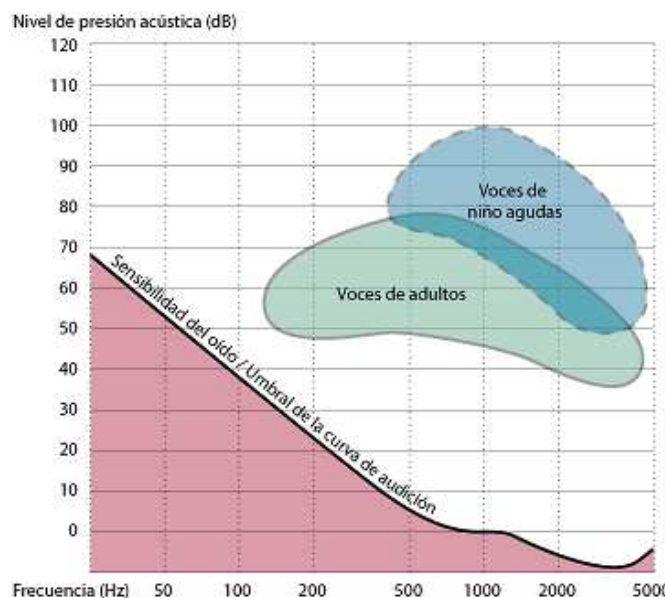


Figura 1-13 Nivel de presión sonora vs. Frecuencia

FUENTE: <http://www.rockfon.es/acustica/la+funcion+de+los+legisladores/nivel+de+presion+acustica>

El nivel de presión sonora dentro del rango audible varía entre 0 dB y 120 dB. Los sonidos de más de 120 dB pueden causar daños inmediatos e irreversibles, además de ser bastante dolorosos para la mayoría de las personas.¹

Tabla 1-2 Nivel de presión sonora de diferentes fuentes sonoras

FUENTE	NPS (dB)
Motor de jet	150
Umbral de dolor	130
Martillo neumático, Concierto de rock	110
Petardos	100
Tráfico urbano	90
Reloj despertador	80
Automóvil silencioso a 2m	70
Conversación	60
Biblioteca	30
Estudio de radiodifusión	20
Umbral de audición	0

FUENTE:MIYARA, F.; "NoisePollutionClearinghouse:Nivelessonoros"

1.8 RUIDO VIBRACIONES Y GOLPETEOS (NOISE, VIBRATION AND HARSHNESS - NVH)

La abreviación NVH hace referencia al estudio de oscilaciones tanto acústicas como mecánicas en los vehículos y la percepción de los usuarios. *Ruido* hace referencia en el lenguaje coloquial a un sonido molesto y no deseado. El término *vibración* engloba las vibraciones sufridas por la estructura (no siempre audibles pero perceptibles al tacto) que pueden tener un efecto perjudicial en la fiabilidad y

¹<http://www.rockfon.es/acustica/la+funcion+de+los+legisladores/nivel+de+presion+acustica>

la eficiencia de los componentes. Por último el término *golpeteos* se refiere comúnmente al tratamiento de efectos vibro-acústicos transitorios de corta duración como impactos, sacudidas o choques que pueden llegar a poner en peligro la integridad de la estructura.

La reducción de los ruidos, vibraciones y golpeteos generados en los vehículos es una prioridad importante dentro de la industria automotriz. En general, los niveles de ruido y vibraciones están directamente asociados a la calidad de un vehículo.

En la Figura 1-14 se muestra los rangos de frecuencia asociados a los términos ruido, vibraciones y golpeteos.

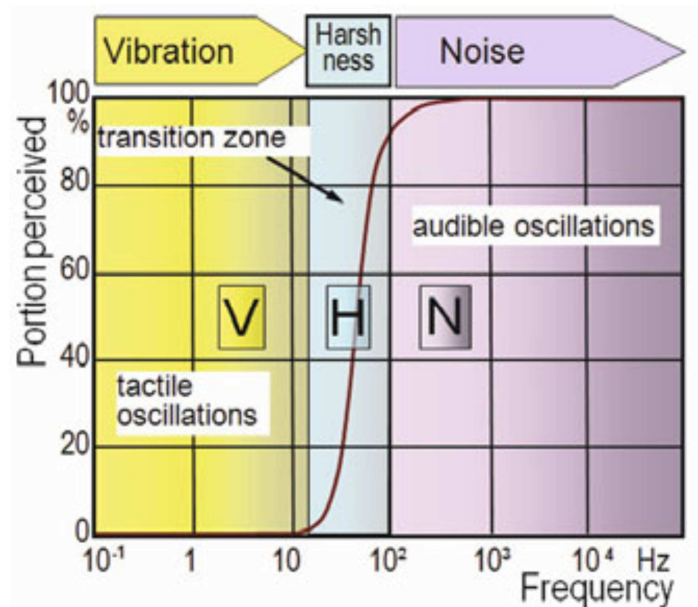


Figura 1-14 Rangos de frecuencia de oscilación asociados a los términos ruido, vibraciones y golpeteos

FUENTE: HEIßING, B., ERSOY, M.; "Chassis Handbook: Fundamentals, Driving Dynamics, Components, Mechatronics, Perspectives"; pág. 421

1.9 ANÁLISIS DE VIBRACIONES

Debido a que no se puede determinar la frecuencia y la amplitud de una vibración a través de la vista o el tacto, es necesario utilizar un medio para poder medirlas y obtener datos que puedan ser analizados. La mejor solución es transformar las vibraciones mecánicas en señales eléctricas.

Para poder entender el análisis de vibraciones y los espectros que se generan es necesario tener presente los tipos de movimientos que puede presentar el o los elementos a ser monitoreados. El movimiento puede ser armónico, periódico y/o aleatorio. Todo movimiento armónico es periódico; sin embargo, no todo movimiento periódico es armónico. El movimiento aleatorio es cuando la máquina se está moviendo de una manera impredecible.

Movimiento armónico.- Constituye la forma más simple de oscilación, caracterizado por una senoide. Todo movimiento armónico es periódico, lo que significa que se repite en algún instante en el tiempo. En sistemas lineales, un desbalanceo en un equipo rotativo podría generar un movimiento armónico. Sin embargo, debido a que existen muchas variables tales como problemas en engranes, defectos en rodamientos, entre otros; no se generan sinusoides muy a menudo.

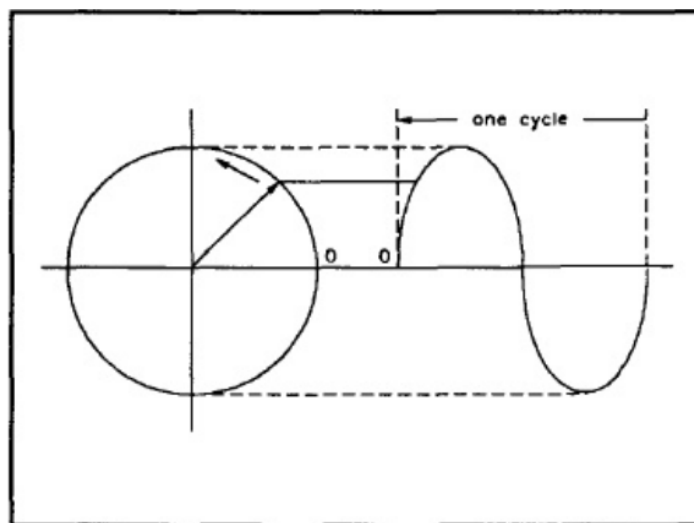


Figura 1-15 Movimiento armónico

FUENTE: TAYLOR, J.; "The Vibration Analysis Handbook"; pág. 1

Movimiento periódico.-El movimiento periódico es como su nombre lo indica todo tipo de movimiento que se repite periódicamente; es decir, que se repiten en intervalos de tiempo iguales.

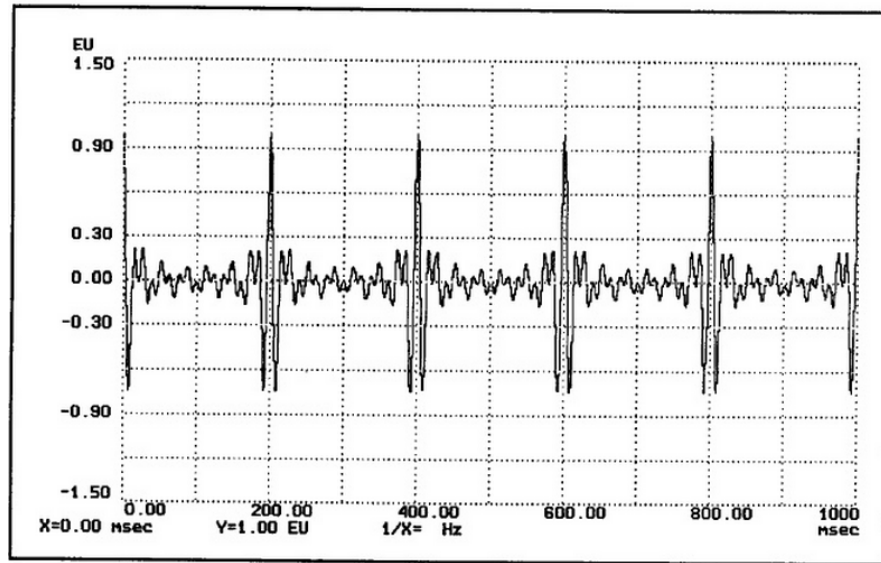


Figura 1-16 Movimiento periódico

FUENTE: TAYLOR, J.; "The Vibration Analysis Handbook"; pág. 2

Movimiento aleatorio.- Ocurre de una manera errática y contiene todas las frecuencias en una banda de frecuencia particular. El movimiento aleatorio es cualquier movimiento que no se repite.

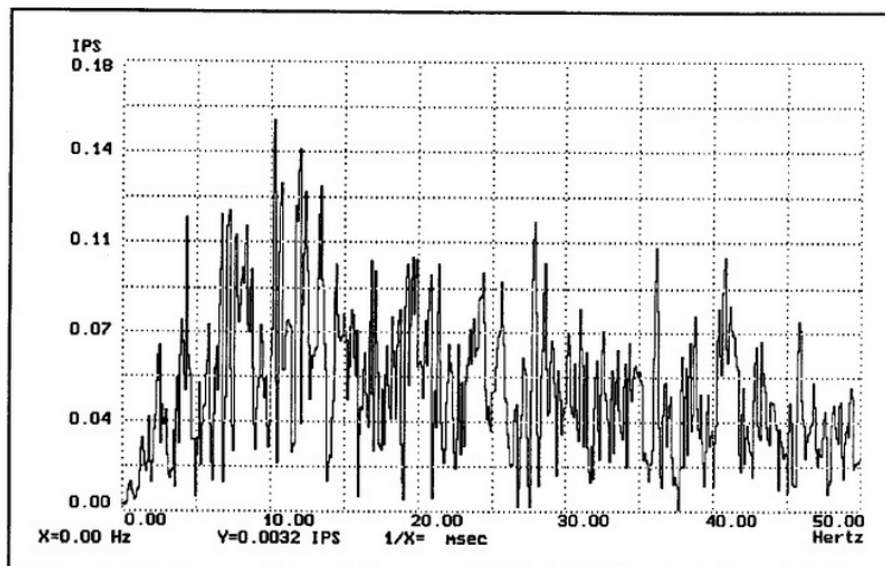


Figura 1-17 Movimiento aleatorio

FUENTE: TAYLOR, J.; "The Vibration Analysis Handbook"; pág. 2

1.10 MEDICIÓN DE LAS VIBRACIONES

La medición de vibración juega un papel importante en el desarrollo de técnicas para mitigarla o reducirla. Gracias a los avances en la electrónica, actualmente se tiene instrumentos de medición altamente sofisticados que permiten cuantificar la vibración de manera precisa, a través de diversos principios.

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

1.10.1 MEDICIÓN DE LA AMPLITUD DE LA VIBRACIÓN

Existen cuatro maneras diferentes de medir la amplitud de la vibración y son:

- Amplitud pico a pico
- Amplitud cero – pico o simplemente amplitud pico
- RMS
- Promedio

1.10.1.1 Amplitud pico a pico

La amplitud pico a pico, como su nombre lo indica es la medida del nivel de vibración determinada por la distancia desde una cresta positiva a una cresta negativa. En el caso de una onda senoidal, el valor pico a pico es exactamente el doble del valor pico, ya que la forma de la onda es simétrica. Pero eso no es necesariamente el caso con todas las formas de ondas de vibración.

Este tipo de medición es utilizado más a menudo cuando se trata de amplitud de desplazamiento.

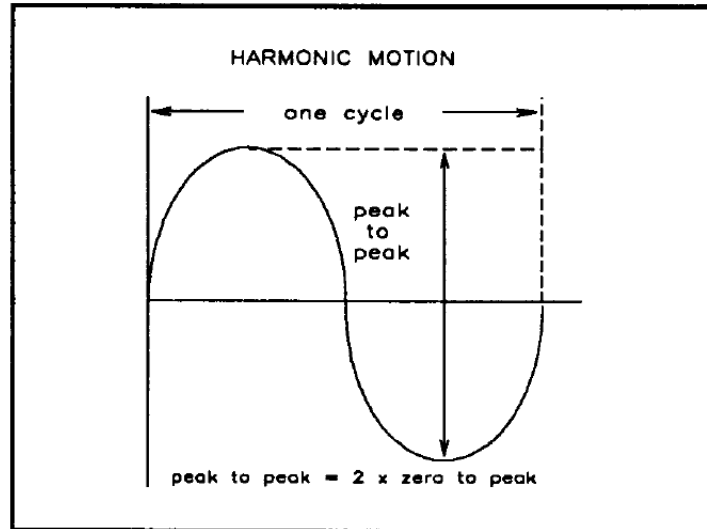


Figura 1-18 Amplitud pico a pico

FUENTE: TAYLOR, J.; "The Vibration Analysis Handbook"; pág. 6

1.10.1.2 Amplitud pico

La amplitud pico es la medida desde la línea cero al extremo de un pico ya sea el positivo o el negativo. El valor pico es utilizado para describir el nivel de vibración de un transductor de velocidad o un acelerómetro.

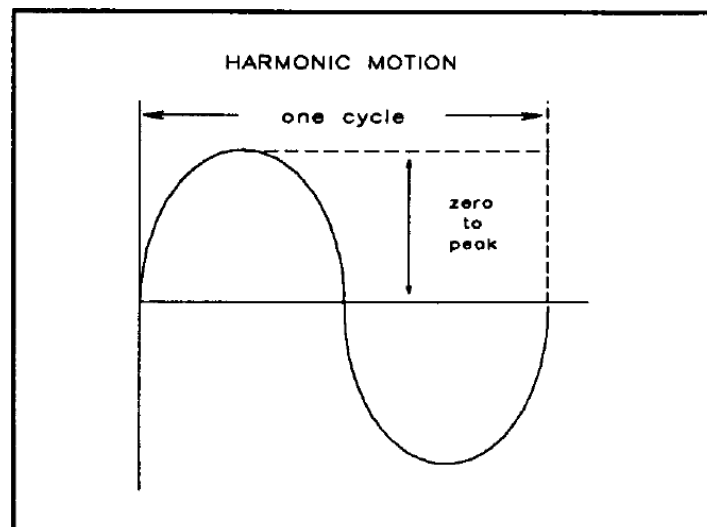


Figura 1-19 Amplitud pico

FUENTE: TAYLOR, J.; "The Vibration Analysis Handbook"; pág. 6

1.10.1.3 Amplitud RMS y promedio

El valor RMS (del inglés Root Mean Square), es la medida real de potencia bajo la curva. El valor real RMS es calculado por la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados de un número dado de puntos bajo la curva. En el caso de una onda senoidal, el valor RMS es igual a 0.707 del valor pico. El valor promedio es 0.637 veces el valor pico en una onda senoidal.

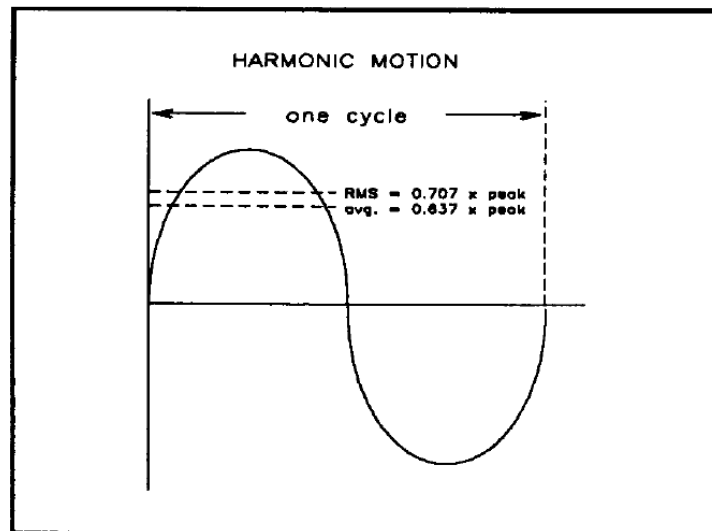


Figura 1-20 Valor RMS y promedio

FUENTE: TAYLOR, J.; "The Vibration Analysis Handbook"; pág. 7

1.11 TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE VIBRACIONES^[22]

Existen diferentes técnicas de análisis tanto en el dominio del tiempo como en el de la frecuencia, las cuales tienen sus propias ventajas para algunas aplicaciones en particular. Entre las técnicas más utilizadas están:

1.11.1 ANÁLISIS ESPECTRAL

El análisis espectral se enfoca en descomponer la señal vibratoria en el dominio del tiempo en sus componentes espectrales en frecuencia. Esto permite, en el caso de las máquinas, correlacionar las vibraciones medidas generalmente en sus apoyos, con las fuerzas que actúan dentro de ella.

1.11.2 ANÁLISIS DE LA FORMA DE ONDA

El análisis de la forma de la vibración en el tiempo a veces puede proveer información complementaria al análisis espectral. Este análisis es adecuado para reconocer los siguientes tipos de problemas:

- Impactos
- Rozamientos intermitentes
- Modulaciones en amplitud y frecuencias
- Transientes
- Truncaciones

1.11.3 ANÁLISIS DE FASE DE VIBRACIONES

Se puede definir la diferencia de fase entre dos vibraciones de igual frecuencia como la diferencia en tiempo o en grados con que ellas llegan a sus valores máximos, mínimos o cero. El análisis de diferencias de fase a la velocidad de giro de la máquina entre las vibraciones horizontal y vertical o entre las vibraciones axiales de los diferentes apoyos del sistema motor-máquina, permite determinar los movimientos relativos entre ellos, y diferenciar entre problemas que generan vibraciones a frecuencias 1x rpm:

- Desbalanceo
- Desalineamiento
- Eje doblado
- Resonancia
- Poleas excéntricas o desalineadas

1.11.4 ANÁLISIS DE LOS PROMEDIOS SINCRÓNICOS EN EL TIEMPO

Esta técnica recolecta señales vibratorias en el dominio del tiempo y las suma, y promedia sincrónicamente mediante un pulso de referencia repetitivo. Las componentes sincrónicas al pulso se suman en el promedio y las no sincrónicas disminuyen de valor con el número de promedios.

1.11.5 ANÁLISIS DE ÓRBITAS

Combinando dos señales vibratorias captadas por sensores ubicados relativamente entre ellos a 90° en un soporte de la máquina se puede obtener el movimiento del eje en el apoyo o su órbita.

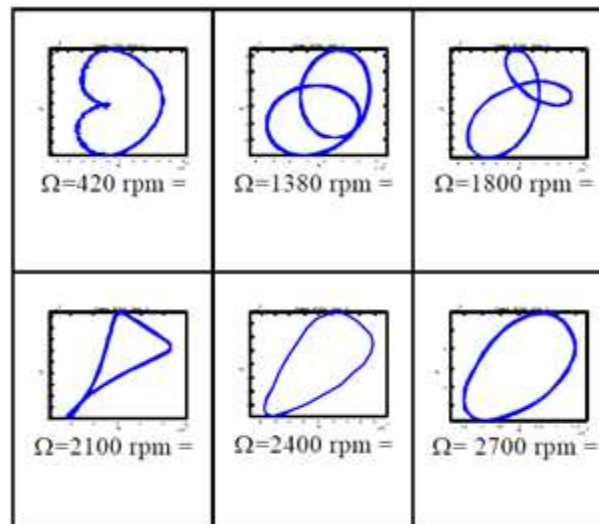


Figura 1-21Orbitas descritas por un rotor desbalanceado y con eje agrietado para diferentes velocidades de rotación

FUENTE: SAAVEDRA, P.; "La medición y análisis de las vibraciones como técnica de inspección de equipos y componentes, aplicaciones, normativas y certificación"; pág. 6

1.11.6 ANÁLISIS DE DEMODULACIONES

El análisis de demodulaciones en amplitud consiste en analizar la envolvente de la señal temporal de una señal modulada. Este análisis permite determinar de una manera fácil la periodicidad de las modulaciones y diagnosticar problemas tales como:

- Rodamientos picados
- Engranajes excéntricos o con dientes agrietados
- Deterioro de álabes en turbinas

1.11.7 ANÁLISIS DE VIBRACIONES EN ARRANQUE Y PARADA DE MÁQUINA

Existen ciertos problemas que son fáciles de diagnosticar durante el funcionamiento transiente (arranque o parada) que durante el funcionamiento estacionario de la máquina. Es el caso de los problemas que generan vibraciones cuyas frecuencias son función de la velocidad de la máquina. Al disminuir ésta, dichas componentes van disminuyendo en acorde, por lo que en algún momento coinciden con alguna frecuencia natural de ella y son amplificadas, evidenciando en ese instante en forma más clara el problema.

Para esto se analiza los gráficos de la amplitud y fase de algunas componentes vibratorias en función de la velocidad de rotación de la máquina. Estos gráficos se denominan diagramas de Bode. Otro gráfico que se utiliza para estos análisis es el diagrama en cascada

1.12 EQUIPOS PARA MEDICIÓN DE VIBRACIONES

Con el fin de obtener los datos necesarios para realizar significativas conclusiones del sistema bajo prueba, se requiere la utilización de dispositivos que permitan transformar las vibraciones en magnitudes que sean proporcionales a la excitación que producen sobre éstos. Estos datos pueden ser usados para minimizar o eliminar la vibración, y por tanto eliminar ruidos resultantes.

1.12.1 ANALIZADOR DE VIBRACIONES^[5]

Este equipo proporciona el espectro de vibración, con este equipo se puede realizar diagnósticos.

Su función principal es la de determinar el contenido de frecuencias de una señal, existen varios tipos de analizadores:

1.12.1.1 Recolector analizador digital de datos

Se trata equipos utilizados en una ruta de medición, son portátiles y tienen una buena capacidad de memoria. Se debe descargar los datos tomados en la ruta a un software especializado de análisis.



Figura 1-22 Recolector portátil

FUENTE: DAZA, G.; "Apuntes del curso Vibraciones Mecánicas; Universidad Técnica Federico Santa María; Chile 2007; pág. 48

1.12.1.2 Analizador en tiempo real

Se emplean en máquinas estratégicas para la empresa, pues toman la señal y obtienen la transformada rápida de Fourier (FFT) y espectros en tiempo real.

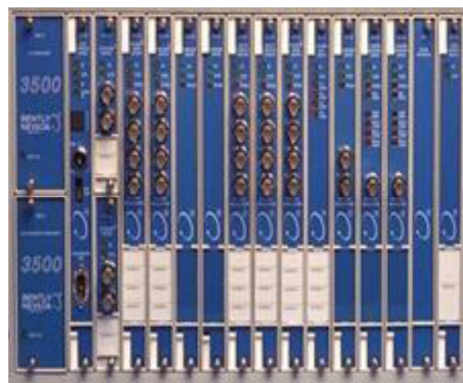


Figura 1-23 Sistema de monitoreo en línea

FUENTE: DAZA, G.; "Apuntes del curso Vibraciones Mecánicas; Universidad Técnica Federico Santa María; Chile 2007; pág. 49

1.12.1.3 Sistemas escaneados

Estos equipos operan de manera autónoma y todos los sensores conectados al sistema toman datos en un tiempo reducido, por ejemplo cada segundo. Se emplean en equipos que necesiten un monitoreo continuo y más estricto.



Figura 1-24 Sistema escaneado

FUENTE: DAZA, G.; "Apuntes del curso Vibraciones Mecánicas; Universidad Técnica Federico Santa María; Chile 2007; pág. 49

1.12.2 TRANSDUCTOR ^[20]

El medio por el cual se convierte a la vibración mecánica en una señal eléctrica se llama transductor. La respuesta del transductor obedece a cuánto (amplitud), y cuán rápido (frecuencia), se está moviendo la máquina. La frecuencia describe qué está mal en la máquina y la amplitud describe la severidad relativa del problema. Los transductores pueden ser para medición de velocidad lineal, desplazamiento, proximidad o aceleración. Al momento de seleccionar el transductor es necesario considerar cinco características principales: rango de medición, rango de frecuencia, precisión, sensibilidad transversal y condiciones ambientales.

El rango de medición puede ser en unidades "g" para la aceleración, en mm/s para velocidad lineal, y milímetros u otras medidas de longitud para desplazamiento y proximidad. La frecuencia es medida en Hz, la precisión por lo general es representada como un porcentaje del error permisible sobre el rango completo de medición del dispositivo. La sensibilidad transversal se refiere al efecto que una fuerza ortogonal puede ejercer sobre la fuerza que se está

midiendo. Para las condiciones ambientales, se deben tener en cuenta variables como la temperatura de operación y la máxima fuerza de vibración y choque que el transductor es capaz de manejar.

Existen diferentes tipos de transductores utilizados para la medición de la vibración:^[20]

- Transductores de aceleración
 - Acelerómetros piezoeléctricos
 - Acelerómetros piezoresistivos
- Transductores de desplazamiento
 - LVDTs
 - Corriente Eddy
 - Capacitivos
- Transductores de velocidad

1.12.2.1 Acelerómetros^[20]

Los acelerómetros son dispositivos que convierten la aceleración de gravedad o de movimiento, en una señal eléctrica analógica proporcional a la fuerza aplicada al sistema, o mecanismo sometido a vibración. Esta señal analógica indica en tiempo real, la aceleración instantánea del objeto sobre el cual el acelerómetro está montado. Los acelerómetros son direccionales, es decir que sólo miden aceleración en un eje.

1.12.2.1.1 Acelerómetros piezoeléctricos^[30]

Se puede considerar a este tipo de acelerómetro como el estándar para medición de vibración. La configuración que se muestra en la Figura 1-25 permite describir el principio de operación. Su funcionamiento se basa en el efecto piezoeléctrico. La masa sísmica está sujeta a la base con un perno axial, que se apoya en un resorte circular. El elemento piezoeléctrico está ajustado entre la base y la masa. Cuando un material está sujeto a una deformación física, se genera un cambio en

la estructura cristalina y así producen una corriente eléctrica. Existen muchos materiales de este tipo pero el más utilizado es el cuarzo.

Cuando el acelerómetro se mueve en la dirección arriba – abajo, la aceleración hace que se produzca una corriente ya que la masa ejercerá una fuerza sobre el cristal.

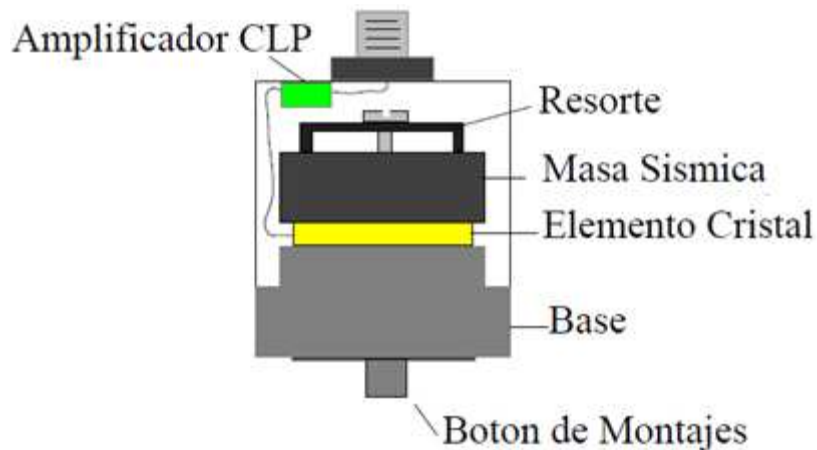


Figura 1-25 Esquema de un acelerómetro piezoeléctrico

FUENTE: WHITE, G.; "Introducción al Análisis de Vibraciones"; pág. 55

1.12.2.1.2 Acelerómetros piezoresistivos²

Un acelerómetro piezoresistivo a diferencia de uno piezoeléctrico utiliza un sustrato en lugar de un cristal piezoeléctrico. En esta tecnología, las fuerzas que ejerce la masa sobre el sustrato varían su resistencia, que forma parte de un circuito que, mediante un puente de Wheatstone mide la intensidad de la corriente.

²<http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/11638/fichero/Capitulo+4.pdf> Diseño integrado Universidad de Sevilla

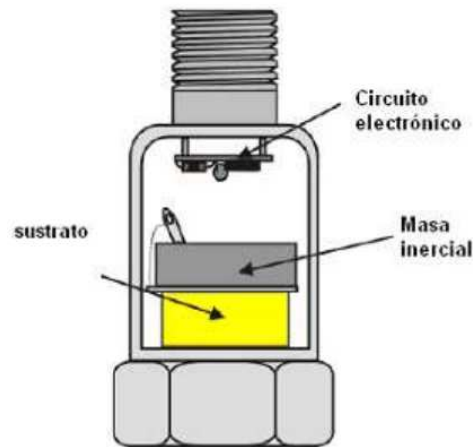


Figura 1-26 Esquema de un acelerómetro piezoresistivo

FUENTE: <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/11638/fichero/Capitulo+4.pdf> Diseño integrado Universidad de Sevilla

1.12.2.2 Transductores de desplazamiento

Los transductores de desplazamiento miden el movimiento relativo entre la punta del sensor y el elemento.

1.12.2.2.1 Transformador Diferencial Lineal Variable (LVDT Linear Variable Differential Transformer)^[17]

Los LVDT son dispositivos electromecánicos que producen una salida eléctrica proporcional al desplazamiento de un núcleo móvil separado. Este tipo de transductor necesita del contacto físico con la superficie que vibra.

Consiste en una serie de inductores o bobinas incubadas dentro de un eje cilíndrico hueco y un núcleo cilíndrico. Los inductores internos se denominan bobina primaria y bobinas secundarias y se encuentran espaciadas simétricamente. Un núcleo magnético móvil en forma de cilindro dentro del ensamble provee un camino para el flujo magnético dentro de los bobinados.

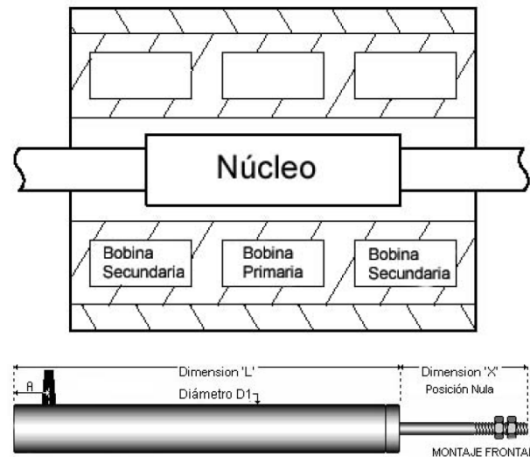


Figura 1-27 Configuración y aspecto físico de un transductor de desplazamiento LDVT

FUENTE: PERNIA-MÁRQUEZ, D.; "Introducción a la medición de vibración"; pág. 8

1.12.2.2.2 Transductor de desplazamiento (Corriente Eddy)^[20]

Los instrumentos de Corriente Eddy son dispositivos de desplazamiento sin contacto, que miden directamente la posición de un eje giratorio con respecto a un punto fijo. El cambio en la posición de un eje provee una indicación directa de la vibración. La punta de la sonda contiene una bobina encapsulada, la cual cuando es excitada con una señal de alta frecuencia genera un campo electromagnético. A medida que el eje rota bajo condiciones de vibración, se alejará o acercará a la punta de la sonda interactuando por consiguiente, con el campo magnético. Se inducirá una corriente Eddy, cuya energía es proporcional a la interferencia del campo magnético. Por lo tanto, midiendo el valor de la corriente Eddy, se puede determinar la posición del eje y por consiguiente la vibración.

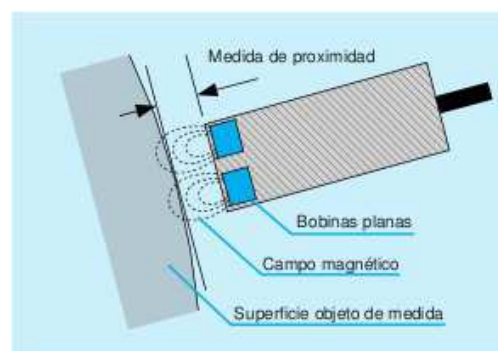


Figura 1-28 Sonda de medición Eddy

FUENTE: http://www.sinais.es/sensores/transductores_desplazamiento.html 26/02/13 11:21

1.12.2.2.3 Transductor de desplazamiento tipo capacitivo^[20]

Los transductores de posición o desplazamiento capacitivos son dispositivos analógicos sin contacto. Un sensor capacitivo de dos electrodos consiste de dos placas que forman parte de un puente capacitivo. Una placa (sonda) está fija, la otra placa (Objetivo) está conectada al objeto a ser posicionado. Puesto que el tamaño de la placa y el medio dieléctrico (aire) no cambian, la capacitancia está directamente relacionada a la distancia entre las placas.

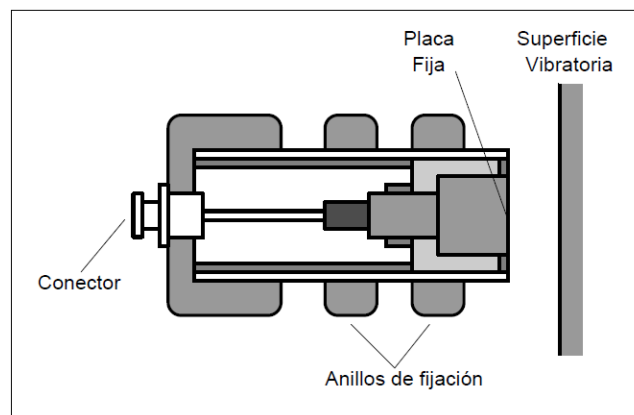


Figura 1-29 Transductor de desplazamiento capacitivo

FUENTE: PALOMINO MARÍN, E.; "La medición y el análisis de vibraciones en el diagnóstico de máquinas rotatorias"; pág. 35

1.12.2.3 Transductores de velocidad^[30]

Los transductores de velocidad basados en el movimiento sísmico responden a un diseño similar al que se observa en la Figura 1-30. Un enrollado soportado por resortes de muy baja rigidez y un imán permanente se fijan a la carcasa del transductor de manera que se cree un campo magnético muy fuerte dentro del cual esté "sumergido" el propio enrollado.

El movimiento relativo entre el campo magnético y la bobina induce una corriente proporcional a la velocidad del movimiento. De esta manera, la unidad produce una señal directamente proporcional a la velocidad de la vibración.

