

BES LA SALLE
ÁREA DE ARQUITECTURA, CONSTRUCCIÓN Y TECNOLOGÍA

PROYECTO FINAL

MASTER EN ACÚSTICA
ARQUITECTÓNICA Y MEDIOAMBIENTAL

*Resultado de encuestas sobre molestia del ruido
y su correlación con las ecuaciones de Miedema
en tres ciudades del Perú*

ALUMNO
Elena Gushiken Uesu

PROFESOR PONENTE
Ivanna Rossell

TRABAJO DE TESIS

PARA ACCEDER AL GRADO DE MAESTRÍA EN ACÚSTICA ARQUITECTÓNICA Y MEDIOAMBIENTAL

Resultado de encuestas sobre molestia del ruido y su correlación con las ecuaciones de Miedema en tres ciudades del Perú

REFERENCIA PACS: 43.28 Hr

Gushiken Uesu, Elena I. <arquicust@arquicust.com>

Av. Javier Prado Oeste 304 - Magdalena del Mar – Urb. Oyague - 17 Lima Perú

Tel: (51 1) 461 5961 Fax: (51 1) 461 7119

RESUMEN

Hasta el momento se han publicado los resultados de investigaciones que correlacionan los resultados de encuestas subjetivas sobre la molestia de ruido por distintas fuentes de ruido con las ecuaciones de Miedema, principalmente de ciudades europeas. Este trabajo resume un Estudio realizado en 3 ciudades del Perú que representan realidades geográficas y climáticas diferentes como Lima (costa) en 30 puntos testigos, Huancayo (sierra) que está a 3800 msnm en 14 puntos, y Pucallpa (selva) en 12 puntos. Fueron encuestadas más de 2000 personas entre habitantes de viviendas y transeúntes en un radio de 300 m de los puntos testigos.

ABSTRACT

Until the moment the results of investigations that correlate the results of subjective surveys of noise annoyance by different sources have been published with the Miedema equations, mainly of European cities. This work summarizes a Study realized in 3 Peruvian cities that represent different geographic and climatic realities as Lima (coast) in 30 points, Huancayo (mountain) at 3800 m altitude in 14 points, and Pucallpa (forest) in 12 points. They were survey more than 2000 people between inhabitants and passers-by in a radius of 300 m of the witnesses' points.

IMPORTANTE: De acuerdo a Convenciones Internacionales en materia de Derechos de Autor, la propiedad intelectual de este trabajo de Tesis pertenecen a la autora del mismo, siendo esto un derecho irrenunciable e intransferible.

PRÓLOGO

El trabajo de Tesis se encuentra organizado de la siguiente forma:

Introducción, donde se presenta la problemática del ruido en el Perú exclusivamente relacionada a las molestias producidas por fuentes móviles, para nuestro caso vehículos terrestres en su categoría L, M y N.

Aproximación histórica a las molestias por ruido del transporte, trata sobre el surgimiento de las normas sobre el ruido de los vehículos desde el año 44 AC, la evolución y el desarrollo de los medios de transportes hasta la actualidad y sus impactos sociales ante la comunidad a nivel mundial, América Latina y Perú.

Fundamentos teóricos, donde se presentan conceptos empleados en el trabajo de tesis; fundamentos de acústica, fuentes de ruido y su medición, efectos adversos del ruido en la salud, efectos específicos sobre la salud, instrumentos de medición y el dBA, estudios y encuestas sobre molestia por ruido e indicadores objetivos, y de la descripción de las categorías vehiculares que se presentan en cada uno de los lugares estudiados según clasificación vehicular a la Directiva N° 002-2006-MTC/15.

Medición Subjetiva. Encuestas, el estudio se realizó en tres ciudades del Perú, Lima-Callao, Pucallpa (Coronel Portillo) y Huancayo; con el objeto de conocer el impacto en la salud de la población por el ruido proveniente de automóviles y su influencia en lo económico, se aplicó el muestreo orientado hacia el receptor, determinándose los puntos a realizar el muestreo de acuerdo a los siguientes criterios; vías representativas del flujo vehicular, según clasificación vehicular, lugares vulnerables, y zonas residenciales de distinto nivel socio-económico. Para el trabajo de las encuestas se empleó la Norma de gestión de calidad acústica ISO 15666:2003, se efectuaron un total de 20 preguntas que abarcaron temas sociales, económicos, de salud y sobre la molestia por ruido y se realizó el análisis de la mediana de las muestras.

Medición Objetiva. Registro del NSCE, se efectuaron las mediciones sonoras, acorde a las normativas nacionales y recomendaciones internacionales, y teniendo en cuenta los objetos de las mediciones; se seleccionaron la instrumentación adecuada, se determinaron la ubicación para las mediciones y se efectuaron el muestreo considerando variables como las condiciones climáticas, flujo vehicular, y otros que influye en los resultados de las mediciones, por ello en la práctica, las mediciones muestrean generalmente solamente una cierta parte de la exposición total y se introduce en el muestreo incertidumbres en las estimaciones de la exposición de ruido total.

De los ensayos y tareas realizadas in situ, se definió el intervalo de tiempo para las mediciones de 10 minutos, se definieron los periodos horarios diurno 1, diurno 2, vespertino, y nocturno, se realizó en forma paralela a las mediciones el aforo vehicular en función de todas las categorías de los distintos tipos de vehículos: L, M, N, en concordancia con la Ley Nacional vigente en la materia. Se desarrollaron los trabajos de campo según ISO 5725/1/2:2002, que tienen que ver con estudios de Grado 2 "Métodos de Ingeniería. Se midió el nivel sonoro continuo equivalente (NSCE), y otros descriptores, para evaluar la inmisión del ruido proveniente de los automóviles al Ambiente.

Definición del descriptor de larga duración para estimar su valor utilizando el NSCE de corta duración, luego del análisis de los 2 (dos) modelos más utilizados para estimar la molestia con mediciones de larga duración, como lo es el Ldn y el Lden; en el caso del Perú se decidió utilizar el modelo del Ldn, puesto que el DS 085-2003-PCM de *Estándares de calidad ambiental para ruido* define los mismos periodos horarios.

Ecuaciones de Miedema. Predicción de la molestia por ruido

Miedema propone modelos de predicción para los descriptores Ldn y el Lden, se trata sobre los modelos de Miedema para estimar la molestia por ruido de automóviles, y que fueron aplicados al presente estudio.

Resultados de las mediciones subjetivas en tres ciudades del Perú, La contaminación sonora producida por el ruido de los vehículos es el factor que más molestias causa a la población urbana. A causa que en la ciudad de Pucallpa el vehículo más común y el que más quejas recibe es la trimoto L5 se analizó por separado, es decir, Pucallpa por un lado y Lima-Callao con Huancayo en conjunto.

Para las encuestas, se adaptó el modelo Normalizado en la ISO 15666:2003 *Acoustics – Assessment of noise annoyance by means of social and socio-acoustic surveys*

Comparación de los resultados de las fórmulas de Miedema con las encuestas y mediciones en tres ciudades del Perú, se compararon los resultados obtenidos en las encuestas con la estimación del Ldn y las ecuaciones de H. Miedema, donde en algunos casos se verifica una similitud, en un ensayo de mediciones de 10 días en todas las ciudades,

ÍNDICE

N°	Sección	Pág.
0.	Prólogo	4
1.	Introducción	7
2.	Aproximación histórica a las molestias por ruido del transporte	10
3.	Fundamentos teóricos	15
4.	Medición subjetiva. Encuestas	38
5.	Medición objetiva. Registro del NSCE	40
6.	Definición del descriptor de larga duración para estimar su valor utilizando el NSCE de corta duración	48
7.	Ecuaciones de Miedema. Predicción de la molestia por ruido	58
8.	Resultados de las mediciones subjetivas en tres ciudades del Perú	60
9.	Comparación de los resultados de las fórmulas de Miedema con las encuestas y mediciones en tres ciudades del Perú	66
10.	Conclusiones	68
11.	Trabajos futuros	69
12.	Agradecimientos	69
13.	Glosario	70
14.	Bibliografía	72
	ANEXO	
	Encuestas para residentes	73
	Encuesta para los transeúntes y trabajadores de la calle	76

1. INTRODUCCIÓN

El parque automotor del Perú es obsoleto y con muy bajo mantenimiento, y el poco que se le realiza es a fines de mantener circulando las unidades que, en la mayoría de los casos, no se utilizan repuestos originales, ya que existe toda una industria informal de la fabricación por copia de elementos de fábrica. A principios de la década de los '90 se permitió la importación de vehículos usados muchos en estado de chatarra, sin ningún control por parte del Estado, lo que provocó un aumento descontrolado del parque automotor en todo el país.

Otro aspecto de importancia es que por las características climáticas de la selva peruana, se importan anualmente más de 50 mil trimotos L5 sin tubos de escape ni protectores del sistema de transmisión por cadena, y a raíz de la idiosincrasia socio-económica de la población, este sistema de transporte se ha masificado en todas las ciudades del Perú, incluyendo Lima. Ambas situaciones ha conllevado a un incremento del nivel sonoro en muy pocos años, publicándose un Decreto Supremo en el 2003 [6] para que todos los sectores y subsectores ministeriales, sancionen los límites máximos permisibles (LMP's) para ruido acorde a sus incumbencias particulares, creándose ámbitos donde las personas presentan sus reclamos y quejas por molestia a causa del ruido, siendo el proveniente de los automotores el mayor.

Al día de la fecha no existen estudios epidemiológicos en el Perú, acerca de las enfermedades o molestias a causa de la exposición diaria al ruido proveniente de fuentes móviles-vehículos terrestres.

En septiembre de 2008 el Ministerio de Transporte y Comunicaciones (MTC) encargó un Estudio para determinar los LMP's para ruido de fuentes móviles terrestres-automotores en sus categorías L, M y N; habiéndosele adjudicado a la empresa de la autora de este Trabajo, la realización de dicho Estudio, y es que se aprovechó la oportunidad para hacer un análisis sobre la relación dosis-respuesta de la percepción subjetiva de las personas sobre el ruido proveniente de vehículos. Se contrató un especialista en Estadística para determinar los rangos, poblaciones, parámetros, etc., y establecer una trazabilidad a lo largo de todo el Estudio; y para las encuestas se adaptó los métodos normalizados de la Norma ISO 15666:2003 [15].

Por razones económicas y presupuestarias no se pudieron realizar mediciones de 24 horas continuas, pero sí se registró el nivel de presión sonora en cada uno de los puntos testigos en cuatro horarios diferentes en distintos días de la semana, y se estimó el NSCE para día completo.

A medida que aumenta la intervención del hombre sobre la naturaleza, y aparecen nuevas necesidades como consecuencia de la vida en *megápolis*, el ambiente que lo rodea se deteriora cada vez más, de tal manera que actualmente uno de los mayores problemas que enfrenta la humanidad es la degradación del Ambiente. El desarrollo descontrolado de las actividades humanas, ha producido la contaminación del aire y de las aguas, y también el denominado "efecto invernadero", junto con la desaparición de extensas zonas de vegetación, la desertización y la acumulación de grandes cantidades de residuos tóxicos, entre otros efectos. En este contexto ha tenido lugar también un incremento muy considerable de los niveles de contaminación acústica en todos los países industrializados [OECD, 1991] [11].

El *ruido ambiental* se ha convertido en una de las mayores fuentes de malestar en las sociedades modernas; estamos expuestos a él en nuestros hogares, en la calle, en los centros de trabajo, cuando utilizamos un vehículo de transporte, incluso durante nuestro tiempo libre [1].

Desde hace muchos años, muchos autores coinciden en señalar que el tráfico vehicular es la fuente sonora más importante y generalizada en las zonas urbanas de los países desarrollados y en vía de desarrollo, y sobre todo en éstos últimos debido a la antigüedad de los vehículos, reparaciones sin repuestos originales, omisión de silenciadores, etc. Los vehículos son también, con bastante diferencia, la fuente sonora que produce más perturbaciones y molestias sobre los residentes urbanos.

El Perú no escapa a la contaminación acústica que cada vez se hace mucho más crítica con la presencia de un parque automotor obsoleto, en mal estado y falta de mantenimiento; de acuerdo a la Asociación Automotriz del Perú (AAP) y la Asociación de representantes Automotrices del Perú (ARAPER), los vehículos que circulan por nuestras calles tienen en promedio de 17 (diecisiete) años de antigüedad; según fuentes del MTC, actualmente existen a nivel nacional un estimado de 684000 mil automóviles (vehículos ligeros) fabricados hace más de 10 (diez) años.

El incremento del parque automotor es cada vez mayor ante la falta de un transporte público de pasajeros seguro, cómodo y eficiente, y una política ambiental y educativa adecuada, lo cual conlleva a una mayor contaminación acústica de nuestras ciudades en general.

En comparación con otros contaminantes, el control del *ruido ambiental* se ha limitado por la falta de conocimiento de sus efectos sobre los seres humanos, la escasa información sobre la relación dosis-respuesta y la falta de criterios definidos [1]. Si bien se considera que la contaminación acústica es principalmente un problema de "lujo" en los países desarrollados, no se puede pasar por alto que la exposición es a menudo mayor en los países en desarrollo debido a la deficiente planificación y construcción de los edificios y la falta de políticas adecuadas sobre el ordenamiento del tráfico vehicular que es la principal fuente de ruidos en todo el mundo.

Los efectos del ruido y sus consecuencias de largo plazo sobre la salud se están generalizando; por ello, es esencial tomar acciones para limitar y controlar la exposición al *ruido ambiental* de los niños y personas en estado de vulnerabilidad. Esas acciones deberían estar respaldadas por una adecuada evaluación científica de los datos disponibles sobre los efectos del ruido, en particular, la relación dosis-respuesta. Esa relación constituye la base del proceso de evaluación y gestión de riesgos y que fuera un objeto del Estudio de *Límites máximos permisibles para ruido para fuentes móviles (vehículos mayores y menores)*.

El ruido es el contaminante más común, y aunque no se acumula, no se traslada (sí se propaga), no se mantiene en el tiempo y forma parte de nuestro entorno, es decir, NO DEJA RESIDUOS EN EL AMBIENTE, por lo que una exposición excesiva puede resultar perjudicial. Los niveles de ruido constante, aunque no superen los máximos permitidos, aceleran el proceso que desencadena la hipoacusia (sordera ó pérdida de la audición), de tal forma que tenemos un oído "mucho más viejo" del que correspondería a nuestra edad fisiológica.

Físicamente, no existe ninguna distinción entre sonido y ruido. El sonido es una percepción sensorial y el complejo patrón de ondas sonoras se denomina ruido, música, habla, etc. Generalmente, el ruido se define como un sonido no deseado. Estos ruidos lógicamente provocan contaminación ambiental y en las personas pueden ocasionar desde molestias a daños más serios. Algunos efectos pueden ser: dolor de cabeza, dificultad para dormir, defectos auditivos y tensión nerviosa [11].

Muchos ambientes acústicos constan de sonidos provenientes de más de una fuente; es decir, existen fuentes mixtas y es común la combinación de efectos. Por ejemplo, el ruido puede interferir la comunicación oral durante el día y perturbar el sueño durante la noche. Estas condiciones se aplican sin duda a zonas residenciales con alta contaminación por el ruido. Por consiguiente, es importante considerar todos los efectos del ruido sobre la salud durante las 24 hs y aplicar el principio preventivo para el desarrollo sostenible.

2. APROXIMACIÓN HISTÓRICA A LAS MOLESTIAS POR RUIDO DEL TRANSPORTE

La norma más antigua que se conoce sobre el ruido de los vehículos es del año 44 AC, impuesta por Julio César. Esta surgió a consecuencia de la congestión del tránsito en las ciudades del Imperio, porque la gran cantidad de carruajes que circulaban durante el día entorpecían las actividades de las personas por las calles angostas; entonces, se dictó una orden dejando las actividades peatonales para el día y permitiendo la circulación de los carruajes por la noche. Este hecho dio lugar a curiosas conductas colectivas, inclusive el asunto llegó al Senado Romano, y a juzgar por las manifestaciones de protesta de los ciudadanos (de las que se tiene noticia) que se quejaban de las dificultades para conciliar el sueño debido al ruido de las ruedas por la empedradas calles de Roma, fue que se estableció la norma que imponía castigos para aquellos carruajes que circularan sin cueros encima de las ruedas metálicas. [*Tráfico y seguridad vial: 6000 años de historia*. Universidad de Valencia]

Para el caso de Lima, la primera ordenanza relativa al tránsito en la ciudad fue publicada en 1556 (SIC):

Ordenanza contra carreteros de las acequias.- *En la cibdad de los Reyes a nueve días del mes de mayo de mil e quynientos e cinquenta e seys años, en este mismo cabildo se trato que en esta cibdad andan las aguas muy derramadas que salen de las acequias a cuya cabsa las calles estan lodosas e se deriban los hedificios y se hazen cienagas de que se sigue mucho daño a esta cibdad e que lo suso dicho es cabsa de andar las carretas por todas las calles de esta cibdad e se rompen con ellas las acequias...*

Para la historia de América Latina, las primeras historias de los problemas de tránsito tienen lugar en la Ciudad de Méjico, que hacia el año 1648 de entre 30 mil y 40 mil habitantes que había en la ciudad, más de la mitad poseían un vehículo de éstos, lo que ocasionó serios problemas de tránsito. El problema llegó a tal grado que Felipe II prohibió importar (ni fabricar) más coches a la Nueva España. [*Cinco siglos de Transporte en la Ciudad de México*. Ministerio de Transporte de Méjico. 2005]

Sobre el ruido y su interferencia con la palabra se encuentra un relato de 1583 muy interesante, “*No alcanza el Cabildo en qué consista el menos decoro de hacer sus asambleas semanales en la sacristía; ésta es una pieza seria, decente y magnífica en que se celebran los diversos oficios siempre que está impedida la iglesia, en que se debe observar el profundo y respetuoso silencio tan encargado en el capítulo XIV del primer Sínodo diocesano de 1582, que fue como un preámbulo del célebre Concilio Provincial de 1583, y en el capítulo 28 de la regla consuetudina; cualidades que no concurrirían en la sala capitular trasladada al lugar del almacén, que es lo más retirado de la iglesia, con ventanas y correspondencia a la calle, expuesta al ruido de carruajes y gritos del populacho, y lo que es más, a que se oyesen los asuntos que se tratan, en especial cuando algunas veces se hace preciso levantar la voz.*” [Anales de la catedral de Lima – 1534 a 1824. José Manuel Bermúdez. Biblioteca digital Andina]

A partir de 1610 que se empezó a desobedecer la orden de importar y fabricar carruajes, poco a poco su uso oficial se trasladó a los adinerados, por lo que el impacto que tuvo en la sociedad de Lima fue muy alto “*Parece que el virrey conde de alba de liste, ... , salió un domingo en coche y con escolta a pagar visitas. El*

ruido de un carruaje era en esos tiempos un acontecimiento tal, que las familias confundiéndolo con el que precede a los temblores, se lanzaban presurosos a la puerta de la calle”. [Crónica de la época del decimoséptimo virrey del Perú - Tradiciones peruanas – Ricardo Palma]

Entre 1550 y el 1700, en España se discutía mucho sobre el uso de los carruajes, “los temas que más abundan en estas polémicas son la abundancia de los mismos, la presión social por su uso dado su valor como elemento de diferenciación y estatus, el desorden moral que acarreaban en manos de la mujer y la bajeza de los cocheros (320). La aparición del coche supuso un auténtico ataque e invasión de espacios públicos, del espacio del viandante y del caballo / -ero y repercutieron en el tráfico / desarrollo urbano. En general para esta época son largos, inestables y ruidosos”. “O entre la tipología ridícula que aparece en la época destacan los temas de los coches atiborrados sin que quepa espacio para nada en ellos, el ruido infernal que procuran” [López Álvarez, Alejandro. Poder, lujo y conflicto en la Corte de los Austrias. Coches, carrozas y sillas de mano, 1550-1700. Colección La Corte en Europa. Madrid: Ediciones Polifemo, 2007]

En Ica-Perú, cuando el colegio de San Luis Gonzaga (1776) era convento de los jesuitas, mandaron a enterrar sus tesoros a un esclavo, y que estando en el túnel “... quiso huir espantado por un ruido semejante al de temblor que sintió sobre su cabeza; pero los jesuitas lo tranquilizaron, diciéndole que tal ruido era producido por una calesa que pasaba por la calle”. [Tradiciones peruanas - Ricardo Palma]

De las conductas sociales hacia el ruido, encontramos relatos acerca de la ostentación del tamaño de los carruajes en la sociedad limeña, “La Castellanos no podía conformarse con que su rival metiese tanto ruido con motivo del paseo en carruaje” [Pues bonita soy yo, la Castellanos - Tradiciones peruanas – Ricardo Palma]

Existen algunos relatos de visitantes en la época de las colonias en América Latina, donde resaltaban que era imposible dormir la siesta durante las calurosas tardes de verano por los carruajes que llevaban agua a los vecinos adinerados: “Mucho antes de llegar a un punto determinado y aun sin verse, se oía el chirrido de sus ruedas anunciando la llegada. Dicho ruido se conocía como balido de la carreta”. [Tadeo Haenke en "Viaje por el virreinato del Río de la Plata" 1795]

Documentos del Virreinato del Río de la Plata, durante el gobierno del Virrey Juan José de Vértiz y Salcedo (1778-1783), mostraban preocupación por el ruido provocado por la tracción a caballo, donde obligaba a engrasar los ejes y colocar fundas de cuero (para suavizar el traqueteo) en las ruedas de las carretas que transportaban materiales y alimentos.

Lima, hacia 1713, era descrita por A. F. Frezier como una ciudad en la que sorprendentemente “pueden contarse como cuatro mil calesas jaladas por caballos o mulas”. Otro viajero, Tadeo Haenke, graficaba el fulgor limeño de 1801 a través de sus calesas charoladas, “las más costosas en este género de carruajes”. Época auroral del tráfico limeño al interior de las murallas donde las veredas adoquinadas eran al ras de las pistas. Es hacia la cuarta década del siglo XIX que entra en escena el *guardacantón* con el fin de proteger a los urbanos paseantes del raudo paso de los vehículos junto a ellos, que eran pequeños cañones del siglo XVIII enterrados con la culata hacia arriba en calles y esquinas.

Una conocida narración sobre la vida de José Gervasio Artigas (Libertador del Uruguay), a propósito de las crónicas sobre su nacimiento “9 de Junio de 1764. Comienza el invierno. El ruido de los carruajes, el galope de los caballos, las voces de la gente rompen, aquí y allá, la tranquilidad de la pequeña ciudad de San Felipe y Santiago de Montevideo. Un grupo de vecinos vestidos "a lo cabildante" va hacia la casa donde viven los Artigas. Al rato salen todos llevando un niño nacido dos días antes”. [La vida del héroe José Artigas. Narrada para niños]

Nicolás Francisco Cristóbal del Campo, Marqués de Loreto, siendo Virrey en el Río de la Plata (1784-1789), cuando se inició el primer pensamiento respecto al empedrado de las calles (que solicitaban los vecinos para evitar el hundimiento de los carruajes en el lodo durante las lluvias) se manifestó, entre otras razones, en contra del proyecto *por el peligro que corrían los edificios de desplomarse, por cuanto se moverían sus cimientos al pasar vehículos pesados sobre el empedrado* y aun daba otra razón, de mucho peso, en su opinión, y era que se tendría que gastar en poner llantas a las carretas y herraduras a los caballos, que valdrían más, decía, que los mismos caballos.

