FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS AGROPECUARIAS

EVALUACIÓN DEL IMPACTO ACÚSTICO GENERADO AL INTERIOR DE LOS BUSES DEL SISTEMA INTEGRADO DE TRANSPORTE PÚBLICO ECOVÍA DEL DMQ

Trabajo de Titulación presentado en conformidad con los requisitos establecidos para optar por el título de Ingeniero en Sonido y Acústica

Profesor Guía

Ing. Miguel Ángel Chávez

Autor

Dennys Alejandro Granizo Vallejo

Año

2013

DECLARACIÓN DEL PROFESOR GUÍA

“Declaro haber dirigido este trabajo a través de reuniones periódicas con el estudiante, orientando sus conocimientos y competencias para un eficiente desarrollo del tema escogido y dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de Titulación”.

Miguel Ángel Chávez
Ingeniero Acústico
CI: 1710724848

DECLARACIÓN DE AUTORÍA DEL ESTUDIANTE

“Declaro que este trabajo es original, de mi autoría, que se han citado las fuentes correspondientes y que en su ejecución se respetaron las disposiciones legales que protegen los derechos de autor vigentes”.

Dennys Alejandro Granizo Vallejo
CI: 0604029702

AGRADECIMIENTOS

A Miguel Chávez por haber dirigido y aportado al desarrollo de la investigación. Al Ing. Carlos Poveda por haber permitido la ejecución del proyecto en la EPMTPQ.

DEDICATORIA

A mi madre por todo su sacrificio, apoyo y comprensión.

A mi esposa e hija, por haberse convertido en mi inspiración y estar siempre a mi lado.

RESUMEN

La presente investigación tiene por objeto evaluar el impacto acústico generado al interior de los buses del sistema de transporte público Ecovía, del Distrito Metropolitano de Quito.

Se realizaron mediciones en once (11) buses, de los cuales el primero se realizó bajo condiciones controladas y los diez (10) restantes se evaluaron en la ruta de operación normal. Se determinaron tres puntos de medición, el primero cerca del conductor, el segundo en la mitad del articulado, mientras que el tercero en la parte posterior del mismo.

La evaluación de la exposición diaria fue realizada en base a los estándares brasileños, (NHO-01, Estándar De Salud Ocupacional), NR15 (Actividades y Operaciones Insalubres) y NR17 (Estándar De Ergonomía). El Real Decreto286/2006, España (Disposiciones mínimas de seguridad y salud de los trabajadores relativas a la exposición al ruido) y el Decreto 2393, Ecuador (Reglamento de seguridad y salud de los trabajadores y mejoramiento del medio ambiente de trabajo). Todos los cálculos de exposición diaria se encontraron por debajo del límite de los 85 dBA, lo que se puede considerar como aceptable. Por otro lado el Decreto 2393 y NR-17 consideran dichos niveles como no confortables para un ambiente de trabajo que demanda de concentración, puesto que sus niveles de exposición son mayores que 65 y 70 dBA. De la misma manera, de acuerdo al Decreto 129, Chile, se generan niveles instantáneos que superan los criterios establecidos.

No se perciben molestias significativas por los usuarios que utilizan éste medio de transporte, sin embargo los niveles generados no son saludables. Asimismo, los niveles que recibe el chofer pueden llegar a ocasionar daños a determinado plazo, pese a que no se superen los criterios de exposición.

ABSTRACT

The present study aims to evaluate the acoustic impact generated inside of the Ecovía's buses in the Metropolitan District of Quito.

Measurements were made at eleven (11) buses, the first of them was carried out under controlled conditions and the following ten (10) were evaluated in normal operation conditions. Three measurement points were identified: the first one, near conductor, the second located in de middle of the bus, while the third point in the rear of the whole vehicle.

The daily exposure assessment was performed based on Brazilian standards, (NHO-01, Standard Occupational Health), NR15 (Unhealthy Activities and Operations) and NR17 (Standard of Ergonomics). Royal Decree 286/2006, Spain (Minimum health and safety requirements regarding the exposure of workers to noise) and Decree 2393, Ecuador (Regulation of safety and health of workers and improvement of the working environment). All daily exposure estimates were below the limit of 85 dBA, which can be considered as acceptable. Furthermore Decree 2393 and NR-17 consider these levels as uncomfortable for a work environment that demands concentration, since exposure levels are greater than 65 and 70 dBA. Similarly, according to the Decree 129, Chile, instantaneous levels are exceeding in-doors criteria.

People that use this transportation mode perceived no significant annoyance, however this levels can be unhealthy. Also, the driver receives levels that can potentially cause damage in a certain period, although not exceeded exposure criteria.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN 1

1. MARCO TEÓRICO 5

1.1 Nivel de Presión Sonora (NPS, Lp) 5

1.2 Sonoridad 6

1.3 Filtros de ponderación 7

1.3.1 Filtro de Ponderación A 7

1.4 Nivel sonoro continuo equivalente (Leq) 9

1.5 Nivel de exposición acumulada (LAeq,T) 9

1.6 Nivel de exposición normalizado (LAeq,d) 10

1.7 Niveles percentiles L90 y Lmax 10

1.8 Dosis diaria 10

1.9 Enmascaramiento 11

1.10 Interferencia de la palabra (SIL) 11

1.11 Contaminación Acústica 14

1. 12 Control de Ruido 14

1.12.1 Técnicas de medida del ruido 15

1.13 INFLUENCIA DEL RUIDO EN INDIVIDUOS Y COMUNIDADES 16

1.13.1 Efectos del ruido 20

1.13.1.1 Efectos fisiológicos 20

1.13.1.2 Efectos no auditivos 22

2. ESTUDIO DEL SISTEMA DE TRANSPORTE PÚBLICO METROBUS-Q ECOVÍA 23

2.1 Características de los buses 23

2.2 Ruido en buses metropolitanos 24

2.3 Identificación de las fuentes generadoras de ruido 25
2.3.1 Ruido generado por las puertas de los buses 26
2.3.1.1 Válvulas 27
3. REVISIÓN DE NORMAS Y DECRETOS RELACIONADOS CON LA INVESTIGACIÓN 29
3.1 ISO 362: Acústica – Medida del ruido emitido por aceleración de vehículos 29
3.2 ISO 5130 – Medida del nivel de presión sonora emitida por vehículos en estado estacionario 30
3.3 ISO 5128 - Medidas de ruido dentro de vehículos a motor 30
3.4 Decreto 129 (Chile) – Norma de emisión de ruidos para buses de locomoción colectiva urbana y rural 32
3.5 Reglamento de seguridad y salud de los trabajadores y mejoramiento del medio de trabajo, Decreto 2393 (EC) 32
3.6 Norma de higiene ocupacional NHO-1, 1999, (Sao Paulo, Brasil) 33
3.7 Norma reguladora, actividades y operaciones insalubres NR-15, (Brasil) 33
3.8 Norma reguladora, Ergonomía NR-17, 1992, (Brasil) 34
3.9 Real Decreto 286/2009, disposiciones mínimas de seguridad y salud de los trabajadores relativas a la exposición al ruido 34
4. DESARROLLO 36
4.1 Metodología 36
4.1.1 Instrumento de medición 36
4.1.2 Cantidades de medida 37

4.1.3 Posiciones del micrófono 38
4.1.4 Ruido de Fondo 39
4.1.5 Condiciones Climáticas 39
4.1.6 Lugar de ensayo 40
4.1.7 Condiciones del vehículo 40
4.2 Materiales 41
4.3 Procedimiento 41
4.3.1 Ensayo estacionario 42
4.3.2 Ensayo dinámico 43
5. PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS 45
5.1 GENERALES 45
5.2 Ruido de fondo 50
5.3 Vehículo en Ralentí 51
5.3.1 Ralentí (Punto 1) 51
5.3.2 Ralentí (Punto 2) 53
5.3.3 Ralentí (Punto 3) 55
5.3.4 Comparación 56
5.4 Ruido de Puertas (Vehículo Apagado) 57
5.4.1 Punto 1 58
5.4.1.1 Apertura de Puertas 58
5.4.1.2 Cierre de puertas 59
5.4.1.3 Contenido frecuencial del ruido de puertas 61
5.4.2 Punto 2 61
5.4.2.1 Apertura de Puertas 61
5.4.2.2 Cierre de puertas 62
5.4.2.3 Contenido frecuencial del ruido de puertas 64
5.4.3 Punto 3 64
5.4.3.1 Apertura de Puertas 64
5.4.3.2 Cierre de puertas 66
5.4.3.3 Contenido frecuencial del ruido de puertas 67
5.5 Ruido de Puertas (Vehículo en Ralentí) 67

5.5.1 Punto 1 67
5.5.1.1 Apertura de Puertas 67
5.5.1.2 Cierre de puertas 68
5.5.1.3 Contenido frecuencial del ruido de puertas 69
5.5.2 Punto 2 70
5.5.2.1 Apertura de Puertas 70
5.5.2.2 Cierre de puertas 71
5.5.2.3 Contenido frecuencial del ruido de puertas 72
5.5.3 Punto 3 73
5.5.3.1 Apertura de Puertas 73
5.5.3.2 Cierre de puertas 74
5.5.3.3 Contenido frecuencial del ruido de puertas 75
5.6 Ensayo Dinámico 78
5.6.1 Punto 1 79
5.6.1.1 Desplazamiento 79
5.6.1.2 Frenado 80
5.6.1.3 Apertura de Puertas 80
5.6.1.4 Cierre de puertas 81
5.6.1.5 Aceleración 82
5.6.1.6 Contenido frecuencial 83
5.6.2 Punto 2 84
5.6.2.1 Desplazamiento 84
5.6.2.2 Frenado 85
5.6.2.3 Apertura de Puertas 86
5.6.2.4 Cierre de puertas 87
5.6.2.5 Aceleración 88
5.6.2.6 Contenido frecuencial 89
5.6.3 Punto 3 90
5.6.3.1 Desplazamiento 90
5.6.3.2 Frenado 90
5.6.3.3 Apertura de Puertas 91
5.6.3.4 Cierre de puertas 92

5.6.3.5 Aceleración 93
5.6.3.6 Contenido frecuencial 94
5.7 Megafonía para anuncios (E*) 96
5.8 Determinación de la exposición normalizada a 8 horas de trabajo. (Ensayo dinámico, Punto 1). 98
5.9 Dosis Diaria 99
5.10 Interferencia de la palabra (SIL) 100
5.11 Ensayo dinámico en la ruta de operación 103
5.11.1 Analogía 104
5.11.1.1 Niveles mínimos 105
5.11.1.2 Niveles máximos 105
5.12 Percepción de molestia en los pasajeros 106
5.12.1 Estimación de la reacción de la comunidad 109
5.13 Diagnóstico 110
6. Análisis Económico 113
6.1 Gastos de la investigación 113
7. PROYECCIONES 115
8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 116
8.1 Conclusiones 116
8.2 Recomendaciones 120
REFERENCIAS 122
ANEXOS 124

INTRODUCCIÓN

Antecedentes

Sin duda, el crecimiento en las ciudades se ve fuertemente afectado por un continuo crecimiento de la demanda de transporte y la taza vehicular. Debido a esto, la implementación de nuevos sistemas de transporte urbano se hace necesaria y con ello nuevos escenarios se presentan.

En conjunto con los beneficios del desarrollo tecnológico e industrial, aparecen un sin número de agentes contaminantes ambientales, pero también se despliegan campañas de conservación del ecosistema junto con ordenanzas, normativas e investigaciones focalizadas en estos temas.

Los efectos producidos por la exposición a niveles altos de ruido son varios y ninguno de poca importancia. Afecciones como el estrés o daños fisiológicos en el oído interno son parte de nuestra realidad, los cuales, pueden ser factores influyentes en el desenvolvimiento laboral o incluso, violencia familiar.

La Organización Mundial de la Salud (OMS) estima que alrededor de 278 millones de personas en el mundo tienen problemas auditivos permanentes y aproximadamente 500 millones de personas son afectadas por altos niveles de ruido. Por lo tanto se ha estimado que el 80% de la incomodidad sonora es proveniente de vehículos motorizados y tráfico rodado (OMS, 1999).

Muchos estudios han dedicado sus investigaciones a la contaminación acústica generada por sistemas de transporte como un problema medioambiental, pero pocos orientan sus estudios al impacto acústico generado dentro de los sistemas de transporte público y como podrían afectar al conductor y pasajeros.

Profesionales como psicólogos, físicos, ingenieros y sociólogos han puesto especial atención por la salud y bienestar de los choferes. La razón del enfoque

en el tema es porque la operación de buses en áreas urbanas se ha tornado en una actividad estresante y poco saludable (Ewans y Johansoon, 1988, pp. 99 - 108).

El Doctor Paulo Zannin, 2006, ha realizado varias investigaciones enfocadas al entorno laboral de los choferes de buses urbanos, en donde se exponen factores determinantes en la producción de ruido dentro de los vehículos. Según Zannin el año de fabricación y la ubicación del motor son los factores de mayor influencia para la producción de ruido al que se expone el chofer.

Dada la carencia de normativas y ordenanzas en nuestro país, no es posible fundamentar un estudio con contextos de nuestra realidad. Por lo tanto, la interrogante es identificar qué sucede con los niveles de ruido en el presente estudio y cuál es el impacto que éste genera.

Está claro que por motivo de desconocimiento, muchas empresas, autoridades e incluso la legislación vigente en el país, no incorporan políticas o medidas de control que involucren un análisis de las causas y efectos de la contaminación acústica. Por lo tanto, el presente trabajo incorpora un estudio completo enfocado al impacto acústico producido al interior de las unidades de transporte público “Ecovía”, en la ciudad de Quito.

Justificación

Es evidente que una gran cantidad de habitantes del DMQ utiliza a diario los sistemas de transporte público como alternativa de movilización. Ya sea porque no poseen vehículo propio, por ahorrar dinero, por la dificultad de encontrar estacionamientos en la ciudad, por la restricción vehicular, entre otros.

Paralelamente, con el pasar de los años y el aumento de la demanda del servicio, los buses, que son parte del sistema de transporte, se han ido deteriorando, generando mayor contaminación.

Una evaluación del impacto acústico generado al interior de las unidades del sistema de transporte público “Ecovía”, permitirá aportar de manera significativa a la detección, prevención y/o mitigación del ruido que puede estar afectando la salud de los usuarios de este tipo de transporte.

El presente trabajo de investigación abre la puerta a un estudio detallado para la detección de agentes contaminantes dentro de los sistemas de transporte público, en donde se puedan implementar métodos de gestión sobre el control de ruido en base a los parámetros desarrollados.

Objetivos

Objetivo General

Evaluar el impacto acústico generado al interior de los buses del sistema de transporte público Ecovía.

Objetivos Específicos

- Determinar las principales causas del ruido generado dentro de los vehículos.

- Establecer una metodología de medición, basada en normas internacionales, para evaluar objetivamente el ruido producido por los buses.

- Realizar un análisis general sobre la exposición al ruido al cual están sujetos los pasajeros y conductores en las unidades de transporte.

- Determinar el nivel de molestia generado por el ruido en los usuarios del sistema de transporte público así como la interferencia en la comunicación.

- Proponer las soluciones o medidas de prevención posibles de implementar para mitigar los impactos identificados.

Hipótesis

El ruido generado por las distintas fuentes al interior de los buses de la Ecovía, es significativo y puede producir molestia y daños en un determinado plazo.

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO

1.1 Nivel de Presión Sonora (NPS, Lp)

Debido a la naturaleza del sonido y su comportamiento a nivel molecular, las perturbaciones en el aire provocadas por una compresión y descompresión de moléculas empiezan a producir cambios en la presión atmosférica a medida que el fenómeno ondulatorio transcurre. De este modo es posible expresar dichas perturbaciones como valores de presión (Pascales), diferenciado la Presión atmosférica en reposo como 100,000 (Pa) y una Presión Sonora que corresponde a la excitación adicional aportada por la onda sonora. Es decir si la presión total medida en un punto es de 100,010 entonces la Presión sonora es 10 (Pa).

Debido a que se tiene un rango extenso de valores de presión sonora resulta útil expresar sus valores de forma logarítmica, definiendo así el Nivel de Presión Sonora (NPS). El NPS se expresa en decibeles.

(Ecuación 1)

$$\text{NPS} = 20 \log_{10} \frac{P}{Pref} \quad \text{dB}$$

Donde:
P = Presión sonora
Pref = Presión de referencia, Pref = 20 μPa.

Es una propiedad que va de la mano con la exposición sonora, por lo tanto no se los puede considerar por separado. Es necesario considerar conjuntamente el nivel de presión sonora y la duración para poder evaluar los efectos sobre la audición humana.

1.2 Sonoridad

Percepción ante un sonido que permite caracterizarlo como un sonido fuerte o débil, es decir, el volumen o la fuerza con la que se recibe un sonido.

Si se emite un sonido con una frecuencia de 125 Hz y se realiza un barrido de frecuencias, el oído es capaz de distinguir que al aumentar la frecuencia el sonido se percibe más sonoro. Esto es debido a que el oído humano es más sensible a frecuencias entre 500 Hz y 5 kHz a comparación de frecuencia más bajas o más altas.

Lo anterior fue demostrado en el año de 1933 por los norteamericanos Fletcher y Munson, los cuales experimentaron con personas de buena audición pidiendo que se haga una comparación de nivel entre dos distintas frecuencias hasta que puedan escucharse con la misma sonoridad. De esta manera se pudieron obtener una familia de curvas que describen la sonoridad percibida en función al nivel y la frecuencia.

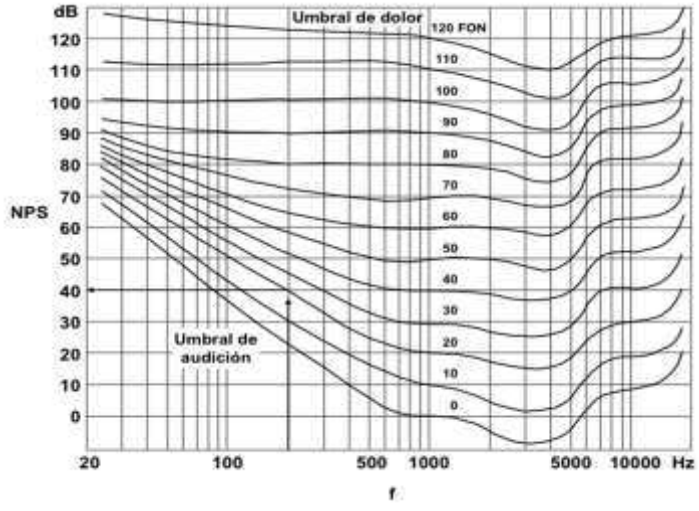


Figura 1. Curvas isofónicas de Fletcher y Munson. Adaptado de Miyara, F, 1999, p. 1-27

Por debajo y sobre las curvas, se habla del umbral de audición y umbral de dolor, respectivamente.

1.3 Filtros de ponderación

Una vez definido el comportamiento de la audición humana, es posible implementar una valoración de medida asociada a la percepción de los sonidos, es decir con las características definidas por las curvas de Fletcher y Munson.

1.3.1 Filtro de Ponderación A

Con el objetivo que la medida sea lo más aproximada a la percepción de sonoridad humana, los sonómetros incorporan la red de ponderación A, los decibeles A o dBA, que son atenuaciones aplicadas a frecuencias de un sonido partiendo de la escala lineal de análisis. De manera que las frecuencias bajas y altas tienen menor peso que las frecuencias medias (Véase figura 2).

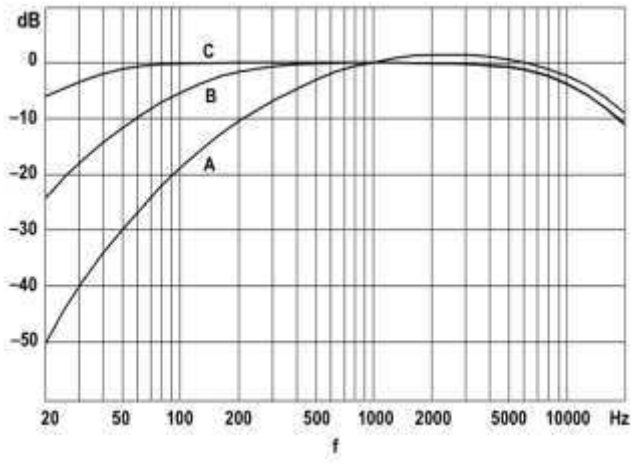


Figura 2. Curvas de ponderación A,B,C y D. Adaptado de Miyara, F, 1999, p. 4-3

Precisamente por estas razones, el nivel A ha sido seleccionado como base para criterios medioambientales y es la más usada por leyes y reglamentos existentes.

También es posible determinar los niveles A, a partir de los niveles medidos en escala lineal, mediante la suma de los valores de corrección mostrados en la tabla 1, a cada una de sus componentes frecuenciales.

Tabla 1. Factores de corrección para ponderación A

Frecuencia [Hz]	Curva A [dB]
10	−70,4
12,5	−63,4
16	−56,7
20	−50,5
25	−44,7
31,5	−39,4
40	−34,6
50	−30,2
63	−26,2
80	−22,5
100	−19,1
125	−16,1
160	−13,4
200	−10,9
250	−8,6
315	−6,6
400	−4,8
500	−3,2
630	−1,9
800	−0,8
1000	0,0
1250	0,6
1600	1,0
2000	1,2
2500	1,3
3150	1,2
4000	1,0
5000	0,5
6300	−0,1
8000	−1,1
10000	−2,5
12500	−4,3
16000	−6,6
20000	−9,3

Adaptado de Miyara, F, 1999, p. 4-3

1.4 Nivel sonoro continuo equivalente (Leq)

Es el nivel continuo que equivale energéticamente al periodo de integración. Viene definido en forma discreta por la siguiente expresión:

(Ecuación 2)

$$Leq = 10log\left(\frac{1}{N}\right)\sum_{i=1}^{N} 10^{Li/10}$$

Donde:
Li = Niéveles instantáneos
N = Número de muestras

1.5 Nivel de exposición acumulada (LAeq,T)

Es el nivel de exposición, al que un trabajador se somete durante tiempos y niveles específicos. Es decir, en una rutina de trabajo normal, el trabajador puede estar expuesto a diferentes niveles en tiempos definidos de operación.

El nivel acumulado durante dicha rutina se lo puede calcular mediante la siguiente ecuación:

(Ecuación 3)

$$LAeq, T = 10\log\left(\frac{1}{T}\right)\sum_{i} Ti.\,10^{0,1(LAeq,Ti)}$$

Donde:
T = Es el tiempo de exposición total de la rutina
Ti = Es el tiempo específico que se expone a determinado nivel
LAeq,Ti = Es el nivel equivalente correspondiente a determinada actividad

El valor obtenido, será el nivel representativo de la exposición diaria de un trabajador.

1.6 Nivel de exposición normalizado (LAeq,d)

Para fines de comparación con los límites de exposición, (Véase tabla 8, sección 3.9) es necesario determinar el nivel de exposición normalizado, cuyo valor es el correspondiente al Nivel de exposición acumulada, llevado a una jornada de trabajo de 8 h mediante la siguiente expresión:

(Ecuación 4)

$$LAeq,d = LAeq,T + 10log\left(\frac{T}{8}\right)$$

Donde:
LAeq,T = Nivel de exposición acumulado
T = Tiempo de trabajo efectivo de una jornada laboral

1.7 Niveles percentiles L90 y Lmax

Los percentiles proporcionan información de los niveles generados durante un porcentaje del tiempo de medida. Siendo L90 y Lmax los más usados, a los que corresponde la ocurrencia de niveles durante el 90 y 100% del tiempo.

1.8 Dosis diaria

El parámetro determina el porcentaje del ruido acumulado durante una jornada de trabajo, cuyo valor es dependiente de la legislación aplicada; los que establecen límites máximos de exposición diaria, que a su vez corresponden a una dosis diaria del 100%.

El nivel de acción se establece para una dosis del 50%, a partir del cual ya se deben adoptar medidas correctoras.

El cálculo del parámetro se lo puede realizar por medio de un medidor integrador llamado Dosímetro, o a su vez puede ser determinada por la siguiente ecuación:

(Ecuación 5)

$$\text{DOSIS DIARIA} = \left(\frac{C1}{T1} + \frac{C2}{T2} + \frac{C3}{T3} + \cdots + \frac{Cn}{Tn}\right) * 100 \quad [\%]$$

Donde:
Cn = Es el tiempo de exposición diario a un nivel de ruido específico.
Tn = Es el tiempo límite que establece la legislación aplicada (Véase tabla 8).

Sólo se tomaran en cuenta los tiempos de exposición correspondientes a niveles de exposición iguales o superiores a los 80 dB.

1.9 Enmascaramiento

Fenómeno producido al recibir varios estímulos sonoros a la vez, de los cuales el estímulo más intenso será el que enmascare al resto. En otras palabras, es un sonido que interfiere con la percepción de otro sonido.

Generalmente, el enmascaramiento puede asociarse a dos circunstancias:

- Interferencia de la palabra, en donde el ruido de fondo o ambiental contienen niveles altos que interfieren con la comunicación.
- Enmascaramiento de ruidos molestos mediante el uso de otros.

1.10 Interferencia de la palabra (SIL)

Si el oído humano se encuentra expuesto a dos sonidos, por ejemplo, el primero de nivel bajo y el segundo de nivel superior; el oído solo percibe el que presenta mayor nivel. Es decir, el sonido más bajo fue enmascarado. Dicho fenómeno se produce cuando la cóclea no es capaz de procesar cierta

frecuencia o rango de frecuencias, debido a que estas ya están siendo estimuladas por otro sonido.

De la misma manera, cuando en medio de una conversación, el ruido de fondo es muy alto, la conversación se torna incomprensible ya que el ruido interfiere con la inteligibilidad de la palabra. Uno de los factores que empeoran la situación, es que las consonantes son más propensas a ser enmascaradas por el ruido de fondo.

El rango de frecuencias de la voz va desde los 200 Hz a los 7 kHz. Lo que involucra el contenido espectral correspondiente a la modulación de vocales hasta el seseo de algunas consonantes.

El parámetro que permite relacionar el nivel de ruido de fondo con la inteligibilidad del mensaje es el SIL (Speech Interference Level), y se lo obtiene mediante el promedio aritmético de cuatro bandas de frecuencia, como lo define la siguiente ecuación:

(Ecuación 6)

$$SIL = \left(\frac{500\ Hz\ + 1000\ Hz\ + 2000\ Hz\ +\ 4000\ Hz}{4}\right)$$

Si no es posible analizar el contenido espectral del ruido de fondo, el SIL puede ser calculado mediante el nivel de presión sonora ponderado A, de la siguiente manera:

(Ecuación 7)

$$SIL =\ LA - 7\ dB$$

A partir de la determinación del SIL, se puede encontrar la distancia de conversación r, para diferentes niveles vocales K, ilustrados en la tabla 2.

(Ecuación 8)

$$SIL =\ K - 20 \log_{10} r$$

Tabla 2. Niveles SIL límites para comunicación cara a cara

Desempeño Vocal	**K /dB**	
	Hombre	**Mujer**
Voz normal	54	50
Voz elevada	60	56
Voz fuerte	66	62
Voz muy fuerte	71	67
Gritando	76	72

Adaptado de Randall, F. Barron, Ruston, Louisiana, U.S.A (2001) – Lazarus (1987)

De donde, en los últimos dos criterios, la comunicación se torna dificultosa requiriendo el esfuerzo del transmisor para levantar su voz. Los niveles estimados para cada desempeño vocal se muestran en la tabla 3.

Tabla 3. Niveles estimados para cada desempeño vocal

Desempeño Vocal	**dB**	
	Hombre	**Mujer**
Voz normal	44-48	45-49
Voz elevada	53-62	53-60
Voz fuerte	63-77	61-71
Voz muy fuerte	71-91	68-81
Gritando	80-99	77-91

Adaptado de Randall, F. Barron, Ruston, Louisiana, U.S.A (2001) - Lazarus (1987)

1.11 Contaminación Acústica

La contaminación acústica se origina en fuentes de capaces de generar ondas que influyen o limitan las actividades de individuos y/o comunidades pudiendo causar daños físicos y fisiológicos.

1. 12 Control de Ruido

Sonido y ruido resulta lo mismo desde el punto de vista físico. Según algunos autores el ruido se define como un sonido complejo cuyo comportamiento solo puede ser definido estadísticamente.

El control de ruido va más allá de descubrir cuáles son las principales fuentes generadoras de ruido. Consiste también en la determinación cuantitativa de cada fuente, lo que posteriormente será usado como criterio para establecer las respectivas medidas correctivas.

En el proceso de búsqueda, individualización y caracterización de las fuentes de ruido suelen presentarse varias dificultades como por ejemplo, que no se puede hacer operar las diversas fuentes de ruido individualmente, ya que en su funcionamiento necesitan el uso simultáneo de otros procesos, o simplemente es imposible parar el proceso productivo de dicha maquinaria.

De modo que, es necesario realizar suficientes mediciones que permitan identificar el aporte de cada fuente al ruido general. Las herramientas que se pueden utilizar en estos casos son: Medición del espectro en capo directo/campo reverberante y Correlación entre los diferentes mecanismos y sus resultados.

En una medición del campo directo se habla de la medición del ruido generado por cada fuente pero con un campo reverberante prácticamente nulo, lo cual se puede conseguir, idealmente, mediante el uso de una cámara anecóica. Sin

embargo cuando los niveles reverberantes no influyen significativamente, se pueden realizar mediciones muy cerca de la fuente obteniendo los niveles de presión sonora radiados por cada una de ellas. En el caso de que exista algún ruido cuyo campo reverberante sea mayor a la fuente de estudio, puede ser que ésta ocupe un lugar secundario en la generación de ruido general.

Por otro lado, es importante realizar varias mediciones a distintas frecuencias debido a que una fuente puede ser despreciable en cierta banda pero fundamental en otra.

1.12.1 Técnicas de medida del ruido

Para el desarrollo de una metodología de mediciones acústicas, se debe tener bien definido el problema y enmarcarlo dentro de algunos parámetros que ayudarán a enfocar mejor el estudio o evaluación:

Las mediciones se realizarán para:

- Evaluar los niveles de ruido
- Exposición Sonora en el lugar de trabajo
- Ruido ambiental
- Cumplimiento de límites establecidos
- Evaluar la respuesta de la comunidad frente a fuentes de ruido.
- Certificar que un equipo, pieza o vehículo cumple con las ordenanza o códigos de ensayo
- Determinar si un ambiente acústico es aceptable para los habitantes o usuarios
- Obtener información técnica para evaluación de control y reducción de ruido

Además se deben también plantear cómo se realizarán las mediciones:

- Medidas a realizar (Datos Precisos)
- Deben satisfacer normas internacionales que definan precisión del instrumento de medición, técnicas de medición, posición de micrófonos, entre otros.
- Lugar y accesibilidad a las distintas mediciones
- Ruido de fondo/ambiental y su influencia
- Ruidos externos
- Condiciones meteorológicas
- Principales fuentes de ruido
- Características y funcionamiento de las fuentes de ruido
- Variación de características del ruido

A pesar de que se podría incluir sinfín de información, mediante los puntos mencionados, se logrará plantear una mejor metodología de evaluación (Harris, C. 1995, p.119).

1.13 INFLUENCIA DEL RUIDO EN INDIVIDUOS Y COMUNIDADES

La molestia ante un ruido no puede determinarse mediante un solo parámetro, puesto que su definición tiende a ampliarse demasiado, o a su vez puede resultar muy específica como para ser útil. Los parámetros que influyen en la molestia pueden ser factores tanto acústicos como no acústicos.

Debido a la gran cantidad de determinantes, la molestia es más útil predecirse de forma probabilística. Dicha variabilidad se observa cuando la molestia se lo considera en el contexto ruidos individuales y acumulativos, exposición a largo plazo y si dicha molestia es un problema individual o comunitario.

Dos elementos independientes pero que se pueden relacionar: exposición al ruido y percepción de molestia.

Los factores no acústicos, que reflejan el nivel de percepción de molestia.

- Actitudes hacia las fuentes de ruido (aceptación, miedo, aprobación)
- Niveles socioeconómicos
- Dependencia económica del funcionamiento de las fuentes de ruido

No siempre la respuesta comunitaria depende de la exposición al ruido puesto que depende de lo mencionado.

El método para determinar la molestia en comunidades expuestas al ruido, es una encuesta de actitudes.

Existen algunos factores que pueden influir en la tolerancia de la comunidad hacia el ruido:

- Frecuencias discretas, un sonido con un ancho de banda amplio resulta menos molesto que uno de ancho de banda estrecho, aun cuando el primero contenga mayor nivel.
- Repeticiones o fluctuaciones de nivel, son factores que desvían la atención de la gente. Sin embargo, la gente puede llegar a acostumbrarse.
- Ruidos impulsivos o repentinos, pueden llegar a ser muy molestos

Se han desarrollado una familia de curvas que tratan de predecir la reacción de la comunidad ante el ruido. Aplica solo para ruido medioambiental, exteriores (Stevens et al., 1955)

La tabla 4 muestra los índices No. correspondientes a niveles de cada banda de frecuencia.

Tabla 4. Índices de curvas descriptoras para ruido ambiental

Base noise rating, N_o	Octave band center frequency, Hz							
	63	125	250	500	1,000	2,000	4,000	8,000
25	55	43	36	29	25	22	18	16
30	59	47	40	34	30	27	24	22
35	63	52	45	39	35	32	30	27
40	67	56	49	44	40	37	35	33
45	71	61	54	49	45	42	40	38
50	74	65	58	53	50	47	45	44
55	78	70	63	58	55	53	50	48
60	82	74	68	63	60	58	55	54
65	86	78	72	68	65	63	60	59
70	90	83	77	73	70	68	66	65
75	94	87	82	78	75	73	71	70
80	97	91	86	83	80	78	76	75

Adaptado de Thumann y Miller (1986)

A continuación se determina la respuesta de la comunidad en base a la siguiente fórmula:

(Ecuación 9)

$$LCNR = No + CF$$

Donde:

LCNR = Es el nivel corregido de ruido ambiental

No = Índices de la tabla 4.

CF = Correcciones de según la tabla 5.

La tabla 6 contiene las reacciones de la comunidad correspondientes al LCNR calculado por (Ecuación 9)

Tabla 5. Factores de corrección para factores de influencia en la reacción de la comunidad ante el ruido

Influencing factor	Possible condition	CF, dB
Noise spectrum	Noise with pure-tone components	+5
	Broadband noise	0
Repetitiveness	Continuous to 1/minute	0
	10–60 times/hour	−5
	1–10 times/hour	−10
	4–24 times/hour	−15
	1–4 times/day	−20
	1 time/day	−25
Time of day	Daytime only (7:00 a.m. to 6:00 p.m.)	−10
	Evening (6:00 p.m. to 10:00 p.m.)	−5
	Nighttime (10:00 p.m. to 7:00 a.m.)	0
Season of the year	Winter only	−5
	Summer (and winter)	0
Type of area	Rural	+10
	Suburban	+5
	Urban residential	0
	Residential with some business	−5
	Area with light industry	−10
	Area with heavy industry	−15
Peak factor	Impulsive sounds	+5
	Non-impulsive sounds	0

Tomado de Thumann y Miller (1986)

Tabla 6. Reacciones de la comunidad

Corrected composite noise rating, L_{CNR}, dB	Community response	Percent of population complaining
39 dB or less	No reaction	
40–45 dB	Mild annoyance	1
46–50 dB	Sporadic complaints	2
51–55 dB	Widespread complaints	7
56–69 dB	Threats of legal action	12
70 dB or greater	Vigorous legal action	22

Tomado de Thumann y Miller (1986)

Se debe tener cuidado al momento de usar los criterios mencionados, pues simplemente es un estimado de la respuesta **subjetiva** de molestia en la comunidad. Dichos valores y reacciones pueden variar en función a los factores no acústicos señalados inicialmente.

1.13.1 Efectos del ruido

La excesiva exposición a niveles sonoros, ya sea de ruidos molestos como los industriales o incluso de la música que escuchamos, tienen efectos perjudiciales para la salud auditiva. Diversos estudios han enfocado sus investigaciones en el tema y existe suficiente información que ha permitido desarrollar índices de predicción para los efectos dañinos sobre la sensibilidad auditiva humana.

El acelerado crecimiento de la industria y la tecnología ha ido provocado un incremento del nivel sonoro ambiental que hoy en día es un contaminante más en el medio. Como consecuencia de esto, se puede apreciar, a través de la historia, una tendencia ascendente de los niveles de escucha de la música y como resultado se contraen problemas como afecciones nerviosas, auditivas, psicológicas, entro otros (Miyara, 2006, pp. 58).

1.13.1.1 Efectos fisiológicos

Trauma Acústico: Procedente de una exposición única o a su vez pocas exposiciones a niveles de presión sonora muy altos que producen daños en el tímpano, huesecillos o la ruptura del órgano de Corti, provocando la perdida repentina de la audición. El daño puede ser irreversible.

Desplazamiento permanente del umbral: Se puede producir por un trauma acústico o por exposiciones prolongadas al ruido en el tiempo. La mayoría de

los casos se producen en personas expuestas al ruido durante varios años. La pérdida es irreversible y no existe la posibilidad reparar el daño.

Desplazamiento temporal del umbral: Cuando una persona está expuesta a niveles elevados de ruido durante “tiempos tolerables” el sujeto experimenta un aumento transitorio del umbral de audición, el cual regresa a su estado normal después de un tiempo de descanso. El desplazamiento es temporal a menos que se experimenten ruidos demasiado altos, impulsivos o repeticiones de los mismos los cuales podrían provocar desplazamientos permanentes.

Hipoacusia profesional: A diferencia del trauma acústico, resultado de una exposición única, la hipoacusia profesional o profesoacusia se produce por exposiciones prologadas a niveles de ruido altos en el ambiente laboral, por lo general la exposición involucra varias horas al día durante varios años.

La evolución de los síntomas pasa desapercibida por años, debido a que los primeros desplazamientos del umbral ocurren en la región de los 3 kHz y 6 kHz, cuyo déficit no interfiere con la comunicación oral. Alrededor de los 10 años de exposición se produce un desplazamiento significativo de 30 dB en la banda de los 4 kHz afectando también a frecuencias inferiores. Hacia los 20 y 35 años de exposición se desarrolla una pérdida auditiva de 50 dB en la banda de 2 kHz a 4 kHz. Como se aprecia, la evolución de la profesoacusia comienza afectando a las altas frecuencias y se propaga hacia frecuencias medias (Miyara, 1999, pp. 21 – 22).

Las exposiciones responsables de los desplazamientos temporales, producidos por lesiones en el órgano de Corti, sin duda terminan causando un daño progresivo hasta la destrucción definitiva de las células. Se entiende que son casos en los que no hubo un proceso asintótico para su posterior recuperación.

Los daños producidos son directamente relacionados con la frecuencia, tipo de ruido, nivel y tiempo de exposición. Está claro que ruidos de frecuencias altas

son más dañinas que frecuencias bajas y sonidos puros o ruido con una banda de frecuencias más angosta producen daños más focalizados que un ruido de banda ancha en donde los daños se distribuyen ligeramente en diferentes puntos.

Fatiga auditiva: Fenómeno que se da cuando el oído es expuesto a sonidos o ruidos por largos periodos de tiempo, sonido que se irá percibiendo cada vez menos sonoro. Esta es una de las razones por las cuales en el ámbito industrial o ambiental la personas se acostumbran a ruidos muy intensos pareciéndoles cada vez menos molestos (Miyara 1999, pp. 41).

1.13.1.2 Efectos no auditivos

La exposición prolongada a niveles de ruido excesivos puede llegar a ocasionar daños, no solo fisiológicos, sino que también la salud humana puede verse afectada con afecciones como: presión arterial elevada, incremento del pulso, pupilas dilatadas, malestares estomacales y alteraciones cardiovasculares. Los efectos mencionados pueden manifestarse por medio de conductas adversas como: desempeño laboral deficiente, fatiga mental, nerviosismo, conflictos sociales, entre otros.

Efectos Cardiovasculares: Estudios epidemiológicos han demostrado la relación existente entre el ruido generado por la industria del transporte y efectos cardiovasculares en niños y adultos, evidenciando un mayor riesgo de infartos cardiacos. Según la OMS el 12% de muertes a nivel mundial son producidas por infartos cardiacos.

CAPÍTULO II

2. ESTUDIO DEL SISTEMA DE TRANSPORTE PUBLICO METROBUS-Q ECOVÍA

El sistema pionero en la implementación de corredores fue el Trolebús, que entró en funcionamiento con 14 unidades el 17 de Diciembre de 1995. En el 2007 se autoriza la creación de la Compañía Trolebús Quito S.A mediante Resolución N. 006 encomendando a ésta, la operación del sistema de trasporte del DMQ. Actualmente se controla la operación de tres corredores principales en la ciudad: Corredor central, Central Norte y Nor-Oriental/Sur Oriental (ECOVÍA).

Los Eco-buses, unidades rojas, fueron introducidas en el año 2001, por la Alcaldía Metropolitana de Quito, como alternativa para racionalizar la demanda de transporte y los constantes problemas de contaminación, largas distancias, transporte nocturno, molestia en los usuarios, entre otros.

El nombre Ecovía hace alusión a la capacidad del motor para controlar y reducir el nivel de ruido y los gases nocivos expulsados al medioambiente. Lo que lo convierte en un bus ecológico. Lastimosamente, el uso de combustible de mala calidad no permite al sistema catalizador cumplir con su función y en consecuencia la contaminación por emanaciones de humo es significativa.

Por otro lado, la demanda, desencadenada por la aceptación de la población y la normativa Pico y Placa, es mayor a la oferta del servicio, lo que ocasiona una inestabilidad del sistema y un posterior deterioro de las unidades, lo que influye en la generación de ruido.

2.1 Características de los buses

Se cuenta con una flota de 42 buses articulados con las siguientes características:

- Marca: VOLVO

- Modelo: B10M
- Motor: DH10A340 Turbo Intercooler (Euro II)
- Caja: Voith DIWA 864.3
- Dirección: ZF Asistida (Hidráulica).
- Sistema. Inyección: Bomba de inyección en línea regulada Electrónicamente (EDC)
- Posición del motor: Central (entre ejes)
- Velocidad Promedio: Regulado a 50km/h
- Válvulas por puerta: 2 electroválvulas 5/2.
- Número de pasajeros: 42 sentados

Finalmente, para el embarque y desembarque de pasajeros, el bus posee tres pares de puertas ubicadas al lado izquierdo de los vehículos.

Figura 3. Diseño Ecovía. Adaptado de Cahuajo, D.

2.2 Ruido en buses metropolitanos

En ambientes de trabajo urbano, una de las fuentes más conocidas de contaminación es el ruido, cuya exposición a determinados tiempos y niveles de presión sonora, pueden llegar a producir daños en la salud de las personas. Varios estudios han dedicado sus investigaciones a la contaminación sonora en sectores urbanos, así tenemos, el ruido aéreo, ruido por rodadura, entre

otros. Sin embargo a nivel mundial, se han generado pocos estudios con respecto a la exposición sonora en choferes y pasajeros de un bus metropolitano.

De todos modos la exposición sonora y los posibles daños vienen de una misma fuente e influirán de manera diferente en cada persona dependiendo de la frecuencia del sonido, el tiempo de exposición y la sensibilidad individual.

Para tener una idea general, una exposición continua superior a los 80 dBA podría producir un deterioro en la audición humana. Como ya se mencionó dicho deterioro es diferente de persona a persona y en el caso de los choferes se suman ciertos factores que incrementan riesgos como: ruidos excesivos, altas y bajas temperaturas (debido a la apertura de puertas y estaciones del año), vibraciones, accidentes, y otros que se detallarán más adelante.

2.3 Identificación de las fuentes generadoras de ruido

El entorno al interior de los buses se ve afectado por una serie de emisiones acústicas de diferente origen que aportan a la producción del ruido global. Así, se pueden mencionar sonidos generados por rodadura hasta el ruido producido por las puertas o el chasis del bus.

A continuación se detallan algunas de las fuentes de sonido presentes en un vehículo de este tipo:

- Motor
- Rodadura
- Aceleración
- Frenos
- Arranque
- Chasis
- *Puertas*

- Gente
- Carga y descarga
- Música
- Altavoz para anuncios
- Entre otros

2.3.1 Ruido generado por las puertas de los buses

Uno de los sonidos más significativos es el ruido emitido al abrir y cerrar las puertas del bus en cada parada. Dicho ruido tiene como origen dos válvulas ubicadas sobre cada par de puertas. Cada válvula acciona el abrir y cerrar de las puertas respectivamente.

Figura 4. Válvulas de una de las puertas de la Ecovía

La emisión sonora correspondiente al proceso de apertura y cierre de puertas en cada parada, consta de dos ciclos con una separación aproximada de 10 a

20 segundos entre ellos, tiempo promedio que toma el conductor para dejar y recoger pasajeros.

