



FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS AGROPECUARIAS

ANÁLISIS DE LA MOLESTIA CAUSADA POR LA VARIABILIDAD TEMPORAL Y ESPECTRAL  
DEL RUIDO DE TRÁFICO EN LA CIUDAD DE QUITO.

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

Profesor Guía  
Ing. Luis Alberto Bravo Moncayo

Autor  
David Andrés Munive Benites

Año  
2016

## 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”.

---

Luis Alberto Bravo Moncayo

Ingeniero Acústico

CI: 1711710606

## 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.”

---

David Andrés Munive Benites

CI: 1715524433

## AGRADECIMIENTOS

Agradezco profundamente a todas las personas que de una forma u otra contribuyeron a la exitosa culminación de este estudio y me acompañaron durante su desarrollo.

## DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado a cada persona que tenga interés en conocerlo, entenderlo, mejorarlo y/o cuestionarlo.

*“The beautiful thing about learning is nobody can take it away from you.”*

- B.B.

King

## RESUMEN

Esta investigación analiza la relación entre molestia causada por el ruido de distintos flujos de circulación vehicular y su relación con los descriptores acústicos LAeq (nivel de presión sonora continuo equivalente ponderado), TSVL (varianza temporal del nivel sonoro), CF (factor de cresta) y G (centroide espectral). Se midieron y grabaron varias muestras de ruido de tráfico de las cuales se calcularon los descriptores acústicos mencionados. La evaluación de molestia fue realizada en condiciones de laboratorio con una muestra poblacional representativa de las parroquias urbanas de la ciudad de Quito. Se diseñó una encuesta socio-acústica para evaluar la molestia reportada, la sensibilidad al ruido, y aspectos demográficos y socioeconómicos. Se encontró a través de ANOVAs que hay influencia en la variación de los descriptores acústicos y la molestia percibida para los cuatro descriptores acústicos estudiados. Los descriptores que predicen de forma más fiel la molestia son LAeq ( $F=100.926$ ) y CF ( $F=63.841$ ). El flujo de circulación continuo fluido fue el que presentó mayores niveles de molestia (media=7.64), mientras que el flujo intermitente fue el que menos molestia ocasionó entre los individuos (media=4.73). Se verificó por medio del coeficiente de correlación de Pearson que la sensibilidad al ruido es un predictor de la molestia reportada. Se encontró que las personas altamente sensibles tienden a usar automóvil privado, tener trabajos principalmente intelectuales, presentar desconcentración, dolor de cabeza, perturbación del sueño, irritabilidad, y reportar altos niveles de estrés cotidiano. Se discute la posible relación entre sensibilidad y afectividad negativa. Para un análisis más profundo de molestia se estableció un modelo de respuesta múltiple ordenado. Se halló que los cuatro indicadores acústicos, el tipo de tráfico, la presencia de ruido en la infancia y la sensibilidad al ruido influían significativamente en la molestia reportada. Estimando un modelo dicotómico se relacionó a la sensibilidad al ruido con género, desconcentración, irritabilidad, tipo de trabajo, medio de transporte preferido y alto nivel de estrés reportado.

## ABSTRACT

The relationship between noise annoyance from different types of road traffic flow and the acoustic descriptors LAeq (A-weighted equivalent sound pressure level), TSVL (temporal sound level variance), CF (crest factor) and G (spectral centroid) was studied. Road traffic noise was measured and recorded, and the acoustic descriptors were obtained from these noise samples. Noise annoyance was evaluated by a socio-acoustic survey performed under laboratory conditions on a representative population sample of Quito. The questionnaire assessed noise annoyance, noise sensitivity, demographic and socioeconomic data. Through Pearson's correlation coefficient it was shown that noise sensitivity predicts noise annoyance. ANOVAs found that the acoustic descriptors considered were an influence on noise annoyance. The descriptors that predicted annoyance more accurately were LAeq ( $F=100.926$ ) and G ( $F=63.841$ ). Fluid continuous traffic flow was found to be the most annoying (mean=7.64), while intermittent traffic flow was the least annoying (mean=4.73). It was found that highly sensitive people tend to use private cars, prefer intellectual jobs, lack concentration, and experience headaches, sleep disturbance and irritability. They are also more likely to have high levels of daily stress. The possible relationship between sensitivity and negative affect is discussed. A multinomial ordered model was developed for deeper analysis of annoyance. The four descriptors, as well as traffic type, age, the presence of noise at childhood and noise sensitivity were all influential on the reported noise annoyance. A binary choice model was performed on noise sensitivity finding that gender, lack of concentration, sleep disturbance, irritability, type of work, preferred means of transportation and daily reported stress led to changes on noise sensitivity.

# ÍNDICE

1. Capítulo I Introducción .....	1
1.1. Antecedentes .....	1
1.2. Marco referencial .....	2
1.2.1. Planteamiento del Problema .....	2
1.2.2. Hipótesis .....	2
1.3. Alcance .....	2
1.4. Justificación .....	2
1.5. Objetivo General .....	3
1.6. Objetivos específicos .....	3
2. Capítulo II Marco Teórico .....	5
2.1. Descriptores de ruido .....	5
2.1.1. Nivel de Presión Sonora Ponderado A (LA) .....	5
2.1.2. Nivel de Presión Sonora Continuo Equivalente (Leq) .....	8
2.1.2.1. Niveles de evaluación compuestos para jornada completa (LRdn, LRden) .....	10
2.1.3. Nivel Percentil (N) .....	12
2.1.4. Porcentaje de gente altamente molesta (%HA) .....	13
2.1.5. Varianza Temporal del Nivel Sonoro (TSVL) .....	13
2.1.6. Factor de Cresta (CF) .....	14
2.1.7. Centroide Espectral (G) .....	14
2.2. Ruido .....	15
2.2.1. Ruido de tráfico .....	16
2.3. Sensibilidad al ruido .....	17
2.4. Efectos del ruido en el ser humano .....	18
2.4.1. Efectos auditivos del ruido .....	19
2.4.2. Efectos no auditivos del ruido .....	20
2.4.2.1. Molestia .....	22
2.5. Evaluación de molestia y sensibilidad .....	24

2.5.1. Función dosis-respuesta .....	25
2.5.2. Encuesta de molestia .....	25
2.5.3. Encuesta de sensibilidad.....	27
<b>3. Capítulo III Metodología .....</b>	<b>29</b>
3.1. Diseño muestral .....	29
3.1.1. Población .....	29
3.1.2. Tamaño de la muestra .....	30
3.2. Evaluación del ruido .....	31
3.2.1. Tipos de flujo de circulación vehicular.....	31
3.2.2. Equipo y lineamientos para la medición del ruido .....	32
3.2.3. Equipo y lineamientos para la grabación del ruido .....	33
3.2.4. Método de medición y grabación del ruido .....	34
3.2.5. Procesamiento de las muestras de ruido .....	38
3.2.5.1. Procesamiento de audio .....	38
3.3. Encuesta de molestia, sensibilidad e información demográfica.....	40
3.3.1. Diseño de la encuesta.....	40
3.3.2. Obtención de datos de la encuesta .....	45
3.4. Análisis estadístico .....	47
<b>4. Capítulo IV Resultados .....</b>	<b>48</b>
4.1. Análisis Exploratorio.....	48
4.1.1. Tipo de tráfico y descriptores acústicos .....	48
4.1.1.1. Nivel continuo equivalente.....	49
4.1.1.2. Nivel de Varianza Temporal.....	50
4.1.1.3. Factor de Cresta .....	51
4.1.1.4. Centroide Espectral .....	52
4.1.2. Tipo de flujo de circulación vehicular y molestia .....	53
4.2. Correlación de variables.....	56
4.3. Análisis de Varianza ANOVA .....	57
4.3.1. Sensibilidad y Molestia verbal .....	58

4.3.2. Molestia y Edad.....	60
4.3.3. Molestia y estado civil .....	63
4.3.4. Sensibilidad, molestia numérica y tipo de ocupación laboral .....	65
4.3.5. Sensibilidad y tipo de transporte frecuentemente preferido. ....	68
4.3.6. Molestia numérica y tipo de circulación vehicular .....	70
4.3.7. Descriptores acústicos y tipo de circulación vehicular.....	71
4.3.8. Descriptores acústicos y molestia verbal .....	80
4.3.9. Sensibilidad y desconcentración .....	85
4.3.10. Sensibilidad y dolor de cabeza.....	86
4.3.11. Sensibilidad y perturbación del sueño .....	87
4.3.12. Sensibilidad e irritabilidad.....	88
4.3.13. Molestia numérica y existencia de ventanas que dan a calles o avenidas en los lugares más habitados de casa.....	89
4.3.14. Molestia numérica y exposición al ruido en la infancia.....	91
4.3.15. Sensibilidad y alto nivel de estrés cotidiano reportado.....	92
4.4. Modelo de respuesta múltiple ordenado (MRMO) y modelo dicotómico.....	93
4.4.1. MRMO para analizar molestia al ruido .....	96
4.4.1.1. Identificación de variables .....	97
4.4.1.2. Estimación del modelo.....	97
4.4.2. Modelo dicotómico para sensibilidad al ruido .....	102
4.4.2.1. Identificación de variables .....	103
4.4.2.2. Estimación del modelo dicotómico.....	103
5. Capítulo V Conclusiones y recomendaciones .....	107
5.1. Conclusiones.....	107
5.2. Recomendaciones .....	110
6. REFERENCIAS .....	112

## 1. Capítulo I Introducción

### 1.1. Antecedentes

La molestia inducida por ruido se ha definido internacionalmente como la reacción adversa al ruido, la cual puede ser percibida por ejemplo como perturbación del estado de ánimo y el bienestar psicológico y/o fisiológico en el día a día, incluyendo también la relación de prevalencia de ésta en cada individuo y su comunidad (ISO/TS 15666:2003). Desde el desarrollo de los primeros sonómetros en el año 1928 y de los primeros métodos para hacer audiometrías, siempre se ha buscado la relación entre el fenómeno físico del ruido y la afectación que produce al ser humano, la cual depende de varios factores que alteran su percepción. Vale señalar que la importancia de conocer los niveles de ruido se debió a la molestia que causaba en la ciudad de Nueva York en los años 20's y a los insistentes reclamos por parte de la ciudadanía hacia las autoridades de salud, lo cual llevó a la creación de normas y estándares (Marsh, 2012, pp. 1-34). Conjuntamente con el desarrollo de indicadores y formas estadísticas de describir diferentes propiedades del ruido medido, se han venido desarrollando con gran interés, desde fines la década de 1970, encuestas socio acústicas y escalas de valor que tratan de estudiar la percepción subjetiva del ruido, sus características para así darle una escala de molestia (Fidell y Teffeteller, 1981). Hay que tener en cuenta que la molestia que causa el ruido de tráfico a la población se ha convertido en uno de los problemas de salud más comunes de las grandes urbes debido al crecimiento poblacional y por consecuencia del parque automotor (Goines y Hagler, 2007). Los estudios que se han realizado en laboratorio sobre la percepción de molestia por ruido, han encontrado que los factores más influyentes podrían ser el nivel de presión sonora, el espectro frecuencial del ruido y el tiempo de exposición al mismo (Torija y Flindell, 2014). La norma ISO/TS 15666:2003 ha ayudado a definir una escala para realizar un estudio socio acústico de la molesta ocasionada por ruido al interior de viviendas y es un punto de inicio para estudiar la molestia tomando en cuenta la variabilidad del ruido de tráfico (ISO/TS 15666:2003).

## **1.2. Marco referencial**

### **1.2.1. Planteamiento del Problema**

Dentro del área de estudio existen varios experimentos, análisis estadísticos de descriptores de ruido y valoración de la molestia causada por el ruido, pero sin embargo hay escasez de estudios orientados a la relación entre la variabilidad del ruido y la molestia provocada por el mismo. De igual manera existen pocos estudios que se hayan realizado en la ciudad de Quito con respecto a la molestia por ruido de tráfico vehicular, siendo una urbe que actualmente sirve a más de dos millones de habitantes (INEC, 2011). Por estas razones se considera pertinente y de gran interés científico una investigación que relacione estas variables en condiciones controladas.

### **1.2.2. Hipótesis**

- Existe una molestia alta ante ruidos que presenten un nivel de presión sonora equivalente alto.
- Hay una mayor molestia por ruido de tráfico de baja frecuencia que por ruido de alta frecuencia y con mayor impulsividad.
- El tipo de flujo vehicular está relacionado con la molestia percibida por los individuos.

## **1.3. Alcance**

El alcance de la investigación comprende lo siguiente: la medición y registro de ruido en los lugares designados para tener muestras representativas de las vías de la urbe; la obtención de los descriptores acústicos vinculados con la variabilidad del ruido, la reproducción de las muestras de audio a una muestra de la población quiteña, quienes valorarán, a través de una encuesta, la molestia generada; y el análisis de los resultados obtenidos.

## **1.4. Justificación**

La realización de este tema se debe a la importancia de analizar la molestia causada por la variabilidad que existe en el ruido de tráfico obtenida a través de descriptores acústicos. Se propone su investigación para establecer en condiciones controladas y de acuerdo a una muestra representativa de la

población quiteña cual sería la prevalencia de los resultados de molestia con respecto a diferencias en la variabilidad de ruido. La razón para el estudio de esta población específica se debe a que al contar con alrededor de dos millones de habitantes tiene una gran variedad de individuos, lo que diversifica la información obtenida. Además resulta de gran interés el estudio de molestia en esta urbe debido al continuo crecimiento del parque automotor, habiendo aumentado en 24,63% desde el 2010 con un promedio de 5,69% por año según el Inventario de vehículos que han realizado la Revisión Técnica Vehicular (Agencia Metropolitana de Tránsito, 2015). Esta investigación se realiza teniendo en consideración la diferencia de resultados que se han obtenido en investigaciones con respecto a patrones de ruido que puedan resultar molestos en una misma medida a una población determinada (Torija y Flindell, 2014). Un aspecto importante a considerar es que la subjetividad de la valoración de la molestia requiere un análisis conjunto con los descriptores acústicos.

### **1.5. Objetivo General**

Analizar la relación entre indicadores acústicos y la valoración subjetiva de la molestia a través de un estudio socio acústico en una muestra representativa de la ciudad de Quito.

### **1.6. Objetivos específicos.**

- Obtener una muestra representativa de ruido de tráfico y de población a ser analizadas a través de un estudio estadístico de las calles y avenidas de la ciudad de Quito.
- Definir una relación entre flujos de circulación vehicular y el nivel de molestia reportado por la población.
- Evaluar la relación entre sensibilidad y la molestia reportada ante una exposición al ruido.
- Relacionar los aspectos socioeconómicos de la población evaluada con su nivel de molestia o sensibilidad reportados.
- Procesar la información obtenida de las muestras representativas de ruido de tráfico en la ciudad para obtener los indicadores acústicos

(Nivel de presión sonora equivalente ponderado LAeq, nivel de varianza temporal sonora TSVL, factor de cresta CF, y centroide espectral G) con respecto a la variabilidad temporal y espectral del mismo.

- Diseñar una encuesta de valoración de la molestia para las muestras de ruido en base a otras encuestas socio acústicas y a la norma ISO/TS 15666:2003.
- Establecer una relación entre la influencia de factores internos (sensibilidad al ruido) y externos (nivel de exposición al ruido, características del ruido) para explicar la predictividad de la molestia reportada.

## 2. Capítulo II Marco Teórico

### 2.1. Descriptores de ruido

Hay varios descriptores o indicadores que han sido creados y utilizados por autores, normas internacionales y entes reguladores para describir diversas características del ruido. Este estudio analiza factores de ruido de tráfico rodado y por eso a continuación se detallan algunos descriptores que son utilizados para este tipo específico de ruido.

Un aspecto importante es que la molestia puede solo ser predicha de una manera probabilística como una relación entre la exposición al ruido y la respuesta recibida por la comunidad (Harris, 1999, p. 23.2).

Algunas de las variables que han sido postuladas como posibles predictoras de la molestia por exposición al ruido son la composición espectral, la impulsividad, el factor cresta, el tiempo de estabilización, la periodicidad, la hora del día y la variabilidad temporal (Crocker, 1998, p. 908).

Se han diseñado dos tipos de descriptores acústicos en el intento de predecir la molestia: los que están enfocados en la fuente de ruido y en sus eventos sonoros individuales, y los que están enfocados en el impacto que la fuente de ruido tiene sobre el ambiente (Crocker, 2007, p.317). Los primeros estudian a los objetos en condiciones de laboratorio y su análisis se realiza para conseguir certificaciones que los permita estar en el mercado, como es el caso de partes de aviones, automóviles, maquinaria, etcétera (Crocker, 2007, p.318). Los descriptores que buscan entender el impacto de las fuentes en el ambiente, y muchas veces su influencia en la comunidad son los que se analizarán con más profundidad en este estudio.

#### 2.1.1. Nivel de Presión Sonora Ponderado A ( $L(A)$ )

Para emular la respuesta del oído humano se aplican curvas de ponderación en las mediciones que se realizan. La curva más utilizada es la curva de ponderación A que corresponde a la inversión de la curva isofónica de 40 *fons*, la misma que representa la respuesta auditiva al espectro de frecuencias teniendo como referencia 1 kHz a 40 dB SPL.

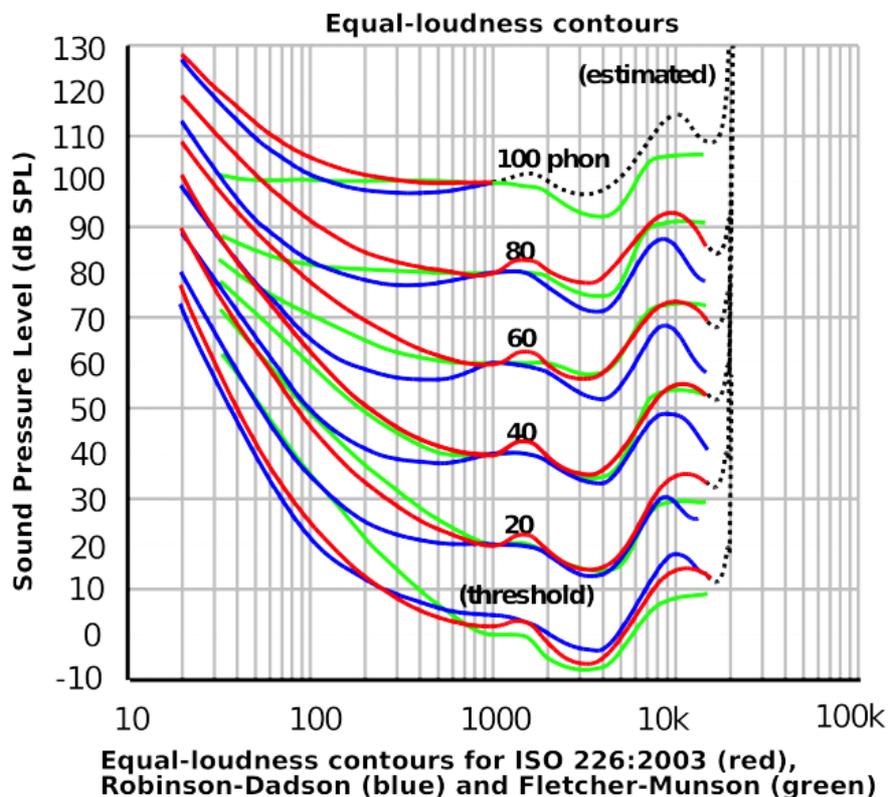


Figura 1. Curvas de igual sonoridad, ISO 226:2003 (rojo), Robinson-Dadson (azul) y Fletcher-Munson (verde). Tomado de Dijkstra, (s.f.)

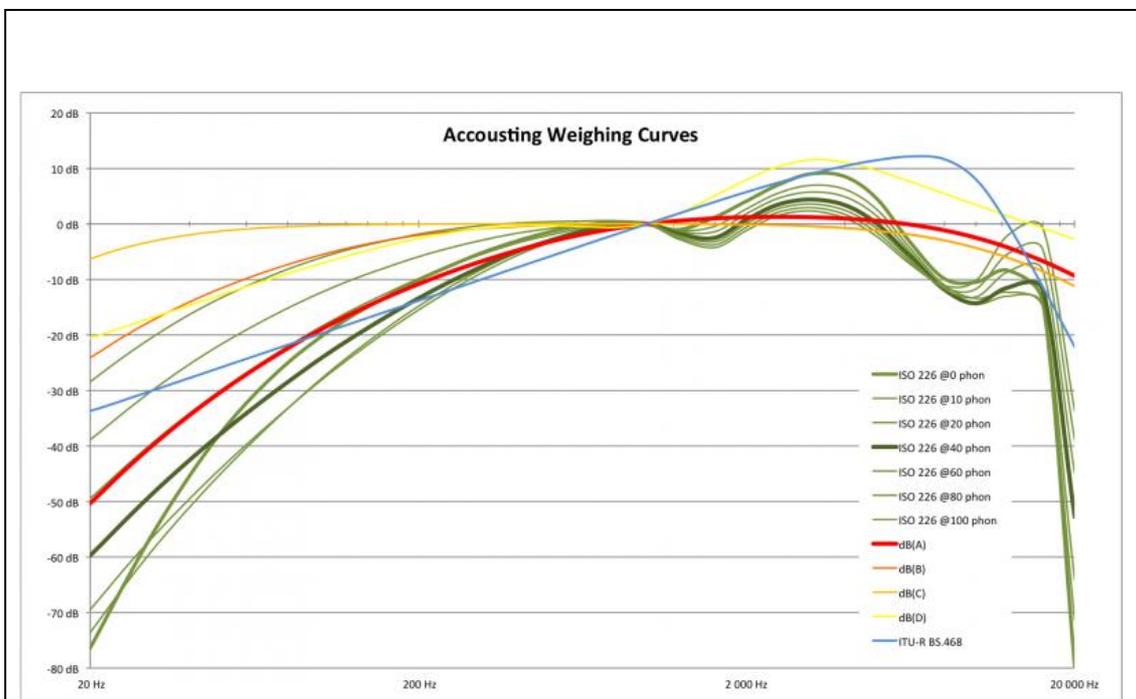
Igualmente es común el uso de las curvas B y C las cuales de manera análoga son inversiones de las curva de 70 *fons* y 100 *fons* respectivamente. El uso de diferentes ponderaciones depende del tipo de fuente que se vaya a medir y /o del nivel SPL de la fuente. Se recomienda el análisis frecuencial de los sonidos medidos usando filtros de bandas de octava o tercio de octava que incluyan ponderación. La ponderación A es la más utilizada para normativas y políticas de regulación de ruido debido a que se considera que la mayoría de ruidos se encuentran cerca de este nivel sonoro. (Everest y Pohlmann, 2011, pp. 30-31).

La importancia de utilizar una ponderación es que considere lo más detalladamente posible la respuesta del oído, la cual depende en gran magnitud del nivel, teniendo una curva de respuesta más plana a nivel elevado

que a niveles bajos. La forma de obtener el nivel de presión sonora ponderado A supone el uso de un filtro (generalmente de tercio de octava) el cual suma los valores de corrección contenidos en la curva para después obtener el nivel total haciendo una suma de decibeles. (Möser y Barros, 2009, pp. 10-12).

$$L(A) = 10 \log \left( \sum_{i=1}^N 10^{(L_i + \frac{L\Delta_i}{10})} \right) dB \quad (\text{Ecuación 1})$$

Donde  $\Delta_i$  corresponde a los factores de corrección incluidos en la curva de ponderación. La ponderación A está definida en normas como DIN 45633 o UNE 21-315/75 (Recuero, 2000, p. 396).



*Figura 2.* Curvas de ponderación, ISO 226:2003 0, 10, 20, 60, 80, 100 fons (verde claro), 40 fons (verde oscuro), dB(A) (rojo), dB(B) (anaranjado oscuro), dB(C) (anaranjado claro), dB(D) (amarillo) e ITU-R BS.468 (azul). Tomado de Dijkstra, (s.f.).

Los sonómetros, que son uno de los equipos más utilizados para medir presión sonora, utilizan estas redes de ponderación para dar su valor final en dB(A), dB(B) o dB(C). Una importante recomendación es utilizar ponderación A para sonidos medios o normales, ponderación B (también utilizada para ruido de

aviones) para sonidos medios y ponderación C para sonidos fuertes o sonidos con alto contenido de baja frecuencia a considerable intensidad (Llinares, Llopis y Sancho, 2008, pp. 110- 112).

La razón por la cual es común el uso de la ponderación A para predecir molestia es que los sonidos que la causan son solamente los que el oído puede escuchar con mayor sensibilidad siguiendo esta curva de ponderación. Sin embargo los sonidos deben ser continuos en el tiempo, claramente audibles y relativamente altos sin alto contenido en baja frecuencia; de otra manera podría bajar el nivel de predictibilidad por el uso de este descriptor (Harris, 1998, p. 23.5).

A pesar de la popularidad en el uso internacional de los dB(A), su validez para todas las aplicaciones en Acústica está en constante discusión pues se ha demostrado en varias ocasiones su ineficiencia para ser un buen indicador de molestia sobre todo cuando hay alto contenido de baja frecuencia o alta impulsividad (Leventhall, 2004), (Kogan, 2004).

### **2.1.2. Nivel de Presión Sonora Continuo Equivalente ( $L_{eq}$ )**

Una de las herramientas más utilizadas en acústica es el Nivel de Presión Sonora Continuo Equivalente ( $L_{eq}$ ). La utilidad de este indicador se debe a que muchas veces las fuentes de ruido no presentan un ruido estacionario o constante, lo que hace que aparezcan varias fluctuaciones en los resultados de las mediciones en periodos cortos de tiempo dificultando la lectura de los niveles de presión sonora (Möser y Barros, 2009, pp. 13-14).

Para solucionar este inconveniente debido a la naturaleza cambiante de las fuentes de sonido se realiza un promedio temporal de la presión sonora al cuadrado, lo cual se representa como:

$$L_{eq} = 10 \log \left( \frac{1}{T} \int_0^T \frac{p_{eff}^2(t)}{p_0^2} dt \right) dB = 10 \log \left( \frac{1}{T} \int_0^T 10^{\frac{L(t)}{10}} dt \right) dB \quad (\text{Ecuación 2})$$

donde

$L_{eq}$  es el Nivel de Presión Sonora Continuo Equivalente;

$T$  es el tiempo de integración;

$p_{eff}(t)$  representa la presión sonora instantánea;

$p_0 = 2 \times 10^{-5} \text{ N/m}^2$ ;

$L(t)$  = es el nivel de presión sonora instantáneo.

El uso de este promedio temporal permite el análisis y comparación de señales intermitentes como conversaciones, música, maquinaria, o como en el caso de este estudio, ruido de tráfico. El valor eficaz o RMS de las señales (que en este caso se realiza a los valores de presión) es una herramienta común y bastante útil en varias ramas y aplicaciones del audio y la acústica, pues permite integrar un gran número de valores positivos o negativos en diferentes intervalos de tiempo. Hay que tener en cuenta que no hay una relación directa entre los valores pico de una señal y el valor eficaz (Miyara, 2004, p. 81).

Es común el uso de promedios temporales, filtros de octava o tercio de octava y ponderaciones A, B o C al mismo tiempo en una misma señal. En la actualidad hay varios equipos que prácticamente de forma instantánea nos entregan estos resultados. Dependiendo de la aplicación, se utilizan tiempos de integración  $T$  diferentes, desde unas pequeñas fracciones de segundo, minutos e incluso horas. Los valores obtenidos a través de la combinación de estos filtros y tiempos de integración son lo que determina los rangos aceptables y punitivos de normas y regulaciones, generando criterios para políticas de ruido (Möser y Barros, 2009, pp. 13-14).

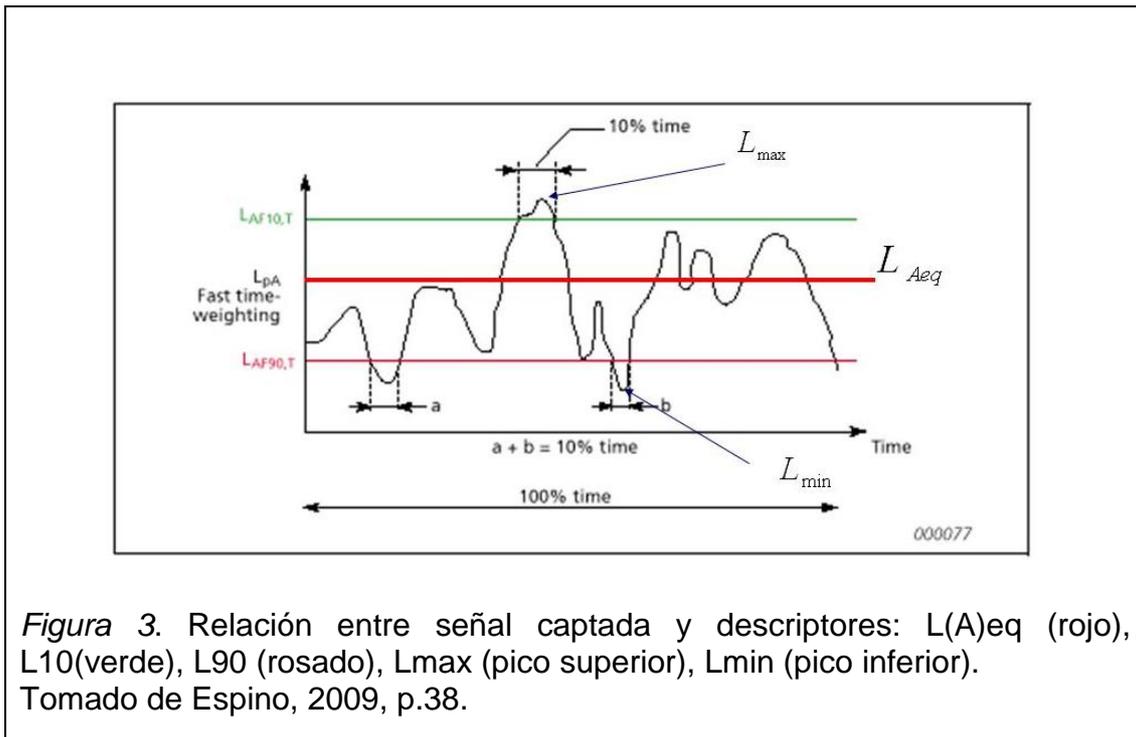


Figura 3. Relación entre señal captada y descriptores:  $L(A)_{eq}$  (rojo),  $L_{10}$ (verde),  $L_{90}$  (rosado),  $L_{max}$  (pico superior),  $L_{min}$  (pico inferior). Tomado de Espino, 2009, p.38.

### 2.1.2.1. Niveles de evaluación compuestos para jornada completa ( $L_{Rdn}$ , $L_{Rden}$ )

Un método comúnmente utilizado para describir el entorno acústico de una comunidad es determinar el nivel de evaluación compuesto para la jornada completa, el cual en la norma ISO 1996-1:2003 se establece como:

$$L_{Rdn} = 10 \log \left[ \frac{d}{24} \times 10^{(L_{Rd} + K_d)/10} + \frac{24-d}{24} \times 10^{(L_{Rn} + K_n)/10} \right] dB \quad (\text{Ecuación 3})$$

donde

$d$  es el número de horas del día;

$L_{Rd}$  es el nivel de evaluación para el día, incluyendo los términos correctores respectivos para las diferentes fuentes;

$L_{Rn}$  es el nivel de evaluación para la noche, incluyendo los términos correctores respectivos para las diferentes fuentes;

$K_d$  es el término corrector para el fin de semana;

$K_n$  es el término corrector para la noche del fin de semana.

Algunas regulaciones también requieren el uso del nivel de evaluación mañana/tarde/noche ( $L_{Rden}$ ) el cual se representa como:

$$L_{Rden} = 10 \log \left[ \frac{d}{24} \times 10^{(L_{Rd} + K_d)/10} + \frac{e}{24} \times 10^{(L_{Re} + K_e)/10} + \frac{24-d-e}{24} \times 10^{(L_{Rn} + K_n)/10} \right] dB$$

(Ecuación 4)

donde

$e$  es el número de horas en la tarde;

$L_{Re}$  es el nivel de evaluación para la tarde, incluyendo los términos correctores para las fuentes y las características acústicas.