Otra crónica sobre la conducta hacia el ruido que perturba el descanso, “*Consideraba a Godoy un huésped exigente y egoísta, ... Godoy ocupaba el ala que daba a la plaza de Palacio y a la muralla de mar. Con el fin de que no le molestara el ruido de los carruajes y carretas que circulaban por la plaza mandó llenar de arena el pavimento, dificultando grandemente el tránsito de los viandantes.*” [Godoy y Barcelona (La figura del Ministro desde una perspectiva catalana) 1801]

Acerca del fin de la tranquilidad citadina por la aparición del transporte en colectivo de carruajes en la ciudad de Bogotá, “*La capital, recostada con negligencia en las faldas de Monserrate y Guadalupe, duró larguísimos años, viendo sus calles empedradas cubiertas de menuda yerba, ajena a todo ruido que no fuese el de los espantos nocturnos. Apenas circulaban por sus calles dos coches, el del Arzobispo y el del Virrey, que iban por la Alameda hasta poca distancia del convento de San Diego.*” [Isidoro Laverde, sobre la historia del transporte en Colombia]

De los problemas del ruido a la salud, una de las primeras publicaciones en habla hispana es de 1847 “*La buena policía urbana exige que los carruajes no atropellen por ningún término á los transeúntes que aquellos lleven de noche faroles encendidos que sus ruedas tengan llantas anchas á fin de no estropear el empedrado y no hacer tanto ruido etc. El ruido de los carruajes es mayor y mas incómodo de lo que se figuran muchos el que haya estado en Londres ó en Paris y pase luego á Venecia ó á Bilbao es quien podrá formarse idea de ello Por mi parte no vacilaría en prohibir absolutamente la circulación de carruajes dentro de poblado mas ya que se repugne la prohibición absoluta tolérense solo los mas precisos.*” [Elementos de higiene pública. Pedro Felipe Monlau. Barcelona 1847]

“512. *La buena policía sanitaria exige que el sueño de los moradores de una poblacion no sea turbado por causa alguna. En su consecuencia no se permitirá que de noche circulen carruajes por las calles y plazas. Las clases medias las clases jornaleras y los enfermos deben ser en esta parte atendidos con preferencia á unos cuantos individuos que tienen la costumbre de retirarse á media noche ó más tarde. Tanto de día como de noche causan los carruajes gran ruido en las ciudades (444) este ruido turba el sueño de los sanos y sobre todo es*

un tormento para muchos enfermos fiara minorar este inconveniente es bueno poner entre los piés de la cama y el pavimento de la alcoba unos discos de cartón de fieltro ó de otro cuerpo no sonoro La Autoridad puede cooperar al mismo intento adoptando el empedrado á la Mac Adam pág 82 ú otro que dé lugar á poco ruido cuando por él rueden los carruajes. En otro lugar 136 hemos mencionado la buena costumbre de barreras". [Elementos de higiene pública. Pedro Felipe Monlau. Barcelona 1847]

"521. Oído Este sentido cuya educación debe perfeccionarse en los gimnasios y en las escuelas de música y de canto reclama alguna consideración de la policía urbana. Por deferencia á la audición del público deben ser confinados á barrios excéntricos los caldereros los herreros los hojalateros los carpinteros los impresores de diarios que trabajan de noche las fábricas de puntas de Paris los drogueros que machacan substancias varias en morteros de metal etc. etc. Ya que se tolere el que las diligencias y los carromatos ó carros y galeras de transporte entren en la población causando inmenso ruido estropeando el empedrado y exponiendo á mil desgracias no se consienta al menos que salgan de noche y turben de este modo el reposo de los vecinos." [Elementos de higiene pública. Pedro Felipe Monlau. Barcelona 1847]

Memorias literarias que cuentan anécdotas, "Calle de Montchanin, mayo 18[89]. Eran las seis y media de la tarde: los cristales ligeros y mal sellados del apartamento producían unos tintineos insoportables en el oído, bajo la presión del ruido de las ruedas de los coches que circulaban sin descanso, como una oleada, sobre los gruesos pavés de la calzada." "... y en esta ocasión la sensibilidad del autor de Notre coeur no fue turbada por el ruido brusco que hacía temblar la débil fachada de la casa", [Nuevos recuerdos íntimos sobre Guy de Maupassant (Inéditos) Pierre Cogy. París 1962]

A propósito de los primeros vehículos motorizados, para el caso de Guatemala encontramos, "Ese día de finales de diciembre de 1905 corrían rumores de que había venido a Guatemala un extraño aparato llamado coche, o carro, ... Un extraño ruido comenzó a inundar el ambiente a tal grado que muchos caballos empezaron a relinchar. Ese ruido lo hacía un carruaje que, para sorpresa de muchos, no era halado por mulas ni caballos. Caminaba solo. No podían entender cómo se movía. Susurraban que era un invento diabólico o que el diablo estaba detrás ya que al moverse producía un gran ruido" [El primer automóvil en las calles de Guatemala. Mundo Motor Prensa Libre]

Respecto a la evolución del ruido en las ciudades hay historias muy particulares "Caracas (1847) torna melancólico al extranjero que se ha acostumbrado al ruido constante de las grandes ciudades; un silencio mortal reina en la ciudad semiderruída donde están ausentes el movimiento comercial e industrial y aun falta el ruido de los carruajes" "En 10 años de ausencia se encontraba a Caracas (1926) transformada ...poca cosa quedaba de la aldea tranquila y sosegada ...los vehículos se desplazaban con soltura ... Ahora el tráfico resultaba un tormento, las bocinas metían un ruido horrible, casi insoportable" [Allá en Caracas. L. Vallenill Lanz h. 1948]

Para el caso de Brasil, en la época de gloria de la explotación del caucho se propuso pavimentar las calles con este material, frente al teatro y zonas donde vivían los vecinos adinerados, para evitar las molestias de los ruidos de los tranvías a caballo.

En el Perú es bien conocida la actitud de tocar innecesariamente la bocina por parte de los conductores de vehículos, y principalmente los de transporte de pasajeros, donde personas mayores sostienen popularmente que esta conducta proviene de los años '20 ó '30, cuando la cantidad de vehículos y tranvías que circulaban por la ciudad de Lima iba en aumento y también los accidentes en las esquinas “por los peatones distraídos”, a raíz de esto fue que nació “la necesidad” de accionar la bocina en las esquinas, lo que se hizo costumbre y es parte del modo de conducir un vehículo por las calle de cualquier ciudad del Perú.

3. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

Por tratarse de un documento de dominio público que será divulgado tanto por la Universidad Ramón Llull como por la autora, se hace hincapié en el respeto a los Derechos de Autor de las publicaciones que se encuentran en libros e Internet, y dado el poco tiempo para conseguir la autorización para utilizar ciertas referencias directas, se traducirán las publicaciones oficiales [1] de la Organización Mundial de la Salud (OMS/OPS). Las referencias de autores pertenecen al documento original.

3.1. FUNDAMENTOS DE ACÚSTICA

3.1.1. Física del sonido

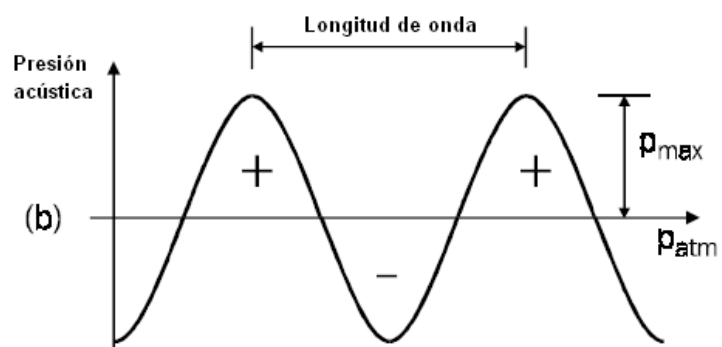
El ruido puede ser definido como “sonido molesto o no deseado” u otra perturbación. Desde el punto de la acústica sonido o ruido constituyen el mismo fenómeno de fluctuaciones de la presión atmosférica sobre la presión atmosférica promedio. Lo que puede ser sonido para una persona puede ser considerado como un ruido por otra cualquiera. El sonido (o ruido) es el resultado de variaciones de presión u oscilaciones en un medio elástico (por ejemplo agua, gas, aire), generados por una superficie vibrante o el flujo turbulento de un fluido. El sonido se propaga en forma de ondas longitudinales (en oposición a las transversales), comprendiendo en un medio elástico una serie de compresiones y expansiones (Fig. 3-1 a). Cuando una onda de sonido se propaga en el aire (el cual es el medio considerado en este Estudio), las oscilaciones en presión están por encima y por debajo de la presión atmosférica ambiente.

Figura 3-1: Representación de una onda de sonido

a) Compresiones y rarefacciones causadas en el aire por una onda sonora



b) Representación gráfica de las variaciones de presión por encima y debajo de la presión atmosférica



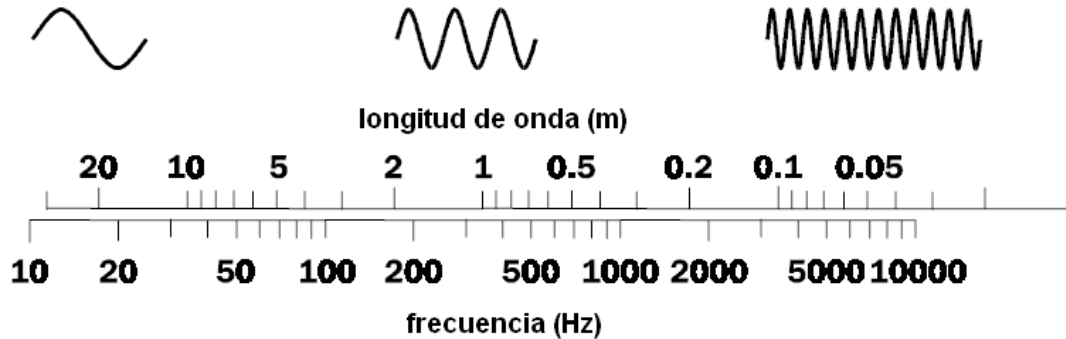
3.1.2. Amplitud, frecuencia, longitud de onda y velocidad

Una onda de sonido la cual consiste solamente de un tono puro está caracterizada por,

- a) **La amplitud o cambios de presión**, la cual puede ser descripta como la amplitud de la presión máxima, p_M , o la amplitud de la raíz media cuadrática (RMS), p_{rms} , y está expresada en pascuales (Pa).
- b) **La longitud de onda (λ)** es la distancia viajada por la onda de presión durante un ciclo.
- c) **La frecuencia, (f)** la cual es el número de ciclos por unidad de tiempo, de la variación de la presión en el medio (Fig. 3-2) o simplemente es el número de ciclos por segundo, y se expresa en hertz (Hz)

d) El periodo, (T) es el tiempo insumido por un ciclo de una onda para pasar a un punto, y está relacionado con la frecuencia por $T = 1/f$

Figura 3-2: Longitud de onda en el aire vs. frecuencia bajo condiciones normales (Harris 1991)

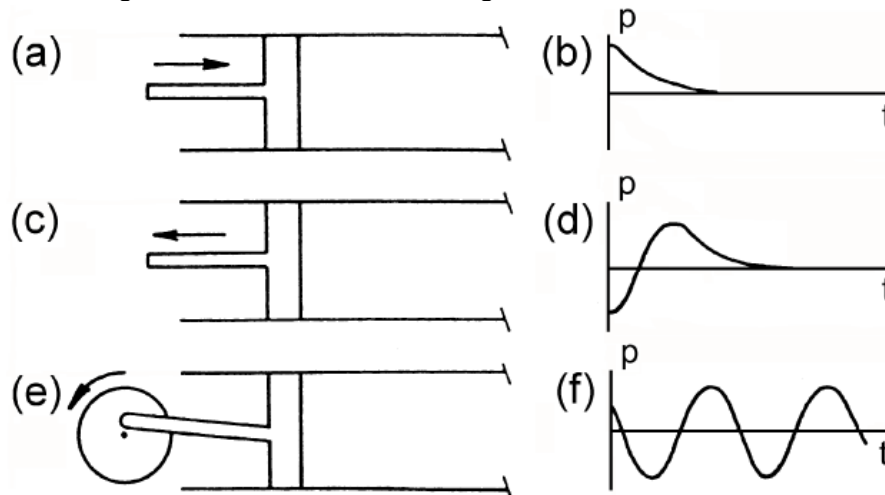


La velocidad de propagación c está relacionada por $c = f \lambda$

e) La velocidad de propagación, (c) de un sonido en el aire es de 343 m/s, a 20° C y una atmósfera de presión. A otras temperaturas (que no difieran mucho de 20° C) podría calcularse usando $c = 332 + 0,6 T_c$, donde T_c es la temperatura ambiente.

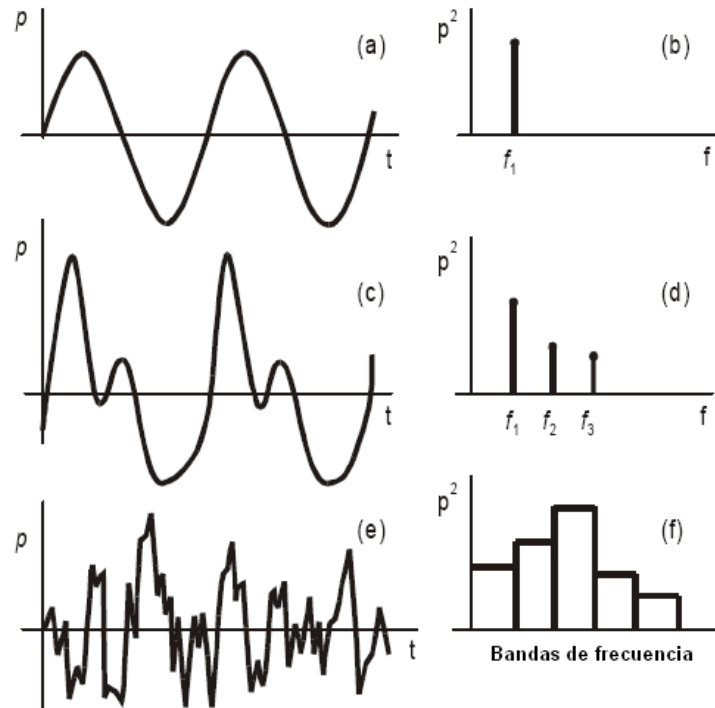
Para ilustrar la generación de una onda longitudinal, y también proveerá el modelo para describir un espectro, se usa el ejemplo del pistón vibrante al final de un tubo muy largo

Figura 3-3: Ilustración de la generación de un sonido



Si el pistón se moviera regularmente (movimiento armónico simple) se obtiene una onda sinusoidal de presión, pero si la velocidad fuera irregular y/o se detuviera y volviera a desplazarse, generaría un espectro diferente. En la figura siguiente se muestra la representación gráfica de este tipo de desplazamiento,

Figura 3-4:
Ilustración de análisis espectr



En la parte derecha se ve la representación en bandas de frecuencia del espectro, ya sea por transformada rápida de Fourier como de octavas de frecuencia.

3.1.3. Cuantificación del sonido

3.1.3.1. Nivel de presión sonora

El rango de presiones sonoras que puede escuchar el oído es muy grande. El umbral de audición se encuentra alrededor de los 20×10^{-6} Pa (o 2×10^{-10} atmósferas). Para un oído humano normal el dolor se experimenta alrededor de los 60 Pa (o 6×10^{-4} atmósferas).

Figura 3-5:
Escala de la presión en μ pascales vs. nivel de presión sonora

Sound level scale			
P (in μ PA)	dB	Subjective impression	Type of noise
200.000.000	140		Airplane take off at 50 m
	130		
20.000.000	120	Threshold of pain	Airplane take off at 300 m
	110	Tolerable for a short time	
2.000.000	100		Pneumatic hammer
	90	Very painful	Heavy trafficked street
200.000	80		
	70	Painful	Lively street
20.000	60		Common conversation
	50	Common	
2.000	40	Quiet	Library
	30		Forest
200	20	Very quiet	
	10		Acoustic laboratory
20	0	Threshold of hearing	

Como se puede apreciar en la figura anterior, el rango de audición es muy grande, con un intervalo de más de un millón de partes unitarias; a raíz de esto, es que se adoptó la escala logarítmica para “comprimirla”. El nivel de presión sonora queda expresado por

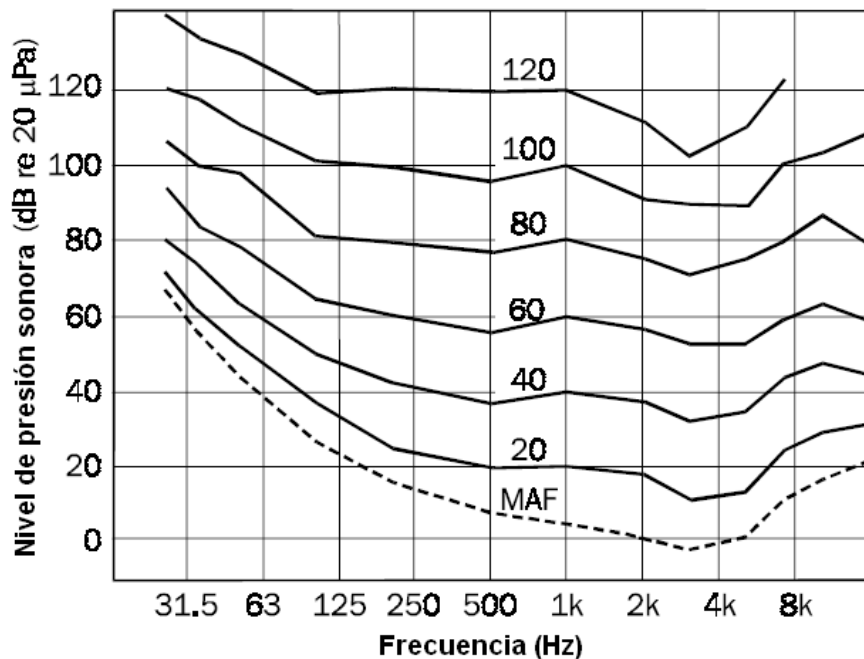
$$L_p = 10 \cdot \log \left(\frac{P}{P_0} \right)^2 \quad \text{Ecuación 3-1}$$

Donde p es la presión la cual se quiere conocer, p_0 es la presión de referencia de $20 \mu\text{Pa}$, y \log es el logaritmo decimal; la unidad utilizada para expresar el nivel de presión sonora es el decibel (dB).

3.1.3.2. Niveles de sonoridad

Tal como se vio anteriormente, la sensibilidad del oído depende fuertemente de la frecuencia, y cuando esta dependencia de la sensación de sonoridad fue descubierta y medida (Fletcher y Munson, 1933), se pensaba que utilizando una red de filtrado (o ponderación de frecuencia) adecuada sería posible medir esa sensación en forma objetiva. Esta red de filtrado tendría que atenuar las bajas y las muy altas frecuencias, dejando las medias casi inalteradas. Estas curvas han sido normalizadas (Fig. 3-6) y están publicadas en la ISO 226.

Fig. 3-6: Curvas de sonoridad ISO 226:2003



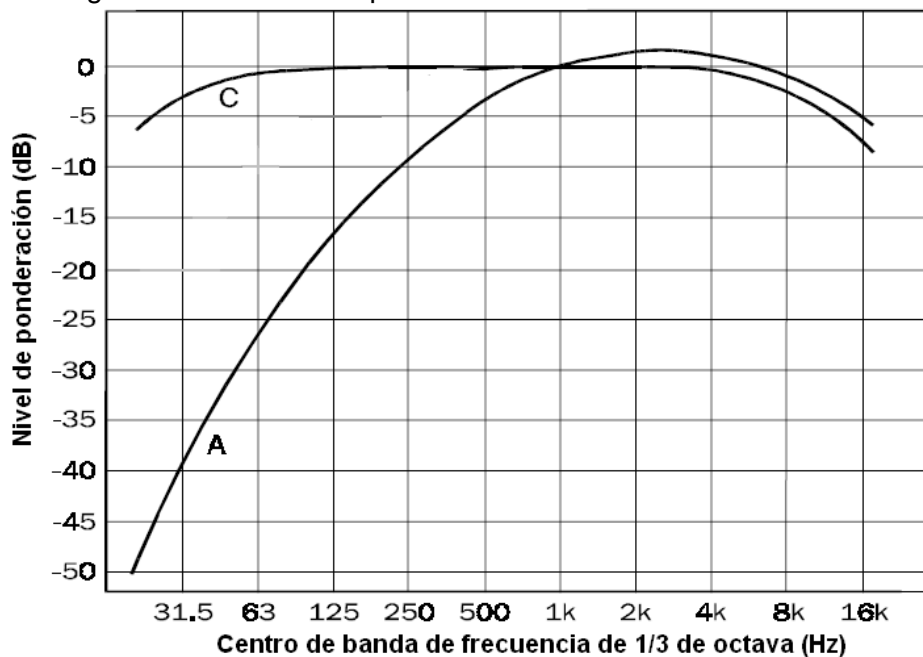
mientras que un sonido de 1 kHz y 0 dB ya es audible, es necesario llegar a los 37 dB para poder escuchar un tono de 100 Hz, y lo mismo es válido para sonidos de más de 16 kHz.

3.1.3.3. Nivel de presión sonora ponderado “A”

El nivel de presión sonora tiene la ventaja de ser una medida objetiva y bastante cómoda de la intensidad del sonido, pero tiene la desventaja de que está lejos de representar con precisión lo que realmente se percibe, tal como se estudió anteriormente.

Cuando a principios de la década de 1930 se quería desarrollar un instrumento que midiera el sonido, existieron algunas dificultades para implementarlo; el más obvio era que el oído se comporta de diferente manera con respecto a la dependencia de la frecuencia *para diferentes niveles físicos del sonido*. Por ejemplo, a muy bajos niveles, sólo los sonidos de frecuencias medias son audibles, mientras que a altos niveles, todas las frecuencias se escuchan más o menos con la misma sonoridad. Por lo tanto parecía razonable diseñar tres redes de ponderación de frecuencia correspondientes a niveles de alrededor de 40 dB, 70 dB y 100 dB, llamadas A, B y C respectivamente. La red de ponderación “A”, se aplicaría a los sonidos de bajo nivel, la red “B” a los de nivel medio y la “C” a los de nivel elevado (Fig. 3-7). El resultado de una medición efectuada con la red de ponderación A se expresa en decibeles “A”, abreviados dBA, y análogamente para las otras. Actualmente la curva de ponderación “B” ha sido descartada.

Figura 3-7: Curvas de ponderación normalizadas IEC 60651



En la figura anterior se puede observar el gran filtrado y atenuación que introduce la red de ponderación “A” en la gama de las bajas frecuencias, justo donde la mayor energía del espectro sonoro tienen las emisiones sonoras de los motores de los vehículos, entonces una vez más es necesario aclarar que el $L_{Aeq,T}$ no es un indicador suficiente de la molestia al ruido proveniente del tráfico de automóviles.

3.2. FUENTES DE RUIDO Y SU MEDICIÓN

Por tratarse de un documento de dominio público que será divulgado por la universidad de La Salle Universitat Ramon Llull y por la autora, se traducirán las publicaciones oficiales de la Organización Mundial de la Salud (OMS/OPS) que están suscriptas por el Estado Peruano, en este caso el *Guidelines for community noise* de 1999. Las referencias de autores pertenecen al documento original. La simbología y los descriptores de ruido se han actualizado de acuerdo a la NTP/ISO 1996-1:2007 y la NTP/ISO 1996-2:2008.