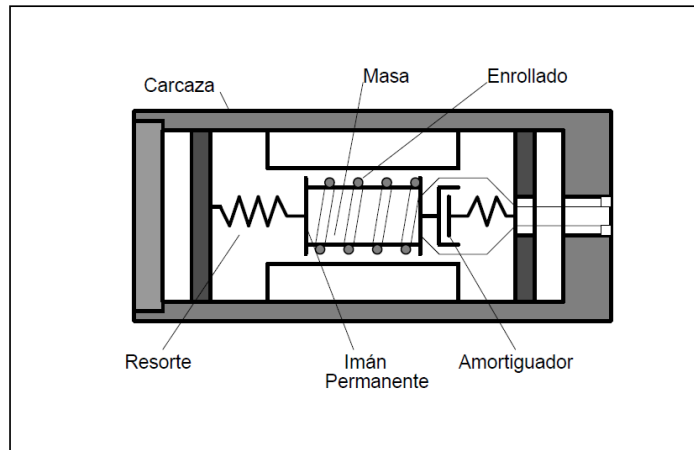


Figura 1-30 Transductor de velocidad

FUENTE: PALOMINO MARÍN, E.; "La medición y el análisis de vibraciones en el diagnóstico de máquinas rotatorias"; pág. 37

En la tabla se muestra los rangos de frecuencias de algunos transductores utilizados en el análisis de vibraciones

Tabla 1-3 Rango típico de frecuencias de diferentes transductores

Tipo de Transductor	Rango típico de frecuencia [Hz]
Desplazamiento sin contacto	0 - 10.000
Desplazamiento con contacto	0 - 150
Velocímetro sísmico	10 - 1.000
Acelerómetro de uso general	2 - 7.000
Acelerómetro de baja frecuencia	0.2 - 2.000

FUENTE: SAAVEDRA, P.; "La medición y análisis de las vibraciones como técnica de inspección de equipos y componentes, aplicaciones, normativas y certificación"; pág 1

1.12.3 SOFTWARE

El software es el programa de computadora que permite la descarga de los datos guardados por el analizador de vibraciones para su posterior tratamiento.

CAPÍTULO 2

TRANSMISIÓN DE VIBRACIONES EN VEHÍCULOS

2.1 TRANSMISIÓN DE VIBRACIONES

El proceso de transmisión de las vibraciones es el siguiente:

- Se genera la vibración
- La vibración aumenta
- Transmisión de vibración
- Aparición de vibraciones

2.2 ORIGEN DE UNA VIBRACIÓN

Los automóviles se encuentran sometidos a un espectro de vibraciones bastante amplio debido a la velocidad a la que se desplazan. Estas vibraciones se transmiten a los pasajeros, los cuales las pueden percibir de forma visual, táctil o audible. El término *vibraciones* hace referencia a vibraciones táctiles y visuales, mientras que las vibraciones audibles se conocen como *ruido*.

El espectro de vibraciones se puede dividir de acuerdo con la frecuencia, y clasificarlas como vibraciones cuando la frecuencia está entre 0 y 25 Hz, y como ruido cuando está entre 25 y 25000 Hz. Los diferentes tipos de vibraciones están normalmente interrelacionados de modo que suele ser difícil considerar cada uno por separado.^[11]

Para entender el entorno vibracional del vehículo hay que analizar las fuentes de vibración, la respuesta del vehículo y la percepción humana y tolerancia a las vibraciones, ya que el ambiente generado por las vibraciones es uno de los criterios de mayor relevancia por el cual el usuario valora el diseño y la calidad de un automóvil. Pero aun cuando existen componentes que pueden vibrar, esto no ocurrirá sin la presencia de una fuerza externa que produzca la excitación.

Fuerza de excitación.- La causa de la vibración de un sistema es una fuerza de excitación; esta fuerza puede ser tanto aplicada externamente al sistema o que tenga su origen dentro del mismo. La frecuencia y la magnitud de la vibración de un sistema dado, están completamente determinados por la fuerza de excitación, su dirección y frecuencia. Esa es la razón de porqué un análisis de vibraciones puede ser vital al momento de verificar el estado de un vehículo, pues se puede determinar las fuerzas de excitación actuantes, y el conocimiento de sus características e interacciones permite diagnosticar un problema.

2.3 FUERZAS DE EXCITACIÓN HABITUALES EN VEHÍCULOS

Entre los ejemplos habituales de fuerza de excitación en vehículos se pueden destacar: presión de combustión o fluctuación del par motor, ruedas desequilibradas, carretera irregular, desequilibrio o ángulo de junta en el eje propulsor, engrane de las velocidades en la transmisión o en el diferencial y fluctuaciones de fricción en el embrague o en los frenos.

Si todas estas causas se pudieran reducir a cero, no habría vibraciones ni ruido. No obstante, resulta imposible eliminar por completo algunas de estas causas, como la presión de combustión en el motor o la fuerza externa de una carretera irregular.

Una de las partes habituales donde se generan vibraciones es el motor. Debido a la presión que se genera al encenderse el combustible dentro de la cámara de combustión del motor y debido a que muchos elementos de éste son móviles, se generan muchos tipos de fuerzas vibratorias que hacen que el motor vibre, con lo que éste se convierte en un elemento vibrador, transmitiendo dichas vibraciones al tren de transmisión y a la carrocería.

Hay varios factores relacionados con la generación de fuerzas de excitación en un motor. De entre ellos existen dos de especial atención: la presión de la combustión en la cámara y la fuerza inercial causada por el movimiento de las bielas y pistones, y del cigüeñal. Aparte de estos factores, el movimiento mecánico de los componentes causa otros factores como es el ruido del motor.

2.3.1 FLUCTUACIÓN DEL PAR MOTOR

Par motor.- El par motor o torque es una magnitud física que representa la capacidad que tiene el motor para producir trabajo. La biela es la encargada de convertir el movimiento alternativo de los pistones tras las sucesivas combustiones en movimiento rotatorio; aquí se puede medir la fuerza del motor como par de torsión. Se mide en Newton metro [Nm] o en kilogramometro [kgm] y, teóricamente, expresa la fuerza de torsión que se tiene en el extremo de un brazo de palanca de un metro de longitud aplicado al motor.

En la práctica, el par motor depende del régimen de giro, pues la fuerza de las combustiones depende de la cantidad de mezcla que admita la cámara de combustión. Con el par que rinde un motor a cada régimen de giro se obtiene la curva de par, la cual puede dar una idea de antemano de si un motor es más o menos elástico.

Elasticidad de un motor.- Se denomina elasticidad de un motor a su capacidad de respuesta en un amplio margen de RPM. Circulando con un automóvil elástico es menos necesario reducir de relación de cambio para subir una pendiente, o recuperar velocidad desde bajo régimen.

Un motor será más elástico cuanto más próximas están sus curvas de par y potencia. Se puede medir mediante el índice de elasticidad práctico I_{ep} ; dividiendo los valores máximos de potencia y par. La elasticidad es inversamente proporcional al número resultante.^[15]

Si la curva presenta una pendiente muy pronunciada como la curva A de la Figura 2-1, significa que para un pequeño aumento de revoluciones se produce un incremento grande de la potencia. Siempre que las revoluciones se encuentren en un rango cercano a la máxima potencia, el motor subirá de revoluciones con facilidad; pero si el régimen cae, será difícil que se recupere desde bajas revoluciones, precisamente por el incremento tan grande de potencia que tiene que superar. En ese caso se tiene que recurrir a la caja de cambios y regresar a una marcha menor.

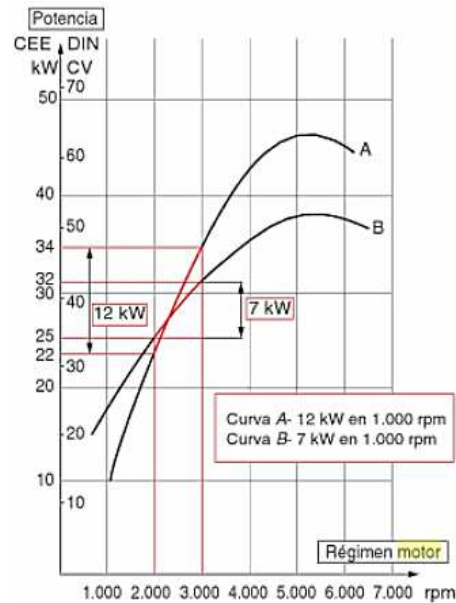


Figura 2-1 Comparación entre curvas de potencia

FUENTE: SANZ, S.; "Motores: mantenimiento de vehículos autopropulsados"; pág 76

Con este tipo de curva el motor tiene poca elasticidad.

Cuando se trata de una curva con una pendiente poco pronunciada como la curva B de la Figura 2-1, para conseguir un pequeño incremento de revoluciones debe generarse un aumento de potencia moderado; por lo tanto, será fácil que se recupere desde bajas revoluciones, ya que el esfuerzo que tiene que compensar es menor que en el caso anterior.

Este tipo de curva más plana es característica de motores elásticos, aunque la potencia máxima sea menor.

Entonces, la fuerza de excitación atribuida a la presión de la combustión en el interior de la cámara de combustión genera una fluctuación del par en el cigüeñal, que pasa al tren de transmisión.

También actúa sobre el bloque de cilindros como una fuerza de reacción, causando la vibración. La presión de combustión fluctúa en menor grado cuando las revoluciones del motor son elevadas y el motor está formado por muchos cilindros.

La fluctuación de par aumenta cuando el ángulo de abertura de la válvula de mariposa es grande, debido al aumento de la presión de combustión.

Los vehículos utilizan un motor de cuatro tiempos, en el cual, en un cilindro se produce una combustión cada dos vueltas del cigüeñal que es lo que genera la fluctuación de par.

Si el vehículo posee un motor de cuatro cilindros en línea se producen cuatro combustiones cada dos vueltas del cigüeñal, lo que causa dos fluctuaciones de par en cada vuelta del cigüeñal. Por lo tanto se generan dos vibraciones en cada revolución, es decir, existe vibración de segundo orden.

Si el vehículo posee un motor de seis cilindros en línea, entonces se producen seis combustiones cada dos vueltas del cigüeñal, lo que causa tres fluctuaciones de par en cada vuelta del cigüeñal. Por lo tanto se generan tres vibraciones en cada revolución, es decir, existe vibración de tercer orden.

2.3.2 DESALINEAMIENTO DE LAS RUEDAS

2.3.2.1 Ruedas

Las ruedas tienen como función transmitir la potencia y asegurar la dirección para que el desplazamiento sea posible; es decir, sobre las ruedas actúan la transmisión, la dirección y los frenos. Constan de:

- **Cubo:** Es a través del cual se ajusta la rueda al eje. No pertenece específicamente a la rueda, pero es un elemento imprescindible para el montaje.
- **Llanta:** Las llantas están constituidas por una o varias piezas y pueden presentar diversos perfiles de su sección transversal. Sobre esta se monta el neumático.
- **Disco:** Es el encargado de enlazar la llanta y el cubo. Puede formar una sola pieza integral con la llanta, o pueden estar unidos o ser desmontables.

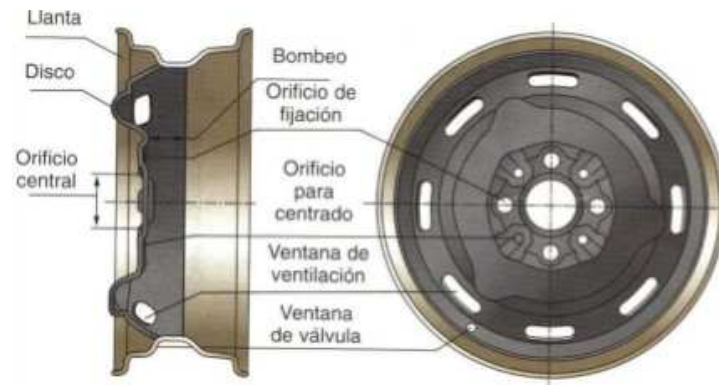


Figura 2-2 Sección transversal de una rueda de disco

FUENTE: ADAMUZ, J.; "Circuitos de fluidos, suspensión y dirección: Ruedas"

2.3.2.2 Neumáticos

Los neumáticos son la parte elástica que está en contacto con el piso, absorbe parte de las irregularidades del piso y es de gran importancia en la estabilidad del vehículo.

Sobre las llantas de las ruedas se montan los neumáticos, cuyas zonas de contacto y adherencia con el piso son los puntos de apoyo de toda la fuerza del motor para el avance y las curvas, y de los frenos en las paradas; además soportan el peso del vehículo, lo sujetan al piso para resistir los esfuerzos laterales, como el viento o la fuerza centrífuga en las curvas, y a la vez son elementos importantes en la suspensión absorbiendo las trepidaciones causadas por las pequeñas irregularidades del piso.

Los neumáticos constan de:

- **Cámara:** Contiene el aire a presión introducido por la válvula.
- **Cubierta:** Por la cual se realiza el contacto con el piso; es el elemento resistente del bandaje que rodea y protege la cámara, permitiendo inflarla a mayor presión de la que la cámara resistiría por sí sola.

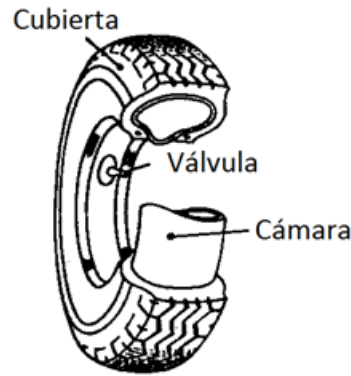


Figura 2-3 Elementos de un neumático

FUENTE: ARIAS-PAZ, M.; "Manual de automóviles"; pág. 991

2.3.2.3 Alineación de las ruedas

Es necesario que el vehículo tenga un rendimiento adecuado en línea recta, pues de éste depende que la conducción sea estable, que el rendimiento de viraje para conducir por las curvas sea el correcto, que exista la fuerza de recuperación para regresar a la línea recta, que tenga la capacidad de suavizar el choque que se transmite a la suspensión cuando las ruedas reciben un impacto, etc.

Es por esto que las ruedas del vehículo son montadas formando ángulos específicos con el suelo y con suspensiones específicas para cada circunstancia. A esto se le denomina *alineación de las ruedas*, y consta de cinco factores:

2.3.2.3.1 Ángulo de caída

Es un ángulo definido entre el plano de una rueda y la vertical al suelo. Las ruedas delanteras del vehículo están montadas con una inclinación de la parte superior hacia afuera o hacia adentro.

Cuando la parte superior de la rueda está inclinada hacia afuera se tiene un ángulo de caída positivo y hacia adentro se tiene un ángulo de caída negativo.

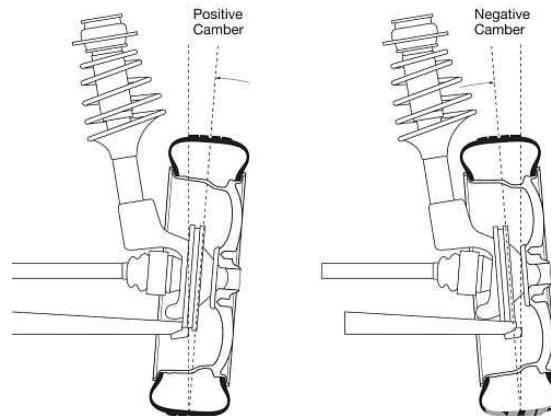


Figura 2-4 Ángulo de caída

FUENTE: <http://www.tallervirtual.com/2012/06/07/es-hora-de-realizar-una-alineacion-de-nuestro-coche-parte-ii/>

2.3.2.3.2 Avance del pivote

Es la inclinación hacia adelante y hacia atrás del eje de dirección. El avance del pivote se mide en grados desde el eje de la dirección a la vertical, visto desde un lado. Cuando la inclinación es hacia atrás por la parte de arriba hace que la prolongación del eje corte a la unión de la rueda con el piso en un punto ligeramente adelantado con respecto al sentido de la marcha y se denomina avance positivo del pivote. Este avance favorece la estabilidad de la dirección. Mientras que una inclinación hacia adelante se denomina avance negativo del pivote.

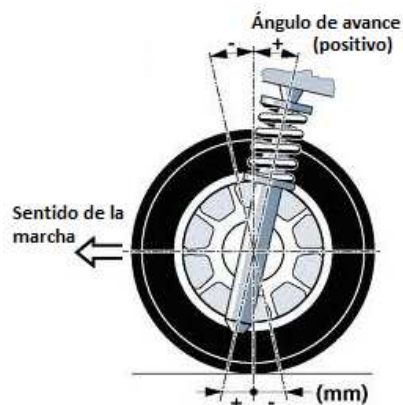


Figura 2-5 Avance del pivote

FUENTE: Nociones sobre alineación de la dirección de un vehículo parte 4, <http://www.grupocircuit.com/tag/angulo-de-avance/>

2.3.2.3.3 *Inclinación del eje de dirección*

El eje alrededor del cual rota la rueda cuando gira hacia la derecha o la izquierda se llama eje de dirección. Este eje se determina trazando una línea imaginaria entre la parte superior del cojinete de soporte superior del amortiguador y la junta esférica del brazo de suspensión inferior. La línea está inclinada hacia adentro si se mira desde la parte delantera del vehículo y a esto se le denomina inclinación del eje de la dirección o ángulo del pivote central. Este ángulo se mide en grados.



Figura 2-6 Inclinación del eje de la dirección o ángulo Kingpin

FUENTE: Nociones sobre alineación de la dirección de un vehículo parte 4, <http://www.grupocircuit.com/tag/convergencia/>

2.3.2.3.4 *Base*

La base es la inclinación de la parte delantera y trasera de la rueda vista desde la parte superior del vehículo. El ángulo de instalación de la rueda se llama ángulo de base. Cuando las partes delanteras de las ruedas están más próximas entre sí que las partes traseras, se conoce como convergencia mientras que lo opuesto se conoce como divergencia.

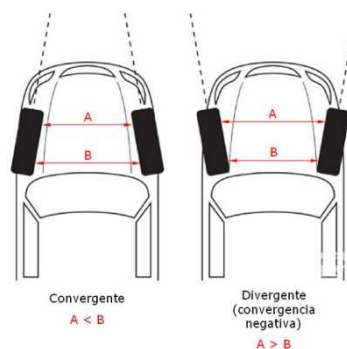


Figura 2-7 Ángulo de base

FUENTE: <http://www.tallervirtual.com/2012/06/07/es-hora-de-realizar-una-alineacion-de-nuestro-coche-parte-ii/>

2.3.2.3.5 Radio de giro

Es el ángulo que giran las ruedas delanteras cuando el vehículo toma una curva. Cada rueda describe un arco con radio distinto y eje de giro común O, Figura 2-8. El eje de giro está ubicado en la prolongación del eje trasero y es el del arco de la curva al mismo tiempo.^[2]

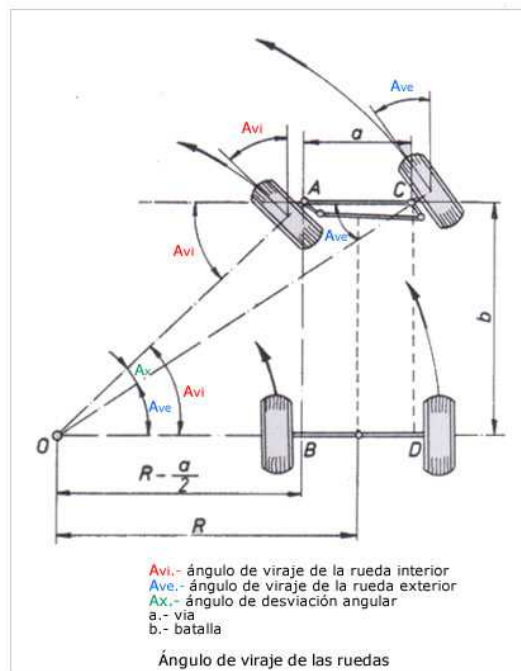


Figura 2-8 Radio de giro

FUENTE: <http://aficionadosalamecanica.com/direccion-geometria.htm>

Si uno de estos elementos es incorrecto, se pueden producir problemas tales como:

- Dirección difícil
- Dirección poco estable
- Recuperación deficiente en las curvas
- Se acorta la duración de los neumáticos
- Patinaje

2.3.2.4 Desequilibrio estático y dinámico

El desequilibrio de las ruedas puede ser estático y/o dinámico y se produce como resultado del desigual reparto de las fuerzas originadas durante el giro de la rueda cuando no tiene su masa uniformemente repartida, originando movimientos basculantes de la rueda y vibración en el volante, que se incrementa con el aumento de la velocidad.

El desequilibrio de las ruedas generalmente se da por las siguientes causas:^[14]

- Distribución no uniforme de la masa con respecto al eje de rotación.
- Desequilibrio entre los elementos que componen la rueda (llanta y neumático).
- Descentrado lateral de la rueda.
- Deformación de la llanta por golpes.
- Reparaciones defectuosas en la cubierta o llanta.

2.3.2.4.1 Desequilibrio estático

Este desequilibrio se produce cuando la masa de la rueda tiene una distribución desigual con respecto al eje de rotación. El resultado es que al girar la rueda, produce un movimiento rectilíneo y perpendicular al suelo lo que resulta en continuos golpes contra el terreno durante la marcha.

Estos golpes dan lugar a la rotura por fatiga en los elementos de giro y sustentación de la rueda, así como un rápido desgaste irregular en el neumático.

Una rueda está balanceada estáticamente cuando el peso en el eje de rotación está distribuido uniformemente, y la rueda no presenta tendencias a girar en cualquier dirección cuando está suspendida sobre los cojinetes.

Los neumáticos deben estar en buen estado y montados correctamente, con la marca de balanceo en el neumático alineada con el vástago de la válvula. Se deben inflar los neumáticos a la presión correcta y colocar las tapas de válvulas en su lugar.



Figura 2-9 Desequilibrio estático

FUENTE: ADAMUZ, J.; "Circuitos de fluidos, suspensión y dirección: Ruedas"

2.3.2.4.2 *Desequilibrio dinámico*

Este desequilibrio se origina cuando la desigual distribución de pesos se encuentra concentrada sobre puntos asimétricos con respecto al eje vertical o eje longitudinal de rodadura. Este desequilibrio provoca un movimiento basculante de la rueda y, por consiguiente, esfuerzos anormales sobre los cojinetes de apoyo y elementos de suspensión y dirección, así como desgaste irregular de la cubierta en los bordes y vibraciones en la dirección si es sobre las ruedas delanteras.

Este desequilibrio, que aumenta con la velocidad, hace que la seguridad del vehículo quede comprometida, ya que la dirección se ve afectada al ser defectuosa la adherencia de las ruedas al terreno, sin contar con el peligro de rotura en los órganos de la dirección y el deterioro de los neumáticos.

Una rueda está balanceada dinámicamente cuando gira suavemente tanto en su eje de rotación como en un eje imaginario que pasa a través del centro del neumático y de la llanta siendo perpendicular al eje de rotación.

Para evitar cualquiera de estos inconvenientes, las ruedas se deben equilibrar, incluso cuando acabamos de montar neumáticos nuevos.

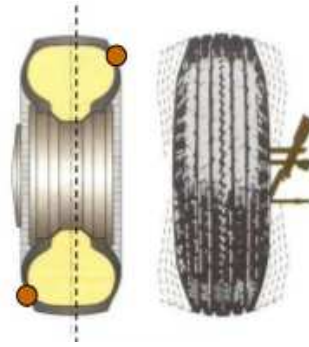


Figura 2-10 Desequilibrio dinámico

FUENTE: ADAMUZ, J.; “Circuitos de fluidos, suspensión y dirección: Ruedas”

2.3.3 DESVIACIÓN DE LAS RUEDAS

Las ruedas pueden presentar desviaciones ya sean radiales o laterales, las cuales pueden ser causadas por deformaciones debido a impactos fuertes como en baches, bordillos, etc.; o por deformaciones en la cubierta.

2.3.3.1 Alabeo

La desviación lateral de las ruedas se conoce como alabeo y hace que la trayectoria de la rueda sea sinusoidal, lo cual a más de generar vibraciones produce que la convergencia y la caída varíen continuamente.

Las causas del alabeo pueden ser debidas a llantas golpeadas o deformadas, por un apriete desigual de los tornillos de fijación o por un montaje defectuoso de la cubierta sobre la llanta.

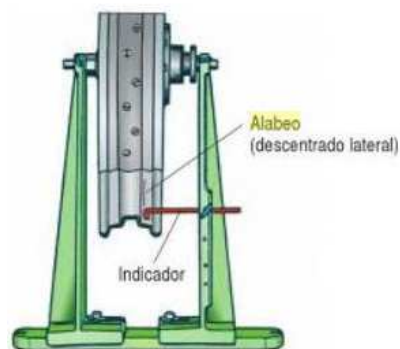


Figura 2-11 Medición del alabeo

FUENTE: PÉREZ, M.; “Circuitos de fluidos, suspensión y dirección”

2.3.3.2 Excentricidad

La desviación radial de las ruedas se conoce como excentricidad y provoca que la mangueta ascienda y descienda en cada vuelta, por lo que se generará vibraciones e inestabilidad en marcha.

La excentricidad de la rueda puede ser producida por una llanta excéntrica, un desgaste desigual de la cubierta, un montaje defectuoso de la cubierta sobre la llanta o un apriete desigual de los tornillos de fijación.



Figura 2-12 Medición de la excentricidad

FUENTE: PÉREZ, M.; "Circuitos de fluidos, suspensión y dirección"

2.3.4 UNIFORMIDAD DE LOS NEUMÁTICOS

La uniformidad de los neumáticos se refiere a la uniformidad del peso, de las dimensiones y la rigidez. No obstante, la uniformidad del peso hace referencia al equilibrio de las ruedas y la uniformidad de las dimensiones a la desviación de las ruedas. Por lo tanto se denominará como uniformidad a la uniformidad de la rigidez de los neumáticos.

Cuando un neumático recibe una carga, se flexiona, actuando de forma similar a un muelle. La banda de rodadura, el caucho, la carcasa, la banda y los demás componentes del neumático no están distribuidos uniformemente alrededor de la circunferencia del mismo, por lo cual su rigidez tampoco es uniforme.

Como resultado, el neumático presenta pequeñas fluctuaciones al flexionarse conforme la rueda gira. Estas fluctuaciones añaden una variación periódica a la fuerza que proviene de la superficie de la carretera.

Variación de la fuerza radial.- Se trata de una variación de la fuerza vertical que actúa en sentido ascendente hacia el centro del neumático, es decir, una fluctuación de la fuerza en dirección de los radios del neumático.

Variación de la fuerza lateral.- Es una variación de la fuerza horizontal que actúa en sentido paralelo al eje del neumático.

Variación de la fuerza de tracción.- Es una variación de la fuerza horizontal en sentido paralelo a la dirección motriz del neumático, es decir una fluctuación de la fuerza en la dirección rotatoria del neumático.

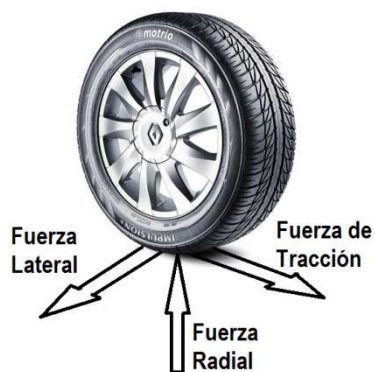


Figura 2-13 Fuerzas sobre una rueda

FUENTE: Propia

La variación más importante es la variación de la fuerza radial. Un neumático con una variación alta en la fuerza radial da como resultado una vibración vertical sobre el eje, lo cual puede ocasionar exceso de vibración durante la conducción a altas velocidades.

2.3.5 DESEQUILIBRIO DEL ÁRBOL DE TRANSMISIÓN

El sistema de transmisión es el conjunto de elementos que tiene la misión de transmitir la potencia del motor a las ruedas adaptando el par motor a las necesidades de conducción del vehículo.

2.3.5.1 Tipos de transmisión

2.3.5.1.1 Motor delantero y tracción delantera

Las ruedas delanteras son las motrices y directrices y no posee árbol de transmisión. La fuerza motriz del motor se transmite a través del diferencial del transeje a los semiejes y las ruedas.

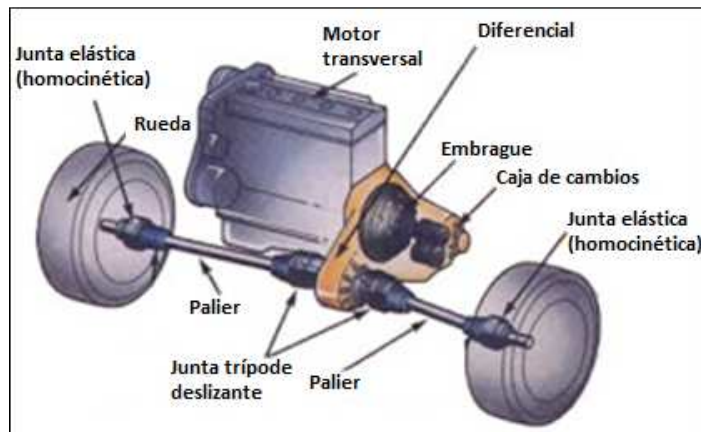


Figura 2-14 Esquema de la transmisión con motor delantero y tracción delantera

FUENTE: <http://mecanicayautomocion.blogspot.com/>

2.3.5.1.2 Motor delantero y propulsión trasera

Las ruedas motrices son las traseras, y dispone de árbol de transmisión. La fuerza motriz del motor llega a las ruedas a través del árbol de transmisión y el diferencial a los ejes propulsores, ejes axiales y las ruedas.

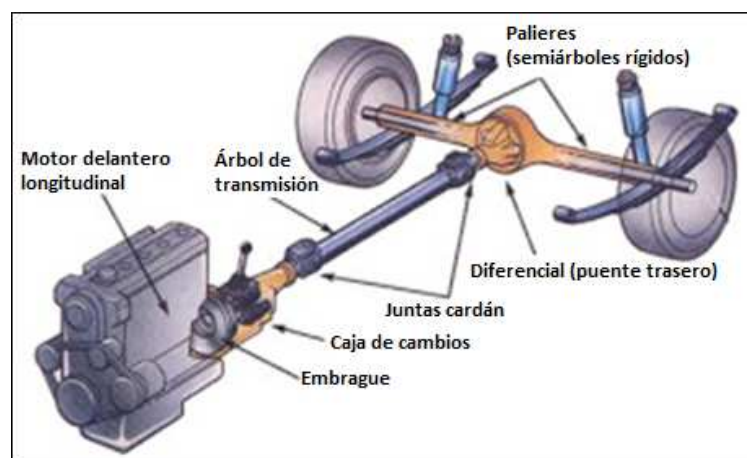


Figura 2-15 Esquema de la transmisión con motor delantero y propulsión trasera

FUENTE: <http://mecanicayautomocion.blogspot.com/>

2.3.5.1.3 Motor trasero y propulsión trasera

Las ruedas motrices son las traseras y no posee árbol de transmisión. Emplean ejes de salida cortos para llevar la potencia motriz a las ruedas traseras

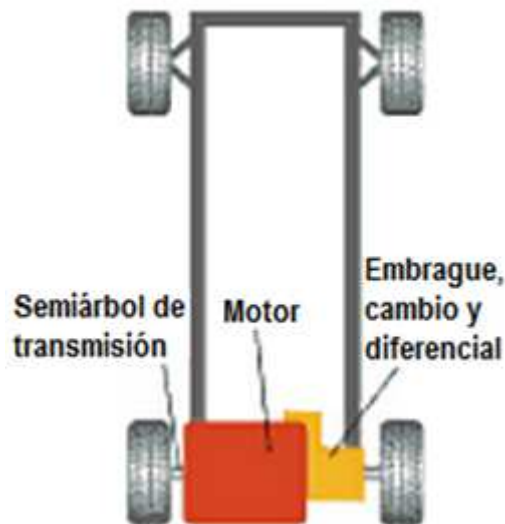


Figura 2-16 Esquema de la transmisión de un vehículo con motor trasero y propulsión trasera

FUENTE: FERRER-DOMÍNGUEZ, Sistemas de transmisión y frenado, Editex, 2008

2.3.5.1.4 Propulsión doble

Este tipo de transmisión se utiliza en camiones de gran tonelaje, donde la mayor parte del peso está soportado por las ruedas traseras. Este sistema consiste en colocar dos puentes traseros y motrices evitando así colocar un solo grupo cónico de grandes dimensiones. De esta manera el esfuerzo a transmitir por cada grupo cónico se reduce a la mitad, reduciéndose las dimensiones, sobre todo las del par-cónico.

2.3.5.1.5 Tracción en las cuatro ruedas 4WD

La tracción a las cuatro ruedas es capaz de repartir el par de giro del motor a las cuatro ruedas.

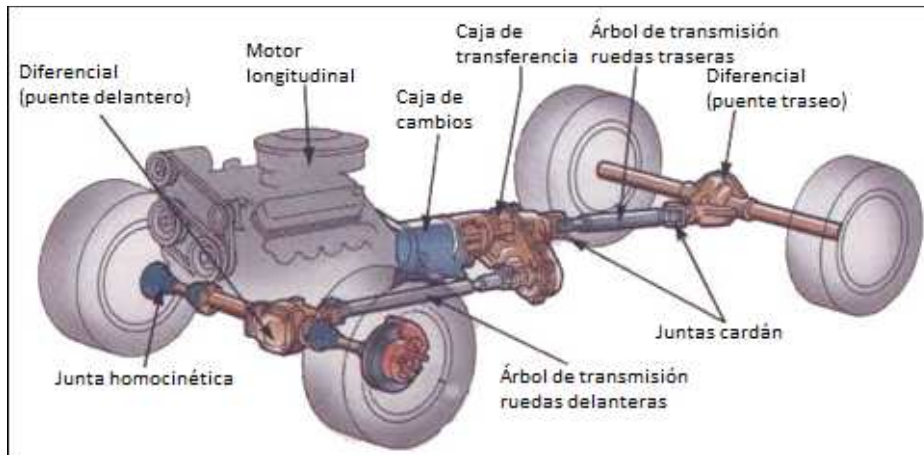


Figura 2-17 Esquema de la transmisión de un vehículo con tracción en las cuatro ruedas

FUENTE: <http://mecanicayautomocion.blogspot.com/>

Hay dos tipos de tracción 4WD: tracción total y tracción parcial.

En los vehículos con tracción parcial 4WD, el conductor alterna entre 2WD y 4WD mediante la transferencia, en respuesta al estado de la carretera. Normalmente el vehículo se conduce en 2WD, mientras que el 4WD se utiliza para carreteras en mal estado o cubiertas de nieve, etc.