Para el uso de estos descriptores es responsabilidad de las autoridades competentes la duración del período de la mañana y la tarde según corresponda. El uso de términos correctores depende del tipo de fuente y están especificados en la normativa ISO 1996-1:2003. Debe tenerse en cuenta que si se está utilizando los términos correctores para un período específico del día se puede aplicar la corrección para todo el periodo en general en vez de para cada fuente particular. Es decir, se pueden añadir 6 decibeles al nivel de exposición sonora de cada avión por la mañana o 6 decibeles al nivel de presión sonora continuo equivalente del avión por la mañana, dando el mismo resultado. En esta normativa el término corrector para el período de la tarde es 5 dB, para la noche 10 dB y para el fin de semana 5 dB.

Las sociedades urbanas que utilizan medios de transporte motorizados (la mayoría en estos tiempos) tienen como principal fuente de ruido al producido por tráfico rodado. Aunque el ruido de aviones afecta a un pequeño porcentaje de la población se lo reconoce como el más molesto y por lo tanto ha sido el más estudiado; lo desfavorable es que esto ha llevado a que no se estudien a fondo otros ruidos de la vida cotidiana proveniente las grandes aglomeraciones humanas como ruido de tacones, portazos, plomería, entretenimiento electrónico, peatones, recolección de basura, ventas ambulantes, vehículos de emergencias, entre otros. (Crocker, 2007, pp. 316 – 320).

### 2.1.3. Nivel Percentil (N)

El nivel sonoro LN es un índice estadístico expresado en decibelios que indica el nivel de ruido en dB(A) (u otra ponderación de frecuencia) que ha sobrepasado un cierto porcentaje (N%) durante un intervalo de tiempo de la medición (Recuero, 2000. p. 398), (ISO, 2003). De esta forma podemos tener conocimiento de niveles superiores e inferiores al nivel promedio o equivalente.

Estos indicadores son utilizados debido al intermitente comportamiento y fluctuaciones de algunos tipos de ruido de tráfico dentro del intervalo de tiempo de la medición; este comportamiento en fluctuaciones se reconoce como más molesto que el ruido estacionario. Los percentiles L1, L10, L50, L90 y L99 son usados en diferentes países para normas y regulaciones. (Crocker, 1998, pp. 785, 987).

L1: representa al nivel de ruido de tráfico que excede al 1% del tiempo de medición, es usado para tener una idea del nivel más alto captado.

L10: índice que representa al nivel de ruido emitido por tráfico que excede al 10% del tiempo de medición. Generalmente es usado para identificar los niveles pico que se han mantenido durante un intervalo de tiempo medianamente largo. (Recuero, 2000, p.398) Es el indicador que utiliza el modelo del Reino Unido y Australia para el cálculo de ruido de tráfico. (FWA, 2005, pp. 5-13 – 5-18). En este caso se lo utiliza en mediciones de 18 horas desde las 6 a.m. a las 12 p.m. (Welsh Office Department of Transport, 1988). Según Crocker (1998, p.785) este indicador no es adecuado cuando:

- a) La tasa del flujo de automóviles es baja.
- b) Los vehículos no están equidistantes en la carretera.
- c) Se intenta combinar matemáticamente los índices L10 calculados para diferentes fuentes.

L50: es un valor medio de la fluctuación del nivel de ruido, ya que la una mitad de tiempo tendrá un nivel de ruido más alto que la otra mitad.

L90: este indicador representa al nivel de presión sonora que permanece durante el 90% del tiempo de medición, lo cual varias veces es usado para identificar el nivel de ruido ambiente.

L99: este valor representa el mínimo nivel de ruido dentro del intervalo de medición. Puede representar el nivel de ruido de fondo de un equipo de grabación o un instrumento de medición (Crocker, 1998, p. 785).

#### **2.1.4. Porcentaje de gente altamente molesta (%HA)**

Según (Crocker, 2007, p.318) el Comité Federal Inter-agencia en Ruido (FICON) declara que el porcentaje esperado de personas altamente molestas por exposición al ruido (%HA) es la mejor forma de estimar el impacto del ruido en una población. La ecuación para describir la prevalencia de la molestia en una población es teóricamente simple porque es 100 veces el número de gente que reporta sentirse altamente molesta en una encuesta socio acústica, dividido para el total de personas entrevistadas.

FICON además de usar este como su principal indicador de afectación por ruido a comunidades, también lo ha adoptado como una relación dosis-efecto de la siguiente manera)

$$\%HA = \frac{100}{(1+e^{11,13-0,141L_{den}})} \quad (\text{Ecuación 5})$$

A pesar de ser oficialmente usada, esta relación de dosis-efecto ha sido cuestionada por tener una baja correlación con la molestia reportada (Fidell y Silvati, 2004).

#### **2.1.5. Varianza Temporal del Nivel Sonoro (TSVL)**

Como Torija (2010, p.17) indica en su tesis doctoral, la estructura temporal, la sonoridad y el espectro sonoro son elementos necesarios para la describir correctamente los paisajes sonoros y evaluar la potencial molestia que puede presentar una fuente de ruido. El descriptor de varianza temporal del nivel sonoro (TSVL) describe la variabilidad temporal o fluctuación del nivel sonoro en el dominio del tiempo. La fluctuación del ruido ambiental se ha propuesto como una de las variables más influyentes en la molestia por ruido.

Este indicador es la multiplicación o ponderación de la desviación típica o estándar del nivel equivalente por la desviación estándar del nivel de presión sonora instantáneo. Esta multiplicación hace que el parámetro TSVL sea muy sensible a niveles sonoros máximos instantáneos, sobre todo si aparecen al comienzo de la medición (Torija, 2010, p. 71).

$$TSLV = \sigma_L * \sigma_{eq} \quad (\text{Ecuación 6})$$

Donde

TSLV es la Varianza Temporal del Nivel Sonoro

$\sigma_L$  desviación típica del nivel sonoro instantáneo (1 seg)

$\sigma_{eq}$  desviación típica del nivel continuo equivalente

#### 2.1.6. Factor de Cresta (CF)

Este indicador caracteriza la impulsividad de los eventos sonoros que ocurren en una medición. Se define como la relación entre el valor máximo de presión sonora con respecto al valor RMS de la presión sonora (Torija, 2010, p. 71).

$$CF = \frac{\max_t 10^{L_p(t)/10}}{10^{L_{eq,t}/10}} \quad (\text{Ecuación 7})$$

donde

$\max_t 10^{L_p(t)/10}$  máximo valor de presión sonora

$10^{L_{eq,t}/10}$  RMS de la presión sonora de un tiempo ( $t$ ) de medición

#### 2.1.7. Centroide Espectral (G)

Es un indicador usado en procesamiento digital de señales para caracterizar el espectro. Indica donde está la frecuencia en la que se concentra la mayor cantidad de energía acústica del espectro. Se lo suele relacionar con la brillantez del sonido y se puede pensar en él como el centro de gravedad frecuencial en el espectro. Se debe entender que esta característica no permanece estática sino que cambia durante el desarrollo temporal del sonido ligado fuertemente con su intensidad; por ejemplo un mismo instrumento

ejecutando la misma nota en *pianissimo* y en *forte* va a tener un diferente centroide espectral en cada sonido. Por esta razón es una de las características más usadas en síntesis de sonidos para emular sonidos reales de instrumentos musicales (Hong Park, 2009, p.399).

$$\text{Centroide Espectral} = \frac{\sum_{n=0}^{N-1} f(n)x(n)}{\sum_{n=0}^{N-1} x(n)} \quad (\text{Ecuación 8})$$

Donde  $x(n)$  representa el valor de la frecuencia de ponderación o magnitud, y  $f(n)$  representa a la frecuencia central de la banda de 1/3 octava.

Esta es una forma de probar que los sonidos más “opacos” tienen más contenido frecuencial en baja frecuencia y los más brillantes en alta frecuencia. Este indicador es uno de los utilizados por MPGE-7 (Motion Picture Experts Group) como uno de los descriptores de timbre (Hong Park, 2009, p.399).

En el caso de una señal compuesta por un tono puro el centroide espectral siempre va a mostrar la frecuencia fundamental. Muchas veces se pondera con la forma no lineal del oído humano cuando es usada para modelar por síntesis a instrumentos musicales (Lerch, 2012, p. 45).

El uso de este descriptor para el presente estudio de molestia se debe a que los componentes tonales y el carácter espectral tienen una gran influencia con la molestia por ruido (Torija, Ruiz, Coensel, Botteldooren, Berglund y Ramos-Ridao, 2011).

## 2.2. Ruido

Dependiendo de la clasificación subjetiva de cada individuo se puede sugerir que todo sonido puede ser interpretado como sonido útil o simplemente como ruido, siendo la definición más comúnmente aceptada que el ruido viene a ser todo sonido no deseado. De esta forma un individuo puede denominar como ruido tanto a música con nivel elevado mientras realiza una tarea que requiere alta concentración, como al sonido que produce el tráfico vehicular en la calle. La diferencia principal entre el sonido y ruido que se puede apreciar es que el ruido genera una respuesta negativa por parte del individuo (Recuero, 2000, pp. 373-375).

Se puede fácilmente discriminar al ruido porque va a ser el causante de molestia y varios problemas que van desde estrés hasta pérdida auditiva. Las ciudades, la industria, el crecimiento del parque automotor y el incremento de lugares de entretenimiento son factores que han convertido al ruido en parte de la vida cotidiana de las personas (Miyara, 2004, pp. 58-61).

El control y gestión de ruido se ha vuelto un requisito indispensable para las urbes siendo razón para la creación de políticas y regulaciones. En los países desarrollados el ruido industrial, de movilidad y de entretenimiento es un problema que a pesar de tener varias leyes y técnicas para su reducción, se espera que siga aumentando en los próximos años (Crocker, 1998, pp. 771-773).

Una conclusión a la que han llegado varios investigadores es que el ruido de tráfico puede ser más molesto que el ruido de trenes pero nunca más molesto que el ruido de aviones. Una explicación que se puede encontrar para este fenómeno es que este ruido tiene mayor variación de nivel en el tiempo y tiene otro tipo de contenido espectral que los otros medios de transporte (Crocker, 1998, p. 792).

### **2.2.1. Ruido de tráfico**

Recuero (2000, pp. 382-384), Bowlby (Harris, 1998, p. 48.1), Donavan, Schumacher (Crocker, 2007, p. 1427), entre otros, reconocen al ruido de tráfico rodado como la fuente de ruido más importante debido a la molestia que causa y porque es producido por varias fuentes individuales en movimiento (automóviles, buses, motocicletas, camiones, etc.) las cuales a su vez son el resultado del movimiento y vibración de sus componentes (motor, transmisión, puertas, neumáticos, forma del chasis, tubo de escape, entre otros). Las características de la fuente sonora dependen también de la interacción del vehículo con el medio que le rodea y las condiciones de operación, es decir que influye la velocidad del tráfico, la densidad del tráfico, la carga del vehículo, el tipo de calzada, etcétera (Recuero, 2000, pp. 382-384).

El ruido producido por cada tipo de vehículo (automóviles, camiones, motocicletas, entre otros) tiene una gran diferencia del resto debido a sus características y tamaño. Sin embargo todos los vehículos rodados generan ruido dependiendo de sus condiciones de operación y tienen dos principales fuentes independientes: el sistema de propulsión y las llantas. Las partes del sistema de propulsión son el motor, el tubo de escape, la válvula de admisión, el ventilador, la bomba de aire, entre otros, los cuales deben estar en regla con los estándares de emisión. El sonido producido es la combinación de la interacción de las partes y la velocidad del motor, es decir la marcha del vehículo; vale la pena señalar que el máximo nivel de presión sonora es el máximo número de revoluciones por minuto que puede alcanzar el motor. La interacción de las llantas con la calzada (asfalto, adoquín, concreto, etc.) es lo que produce ruido siendo directamente relacionado con la velocidad de rodadura. Esto resulta de la vibración del neumático y del escape de aire de los surcos de la rueda cuando esta gira. El incremento del nivel sonoro es de 10 a 12 dB(A) al doblar la velocidad (Harris, 1998, pp. 48.5-48.9).

Un aspecto a considerar es que la presencia de edificios en las ciudades contribuye a aumentar el nivel sonoro por las reflexiones producidas en las fachadas de los mismos. Varias sumas constructivas y destructivas pueden ocurrir a la señal acústica dependiendo del entorno en el que se propague el ruido generado (Crocker, 2007, pp. 1433-1434).

### **2.3. Sensibilidad al ruido**

Desde hace más de treinta años se ha discutido la idea de que la molestia por ruido no tiene relación solamente con la exposición al ruido sino también con condiciones y actitudes inherentes de los individuos frente a las fuentes de ruido. Algunas de las variables consideradas que influyen en la molestia por ruido son el contexto de exposición, el género, la edad, el nivel de educación y la salud. Sin embargo este es un tema todavía abierto a discusión (Sense, Ruotolo, Ruggiero y Iachini, 2012).

Una de las herramientas que ha demostrado tener una alta correlación como predictor de la molestia reportada es la sensibilidad al ruido. Este indicador ha

sido usado por varios investigadores desde su presentación en 1978 por Neil Weinstein. La cuestión principal que se ha buscado resolver con este indicador es cuánto puede adaptarse la gente al ruido y por qué sus reacciones llegan a ser tan diferentes (Weinstein, 1978).

La sensibilidad al ruido se conceptualiza como un atributo subjetivo estable independiente a la exposición al ruido que influye en la reacción personal de un individuo a la misma. Este atributo regula la aparición de efectos negativos frente al ruido ambiental pues actúa modulando la molestia y el estrés generados, lo cual a su vez disminuye los problemas de salud fisiológica y psicológica que se pudieran presentarse (Sense, Ruotolo, Ruggiero y Iachini, 2012).

A pesar de que todavía no se ha llegado a un consenso sobre patrones fisiológicos o psicológicos que definan la sensibilidad al ruido de una persona (Shepherd et al., 2015), varios investigadores han llegado a reconocer al ruido como un rasgo inter – intrapersonal (Smith, 2003). En algunos estudios se ha discutido la posibilidad de que la sensibilidad al ruido esté relacionada con una personalidad introvertida, fuerte ansiedad, neurosis, nerviosismo, respuesta más fuerte a estímulos ambientales, atención dispersa y tendencia a depresión o fobias (Luz, 2005), (Stansfeld y Clark, 2007), (Sense, Ruotolo, Ruggiero y Iachini, 2012), (Weinstein, 1978).

No hay que dejar de lado que a pesar de esto, también se ha reportado la posibilidad de que más allá de las connotaciones negativas que pueden relacionarse con la sensibilidad, las personas sensibles al ruido también podrían ser personas más preocupadas por el medio ambiente, proclives a tomar acción por problemas ambientales en su comunidad, ser más creativas, amigables y empáticas (Luz, 2005), (Stansfeld y Clark, 2007).

#### **2.4. Efectos del ruido en el ser humano**

Como se comentó anteriormente, el rango auditivo del ser humano depende y puede ser afectado por algunas variables como la edad, la salud, la exposición al ruido, etc. Pero este es solo uno de los efectos que puede tener la

exposición al ruido en las personas. Tras varios años de estudios e investigaciones se ha demostrado que el ruido constituye un contaminante más en el ambiente (reconocido por la Organización Mundial de la Salud), el cual puede provocar varios problemas en la salud y bienestar personal (Leventhall, 2004).

Los problemas que se pueden presentar en la salud son de carácter fisiológico y psicológico, siendo muchas veces relacionados entre sí. Los niveles elevados de sonido, ya sea ruido de maquinaria o música sinfónica pueden ser nocivos si son escuchados por largos periodos de tiempo; es decir que se debe recalcar que los efectos dependen tanto del nivel como de la duración del ruido. Estos estímulos pueden funcionar como fuentes de estrés que perjudican al ser humano, no solo en su sistema de audición, sino en todo su ser como afecciones somáticas o nerviosas (Miyara, 2004, pp. 58-61).

#### **2.4.1. Efectos auditivos del ruido**

Cualquier disminución en la percepción del sonido a lo largo del espectro audible es considerada pérdida auditiva. El daño fisiológico por exposición a altos niveles de ruido se da generalmente en la cóclea empezando en la banda de frecuencias de 4 a 6 kHz (Gerges, 1998, p. 48). Generalmente este efecto está acompañado por un desplazamiento temporal del umbral de la audición el cual si llega a ocurrir con frecuencia puede llevar a un daño permanente en frecuencias por encima y debajo de esta banda de frecuencias.

Kogan (2004) señala que existen fuentes sonoras cuyos espectros sonoros no coinciden con el espectro de la audición humana y sin embargo pueden dar paso a efectos adversos de carácter extra auditivo en el ser humano.

El mayor riesgo que representa una prolongada exposición a sonidos con niveles muy elevados es que puede causar la ruptura del tímpano, aunque a niveles moderados pero tras una larga exposición puede también causar un daño irreversible. Como señalan Möser y Barros (2009, pp. 1-2), se puede esperar una pérdida auditiva alrededor de 1 kHz por cada diez años desde los 20 años de edad, sin embargo es posible asumir que en medios ruidosos como

ciudades muy pobladas o teniendo trabajos con alta exposición al ruido este proceso pueda acelerarse.

En la investigación publicada por Miedema (2007), el autor sugiere la existencia de cuatro rutas principales por las que la exposición ruido puede afectar al ser humano. La primera de estas está relacionada con la audición y es el enmascaramiento de sonido útil, lo cual interfiere con la comunicación verbal haciendo necesario para las personas elevar el nivel de voz o abstenerse de hablar. Este problema ha requerido la creación de estándares internacionales de adecuación de locales para garantizar una buena inteligibilidad de la palabra y comprensión del mensaje hablado.

Los sonidos altos e impulsivos de impactos o explosiones son reconocidos como causantes de daño auditivo inmediato. Algo que a veces es pasado por alto es que los infrasonidos pueden ser muy intensos en ocasiones y causar una sensación de presión o presencia en los oídos. Esto puede ser causado por varias fuentes que rodean al ser humano como sistemas de aire acondicionado en edificios, grandes ventiladores, maquinas que quemén aceite o gas y cabinas de camiones u otros vehículos generalmente pesados (Crocker. 2007, p. 304).

#### **2.4.2. Efectos no auditivos del ruido**

Miedema (2007) identifica cuatro rutas por las que la exposición al ruido puede afectar al ser humano de forma no auditiva con o sin la influencia de estrés de por medio. La primera ruta es la interrupción o alteración de la comunicación oral a través del enmascaramiento de la voz humana. Se identifica que ante la existencia de fuentes ruidosas la gente tiende a abstenerse de comunicarse o hacerlo mediante mensajes cortos. La segunda ruta es la alteración de la atención, la cual se ve afectada por la fragilidad de la memoria temporal ante la presencia de ruido. Los individuos que realizan tareas en las que necesitan acceder a su memoria de largo plazo y hacer uso de ella pueden llegar a tener una mayor fatiga mental a causa del ruido. El tercer efecto distinguido es la alteración del sueño. Este problema es una de las mayores preocupaciones de las personas con respecto al ruido, pues claramente pueden experimentar

irritabilidad, cansancio, estrés, problemas cardiovasculares, y varias otras consecuencias que todavía están siendo estudiadas. Estos problemas se derivan de los periodos cortos o interrumpidos de sueño. La cuarta ruta de afectación es el miedo o enfado que pueden causar ciertos sonidos. Este problema, que lleva una connotación emocional, puede estar causado por la asociación de fuentes de ruido con los tres problemas anteriores o con sensaciones de peligro o amenaza que pueden ocasionarse por la fuente. Por ejemplo, personas viviendo cerca de aeropuertos se preocupan por la posibilidad de accidentes catastróficos y esto se asocia al ruido de aviones. Se discute la posibilidad de que este efecto esté fuertemente enlazado con la sensibilidad al ruido (Miedema, 2007).

Varios investigadores han estudiado el efecto del ruido a través de las vibraciones transmitidas al cuerpo humano. Efectos como aceleración del pulso cardíaco, aumento de la presión sanguínea, estrechamiento de los vasos sanguíneos y sensación de mareo son algunos de los efectos inducidos por la exposición a vibraciones (Gerges, 1998, p. 49). También existen efectos en el cuerpo humano si se lo conceptualiza como un sistema mecánico con varios grados de libertad. Bajo esta perspectiva se debe considerar que cada órgano y sistema del cuerpo humano puede tener frecuencias de resonancia a las que puede presentar una máxima respuesta vibratoria, siendo la vibración vertical (persona de pie) la más sensible a exposición de vibraciones (Gerges, 1998, pp.68-72).

Algunas de las afectaciones fisiológicas que se pueden dar por exposición al ruido en el cuerpo humano pueden ser causadas por una sobrecarga al corazón causando secreciones anormales de hormonas y tensiones musculares. Entre estas afectaciones se pueden encontrar la dilatación de las pupilas, el aumento de producción hormonal en la Tiroides, el aumento del ritmo cardíaco, producción de adrenalina y corticotrofina, tensión en los músculos del abdomen, y contracción en los vasos sanguíneos (Gerges, 1998, p. 53).

#### 2.4.2.1. Molestia

Dentro de la gran variedad de efectos que el ruido puede tener en el ser humano, la pérdida auditiva es generalmente el primero que viene a la mente, sin embargo el problema más común asociado al ruido es la molestia. Esta afección puede ser originada por prácticamente cualquier tipo de sonido, variando su grado para cada individuo y situación diferente (Recuero, 2000, p. 406).

La molestia al ruido es usualmente definida como la actitud adversa que toma un individuo con respecto a una fuente de sonido que distrae su atención de forma negativa, o que interfiere con una actividad como comunicación verbal, recreación, relajación, dormir, entre otras. Con respecto a la molestia, el ruido no es solamente un sonido no deseado sino que toma un carácter negativo e incontrolable. Por su naturaleza subjetiva no puede ser tratado simplemente como un problema ambiental acústico sino que debe ser entendido como una consecuencia psicológica del ruido. Esta consecuencia psicológica no puede ser solamente estudiada por variables acústicas sino también deben tomarse en cuenta los efectos perceptuales que tiene el ruido en los individuos (Crocker, 2007, pp. 316-318). Algo que se debe considerar es que el estudio de la molestia tiene un papel importante porque se enfoca en un efecto negativo del ruido en el ser humano desde su propia respuesta; a diferencia de la sonoridad, la ruidosidad (*noisiness*) o el nivel de ruido percibido, los cuales en estudios de laboratorio no han podido ser distinguidos de la molestia (Crocker, 1998, p.777).

Algunas veces se sugiere que el nivel de molestia provocado por un ruido depende principalmente de su nivel de presión sonora y de la naturaleza del sonido (Recuero, 2000, pp. 373-375). Fidell y Green (Harris, 1998, p. 23.1) señalan a la molestia como un proceso mental con orígenes acústicos y no acústicos. Entre los factores acústicos está el nivel absoluto, la duración, la distribución espectral de la energía y las fluctuaciones que se puedan presentar en el tiempo. Entre los efectos no acústicos están la adaptación al ruido, el grado de concentración, el tipo de actividad en el momento de exposición al

ruido, actitudes frente a la fuente de ruido y la predictibilidad de eventos ruidosos. Los autores además comentan que se diferencia de la percepción de sonoridad porque es directamente proporcional al tiempo de exposición, sin ser constante sino que crece o disminuye en periodos largos de tiempo; la molestia tampoco es dependiente del nivel de presión sonora porque puede ser provocada a niveles bajos pero con ancho de banda amplio.

Es importante entender que la molestia por ruido ocurre en diferentes grados de intensidad para una sustancial parte de la población en el mundo y no requiere necesariamente una larga o alta exposición a la fuente. Para poder cuantificar el ruido presente en las ciudades es común la elaboración de mapas de ruido y el uso de indicadores de exposición al ruido a diferentes horarios del día en cada zona. Este método ha probado tener una fuerte correlación con encuestas realizadas sobre la molestia percibida por los habitantes (Miedema, 2007).

Se reconoce por varios autores (Crocker, 2007, p.318), (Elmenhorst, Quehl, Müller y Basner, 2014), (Miedema, 2007), que el ruido de aviones es el que causa más molestia. Pero también existen ruidos pequeños como crujidos de puertas, ventanas, ductos, etc., que pueden producir molestia. Esto es frecuentemente causado por vibraciones de baja frecuencia que pueden ser debidos a ruido de transporte como buses, camiones, trenes o tráfico pesado (Crocker, 2007, p.318).

La relación entre molestia, género y grupo de edad todavía no ha llegado a un consenso (Abolhassannejad, Monazzam y Moasheri, 2013), (Niemann, Hoebel, Hammersen y Laußmann, 2014) porque algunas investigaciones han mostrado que la gente joven-adulta es menos molesta por el ruido que la gente de mediana edad (Miedema, 2007) y no ha existido suficiente relación entre género y molestia. La escolaridad es planteada como una cualidad predictora de molestia (Abolhassannejad, Monazzam y Moasheri, 2013). Una de las hipótesis planteadas por Hai et al.(2009) y Miedema(2007) es que el tipo de vehículo usado puede ser paliativo para la molestia reportada por los mismos. Otra variable planteada por Paunović, Jakovljević y Belojević(2009) es que la

molestia aumenta en personas casadas. Las condiciones de aislamiento en el hogar y existencia de ventanas en frente de una calle ha sido postulado como una posible predictor de molestia (Fields, 1993), (Rylander y Björkman, 2002). Jakovljević et al.(2009) encontró una gran relación entre la exposición de ruido en el trabajo y molestia. La relación entre niveles elevados de estrés y una molestia alta es una hipótesis sostenida por varios investigadores (Paunović, Jakovljević y Belojević, 2009), (Miedema, 2007), (Jakovljević, 2008), (Niemann, Hoebel, Hammersen y Laußmann, 2014) y algunos investigadores sugieren que la sensibilidad y el estrés pueden estar vinculados tal vez como indicadores de afectividad negativa (Miedema, 2007), (Stansfeld y Clark, 2009), (Smith, 2003).

Uno de los indicadores más utilizados para regular el nivel de molestia en las urbes es el nivel de presión sonora continuo equivalente con ponderación “A” y otros indicadores acústicos que se derivan de éste. (Leventhal, 2004). A pesar de los beneficios de utilizar la ponderación “A” como un predictor de la respuesta auditiva (Crooker, 2007, p.316) se ha demostrado que su correlación puede ser bastante baja en situaciones de alta impulsividad, contenido de baja frecuencia o con diversos componentes tonales; escenarios que normalmente se presentan en el ruido de tráfico (Leventhall, 2005), (Torija, 2010), (ISO, 2003).

## **2.5. Evaluación de molestia y sensibilidad**

Para evaluar la influencia de la molestia en las personas se usa generalmente el término respuesta comunitaria como una forma de establecer la prevalencia de la molestia que un grupo de personas presenta, generalmente en su sector residencial geográficamente delimitado. A pesar de la necesidad económica y política sobre este tema, la evaluación de la molestia ha sido basada en intuición o en análisis regresivos contruidos en sets de datos individuales (Harris, 1998, p.p. 23.2-23.4). Teniendo en cuenta de que el método para establecer la molestia de una o más señales acústicas es empírica, las formas más comunes de cuantificarla en estudios de laboratorio son las siguientes: evaluando los límites de molestia, ajustando el nivel de una señal hasta que no

cause molestia o haciendo comparaciones de molestia entre dos sonidos. Este tipo de aproximaciones al análisis de molestia son adaptaciones de técnicas clásicas empleadas para estudios en el campo de la Psicología (Crocker, 2007, p.317).

### **2.5.1. Función dosis-respuesta**

En la normativa ISO1996 parte 1 (2003) se establecen los descriptores y las directrices para evaluar el ruido en las comunidades, los cuales se sugiere deben ser utilizados a criterio de las autoridades competentes en cada caso. En esta normativa se estima el porcentaje de la población molesta por ruido de tráfico rodado a través de la relación dosis-respuesta siguiendo lo propuesto por Schultz (1978).

En 1978 Schultz publicó un análisis de 12 encuestas sociales de molestia comunitaria causada por ruido de transporte. Gracias a este análisis se dio una gran importancia a las encuestas de molestia porque gracias a esto se pudo confrontar los datos de gente que se sentía altamente molesta con el nivel promedio día-noche. Esto ha sido ampliamente usado como una curva para describir el promedio de respuesta comunitaria al ruido ambiental (Crocker, 1998, p.791).

Otros métodos psicofísicos incluyen: la estimación de la magnitud, la valoración semántica del grado de molestia y el emparejamiento de la molestia con otro tipo de sensación (como exprimir una pelota mientras sea más fuerte la molestia) (Harris, 1998, p.23.3).

### **2.5.2. Encuesta de molestia**

Dado que la molestia y sensibilidad son un efecto y un atributo personal, la forma de medir el grado de sensibilidad o molestia se ha estandarizado a través de encuestas en las que los individuos responden preguntas directamente relacionadas a sus reacciones al ruido al que están expuestos. Fidell y Green (Harris, 1998, p. 23.2) exponen que para la declaración de molestia hay dos componentes independientes, uno enlazado a la exposición y otro enlazado a la voluntad de describirse como molesto por el ruido. Como no

se puede distinguir un componente del otro, la mayoría de interpretaciones de estas encuestas asume que el componente personal de parcialidad es despreciable. De todas formas entre los factores no acústicos que influyen en la respuesta de estas encuestas a nivel comunitario están: las actitudes frente a las fuentes de ruido y sus operadores, el nivel socioeconómico de los individuos y la dependencia económica en las fuentes de ruido.

El método estándar para obtener los niveles de molestia de una comunidad es a través de una encuesta actitudinal. Esta encuesta social pregunta directamente la opinión pública de una muestra poblacional que está expuesta a un determinado tipo de ruido del cual se deben obtener sus indicadores a través de mediciones. Estas encuestas generalmente incluyen preguntas sobre una fuente específica en un determinado tiempo de exposición. Las respuestas suelen ser valoraciones verbales o numéricas que van desde “nada molesto” hasta “extremadamente molesto” (Harris, 1998, p.23.6).

Las primeras encuestas sociales de molestia comunitaria aparecieron en la década de 1960 a raíz del aumento de automóviles, la popularización de vuelos comerciales y la aparición de motores de reacción o jets. Sin embargo no había un acuerdo sobre las variables acústicas y sociales que valían la pena medir, lo cual se sumaba a la poca comunicación entre investigadores de diferentes países (Crocker, 1998, p.908). Antes de la normativa ISO 15666:2003, la estandarización de las encuestas sociales era pobre y tenía diferentes aproximaciones pues el método de entrevista, el muestreo poblacional de los estudios, la longitud de la encuesta, la escala de respuestas, el tipo de mediciones acústicas y el número de lugares de entrevistas era diferente para cada estudio (Harris, 1998, p. 23.6).

Una encuesta social correctamente conducida puede dar información de la prevalencia de la molestia en la población y la interferencia en las actividades que realizan. El propósito de una encuesta social debe estar enfocado a cosas específicas sobre una fuente de ruido como determinar la proporción de los habitantes que pueden estar altamente molestos por la exposición, comparar la prevalencia de molestia (Harris, 1998, p. 23.6).

En el año 2003 la Organización Internacional de Estándares (ISO) publicó una normativa sobre las encuestas socio acústicas de molestia para obtener la prevalencia de molestia por ruido en comunidades. Esta encuesta consta de una escala verbal de cinco puntos de valoración y una escala numérica de once puntos de valoración. Hay que aclarar que la encuesta, igual que la valoración de exposición al ruido se basa en mediciones de ruido ambiental en comunidades específicas donde los habitantes responden a esta encuesta en su domicilio. Los principales indicadores para ser relacionados con la encuesta de ruido son el nivel equivalente ponderado A por 24 horas, el nivel día-noche, el nivel día-tarde-noche, o el nivel equivalente ponderado A para periodos determinados (ISO/TS, 2003).

### **2.5.3. Encuesta de sensibilidad**

Si bien la molestia era un tema ampliamente tratado en la época de 1960, la adaptación al ruido y la capacidad inherente de cada persona de tolerar el ruido era algo que todavía se discutía sin llegar a un acuerdo. Las encuestas de molestia eran algo que ya se había venido realizando por algún tiempo pero solo a veces incluían pocas preguntas tratando de relacionar la sensibilidad de los individuos con la molestia presentada ante un estímulo. Varios estudios se realizaron sobre el tiempo que los individuos habían vivido en zonas ruidosas y su elección de vivienda en lugares cercanos a carreteras, pero los resultados no eran claros (Weinstein, 1978).