3.2.1. Aspectos básicos de las mediciones acústicas

La mayoría de las fuentes de *ruido ambiental* se pueden describir aproximadamente por una o varias mediciones simples del nivel de presión sonora. Todas se derivan de niveles de presión sonora totales, de la variación de estos niveles con tiempo y de la frecuencia de los sonidos. Ford (1987) hace un análisis más extenso de las varias medidas del *ruido ambiental*.

3.2.1.1. Nivel de presión sonora

El nivel de presión sonora es una medición de las vibraciones del aire que componen el sonido. Todas las presiones sonora medidas se refieren a una presión estándar que corresponde al umbral de la audición en 1 000 Hz. Así, el nivel de presión sonora indica cuánto mayor es el sonido medido que este umbral de la audición, que está alrededor de los 20 μPa , porque el oído humano puede detectar una amplia gama de los niveles de presión sonora entre los 10 a los 102 pascales (Pa), que se miden en una escala logarítmica y su unidad es el decibel (dB).

Los niveles de presión sonora de la mayoría de las fuentes de *ruido ambiental* varían con tiempo. Por lo tanto, en el cálculo de algunas mediciones de ruido, las fluctuaciones de la presión instantáneas, deben ser integradas sobre un cierto intervalo de tiempo. Para aproximar la integración de tiempo a nuestro sistema auditivo, los medidores de la presión sonora tienen un tiempo estándar de "reacción" rápido, que corresponde a un constante de tiempo de 0,125 s. Así, todas las mediciones de los niveles de presión sonora y su variación se deben hacer en un cierto intervalo de tiempo, usando la ponderación rápida, de proporcionar las medidas de la presión sonora más representativas del sistema auditivo humano. Los medidores de la presión sonora pueden también incluir un tiempo de "reacción" lento con un constante de tiempo de 1 s, pero su único propósito es que uno puede estimar más fácilmente el valor promedio de los niveles que fluctúan rápidamente. Muchos medidores modernos pueden integrar presiones sonoras durante períodos especificados de tiempo y proporcionar los valores promediados e integrados. No se recomienda que sea utilizado el tiempo de reacción lento cuando están disponibles medidores de la presión sonora integradores.

Como los niveles de presión sonora se miden en una escala logarítmica, no pueden ser adicionados o promediados aritméticamente por cálculos directos. Por ejemplo, la adición de dos sonidos de presión igual nivela resultados en un nivel de la presión total que sea solamente 3 dB mayor que cada nivel de presión sonora individual; por lo tanto, cuando se combinan dos sonidos el nivel de presión sonora resultante será perceptiblemente mayor que los niveles de sonido individuales, solamente si los dos sonidos tienen niveles similares de presión.

3.2.1.2. Frecuencia y ponderación en frecuencia

La unidad de frecuencia es el hertz (Hz), y se refiere al número de vibraciones por segundo de las partículas del aire en el cual el sonido está propagando. Para los sonidos con características de tono, la frecuencia se asocia a la percepción del timbre; por ejemplo, las orquestas afinan a menudo a la frecuencia de 440 Hz. La mayoría de los sonidos ambientales, sin embargo, se componen de una mezcla compleja de muchas frecuencias diversas, pueden o no pueden tener componentes discretas de frecuencia sobrepuestas en un espectro amplio de la frecuencia (es decir sonido con una gama amplia de frecuencias). La gama de frecuencia audible se considera normalmente que se extiende a partir de los 20 hasta los 20 000 Hz. Debajo de 20 Hz oímos pulsos sonoros individuales más que tonos reconocibles. La sensibilidad del sistema auditivo a frecuencias más altas disminuye con la edad y la exposición al ruido. Así, 20000 Hz representan el límite superior de la audición para oyentes más jóvenes que tienen el sistema auditivo "intacto".

Nuestro sistema auditivo no es igualmente sensible a todas las frecuencias del espectro sonoro (ISO serie 1996). De este modo, no todas las frecuencias se perciben con igual nivel de energía a un mismo nivel de presión sonora, y cuando se tiene que calcular el nivel de *ruido ambiental* global, será necesario considerar los sonidos en algunas frecuencias como más importantes que otros en otras frecuencias. Los análisis en frecuencia detallados se realizan comúnmente con los sistemas estándar de filtros de 1/1 o de 1/3 de octava de banda de frecuencia. Alternativamente, técnicas de la *transformada rápida de Fourier* u otros tipos de filtros se pueden utilizar para determinar las energías relativas de varias de las frecuencias que componen un *ruido ambiental* en particular.

Las redes de ponderación en frecuencia proporcionan un acercamiento más simple para ponderar la importancia de las diversas componentes de frecuencia en un solo número global. La ponderación "A" en frecuencia es la más utilizada en general, y se piensa que se aproxima a la respuesta de frecuencia de nuestro sistema auditivo; pondera las frecuencias más bajas como menos importantes que los sonidos medios y de alta frecuencia. La ponderación "C" en frecuencia, es también absolutamente de uso común y tiene una respuesta de frecuencia casi plana, con las frecuencias bajas y altas de los extremos atenuados. Cuando no es posible un análisis en frecuencia, la diferencia entre los niveles ponderados "C" y "A" dan una indicación de la cantidad del contenido de baja frecuencia en el ruido medido. Cuando el sonido tiene un contenido de tono obvio, una corrección para explicar la molestia adicional puede ser utilizada (ISO serie 1996).

3.2.1.3. Nivel sonoro continuo equivalente

Según el principio de igual energía, el efecto de una combinación de eventos de ruido se relaciona con la energía sonora combinada de esos eventos; de este modo (Ecuación 4.3-1), mediciones tales como el nivel de presión sonora continuo equivalente ($L_{Aeq,T}$) adiciona la energía total durante un cierto intervalo (t) de tiempo, y da un nivel equivalente a la energía sonora media durante ese periodo. Tales niveles equivalentes se basan generalmente en la integración de los niveles ponderados "A", así el $L_{Aeq,T}$ es el nivel promedio de la energía equivalente durante un período T del sonido ponderado "A".

$$L_{Aeq,T} = 10 \log \left[\frac{1}{T} \int_{t_0}^{t_1} \left(\frac{p_A(t)}{p_0} \right)^2 dt \right] \text{ dB} \quad \text{Ecuación 3-2}$$

3.2.1.4. Eventos individuales de ruido

Se desea a menudo para medir el nivel máximo (L_{Amax}) de eventos individuales de *ruido ambiental*. Para los tales casos como el ruido de una sola pasada de vehículo, los valores de L_{Amax} se deben medir usando el tiempo de “reacción” rápido porque dará una buena correlación con la integración de la sonoridad de nuestro sistema auditivo. Sin embargo, porque sonidos de impulso de la corta duración a menudo es deseable medir la amplitud máxima instantánea para determinar riesgo potencial del daño auditivo. Si la presión instantánea real no puede ser determinada, entonces el nivel pico integrado en el tiempo con una constante de tiempo no mayor a 0,05 ms puede ser utilizado (ISO serie 1996). Tales lecturas de pico se hacen a menudo, aplicando la ponderación en frecuencia “C” (o lineal).

Alternativamente, eventos sonoros discretos se pueden evaluar en términos de su nivel de exposición sonora ponderado “A” simbolizado como L_{AE} (SEL de su acrónimo en inglés). La cantidad total de energía sonora en un evento particular, puede ser determinada por el L_{AE} . Se pueden adicionar los valores de L_{AE} de eventos individuales para calcular un $L_{Aeq,T}$ durante un cierto intervalo de interés T. El L_{AE} en algunos casos puede proporcionar evaluaciones más consistentes de los eventos individuales del ruido, porque ellos se derivan de la historia completa del evento y no apenas de un valor máximo.

Sin embargo, las mediciones de L_{AE} ponderadas en “A”, han demostrado ser inadecuadas para determinar la sonoridad (percibida) de sonidos complejos con impulsos, tales como los de armas grandes y pequeñas (Berglund y otros 1986). En cambio, los valores de L_{AE} ponderados “C”, han sido encontrado útiles para categorizar los sonidos de impulso tales como disparos de armas (Vos 1996; Buchta 1996; ISO serie 1996).

3.2.1.5. Elección de la medición del ruido

El $L_{Aeq,T}$ se debe utilizar para medir sonidos continuos tales como el ruido proveniente del tráfico automotor, muchos tipos de ruidos industriales y ruido de sistemas de ventilación en edificios. Cuando hay eventos distintivos de ruido, por ejemplo el proveniente de aeronaves o el ruido ferroviario, las mediciones de los eventos individuales se deben obtener (usando, por ejemplo, L_{Amax} o L_{AE}), además del $L_{Aeq,T}$.

En el pasado, los niveles de sonido ambientales variables en el tiempo, también se han descrito en términos de niveles percentiles. Éstos se derivan de una distribución estadística de niveles de sonido medidos durante un cierto período. Por ejemplo, el $L_{A10,T}$ es el nivel ponderado “A” que se excedió el 10% del tiempo. Los valores $L_{A10,T}$ han sido ampliamente utilizados medir ruido del tránsito automotor, pero usualmente se encuentran altamente correlacionados con mediciones de eventos individuales, al igual que el L_{Amax} y el L_{AE} . El $L_{A90,T}$ o $L_{A95,T}$ se pueden utilizar como la medición general del nivel de presión sonora del ruido de fondo [Nota: actualmente denominado *sonido residual*] que excluye potencialmente la influencia de eventos particulares confusos de ruido locales.

3.2.2. Fuentes de ruido

Esta sección describe varias fuentes de ruido que pueden afectar a la comunidad. A saber, ruido de la industria, transporte, y de zonas residenciales y recreativas. Debe ser resaltado que a valores iguales de $L_{Aeq,T}$ para diversas fuentes, no implican siempre el mismo efecto previsto.

NOTA: Para este trabajo solamente se traduce lo relativo al transporte.

3.2.2.1. Ruido del transporte

El ruido del transporte es la fuente principal de contaminación de *ruido ambiental*, incluyendo tráfico de automóviles, tráfico ferroviario y tráfico aéreo. Como regla general, vehículos más grandes y más pesados emiten más ruido que vehículos más pequeños y más ligeros. Las excepciones incluyen: helicópteros y vehículos de 2 y 3 ruedas.

El ruido de los vehículos es generado principalmente por el motor y la fricción del contacto entre el vehículo y la tierra y el aire. En general, el ruido de rodadura excede al ruido del motor cuando la velocidad supera los 60 km/h. El principio físico responsable de la generación del ruido de contacto del neumático con el suelo no está bien entendido. El nivel de presión sonora proveniente del tráfico se puede predecir del flujo de circulación (aforo), de la velocidad de los vehículos, de la proporción de vehículos pesados, y de la naturaleza de la superficie de la carretera. Problemas especiales pueden presentarse en las áreas donde los movimientos del tráfico implican un cambio en velocidad y potencia del motor, por ejemplo en los semáforos, cerros, e intersección de caminos; o donde son desfavorables la topografía, las condiciones meteorológicas y bajos niveles de ruido de fondo (por ejemplo, áreas de montaña). [Nota: Actualmente al ruido de fondo se lo denomina *sonido residual*, ISO 1996-1:2003]

3.2.3. La complejidad del ruido y sus implicaciones prácticas

3.2.3.1. El problema

Uno tiene que considerar muchas características diversas para describir completamente los distintos tipos de *ruido ambiental*. Podemos considerar el nivel de presión sonora del ruido y cómo este nivel varía durante un profusión de períodos, de alcance a partir de algunos minutos o segundos, a las variaciones estacionales durante varios meses (tal como el sobrevuelo de aeronaves). Al mismo tiempo, el contenido en frecuencia de cada ruido también determinará su efecto sobre las personas, así como también el número de eventos cuando hay relativamente poca cantidad de eventos ruidosos discretos. Las combinaciones de estas características determinan cómo cada tipo de *ruido ambiental* afecta a la gente. Estos efectos pueden ser molestia, disturbio del sueño, interferencia del habla, incremento del estrés, sordera u otros efectos relativos a la salud.

Así, en total hay una relación multidimensional muy compleja entre varias características del ruido ambiental y los efectos que tienen sobre las personas. Desafortunadamente, no entendemos totalmente todas las conexiones complejas entre las características del ruido y los efectos resultantes sobre las personas. De este modo, la práctica actual es reducir el impacto del *ruido ambiental* a una pequeña cantidad de índices que sean conocidos para ser relacionados razonablemente bien a los efectos del ruido sobre las personas ($L_{Aeq,T}$ para los sonidos continuos y L_{Amax} o L_{AE} donde hay una pequeña cantidad de eventos distintivos de ruido). Estas mediciones simples tienen la ventaja particular que son relativamente fáciles y económicas de realizar, y por lo tanto son más probables de ser adoptadas extensamente. Por otra parte, se podrían ignorar algunos

detalles de las características del ruido que se relacionan con los tipos particulares de efectos sobre las personas.

3.2.3.2. Variación en el tiempo

Hay evidencia que el patrón de la variación del ruido se relaciona con el tiempo de la molestia (Berglund y otros 1976). Se ha sugerido que el principio de igual energía es un concepto simple para obtener una medición representativa de la molestia de un número de eventos de ruido. Por ejemplo, el $L_{Aeq,T}$ del ruido de una vía densa puede ser un buen indicador de la molestia que ese ruido puede causar a los residentes en la vecindad. Sin embargo, una sola medición puede no ser muy útil para predecir el disturbio del sueño, como por ejemplo el de una pequeña cantidad de pasadas de aeronaves muy ruidosas. El disturbio causado por una pequeña cantidad de tales eventos discretos es generalmente mejor relacionado con los niveles de presión sonora máximos y al número de eventos.

Mientras que el uso del $L_{Aeq,T}$ en las mediciones es el acercamiento generalmente aceptado, es todavía importante considerar las limitaciones y los errores que pueden ocurrir. Por ejemplo, mediciones de algunos años atrás, que evaluaron la variación de los niveles de presión sonora en el tiempo, eran populares. Posteriormente, ha sido demostrado que éstas no mejoraron las predicciones de la molestia del ruido de tráfico automotor (Bradley 1978). Sin embargo, es posible que las variaciones de tiempo pueden contribuir a explicar las muy diversas cantidades de molestia causadas a iguales niveles de ruido de tráfico de automóviles, del ruido del tren y del ruido de aviones del $L_{Aeq,T}$ (cf. & de Miedema; Vos 1998).

Se han encontrado variaciones más regulares de los niveles de presión sonora con el tiempo, que aumentan los aspectos molestos del ruido. Por ejemplo, los ruidos que varían periódicamente para crear una sensación de palpitación o de pulsación pueden ser más *disturbantes* que el ruido continuo (Bradley 1994b). Investigaciones sugieren que las variaciones aproximadamente de 4 por segundo, sean las mayores *disturbantes* (Zwicker 1989). Los ruidos con crecimientos rápidos podrían también ser más *disturbantes* de lo que indica su $L_{Aeq,T}$ (Berry 1995; Kerry y otros 1997).

Valores de $L_{Aeq,T}$ pueden ser calculados por varios periodos de tiempo, y es muy importante especificarlo. Es absolutamente común calcular valores del $L_{Aeq,T}$ separadamente para los periodos diurno y nocturno. En combinación de los niveles $L_{Aeq,T}$ de los periodos diurno y nocturno, se asumen generalmente que las personas serán más sensible al ruido durante el período nocturno. Una "penalización" se adiciona normalmente al valor del $L_{Aeq,T}$ del periodo nocturno, al calcular una medición combinada para un periodo de 24 horas. Por ejemplo, las mediciones de la presión sonora día-noche incluyen comúnmente una penalización en la noche de 10 dB. Se han propuesto otras penalizaciones para la noche, pero se ha sugerido que no es posible determinar exactamente un valor óptimo para las penalizaciones nocturnas, debido a la gran variabilidad en respuestas dentro de los grupos de personas en encuestas (Fields 1986; Berglund & Lindvall 1995). Las penalizaciones nocturnas tienen la intención de indicar el incremento de la sensibilidad prevista a la molestia nocturna, y no protegen a las personas contra el disturbio del sueño.

3.2.3.3. Contenido de frecuencia y sonoridad

El ruido también puede ser caracterizado por su contenido en frecuencia. Esto se puede evaluar por varios tipos de análisis de frecuencia para determinar las contribuciones relativas de las componentes de frecuencia en el ruido total. Los efectos combinados de diversas frecuencias sobre las personas, percibidos como ruido, se pueden aproximar por ponderaciones de frecuencia simples. La ponderación "A" es ampliamente utilizada ahora obtener una aproximación, en un número único de los efectos combinados de varias frecuencias. La respuesta de la ponderación "A" es una simplificación de una curva de igual sonoridad. Hay una familia de estas curvas de la igual sonoridad en las normas ISO. Estos métodos implican el determinar el nivel del sonido en las bandas críticas y del enmascaramiento mutuo de estas bandas.

3.2.3.4. Influencia del ruido ambiente

Un número de estudios han sugerido que el efecto de la molestia de un ruido particular depende de cuánto se excedió ese ruido el nivel de ruido de ambiente. Esto, para ser verdad, se ha demostrado para los ruidos que son relativamente constantes en nivel (Bradley 1993), pero no se ha encontrado consistente para los ruidos variables en el tiempo, tales como los de aeronaves (Gjestland y otros 1990; Fields 1998).

3.2.3.5. Tipos de ruido

Un número de estudios han concluido que a niveles iguales de energía de diversos tipos del ruido llevan a molestias diferentes (Hall et al 1981; Griffiths 1983; Miedema 1993; Bradley 1994a; & de Miedema; Vos 1998). Por ejemplo, niveles iguales de $L_{Aeq,T}$ de ruido de aeronaves y de ruido de vehículos no llevará a la misma molestia promedio en los grupos de personas expuestas a estos ruidos. Esto puede indicar que la medición en $L_{Aeq,T}$ no es una descripción totalmente satisfactoria de esos ruidos y quizás no refleja totalmente las características de esos ruidos que llevan a la molestia.

3.2.3.6. Diferencias individuales

Finalmente, existe el problema de las diferencias individuales a la respuesta. Diversas personas responderán absolutamente diferentemente al mismo estímulo del ruido (Job 1988). Estas diferencias individuales pueden ser absolutamente grandes y es a menudo más útil considerar la respuesta promedio de los grupos de personas expuestas a los mismos niveles de presión sonora. En estudios de la molestia el porcentaje de individuos altamente *molestados* se considera usualmente, porque se correlaciona mejor con los niveles de presión sonora medidos. Las diferencias individuales también existen para la susceptibilidad de hipoacusias (Katz 1994).

3.3. EFECTOS ADVERSOS DEL RUIDO EN LA SALUD

Por tratarse de un documento de dominio público que será divulgado tanto por la universidad de La Salle Universitat Ramon Llull y por la autora, se hace hincapié en el respeto a los Derechos de Autor de las publicaciones que se encuentran en libros e Internet, y dado el poco tiempo para conseguir la autorización para utilizar ciertas referencias directas, se traducirán las publicaciones oficiales de la Organización Mundial de la Salud (OMS/OPS) en este caso el *Community noise* (1995) y el *Guidelines for Community noise* (1999). Las referencias de autores pertenecen al documento original.

Las consecuencias de la contaminación acústica para la salud se describen en el capítulo 3 del documento *Guidelines for Community Noise* (1999), bajo diversos títulos según sus efectos específicos: deficiencia auditiva causada por el ruido; interferencia en la comunicación oral; trastorno del sueño y reposo; efectos psicofisiológicos, sobre la salud mental y el rendimiento; efectos sobre el comportamiento; e interferencia en actividades. También considera los grupos vulnerables y los efectos combinados de fuentes mixtas de ruido.

3.3.1. Efectos sobre la audición

La deficiencia auditiva se define como un incremento en el umbral de audición que puede estar acompañada de zumbido de oídos. La deficiencia auditiva causada por ruido se produce predominantemente en una banda de frecuencia de 3000 a 6000 Hz; el efecto más grande ocurre a 4000 Hz. Pero si el $L_{Aeq,8h}$ y el tiempo de exposición aumentan, la deficiencia auditiva puede ocurrir inclusive en frecuencias tan bajas como de 2000 Hz. Sin embargo, no se espera que ocurra en niveles de $L_{Aeq,8h}$ de 75 dBA o menos, aun cuando la exposición al ruido ocupacional sea prolongada.

En el nivel mundial, la deficiencia auditiva es el riesgo ocupacional irreversible más frecuente y se calcula que 120 millones de personas tienen problemas auditivos. En países en desarrollo, no sólo el ruido ocupacional sino también el ruido ambiental es un factor de riesgo para la creciente deficiencia auditiva. El daño en la audición también se puede deber a ciertas enfermedades, algunos productos químicos industriales, medicamentos ototóxicos, golpes en la cabeza, accidentes y factores hereditarios. El deterioro de la audición también se asocia al proceso de envejecimiento (presbiacusia).

El grado de deficiencia auditiva en poblaciones expuestas al ruido ocupacional depende del valor de $L_{Aeq,8h}$, número de años de exposición al ruido y la sensibilidad del individuo. La propensión a la deficiencia se da por igual en hombres y mujeres. Se espera que el ruido ambiental y de áreas recreativas con un $L_{Aeq,24h}$ de 70 dBA o menos no cause deficiencias auditivas, incluso después de una exposición durante toda una vida. El límite permisible de ruido para adultos expuestos al ruido ocupacional es de 140 dB y se estima que el mismo límite se aplica al ruido ambiental y de áreas recreativas. Sin embargo, en el caso de niños que usan juguetes ruidosos, la presión sonora máxima nunca debiera exceder de 120 dB. Para el ruido de disparos con niveles de $L_{Aeq,24h}$ por encima de 80 dBA, puede haber un mayor riesgo de deficiencia auditiva.

La principal consecuencia social de la deficiencia auditiva es la incapacidad para escuchar lo que se habla en la conversación cotidiana. Esto se considera una limitación social grave, incluso los valores mínimos de deficiencia auditiva (10 dB en una frecuencia de 2000 y 4000 Hz y en ambos oídos) pueden perjudicar la comprensión del habla.

3.3.2. El ruido interfiere en la comunicación oral

La mayor parte de energía acústica del habla está en la banda de frecuencia de 100 a 6000 Hz y la señal más constante es de 300 a 3000 Hz. La interferencia en el habla es básicamente un proceso de enmascaramiento, en el cual el ruido simultáneo impide la comprensión. El ruido ambiental también puede enmascarar otras señales acústicas importantes para la vida cotidiana, tales como el timbre de la puerta o del teléfono, la alarma de los relojes despertadores o contra incendios, otras señales de advertencia y la música.

La dificultad para entender la conversación cotidiana está influenciada por el nivel del habla, la pronunciación, la distancia entre el hablante y el oyente, las características del ruido circundante, la agudeza auditiva y el nivel de atención. En interiores, la comunicación se ve afectada por las características de reverberación de la habitación. El tiempo de reverberación de más de un 1 segundo produce una pérdida en la discriminación del habla y hace que la percepción sea más difícil. Para que los oyentes con audición normal entiendan una oración completa, la relación de la señal en relación con el ruido (es decir, la diferencia entre el nivel del habla y el nivel del ruido que interfiere) debe ser al menos 15 dBA. Debido a que el nivel de presión sonora de la comunicación normal es de aproximadamente 50 dBA, el ruido con niveles de 35 dBA o más interfiere en la comunicación oral en habitaciones más pequeñas. Para grupos vulnerables se requiere niveles de fondo menores y se recomienda un tiempo de reverberación por debajo de 0,6 segundos para una adecuada comprensión del habla, incluso en un ambiente tranquilo.