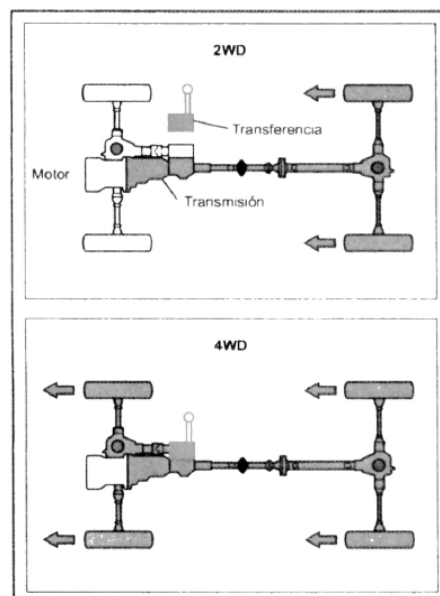


Figura 2-18 Tracción parcial 4WD

FUENTE: TOYOTA MOTOR CORPORATION; "Técnico de diagnóstico: Transeje manual-4WD" 2003

Los vehículos equipados con tracción total 4WD se pueden y utilizar siempre en todas las condiciones posibles de la carretera y de conducción, desde carreteras normales a carreteras en mal estado o con bajos coeficientes de fricción.

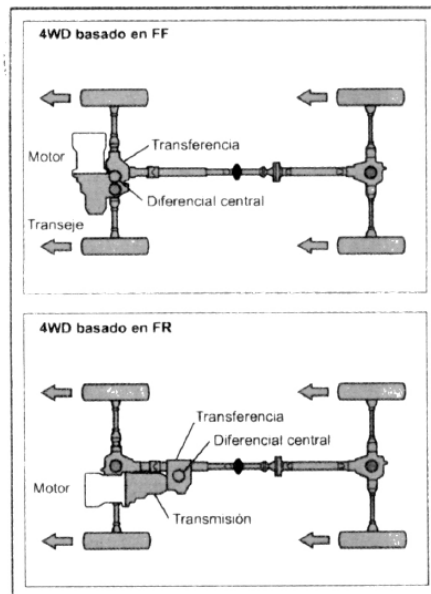


Figura 2-19 Tracción total 4WD

FUENTE: TOYOTA MOTOR CORPORATION; "Técnico de diagnóstico: Transeje manual-4WD" 2003

2.3.5.2 Árbol de transmisión

Al igual que en los neumáticos, un árbol de transmisión desequilibrado es fuente de vibraciones y ruido. El árbol de transmisión gira más rápidamente que los neumáticos debido a la relación de velocidad del engranaje diferencial; por lo tanto la frecuencia de la vibración o del ruido aumenta.

El desequilibrio del árbol de transmisión se puede dar por las siguientes causas:

Desviación del árbol de transmisión.- La desviación es lo mismo que el descentramiento del centro de rotación, responsable de la falta de equilibrio rotacional.

Desviación de la unión embrizada diferencial y de la brida central del árbol de transmisión.- Si hay desviación en cada brida, el centro rotacional del árbol de transmisión se ve afectado.

Descenramiento del árbol de transmisión y de la unión embridada diferencial.- Si el árbol de transmisión y la unión embridada diferencial no encajan correctamente, el centrado se ve afectado con la consiguiente pérdida de equilibrio.

2.3.6 VIBRACIÓN DE SEGUNDO ORDEN DEL ÁRBOL DE TRANSMISIÓN

2.3.6.1 Ángulo de junta

Debido a la estructura del vehículo, el árbol de transmisión se encuentra inclinado en un ángulo; así pues, cuando gira el árbol de transmisión se genera una fuerza vibratoria.

La frecuencia vibratoria es el componente de segundo orden del árbol de transmisión. Esta fuerza se genera debido a la fluctuación del par en el eje de salida respecto del eje de entrada y a la fuerza secundaria que se aplica a cada junta.

En el caso de juntas Hooke, el ángulo de la junta causa una fluctuación del par en el árbol de entrada; dicha fluctuación se genera dos veces en cada revolución del árbol de transmisión.

CAPÍTULO 3

VIBRACIONES HABITUALES EN VEHÍCULOS

3.1 INTRODUCCIÓN

En este capítulo se analiza los problemas más comunes de vibración y ruidos que pueden presentar los vehículos; los síntomas que son perceptibles y que pueden resultar en una incomodidad para el usuario al momento de la conducción, y las posibles causas que desembocan en dichos problemas.

Esto es necesario conocer para poder realizar correctamente un diagnóstico del estado de un vehículo, así como también determinar cuál es el componente que está fallando y de esta manera poder tomar acciones correctivas sobre el origen del problema.

Además se analizará los síntomas que pueden ser confundidos con problemas del vehículo, pero que son resultado del estado de la calzada sobre la cual el vehículo se encuentra transitando.

Todo esto a fin de proporcionar al usuario una guía práctica que le facilite identificar el problema en base a los síntomas presentados por el vehículo, y que adquiera el conocimiento que le permita determinar qué síntomas significan problemas que necesitan una atención inmediata.

3.2 SACUDIDA DE LA CARROCERÍA

Se entiende como “sacudida” la vibración en sentido vertical o lateral que presenta la carrocería del vehículo y el volante de dirección, y puede venir acompañada de vibración en los asientos. Por lo general no es posible percibir una sacudida por debajo de los 80 km/h. Por encima de esta velocidad, la sacudida aumenta notablemente, y alcanza un máximo a una determinada velocidad.

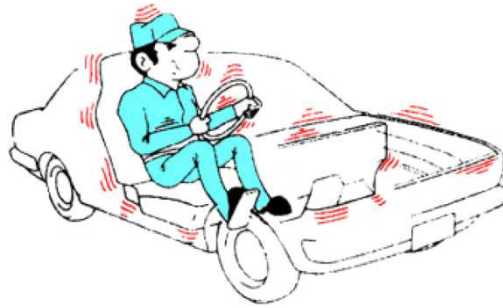


Figura 3-1 Sacudida de la carrocería

FUENTE:MAYZ, E.; "Conocimientos básicos del automóvil: NVH (Noise, Vibration, Harshness)"

El mecanismo por el cual se genera sacudida de la carrocería es el siguiente:

- Un neumático con desviación y desequilibrado genera una fuerza vibratoria durante el funcionamiento del vehículo.
- Esta vibración se amplifica y, a su vez, hace que los ejes vibren.
- De igual manera, la vibración de los ejes se transmite a la carrocería del vehículo y al motor a través de la suspensión.
- Cuando las vibraciones transmitidas resuenan con la carrocería del vehículo, la carrocería vibra considerablemente. Igualmente, cuando las vibraciones de los ejes resuenan junto con las del motor, éste vibra vigorosamente, lo que aumenta a su vez la vibración en la carrocería.
- Las vibraciones de la carrocería se transmiten al volante de dirección y a los asientos, lo que hace vibrar la carrocería, los asientos y el volante de dirección.



Figura 3-2 Mecanismo de generación de la sacudida de la carrocería

FUENTE:<http://www.mercadoracing.org/18/30111/no-compreis-a-oskartuning.html>

En ocasiones la carrocería experimenta sacudidas alternas en sentido vertical y lateral. Esto se debe a las pequeñas diferencias en los radios de giro de los neumáticos, que crean diferencias en puntos de desviación relativos entre los neumáticos derechos e izquierdos o entre los neumáticos delanteros y traseros.

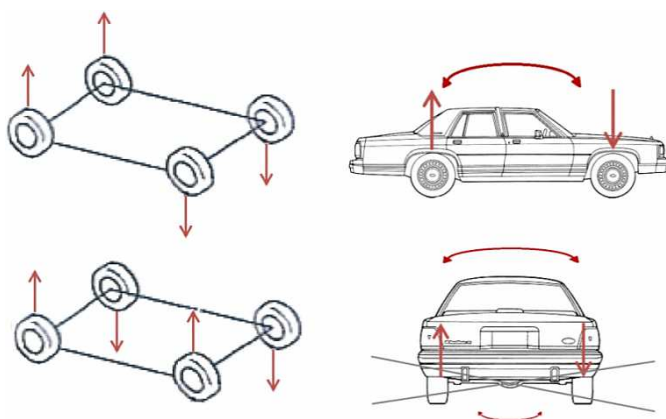


Figura 3-3 Sacudidas alternas

FUENTE:<http://avtomobilj.narod.ru/ispanskij/ford/Ford-LTD-Crown-Victoria-1985/> 26/03/2013

Por lo general las sacudidas de la carrocería son atribuibles a neumáticos desequilibrados o que presentan un desgaste irregular o desviación excesiva, razón por la cual, se puede eliminar las sacudidas de la carrocería en la mayoría de los casos corrigiendo el equilibrio de los neumáticos o reduciendo su desviación. Otra de las causas son las resonancias que se generan entre el motor, los muelles, el volante de dirección, los asientos y la carrocería.

3.3 ALETEO DE LA DIRECCIÓN

Cuando el volante de dirección oscila hacia la dirección de giro, se tiene una condición conocida como “aleteo de la dirección”. Esta condición se genera a velocidades relativamente altas; generalmente a más de 80 km/h y las oscilaciones del volante de dirección son bastante constantes.

El mecanismo por el cual se genera el aleteo de la dirección es el siguiente:

- Cualquier desviación o desequilibrio que haya en un neumático generará una fuerza vibratoria mientras el vehículo esté moviéndose.
- Esta fuerza vibratoria genera un momento de inercia en el eje de la dirección, lo que hace vibrar los neumáticos lateralmente. Por esta razón, la rueda directriz oscilará lateralmente.
- En este momento, el eje de dirección, la carrera de dirección y la varilla de conexión actúan como un muelle rígido y el volante actúa como peso.
- A una determinada velocidad del vehículo, las vibraciones laterales de los neumáticos generadas por la fuerza centrífuga resuenan con el sistema de dirección, haciendo que el volante de dirección oscile en sentido de las agujas del reloj y en sentido contrario a las agujas del reloj.

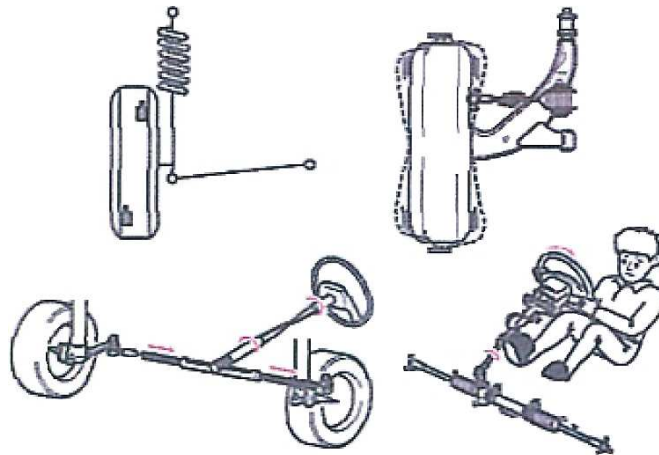


Figura 3-4 Mecanismo de generación del aleteo de la dirección

FUENTE: TOYOTA MOTOR CORPORATION; "Técnico superior de diagnóstico: Puntos básicos sobre la localización y reparación de averías"; 2003

Este fenómeno es causado principalmente por desviaciones, desequilibrio o irregularidades en los neumáticos; o porque las vibraciones del volante de dirección y de los neumáticos entran en resonancia.

3.4 OSCILACIÓN DE LA DIRECCIÓN

Se conoce como "oscilación de la dirección" a la condición en la que el volante de dirección oscila en sentido de las agujas del reloj y en sentido contrario a las agujas del reloj, al igual que en el aleteo de la dirección; aunque este problema se vuelve notorio a más bajas velocidades del vehículo; normalmente a menos de 80 km/h.

Las causas para que este síntoma aparezca durante la conducción pueden ser la circulación por una carretera con superficie irregular o también al momento de frenar cuando el vehículo presenta desgaste irregular ya sea en los frenos o en los neumáticos. Otra de las causas puede ser un juego en las varillas de la dirección, reducción de la resistencia debida al desgaste o falta de dureza o rigidez de las varillas de dirección. Además las resonancias que pueden generarse entre los neumáticos, el sistema de dirección y la suspensión.

Existen varios factores que pueden desencadenar en vibraciones en el eje de la dirección delantero, las cuales a su vez provocan que el volante presente la condición de *shimmy* (contoneo). Entre estos factores se tiene una carretera con baches, los neumáticos deformados o las oscilaciones verticales que se producen al frenar con neumáticos o frenos desgastados irregularmente.

Los componentes que transmiten estas vibraciones y los síntomas de las vibraciones son idénticos a los del aleteo de la dirección.

Si bien el aleteo de la dirección y la oscilación parecen ser idénticos, tienen causas diferentes.

El aleteo se produce sobre el volante de dirección cuando se genera una resonancia en el sistema de dirección debido a las vibraciones de los neumáticos causadas por el desequilibrio, desviación o irregularidad de los mismos.

El efecto de shimmy u oscilación de la dirección, por otra parte, es una oscilación que se perpetúa a sí misma causada por el hecho de frenar en una carretera con baches.



Figura 3-5 Oscilación de la dirección

FUENTE: TOYOTA MOTOR CORPORATION; "Técnico superior de diagnóstico: Puntos básicos sobre la localización y reparación de averías"; 2003

3.5 VIBRACIÓN DEL PEDAL DEL ACELERADOR

Se trata de una vibración de alta frecuencia que se produce a altas velocidades del motor, pero que no está relacionada con la velocidad del vehículo. Este síntoma puede ser perceptible para el usuario al mantener el pie sobre el pedal

del acelerador, aunque el pulso que se produce en la dirección en que se pisa el pedal no es demasiado grande.

El mecanismo por el cual se genera la vibración en el pedal del acelerador es el siguiente:

- Las vibraciones del motor provocan la vibración del cable del acelerador o del varillaje.
- Las vibraciones del cable o del varillaje se transmiten al pedal del acelerador, con lo cual éste también vibra.

Además de la vibración que procede directamente del motor, también hay la vibración que se transmite desde el cable del acelerador de la transmisión al cable del acelerador o al varillaje.

Las principales causas de la aparición de este síntoma son la vibración del motor, las vibraciones y resonancias en el cable del acelerador o en el varillaje, y la falta de rigidez en el cable del acelerador o en el varillaje.

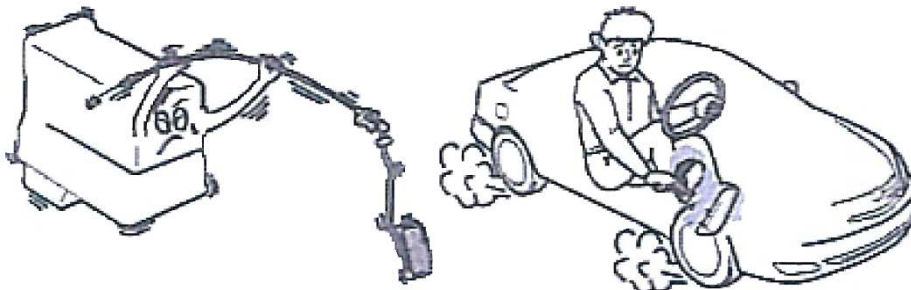


Figura 3-6 Vibración del pedal de la aceleración

FUENTE: TOYOTA MOTOR CORPORATION; "Técnico superior de diagnóstico: Puntos básicos sobre la localización y reparación de averías"; 2003

3.6 VIBRACIÓN DE LA PALANCA DE CAMBIOS

Este tipo de vibración hace oscilar la palanca de cambios; por lo general cuando las revoluciones del motor son relativamente altas. Tiende a mostrar una mayor selección acerca de las revoluciones del motor con las que vibra.

El mecanismo de generación y transmisión de esta vibración depende del tipo de transmisión del vehículo.

Si el vehículo es de propulsión trasera, el mecanismo por el cual se genera la vibración de la palanca de cambios es el siguiente:

- Las fluctuaciones de par en el motor, o los desequilibrios de los componentes giratorios o que son recíprocos entre sí, generan vibraciones de alabeo en el tren de transmisión. De igual manera, los ángulos de junta o un eje propulsor desequilibrado pueden amplificar las vibraciones.
- De este modo, la caja de la extensión de la transmisión vibra vigorosamente, con lo que se genera una fuerza vibratoria en la palanca de cambios.
- La palanca de cambios oscila porque está instalada sobre la caja de la extensión de la transmisión. Cualquier juego que haya en la palanca de cambios amplifica adicionalmente la vibración.

Si el vehículo es de tracción delantera, la causa principal para que se genere este síntoma es un motor desajustado, el cual funciona de manera abrupta y hace que el conjunto de la palanca de cambios vibre.



Figura 3-7 Vibración de la palanca de cambios

3.7 CONDUCCIÓN INCÓMODA

Hace referencia al balanceo y al bamboleo de todo el vehículo; es decir, la transmisión de todas y cada una de las irregularidades de la calzada a la carrocería. Estos síntomas aparecen cuando el vehículo pasa por encima de baches o de superficies irregulares a determinadas velocidades.

Este síntoma se presenta principalmente a causa de superficies de la carretera que presentan baches o irregularidades, o por vibraciones del neumático o de la suspensión.

La forma en que se desarrolla la incomodidad en la conducción es la siguiente:

- La carrocería del vehículo se balancea cuando se circula por una carretera de superficie irregular o con baches. Estas oscilaciones se transmiten a la suspensión.
- Las oscilaciones de la suspensión hacen que la carrocería del vehículo bambolee repetidamente, lo que produce la impresión a los pasajeros de que el vehículo se balancea.

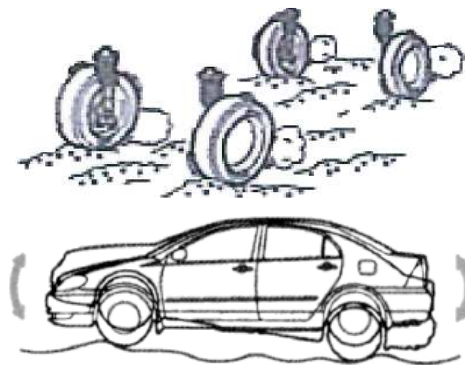


Figura 3-8 Conducción incómoda, sacudidas por mal estado de la calzada

FUENTE: TOYOTA MOTOR CORPORATION; "Técnico de diagnóstico: Suspensión y dirección-Sistema de suspensión"; 2003

La incomodidad de la conducción es dependiente tanto de la tara como del peso no suspendido. Normalmente, si la tara es grande, la carrocería del vehículo tiende a presentar una menor vibración, lo que aumenta la comodidad de la conducción. Si el peso no suspendido es grande, la comodidad empeora.

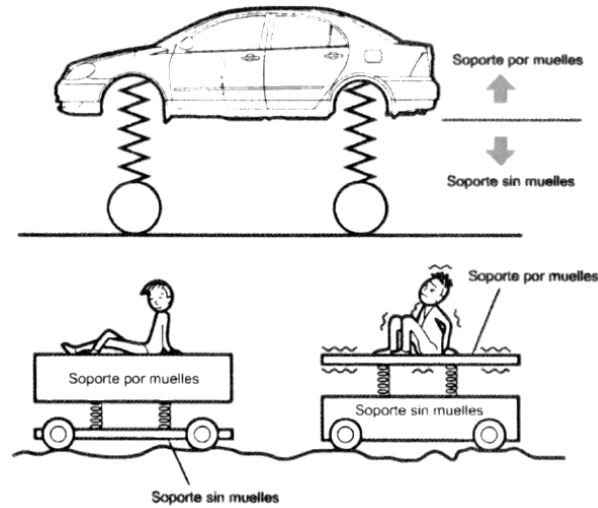


Figura 3-9 Peso suspendido y no suspendido y su influencia en las vibraciones

FUENTE: TOYOTA MOTOR CORPORATION; "Técnico de diagnóstico: Suspensión y dirección-Sistema de suspensión"; 2003

De forma similar, si la fuerza de amortiguación del amortiguador disminuye, o si la fuerza del muelle es demasiado fuerte, se crea una sensación de "flotación" o de "bamboleo". Por esta razón, la comodidad de la conducción empeora.

Si bien la vibración puede ser de varios tipos como cabeceo, rebote, balanceo y desviación, todos ellos se pueden dar simultáneamente.

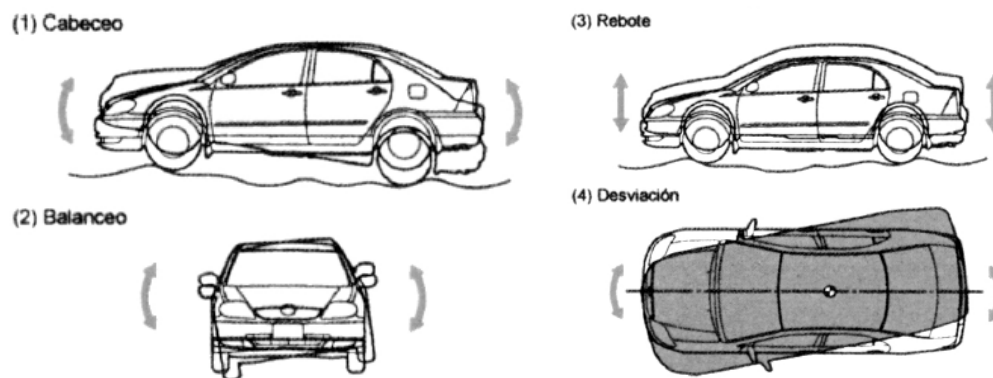


Figura 3-10 Tipos de sacudidas provocados por el estado del camino

FUENTE: TOYOTA MOTOR CORPORATION; "Técnico de diagnóstico: Suspensión y dirección-Sistema de suspensión"; 2003

3.8 GOLPETEO

Por golpeteo se entiende un impacto individual como el que se produce golpeando un objeto con un martillo. Además de un ruido fuerte, este impacto se percibe a través del volante, los asientos y el piso. Este tipo de impacto se produce cuando se conduce por encima de un agujero o un bache en la carretera.

La mecánica del ruido y el desarrollo de la vibración en este tipo de situación empieza cuando el neumático recibe un impacto longitudinal, lo que produce una deformación seccional al pasar el vehículo por encima de un agujero o un bache de la carretera.

Este impacto se transmite adicionalmente a los brazos de la suspensión. Por este motivo, los bujes de la suspensión se comprimen, transmitiendo el ruido abrupto o la vibración a la carrocería.



Figura 3-11 Golpeteo por impacto longitudinal

FUENTE: MAYZ, E.; "Conocimientos básicos del automóvil: NVH (Noise, Vibration, Harshness)"

Las características de los neumáticos y la forma y constante de muelle de los bujes de los brazos de la suspensión desempeñan una parte fundamental en el desarrollo del golpeteo.

3.8.1 CARACTERÍSTICAS DE LOS NEUMÁTICOS

Un neumático con buenas características envolventes, puesto que los neumáticos radiales incorporan bandas rígidas en sus bandas de rodadura, su capacidad envolvente es menor al de los neumáticos de estructura diagonal.

La fuerza del impacto creado en el momento que el neumático pasa por encima de un agujero o de un bache de la carretera es una combinación de las características envolventes y de transmisión de la vibración del neumático. Por esta razón, cuando un neumático radial, que posee una característica envolvente inferior a la de los neumáticos de dibujo diagonal, pasa por encima de un bache, transmite enseguida el impacto a la suspensión a baja velocidad del vehículo. A velocidades más altas, las paredes laterales más blandas de los neumáticos radiales pueden absorber dichos impactos.

3.8.2 BUJES DE LOS BRAZOS DE SUSPENSIÓN

Las ranuras longitudinales de los bujes de los brazos de suspensión están diseñadas para amortiguar los impactos que recibe el vehículo en sus partes delantera y trasera; esto se consigue flexionando los bujes. Los anillos intermedios ofrecen rigidez en sentido transversal.

3.9 RUIDO DEBIDO AL PATRÓN DEL NEUMÁTICO

Este tipo de ruido se produce a menudo en vehículos provistos de neumáticos con patrón de bloque o de maza al circular por vías pavimentadas. Su intensidad aumenta de acuerdo con la velocidad del vehículo.

La forma en que se genera este ruido es la siguiente:

- Cuando un neumático gira sobre la superficie de una carretera, el aire queda atrapado entre los surcos de la banda de rodadura y se comprime al entrar en contacto con el suelo, tal como se muestra en la Figura 3-12.
- A medida que el neumático rueda, el aire comprimido escapa del surco, lo que se llama “acción de bombeo de aire” y se expande al ser liberado creando un sonido de taponazo. La multiplicación de estos sonidos produce un bramido.

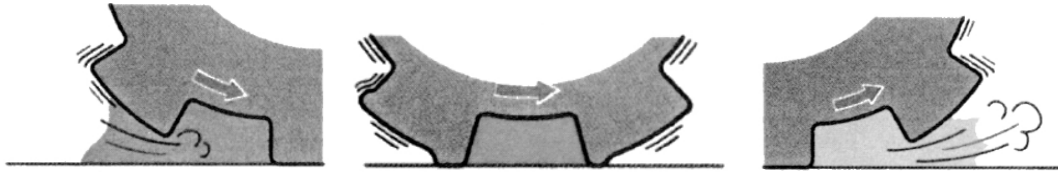


Figura 3-12 Generación del ruido debido al patrón del neumático

FUENTE: TOYOTA MOTOR CORPORATION; "Técnico de diagnóstico: Transeje manual-Neumáticos y ruedas de disco"; 2003

Los neumáticos con patrones que atrapan aire fácilmente producen bramidos de mayor volumen. En otras palabras, los neumáticos de patrón de bloque o de maza son más propensos a generar ruido que los de patrón de sectores.

3.10 RUIDO DE ESTRUENDO DE LA CARROCERÍA

Este tipo de ruido se percibe como una presión acústica, cuyo origen es desconocido por el usuario. Su tono aumenta de acuerdo con la velocidad del motor. Se produce en un rango de velocidad del vehículo relativamente pequeño.

El ruido de estruendo de la carrocería aplica una presión en el oído, similar al que se experimenta cuando se escala una montaña o se circula por un túnel a alta velocidad, debido a los cambios rápidos de presión atmosférica. Esto se atribuye a grandes fluctuaciones de presión atmosférica que se dan en el interior del vehículo.

La forma en que se genera y transmite este ruido depende de la causa:

- Ángulo de junta del eje propulsor
- Eje propulsor desequilibrado
- Vibraciones del tubo de escape
- Vibración de componentes auxiliares

3.10.1 ÁNGULO DE JUNTA DEL EJE PROPULSOR

Cuando hay un ángulo de junta en el eje propulsor se producen dos fluctuaciones de par en cada vuelta del eje propulsor. Estas fluctuaciones aumentan según aumenta el ángulo de junta.

A ciertas velocidades del vehículo dichas fluctuaciones de par hacen vibrar el tren de transmisión, y se transmiten a través de los bujes o muelles del brazo de suspensión, con lo que los paneles de la carrocería comienzan a vibrar. Esto produce el ruido de estruendo de la carrocería.

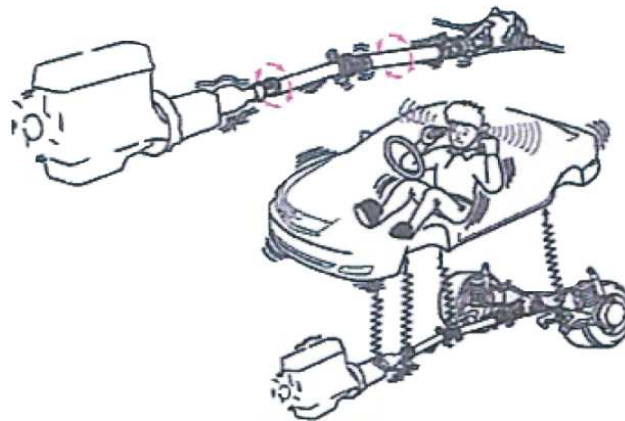


Figura 3-13 Ruido de estruendo debido a ángulo de junta

FUENTE: TOYOTA MOTOR CORPORATION; "Técnico superior de diagnóstico: Puntos básicos sobre la localización y reparación de averías"; 2003

3.10.2 ÁRBOL DE TRANSMISIÓN DESBALANCEADO

Cuando el árbol de transmisión está desbalanceado, la fuerza centrífuga causada por este desequilibrio intenta que los extremos del eje propulsor se doblen hacia afuera y que giren en grandes círculos alrededor de la línea central del eje.

Naturalmente, esto no sucede porque el eje propulsor está fijado en sus dos extremos. No obstante, consigue que el eje vibre en cada vuelta que da.

Esta fuerza vibratoria intenta doblar el eje propulsor.

Además, dicha fuerza vibratoria se transmite a través de los soportes traseros del motor, del cojinete central del eje propulsor y de los bujes de la suspensión trasera hacia los paneles de la carrocería. Los paneles de la carrocería vibran, con lo cual se genera ruido de estruendo.

3.10.3 VIBRACIONES DEL TUBO DE ESCAPE

Debido a que es largo y estrecho, el tubo de escape vibra fácilmente. Otro factor importante que hace que vibre vigorosamente es que está conectado al motor, que es la mayor fuente de vibraciones de un vehículo.

Cuando el tubo de escape resuena debido a la vibración del motor, dicha vibración se amplifica adicionalmente y se transmite a través de las juntas tóricas y de las abrazaderas del silenciador hacia la carrocería del motor, con lo que se produce el ruido de estruendo. Para aislar la zona problemática se pueden quitar las juntas tóricas una a una.

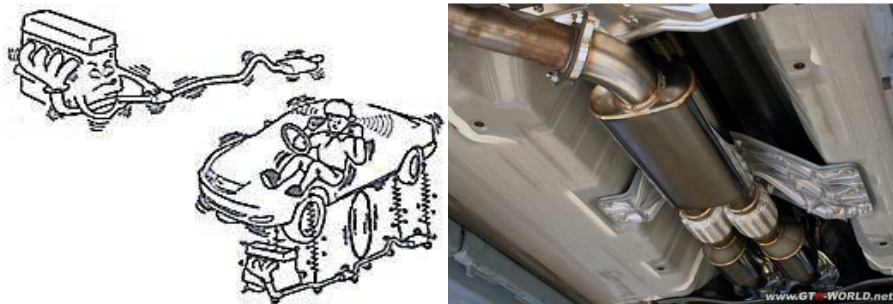


Figura 3-14 Vibración del tubo de escape

FUENTE:<http://www.mpatv.com/tag/tubo-de-escape/>

3.10.4 VIBRACIÓN DE COMPONENTES AUXILIARES

Si las ménsulas de soporte del alternador, la bomba de la servodirección o el compresor del aire acondicionado están hechos de un material no lo suficientemente rígido, también resonarán debido a la vibración del motor. La

vibración se transmite entonces a través de los soportes del motor hacia la carrocería, con lo cual se crea el ruido de estruendo de la carrocería.

El ruido de estruendo de la carrocería puede estar relacionado con la velocidad del motor o con una velocidad del vehículo concreta.

3.11 RUIDO DE PERCUSIÓN DE LA CARROCERÍA

Para que haya un sonido de percusión debe haber dos sonidos diferenciados:

- Cuando dos sonidos diferentes con frecuencias ligeramente distintas, A y B, se producen simultáneamente, su volumen varía cíclicamente, lo que da como resultado ruido de percusión.
- Cuando se solapan los picos (o los valles) de dos frecuencias de vibración diferentes, A y B, se produce un ruido de mayor volumen. Y cuando se solapan los picos con los valles de dos frecuencias de vibración diferentes, se produce un ruido de menor volumen.

La frecuencia de un ruido de percusión puede representarse del siguiente modo:

$$\text{Frecuencia A} - \text{Frecuencia B} = \text{Frecuencia del ruido de percusión}$$

Los ruidos de percusión que se perciben mejor son aquellos con frecuencias de 2 a 6 Hz.

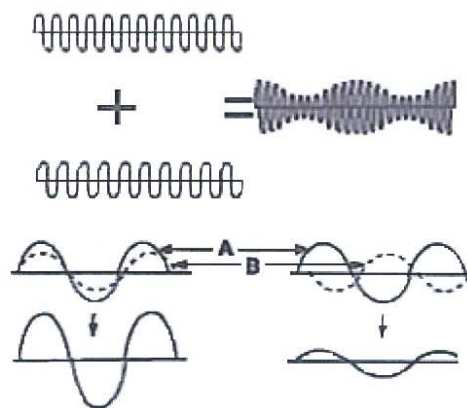


Figura 3-15 Sonidos de frecuencias diferentes A y B solapados

FUENTE: TOYOTA MOTOR CORPORATION; "Técnico superior de diagnóstico: Puntos básicos sobre la localización y reparación de averías"; 2003

3.11.1 DESLIZAMIENTO DEL CONVERTIDOR DE PAR

3.11.1.1 Ruido causado por desequilibrio

- Si hay un desequilibrio en el impulsor de la bomba y otro detrás del rodete de la turbina, como en el eje propulsor, cada uno de estos componentes producirá una vibración.
- Cuando el desequilibrio del impulsor de la bomba se encuentra en el lado opuesto en relación al desequilibrio del eje propulsor, las vibraciones serán menores que cuando los desequilibrios se encuentren en el mismo lado.
- Estas dos vibraciones variables se transmiten a los paneles de la carrocería a través de los miembros del soporte trasero del motor o de los bujes de los brazos de suspensión para producir el ruido de percusión.

3.11.1.2 Ruido causado por fluctuaciones del par

Además de la vibración mencionada previamente, causada por los desequilibrios, la combinación de fluctuación de par motor, deslizamiento del convertidor y fluctuación de par debido al ángulo de junta, también puede crear una fuerza vibratoria que se convierte en ruido de percusión de la carrocería.

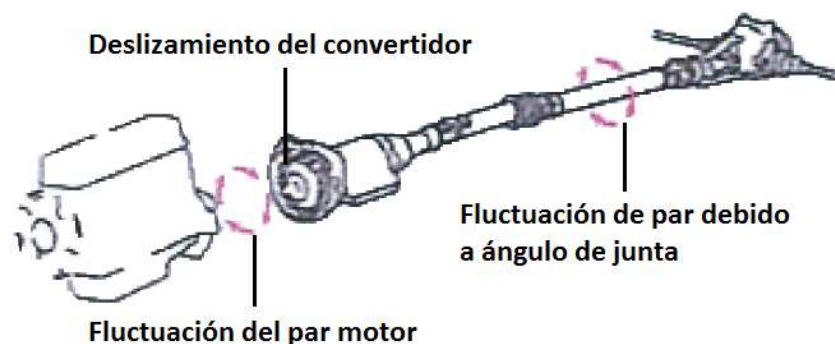


Figura 3-16 Deslizamiento del convertidor y fluctuación del par motor

FUENTE: TOYOTA MOTOR CORPORATION; "Técnico superior de diagnóstico: Puntos básicos sobre la localización y reparación de averías"; 2003

3.11.2 VIBRACIONES CAUSADAS POR LA RELACIÓN DEL ENGRANAJE DE TRANSMISIÓN

Además del ruido de percusión de la carrocería creado por el deslizamiento del convertidor de par, la relación del engranaje de transmisión, como la sobremarcha en una transmisión automática o la 5ta velocidad de una transmisión manual, puede hacer que la frecuencia de vibración del motor se aproxime a la frecuencia de vibración del tren de transmisión, lo que produce ruido de percusión en la carrocería.

3.11.3 VIBRACIONES CAUSADAS POR LA RELACIÓN DE LA POLEA

Si el diámetro de una polea accesoria y del cigüeñal se aproxima a múltiplos de números enteros, las diferencias de frecuencia de vibración del motor y del accesorio se reducirán, combinándose para producir ruidos de percusión en la carrocería.