2.3.1.1 Válvulas

Las válvulas incorporadas inicialmente son de la empresa Bode MASATS, la que actualmente se denomina **bmp** (Bode Masats Proar). Como ya se indicó, se utilizan dos válvulas en cada puerta, estas son electroválvulas de doble solenoide. Lo que quiere decir que contienen bobinas eléctricas capaces de abrir o cerrar el ciclo en respuesta a impulsos de corriente eléctrica.

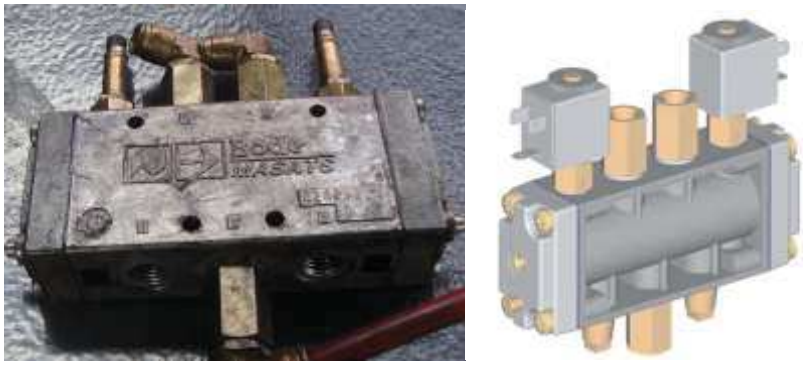


Figura 5. Válvula 5/2. Adaptado de Euskalnet http://www.euskalnet.net/j.m.f.b./neunatica.htm

Una válvula es un dispositivo usado para el control de la entrada y salida de aire por medio de un interruptor, y entre sus múltiples aplicaciones se destacan los procesos de automatización en sistemas de transporte. El dispositivo usado en las puertas del bus tiene un accionamiento de 5/2, es decir, 5 vías y 2 posiciones, una posición para apertura y otra para cierre de puertas respectivamente.

Cuando la palanca o interruptor se encuentra en la primera posición, el aire comprimido ingresa por los conductos 1 y 2 haciendo que los pistones cambien

de posición y el aire salga por el conducto 5. De la misma manera cuando la palanca cambia de posición, el aire se conduce por los conductos 1 y 4 y el aire sale por el orificio 3 (Fernández, 2013).

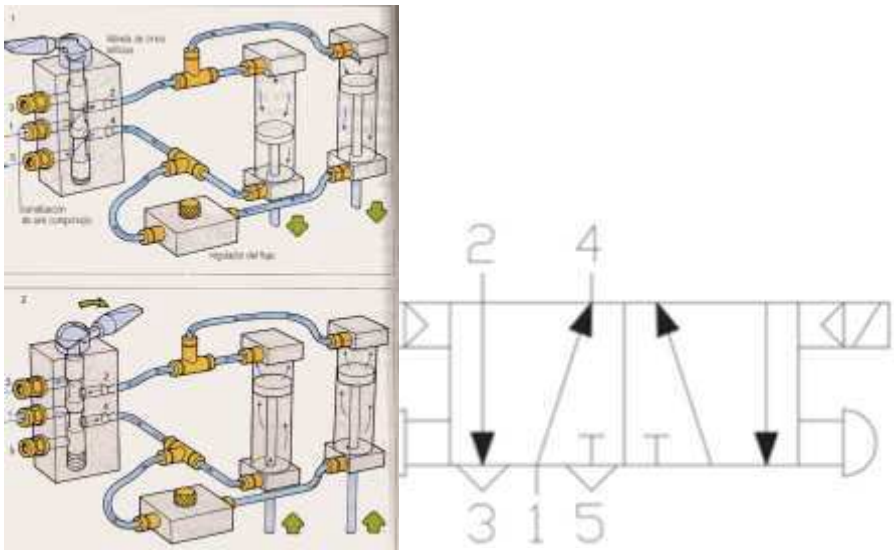


Figura 6. Funcionamiento de las válvulas 5/2. Adaptado de Euskalnet http://www.euskalnet.net/j.m.f.b./neunatica.htm

CAPÍTULO III

3. REVISIÓN DE NORMAS Y DECRETOS RELACIONADOS CON LA INVESTIGACIÓN

3.1 ISO 362: Acústica – Medida del ruido emitido por aceleración de vehículos

La norma está basada en ensayos para vehículos en movimiento. Las mediciones se encuentran orientadas al uso de condiciones normales de operación, para los que se especifican ensayos de aceleración y velocidad.

Uno de los principales objetivos de la normativa, es lograr que los resultados obtenidos con la metodología presentada puedan relacionarse y describir un comportamiento en un recorrido urbano normal.

La instrumentación utilizada se recomienda que mantenga una precisión Tipo 1 según la IEC – 60651.

Las medidas registradas deben utilizar el filtro de ponderación A y una respuesta “Fast”.

Con respecto a la calibración del equipo, se proponen controles antes y después de cada medición, de modo que existan valores menores a 0,5 dBA con respecto al valor inicial.

El lugar de ensayo debe cumplir los requerimientos de la ISO 10844, en donde se deben considerar los siguientes criterios:

a) Mantener un radio de 50 m con respecto al centro de medición, con lo que se debe mantener alejado de rocas, edificios o superficies reflectantes.

b) La superficie de estar libre de materiales absorbentes como nieve, granizo, polvo, entre otros.
c) Se evitará cualquier tipo de obstáculo entre el micrófono y la fuente.

Además, se debe cumplir una temperatura de 0 a 45 C° en el lugar donde se realizarán las mediciones. El ruido de fondo debe mantenerse al menos 15 dBA por debajo del ruido en estudio.

3.2 ISO 5130 – Medida del nivel de presión sonora emitida por vehículos en estado estacionario

La norma establece procedimientos para la medida de niveles de presión sonora al exterior de vehículos en estado estacionario, permitiendo obtener valores relacionados a la generación de ruido sobre cada marcha de velocidad.

Las mediciones se las deben realizar configurando el sonómetro con filtro de ponderación A, y en respuesta “Fast”.

La calibración del instrumento mantiene el mismo criterio de 0,5 dB entre dos controles consecutivos.

El lugar de ensayo debe cumplir con las mismas condiciones mencionadas en la ISO 362. Con excepción del radio respecto al centro de medición y el vehículo, es donde se requieren 3 metros.

El ruido de fondo debe mantenerse al menos 10 dB debajo del ruido en estudio.

3.3 ISO 5128 - Medidas de ruido dentro de vehículos a motor

La presente normativa es la primera que enfoca sus estudios en el desarrollo de ensayos que serán usados para desarrollar definiciones del ruido al interior de vehículos.

Se detallan las condiciones necesarias para obtener registros que proyecten resultados fiables los cuales se orientan al estudio de vehículos a motor incluyendo autobuses en donde el chofer ocupa un área definida.

Vehículos de uso pesado como tractores son estudiados en la ISO 5131.

Los resultados de la normativa pueden ser usados para determinar el riesgo auditivo, el grado de interferencia de la palabra, cumplimiento de límites y para el desarrollo de nuevas metodologías de trabajo.

Todas las mediciones deberán realizarse con filtro de ponderación A y respuesta “Fast”.

Si se realiza análisis espectral, se pueden utilizar bandas de octava o de tercio de octava.

El ruido de fondo debe mantenerse 10 dB debajo del ruido de estudio.

El lugar de ensayo no debe aportar con reflexiones de sonido, es decir se debe mantener al menos 20 metros de distancia con objetos reflectantes, alrededor de los puntos de registro.

La pista de ensayo debe ser plana y pavimentada. Además se deben excluir de la superficie cualquier material que pueda contribuir al ruido generado dentro del autobús, por ejemplo pierdas, tierra, granizo, entre otros.

El vehículo debe mantener condiciones de uso normal.

Las mediciones pueden variar en función al tipo de estudio, pero por razones de simplicidad se recomienda cerrar todo tipo de escapes de aire como ventanas o puertas, y apagar todo tipo de equipo auxiliar, como ventilación, aire acondicionado, etc.

3.4 Decreto 129 (Chile) – Norma de emisión de ruidos para buses de locomoción colectiva urbana y rural

Reglamento emitido en Santiago, Diciembre del 2002, en el que se establecen metodologías para determinar los niveles de ruido emitidos por buses de uso urbano y rural.

Adicionalmente se incluyen límites máximos permisibles para la emisión de ruido de cada vehículo en todas las condiciones de evaluación (Véase tabla 7).

Tabla 7. Niveles máximos de emisión según Decreto 129 (Chile)

Fuentes	Ensayo	Posición de Medición	Niveles Máximos de Emisión dB(A)
Buses Livianos	Estacionario	Escape	92
		Motor	95
		Interior	85
	Dinámico	Interior y Exterior	79
Buses Medianos y Pesados	Estacionario	Escape	92
		Motor	95
		Interior	85
	Dinámico	Interior y Exterior	81

Tomado del Decreto Supremo 129 (2002)

El desarrollo de la presente norma se basa en los estándares internacionales ISO 362 y 5130.

3.5 Reglamento de seguridad y salud de los trabajadores y mejoramiento del medio de trabajo, Decreto 2393 (EC)

Apartado 6.- Se admite un nivel máximo de 85 dBA medidos en el lugar en donde el trabajador mantiene la cabeza. Aplicable para un ruido continuo durante una jornada de 8 horas de trabajo.

Los puestos de trabajo que se basen fundamentalmente en actividad intelectual, o tarea de regulación o de vigilancia, concentración o cálculo, no deberán exceder los 70 dBA en el lugar de trabajo.

Para tiempos de exposición diaria a ruido continuo, los niveles límites vienen incluidos en la tabla 8. Se adopta un criterio de 85 dB para una exposición de 8 horas.

3.6 Norma de higiene ocupacional NHO-1, 1999, (Sao Paulo, Brasil)

Norma que establece criterios para procedimientos de evaluación de exposición laboral que implique riesgo de sordera profesional.

Aplicada para exposición ocupacional a ruidos de tipo continuo, intermitente y de impacto, en cualquier situación de trabajo. Sin embargo la norma no abarca temas para caracterizar las condiciones de confort acústico.

El criterio admite un límite de exposición ocupacional diaria de 85 dBA, en donde el nivel máximo de exposición es 115 dBA y el nivel de acción continuo de 82 dBA.

3.7 Norma reguladora, actividades y operaciones insalubres NR-15, (Brasil)

La normativa detalla límites de tolerancia que no deberán excederse, de los cuales se muestra como nivel mínimo de los 85 dBA, y como nivel máximo 115 dBA.

3.8 Norma reguladora, Ergonomía NR-17, 1992, (Brasil)

Establece parámetros que permitan adaptar las condiciones de trabajo de modo de proporcionar confort, seguridad y desempeño eficiente.

Se especifican actividades en donde se requiere atención constante, actividad intelectual y derivados, en donde se establece un nivel aceptable a efectos de comodidad de 65 dBA.

3.9 Real Decreto 286/2009, disposiciones mínimas de seguridad y salud de los trabajadores relativas a la exposición al ruido

El Decreto 286 aplica para actividades en donde los trabajadores estén expuestos a niveles de ruido que puedan ocasionar riesgos sobre su salud.

Entre sus disposiciones se definen valores límite de exposición, siendo los 80 dBA el límite inferior que da lugar a una acción, mientras que los 85 dB se consideran como valores superiores, y finalmente los 87 dBA se establecen como límite máximo de exposición.

Tabla 8. Cuadro comparativo de límites de tolerancia

Nivel de ruido dB(A)	Tiempo de exposición diaria permitida (NR-15)	Tiempo de exposición diaria permitida (NHO-01)	Tiempo de exposición diaria permitida (2393)
80	-	-	-
81	-	20 h +10 min	-
82	-	16 h	-
83	-	12 h + 41 min	-
84	-	10 h + 4 min	-
85	8 h	8 h	8 h
86	7 h	6 h + 20 min	-
87	6 h	5 h	-
88	5 h	4 h	-
89	4 h + 30 min	3 h + 10 min	-
90	4 h	2 h + 30 min	4 h
91	3 h + 30 min	2 h	-
92	3 h	1 h + 45 min	-
93	2 h +40 min	1 h + 15 min	-
94	2 h + 15 min	1 h	-
95	2 h	47.62 min	2 h
96	1 h + 45 min	37.79 min	-
97	-	30 min	-
98	1 h + 15 min	23.81 min	-
99	-	18.89 min	-
100	1 h	15 min	1 h
101	-	11.90 min	-
102	45 min	9.44 min	-
103	-	7.5 min	-
104	35 min	5.95 min	-
105	30 min	4.72 min	-
106	25 min	3.75 min	-
107	-	2.97 min	-
108	20 min	2.36 min	-
109	-	1.87 min	-
110	15 min	1.48 min	15 min
111	-	1.18 min	-
112	10 min	0.93 min	-
113	-	0.74 min	-
114	8 min	0.59 min	-
115	7 min	0.46 min	7.5 min

Adaptado de Normas NR-15, NHO-01 y Decreto 2393

CAPÍTULO IV

4. DESARROLLO

4.1 Metodología

La metodología desarrollada para la presente investigación está basada en las siguientes normativas:

- **ISO 362 -** Medida del ruido emitido por aceleración de vehículos.
- **ISO 5130** – Medida del nivel de presión sonora emitido por vehículos en estado estacionario.
- **ISO 5128** - Medida del ruido dentro de vehículos a motor.
- **Decreto 129 (Chile) –** Norma de emisión de ruidos para buses de locomoción colectiva urbana y rural.

A continuación se describe el procedimiento utilizado en este estudio, así como las características del equipo de medición.

4.1.1 Instrumento de medición

El instrumento para realizar las mediciones debe tener las siguientes características:

a) Rango dinámico mínimo de 50 a 110 dB.
b) Incorporar filtro de ponderación de frecuencias A.
c) Incorporar respuesta temporal “Fast”.
d) Sonómetro debe cumplir con el estándar IEC 61672.
e) De preferencia se deben usar sonómetros Clase 1, caso contrario, el sonómetro utilizado deberá cumplir con una diferencia máxima de ±3 dB(A) como lo indica la IEC 61672.

f) La calibración se realizará antes del ensayo con una verificación adicional después de éste, de modo que exista una diferencia inferior a 0,5 dB con respecto al valor inicial.

g) En caso de tener un solo instrumento de medición las mediciones se deben realizar en cada posición por separado.

Por lo tanto, considerando las características estipuladas, se optó por la selección del Sonómetro profesional Quest, modelo Sound PRO SE/DL, No de serie: BIG030019, el mismo que reúne todos los requisitos para poder desarrollar la metodología propuesta cumpliendo con la normativa IEC 61672.

Entre las principales características del SoundPro figuran:

- Sonómetro tipo: Clase1
- Rango dinámico: 0 – 140 dB
- Filtro de ponderación: A, C, Z
- Respuesta temporal: F, S, I
- Espectro de frecuencias: 12.5 Hz – 20 kHz

4.1.2 Cantidades de medida

a) Todas las mediciones realizadas deben tener seleccionada la respuesta temporal “Fast”.
b) Los valores registrados en todas las posiciones deben medir el nivel de presión sonora ponderado A (dBA).
c) Para el análisis espectral en una posición especifica o varias, los niveles se medirán usando bandas de octava o 1/3 de octava.

4.1.3 Posiciones del micrófono

a) El ruido dentro de un vehículo puede variar considerablemente en función a la ubicación. De modo que, los puntos de medición deben ser seleccionados en un número suficiente de manera que la distribución del sonido en el interior se vea representada adecuadamente con respecto a la ubicación del chofer y pasajeros.

b) El primer punto de medición debe ser en la ubicación del chofer. Para pasajeros son necesarios puntos de medida en el medio y en la parte posterior del vehículo (Véase figura 8).

c) La distancia entre micrófono y paredes debe ser de al menos 0,15 m.

d) La orientación del micrófono se define en función a la dirección de la mirada del receptor. Si no se puede determinar, la dirección elegida será longitudinal al eje del vehículo del frente de conducción.

e) La posición del micrófono con respecto al asiento se define por la intersección de la superficie del asiento con la del espaldar, ubicándolo a 0,7±0,05m de altura y centrado a 0,2±0,02m de la posición de la cabeza como se muestra en la figura 7.

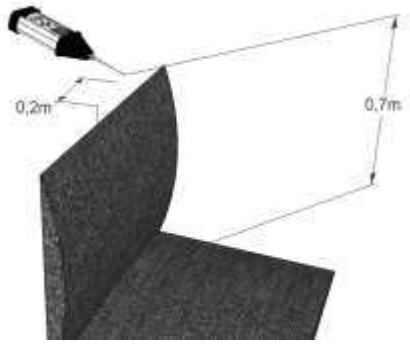


Figura 7. Posición del micrófono con respecto al asiento del conductor

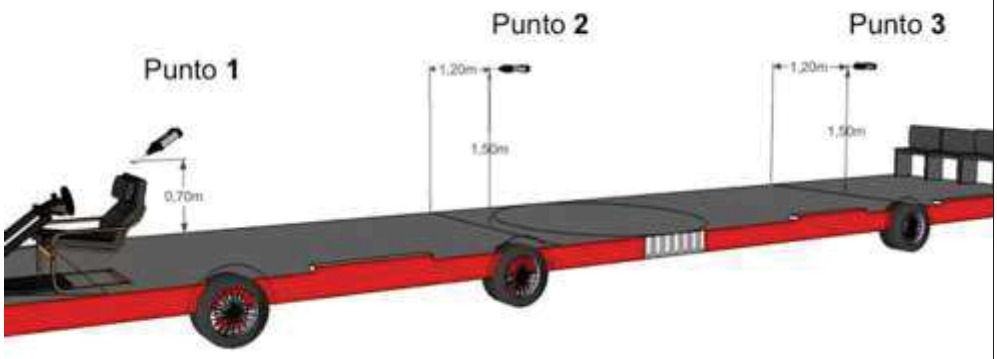


Figura 8. Puntos de medición

4.1.4 Ruido de Fondo

a) Para todas las mediciones realizadas, el nivel inferior limitado por el ruido de fondo más el ruido inherente del instrumento de medición, deben estar al menos 10 dB(A) debajo del valor medido del ruido en el vehículo.

b) El ruido de fondo será medido en las mismas posiciones en la que se medirán los LA emitidos por el autobús.

c) El valor de ruido de fondo será obtenido con una duración de un minuto de medición, donde el LA máximo será el valor registrado.

4.1.5 Condiciones Climáticas

a) La temperatura del aire en el ambiente durante la operación del autobús debe tener un rango de -5 a +35°C.

b) La velocidad del aire en la pista de ensayo a una altura de aproximadamente 1,2 m no deberá exceder los 5 m/s.

c) No deben existir condiciones meteorológicas desfavorables como precipitaciones o cualquier disturbio climático que influyan en la medición.

4.1.6 Lugar de ensayo

a) El lugar de ensayo debe ser tal, que el sonido emitido por el vehículo hacia el exterior contribuya con el ruido interno, solamente por reflexiones de la superficie de la pista y no por reflexiones de edificios, paredes o cualquier obstáculo similar.

b) Durante el ensayo, la distancia del vehículo con superficies grandes debe mantener una distancia de al menos 20m.

c) La superficie de la pista de ensayo debe estar pavimentada y llana, de modo que los niveles emitidos por el motor no sean afectados por la textura de ésta. Es decir, debe estar seca, libre de rocas, polvo, granizo, u otro elemento que genere o absorba sonido.

4.1.7 Condiciones del vehículo

a) El vehículo debe estar en condiciones de operación tales que el motor mantenga una temperatura de uso normal.

b) Toda apertura como escapes de aire, ventanas o puertas deben estar cerradas a menos que los ruidos generados por éstos sean motivo de estudio.

c) Todos los equipos auxiliares deben estar apagados, a menos que sean motivo de estudio.

d) Para vehículos de uso público con más de ocho asientos, no deben haber más de tres personas durante el ensayo. Solamente equipos del vehículo, instrumentos de medición y personal necesario.

e) Las medidas y condiciones señaladas son por condiciones de simplicidad y objetividad, pero no necesariamente son representativas para condiciones de uso normal de los vehículos. Las condiciones pueden variar en función del motivo de estudio.

4.2 Materiales

A continuación se detallan los materiales necesarios para la ejecución de la metodología.

- Hojas de ruta
- Sonómetro con trípode
- Calibrador para sonómetro
- Conos de señalización
- Distanciómetro, odómetro u otro instrumento de medida para distancia
- Vehículo de ensayo
- Pista de ensayo

4.3 Procedimiento

Se prepara el lugar de ensayo mediante la fragmentación de la pista, de tal manera que se puedan conseguir los 200 m requeridos para alcanzar los 50 km/h entre cada cono. (Véase apartado 4.3.2)

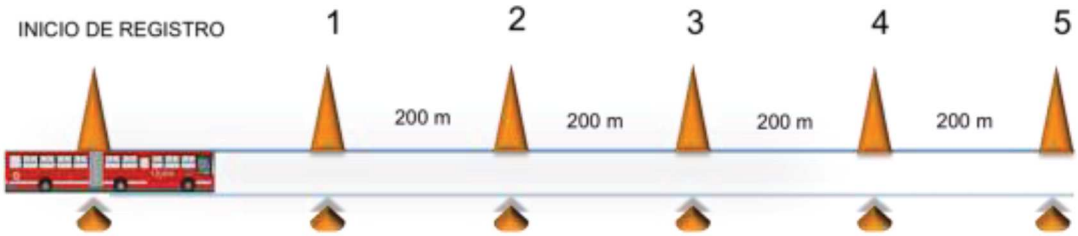


Figura 9. Paradas del ensayo dinámico

El lugar de ensayo cumple con los requerimientos de la metodología y de las normas que lo sustentan. Para ello se utilizó la pista del ex-aeropuerto Mariscal Sucre, actual parque Bicentenario.

Se procede a cumplir con el orden diseñado en la hoja de ruta, en donde se especifican las siguientes acciones:

- Calibración y configuración del instrumento de medición
- Verificación de condiciones climáticas
- Verificación de condiciones del vehículo
- Ruido de fondo
- Ensayo Estacionario
- Ensayo dinámico

El proceso está diseñado de la misma manera para los tres puntos de medición. El detalle del orden y número de mediciones se encuentra adjunto en el anexo 4.

4.3.1 Ensayo estacionario

En el presente ensayo se evalúan tres eventos:

1.- Se procede a evaluar el ***ruido de apertura y cierre de puertas*** con el vehículo apagado. Se realizan tres registros, en los cuales se ejecutan dos ciclos de apertura y cierre, de acuerdo al siguiente proceso:

a) Apertura de puertas
b) Pausa de 6 segundos
c) Cierre de puertas
d) Pausa de 10 segundos
e) Apertura de puertas
f) Pausa de 6 segundos
g) Cierre de puertas

Se registran dos aperturas y dos cierres en cada medición, en total se obtienen seis (6) aperturas y seis (6) cierres.

2.- El segundo evento evaluado es el ***ruido del motor*** en ralentí, para lo cual se sigue el mismo procedimiento de medida para el ruido de fondo. Son tres mediciones de 1 minuto en total.

3.- Por último, se repite la evaluación de ***apertura y cierre de puertas***, pero con el ***motor*** del vehículo en ralentí.

4.3.2 Ensayo dinámico

Utilizando el esquema que se muestra en la figura 9, se procede a la ejecución de un recorrido simulado de cinco paradas. Parte con el vehículo detenido y en ralentí desde un punto 0. A continuación se acelera y se recorren aproximadamente 200 metros, lugar en donde el primer cono señala que se debe iniciar el registro de información. Así, el primer evento analizado es el ruido generado por desplazamiento a velocidad aproximadamente constante de 50 km/h.

Después, el vehículo realiza los pasos de rutina para cada una de las cinco paradas:

1. Frenado
2. Apertura de puertas
3. Cierre de puertas
4. Aceleración
5. Desplazamiento

Durante el ensayo dinámico se registraron los tiempos en los que ocurren los diferentes eventos para poder identificarlos posteriormente en el análisis temporal de los niveles.

CAPÍTULO V

5. PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

5.1 GENERALES

Una vez programada la medición, se procede a la recolección de datos de los ensayos diseñados para cada etapa mediante una *hoja de ruta,* desarrollada de manera que todas las pruebas se encuentren esquematizadas para cada uno de los puntos, (Véase anexo 4).

Se realizaron un total de 58 mediciones. Cuarenta y tres (43) bajo condiciones controladas y quince (15) en recorridos de circulación normal, es decir con gente.

Posterior a la recolección de datos, se procedió a la tabulación de los valores, para después ser analizados. En primera instancia la revisión de registros se lo realizó mediante el software *QuestSuite Pro*, para luego exportarlos a Microsoft Excel, en donde serían procesados y analizados.

El análisis estadístico se realizó para cada una de las muestras de todos los eventos, las cuales se consideraron en su totalidad siendo unificadas mediante un promedio aritmético. El margen de error viene determinado por la desviación estándar del conjunto de muestras, a partir de las cuales se determina la variabilidad de cada nivel.

A continuación se muestra un resumen general de las pruebas y resultados obtenidos.

Tabla 9. Comparación de los niveles generados en el Ensayo Estacionario

Evento	**(dBA) Punto1**	**(dBA) Punto2**	**(dBA) Punto3**
Ruido de fondo	29,0	34,8	29,2
Ralentí	66,0	65,5	61,7
Apertura de puertas	81,4	88,0	91,8
Cierre de puertas	76,9	86,6	92,2
Apertura de puertas (R*)	82,7	89,4	92,9
Cierre de puertas (R*)	87,5	88,3	95,1

Nota: Se comparan los niveles máximos a partir del promedio de todas las muestras para cada uno de los eventos. La duración para cada evento es similar a los tiempos generados por el ensayo estacionario (Véase notas de la tabla 10).

Tal como se observa en la tabla 9 se presentan los niveles de presión sonora máximos generados por cada evento, con el vehículo detenido y en los tres puntos de medición. Es notorio que los niveles con mayor amplitud se obtienen en el punto 3, con excepción del ruido de fondo y ralentí en donde se producen los niveles más bajos.

Los resultados varían en función a los puntos de medida y consecuentemente, de la ubicación de las fuentes generadoras de ruido. Factores como la rampa de las puertas, operación y estructura del vehículo son elementos que influyen directamente en la producción de ruido dentro de la unidad.

Dentro del procedimiento para el registro del ruido de las puertas, se manejan dos condiciones, vehículo apagado y vehículo en ralentí (R*).

De la misma manera, en la tabla 10 se presentan los niveles de presión sonora máximos generados por cada evento, con el vehículo en movimiento y en los tres puntos de medición. Se pueden observar que los niveles con mayor amplitud son los producidos por la apertura y cierre de puertas, en el caso de los puntos 2 y 3. El punto 1 mantiene niveles relativamente similares entre

todos los eventos, puesto que el ruido del motor es registrado desde más cerca.

Tabla 10. Comparación de los niveles generados en el Ensayo Dinámico

Evento	**(dBA) Punto1**	**(dBA) Punto2**	**(dBA) Punto3**
Desplazamiento	82,9	78,8	77,5
Frenado	75,0	72,2	67,1
Apertura de puertas	82,0	89,6	93,0
Cierre de puertas	87,8	94,2	90,7
Aceleración	84,0	79,4	76,8

Nota: Se comparan los niveles máximos obtenidos a partir del promedio de todas las muestras para cada uno de los eventos. La duración (segundos) de los eventos durante el registro de información, tanto de los ensayos estacionarios como dinámicos, se aproxima a los siguientes tiempos: Desplazamiento = 13 s., frenado = 10 s., apertura de puertas = 6 s., cierre de puertas = 6 s., y aceleración = 11 s.

Figura 10. Promedio de los niveles registrados durante el ensayo Dinámico, Punto 1

En la figura 10 se puede observar la gráfica originada por el promedio de los niveles máximos generados en el punto 1, durante todo el tiempo de registro del ensayo dinámico. Además se logran diferenciar los cinco eventos mencionados en la tabla 10. Las gráficas generadas por los puntos 2 y 3 mantienen la misma conducta, en donde lo único que varía son las amplitudes del ruido en cada caso. (Véase anexo 2.5).

Los niveles de exposición diaria fueron analizados en función de niveles equivalentes, correspondientes a cada evento. El presente análisis solo puede ser desarrollado utilizando los registros del ensayo dinámico; el que solo tiene sentido realizarlo en el lugar del chofer, los niveles calculados para los puntos 2 y 3 son solo de referencia.

La figura 11 presenta las gráficas correspondientes al nivel de exposición diaria en cada uno de los puntos de medición. Siendo el punto 1 el lugar donde se obtiene la exposición más baja. Adicionalmente se muestra que en el punto 1 se incluyen dos valores, los que corresponden a mediciones adicionales independientes, la primera con gente y la segunda con el sistema de megafonía en funcionamiento.

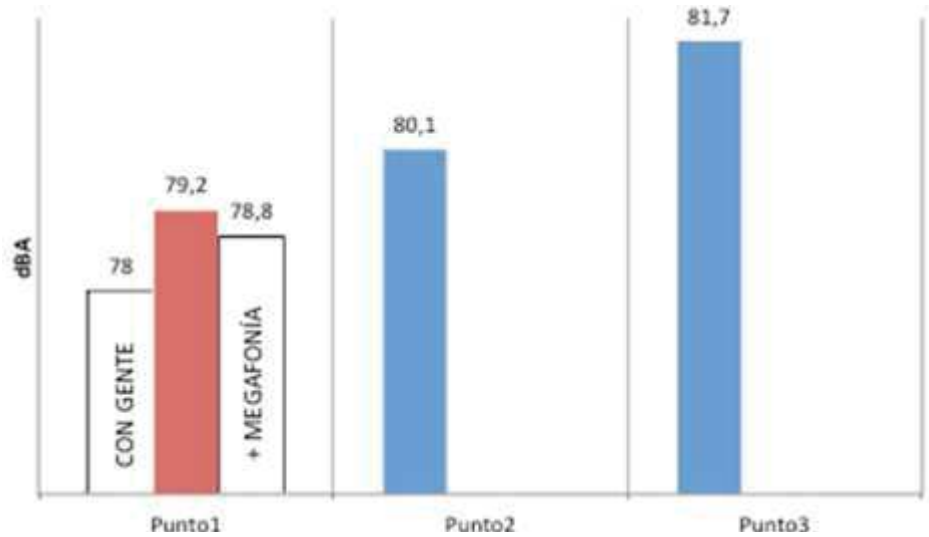


Figura 11. Niveles de exposición diaria + Extra (megafonía) + Ensayo con gente

La dosis correspondiente al primer punto se calcula a partir de los niveles equivalentes de los eventos que cumplen el criterio de ser igual o mayor a 80 dB. (Véase apartado 1.8). Por lo tanto, la DOSIS de ruido del conductor calculada es de **29,8 %.**

Es posible determinar la distancia o el nivel de voz necesario para tener una comunicación cómoda y comprensible entre pasajeros. Para esto se calcularon las distancias efectivas basadas en el SIL, correspondiente a tres eventos: motor, apertura de puertas y cierre de puertas.

La tabla 11, muestra las distancias calculadas correspondientes a un nivel vocal elevado, es decir, entre 53 y 62 dB, correspondientes al segundo punto de medición.

Tabla 11. Interferencia de la palabra (SIL) y las distancias efectivas para un nivel de voz elevada, (Punto 2)

	SIL (dBA)	**Distancia efectiva entre pasajeros (cm)**
Motor	69	35,5
Apertura de Puertas	77	14
Cierre de puertas	80	10

Los niveles vocales considerados en el presente estudio son: voz normal, *voz elevada*, voz fuerte y voz muy fuerte.

Con la metodología desarrollada se ha tratado de identificar las principales fuentes generadoras de ruido dentro del autobús. Dicha búsqueda implica también la determinación cuantitativa del comportamiento de cada fuente de ruido para poder caracterizar y jerarquizar los resultados obtenidos.

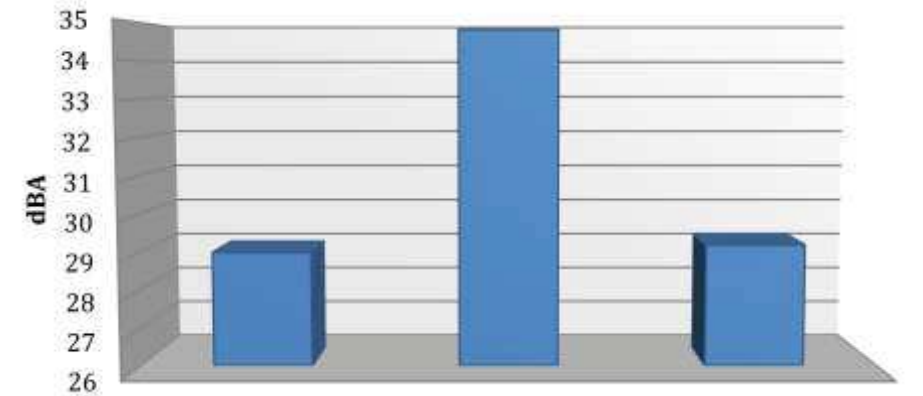
Los eventos evaluados han sido seleccionados de tal manera que se pueda obtener información individual y detallada del funcionamiento general del vehículo.

5.2 Ruido de fondo

Se realizaron tres mediciones de un minuto en cada uno de los puntos con el vehículo apagado, en donde se registraron valores de ruido de fondo relativamente bajos.

Los puntos 1 y 3 presentan niveles similares, mientras que el punto 2 difiere con niveles superiores, lo que se atribuye principalmente a que el fuelle que une las dos partes del articulado, no proporciona el mismo grado de aislamiento acústico que el resto del vehículo. Siendo éste el posible responsable de originar un ruido de fondo mayor que en los otros puntos de medición. (Véase figura 12).

Durante el registro de datos se produjeron una serie de ruidos ocasionales originados en el techo del autobús debido a los cambios de temperatura del metal que lo compone. Se han considerado entonces niveles percentiles para obtener un resultado representativo del ruido de fondo. Los L90 considerados para los análisis son lo suficientemente bajos como para no influir en las mediciones de las fuentes de ruido evaluadas.



	Punto1	Punto2	Punto3
L90	29	34,8	29,2

Figura 12. Ruido de fondo

Las frecuencias dominantes de los ruidos ocasionales, se emitieron aleatoriamente y se presentaron en un rango aproximado de 315 Hz a 1,6 kHz. (Véase anexo 2.1).

5.3 Vehículo en Ralentí

5.3.1 Ralentí (Punto 1)

Como ya se indicó, en las tablas 9 y 10, los niveles más altos fueron los registrados en el punto 1. Esto debido a que el motor se encuentra ubicado a tan solo 1,5 metros detrás del punto de medición, sumado a la existencia de un ventilador cerca del panel de control (Véase figura 19). Dicho ventilador genera ruido propio de su funcionamiento, y a la vez su estructura parece actuar como transmisor directo del ruido generado por el motor.

La figura 13 muestra los niveles promedio obtenidos de tres muestras así como las desviaciones las cuales se encuentran entre ±0.1 y 0.5 dBA.

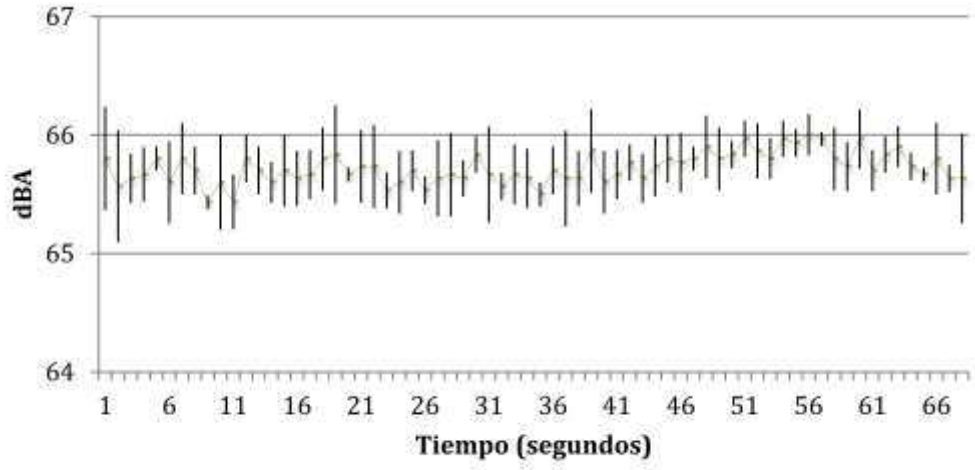


Figura 13. Promedio y variabilidad de niveles generados con el vehículo en Ralentí (Punto 1)

Los niveles generados por el vehículo en ralentí mantienen un comportamiento estable a lo largo del tiempo de registro y se obtienen valores que oscilan entre los 65,4 y 66 dBA. Por otro lado, los valores están muy por encima de los valores generados por el ruido de fondo (incluso para aquellos ruidos ocasionales) por lo que no interfiere con los niveles medidos. (Véase figura 14).

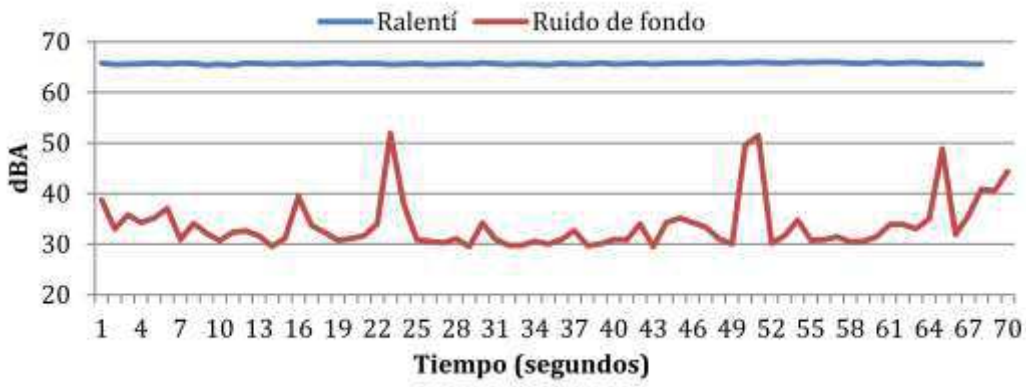


Figura 14. Ralentí vs. Ruido de Fondo

Espectralmente, el ruido se caracteriza por contener niveles energéticos estables a lo largo de todo el ancho de banda en donde se logran distinguir cinco frecuencias dominantes presentes en todo el tiempo de registro: 25 Hz, 50 Hz, 500 Hz, 630 Hz y 12,5 kHz.

Se puede decir que las fundamentales que caracterizan el ruido del motor en ralentí son las pertenecientes a 25 Hz, 50 Hz, 500 Hz, 630 Hz de las cuales 500 Hz y 630 Hz son las bandas con mayor nivel energético durante todo el tiempo de registro, con 59,8 y 60,3 dBA, respectivamente.

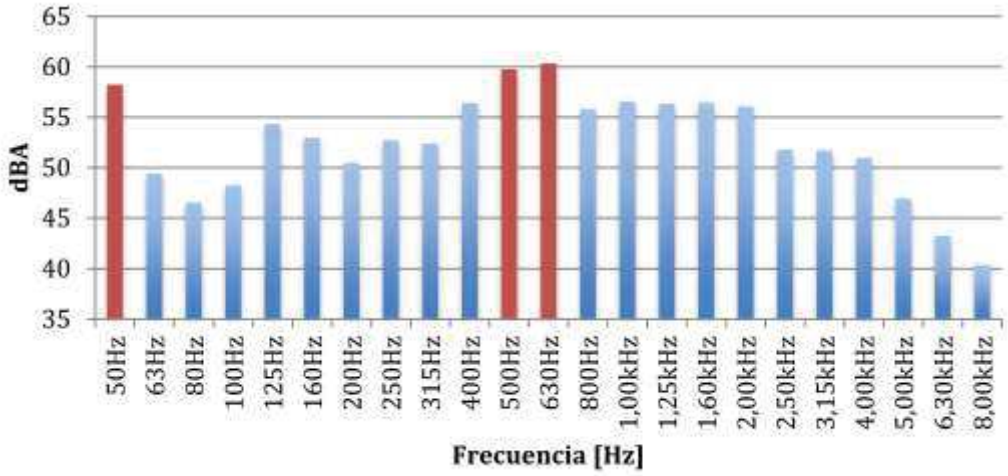


Figura 15. Espectro de frecuencias, Vehículo en Ralentí

5.3.2 Ralentí (Punto 2)

Los niveles medidos en el segundo punto todavía logran registrar los valores generados por el ruido del motor y, en menor magnitud, el del ventilador. De todas maneras, se obtienen niveles similares a los generados en el anterior punto.

La curva obtenida es el resultado del promedio de tres muestras donde se muestra además las desviaciones las cuales varían entre 0 y ±0,5dBA.

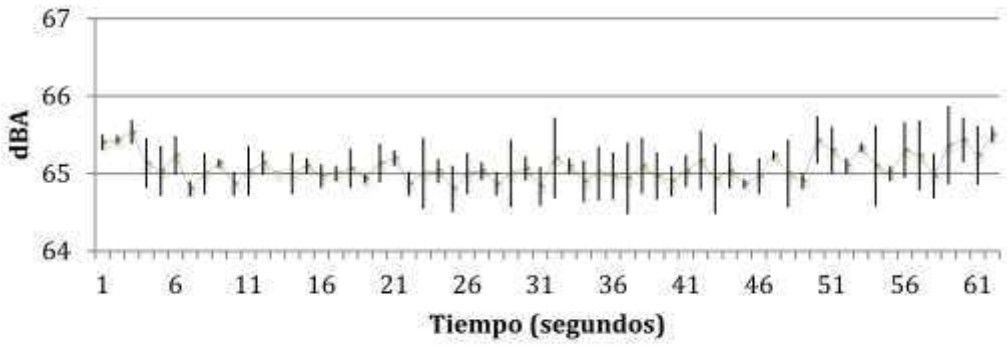


Figura 16. Promedio y variabilidad de niveles generados con el vehículo en Ralentí (Punto 2)

Los niveles mantienen un comportamiento estable a lo largo del tiempo de registro. Se obtienen valores que oscilan entre los 64,8 y 65,5 dBA los cuales se encuentran muy por encima de los valores generados por el ruido de fondo. En este caso el ruido de fondo tampoco interfiere con los niveles medidos en este punto. (Véase anexo 2.2)

Se logran distinguir tres frecuencias dominantes que se encuentran presentes en todo el tiempo de registro, 25 Hz, 500 Hz y 630 Hz. Frecuencias que caracterizan el sonido generado por el motor.

En esta ocasión, la frecuencia de 12,5 kHz conserva un nivel relativamente bajo, debido a que el ruido generado por el ventilador queda fuera de alcance o no tan cerca de lo que yacía en el punto anterior.

Igual que en el primer punto, las frecuencias que presentan mayor nivel son las correspondientes a los 500 Hz y 630 Hz con 59,5 dBA y 60,2 dBA. (Véase anexo 2.2).

5.3.3 Ralentí (Punto 3)

Por último, en la figura 17 se observan los niveles de ruido en ralentí en el punto 3. En este punto se obtienen valores aproximadamente 4 dBA más bajos que en el resto de puntos. La curva obtenida es el resultado del promedio de tres muestras donde las desviaciones varían de 0 a ±0,5dBA.

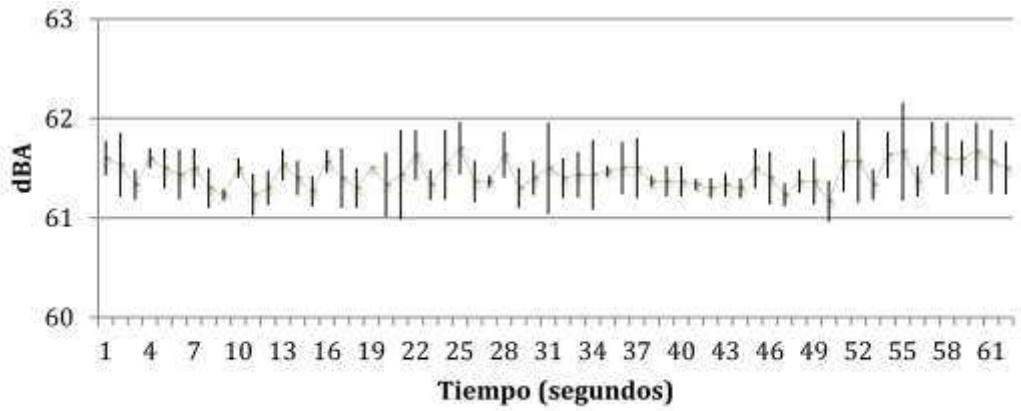


Figura 17. Promedio y variabilidad de niveles generados con el vehículo en Ralentí (Punto 3)

El punto de medida se sitúa en la parte posterior de todo el vehículo. Las principales fuentes generadoras de ruido son el motor (ubicado aprox. a 10 m del punto) y el ventilador (12 m).