En 1976 Weinstein realizó un estudio de sensibilidad al ruido a estudiantes de primer año de la Universidad de California en Berkeley y a estudiantes de la Universidad Estatal de Rutgers. A los estudiantes se les pidió que llenaran una encuesta con las expectativas que tenían sobre la vida en la universidad y la encuesta de sensibilidad al ruido que él había diseñado. Esta encuesta de sensibilidad ha mostrado tener una importante correlación con la molestia por el ruido en diferentes estudios que se han realizado con la misma (Weinstein, 1978), (Abolhasannejad, Monazzam y Moasheri, 2013), (Luz, 2005), (Sense, Ruotolo, Ruggiero y Iachini, 2012), (Heinonen-Guzejev, 2009), (Kishikawa et al., 2006).

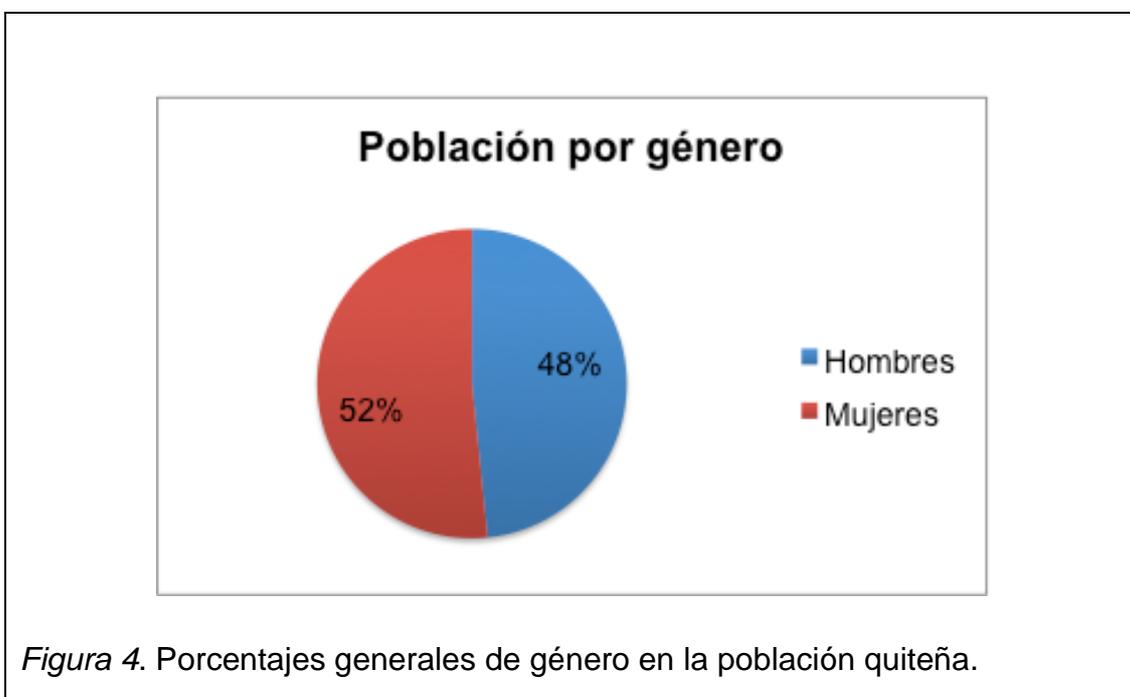
Esta escala ha llegado a ser tomada como la principal forma de investigar la sensibilidad al ruido, sin embargo con el paso del tiempo algunos investigadores han tratado de optimizar sus resultados (Kishikawa et al., 2006), (Sense, Ruotolo, Ruggiero y Iachini, 2012).

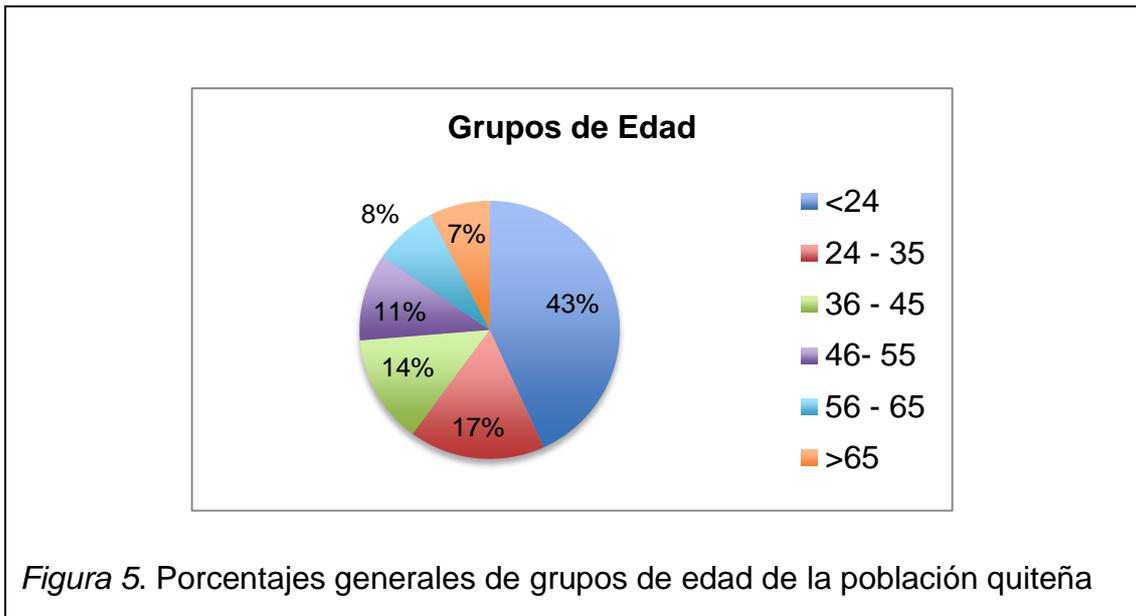
### 3. Capítulo III Metodología

#### 3.1. Diseño muestral

##### 3.1.1. Población

La población a ser estudiada es la perteneciente a las zonas y sectores urbanos del Distrito Metropolitano de Quito, la cual según el último censo de población realizado en el 2010 por el Instituto Nacional de Estadística y Censos es de 1619146 habitantes (INEC, 2010). Este estudio se enfocó en una representatividad muestral por género y edad. Los grupos de edad fueron clasificados de menores a 25 años, de 26 a 35 años, de 36 a 45 años, de 46 a 55 años, de 56 a 65 años y mayores de 65 años.





### 3.1.2. Tamaño de la muestra

Para calcular el tamaño de la muestra se utilizó la siguiente ecuación:

$$n = \frac{N\sigma^2 Z^2}{(N-1)e^2 + \sigma^2 Z^2} \quad (\text{Ecuación 10})$$

donde

$n$  es la muestra que será tomada;

$N$  representa al total de la población a ser estudiada;

$\sigma$  es la heterogeneidad de la población, es decir el porcentaje de la misma que cumple con un criterio, la cual es desconocida y por lo tanto se reemplaza por 0,5 significando que la mitad de la población puede tener la respuesta contraria.

$Z$  es una constante dependiente del nivel de confianza deseado, el cual en este estudio fue determinado como 95%, el cuál corresponde a la constante de 1,96;

$e$  representa al error muestral deseado, el cual representa el porcentaje de diferencia entre la muestra y la población total, para este estudio este valor se definió como 0,05.

Dado que la población total es de 1619146 habitantes, el tamaño de la muestra resulta 384 individuos. Esta cantidad fue dividida porcentualmente por género y grupos de edad de acuerdo a la información obtenida del censo poblacional del año 2010. De esta forma la muestra poblacional estudiada quedó de la siguiente manera:

Tabla 1. Composición de la población de Quito y la muestra tomada

Población	Muestra Objetivo	Porcentaje de la Población total	Muestra Final Obtenida
1619146	384	0,0237%	428

Género	Composición Población	Muestra Por Grupo	Muestra Obtenida	Composición Muestra
Hombres	48%	184	201	46.96%
Mujeres	52%	200	227	53.04%

Grupo de Edad	Composición Población	Muestra Por Grupo	Muestra Obtenida	Composición Muestra
<24	43.2%	166	207	48.36%
24 - 35	16.9%	65	66	15.42%
36 - 45	13.6%	52	54	12.62%
46- 55	10.9%	42	42	9.81%
56 - 65	7.9%	30	30	7.01%
>65	7.5%	29	29	6.78%

## 3.2. Evaluación del ruido

### 3.2.1. Tipos de flujo de circulación vehicular

Los tipos de flujo de circulación vehicular estudiados fueron los cuatro identificados por la Comisión 2003/613/CE (2003, p. L 212/59) además de dos tipos de flujo descritos por Torija (2010, pp. 31-32).

Los flujos de circulación estudiados son los siguientes:

- Flujo continuo fluido: Los vehículos se desplazan a velocidad casi constante por un segmento de vía considerablemente largo como para que el flujo sea estable tanto en el espacio como en el tiempo.
- Flujo continuo en pulsos: La mayoría de vehículos están acelerando o decelerando, hay variaciones bruscas de flujo en cortos períodos de tiempo y se aprecian diferentes concentraciones de vehículos en la vía. A pesar de esto todavía se puede definir una velocidad media para estos vehículos la cual es estable durante la observación.
- Flujo acelerado en pulsos: Una cantidad significativa de vehículos está acelerando. Esto se distingue en una vía urbana después de una intersección o semáforo.
- Flujo decelerado en pulsos: Contrariamente al anterior, este tipo de flujo se observa sobretodo en la aproximación a intersecciones urbanas o semáforos.
- Flujo congestionado: Este caso corresponde a escenarios en los que hay un gran número de vehículos circulando a velocidad muy reducida. También existen lapsos de aceleración-deceleración suaves. Esto se encuentra cerca de semáforos y otras señalizaciones, pero también cuando la cantidad de vehículos sobrepasa la capacidad de la vía.
- Flujo intermitente: Este caso ocurre cuando no hay solapamiento de eventos sonoros, es decir cuando caudal de circulación es bajo y se distingue cada vehículo por separado.

### **3.2.2. Equipo y lineamientos para la medición del ruido**

El ruido de tráfico fue medido con un sonómetro clase 1 marca NTi modelo XL2 siguiendo los lineamientos indicados en la normativa ISO 1996-2:2007. Antes de cada medición se verificó la calibración del equipo, y se utilizó el filtro anti viento. La altura desde el suelo a la que fue ubicado el sonómetro fue de 1,5 metros y la distancia desde el borde de la acera fue de 1 metro. La ponderación temporal usada fue *Slow*, y se utilizó la ponderación frecuencial A con un filtro de 1/3 de octava.

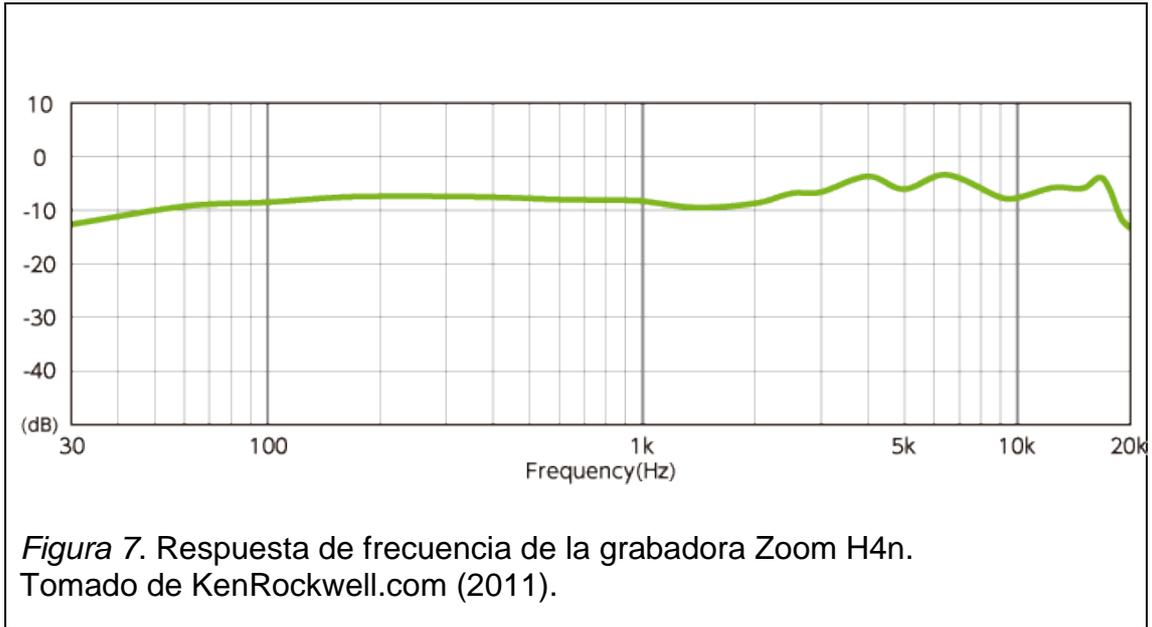
### 3.2.3. Equipo y lineamientos para la grabación del ruido

Se utilizó la grabadora Zoom H4n para registrar simultáneamente el ruido de tráfico medido con el sonómetro. La ubicación de la grabadora fue a una distancia horizontal de 0,1 metro del sonómetro.



*Figura 6.* Sonómetro y grabadora zoom durante un registro de ruido vehicular.

Se utilizó filtro antiviento y se monitoreó la calidad de la grabación con audífonos Sennheiser HD 280. La grabación de todas las muestras fue realizada en estéreo con una frecuencia de muestreo de 44.1 kHz y 24 bits de cuantización.



### 3.2.4. Método de medición y grabación del ruido

De acuerdo a la definición de cada tipo de flujo de circulación se escogieron lugares y horas del día para realizar la evaluación del ruido.

Así, para obtener muestras del flujo continuo fluido se escogieron puntos de medición en vías arteriales y expresas de circulación. El flujo de circulación continuo en pulsos fue identificado en calles alejadas de semáforos o en intersecciones con semáforos cuando éstos se encontraban en verde. Para obtener muestras del flujo acelerado en pulsos se fijaron puntos de medición después de semáforos. Se hizo lo contrario para las muestras de flujo decelerado en flujos. El flujo congestionado fue principalmente caracterizado en horas pico en calles en las que normalmente se observaba la presencia de flujo continuo en pulsos. Para obtener muestras de flujo intermitente se establecieron puntos de medición en calles locales poco transitadas durante fines de semana.

La duración de cada medición y grabación de ruido se realizó por lapsos de 5 minutos, cuando se identificaba que el tipo de flujo de circulación vehicular se asemejaba al descrito en las definiciones. Se realizaron dos pruebas piloto para asegurar la calidad de la información obtenida.

Las ubicaciones donde se obtuvieron las muestras de ruido son las siguientes:



Figura 8. Puntos 1 y 2 de toma de muestras.

Tabla 2. Información de los puntos 1 y 2 de toma de muestras.

Número	Lugar	Fecha	Hora
1	Av. De las Palmeras	23/05/2015	11:15
2	Av. Libertador Simón Bolívar	23/05/2015	11:25

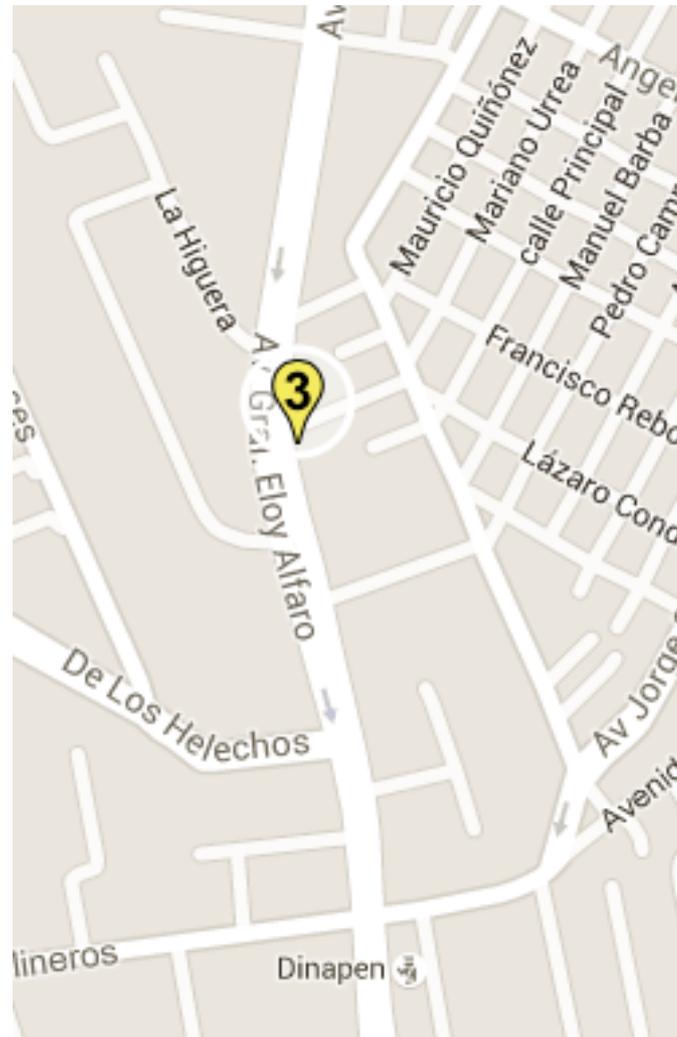


Figura 9. Punto 3 de toma de muestras.

Tabla 3. Información del punto 3 de toma de muestras.

Número	Lugar	Fecha	Hora
3	Av. Eloy Alfaro	23/05/2015	11:55

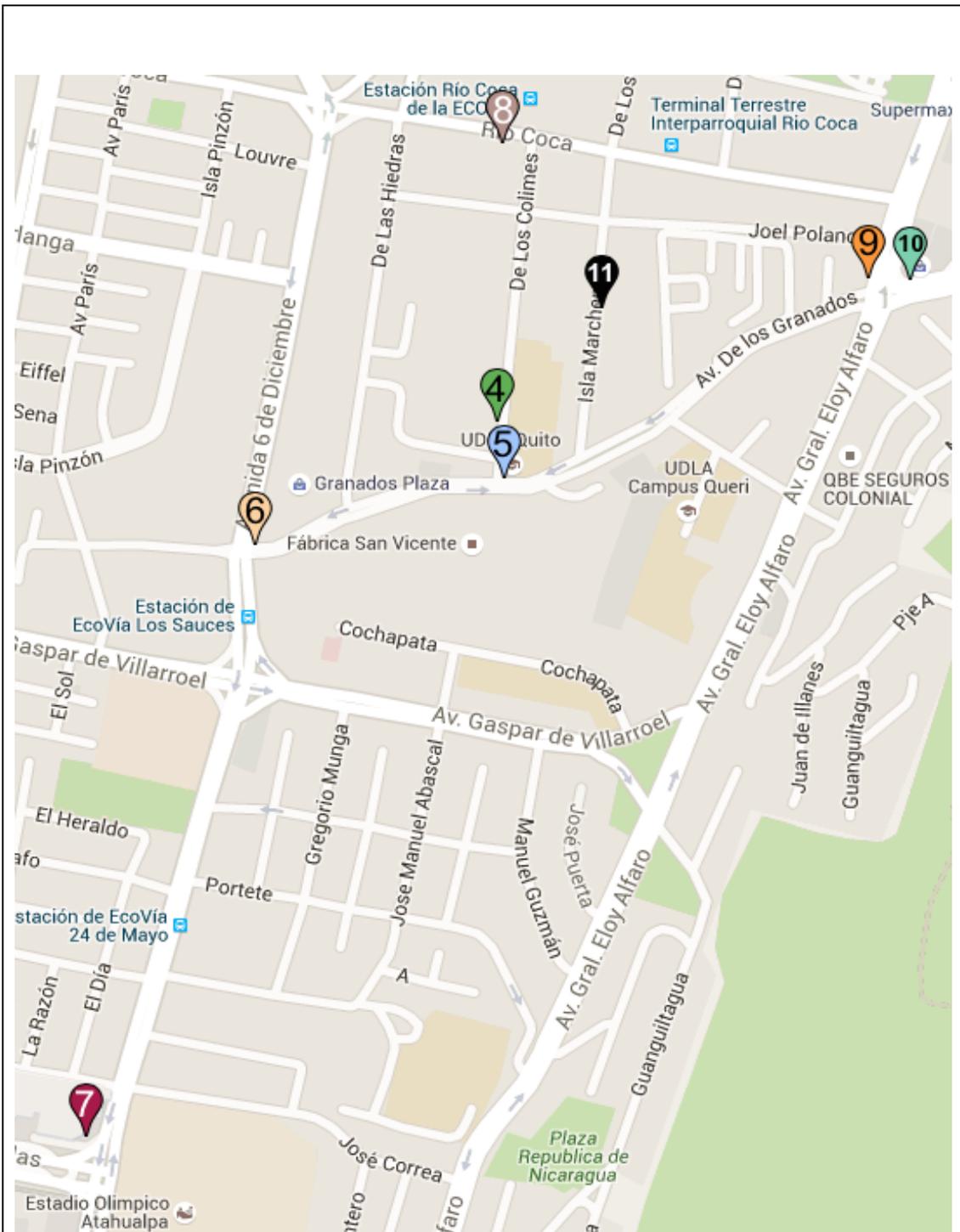


Figura 10. Puntos 4 a 11 de toma de muestras.

Tabla 4. Información de los puntos 4 al 10 de toma de muestras.

Número	Lugar	Fecha	Hora
4	Calle Colimes	28/05/2015	15:00
5	Av. De los Granados y calle Colimes	30/05/2015	13:40
6	Av. De los Granados y Av. 6 de Diciembre	06/06/15	13:30
7	Av. 6 de Diciembre y Av. NNUU	17/06/2015	16:00
8	Av. Río Coca y Calle Colimes	17/06/2015	13:20
9	Av. De los Granados y Av. Eloy Alfaro	18/06/2015	14:00
10	Av. De los Granados y Av. Eloy Alfaro	07/12/15	11:30
11	Calle Isla Marchena	07/12/15	12:30

### 3.2.5. Procesamiento de las muestras de ruido

#### 3.2.5.1. Procesamiento de audio

Reproduciendo las grabaciones realizadas se seleccionaron muestras que demuestren claramente algún flujo de circulación, con el objetivo de disponer de diversidad de flujos. Parte del criterio de selección dentro de cada flujo de circulación fue obtener muestras con diferente impulsividad, nivel equivalente, distribución espectral y diferente tipo de vehículo captado. Una herramienta que fue utilizada para visualizar la distribución espectral, el nivel pico, el nivel RMS y la propagación frecuencial estéreo de la señal fue el *plugin* PAZ Analyzer de la marca Waves.



Figura 11. Plugin PAZ Analyzer de Waves.

Se obtuvieron 86 muestras en total de las mediciones de flujo vehicular. Se editó la duración de los audios de 5 minutos para obtener muestras de 35 segundos de cada flujo. Esto se realizó en base a las encuestas de molestia realizadas por Hai et al (2009) en las cuales se utilizan audios de 35 segundos de duración. De la duración total se aplicó *fade in* y *fade out* (lineal) de dos segundos al comienzo y al final respectivamente para evitar sesgo en la información si el sonido más fuerte aparecía repentinamente (Hai et al., 2009). El proceso de separación de las muestras y aplicación de *fades* se llevó a cabo en el software Logic Pro X. No hubo ningún otro tipo de procesamiento al audio grabado. Las muestras reproducidas en las encuestas de molestia fueron archivos .wav de 44.1 kHz de frecuencia de muestreo y 24 bits de cuantización.

### **3.2.5.2. Procesamiento de mediciones.**

Después de obtener las muestras de audio se calcularon en Microsoft Excel los indicadores TSVL, factor cresta y centroide espectral de los mismos segmentos de la grabación.

## **3.3. Encuesta de molestia, sensibilidad e información demográfica**

### **3.3.1. Diseño de la encuesta**

Para establecer la molestia causada por la variabilidad temporal y espectral de flujo de tráfico se diseñó una encuesta socio-acústica para ser aplicada en el laboratorio.

Para el desarrollo de la encuesta se plantearon preguntas cerradas para simplificar los datos obtenidos y su análisis. El principio que siguió es el recomendado por Harris (1998, p. 23.9) el cual es evitar preguntas que puedan tener indicios de algún prejuicio hacia la fuente o a la reacción que provoca la exposición al ruido, es decir que la respuesta no debía tener ninguna inclinación hacia el existencia o ausencia de molestia y a su grado.

El objetivo fue evaluar en cada participante el nivel de molestia generado ante cada tipo de flujo de circulación. Para cada muestra de audio se preguntó el nivel de molestia en una escala verbal de cinco puntos (en absoluto, ligeramente, medianamente, mucho y extremadamente), y en una escala numérica de once puntos (del 0 al 10) entre nada molesto y extremadamente molesto. Esta valoración de molestia estuvo basada en la normativa ISO/TS 15666:2003 que establece lineamientos para obtener datos de molestia por encuestas socio-acústicas. Se realizó un ajuste a las preguntas de molestia para hacerlo más acorde al lenguaje coloquial ecuatoriano y mejorar su comprensión (Simmons, 2013).

El diseño final de la encuesta de molestia por ruido fue el siguiente:

<b>Valoración verbal:</b> ¿Cuánto le molesta o perturba el ruido de tráfico que acaba de escuchar?													
<b>Valoración numérica:</b> A continuación se da una escala de opinión de cero a diez para que usted pueda expresar en qué cuantía le molesta o perturba el ruido de tráfico que acaba de escuchar. Por ejemplo, si usted está nada molesto por el ruido debería escoger el cero, y si usted está extremadamente molesto debería escoger el diez. Indique qué número, cero al diez, expresa mejor la cuantía en que usted está molesto(a) o perturbado(a) por el ruido de tráfico que acaba de escuchar.													
Muestra 1:													
17	<input type="checkbox"/>	En absoluto	<input type="checkbox"/>	Ligeramente	<input type="checkbox"/>	Medianamente	<input type="checkbox"/>	Mucho	<input type="checkbox"/>	Extremadamente			
18	Nada molesto	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Extremadamente molesto
Muestra 2:													
19	<input type="checkbox"/>	En absoluto	<input type="checkbox"/>	Ligeramente	<input type="checkbox"/>	Medianamente	<input type="checkbox"/>	Mucho	<input type="checkbox"/>	Extremadamente			
20	Nada molesto	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Extremadamente molesto
Muestra 3:													
21	<input type="checkbox"/>	En absoluto	<input type="checkbox"/>	Ligeramente	<input type="checkbox"/>	Medianamente	<input type="checkbox"/>	Mucho	<input type="checkbox"/>	Extremadamente			
22	Nada molesto	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Extremadamente molesto
Muestra 4:													
23	<input type="checkbox"/>	En absoluto	<input type="checkbox"/>	Ligeramente	<input type="checkbox"/>	Medianamente	<input type="checkbox"/>	Mucho	<input type="checkbox"/>	Extremadamente			
24	Nada molesto	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Extremadamente molesto
Muestra 5:													
25	<input type="checkbox"/>	En absoluto	<input type="checkbox"/>	Ligeramente	<input type="checkbox"/>	Medianamente	<input type="checkbox"/>	Mucho	<input type="checkbox"/>	Extremadamente			
26	Nada molesto	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Extremadamente molesto
Muestra 6:													
27	<input type="checkbox"/>	En absoluto	<input type="checkbox"/>	Ligeramente	<input type="checkbox"/>	Medianamente	<input type="checkbox"/>	Mucho	<input type="checkbox"/>	Extremadamente			
28	Nada molesto	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Extremadamente molesto

*Figura 12.* Encuesta de molestia por Ruido.

Para comprobar que la sensibilidad auto-reportada es un importante predictor de molestia como afirman varios autores (Kishikawa et al., 2006), (Abolhassannejad, Monazzam y Moasheri, 2013), (Luz, 2005), (Stansfeld y Clark, 2009), (Smith, 2003), (Sense, Ruotolo, Ruggiero y Iachini, 2012), (Weinstein, 1978), (Heinonen-Guzejev, 2009) se incluyó una encuesta de sensibilidad a este estudio. La encuesta de sensibilidad estuvo basada en la que desarrollada por Weinstein (1978) pero fueron excluidos los ítems que se han encontrado irrelevantes por su falta de correlación con el resto de la encuesta al ser relacionados directamente con una fuente de ruido (Kishikawa et al., 2006). Estos son:

- A nadie debería importarle mucho si alguien pone su equipo de música a todo volumen de vez en cuando.
- Me molesto cuando mis vecinos son ruidosos.

- A veces los ruidos me ponen nervioso(a) e irritado(a).
- Incluso la música que me gusta normalmente me molestaría si me estoy tratando de concentrar.

También se excluyó el ítem “¿Cuánto le importaría si un departamento en el que está interesado está localizado en frente de una estación de bomberos?” por mostrar una baja relación con el resto de enunciados lo cual tal vez ocurra por ser formulado como una pregunta en lugar de ser una afirmación como el resto (Sense, Ruotolo, Ruggiero y Iachini, 2012).

Sin haber encontrado una versión en español del cuestionario de Weinstein se procedió a traducirlo siguiendo el método de traducción y adaptación de instrumentos de la Organización Mundial de la Salud. Este proceso busca una equivalencia conceptual más que literal del documento. El cuestionario fue traducido al español, luego pasó a ser debatido por expertos en la terminología usada, y posteriormente fue traducido a inglés por un nativo sin conocimientos sobre el tema de estudio para identificar discrepancias con la versión original.

La encuesta de sensibilidad fue finalmente planteada de la siguiente manera:

SENSIBILIDAD AL RUIDO							
Por favor califique cada declaración entre 1 (totalmente en desacuerdo) y 6 (totalmente de acuerdo)							
1	No me importaría vivir en una calle ruidosa si el departamento que tuviera fuera agradable.						
En desacuerdo	1	2	3	4	5	6	De acuerdo
2	Soy más consciente del ruido que me rodea de lo que solía ser.						
En desacuerdo	1	2	3	4	5	6	De acuerdo
3	Durante las películas, los murmullos y el crujido de los envoltorios de snacks me perturban.						
En desacuerdo	1	2	3	4	5	6	De acuerdo
4	Soy fácilmente despertado(a) por el ruido.						
En desacuerdo	1	2	3	4	5	6	De acuerdo
5	Si hay ruido cuando necesito concentración, trato de cerrar la puerta (o ventana) o irme a otro lugar.						
En desacuerdo	1	2	3	4	5	6	De acuerdo
6	Me acostumbro a la mayoría de ruidos con facilidad.						
En desacuerdo	1	2	3	4	5	6	De acuerdo
7	No me molestaría escuchar sonidos cotidianos de vecinos (pasos, agua corriendo, etc).						
En desacuerdo	1	2	3	4	5	6	De acuerdo
8	Cuando quiero estar solo(a), me perturba escuchar ruidos del exterior.						
En desacuerdo	1	2	3	4	5	6	De acuerdo
9	Soy bueno(a) concentrándome sin importar lo que está pasando alrededor mío.						
En desacuerdo	1	2	3	4	5	6	De acuerdo
10	En una biblioteca, no me importa si las personas conversan en voz baja.						
En desacuerdo	1	2	3	4	5	6	De acuerdo
11	A menudo hay momentos en los que quiero silencio absoluto.						
En desacuerdo	1	2	3	4	5	6	De acuerdo
12	Las motocicletas deberían ser más silenciosas.						
En desacuerdo	1	2	3	4	5	6	De acuerdo
13	Encuentro difícil relajarme en un lugar que es ruidoso.						
En desacuerdo	1	2	3	4	5	6	De acuerdo
14	Me enoja con las personas que hacen ruido que me impide dormir o terminar mi trabajo.						
En desacuerdo	1	2	3	4	5	6	De acuerdo
15	No me importaría vivir en un departamento con paredes delgadas.						
En desacuerdo	1	2	3	4	5	6	De acuerdo
16	Soy sensible al ruido						
En desacuerdo	1	2	3	4	5	6	De acuerdo

*Figura 13. Encuesta de sensibilidad.*

También se incluyeron preguntas demográficas como género, grupo de edad, estado civil, nivel de instrucción, tipo de trabajo, medio de transporte más utilizado, nivel de estrés en la vida cotidiana; y algunas preguntas relacionadas a la molestia. Se formularon preguntas asociadas a la exposición al ruido:

síntomas causados por el ruido, exposición al ruido en el trabajo, fuente de ruido más molesta, presencia de ventanas frente a calles y exposición de ruido en la infancia. Estas preguntas demográficas se plantearon con el objetivo de identificar otras variables que puedan explicar la incidencia de molestia en la población como ha sido propuesto por varios investigadores quienes dicen que los rasgos personales y sociales tienen más influencia en la molestia que las características acústicas de los estímulos (Paunović, Jakovljević y Belojević, 2009), (Ouis, 2001). No obstante, esta afirmación no ha encontrado significancia en otros estudios y es un tema que sigue en discusión (Jakovljević, 2008).