3.11.4 VIBRACIONES CAUSADAS POR LA RELACIÓN DE LA REDUCCIÓN DIFERENCIAL

Si las frecuencias de las vibraciones creadas por la irregularidad de los neumáticos y las frecuencias de las vibraciones del motor, o las vibraciones del eje propulsor, se aproximan entre sí debido a la relación del engranaje diferencial, estas vibraciones también producirán ruidos de percusión de la carrocería.

Para determinar si un ruido de percusión está siendo causado o no por el deslizamiento del convertidor de par, solamente se necesita variar la presión que se ejerce sobre el pedal del acelerador. Si con esto se altera la frecuencia del ruido, significa que se ha conseguido aislar la fuente del síntoma.

Un motor de cuatro cilindros produce ruidos de percusión más fácilmente debido al deslizamiento del convertidor de par cuando el ángulo de junta del eje propulsor es grande.

Puesto que los ruidos de percusión de la carrocería se crean combinando dos vibraciones distintas, pueden eliminarse aumentando la diferencia entre estas dos vibraciones o reduciendo la vibración de cualquiera de las dos.

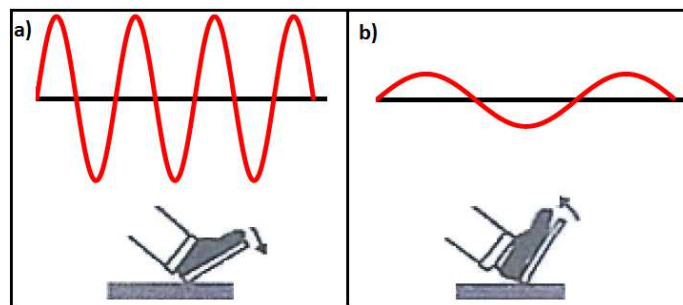


Figura 3-17 Golpeteos debido a la reducción de la relación diferencial: a) Golpeteo rápido; b) Golpeteo lento

FUENTE: TOYOTA MOTOR CORPORATION; "Técnico superior de diagnóstico: Puntos básicos sobre la localización y reparación de averías"; 2003

3.12 RUIDO DEL MOTOR^[23]

El ruido del motor se origina tanto por el mismo proceso de combustión, como por las fuerzas mecánicas generadas asociadas a la dinámica. Las fuerzas que intervienen en el motor se las puede agrupar de la siguiente manera:

- Combustión
- Recíprocas
- Rotacionales

El proceso de combustión produce grandes fluctuaciones de presión en cada uno de los cilindros, dando lugar a grandes cargas de presión que se liberan en los pistones, provocando el movimiento de este a una gran velocidad. Estas fuerzas combinadas con la inercia del movimiento, el desbalanceo de las piezas, provoca que la estructura del motor vibre, convirtiendo al motor en una fuente de ruido.

El control del ruido, por lo tanto, tiene que estar centrado en el valor de las variaciones de presión del cilindro (ruido de la combustión) y la elección de la configuración del motor (efectos dinámicos).

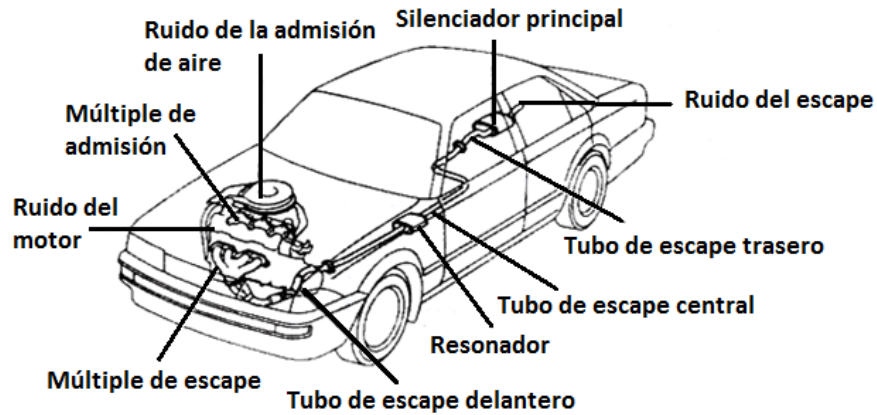


Figura 3-18 Ruido del motor y del sistema de admisión y escape

FUENTE: <http://www.automotriz.net/cms/tecnica/conocimientos-basicos-parte-4/>
publicado 07/05/2006

18/04/2013

3.13 RUIDO DEL VIENTO

Aunque una parte del ruido aerodinámico se crea por los conductos de aireación/ventilación existentes hacia el interior de la cabina, el ruido más molesto es el que se genera por el flujo externo alrededor del vehículo.

La creación de ruido aerodinámico está asociada con las turbulencias que se generan en la superficie del vehículo. El ruido aerodinámico es debido principalmente a las fluctuaciones de la presión asociadas a las turbulencias y a los vértices que se crean al paso de los vehículos.

Se percibe como un silbido en la zona de la ventana. Se produce principalmente en velocidades elevadas; los cambios de velocidad o de dirección del viento modifican las características del ruido. Generalmente, la intensidad del ruido aumenta con la velocidad del vehículo aunque, dependiendo de la dirección del viento, el ruido puede llegar a ser inaudible en algunas ocasiones.

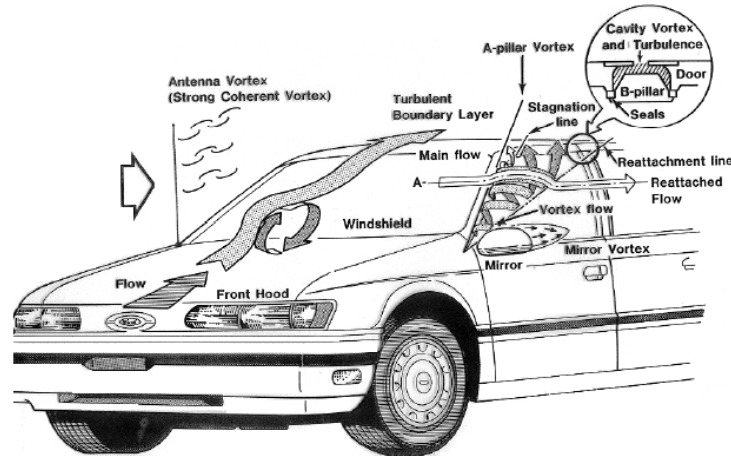


Figura 3-19 Fuentes de ruido aerodinámico

FUENTE: SANZ, C.; "Técnicas para el estudio acústico en vehículos (Noise, Vibration and Harshness)"; pág. 23

3.13.1 RUIDOS CREADOS POR TURBULENCIAS DE AIRE CAUSADAS POR IRREGULARIDADES DE LA CARROCERÍA

Cuando el aire fluye por los salientes o recesos de la superficie del vehículo, se crean turbulencias de aire detrás de los mismos. Los ruidos creados por estas turbulencias entran en el habitáculo a través de las puertas o ventanas.

3.13.2 RUIDOS CREADOS POR FUGAS DE AIRE

A altas velocidades, la presión del aire fuera del habitáculo es menor que en el interior. Cuando se fuerza el aire que está dentro a través de los espacios de los burletes interiores o de los paneles de la carrocería y entra en contacto con el flujo de aire exterior, se genera ruido.

El ruido de viento puede producirse en cualquier lugar, aunque las cuatro zonas que se muestran en la Figura 3-20 suelen ser las fuentes de ruido más habituales.

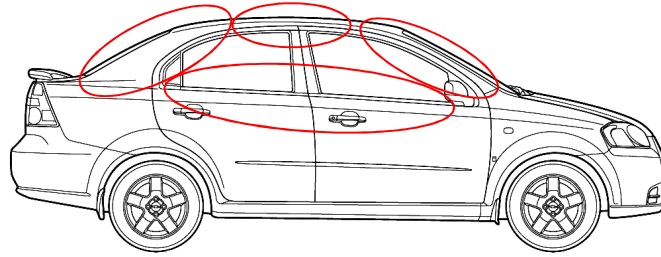


Figura 3-20 Zonas que generan ruido por fugas de aire

FUENTE:<http://avtomobilj.narod.ru/ispanskij/chevrolet/Chevrolet-KR-Aveo-4-Door-2006/>
26/03/2013

Algunas de las medidas para contrarrestar el ruido del viento son la aplicación de sellador de carrocería en los espacios de los paneles de la carrocería o la alineación de las puertas y del parabrisas.

Los vehículos modernos tienen menos espacio entre los paneles de la carrocería que los vehículos antiguos; esto ha conseguido reducir el ruido del viento.

3.14 CHIRRIDO DEL ENGRANAJE DE LA TRANSMISIÓN

Se refiere a los ruidos creados por el dentado del engranaje bajo par. Este chirrido es un sonido de tono relativamente agudo y no ejerce una presión excesiva en los oídos. Suele transmitirse desde la parte delantera del suelo y se produce normalmente a una velocidad concreta.

La forma en que se transmite este ruido hasta el habitáculo depende del tipo de transmisión

3.14.1 MOTOR DELANTERO. VEHÍCULOS CON PROPULSIÓN TRASERA

Las fluctuaciones rotacionales de los engranajes debidos a huelgo hacen vibrar los engranajes.

Estas vibraciones de engranajes producen un chirrido, que se transmite a los paneles de la carrocería a través de la caja de la transmisión y del miembro del soporte trasero del motor.

Así mismo, el chirrido del engranaje amplificado por la resonancia del eje propulsor y de la suspensión trasera se transmite a la carrocería a través de los miembros de suspensión de los brazos de control.

3.14.2 MOTOR DELANTERO. VEHÍCULOS CON TRACCIÓN DELANTERA

El ruido se transmite desde la caja del transeje, a través de los soportes del motor, hacia la carrocería. Otra ruta parte del transeje, a través del varillaje del cambio, y se dirige a la carrocería. El ruido del transeje también se puede oír directamente en el habitáculo.

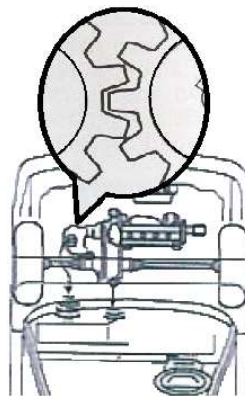


Figura 3-21 Holgura en los engranajes de la transmisión

FUENTE:<http://nicony.weebly.com/clasificacioacuten-de-los-engranajes.html> 24/04/2013

3.15 CHIRRIDO DEL ENGRANAJE DEL DIFERENCIAL

Se refiere a los ruidos creados por el dentado de los engranajes diferenciales. Se trata de un sonido con un tono relativamente alto y muy parecido al chirrido del engranaje de la transmisión. No se percibe una gran presión en los oídos. Este ruido se oye a velocidades intermedias; es decir, por encima de los 40-50 km/h. se producen en velocidades del vehículo concretas y no están relacionadas con la velocidad seleccionada.

El chirrido del engranaje diferencial suele corregirse sustituyendo la corona y la corona de piñones o ajustando su huelgo. En ocasiones se puede corregir

alineando los miembros de la suspensión o el portadiferencial de los vehículos con tracción trasera y suspensión trasera independiente.

En los vehículos con tracción delantera dotados de transeje automático, el chirrido producido por la transmisión intermedia del transeje es un sonido de tono agudo.

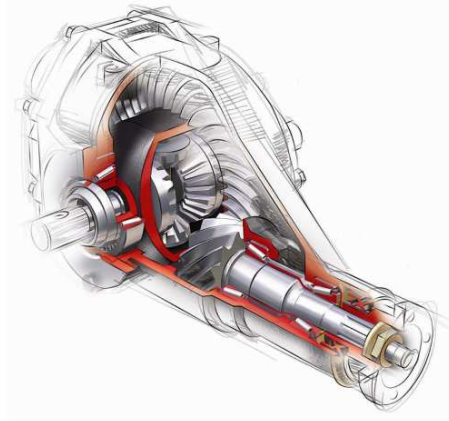


Figura 3-22Engranaje diferencial

FUENTE:http://www.nskeurope.es/cps/rde/xchg/eu_es/hs.xsl/engranaje-del-diferencial-y-arbol-de-transmision.html 31/03/2013

La forma en que se transmite este ruido hasta el habitáculo depende del tipo de transmisión:

3.15.1 MOTOR DELANTERO. VEHÍCULOS CON PROPULSIÓN TRASERA

Cuando la corona diferencial y los engranajes del piñón encajan, el huelgo resultante produce cambios en la velocidad rotacional de ambos engranajes, lo que produce vibración.

Estas vibraciones en el portadiferencial se amplifican cuando el eje propulsor y la suspensión trasera resuenan.

Las vibraciones amplificadas se transmiten a la carrocería, lo que produce el chirrido del engranaje diferencial.



Figura 3-23 Ruido generado en el engranaje diferencial: vehículo con propulsión trasera

FUENTE: TOYOTA MOTOR CORPORATION; "Técnico superior de diagnóstico: Puntos básicos sobre la localización y reparación de averías"; 2003

3.15.2 MOTOR DELANTERO. VEHÍCULOS CON TRACCIÓN DELANTERA

Al igual que el chirrido de la transmisión, el ruido del diferencial se transmite desde la caja del transeje a través de los soportes del motor hasta la carrocería.

Otra ruta parte del transeje, a través del varillaje del cambio o del velocímetro, y se dirige a la carrocería. El ruido del transeje también se puede oír directamente en el habitáculo.

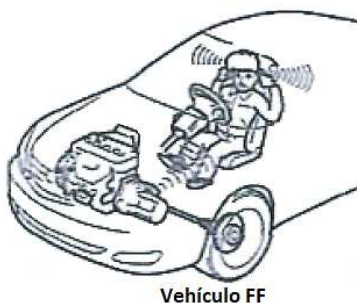


Figura 3-24 Ruido generado en el engranaje diferencial: vehículo con tracción delantera

FUENTE: TOYOTA MOTOR CORPORATION; "Técnico superior de diagnóstico: Puntos básicos sobre la localización y reparación de averías"; 2003

3.16 RUIDO DE ESCAPE Y ADMISIÓN DEL AIRE

El ruido de admisión se genera por cortes periódicos en el flujo de aire a través de las válvulas de admisión, creando pulsos de presión en los conductos de admisión. Estos pulsos se convierten en ruido, y se transmiten a través del filtro

de aire y el resto de conductos de admisión. Este tipo de ruido aumenta su nivel a medida que el motor aumenta la entrega de potencia.

El ruido de escape es producido por la liberación periódica y repentina de los gases generados en el pistón, a través de las válvulas de escape en sus movimientos e apertura y cierre. Este tipo de ruido y sus características varían considerablemente de un tipo de motor a otro, debido a que las configuraciones de las válvulas y sus características temporales de apertura y cierre son distintas entre ellos.

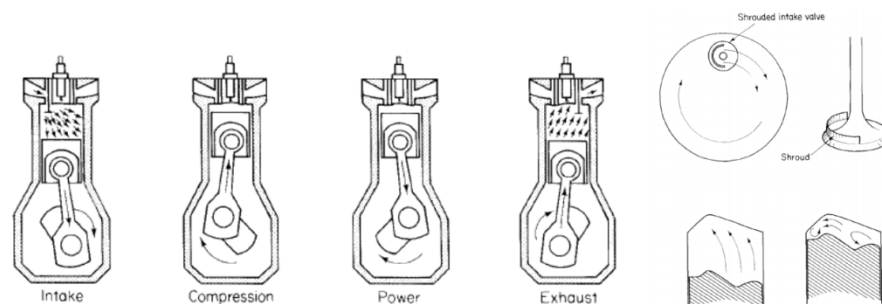


Figura 3-25 Tiempos de un motor de combustión y flujos creados en el interior

FUENTE: SANZ, C.; "Técnicas para el estudio acústico en vehículos (Noise, Vibration and Harshness)"; pág. 20

3.17 SACUDIDA DEL EMBRAGUE O SALTO

Este se produce cuando se engrana el embrague durante el arranque, con lo que el vehículo experimenta sacudidas hacia adelante y hacia atrás. Las sacudidas se detienen cuando el embrague está completamente engranado. Suele ocurrir con mayor frecuencia cuando el vehículo transporta una carga pesada o cuando se pisa parcialmente el pedal del embrague durante períodos prolongados, como al subir una pendiente con tráfico en una carretera transitada.

La forma en que esta sacudida es generada y transmitida es la siguiente:

- Cuando se engrana gradualmente el embrague al arrancar, el desgaste de las superficies de contacto del embrague hace que resbalen intermitentemente, lo que crea fluctuaciones en el par motor.

- Esta fluctuación del par genera vibración torsional en el tren de transmisión. Cuando la fluctuación del par y la vibración torsional resuenan recíprocamente, se amplifica la fluctuación del par.
- Las fluctuaciones del par amplificadas se transmiten al neumático. Haciendo que el vehículo experimente sacudidas relativas.

3.18 VIBRACIÓN DE DESPEGUE O ACELERACIÓN

La carrocería, el tablero de los instrumentos y el volante vibran ligeramente al arrancar. Esto sucede durante el engrane gradual del embrague mientras el motor todavía gira en ralentí. También vibran la palanca de cambios, los asientos delanteros y el volante. Cuando se ponen los pies en el suelo, también se perciben pequeñas vibraciones. Estas vibraciones se producen durante el arranque en primera velocidad, con la mariposa de aceleración abierta $\frac{3}{4}$ o completamente.

3.18.1 FLUCTUACIONES DEL PAR MOTOR

Al arrancar, las revoluciones del motor descienden cuando se engrana el embrague. En este momento las fluctuaciones del par motor aumentan, con lo que el motor vibra sobre su eje.

Estas vibraciones se transmiten a la carrocería a través de los soportes del motor, lo que produce vibraciones en el tablero de instrumentos o en el volante.

3.18.2 ÁNGULO DE JUNTA DE UN EJE PROPULSOR DE TRES JUNTAS

El ángulo del eje propulsor hace que la fuerza torsional se aplique a las juntas universales, lo que causa vibraciones.

El par de transmisión en un arranque súbito hace aumentar esta fuerza torsional.

El cojinete central resuena con esta fuerza. La vibración amplificada de este modo se transmite hacia la carrocería.



Figura 3-26 Ruido generado por ángulo de junta

FUENTE: TOYOTA MOTOR CORPORATION; "Técnico superior de diagnóstico: Puntos básicos sobre la localización y reparación de averías"; 2003

3.19 VIBRACIÓN DE ARRANQUE

La carrocería y los asientos experimentan una sacudida lenta cuando se arranca el motor. Esta vibración se produce inmediatamente al arrancar el motor y para en el momento que el motor está en marcha.

La forma en que se genera y se transmite esta sacudida es la siguiente:

- Cuando se arranca el motor, las fluctuaciones de presión en cada uno de los cilindros hacen que el motor experimente sacudidas alrededor de su eje de vuelco.
- En la carrocería se genera una fuerza opuesta que se transmite a través de los soportes del motor.
- Esta fuerza genera vibraciones en la carrocería del vehículo.

Si estas vibraciones vienen acompañadas de sonidos extraños, se debe comprobar si los soportes del motor están correctamente alineados y si el tubo de escape golpea alguna parte de la carrocería.

3.20 VIBRACIÓN DURANTE EL RALENTÍ

La carrocería, el tablero de instrumentos, el volante, la palanca de cambios y los asientos vibran ligeramente. Algunas de estas vibraciones son continuas y otras son intermitentes. Las vibraciones son idénticas a las que se producen cuando el motor gira con un ralentí deficiente. Se paran cuando se suben las revoluciones del motor.

La ruta de transmisión de estas vibraciones es la siguiente:

- Las fluctuaciones del par motor hacen que el motor vibre sobre su eje de vuelco. Dicha vibración de vuelco empeora si se aumenta la carga sobre el motor o si el motor no está ajustado en los soportes.
- Estas vibraciones del motor se transmiten a la carrocería a través de los soportes del motor, lo cual hace que la carrocería vibre.
- Asimismo, las vibraciones del motor se transmiten al tubo de escape, haciéndolo vibrar. Estas vibraciones se transmiten a la carrocería a través de los anillos de soporte del escape.
- Junto con las vibraciones de la carrocería, el volante de la dirección y los asientos también vibran.

3.21 VIBRACIÓN DURANTE EL FRENADO

Al frenar, el tablero de instrumentos, el volante de dirección y los asientos vibran abruptamente. En el pedal del freno se percibe un pulso, de la misma frecuencia que esta vibración. Si bien la frecuencia es similar a la de la sacudida de la carrocería, la amplitud de esta vibración es mayor. La mayoría de veces ocurre cuando se aplican los frenos mientras se conduce a velocidades intermedias o altas.

Este tipo de vibración se genera y se transmite de la siguiente manera:

- La desviación de los rotores del disco de freno o de los tambores, por pequeña que sea, hace que las pastillas o zapatas vibren cuando se accionan los frenos.

- Estas vibraciones se transmiten a través del sistema hidráulico, con lo que el pedal del freno emite unos pulsos.
- Asimismo, los rotores del freno de disco vibran simultáneamente, con lo que las articulaciones de la dirección y los ejes experimentan una sacudida tanto en sentido vertical como de adelante hacia atrás.
- Las vibraciones de los ejes se transmiten a través de la suspensión hacia la carrocería, con lo que la carrocería resuena y se amplifican las vibraciones. Estas vibraciones son similares a las sacudidas de la carrocería.

Cuando se monta una rueda que tiene desviación excesiva con pernos en el tambor del freno, puede darse el caso de que la superficie de contacto de la zapata se deforme.

3.22 CHIRRIDO DE FRENADO

Hay dos tipos de chirrido: uno es similar a un chirrido de tono agudo y el otro es similar a un gruñido de tono grave. En el frenado normal se emite un chirrido de tono agudo. También se produce cuando se acciona el freno suavemente con frenos de disco.

El gruñido de tono grave se produce justo cuando el vehículo se para repentinamente después de pisar a fondo el pedal del freno.

Este tipo de vibración se genera y se transmite de la siguiente manera, dependiendo del tipo de freno:

FRENOS DE DISCO

- Cuando se accionan los frenos, la fricción generada por las pastillas y los rotores produce una vibración en las pastillas del disco.
- El rotor del disco resuena con esta vibración y genera ruido.

FRENOS DE TAMBOR

- Cuando se accionan los frenos, la fricción generada por las zapatas del freno y los tambores de freno produce una vibración en las zapatas del freno.
- Los tambores del freno y las placas de refuerzo resuenan con esta vibración, con lo que se genera ruido.

CAPÍTULO 4

PRUEBAS Y RESULTADOS

4.1 INTRODUCCIÓN

En el presente capítulo se describe un caso práctico de análisis de vibraciones en un vehículo liviano, con el fin de obtener datos que permitan realizar una comparación entre espectros de vibraciones obtenidos cuando el vehículo se encuentra en funcionamiento normal y cuando el vehículo está funcionando con problemas cuyos síntomas son vibraciones y/o ruidos excesivos.

Los problemas que presenta el vehículo son inducidos de forma intencional, es decir se crea un desbalanceo en el vehículo de tal manera que los niveles de vibración aumenten; simulando así un mal funcionamiento del mismo y que sus síntomas sean perceptibles por el conductor; por tal razón la toma de datos se la realiza en el interior del habitáculo del vehículo, es decir, los acelerómetros se ubican dentro de la cabina: asiento, piso, volante y pedal; como se muestra en la Figura 4-1.



Figura 4-1 Dsiposición de los acelerómetros dentro de la cabina

FUENTE: Propia

Los problemas provocados son:

- Desbalanceo del motor
- Desbalanceo de las ruedas
- Desbalanceo del árbol de transmisión

Para este caso práctico se utiliza un vehículo CHEVROLET GRAND VITARA 4X4.



Figura 4-2 Vehículo utilizado para realizar las pruebas

FUENTE: Propia

Para que los espectros de vibración puedan ser comparados, es necesario que se los obtenga bajo las mismas condiciones de la calzada, la distancia recorrida, la aceleración del vehículo, la velocidad máxima alcanzada por el mismo, etc. Pero debido a que reproducir varias veces un ciclo de conducción de este tipo, realizando pruebas de ruta, es muy complejo; se realiza las pruebas sobre el banco de pruebas de torque y potencia que posee el CCICEV.



Figura 4-3 Instalaciones del CCICEV

FUENTE: <http://www.ccicev.com/>

El realizar las pruebas sobre el dinamómetro tiene sus ventajas y desventajas:

4.1.1 VENTAJAS

Dentro de las ventajas tenemos las siguientes:

- Se puede controlar de mejor manera las condiciones
- Es mucho más viable la reproducción de las condiciones para cada prueba
- Facilita la toma de datos debido a que el vehículo no se desplaza.
- Se evita la búsqueda de un tramo de camino en el cual realizar prueba de ruta
- Se evita llevar fuera de la universidad los equipos de análisis de vibraciones, los cuales pertenecen a la misma y son de alto costo.

4.1.2 DESVENTAJAS

Entre las desventajas están:

- Se pierden las condiciones de la calzada, las cuales son fuente de vibración durante la conducción.
- El ciclo de conducción no es el mismo que si se realizara prueba de ruta.

4.2 PROTOCOLO DE PRUEBAS

Con el fin de obtener los datos necesarios para el análisis de vibraciones en el vehículo y poder realizar comparaciones entre los espectros obtenidos con y sin desbalanceo, se establece el siguiente protocolo de pruebas:

- a) Se toman los datos del vehículo
- b) Se ubica al vehículo sobre el dinamómetro



Figura 4-4 Vehículo ubicado sobre el dinamómetro

FUENTE: Propia

- c) Se instalan los acelerómetros del ADQ, en el volante, el asiento del conductor, el pedal de freno y el piso de la cabina.



Figura 4-5 Vehículo ubicado sobre el dinamómetro

FUENTE: Propia

- d) Se enciende el vehículo
- e) Se realiza el monitoreo de vibraciones mientras el vehículo es acelerado libremente sobre los rodillos del dinamómetro



Figura 4-6 ADQ interconectado a la PC para minotoreo de vibraciones

FUENTE: Propia

- f) El vehículo es acelerado desde 0 km/h hasta alcanzar los 100 km/h y luego desacelerado hasta 0 km/h nuevamente



Figura 4-7 Interfaz gráfica del dinamómetro: 10km/h – 100 km/h – 0km/h

FUENTE: Propia

- g) Se apaga el vehículo y se procede a provocar el desbalanceo.
h) Una vez desbalanceado se realiza el monitoreo de vibraciones bajo las mismas condiciones, es decir, se repite el procedimiento descrito.

Este procedimiento se sigue para cada uno de los problemas provocados en el vehículo.

4.2.1 EQUIPOS UTILIZADOS

Para llevar a cabo este protocolo de pruebas es necesario el uso de los equipos especificados en las tablas:

Tabla 4-1 Especificaciones técnicas del dinamómetro

	EQUIPO:	Dinamómetro
	MARCA:	MAHA LPS 3000
	DIMENSIONES PUPITRE DE COMUNICACIONES:	600 x 1850 x 800 mm
	DIMENSIONES DEL EMBALAJE:	2360 x 960 x 870 mm
	RANGO RPM:	0 - 10000
	PRECISIÓN:	+/- 2%
	ALIMENTACIÓN:	400V 50 Hz
	RANGO VELOCIDAD:	0 - 260 km/h
	FUERZA DE TRACCIÓN:	0 - 6kN

FUENTE: Propia

Tabla 4-2 Especificaciones técnicas del juego de rodillos

	EQUIPO:	Juego de Rodillos
	MARCA:	MAHA LPS 3000, Serie R200
	DIÁMETRO RODILLOS:	318 mm
	DISTANCIA ENTRE RODILLOS:	565 mm
	DIÁMETRO MÍN DE RUEDA PARA ENSAYAR:	0 - 10000
	ALIMENTACIÓN:	400V 50 Hz
	VELOCIDAD DE ENSAYO:	máx. 200 km/h
	FUERZA DE TRACCIÓN:	máx. 15 kN
	RANGO RPM:	10 - 10000
	PRECISIÓN:	+/- 2%

FUENTE: Propia

Tabla 4-3 Especificaciones técnicas del Analizador de vibraciones

	EQUIPO:	Analizador de señales
	MARCA:	ADQ
	DIMENSIONES:	43 x 34 x 18 mm
	PESO:	5 kg
	ENTRADAS DINÁMICAS:	16
	ENTRADAS DE TRIGGER:	2
	FRECUENCIA DE MUESTREO:	100 a 24000 muestras/segundo
	COMUNICACIÓN:	Ethernet a 100 Mbits/s
	RESOLUCIÓN:	24 bits
	EXACTITUD:	+/-0,1%
ALIMENTACIÓN:	110 a 220 VAC	

FUENTE: Propia

Tabla 4-4 Especificaciones técnicas de los acelerómetros

	EQUIPO:	Acelerómetro
	MARCA:	WILCOXON RESEARCH
	MODELO:	782A
	DIMENSIONES:	43 x 34 x 18 mm
	PESO:	90 gramos
	SENSIBILIDAD:	100mV/g
	RANGO ACELERACIÓN:	80 g pico
	RESPUESTA DE FRECUENCIA:	0,7 - 12000 Hz
	FUENTE DE VOLTAJE:	18 - 30 VDC

FUENTE: Propia

Tabla 4-5 Datos del vehículo de prueba

	EQUIPO:	Vehículo
	MARCA:	CHEVROLET
	MODELO:	Grand Vitara 3P DLX T/M
	AÑO	2004
	CLASE:	Jeep
	MOTOR:	G16B 655461
	CILINDRAJE:	1600 cc.
	CHASIS:	8LDFTA03V40005459
	KILOMETRAJE:	

FUENTE: Propia

4.2.2 PRUEBA CON DESBALANCEO DEL ÁRBOL DE TRANSMISIÓN

Para realizar esta prueba, se procede a colocar un peso en el árbol de transmisión tal como se muestra en la Figura 4-8 de tal manera que se provoque un desequilibrio en el mismo.



Figura 4-8 Peso de desbalanceo en el árbol de transmisión

FUENTE: Propia

Este peso consiste en un perno 5/8" x 1 1/2" sujeto al árbol a través de alambre y cinta adhesiva.

Una vez colocado el peso, el vehículo es acelerado sobre los rodillos del dinamómetro mientras los niveles de vibración son monitoreados por el ADQ.

Además, a pesar que no es el caso, uno de los problemas más comunes que se tiene con el árbol de transmisión es cuando se colocan de forma incorrecta las juntas cardán.

Puesto que en los casos en que se desmonta el árbol de la transmisión (vehículos con árbol de transmisión desmontable), al realizar el mantenimiento del vehículo; éste es montado de forma errónea, ya que las juntas cardán tienen acoples estriados y pueden ser colocadas en cualquier posición. Y si las juntas no se colocan correctamente, al tratarse de juntas de velocidad variable, las vibraciones provocadas por este descuido son realmente considerables, afectando principalmente a los rodamientos.

4.2.3 PRUEBA CON DESBALANCEO DEL MOTOR

Un desbalanceo o desequilibrio en el motor genera niveles de vibraciones muy altos, pues éste representa la principal fuente de vibraciones de un vehículo, y al momento en que se tiene un desequilibrio las vibraciones aumentarán considerablemente, además que se tendrá niveles de ruido también altos.

En el caso práctico, para simular este problema, se procede a desconectar uno de los inyectores; esto genera una fluctuación del par motor por cada dos vueltas del cigüeñal provocando vibraciones excesivas del motor.

Durante esta prueba se puede detectar a simple vista que el vehículo vibra considerablemente y presenta dificultad para desarrollar, por lo cual le toma más tiempo alcanzar los 100 km/h.

4.2.4 PRUEBA CON DESBALANCEO DE LAS RUEDAS

Este es uno de los problemas más comunes con los que se encuentra el usuario al momento de la conducción a velocidades relativamente altas (entre 80 y 100 km/h). Si las ruedas están desbalanceadas ya sea estática o dinámicamente provocará vibraciones, que en el caso en que las ruedas desbalanceadas sean las directrices, produce la oscilación de la dirección, es decir, el volante presenta movimientos de vaivén. Tal como se explica en el numeral 3.3.

Para el caso práctico se procede a quitar las pesas de balanceo de las dos ruedas motrices para de esta manera provocar un desequilibrio en las mismas e inducir vibraciones en el vehículo.



Figura 4-9 Pesas de balanceo de las ruedas

FUENTE: Propia

4.3 ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.3.1 RESULTADOS DE LAS PRUEBAS CON DESBALANCEO DEL ÁRBOL DE TRANSMISIÓN

4.3.1.1 Acelerómetro en el volante de dirección

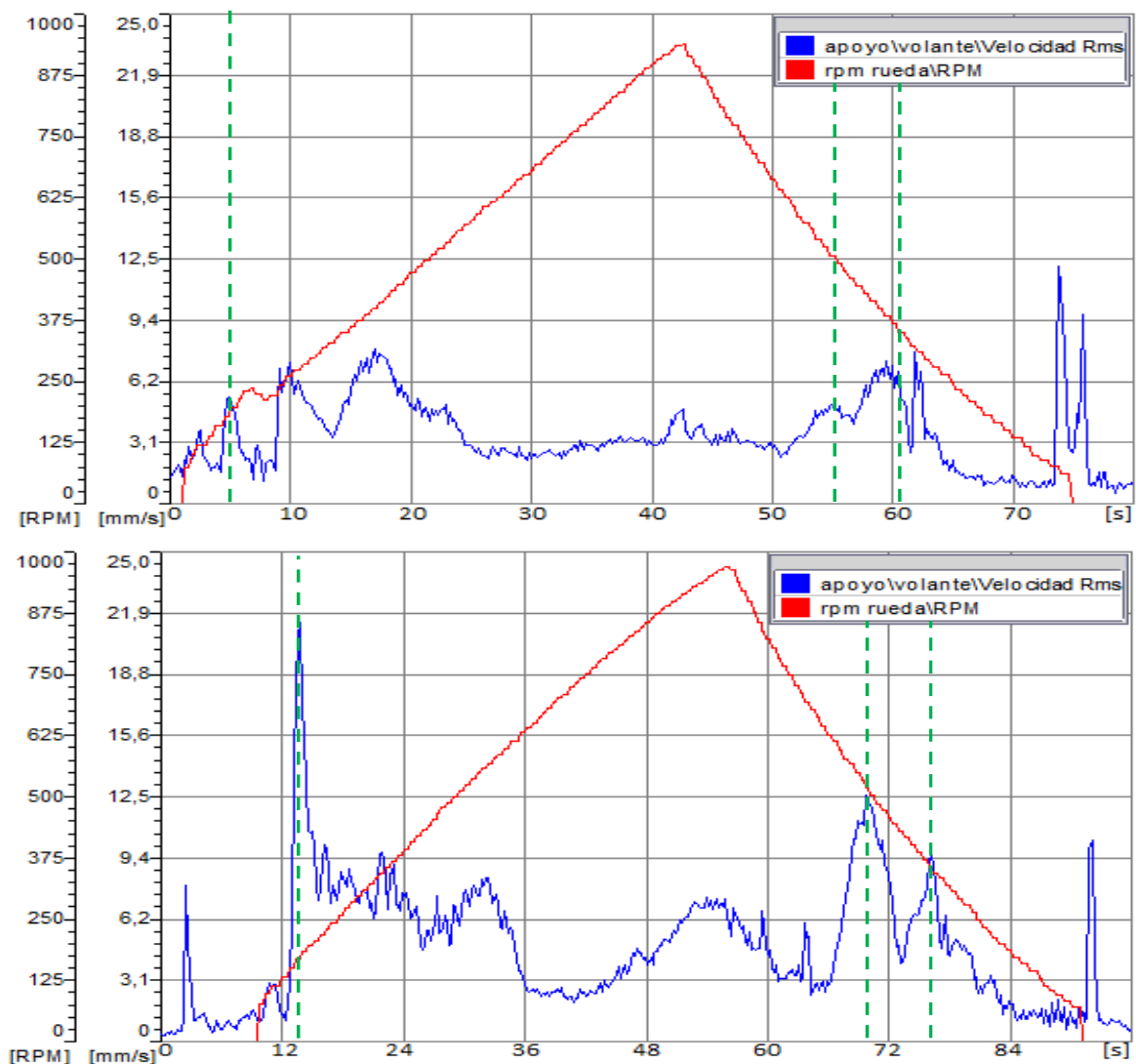


Figura 4-10 Comparación de formas de onda acelerómetro en el volante de dirección (velocidad RMS): Prueba de referencia arriba – Prueba con árbol desbalanceado abajo

FUENTE: Propia

En la Figura 4-10 se trazó líneas punteadas de color verde donde se puede apreciar claramente una diferencia entre la forma de onda de las pruebas, obteniéndose unos picos más altos en la prueba con desbalanceo.