La incapacidad para comprender el habla genera problemas personales y cambios en la conducta. Los grupos particularmente vulnerables a las interferencias auditivas son los ancianos, los niños que están en el proceso de adquisición de la lengua y de la lectura y los individuos no familiarizados con el lenguaje que están escuchando.

3.3.3. Efectos sobre el sueño

El ruido ambiental produce trastornos del sueño importantes. Puede causar efectos primarios durante el sueño y efectos secundarios que se pueden observar al día siguiente. El sueño ininterrumpido es un prerrequisito para el buen funcionamiento fisiológico y mental. Los efectos primarios del trastorno del sueño son dificultad para conciliar el sueño, interrupción del sueño, alteración en la profundidad del sueño, cambios en la presión arterial y en la frecuencia cardíaca, incremento del pulso, vasoconstricción, variación en la respiración, arritmia cardíaca y mayores movimientos corporales. La diferencia entre los niveles de sonido de un ruido y los niveles de sonido de fondo, en lugar del nivel de ruido absoluto, puede determinar la probabilidad de reacción. La probabilidad de ser despertado aumenta con el número de eventos de ruido por noche. Los efectos secundarios o posteriores en la mañana o día(s) siguiente(s) son percepción de menor calidad del sueño, fatiga, depresión y reducción del rendimiento.

Para descansar apropiadamente, el nivel de sonido equivalente no debe exceder 30 dBA para el ruido continuo de fondo y se debe evitar el ruido individual por encima de 45 dBA. Para fijar límites de exposición al ruido durante la noche, se debe tener en cuenta la intermitencia del ruido. Esto se puede lograr al medir el número de eventos de ruido y diferenciar entre el nivel de sonido máximo y el nivel de sonido de fondo. También se debe prestar atención especial a las fuentes de ruido en un ambiente con bajos niveles de sonido de fondo; combinaciones de ruido y vibraciones y fuentes de ruido con componentes de baja frecuencia.

3.3.4. Efectos sobre las funciones fisiológicas

La exposición al ruido puede tener un impacto permanente sobre las funciones fisiológicas de los trabajadores y personas que viven cerca de aeropuertos, industrias y calles ruidosas. Después de una exposición prolongada, los individuos susceptibles pueden desarrollar efectos permanentes, como hipertensión y cardiopatía asociadas con la exposición a altos niveles de sonido. La magnitud y duración de los efectos se determinan en parte por las características individuales, estilo de vida y condiciones ambientales. Los sonidos también provocan respuestas reflejo, en particular cuando son poco familiares y aparecen súbitamente.

La presión arterial y el riesgo de hipertensión suelen incrementarse en los trabajadores expuestos a altos niveles de ruido industrial durante 5 a 30 años. Una exposición de largo plazo al ruido del tráfico con valores de $L_{Aeq,24h}$ de 65-70 dBA también puede tener efectos cardiovasculares. Si bien las asociaciones son débiles, el efecto es más fuerte en el caso de cardiopatía isquémica que en hipertensión. Esos pequeños incrementos de riesgo son importantes debido a la gran cantidad de personas expuestas.

3.3.5. Efectos sobre la salud mental

El ruido ambiental no causa directamente enfermedades mentales, pero se presume que puede acelerar e intensificar el desarrollo de trastornos mentales latentes. La exposición a altos niveles de ruido ocupacional se ha asociado con el desarrollo de neurosis, pero los resultados de la relación entre ruido ambiental y efectos sobre la salud mental todavía no son concluyentes. No obstante, los estudios sobre el uso de medicamentos, tales como tranquilizantes y pastillas para dormir, síntomas psiquiátricos y tasas de internamientos en hospitales psiquiátricos, sugieren que el ruido urbano puede tener efectos adversos sobre la salud mental.

3.3.6. Efectos sobre el rendimiento

Se ha demostrado que el ruido puede perjudicar el rendimiento de los procesos cognitivos, principalmente en trabajadores y niños. Si bien un incremento provocado del ruido puede mejorar el rendimiento en tareas sencillas de corto plazo, el rendimiento cognoscitivo se deteriora sustancialmente en tareas más complejas. Entre los efectos cognoscitivos más afectados por el ruido se encuentran la lectura, la atención, la solución de problemas y la memorización. El ruido también puede actuar como estímulo de distracción y el ruido súbito puede producir un efecto desestabilizante como resultado de una respuesta ante una alarma.

3.3.7. La exposición al ruido también afecta negativamente el rendimiento

En las escuelas alrededor de los aeropuertos, los niños expuestos crónicamente al ruido de aviones tienen problemas en la adquisición y comprensión de la lectura, en la persistencia para completar rompecabezas difíciles y en la capacidad de motivación. Se debe reconocer que algunas de las estrategias de adaptación al ruido de aviones y el esfuerzo necesario para desempeñar adecuadamente una tarea tienen su precio. Los niños que viven en áreas más ruidosas presentan alteraciones en el sistema nervioso simpático, lo que se manifiesta en mayores niveles de la hormona del estrés y presión sanguínea más elevada en estado de reposo. El ruido también puede producir deficiencias y errores en el trabajo y algunos accidentes pueden indicar un rendimiento deficiente.

3.3.8. Efectos sociales y sobre la conducta

El ruido puede producir varios efectos sociales y conductuales, así como molestia. Esos efectos a menudo son complejos, sutiles e indirectos y son resultado de la interacción de diversas variables no auditivas. El efecto del ruido urbano sobre la molestia se puede evaluar con cuestionarios o estudios del trastorno de actividades específicas. Sin embargo, se debe reconocer que niveles similares de ruido de tránsito o de la industria causan diferentes grados de molestia. Esto se debe a que la molestia en las personas varía no sólo con las características del ruido, incluida la fuente del ruido, sino que depende en gran medida de muchos factores no acústicos de naturaleza social, psicológica o económica. La correlación entre la exposición al ruido y la molestia general es mucho mayor en un grupo que en un individuo. El ruido por encima de 80 dBA también puede reducir la actitud cooperativa y aumentar la actitud agresiva. Asimismo, se cree que la exposición continua a ruidos de alto nivel puede incrementar la susceptibilidad de los escolares a sentimientos de desamparo.

Se han observado reacciones más fuertes cuando el ruido está acompañado de vibraciones y componentes de baja frecuencia o impulsos, como un disparo. Las reacciones temporales más fuertes ocurren cuando la exposición aumenta con el tiempo, en comparación con una exposición constante. En la mayoría de casos, $L_{Aeq,24h}$ y L_{dn} son aproximaciones aceptables de la exposición al ruido relacionada con la molestia. Sin embargo, es necesario evaluar individualmente todos los parámetros del componente en las investigaciones de exposición al ruido, al menos en los casos complejos. No existe consenso sobre un modelo para la molestia total debido a la combinación de fuentes de ruido ambiental.

3.3.9. Efectos combinados del ruido de fuentes mixtas sobre la salud

Muchos ambientes acústicos constan de sonidos provenientes de más de una fuente; es decir, existen fuentes mixtas y es común la combinación de efectos. Por ejemplo, el ruido puede interferir la comunicación oral durante el día y perturbar el sueño durante la noche. Estas condiciones se aplican sin duda a zonas residenciales con alta contaminación por el ruido. Por consiguiente, es importante considerar todos los efectos del ruido sobre la salud durante las 24 horas y aplicar el principio preventivo para el desarrollo sostenible.

3.3.10. Subgrupos vulnerables

Cuando se recomiendan reglamentos sobre ruidos o de protección contra ruidos, se deben considerar los subgrupos vulnerables de la población. En cada subgrupo, se deben considerar los diferentes efectos del ruido, sus ambientes y modos de vida específicos. Ejemplos de subgrupos vulnerables son las personas con enfermedades o problemas médicos específicos (por ejemplo, hipertensión); los internados en hospitales o convalecientes en casa; los individuos que realizan tareas cognitivas complejas; ciegos; sordos, fetos, bebés, niños pequeños y ancianos en general.

Las personas con problemas de audición son las más afectadas en lo que se refiere a la interferencia en la comunicación oral. La sordera leve en la banda sonora de alta frecuencia puede causar problemas con la percepción del habla en un ambiente ruidoso. La gran mayoría de la población pertenece al subgrupo vulnerable a interferencias en la comunicación oral.

3.4. EFECTOS ESPECÍFICOS SOBRE LA SALUD

Por tratarse de un documento de dominio público que será divulgado tanto por la Universidad Ramón Llull como por la autora, se traducirán las publicaciones oficiales de la Organización Mundial de la Salud (OMS/OPS) que están suscriptas por el Estado Peruano, en este caso el *Guidelines for Community noise* (1999). Las referencias de autores pertenecen al documento original.

3.4.1. Interferencia en la percepción del habla

Gran parte de la población es susceptible a interferencias en la comunicación oral y pertenece a un subgrupo vulnerable. Los más sensibles son los ancianos y las personas con problemas de audición. Incluso las deficiencias auditivas leves en la banda de alta frecuencia pueden causar problemas con la percepción del habla en un ambiente ruidoso. A partir de los 40 años, la capacidad de las personas para interpretar mensajes orales difíciles con poca redundancia lingüística se deteriora en comparación con personas de 20 a 30 años. También se ha demostrado que los altos niveles de ruido y una mayor reverberación tienen más efectos sobre los niños (que aún no han completado la adquisición del lenguaje), que sobre los adultos jóvenes.

Cuando se escuchan mensajes complicados (en la escuela, en lengua extranjera o en una conversación telefónica), la razón de la señal en comparación con el ruido debe ser al menos de 15 dB con un nivel de voz de 50 dBA. Ese nivel de ruido corresponde en promedio a un nivel casual de voz en hombres y mujeres ubicados a un metro de distancia. En consecuencia, para una percepción clara del habla, el nivel de ruido de fondo no debe ser mayor de 35 dBA. En aulas o salas de conferencias, donde la percepción del habla es de gran importancia, o para grupos sensibles, los niveles de ruido de fondo deben ser los más bajos posibles.

3.4.2. Deficiencia auditiva

El ruido que genera deficiencias auditivas no está restringido a situaciones ocupacionales. En los conciertos al aire libre, discotecas, deportes motorizados y de tiro, altavoces o actividades recreativas también se dan altos niveles de ruido. Otras fuentes importantes son los audífonos, así como los juguetes y fuegos artificiales que emiten ruido de impulso. La norma ISO de 1999 presenta un método para calcular la deficiencia auditiva provocada por el ruido en poblaciones expuestas a todo tipo de ruido (continuo, intermitente, de impulso) durante las horas de trabajo. Ese método también se debería usar para calcular la deficiencia auditiva causada por la exposición a ruidos ambientales y de actividades y recreativas. La norma ISO de 1999 implica que la exposición de largo plazo a niveles de ruido de $L_{Aeq,24h}$ de hasta 70 dBA no producirá deficiencias auditivas. Para evitar la pérdida de audición debido a la exposición a ruidos de impulso, las presiones sonoras máximas nunca deben exceder de 140 dB para adultos y de 120 dB para niños.

3.4.3. Trastornos del sueño

Los efectos cuantificables del ruido sobre el sueño se inician a partir de $L_{Aeq,T}$ de 30 dBA. Sin embargo, mientras más intenso sea el ruido de fondo, mayor será su efecto sobre el sueño. Los grupos sensibles incluyen principalmente a los ancianos, trabajadores por turnos, personas con trastornos físicos o mentales y otros individuos con dificultades para conciliar el sueño.

El trastorno del sueño debido a sucesos de ruido intermitente aumenta con el nivel máximo de ruido. Incluso si el nivel total de ruido equivalente es bastante bajo, unos pocos sucesos de ruido con un alto nivel de presión sonora máxima afectará

el sueño. Por ende, para evitar trastornos del sueño, las normas para el ruido urbano se deben expresar en función del nivel sonoro equivalente del ruido, de los niveles máximos de ruido y del número de sucesos de ruido. Se debe observar que el ruido de baja frecuencia, por ejemplo, de los sistemas de ventilación, puede perturbar el reposo y sueño aun en niveles bajos de presión sonora.

Cuando el ruido es continuo, el nivel de presión sonora equivalente no debe exceder 30 dBA en interiores, si se desea evitar efectos negativos sobre el sueño. Incluso para el ruido con una gran proporción de sonidos de baja frecuencia, se recomienda un valor guía inferior. Cuando el ruido de fondo es bajo, el ruido por encima de 45 dB L_{Amax} debe ser limitado y para las personas sensibles se prefiere un límite mucho menor. Se cree que la mitigación del ruido en la primera parte de la noche es un medio efectivo para ayudar a las personas a conciliar el sueño. Se debe señalar que el efecto del ruido depende en parte de la naturaleza de la fuente. Un caso especial son los recién nacidos que están en incubadoras, para quienes el ruido puede causar trastornos de sueño y otros efectos sobre la salud.

3.4.4. Adquisición de la lectura

La exposición crónica al ruido durante la primera infancia puede dificultar la adquisición de la lectura y reducir la motivación. Las pruebas indican que mientras mayor sea la exposición, mayor será el daño. Existe una reciente preocupación por los cambios físicos y fisiológicos concomitantes (presión arterial y nivel de la hormona del estrés). Todavía no existe información suficiente sobre esos efectos como para establecer valores guía específicos. Sin embargo, está claro que las guarderías infantiles y las escuelas no deben estar cerca de fuentes de ruido significativas, como las carreteras, aeropuertos y fábricas.

3.4.5. Molestia

La capacidad de un ruido para provocar molestia depende de sus características físicas, incluido el nivel de presión sonora, espectro y variaciones de esas propiedades con el tiempo. Durante el día, pocas personas se sienten altamente perturbadas por niveles de $L_{Aeq,T}$ por debajo de 55 dBA, y pocas se sienten moderadamente perturbadas con niveles de $L_{Aeq,T}$ por debajo de 50 dBA. Los niveles de sonido durante la tarde y la noche deben ser 5 a 10 dB menos que durante el día. El ruido con componentes de baja frecuencia requiere valores guía inferiores. Para el ruido intermitente, se debe considerar el nivel máximo de presión sonora y el número de sucesos de ruido. Las guías o medidas para reducir el ruido también deben tomar en cuenta las actividades residenciales al aire libre.

3.4.6. Comportamiento social

Los efectos del ruido ambiental se pueden determinar al evaluar su interferencia en el comportamiento social y otras actividades. Los ruidos urbanos que interfieren el descanso y la recreación parecen ser los más importantes. Existen pruebas consistentes de que el ruido por encima de 80 dBA reduce la actitud cooperativa y que el ruido fuerte también aumenta el comportamiento agresivo en individuos predispuestos a la agresividad. También existe la preocupación de que los altos niveles de ruido crónico contribuyan a sentimientos de desamparo entre los escolares. Se requiere mayor investigación para elaborar guías sobre este tema y sobre los efectos cardiovasculares y mentales.

3.5. Instrumentos de medición y el dBA

3.5.1. Los primeros instrumentos de medición sonora

La medición del ruido no fue de interés sino hasta principios del siglo 20. El primer medidor de sonido (*motional impedance*) fue reportado en 1907 por George W. Pierce (quien estaba interesado en analizar los sonidos de los insectos) en la publicación de la Academia Americana de Artes y Ciencias; el dispositivo no evolucionó demasiado teniendo un salto cuantitativo con la aparición de micrófonos estables, que eran utilizados para sonorizar las películas [20] [27].

Recién a principios de 1930 Paul Sabine presentó el primer medidor de nivel de sonido, permitiendo definir las bases para medir el nivel de la presión sonora, que lo llamaron “acustímetro” [27].

En 1932 el Instituto de Estandarización Nacional Americano (ANSI) convocó a la Sociedad Americana de Acústica (ASA) para conformar el grupo Z-24, y normalizar la terminología acústica y sus mediciones.

Determinaron que el nivel de la presión sonora tiene la ventaja de ser una medida objetiva y que es bastante cómodo representar la intensidad del sonido, pero con la desventaja de que está lejos de representar con precisión lo que realmente se percibe; esto se debe a que la sensibilidad del oído depende fuertemente de la frecuencia; en efecto, mientras que para igualar un sonido de 1 kHz a 40 fonos es necesario subir a 37 dB para poder escuchar un tono de 100 Hz con 40 fonos [8].

3.5.2. Curvas de corrección para obtener mediciones objetivas

Unos investigadores ingleses Fletcher y Munson publican los resultados de sus investigaciones [*Loudness, Its Definition, Measurement and Calculation*, J. Acoust. Soc. Am., 5, pp. 82-108 (1933)] donde determinan unas curvas de sonoridad a distintos niveles sonoros; en 1936 se publica la Norma *American Tentative Standards for Sound Level Meters Z24.3-1936 for Measurement of Noise and Other Sounds*.

Cuando esta dependencia de la frecuencia de la sensación de sonoridad fue descubierta y medida por dichos investigadores, se pensaba que utilizando una red de filtrado (o ponderación de frecuencia) adecuada sería posible medir esa sensación en forma objetiva. Esta red de filtrado tendría que atenuar las bajas y las muy altas frecuencias, dejando las medias casi inalteradas; en otras palabras, tendría que intercalar unos “controles de graves y agudos” al mínimo antes de realizar la medición.

Había, sin embargo, algunas dificultades para implementarlas en un instrumento o sistema de medición, el más obvio era que el oído “se comporta” de diferente manera con respecto a la dependencia de la frecuencia *para diferentes niveles físicos del sonido*; por ejemplo, a muy bajos niveles, sólo los sonidos de frecuencias medias son audibles, mientras que a altos niveles, todas las frecuencias se escuchan más o menos con la misma sonoridad; por lo tanto, parecía razonable diseñar al menos tres redes de ponderación de frecuencia.

Entonces, a cada curva de ponderación en frecuencia correspondería un nivel de presión sonora de referencia que se deseaba registrar:

- La curva “C” era para niveles altos (100 fonos ó 100 dB a 1 kHz).
- La curva “B” para niveles medios (70 fonos ó 100 dB a 1 kHz).
- La curva “A” para niveles bajos (40 fonos ó 100 dB a 1 kHz).

Dichas ponderaciones, además de adecuar cada banda de frecuencia a la respuesta del oído, a distintos niveles de presión sonora, cumplían una función muy útil para la época, que era la de entregar un valor único que se correspondía a la suma energética de todas las bandas del “sonido medido”.

3.5.3. Los niveles sonoros y las curvas de ponderación

Con dicho criterio técnico, para completar una medición era necesaria una suerte de recursividad [8]:

- a) Primero, había que obtener un valor aproximado para decidir cuál de las tres redes había que utilizar, y luego realizar la medición con la ponderación adecuada.
- b) Segunda dificultad importante, proviene del hecho de que las curvas de Fletcher y Munson (al igual que las finalmente normalizadas por la ISO), son sólo promedios estadísticos, con un desvío estándar bastante grande. Esto significa que los valores obtenidos son aplicables a poblaciones y no a individuos específicos. Más aún, son aplicables a poblaciones jóvenes y otológicamente normales, ya que las mediciones se realizaron con personas de dichas características.
- c) Tercera dificultad, tiene que ver con el hecho de que las curvas de Fletcher y Munson fueron obtenidas para tonos puros, es decir, sonidos de una sola frecuencia, los cuales son muy raros en la naturaleza. La mayoría de los sonidos de la vida diaria, tales como el ruido ambiental, la música o la palabra, contienen muchas frecuencias simultáneamente; esta ha sido tal vez la razón principal por la cual la intención original detrás de las ponderaciones A, B y C fuese un fracaso.

Estudios posteriores mostraron que el nivel de sonoridad, es decir la magnitud expresada en una unidad llamada fon que corresponde al nivel de presión sonora (en decibeles sin ponderación) de un tono de 1 kHz igualmente sonoro, no constituía una auténtica escala. Por ejemplo, un sonido de 80 fon no es el doble de sonoro que uno de 40 fon. Se creó así una nueva unidad, el son, que podía medirse usando un analizador de espectro (instrumento de medición capaz de separar y medir las frecuencias que componen un sonido o ruido) y algunos cálculos ulteriores. Esta escala, denominada simplemente como sonoridad, está mejor correlacionada con la sensación subjetiva de sonoridad, y por ello la ISO normalizó el procedimiento.

Tal como vemos, el estudio de Fletcher y Munson fue revisado muchas veces, con la intención de crear nuevas curvas y desestimar las de ellos, pero las investigaciones conducidas no hallaron diferencias significativas; las más importantes fueron las de Chucher y King en 1937, y la de Robinson y Dadson en 1956. Más tarde las curvas fueron normalizadas por el Organismo Internacional de Estandarización (ISO):

- en la Norma ISO 532:1975 *Acoustics - Method for calculating loudness level* se presentan los cálculos para determinar la sonoridad. Esta Norma se encuentra bajo revisión desde 2006 (*Acoustics - Method for calculating loudness level - Part 1: Loudness of steady sound*),
- en la Norma ISO/R 226:1961 *Normal equal-loudness contours for pure tones and normal threshold of hearing under free field listening conditions*; siendo la actual vigente la versión ISO 2206:2003 *Acoustics - Normal equal-loudness-level contours*

Para la última versión de la ISO 226 (2003) se utilizaron resultados estadísticos de estudios de diversos países (EEUU, Francia, Japón, Alemania, etc.), para

obtener curvas isofónicas que representen diversos grupos culturales, ya que es erróneo suponer que personas con distintos antecedentes de género, edad y raza, tengan algún grado de influencia en los resultados para determinar las curvas a distinta sonoridad.

3.5.4. Razones por las cuales se “estandarizó” el uso de la curva “A”

Como vimos anteriormente, y no es difícil de suponer la complejidad intrínseca de medir la intensidad de un sonido mediante las curvas de sonoridad, que tanto el mercado de potenciales usuarios como de fabricantes, se inclinen por una opción fácil y rápida para medir el sonido. Es entonces que en los '50 la ISO define en dos pasos la medición del sonido:

- Paso 1:** Un método simple que fácilmente pueda ser implementado con las técnicas disponibles en todo el mundo, sin ser muy caras, de medición directa de la curva “A”. La ISO advirtió el hecho que produciría y aún obtener resultados inadecuados en control de ruido.
- Paso 2:** el siguiente, además de la simple medición en decibeles “A”, era el de determinar con exactitud los valores de la sensación humana de la sonoridad.

Ambos pasos fueron incluidos en el método de cálculo en la ISO 532, pero de más está deducir que la industria adoptó el primer paso como si fuese un método único.

3.5.5. Problemas de correlacionar mediciones en “A” con la subjetividad

Significa entonces que, por más de 70 años se ha estado midiendo el sonido con un criterio no si bien erróneo, pero sí incompleto, ya que como vimos la curva de ponderación “A” solamente se correlaciona con sonidos de 40 fonos con una “posible extensión hasta los 70 fonos”, para ser más exactos por debajo de los 60 dBA, sin olvidar que es una sonoridad a respuesta de tonos puros.

Como se observa en la Fig. 3-7, la curva de ponderación “A” introduce una fuerte atenuación en las bajas frecuencias del espectro sonoro, resultando que la utilización de esta curva “no representa” el verdadero nivel sonoro en dicha gama, y si consideramos que la mayor energía sonora de las emisiones de un vehículo se encuentra en esa región, la utilización directa de una medición en dBA para analizar su molestia por el ruido en las persona NO es de utilidad, es por esto que se recurre a la aplicación de otros cálculos y métodos para estimar un valor objetivo para correlacionar la molestia.