De la misma forma, los niveles generados por el vehículo en ralentí mantienen un comportamiento estable a lo largo del tiempo de registro. Se obtienen valores que oscilan entre los 61,2 y 61,7 dBA, los cuales se mantienen por encima de los valores generados por el ruido de fondo.

El ruido, desde este punto, se caracteriza por conservar el dominio de las componentes de 25 Hz y 50 Hz, mientras que el resto del espectro mantiene un

comportamiento estable con valores aproximados a los 50dBA, incluyendo a las bandas de 500 Hz y 630 Hz.

5.3.4 Comparación

Tal como se muestra en la figura 18, el ruido generado por el motor en Ralentí en los tres puntos de medición durante el tiempo de registro, no presenta variaciones significativas de nivel. Se registran variaciones aproximadas de ±1dB.

Por otro lado, los registros individuales del ruido generado en cada punto muestran un comportamiento descendente con respecto al primer punto. Es decir, la medición con mayor nivel de ruido es el generado en el punto 1, seguido por el punto 2 y finalmente el producido en el punto 3.

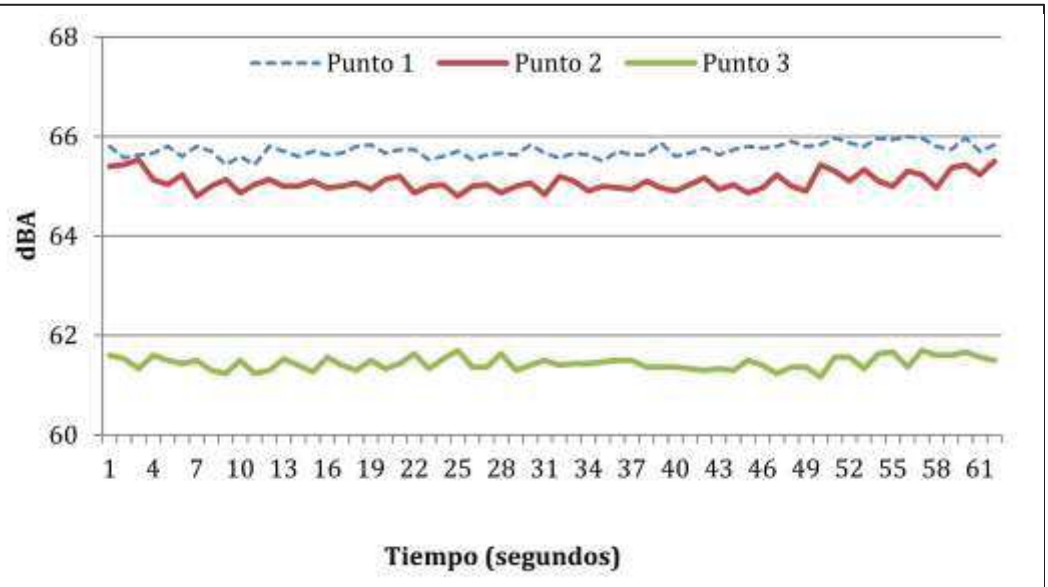


Figura 18. Comparación de niveles emitidos por el vehículo en Ralentí

Los niveles generados en los puntos 1 y 2 son energéticamente similares y con diferencias máximas de apenas 1 dBA entre sí, mientras que en el punto 3 los niveles registrados se distancian con niveles inferiores de hasta 4 dBA.

Las diferencias mencionadas se deben a dos razones. La primera es que el motor se encuentra ubicado en el centro de la primera sección del articulado, entre el punto 1 y 2. La segunda razón, es que el vehículo tiene incorporado un ventilador localizado en el panel de control del mismo, cerca del punto 1

.

Figura 19. Fuentes de ruido correspondientes al punto 1 y 2

5.4 Ruido de Puertas (Vehículo Apagado)

La metodología aplicada para evaluar los niveles generados por el ruido de las puertas, se desarrolló de tal forma que se puedan obtener el número necesario

de muestras como para determinar un comportamiento en situaciones normales de operación.

Se realizaron tres mediciones por punto, en donde se obtuvieron los valores generados por dos eventos: apertura y cierre. Es decir, en total se lograron registrar seis muestras de cada evento, para cada punto.

Debido a que los eventos no ocurren exactamente en los mismos tiempos, se analizarán cada uno de ellos en un promedio compuesto por todas las muestras, de donde se determinarán sus respectivas desviaciones.

5.4.1 Punto 1

5.4.1.1 Apertura de Puertas

A pesar de que se había mencionado la desigualdad con la que ocurren los eventos, las seis muestras presentan un comportamiento muy parejo, especialmente en el tiempo en el que alcanza su máximo nivel. (Véase anexo 2.3).

Se logra apreciar que el evento de apertura de puertas tiene una duración menor a 10 segundos, un tiempo de ataque aproximado a 1 segundo y un tiempo de decaimiento cercano a 7 segundos.

La figura 20 muestra el promedio aritmético, resultado de las seis muestras registradas, en donde se pueden también apreciar sus respectivas desviaciones.

Se observan desviaciones estándar que van desde ±1,1 a ±5,2 dBA siendo el segundo 8 la zona en donde se produce mayor margen de error, es decir el tiempo de decaimiento puede variar un poco. Dicho margen se proyecta de esa

manera debido a que una de las muestras presenta un ruido adicional que se produjo al trabarse ligeramente una de las puertas.

El máximo nivel registrado es el perteneciente al segundo 2 con un valor de 81,4 dBA.

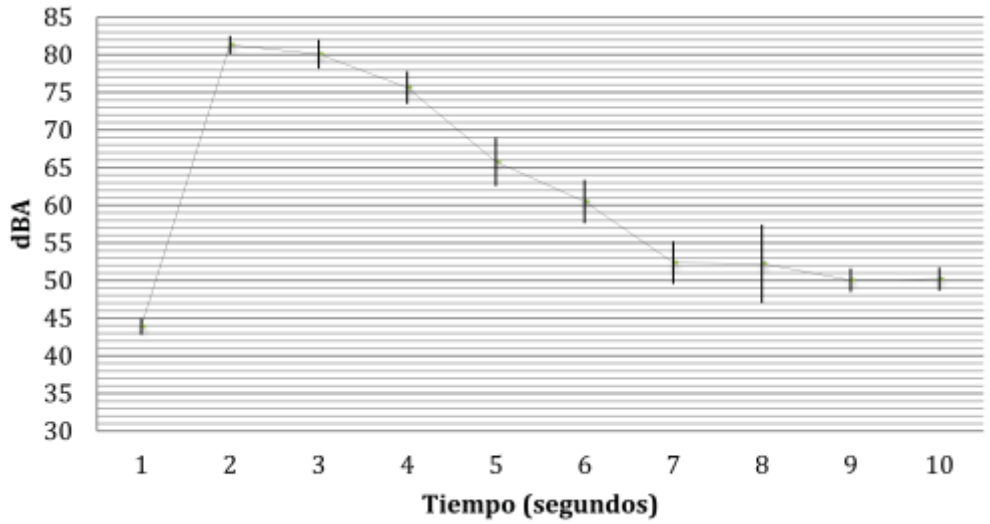


Figura 20. Promedio y variabilidad del ruido generado por la Apertura de Puertas (Punto 1).

5.4.1.2 Cierre de puertas

El cierre de puertas presenta mayores diferencias de tiempo en el desarrollo de cada evento. Sin embargo el tiempo que tarda en alcanzar su primer pico, es muy similar en todos los casos.

A diferencia de la apertura de puertas, aquí se suma otro suceso que es el ruido de la rampa. Al chocar la rampa con las puertas se genera un segundo pico, que incluso puede llegar a tener un nivel máximo muy semejante al producido por el de cierre de las puertas.

Se logra apreciar que el evento de cierre de puertas tiene una duración menor a 10 segundos, un tiempo de ataque aproximado a 1 segundo y un tiempo de decaimiento cercano a 3 segundos.

Se observan desviaciones estándar que van desde ±1,7 a ±7,6 dBA siendo el segundo 6 la zona en donde se produce el mayor margen de error, es decir el tiempo de decaimiento o de ataque pueden variar en función del tiempo. Dicho margen se proyecta de esa manera debido a que el cierre de puertas varía mecánicamente a razón de que la rampa golpea contra la puerta con fuerza variable, lo que depende de la presión de aire en las válvulas y la coordinación con el cierre de puertas (error mecánico que produce picos de gran nivel).

El máximo nivel registrado es el perteneciente al segundo 2 con un valor de 76,9 dBA, mientras que el segundo pico produce un nivel de 73,3 dBA.

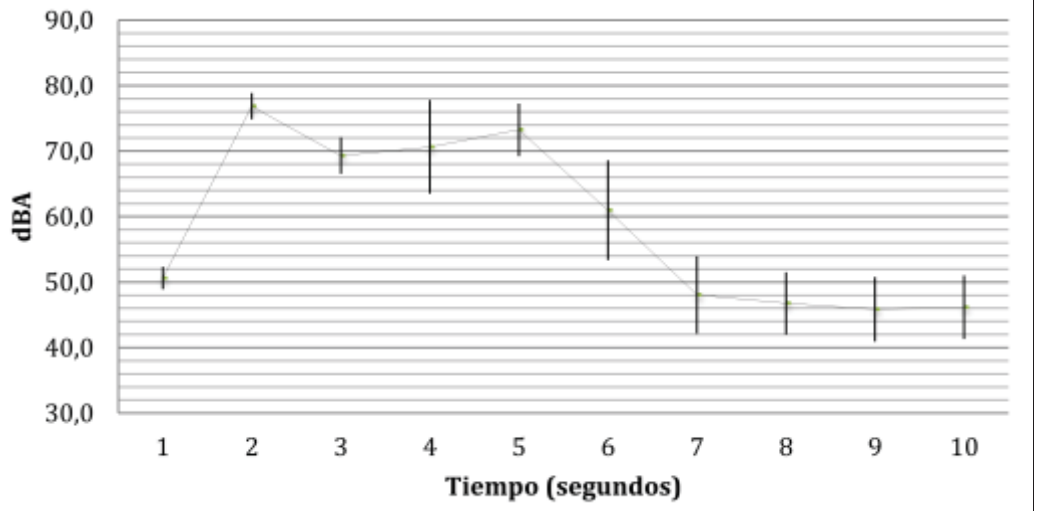


Figura 21. Promedio y variabilidad del ruido generado por el Cierre de Puertas (Punto 1).

5.4.1.3 Contenido frecuencial del ruido de puertas

El evento de apertura y cierre de puertas genera un ruido de contenido frecuencial amplio, en donde sus principales componentes resaltan a simple vista.

En la zona de las frecuencias medias-altas se destaca un rango que va desde los 400 Hz hasta los 1 kHz los cuales se atribuyen esencialmente al golpe generado por la rampa. De la misma manera en la zona de las frecuencias altas se destacan las frecuencias de 4 kHz y 5 kHz, las que se atribuyen al ruido generado por las válvulas de las puertas en cada ciclo de apertura y cierre. (Véase figura 22).

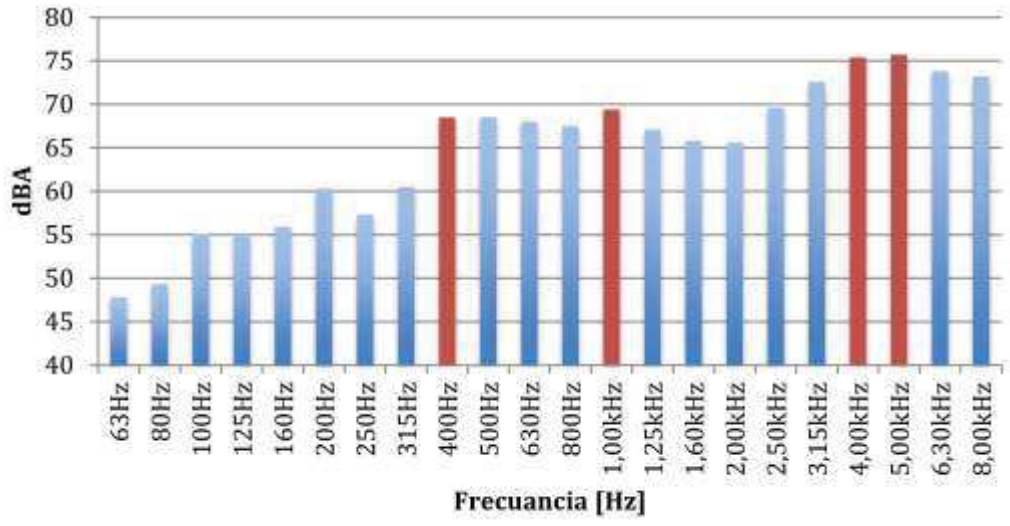


Figura 22. Espectro de Frecuencias, Puertas en vehículo apagado

5.4.2 Punto 2

5.4.2.1 Apertura de Puertas

El comportamiento temporal se muestra similar el producido en el punto anterior.

La figura 23 muestra el promedio aritmético resultado de las seis muestras registradas, en donde se pueden apreciar sus respectivos márgenes de error como niveles máximos y mínimos respectivamente.

Se observan desviaciones estándar que van desde ±0,8 a ±9,9 dBA siendo el segundo 1 la zona en donde se produce mayor margen de error, es decir durante el tiempo de ataque o inicio de operación. Dicho margen se proyecta de esa manera debido a que el operador realizó cargas de aire previo a cada ciclo.

El máximo nivel registrado es el perteneciente al segundo 2 con un valor de 88 dBA.

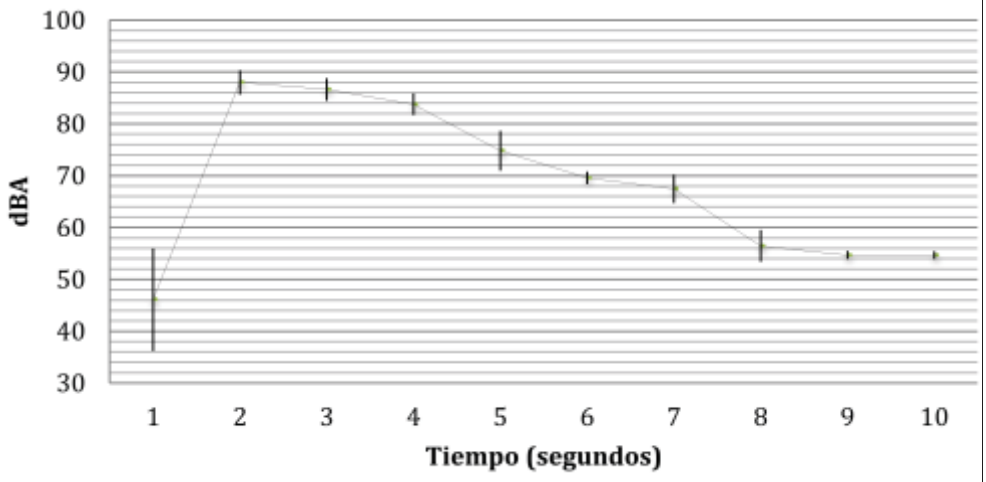


Figura 23. Promedio y variabilidad del ruido generado por la Apertura de Puertas (Punto 2).

5.4.2.2 Cierre de puertas

El cierre de puertas presenta mayores diferencias de tiempo y nivel en el desarrollo de cada evento. Sin embargo el tiempo que tarda en alcanzar su

primer pico, es muy similar en todos los casos. El pico generado por el acenso de la rampa se muestra superior que el primer pico.

En la figura 24 se muestra el promedio aritmético resultado de las seis muestras registradas, en donde se pueden también apreciar sus respectivos márgenes de error presentados como desviaciones estándar que van desde ±0,7 a ±10 dBA siendo el segundo 6 la zona en donde se produce el mayor margen de error, es decir el tiempo de decaimiento y de ataque (rampa) pueden variar en función del tiempo. Dicho margen se proyecta de esa manera debido a que el cierre de puertas varía mecánicamente a razón de que la rampa golpea contra la puerta con fuerza variable, lo que depende de la presión de aire en las válvulas y la coordinación con el cierre de puertas (error mecánico que produce picos de gran nivel). En este caso se producen desviaciones mayores respecto al comportamiento de la rampa.

El máximo nivel registrado es el perteneciente a la rampa en el segundo 5 con un valor de 86,6 dBA., mientras que el primer pico produce un nivel de 83,8 dBA.

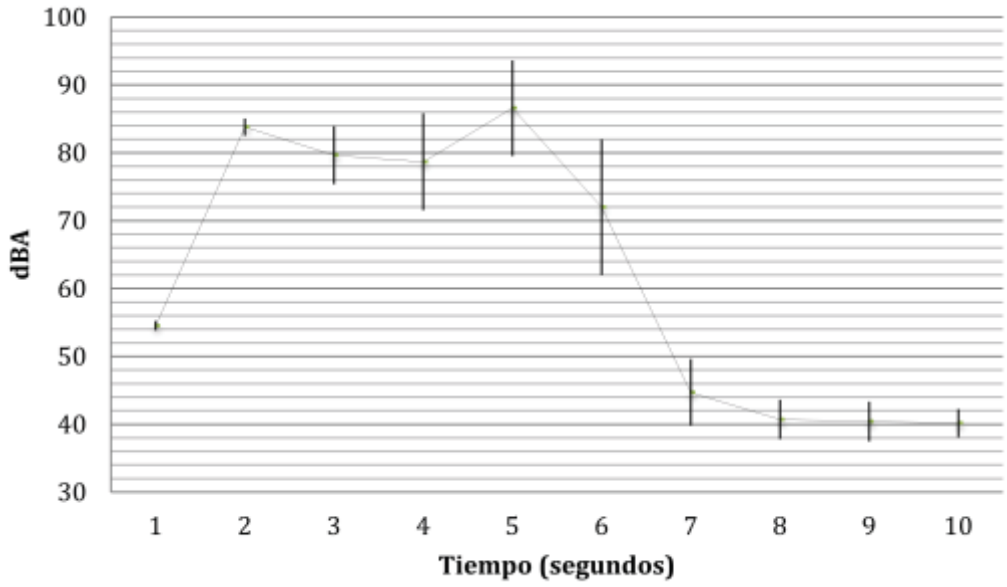


Figura 24. Promedio y variabilidad del ruido generado por el Cierre de Puertas (Punto 2).

5.4.2.3 Contenido frecuencial del ruido de puertas

De la misma manera, el evento de apertura y cierre de puertas genera un ruido de contenido frecuencial amplio, en donde sus principales componentes resaltan a simple vista.

En la zona de las frecuencias medias-altas se destaca un rango que va desde los 400 Hz hasta los 1 kHz los cuales se atribuyen al esencialmente al golpe generado por la rampa. Por otro lado, en la zona de las frecuencias agudas se destacan las frecuencias de 4 kHz y 5 kHz. Las que se atribuyen al ruido generado por las válvulas de las puertas en cada ciclo de apertura y cierre. (Véase anexo 2.3).

5.4.3 Punto 3

5.4.3.1 Apertura de Puertas

La figura 25 muestra que en el presente punto de medición, se registran los valores más altos, debido a que la ubicación coincide entre las dos puertas traseras del vehículo. Por lo tanto, los datos registrados describen el nivel energético generado directamente por el impulso de las puertas, por lo que los valores registrados serán superiores.

Adicionalmente, se logran registrar individualmente los niveles generados por la apertura de las puertas izquierda y derecha, que a diferencia de los puntos anteriores, se apreciaba un solo nivel de apertura. El nuevo pico se ubica aproximadamente en el segundo 4.

Se muestra el promedio aritmético resultado de las seis muestras registradas, en donde se pueden también apreciar sus respectivos márgenes de error como niveles máximos y mínimos respectivamente.

Se observan desviaciones estándar que van desde ±0,7 a ±7,9 dBA siendo el segundo 7 la zona en donde se produce mayor margen de error, es decir el tiempo de decaimiento puede variar un poco. Dicho margen se proyecta de esa manera debido a que las muestras presentan mayores niveles energéticos y por lo tanto decaimientos superiores.

El máximo nivel registrado es el perteneciente al segundo pico de apertura generado en el segundo 4 con un valor de 91,8 dBA, mientras que el primer pico de apertura tiene un nivel de 91,3 dBA.

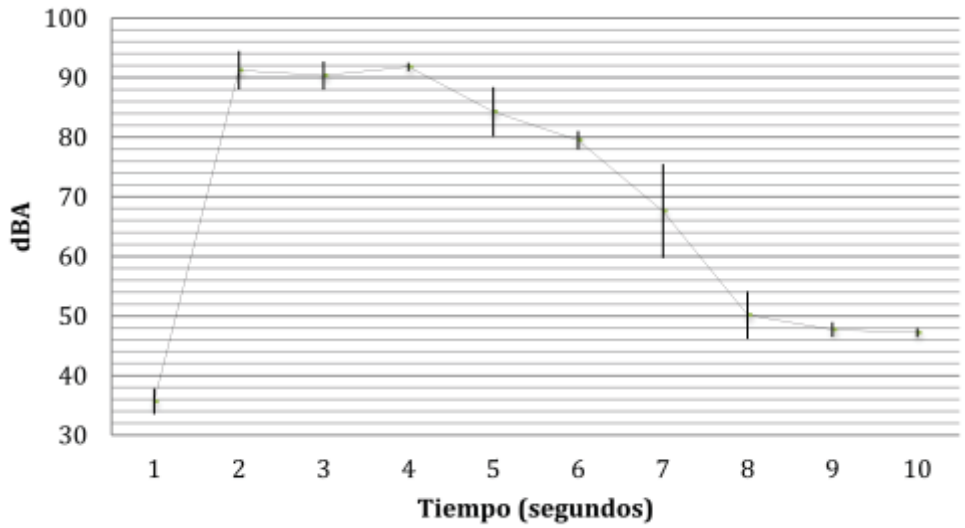


Figura 25. Promedio y variabilidad del ruido generado por la Apertura de Puertas (Punto 3).

5.4.3.2 Cierre de puertas

El cierre de puertas presenta más consistencia en los tiempos de ejecución, a comparación de los generados en otros puntos.

El pico generado por el acenso de la rampa se muestra superior que el primer pico.
Se observan desviaciones estándar que van desde ±0,9 a ±9,8 dBA siendo los últimos 3 segundos la zona en donde se produce el mayor margen de error, es decir el tiempo de decaimiento puede variar en función del tiempo. Dicho margen se proyecta de esa manera debido a que el cierre de puertas varía significativamente en una de las mediciones. Error que depende de la presión de aire en las válvulas y la coordinación con el cierre de puertas (error mecánico que produce picos de gran nivel). En este caso se producen desviaciones mayores respecto al comportamiento de la rampa y su decaimiento.

El máximo nivel registrado es el perteneciente a la rampa en el segundo 5 con un valor de 92,2 dBA, mientras que el primer pico produce un nivel de 83,8 dBA. (Véase figura 26).

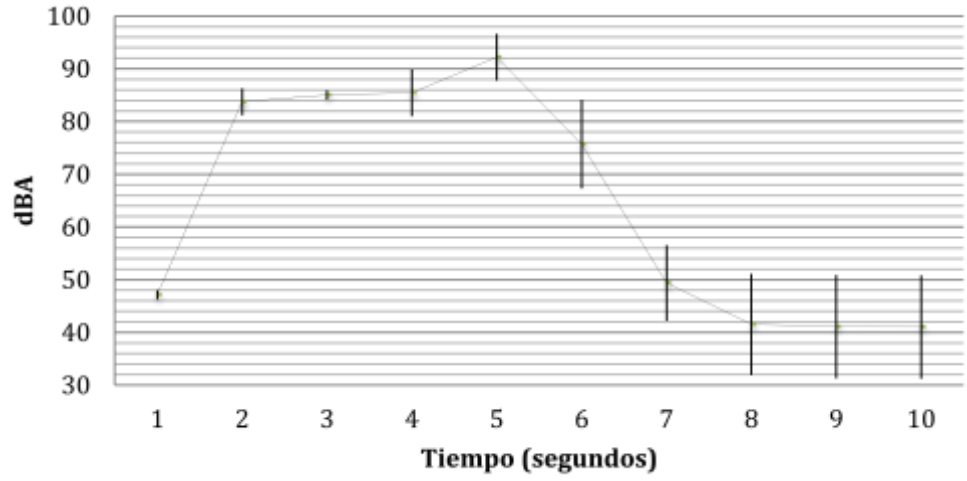


Figura 26. Promedio y variabilidad del ruido generado por el Cierre de Puertas (Punto 3).

5.4.3.3 Contenido frecuencial del ruido de puertas

En la zona de las frecuencia medias-altas se destaca un rango que va desde los 400 Hz hasta los 1 kHz, siendo los 500 Hz la banda con mayor nivel, los mismo que se atribuyen al esencialmente al golpe generado por la rampa. De la misma manera en la zona de las frecuencias agudas se destacan las frecuencias de 5 kHz, la que se atribuye al ruido generado por las válvulas de las puertas en cada ciclo de apertura y cierre.

Se puede apreciar que el contenido energético global es superior al de los otros puntos, ya que el micrófono de medición recibe mayor energía que en los otros puntos. (Véase anexo 2.3).

5.5 Ruido de Puertas (Vehículo en Ralentí)

El presente ensayo aplica exactamente el mismo procedimiento que se utilizó para evaluar el ruido generado por las puertas con el vehículo apagado.

5.5.1 Punto 1

5.5.1.1 Apertura de Puertas

La figura 27 muestra el promedio aritmético resultado de las seis muestras registradas, en donde se pueden también apreciar sus respectivos márgenes de error como niveles máximos y mínimos respectivamente.

Se observan desviaciones estándar que van desde ±0,5 a ±2,5 dBA siendo el segundo 4 la zona en donde se produce mayor margen de error, es decir el tiempo de decaimiento puede variar un poco. Dicho margen se proyecta de esa manera debido a que dos de las muestras presentan un tiempo de apertura mayor al habitual, inconsistencia originada netamente por el operador.

El máximo nivel registrado es el perteneciente al segundo 2 con un valor de 82,7 dBA.

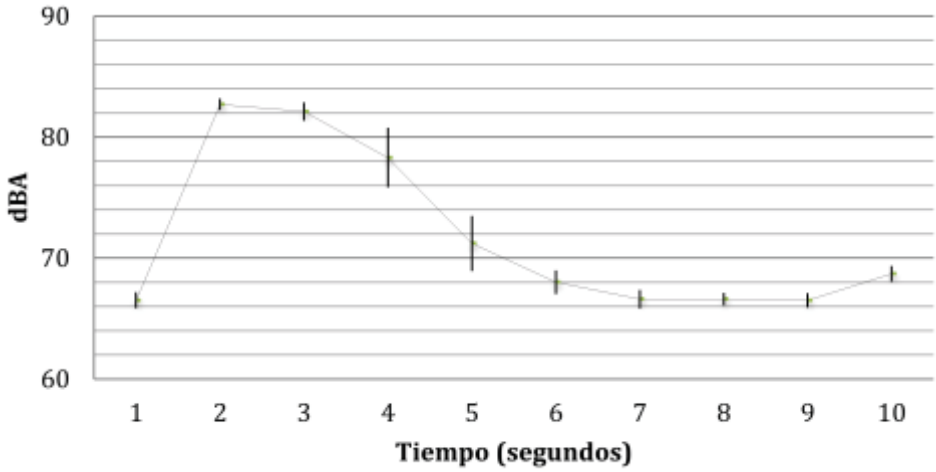


Figura 27. Promedio y variabilidad del ruido generado por la Apertura de Puertas (Punto 1), (R*).

5.5.1.2 Cierre de puertas

El cierre de puertas presenta diferencias de tiempo en el desarrollo de cada evento, sin embargo los picos de mayor nivel se encuentran en fase para cada una de las muestras.

A diferencia de la apertura de puertas, aquí se suma otro suceso que es el ruido de la rampa. Al chocar la rampa con las puertas se genera un segundo pico, que incluso puede llegar a tener un nivel máximo muy semejante al producido por el de cierre de las puertas.

La figura 28 muestra el promedio aritmético resultado de las seis muestras registradas, en donde se pueden también apreciar sus respectivos márgenes de error los que se calculan como desviaciones estándar que van desde ±0,5 a ±5,4 dBA, siendo el segundo 5 la zona en donde se produce el mayor margen de error, es decir el tiempo de decaimiento puede variar en función del tiempo.

Dicho margen se proyecta de esa manera debido a que el cierre de puertas varía mecánicamente a razón de que la rampa golpea contra la puerta con fuerza variable, lo que depende de la presión de aire en las válvulas y la coordinación con el cierre de puertas (error mecánico que produce picos de gran nivel).

El máximo nivel registrado es el perteneciente a la rampa, registrado en el segundo 4 con un valor de 87,5 dBA, mientras que el primer pico produce un nivel de 79,4 dBA.

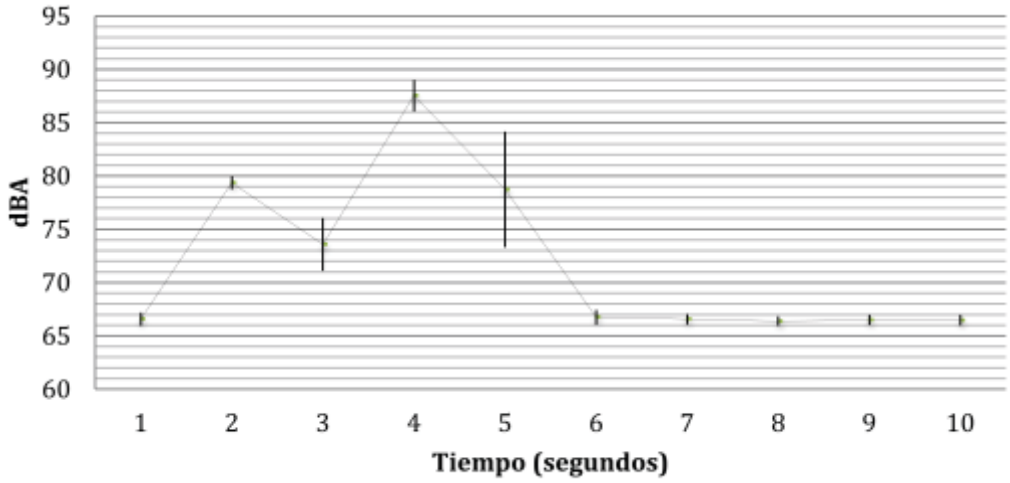


Figura 28. Promedio y variabilidad del ruido generado por el Cierre de Puertas (Punto 1), (R*).

5.5.1.3 Contenido frecuencial del ruido de puertas

El evento de apertura y cierre de puertas, con el vehículo en ralentí, genera un ruido de contenido frecuencial amplio, en donde se pueden diferenciar las siguientes conductas:

En la zona de las frecuencias medias-altas se destaca un rango notorio que va desde los 500 Hz (rampa) hasta los 5 kHz (ruido generado por las válvulas de las puertas en cada ciclo de apertura y cierre).
En este caso se manifiesta el hecho de que el ruido producido por la rampa es el que posee mayor contenido energético durante los ciclos de ejecución, en donde la banda de los 1,25 kHz presenta el mayor nivel con 80,5 dBA.

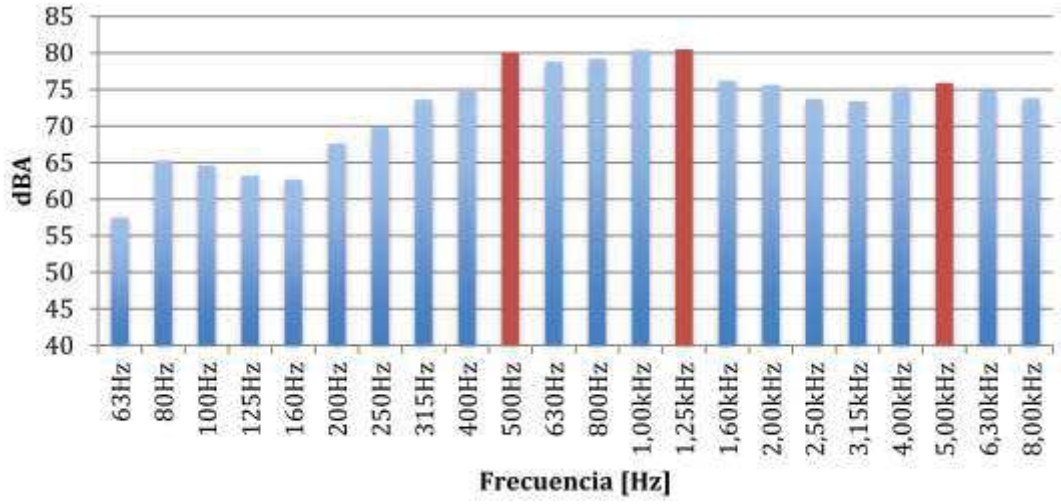


Figura 29. Espectro de frecuencias, Puertas de vehículo en Ralentí.

5.5.2 Punto 2

5.5.2.1 Apertura de Puertas

La figura 30 muestra el promedio aritmético resultado de las seis muestras registradas, en donde se pueden también apreciar sus respectivos márgenes de error como niveles máximos y mínimos respectivamente.

Se observan desviaciones estándar que van desde ±0,1 a ±3,0 dBA siendo el segundo 4 la zona en donde se produce mayor margen de error, es decir el tiempo de decaimiento puede variar un poco.

El máximo nivel registrado es el perteneciente al segundo 2 con un valor de 89,4 dBA.

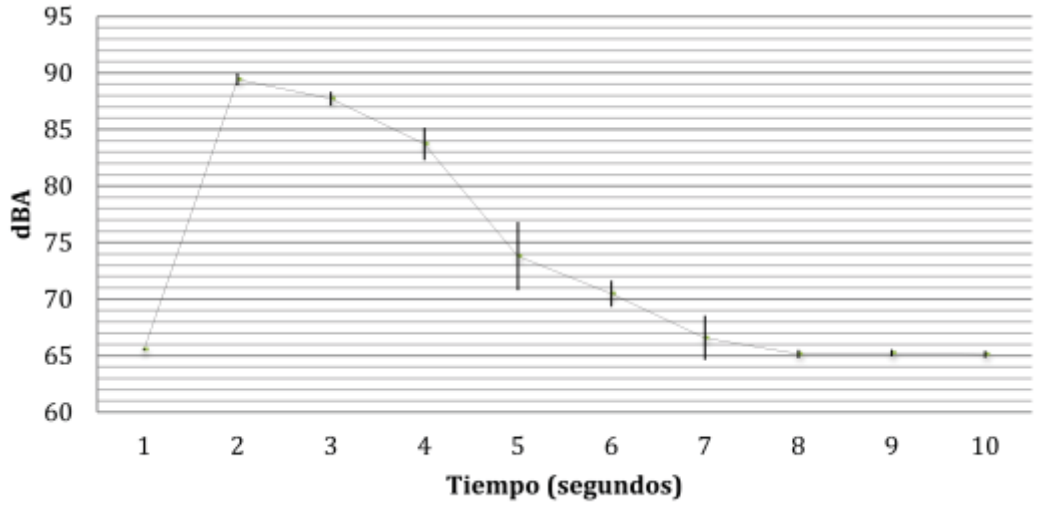


Figura 30. Promedio y variabilidad del ruido generado por la Apertura de Puertas (Punto 2), (R*).

5.5.2.2 Cierre de puertas

El cierre de puertas presenta diferencias de tiempo en el desarrollo de cada evento, especialmente al producirse el segundo pico de nivel, generado por el ascenso de la rampa en donde, además, se producen niveles de mayor amplitud que pueden llegar a ser superiores a los generados por el primer pico.

La figura 31 muestra el promedio aritmético resultado de las seis muestras registradas, en donde se pueden también apreciar sus respectivos márgenes de error como niveles máximos y mínimos respectivamente.

Se observan desviaciones estándar que van desde ±0,1 a ±5,2 dBA siendo el segundo 5 la zona en donde se produce el mayor margen de error, es decir el tiempo de ataque del segundo pico puede variar. Dicho margen se proyecta de esa manera debido a que el cierre de puertas varía mecánicamente a razón de

que la rampa golpea contra la puerta con fuerza variable, lo que depende de la presión de aire en las válvulas y la coordinación con el cierre de puertas (error mecánico que produce picos de gran nivel).

El máximo nivel registrado es el perteneciente a la rampa, generado en el segundo 5 con un valor de 88,3 dBA., mientras que el primer pico produce un nivel de 84,6 dBA.

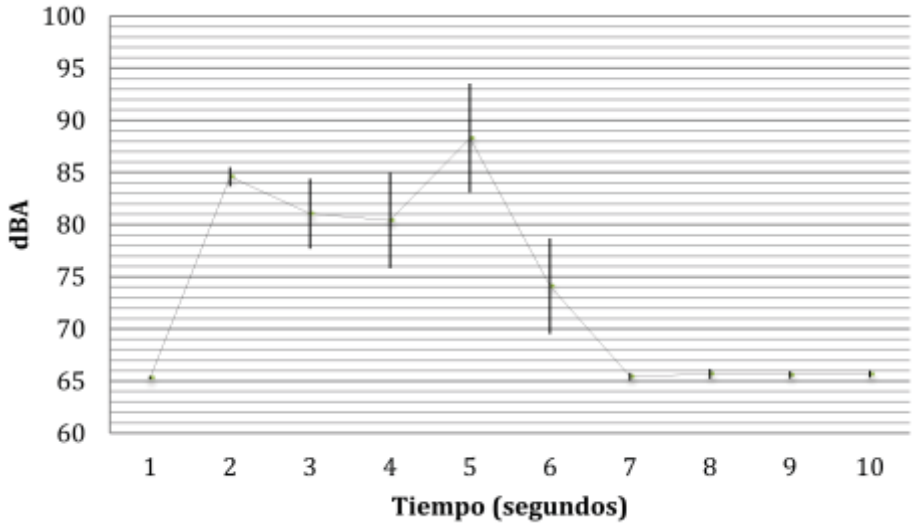


Figura 31. Promedio y variabilidad del ruido generado por el Cierre de Puertas (Punto 2), (R*).

5.5.2.3 Contenido frecuencial del ruido de puertas

En la zona de las frecuencias medias-altas se destaca un rango notorio, siendo los 500 Hz la banda con mayor nivel, los mismos que se atribuyen esencialmente al golpe generado por la rampa. De la misma manera en la zona de las frecuencias altas se destaca la frecuencia de 5 kHz, la que se atribuye al

ruido generado por las válvulas de las puertas en cada ciclo de apertura y cierre.

Es notoria la similitud que mantienen los eventos, tanto el ruido de la rampa como la apertura de puertas presentan niveles de ruido cercanos.

5.5.3 Punto 3

5.5.3.1 Apertura de Puertas

En el presente punto se registran los valores más altos, debido a que el micrófono de medición se encuentra ubicado entre las dos puertas traseras del vehículo. Por lo tanto, los datos registrados describen el nivel energético generado directamente por las puertas siendo sus valores superiores.

Adicionalmente, se logran registrar individualmente los niveles generados por la apertura de las puertas izquierda y derecha, que a diferencia de los puntos anteriores, se apreciaba un solo nivel de apertura. El nuevo pico se ubica aproximadamente en el segundo 4.

La figura 32 muestra el promedio aritmético resultado de las seis muestras registradas, en donde se pueden también apreciar sus respectivos márgenes de error como niveles máximos y mínimos respectivamente.

Se observan desviaciones estándar que van desde ±0,1 a ±1,4 dBA los que proyectan márgenes de error muy pequeños entre las muestras de la presente medición.

El máximo nivel registrado es el perteneciente al primer pico de apertura generado en el segundo 2 con un valor de 92,9 dBA, mientras que el segundo pico de apertura tiene un nivel de 92,3 dBA.

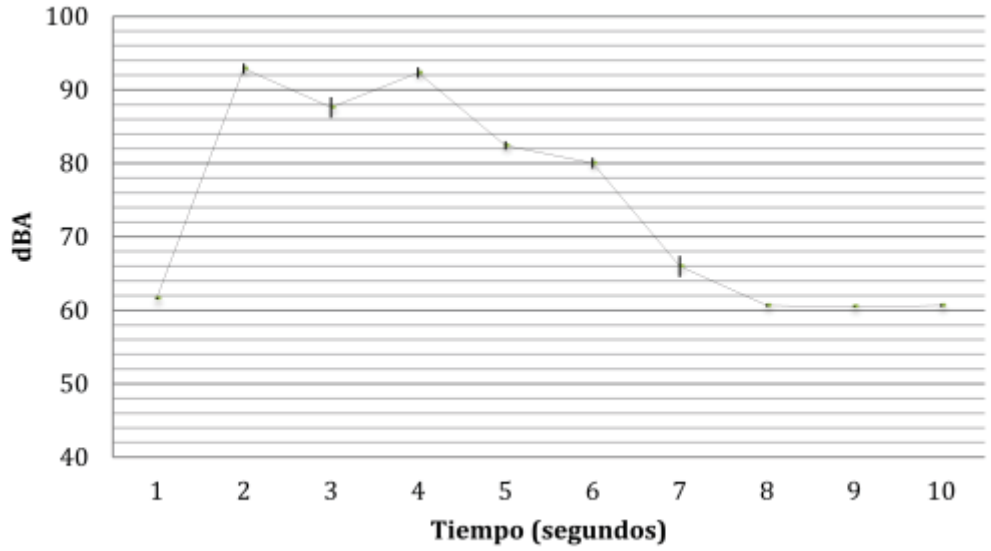


Figura 32. Promedio y variabilidad del ruido generado por la Apertura de Puertas (Punto 3), (R*).

5.5.3.2 Cierre de puertas

El cierre de puertas presenta más consistencia en los tiempos de ejecución, a comparación de los generados en otros puntos.

El pico generado por el acenso de la rampa se muestra superior que el primer pico.

La figura 33 muestra el promedio aritmético resultado de las seis muestras registradas, en donde se pueden también apreciar sus respectivos márgenes de error calculados mediante desviaciones estándar que van desde ±0,1 a ±5,7 dBA siendo el segundo 5 la zona en donde se produce el mayor margen de error, es decir el tiempo de decaimiento puede variar. Dicho margen se

proyecta de esa manera debido a que el cierre de puertas varía significativamente en una de las mediciones. Error que depende de la presión de aire en las válvulas y la coordinación con el cierre de puertas (error mecánico que produce picos de gran nivel). En este caso se producen desviaciones mayores respecto al comportamiento de la rampa y su decaimiento.

El máximo nivel registrado es el perteneciente a la rampa en el segundo 4 con un valor de 95,1 dBA., mientras que el primer pico produce un nivel de 85,6 dBA.

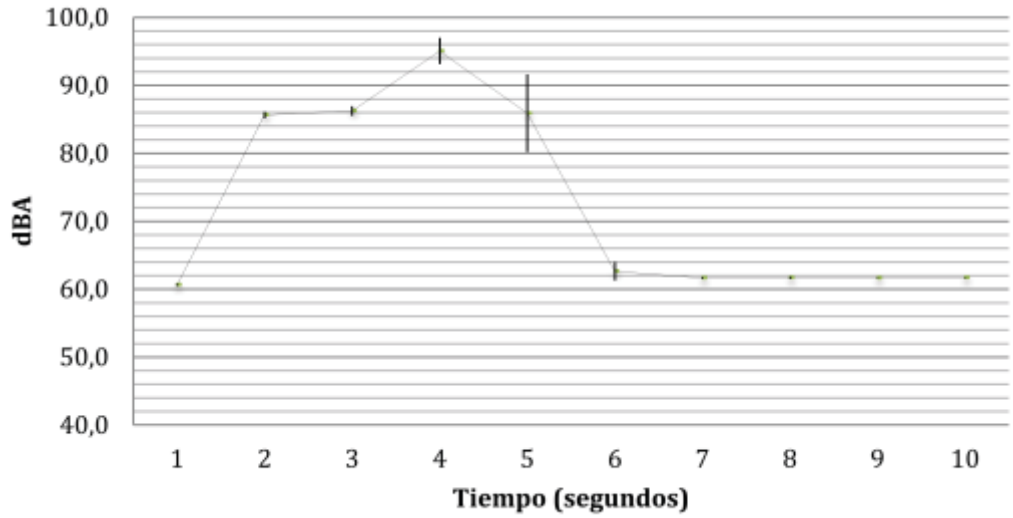


Figura 33. Promedio y variabilidad del ruido generado por el Cierre de Puertas (Punto 3), (R*).

5.5.3.3 Contenido frecuencial del ruido de puertas

En la zona de las frecuencias medias-altas se destaca un rango notorio, siendo los 800 Hz la banda con mayor nivel, lo cual se atribuye esencialmente al golpe generado por la rampa. De la misma manera en la zona de las frecuencias

altas se destaca la frecuencia de 5 kHz, la que se atribuye al ruido generado por las válvulas de las puertas en cada ciclo de apertura y cierre.

El nivel registrado en las bandas medias, evidencia que el ruido con mayor contenido energético durante los ciclos medidos, fue el generado por la rampa.

Las figuras 34, 35 y 36 muestran un resumen de los niveles generados en cada punto con su respectiva fuente, los que fueron ordenados en una jerarquía de mayor a menor nivel.