Se realiza el análisis de espectros en las tres zonas señaladas, que corresponden a una velocidad, medida con un fototacómetro en una de las ruedas, de 210 rpm, 500 rpm y 320 rpm respectivamente.

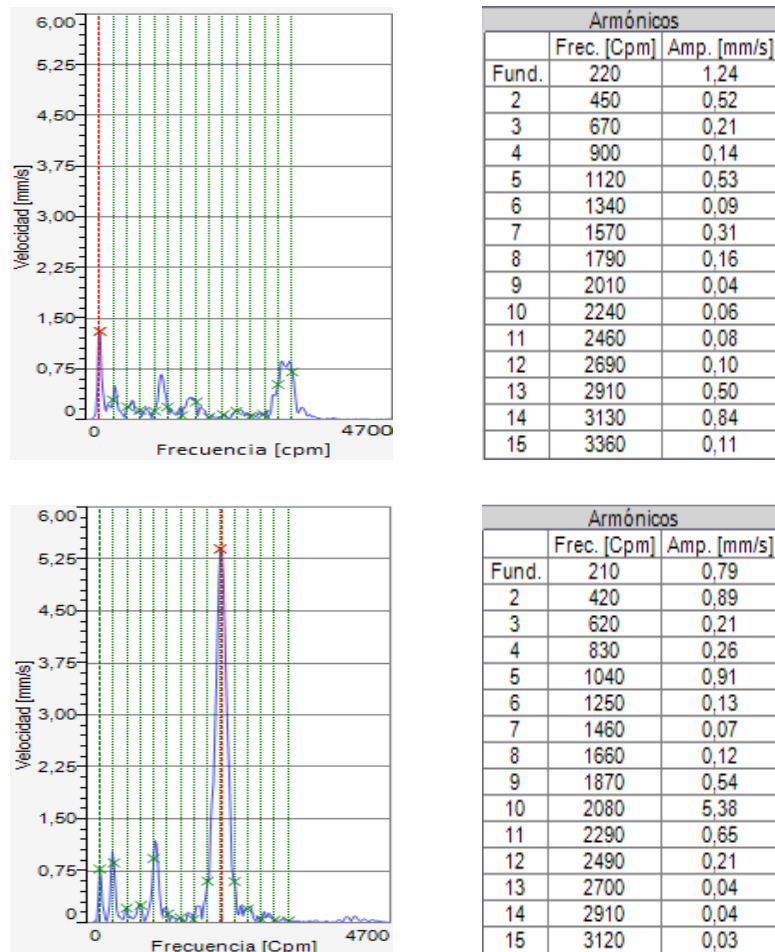


Figura 4-11 Análisis de espectros de vibración a 210 rpm: Prueba de referencia arriba – Prueba con árbol desbalanceado abajo

FUENTE: Propia

En las gráficas de la Figura 4-11 se observa una diferencia muy marcada entre los espectros, puesto que en el de abajo que corresponde a la prueba con el desbalanceo, se observa un pico a una frecuencia de 2080 cpm que debido a que

la relación de velocidades en el diferencial es de $4,875^3$; se puede decir que el pico de vibración se da a una frecuencia $2x$ del árbol de transmisión. El incremento se debe al desbalanceo que se provocó.

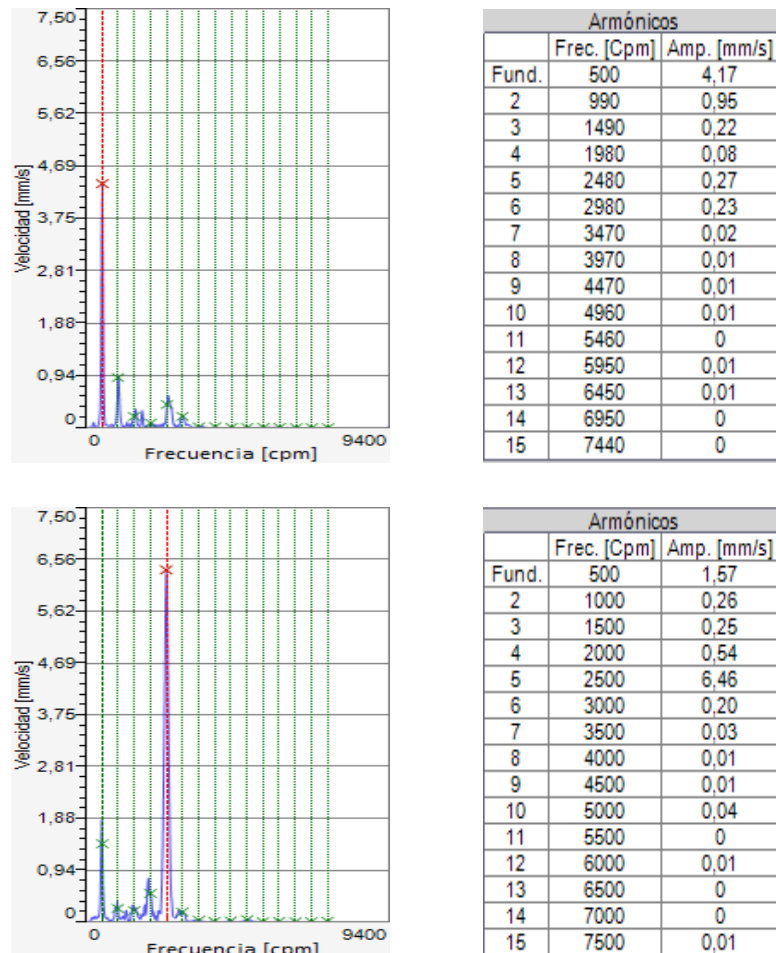


Figura 4-12 Análisis de espectros de vibración a 500 rpm: Prueba de referencia arriba – Prueba con árbol desbalanceado abajo

FUENTE: Propia

En la Figura 4-12 se observa como aparece un pico a una frecuencia de 2500 cpm que corresponde a una frecuencia $1x$ del árbol, con un valor inicial de aproximadamente $0,27$ mm/s que incrementa a un valor de $6,46$ mm/s.

³ Especificaciones técnicas CHEVROLET GRAND VITARA 3P; <http://www.chevrolet.com.ec/vehiculos/modelos-showroom/todo-terreno/grand-vitara-3-puertas/especificaciones-tecnicas/caracteristicas.html>

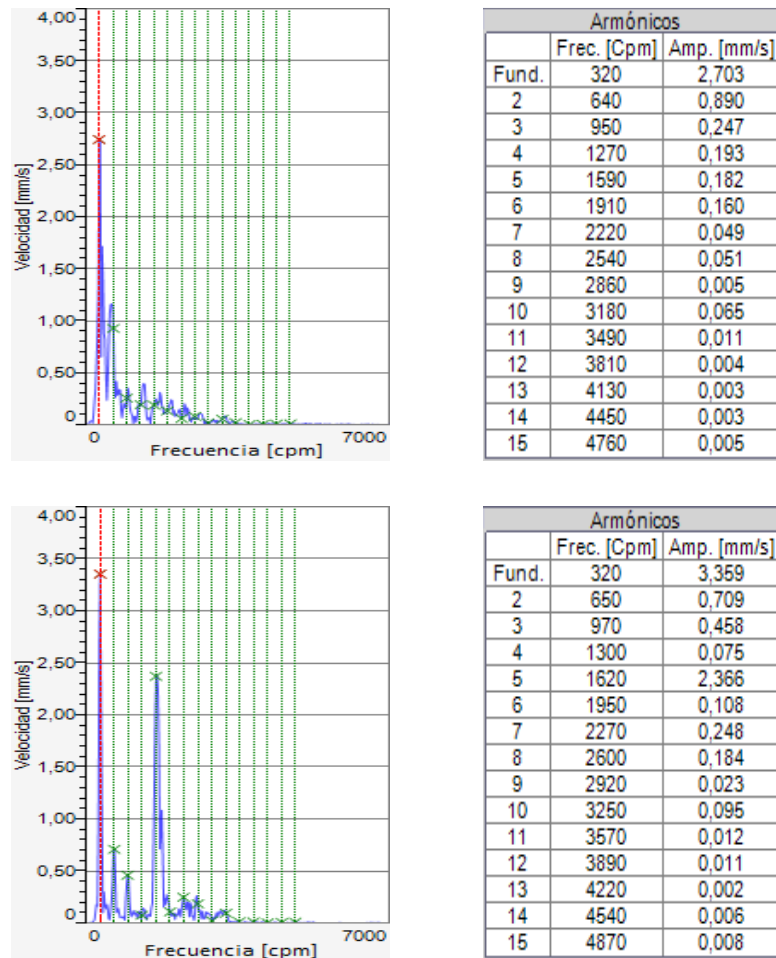


Figura 4-13 Análisis de espectros de vibración a 320 rpm: Prueba de referencia arriba – Prueba con árbol desbalanceado abajo

FUENTE: Propia

Al comparar los espectros de Figura 4-13 se puede ver que la vibración a 1x de la frecuencia del árbol sufre un incremento desde un valor inicial de 0,18 mm/s a un valor de 2,36 mm/s.

4.3.1.2 Acelerómetro en el asiento

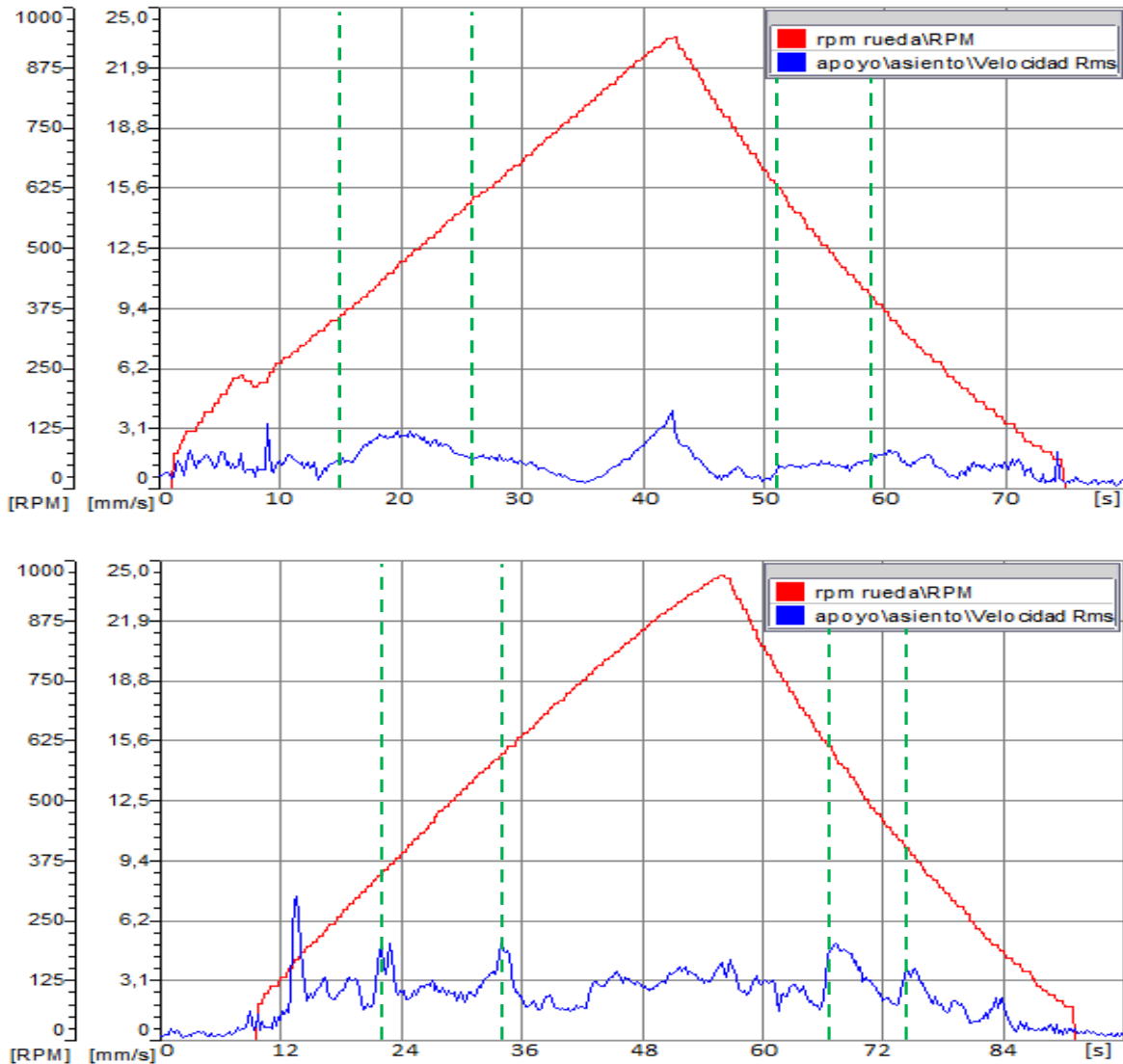


Figura 4-14 Comparación de formas de onda acelerómetro en el asiento (velocidad RMS): Prueba de referencia arriba – Prueba con árbol desbalanceado abajo

FUENTE: Propia

Se realiza el análisis de espectros en las zonas señaladas, que corresponden a una velocidad de 380 rpm, 630 rpm 580 rpm y 370 rpm respectivamente.

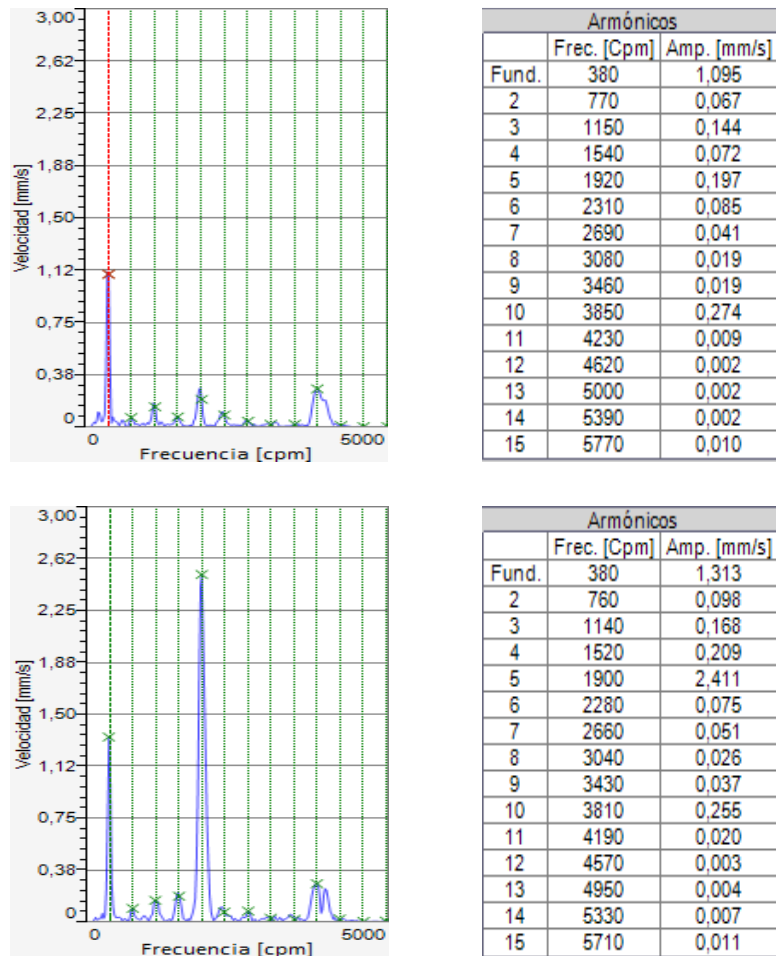


Figura 4-15 Análisis de espectros de vibración a 380 rpm: Prueba de referencia arriba – Prueba con árbol desbalanceado abajo

FUENTE: Propia

Se observa claramente como se presenta un incremento en la vibración a la frecuencia aproximada a 1x de la frecuencia del árbol de transmisión, lo que nos indica una anomalía en el mismo.

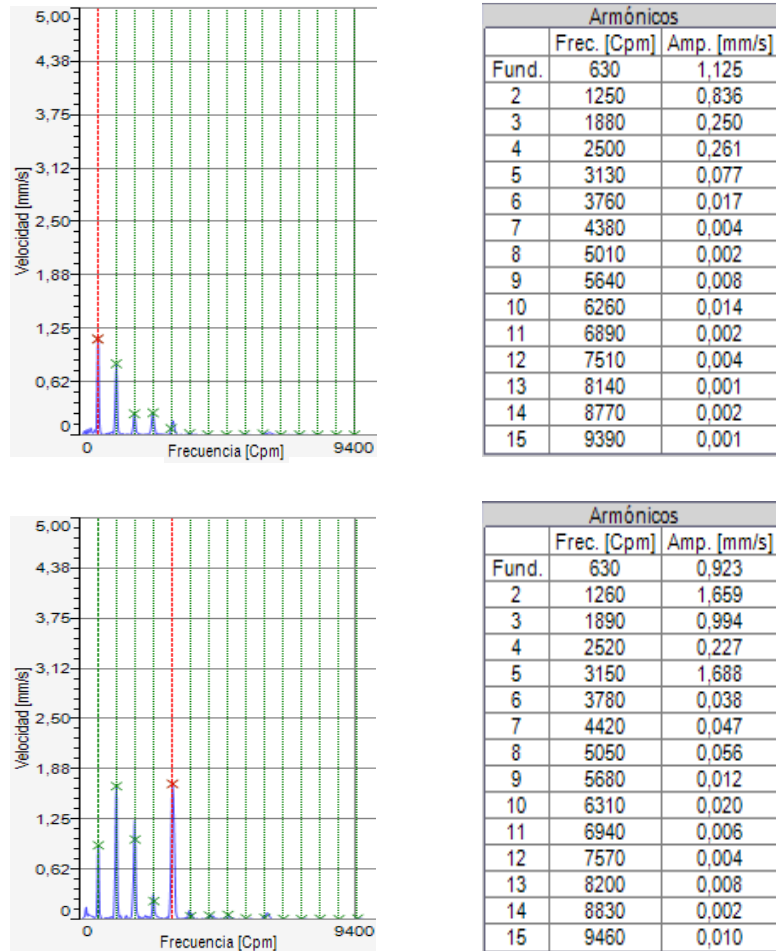


Figura 4-16 Análisis de espectros de vibración a 630 rpm: Prueba de referencia arriba – Prueba con árbol desbalanceado abajo

FUENTE: Propia

Al igual que en la Figura 4-15, en la Figura 4-16 se tiene la presencia de vibración a la frecuencia del árbol. Esta vibración aumenta su valor de velocidad rms de un valor de 0,07 mm/s a 1,7 mm/s.

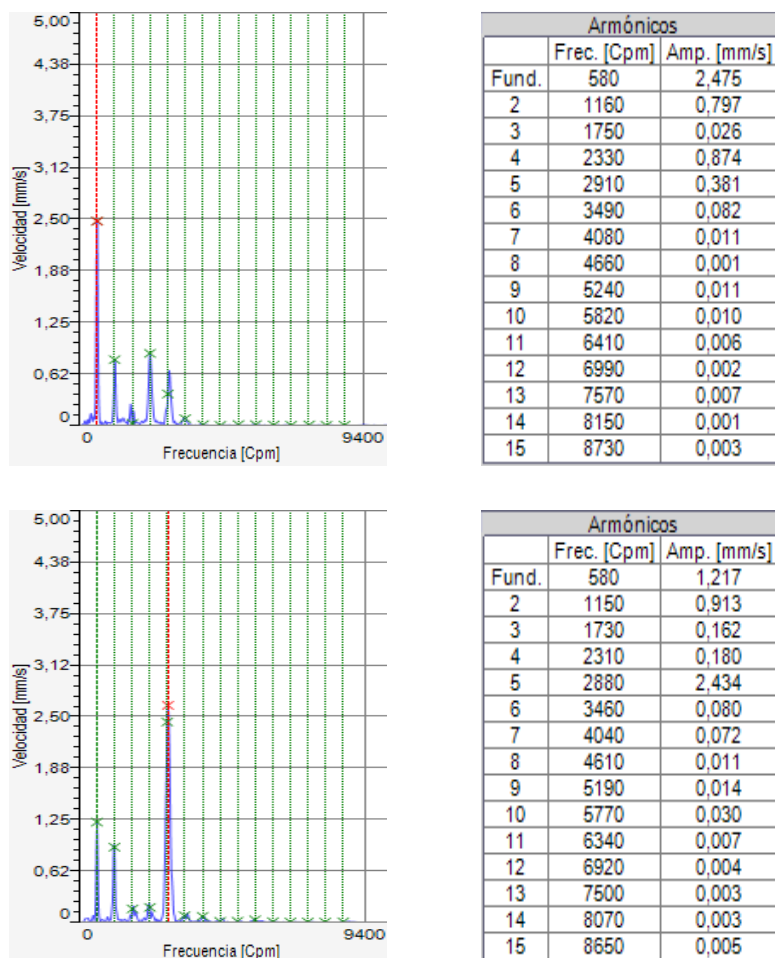


Figura 4-17 Análisis de espectros de vibración a 580 rpm: Prueba de referencia arriba – Prueba con árbol desbalanceado abajo

FUENTE: Propia

En la Figura 4-17 se observa que al provocar el desbalanceo se produce un incremento de la velocidad de vibración a una frecuencia de 2900 cpm, que corresponde a la frecuencia 1x del árbol. La velocidad de vibración aumenta de un valor inicial de 0,38 mm/s a 2,43 mm/s.

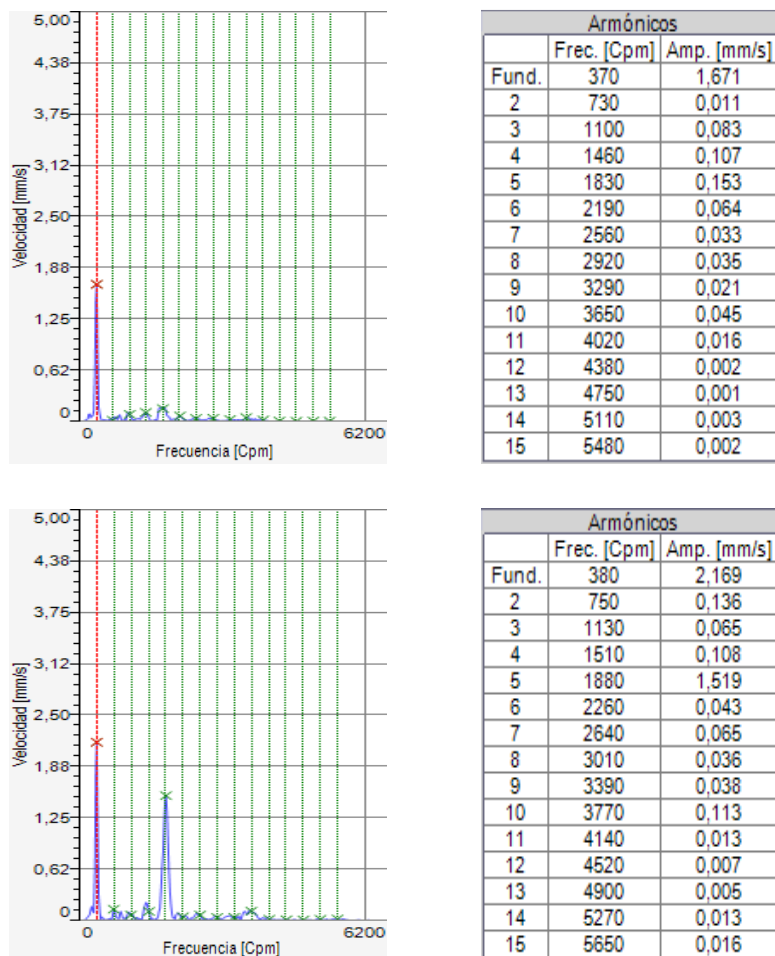


Figura 4-18 Análisis de espectros de vibración a 380 rpm: Prueba de referencia arriba – Prueba con árbol desbalanceado abajo

FUENTE: Propia

La velocidad de vibración a la frecuencia del árbol, aproximadamente 1830 cpm aumenta de 0,15 mm/s a 1,5 mm/s, es decir que al provocar el desbalanceo del árbol, la velocidad de vibración a dicha frecuencia aumenta alrededor de diez veces su valor.

4.3.1.3 Acelerómetro en el pedal del freno

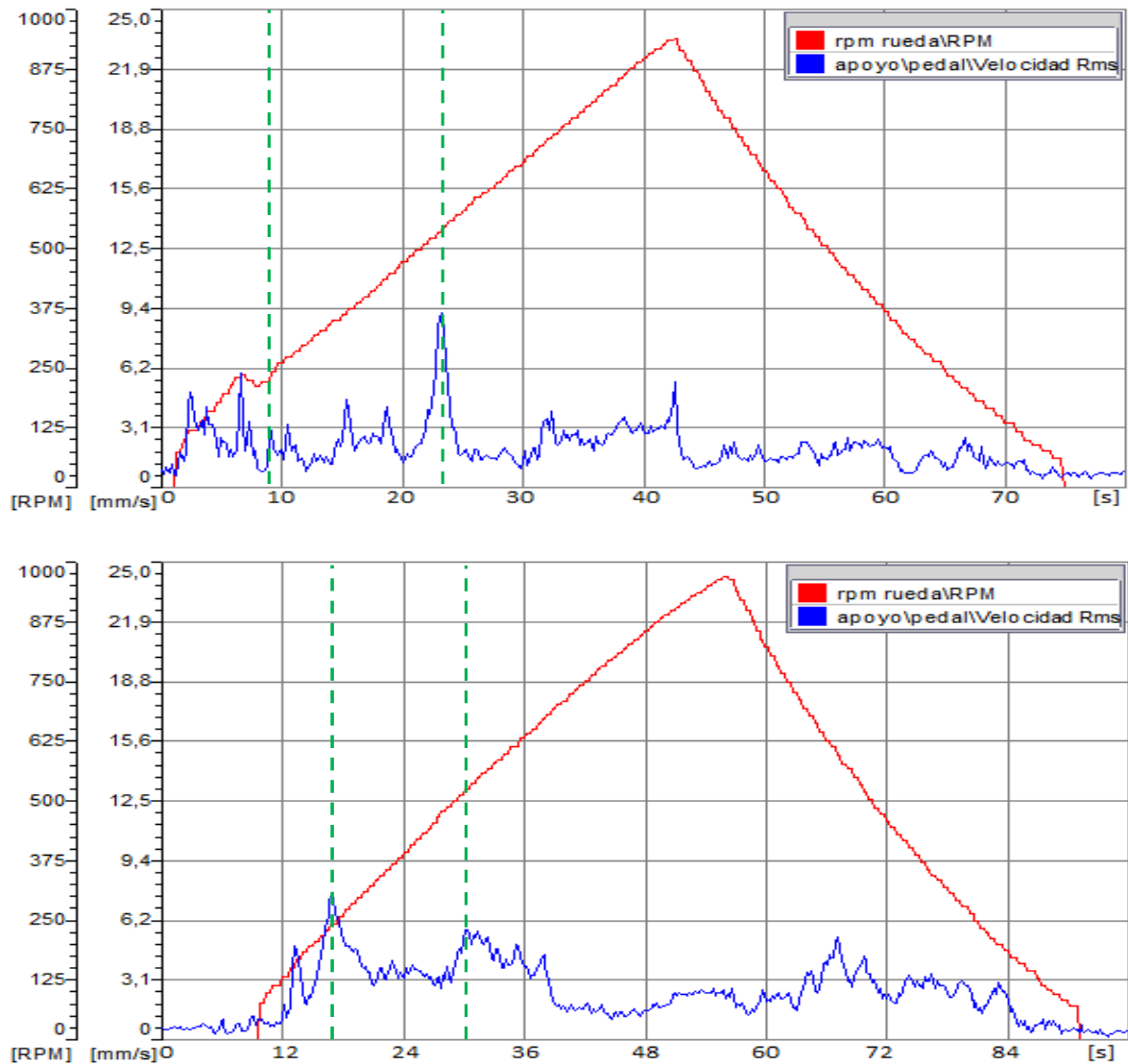


Figura 4-19 Comparación de formas de onda acelerómetro en el pedal de freno (velocidad RMS): Prueba de referencia arriba – Prueba con árbol desbalanceado abajo

FUENTE: Propia

Se realiza el análisis de espectros en las zonas señaladas, que corresponden a una velocidad de 270 rpm y 560 rpm respectivamente.

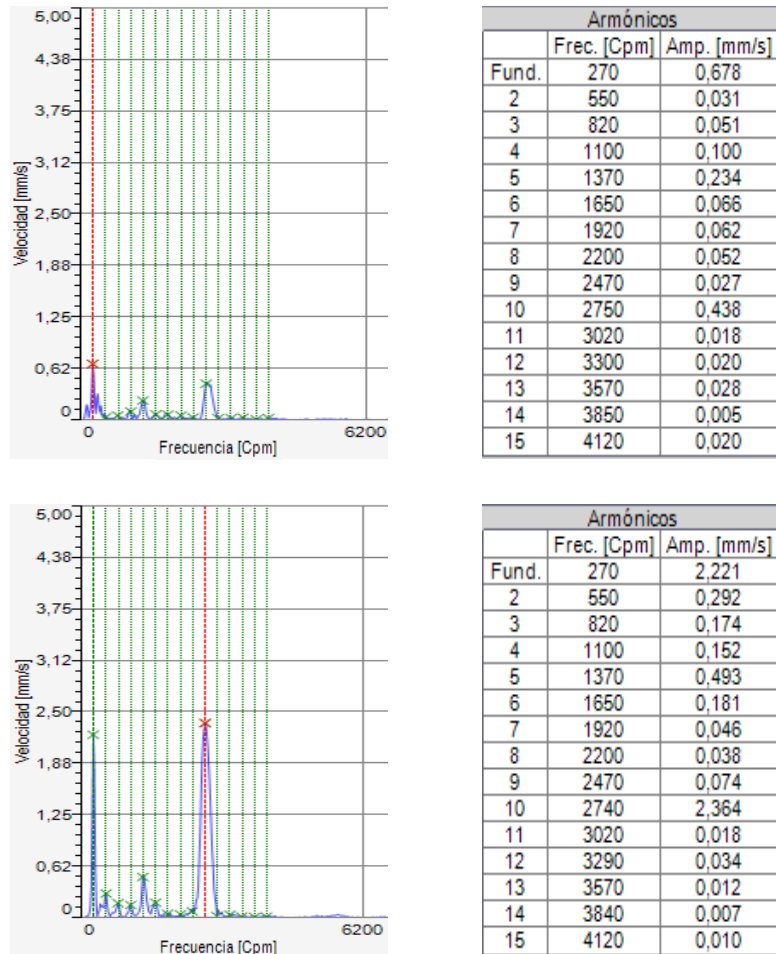


Figura 4-20 Análisis de espectros de vibración a 270 rpm: Prueba de referencia arriba – Prueba con árbol desbalanceado abajo

FUENTE: Propia

Se puede apreciar fácilmente la diferencia entre los espectros obtenidos, teniendo una mayor velocidad la vibración a la frecuencia $1/5x$ (270 cpm) y $2x$ (2740 cpm) del árbol de transmisión, luego de provocar el desbalanceo.