Las preguntas de carácter demográfico y socio-económico fueron planteadas de la siguiente manera:

29 Género	<input type="checkbox"/> Femenino	<input type="checkbox"/> Masculino				
30 ¿En qué rango de edad se ubicaría usted?	<input type="checkbox"/> 16 a 25	<input type="checkbox"/> 26 a 35	<input type="checkbox"/> 36 a 45	<input type="checkbox"/> 46 a 55	<input type="checkbox"/> 56 a 65	<input type="checkbox"/> >65
31 Estado civil	<input type="checkbox"/> Casado(a)	<input type="checkbox"/> Unión libre	<input type="checkbox"/> Soltero(a)	<input type="checkbox"/> Otros		
32 Nivel de instrucción	<input type="checkbox"/> Primaria	<input type="checkbox"/> Secundaria	<input type="checkbox"/> Superior	<input type="checkbox"/> Ninguno		
33 En general, ¿ha sentido alguna vez uno de estos síntomas asociados al ruido ambiental? (Varias opciones)	<input type="checkbox"/> Estrés	<input type="checkbox"/> Perturbación en el sueño	<input type="checkbox"/> Desconcentración	<input type="checkbox"/> Pérdida de audición	<input type="checkbox"/> Dolor de cabeza	<input type="checkbox"/> Irritabilidad
34 Tipo de trabajo	<input type="checkbox"/> Principalmente físico	<input type="checkbox"/> Principalmente intelectual (de oficina)				
35 ¿En su lugar de trabajo/estudio estoy expuesto(a) a ruido?	<input type="checkbox"/> Si	<input type="checkbox"/> No				
36 ¿El lugar de su vivienda donde pasa la mayoría del tiempo tiene ventanas en frente a una calle o avenida?	<input type="checkbox"/> Si	<input type="checkbox"/> No				
37 ¿Escoja la fuente de ruido que considera la más molesta en su vida cotidiana? (Solamente una opción)	<input type="checkbox"/> Tráfico vehicular	<input type="checkbox"/> Tráfico aéreo	<input type="checkbox"/> Personas que circulan en el día			
	<input type="checkbox"/> Obras públicas / Construcciones	<input type="checkbox"/> Vecinos	<input type="checkbox"/> Personas que circulan en la noche			
	<input type="checkbox"/> Industria cercana	<input type="checkbox"/> Centros de diversión	<input type="checkbox"/> Alarmas			
38 ¿Cuál es el medio de transporte que oupa con más frecuencia?	<input type="checkbox"/> Automóvil privado	<input type="checkbox"/> Taxi	<input type="checkbox"/> Bus público	<input type="checkbox"/> Bicicleta o medio no motorizado		
39 ¿En su infancia habían importantes fuentes de ruido cerca de su hogar y/o centro educativo?	<input type="checkbox"/> Si	<input type="checkbox"/> No				
40 ¿Está sometido(a) a niveles elevados de estrés en la vida cotidiana?	<input type="checkbox"/> Si	<input type="checkbox"/> No				
41 ¿Ha tenido problemas relacionados con la audición?	<input type="checkbox"/> Si	<input type="checkbox"/> No				

*Figura 14. Encuesta demográfica y socio-económica*

### 3.3.2. Obtención de datos de la encuesta



*Figura 15.* Un grupo de participantes de la encuesta en el aula CR3.



*Figura 16.* Un grupo de participantes respondiendo la encuesta en el aula CR1.

Las encuestas fueron conducidas principalmente en las salas *Control Room* de los estudios de producción musical 1 y 3 ubicados en el subsuelo de la Universidad de las Américas entre los meses de julio a septiembre del 2015. Todos los altavoces utilizados para reproducir las muestras de audio tenían una respuesta de frecuencia entre 38 Hz a 22 kHz. Para representar en la mayor medida posible las condiciones en las que fue obtenido el ruido se utilizó el mismo sonómetro como referencia para encontrar el nivel de reproducción al que fue grabado (método utilizado por Torija y Flindell (2013) para el estudio de molestia en laboratorio).

Una ventaja de hacer la evaluación de molestia en laboratorio es tener ruido de fondo controlado ya que ha sido reportado como aliciente a la molestia reportada (Ouis, 2001), pero debe ser claramente identificada esta característica del estudio antes de comparar los resultados con la molestia que se puede presentar en ambientes cotidianos.

La mayoría de encuestados fueron personas que se encontraban casualmente en la universidad y que voluntariamente aceptaron participar en el estudio conociendo los detalles de la encuesta. Para obtener la mayoría de datos de las personas mayores a 65 años se visitó la sede social del IEES ubicado en la avenida Naciones Unidas. En esta sede se realizan actividades recreativas para personas de la tercera edad. En este caso la encuesta fue llevada a cabo en una habitación con un área similar a las salas *Control Room* de la universidad. En esta habitación se midió un ruido de fondo 10 dB menor al nivel de reproducción (el cuál era el mismo nivel al cual se realizó la encuesta en la universidad). Esta habitación de la sede social estaba ubicada en la fachada del edificio contraria a la avenida Naciones Unidas.

En primera instancia se pidió a los participantes llenar la encuesta de sensibilidad y luego se procedió a la exposición de las 6 muestras de audio, cada una correspondiente a un flujo de circulación vehicular. El orden en el que fueron reproducidas las muestras de audio fue aleatorio para cada grupo. Hubo 18 diferentes grupos de participantes que escucharon las mismas muestras.

Se realizaron 428 encuestas obteniendo para cada grupo de edad un número de muestras similar o mayor al esperado (sobretudo para el grupo de personas menores a 24 años para el cual se obtuvo un 24,7% más de muestras de lo esperado).

### **3.4. Análisis estadístico**

Luego de la tabulación de las encuestas se realizaron estudios de los resultados a través de un análisis exploratorio, el coeficiente de correlación de Pearson y análisis de varianzas en la versión 22 del software SPSS de la empresa IBM. En el software EViews 8 de la empresa Quantitative Micro Software se aplicaron modelos ordenados de respuesta múltiple analizando a la molestia verbal y a la sensibilidad como variables endógenas.

Los análisis exploratorio entre los descriptores acústicos y los flujos de circulación vehicular, y entre la molestia en la escala numérica.

Se analizó la correlación de variables a través del método de Pearson entre sensibilidad, molestia verbal y molestia numérica.

Se realizó un análisis de varianza (ANOVA) entre sensibilidad, molestia numérica y las variables socioeconómicas. También se efectuaron ANOVAs entre los descriptores acústicos y los flujos de circulación; entre los descriptores acústicos y la molestia verbal; y entre la molestia numérica y los flujos de circulación.

## 4. Capítulo IV Resultados

### 4.1. Análisis Exploratorio

Un análisis estadístico exploratorio permite describir los datos extremos, casos atípicos, la forma y características de la distribución de los datos (IBM, s.f). En este estudio se utilizó el diagrama de cajas y bigotes como una herramienta para visualizar la dispersión de los datos. Este gráfico señala los valores mínimo y máximo de un conjunto de datos, y dentro de éstos separa su dispersión entre tres cuartiles. El cuartil 1 representa el 25% de los datos y marca el comienzo de la “caja” (el rectángulo de la mitad entre el primer y tercer cuartil). La línea en la mitad de este rectángulo es el segundo cuartil o la mediana. El tercer cuartil es donde termina la “caja”, representa a los datos que sobrepasan al 75% de la distribución. Se muestran datos extremos como asteriscos y valores atípicos como círculos (Galindo, 2010).

#### 4.1.1. Tipo de tráfico y descriptores acústicos

Se evaluó la distribución de los datos entre los flujos de circulación vehicular (como variable dependiente) y los descriptores acústicos (como factores). También se realizó este proceso para la molestia numérica (variable dependiente) y el tipo de tráfico vehicular (factor). El objetivo fue encontrar la normalidad, media, desviación estándar, asimetría, curtosis, y el gráfico de cajas y bigotes que demuestre la dispersión de los datos entre los diferentes flujos de circulación vehicular.

#### 4.1.1.1. Nivel continuo equivalente

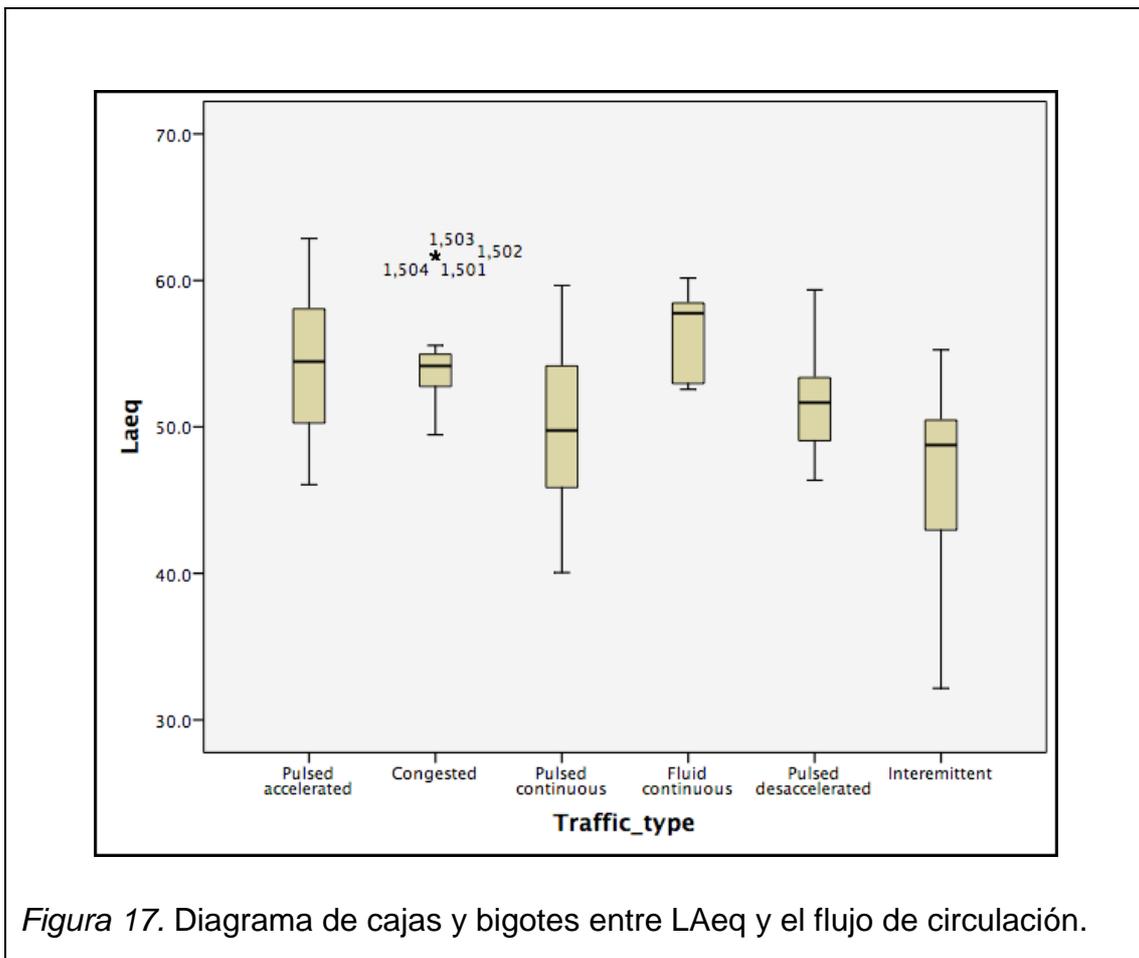
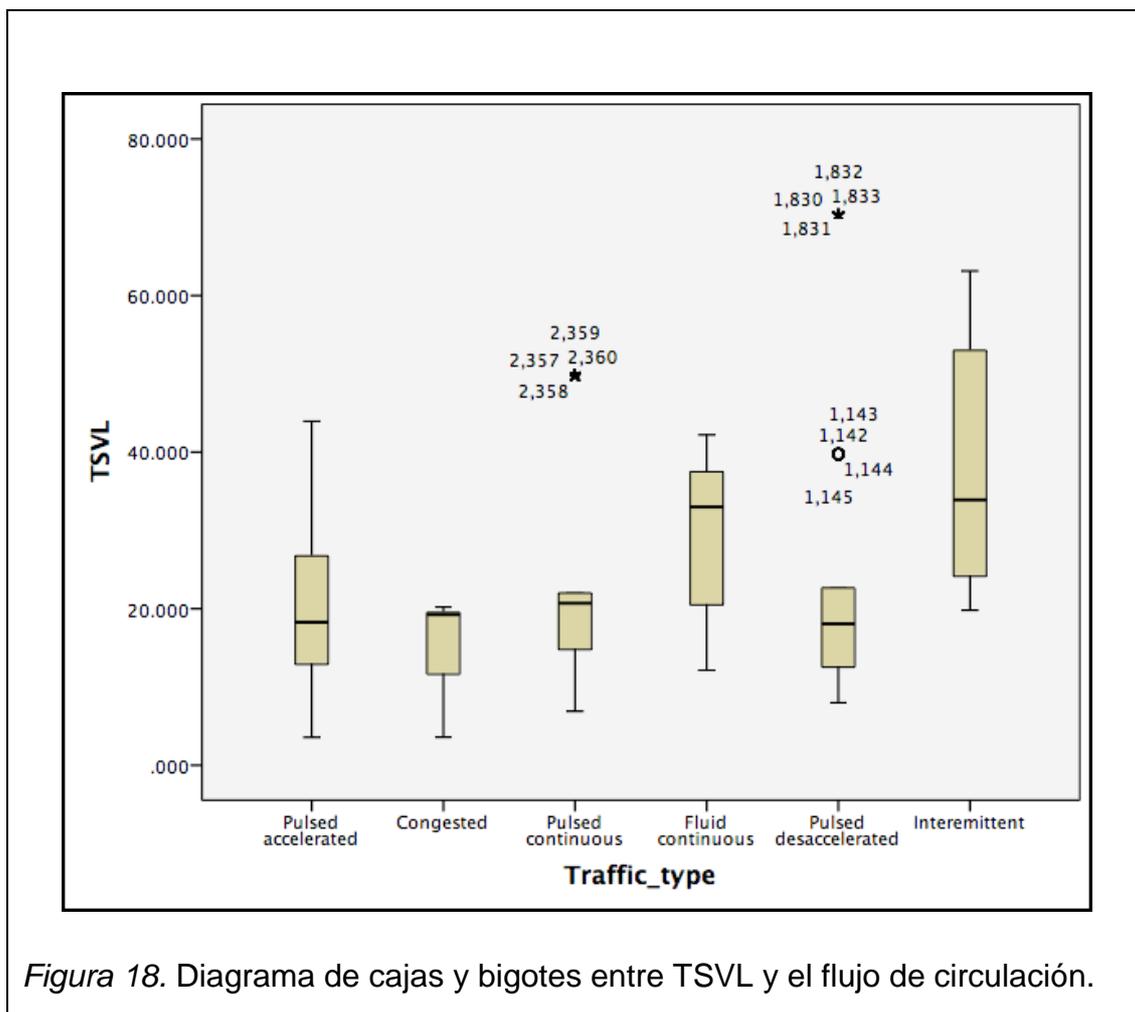


Figura 17. Diagrama de cajas y bigotes entre LAeq y el flujo de circulación.

Se encontró una mayor variabilidad de niveles continuos equivalentes para muestras del tipo de flujo intermitente, lo cual es un resultado predecible debido a que el paso de vehículos individuales con intervalos de ausencia de vehículos representa que no habrá tanta cantidad de eventos sonoros. Esto es opuesto al flujo continuo fluido y congestionado que por definición tendrán solapamiento de sonidos. Se aprecia que la media del LAeq en los distintos tipos de flujo está entre 46 y 56 dBA y la mediana está alrededor de 55(+5) dB, lo cual caracteriza al ruido de tráfico. Se encuentra que la menor diferencia entre los cuartiles 1 a 3 está en el flujo congestionado, lo cual es predecible debido a su naturaleza estacionaria.

#### 4.1.1.2. Nivel de Varianza Temporal



Se encuentra que la fluctuación del nivel sonoro del flujo intermitente es la que presenta mayor variación en las muestras tomadas. Esto se asemeja a la definición de este flujo de circulación pues el nivel equivalente de la muestra varía entre eventos sonoros y la ausencia de los mismos. Sin embargo se aprecia que el tipo de circulación pulsado acelerado y continuo fluido pueden llegar a tener altos niveles de variabilidad temporal del nivel sonoro. Esto podría deberse a que en el flujo continuo fluido, a pesar de que existe la misma velocidad de circulación, la interacción entre diferentes tipos de vehículos puede variar en gran medida los niveles sonoros totales. Y con respecto al flujo pulsado acelerado esta fluctuación de nivel sonoro se apega a su definición de variar rápidamente de un estado a otro. Posiblemente el flujo pulsado

decelerado no tiene la misma variabilidad que el pulsado acelerado por tener tiempos de variación de nivel sonoro más largos debido al frenado y posterior aceleración del vehículo.

#### 4.1.1.3. Factor de Cresta

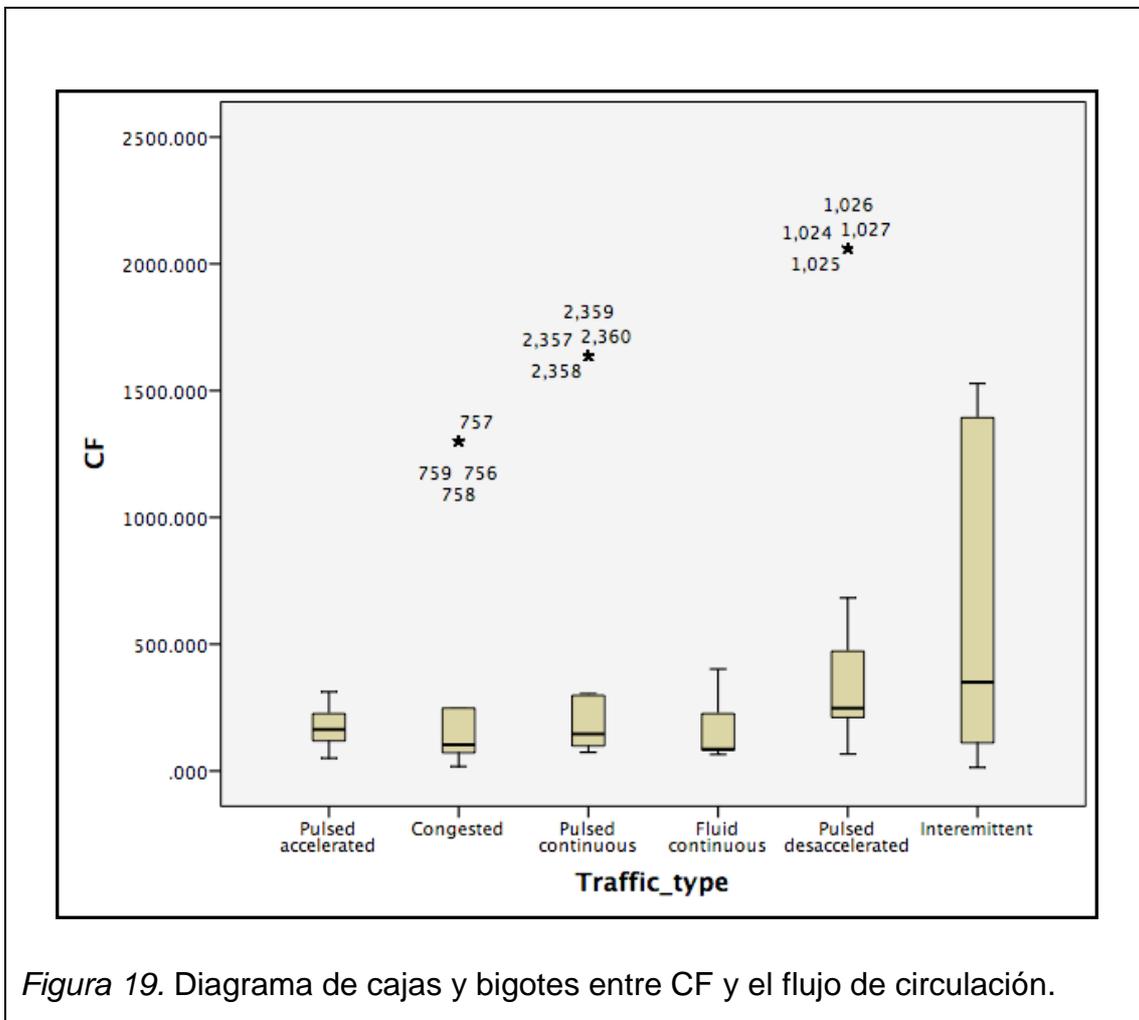


Figura 19. Diagrama de cajas y bigotes entre CF y el flujo de circulación.

El factor de cresta para la mayoría de tipos de tráfico es similar menos para el tipo de tráfico intermitente, resultado esperado en función de la definición del flujo. Es interesante notar que los cuartiles 1 y 2 en el tipo de tráfico continuo fluido y pulsado continuo están muy cerca de los valores mínimos, representando su poca impulsividad y su cualidad de flujos “continuos” al generalmente circular a una velocidad constante.

#### 4.1.1.4. Centroide Espectral

Se puede observar que la mayoría de frecuencias centrales para el tipo de tráfico congestionado están muy cercanas entre ellas, teniendo una media de 139 Hz debido posiblemente a los ruidos hechos por los motores de los vehículos. De igual forma se puede ver que dentro del grupo de tráfico fluido continuo hay el mayor rango de frecuencias centrales encontradas lo cual podría deberse al efecto Doppler experimentado por la mayor velocidad de los vehículos al pasar frente al punto de observación. Esto también podría ser ocasionado por la interacción de los ruidos del motor, el tubo de escape, las llantas en el pavimento y la forma aerodinámica del vehículo con la oposición ofrecida por el viento. En general para la mayoría de los grupos de flujo de circulación se presenta una predominancia de baja frecuencia con una media inferior a 200 Hz, excluyendo al flujo continuo fluido que muestra valores mínimos y máximos superiores al resto.

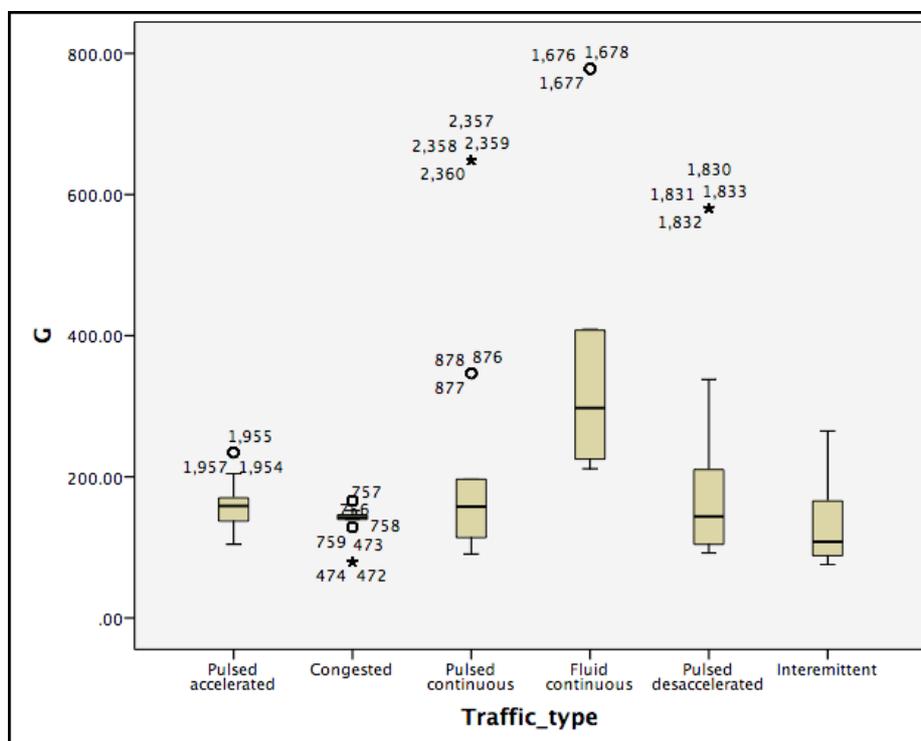


Figura 20. Diagrama de cajas y bigotes entre G y el flujo de circulación.

#### 4.1.2. Tipo de flujo de circulación vehicular y molestia

Se encuentra que para el flujo continuo fluido el valor mínimo de molestia numérica es superior a 2 contrariamente al resto que empieza en 0. Se observa que los cuartiles 1 a 3 del tipo de tráfico continuo fluido están por encima de la mediana de molestia de los otros tipos de tráfico. También es de interés señalar que en este flujo el cuartil 3 está muy cerca de los valores máximos. Esto indica una mayor concentración en valores altos de molestia por este tipo de flujo de circulación en relación a los otros a pesar de mostrar valores atípicos de molestia inferior a los mínimos. En el tipo de flujo intermitente se observa que la distancia de el cuartil 1 al 2 es mayor que de el 2 al 3, indicando mayor dispersión de datos cercanos a los mínimos. La media y mediana del flujo intermitente están claramente por debajo de las mismas para del resto de flujos de circulación denotando una clara tendencia a una menor molestia.

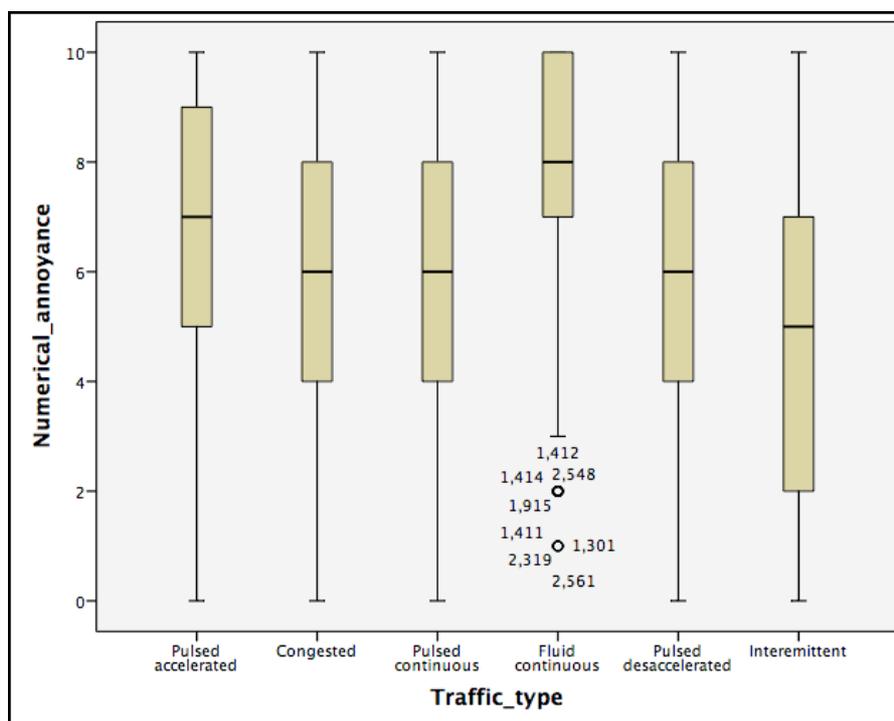


Figura 21. Diagrama de cajas y bigotes entre molestia numérica y el flujo de circulación.

Puede notarse una similitud en la distribución de datos para el flujo congestionado, pulsado continuo y pulsado decelerado. El segundo flujo de circulación vehicular con una molestia elevada luego del continuo fluido es el pulsado acelerado.

Tabla 5. Media, desviación estándar, curtosis y asimetría para LAeq, TSVL, CF y molestia numérica

Traffic_type	Rates	LAeq		TSVL		CF		G		Num_annoyance	
		Statistic	Std. Error	Statistic	Std. Error						
Pulsed accelerated	Mean	53.667	0.2321	54.46		19.95979	0.5344	162.6111	1.94147	6.36	0.129
	S. Deviation	4.8024		4.8024		11.055758		40.16535		2.66	
	Skewness	0.077	0.118	0.077	0.118	0.755	0.118	0.52	0.118	-0.455	0.118
	Kurtosis	-0.97	0.235	-0.97	0.235	0.104	0.235	-0.602	0.235	-0.653	0.235
Congested	Mean	53.774	0.1259	53.774	0.1259	16.19799	0.255597	139.2733	1.11164	6.04	0.121
	S. Deviation	2.6041		2.6041		5.287836		22.99788		2.495	
	Skewness	1.066	0.118	1.066	0.118	-1.376	0.118	-1.59	0.118	-0.374	0.118
	Kurtosis	2.67	0.235	2.67	0.235	0.626	0.235	2.231	0.235	-0.602	0.235
Pulsed continuous	Mean	49.795	0.2733	49.795	0.2733	22.5753	0.637778	220.3508	8.22369	6.09	0.134
	S. Deviation	5.6534		5.6534		13.194461		170.13299		2.777	
	Skewness	0.027	0.118	0.027	0.118	1.303	0.118	1.751	0.118	-0.367	0.118
	Kurtosis	-0.72	0.235	-0.72	0.235	0.391	0.235	1.773	0.235	-0.816	0.235
Fluid continuous	Mean	56.509	0.134	56.509	0.134	28.18745	0.481481	337.1709	8.03867	7.64	0.11
	S. Deviation	2.7713		2.7713		9.960947		166.30522		2.269	
	Skewness	-0.264	0.118	-0.264	0.118	-0.354	0.118	1.829	0.118	-1.025	0.118
	Kurtosis	-1.479	0.235	-1.479	0.235	-1.232	0.235	2.381	0.235	0.432	0.235
Pulsed desaccelerated	Mean	51.777	0.1681	337.1709	8.03867	23.23105	0.884081	196.0383	7.19595	5.8	0.132
	S. Deviation	3.478		166.30522		18.29		148.87096		2.74	
	Skewness	0.852	0.118	1.829	0.118	1.871	0.118	1.908	0.118	-0.323	0.118
	Kurtosis	0.152	0.235	2.381	0.235	2.239	0.235	2.249	0.235	-0.704	0.235
Interemittent	Mean	46.15	0.3423	51.777	0.1681	37.8761	0.712426	133.7613	2.68419	4.73	0.141
	S. Deviation	7.0814		3.478		14.738788		55.53092		2.915	
	Skewness	-0.929	0.118	0.852	0.118	0.52	0.118	0.792	0.118	-0.008	0.118
	Kurtosis	-0.491	0.235	0.152	0.235	-1.119	0.235	-0.448	0.235	-1.067	0.235

## 4.2. Correlación de variables

La correlación de variables es un método que permite medir la magnitud de la asociación presumidamente lineal entre dos variables. A través de esto se espera determinar si un valor dado para una variable puede predecir proporcionalmente el resultado de otra, y si de ser así qué tan fuerte es su relación. El coeficiente de correlación de Pearson (aplicado a variables cuantitativas) solo puede ser aplicado a relaciones lineales que sigan una recta, mas no una curva (Camacho, s.f.). El coeficiente de correlación de Pearson puede variar entre 1 y -1. Un coeficiente de 1 representa correlación positiva perfecta (es decir que sigue exactamente una línea recta) y un coeficiente de -1 representa una correlación negativa perfecta (sigue una línea recta con pendiente negativa). Si el resultado de este índice es 0 significa que no hay correlación lineal. Cualquier valor entre 1 y -1 (diferente de 0) indica el nivel de correlación positiva o negativa que existe entre las variables. También se indica el valor de significancia, el cual representa si hay una correlación estadísticamente significativa. La hipótesis nula de esta prueba es que el coeficiente de correlación de Pearson es igual a 0, misma que es rechazada cuando el valor de su significancia es menor o igual a 0.05, considerando un CI 95% y un margen de error de 5%.