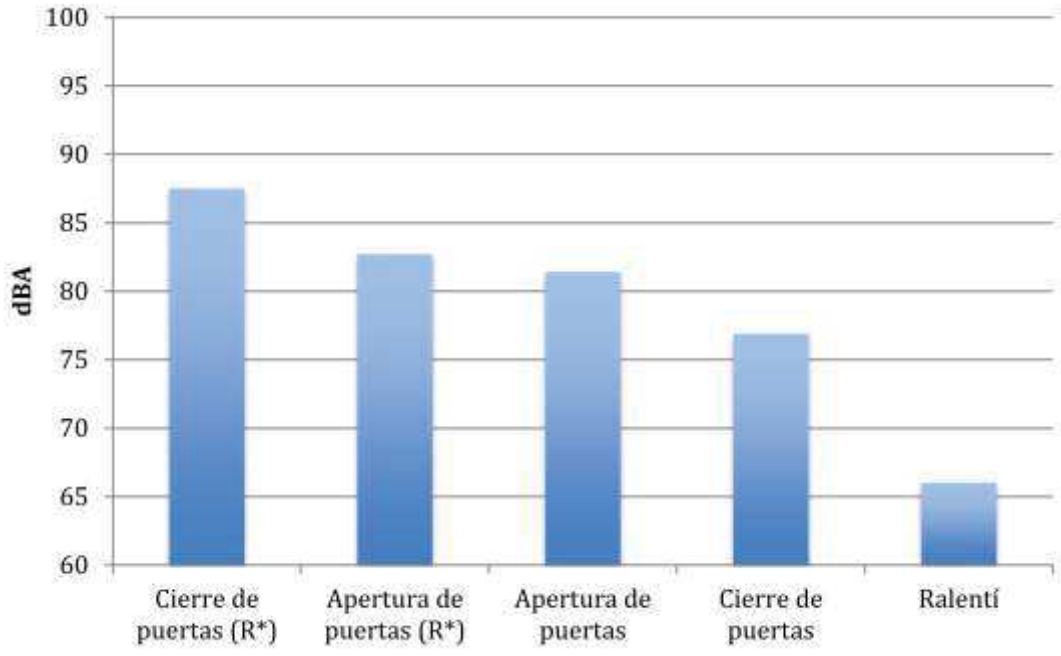


Figura 34. Orden jerárquico de los niveles generados por cada evento, Punto 1, Estacionario

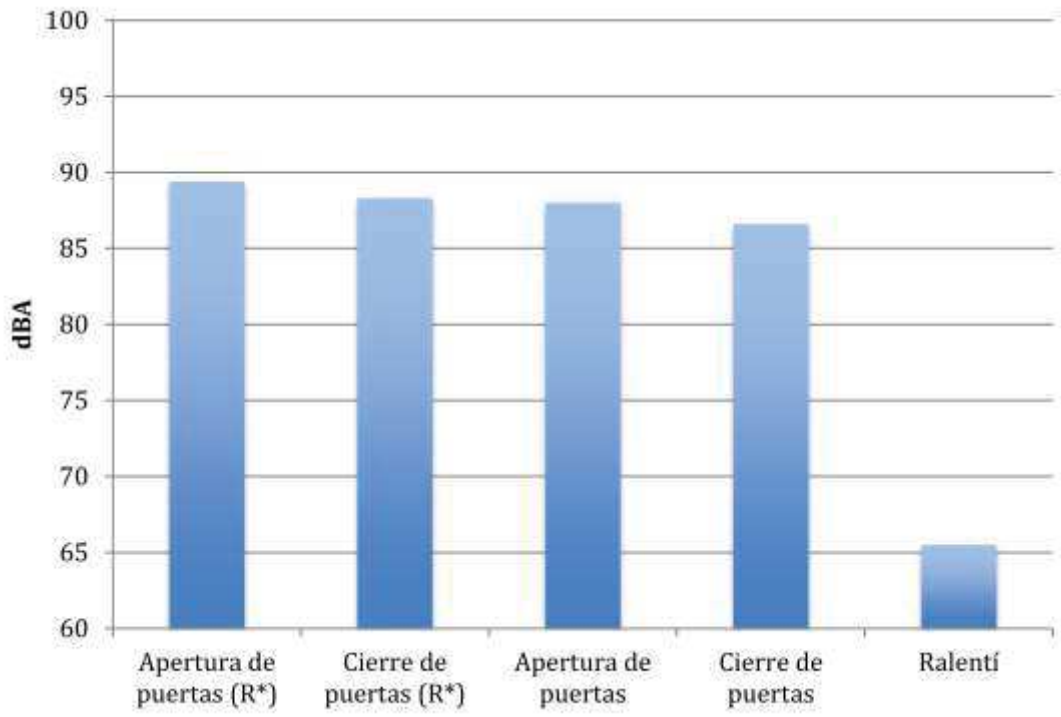


Figura 35. Orden jerárquico de los niveles generados por cada evento, Punto 2, Estacionario

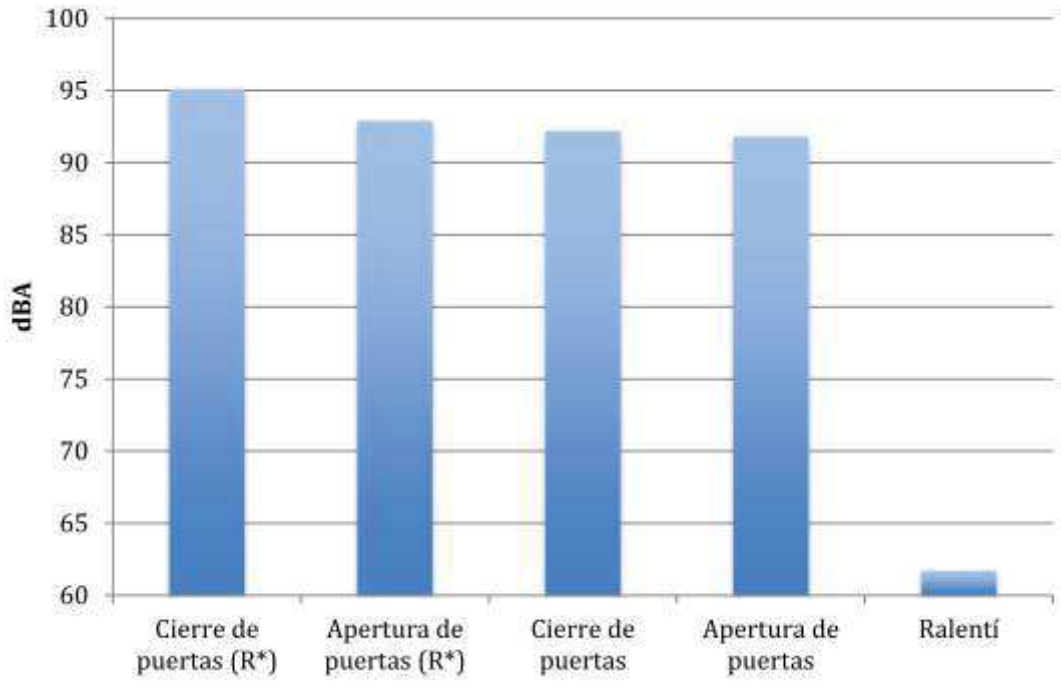


Figura 36. Orden jerárquico de los niveles generados por cada evento, Punto 3, Estacionario

5.6 Ensayo Dinámico

La metodología aplicada para evaluar los niveles generados por el ruido del vehículo, se desarrolló de tal forma que se puedan obtener el número necesario de muestras como para determinar su comportamiento en situaciones normales de operación.

Se realizó un registro continuo de información, tiempo en el que se obtuvieron los valores generados por cinco ciclos de operación. Es decir se realizó un simulacro de un recorrido con cinco paradas en donde cada evento se repite cinco veces.

Puesto que los eventos no ocurren exactamente en los mismos tiempos, se analizarán cada uno de ellos en un promedio compuesto por todas las muestras, de donde se determinarán sus respectivos márgenes de error.

Para cada ciclo de operación se evaluaron los siguientes eventos:

1. Desplazamiento
2. Frenado
3. Apertura de puertas
4. Cierre de Puertas
5. Aceleración

Cada uno de ellos será evaluado individualmente para determinar su comportamiento dentro del ruido generado por la operación general del vehículo.

5.6.1 Punto 1

5.6.1.1 Desplazamiento

El primer evento registrado es el ruido por desplazamiento, cuyos valores fueron tomados desde el momento que el vehículo alcanza la velocidad de 50 km/h. En la figura 37 se logra apreciar el momento en el que el motor alcanza su nivel máximo para después introducir un cambio automático de marcha, y posteriormente estabilizar un nivel característico del desplazamiento.

El evento se genera en un tiempo aproximado de 13 segundos, de los cuales, en los primeros 6 segundos se alcanza el nivel máximo de 84,1 dBA. En el segundo 7 se produce el cambio de marcha, y en adelante, se retoma el nivel de desplazamiento de 82,9 dBA.

Se observan desviaciones estándar que van desde ±0,4 a ±1,3 dBA los que proyectan márgenes de error muy pequeños entre las muestras de la presente medición.

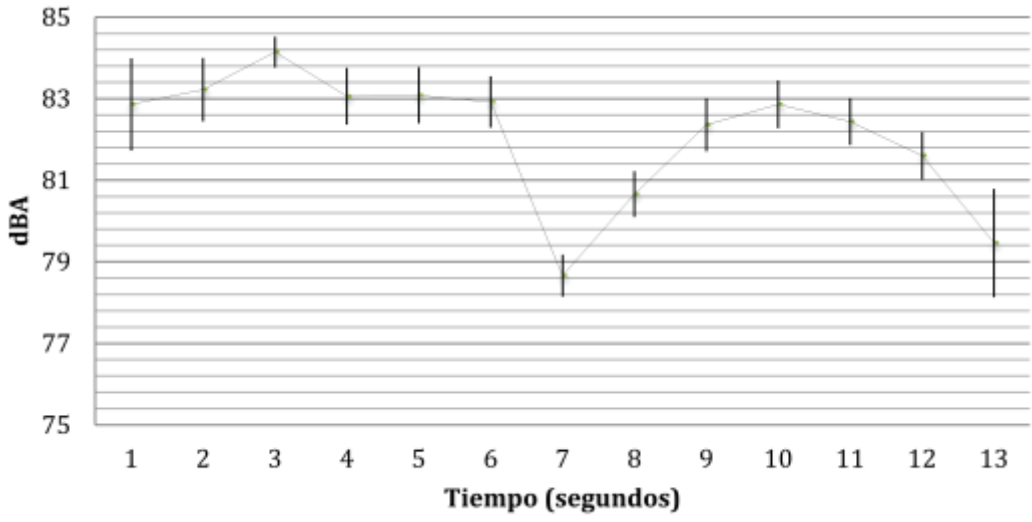


Figura 37. Promedio y variabilidad generados por el motor, Desplazamiento, Ensayo dinámico

5.6.1.2 Frenado

Como se muestra en la figura 38, inmediatamente después del desplazamiento se genera una caída de nivel correspondiente al frenado, cuyo proceso es automático y gradual.

Al final del frenado se produce un amortiguamiento que ocasiona un pequeño pico con un nivel de 75 dBA correspondiente al segundo 7.

Se observan desviaciones estándar que van desde ±0,4 a ±3,3 dBA los que proyectan márgenes de error pequeños entre las muestras de la presente medición. La zona mayor desviación es la correspondiente a los segundos 2 y

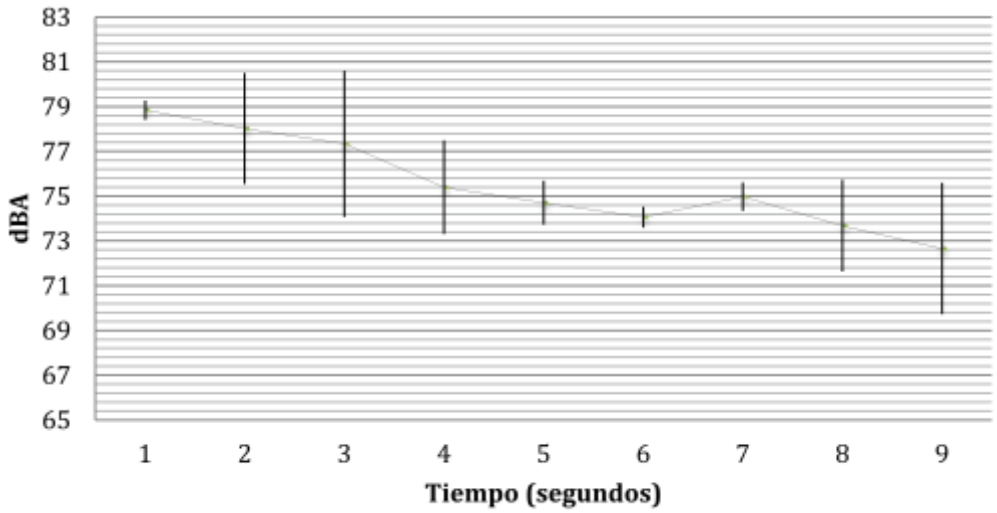


Figura 38. Promedio y variabilidad generados por el motor, Frenado, Ensayo dinámico

5.6.1.3 Apertura de Puertas

A pesar de que se había mencionado la desigualdad con la que ocurren los eventos, las cinco muestras presentan un comportamiento muy parejo, especialmente en el tiempo en el que alcanzas sus máximos niveles.

En la figura 39 se logra apreciar que el evento de apertura de puertas tiene una duración menor a 7 segundos, un tiempo de ataque aproximado a 1 segundo y un tiempo de decaimiento aproximado a 4 segundos.

Se observan desviaciones estándar que van desde ±0,3 a ±2,3 dBA siendo el segundo 4 la zona en donde se produce mayor margen de error, es decir el tiempo de decaimiento puede variar un poco.

El máximo nivel registrado es el perteneciente al segundo 2 con un valor de 82 dBA.

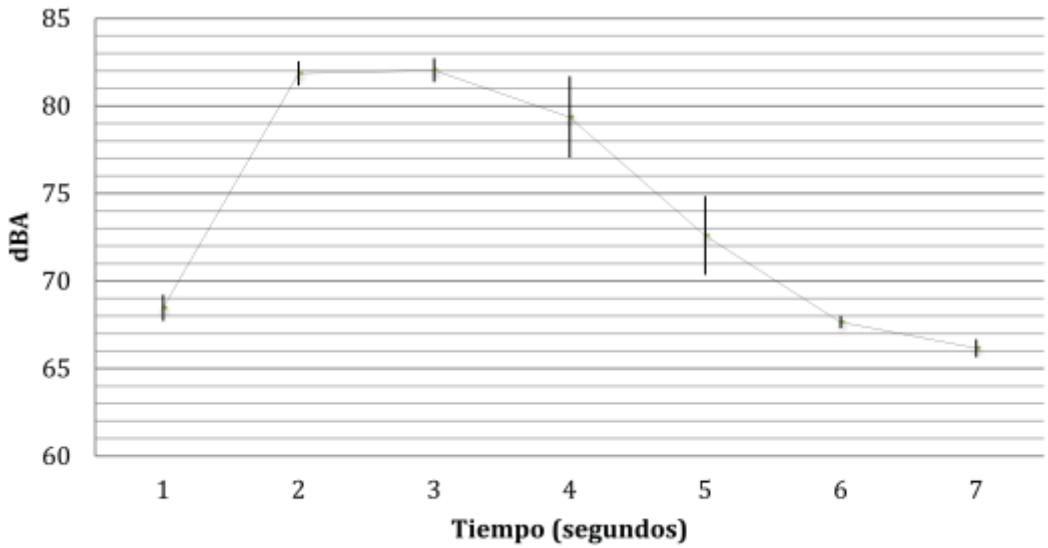


Figura 39. Promedio y variabilidad del ruido generado por la Apertura de Puertas (Punto 1), (D*).

5.6.1.4 Cierre de puertas

La figura 40 muestra el promedio aritmético resultado de las seis muestras registradas, en donde se pueden también apreciar sus respectivos márgenes de error como niveles máximos y mínimos respectivamente.

Se observan desviaciones estándar que van desde ±0,2 a ±2,9 dBA siendo el último segundo la zona en donde se produce el mayor margen de error, es decir el tiempo de decaimiento varia ligeramente.

El máximo nivel registrado es el perteneciente a la rampa, generado en el segundo 5 con un valor de 87,8 dBA., mientras que el primer pico produce un nivel de 79,2 dBA.

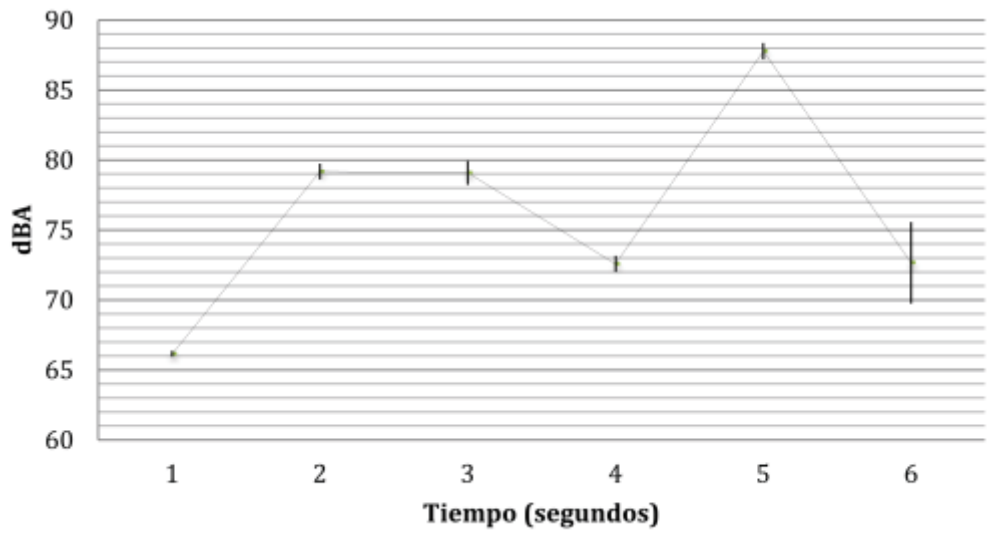


Figura 40. Promedio y variabilidad del ruido generado por el cierre de Puertas (Punto1), (D).

5.6.1.5 Aceleración

Después de los eventos de apertura y cierre de puertas, el vehículo parte para iniciar el ciclo nuevamente. El registro final es el correspondiente a la aceleración, valores que crecen de manera gradual hasta llegar al nivel máximo generado por el motor.

La figura 41 muestra el promedio aritmético resultado de las seis muestras registradas, en donde se pueden también apreciar sus respectivos márgenes de error como niveles máximos y mínimos respectivamente.

Se observan desviaciones estándar que van desde ±0,5 a ±2,7 dBA siendo los últimos segundos la zona en donde se produce el mayor margen de error, es decir el tiempo de que toma el motor en alcanzar el máximo nivel.

El máximo nivel registrado corresponde al valor final del evento con 84,2 dBA.

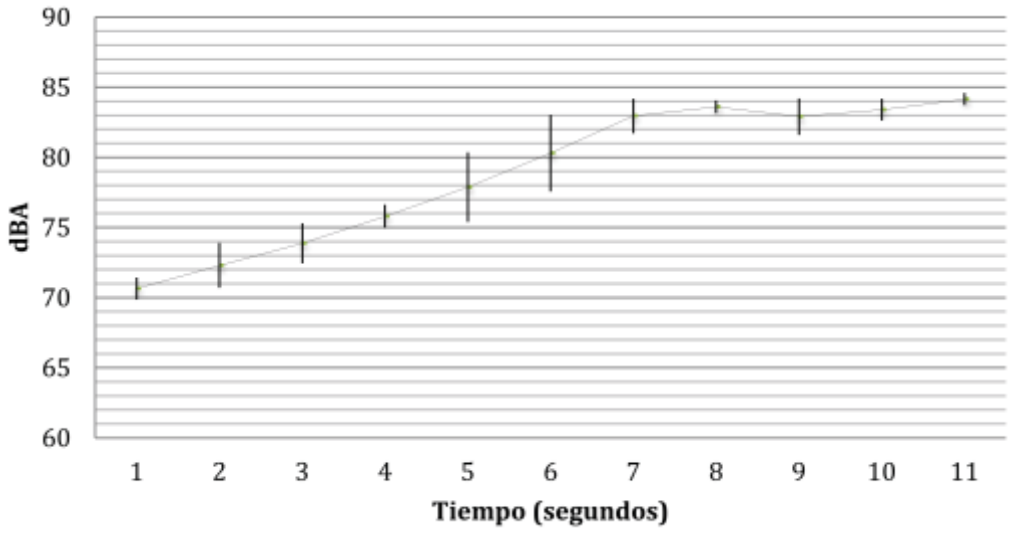


Figura 41. Promedio y variabilidad generados por el motor, Aceleración, Ensayo dinámico

5.6.1.6 Contenido frecuencial

El ensayo dinámico, durante los cinco ciclos de operación, genera un ruido de contenido frecuencial amplio y estable.

En la zona de las frecuencia bajas se distingue un rango compuesto por las bandas desde 63 Hz a 200 Hz cuyos valores corresponden al ruido generado por el motor.

En la región de los medios-altos se destaca un rango notorio, siendo los 500 Hz la banda con mayor nivel, los mismo que se atribuyen al esencialmente al golpe generado por la rampa. Finalmente en la zona de las frecuencias altas, se destaca la frecuencia de 5 kHz los que prácticamente se encuentran dentro de un contenido frecuencial estable.

Los niveles proyectan un comportamiento equilibrado en todo el espectro, manteniendo niveles aproximados de 80 dBA para cada uno de sus eventos. Siendo la frecuencia de 200 Hz la que genera un mayor nivel con 81,7 dBA. (Véase figura 42).

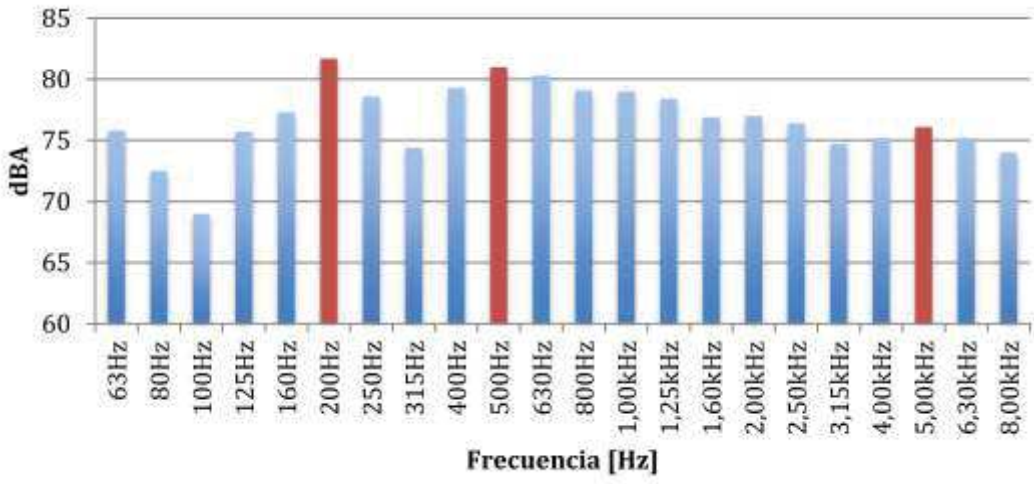


Figura 42. Espectro de frecuencias, Ensayo dinámico (Punto 1)

5.6.2 Punto 2

5.6.2.1 Desplazamiento

En la figura 43 se observa que evento se genera en un tiempo aproximado de 13 segundos, de los cuales, en los primeros segundos se alcanza el nivel

máximo de 79,7 dBA, en el segundo 5 se produce el cambio de marcha, y en adelante, se retoma el nivel de desplazamiento de 78,8 dBA.

Se observan desviaciones estándar que van desde 0 a ±2,0 dBA los que proyectan márgenes de error muy pequeños entre las muestras de la presente medición.

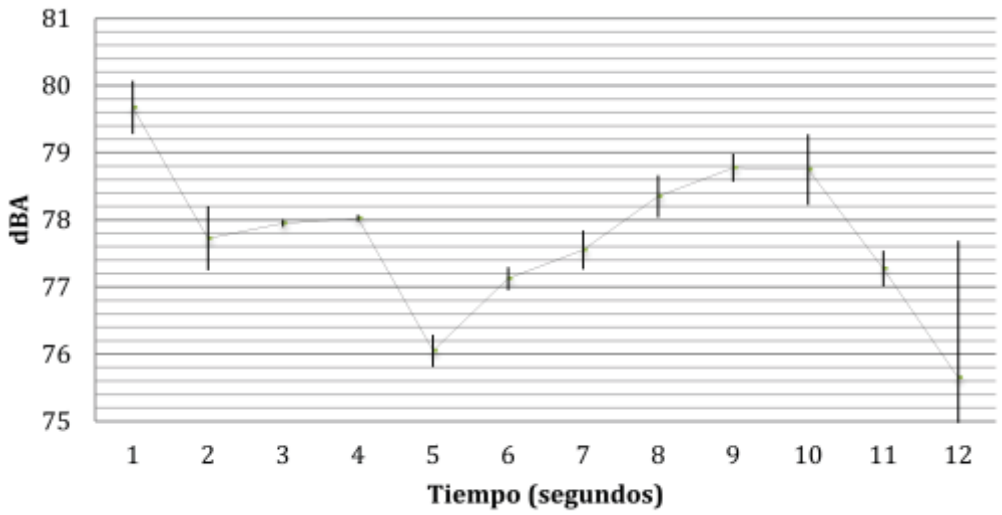


Figura 43. Promedio y variabilidad del ruido generado por el motor, Desplazamiento, (Punto 2), (D).

5.6.2.2 Frenado

De la misma, manera el proceso de frenado es automático y gradual. Al final del proceso se produce un amortiguamiento que ocasiona un pequeño pico con un nivel de 72,2 dBA correspondiente al segundo 8.

Se observan desviaciones estándar que van desde ±0,3 a ±2,3 dBA los que proyectan márgenes de error pequeños entre las muestras de la presente medición. La zona mayor desviación es la correspondiente a los segundos 2 y 9 lo que depende principalmente del operador. (Véase figura 44).

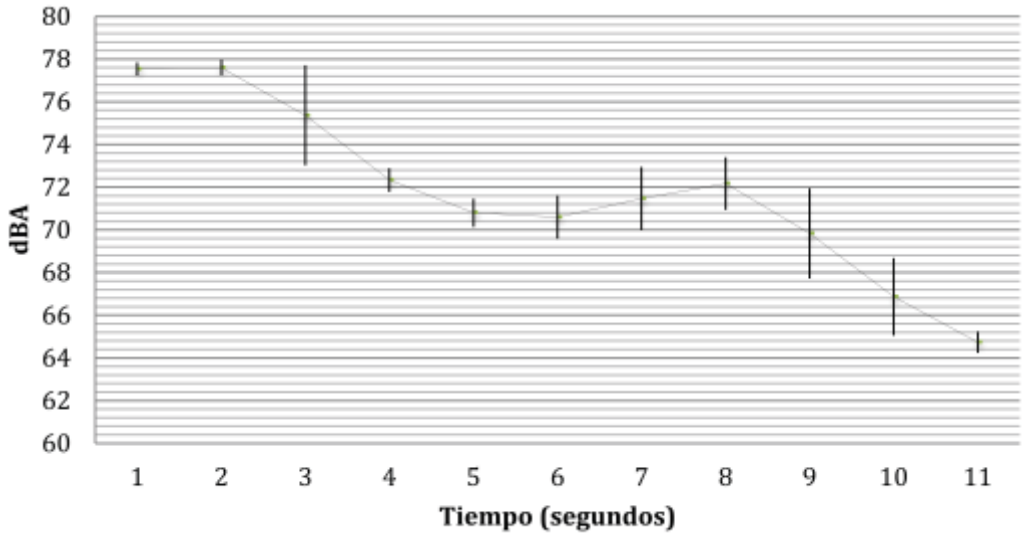


Figura 44. Promedio y variabilidad del ruido generado por el motor, Frenado, (Punto 2), (D).

5.6.2.3 Apertura de Puertas

En la figura 45 se observa el promedio aritmético resultado de las cinco muestras registradas, en donde se pueden también apreciar sus respectivos márgenes de error como niveles máximos y mínimos respectivamente.

Se observan desviaciones estándar que van desde ±0,2 a ±2,0 dBA siendo el segundo 6 la zona en donde se produce mayor margen de error, pero de todas maneras es un margen de error relativamente bajo.

El máximo nivel registrado es el perteneciente al segundo 3 con un valor de 89,6 dBA.

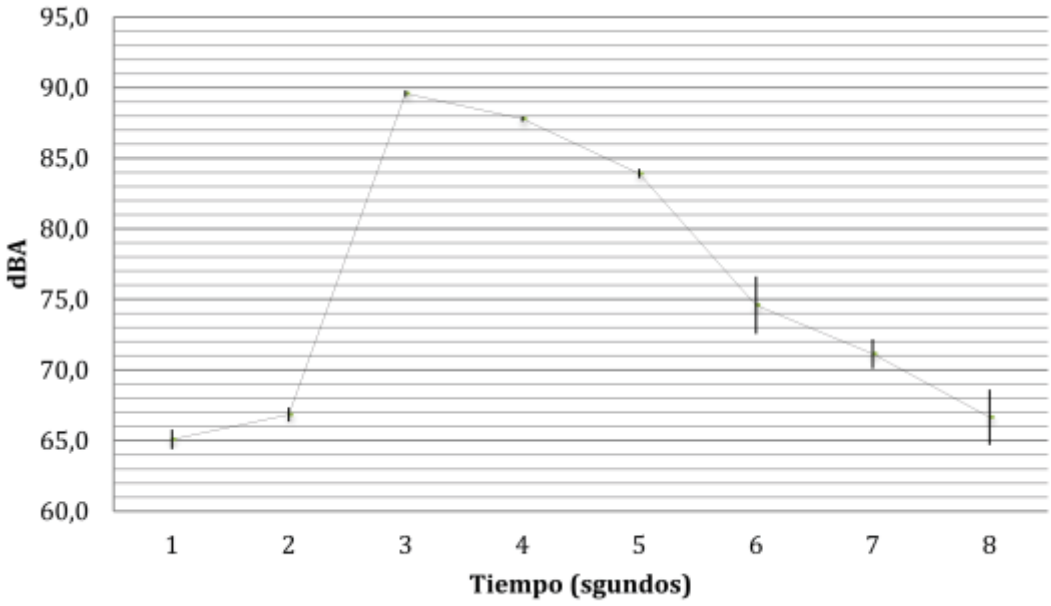


Figura 45. Promedio y variabilidad generado por el ruido de Apertura de

5.6.2.4 Cierre de puertas

En la figura 46 se observa el promedio aritmético resultado de las seis muestras registradas, en donde se pueden también apreciar sus respectivos márgenes de error como niveles máximos y mínimos respectivamente.

Se observan desviaciones estándar que van desde ±0,1 a ±6,1 dBA siendo el segundo 6 la zona en donde se produce el mayor margen de error, es decir el tiempo de decaimiento varia ligeramente.

El máximo nivel registrado es el perteneciente a la rampa, generado en el segundo 5 con un valor de 94,2 dBA., mientras que el primer pico produce un nivel de 85,6 dBA.

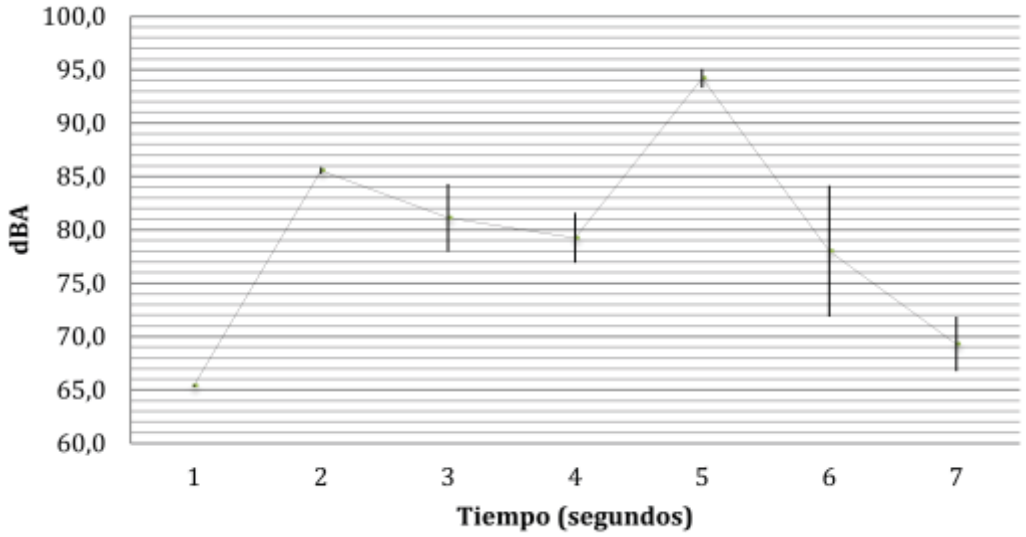


Figura 46. Promedio y variabilidad del ruido generado por el cierre de Puertas, (Punto 2), (D).

5.6.2.5 Aceleración

Se muestra el promedio aritmético resultado de las seis muestras registradas, en donde se pueden también apreciar sus respectivos márgenes de error como niveles máximos y mínimos respectivamente.

Se observan desviaciones estándar que van desde ±0,2 a ±0,7 dBA siendo diferencias relativamente bajas.

El máximo nivel registrado corresponde al valor final del evento con 79,4 dBA. (Véase la figura 47).

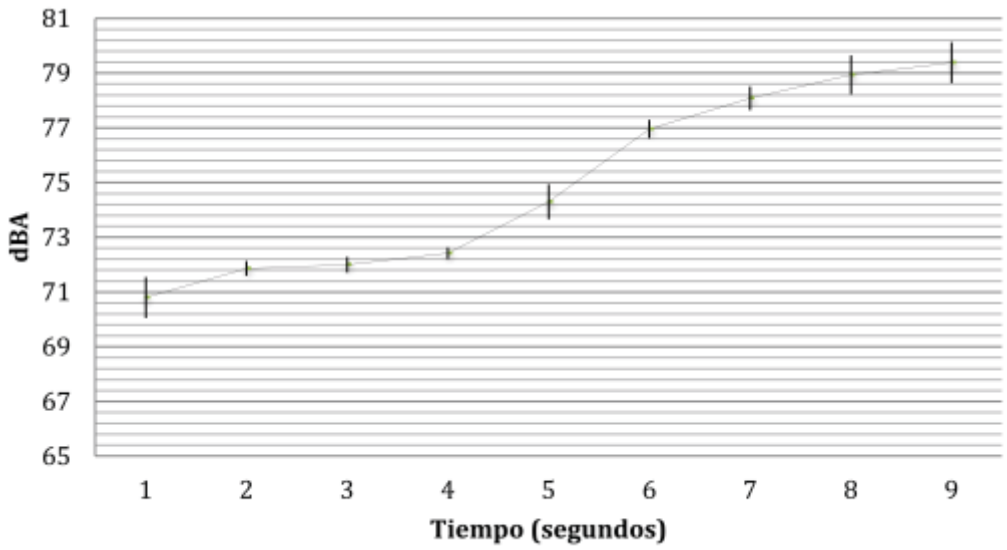


Figura 47. Promedio y variabilidad del ruido generado por el motor, Aceleración, (Punto 2), (D).

5.6.2.6 Contenido frecuencial

En la zona de las frecuencias bajas, se enfatizan las bandas de 63 Hz y 80Hz cuyos valores corresponden al ruido generado por el motor.

En la región de los medios-altos se destaca un rango notorio, siendo los 500 Hz la banda con mayor nivel, los mismo que se atribuyen al esencialmente al golpe generado por la rampa. Finalmente en la zona de las frecuencias altas, se destaca el rango de 3,15 kHz a 5 kHz, el que se atribuye al ruido generado por las válvulas de las puertas en cada ciclo de apertura y cierre.

Los niveles proyectan un comportamiento equilibrado en todo el espectro, manteniendo niveles aproximados de 80 dBA para cada uno de sus eventos. Siendo la frecuencia de 500 Hz la que genera un mayor nivel con 87,9 dBA.

5.6.3 Punto 3

5.6.3.1 Desplazamiento

El evento se genera en un tiempo aproximado de 13 segundos, de los cuales, en los primeros 6 segundos se alcanza el nivel máximo de 76,5 dBA, en el segundo 8 se produce el cambio de marcha, y en adelante, se retoma el nivel de desplazamiento de 77,5 dBA.

Se observan desviaciones estándar que van desde ±0,5 a ±1,2 dBA los que proyectan márgenes de error muy pequeños entre las muestras de la presente medición. (Véase figura 48).

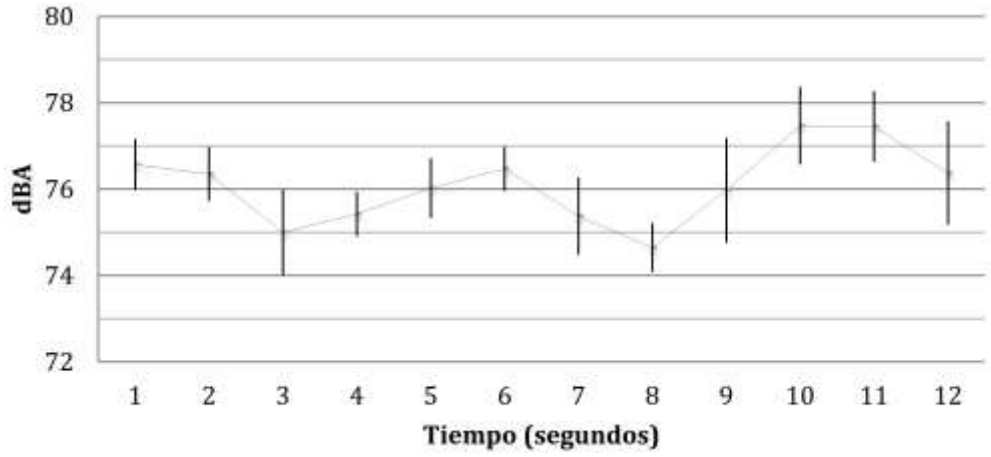


Figura 48. Promedio y variabilidad del ruido generado por el motor, Desplazamiento, (Punto 3), (D).

5.6.3.2 Frenado

En la figura 49 se logra observar que al final del frenado se produce un amortiguamiento que ocasiona un pequeño pico con un nivel de 67,1 dBA correspondiente al segundo 9.

Se observan desviaciones estándar que van desde ±0,6 a ±2,8 dBA los que proyectan márgenes de error pequeños entre las muestras de la presente medición. La zona mayor desviación es la correspondiente a los últimos segundos, acción que dependerá en su mayoría, del operador.

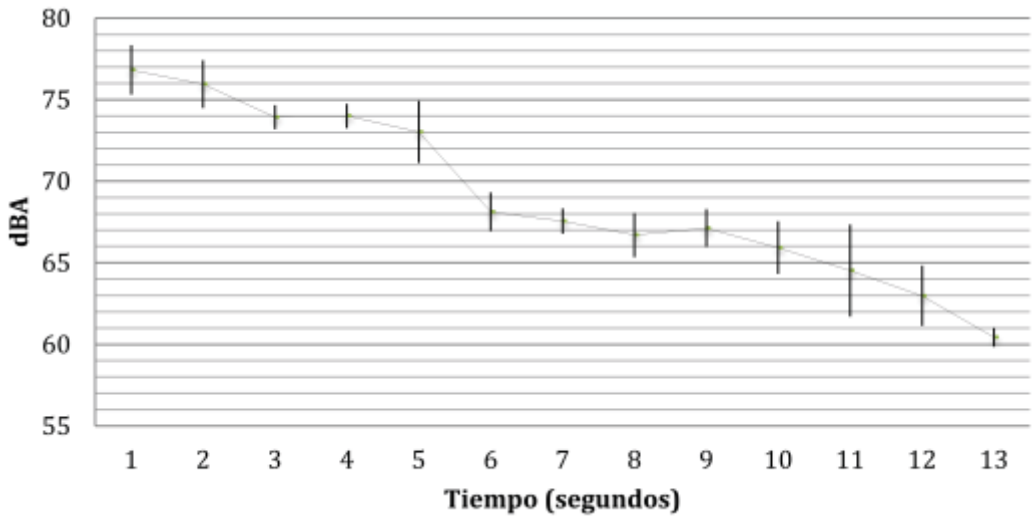


Figura 49. Promedio y variabilidad del ruido generado por el motor, Frenado, (Punto3), (D).

5.6.3.3 Apertura de Puertas

Se muestra el promedio aritmético resultado de las cinco muestras registradas, en donde se pueden también apreciar sus respectivos márgenes de error como niveles máximos y mínimos respectivamente.

Se observan desviaciones estándar que van desde ±0,2 a ±5,0 dBA siendo el segundo 8 la zona en donde se produce mayor margen de error lo que corresponde al tiempo final del decaimiento.

El máximo nivel registrado es el perteneciente al segundo 3 con un valor de 93,0 dBA. (Véase figura 50).

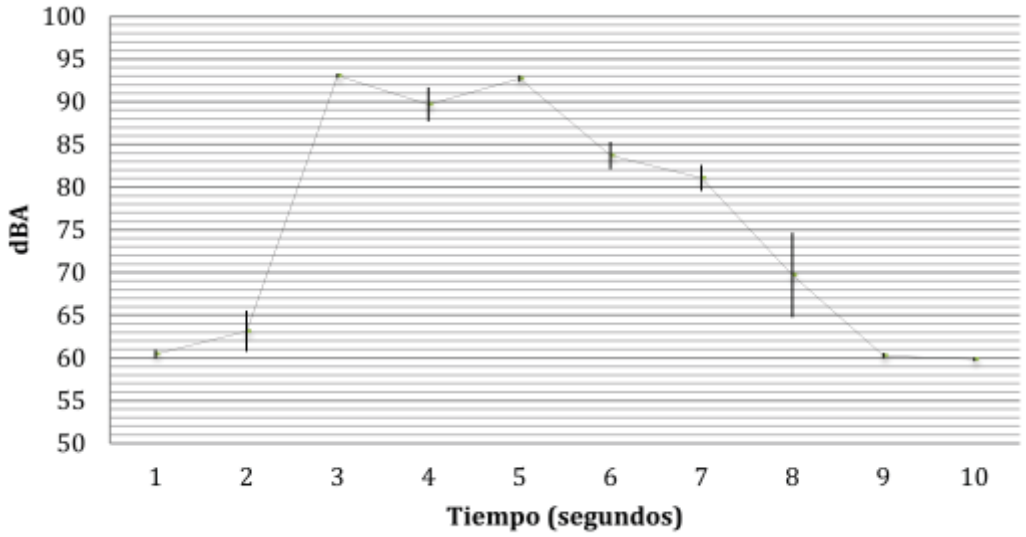


Figura 50. Promedio y variabilidad del ruido generado por la apertura de las puertas, (Punto 3), (D).

5.6.3.4 Cierre de puertas

La figura 51 muestra el promedio aritmético resultado de las seis muestras registradas, en donde se pueden también apreciar sus respectivos márgenes de error como niveles máximos y mínimos como desviaciones estándar que van desde ±0,1 a ±6,9 dBA siendo el segundo 7 la zona en donde se produce el mayor margen de error.

El máximo nivel registrado es el perteneciente a la rampa, generado en el segundo 6 con un valor de 90,7 dBA., mientras que el primer pico produce un nivel de 86 dBA.

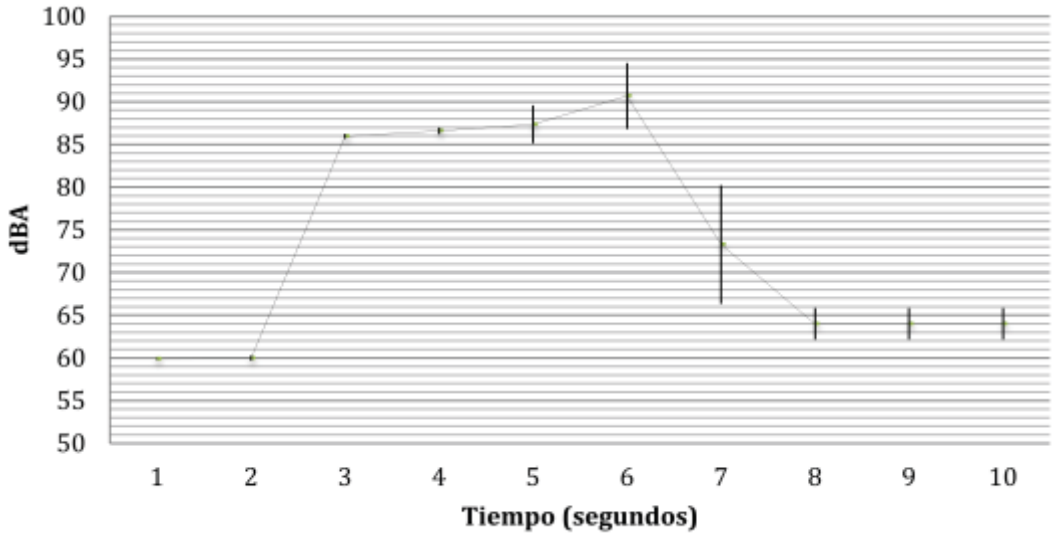


Figura 51. Promedio y variabilidad del ruido generado por el cierre de puertas, (Punto 3), (D)

5.6.3.5 Aceleración

Después de los eventos de apertura y cierre de puertas, el vehículo parte para iniciar el ciclo nuevamente. El registro final es el correspondiente a la aceleración, valores que crecen de manera gradual hasta llegar al nivel máximo generado por el motor.