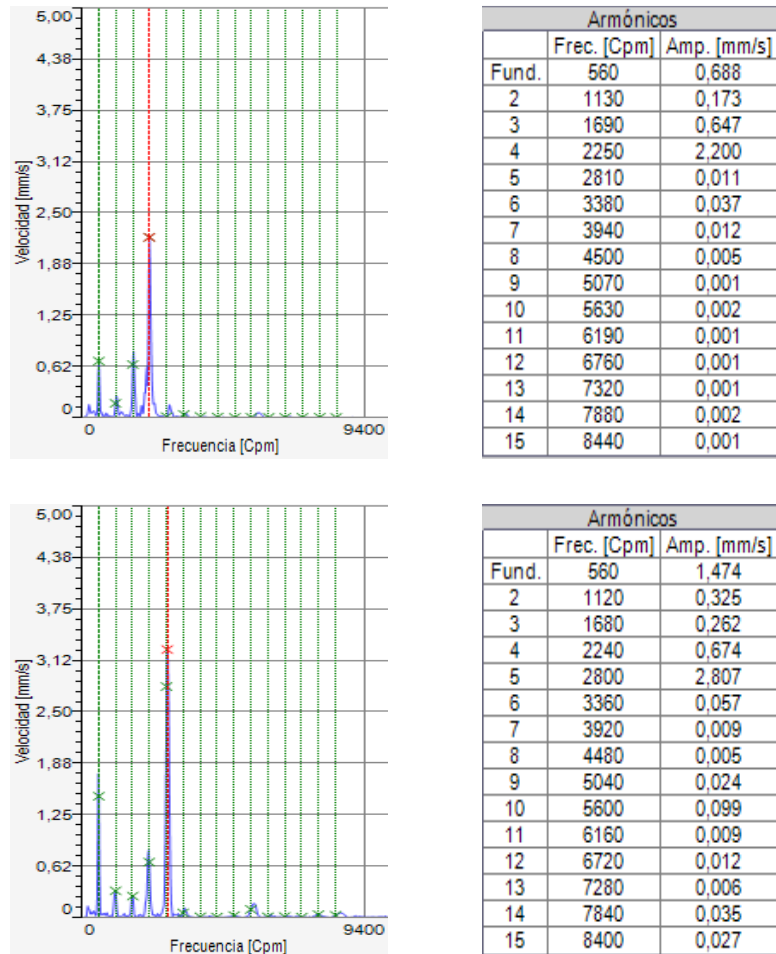


Figura 4-21 Análisis de espectros de vibración a 560 rpm: Prueba de referencia arriba – Prueba con árbol desbalanceado abajo

FUENTE: Propia

Si se observa los espectros de la Figura 4-21 se puede constatar que aparece un pico de vibración a una frecuencia de 2800 cpm, lo cual corresponde a 1x de la frecuencia del árbol

4.3.1.4 Acelerómetro en el piso de la cabina

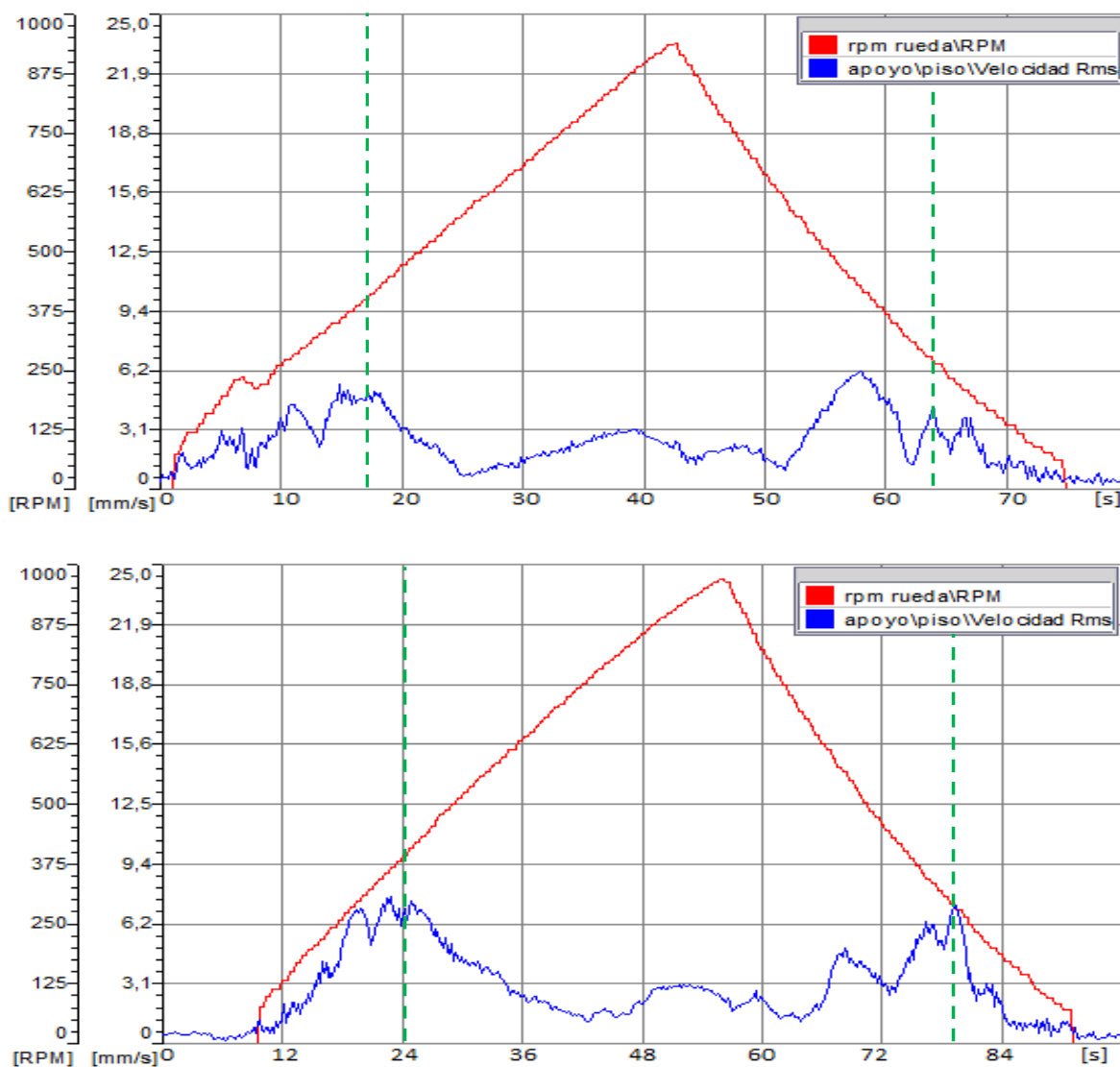


Figura 4-22 Comparación de formas de onda acelerómetro en el piso de la cabina (velocidad RMS): Prueba de referencia arriba – Prueba con árbol desbalanceado abajo

FUENTE: Propia

Se realiza el análisis de espectros en las tres zonas señaladas, que corresponden a una velocidad, medida con un fototacómetro en una de las ruedas, de 420 rpm y 230 rpm respectivamente.

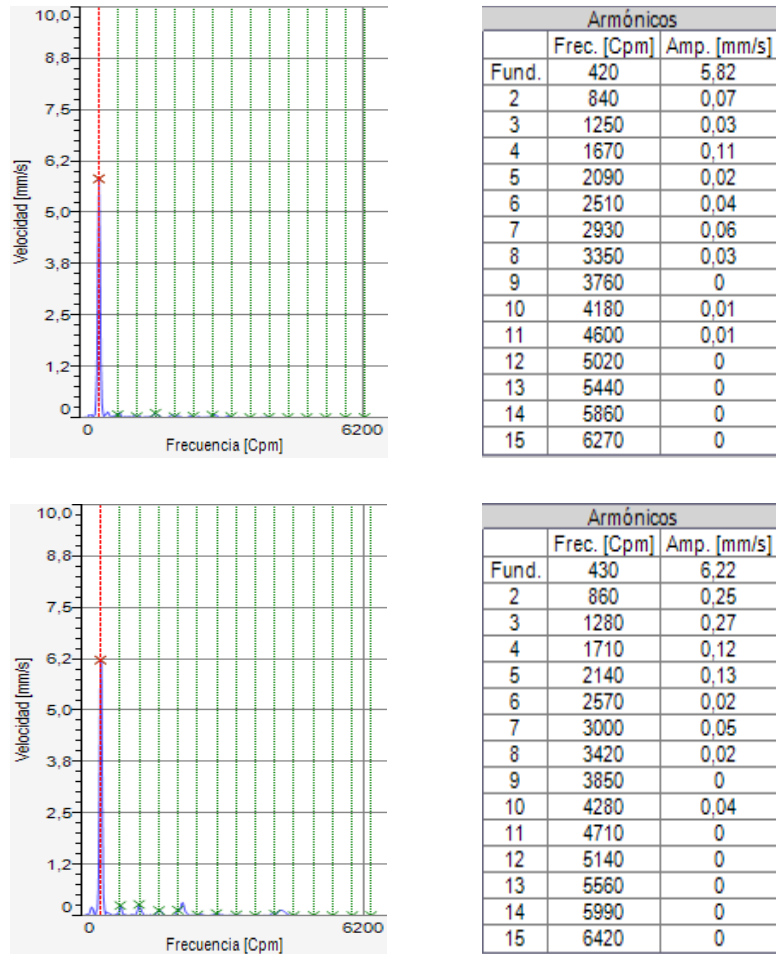


Figura 4-23 Análisis de espectros de vibración a 420 rpm: Prueba de referencia arriba – Prueba con árbol desbalanceado abajo

FUENTE: Propia

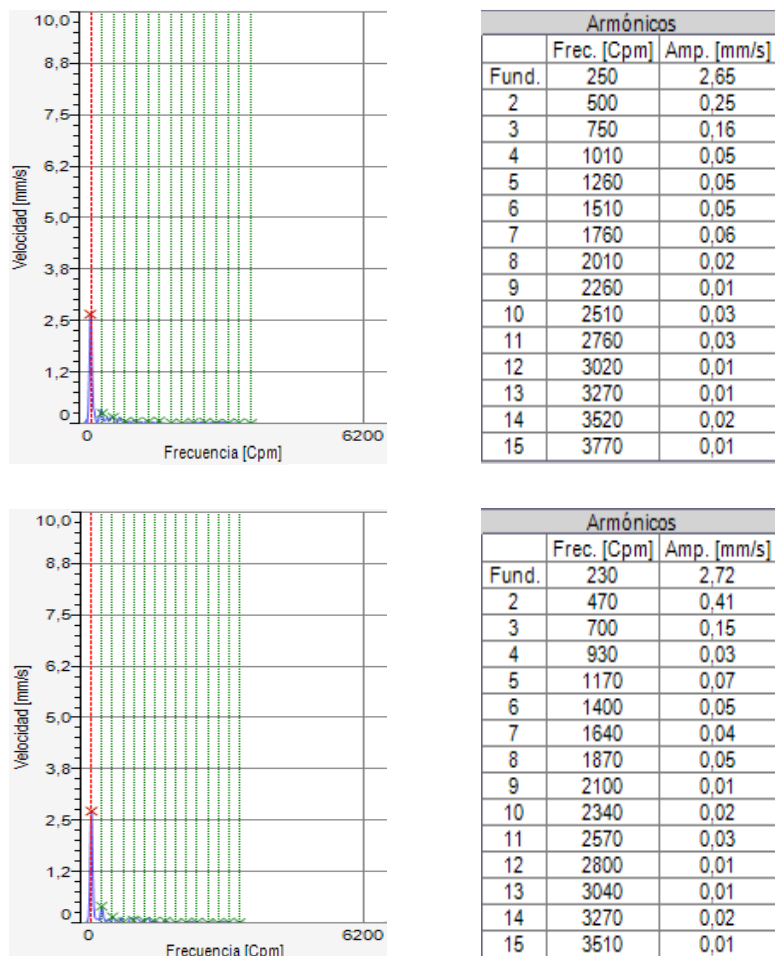


Figura 4-24 Análisis de espectros de vibración a 230 rpm: Prueba de referencia arriba – Prueba con árbol desbalanceado abajo

FUENTE: Propia

Al realizar el análisis de espectros obtenidos con el acelerómetro en el piso de la cabina no se encuentra cambios relevantes al provocar el desbalanceo del árbol.

4.3.2 RESULTADOS DE LAS PRUEBAS CON DESBALANCEO DE LAS RUEDAS

Las ruedas desbalanceadas producen vibración perceptible para el usuario a altas velocidades, por lo que se realiza el análisis de espectros en la zona de altas rpm.

4.3.2.1 Acelerómetro en el volante de dirección

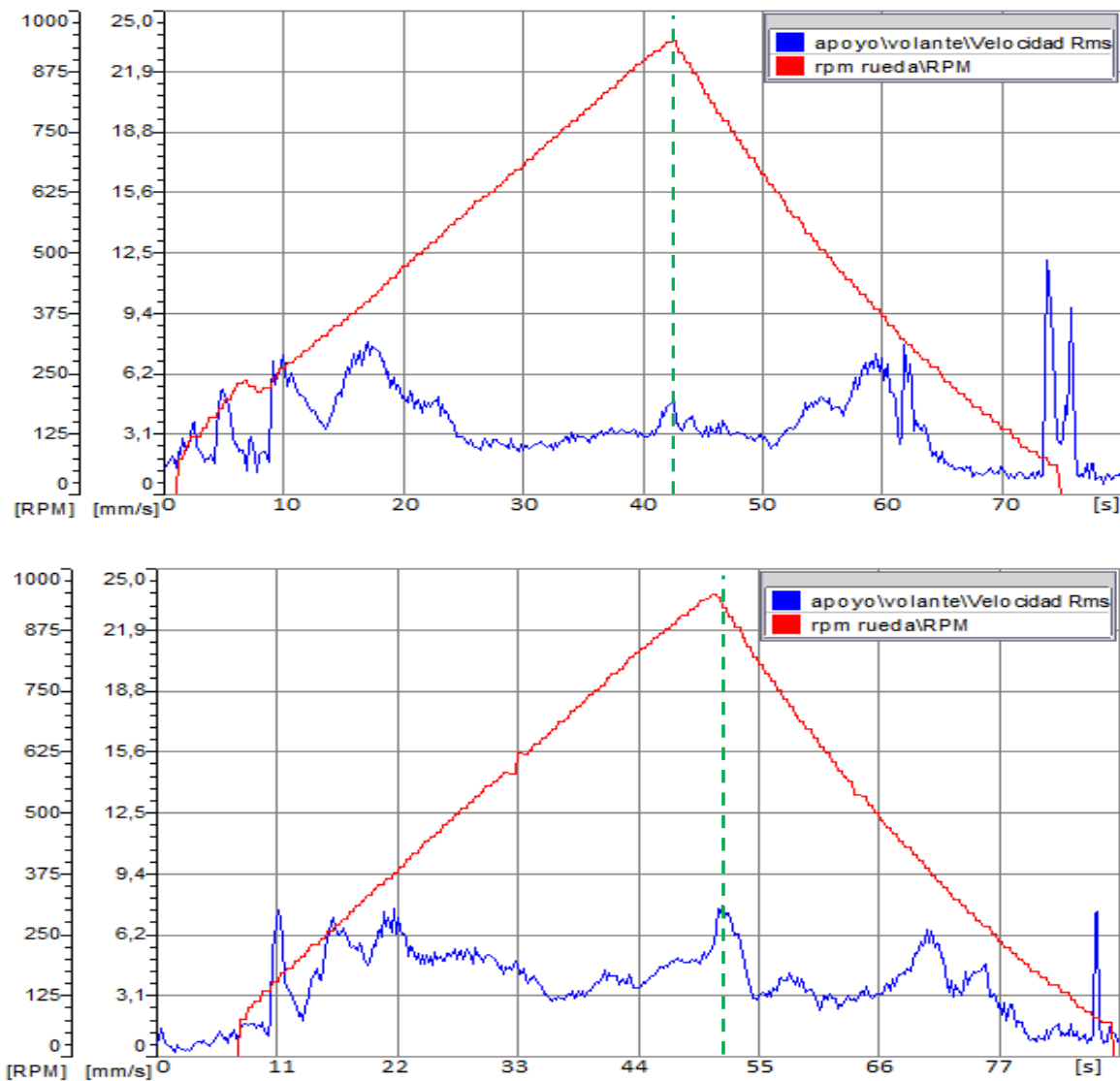


Figura 4-25 Comparación de formas de onda acelerómetro en el volante de dirección (velocidad RMS): Prueba de referencia arriba – Prueba con ruedas desbalanceadas abajo

FUENTE: Propia

La forma de onda mantiene cierta similitud pero existe un incremento de la velocidad en la zona de mayores rpm.

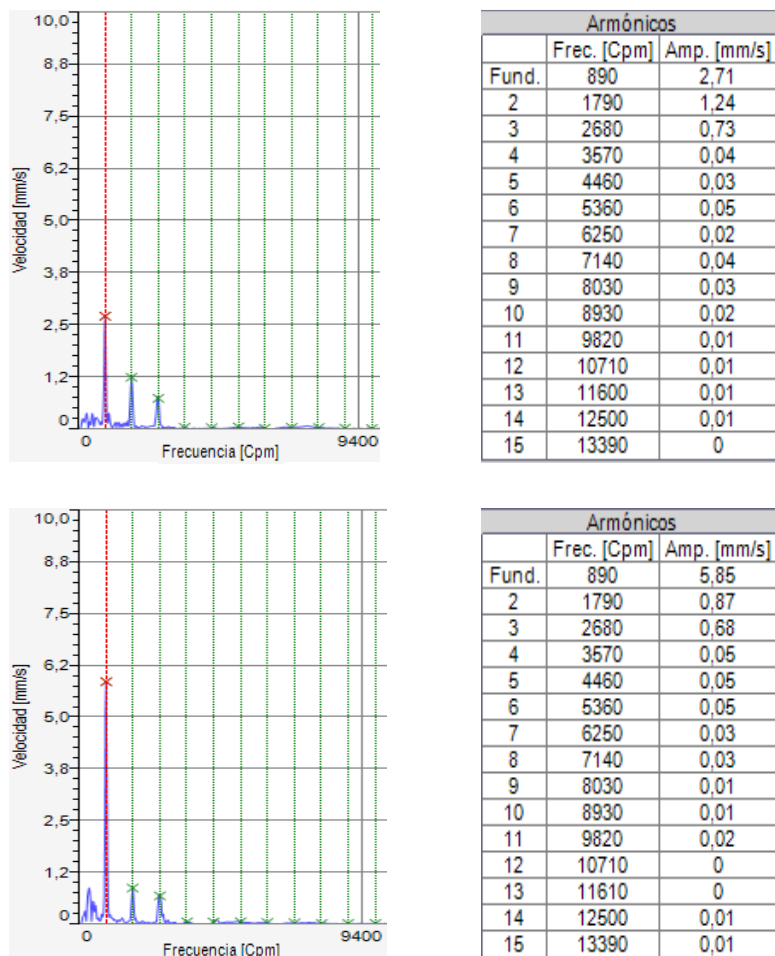


Figura 4-26 Análisis de espectros de vibración a 890 rpm: Prueba de referencia arriba – Prueba con ruedas desbalanceadas abajo

FUENTE: Propia

En el espectro de referencia se tiene un pico a la frecuencia 1x de las ruedas y que tiene un valor de 2,71 mm/s; al realizar el desbalanceo, la velocidad de vibración a dicha frecuencia aumenta aproximadamente al doble de su valor y aparecen pequeños picos de vibración a 2x y 3x de la frecuencia de las ruedas.

4.3.2.2 Acelerómetro en el asiento

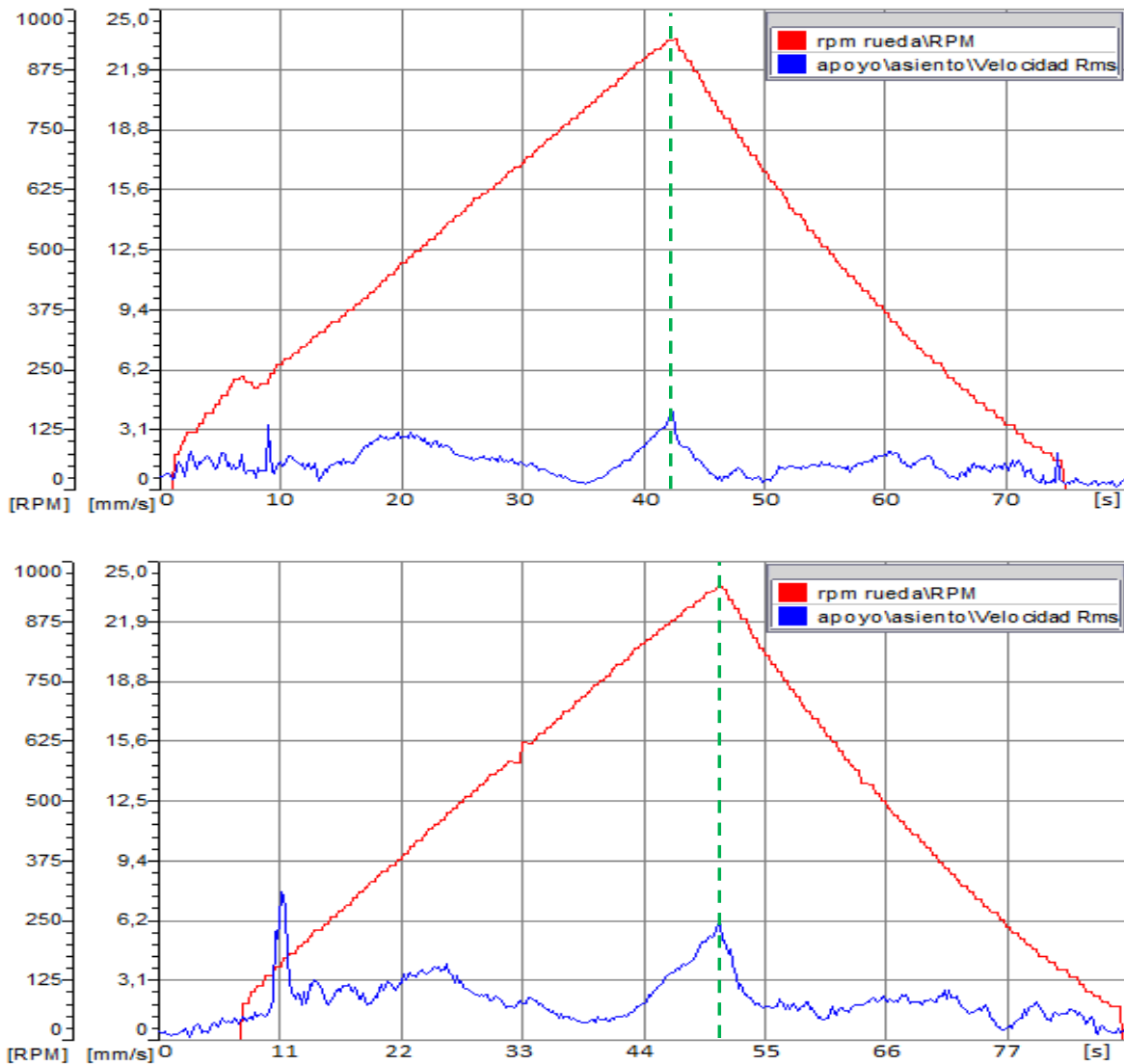


Figura 4-27 Comparación de formas de onda acelerómetro en el asiento (velocidad RMS):
Prueba de referencia arriba – Prueba con ruedas desbalanceadas abajo

FUENTE: Propia

Al observar las formas de onda de velocidad obtenidas con el acelerómetro en el asiento se ve que existe un incremento a bajas rpm, lo cual no es normal para el desbalanceo provocado, lo que nos dice que puede ser producto de un evento inesperado y que no tiene relación con dicho desbalanceo. Por esta razón el análisis se realiza en la zona señalada.

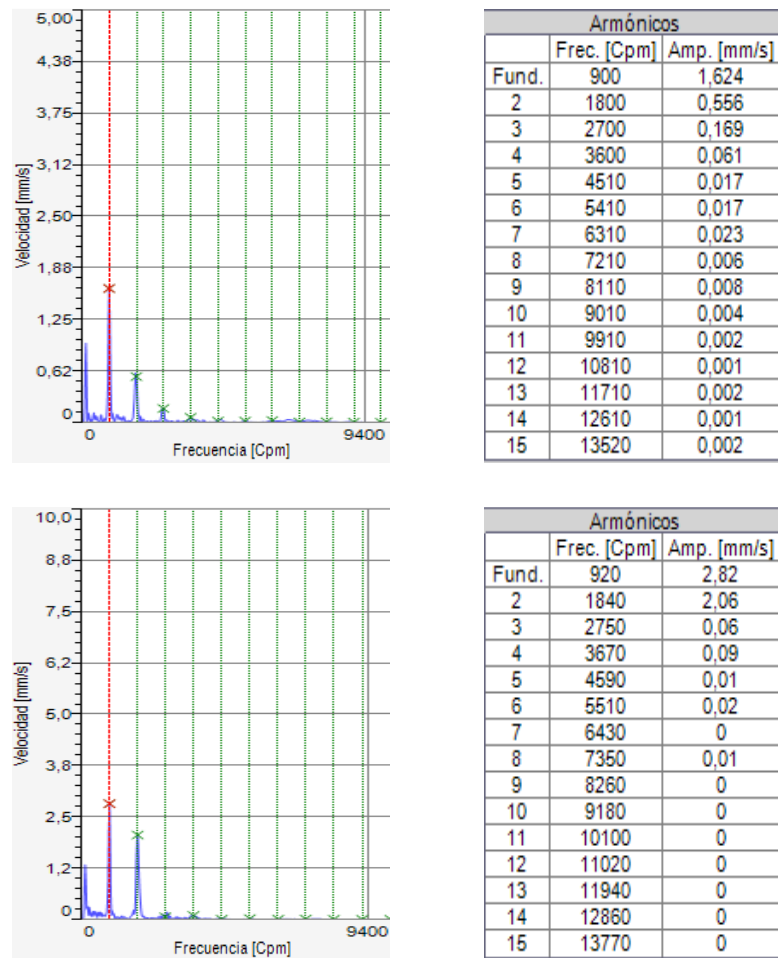


Figura 4-28 Análisis de espectros de vibración a 900 rpm: Prueba de referencia arriba – Prueba con ruedas desbalanceadas abajo

FUENTE: Propia

Al realizar el análisis sobre la línea trazada en la Figura 4-28 se observa que no existe una diferencia apreciable entre los espectros obtenidos con el acelerómetro en el asiento. La vibración a 1x de la frecuencia de las ruedas no sufre mayor incremento, mientras que la vibración a 2x aumenta de 0,56 mm/s a 2 mm/s.

4.3.2.3 Acelerómetro en el pedal de freno

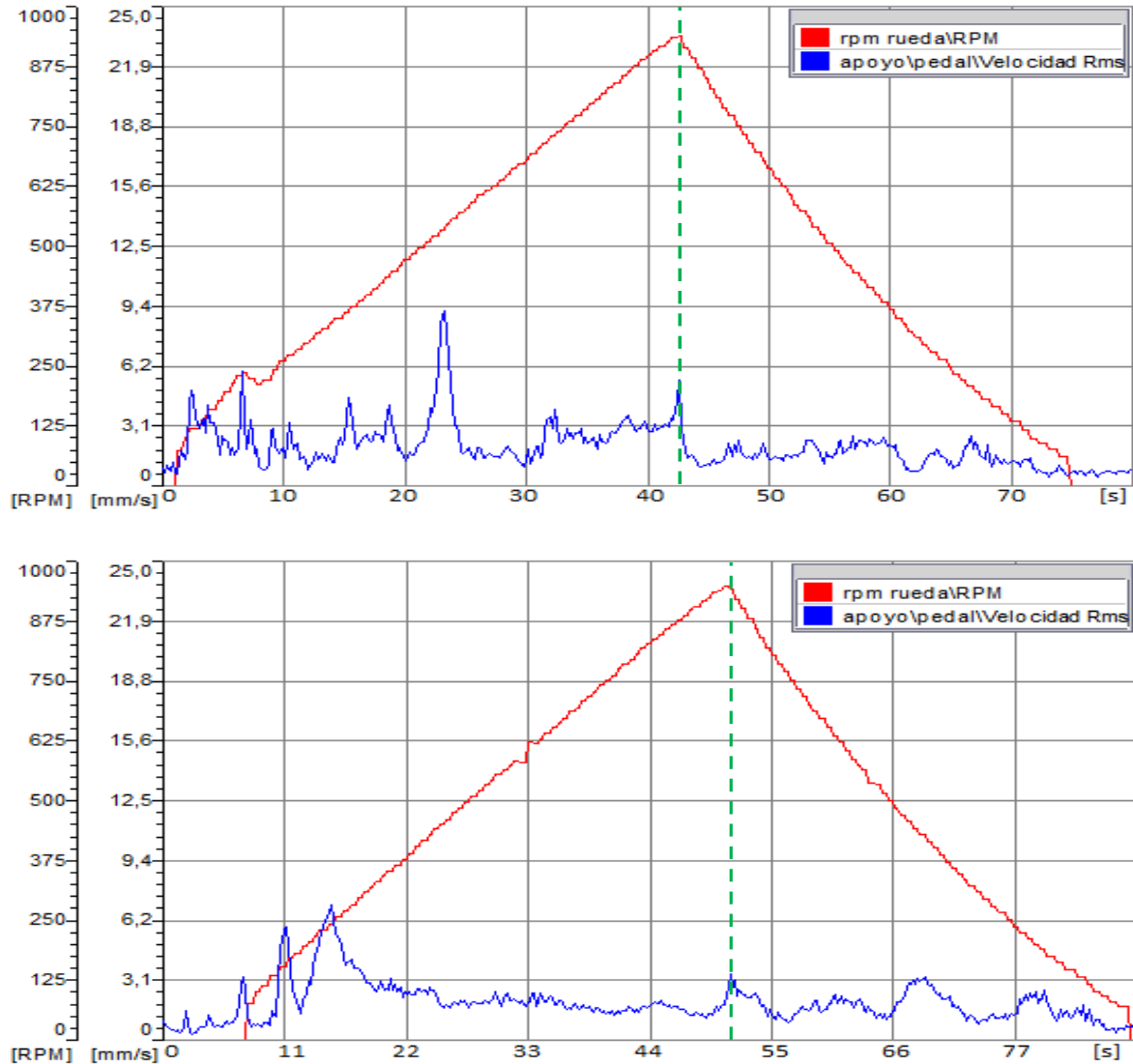


Figura 4-29 Comparación de formas de onda acelerómetro en el pedal de freno (velocidad RMS): Prueba de referencia arriba – Prueba con ruedas desbalanceadas abajo

FUENTE: Propia

En la forma de onda de la velocidad obtenida con el acelerómetro en el piso de la cabina se presenta una cierta incoherencia, pues se tiene una onda bastante irregular en la prueba de referencia, lo cual no sucede en las ondas obtenidas con

los demás acelerómetros. Una de las causas puede ser que el acelerómetro en el piso se movió o no estuvo correctamente fijado durante la prueba de referencia.

Se realiza el análisis en la zona señalada.

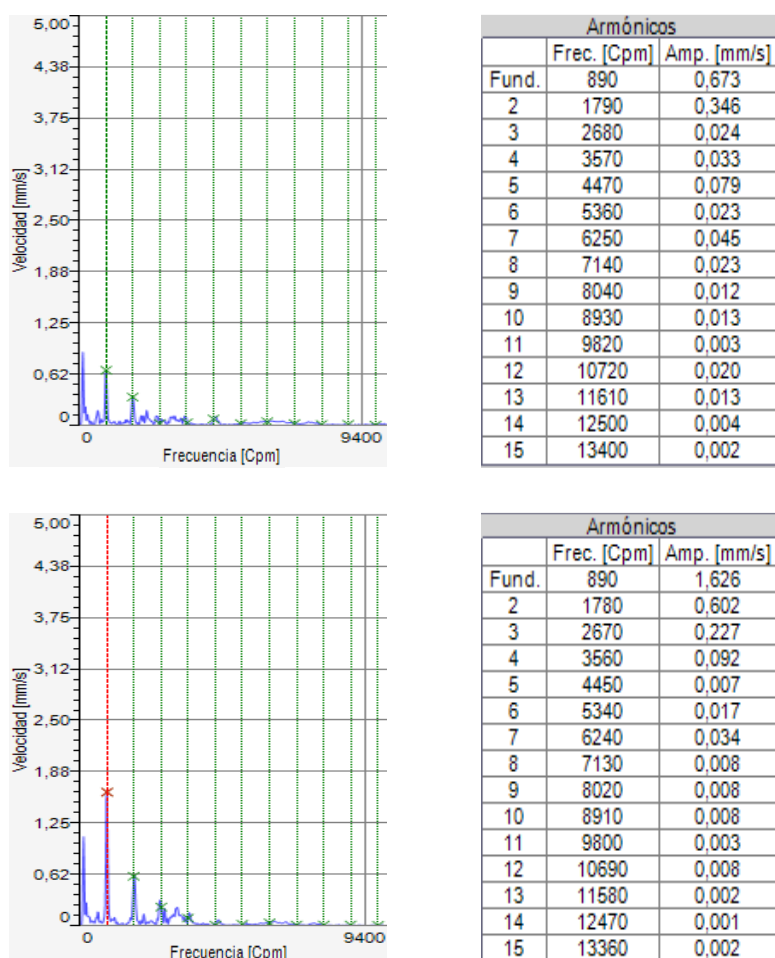


Figura 4-30 Análisis de espectros de vibración a 890 rpm: Prueba de referencia arriba – Prueba con ruedas desbalanceadas abajo

FUENTE: Propia

Se puede observar que no hay una diferencia muy marcada entre los espectros de la Figura 4-30, donde luego de provocar el desbalanceo de las ruedas hay un incremento de la velocidad de vibración a 1x de la frecuencia de las ruedas.

4.3.2.4 Acelerómetro en el piso de la cabina

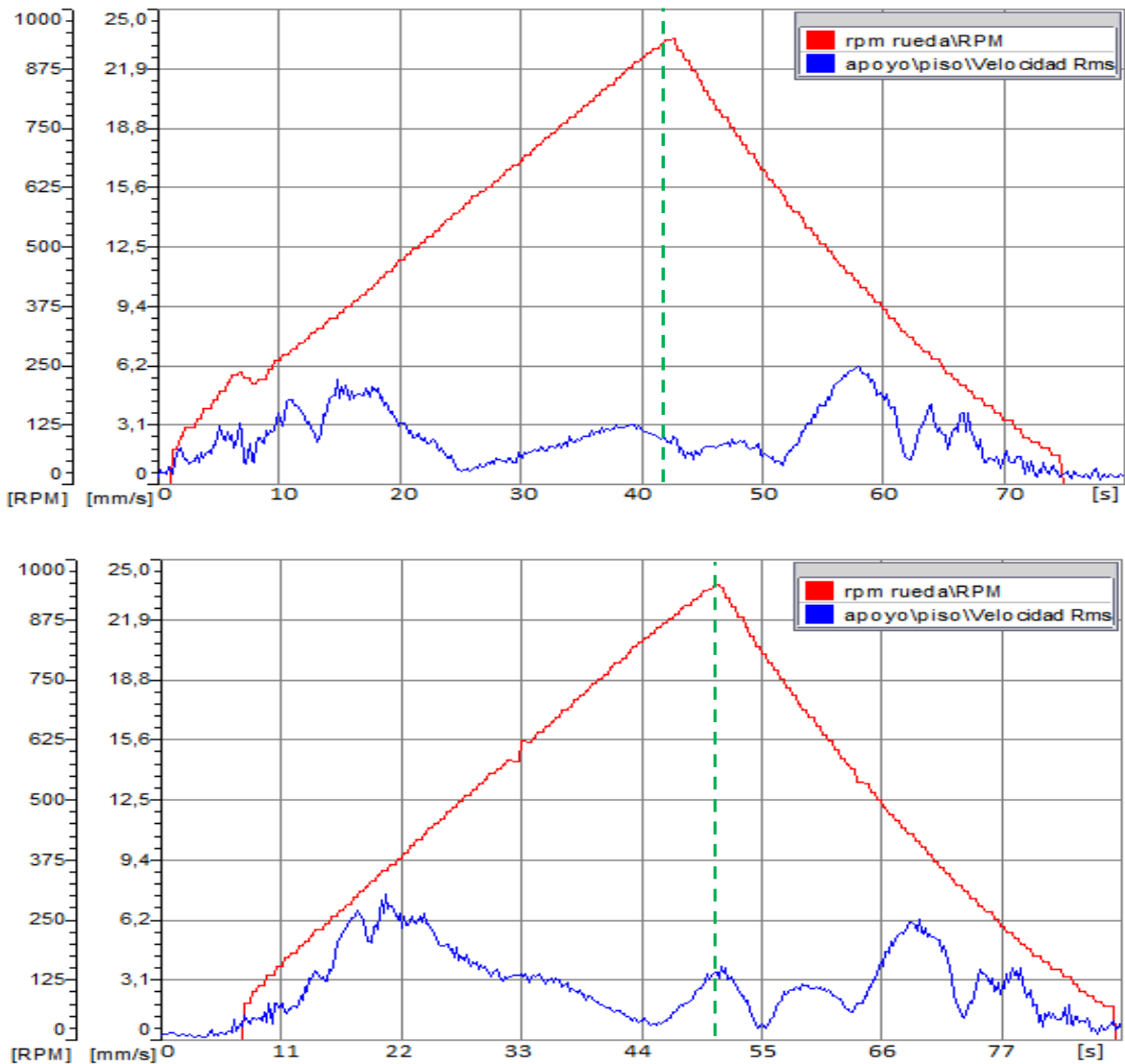


Figura 4-31 Comparación de formas de onda, acelerómetro en el piso de la cabina (velocidad RMS): Prueba de referencia arriba – Prueba con ruedas desbalanceadas abajo

FUENTE: Propia

Al realizar la comparación entre las ondas de la Figura 4-31 se observa que presentan similitud. Presenta cierta variación en la zona izquierda, de baja velocidad, y en la zona central que es de alta velocidad. El análisis se realiza sobre esta última.