3.6. Estudios y encuestas sobre molestia por ruido e indicadores objetivos

En un trabajo comparativo de Federico Miyara [9], en su introducción presenta una interesante disquisición sobre el tema:

Se han realizado gran cantidad de investigaciones sobre las molestias ocasionadas por el ruido. La mayor parte de los estudios ha procurado obtener relaciones cuantitativas que permitieran predecir la molestia a partir de mediciones objetivas del ruido. En otros casos se ha procurado establecer vinculaciones con afecciones a la salud relacionadas con la molestia, por ejemplo, trastornos psicológicos como el estrés.

Probablemente muchos trabajos exhaustivos han sido impulsados por investigaciones encomendadas a la Agencia de Protección Ambiental norteamericana (EPA). Sin embargo, se han efectuado estudios de ruido ya en 1925, y, posteriormente, en 1929, cuando la Comisión de Lucha Contra

el Ruido hizo la primera determinación de ruido en la ciudad de Nueva York.

A fines de los años '50, surgieron los primeros movimientos vecinales en EEUU de personas que vivían en los alrededores de los aeropuertos, para lo cual la FAA comenzó a realizar mediciones de larga duración del nivel sonoro continuo equivalente de 1 hora hasta de 8 horas, que ya eran utilizadas en los hangares para registrar el nivel sonoro en los lugares de trabajo.

En 1972 por ley del Congreso de los EEUU, que solicitó a la Agencia de Protección Ambiental (EPA) determinar los niveles de ruido aceptables para proteger la salud y el bienestar publicándose, en 1974, los resultados de sus investigaciones en el famoso *Documento de los niveles* (Levels document), donde se presentan agrupados los distintos descriptores de ruido ambiental.

Algunos de esos descriptores fueron desarrollados por la FAA en los '60 [11], quienes utilizaban el nivel sonoro día-noche Ldn el cual le aplicaban una corrección adicionando 10 dB al NSCE nocturno

$$L_{dn} = 10 \log_{10} \left[\left(\frac{1}{24} \right) \left(\sum_{01:00}^{07:00} 10^{0,1*(L_{h(i)}+10)} + \sum_{08:00}^{22:00} 10^{(0,1*L_{h(i)})} + \sum_{23:00}^{24:00} 10^{0,1*(L_{h(i)}+10)} \right) \right] \quad \text{Ecuación 3.6-1}$$

El cual también se puede calcularse a partir del NSCE correspondiente a cada periodo horario de la siguiente forma,

$$L_{dn} = 10 \log_{10} \left[\left(\frac{1}{24} \right) \left(15 * 10^{0,1*Ld} + 9 * 10^{0,1*Ld+10} \right) \right] \quad \text{Ecuación 3.6-2}$$

Siendo el Ld el NSCE registrado entre las 07:01 y 22:00 hs, y el Ln el NSCE registrado entre las 22:01 y 07:00 hs del día siguiente.

Es entonces que se desarrollaron una serie de descriptores de ruido en varios países, con mediciones de largo plazo para correlacionar las molestias subjetivas de las personas dependiendo de la zonificación sonora. Una de las conclusiones del *Levels document* acerca de esto son las siguientes:

1. Debe poder aplicarse a la evaluación del ruido en varios ámbitos de percepción y durante períodos largos de tiempo
2. Debe exhibir una buena correlación con los efectos individuales y públicos del ruido.
3. Debe ser simple y precisa. Debería servir al mismo tiempo para planificación para límites reglamentarios y para monitoreo.
4. El instrumento capaz de medirlo debe ser normalizado y estar disponible comercialmente.
5. El indicador debería estar relacionado con los métodos habituales.
6. El valor del indicador debería ser predecible a partir del conocimiento de las fuentes y los fenómenos físicos causantes del ruido.
7. El indicador debería poder medirse con monitores autónomos ubicados en espacios públicos durante tiempos prolongados.

Según el documento *Position paper on EU noise indicators* emitido por la Comisión Europea, los indicadores deberían tener varios atributos para su

adopción generalizada. El primero de ellos es la validez, es decir que se correlacione con los efectos que se pretenden controlar. Debe tenerse en cuenta que el objetivo de estos indicadores es, en la mayoría de los casos, fijar una base numérica sobre la cual regular, controlar, reprimir o prevenir actividades causantes de ruido, de allí que los efectos a considerar dependan de cuestiones contextuales y políticas además de técnicas. Por ejemplo, en ambientes laborales, particularmente en ciertos tipos de industria, es muy difícil lograr niveles de ruido muy bajos, por lo cual los efectos pertinentes son el daño auditivo y otras enfermedades derivadas de la exposición a ruidos intensos (estrés, hipertensión, daños de la voz, etc.). En estos casos hay recursos para detectar tempranamente los individuos más lábiles o susceptibles. En ambientes urbanos, donde está en juego una población mucho más extensa (y sobre la cual es impráctica la realización de exámenes otológicos periódicos), los criterios son siempre más exigentes, prestándose atención a efectos tales como la molestia.

El segundo atributo es la aplicabilidad práctica, es decir la facilidad para calcularlo a partir de mediciones efectuadas con equipamiento ampliamente disponible. Esto conlleva la desventaja de que los equipos más difundidos permiten medir el nivel sonoro ponderado y el nivel equivalente, lo cual restringe otras posibilidades.

Otros atributos son la transparencia, es decir que resulte sencillo de explicar y usar, la consistencia con las prácticas habituales más ampliamente difundidas, y la factibilidad de su uso para comprobación de cumplimiento o no de límites reglamentarios.

En el *Position paper on EU noise indicators* publicado por la Comisión Europea [2] se propone como indicador recomendado para los informes sobre ruido en toda la Unión Europea

$$L_{dn} = 10 \log_{10} \left[\left(\frac{1}{24} \right) \left(\sum_{06:00}^{18:00} 10^{(0,1 * L_{h(i)})} + \sum_{18:00}^{22:00} 10^{0,1 * (L_{h(i)} + 5)} + \sum_{22:00}^{06:00} 10^{0,1 * (L_{h(i)} + 10)} \right) \right] \quad \text{Ecuación 3.6-3}$$

Se puede ver que la ecuación 3.6-3 de la UE es similar a la 3.6-1 de la EPA de los EEUU; en resumen, en ambos casos, representativos de:

- dos momentos históricos,
- dos contextos políticos y
- dos situaciones geográficas diferentes,

se adoptan indicadores similares que tienen en cuenta muy especialmente la disponibilidad masiva del equipamiento y la conveniencia de atenerse a la tradición. Las ventajas son varias: simplicidad, aprovechamiento de resultados anteriores, comparabilidad de estudios, etc. La desventaja es un estancamiento histórico considerable, al desaprovechar las posibilidades que brinda actualmente la tecnología digital y de procesamiento con descriptores de ruido adicionales [9].

3.7. Descripción de las categorías vehiculares

De acuerdo a la Directiva N° 002-2006-MTC/15 *Clasificación vehicular y estandarización de características registrables vehiculares*, la identificación es la siguiente

Tabla 3-1: Clasificación vehicular por categoría

Categoría	Descripción
L3	Vehículos de 2 ruedas de más de 50 cm ³ o velocidad mayor a 50 km/h
L5	Vehículos de 3 ruedas simétricas al eje longitudinal del vehículo, de más de 50 cm ³ o velocidad mayor a 50 km/h
M1	Vehículos de 8 asientos o menos sin contar el asiento del conductor
M2	Vehículos de más de 8 asientos sin contar el del conductor y peso bruto vehicular de 5 t o menos. Construidos con áreas para pasajeros de pié permitiendo el desplazamiento frecuente de éstos
M3	Vehículos de más de 8 asientos sin contar el del conductor y peso bruto vehicular de más de 5 t. Construidos con áreas para pasajeros de pié permitiendo el desplazamiento frecuente de éstos
N1	Vehículos de peso bruto vehicular de 3,5 t o menos
N2	Vehículos de peso bruto vehicular de 3,5 t hasta 12 t
N3	Vehículos de peso bruto vehicular mayor a 12 t

4. MEDICIÓN SUBJETIVA. ENCUESTAS

A lo largo de decenas de años de investigación en acústica ambiental, se ha demostrado que el ruido urbano depende de numerosas variables de diversa naturaleza y por ende, deben ser tratados como un fenómeno estadístico. Para ello será imprescindible establecer técnicas de muestreo basadas en criterios con aspectos que satisfagan la mayor cantidad de resultados objetivos que se quieran obtener.

Con el resultado de las encuestas, se trata de estudiar la exposición de niveles sonoros de ruido cotidiano al margen de la situación laboral de una persona; es del ruido originado por el tránsito vehicular, y de los urbanos en general, y de otras muchas otras fuentes. Lo que se trata de analizar es la respuesta de la comunidad, en lo referente al ruido o sus fuentes. Esta definición *a priori* difumina la distinción entre actitudes y conductas, ya que lo que la comunidad hace, puede ir desde absolutamente nada hasta quejas, protestas, debates políticos, retos normativos, otros.

4.1. Método de selección de los puntos testigos

Aunque los criterios utilizados en las mediciones de ruido ambiental por diversas investigaciones son muchos, y no hay un acuerdo tácito sobre cuál es el mejor, simplemente porque algunos son de fácil aplicación en una sociedad determinada e imposible de trasladarlo a otra, inclusive dentro de un mismo país; un resumen de las diferentes técnicas aplicables serían:

- a) Muestreo al azar,
- b) muestreo estratificado
- c) muestreo orientado hacia el receptor
- d) muestreo orientado hacia la fuente.

4.1.1. Muestreo orientado hacia el receptor

Para el caso del estudio realizado, uno de los objetos era conocer el impacto en la salud de la población, por el ruido proveniente de automóviles, y su influencia en lo económico, es que se aplicó el criterio de elegir los puntos "orientados hacia el receptor", donde se suele utilizar en los estudios cuyo objeto fundamental es evaluar la exposición al ruido de una clase de categoría particular de "receptores urbanos".

El principal interés se centró, entonces, en establecer una muestra que fuese representativa de las personas expuestas al ruido proveniente de los automóviles, y no tanto de obtener una muestra representativa de los niveles sonoros existentes en los entornos cercanos a los puntos testigos.

4.1.2. Criterios de selección

Se efectuaron mediciones sonoras en varios puntos de cada ciudad, y los criterios de selección de los puntos testigos fueron los siguientes:

- a) Teniendo en cuenta las vías más representativas del flujo vehicular,
- b) según clasificación vehicular,
- c) lugares vulnerables al ruido como los hospitales, centros educativos, clínicas,
- d) zonas residenciales de distinto nivel socio-económico.

Es evidente que las viviendas son la categoría más importante, dado que en ella las personas suelen pasar más tiempo; otra son los edificios con personas vulnerables al ruido (hospitales, escuelas, etc.); los peatones y las personas que

circulan por el lugar y/o trabajan en las cercanías también están expuestos al riesgo auditivo, como consecuencia de desplazarse por las veredas aledañas.

4.2. Ciudades donde se realizaron los estudios

El estudio se realizó en tres ciudades del Perú, que fueran representativas de las características geográfico-climáticas:

Tabla 4-1: Ciudades testigo para el estudio

Región	Ciudad	Población *	Cantidad de encuestas determinadas estadísticamente	Cantidad de encuestas realizadas 100% efectivas
Costa	Lima – Callao	8.482.619	543	2.780
Selva	Pucallpa (Coronel Portillo)	333.890	217	720
Sierra	Huancayo	466.346	282	840

* Los datos son del Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI) del Perú, resultados del Censo de Población y Vivienda de 2007 (CPV2007).

4.3. Encuestas

Puesto que la información debe ser recabada mediante procedimientos normalizados, para el trabajo de las encuestas se empleó la Norma de gestión de calidad acústica ISO 15666:2003.

Dado que existe una gran diferencia socioeconómica en las ciudades (a causa de la gran migración interna de personas hacia las ciudades en los últimos 17 años), las zonas residenciales son variadas y también la diversidad de las construcciones, donde se puede encontrar viviendas construidas a base de estera, madera y adobe; entonces, para tener una mejor idea y un muestreo que sea lo más representativo posible es que se decidió realizar una mayor cantidad de encuestas, y el criterio fue el de seleccionar una serie de puntos testigos en distintos lugares de cada ciudad, que fuesen emblemáticos, y realizar las encuestas en un radio de 300 m a la redonda, tanto a personas que residen ahí como a transeúntes, quienes trabajasen o acudan regularmente en las cercanías del punto.

Para todas las muestras se aplicaron dos pruebas de normalidad (Kolmogorov-Smirnov(a) y el Shapiro-Wilk) para determinar cuál es el mejor parámetro estadístico para estudiar los resultados de las encuestas, y se concluyó que estudiar la media no es un buen indicador, y el resultado de esta prueba fue la misma para todas las preguntas; entonces, a lo largo de todo el Estudio, es que se analiza la mediana de las muestras.

Se efectuaron un total de 20 preguntas que abarcaron temas sociales, económicos, de salud y sobre la molestia por ruido; aquí se presentarán únicamente los resultados que sirven para el estudio propuesto.

5. MEDICIÓN OBJETIVA. REGISTRO DEL NSCE

5.1. METODOLOGÍA APLICADA A LAS MEDICIONES SONORAS

Por tratarse de un documento de dominio público que será divulgado por la universidad de La Salle Universitat Ramón Llull y por la autora, se traducirán las publicaciones oficiales de la Organización Mundial de la Salud (OMS/OPS) que están suscriptas por el Estado Peruano, en este caso la *Guidelines for community noise* de 1999. La simbología y los descriptores de ruido se han actualizado de acuerdo a la NTP/ISO 1996-1:2007 y la ISO 1996-2:2008. Las referencias de autores pertenecen al documento original.

5.1.1. Objetos de las mediciones

Los detalles de mediciones de ruido se deben planear para resolver cierto objeto o propósito relevante. Algunos objetos típicos incluyen:

- a) Investigación por quejas.
- b) Evaluación del número de personas expuestas.
- c) Conformidad con regulaciones.
- d) Planeamiento de uso del suelo y evaluaciones de impacto ambiental.
- e) Evaluación de medidas remediadoras.
- f) Calibración y validación de predicciones.
- g) Encuestas sobre la investigación.
- h) Supervisión de investigación.
- i) Procedimiento de muestreos

La localización de la medición, el tipo de mediciones y la opción del equipo deben estar de acuerdo con el objeto de las mediciones.

5.1.2. Instrumentación

El componente más crítico de un medidor de presión sonora es el micrófono. Los micrófonos de baja calidad serán menos sensibles y así no pueden generalmente medir niveles de presión sonora muy bajos. Los micrófonos de baja calidad también tendrán características de respuesta en frecuencia menos definidas.

Los medidores de presión sonora incluyen generalmente las curvas de ponderación "A" y "C", también lineal; además de las ponderaciones de respuesta en frecuencia, medidores más complejos también pueden incluir sistemas de filtros sintonizados estándar, para permitir el análisis de frecuencia. Para las medidas acústicas, los filtros de 1/1 y 1/3 de ancho de banda de octava son ampliamente utilizados con las frecuencias de centro definidas (IEC 61651).

Las presiones sonoras instantáneas se integran con una cierta constante de tiempo para proporcionar niveles de presión sonora. Según lo mencionado anteriormente la mayoría de los medidores incluirá tiempos de respuesta rápido (constante de tiempo de 0,125 s) y lento (constante de tiempo de 1 s).

El estándar (IEC 61672) clasifica los medidores de presión sonora como clase 1 o clase 2. Muchos medidores modernos de presión sonora pueden integrar durante un cierto plazo de tiempo especificado o seleccionable, o pueden incluir capacidades de proceso digitales muy sofisticadas. Los medidores de integración permiten obtener directamente las medidas exactas de $L_{Aeq,T}$, valores sobre un intervalo de tiempo definido por el usuario, etc.; también incluyen pequeñas computadoras, se pueden realizar cálculos absolutamente complejos en los niveles medidos y muchos se pueden almacenar para ser leídos en otro momento.

5.1.3. Ubicaciones para las mediciones

Donde las regulaciones locales no especifican otra manera, las mediciones del *ruido ambiental* son generalmente mejores hechas cerca del punto a la recepción del ruido. Por ejemplo, si hay preocupación por los residentes expuestos al ruido de tráfico automotor, es mejor medir cerca de la localización de los residentes, más bien que cerca del camino. Si las fuentes de *ruido ambiental* se miden cerca de la fuente, uno debe entonces estimar el efecto de la propagación sonora al punto de la recepción. Las localizaciones para las mediciones deben ser seleccionadas normalmente de modo que haya una vista clara de la fuente sonora de modo que la propagación del sonido al micrófono no sea apantallada ni bloqueada por las estructuras que reducirían los niveles de presión sonora incidente.

NOTA: Sobre las correcciones que se pueden aplicar, ver las normas ISO serie 1996.

5.1.4. Muestreo

Muchas fuentes de ruido ambiental varían en un cierto plazo de tiempo, por ejemplo, por diversas épocas del día o a partir de estación en estación. Por ejemplo, el ruido del tráfico de automóviles puede ser considerablemente más ruidoso durante algunas horas del día pero mucho más tranquilo en la noche. No es generalmente posible medir niveles de presión sonora continuamente durante un periodo de tiempo suficientemente largo para definir totalmente la exposición al *ruido ambiental*. En la práctica, las mediciones muestrean generalmente solamente una cierta parte de la exposición total. Tal muestreo introducirá incertidumbres en las estimaciones de la exposición de ruido total.

Los estudios del ruido del tráfico automotor han identificado varios esquemas de muestreo que pueden introducir errores de 2-3 dB en estimaciones de los valores diurnos de $L_{Aeq,T}$, e incluso de errores más grandes en los niveles de presión sonora nocturno (Vaskor y otros 1979). Estos errores se relacionan con las distribuciones estadísticas de los niveles de presión sonora en un cierto plazo (Bradley y otros 1979). Así, los errores de muestreo asociados a ruido de tráfico de automóviles pueden ser absolutamente diferentes de éstos asociados a otro ruido, debido a las variaciones absolutamente diversas de los niveles de presión sonora en un cierto plazo. Es también difícil dar estimaciones generales de los errores de muestreo debido a las variaciones estacionales, incluyendo las variaciones de la fuente y las variaciones en la propagación sonora, tal como la debido a variaciones de las condiciones atmosféricas.

NOTA: Como se puede ver en el párrafo anterior, los resultados están basados en estudios de 1979 con instrumentos de tecnología de esa fecha. En la actualidad con la calidad y precisión de los nuevos sonómetros y analizadores, las incertidumbres están por debajo de los 3 dB para cualquier caso.

5.1.5. Calibración y aseguramiento de la calidad

Los medidores de la presión sonora se pueden calibrar usando pequeñas fuentes sonoras calibradas (IEC 60942). Estos dispositivos se ponen en el micrófono y producen un nivel de presión sonora sabido con una exactitud especificada. Tales calibraciones se deben hacer por lo menos diariamente, y más a menudo si hay una cierta posibilidad que la dirección del medidor de la presión sonora pudo haber modificado su sensibilidad. Es también importante tener un plan completo de la garantía de calidad.

NOTA: Respecto a la verificación de la calidad sobre los procedimientos de calibración *in situ* ver las normas ISO serie 1996.

5.2. ENSAYOS Y TAREAS REALIZADAS *in situ*

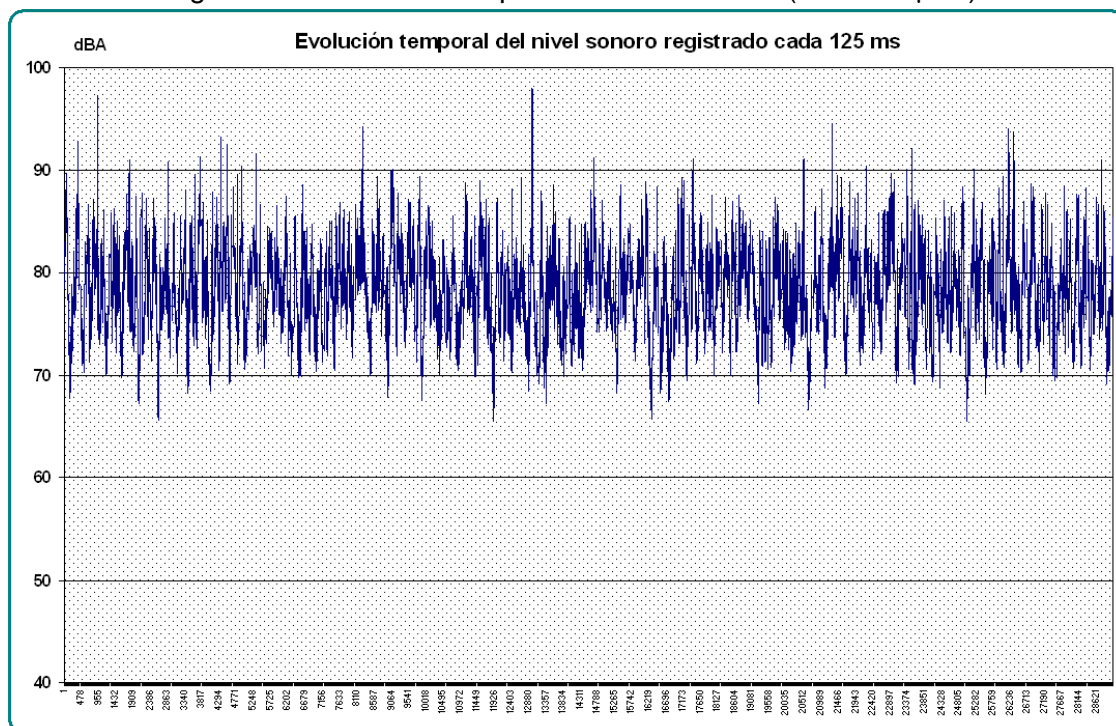
En función de las recomendaciones de la OMS/OPS y de las distintas normas de gestión de calidad ISO, es que se desarrollaron una serie de actividades y procedimientos. Las mediciones se desarrollaron en las vías más representativas donde circulan la mayor cantidad de vehículos en una zona o teniendo en cuenta la clasificación vehicular y/o cercanías a zonas sensibles denominadas *lugares vulnerables al ruido*: hospitales, clínicas, colegios, zonas residenciales, otros. A continuación se desarrollarán todas las consideraciones que se contemplaron para el registro y medición del nivel de presión sonora.

5.2.1. Definición del intervalo de tiempo

En general todas las investigaciones científicas, estudios de la OMS/OPS, e inclusive distintas recomendaciones internacionales (ISO, OCDE, etc.), concluyen que un intervalo de 10 minutos para registrar todos los eventos posibles del ruido proveniente de automóviles y obtener un nivel sonoro continuo equivalente, es estadísticamente válido.

Para este estudio, se realizó un Ensayo para comprobar si ese intervalo de tiempo de muestreo es suficiente, registrando en la memoria todos los niveles sonoros instantáneos durante 60 minutos completos. En la figura siguiente se muestra la evolución temporal del registro sonoro con ponderación de tiempo rápida (125 ms).