La figura 52 muestra el promedio aritmético resultado de las seis muestras registradas, en donde se pueden también apreciar sus respectivos márgenes de error como niveles máximos y mínimos respectivamente.

Se observan desviaciones estándar que van desde ±0,1 a ±1,5 dBA siendo diferencias relativamente bajas.

El máximo nivel registrado corresponde al valor final del evento con 76,8 dBA.

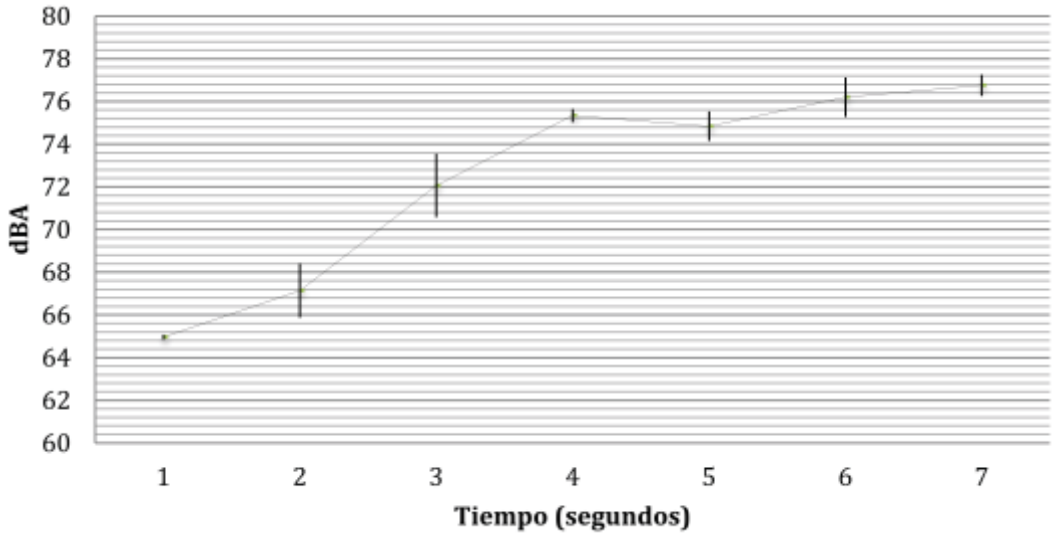


Figura 52. Promedio y variabilidad del ruido generado por el motor, Aceleración, (Punto 3), (D).

5.6.3.6 Contenido frecuencial

En la zona de las frecuencia bajas se enfatiza el rango que va desde los 50 Hz a 80 Hz cuyos valores corresponden al ruido generado por el motor.

En la región de los medios-altos se destaca un rango notorio, siendo los 800 Hz la banda con mayor nivel, los mismos que se atribuyen esencialmente al golpe generado por la rampa. Finalmente en la zona de las frecuencias agudas, se destaca la banda de 5 kHz, la misma que se atribuye al ruido generado por las válvulas de las puertas en cada ciclo de apertura y cierre.

En este punto, las bandas correspondientes al ruido del motor presentan mayor variación en sus niveles. (Véase anexo 2.5).

Las figuras 53, 54 y 55 muestran un resumen de los niveles máximos generados en cada punto con su respectiva fuente, los que fueron ordenados en una jerarquía de mayor a menor nivel.

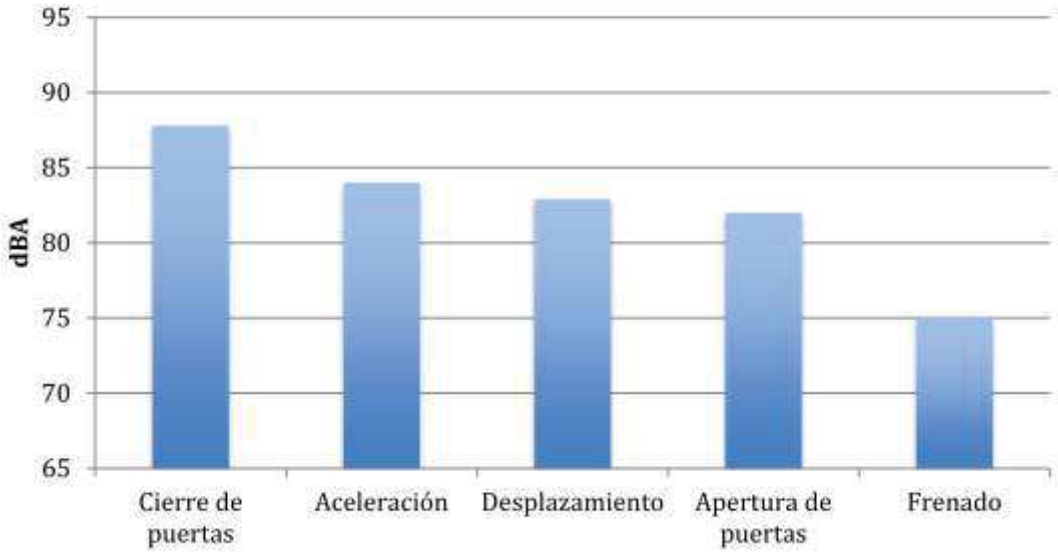


Figura 53. Orden jerárquico de los niveles generados por cada evento, Punto 1, Dinámico.

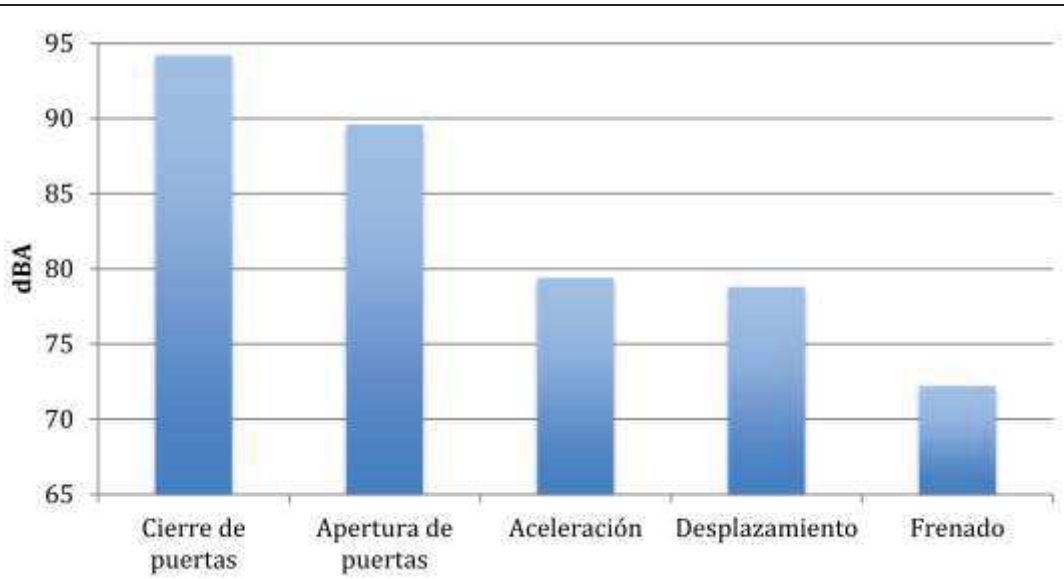


Figura 54. Orden jerárquico de los niveles generados por cada evento, Punto 2, Dinámico.

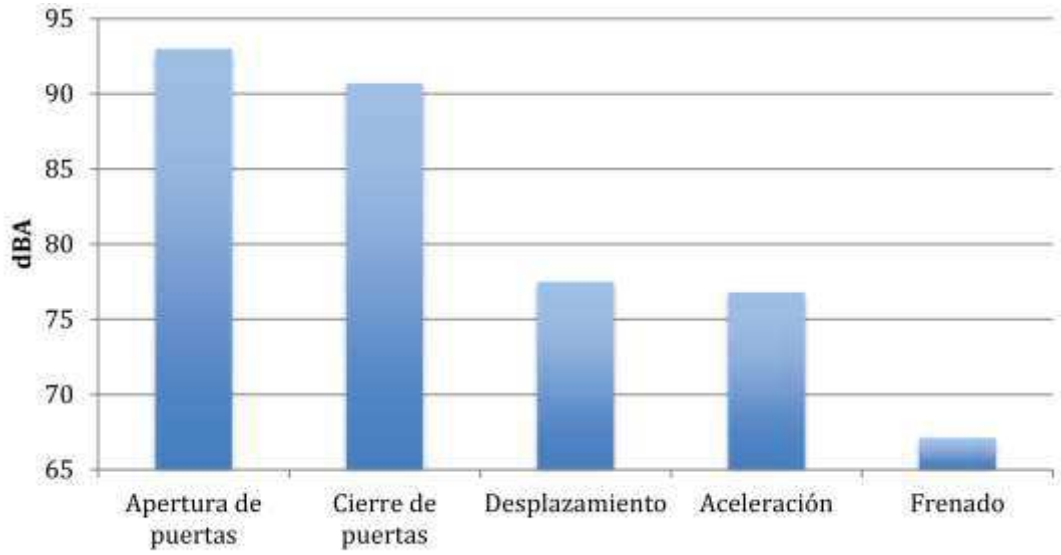


Figura 55. Orden jerárquico de los niveles generados por cada evento, Punto 3, Dinámico.

5.7 Megafonía para anuncios (E*)

Se decidió realizar una medición extra (E*), para determinar el nivel que aporta el sistema de megafonía. El sistema de megafonía incorporado al interior de los vehículos se encuentra distribuido uniformemente a lo largo de la unidad, el cual es utilizado, principalmente, para cumplir anuncios de rutina. Para la presente evaluación se ha tratado de incorporar los anuncios que se realizan en un ciclo de operación normal como: saludo inicial, anuncio de siguiente parada y cierre de puertas.

Como se aprecia en la figura 56, los tres anuncios registrados generan valores muy similares entre sí, cuyos niveles máximos se mantienen estables con valores aproximados de 80 dBA. La desviación entre las muestras es aproximadamente 2,0 dB. Errores de mayor amplitud fueron despreciados, puesto que son producto de los desfases naturales del conductor al momento de realizar los anuncios.

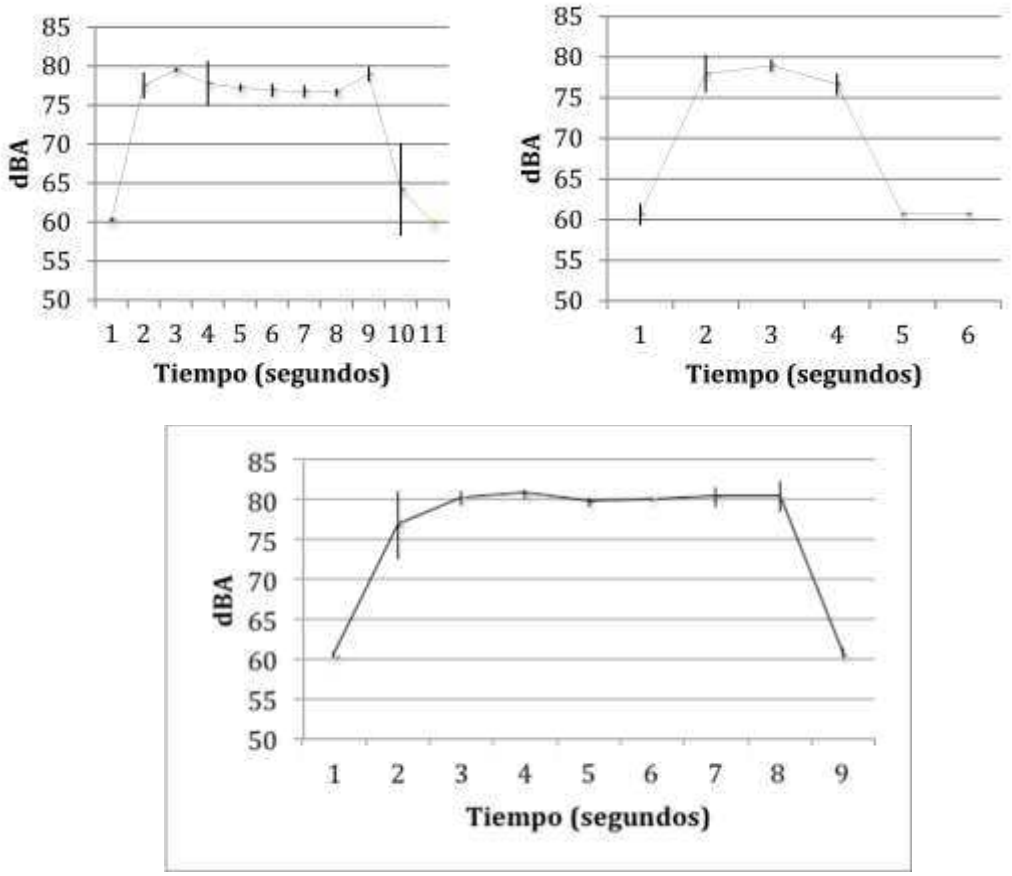


Figura 56. Promedio y variabilidad de los niveles generados por el sistema de megafonía

El contenido frecuencial del ruido emitido por los altavoces se encuentra concentrado en un rango de frecuencias que va desde los 315 Hz a los 2,5 kHz.

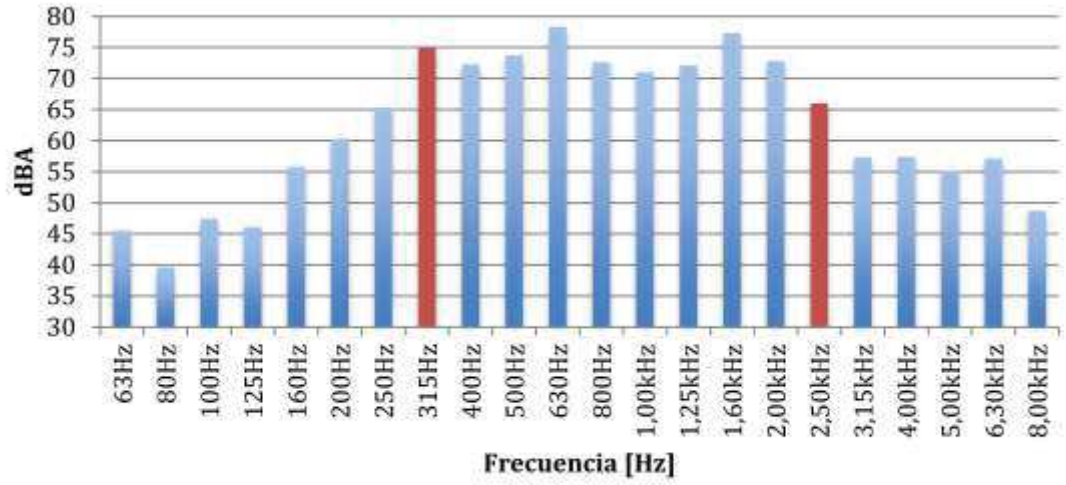


Figura 57. Espectro de frecuencias, Megafonía

5.8 Determinación de la exposición normalizada a 8 horas de trabajo. (Ensayo dinámico, Punto 1).

El ciclo de evaluación total tiene una duración de 235 segundos, los cuales se distribuyen de la siguiente forma:

- Motor: 170 segundos
- Apertura de puertas: 35 segundos
- Cierre de puertas: 30 segundos

1. MOTOR: Se ha considerado el ruido generado por el motor de tipo aleatorio, en donde actúan ocurren los siguientes eventos: aceleración, desplazamiento y frenado. Los cuales son tomados como un sub-ciclo y se determinó su LAeq,T1= 80,8 dBA.

2. APERTURA DE PUERTAS: Se consideraron todas las aperturas de puertas generadas en el ciclo completo y se obtuvieron 5 valores correspondientes al nivel equivalente (A): 77, 78, 78, 79, 78. Lo que origina un LAeq,T2= 78 dBA.

3. CIERRE DE PUERTAS: se obtuvieron 5 valores correspondientes al nivel equivalente (A): 81, 80, 82, 81, 81. Lo que origina un LAeq,T3= 81 dBA.

Mediante la aplicación de la (Ecuación 3)

$$LAeq,T = 10\log\left(\frac{1}{T}\right)\sum_i Ti.\,10^{0,1(LAeq,Ti)}$$

$$LAeq,T = 10\log\left(\frac{1}{235}\right)\left(170 * 10^{0,1(80,8)} + 35 * 10^{0,1(78)} + 30 * 10^{0,1(81)}\right)$$

$$LAeq,T = 80{,}5\ dBA.$$

Para después emplear la expresión (Ecuación 4)

$$LAeq,d = LAeq,T + 10log\left(\frac{T}{8}\right)$$

$$LAeq,d = 80{,}5 + 10log\left(\frac{6}{8}\right)$$

$$LAeq,d = \mathbf{79{,}2\ dBA}.$$

El cálculo de la exposición diaria tiene sentido calcularlo solo para el lugar en donde el chofer cumple su jornada de trabajo. De todas maneras, se utilizó el mismo procedimiento para calcular la exposición diaria en los puntos de medición 2 y 3 cuyos valores serán usados solamente como referencia.

Adicionalmente se tomó en cuenta la medición extra de megafonía para un nuevo cálculo de exposición en el punto 1, cuyo valor es ligeramente inferior con una diferencia de 0,4 dBA.

5.9 Dosis Diaria

Según la NHO-1, niveles de exposición inferiores a 80 dBA no deben ser cosiderados para el cálculo de la dosis. Es decir se puede optar por un cálculo

individual mediante los niveles equivalentes de cada evento, de los cuales solo el ruido del motor y cierre de puertas generan niveles sobre el criterio establecido, con 81 dBA cada uno.

Posterior a esto, se debe determinar el tiempo al que el conductor se expone a cada tipo de ruido durante su jornada laboral. Para lo cual se ha determinado un tiempo aproximado de 5 horas de exposición al ruido del motor y 1 hora de exposición al ruido de cierre de puertas.
Con esto, mediante la fórmula (Ecuación 5)

$$\text{DOSIS DIARIA} = \left(\frac{\text{C1}}{\text{T1}} + \frac{\text{C2}}{\text{T2}} + \frac{\text{C3}}{\text{T3}} + \cdots + \frac{\text{Cn}}{\text{Tn}}\right) * 100 \quad [\%]$$

$$= \left(\frac{5}{20{,}16} + \frac{1}{20{,}16}\right) * 100 \quad [\%]$$

$$\text{D} = \mathbf{29{,}8}\ \%$$

El valor obtenido se considera aceptable.

5.10 Interferencia de la palabra (SIL)

Como se detalla en el Capítulo 2, el parámetro SIL puede calcularse de dos formas. En este caso, conviene utilizar la segunda opción de cálculo, puesto que los registros por filtro de frecuencias contienen información general del ensayo, en donde es muy posible que las frecuencias correspondientes a la ecuación (6) contengan información focalizada en las fuentes con mayor nivel, pero de corta ocurrencia (puertas). Por lo tanto se tomarán en cuenta los niveles equivalentes generados individualmente: motor (desplazamiento, frenos y aceleración), apertura y cierre de puertas.

Las sitios de registro considerados para el presente cálculo serán el segundo y tercer punto, ya que son las zonas en donde se concentra el mayor número de pasajeros. Es decir, para los criterios de interferencia de la palabra, no se tomará en cuenta al conductor, puesto que por normas de la empresa de transporte, no están autorizados a hablar con los pasajeros.

SIL, (Punto 2)

Los niveles equivalentes correspondientes a cada evento son:

LAeq motor = 76 dBA.
LAeq apertura de puertas = 84 dBA.
LAeq cierre de puertas = 87 dBA.

Empleando la ecuación (Ecuación 7)

$$SIL1 = 76 - 7 = 69\ dBA$$
$$SIL2 = 84 - 7 = 77\ dBA$$
$$SIL3 = 87 - 7 = 80\ dBA$$

Finalmente, a partir de la ecuación (8) se puede despejar la distancia r para una comunicación a diferentes desempeños vocales K, según la tabla 2.

Voz normal K = 54 (Hombres)

$$r1 = 10^{-(\frac{15}{20})} = 0{,}178\ m = 17{,}8\ cm$$
$$r2 = 10^{-(\frac{23}{20})} = 0{,}070\ m = 7\ cm$$
$$r1 = 10^{-(\frac{26}{20})} = 0{,}050\ m = 5\ cm$$

El procedimiento se repite para el tercer punto, incluyendo todos los desempeños vocales hasta encontrar distancias aceptables encada circunstancia.

En las tablas 12 y 13 se observa un resumen de los cálculos de las distancias para cada desempeño vocal en los tres eventos evaluados.

Es notorio que en la mayoría de los casos, es necesario hablar *fuerte* y *muy fuerte* para mantener distancias cómodas al momento de una conversación. Los niveles relacionados con el desempeño vocal se muestran en la tabla 3.

Tabla 12. Comparación de distancias calculadas para los desempeños vocales K, Hombres, (Punto 2), (D).

K	**54**	**60**	**66**	**71**
Motor	17,8 cm	35,5 cm	70,8 cm	126 cm
Apertura de Puertas	7 cm	14 cm	28 cm	50 cm
Cierre de puertas	5 cm	10 cm	20 cm	35,5 cm

Tabla 13. Comparación de distancias calculadas para los desempeños vocales K, Mujeres, (Punto 2), (D).

K	**50**	**56**	**62**	**67**
Motor	11 cm	22 cm	44,7 cm	79 cm
Apertura de Puertas	4 cm	9 cm	17,8 cm	32 cm
Cierre de puertas	3 cm	6 cm	12,6 cm	22 cm

De igual manera, las tablas 14 y 15 muestran los cálculos realizados para el punto 3.

Tabla 14. Comparación de distancias calculadas para los desempeños vocales K, Hombres, (Punto 3), (D).

K	**54**	**60**	**66**	**71**
Motor	22 cm	45 cm	89 cm	158 cm
Apertura de Puertas	5 cm	10 cm	20 cm	35 cm
Cierre de puertas	6 cm	13 cm	25 cm	45 cm

Tabla 15. Comparación de distancias calculadas para los desempeños vocales K, Mujeres, (Punto 3), (D).

K	**50**	**56**	**62**	**67**
Motor	14 cm	28 cm	56 cm	100 cm
Apertura de Puertas	3 cm	6 cm	13 cm	22 cm
Cierre de puertas	4 cm	8 cm	16 cm	28 cm

5.11 Ensayo dinámico en la ruta de operación

Con fines comparativos, se realizaron 10 mediciones extras, las que se cumplieron en una ruta de circulación normal de la Ecovía. Los buses fueron seleccionados aleatoriamente, los mismos que recorrieron exactamente las mismas distancias. La ruta seleccionada consta desde que el bus parte de la primera estación (Rio Coca), hasta alcanzar las tres paradas siguientes: Jipijapa, Sauces y 24 de Mayo. Es decir se obtuvo un registro continuo de aproximadamente 7 minutos.

Cada recorrido se realizó bajo condiciones de flujo de pasajeros controlada, es decir, se limitó la cantidad de pasajeros presentes en cada vehículo.

El horario escogido fue de 10h00 - 11h00 am.

Debido a la complejidad de evaluar, de acuerdo a los procedimientos, un vehículo lleno de gente, se realizaron las mediciones únicamente en el primer punto. Donde se podrán comparar los niveles de exposición diaria con respecto a los ensayos sin gente.

A pesar de haber elegido un horario en donde se presume que no existe mayor flujo de gente, las primeras tomas de prueba fueron complicadas. Razón por la cual se decidió optar por regular el flujo de pasajeros mediante el reajuste del tiempo de salida entre buses a 60 segundos.

En este ensayo se presentan diversos factores que influyen en la generación de ruido dentro de las unidades, como apertura de ventanas, tráfico, pitos, semáforos, gente, música, vendedores ambulantes, entre otros.

En la figura 58 se observa el nivel promedio en el tiempo de los 10 registros con su respectiva variabilidad. Se observan desviaciones que van desde los 2 dBA hasta los 8 dBA, de los cuales se conservan variaciones de ±5 a ±6 dBA la mayor parte del tiempo.

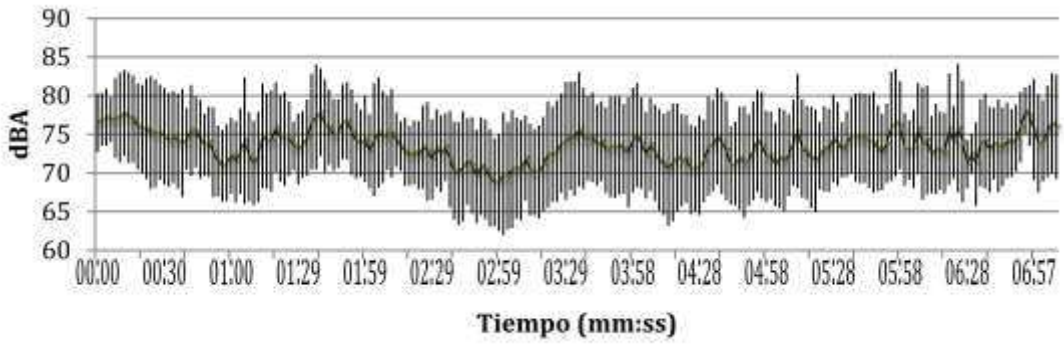


Figura 58. Promedio y variabilidad de las diez muestras del ensayo con gente

Los valores picos más distintivos presentan valores de 75 dBA, 77 dBA y 78 dBA, considerando la variabilidad aproximada de 6 dBA, con lo que se pueden alcanzar niveles promedio de hasta 85 dBA.

Con la información recolectada se calcularon los niveles de exposición diaria con un rango que va desde los 73 dBA a 78 dBA.

5.11.1 Analogía

Se puede observar que el registro en el tiempo, no tiene coherencia con respecto a lo analizado bajo condiciones controladas. En estos casos es mucho más complicado hacer coincidir los diferentes eventos y por lo tanto

identificarlos individualmente. Sin embargo, se pueden estimar analogías entre los niveles mínimos y máximos presentados en la figura 58, de la siguiente manera.

5.11.1.1 Niveles mínimos

La generación de los niveles más bajos, durante el ensayo bajo condiciones controladas, son los correspondientes al *Frenado* y su posterior lapso en *Ralentí* con 75 y 66 dBA, respectivamente.

Análogamente, los niveles mínimos generados durante el recorrido con gente, mantienen un promedio de 68 y 70 dBA, los mismos que al ser comparados con los anteriores, difieren con niveles menores a 6 dBA. Por lo tanto, se podría decir que dichos niveles corresponden a los eventos mencionado inicialmente.

5.11.1.2 Niveles máximos

La generación de los niveles más altos, durante el ensayo bajo condiciones controladas, son los correspondientes al *Cierre de puertas* y su posterior intervalo de *Aceleración* con 87,8 y 84 dBA, respectivamente.

Análogamente, los niveles máximos generados durante el recorrido con gente, mantienen un promedio entre 77 y 78 dBA, los mismos que al ser comparados con los anteriores, difieren con niveles inferiores de hasta 10 dBA. A dicha diferencia se puede sumar la desviación de ±6 dBA, que se produce por la irregularidad de ocurrencias, obteniendo niveles de hasta 84 dBA.

Por lo tanto, se podría decir que dichos niveles corresponden a los eventos mencionado inicialmente, a pesar de que se presentar mayores diferencias.

5.12 Percepción de molestia en los pasajeros

La única manera de conocer el nivel de molesta percibido por los pasajeros es mediante entrevistas personales o encuestas. (Véase anexo 3) Debido a la gran cantidad de personas que utilizan la Ecovía, el universo de estudio se centra en los 10 vehículos utilizados para el ensayo con gente. Donde se consideraron solo las personas que van sentadas, en total 420 pasajeros. A partir del cual se calcula una muestra de 120 para un nivel de confianza del 99% y un error de estimación del 10%. Por lo tanto, las encuestas realizadas fueron enfocadas a 120 personas que utilizaron los vehículos mencionados.

Los resultados generales se muestran en las figuras 59, 60, 61 y 62.

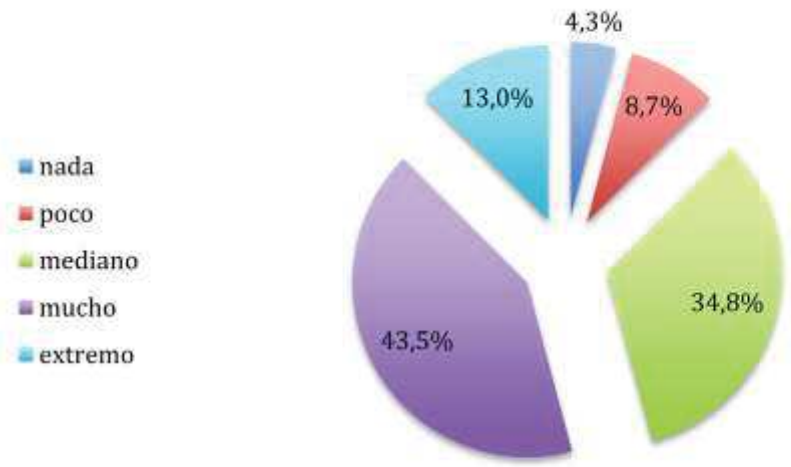


Figura 59. Molestia percibida por el ruido que genera la gente

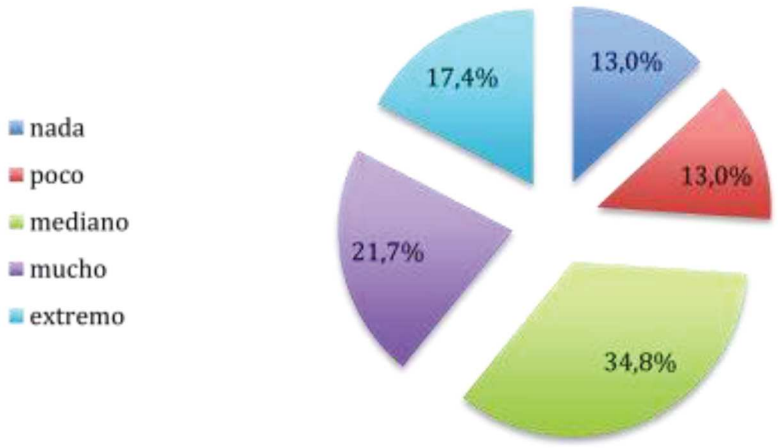


Figura 60. Molesta percibida por el ruido que generan las puertas

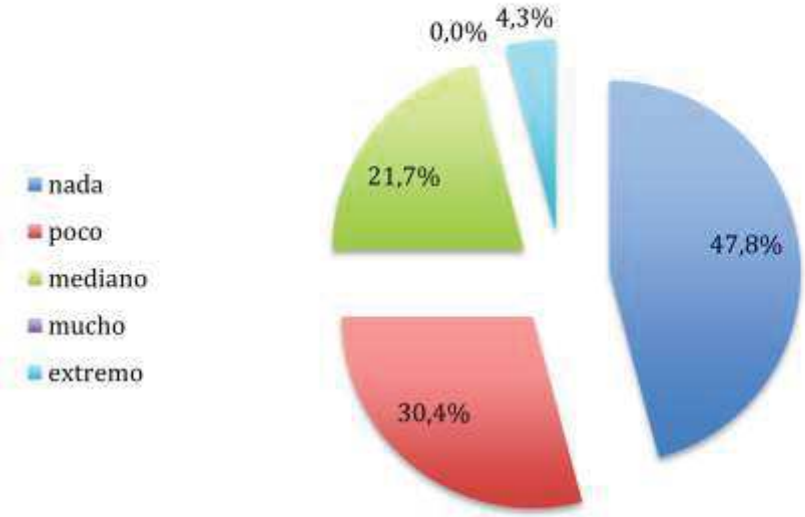


Figura 61. Molestia percibida por el ruido que genera el motor

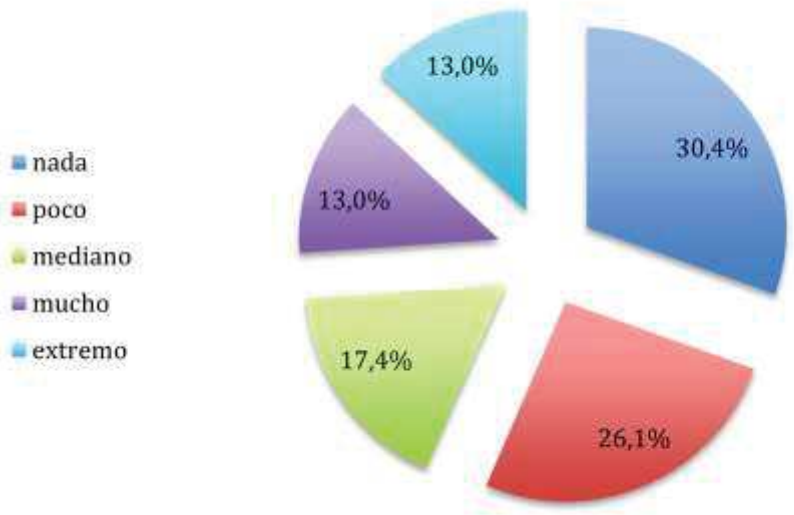


Figura 62. Molestia percibida por el ruido que genera el exterior.

Se puede apreciar que los pasajeros perciben mayor molestia al ruido generado por la gente (43,5% de los encuestados) y, en segunda instancia, por el ruido de las puertas (34,8% de los encuestados).

El ruido generado por el exterior y el motor, no presentan mayor influencia sobre los pasajeros, puesto que los resultados proyectan que no se consideran molestias o en algunos casos poca molesta.

Cabe mencionar que el 65 % de los encuestados se encuentran entre los 19 y 29 años de edad siendo el 60% son hombres, mientras que el 40% son mujeres. Además el 35% de encuestados utilizan el medio de transporte durante los 5 días de la semana, mientras que el 30% lo utiliza de 3 a 4 días a la semana.

5.12.1 Estimación de la reacción de la comunidad

El presente cálculo se realiza en base el criterio de Stevens et al., 1955, en donde se utiliza una tabla de correcciones en base a bandas de frecuencia a determinados niveles. Así, será posible solamente estimar las reacciones generadas por el ruido de las puertas, ya que no se tiene información individual del ruido generado por la gente.

La tabla 16 muestras los índices correspondientes a la respuesta de la comunidad por el ruido de puertas.

Tabla 16. Índices de reacción de la comunidad por banda de frecuencia, Ruido de puertas.

Hz	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Corrección	0	25	45	55	67	60	69	67

A continuación se debe tomar el mayor índice como base del cálculo, en este caso es 69. Mediante la Ecuación (9) más las correcciones de la tabla 5, se tiene:

(Ecuación 9)

$$LCNR = No + CF$$

$$LCNR = 69 + (-10) = \mathbf{59}$$

Donde:

CF se considera de la siguiente manera

Tabla 17. Correcciones

10-60 Repeticiones	-5
Diurno	-10
Impulsos	5
Temporada	0
Zona	0

El valor de LCNR, se debe estimar en base a la tabla 6, donde se considera una reacción con "*amenazas de acción legal*".

Hay que tener en cuenta que el método de estimación utilizado, fue desarrollado para uso de ruido medioambiental a exteriores.

5.13 Diagnóstico

Una vez realizado el análisis y descripción de los resultados, es preciso calificar la contribución de la metodología con respecto a la información obtenida. Para esto, será necesario evaluar el aporte de cada uno de los ensayos y pruebas realizadas.

Los resultados obtenidos son lo suficientemente claros y concisos como para describir un comportamiento y una correspondencia entre la producción de ruido y el impacto acústico dentro de la Ecovía. Para esto, es importante valorar el estudio en base a parámetros y normativas tanto nacionales como internacionales que se mencionan en al Capítulo III.

Resulta interesante ver como el análisis independiente de cada evento puede recopilarse, para generar una representación general del comportamiento acústico del vehículo, aproximándose bastante a la información obtenida en un recorrido real.

El nivel de exposición sonora calculado no supera el criterio de los 85 dBA adoptado por las normativas reguladoras brasileñas NR-15 y NOH-01, y el Decreto 2393 del Ecuador. (Véase tabla 8). Dichos criterios califican como aceptable una exposición continua a los niveles obtenidos. De la misma manera la dosis de ruido calculada es baja y no se consideran acciones requeridas.

Por otro lado, el Real Decreto 286 dispone los 80 dBA como valor inferior de exposición, para dar lugar a una acción. De manera que, el nivel de exposición obtenido en la sección 5.8, se puede tomar en cuenta para empezar a tomar acciones.

Es importante mencionar que los niveles de exposición diaria obtenidos son muy similares a los presentados en estudios anteriores, como los realizados en Curitiba, Brasil, donde el Dr. Paulo Zannin obtuvo niveles entre 73,8 y 79 dBA, para buses bi-articulados, mientras que posteriores estudios publican valores entre 77 y 79,6 dBA para buses **articulados**.

Los ensayos realizados con gente generan niveles de exposición diaria que van desde los 73 a los 78 dBA. Los que tampoco tienen mayor discrepancia con los resultados obtenidos en estudios similares, con buses articulados, por Bruno Portela y Paulo Zannin. **Ref** De la misma manera, el valor superior está muy cerca del valor generado por el ensayo bajo condiciones controladas, apenas difieren con 1 dBA. Todos los niveles se siguen manteniendo por debajo de los 85 dB.

Los conductores se encuentran sometidos a niveles de exposición sonora sobre los 65 y 70 dBA durante largos períodos de tiempo, lo cual, según la legislación NR-17 (Brasil) y el Decreto 2393 (Ecuador), se consideran inaceptables para una actividad que demanda concentración, y por lo tanto se lo califica como un ambiente laboral no confortable.

Si se comparan los límites estipulados por el Decreto 129, los niveles máximos instantáneos generados al interior de los buses, durante un ensayo estacionario, no pueden superar los 85 dBA. Criterio que se lo supera la mayor parte del tiempo si se consideran los niveles emitidos por el ruido de las puertas, los que van desde los 86 dBA hasta 93 dBA.
De la misma manera, durante el ensayo dinámico se fija como límite máximo los 81 dBA, donde se producen niveles constantes para la emisión de las

puertas, y niveles que van desde los 83 dBA hasta los 84 dBA correspondientes al ruido del motor (aceleración y desplazamiento), es decir, se incumple el criterio.

La distancia eficiente entre pasajeros fue calculada en función al SIL conforme a lo estipulado en la sección **(1).** Las distancias efectivas se muestran en las tablas 12, 13, 14 y 15, y ponen a consideración dos circunstancias. La primera, es que a causa de la interferencia del ruido de fondo, se pueden considerar las distancias calculadas. Sin embargo pueden resultar demasiado incomodas, por lo que convendría tomar la segunda consideración, que sugiere subir el nivel de la voz.

La molestia generada en los pasajeros muestra una orientación de "extremadamente molesto" hacia el ruido generado por la gente, puesto que esto viene acompañado de un sin número de factores influyentes y tan variables como: vendedores ambulantes, horas pico, celulares, música, peleas, entre otros. En segunda instancia, se encuentra el ruido generado por las puertas, que, según la encuesta, se lo califica como "medianamente molesto a muy molesto".

Aquí se evidencia que a pesar de que el ruido de puertas produce niveles instantáneos considerables, la repetitividad de los eventos los hace menos influyente, y en cierto modo, la gente se logra a acostumbrar. Razón por la cual no se llegan a tomar acciones como la calculada en el apartado 6.12.1.

Por otro lado, los pasajeros adoptan una predisposición correspondiente a la exposición ante los ruidos característicos de los buses, es decir, saben y están preparados para introducirse en dicho entorno.

CAPÍTULO VI

6. Análisis Económico

6.1 Gastos de la investigación

Para la el desarrollo de la presente investigación, la mayor inversión temporal y económica se generó durante la planificación de la metodología. Formalidades como oficios, llamadas y reuniones, fueron necesarias para conseguir las autorizaciones correspondientes para el desarrollo del proyecto.

No se consideran instrumentos de medición, normativas ISO y conos, ya que fueron facilitados, sin ningún costo por colaboración del Ing. Miguel Chávez, INEN y FAE, respectivamente.

Puesto que no se realizaron mayores gastos, no es necesario tabular lo antes mencionado, ya que en su mayoría fueron gastos administrativos con un total de $ 45 dólares americanos.

Como se mencionó, antes y durante la planificación de la metodología, fueron necesarias una serie de autorizaciones, las que se notificaban por medio de oficios al Gerente General de la EMTPQ. Entre los documentos constan: factibilidad de realización de proyecto, autorización al acceso de información (x2), autorización para ejecución de investigación, convenio de intercambio de información, autorización de traslado de vehículo al ex-aeropuerto Mariscal Sucre.

Durante cada etapa eran necesarias entrevistas y confirmaciones de aprobación de las respectivas autorizaciones. Para lo cual se utilizaron llamadas y transporte continuo.

Una vez desarrollada la metodología, se diseñaron *hojas de ruta* para el control de cada medición. Las cuales registraron cada una de las 50 memorias.

En honor al tiempo y fluidez de la metodología, se compraron 2 set de baterías, en caso de que el sonómetro llegue a apagarse.

Finalmente, de no haber tenido la colaboración de las personas e instituciones mencionadas, los costos de planificación y ejecución del proyecto serían mayores.

CAPÍTULO VII

7. PROYECCIONES

- El presente proyecto enfoca la investigación solamente en buses de la línea roja del sistema integrado Ecovía. De los cuales se han evaluado 11 unidades: una bajo condiciones controladas y diez en ruta. Por lo que para investigaciones futuras se puede ampliar la cantidad de buses evaluados, e incluso, incluir varios tipos de buses.

- Entre las proyecciones de mayor importancia, se espera que se pueda utilizar la presente investigación para el desarrollo de metodologías específicas que se puedan aplicar a diferentes sectores de la industria del transporte público.

- Es importante mencionar que el país no posee decretos específicos con respecto al impacto acústico al interior de los buses. Se puede considerar la presente investigación como cimiento de futuros decretos o criterios de evaluación, para uso de empresas públicas o privadas.

- Utilizando los antecedentes del presente estudio, se puede implementar un proyecto para el diseño de un dispositivo silenciador para las válvulas de las puertas.

CAPÍTULO VIII

8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

8.1 Conclusiones

- Realizar todas las mediciones fue una labor que requirió de mucho tiempo y planificación, ya que se debían cumplir con condiciones específicas como elección de pista de ensayo y las respectivas autorizaciones de uso y movilización. De modo que, la recolección de datos dependió, también, de la disponibilidad y apertura otorgada por las empresas implicadas.

- Se puede diferenciar la fuerza de la apertura y se cierre de puertas en las dos circunstancias, vehículo apagado y en ralentí. Siendo ralentí el que genera mayor nivel en todos los registros. Esto se debe a que el funcionamiento de las válvulas requieren un proceso de carga de aire, siendo éste mayor al encontrarse el vehículo encendido.

- En los puntos 2 y 3 predomina el ruido generado por la apertura y cierre de puertas, mientras que en el primer punto, el ruido del motor mantiene niveles similares a los generados por el ruido de puertas.

- El proceso de frenado, en ninguno de los casos muestra un aporte significativo al ruido generado por el motor, al contrario, presenta un decaimiento global inmediato al desplazamiento.

- Los resultados confirman que la fuente generadora de los niveles más altos de ruido, para el chofer, es el motor; considerando una exposición normalizada a 8 horas de trabajo. Sin embargo, las rampas de las puertas son capaces de generar niveles instantáneos superiores a los ruidos del motor.

- Los criterios tomados por el Decreto 129, no consideran el ruido de las puertas para el planteamiento de dicha metodología, por lo que **no** se puede decir que el ruido de las puertas cumplen o no cumplen con dicho reglamento. Sin embargo, los niveles generados son considerablemente altos en relación al criterio de interiores.
  Asimismo, el ensayo dinámico, de la presente investigación, genera niveles máximos instantáneos del ruido del motor, que superan el límite establecido por el Decreto.

- Gracias a que las condiciones de medición fueron ideales, se pudieron obtener valores y gráficas que describen visualmente el comportamiento de cada ciclo evaluado, cuya información es bastante fiable.

- El poder analizar los eventos generadores de ruido por separado, permite evaluar sonoramente dichos puntos en diferentes circunstancias para luego permitir que sean comparados.