A través de este método se buscó encontrar la correlación lineal entre sensibilidad y molestia reportada para comprobar la teoría de que la sensibilidad es un rasgo personal que predice el grado de molestia. Se incluyeron las dos escalas de molestia (verbal y numérica) para observar el grado de correlación entre éstas.

Tabla 6. Coeficiente de correlación de Pearson.

		<b>Correlations</b>		
		Sensitivity	Verbal annoyance	Numerical annoyance
Sensitivity	Pearson Correlation	1	.155**	.134**
	Sig. (2-tailed)		.000	.000
	N	2568	2568	2568
Verbal annoyance	Pearson Correlation	.155**	1	.902**
	Sig. (2-tailed)	.000		.000
	N	2568	2568	2568
Numerical annoyance	Pearson Correlation	.134**	.902**	1
	Sig. (2-tailed)	.000	.000	
	N	2568	2568	2568
**. Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).				

Se encontró un p-valor de 0.00 lo cual representa significancia de la correlación para todos los casos. El coeficiente de Pearson muestra correlación positiva entre sensibilidad y molestia verbal, y entre sensibilidad y molestia numérica; sin embargo la mayor correlación entre es entre sensibilidad y molestia verbal. Esto podría estar ligado al hecho de que la escala de molestia verbal tiene menos puntos de calificación de molestia y por lo tanto menor resolución. Esto confirma la relación lineal entre sensibilidad y molestia que ha sido reportada por varios autores ((Kishikawa et al., 2006), (Abolhassannejad, Monazzam y Moasheri, 2013), (Luz, 2005), (Paunovic, Jakovljevic y Jakovljevic, 2009), (Stansfeld y Clark, 2009), (Smith, 2003), (Sense, Ruotolo, Ruggiero y Iachini, 2012), (Weinstein, 1978), (Heinonen-Guzejev, 2009), (Jakovljevic, Paunovic y Belojevic, 2009), (Miedema, 2007)).

#### **4.3. Análisis de Varianza ANOVA**

El análisis de varianza permite encontrar si las medias de dos o más variables son significativamente diferentes o si son similares. Este análisis permite aceptar o rechazar la hipótesis nula de que las medias de las variables van a

ser similares. Si las variables son significativamente diferentes (rechazando la hipótesis nula) se puede inferir que la variable independiente tiene influencia en la variable dependiente. El valor P de significancia es obtenido a través del radio F el cual es el radio entre las medias cuadradas inter-grupos e intra-grupos. Si la hipótesis nula es verdadera se espera que el radio F se acerque a 1, si este radio se aleja de 1 es más probable que se la rechace. El nivel de significancia permite conocer si se acepta o rechaza la hipótesis nula. Por convención en la mayoría de estudios se rechaza la hipótesis nula si la significancia es menor o igual a 0.05 (Mason, Lind y Marchal, 2002, pp. 392-403). Después de que el estadístico rechaza la hipótesis nula se pueden correr pruebas post hoc para agrupar datos homogéneos de las variables que presenten mayor relación. En este estudio se hicieron las pruebas post hoc de Tukey y Scheffe, también se utilizaron gráficos mostrando la relación de las medias de las variables.

#### 4.3.1. Sensibilidad y Molestia verbal

En este caso la hipótesis nula fue planteada entre sensibilidad (variable dependiente) y molestia verbal (variable independiente).

Tabla 7. ANOVA entre sensibilidad (vd) y molestia verbal (vi)

<b>ANOVA</b>					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	6399.658	4	1599.915	18.627	.000
Within Groups	220141.206	2563	85.892		
Total	226540.864	2567			

Por el valor  $p=0.00$  se rechaza la hipótesis nula y se confirma que para cada valor de molestia hay un valor de sensibilidad diferente.

Tabla 8. Subconjuntos de homogeneidad para valores de molestia verbal.

<b>Sensitivity</b>					
	Verbal_	N	Subset for alpha = 0.05		
	annoyance		1	2	3
Tukey HSD <sup>a,b</sup>	Not at all	117	71.49		
	Slightly	416	71.94		
	Moderately	900	72.74	72.74	
	Very	848		74.15	
	Extremely	287			77.25
	Sig.			.467	.336
Scheffe <sup>a,b</sup>	Not at all	117	71.49		
	Slightly	416	71.94	71.94	
	Moderately	900	72.74	72.74	
	Very	848		74.15	
	Extremely	287			77.25
	Sig.			.607	.075
Means for groups in homogeneous subsets are displayed.					
a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 298.944.					
b. The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.					

Las pruebas post hoc de Tukey y Sheffe separan 3 grupos de sensibilidad dependiendo de la molestia reportada. En el primer grupo entran las categorías de nada molesto a ligeramente molesto, en otro grupo la molestia moderada y alta; y separadamente la molestia extrema. Estos resultados confirman la fuerte relación entre molestia y sensibilidad, sobretodo para casos de molestia extrema para el cual la diferencia de medias es altamente significativa. La figura 22 muestra la curva de medias que relaciona sensibilidad y molestia verbal.

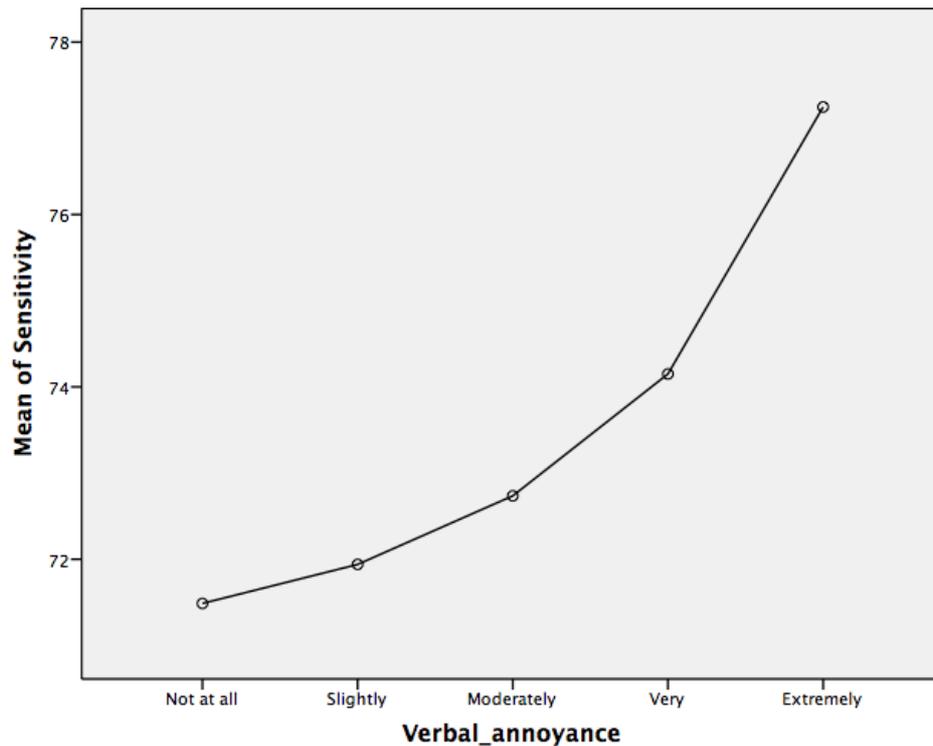


Figura 22. Gráfico de medias entre sensibilidad y molestia verbal.

#### 4.3.2. Molestia y Edad

La hipótesis nula para este caso es que las medias entre molestia numérica (variable dependiente) y edad (variable independiente) son iguales.

Tabla 9. ANOVA entre molestia numérica (vd) y edad (vi).

ANOVA					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	539.795	5	107.959	14.285	.000
Within Groups	19362.017	2562	7.557		
Total	19901.813	2567			

El valor  $p=0.00$  de significancia permite rechazar la hipótesis nula. Se encuentra que para cada grupo de edad hay una molestia diferente.

Tabla 10. Subconjuntos de homogeneidad entre grupos de edad.

Numerical_ annoyance					
	Age	N	Subset for alpha = 0.05		
			1	2	3
Tukey HSD <sup>a,b</sup>	<24	1242	5.71		
	56-65	180	6.02		
	>65	174	6.09	6.09	
	24-35	396	6.35	6.35	6.35
	36-45	324		6.76	6.76
	46-55	252			6.96
	Sig.			.067	.051
Scheffe <sup>a,b</sup>	<24	1242	5.71		
	56-65	180	6.02	6.02	
	>65	174	6.09	6.09	
	24-35	396	6.35	6.35	6.35
	36-45	324		6.76	6.76
	46-55	252			6.96
	Sig.			.184	.075
Means for groups in homogeneous subsets are displayed. a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 276.654. b. The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.					

Las agrupaciones por las pruebas post hoc muestran 3 grupos. El primer grupo es de gente menor a 24 años (teniendo una diferencia altamente significativa de menor molestia), de 24 a 35 años, de 56 a 65 años y mayores a 65 años. El segundo incluye a gente de 36 a 45 años dejando al grupo de 56 a 65 años. El tercer grupo deja al grupo mayor a 65 años e incluye al grupo de 46 a 55 años (siendo el grupo que más molestia presenta). En la figura 23 se observa un incremento en la molestia por la edad, llegando al máximo en el grupo de 46 a 55 años, disminuyendo para el siguiente grupo y teniendo un ligero incremento para el grupo mayor a 65 años. Esta tendencia se asemeja a lo sugerido por Miedema (2007) sobre la molestia y los grupos de edad. La molestia puede estar vinculada al estrés (Niemann, Hoebel, Hammersen Y Laußmann, 2014) razón por la que posiblemente se evidencia una disminución de la molestia

después de dejar la actividad laboral y su incremento posterior por mayores problemas de salud ligados a la tercera edad. Los bajos valores de molestia para los grupos de 56 años en adelante pueden estar relacionados con la pérdida de la audición por la edad (Eileen, 2007). El bienestar es un aspecto relacionado con el nivel de ruido al que un individuo es expuesto y a la molestia ocasionada por éste (Braubach, 2015). Es interesante observar en este caso la similitud que presenta la curva de medias de molestia por edad encontrada en este estudio (figura 23), con la curva U de bienestar ya ampliamente estudiada por más de dos décadas (Blanchflower y Oswald, 2007). La curva de bienestar establece (en promedio) su punto más bajo pasando la mitad de los cuarenta años de edad, lo cual hacer pensar en una posible relación con la molestia causada por ruido de tráfico vehicular. Es importante señalar que estas observaciones también han sido realizadas por Okokon et al. (2015) y Van Gerven, Vos, Van Boxtel, Janssen (2009) y Miedema (2009).

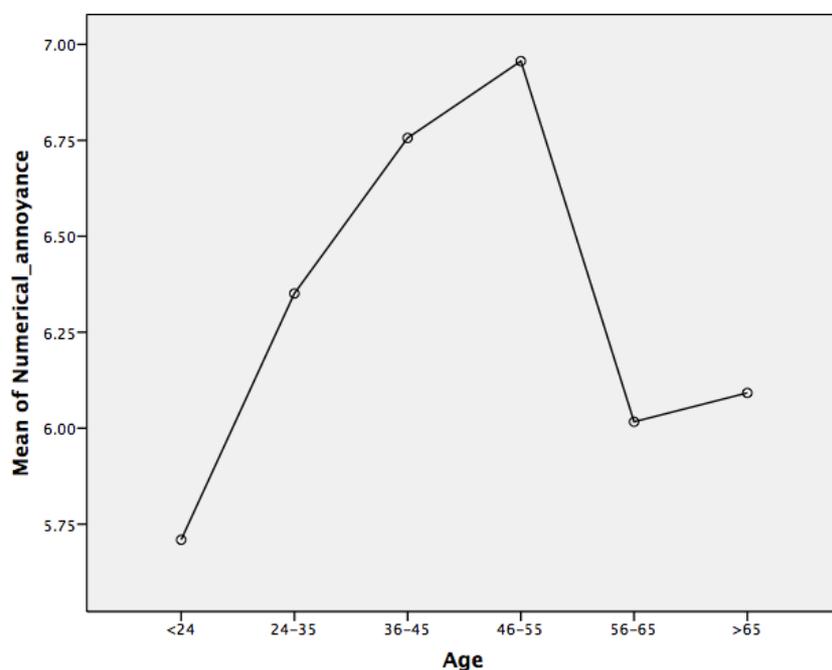


Figura 23. Gráfico de medias entre sensibilidad y molestia verbal

### 4.3.3. Molestia y estado civil

La hipótesis nula en este caso es la igualdad de medias entre molestia numérica (variable dependiente) y estado civil (variable independiente).

Tabla 11. ANOVA entre molestia numérica y estado civil.

ANOVA					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	220.951	3	73.650	9.595	.000
Within Groups	19680.862	2564	7.676		
Total	19901.813	2567			

El valor de significancia 0.00 permite rechazar la hipótesis nula, por lo tanto la molestia numérica reportada varía dependiendo del estado civil. Esto concuerda con lo sugerido por Paunović, Jakovljević y Belojević (2008).

Tabla 12. Subconjuntos de homogeneidad entre estados civiles.

Numerical_annoynance				
	Marriage_stat	N	Subset for alpha = 0.05	
			1	2
Tukey HSD <sup>a,b</sup>	Single	1566	5.90	
	Other	144	6.01	6.01
	Free Union	144	6.28	6.28
	Married	714		6.56
	Sig.		.399	.121
Scheffe <sup>a,b</sup>	Single	1566	5.90	
	Other	144	6.01	
	Free Union	144	6.28	
	Married	714	6.56	
	Sig.		.067	

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.  
a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 251.130.  
b. The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.

Se encuentra en la prueba post hoc de Tukey la existencia de dos grupos, el primero dejando a parte a las personas casadas y el segundo deja a parte a las personas solteras habiendo una clara diferencia entre estos dos grupos. En la figura 24 se encuentra un valor máximo en personas casadas, medio en personas en unión libre y mínimo en personas solteras, incrementándose levemente para otros estados civiles. La categoría de “otro” comprende personas viudas, divorciadas o separadas, la cual denota una diferente situación sentimental a pesar de no ser reconocida como tal por la ley. En este caso el incremento de molestia en relación a personas solteras podría estar ligado a estrés de factores emocionales que influyen en la percepción de eventos sonoros molestos.

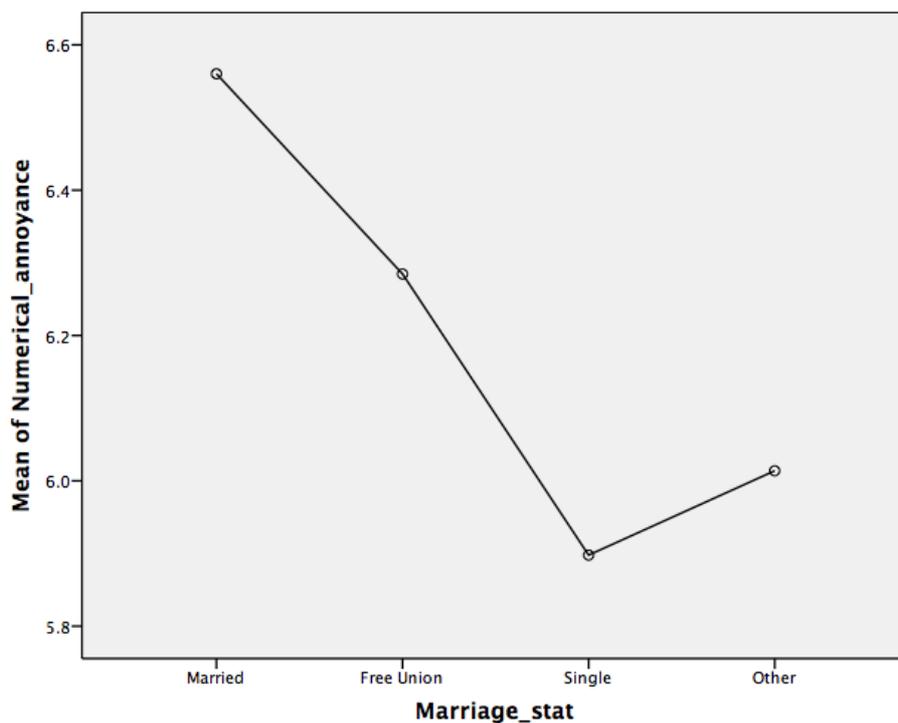


Figura 24. Gráfico de medias entre molestia numérica y estado civil.

#### 4.3.4. Sensibilidad, molestia numérica y tipo de ocupación laboral

La hipótesis nula en este caso se plantea entre molestia numérica (variable dependiente, sensibilidad (variable dependiente) y tipo de ocupación laboral (variable independiente).

Tabla 13. ANOVA entre sensibilidad (vd), molestia numérica (vd) y tipo de ocupación laboral (vi).

		ANOVA				
		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Sensitivity	Between Groups	4145.699	2	2072.849	23.907	.000
	Within Groups	222395.166	2565	86.704		
	Total	226540.864	2567			
Numerical_ annoyance	Between Groups	64.441	2	32.221	4.166	.016
	Within Groups	19837.372	2565	7.734		
	Total	19901.813	2567			

Los valores p de significancia menores a 0.05 permiten rechazar la hipótesis nula. Se encuentra una diferente sensibilidad con relación al tipo de trabajo desempeñado por la persona.

Tabla 14. Subconjuntos de homogeneidad entre tipos de trabajo (relacionado con sensibilidad).

<b>Sensitivity</b>					
	Job	N	Subset for alpha = 0.05		
			1	2	3
Tukey HSD <sup>a,b</sup>	Physical	750	71.96		
	Intellectual	1620		73.84	
	Retired	198			76.82
	Sig.		1.000	1.000	1.000
Scheffe <sup>a,b</sup>	Physical	750	71.96		
	Intellectual	1620		73.84	
	Retired	198			76.82
	Sig.		1.000	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.  
a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 428.503.  
b. The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.

Existe mayor sensibilidad en el grupo retirado (tercera edad), seguido por el grupo que ejerce un trabajo intelectual. Podría existir la hipótesis de que la diferencia entre escoger un trabajo intelectual a uno físico se pueda explicar por la mayor afectividad negativa ligada a la gente sensible. Esto podría ser posiblemente por responder de forma más fuerte (o tal vez de forma más neurótica) a estímulos del medio ambiente que se encuentran en trabajos principalmente físicos (Luz, 2005). Sin embargo también podría deberse a que la sensibilidad se puede relacionar con ser más crítico con el medio que rodea a la persona (Weinstein, 1978). A pesar de rechazarse la hipótesis nula entre molestia numérica y tipos de trabajo, las pruebas post hoc no encontraron una diferencia significativa como para separar en diferentes grupos a cada tipo de ocupación. Es interesante observar que aunque la gente retirada tiene la más alta sensibilidad, no reporta niveles superiores de molestia al grupo que ejerce trabajo intelectual. Esto podría deberse a que el grupo de gente retirada es gente de la tercera edad que ha tenido una pérdida natural de la audición. Se

debe tener en cuenta que la molestia ha sido establecida como dependiente de la exposición (Fields, 1993).

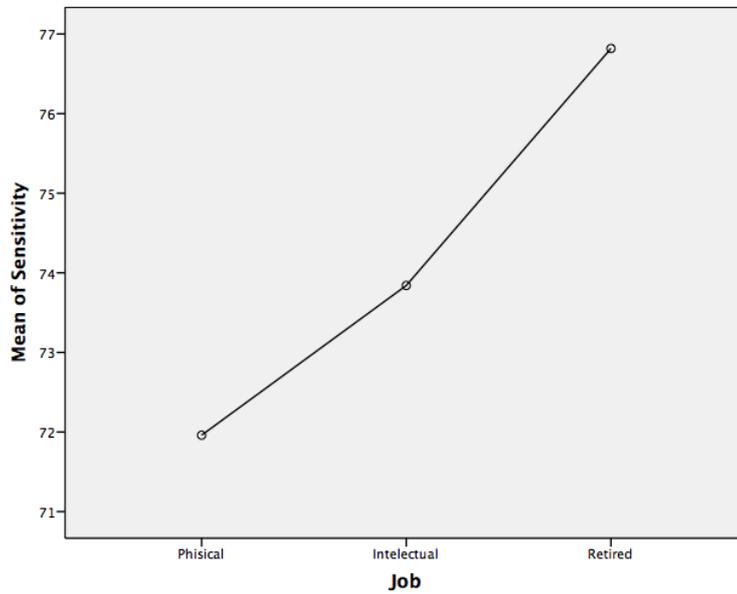


Figura 25. Gráfico de medias entre sensibilidad y tipo de ocupación.

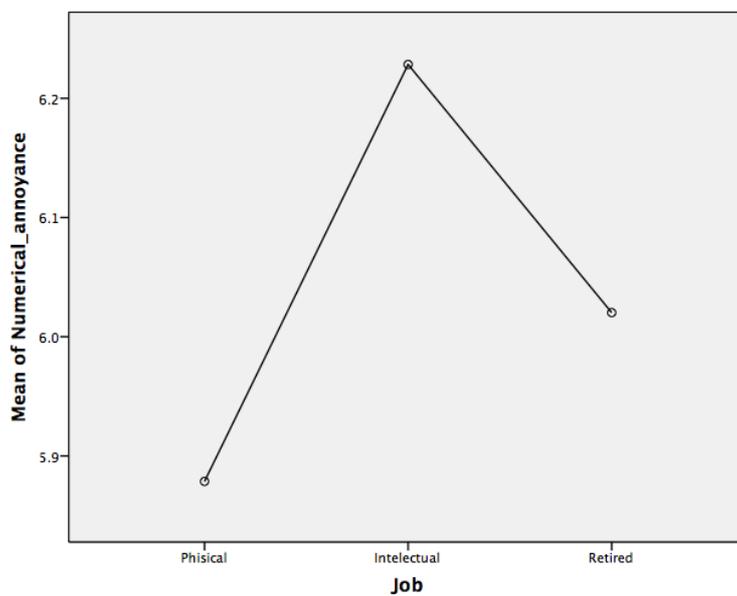


Figura 26. Gráfico de medias entre molestia numérica y tipo de ocupación.

#### 4.3.5. Sensibilidad y tipo de transporte frecuentemente preferido.

Se planteó la hipótesis nula de igualdad de medias entre sensibilidad (variable dependiente) y medio de transporte preferido (variable independiente).

Tabla 15. ANOVA entre sensibilidad (vd) y tipo de transporte (vi).

ANOVA					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	1898.705	3	632.902	7.224	.000
Within Groups	224642.159	2564	87.614		
Total	226540.864	2567			

Con un valor  $p=.00$  se rechaza la hipótesis nula. No existe igualdad de medias.

Tabla 16. Subconjuntos de homogeneidad para tipo de transporte preferido.

Sensitivity				
	Conveyance	N	Subset for alpha = 0.05	
			1	2
Tukey HSD <sup>a,b</sup>	Non-motorized conveyance	198	71.30	
	Public Bus	960		73.11
	Taxi	252		73.19
	Private car	1158		74.32
	Sig.		1.000	.299
Scheffe <sup>a,b</sup>	Non-motorized conveyance	198	71.30	
	Public Bus	960	73.11	73.11
	Taxi	252	73.19	73.19
	Private car	1158		74.32
	Sig.		.059	.383

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.  
a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 366.167.  
b. The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.

Se observa que dependiendo del nivel de sensibilidad la gente tiende a escoger de manera diferente el medio de transporte. Esto puede ser discutible teniendo en cuenta que transportarse frecuentemente en un vehículo privado o circular en taxi también depende de las condiciones económicas de las personas. Pero lo interesante es observar que las pruebas post hoc de Tukey y Scheffe apartan a las personas que eligen movilizarse en vehículos no motorizados. Siguiendo la gráfica de medias (Figura 23) se advierte que estas personas tienden a tener menor sensibilidad al resto. Esto podría reforzar la hipótesis de la afectividad negativa, o de una intolerancia a factores ambientales, evaluándolos negativamente de manera más fuerte que gente menos sensible. Ambos agrupamientos también señalan que las personas con más alta sensibilidad del estudio tienden a transportarse con más frecuencia en automóvil privado. Esto posiblemente se debe a la intención de los individuos sensibles de buscar un ambiente más seguro en relación al resto de la población. Esto puede estar ligado a la introversión y al deseo de privacidad de las personas sensibles como propone Weinstein (1978). No se encuentran resultados que sugieran que el uso de cierto tipo de medio de transporte influya en la molestia provocada contrario a lo reportado por Hai et. al (2009).

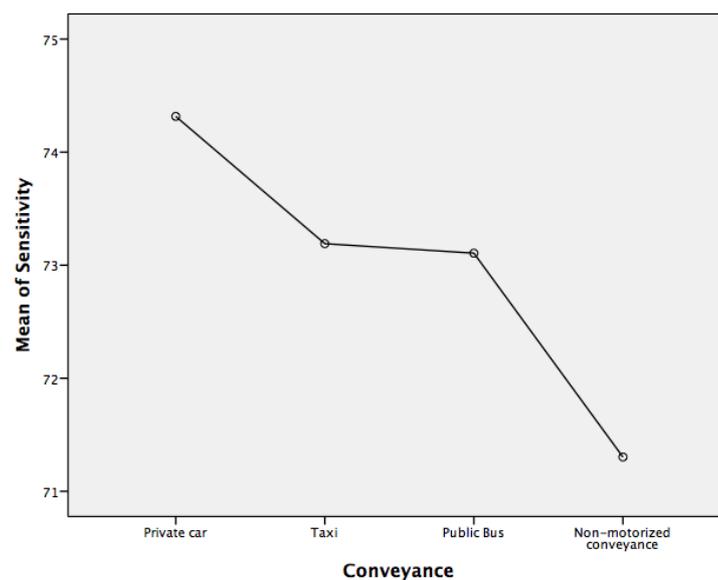


Figura 27. Gráfico de medias entre sensibilidad y transporte preferido.

#### 4.3.6. Molestia numérica y tipo de circulación vehicular

Se plantea la hipótesis nula entre molestia numérica (variable dependiente) y el tipo de circulación vehicular (variable independiente).

Tabla 17. ANOVA entre molestia numérica (vd) y tipo de circulación vehicular (vi).

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	1896.437	5	379.287	53.969	.000
Within Groups	18005.376	2562	7.028		
Total	19901.813	2567			

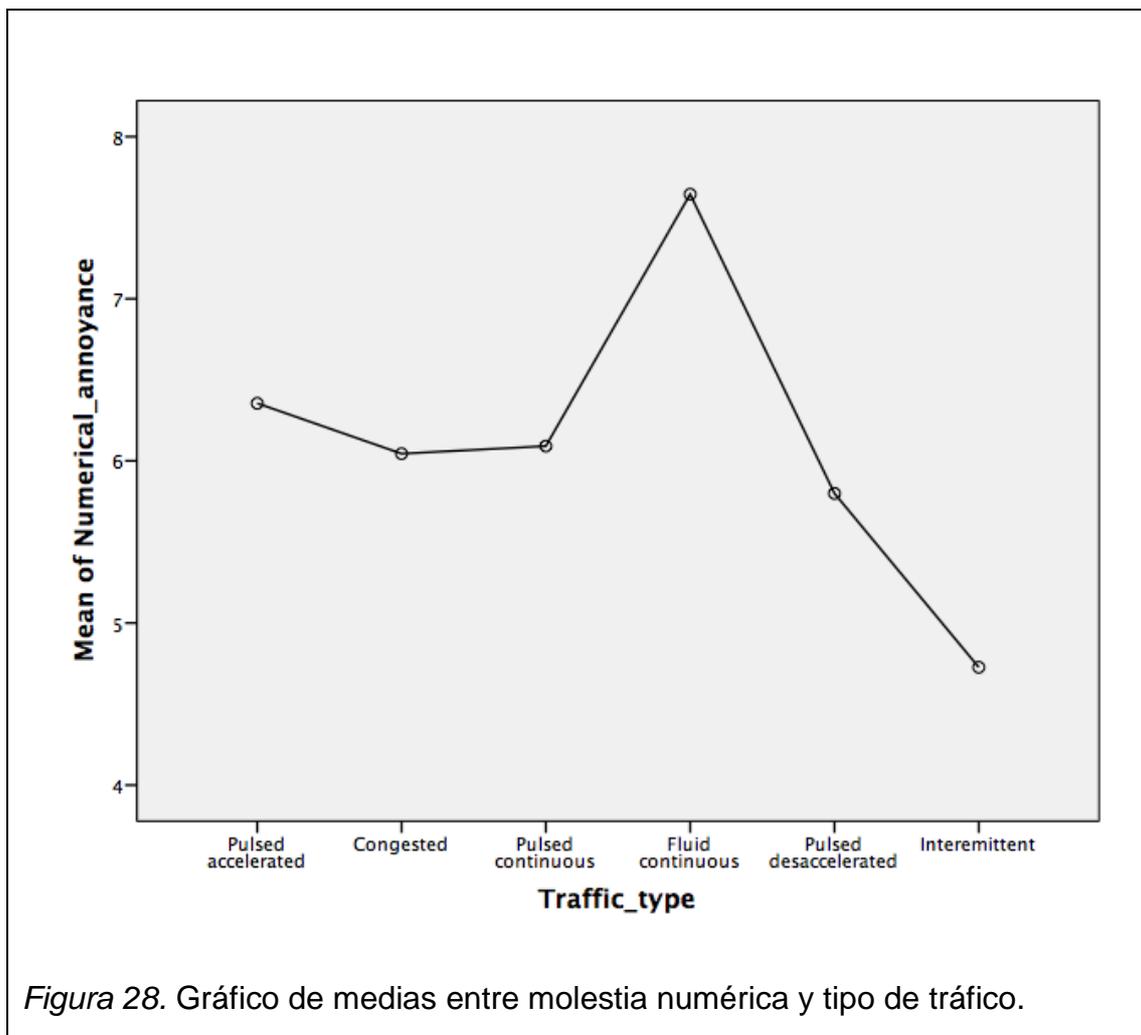
Un valor  $p=0.00$  de significancia permite rechazar la hipótesis nula. El análisis de varianza demuestra que dependiendo del tipo de circulación vehicular hay un diferente nivel de molestia.

Tabla 18. Subconjuntos de homogeneidad por tipo de circulación vehicular.

		N	Subset for alpha = 0.05			
Traffic_type			1	2	3	4
Tukey HSD <sup>a</sup>	Interemittent	428	4.73			
	Pulsed desaccelerated	428		5.80		
	Conaested	428		6.04	6.04	
	Pulsed continuous	428		6.09	6.09	
	Pulsed accelerated	428			6.36	
	Fluid continuous	428				7.64
	Sig.		1.000	.591	.522	1.000
Scheffe <sup>a</sup>	Interemittent	428	4.73			
	Pulsed desaccelerated	428		5.80		
	Conaested	428		6.04		
	Pulsed continuous	428		6.09		
	Pulsed accelerated	428		6.36		
	Fluid continuous	428				7.64
	Sig.		1.000	.094	1.000	

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.  
a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 428.000.

Los agrupamientos post hoc señalan una clara diferencia para el tipo de flujo intermitente siendo el menos molesto de forma contraria al flujo continuo fluido que es el más molesto. La prueba de Tukey separa al flujo pulsado acelerado el cual tiene una media de molestia ligeramente más alta que el resto y al flujo pulsado decelerado que parece ser ligeramente menos molesto que el resto.



#### 4.3.7. Descriptores acústicos y tipo de circulación vehicular

La hipótesis nula de igualdad de medias es planteada entre los descriptores acústicos (LAeq, TSVL, CF y G) como variables dependientes y el tipo de circulación vehicular como variable independiente.

Tabla 19. ANOVA entre descriptores acústicos (vd) y flujos de circulación (vi).

ANOVA						
		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
LAeq	Between Groups	27976.814	5	5595.363	254.859	.000
	Within Groups	56247.998	2562	21.955		
	Total	84224.812	2567			
TSVL	Between Groups	122918.537	5	24583.707	151.244	.000
	Within Groups	416436.540	2562	162.544		
	Total	539355.078	2567			
CF	Between Groups	59382554.175	5	11876510.835	77.035	.000
	Within Groups	394984439.779	2562	154170.351		
	Total	454366993.954	2567			
G	Between Groups	12283395.986	5	2456679.197	175.496	.000
	Within Groups	35864184.355	2562	13998.511		
	Total	48147580.341	2567			

El p-valor 0.00 de significancia permite rechazar la hipótesis nula de igualdad de medias en todos los casos. El análisis de varianza demuestra que para cada tipo de tráfico vehicular hay diferentes niveles en los descriptores acústicos los cuales son resultados predecibles debido a las diferencias en las definiciones de cada uno.