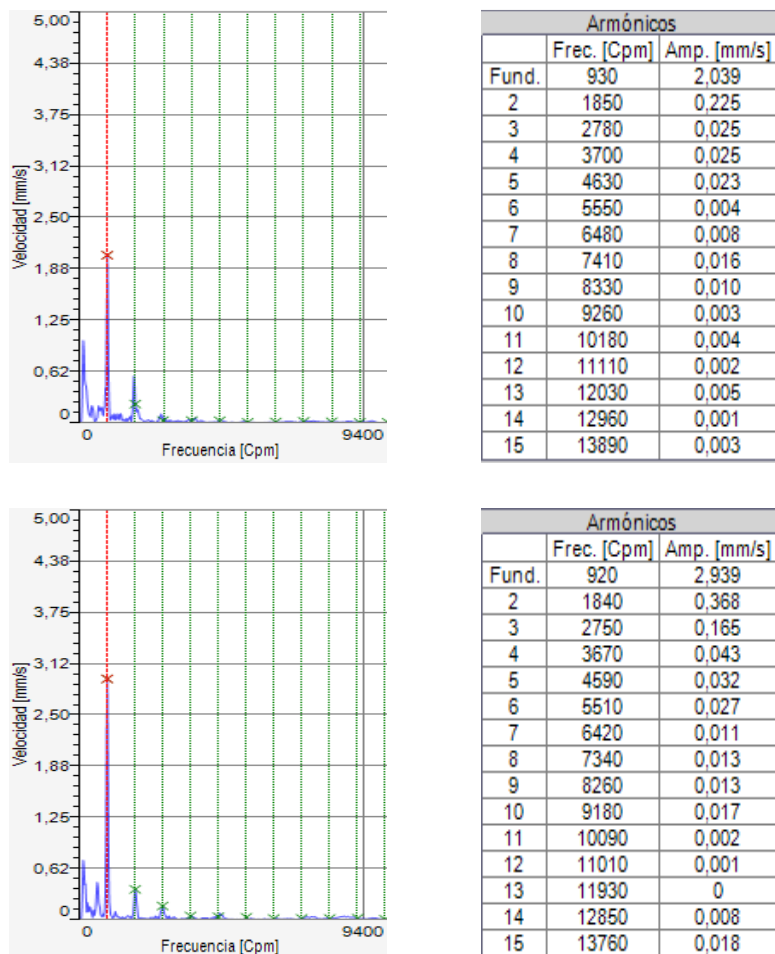


Figura 4-32 Análisis de espectros de vibración a 920 rpm: Prueba de referencia arriba – Prueba con ruedas desbalanceadas abajo

FUENTE: Propia

Como se puede observar en el espectro no existe una diferencia considerable, es decir, que el desbalanceo en las ruedas no presentó mayor influencia en la vibración a 1x de la frecuencia de las ruedas a través del piso de la cabina.

4.3.3 RESULTADOS DE LAS PRUEBAS CON DESBALANCEO DEL MOTOR

4.3.3.1 Acelerómetro en el volante de dirección

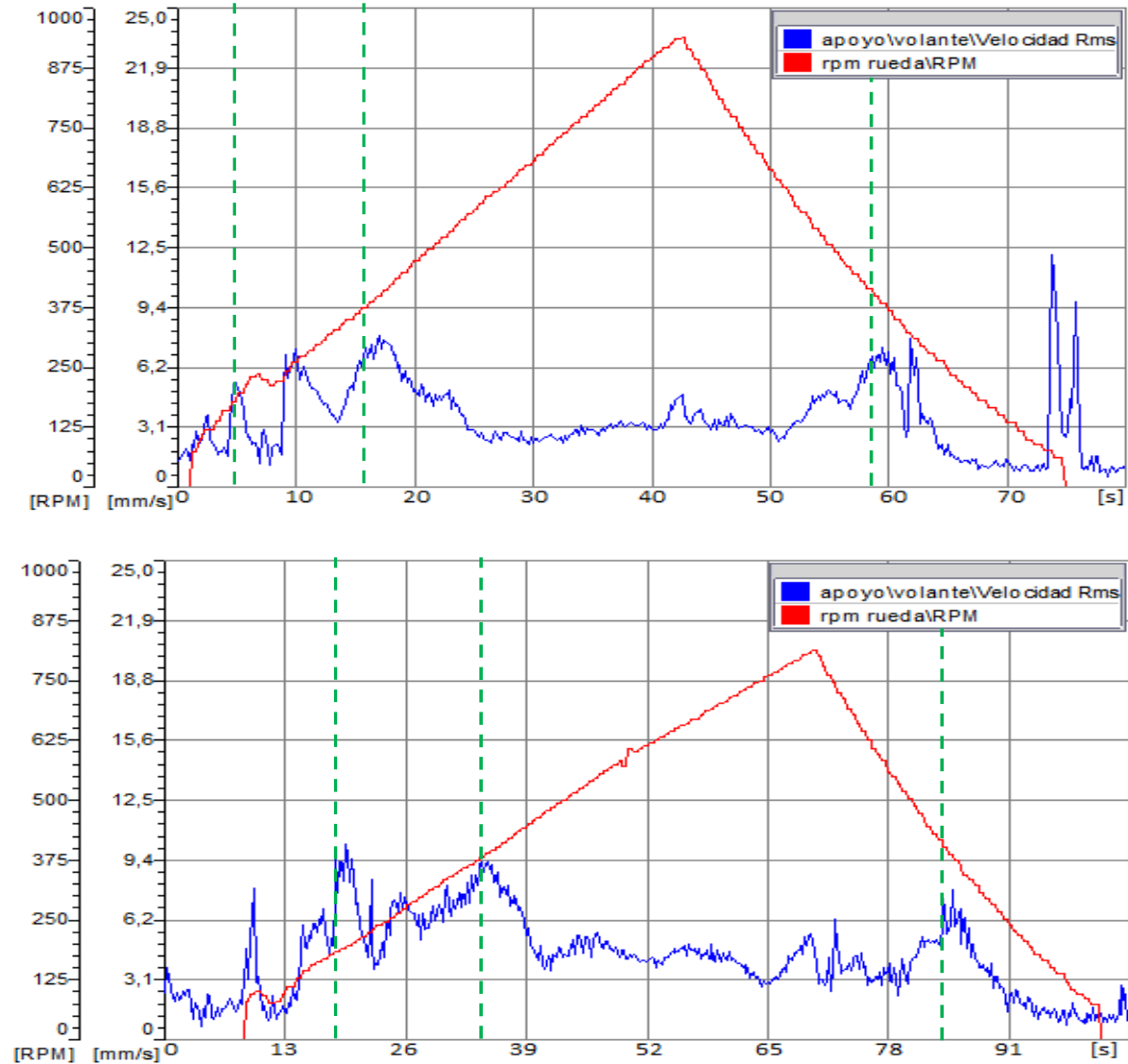


Figura 4-33 Comparación de formas de onda, acelerómetro en el volante de dirección (velocidad RMS): Prueba de referencia arriba – Prueba con motor desbalanceado abajo

FUENTE: Propia

Al observar las formas de onda de velocidad obtenidas con el acelerómetro en el volante de dirección ve que existe gran similitud entre las ondas, con ciertos

valores altos a bajas rpm, en las zonas señaladas. Por esta razón el análisis se realiza en dichas zonas.

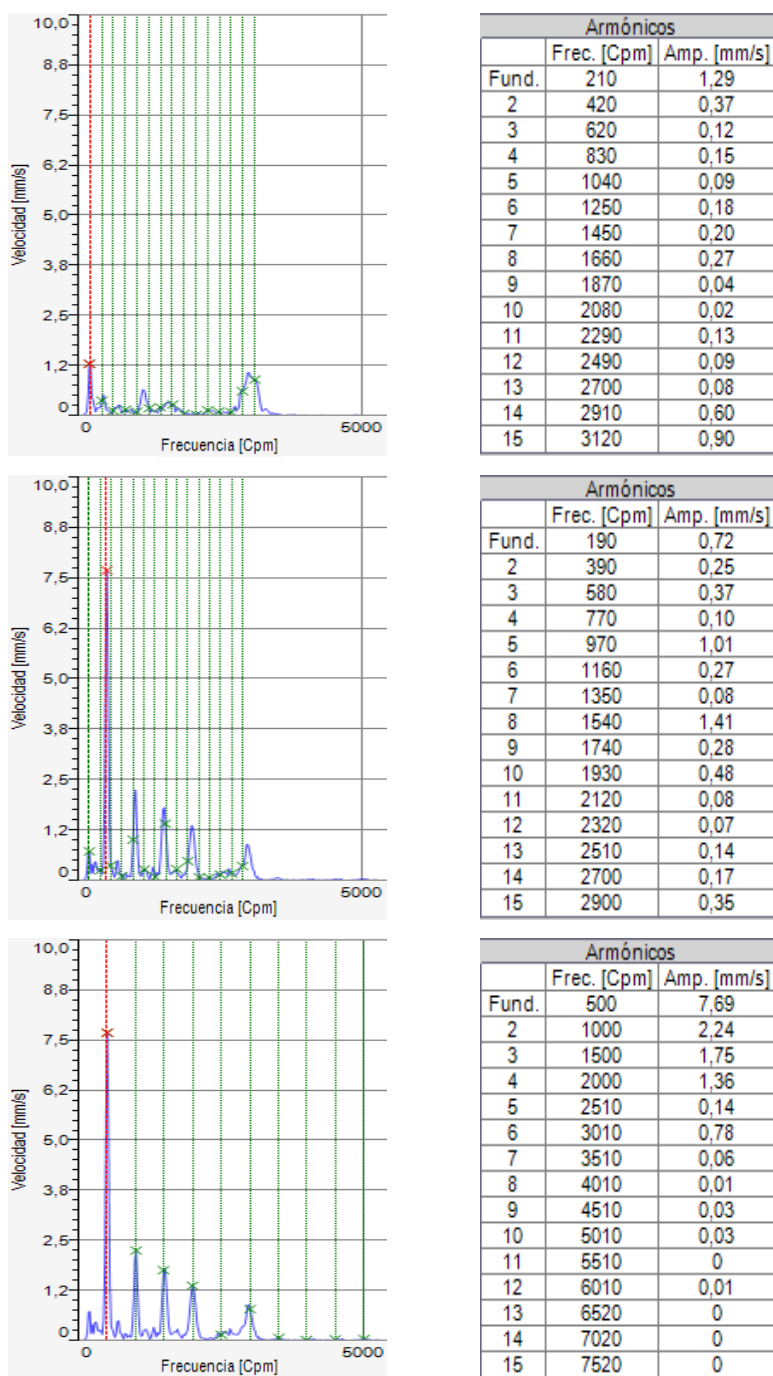


Figura 4-34 Análisis de espectros de vibración a 190 rpm: Prueba de referencia arriba – Prueba con motor desbalanceado, armónicos de la frecuencia de las ruedas al centro, armónicos de la frecuencia del motor abajo

FUENTE: Propia

En la Figura 4-34 se observa que el cambio que presenta el espectro luego del desbalanceo es claro, donde se tiene el mayor pico a una frecuencia de 500 cpm, es decir, a $1/2x$ de la frecuencia del motor, lo cual es indicativo de problemas en uno de los cilindros. Los otros tres picos se dan a $1x$, $1,5x$ y $2x$.

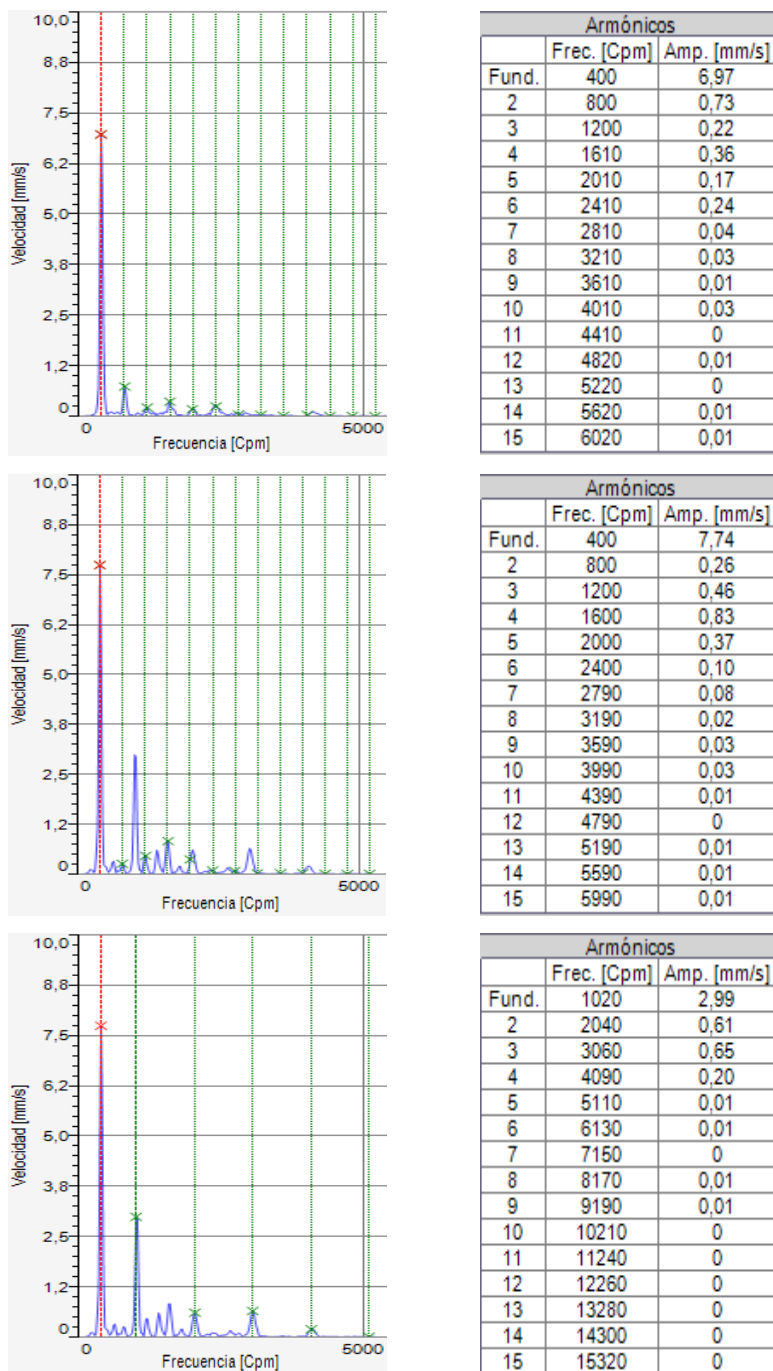


Figura 4-35 Análisis de espectros de vibración a 400 rpm: Prueba de referencia arriba – Prueba con motor desbalanceado, armónicos de la frecuencia de las ruedas al centro, armónicos de la frecuencia del motor abajo

FUENTE: Propia

El mayor pico se da a la frecuencia de las ruedas,400cpm,pero no varía considerablemente al realizar el desbalanceo. El segundo se da a 1020 cpm, 1/2x de la frecuencia del motor.Los otros picos son armónicos de la frecuencia del motor.

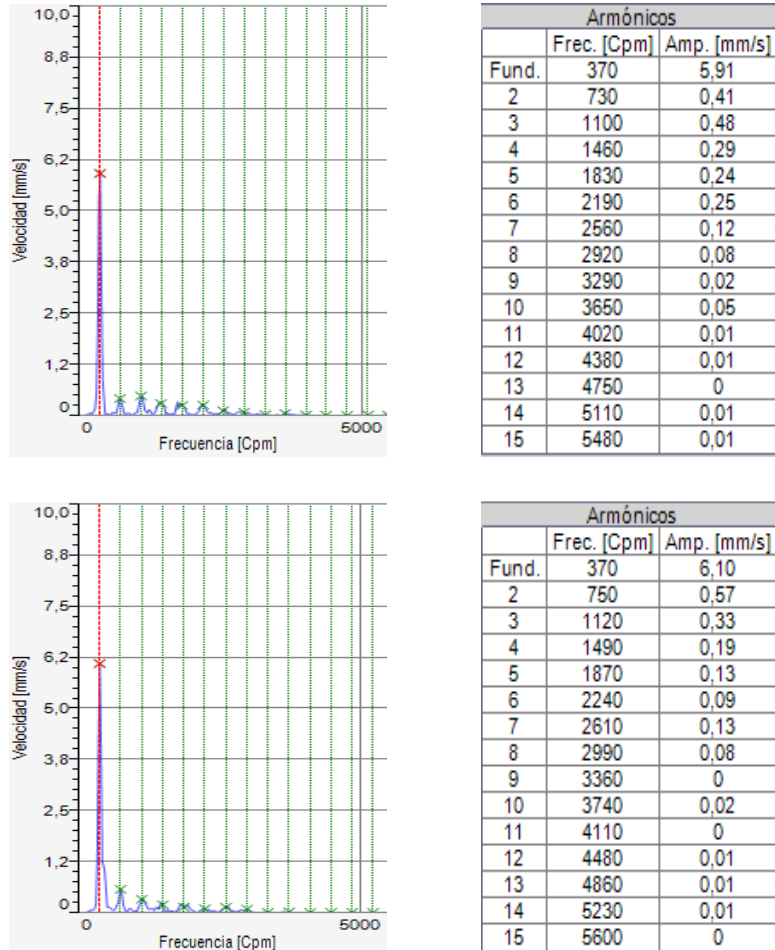


Figura 4-36 Análisis de espectros de vibración a 402 rpm: Prueba de referencia arriba – Prueba con motor desbalanceado, armónicos de la frecuencia de las ruedas al centro, armónicos de la frecuencia del motor abajo

FUENTE: Propia

Se observa claramente que los espectros no presentan una diferencia apreciable, el cambio en la velocidad de vibración a la frecuencia del motor prácticamente es nulo.

4.3.3.2 Acelerómetro en el asiento

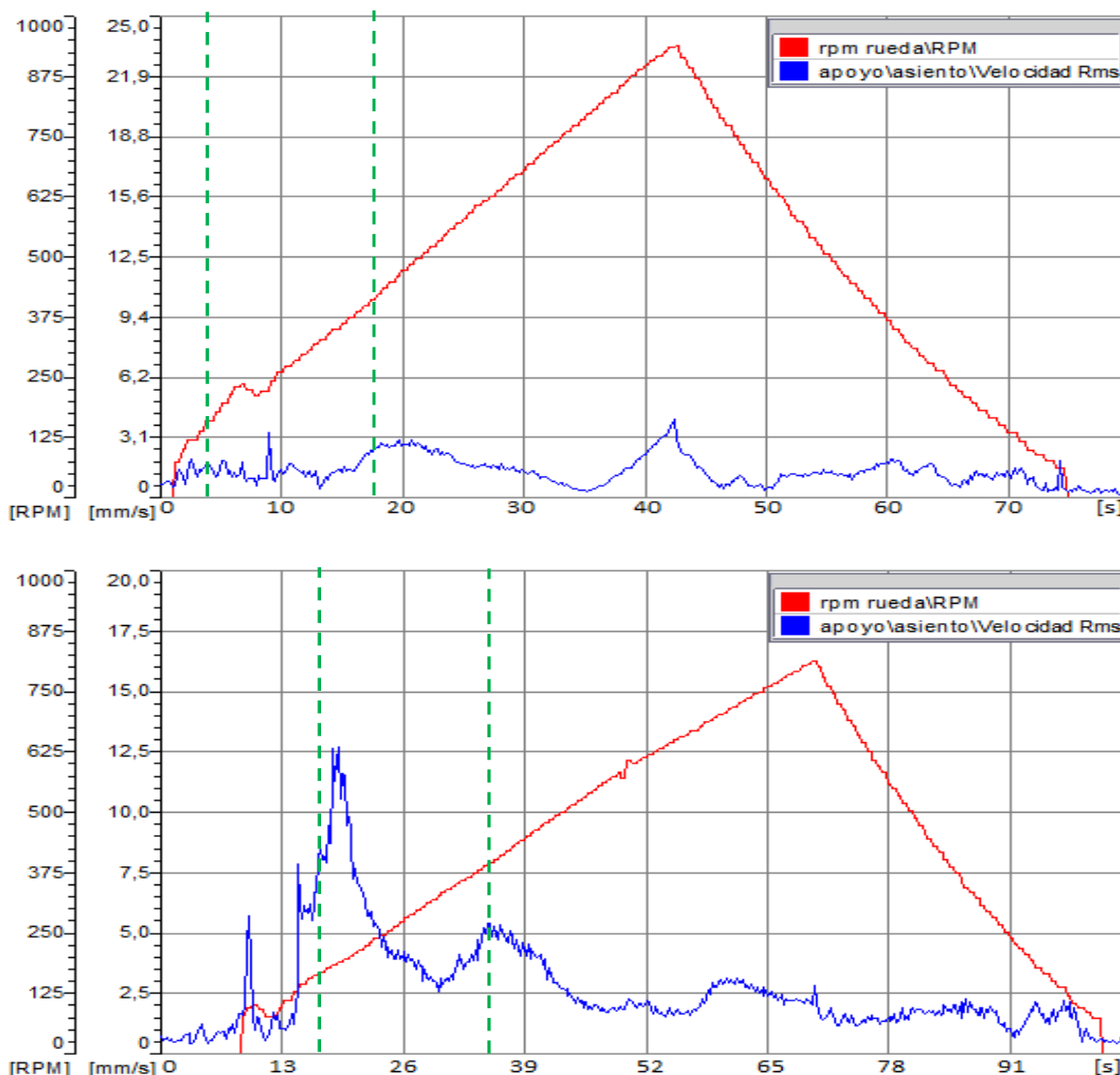


Figura 4-37 Comparación de formas de onda, acelerómetro en el asiento (velocidad RMS): Prueba de referencia arriba – Prueba con motor desbalanceado abajo

FUENTE: Propia

Al observar las formas de onda de velocidad obtenidas con el acelerómetro en el asiento se ve que existe cierta similitud entre las ondas, con algunos valores altos a bajas rpm, en las zonas señaladas. Por esta razón el análisis se realiza en dichas zonas.

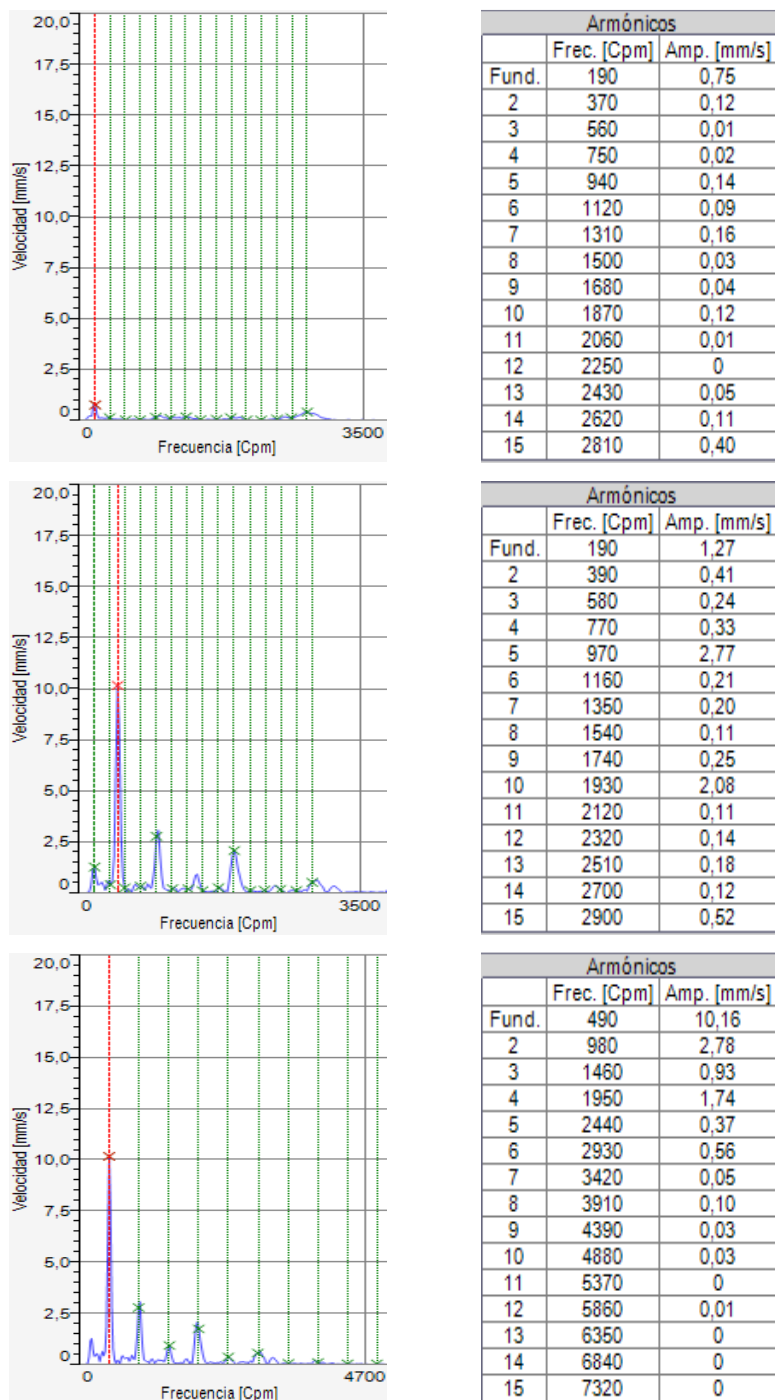


Figura 4-38 Análisis de espectros de vibración a 190 rpm: Prueba de referencia arriba – Prueba con motor desbalanceado, armónicos de la frecuencia de las ruedas al centro, armónicos de la frecuencia del motor abajo

FUENTE: Propia

Se observa que el mayor pico de vibración se da a 490 cpm que representa 1/2x de la frecuencia del motor.

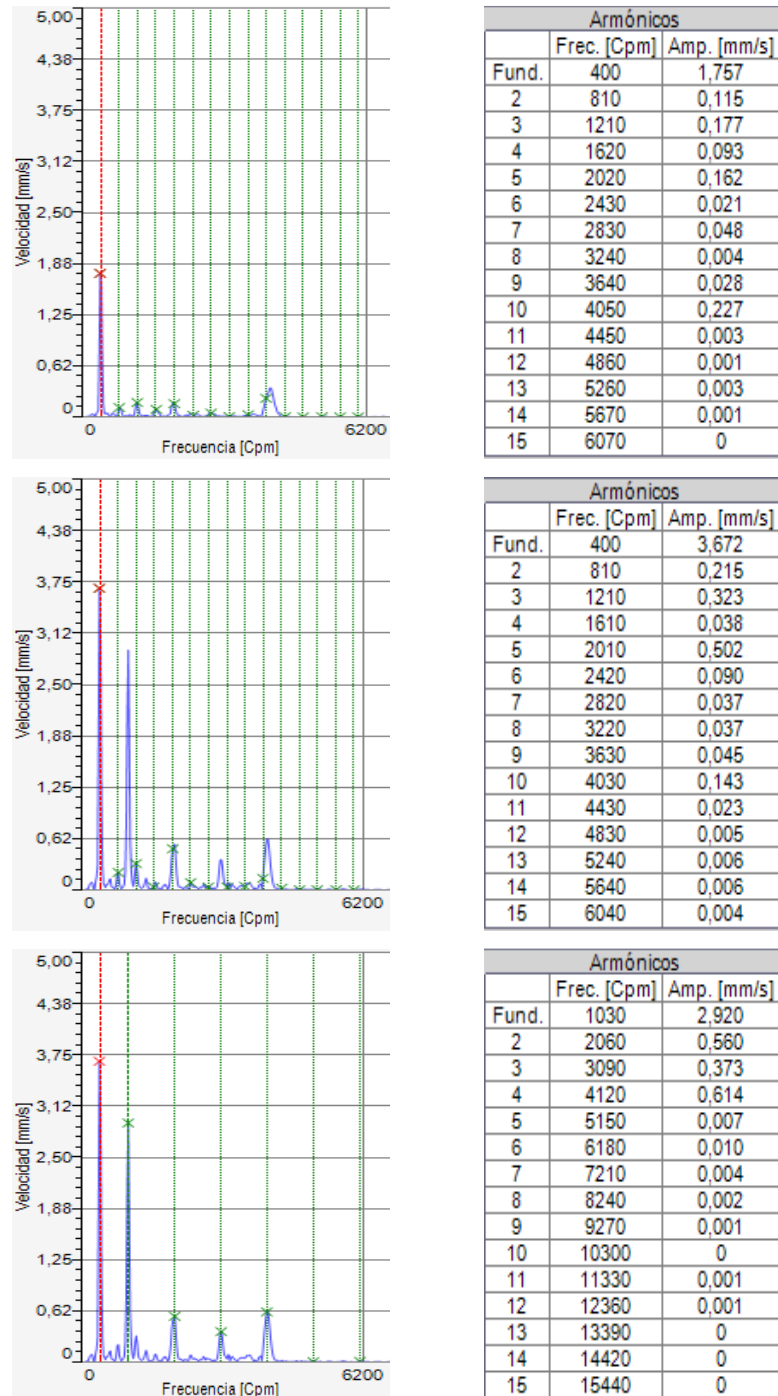


Figura 4-39 Análisis de espectros de vibración a 400 rpm: Prueba de referencia arriba – Prueba con motor desbalanceado, armónicos de la frecuencia de las ruedas al centro, armónicos de la frecuencia del motor abajo

FUENTE: Propia

Se observa que la vibración a la frecuencia 1x de las ruedas se duplica mientras que aparece un pico de vibración a una frecuencia de 1030 cpm que representa la mitad de la frecuencia del motor. Pero se observa que los otros tres picos son

armónicos de este último pues se dan a 2060 cpm, 3090 cpm y 4120 cpm, es decir a 2x, 3x y 4x.

4.3.3.3 Acelerómetro en el pedal del freno

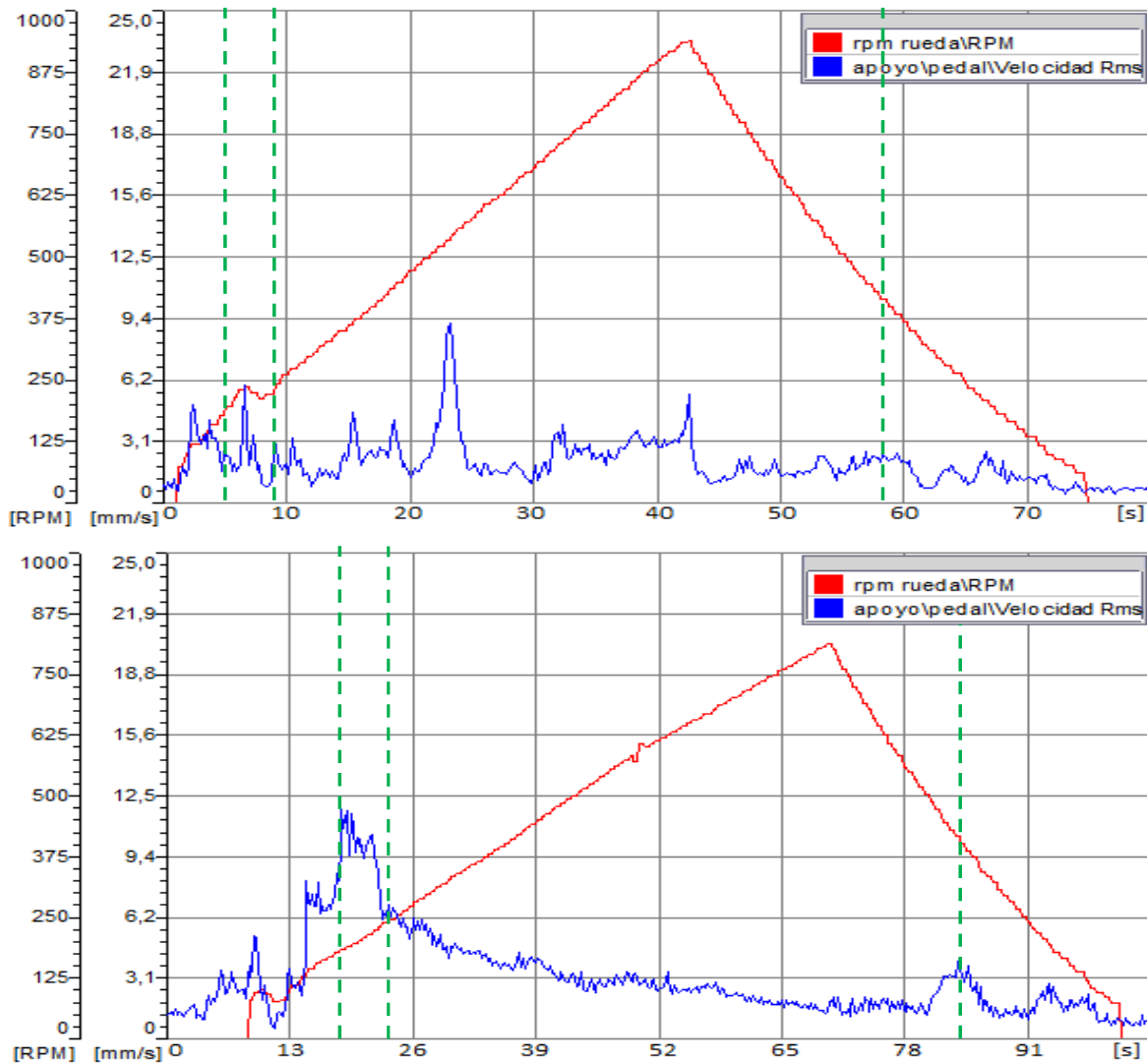


Figura 4-40 Comparación de formas de onda, acelerómetro en el pedal del freno (velocidad RMS): Prueba de referencia arriba – Prueba con motor desbalanceado abajo

FUENTE: Propia

Al observar las formas de onda de velocidad obtenidas con el acelerómetro en el pedal del freno se ve que existe mucha diferencia entre las ondas, pero

presentando al igual que en el asiento, algunos valores altos a bajas rpm, en las zonas señaladas. Por esta razón el análisis se realiza en dichas zonas.