- Durante todo el estudio se ha usado el filtro de ponderación A, en donde se corrigen las de frecuencias graves, las que tienden a atenuarse. Aun así, se logran registrar valores elevados, especialmente en las bandas de 25 Hz, 50 Hz y 200 Hz, durante los ensayos en ralentí y desplazamientos dinámicos.

- La tabla 8 incluye los límites **máximos** permitidos de exposición diría. Consecuentemente, el que no se alcancen los valores descritos, no quiere decir que los niveles generados dentro de la Ecovía sean seguros. Es evidente que no se puede realizar un análisis de un ambiente de trabajo tan complejo con una sola normativa o decreto. El hecho de que no se supere el criterio de los 85 dB, no quiere decir que no puedan existir problemas posteriores por estar expuestos 8 horas diarias y durante todo el año, a un lugar de trabajo considerado como no confortable. Se debe tener cuidado con los efectos sobre la salud.

- Aunque se esperaban niveles superiores de exposición, se debe considerar que el estudio en su mayoría se realizó sin la influencia de factores externos, es decir, gente, tráfico, clima, imperfecciones del asfalto, entro otros. Así, se podrían obtener niveles con mayor incidencia.

- Durante el ensayo con gente, se esperaba poder identificar un patrón de conducta de cada fuente de ruido, pero se desencadena un comportamiento impredecible y nada claro durante el tiempo de registro. Sin embargo, se logran obtener valores similares a los generados por el ensayo dinámico bajo condiciones controladas. Lo que comprueba que la metodología desarrollada es lo suficientemente precisa como para describir la exposición diaria y los niveles de ruido generados.

- Hay que tomar en cuenta que las condiciones en las que se realiza el ensayo con gente, no es ideal, de ahí su variabilidad. Por estas razones, se supone que el nivel de exposición diaria es menor ya que la gente podría aportar gran absorción a determinadas bandas de frecuencia. De todas maneras las diferencias son mínimas al momento de comparar sus respectivos valores.

- Estudios anteriores han demostrado que se pueden obtener valores similares si se realiza la medición durante: las 8 horas de trabajo, todo un recorrido, cinco minutos de recorrido y finalmente, en el presente trabajo, un ensayo dinámico de aproximadamente tres minutos.

- El hecho de ser un vehículo ecológico, permite que sean menores los problemas identificados, sin embargo los niveles registrados proyectan el mal estado de los mismos. Es de conocimiento público, que el uso de combustible de muy mala calidad y la antigüedad de las unidades son los principales factores que contribuyen al deterioro de la misma.

- Tomar en cuenta que el ruido emitido por el motor puede variar en función de la carga o cantidad de pasajeros. En horas pico se pueden generar niveles de presión de un motor forzado.

- La comunicación dentro de los vehículos se considera incómoda puesto que para emplear un desempeño vocal normal, se necesitan distancias extremadamente cortas. La única opción es subir la voz, lo que implica un aumento de la potencia sonora emitida más un aumento de frecuencia.

- La gente evidencia una molestia ante el ruido de las puertas, que en el presente estudio se lo califica como elevado. Pese a esto, no se torna extremadamente molesto, debido a que la gente se acopla a la repetitividad de los sonidos. No así a ruido variable e impredecible de la gente.

- Finalmente, se puede decir que la hipótesis planteada para la presente investigación es falsa. Puesto que los niveles generados por el vehículo no se perciben molestos. Pero por otro lado se comprueba que los niveles generados no son los apropiados y que si pueden ocasionar daños en un determinado plazo.

8.2 Recomendaciones

- A pesar que los niveles de exposición son bajos, se pueden llegar a tener niveles instantáneos de muy alto impacto, lo que resulta molesto y una distracción para el conductor. Se recomienda tomar medidas para que las puertas puedan mantener un desempeño correcto, es decir, que las válvulas de éstas, funcionen de manera óptima, con la regulación de aire correcta y con sus silenciadores instalados.

- El chofer podría exponerse a menores niveles de ruido si tan solo se realizara el control de ruido sobre el ventilador ubicado en el panel de control.

- Según el Decreto 286, para niveles de exposición entre los 80 dBA, que son los niveles obtenidos en el presente estudio, se aplicará control médico al menos cada 5 años (Audiometrías).

- Puesto que las unidades antiguas son las emisoras de los niveles de ruido estudiados, se recomienda realizar rotaciones de puestos de trabajo, con el fin de disminuir la exposición de los trabajadores a determinados ruidos.

- El presente estudio se enfocó a un solo medio de transporte, el cual es catalogado como ecológico, y aun así, se consideran niveles de inconformidad con respecto al confort acústico en el lugar de trabajo. Se recomienda profundizar la investigación a otros tipos de unidades, por ejemplo, los buses alimentadores o urbanos (no ecológicos), de los que se podrían obtener resultados interesantes.

- Se recomiendan realizar estudios más detallados con el uso adicional de instrumentos de medida capaces de proyectar valores más reales, por ejemplo, dosímetro, audiometrías, acelerómetro, entre otros. La metodología se limitó al uso de un solo sonómetro y la elección de tres

puntos. Se pueden optimizar tiempo y resultados si se dispone de mayores herramientas.

- Se pueden considerar futuras investigaciones enfocadas a la evaluación de la exposición a vibraciones y bajas frecuencias dentro de los vehículos.

- Se recomienda conservar el criterio del ensayo bajo condiciones controladas, puesto que facilita la individualización y caracterización de las fuentes de ruido. Lo que permite obtener niveles relacionados exclusivamente con el interior del autobús.

- Se podrían realizar estudios adicionales que permitan evaluar la influencia del ruido de tráfico al interior de los buses.

- Se podría implementar un estudio relacionado al aporte de las estaciones (paradas), al nivel de ruido generado por el vehículo.

REFERENCIAS

Carrión, A. (1998). *Diseño Acústico de espacios Arquitectónicos*. Barcelona, España: Universidad Politécnica de Catalunya.

Ewans, GW. y Johansoon, G. (1998).*Urban bus driving: an international area for the study of occupational health psychology*. J Occup Health Psych.

Fernandez, JM. (2013). *Neumática Básica*. Recuperado el 3 de Marzo de 2013 de http://www.euskalnet.net/j.m.f.b./neunatica.htm

Harris, C. (1995). Manual de Medidas Acústicas y Control de Ruido. España: Mc Graw Hill.

Miyara, F. (1999). *Control de Ruido*. Rosario, Argentina: Universidad Nacional de Rosario.

Miyara, F. (2006). *Acústica y Sistemas de Sonido*. Rosario, Argentina: Universidad Nacional de Rosario

Nadri, F., Monazzam, MR., Khanjani, N., Ghotbi, MR., Rajabizade, A. y Nadri H. (2011). *An Invetigation on Occupational Noise Exposure in Kerman Metropolitan Bus Drivers*. Int j Oc Hyg. Kerman. Iran.

OMS Organización Mundial Para la Salud, (2000). *Transporte, ambiente y salud*. Copenhague.

OMS Organización Mundial Para la Salud, (2011). *Burden of disease from environmental noise*.

OMS Organización Mundial Para la Salud, (1999), "*Guidelines for community noise*", Ginebra.

Portela, BS. y Zannin PHT. (2010). *Analysis of factors that influence noise levels inside urban buses*. J Sci Ind Res; 2010 69:684-7

Randall, F. Barron, Ruston, Louisiana, U.S.A (2001) - Lazarus (1987)

Zannin, PHT. (2006). *Ocupational noise in urban buses*. Intl J Ind Ergon, 36 2006 901 – 905. Curitiba. Brazil.

Zannin, PHT., Diniz, FB., Giovanini, C., Ferreira, JAC. (2003*). Interior noise profiles of buses in Curitiba*. Transportation Research Part D 2003 8: 243-7.

ANEXOS

Anexo 1. Fotografías de los ensayos.

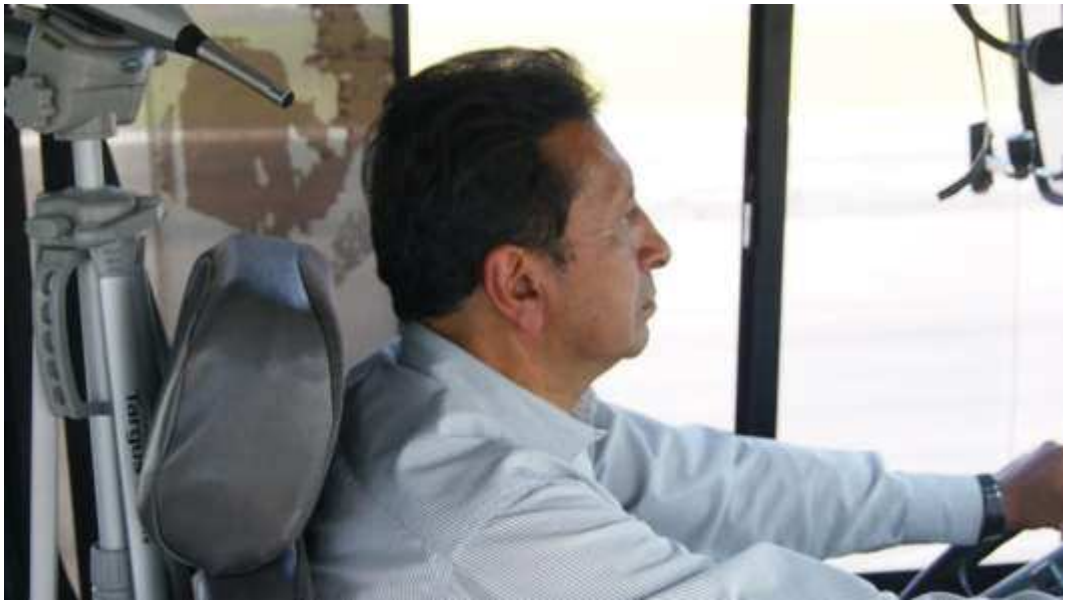


Figura 63. Punto de medición 1

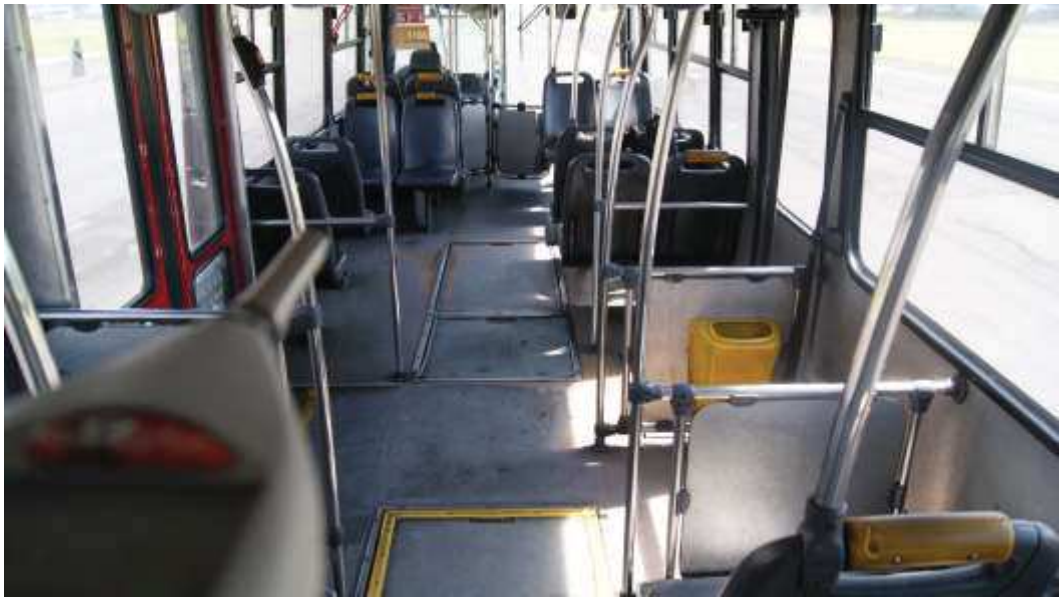


Figura 64. Punto de medición 2

Figura 65. Punto de medición 3

Figura 66. Fuente de ruido, Ventilador

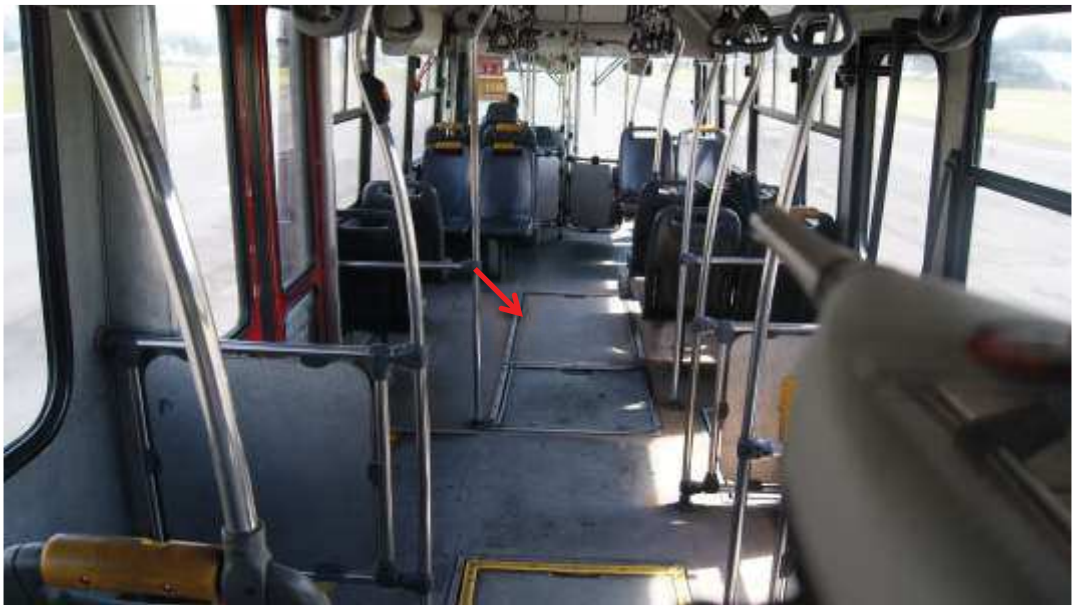


Figura 67. Fuente de ruido, Motor

Figura 68. Fuente de ruido, Válvulas de puertas

Figura 69. Pista de ensayo

Figura 70. Vehículo y pista de ensayo

Figura 71. Vehículo y pista de ensayo

Figura 72. Conductor e Investigador

Figura 73. Investigador

Anexo 2. Gráficas

2.1. Ruido de fondo

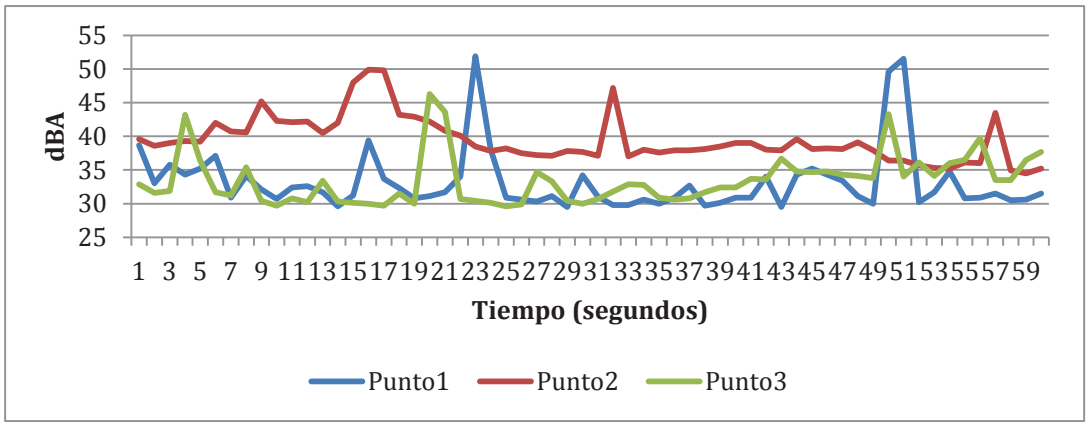


Figura 74. Comparación del ruido de fondo en los tres puntos de medición

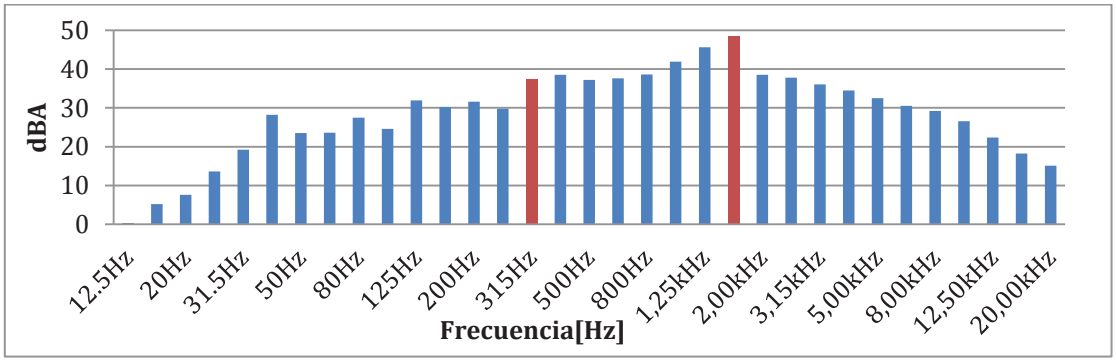


Figura 75. Espectro de frecuencias del ruido de fondo

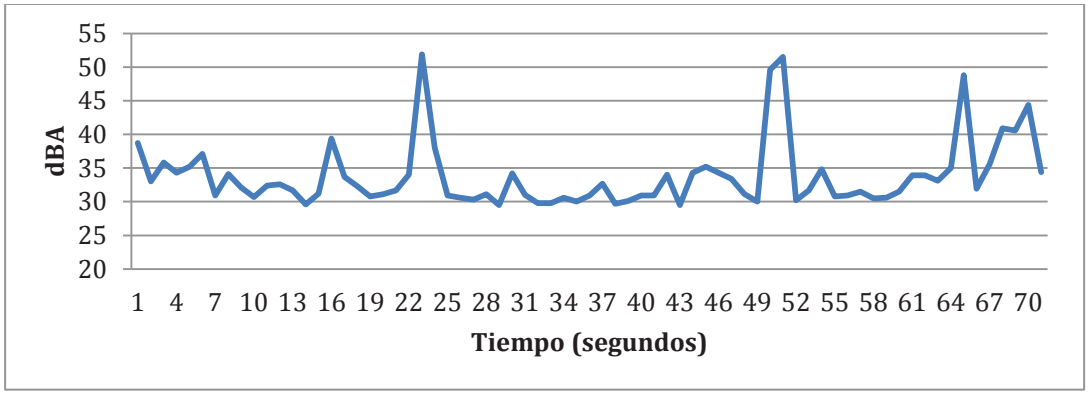


Figura 76. Ruido de fondo, Punto1

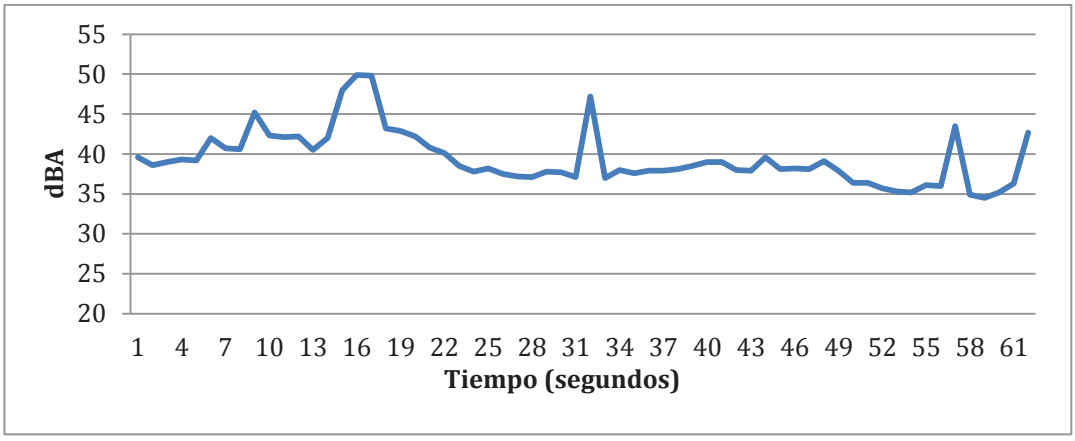


Figura 77. Ruido de fondo, Punto 2

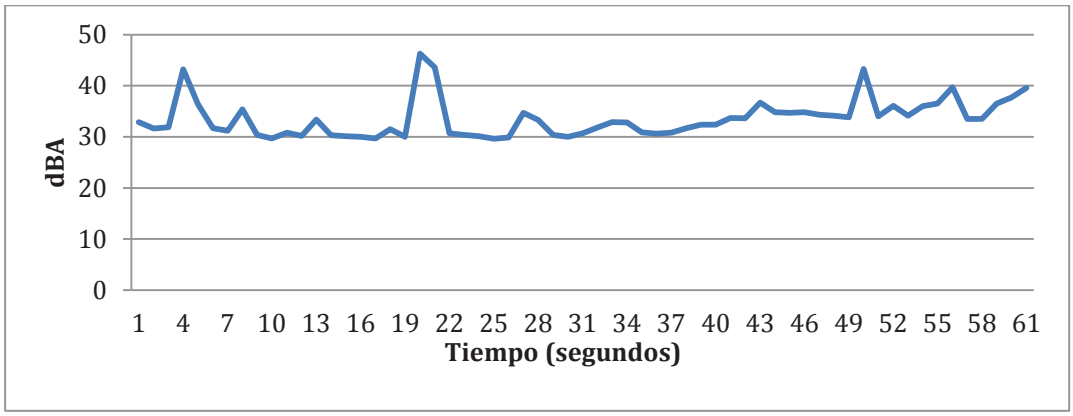


Figura 78. Ruido de fondo, Punto 3

2.2. Ralentí

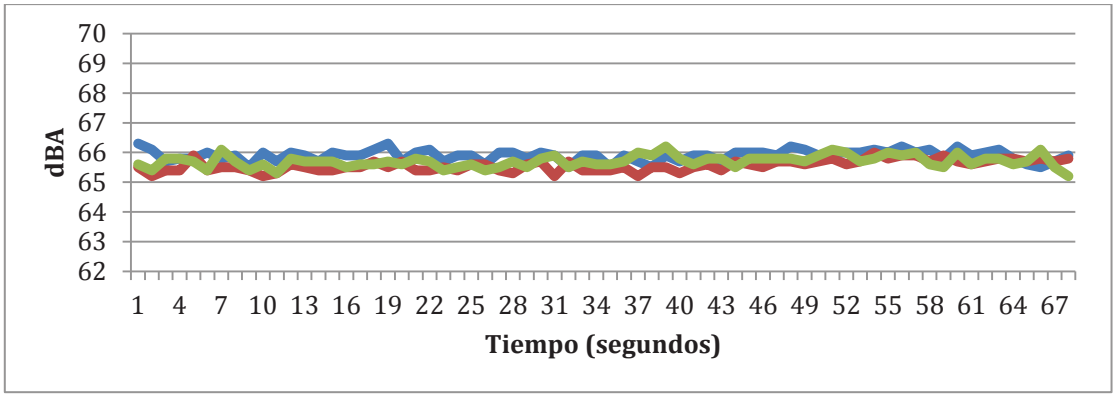


Figura 79. Comparación de tres muestras del ruido de motor en Ralentí, Punto 1

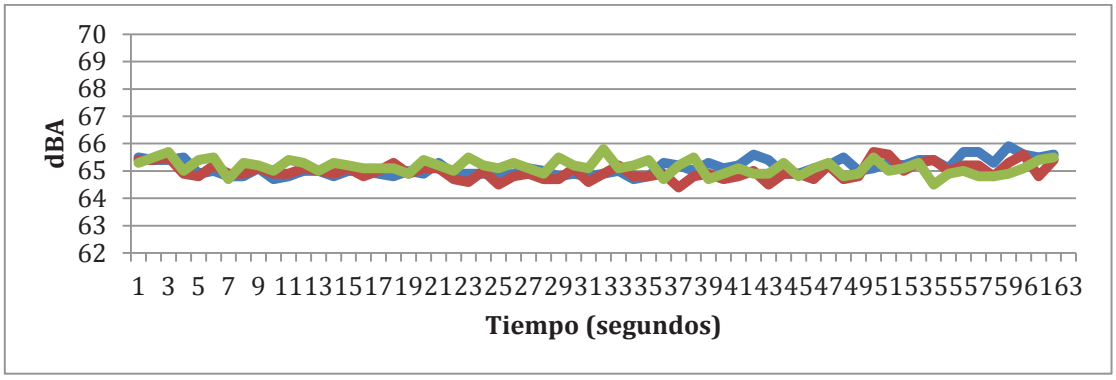


Figura 80. Comparación de tres muestras del ruido de motor en Ralentí, Punto 2

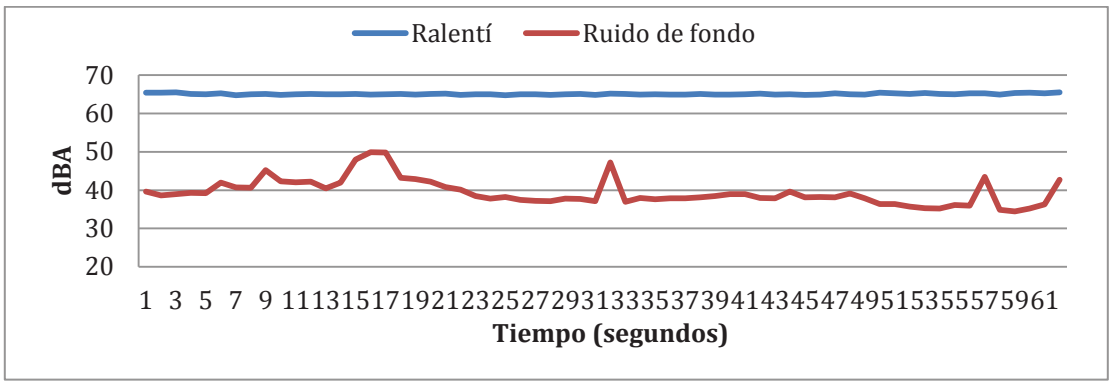


Figura 81. Ruido de fondo mas Ralentí, Punto 2

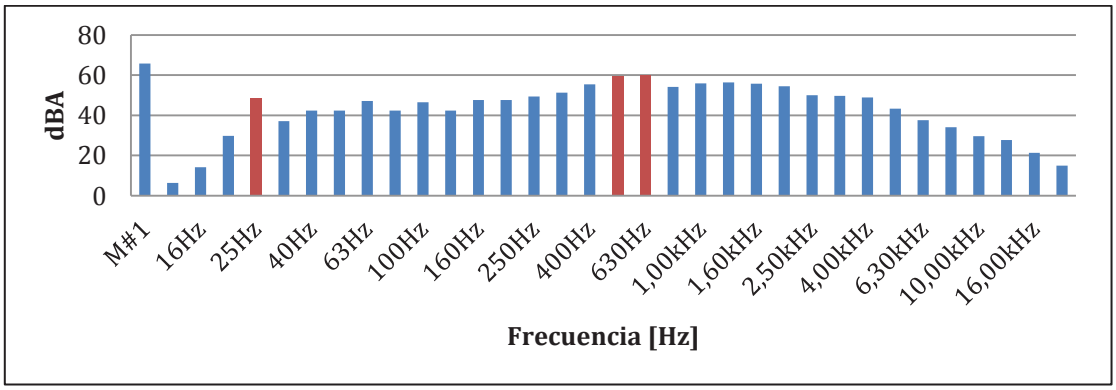


Figura 82. Espectro de frecuencias del ruido de motor en Ralentí, Punto 2

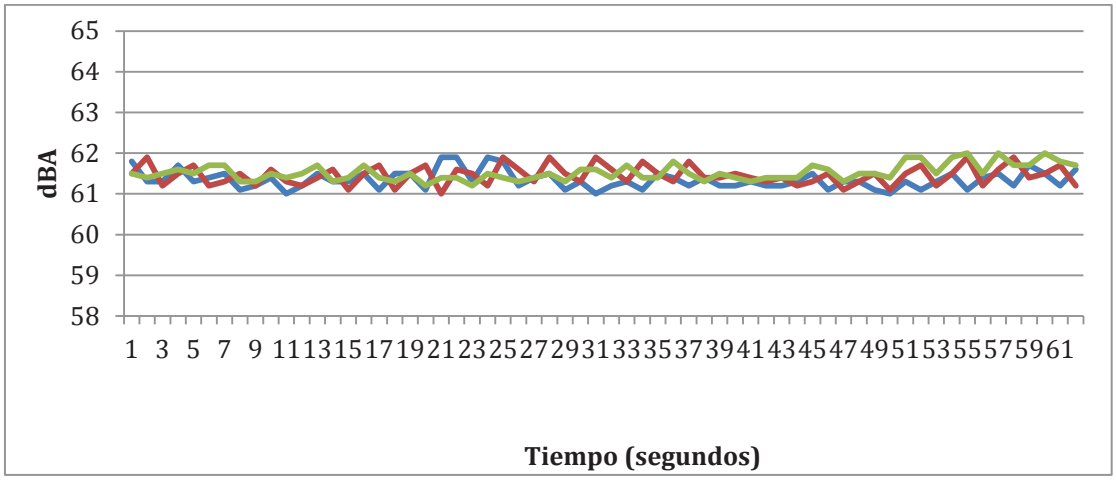


Figura 83. Comparación de tres muestras del ruido de motor en Ralentí, Punto 3

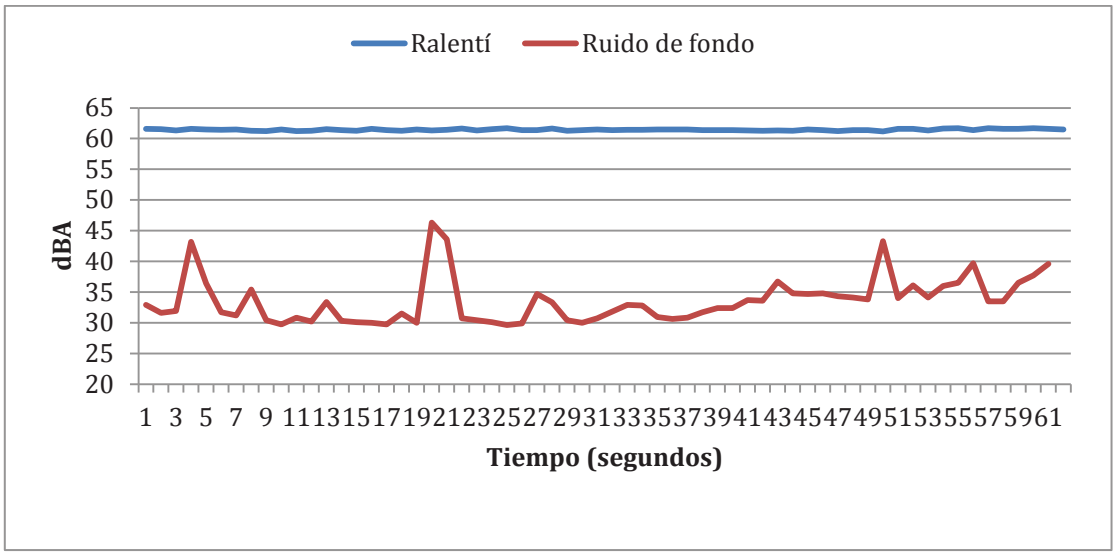


Figura 84. Espectro de frecuencias del ruido de motor en Ralentí, Putno 3

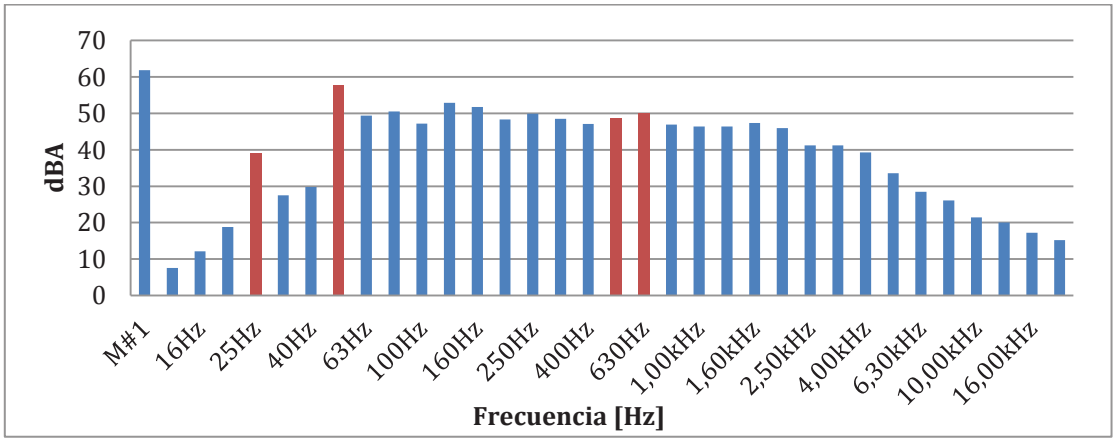


Figura 85. Espectro de frecuencias del ruido de motor en Ralentí, Punto 3

2.3 Puertas, vehículo apagado

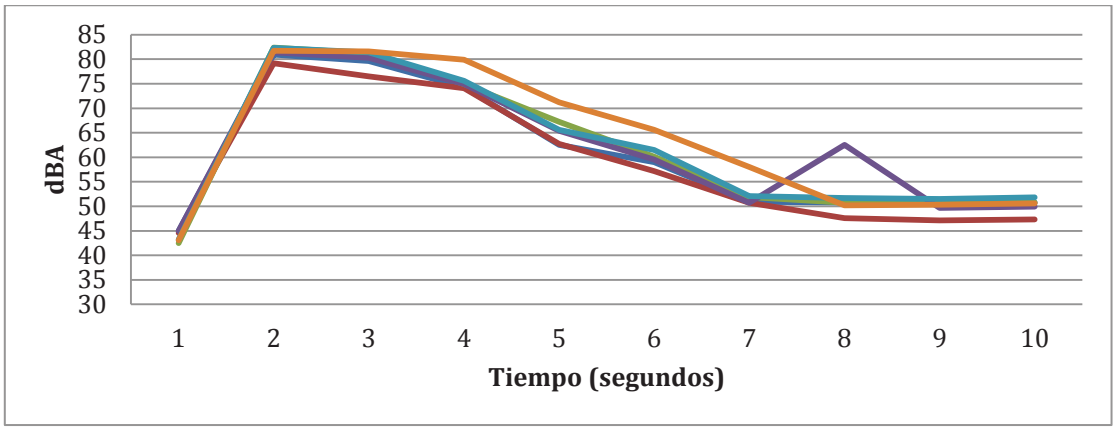


Figura 86. Comparación de seis muestras del ruido de apertura de puertas, Vehículo apagado, Punto 1

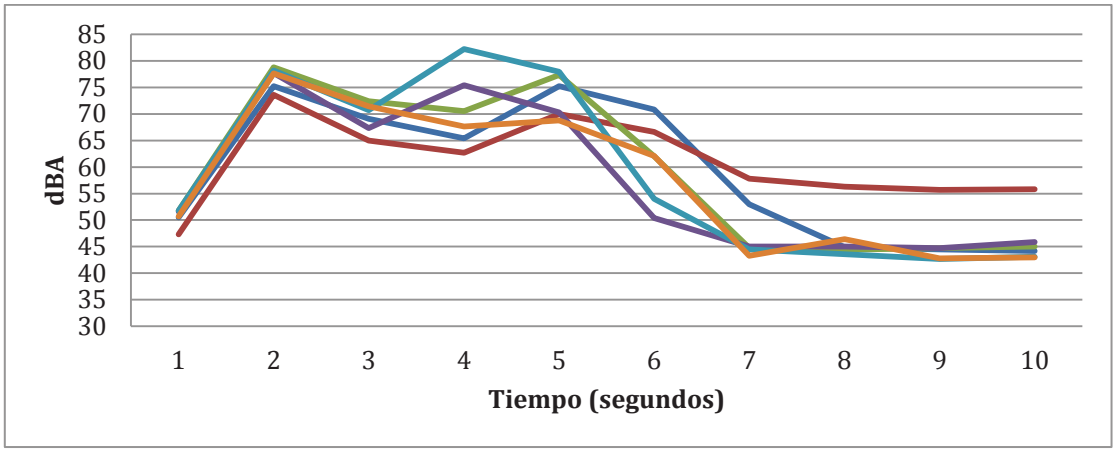


Figura 87. Comparación de seis muestras del ruido de cierre de puertas, Vehículo apagado. Punto 1

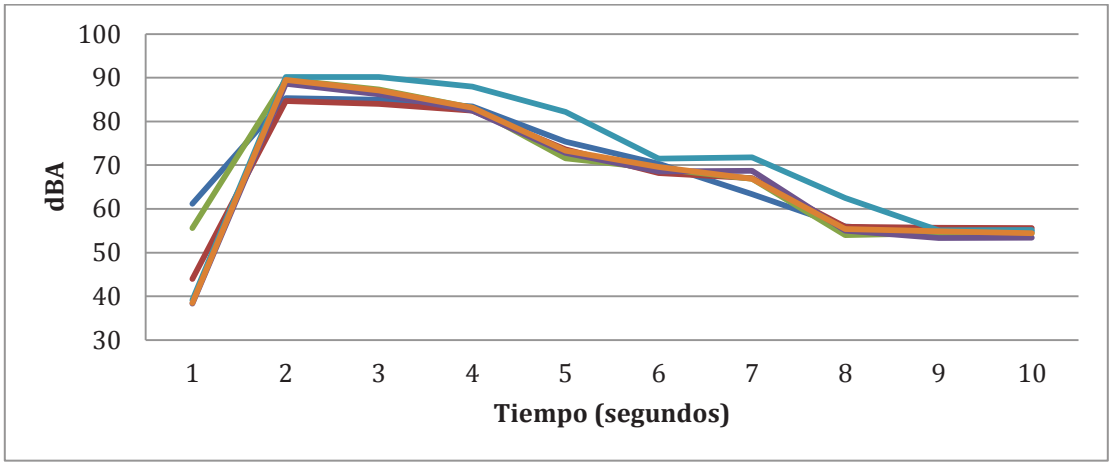


Figura 88. Comparación de seis muestras del ruido de apertura de puertas, Vehículo apagado. Punto 2

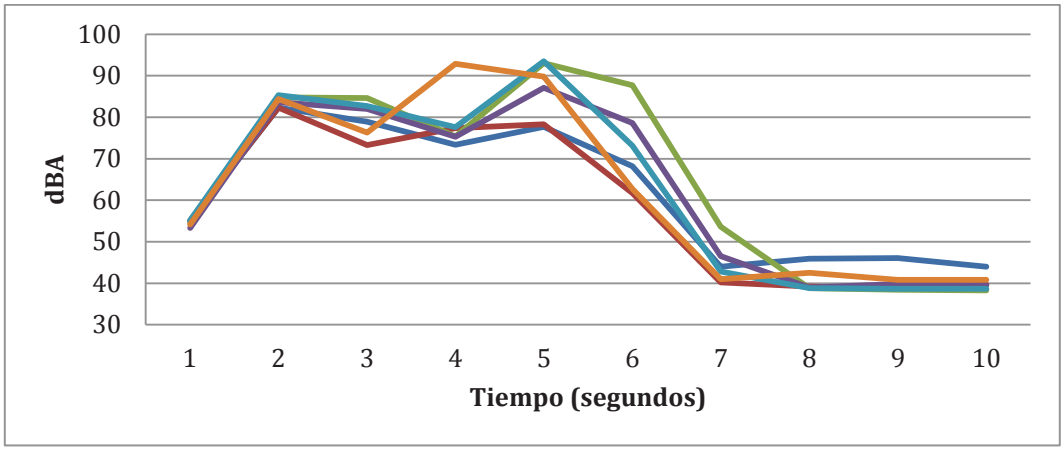


Figura 89. Comparación de seis muestras del ruido de cierre de puertas, Vehículo apagado. Punto 2

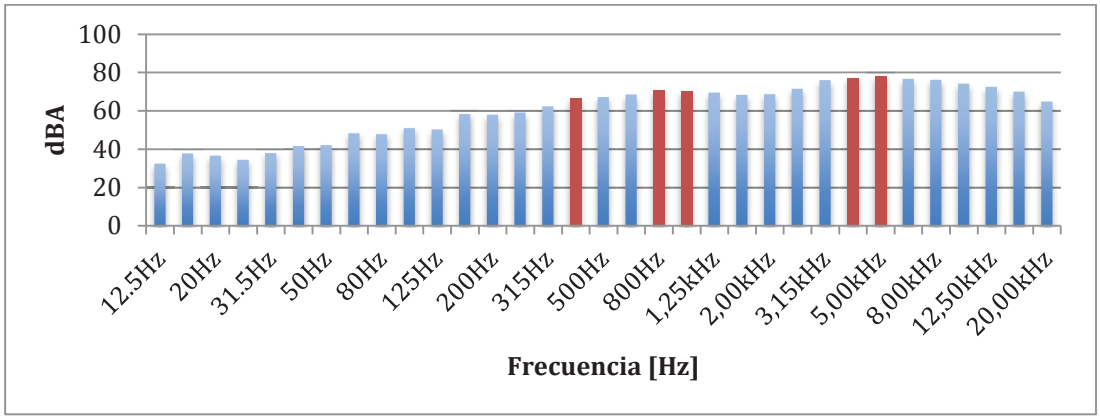


Figura 90. Espectro de frecuencias de la apertura y cierre de puertas, vehículo apagado, Punto 2

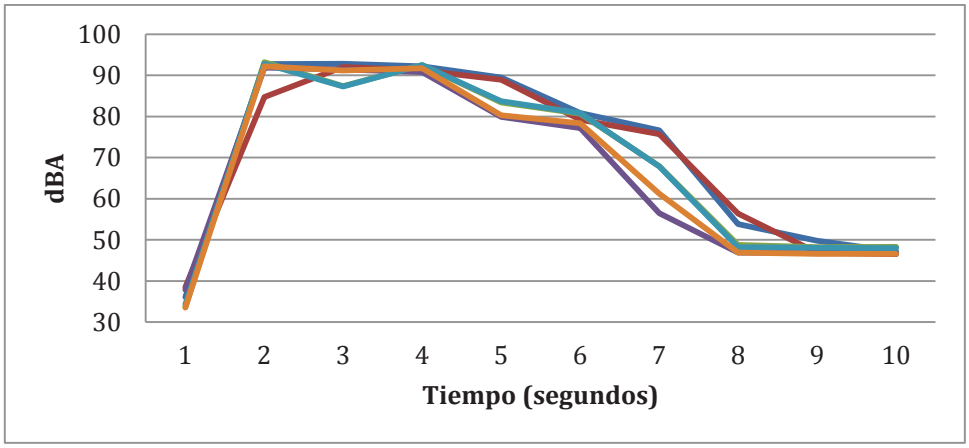


Figura 91. Comparación de seis muestras del ruido de apertura de puertas, Vehículo apagado. Punto 3

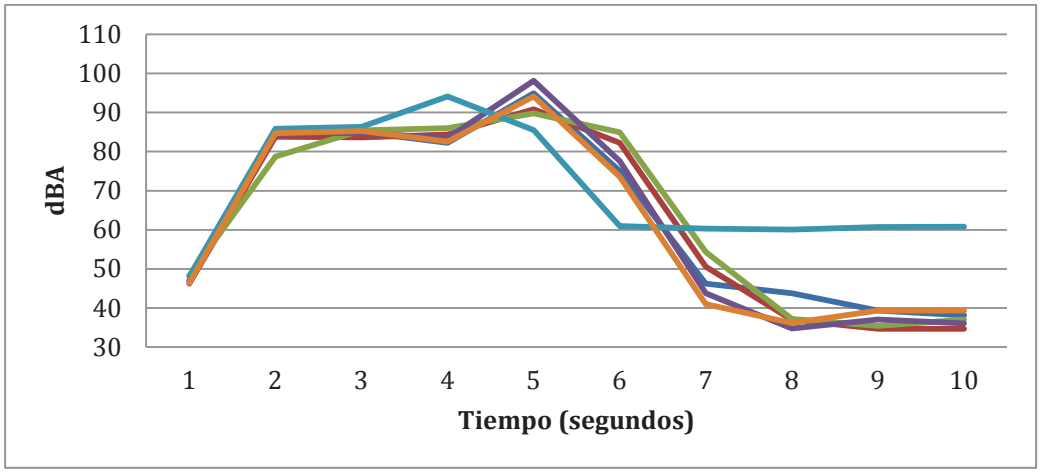


Figura 92. Comparación de seis muestras del ruido de cierre de puertas, Vehículo apagado. Punto 3