Figura 5-1: Evolución temporal del nivel sonoro (re dB 20 μ Pa)



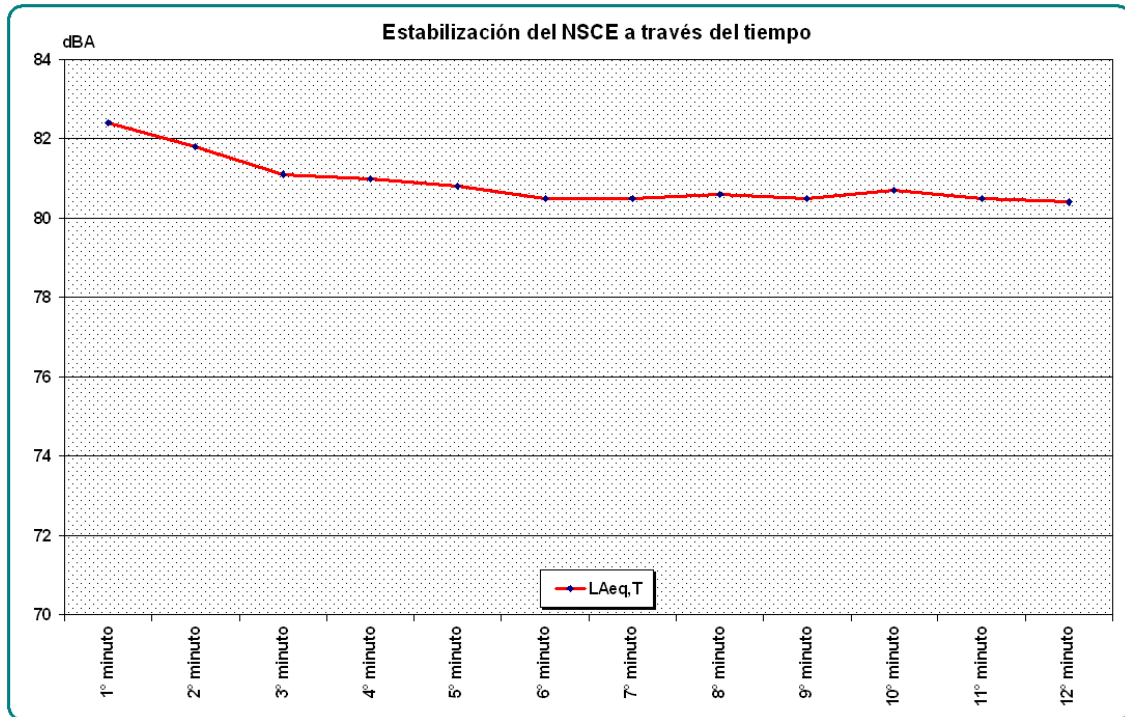
Para comprobar si la elección de medir durante un intervalo de tiempo de 10 minutos es suficiente, se calculó el NSCE por cada minuto y con los resultados obtenidos (Figura 5-2) analizar a partir de qué tiempo el registro de los niveles sonoros instantáneos se estabiliza.

En la figura 5-2 se puede ver que a partir del 5° minuto (el mismo valor se repite en el minuto 10) el registro del NSCE se estabiliza. A priori se podría decir que si se seleccionase un intervalo de tiempo de 5 minutos para la medición sería suficiente,

pero como el flujo del tránsito automotor tiene fluctuaciones (frenadas, detenciones por semáforos, desaceleración por cruce de peatones, etc.), un intervalo de tiempo de 10 minutos es más que suficiente para registrar todas las características que se den.

Los datos pertenecen a una medición realizada en la ciudad de Pucallpa.

Figura 5-2: Estabilización del NSCE



Entonces, con este resultado científico se han determinado los siguientes intervalos de tiempo de integración para el registro del nivel sonoro continuo equivalente proveniente del tránsito automotor:

- a) para el periodo diurno entre las 07:01 a 22:00 hs: 10 minutos,
- b) para el periodo nocturno entre las 22:01 a 07:00 hs: 15 minutos.

Que se haya definido un intervalo de tiempo mayor para el periodo nocturno, es a consecuencia de que durante la noche el flujo de automóviles cae abruptamente y el nivel del ruido urbano también desciende, un tiempo de 15 minutos es más que suficiente para poder registrar en forma adecuada tanto las fluctuaciones del flujo como el nivel del *sonido residual* (antiguamente llamado "ruido de fondo").

5.2.2. Definición de los periodos horarios

Por razones presupuestarias no se realizaron mediciones continuas de 24 horas, es que se tomaron 4 (cuatro) periodos horarios representativos de las distintas actividades sociales y comerciales, y las mediciones se desarrollaron en los siguientes intervalos de tiempo,

Tabla 5-1: Intervalos horarios por periodo

Periodo	Intervalo horario
Horario diurno 1	07:01 a 13:00 hs
Horario diurno 2	13:01 a 18:00 hs
Horario vespertino	18:01 a 22:00 hs
Horario nocturno	22:01 a 7:00 hs

El intervalo horario para el periodo vespertino se decidió optar por el normalizado por la Directiva 49/2002 de la Unión Europea, porque existen distintas idiosincrasias y costumbres sociales para cada ciudad y/o región en particular cuya subjetividad en establecer cuál es el horario vespertino sería un trabajo arduo (y que escapaba a los Objetos del estudio encargado); entonces, para este Estudio se considera que:

- a) después de las 18:00 hs es cuando cesan las actividades escolares y se inicia la salida del trabajo de las personas hacia sus domicilios,
- b) antes de las 22:00 hs es cuando las personas inician su descanso.

Para reducir la incertidumbre y/o errores desde el punto de vista de las estadísticas, las mediciones NO se repiten el mismo día, sino que el nivel sonoro se registra en días diferentes (exceptuando los días de fin de semana); además, con este método se tiene una mejor idea de las variaciones del flujo automotor con respecto al día de la semana en el cual se está realizando el Ensayo, y se puede tener mayor información de la dispersión de los factores climáticos.

Con este criterio de repetir la medición 4 (cuatro) veces en el mismo punto testigo, también se estará satisfaciendo con las recomendaciones de la norma de gestión de calidad NTP/ISO 1996-2:2008, donde recomienda repetir una medición entre 3 (tres) y 5 (cinco) veces para reducir la incertidumbre.

5.2.3. Aforo vehicular

Las condiciones operativas de este tipo de fuente de ruido ambiental tiene que ser caracterizada y deberán ser estadísticamente representativas, entonces, simultáneamente con la medición del nivel sonoro se cuenta el número de vehículos que pasan durante el intervalo de tiempo. Para que el resultado pudiera ser aplicado a otras condiciones de tránsito, en general se distinguen 2 (dos) categorías de vehículos: livianos y pesados. Como este tipo de Estudio es la primera vez que se aplica, se decidió realizar el aforo en función de todas las categorías de los distintos tipos de vehículos: L, M, N, en concordancia con la Ley Nacional vigente en la materia.

El Estudio al comprender un análisis global del impacto acústico del tráfico automotor en lugares urbanos y no en vías diferenciadas, para los cálculos estadísticos se considera todas las categorías juntas, por razones obvias.

5.2.4. Ensayos y tareas realizadas *in situ*

Se realizó una *Campaña de Mediciones* para determinar los niveles de presión sonora existentes, y como aún no se ha publicado un Reglamento para mediciones de ruido, es que de acuerdo a las Disposiciones Transitorias del DS 085-2003-PCM, se utilizaron las normas de gestión de calidad acústica ISO serie 1996 actuales vigentes.

El estudio realizado fue del tipo *Escala de evaluación*, donde se describe la inmisión de ruido en el Ambiente proveniente del tráfico automotor. Los métodos para el Estudio satisficieron los preceptos más importantes definidos para trabajos de campo según ISO 5725/1/2:2002, que tienen que ver con estudios de Grado 2 “Métodos de Ingeniería”, donde se toman todas las precauciones concernientes a la repetibilidad de las mediciones y tratamiento de las incertidumbres, para un posterior análisis.

5.2.5. Descriptores de ruido medidos

Se midió el nivel sonoro continuo equivalente (NSCE), y otros descriptores, para evaluar la inmisión del ruido proveniente de los automóviles al Ambiente; se registraron los siguientes descriptores de ruido:

- a) Nivel sonoro continuo equivalente $L_{Aeq,T}$ y $L_{Ceq,T}$
- b) Nivel de exposición sonora con ponderación A L_{AE} .
- c) Nivel L_{Cpk} o L_{Amax} .
- d) Niveles percentiles estadísticos $L_{A10,T}$, $L_{A50,T}$ y $L_{A90,T}$.
- e) Nivel sonoro continuo equivalente sin ponderación en 1/1 de octava de frecuencia del espectro.

Respecto al registro del L_{Amax} si bien fue ampliamente utilizado como un descriptor que aproxima un índice de la molestia al ruido, no informa acerca de la peligrosidad del nivel sonoro.

A partir del 2002 en múltiples investigaciones sustentadas por la OMS/OPS, aparece la necesidad de conocer e informar un descriptor de ruido que indique la peligrosidad de los niveles sonoros individuales, es por esto que se informa el nivel sonoro energético de pico máximo L_{Cpk} el que, en diversos estudios, se ha estimado por investigaciones de laboratorio con pequeños mamíferos que a partir de un L_{Cpk} de 105 dBC es suficiente para producir lesiones en el oído interno, las cuales son irreversibles y acumulativas, que de acuerdo con la dosis y exposición generará *socioacusia*, es decir, *hipoacusia* por ruidos urbanos de origen “social” y no por fuentes industriales o de índole laboral.

5.3. Resumen de los resultados de las mediciones

Los resultados obtenidos en la ciudad de Pucallpa (Región de la selva) son los siguientes,

Tabla 5-1: Resumen del NSCE dBA (ref. dB 20 μ Pa) – Pucallpa

	Nº 1	Nº 2	Nº 3	Nº 4	Nº 5	Nº 6	Nº 7	Nº 8	Nº 9	Nº 10	Nº 11	Nº 12
a)	74,0	79,6	73,4	74,4	77,5	71,3	76,0	75,7	72,7	72,8	74,7	80,5
b)	73,4	79,7	71,4	75,1	78,6	67,6	75,9	76,1	73,9	70,4	75,8	79,5
c)	74,8	77,8	72,1	75,0	76,8	66,0	73,9	76,6	72,5	71,3	75,7	76,8
d)	61,3	73,2	60,9	68,4	68,8	61,3	72,6	72,5	61,7	64,3	69,1	64,9

Los resultados obtenidos en la ciudad de Huancayo (Región de la sierra) son los siguientes,

Tabla 5-2: Resumen del NSCE dBA (ref. dB 20 μ Pa) – Huancayo

	Nº 1	Nº 2	Nº 3	Nº 4	Nº 5	Nº 6	Nº 7
Diurno 1	70,6	71,1	73,9	70,7	66,8	68,4	70,6
Diurno 2	72,8	69,3	72,7	72,0	69,1	70,1	71,1
Vespertino	73,3	70,5	70,1	67,6	68,2	69,1	70,5
Nocturno	67,8	64,7	64,1	61,6	63,5	63,3	62,1
	Nº 8	Nº 9	Nº 10	Nº 11	Nº 12	Nº 13	Nº 14
Diurno 1	69,4	73,9	74,1	75,2	69,9	69,8	65,6
Diurno 2	69,4	74,6	72,9	75,8	70,5	69,5	66,1
Vespertino	67,0	73,9	72,9	75,9	66,7	67,5	64,6
Nocturno	65,0	70,4	66,2	68,2	59,6	54,4	59,6

Los resultados obtenidos en las ciudades de Lima y Callao (Región de la costa) son los siguientes,

Tabla 5-3: Resumen del NSCE dBA (ref. dB 20 μ Pa) – Lima-Callao

Punto	Nº 1	Nº 2	Nº 3	Nº 4	Nº 5	Nº 6	Nº 7	Nº 8	Nº 9	Nº 10
Diurno 1	74,8	78,4	78,7	80,4	75,1	75,3	78,0	73,7	78,5	75,6
Diurno 2	75,1	76,7	79,3	79,7	78,9	74,5	78,2	74,8	79,0	74,8
Vespertino	77,7	75,7	79,0	79,8	73,9	75,9	76,9	75,6	76,9	71,3
Nocturno	73,0	74,2	74,9	71,1	68,1	72,6	76,0	69,7	76,2	71,4
Punto	Nº 11	Nº 12	Nº 13	Nº 14	Nº 15	Nº 16	Nº 17	Nº 18	Nº 19	Nº 20
Diurno 1	75,2	74,6	74,6	76,0	74,0	81,9	79,9	73,5	75,6	74,3
Diurno 2	75,9	78,8	71,6	76,5	74,4	78,7	79,8	72,5	76,1	74,5
Vespertino	74,2	72,7	72,0	77,0	76,5	77,7	76,3	74,1	75,3	76,5
Nocturno	68,4	67,4	71,1	72,8	72,9	78,6	74,2	67,4	78,2	70,4
Punto	Nº 21	Nº 22	Nº 23	Nº 24	Nº 25	Nº 26	Nº 27	Nº 28	Nº 29	Nº 30
Diurno 1	79,6	73,3	73,6	79,3	80,9	84,5	79,3	75,5	77,1	73,6
Diurno 2	77,7	72,9	71,6	78,7	83,3	79,6	75,0	72,0	76,4	72,3
Vespertino	81,4	75,9	73,7	77,6	81,2	76,5	72,7	74,6	74,7	71,7
Nocturno	71,3	67,7	67,1	75,3	76,3	73,3	70,1	69,0	72,6	69,4

6. DEFINICIÓN DEL DESCRIPTOR DE LARGA DURACIÓN PARA ESTIMAR SU VALOR UTILIZANDO EL NSCE DE CORTA DURACIÓN

En este capítulo se analizarán los 2 (dos) modelos más utilizados para estimar la molestia con mediciones de larga duración, como lo es el Ldn y el Lden. Miedema propone modelos de predicción para ambos descriptores, aquí se discutirá la selección de uno de ellos.

6.1. Estimación de los niveles sonoros de larga duración basados en mediciones de corta duración

Es necesario conocer o tener una idea del nivel sonoro de todo el día basado en las mediciones de corta duración para poder estimar el Ldn y compararlos con las ecuaciones de Miedema, para esto es necesario estimarlo mediante cálculos que consiste en considerar los intervalos de tiempo de referencia legal en sub-intervalos e integrar los NSCE de corta duración. Para el caso del DS 085-2003-PCM se establece el periodo diurno en 15 horas (900 minutos Ecuación 6-1) y el nocturno en 9 horas (540 minutos Ecuación 6-2), estos valores están basados en las antiguas recomendaciones de la EPA de los EEUU de 1974.

$$LAr = 10 * \log \left[\frac{1}{900} \left(T_i \sum_i 10^{\frac{L_{Aeq,T_i}}{10}} \right) \right] \quad \text{Ecuación 6-1}$$

$$LAr = 10 * \log \left[\frac{1}{540} \left(T_i \sum_i 10^{\frac{L_{Aeq,T_i}}{10}} \right) \right] \quad \text{Ecuación 6-2}$$

6.2. Estimación de los niveles sonoros para 24 horas

Existen muchas ecuaciones de modelos para calcular un valor único del nivel sonoro para 24 horas, e inclusive muchos países tienen uno propio, pero es que a partir de la Directiva 49/2002 de la Unión Europea y la publicación de la norma ISO 1996-1:2003, los esfuerzos están enfocados en concensuar un solo modelo.

La EPA de EEUU en 1972 definió un modelo (tal como se analizó anteriormente), basado en experiencias de varios Organismos que realizaban investigaciones en determinar y obtener un descriptor de ruido que mostrara o represente la molestia al ruido de las personas, el cual consiste en agregar una “penalización” de 10 dB a la medición correspondiente al intervalo nocturno, cuyos horarios de referencia son 15 horas para el periodo diurno desde 07:01 a 22:00 hs, y el nocturno de 9 horas desde las 22:01 hasta las 07:00 hs.

$$L_{dn} = 10 * \log \left[\frac{1}{24} \left(15 \sum_i 10^{\frac{L_{Aeq,T_i \text{ diurno}}}{10}} + 9 \sum_i 10^{\frac{L_{Aeq,T_i \text{ nocturno}+10}}{10}} \right) \right] \quad \text{Ecuación 6-3}$$

El Estado de California en EEUU y la Agencia de Aviación de los EEUU (FAA), desde fines de los '60 utilizan otro modelo, en el cual se basó la Unión Europea, que consiste no solamente en penalizar el periodo nocturno sino también el vespertino, cuyos horarios de referencia son 12 horas para el periodo diurno desde 06:01 a 18:00 hs, vespertino de 4 horas desde las 18:01 hasta las 22:00 hs, y el nocturno de 8 horas desde las 22:01 hasta las 06:00 hs.

$$L_{den} = 10 * \log \left[\frac{1}{24} \left(12 \sum_i 10^{\frac{L_{Aeq,T_i}}{10}} + 4 \sum_i 10^{\frac{L_{Aeq,T_i}+5}{10}} + 8 \sum_i 10^{\frac{L_{Aeq,T_i}+10}{10}} \right) \right] \quad \text{Ecuación 6-4}$$

Bien es conocido el debate de cuándo es que se iniciaría el horario del periodo vespertino, el cual es fuertemente sostenido por los países del norte de Europa, básicamente por cuestiones climáticas donde a las 18:00 hs ya está oscuro para el verano, y durante el invierno la presencia de luz solar es prácticamente nula. La implantación de este periodo es muy discutido por los países del sur europeo, porque a las 18:00 hs en verano el sol todavía está alto y para el invierno la luz solar está presente. La solución para determinar cuándo se inicia el periodo vespertino y su duración está sujeto a cada país y región, donde se tiene que determinar de acuerdo a la idiosincrasia de cada lugar, pero se trata de mantener el inicio del periodo nocturno a las 22:00 horas, para poder tener al menos un periodo de horario fijo y sirva para comparar la molestia durante la noche producida por el ruido ambiental.

Si bien Miedema propone modelos diferentes para el Ldn y el Lden, en el caso del Perú se decidió utilizar el modelo del Ldn, puesto que el DS 085-2003-PCM de *Estándares de calidad ambiental para ruido* define los mismos periodos horarios.

6.3. Ecuaciones utilizadas

6.3.1. Ensayo de mediciones para validar un criterio

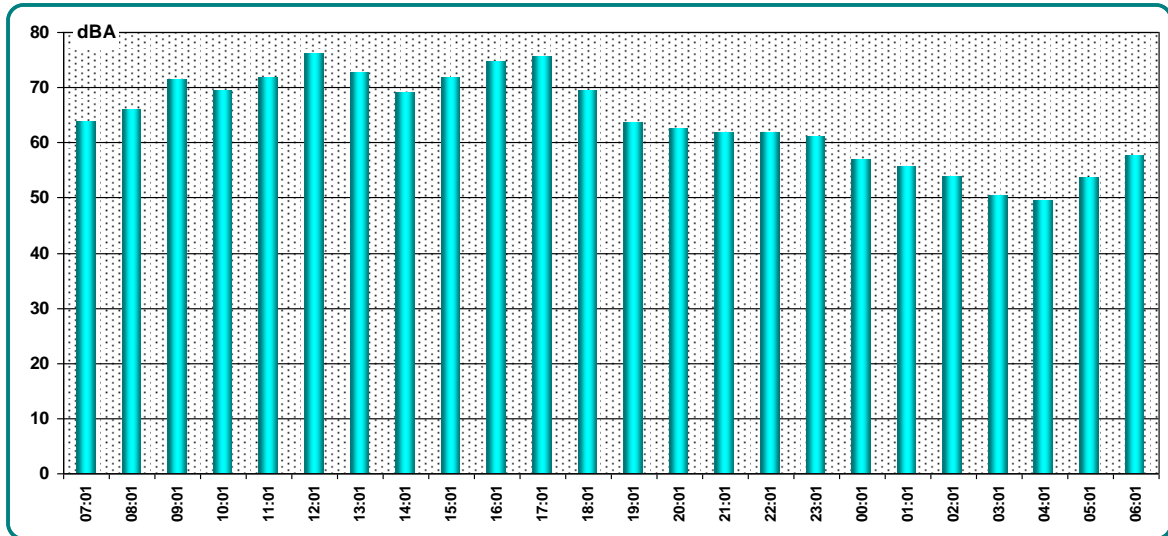
La propuesta es estimar el Ldn utilizando los NSCE y alguno de los niveles percentiles registrados. Para estimar el intervalo de tiempo representativo basado en las mediciones de corta duración, se realizó un ensayo de medición de 24 horas continuas en el patio de la oficina durante una semana laboral (cinco días), y hallar mediante cálculos un método utilizando los descriptores de ruido, como forma de sustituirlos (los obtenidos en las mediciones de corta duración), y validarlos para mediciones de larga duración. En la tabla siguiente se presenta el resultado del desvío estadístico para cada hora: D1, diurno 1; D2, diurno 2; V, vespertino; N, nocturno.

Tabla 6-1: Desvío estadístico del $L_{Aeq,1h}$ durante 5 días laborables (dB re 20 μ Pa)

D1	07:01	08:01	09:01	10:01	11:01	12:01			
	5,0	3,7	4,7	4,6	3,4	4,3			
D2	13:01	14:01	15:01	16:01	17:01				
	4,9	4,1	2,5	3,3	2,3				
V	18:01	19:01	20:01	21:01					
	5,4	3,5	3,4	4,3					
N	22:01	23:01	00:01	01:01	02:01	03:01	04:01	05:01	06:01
	4,5	4,7	6,4	5,9	6,7	7,6	7,8	7,5	5,8

En la figura siguiente se presenta el resultado de la mediana del $L_{Aeq,1h}$ para cada hora de la semana, de las mediciones de 24 hs.

Figura 6-1: Mediana del $L_{Aeq,1h}$ para cada hora durante una semana (ref. dB 20 μ Pa)



De los desvíos estadísticos de la tabla 6-1 se observa la variación del NSCE ($L_{Aeq,1h}$), donde se identifican las *horas punta*, las de mayor flujo de tránsito con valores pequeños, de los *valles nocturnos*, cuando la pasada de vehículos es mínima con valores altos.

Es importante resaltar el comportamiento de los conductores del Perú, que es el de tocar la bocina por cualquier causa, y sobre todo la de los taxistas que, cuando ven a una persona caminando, accionan la bocina rítmicamente para “avisar” de su servicio aunque el “posible cliente” se encuentre a más de 100 m de distancia; esto es altamente molesto en horas nocturnas porque con ausencia de automóviles, el solo hecho de que circulen 10 taxis en una hora, el nivel sonoro la bocina es suficiente para que el NSCE esté por encima de los 45 dBA. Es por esta razón que el desvío estadístico en los *valles nocturnos* sea alto y no tengan “coherencia”.