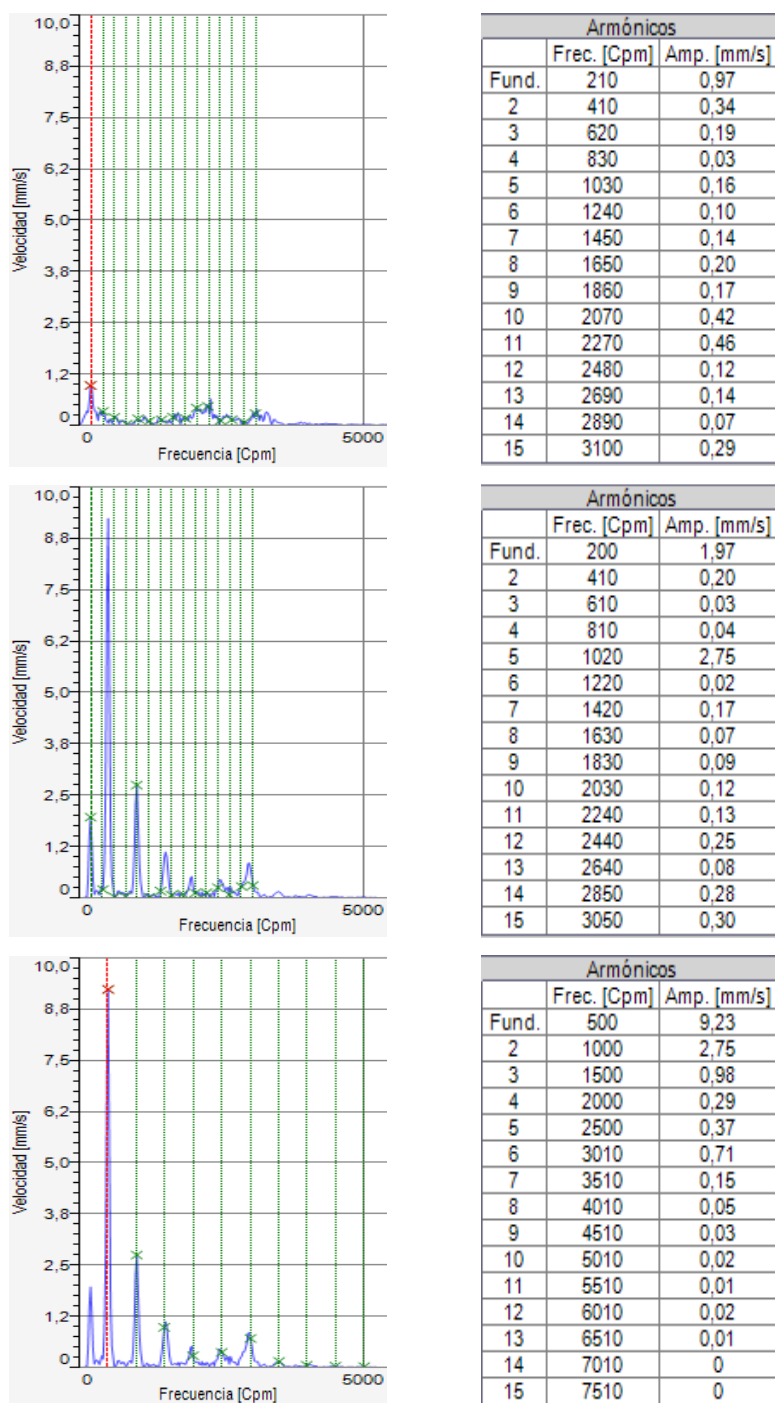


Figura 4-41 Análisis de espectros de vibración a 200 rpm: Prueba de referencia arriba – Prueba con motor desbalanceado, armónicos de la frecuencia de las ruedas al centro, armónicos de la frecuencia del motor abajo

FUENTE: Propia

Se tiene una velocidad de vibración de 9,23 mm/s a una frecuencia de 500 cpm, es decir $1/2x$ de la frecuencia del motor, manteniendo una tendencia en los resultados de esta prueba; y otros picos de menor valor en los armónicos de la frecuencia del motor.

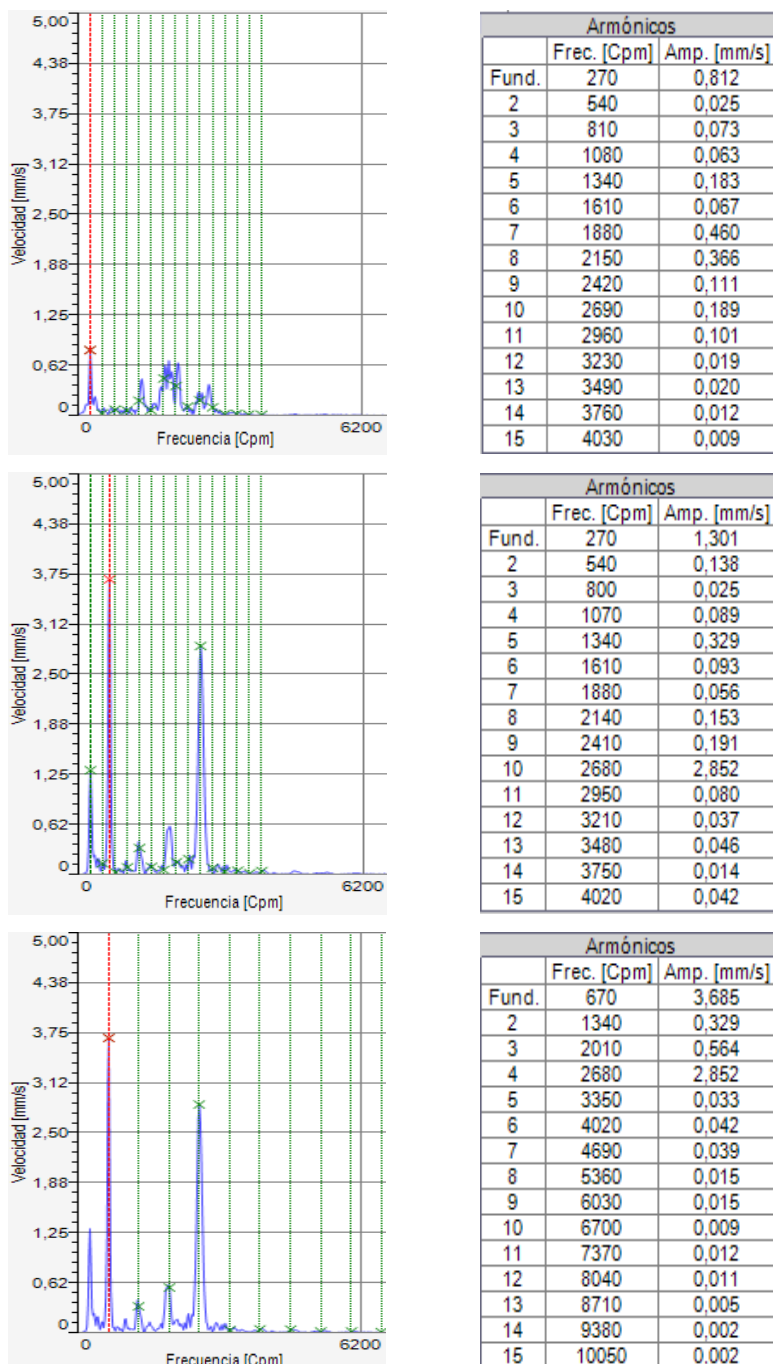


Figura 4-42 Análisis de espectros de vibración a 270 rpm: Prueba de referencia arriba – Prueba con motor desbalanceado, armónicos de la frecuencia de las ruedas al centro, armónicos de la frecuencia del motor abajo

FUENTE: Propia

El mayor pico se da a 670 cpm que es 1/2x de la frecuencia del motor y el segundo se da a una frecuencia 2x del motor.

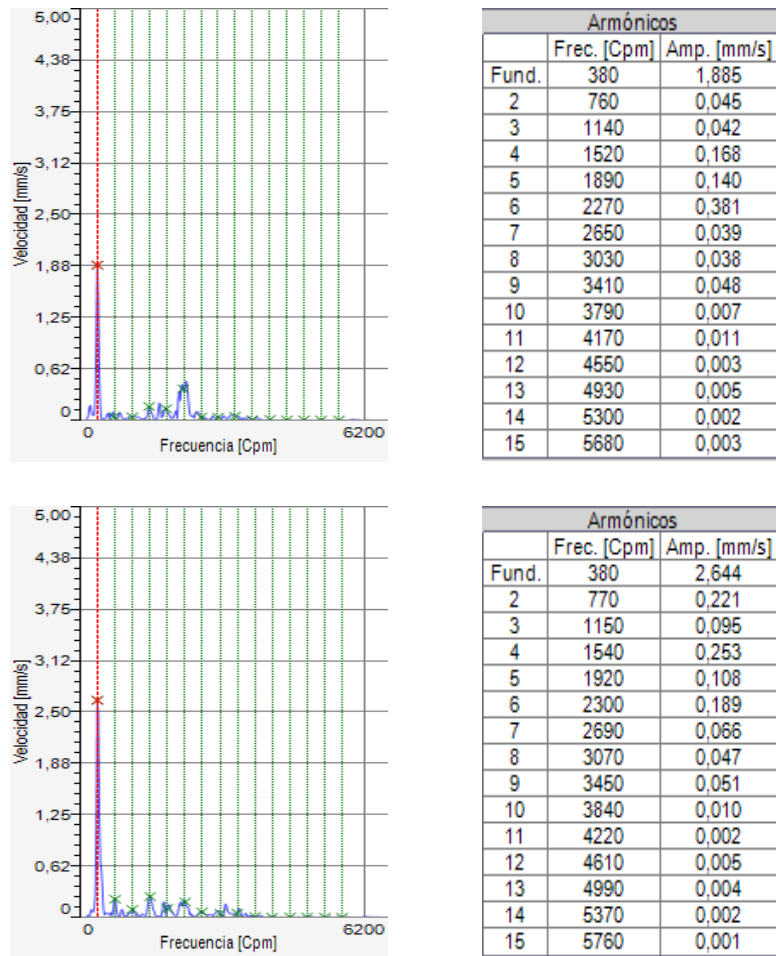


Figura 4-43 Análisis de espectros de vibración a 380 rpm: Prueba de referencia arriba – Prueba con motor desbalanceado abajo

FUENTE: Propia

El mayor pico se da a 380cpm que es la frecuencia de las ruedas, pero se observa que el incremento no es considerable, además que no se presenta la vibración a la mitad de la frecuencia del motor.

4.3.3.4 Acelerómetro en el piso de la cabina

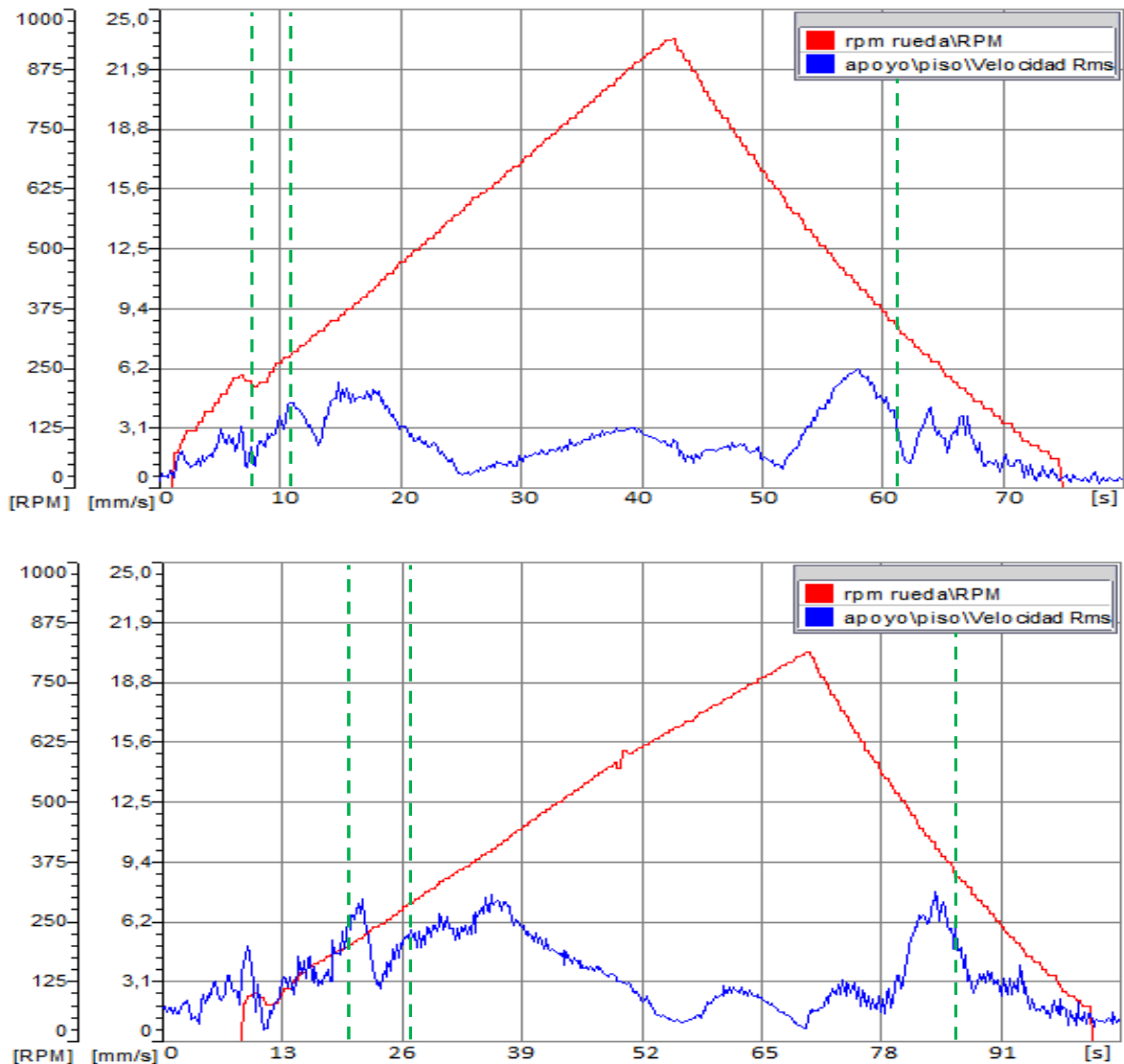


Figura 4-44 Comparación de formas de onda, acelerómetro en el piso de la cabina (velocidad RMS): Prueba de referencia arriba – Prueba con motor desbalanceado abajo

FUENTE: Propia

Al observar las formas de onda de velocidad obtenidas con el acelerómetro en el piso de la cabina se ve que no existe mucha diferencia entre las ondas, pero presentando al igual que en las ondas obtenidas con los otros acelerómetros, algunos valores altos a bajas rpm, en las zonas señaladas. Por esta razón el análisis se realiza en dichas zonas.

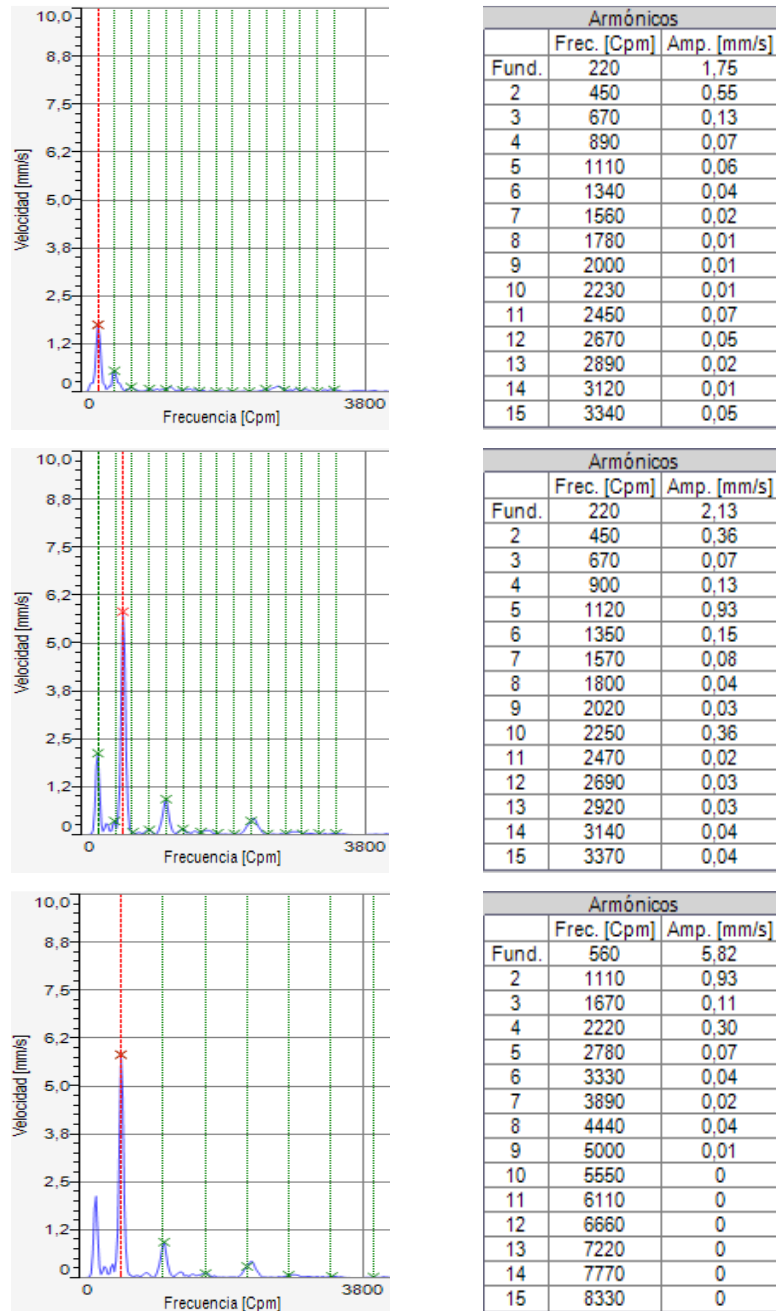


Figura 4-45 Análisis de espectros de vibración a 220 rpm: Prueba de referencia arriba – Prueba con motor desbalanceado, armónicos de la frecuencia de las ruedas al centro, armónicos de la frecuencia del motor abajo

FUENTE: Propia

El mayor pico se da a una frecuencia de 560 cpm que representa 1/2x de la frecuencia del motor. El segundo pico se da a 1/5x de la frecuencia del motor.

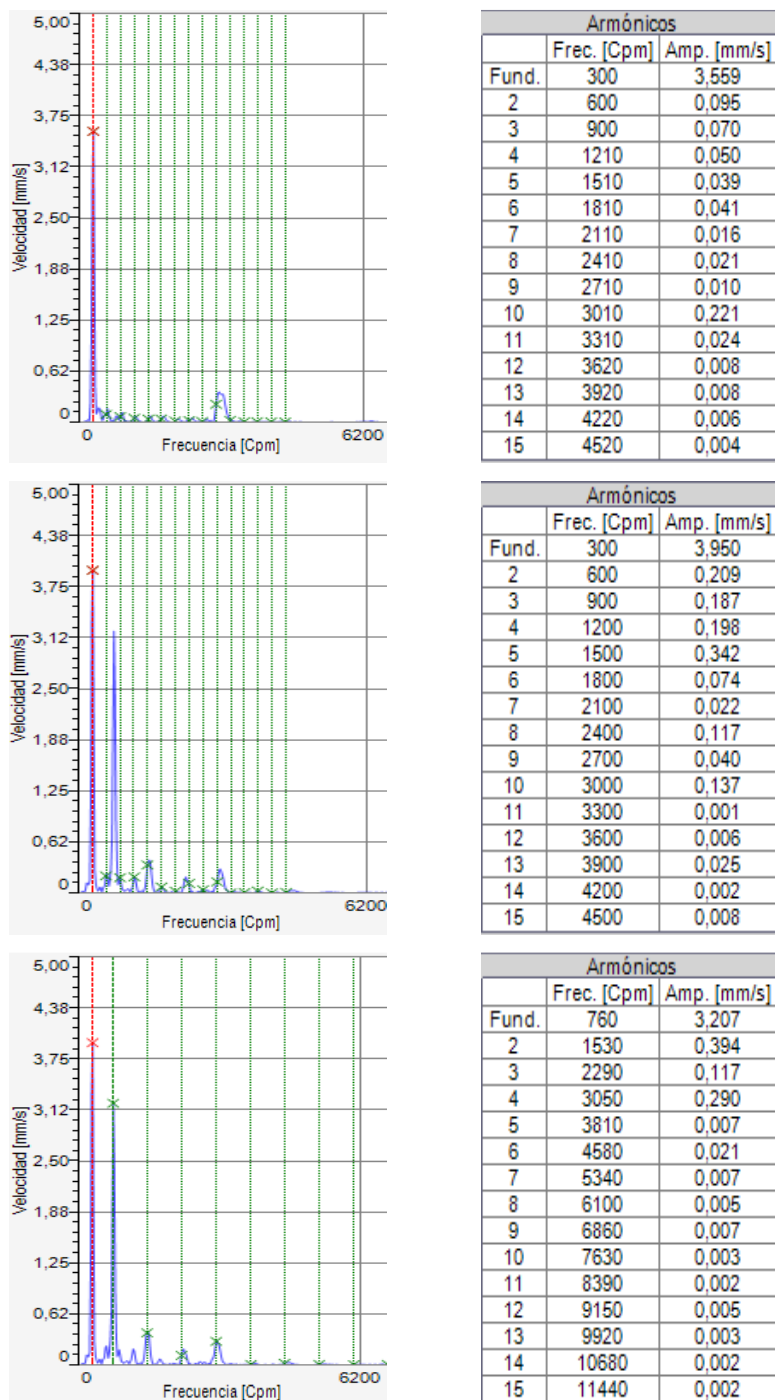


Figura 4-46 Análisis de espectros de vibración a 300 rpm: Prueba de referencia arriba – Prueba con motor desbalanceado, armónicos de la frecuencia de las ruedas al centro, armónicos de la frecuencia del motor abajo

FUENTE: Propia

Se puede observar en la Figura 4-46 que el incremento de la velocidad de vibración a la mitad de la frecuencia del motor es notable adquiriendo un valor de 3,2 mm/s.

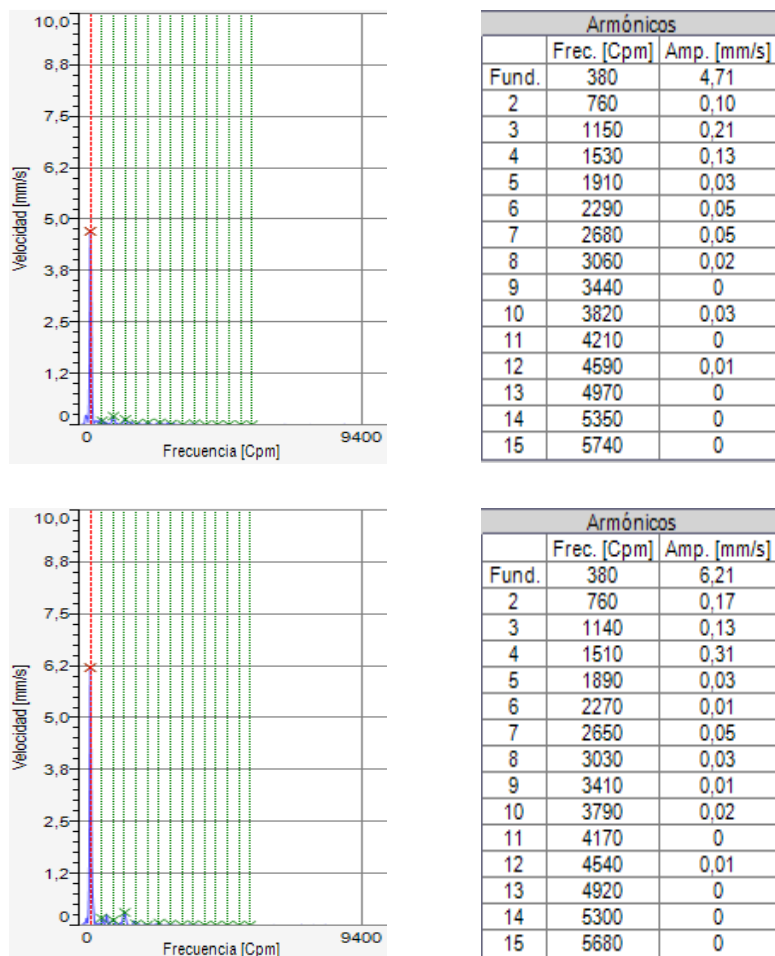


Figura 4-47 Análisis de espectros de vibración a 380 rpm: Prueba de referencia arriba – Prueba con motor desbalanceado abajo

FUENTE: Propia

La mayor vibración se da a la frecuencia $1/5x$ del motor y con un pequeño incremento de su valor de 4,7 mm/s a 6,2 mm/s. Y no aparece la vibración a la mitad de la frecuencia del motor, es decir que no presenta el síntoma de anomalía en el motor.

CAPÍTULO 5

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

Se pudo aplicar la teoría de vibraciones, junto con el análisis de espectros para verificar el incremento en los niveles de vibración que presenta un vehículo liviano cuando sufre ciertas anomalías.

Las fuentes de generación de vibración de un vehículo son todos los elementos que tienen movimiento, donde al sufrir una anomalía como desbalanceo, desajustes, desgaste que puede producir holguras incorrectas, etc., generan golpeteos a determinadas frecuencias, por lo que al identificar la frecuencia de dichas vibraciones se puede encontrar las posibles fuentes.

Cada anomalía que se puede presentar en un vehículo tiene sus síntomas característicos, lo cual ayuda a determinar donde se encuentra el problema y así tomar acciones correctivas en el caso de ser necesario.

Se determinó que existen vibraciones y ruidos que el usuario percibe, pero que no responden a un mal funcionamiento del vehículo, sino que se trata de factores externos tales como el estado de una carretera e incluso el tipo de superficie de la misma, que generan ruidos que pueden ser confundidos con problemas del vehículo.

Dentro de estos factores también figura el diseño aerodinámico del vehículo, que puede generar ruidos molestos al trasladarse a velocidades altas debido a las turbulencias generadas en el flujo de aire alrededor del vehículo. Es decir, se tratan de síntomas que no pueden ser eliminados realizando mantenimiento pues no se tratan de anomalías mecánicas.

En el caso práctico, se pudo comprobar que los niveles de vibración aumentan con el desbalanceo provocado, y principalmente se pudo ver que se generan vibraciones a la frecuencia de giro del elemento desbalanceado o en sus armónicos.

Como era de esperarse, al provocar el desbalanceo del árbol de transmisión, la vibración generada presentó una frecuencia igual a la frecuencia de giro del árbol pero también en su armónico 2x.

En la forma de onda obtenida con el acelerómetro en el volante se tiene una diferencia más clara entre la onda antes y después del desbalanceo, mientras que en la forma de onda obtenida con el acelerómetro en el piso la diferencia es casi imperceptible.

De igual forma al comparar los espectros obtenidos con el acelerómetro en el piso de la cabina no se encontró una diferencia marcada por lo que se puede decir que un desbalanceo del árbol de transmisión no produce síntomas perceptibles a través del piso.

En cuanto al desbalanceo de las ruedas, se comprobó que estas se perciben a altas velocidades, pues al comparar espectros con y sin desbalanceo, no presentan una diferencia marcada a bajas rpm, mientras que alrededor de las 4000 rpm la vibración es mucho mayor con las ruedas desbalanceadas.

Al igual que en la prueba con el árbol desbalanceado, las ruedas desbalanceadas tampoco producen síntomas perceptibles a través del piso de la cabina, pues una vez más al comparar los espectros obtenidos con el acelerómetro en el piso, no existe una diferencia considerable entre estos.

En la prueba con uno de cilindros suspendido se obtuvo mayor nivel de vibración del vehículo, además de la falta de potencia. También se encontró que la vibración disminuye con el incremento de la velocidad, pues la diferencia entre espectros es apreciable a bajas revoluciones

Como se trata de una “no combustión” en el interior de uno de los cilindros, la vibración se da a la mitad de la frecuencia de giro del motor, pues la combustión de un cilindro se produce cada dos vueltas del cigüeñal.

A diferencia que en las otras dos pruebas, en esta si se presentan síntomas perceptibles a través de los cuatro sitios donde se ubicaron los acelerómetros.

El análisis de vibraciones en un vehículo es bastante extenso y complejo debido a la cantidad de elementos que posee el motor y el vehículo en general, por lo que su aplicación no se justifica en el diagnóstico de anomalías.

5.2 RECOMENDACIONES

Al momento de percibir vibraciones en el vehículo durante la conducción, se debe pensar en las causas más comunes, es decir en los problemas que se pueden presentar más a menudo en un vehículo, como son el desbalanceo de las ruedas, la mala alineación de las mismas, desgaste irregular ya sea de las ruedas o de los frenos, etc., para enfocarse en estos y de esta manera llegar a la causa del problema y eliminarla.

Si se tiene problemas de vibraciones y/o ruidos en el vehículo, que requieren de corrección, se debe realizar pruebas de ruta para tratar de reproducir los eventos en los cuales el usuario percibe los síntomas, y de esta manera identificar más rápidamente las posibles causas.

Con el fin de obtener condiciones más reales se recomienda realizar el monitoreo mediante pruebas de ruta, para lo cual es necesario el uso de un analizador de vibraciones portátil.

El análisis de vibraciones se puede aplicar en la etapa de diseño del vehículo, durante la cual se puede probar diferentes diseños, materiales, etc., en los elementos de sujeción, o conexión; con el fin de disminuir los niveles de vibración en el interior de la cabina.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- [1] ADAMUZ, J.; "Circuitos de fluidos, suspensión y dirección: Ruedas"
- [2] ARIAS-PAZ, M.; "Manual de automóviles"; 55° Edición; Madrid 2004
- [3] AVELLO, A.; "Tecnun, Capítulo 9: Vibraciones en sistemas de un grado de libertad"; Universidad de Navarra
- [4] CASTELLANOS, M.; SÁNCHEZ, M.; "Programa de mantenimiento predictivo por análisis de vibraciones en equipos críticos de la industria azucarera"; Universidad Centroamericana José Simeón Cañas; El Salvador 2005
- [5] DAZA, G.; "Apuntes del curso Vibraciones Mecánicas; Universidad Técnica Federico Santa María; Chile 2007
- [5] ESTUPIÑÁN, E.; SAAVEDRA, P.; "Análisis de vibraciones aplicado a las máquinas rotatorias de baja velocidad"; Chile
- [6] FERRER-DOMÍNGUEZ, Sistemas de transmisión y frenado, Editex, 2008
- [7] FRIEDMAN, A.; "Demodulación"; USA
- [8] HEIßING, B., ERSOY, M.; "Chassis Handbook: Fundamentals, Driving Dynamics, Components, Mechatronics, Perspectives";
- [9] HIDALGO, A.; DOMÍNGUEZ, C.; MORCILLO, M.; "Acústica Interior del automóvil"; 14° Jornada Técnica en Automoción-Universidad de Navarra 2002
- [10] KULICHEVSKY, R; SAACHI, M.; MARTÍN GHISELLI,A.; "Medición y análisis de vibraciones: Una herramienta para la predicción y evaluación de fallas en maquinarias"; Buenos Aires-Argentina
- [11] LUQUE, P.; "Ingeniería del automóvil Sistemas y comportamiento dinámico"; Thomson; 2004
- [12] MAYZ, E.; "Conocimientos básicos del automóvil: NVH (Noise, Vibration, Harshness)"

- [13] MIYARA, F.; "Niveles sonoros";
- [14] MORTALAZ, E.; "Electromecánica de vehículos: Sistemas de fluidos, suspensión y dirección";
- [15] OROVIO, M.; "Tecnología del automóvil"; Editorial Paraninfo; 2010
- [16] PALOMARES, J.; "Motores de Combustión interna I"; Lima-Perú 2007
- [17] PALOMINO MARÍN, E.; "La medición y el análisis de vibraciones en el diagnóstico de máquinas rotatorias"; Centro de Estudios, Innovación y Mantenimiento; Cuba 1997
- [18] PÉREZ, C. "Sonido y Audición"; Universidad de Cantabria
- [19] PÉREZ, M.; "Circuitos de fluidos, suspensión y dirección"
- [20] PERNIA-MÁRQUEZ, D.; "Introducción a la medición de vibración"; Universidad de los Andes; Venezuela 2004
- [21] ROYO, J.; RABANAQUE, G.; TORRES, F.; "Análisis de vibraciones e interpretación de datos"; Universidad de Zaragoza
- [22] SAAVEDRA, P.; "La medición y análisis de las vibraciones como técnica de inspección de equipos y componentes, aplicaciones, normativas y certificación"; Universidad de Concepción; Chile
- [23] SANZ, C.; "Técnicas para el estudio acústico en vehículos (Noise, Vibration and Harshness)"; Universidad Politécnica de Valencia; Escuela Politécnica Superior de Gandia; Gandia-España 2012
- [24] SANZ, S.; "Motores: mantenimiento de vehículos autopropulsados"; Editex; 2007
- [25] TAYLOR, J.; "The Vibration Analysis Handbook"; Primera Edición; 2003
- [26] TOYOTA MOTOR CORPORATION; "Técnico de diagnóstico: Suspensión y dirección-Alineación de las ruedas"; 2003

- [27] TOYOTA MOTOR CORPORATION; "Técnico de diagnóstico: Suspensión y dirección-Sistema de suspensión"; 2003
- [28] TOYOTA MOTOR CORPORATION; "Técnico de diagnóstico: Transeje manual-4WD"; 2003
- [29] TOYOTA MOTOR CORPORATION; "Técnico de diagnóstico: Transeje manual-Neumáticos y ruedas de disco"; 2003
- [30] TOYOTA MOTOR CORPORATION; "Técnico superior de diagnóstico: Puntos básicos sobre la localización y reparación de averías"; 2003
- [31] VIERCK, R.; "Vibration Analysis"; International Textbook Company; 1967
- [32] WHITE, G.; "Introducción al Análisis de Vibraciones"; USA 2010

<http://aficionadosalamecanica.com/direccion-geometria.htm>

<http://avtomobilj.narod.ru/ispanskij/chevrolet/Chevrolet-KR-Aveo-4-Door-2006/>

<http://avtomobilj.narod.ru/ispanskij/ford/Ford-LTD-Crown-Victoria-1985/>

<http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/11638/fichero/Capitulo+4.pdf>

<http://ingeniedia.blogspot.com/2011/03/sistema-de-segundo-orden-ejemplo.html>

<http://mecanicayautomocion.blogspot.com/>

<http://nicony.weebly.com/clasificacioacuten-de-los-engranajes.html>

<http://www.automotriz.net/cms/tecnica/conocimientos-basicos-parte-4/>

<http://www.grupocircuit.com/tag/angulo-de-avance/>

<http://www.grupocircuit.com/tag/convergencia/>

http://www.ib.cnea.gov.ar/~instyctl/Tutorial_Matlab_esp/freq.html

<http://www.mercadoracing.org/18/30111/no-compreis-a-oskartuning.html>

<http://www.mpatv.com/tag/tubo-de-escape/>

http://www.nskeurope.es/cps/rde/xchg/eu_es/hs.xsl/engranaje-del-diferencial-y-arbol-de-transmision.html

<http://www.rockfon.es/acustica/la+funcion+de+los+legisladores/nivel+de+presion+acustica>

<http://www.rockfon.es/acustica/la+funcion+de+los+legisladores/nivel+de+presion+acustica>

<http://www.rotarypit.com/faq-rx8.htm>

http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica_/oscilaciones/lineales/amortiguadas/amortiguadas.xhtml

http://www.sinais.es/sensores/transductores_desplazamiento.html

<http://www.slideshare.net/joaquinin1/ruedas-muy-interesante-67pag>

<http://www.tallervirtual.com/2012/06/07/es-hora-de-realizar-una-alineacion-de-nuestro-coche-parte-ii/>

ANEXO 1
CATÁLOGO ANALIZADOR DE SEÑALES MULTICANAL
ADQ