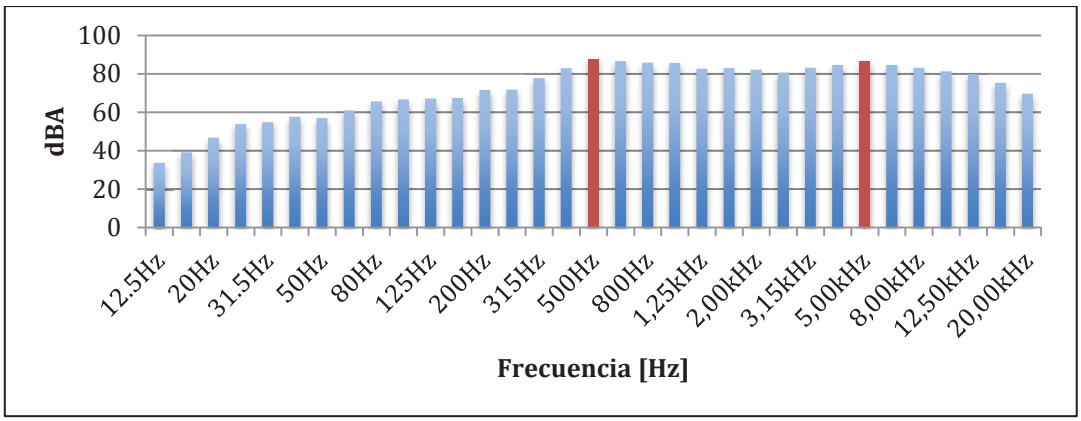


Figura 93. Espectro de frecuencias del ruido de apertura y cierre de puertas, Vehículo apagado, Punto3

2.4 Puertas vehículo ralentí.

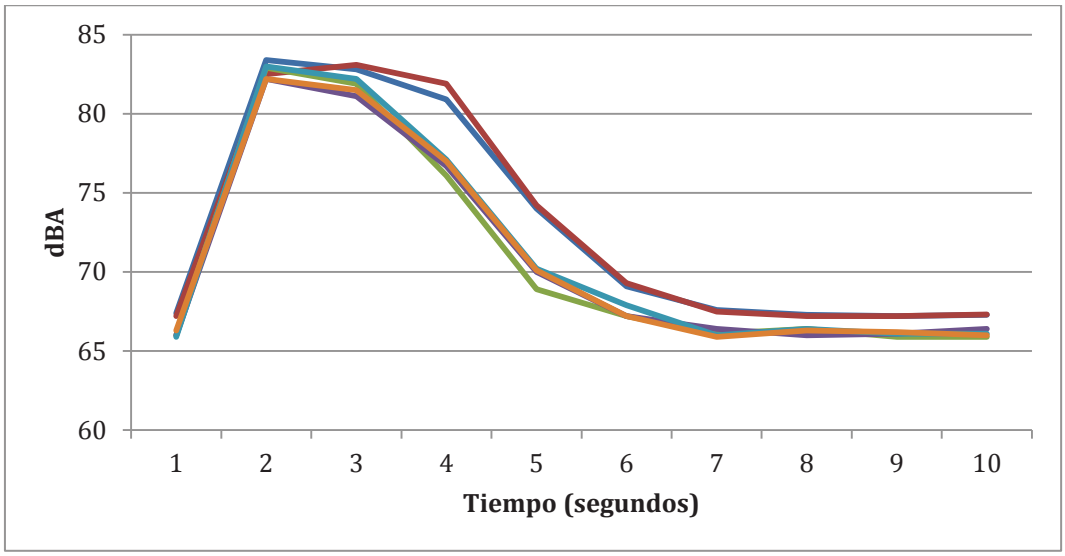


Figura 94. Comparación de seis muestras del ruido de apertura de puertas, Vehículo en Ralentí. Punto1

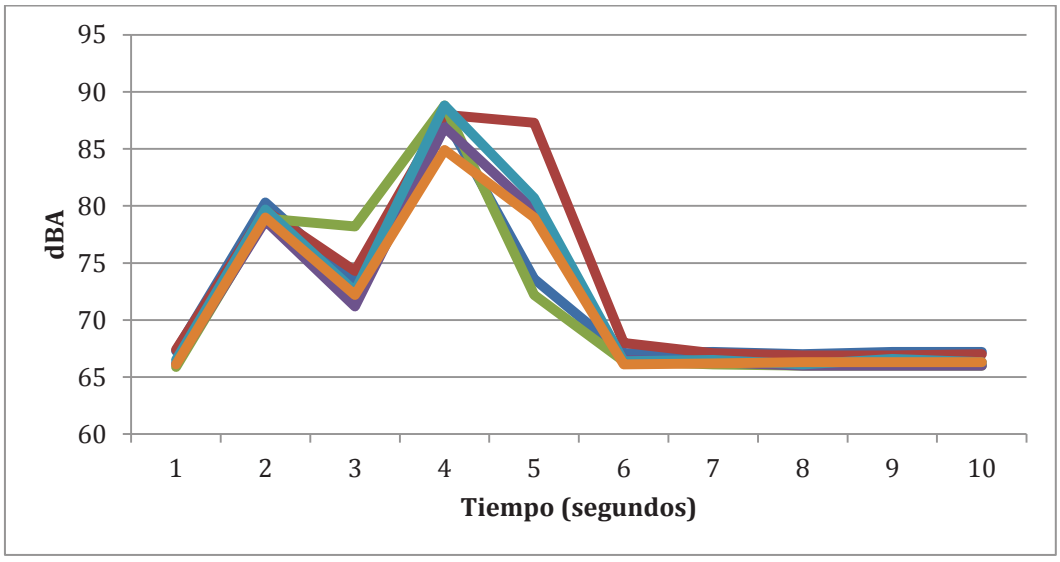


Figura 95. Comparación de seis muestras del ruido de cierre de puertas, Vehículo en Ralentí. Punto1

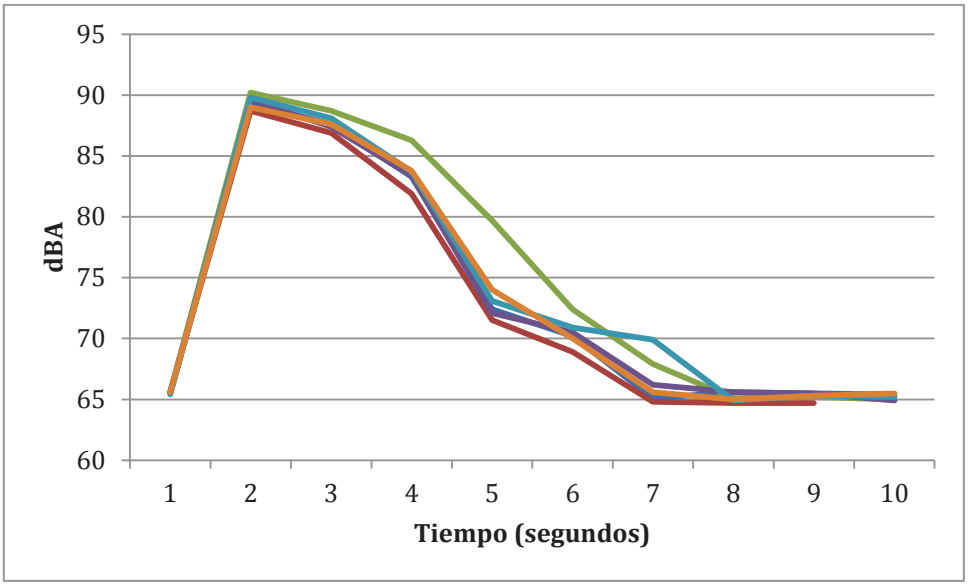


Figura 96. Comparación de seis muestras del ruido de apertura de puertas, Vehículo en Ralentí. Punto2

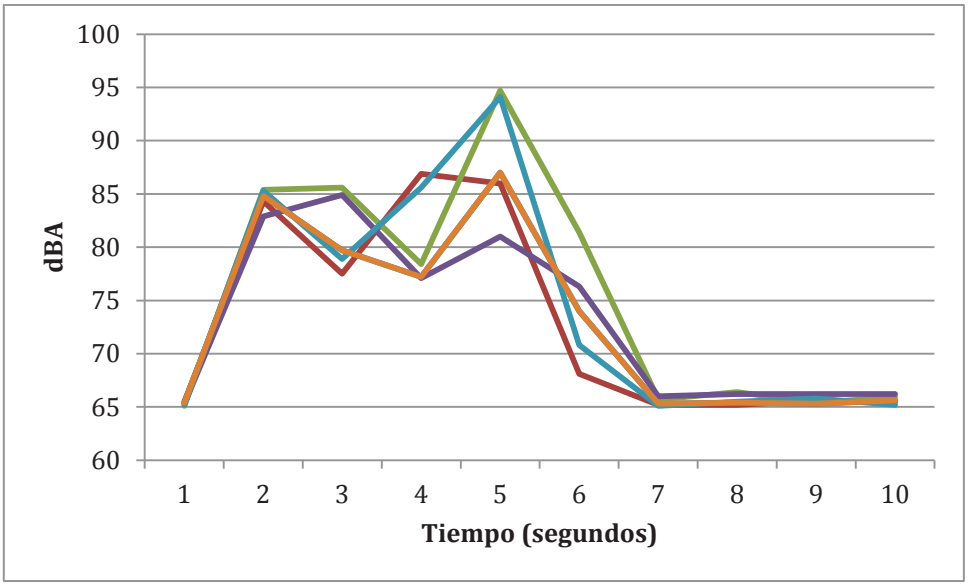


Figura 97. Comparación de seis muestras del ruido de cierre de puertas, Vehículo en Ralentí. Punto2

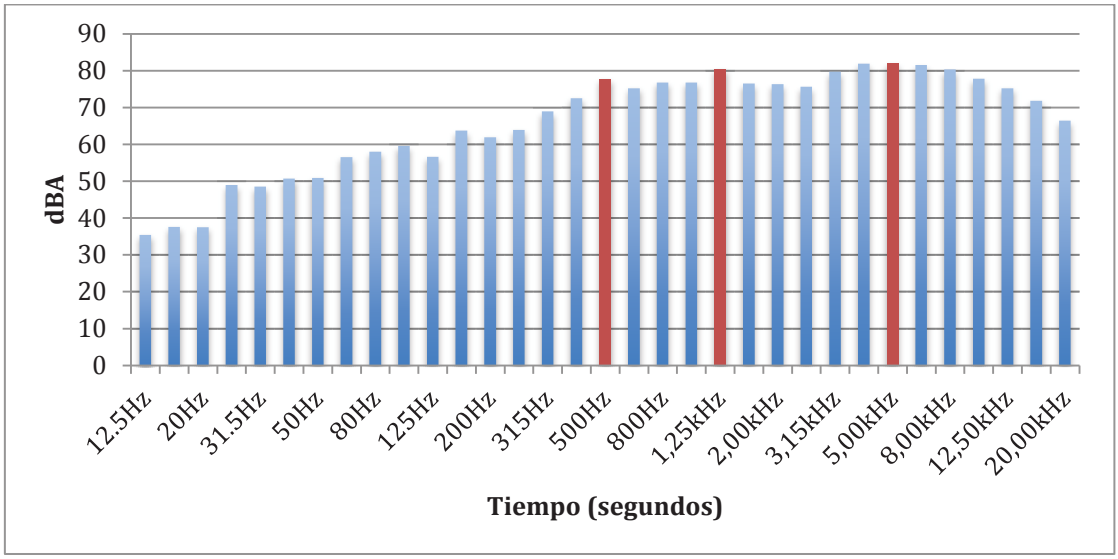


Figura 98. Espectro de frecuencias del ruido de apertura y cierre de puertas, Vehículo en Ralentí, Punto2

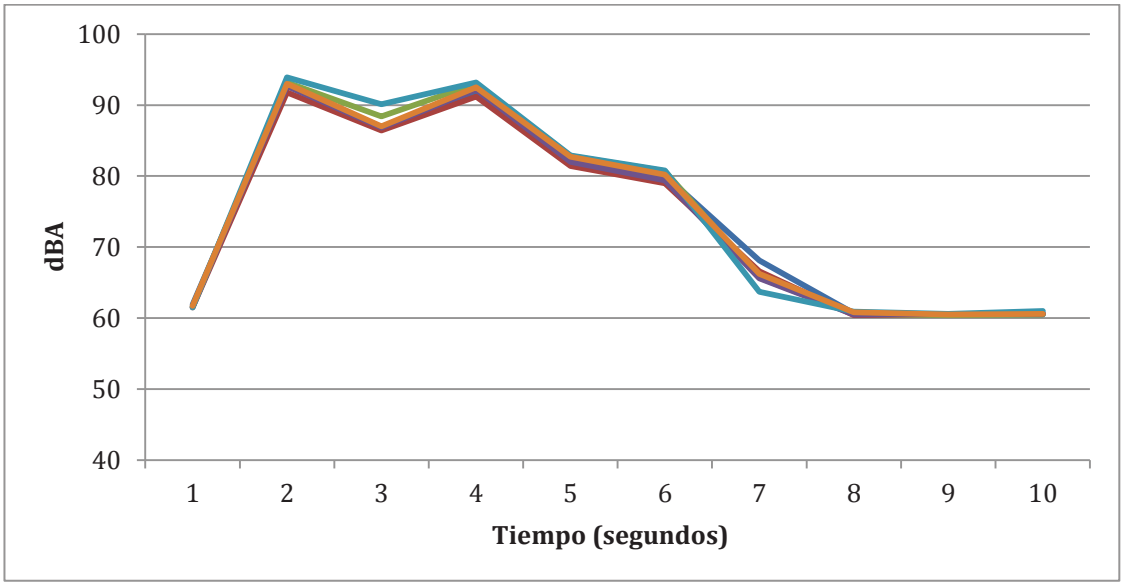


Figura 99. Comparación de seis muestras del ruido de apertura de puertas, Vehículo en Ralentí. Punto3

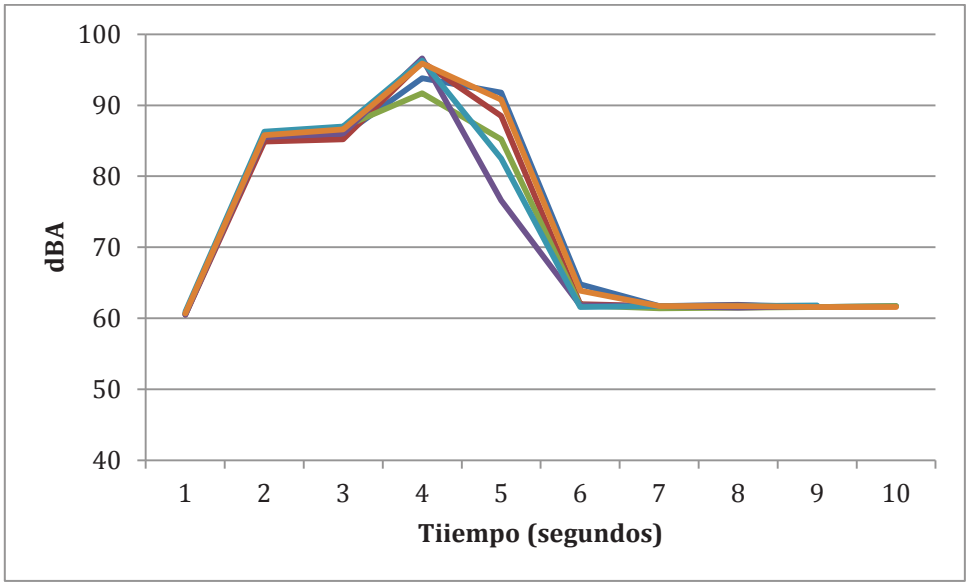


Figura 100. Comparación de seis muestras del ruido de cierre de puertas, Vehículo en Ralentí. Punto3

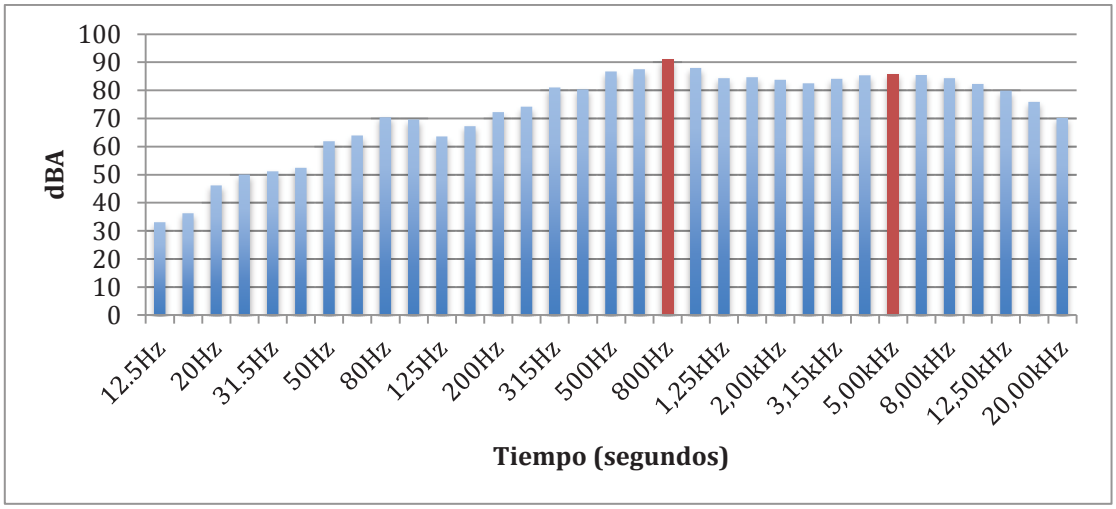


Figure 101. Espectro de frecuencias del ruido de apertura y cierre de puertas, Vehículo en Ralentí, Punto3

2.5. Ensayo dinámico

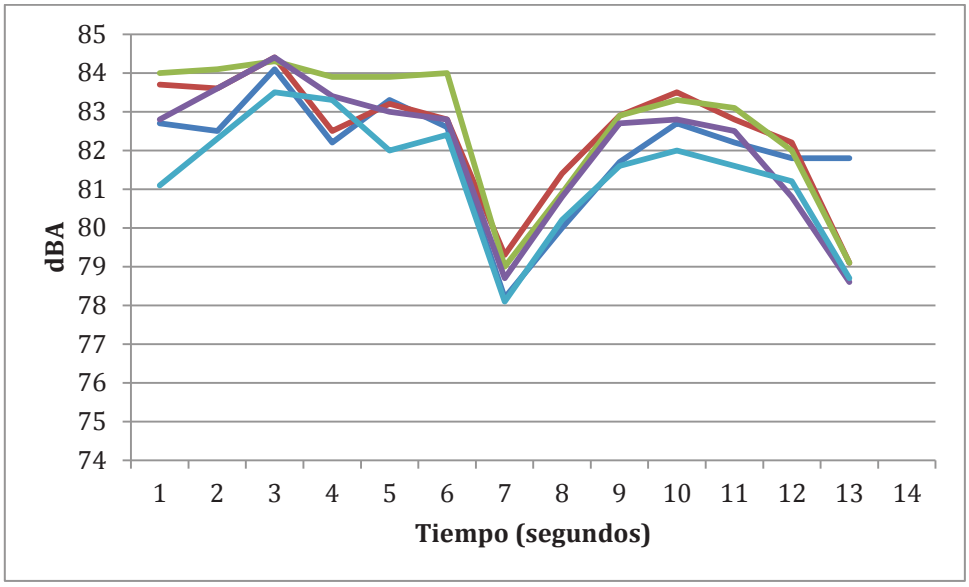


Figura 102. Comparación de cinco muestras del ruido por desplazamiento, Dinámico, Punto1

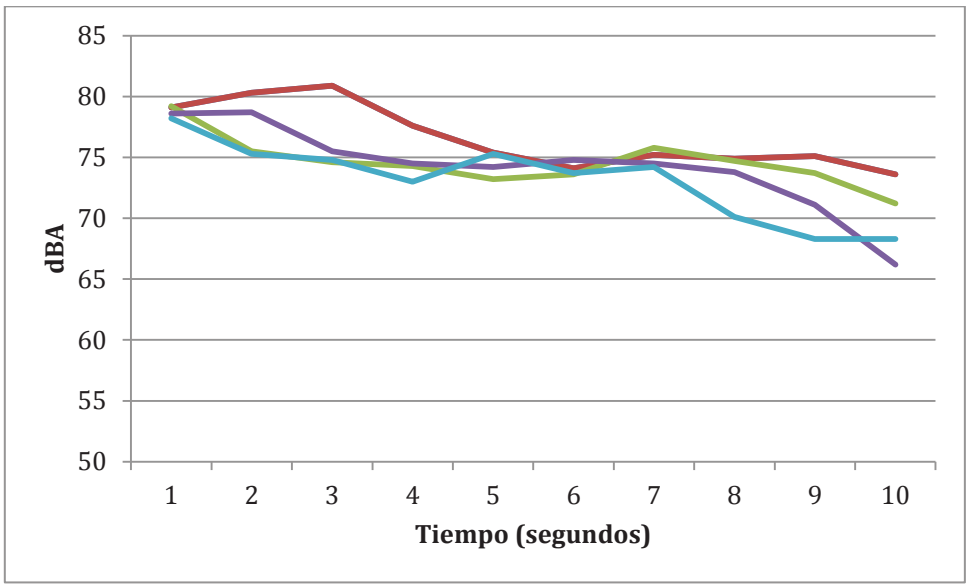


Figura 103. Comparación de cinco muestras del ruido por frenado, Dinámico, Punto1

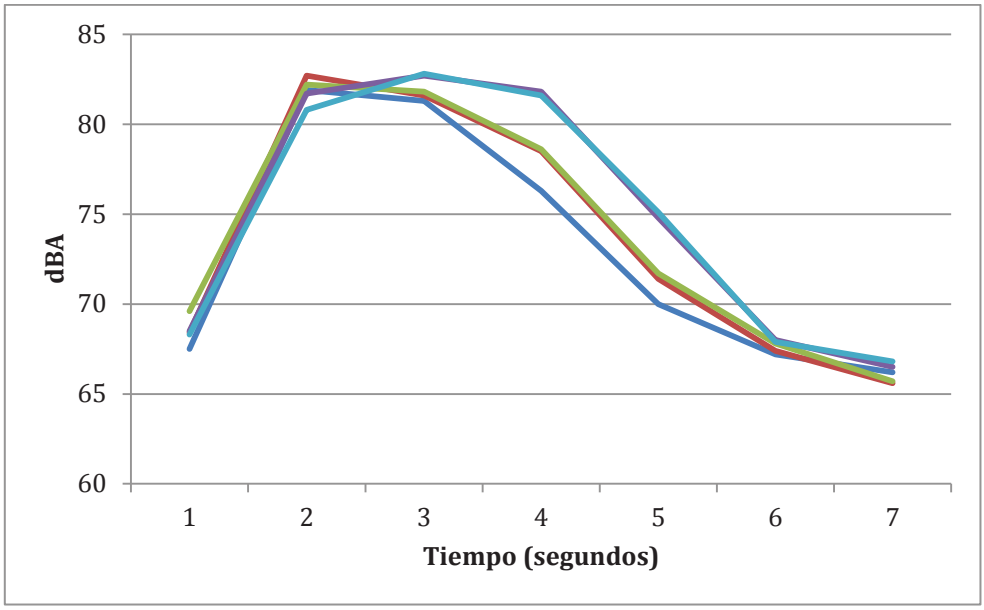


Figura 104. Comparación de cinco muestras del ruido por apertura de puertas, Dinámico, Punto1

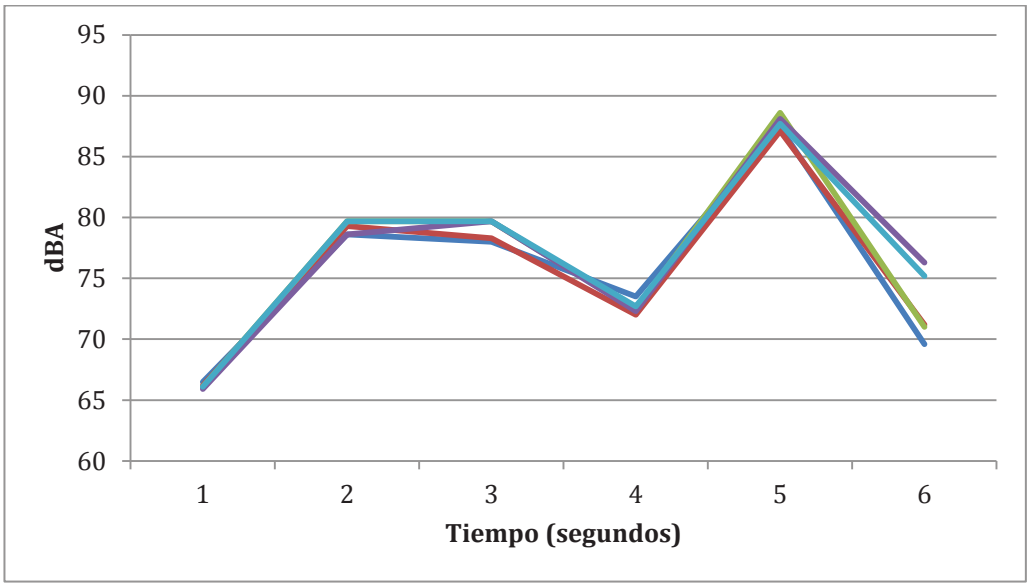


Figura 105. Comparación de cinco muestras del ruido por cierre de puertas, Dinámico, Punto1

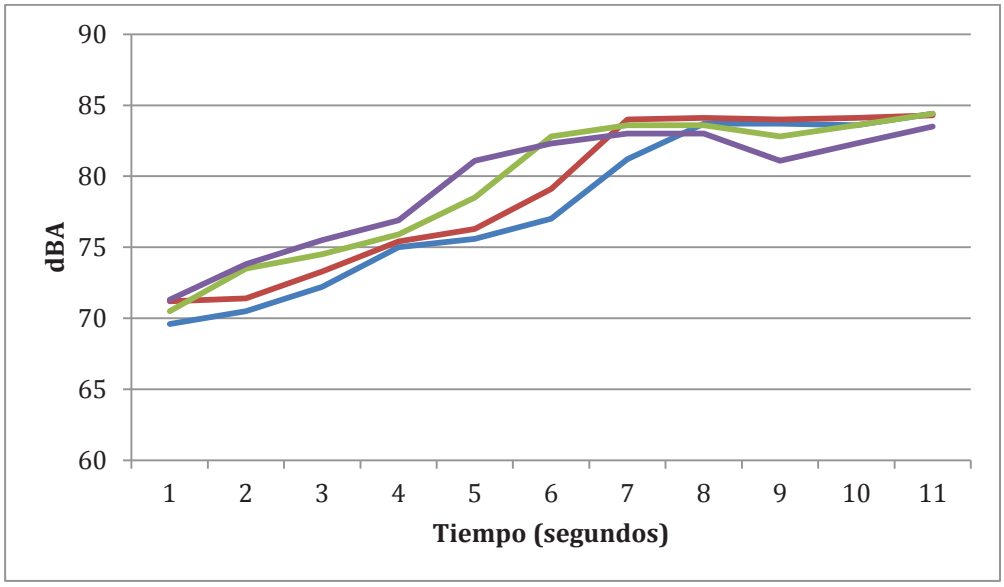


Figura 106. Comparación de cinco muestras del ruido por aceleración, Dinámico, Punto1

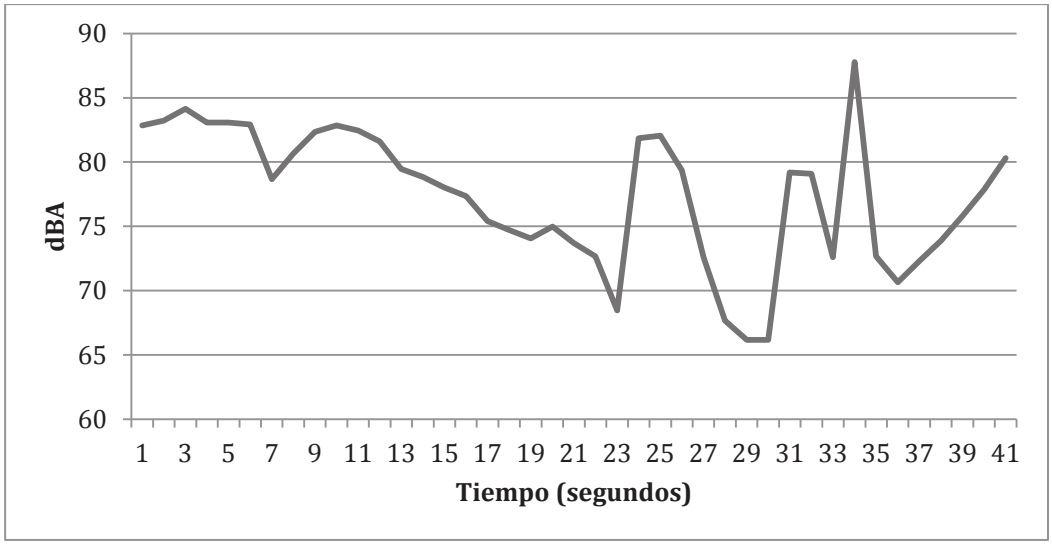


Figura 107. Promedio de niveles de los eventos del ensayo Dinámico, Punto 1

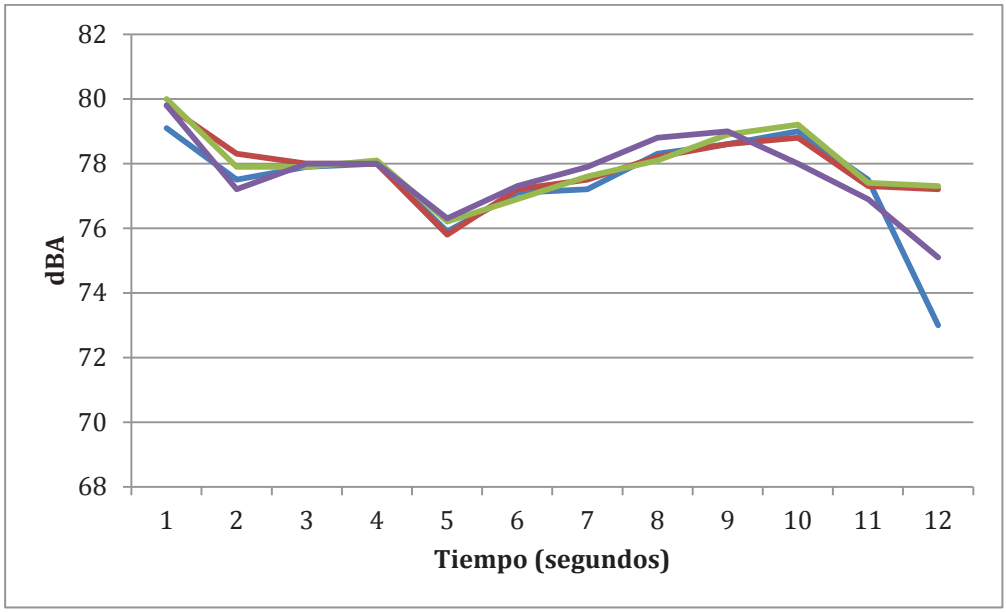


Figura 108. Comparación de cinco muestras del ruido por desplazamiento, Dinámico, Punto2

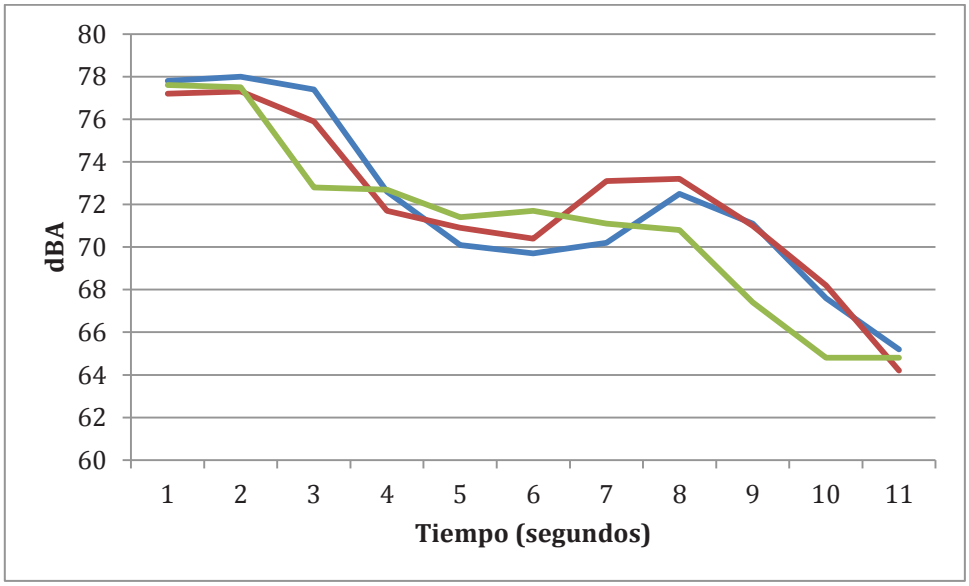


Figura 109. Comparación de cinco muestras del ruido por frenado, Dinámico, Punto2

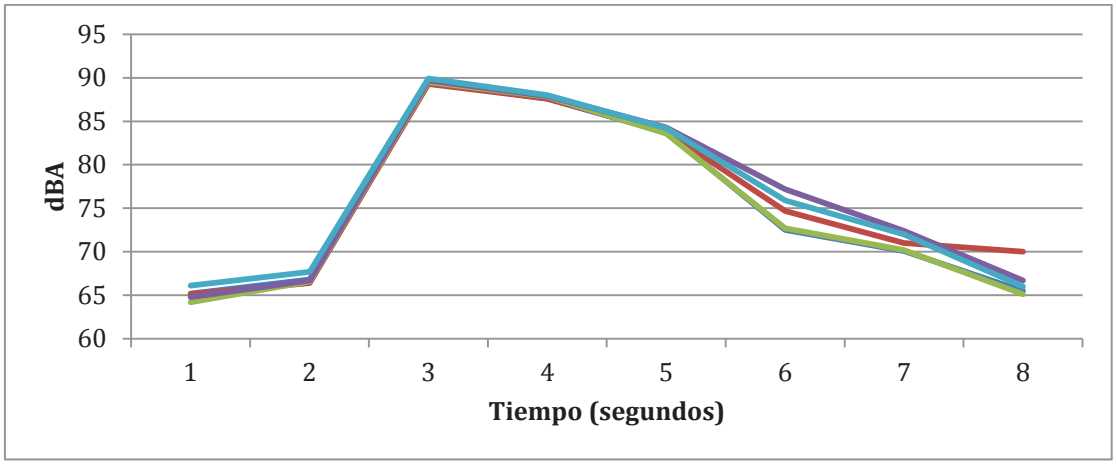


Figura 110. Comparación de cinco muestras del ruido por apertura de puertas, Dinámico, Punto2

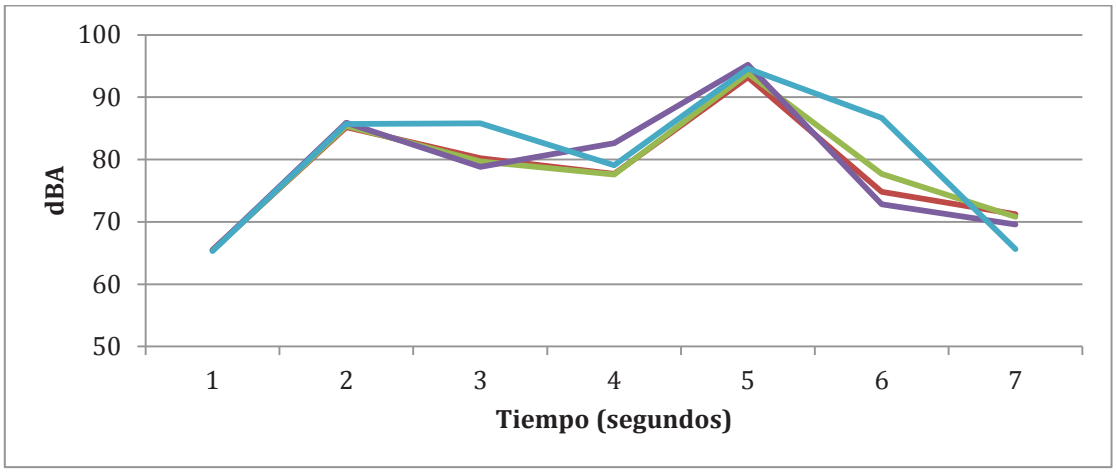


Figura 111. Comparación de cinco muestras del ruido por cierre de puertas, Dinámico, Punto2

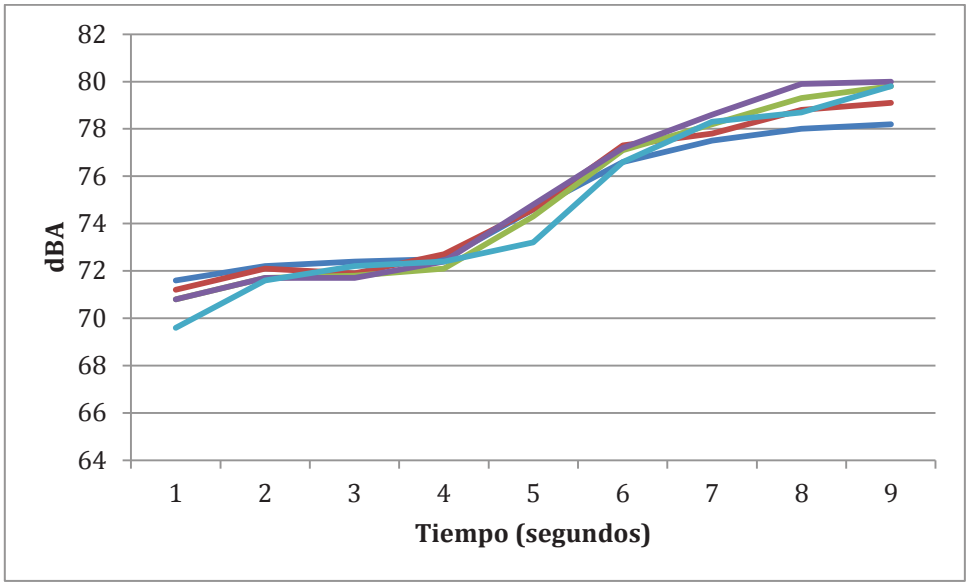


Figura 112. Comparación de cinco muestras del ruido por aceleración, Dinámico, Punto2

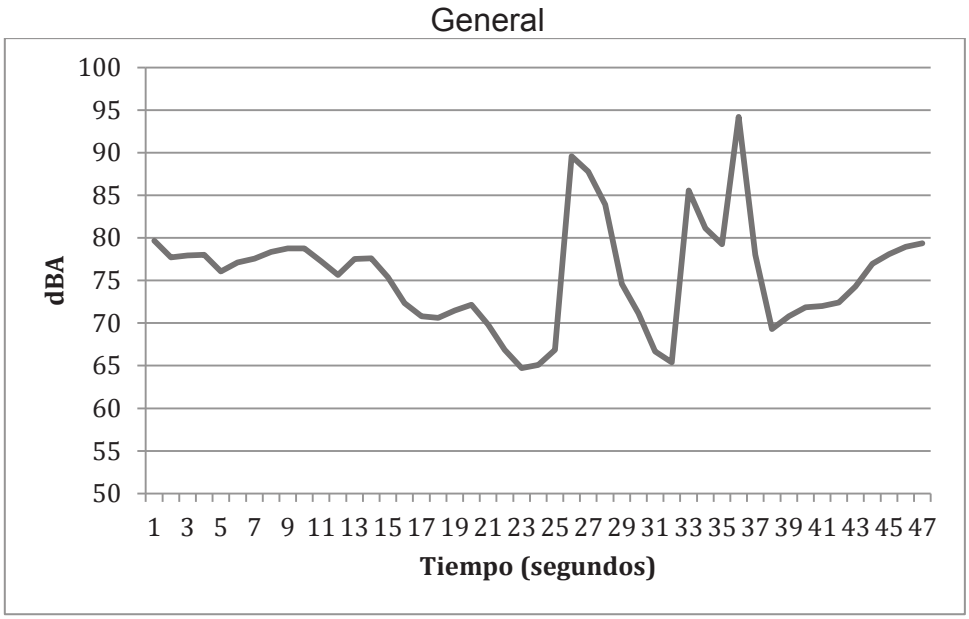


Figura 113. Promedio de niveles de los eventos del ensayo dinámico, Punto 2

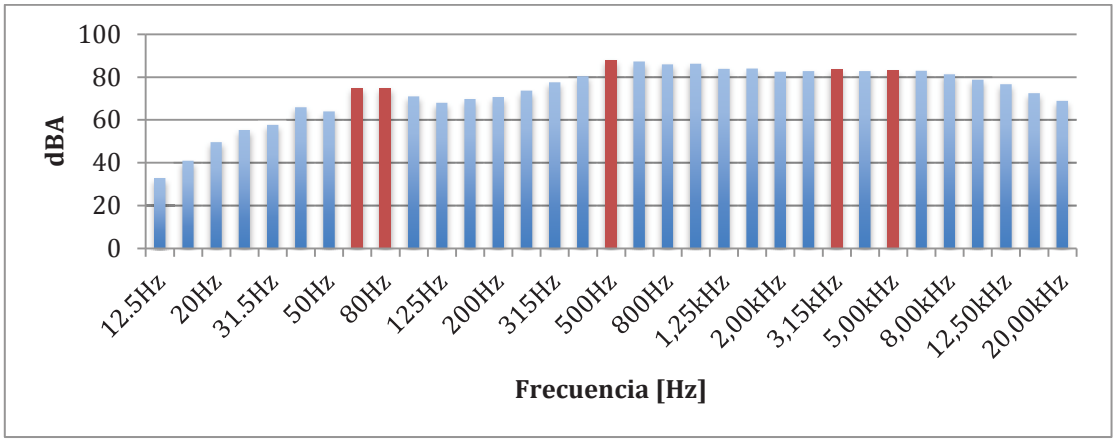


Figura 114. Espectro de frecuencias de ensayo dinámico, Punto 2

Se borro memoria primera por ser muy irregular.