6.3.2. Selección de los descriptores de ruido e intervalos de tiempo

Con los resultados de las mediciones del Ensayo realizado y utilizando las ecuaciones 6-1 y 6-2 se establecieron los siguientes intervalos de tiempo representativos de “larga duración” para cada NSCE de “corta duración” registrado en cada sub-periodo horario:

NSCE del sub-periodo diurno 1 = 240 minutos

NSCE del sub-periodo diurno 2 = 240 minutos

Para representar los sub-periodos de “valles sonoros”, el nivel percentil 50 de los periodos diurno 1 y 2 fueron buenos descriptores para representar su NSCE, teniendo la siguiente correspondencia:

“valle sonoro” del sub-periodo diurno 1 = 120 minutos

“valle sonoro” del sub-periodo diurno 2 = 60 minutos

Entonces, para estimar el L_d basado en las mediciones de “corta duración” obtuvimos la siguiente ecuación,

Ecuación 6-5

$$L_d = 10 \log \left(\frac{1}{660} \right) (240 * L_{Aeq,T} diurno1 + 240 * L_{Aeq,T} diurno2 + 120 * L_{A50,T} diurno1 + 60 * L_{A50,T} diurno2)$$

Para el periodo vespertino se obtuvieron los siguientes sub-intervalos

NSCE del sub-periodo vespertino = 180 minutos
 “valle sonoro” del sub-periodo vespertino = 60 minutos

$$L_e = 10 \log \left(\frac{1}{240} \right) (180 * L_{Aeq,T} vespertino + 60 * L_{A50,T} vespertino) \quad \text{Ecuación 6-6}$$

Para el periodo nocturno se obtuvieron los siguientes sub-intervalos

NSCE del sub-periodo nocturno = 240 minutos
 “valle sonoro” del sub-periodo nocturno = 300 minutos

Para el caso del periodo nocturno:

- a) como el parque automotor de la ciudad de Huancayo es muy obsoleto y en general todos tienen el tubo de escape abierto, el NSCE es relativamente alto y se tuvo que caracterizar el nivel sonoro (ecuación 6-7) con el nivel percentil 50, $L_{A50,T}$
- b) como el parque automotor de la ciudad de Pucallpa está compuesto en su mayoría de trimotos con escape abierto y sin cobertor de cadena, el NSCE es relativamente alto y se tuvo que caracterizar el nivel sonoro (ecuación 6-7) con el nivel percentil 50, $L_{A50,T}$
- c) Para el caso de Lima-Callao, se tuvo que caracterizar el nivel sonoro (ecuación 6-8) con el nivel percentil 90, $L_{A90,T}$

$$L_n = 10 \log \left(\frac{1}{540} \right) (240 * L_{Aeq,T} nocturno + 300 * L_{A50,T} nocturno) \quad \text{Ecuación 6-7}$$

$$L_n = 10 \log \left(\frac{1}{540} \right) (240 * L_{Aeq,T} nocturno + 300 * L_{A90,T} nocturno) \quad \text{Ecuación 6-8}$$

Respecto a los desvíos estadísticos que resultan de aplicar las ecuaciones de estimación anteriores obtuvimos los siguientes resultados,

Tabla 6-2: Desvío estadístico entre la estimación de mediciones de corta duración vs. Ensayo (ref. dB 20 μ Pa)

	Lima-Callao	Huancayo	Pucallpa
Diurno 1	1,96	2,12	1,81
Diurno 2	1,85	2,18	1,98
Vespertino	2,10	2,35	2,54
Nocturno	2,91	3,14	3,87

Las variaciones se corresponden, principalmente, a la diferencia del flujo de tránsito automotor respecto al aforo por categoría vehicular.

6.3.3. Gráficas con el desvío estadístico

Como es natural, y tal como se ha analizado en el trabajo de Tesis, la variación temporal de los niveles sonoros en un determinado punto de una ciudad es compleja de analizar, ya que dicha variación depende sobre todo de la naturaleza de las fuentes de emisiones sonoras, y para el caso de este Estudio las características de los vehículos (antigüedad, escapes abiertos, falta de mantenimiento, uso indiscriminado de la bocina, etc.), y de las fuentes sonoras urbanas que configuran el paisaje sonoro del punto bajo consideración.

Las características de las distribuciones estadísticas de los niveles sonoros instantáneos (integración cada 125 ms acorde a IEC serie 61672) producidos por el tráfico de automóviles en todas sus categorías, dependen de las condiciones específicas existentes en los lugares donde se llevan a cabo las mediciones. Cuando el volumen del tráfico automotor es elevado y continuo (como el de una carretera sin obstáculos), la distribución de los niveles sonoros instantáneos es prácticamente normal con distribución gaussiana; en cambio, cuando el tráfico es esporádico o tiene características “pulsantes” (cercanía de semáforo, reductores de velocidad), la distribución será más o menos sesgada hacia la izquierda, como consecuencia de una presencia sustancial de bajos niveles sonoros dentro del intervalo de medición.

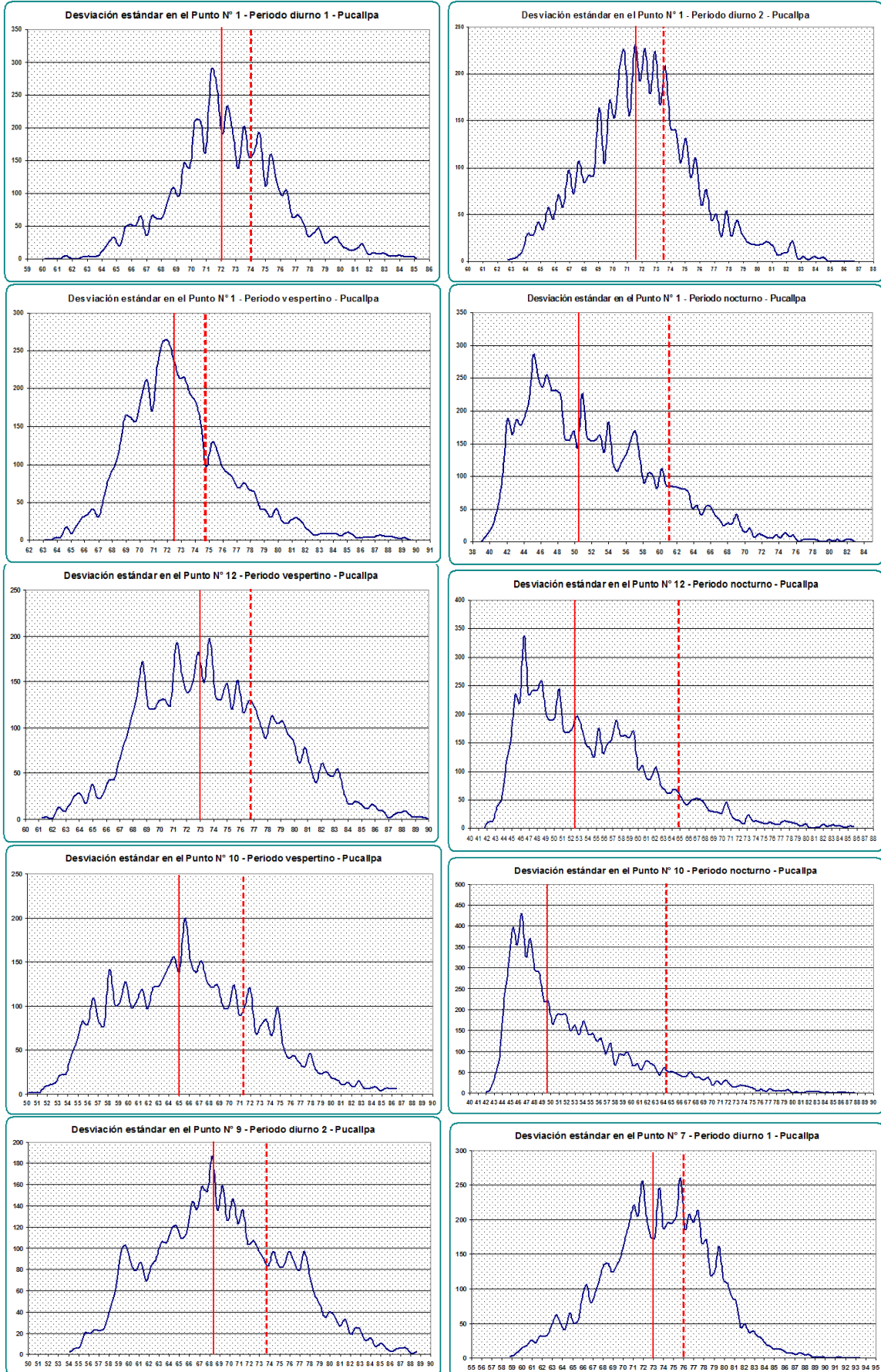
A continuación se presentarán algunas gráficas con los histogramas (en curvas) correspondientes a las distribuciones de los niveles sonoros instantáneos obtenidos en cada uno de los registros sonoros:

- a) Para el periodo diurno de 10 minutos = $8 * 60 * 10 = 4800$ valores
- b) Para el periodo nocturno de 15 minutos = $8 * 60 * 15 = 7200$ valores

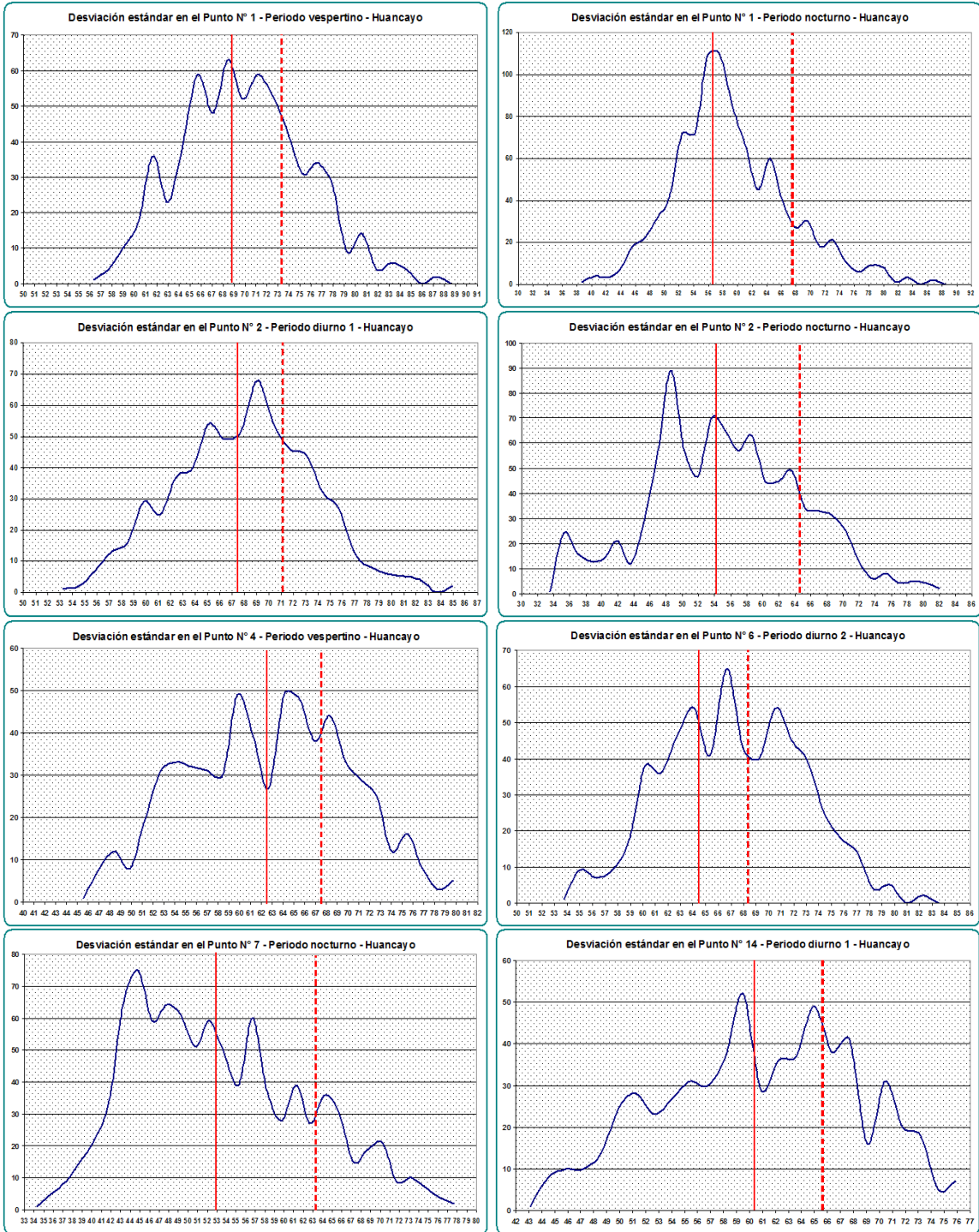
Cantidad más que suficiente de valores instantáneos como para que la distribución sea estadísticamente válida.

En todas las gráficas siguientes, la línea llena representa al nivel sonoro percentil $L_{A50,T}$ y la línea de trazos al $L_{Aeq,T}$.

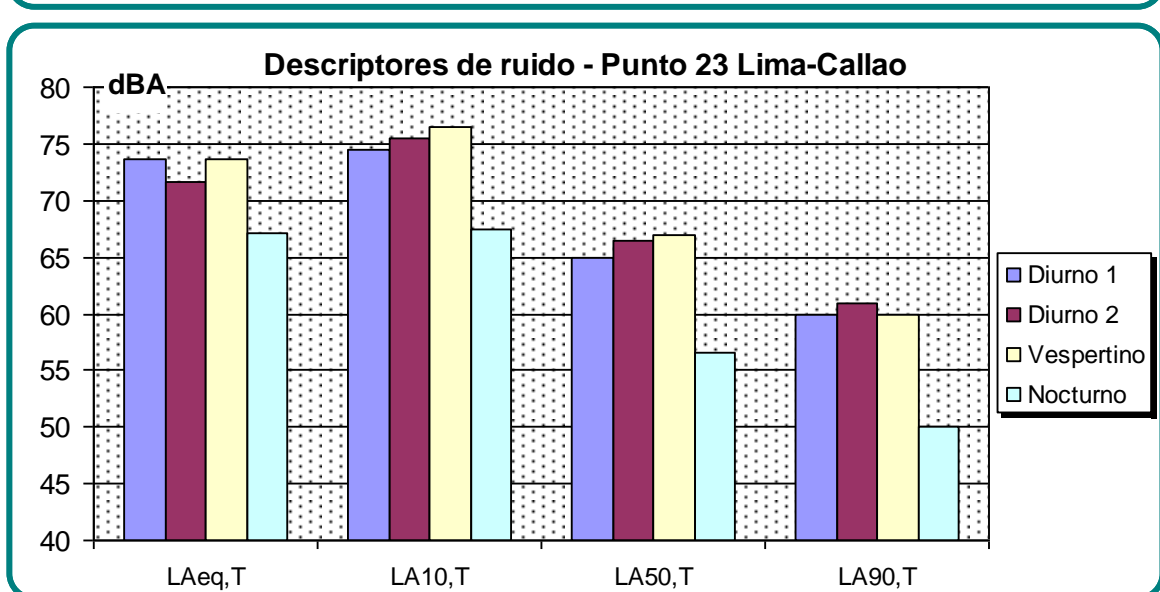
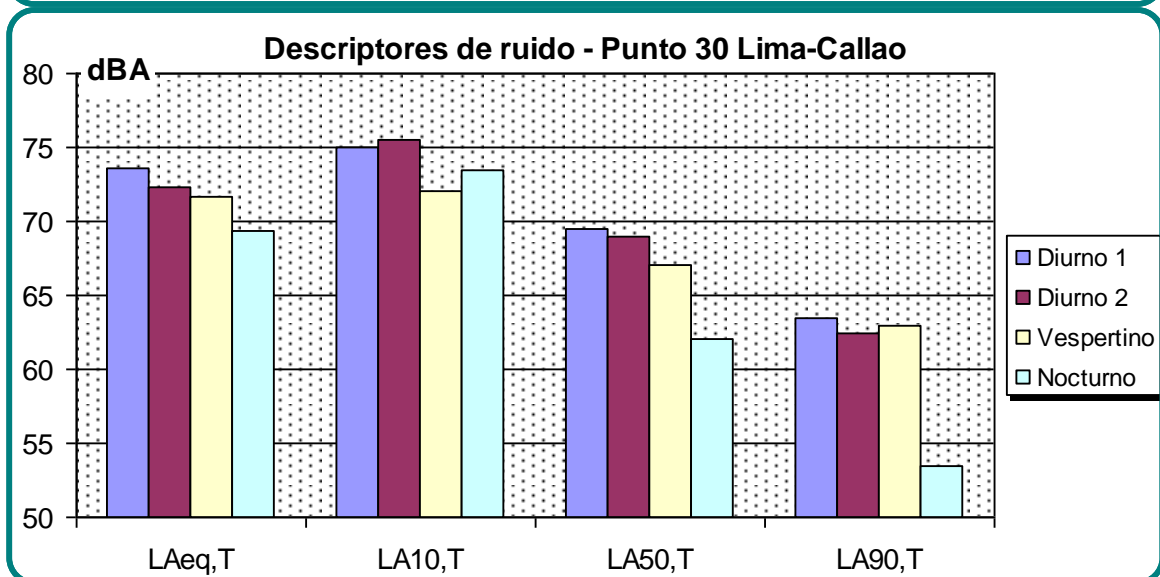
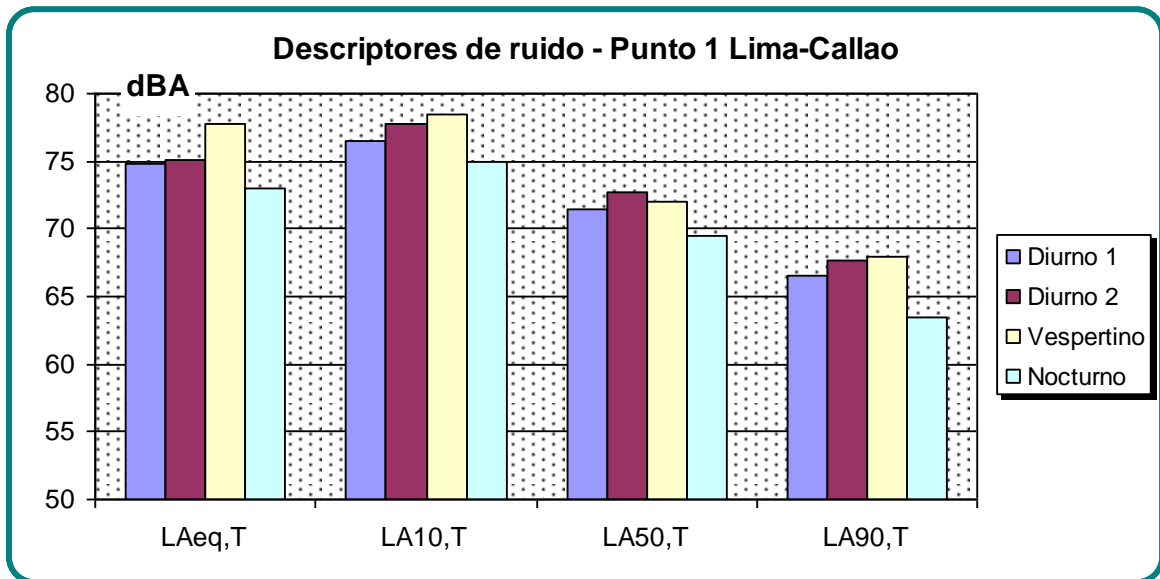
Desvío estándar – Puntos de la ciudad de Pucallpa

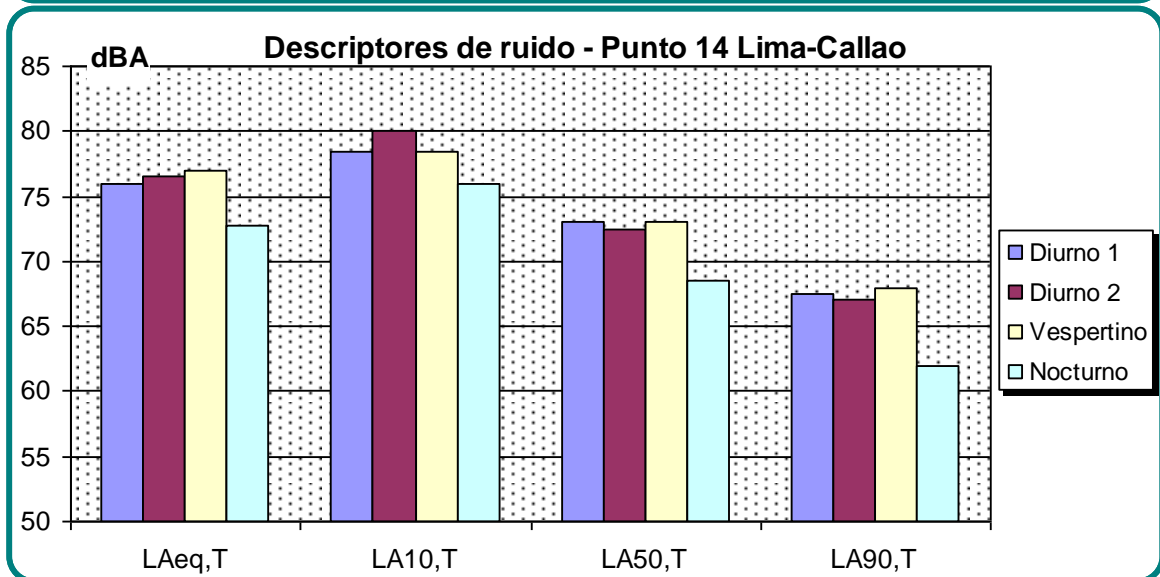
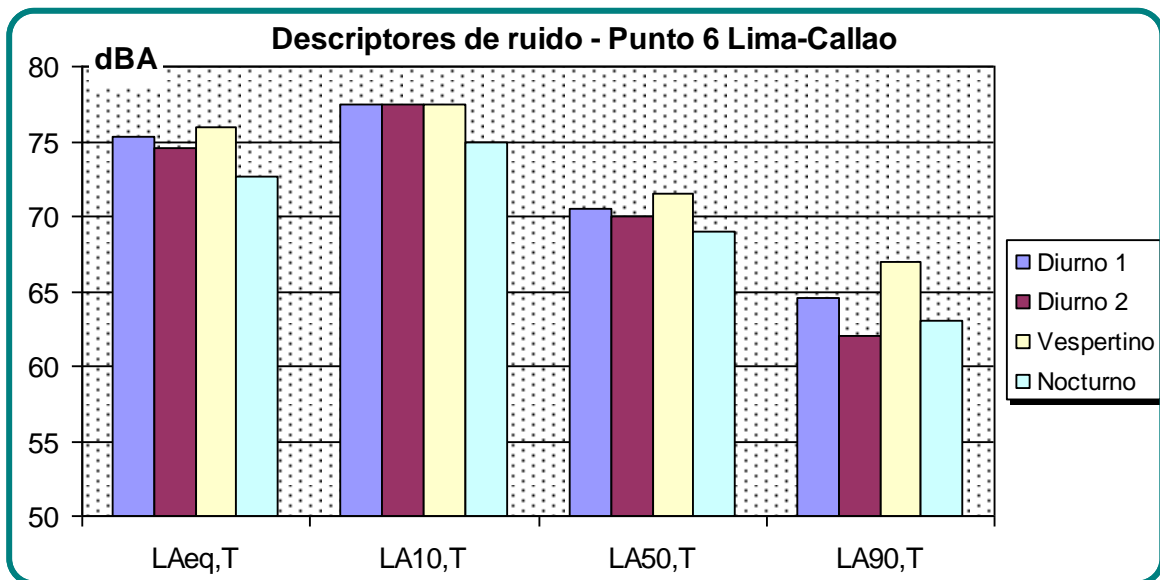
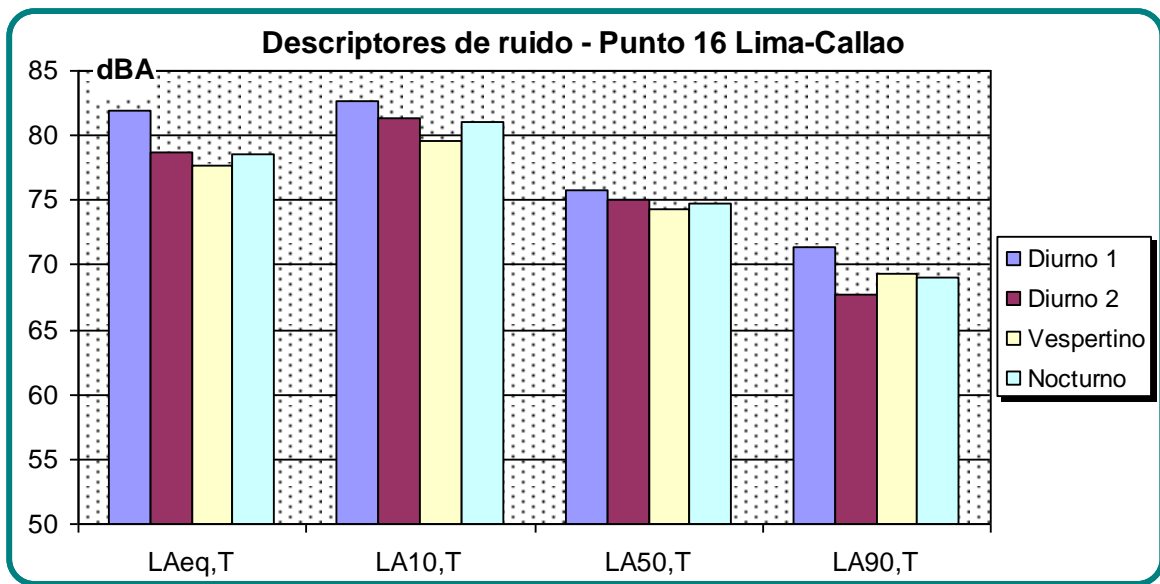


Desvío estándar – Puntos de la ciudad de Huancayo



Descriptores de ruido – Puntos de las ciudades Lima-Callao





6.4. Resultados de la estimación del L_{dn} calculado

A continuación, se presenta los valores finales calculados del L_{dn} estimado para cada uno de los puntos testigos por ciudad,

Tabla 6-1: Resumen del L_{dn} (ref. dB 20 µPa) estimado – Pucallpa

Pto 1	Pto 2	Pto 3	Pto 4	Pto 5	Pto 6	Pto 7	Pto 8	Pto 9	Pto10	Pto11	Pto12
74,3	81,0	73,0	76,7	78,8	69,6	78,3	79,0	73,6	72,8	77,2	79,4

Tabla 6-2: Resumen del L_{dn} (ref. dB 20 µPa) estimado – Huancayo

Pto 1	Pto 2	Pto 3	Pto 4	Pto 5	Pto 6	Pto 7
74,8	72,3	73,4	71,1	71,0	71,1	71,7
Pto 8	Pto 9	Pto 10	Pto 11	Pto 12	Pto 13	Pto 14
71,5	77,0	75,1	77,0	69,5	69,0	67,0

Tabla 6-3: Resumen del L_{dn} (ref. dB 20 µPa) estimado – Lima-callao

Pto 1	Pto 2	Pto 3	Pto 4	Pto 5	Pto 6	Pto 7	Pto 8	Pto 9	Pto 10
79,1	79,9	81,2	80,8	76,9	78,3	81,1	76,7	81,6	76,7
Pto 11	Pto 12	Pto 13	Pto 14	Pto 15	Pto 16	Pto 17	Pto 18	Pto 19	Pto 20
76,1	76,3	76,1	79,0	78,4	83,4	80,8	75,1	81,6	77,3
Pto 21	Pto 22	Pto 23	Pto 24	Pto 25	Pto 26	Pto 27	Pto 28	Pto 29	Pto 30
81,0	75,9	74,6	81,1	83,6	81,6	77,4	76,0	78,5	75,0

El hecho que los niveles L_{dn} superan los 80 dBA, es que fueron registrados sobre avenidas de alta circulación que, durante la noche cuando la densidad de vehículos se reduce, los automóviles y buses circulan a velocidades superiores a los 70 km/h, incrementándose el NSCE por el ruido aerodinámico y el de rodadura.