Se observa que para el nivel continuo equivalente el flujo intermitente es el que presenta menor presión sonora y seguido por el flujo pulsado continuo y pulsado decelerado. Es interesante notar que hay una media similar entre el flujo pulsado acelerado y congestionado. Se puede sugerir que el alto nivel de presión sonora para el flujo congestionado puede deberse al uso de la bocina y la continuidad de eventos sonoros. El flujo continuo fluido es el que llega a tener el mayor nivel sonoro continuo equivalente.

Tabla 20. Subconjuntos de homogeneidad por tipo de circulación vehicular con respecto a LAeq.

		<b>LAeq</b>					
	Traffic_type	N	Subset for alpha = 0.05				
			1	2	3	4	5
Tukey HSD <sup>a</sup>	Interemittent	428	46.150				
	Pulsed continuous	428		49.795			
	Pulsed desaccelerated	428			51.777		
	Pulsed accelerated	428				53.667	
	Congested	428				53.774	
	Fluid continuous	428					56.509
	Sig.		1.000	1.000	1.000	.999	1.000
Scheffe <sup>a</sup>	Interemittent	428	46.150				
	Pulsed continuous	428		49.795			
	Pulsed desaccelerated	428			51.777		
	Pulsed accelerated	428				53.667	
	Congested	428				53.774	
	Fluid continuous	428					56.509
	Sig.		1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
Means for groups in homogeneous subsets are displayed.							
a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 428.000.							

Tabla 21. Subconjuntos de homogeneidad por tipo de circulación vehicular con respecto a TSVL.

		<b>TSVL</b>					
		Subset for alpha = 0.05					
	Traffic_type	N	1	2	3	4	5
Tukey HSD <sup>a</sup>	Congested	428	16.19799				
	Pulsed accelerated	428		19.95979			
	Pulsed continuous	428			22.57530		
	Pulsed desaccelerated	428			23.23105		
	Fluid continuous	428				28.18745	
	Interemittent	428					37.87610
	Sig.		1.000	1.000	.975	1.000	1.000
Scheffe <sup>a</sup>	Congested	428	16.19799				
	Pulsed accelerated	428		19.95979			
	Pulsed continuous	428		22.57530	22.57530		
	Pulsed desaccelerated	428			23.23105		
	Fluid continuous	428				28.18745	
	Interemittent	428					37.87610
	Sig.		1.000	.109	.989	1.000	1.000
Means for groups in homogeneous subsets are displayed.							
a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 428.000.							

Se puede apreciar que las agrupaciones post hoc para TSVL y tipo de tráfico son diferentes para los flujos congestionado, continuo fluido e intermitente siendo el último el mayor y el primero el menor. Esto va acorde a las definiciones de ambos extremos ya que en un flujo congestionado se espera que hayan varios eventos sonoros ocurriendo de forma simultánea sin cambios debido a que los vehículos no están en movimiento. De igual forma se espera una mayor fluctuación de nivel cuando una calle poco transitada tiene la circulación de un vehículo. Algo interesante es observar que el tipo de tráfico continuo fluido tiene una alta variabilidad temporal de nivel sonoro (figura 29); esto podría deberse a la diferente variedad y cantidad de vehículos y la suma de sus cualidades sonoras mientras circulan en una vía rápida.

Los agrupamientos post hoc para el factor cresta apartan al flujo de circulación intermitente, lo cual es predecible partiendo de su definición. Sin embargo, es interesante notar que la impulsividad mostrada en el flujo continuo fluido sea alta, y agrupable por Tukey con el flujo pulsado decelerado del que se espera mas turbulencia e impulsividad de niveles sonoros. La baja impulsividad de flujo continuo fluido igualmente se asemeja a su definición.

Para el análisis post hoc del centroide espectral con respecto a los flujos de circulación vehicular muestran que el flujo continuo fluido se separa del resto teniendo una mayor frecuencia central. Esto podría deberse a la influencia del ruido del motor funcionando a un mayor número de revoluciones por minuto y el ruido producido por la carrocería y la resistencia del aire. Se observa que la relación entre el centroide espectral y los tipos de flujo de circulación varían dependiendo de la velocidad esperada para cada tipo de flujo. Así con vehículos estáticos y a menores velocidades hay mayor concentración de energía acústica en bajas frecuencias, lo cual viene del ruido del motor y el tubo de escape; sin embargo cuando la velocidad aumenta hay más influencia entre la calzada y el diseño aerodinámico del vehículo.

Tabla 22. Subconjuntos de homogeneidad por tipo de circulación vehicular con respecto a CF.

		<b>CF</b>					
		Subset for alpha = 0.05					
	Traffic_type	N	1	2	3	4	5
Tukey HSD <sup>a</sup>	Fluid continuous	428	160.87143				
	Pulsed accelerated	428	169.04257	169.04257			
	Congested	428		241.21794			
	Pulsed continuous	428			332.75049		
	Pulsed desaccelerated	428				411.37687	
	Interemittent	428					595.55287
	Sig.		1.000	.078	1.000	1.000	1.000
Scheffe <sup>a</sup>	Fluid continuous	428	160.87143				
	Pulsed accelerated	428	169.04257				
	Congested	428	241.21794				
	Pulsed continuous	428		332.75049			
	Pulsed desaccelerated	428		411.37687			
	Interemittent	428			595.55287		
	Sig.		.111	.127	1.000		
Means for groups in homogeneous subsets are displayed.							
a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 428.000.							

Tabla 23. Subconjuntos de homogeneidad por tipo de circulación vehicular con respecto a G.

		<b>G</b>					
		N	Subset for alpha = 0.05				
	Traffic_type		1	2	3	4	5
Tukey HSD <sup>a</sup>	Interemittent	428	133.7613				
	Congested	428	139.2733				
	Pulsed accelerated	428		162.6111			
	Pulsed desaccelerated	428			196.0383		
	Pulsed continuous	428				220.3508	
	Fluid continuous	428					337.1709
	Sig.			.984	1.000	1.000	1.000
Scheffe <sup>a</sup>	Interemittent	428	133.7613				
	Congested	428	139.2733	139.2733			
	Pulsed accelerated	428		162.6111			
	Pulsed desaccelerated	428			196.0383		
	Pulsed continuous	428			220.3508		
	Fluid continuous	428				337.1709	
	Sig.			.993	.140	.108	1.000
Means for groups in homogeneous subsets are displayed.							
a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 428.000.							

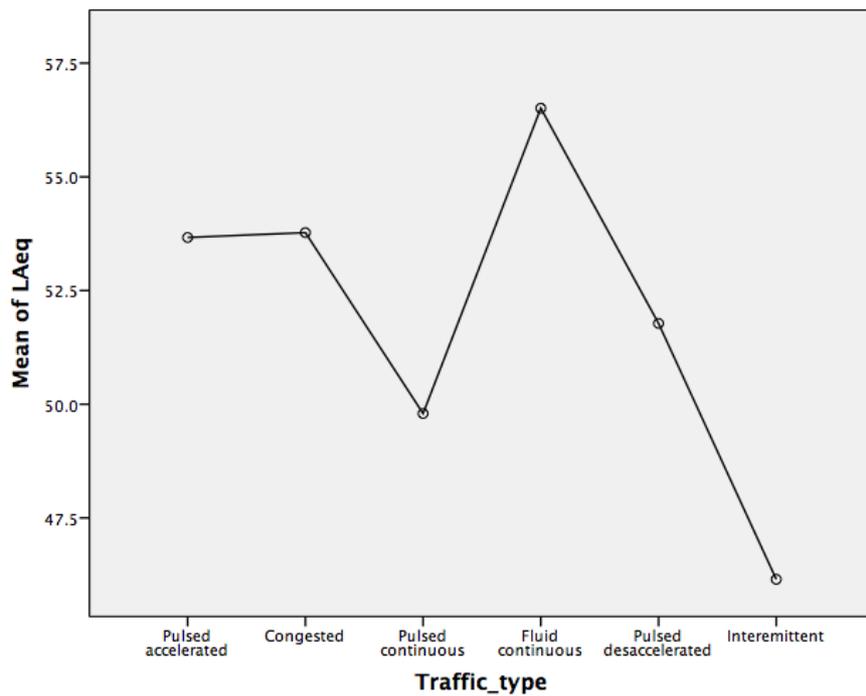


Figura 29. Gráfico de medias entre LAeq y el tipo de circulación vehicular.

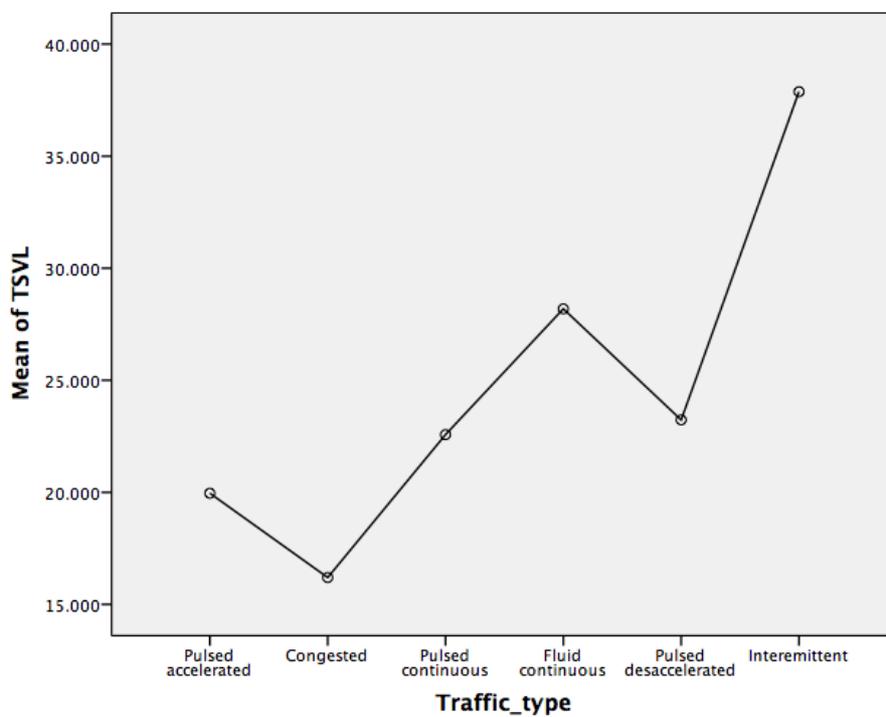


Figura 30. Gráfico de medias entre TSVL y tipo de circulación vehicular.

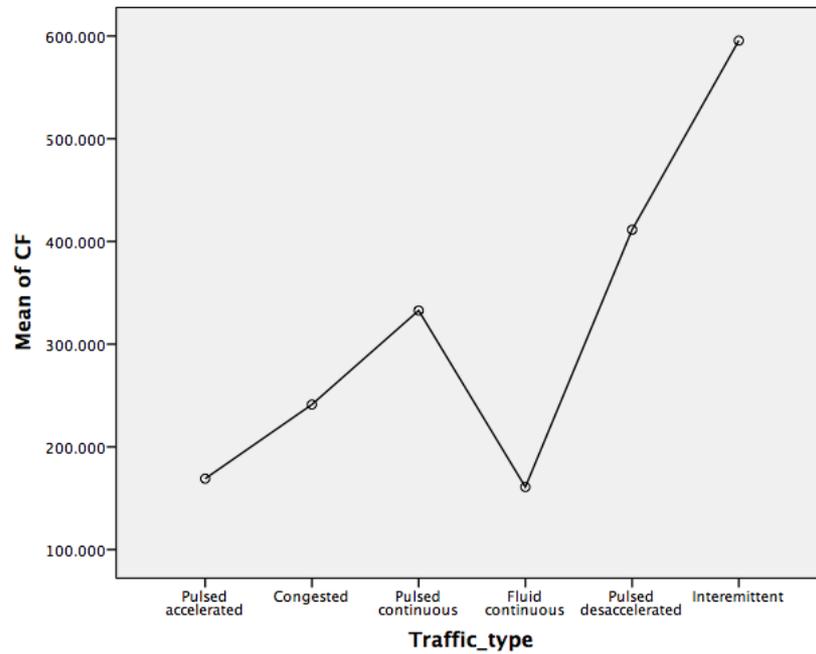


Figura 31. Gráfico de medias entre CF y tipo de circulación vehicular.

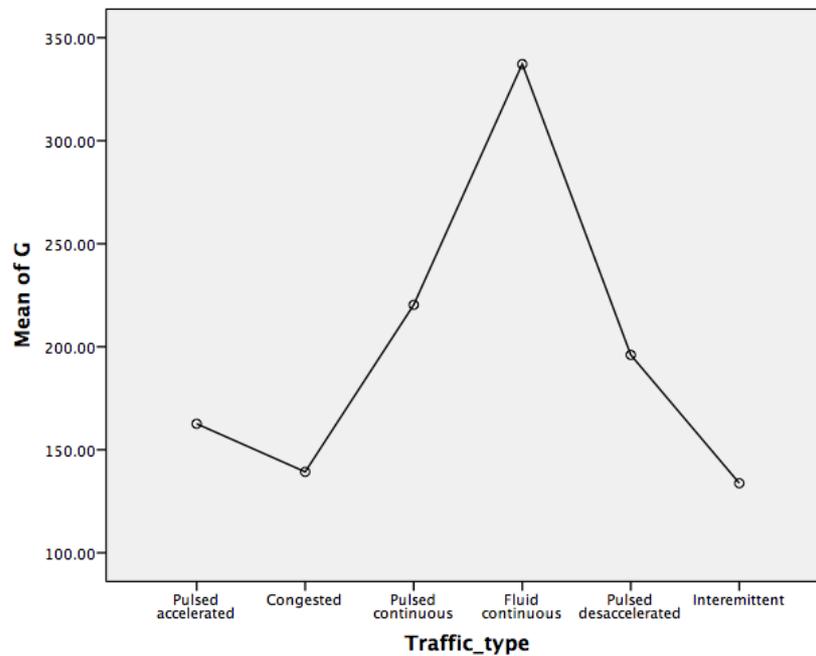


Figura 32. Gráfico de medias entre G y tipo de circulación vehicular.

#### 4.3.8. Descriptores acústicos y molestia verbal

La hipótesis nula de igualdad de medias es planteada entre los descriptores acústicos (LAeq, TSVL, CF y G) como variables dependientes y molestia verbal como variable independiente.

Tabla 24. ANOVA entre descriptores acústicos (vd) y molestia verbal (vi).

<b>ANOVA</b>						
		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
LAeq	Between Groups	11461.215	4	2865.304	100.926	.000
	Within Groups	72763.596	2563	28.390		
	Total	84224.812	2567			
TSVL	Between Groups	6814.257	4	1703.564	8.199	.000
	Within Groups	532540.821	2563	207.780		
	Total	539355.078	2567			
CF	Between Groups	2366588.950	4	591647.238	3.355	.010
	Within Groups	452000405.003	2563	176355.991		
	Total	454366993.954	2567			
G	Between Groups	4362498.976	4	1090624.74	63.841	.000
	Within Groups	43785081.365	2563	17083.528		
	Total	48147580.341	2567			

Los resultados del ANOVA muestran que se rechaza la hipótesis nula de igualdad de medias para todos los casos. Se verifica que hay influencia en la variación de los descriptores acústicos y la molestia percibida en todos los casos. Los descriptores que predicen de forma más fiel la molestia son el nivel continuo equivalente ( $F=100.926$ ) y el centroide espectral ( $F=63.841$ ).

Tabla 25. Subconjuntos de homogeneidad entre molestia verbal para LAeq.

		<b>LAeq</b>					
	Verbal_	N	Subset for alpha = 0.05				
	annoyance		1	2	3	4	5
Tukey HSD <sup>a,b</sup>	Not at all	117	47.288				
	Slightly	416		48.977			
	Moderately	900			51.516		
	Very	848				53.319	
	Extremely	287					55.434
	Sig.		1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
Scheffe <sup>a,b</sup>	Not at all	117	47.288				
	Slightly	416		48.977			
	Moderately	900			51.516		
	Very	848				53.319	
	Extremely	287					55.434
	Sig.		1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
Means for groups in homogeneous subsets are displayed.							
a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 298.944.							
b. The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.							

Se aprecia que la molestia se incrementa en una proporción lineal a medida que aumenta el nivel sonoro continuo equivalente. Este resultado fortalece la teoría usada por varios autores ((Torija et al., 2010), (Ouis, 2001), (Ahmad, Sarkar y Dhungana, 2015)); y regulaciones (FHWA, EPA, HSE) de que este descriptor acústico es un predictor de la molestia reportada. Y es el descriptor que con mayor fortaleza predice la molestia de los analizados en el presente estudio.

Tabla 26. Subconjuntos de homogeneidad entre molestia verbal para TSVL.

<b>TSVL</b>				
	Verbal_annoyance	N	Subset for alpha = 0.05	
			1	2
Tukey HSD <sup>a,b</sup>	Moderately	900	23.49308	
	Slightly	416	24.09639	
	Not at all	117	24.54863	
	Very	848	24.74985	
	Extremely	287		29.01714
	Sig.			.824
Scheffe <sup>a,b</sup>	Moderately	900	23.49308	
	Slightly	416	24.09639	
	Not at all	117	24.54863	
	Very	848	24.74985	
	Extremely	287		29.01714
	Sig.			.888
Means for groups in homogeneous subsets are displayed.				
a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 298.944.				
b. The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.				

Para la variación temporal del nivel sonoro se observa que la agrupación de los test post hoc agrupan a parte al nivel de fluctuación para la molestia reportada como extrema. Esto podría significar que solamente a niveles muy altos de fluctuación del nivel sonoro esto podría resultar molesto. Es importante señalar que este descriptor es principalmente sensible a fluctuaciones al comienzo de la medición.

Tabla 27. Subconjuntos de homogeneidad entre molestia verbal para G.

<b>G</b>							
	Verbal annoyance	N	Subset for alpha = 0.05				
			1	2	3	4	5
Tuk ey HS D <sup>a,b</sup>	Not at all	117	110.3843				
	Slightly	416		146.4984			
	Moderately	900			185.6463		
	Very	848				223.1098	
	Extremely	287					274.7145
	Sig.			1.000	1.000	1.000	1.000
Sch effe a,b	Not at all	117	110.3843				
	Slightly	416		146.4984			
	Moderately	900			185.6463		
	Very	848				223.1098	
	Extremely	287					274.7145
	Sig.			1.000	1.000	1.000	1.000
Means for groups in homogeneous subsets are displayed.							
a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 298.944.							
b. The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.							

Los resultados de agrupamientos post hoc muestran un diferente grupo para cada resultado de molestia. De esta forma se sugiere que posiblemente la frecuencia aumenta de manera lineal con la molestia (observar figura 35).

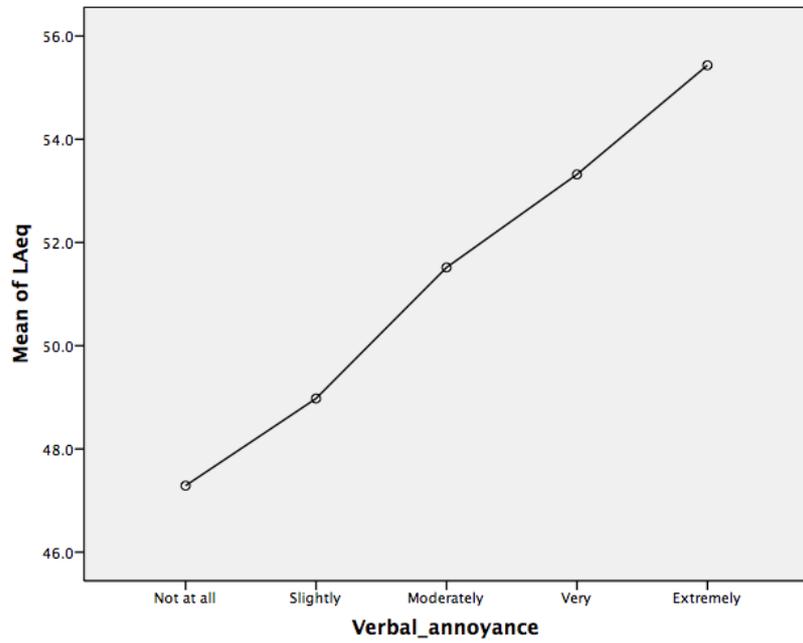


Figura 33. Gráfico de medias entre LAeq y molestia verbal.

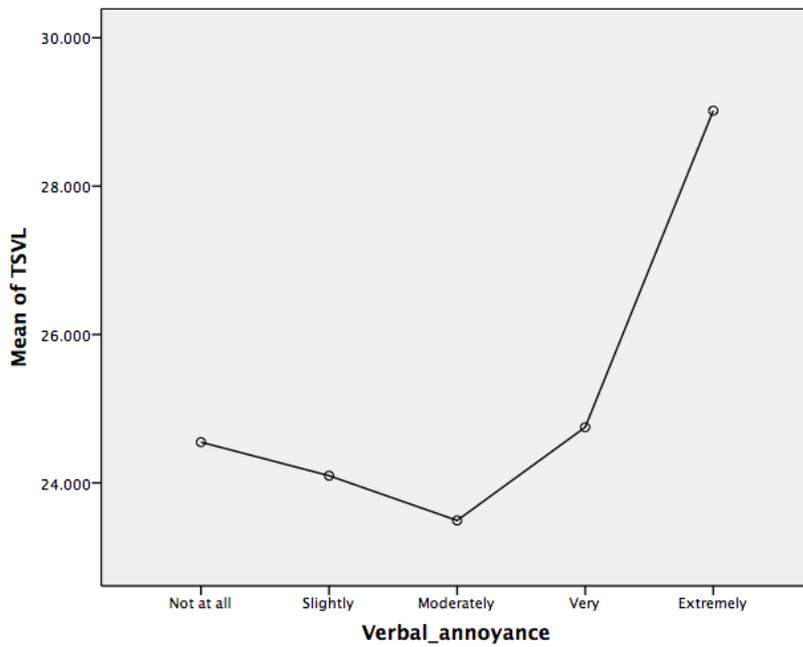
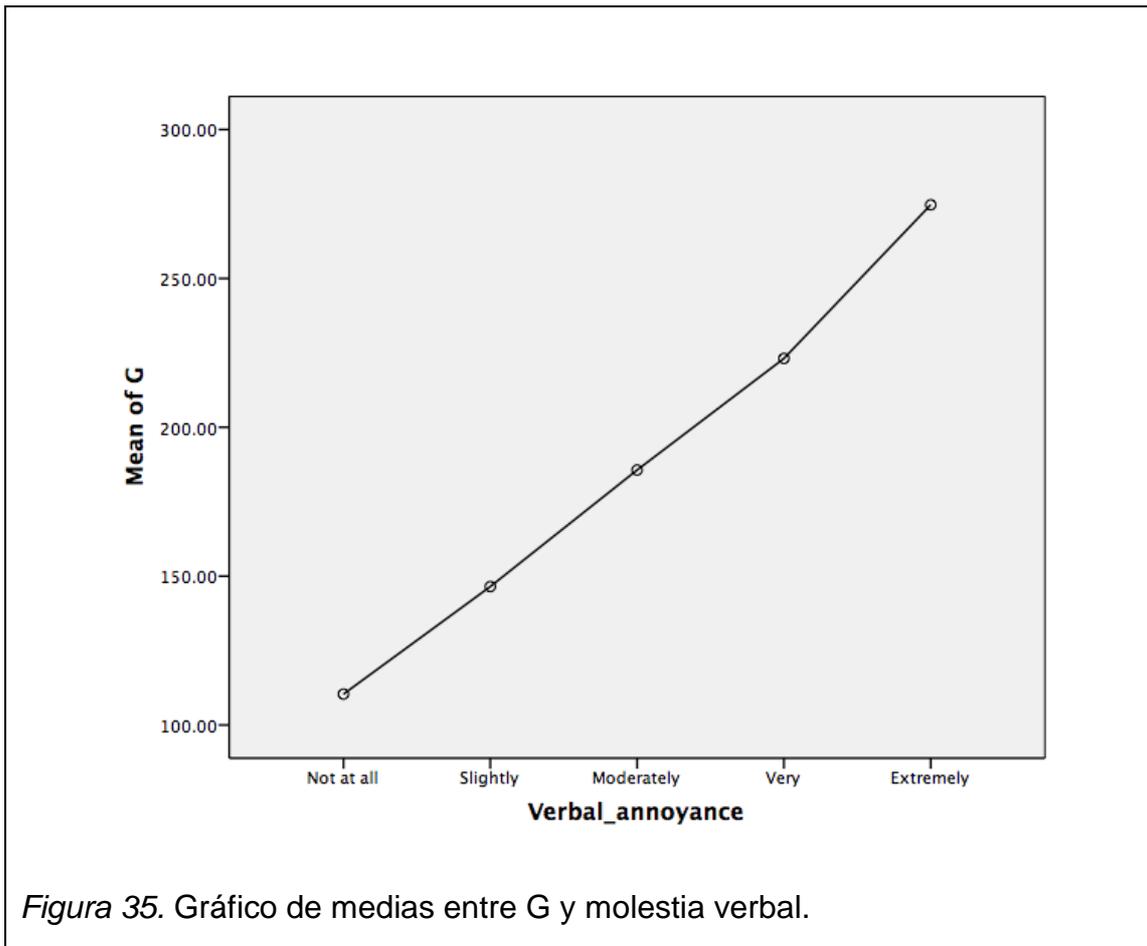


Figura 34. Gráfico de medias entre TSVL y molestia verbal.



#### 4.3.9. Sensibilidad y desconcentración

Se plantea la hipótesis nula entre sensibilidad (variable dependiente) y desconcentración (variable independiente).

Tabla 28. ANOVA entre sensibilidad (vd) y desconcentración (vi).

ANOVA					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	4108.145	1	4108.145	47.392	.000
Within Groups	222432.719	2566	86.685		
Total	226540.864	2567			

El análisis de varianza permite rechazar la hipótesis nula. Se observa que la gente más sensible tiende a reportar mayor desconcentración causada por el ruido. Esto concuerda con lo planteado por Luz (2005).

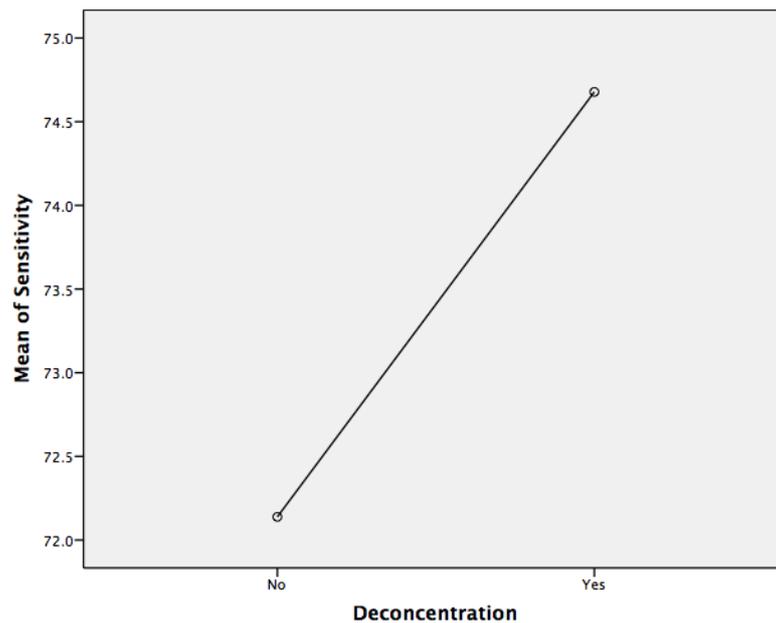


Figura 36. Gráfico de medias entre sensibilidad y desconcentración.

#### 4.3.10. Sensibilidad y dolor de cabeza

La hipótesis nula de igualdad de medias se planteó entre sensibilidad (variable dependiente) y dolor de cabeza.

Tabla 29. ANOVA entre sensibilidad (vd) y dolor de cabeza (vi).

ANOVA					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	484.326	1	484.326	5.498	.019
Within Groups	226056.539	2566	88.097		
Total	226540.864	2567			

El valor  $p=0.019$  permite rechazar la hipótesis nula. Se encuentra que la sensibilidad en la gente se relaciona con dolores de cabeza. Esto puede sugerir como sugieren Stansfeld y Clark (2007) una vulnerabilidad en la salud física o psicológica de las personas sensibles.

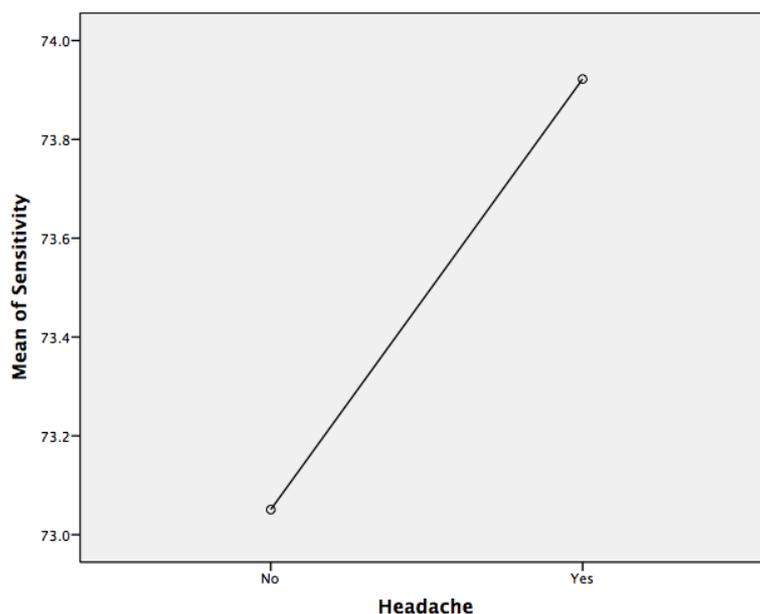


Figura 37. Gráfico de medias entre sensibilidad y propensión a dolor de cabeza causado por el ruido.

#### 4.3.11. Sensibilidad y perturbación del sueño

La hipótesis nula se plantea entre sensibilidad como variable dependiente y perturbación del sueño causada por el ruido como variable independiente.

Tabla 30. ANOVA entre sensibilidad (vd) y perturbación del sueño (vi).

#### ANOVA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	11743.157	1	11743.157	140.285	.000
Within Groups	214797.708	2566	83.709		
Total	226540.864	2567			

El valor de significancia de 0.00 permite rechazar la hipótesis nula. Se observa que existe una relación fuerte entre la gente altamente sensible y molesta por el ruido y la perturbación del sueño reportada ( $F=140.285$ ). Esto de igual manera estaría en concordancia con relación a la vulnerabilidad de la salud y la

sensibilidad al ruido (Stansfeld y Clark, 2007). En el estudio de Smith et al. (2002) también se relaciona a estos dos factores con afectividad negativa, mencionando que no está claro si la perturbación en el sueño es causada por la molestia por ruido o si gente que tiene baja calidad de sueño es más propensa a percibir el ruido.

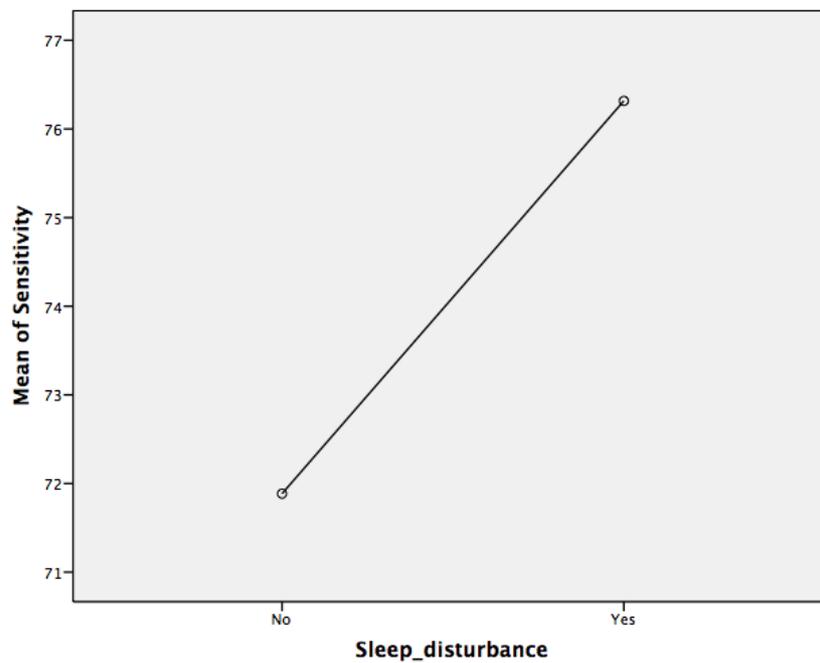


Figura 38. Gráfico de medias entre sensibilidad y perturbación del sueño.