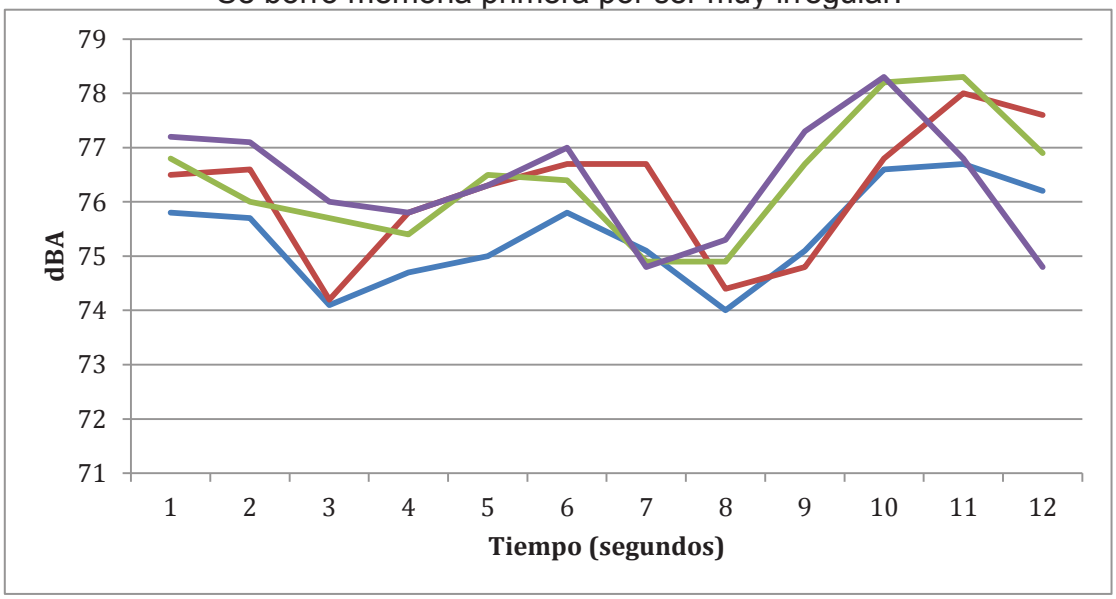


Figura 115. Comparación de cinco muestras del ruido por desplazamiento, Dinámico, Punto3

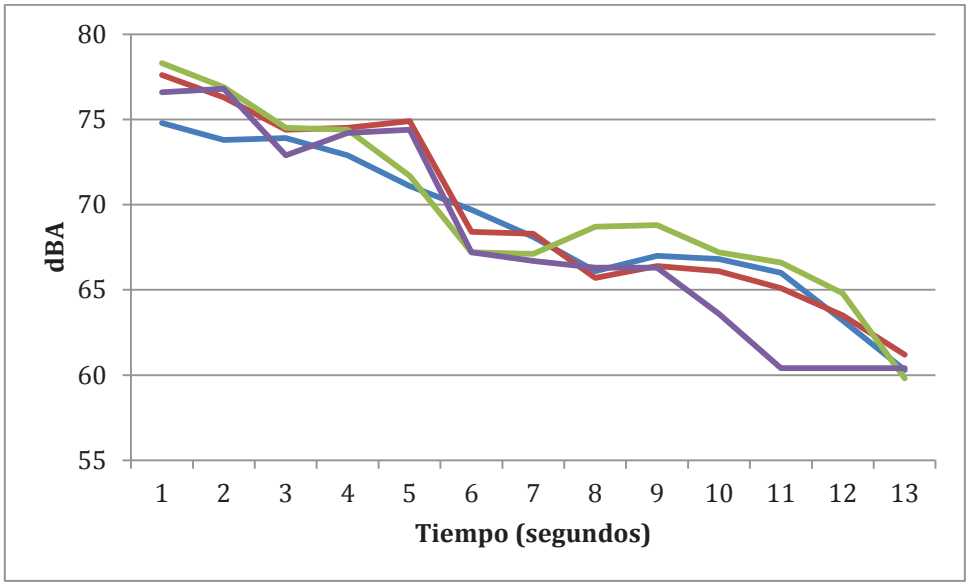


Figura 116. Comparación de cinco muestras del ruido por frenado, Dinámico, Punto3

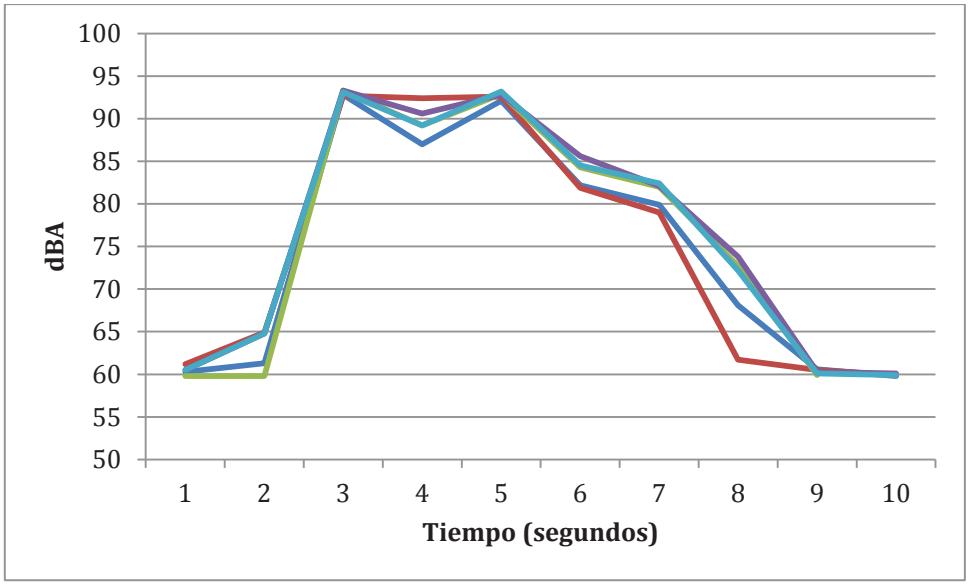


Figura 117. Comparación de cinco muestras del ruido por apertura de puertas, Dinámico, Punto3

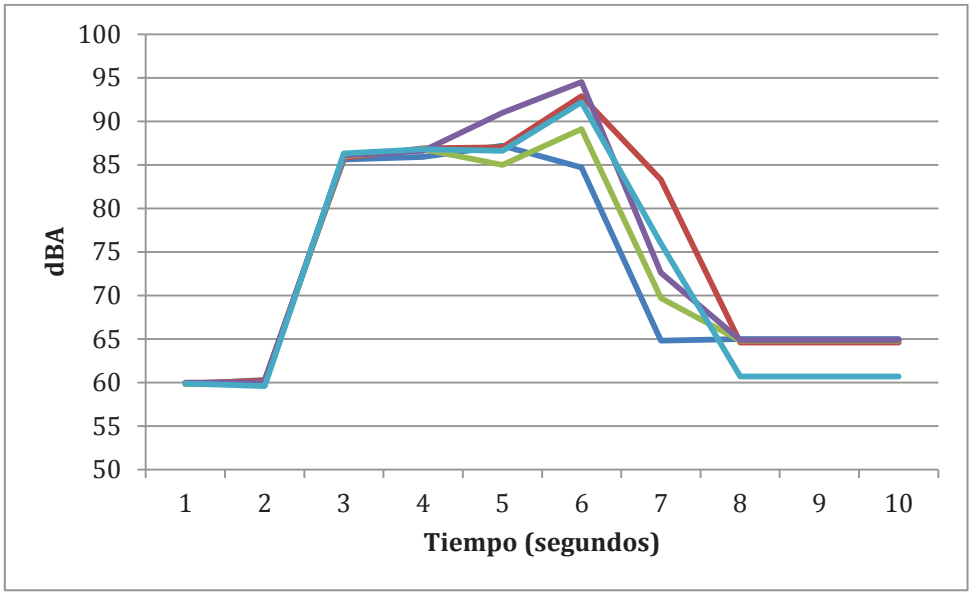


Figura 118. Comparación de cinco muestras del ruido por cierre de puertas, Dinámico, Punto3

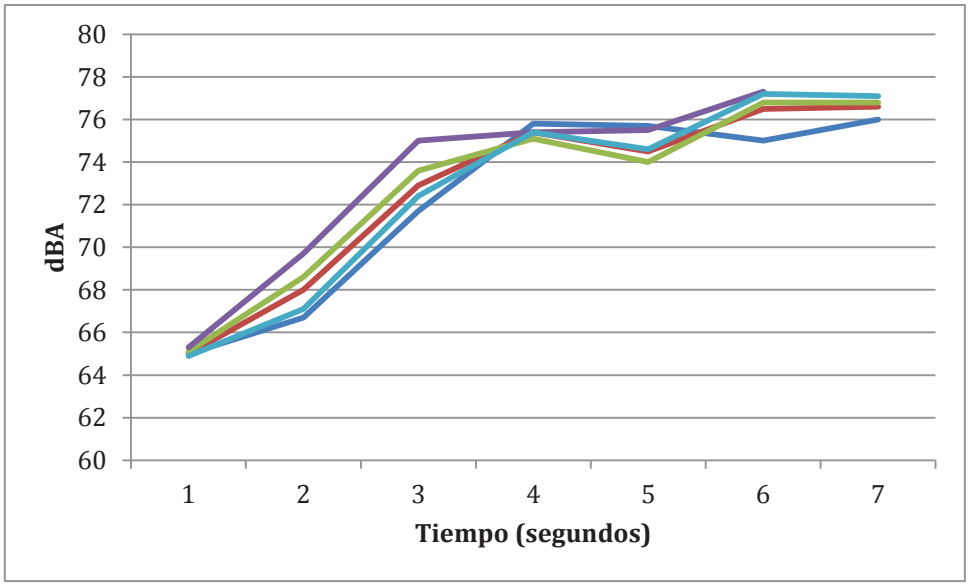


Figura 119. Comparación de cinco muestras del ruido por aceleración, Dinámico, Punto3

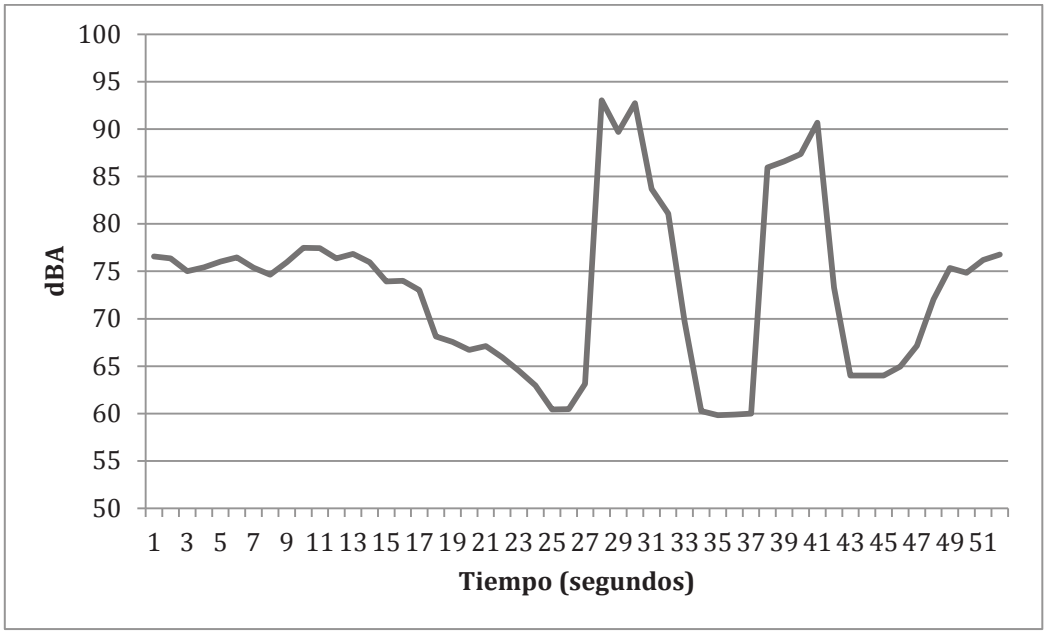


Figura 120. Promedio de niveles de los eventos del ensayo dinámico, Punto 3

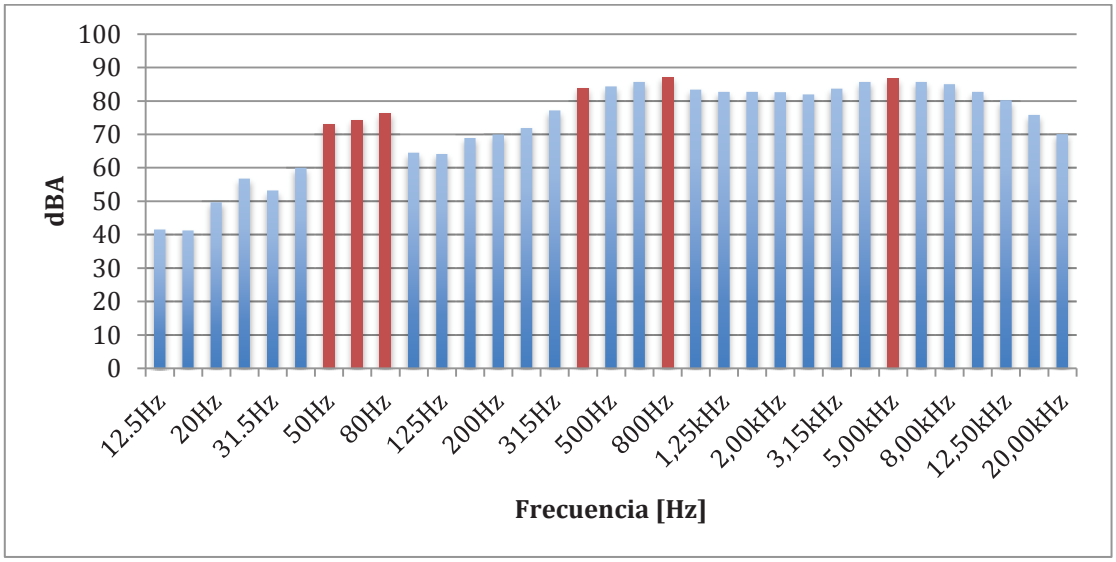


Figura 121. Espectro de frecuencias del ensayo dinámico, Punto 3

2.6 Ensayo con gente

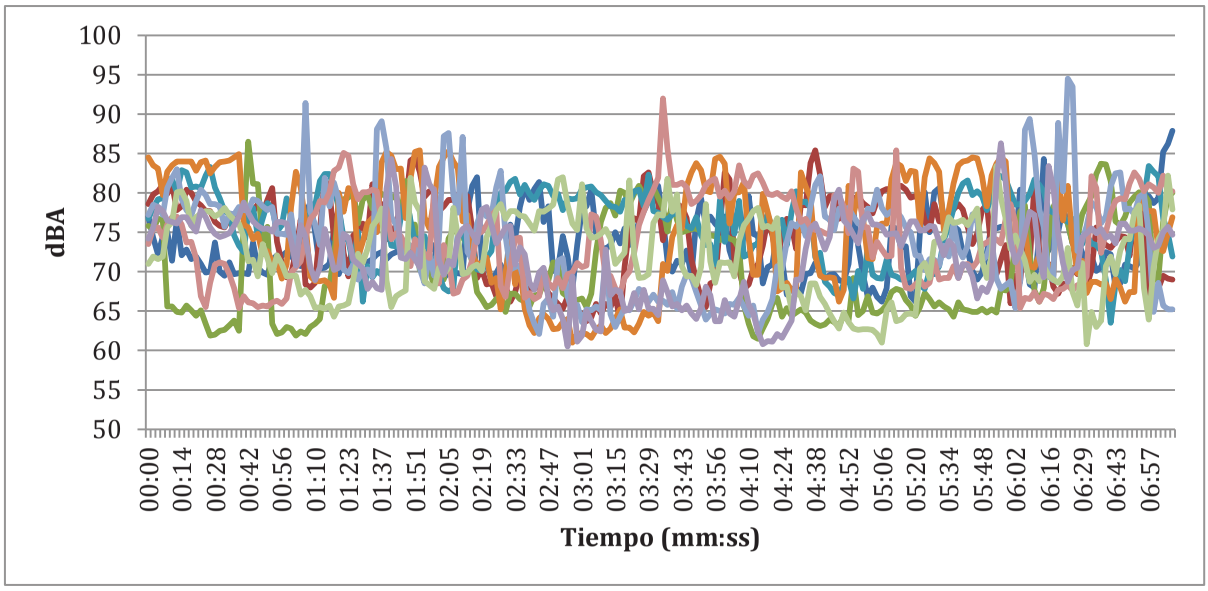


Figura 122. Comparación de los diez recorrido del ensayo con gente.

Anexo 3. Encuesta

EVALUACIÓN DEL IMPACTO ACUSTICO AL INTERIOR DE LOS BUSES DEL SISTEMA INTEGRADO DE TRANSPORTE PUBLICO ECOVÍA DEL DMQ

Cada persona tiene diferente sensibilidad al percibir los sonidos, es decir que la molestia ante un ruido es subjetiva. El objetivo de este trabajo es Identificar las principales fuentes de ruido que generan molestia dentro de los buses de la Ecovía. Su valoración es muy importante para nosotros. La encuesta es completamente confidencial y de uso académico perteneciente a la Universidad de las Américas.

1.- EDAD

- ☐ de 13 a 18 años
- ☐ de 19 a 29 años
- ☐ de 30 a 45 años
- ☐ de 45 a 60 años
- ☐ mayor de 60 años
- ☐ Otro: .....

2.- GÉNERO ☐ Femenino ☐ Masculino

3.- ¿CUANTOS DÍAS A LA SEMANA UTILIZA ESTE MEDIO DE TRANSPORTE?

- ☐ 1 día
- ☐ 2 días
- ☐ 3 días
- ☐ 4 días
- ☐ 5 días
- ☐ 6 días

4.- ¿CUÁL ES EL TIEMPO APROXIMADO DE USO DEL VEHICULO EN UN DÍA ?

☐ 10 minutos ☐ 20 minutos ☐ 30 minutos ☐ 1 hora ☐ 2 horas

5.- DESCRIBA LOS RUIDOS QUE LE MOLESTAN, SIENDO:

1 Nada	2 Poco	3 Medianamente	4 Mucho	5 Extremadamente

- ☐ Ruido del motor (cambio de marchas, frenos , aceleración)
- ☐ Ruido de las puertas (al abrir y cerrar)
- ☐ Ruido de la gente (pasajeros)
- ☐ Ruido del exterior (tráfico)

6.- PERCIBE ALGÚN EFECTO SECUNDARIO A CAUSA DE ESTOS RUIDOS

- ☐ Nada
- ☐ Molestia
- ☐ Estrés
- ☐ Agresividad
- ☐ Nauseas
- ☐ Nerviosismo
- ☐ Dolor de cabeza
- ☐ Otro: .....

Figura 123. Encuesta presentada a los pasajeros

Anexo 4. Hojas de ruta

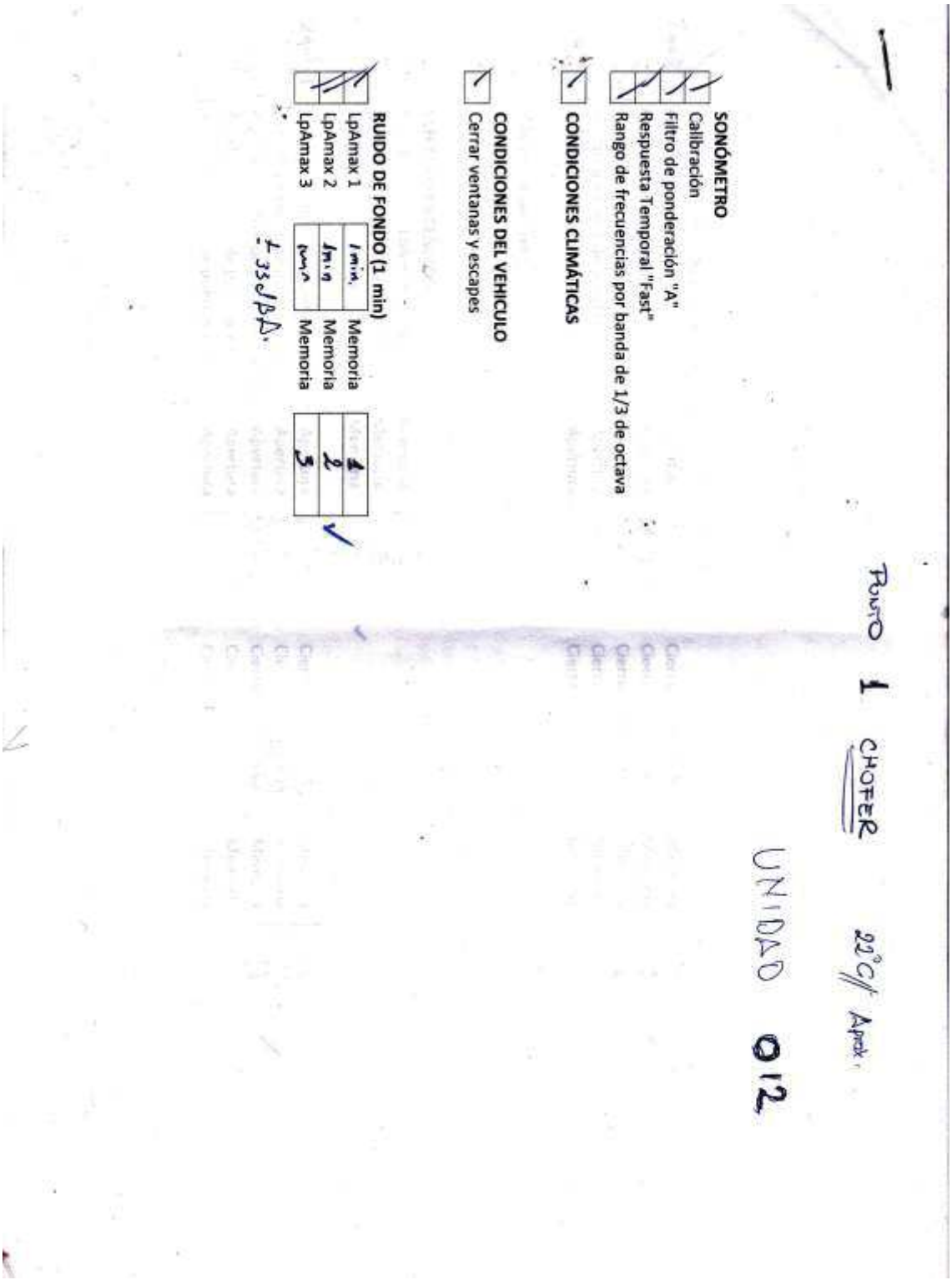


Figura 124. Hoja de ruta Punto 1

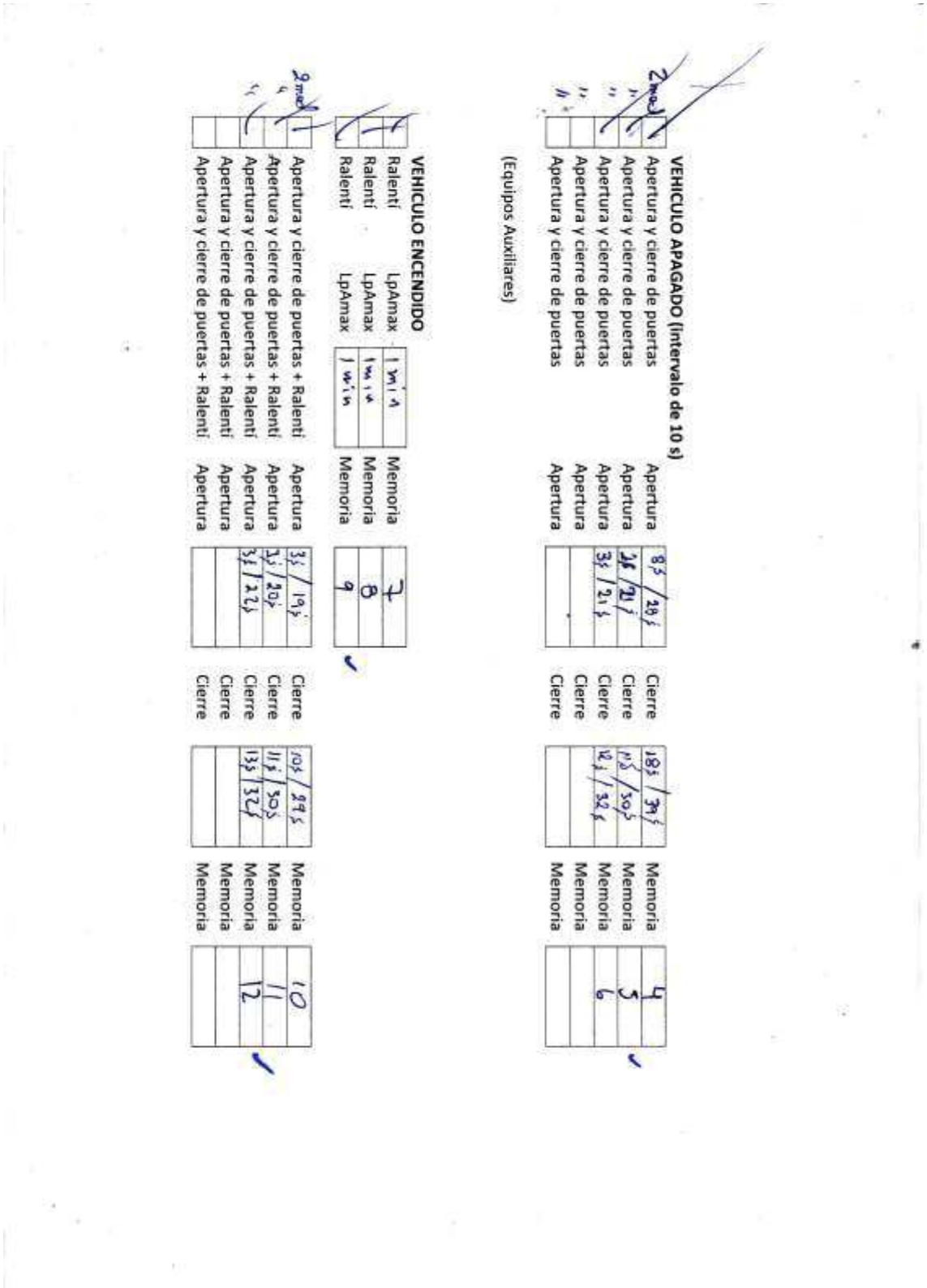


Figura 125. Hoja de ruta 1.1

ENSAYO DINÁMICO **PUNTO** 1

			TIME			
PRUEBA1 200m		Desplazamiento (viene manejando)	14 s	LpAmax	Memoria	
		Frenos	25 s	LpAmax	Memoria	
		Puertas Open	36 s	LpAmax	Memoria	
		Puertas Close	45 s	LpAmax	Memoria	
		Aceleración	49 s	LpAmax	Memoria	
PRUEBA2 200m		Desplazamiento	50 s	LpAmax	Memoria	
		Frenos	1:15 s	LpAmax	Memoria	
		Puertas Open	1:22 s	LpAmax	Memoria	
		Puertas Close	1:28 s	LpAmax	Memoria	
		Aceleración	1:33 s	LpAmax	Memoria	
PRUEBA3 200m		Desplazamiento	1:35 s	LpAmax	Memoria	
		Frenos	1:56 s	LpAmax	Memoria	
		Puertas Open	2:04 s	LpAmax	Memoria	
		Puertas Close	2:10 s	LpAmax	Memoria	
		Aceleración	2:17 s	LpAmax	Memoria	

13

Figura 126. Hoja de ruta 1.2

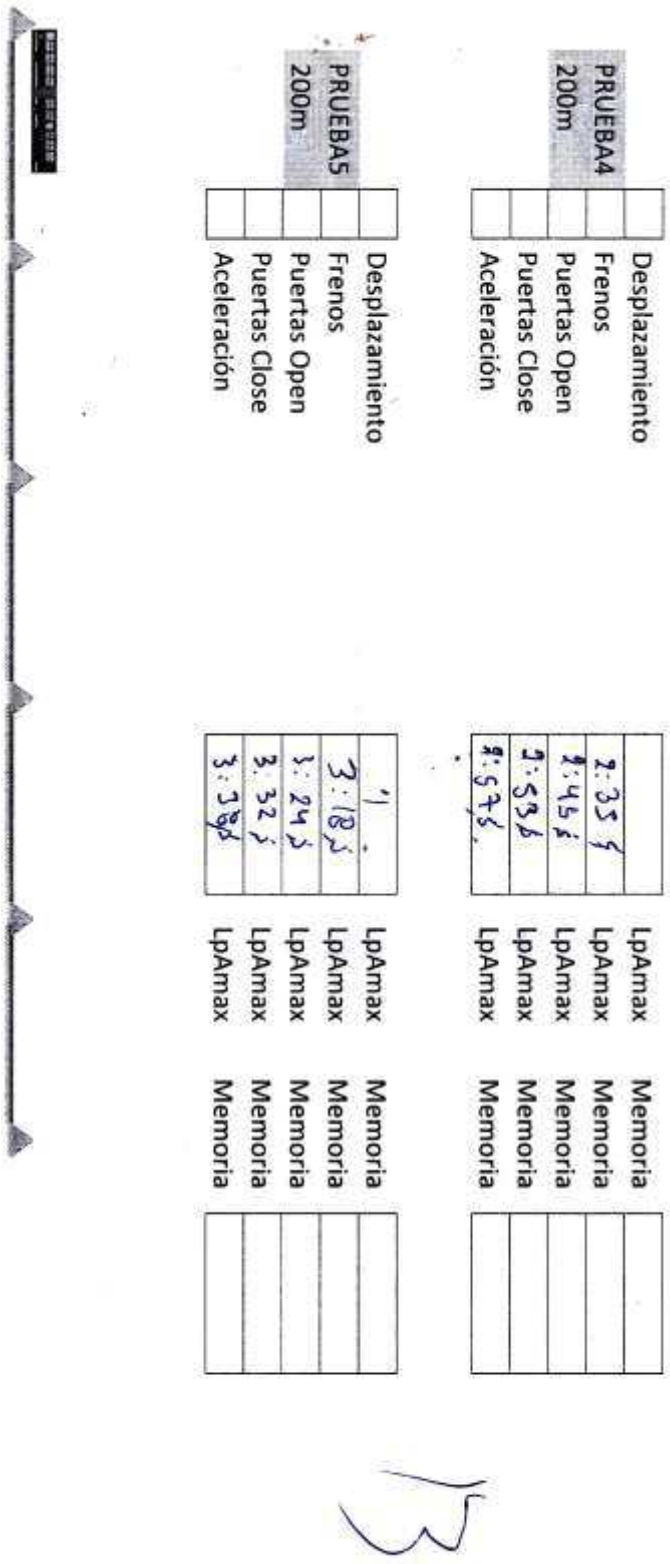


Figura 127. Hoja de ruta 1.3

PUNTO 2 CENTRO Centro

1,20

8,40

SONÓMETRO

- [x] Calibración
- [x] Filtro de ponderación "A"
- [x] Respuesta Temporal "Fast"
- [x] Rango de frecuencias por banda de 1/3 de octava

- [x] **CONDICIONES CLIMÁTICAS**

CONDICIONES DEL VEHICULO

- [x] Cerrar ventanas y escapes

RUIDO DE FONDO (1 min)

[x] LpAmax 1	1 min	Memoria	14	X pitos y carros ✓
[x] LpAmax 2	1 min	Memoria	15	EFECTOS DEL [illegible]
[x] LpAmax 3	1 min	Memoria	16	SOBRE EL RETAL

Figura 128. Hoja de ruta 2

Figura 129. Hoja de ruta 2.1

Figura 130. Hoja de ruta 2.2

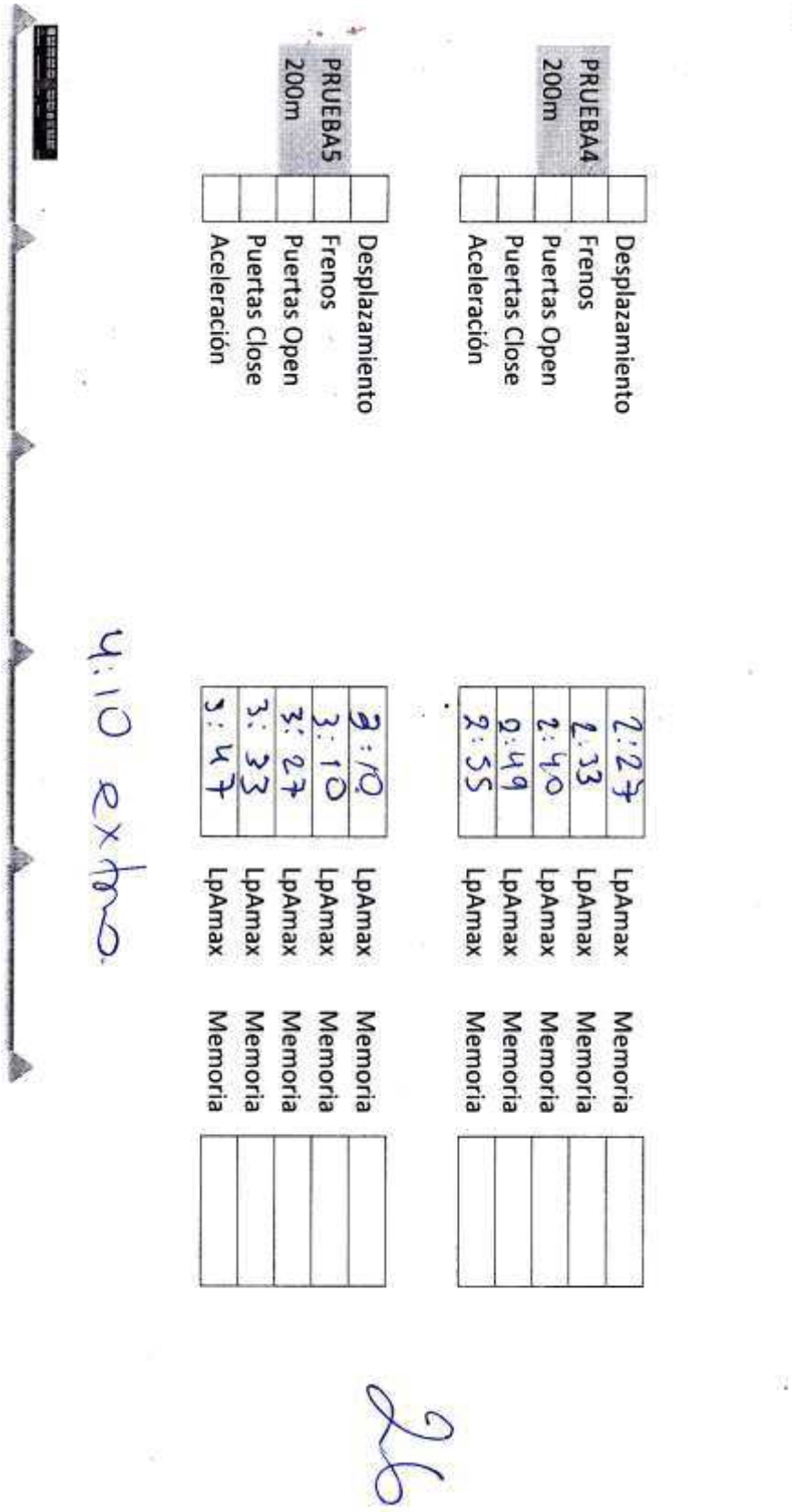


Figura 131. Hoja de ruta 2.3

Punto 3 atrás

SONÓMETRO

- [ ] Calibración
- [x] Filtro de ponderación "A"
- [x] Respuesta Temporal "Fast"
- [x] Rango de frecuencias por banda de 1/3 de octava

CONDICIONES CLIMÁTICAS

CONDICIONES DEL VEHICULO

- [x] Cerrar ventanas y escapes

RUIDO DE FONDO (1 min)

LpAmax 1	1 min	Memoria	27
LpAmax 2	1 min	Memoria	29
LpAmax 3	1 min	Memoria	30

23 no/cale (pasa un carro)

Extra 1 min → 31

CALIBRACION 113,6

Figura 132. Hoja de ruta 3

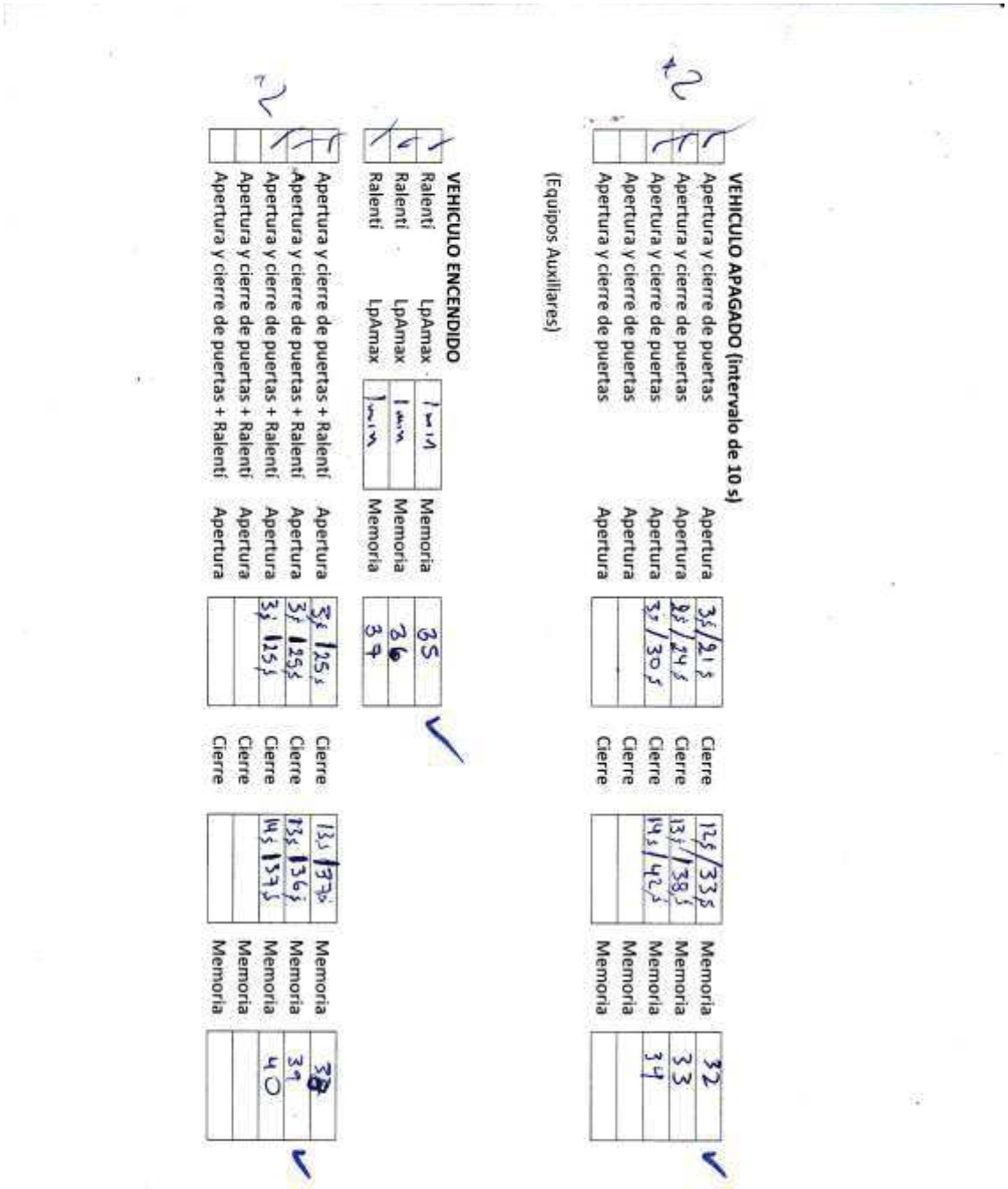


Figura 133. Hoja de ruta 3.1

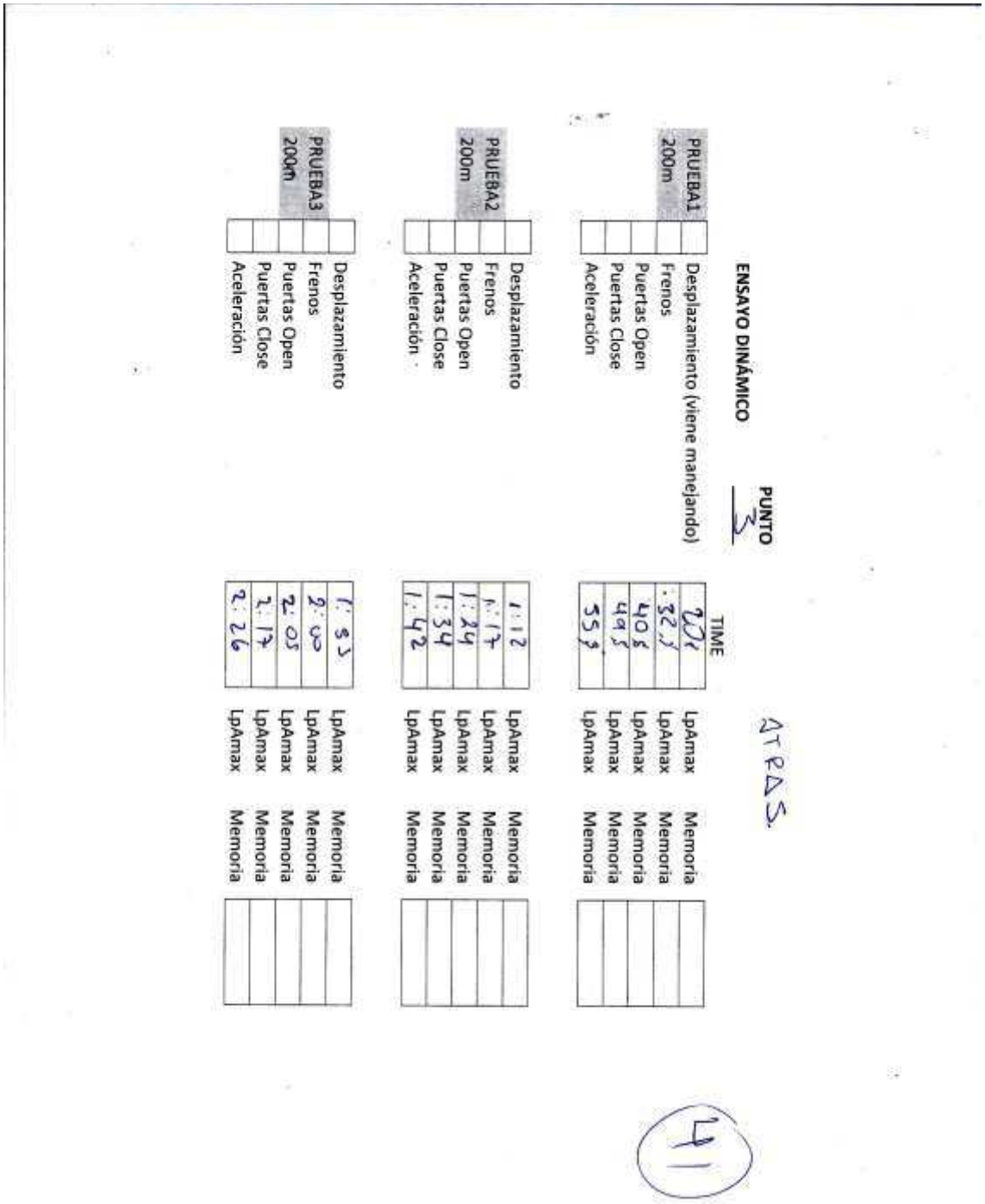


Figura 134. Hoja de ruta 3.2

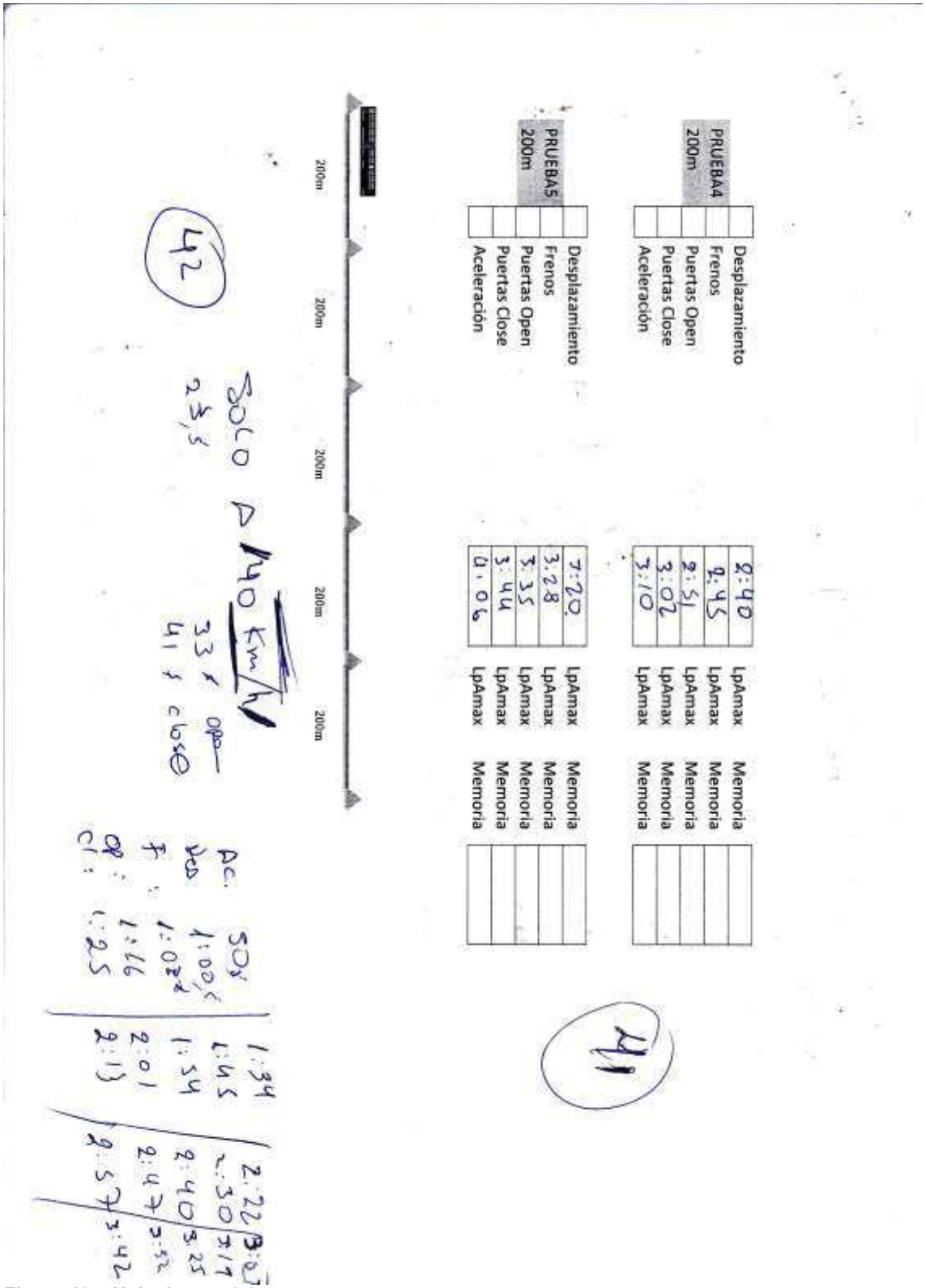


Figura 135. Hoja de ruta 3.3