#### 4.3.12. Sensibilidad e irritabilidad

La hipótesis nula se plantea entre sensibilidad como variable dependiente e irritabilidad causada por el ruido como variable independiente.

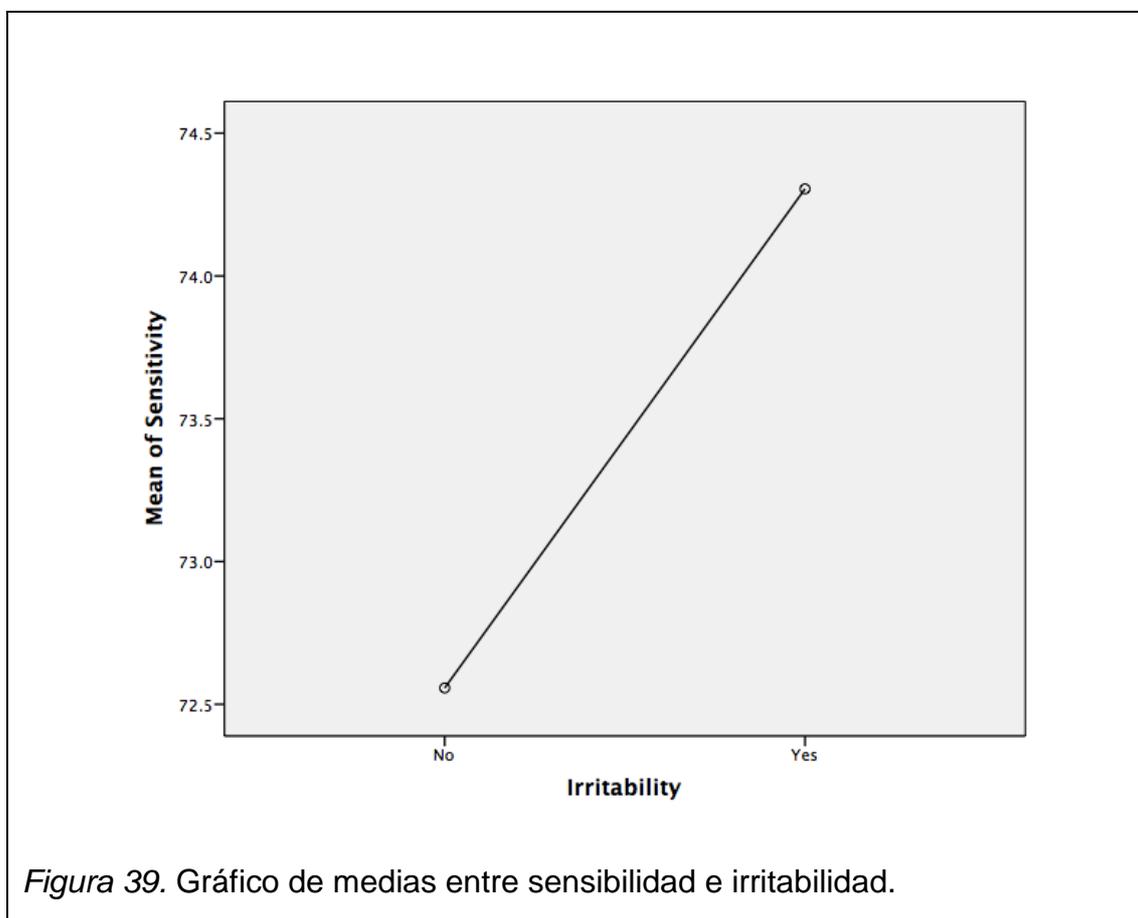
Tabla 31. ANOVA entre sensibilidad (vd) e irritabilidad (vi).

**ANOVA**

Sensitivity

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	1940.442	1	1940.442	22.169	.000
Within Groups	224600.422	2566	87.529		
Total	226540.864	2567			

Con un valor p de 0.00 se rechaza la hipótesis nula. Se encuentra que la irritabilidad aumenta en función de la sensibilidad. Esto podría insinuar afectividad negativa relacionada con la sensibilidad.



#### 4.3.13. Molestia numérica y existencia de ventanas que dan a calles o avenidas en los lugares más habitados de casa

La hipótesis nula se plantea entre sensibilidad como variable dependiente e irritabilidad causada por el ruido como variable independiente.

Tabla 32. ANOVA entre molestia numérica (vd) y ventanas que dan a calles o avenidas en los lugares más habitados de la casa (vi).

**ANOVA**

Numerical\_annoyance

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	40.626	1	40.626	5.249	.022
Within Groups	19861.186	2566	7.740		
Total	19901.813	2567			

Con un valor  $p=0.022$  se rechaza la hipótesis nula. El análisis de varianza demuestra que la gente que presenta más molestia tiende a no tener ventanas frente a calles o avenidas. Esto podría proponer que una persona que presenta molestia ante ruido de tráfico regularmente, conozca de su condición y por consecuencia trate de evitar su fuente de molestia. Sin embargo se necesita analizar este tema a fondo pues se encontró discrepancia con el estudio realizado por Paunović, Jakovljević y Belojević (2008) en el cual las personas con más molestia tenían ventanas orientadas a la calle.

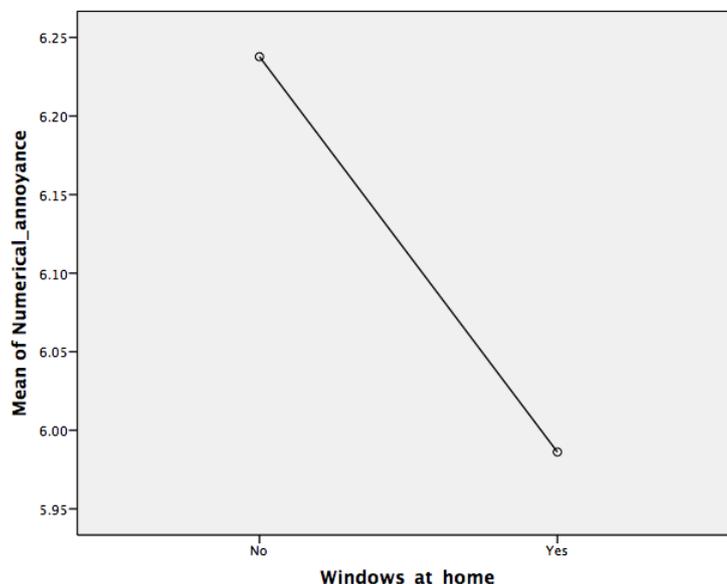


Figura 40. Gráfico de medias entre molestia numérica y la existencia de ventanas que estén frente a calles o avenidas muy circuladas en los lugares más habitados en el hogar.

#### 4.3.14. Molestia numérica y exposición al ruido en la infancia

La hipótesis nula se plantea entre la molestia numérica como variable dependiente y exposición al ruido en la infancia como variable independiente.

Tabla 33. ANOVA entre molestia numérica (vd) y exposición al ruido en la infancia (vi).

ANOVA					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	139.079	1	139.079	18.058	.000
Within Groups	19762.734	2566	7.702		
Total	19901.813	2567			

Con un valor  $p=0.00$  se rechaza la hipótesis nula. Se encuentra que la gente que no era expuesta a fuentes significativas de ruido en la infancia presenta más molestia al ruido de tráfico vehicular. Smith (2003) sugiere que la habituación al ruido en la infancia hace que se establezcan los niveles aceptables o inaceptables de ruido para la vida adulta.

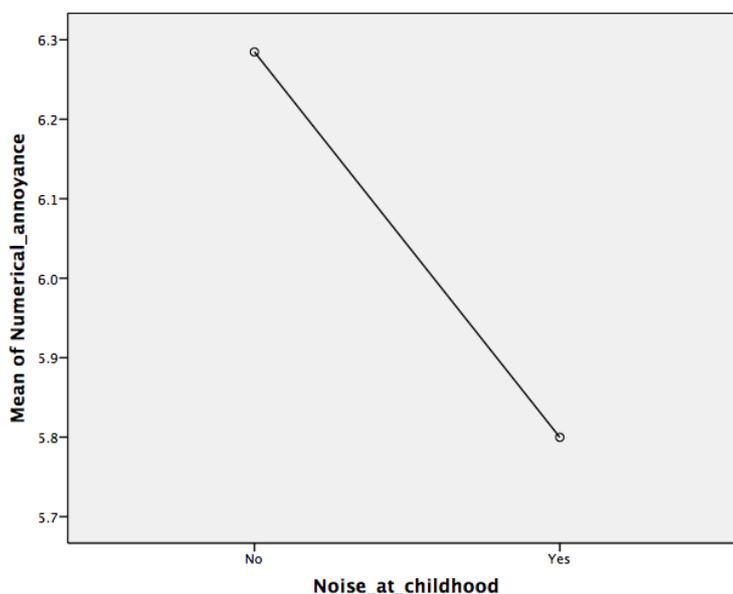


Figura 41. Gráfico de medias entre molestia numérica y exposición al ruido en la infancia.

#### 4.3.15. Sensibilidad y alto nivel de estrés cotidiano reportado

Se plantea la hipótesis nula entre sensibilidad como variable dependiente y alto nivel de estrés reportado como variable independiente.

Tabla 34. ANOVA entre sensibilidad (vd) y alto nivel de estrés reportado (vi).

ANOVA					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	2723.543	1	2723.543	31.225	.000
Within Groups	223817.322	2566	87.224		
Total	226540.864	2567			

La significancia de 0.00 permite rechazar la hipótesis nula de igualdad de medias. El análisis de varianza demuestra que gente sensible reporta estar sometida a mayores niveles de estrés en su vida cotidiana. Esto también podría ser un rasgo de afectividad negativa. Miedema (2007) sugiere que las personas sensibles al ruido también pueden presentar sensibilidad a otras fuentes de estrés. Heinonen-Guzejev (2009) establece que la sensibilidad puede ser asociada con hipertensión, uso de drogas y la predisposición a fumar tabaco.

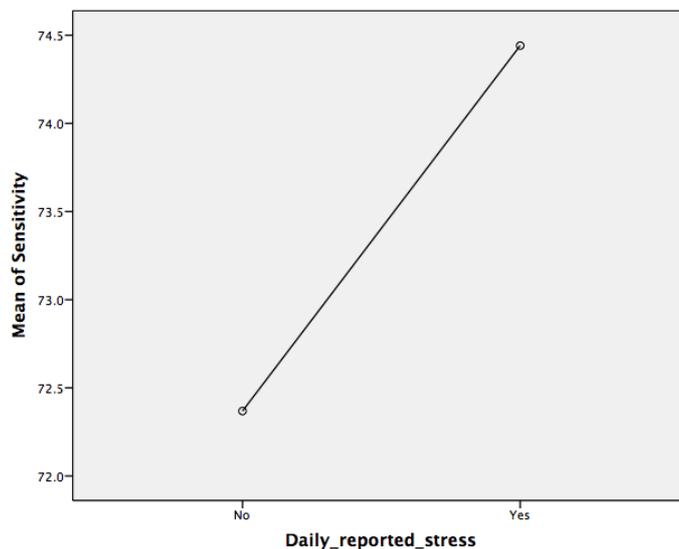


Figura 42. Gráfico de medias entre sensibilidad y alto nivel de estrés reportado.

#### 4.4. Modelo de respuesta múltiple ordenado (MRMO) y modelo dicotómico

Se buscó elaborar un modelos de respuesta múltiple ordenado (MRMO) y un modelo dicotómico en base a los resultados de las encuestas y mediciones acústicas. Para los dos modelos realizados se utilizan variables cualitativas aleatorias con datos ordenados (los regresores son de tipo ordinal).

El modelo general relaciona la variable  $Y_i$  con las variables,  $X_2, \dots, X_{ki}$  a través de la siguiente ecuación:

$$Y_i^* = F(X_i\beta) + \mu_i = F(Z_i) + \mu_i \quad (\text{Ecuación 11})$$

donde,

$Y_i^*$ : es una variable latente que cuantifica las diferentes categorías.

$F(\cdot)$ : es una función no lineal de tipo probit, logit o de valor extremo.

$X_i\beta$ : es una combinación lineal de las variables o características.

$Z_i$ : índice del modelo.

$\mu_i$ : es el término de perturbación estocástico (error).

El esquema de la variable real u observada  $Y_i$ , que mide las distintas categorías, se define mediante el siguiente patrón:

$$Y_i = \begin{cases} 0 & \text{si } Y_i^* \leq c_1 \\ 1 & \text{si } c_1 \leq Y_i^* \leq c_2 \\ \vdots & \vdots \\ (M-1) & \text{si } c_{(M-1)} \geq Y_i^* \end{cases} \quad (\text{Ecuación 12})$$

La probabilidad de ocurrencia de cada categoría está definida mediante:

$$Pr(Y_i = 0|X_i, \beta, c) = F(c_1 - X_i\beta)$$

$$Pr(Y_i = 1|X_i, \beta, c) = F(c_2 - X_i\beta) - F(c_1 - X_i\beta),$$

$$Pr(Y_i = 2|X_i, \beta, c) = F(c_3 - X_i\beta) - F(c_2 - X_i\beta),$$

⋮

$$\Pr(Y_i = (M - 1) | X_i, \beta, c) = 1 - F(c_{(M-1)} - X_i\beta) \quad (\text{Ecuación 13})$$

Dependiendo de la función no lineal,  $F(X_i\beta)$  puede modelarse mediante:

- Modelo Probit

$$\Phi(X_i\beta) = \int_{-\infty}^{X_i\beta} \varphi(s) ds \quad (\text{Ecuación 14})$$

- Modelo Logit

$$\Lambda(X_i\beta) = \frac{e^{X_i\beta}}{1 + e^{X_i\beta}} \quad (\text{Ecuación 15})$$

- Modelo Valor Extremo Tipo I (Gompit)

$$\Omega(X_i\beta) = e^{-e^{-X_i\beta}} \quad (\text{Ecuación 16})$$

La estimación de los umbrales  $c_m$  y los coeficientes  $\beta$  se realiza mediante el método de Máxima Verosimilitud, cumpliendo con la restricción:

$$c_1 < c_2 < \dots < c_m$$

Si se dispone de una muestra de casos con tamaño  $n$  para  $i = 1, 2, \dots, n$ , bajo el supuesto de independencia; entonces, la estimación parte de la siguiente relación:

$$\Pr(Y_1, Y_2, \dots, Y_n) = \prod_{i=1}^n \Pr(Y_i) \quad (\text{Ecuación 17})$$

Ahora, como  $Y_i$  toma valores discretos, se obtiene la función de probabilidad conjunta

$$\begin{aligned} \Pr(Y_1, Y_2, \dots, Y_n) &= \prod_{i \in Y_i=0} \Pr(Y_i = 0) \prod_{i \in Y_i=1} \Pr(Y_i = 1) \dots \\ &= \prod_{i \in Y_i=a} \Pr(Y_i = a) \end{aligned} \quad (\text{Ecuación 18})$$

y con ello la función de máxima verosimilitud con su respectivo logaritmo

$$\begin{aligned} \ln L(Y_1, Y_2, \dots, Y_n) &= \sum_{i \in Y_i=0} \Pr(Y_i = 0) + \sum_{i \in Y_i=1} \Pr(Y_i = 1) + \dots \\ &+ \sum_{i \in Y_i=a} \Pr(Y_i = a) \end{aligned} \quad (\text{Ecuación 19})$$

Luego, reemplazando cada término por las distintas especificaciones se obtiene el logaritmo de la función de verosimilitud del modelo. Debido a la no linealidad, es necesario el uso de algún algoritmo de optimización para estimar los parámetros (Quadratic Hill Climbing, Newton-Raphson o Berndt- Hall-Hall-Hauman).

Por lo anterior, los estimadores son consistentes, asintóticamente eficientes y normales, permitiendo realizar pruebas de hipótesis a través de una distribución normal. Algunas pruebas son:

- Razón de Verosimilitud (LR Statistic).
- Criterio de información Akaike (Akaike info criterion).
- Criterio de información Schwarz ( Schwarz criterion).
- Criterio de información Hannan-Quinn (Hannan-Quinn criterion).
- Pseudo R2 de McFadden (LR index).
- Logaritmo de la función de verosimilitud (Log Likelihood).

De igual manera, la interpretación del modelo se efectúa a través de los efectos marginales; mientras que la comparación de situaciones, se realiza por medio del *odds ratio*, el cual permite cuantificar la relación entre variables dicotómicas.

El estadístico Razón de Verosimilitud se define como,

$$LR = -2 \ln(\lambda) = -2(\ln L_{CR} - \ln L_{SR}) \sim X_{\phi}^2(k), \quad (\text{Ecuación 20})$$

donde  $k$  es el número de regresores y contrasta la siguiente prueba de hipótesis,

$$H_0: \beta_1 = \beta_2 = \dots = \beta_k = 0$$

$$H_1: \text{al menos uno no es } 0,$$

cuya región de no rechazo se encuentra definida por

$$\Pr(LR < X_{\phi}^2(k)) = 1 - \alpha \quad (\text{Ecuación 21})$$

Por lo tanto con un  $\alpha = 0,005$  se rechaza  $H_0$

El mejor modelo es elegido a través de los criterios de bondad de ajuste.

- Log likelihood: El logaritmo de la función de verosimilitud es un estadístico que no se ve afectado por las transformaciones a que se puede ver sometida la variable explicativa. Para valorar la bondad del modelo se escoge aquel modelo que tiene un valor de la función de verosimilitud mayor.
- Criterio de información Akaike: Sirve para comparar la bondad de ajuste entre modelos y su criterio de elección se realiza con el modelo que presenta el menor valor.
- Criterio de información Schwarz: Propuesto como una alternativa al criterio usado por Akaike, también es usado para seleccionar al modelo que tenga el menor estadístico.
- Criterio de información Hann-Quinn: Otra alternativa al criterio Akaike, también es escogido el modelo que presenta el menor criterio.

#### 4.4.1. MRMO para analizar molestia al ruido

Se tiene que la molestia verbal (Verbal Annoyance =  $Y_i^*$ )

$$Y_i^* = f(X_1, X_2, \dots, X_n) \quad (\text{Ecuación 22})$$

es una función que depende de variables como los descriptores acústicos (LAeq( $X_1$ ), CF( $X_2$ ), G( $X_3$ ), TSVL( $X_4$ )), el tipo de tráfico( $X_5$ ), la edad( $X_6$ ), exposición a ruido en la infancia( $X_7$ ), y la sensibilidad al ruido( $X_8$ ).

Consecuentemente se puede especificar el modelo general como

$$Y_i^* = \beta_1 X_{1i} + \beta_2 X_{2i} + \beta_3 X_{3i} + \beta_4 X_{4i} + \beta_5 X_{5i} + \beta_6 X_{6i} + \beta_7 X_{7i} + \beta_8 X_{8i} + \varepsilon_i \quad (\text{Ecuación 23})$$

o también,

$$Y_i^* = F(X_i \beta) + \mu_i$$

El rango de la función está definido en  $\mathbb{R}$ . La variable *Verbal Annoyance* cuenta con atributos ordenados de 0 a 4. De esta forma,

$$Y_i^* = \begin{cases} 0 & \text{si } Y_i^* \leq c_1 \\ 1 & \text{si } c_1 \leq Y_i^* \leq c_2 \\ 2 & \text{si } c_2 \leq Y_i^* \leq c_3 \\ 3 & \text{si } c_3 \leq Y_i^* \leq c_4 \\ 4 & \text{si } c_4 < Y_i^* \end{cases}$$

Por las características de las observaciones y las posibles respuestas de molestia verbal, se hace uso de un modelo no lineal de elección discreta conocido como Modelo de Respuesta Múltiple Ordenado mediante un enfoque de la variable latente.

#### 4.4.1.1. Identificación de variables

Las variables están identificadas a continuación

Tabla 35. Variables MRMO para molestia al ruido.

Código	Variable	Rango
Variable exógena		
VERBAL_ANNOYANCE ( $Y_i^*$ )	Molestia verbal	0(en absoluto), 1(ligeramente), 2(medianamente), 3(mucho), 4(extremadamente)
Variables explicativas		
LAeq ( $X_1$ )	Nivel de presión sonora continuo equivalente	33.16-62.86(dB)
TSVL ( $X_2$ )	Varianza temporal del nivel sonoro	3.56-70.36(dB <sup>2</sup> )
CF ( $X_3$ )	Factor cresta	13.61-2060.95(adimensional)
G ( $X_4$ )	Centroide espectral	75.70-778.17(Hz)
TRAFFIC_TYPE ( $X_5$ )	Tipo de tráfico	1 (acelerado en pulsos), 2(congestionado), 3(continuo en pulsos), 4(continuo fluido), 5(desacelerado en pulsos), 6(intermitente)
AGE ( $X_6$ )	Edad	1(16 a 25), 2(26 a 35), 3(36 a 45), 4(46 a 55), 5(56 a 65), 6(>=65)
NOISE_AT_CHILDHOOD ( $X_7$ )	Ruido en la infancia	0(no), 1(si)
SENSITIVITY ( $X_8$ )	Sensibilidad al ruido	46-96 (escala adimensional)

#### 4.4.1.2. Estimación del modelo

Se realizó la estimación del modelo para cada una de las especificaciones de  $F(X_i\beta)$ ; Probit, Logit y Valor Extremo y, analizando la significancia conjunta de las variables explicativas en cada uno de los modelos mediante la Razón de Verosimilitud, se identificó que los tres son adecuados (Prob(LR statistic)).

Realizando un proceso iterativo con todos los coeficientes, se obtuvieron modelos definitivos para cada especificación.

Tabla 36. MRMO Probit para molestia al ruido.

Dependent Variable: VERBAL_ANNOYANCE				
Method: ML - Ordered Probit (Quadratic hill climbing)				
Date: 01/28/16 Time: 14:45				
Sample: 1 2568				
Included observations: 2568				
Number of ordered indicator values: 5				
Convergence achieved after 6 iterations				
Covariance matrix computed using second derivatives				
Variable	Coefficient	Std. Error	z-Statistic	Prob.
LAEQ	0.081320	0.004924	16.51396	0.0000
CF	0.000531	6.02E-05	8.818958	0.0000
G	0.001260	0.000193	6.544113	0.0000
TSVL	0.004114	0.001752	2.348089	0.0189
TRAFFIC_TYPE	-0.057947	0.014129	-4.101243	0.0000
AGE	0.054402	0.013272	4.098920	0.0000
NOISE_AT_CHILDHOOD	-0.180953	0.044428	-4.072954	0.0000
SENSITIVITY	0.020870	0.002270	9.195528	0.0000
Limit Points				
LIMIT_1:C(9)	4.161812	0.318218	13.07850	0.0000
LIMIT_2:C(10)	5.191447	0.320954	16.17506	0.0000
LIMIT_3:C(11)	6.313393	0.325677	19.38547	0.0000
LIMIT_4:C(12)	7.547507	0.332110	22.72593	0.0000

Tabla 37. MRMO Logit para molestia al ruido.

Dependent Variable: VERBAL\_ANNOYANCE  
Method: ML - Ordered Logit (Quadratic hill climbing)  
Date: 01/28/16 Time: 14:48  
Sample: 1 2568  
Included observations: 2568  
Number of ordered indicator values: 5  
Convergence achieved after 6 iterations  
Covariance matrix computed using second derivatives

Variable	Coefficient	Std. Error	z-Statistic	Prob.
LAEQ	0.142787	0.008652	16.50387	0.0000
CF	0.000912	0.000104	8.772345	0.0000
G	0.002125	0.000342	6.211624	0.0000
TSVL	0.007403	0.003054	2.423747	0.0154
TRAFFIC_TYPE	-0.097041	0.024601	-3.944563	0.0001
AGE	0.105957	0.023480	4.512674	0.0000
NOISE_AT_CHILDHOOD	-0.306088	0.076971	-3.976656	0.0001
SENSITIVITY	0.037408	0.004012	9.323345	0.0000
Limit Points				
LIMIT_1:C(9)	7.325523	0.564522	12.97651	0.0000
LIMIT_2:C(10)	9.255951	0.570336	16.22895	0.0000
LIMIT_3:C(11)	11.14734	0.583305	19.11065	0.0000
LIMIT_4:C(12)	13.28150	0.597730	22.21991	0.0000

Tabla 38. MRMO Valor Extremo para molestia al ruido.

Dependent Variable: VERBAL\_ANNOYANCE  
Method: ML - Ordered Extreme Value (Quadratic hill climbing)  
Date: 01/28/16 Time: 14:49  
Sample: 1 2568  
Included observations: 2568  
Number of ordered indicator values: 5  
Convergence achieved after 6 iterations  
Covariance matrix computed using second derivatives

Variable	Coefficient	Std. Error	z-Statistic	Prob.
LAEQ	0.085594	0.005169	16.55877	0.0000
CF	0.000505	6.54E-05	7.714054	0.0000
G	0.001423	0.000228	6.241045	0.0000
TSVL	0.000670	0.001957	0.342114	0.7323
TRAFFIC_TYPE	-0.032910	0.015142	-2.173440	0.0297
AGE	0.074611	0.014485	5.151055	0.0000
NOISE_AT_CHILDHOOD	-0.191027	0.046937	-4.069856	0.0000
SENSITIVITY	0.022304	0.002423	9.206771	0.0000
Limit Points				
LIMIT_1:C(9)	3.286132	0.338928	9.695653	0.0000
LIMIT_2:C(10)	4.962788	0.331933	14.95119	0.0000
LIMIT_3:C(11)	6.341608	0.335303	18.91308	0.0000
LIMIT_4:C(12)	7.512931	0.343385	21.87906	0.0000

Tabla 39. Comparación de los criterios de bondad de ajuste

I	Probit	Logit	Valor Extremo
Akaike info criterion	2.56821	2.569714	2.592523
Log likelihood	-3285.582	-3287.513	-3316.8
Restr. log likelihood	-3630.738	-3630.738	-3630.738
Avg. log likelihood	-1.279432	-1.280184	-1.291589
Pseudo R-squared	0.095065	0.094533	0.086467
Schwarz criterion	2.595551	2.597055	2.619864
Hannan-Quinn criter.	2.578123	2.579627	2.602435
LR statistic	690.3112	686.4488	627.8765
Prob(LR statistic)	0	0	0

Se escogió al MRMO Probit por ser el que presenta los menores criterios de información Schwarz, Hannan-Quinn y Akaike. En el modelo, la variable dependiente estimada mide la probabilidad de que ocurra cada una de las respuestas de molestia verbal dependiendo de las características que presenten las variables explicativas.

El modelo MRMO Probit ordenado se define como

$$Y_i = \Phi(X_i\beta) + u_i \quad (\text{Ecuación 24})$$

Utilizando la función del modelo Probit

$$Y_i = \int_{-\infty}^{Z_i} \frac{1}{(2\pi)^{1/2}} e^{-\frac{s^2}{2}} ds + u_i \quad (\text{Ecuación 25})$$

donde  $Z_i = X_i\beta$  y  $s$  es una variable “muda” de integración con media cero y varianza uno.

Entonces,

$$Y_i^* = \begin{cases} 0 & \text{si } Y_i^* \leq 4.161812 \\ 1 & \text{si } 4.161812 \leq Y_i^* \leq 5.191447 \\ 2 & \text{si } 5.191447 \leq Y_i^* \leq 5.191447 \\ 3 & \text{si } 5.191447 \leq Y_i^* \leq 7.547507 \\ 4 & \text{si } 7.547507 < Y_i^* \end{cases}$$

Así este modelo permite calcular la probabilidad de que una persona presente diferentes grados de molestia dependiendo de los descriptores acústicos (LAeq, CF, G, TSVL), el tipo de tráfico, la edad, el ruido en la infancia, y la sensibilidad al ruido.

Por ejemplo para calcular la probabilidad de que una persona sea medianamente molesta por el ruido (VERBAL\_ANNOYANCE=1), los descriptores acústicos del ruido sean: LAeq = 40dB, TSVL = 20dB<sup>2</sup>, CF = 182, G = 135 Hz, el tipo de tráfico sea intermitente (TRAFFIC\_TYPE=6), la edad sea 37 años (AGE=3), no haya sido expuesto a ruido en la infancia (NOISE\_AT\_CHILDHOOD=0), y en la escala de sensibilidad haya obtenido la sumatoria de 70 (SENSITIVITY=70),

$$Prob(Y_i^* = 1) = \Phi(4.161812 - (0.081320 * 40 + 0.000531 * 20 + 0.001260 * 182 + 0.004114 * 6 - 0.057947 * 6 + 0.054402 * 3 - 0.180953 * 0 + 0.020870 * 70))$$

$$Prob(Y_i^* = 1) = \Phi(-0.632036)$$

Buscando el resultado en la tabla de la normal se obtiene que:

$$Prob(Y_i^* = 1) = 0.2636950936$$

Estos resultados sugieren una baja probabilidad de que un individuo tenga un nivel ligero de molestia con las condiciones planteadas para ruido de tráfico y características personales. De forma similar se puede caracterizar la probabilidad para las otras categorías de la variable latente.

Para la interpretación de los parámetros (efecto marginal) se aplica la derivada parcial, lo cual se calcula a través de:

$$\begin{aligned} \frac{\partial Prob(Y_i^*=1)}{\partial X_1} &= -\phi(c_1 - X_i\beta)\beta_1 = && \text{(Ecuación 26)} \\ &= -\frac{1}{(2\pi)^{\frac{1}{2}}} e^{-\frac{1}{2}(-0.632036)^2} 0.08132 = -0.005299595 \end{aligned}$$

La evaluación de la probabilidad que la misma persona declare un nivel de molestia mediana (VERBAL\_ANNOYANCE=2), se calcula mediante:

$$\begin{aligned} \frac{\partial Prob(Y_i^*=2)}{\partial X_1} &= -\phi(c_2 - X_i\beta)\beta_1 + \phi(c_1 - X_i\beta)\beta_1 = & \text{(Ecuación 27)} \\ &= -\frac{1}{(2\pi)^{\frac{1}{2}}}e^{-\frac{1}{2}(-0.632036)^2 0.08132} + \frac{1}{(2\pi)^{\frac{1}{2}}}e^{-\frac{1}{2}(0.669072)^2 0.08132} = 0.000679835 \end{aligned}$$

De forma análoga se puede calcular el efecto marginal para los siguientes grados de molestia.

Se observa que en el ejemplo anterior, ante la variación en la variable  $X_1$  (LAeq) con respecto a  $Y_i^* = 1$  se presenta un pequeño impacto negativo en la probabilidad estimada. En cambio cuando se estudia tal variación con respecto a  $Y_i^* = 2$  hay un ligero aumento en la posibilidad de que dicho individuo tome esta opción. Esto refleja que ante el aumento del LAeq hay mayor probabilidad de que el individuo exprese mayor molestia.

Sin embargo, se debe tomar en cuenta que los coeficientes de los MRMO no cuantifican directamente el incremento en la probabilidad debido a un aumento unitario en la variable explicativa. Esto se debe a que la magnitud de la variación en la probabilidad depende del punto de referencia en que se considera dicha variación. Hay que recordar que el modelo se basa en una función no lineal.

#### 4.4.2. Modelo dicotómico para sensibilidad al ruido

Se crearon dos grupos a partir de la escala de sensibilidad (que iba en un rango entre 46 y 96 puntos) para analizar la influencia de las variables demográficas y socio-económicas en la sensibilidad al ruido. Las personas con puntajes sobre de la mitad de la escala fueron catalogadas en el grupo de alta sensibilidad y las personas bajo la mitad de la escala fueron clasificadas en grupo de baja sensibilidad. De esta forma la variable dependiente (SENS\_GROUPED =  $Y_i^*$ ) puede tomar los casos:

$$Y_i^* = \begin{cases} 0 & \text{si } Y_i^* \leq c_1 \\ 1 & \text{si } c_1 < Y_i^* \end{cases} \quad \text{(Ecuación 28)}$$

Debido a la naturaleza de la variable dependiente se optó por aplicar un modelo dicotómico. Este modelo a diferencia del MRMO se aplica cuando la toma de decisiones es una elección binaria.

Teniendo que la sensibilidad al ruido es una función que depende de las variables género( $X_1$ ), desconcentración( $X_2$ ), perturbación del sueño( $X_3$ ), irritabilidad( $X_4$ ), tipo de trabajo( $X_5$ ), medio de transporte( $X_6$ ) y alto nivel de estrés cotidiano( $X_7$ ); el modelo general queda definido como:

$$Y_i^* = \beta_1 X_{1i} + \beta_2 X_{2i} + \beta_3 X_{3i} + \beta_4 X_{4i} + \beta_5 X_{5i} + \beta_6 X_{6i} + \beta_7 X_{7i} + \varepsilon_i$$

(Ecuación 29)

#### 4.4.2.1. Identificación de variables

Las variables están identificadas a continuación.

Tabla 40. Variables de los modelos dicotómicos para sensibilidad al ruido.

Código	Variable	Rango
Variable exógena		
SENS_GROUPED ( $Y_i^*$ )	Sensibilidad al ruido	0(no), 1(si)
Variables explicativas		
GENDER ( $X_1$ )	Género	0(femenino), 1(masculino)
DECONCENTRATION ( $X_2$ )	Desconcentración	0(no), 1(si)
SLEEP_DISTURBANCE ( $X_3$ )	Perturbación del sueño	0(no), 1(si)
IRRITABILITY ( $X_4$ )	Irritabilidad	0(no), 1(si)
JOB ( $X_5$ )	Tipo de trabajo	0(físico), 1(intelectual), 2(no aplica por jubilado)
CONVEYANCE ( $X_6$ )	Medio de transporte	0(automóvil), 1(taxi), 2(bus publico), 3(bicicleta o medio no motorizado)
DAILY_REPORTED_STRE SS ( $X_7$ )	Alto nivel de estrés cotidiano	0(no), 1(si)

#### 4.4.2.2. Estimación del modelo dicotómico

Se realizó la estimación del modelo para cada una de las especificaciones de  $F(X_i\beta)$ : Probit, Logit y Valor Extremo. Realizando un proceso iterativo con

todos los coeficientes, se obtuvieron modelos definitivos para cada especificación.

Tabla 41. Modelo dicotómico Probit para sensibilidad al ruido

Dependent Variable: SENS_GROUPED				
Method: ML - Binary Probit (Quadratic hill climbing)				
Date: 01/19/16 Time: 12:50				
Sample: 1 2568				
Included observations: 2568				
Convergence achieved after 3 iterations				
Covariance matrix computed using second derivatives				
Variable	Coefficient	Std. Error	z-Statistic	Prob.
GENDER	-0.270670	0.049702	-5.445822	0.0000
DECONCENTRATION	0.212848	0.048623	4.377516	0.0000
SLEEP_DISTURBANCE	0.413468	0.054314	7.612573	0.0000
IRRITABILITY	0.191487	0.049145	3.896373	0.0001
JOB	0.030676	0.039238	0.781806	0.4343
CONVEYANCE	-0.122990	0.023284	-5.282135	0.0000
DAILY_REPORTED_STRESS	0.238684	0.048674	4.903756	0.0000

Tabla 42. Modelo dicotómico Logit para sensibilidad al ruido

Dependent Variable: SENS_GROUPED				
Method: ML - Binary Logit (Quadratic hill climbing)				
Date: 01/19/16 Time: 12:51				
Sample: 1 2568				
Included observations: 2568				
Convergence achieved after 3 iterations				
Covariance matrix computed using second derivatives				
Variable	Coefficient	Std. Error	z-Statistic	Prob.
GENDER	-0.444085	0.081248	-5.465769	0.0000
DECONCENTRATION	0.343119	0.079451	4.318602	0.0000
SLEEP_DISTURBANCE	0.680073	0.089702	7.581467	0.0000
IRRITABILITY	0.310794	0.080122	3.879024	0.0001
JOB	0.040279	0.063823	0.631108	0.5280
CONVEYANCE	-0.195819	0.037809	-5.179152	0.0000
DAILY_REPORTED_STRESS	0.391150	0.079344	4.929806	0.0000

Tabla 43. Modelo dicotómico Valor Extremo para sensibilidad al ruido.

Dependent Variable: SENS_GROUPED				
Method: ML - Binary Extreme Value (Quadratic hill climbing)				
Date: 01/19/16 Time: 12:52				
Sample: 1 2568				
Included observations: 2568				
Convergence achieved after 4 iterations				
Covariance matrix computed using second derivatives				
Variable	Coefficient	Std. Error	z-Statistic	Prob.
GENDER	-0.252467	0.060518	-4.171796	0.0000
DECONCENTRATION	0.350237	0.060495	5.789511	0.0000
SLEEP_DISTURBANCE	0.573871	0.071191	8.060989	0.0000
IRRITABILITY	0.319296	0.060316	5.293697	0.0000
JOB	0.136179	0.047933	2.841038	0.0045
CONVEYANCE	-0.107858	0.027650	-3.900878	0.0001
DAILY_REPORTED_STRESS	0.411858	0.059022	6.978102	0.0000

Tabla 44. Comparación de los criterios de bondad de ajuste.

Estadísticos	Probit	Logit	Valor Extremo
Mean dependent var	0.577103	0.577103	0.577103
S.E. of regression	0.473598	0.473634	0.469811
Sum squared resid	574.4208	574.508	565.2695
Log likelihood	-1636.683	-1637.011	-1616.272
Deviance	3273.366	3274.022	3232.544
Avg. log likelihood	-0.637338	-0.637465	-0.629389
S.D. dependent var	0.494116	0.494116	0.494116
Akaike info criterion	1.280127	1.280382	1.264231
Schwarz criterion	1.296076	1.296331	1.280179
Hannan-Quinn criter.	1.285909	1.286165	1.270013
Restr. deviance	3498.694	3498.694	3498.694
Obs with Dep=0	1086	1086	1086
Obs with Dep=1	1482	1482	1482
Total obs	2568	2568	2568

Se escogió al modelo Valor Extremo por tener los mejores criterios de bondad de ajuste. Para este modelo, el logaritmo de la función de verosimilitud se define como:

$$\ln L = \sum Y_i \ln \Omega(X_i \beta) + \sum (1 - Y_i) \ln [1 - \Omega(X_i \beta)] \quad (\text{Ecuación 30})$$

de esta forma, utilizando la función de valor extremo tipo I (Gompit) se pueden obtener las probabilidades de que un individuo esté en cierto grupo de sensibilidad

$$Y_i^* = e^{-e^{-(X_i\beta)}} + u_i$$

Siendo este un modelo dicotómico, la probabilidad esta definida por:

$$Prob(Y_i = 1/X_i) = P_i \quad (\text{Ecuación 31})$$

Para los valores de las variables  $X_{ki}$  la probabilidad de que la variable  $Y_i$  valga cero es  $(1 - P_i)$ , porque la suma de ambas probabilidades debe ser igual a 1.

Por ejemplo, teniendo el caso de que el individuo sea de género masculino (GENDER=1), no se presente desconcentración (DECONCENTRATION=0) ni perturbación del sueño (SLEEP\_DISTURBANCE=0), haya irritabilidad (IRRITABILITY=1), el tipo de trabajo sea físico (JOB=0), el tipo de transporte sea bus público (CONVEYANCE=2) y esté expuesto a altos niveles de estrés (DAILY\_REPORTED\_STRESS=1); la probabilidad de que sea sensible al ruido será de

$$Prob(Y_i = 1/X_i) = 0.272316851$$

Esto quiere decir que ante dichas características existe un 27.23% de probabilidad de que el individuo analizado pertenezca al grupo de alta sensibilidad. A través del uso de este modelo se puede calcular la posibilidad de que bajo otras características, un individuo pertenezca o no al grupo altamente sensible.

Vale la pena señalar que este resultado refleja lo anteriormente analizado en el estudio; pues se vincula de forma positiva a la alta sensibilidad al ruido con los síntomas reportados por exposición al ruido ambiental: desconcentración, irritabilidad y perturbación al sueño. También se relaciona una alta sensibilidad con el desempeño de un trabajo intelectual, el uso de transporte privado y la exposición a altos niveles de estrés. Algo revelado por este modelo es que el género masculino está relacionado con una mayor sensibilidad al ruido

## 5. Capítulo V Conclusiones y recomendaciones

### 5.1. Conclusiones

Se logró establecer un modelo de respuesta múltiple ordenado que permite relacionar a la molestia ocasionada por ruido con los descriptores acústicos (LAeq, CF, G, TSVL), el tipo de flujo vehicular, la edad, el ruido en la infancia, y la sensibilidad al ruido. Se estimó al modelo bajo las especificaciones Probit, Logit y Valor Extremo, siendo el modelo Probit el escogido por tener mejores medidas de bondad de ajuste. Todas las variables se encontraron significativas, siendo las más fuertes LAeq y la presencia de ruido en la infancia, teniendo esta una influencia negativa (la exposición a ruido en la infancia reduce la posibilidad de molestia).

Los análisis de varianza sugieren que el descriptor acústico LAeq (nivel de presión sonora equivalente ponderado A) resulta ser el mejor predictor de la molestia que ocasiona el ruido de tráfico ( $F=100.926$  y  $Sig=0.00$ ), seguido por G (centroide espectral) ( $F=63.841$  y  $Sig=0.00$ ). Estos dos descriptores tuvieron una relación mucho más lineal con respecto a su predicción de molestia que TSVL ( $F=8.199$  y  $Sig=0.00$ ) y CF ( $F=3.355$  y  $Sig=0.00$ ). TSVL (nivel de varianza temporal) demostró tener un nivel significativo de predicción de molestia sobretodo en la categoría “extremadamente” cuando este descriptor llega a valores muy altos. El descriptor CF (impulsividad) demostró variar en relación a la molestia pero su relación encontrada no es lineal.

Se debe tomar en cuenta que en algunos estudios se encontró alta predictividad de molestia por variabilidad temporal de ruido (TSVL y CF) en contraste con los resultados encontrados por este estudio en los cuales el centroide espectral fue un factor predictivo más fuerte.

Se encuentra que la valoración de la molestia ocasionada por ruido de tráfico tiene una relación directa con el nivel de presión sonora equivalente, el nivel de varianza temporal y la frecuencia del centroide espectral. Estos resultados se relacionan con los hallados en otros estudios.

El flujo de circulación continuo fluido demuestra ser el mayor causante de molestia (media=7.64) mientras que el flujo intermitente (media=4.73) es el que presenta menos molestia ante su exposición.

Se obtuvieron varias muestras de ruido de tráfico (67 muestras) para los diferentes tipos de flujo de circulación vehicular y se aplicó la encuesta socio acústica a una muestra significativamente representativa de la población quiteña (428 personas encuestadas).

Se elaboró un modelo dicotómico para estudiar la relación entre la sensibilidad al ruido y el género, la desconcentración, la perturbación del sueño, la irritabilidad, el tipo de trabajo desempeñado, el medio de transporte frecuentemente utilizado, y alto nivel de estrés cotidiano. El modelo fue estimado para las especificaciones Probit, Logit y Valor Extremo. El modelo Valor Extremo fue seleccionado por presentar los mejores criterios de bondad de ajuste. Todas las variables explicativas fueron halladas significativas. Las variables perturbación al sueño, desconcentración y alto nivel de estrés cotidiano fueron las más influyentes para que un individuo sea clasificado como altamente sensible. El género masculino fue asociado con un aumento en la probabilidad para que un individuo sea altamente sensible al ruido.

Se encuentra por correlación de variables que la sensibilidad es un predictor de la molestia reportada. Ambas escalas de molestia presentan una significancia  $p=0.00$ . La escala de molestia verbal tiene un coeficiente de correlación de Pearson de 0.134. La escala de molestia numérica presenta la mayor relación (Coeficiente de Pearson=0.155), debido posiblemente a que por tener más puntos de calificación permite una mejor resolución de información.

No se halló diferencia de medias entre sensibilidad y edad. Por esto se puede decir que no hay fuerte relación encontrada. Sin embargo la relación hallada entre edad y molestia ( $F=14.285$  y  $Sig=0.00$ ) traza una tendencia de aumento de molestia dependientemente de la edad llegando a su pico máximo para el grupo de 45 a 54 años de edad y después la molestia reportada desciende

para los otros grupos. Se discute su aparente similitud con la teoría de la curva U de bienestar a lo largo de la vida.

Se diseñó una nueva encuesta socio-acústica que evalúa el nivel de sensibilidad, el nivel de molestia auto reportada y aspectos socioeconómicos y demográficos. Esta encuesta fue desarrollada para buscar la forma en que se relacionan las distintas variables más comúnmente investigadas por varios cuestionarios relacionados a molestia auto reportada, sensibilidad al ruido y factores demográficos y socioeconómicos.

Es importante señalar que la molestia alta estuvo relacionada con el estado civil casado, el desempeño de un trabajo intelectual y la ausencia de fuentes importantes de ruido en la infancia. Las personas altamente molestas reportaron no tener ventanas orientadas a la calle en las habitaciones en las que pasan la mayoría del tiempo.

Se encontró que las personas con mayor sensibilidad tienden a usar automóvil privado, tener trabajos principalmente intelectuales, presentar desconcentración, dolor de cabeza, perturbación del sueño, irritabilidad; y ser más proclives a reportar altos niveles de estrés cotidiano. Se discute la posibilidad de que estos sean argumentos para una relación entre sensibilidad y afectividad negativa, sin embargo estudios más profundos deben ser realizados para tener un perfil más completo de las personas sensibles al ruido.

De acuerdo con los ANOVAs, si bien la sensibilidad a la molestia es un gran predictor de la misma ( $F=18.627$  y  $Sig=0.00$ ), más poder predictivo tienen los descriptores acústicos LAeq ( $F=100.926$  y  $Sig=0.00$ ) y G ( $F=63.841$  y  $Sig=0.00$ ). Estos resultados contrastan con los encontrados por otros estudios en los cuales proponen un modelo piramidal para explicar molestia en el cual se da más peso a factores personales (sensibilidad, actitudes frente al ruido) y menor influencia a factores acústicos (tipo de tráfico, frecuencia, nivel de ruido).

## 5.2. Recomendaciones

En posteriores estudios sería interesante incluir preguntas que ayuden a describir más los perfiles de las personas altamente sensibles o molestas. Por ejemplo Luz (2005) y Stansfeld y Clark (2007) establecen que las personas sensibles tienden a tener actitudes amigables, ser muy conscientes del medio ambiente y preocuparse por la comunidad. Una forma de evaluar la calidad de vida podría ser a través del cuestionario de Paykel sobre eventos recientes en la vida como ha sido usado por Paunović, Jakovljević y Belojević (2009). Sería de interés para el estudio observar el estado socio económico más a fondo pues hay estudios que relacionan menores ingresos en el hogar con exposición a mayores niveles de ruido.

Teniendo en cuenta que hay estudios que concluyen que el tipo de circulación vehicular es una de las variables que establecen la composición temporal y espectral de los espacios urbanos, sería de interés hacer un estudio de los tipos de circulación presentes en distintas partes de la urbe para estudiar en qué partes urbanas puede existir un flujo de circulación continuo fluido ya que éste es el que más ha mostrado relación con alta molestia.

Sería interesante estudiar la relación entre sonoridad y el ancho de banda del contenido frecuencial de cada tipo de circulación vehicular; y su influencia en la molestia reportada. Este enfoque tomaría en cuenta la relación entre molestia y la teoría de que sonidos con contenido en varias bandas resultan más sonoros que sonidos en banda estrecha; y sonidos que tienen una distribución irregular en el espectro parecen psicológicamente más fuertes que sonidos con distribuciones más naturales o lineales (Rumsey, McCormick, 2004, p. 52).

Aspectos como el nivel del ruido, la duración, el contenido espectral, su impulsividad, entre otros; han tratado de ser estudiados para proveer soluciones a la molestia que puede producir el ruido del tráfico rodado. Pero a pesar de varias propuestas no se ha podido utilizar un solo modelo para predecir la molestia agrupando a todas estas variables. Aunque este estudio encuentra claros resultados, la recomendación sería realizar nuevos estudios enfocados a diferentes modelos de predicción del ruido de tráfico en los cuales

se incluyan diferentes variables como el tipo de asfalto de la calzada, la velocidad de circulación, la forma de la calle, etc.

A pesar de la buena correlación entre molestia y algunos de los descriptores utilizados para normas y regulaciones; muchas veces las normativas han sido diseñadas favoreciendo razones administrativas, de conveniencia o comerciales, en lugar de tener un sustento científico de las causas y mecanismos de molestia (Crocker, 1998, pp. 772-773). Sería un gran avance para explicar la relación de molestia con el ruido de circulación vehicular el uso de otros descriptores como LCeq o los descriptores estudiados en el presente estudio.

Sería interesante encontrar la forma de desarrollar este estudio *in situ*, pues varios investigadores sugieren que los resultados encontrados a través de estudios de molestia en laboratorio no siempre pueden aplicarse a la vida real pues las personas están en un ambiente diferente. Se reconoce las limitaciones de este estudio debido a este factor.

Se evidencia la necesidad de un estudio de molestia provocada por ruido a nivel de todo el Distrito Metropolitano de Quito para una mejor comprensión de los niveles generales de molestia entre la población y las medidas que se podrían utilizar para contrarrestarla. Una opción interesante para un nuevo estudio sería tomar las quejas de la población sobre las fuentes de ruido que les molestan como sugiere Crocker (2007, p.318). También sería interesante en este caso medir la capacidad predictiva de descriptores acústicos como en el estudio hecho por Paunović (2013).

## 6. REFERENCIAS

- Abolhasannejad, V., Monazzam, M. y Moasheri, N. (2013). *Comparison of Noise Sensitivity and Annoyance Among the Residents of Birjand Old and New Urban Districts*. Madhya Pradesh, India: Current World Environment.
- Ahmad, S., Sarkar, P., Dhungana, H. (2015). *A Study of Noise & Development of Traffic Noise Annoyance Models*. Wuhan, China: Scientific Research Publishing.
- Alton Everest, F. (2001). *The Master Handbook of Acoustics*. New York, New York, USA: McGraw-Hill.
- Blanchflower, D., Oswald, A. (2007) *Is Well-Being U-Shaped Over The Life Cycle?* Social Science & Medicine. Maryland Heights, Missouri, USA: Elsevier.
- Braubach, M., Tobollik, M., Mudu P., Hiscock, R., Chapizanis, D., Sarigiannis D. A., Keuken, M., Perez L. y Martuzzi M. (2015). *Development of a Quantitative Methodology to Assess the Impacts of Urban Transport Interventions and Related Noise on Well-Being*. International Journal of Environmental Research and Public Health. Basel, Suiza: MDPI.
- Cabrer, B., Sancho, A., Serrano, G. (2001). *Microeconomía y decisión*. Madrid, España: Ediciones Pirámide.
- Camacho, C. (s.f). *Coeficiente de Correlación Lineal de Pearson*. Sevilla, España: Universidad de Sevilla.
- Comisión Europea. (2003). *2003/613/CE*. Luxemburgo: Oficina de Publicaciones de la Unión Europea.
- Crocker, M. J. (1998). *Handbook of Acoustics*. Hoboken, New Jersey, USA: John Wiley & Sons.
- Crocker, M. J. (2007). *Noise and Vibration Control*. Hoboken, New Jersey, USA: John Wiley & Sons.
- Department of Environment, Climate Change and Water NSW. (2011). *NSW Road Noise Policy*. Department of Environment, Climate Change and Water NSW. Recuperado el 28 de febrero de 2015 de <http://www.epa.nsw.gov.au/resources/noise/2011236nswroadnoisep>

- olicy.pdf . Sídney, Australia: Department of Environment, Climate Change and Water NSW.
- Dijkstra, F. (s.f.). *Sound Level*. Recuperado el 8 de agosto de 2015 de [http://www.macfreek.nl/memory/Sound\\_Level](http://www.macfreek.nl/memory/Sound_Level)
- Eileen, D. (2007). *Noise and hearing loss: A review*. Journal of School Health. Hoboken, New Jersey, USA: John Wiley & Sons.
- Elmenhorst, E., Quehl, J., Müller, U. y Basner, M. (2014). *Nocturnal air, road, and rail traffic noise and daytime cognitive performance and annoyance*. Pubmed. Woodbury, New York, USA: Acoustical Society of America.
- Espino, J. C. (s.f.). *Medición y evaluación del ruido ambiental*. Recuperado el 9 de agosto de 2015 de <http://slideplayer.es/slide/4125483>
- Fidell, S. (1981). *The development of an annoyance scale for community noise assessment*. Journal of Sound and Vibration. Maryland Heights, Missouri, USA: Elsevier.
- Fidell, S. y Silvati, L. (2004). *Parsimonious Alternatives to Regression Analysis for Characterizing Prevalence Rates of Aircraft Noise Annoyance*. Noise Control Engineering Journal. Reston, Virginia: Noise Control Engineering Journal.
- Fidell, S., y Teffeteller, S. (1981). *Scaling the annoyance of intrusive sounds*. Journal of Sound and Vibration. Maryland Heights, Missouri USA: Elsevier.
- Fields, J. M. (1993). *Effect of personal and situational variables on noise annoyance in residential areas*. Journal of the Acoustical Society of America. Woodbury, New York, USA: Acoustical Society of America.
- Fwa, T. F. (2006). *The Handbook of Highway Engineering*. Boca Raton, Florida, USA: Taylor & Francis.
- Galindo, E. (2010). *ESTADÍSTICA Métodos y Aplicaciones*. Quito, Ecuador: ProCiencia Editores.
- Gerges, S. N. Y. y Arenas, J. P. (2010). *Fundamentos del Control del Ruido y Vibraciones*. Florianópolis, Brasil: NR Editora.

- Goines, L., & Hagler, L. (2007). *Noise Pollution: A Modern Plague*. Southern Medical Journal. Maryland Heights, Missouri, USA: Elsevier.
- Jakovljević, B., Paunović, K. y Belojević, G. (2009). *Road-traffic noise and factors influencing noise annoyance in an urban population*. Environment International. Maryland Heights, Missouri, USA: Elsevier.
- Hai, A., Takashi, Y., Hai, Y., Tsuyoshi, N., Tetsumi, S., Yoritaka H. (2009) *Annoyance caused by road traffic noise with and without horn sounds*. Acoustical Science and Technology. Tokio, Japón: The Acoustical Society of Japan
- Harris, C. M. (1998). *Handbook of Acoustical Measurements and Noise Control*. Woodbury, New York, USA: Acoustical Society of America.
- Hong Park, T. (2009). *Introduction to Digital Signal Processing: Computer Musically Speaking*. Shangai: World Scientific.
- Heinonen-Guzejev, M. (2009). *Noise sensitivity - medical, psychological and genetic aspects*. Helsinki, Finlandia: University of Helsinki, Faculty of Medicine, Department of Public Health.
- IBM. (s.f). *SPSS Tutorial & Help*.
- INEC. (2011). *El 35% de la población de Quito nació fuera del cantón*. Recuperado el 4 de febrero de 2015 de [http://www.inec.gob.ec/inec/index.php?option=com\\_content&view=article&id=453:el35delapoblaciondequitonaciofueraadelcanton&catid=68:boletines&Itemid=51&lang=es](http://www.inec.gob.ec/inec/index.php?option=com_content&view=article&id=453:el35delapoblaciondequitonaciofueraadelcanton&catid=68:boletines&Itemid=51&lang=es)
- INEC (2011). *Reporte de Población por Zonas y Sectores de la Provincia de Pichincha*. Quito, Ecuador: INECISO (2003).
- ISO 1996-1:2003 *Acoustics -- Description, measurement and assessment of environmental noise -- Part 1: Basic quantities and assessment procedures*. (2ª ed.). Génova, Suiza: ISO.
- ISO (2007). *ISO 1996-2:2007 Acoustics -- Description, measurement and assessment of environmental noise – Part 2: Determination of environmental noise levels*. (2ª ed.). Génova, Suiza: ISO.

- ISO/TS (2003). *ISO/TS 15666:2003 Acoustics – Assessment of noise annoyance by means of social and socio-acoustic surveys*. (1<sup>a</sup> ed.). Génova, Suiza: ISO/TS.
- Kishikawa, H., Matsui, T., Uchiyama, I., Miyakawa, M., Hiramatsu, K., Stansfeld, S. A. (2006). *The development of Weinstein's noise sensitivity scale*. Noise & Health. Alphen aan den Rijn, Netherlands: Wolters Kluwer.
- Kogan, P. (2004). *Análisis de la Eficiencia de la Ponderación "A" Para Evaluar Efectos de Ruido en el Ser Humano*. Valdivia, Chile: Universidad Austral de Chile.
- Lerch, A. (2012). *An Introduction to Audio Content Analysis: Applications in Signal Processing and Music Informatics*. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons.
- Leventhall, H. G. (2004). *Low Frequency Noise and Annoyance*. Noise & Health. Alphen aan den Rijn, Netherlands: Wolters Kluwer.
- Llinares, J., Llopis, A. & Sancho, J. (2008). *Acústica Arquitectónica y Urbanística*. México: Limusa.
- Luz, A. (2005). *Noise Sensitivity Rating of Individuals*. Wuhan, China: Scientific Research Publishing.
- Marsh, A. (2012). *Sound level meters: 1928 to 2012*. Japanese Research Journal on Aviation Environment. Tokio, Japón: Aviation Environment Research Center.
- Mason, R., Lind, D., Marchal, W. (2002). *Statistical Techniques in Business & Economics*. New York, New York, USA: McGraw-Hill.
- Miedema, H. M. E. (2007). *Annoyance Caused by Environmental Noise: Elements for Evidence-Based Noise Policies*. Journal of Social Issues. Hoboken, New Jersey, USA: John Wiley & Sons.
- Möser, M., Barros, J.L. (2009). *Ingeniería Acústica: Teoría y Aplicaciones*. Heidelberg, New York: Springer.
- Miyara, F. (2006). *Acústica y Sistemas de Sonido*. Rosario, Argentina: Editorial de la Universidad Nacional de Rosario.

- Montano, W., Pascal, M. (2014). *El ruido hace a la modernidad, o la modernidad hace el ruido. Una aproximación a la sociología del ruido*. Rosario, Argentina: La Semana del Sonido.
- Niemann, H., Hoebel, J., Hammersen, F., & Laußmann, D. (2014). *Noise annoyance – Results of the GEDA study 2012*. Berlín, Alemania: Robert Koch Institute.
- Ouis, D. (2001). *Annoyance from road traffic noise: a review*. Journal of Environmental Psychology. Maryland Heights, Missouri USA: Elsevier.
- Okokon, E. O., Turunen A. W., Ung-Lanki, S., Vartiainen, A., Tiittanen, P. y Lanki, T. (2015). *Road-Traffic Noise: Annoyance, Risk Perception, and Noise Sensitivity in the Finnish Adult Population*. . International Journal of Environmental Research and Public Health. Basel, Suiza: MDPI.
- Paunović, K. (2013). *Noise Annoyance In Adult Urban Population – A Discrepancy Between Theory and Practice*. Niš, Serbia: Acta Medica Medianae.
- Paunović, K. Jakovljević, B., Belojević, G. (2008). *The importance of non-acoustical factors on noise annoyance of urban residents*. 9th International Congress on Noise as a Public Health Problem. Mashantucket, Connecticut, USA: ICBEN.
- Paunović, K. Jakovljević, B., Belojević, G. (2009). *Predictors of noise annoyance in noisy and quiet urban streets*. Journal of the Science of the Total Environment. Maryland Heights, Missouri USA: Elsevier.
- Recuero, M. (2000). *Ingeniería Acústica*. Madrid, España: Paraninfo.
- Rockwell, K. (2011). *Zoom H4n Portable Audio Recorder (2007)*. Recuperado el 2 de noviembre de 2015 de <http://www.kenrockwell.com/audio/zoom/h4n.htm>
- Rylander, R., Björkman, M. (2002). *Planning consequences of the maximum db(a) concept—a perspective*. Journal of Sound and Vibration. Maryland Heights, Missouri USA: Elsevier.

- Sense, V., Ruotolo, F., Ruggiero, G. y Iachini, T. (2012). *The Italian Version of the Weinstein Noise Sensitivity Scale Measurement Invariance Across Age, Sex, and Context*. European Journal of Psychological Assessment. Oxford, Reino Unido: Hogrefe Publishing.
- Shepherd, D., Heinonen-Guzejev, M., Heikkia, K., Dirks, K., Hautus, M., Welch, D. y McBride, D. (2015). *The Negative Affect Hypothesis of Noise Sensitivity*. International Journal of Environmental Research and Public Health. Basel, Suiza: MDPI.
- Simmons, C. (2013). *Developing a Uniform Questionnaire for Socio- Acoustic Surveys in Residential Buildings*. Recuperado el 11 de octubre de 2015 de: [http://www.simmons.se/Filer/PDF-filer/06\\_Capitulo\\_06.pdf](http://www.simmons.se/Filer/PDF-filer/06_Capitulo_06.pdf)
- Smith, A. (2003). *The concept of noise sensitivity : Implications for noise control*. Noise & Health. Alphen aan den Rijn, Netherlands: Wolters Kluwer.
- Smith, A., Nutt, D., Wilson, S., Rich, N., Hayward S. y Heatherley, S. (2002). *Noise and Insomnia: a study of community noise exposure, sleep disturbance, noise sensitivity and subjective reports of health*. Report to the UK Department of Health and Department of Environment, Transport and the Regions. Cardiff, Reino Unido: Crown.
- Stansfeld, S. y Clark, C. (2007). *Noise sensitivity: associations with demographic factors and health*. Madrid, España: International Congress of Acoustics.
- Sutherland, L. C., y Burke, R. E. (1979). *Annoyance, Loudness, and Measurement of Repetitive Type Impulsive Noise Sources*. U.S. Environmental Protection Agency Office Of Noise Abatement and Control. Washington, District of Columbia: U.S. Environmental Protection Agency.
- Torija, A. J. (2010). *Modelización y predicción de la estructura temporal y espectral del nivel de presión sonora como herramienta para la gestión de paisajes sonoros urbanos*. Universidad de Granada, España: Editorial de la Universidad de Granada.

- Torija, A. J., y Flindell, I. H. (2014). *Differences in subjective loudness and annoyance depending on the road traffic noise spectrum*. The Journal of the Acoustical Society of America. Woodbury, New York, USA: Acoustical Society of America.
- Torija, A. J., Ruiz, D. P., Coensel, B. D., Botteldooren, D., Berglund, B., y Ramos-Ridao, Á. (2011). *Relationship between road and railway noise annoyance and overall indoor sound exposure*. Transportation Research Part D: Transport and Environment. Science Direct. Maryland Heights, Missouri, USA: Elsevier.
- Ullauri, A., Smith, A., Espinel M., Castrillón R., Salazar C., Garcés P., y Jiménez C. (2010). *Estudio de Prevalencia de Desórdenes de Oído y Audición OMS-Ecuador 2009*. Presentado en Estudio de Prevalencia de Desórdenes de Oído y Audición OMS-Ecuador 2009, Academia Americana de Otorrinolaringología Cirugía de Cabeza y Cuello (AAO HNS 2010). Recuperado el 18 de febrero de 2015 de <http://www.aeo.org.ec/Revistas/VOL7%20NO1/Art%EDculo4.pdf> . Quito, Ecuador.
- Van Gerven, P. W. M., Vos, H., Van Boxtel, M. P. J., Janssen, S. A. y Miedema H. M. E. (2009). *Annoyance from environmental noise across the lifespan*. Journal of the Acoustical Society of America. Woodbury, New York, USA: Acoustical Society of America.
- Weinstein, N. D. (1978). *Individual Differences in Reactions to Noise: A Longitudinal Study in a College Dormitory*. Journal of Applied Psychology. Washington, District of Columbia, USA: American Psychological Association.
- World Health Organization. (s.f.). *Process of translation and adaptation of instruments*. Recuperado el 13 de noviembre de 2015 de [http://www.who.int/substance\\_abuse/research\\_tools/translation/en/](http://www.who.int/substance_abuse/research_tools/translation/en/)