7. ECUACIONES DE MIEDEMA. PREDICCIÓN DE LA MOLESTIA POR RUIDO

En 1998 Miedema publicó un meta-estudio sobre la relación entre el porcentaje de una población que expresa diversos grados de molestia frente al ruido aeronáutico, del tránsito automotor y ferroviario y el nivel día/noche ponderado A (Ldn y Lden) correspondiente. En el mismo se han definido los porcentajes de:

- a) personas levemente molestas (LA),
- b) molestas (A)
- c) altamente molestas (HA),

como los que en una escala de 0 a 100 (donde 0 significa nada molesto y 100 significa máximamente molesto) manifiestan estar, respectivamente,

- a) entre el 28 % y el 50 %
- b) entre el 50 % y el 72 % y
- c) por encima del 72 %.

Valores de Ldn menores a 45 dBA y mayores a 75 dBA -según Miedema- no suministran información práctica, porque es un gran riesgo analizar la molestia por debajo y por encima de esos extremos; tampoco es posible aplicarlas a ruidos de fuentes diferentes de aquellas para las que han sido obtenidas (por ejemplo, para maquinaria de construcción).

7.1. Aplicación de los modelos de Miedema fuera de Europa

En la ciudad de San Francisco de los EEUU fueron utilizadas las fórmulas de Miedema para estimar la molestia por ruido de la población, a raíz del crecimiento de la ciudad y la yuxtaposición entre zonas residenciales, comerciales e industriales.

Utilizaron los resultados de las mediciones de corta duración de 237 lugares, y las estimaciones del NSCE aplicando el software TNM 2.5 (desarrollado por la FHWA y validado solamente en EEUU) basado en el aforo en esos sitios; y el análisis de *regresión múltiple lógica* de sus propios cálculos dio una regresión con un intervalo de confianza al 95% bastante baja ($R^2 = 34\%$), que a fines estadísticos no es muy confiable puesto que estos teoremas plantean la validez a partir del 65%. Sin embargo, los estudios de estimación sorprendentemente le dieron valores cercanos a los que se obtienen con las fórmulas de Miedema.

Uno de los resultados arribados en ese estudio comprobó que la validez de los resultados del software TNM 2.5 es relativa, concluyendo que el mismo tiene modelos simplificados que subestima los niveles sonoros, porque no considera las reflexiones del sonido en la arquitectura del entorno.

Respecto a la aplicación de los modelos de Miedema, únicamente se correlacionaron en los puntos de “alta molestia”, y fueron válidos a 50 m a la redonda de cada uno de ellos.

7.2. Modelos de Miedema para estimar la molestia por ruido de automóviles

Las ecuaciones siguientes son los modelos de predicción de la molestia por ruido, y solamente se presentan las que incumben el ruido de automóviles.

Estas ecuaciones son polinómicas y están basadas con la medición del NSCE en modo lento ($L_{Aeq,S,T}$) y el desvío estándar –según el mismo Miedema- respecto al $L_{Aeq,T}$ es de apenas 0,2 dBA, para el caso de molestias por ruido de automóviles, lo cual es despreciable.

Tal como se dijo anteriormente, se utilizó el modelo del Ldn, porque la legislación vigente en la materia define los mismos periodos horarios.

Para estimar el porcentaje de la población “levemente molesta” la ecuación es la siguiente,

$$\%LA = -6,188 * 10^{-4} (Ldn - 32)^3 + 5,379 - 10^{-2} (Ldn - 32)^2 + 0,723 (Ldn - 32) \text{ Ecuación 7-1}$$

Para estimar el porcentaje de la población “molesta” la ecuación es la siguiente,

$$\%A = 1,732 * 10^{-4} (Ldn - 37)^3 + 2,079 - 10^{-2} (Ldn - 37)^2 + 0,566 (Ldn - 37) \text{ Ecuación 7-2}$$

Para estimar el porcentaje de la población “altamente molesta” la ecuación es la siguiente,

$$\%HA = 9,994 * 10^{-4} (Ldn - 42)^3 - 1,523 - 10^{-2} (Ldn - 42)^2 + 0,538 (Ldn - 42) \text{ Ecuación 7-3}$$

8. RESULTADOS DE LAS MEDICIONES SUBJETIVAS EN TRES CIUDADES DEL PERÚ

La contaminación sonora producida por el ruido de los vehículos es el factor que más molestias causa a la población urbana. A causa que en la ciudad de Pucallpa el vehículo más común y el que más quejas recibe es la trimoto L5 se analizó por separado, es decir, Pucallpa por un lado y Lima-Callao con Huancayo en conjunto.

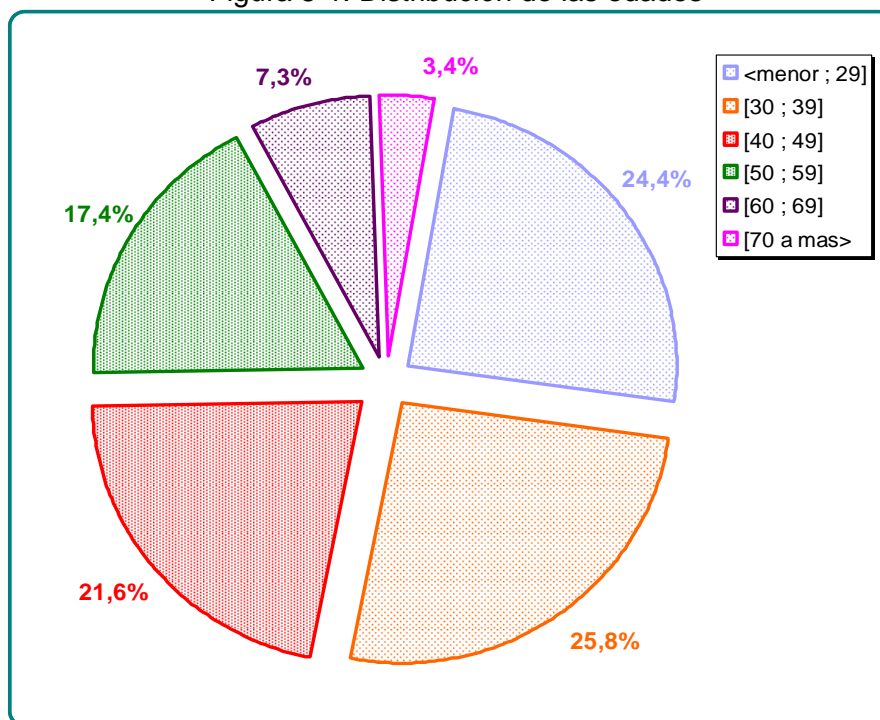
Para las encuestas, se adaptó el modelo Normalizado en la ISO 15666:2003 *Acoustics – Assessment of noise annoyance by means of social and socio-acoustic survey*. Se presentará solamente los resultados de las encuestas que sirvieron para aplicar el teorema de *regresión múltiple* para el estudio, y determinar la *Estimación de la molestia por ruido* (EMR).

8.1. Resultados en la ciudad de Pucallpa (Región de la selva)

8.1.1. Población por rango de edades

En relación a los rangos de edades el resultado es el siguiente,

Figura 8-1: Distribución de las edades



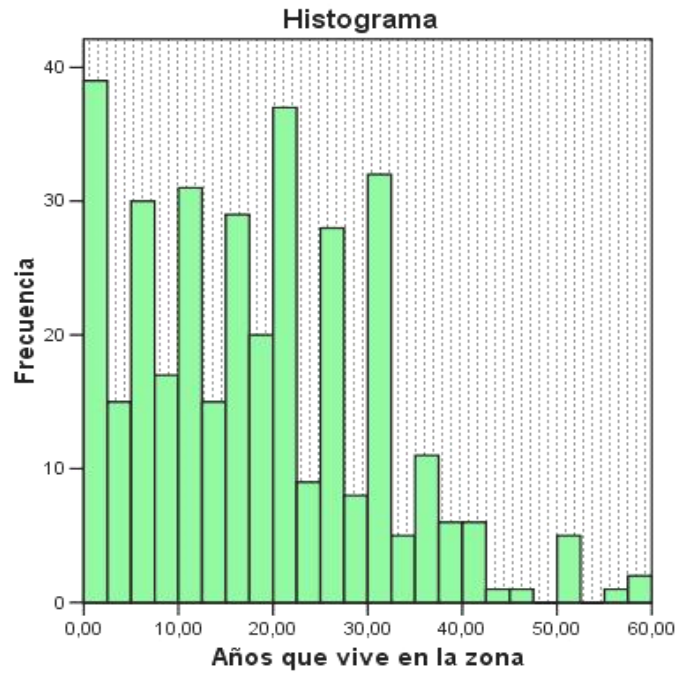
8.1.2. Años que vive en la zona

Respecto a los años que las personas encuestadas viven en los alrededores de los puntos testigos (300 m), el resultado es el siguiente:

Tabla 8-1: Mediana de los años que las personas viven en la zona

Variable	Valor
Mediana	17,00
Desvío	12,19

Figura 8-2: Histograma de los años que las personas viven en la zona

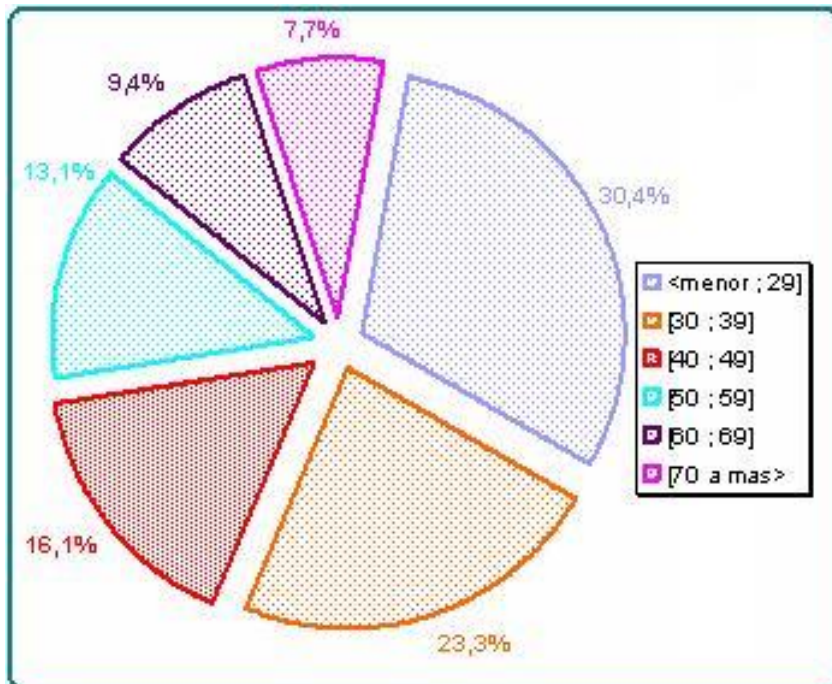


8.2. Resultados en la ciudad de Huancayo (Región de la sierra) y en Lima-Callao (Región de la costa)

8.2.1. Población por rango de edades

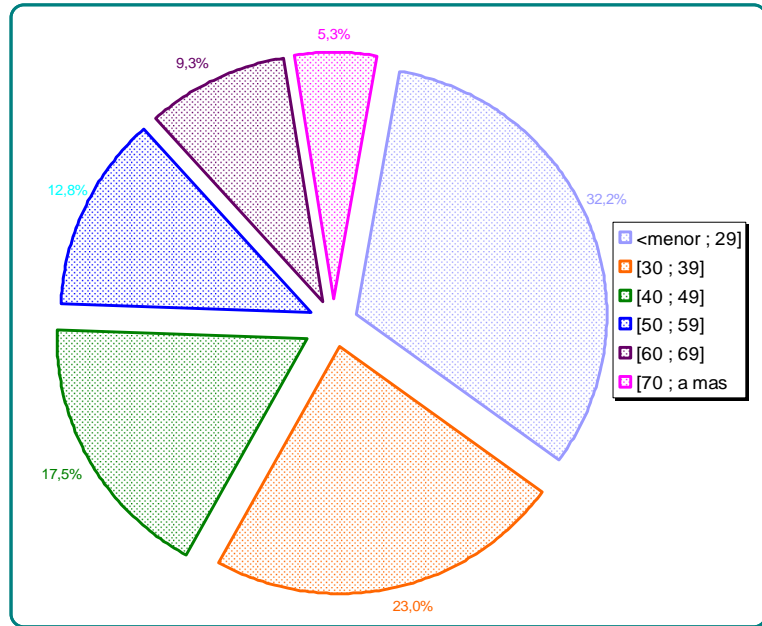
En relación a los rangos de edades el resultado es el siguiente,

Figura 8-4: Distribución de las edades



Ciudad de Huancayo

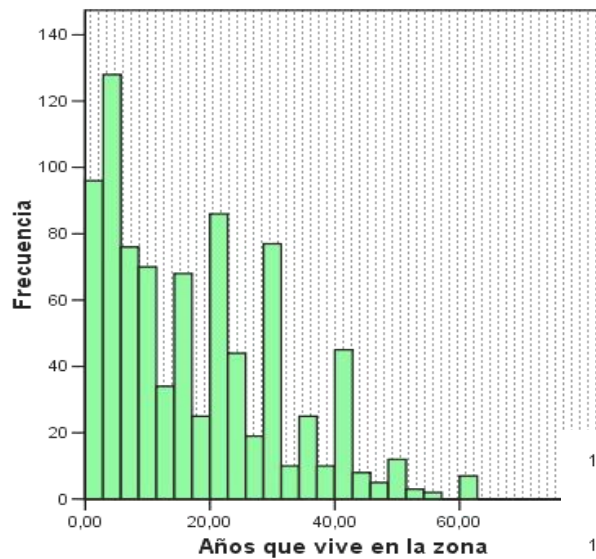
Ciudad de Lima-Callao



8.2.2. Años que vive en la zona

Respecto a los años que las personas encuestadas viven en los alrededores de los puntos testigos (300 m), el resultado es el siguiente:

Figuras 8-5: Histograma de los años que las personas viven en la zona



Ciudad de Lima-Callao

Ciudad de Huancayo

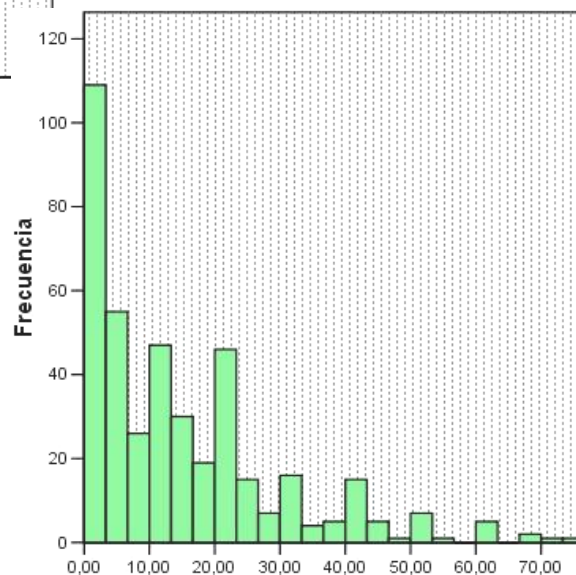


Tabla 8-1: Mediana de los años que las personas viven en la zona

Variable	Huancayo	Lima-Callao
Mediana	10	15
Desvío	14,59	13,83

El desvío es muy alto, seguro a consecuencia de la alta rotabilidad de vivienda de las personas, ya que más del 40% de la población del Perú construye viviendas precarias en terrenos ocupados, por lo que regularmente tienen que mudarse a consecuencia de los reasentamientos gubernamentales.

8.3. Molestia por ruido discriminada por fuentes

A continuación se presentan a modo informativo los resultados obtenidos,

Tabla 8-3: ¿Qué fuentes de ruido causan mayor nivel de molestia?

Fuente de ruido	Pucallpa %		Huancayo %		Lima-Callao %	
	Residentes	Transeúntes	Residentes	Transeúntes	Residentes	Transeúntes
Vehículos automotor	69,92	77,61	68,02	75,88	62,95	70,52
Bares, discotecas	12,55	8,04	10,18	7,48	9,28	6,25
Industrias	6,37	3,91	0,61	0,42	2,56	1,12
Obras en la calle	5,38	0,22	2,44	1,66	6,63	9,51
Urbanos	5,18	5,00	11,61	4,99	9,46	4,48
Aeronaves	0,40	5,22	0,00	0,00	4,51	1,96
Recolector de basura	0,20	0,00	7,13	9,56	4,60	6,16

Cabe aclarar que en la ciudad de Huancayo no hay aeropuerto, por esto es que no existe molestia por ruido de aeronaves. De la tabla anterior se observa que los vehículos automotores son la mayor fuente de queja por ruido.

Para el caso de las molestias por el servicio de recolección de basura, es producto de que los camiones accionan una bocina especial, y para el caso de Huancayo utilizan un sistema de refuerzo electroacústico con música.

8.4. Análisis utilizando el teorema de regresión múltiple

Para hallar un modelo válido, en el programa SPSS se utilizaron todas las variables obtenidas en las encuestas, para un análisis de *regresión múltiple lógica*, y predecir la escala de molestia de ruido. Con el método de *step wise* se llegó a determinar las variables que están involucradas:

- a) la edad,
- b) años que vive en la zona
- c) molesta el ruido.

8.4.1. Ciudad de Pucallpa (Región de la selva)

El modelo de predicción es válido con un $R^2 = 62,3\%$ para la escala de molestia de ruido subjetiva vs mediciones es el siguiente:

Ecuación 8-1

$$EMR = 4,3 + 0,014 * (\text{años en la zona}) + 0,48 (\text{molestia por ruido}) + 0,019 * (\text{edades})$$

Se presenta a modo ilustrativo las molestias discriminadas por fuente de ruido

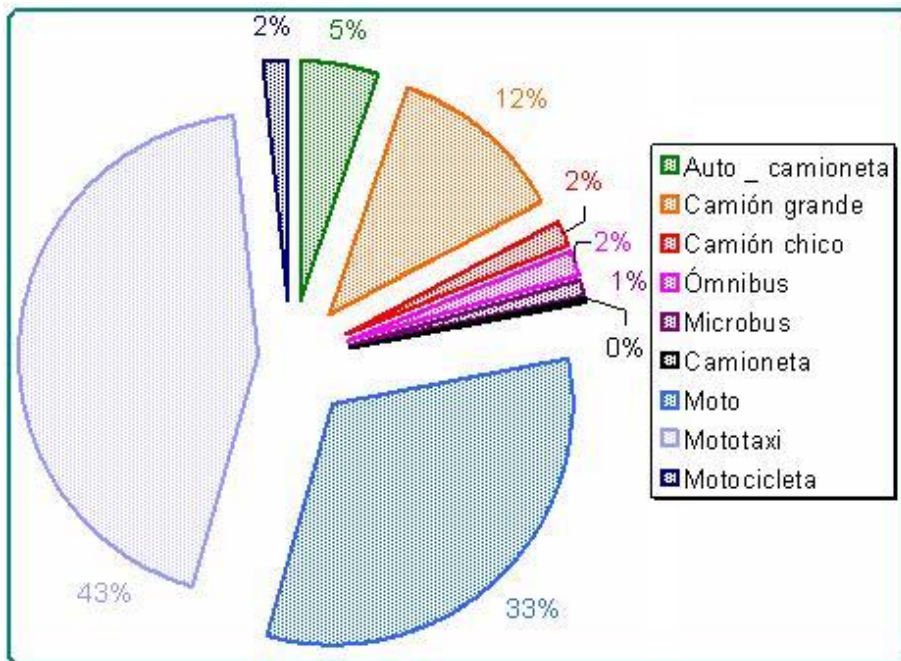


Figura 8-3: Molestia por tipo de vehículo

8.4.1. Ciudad de Huancayo (Región de la sierra) y Lima-Callao (Región de la costa)

De las encuestas realizadas en las ciudades de Huancayo y Lima-Callao, se utilizó un análisis de *regresión múltiple lógica* para predecir la escala de molestia de ruido, se llegó a determinar las variables que están involucradas: la edad, años que vive en la zona y molesta el ruido.

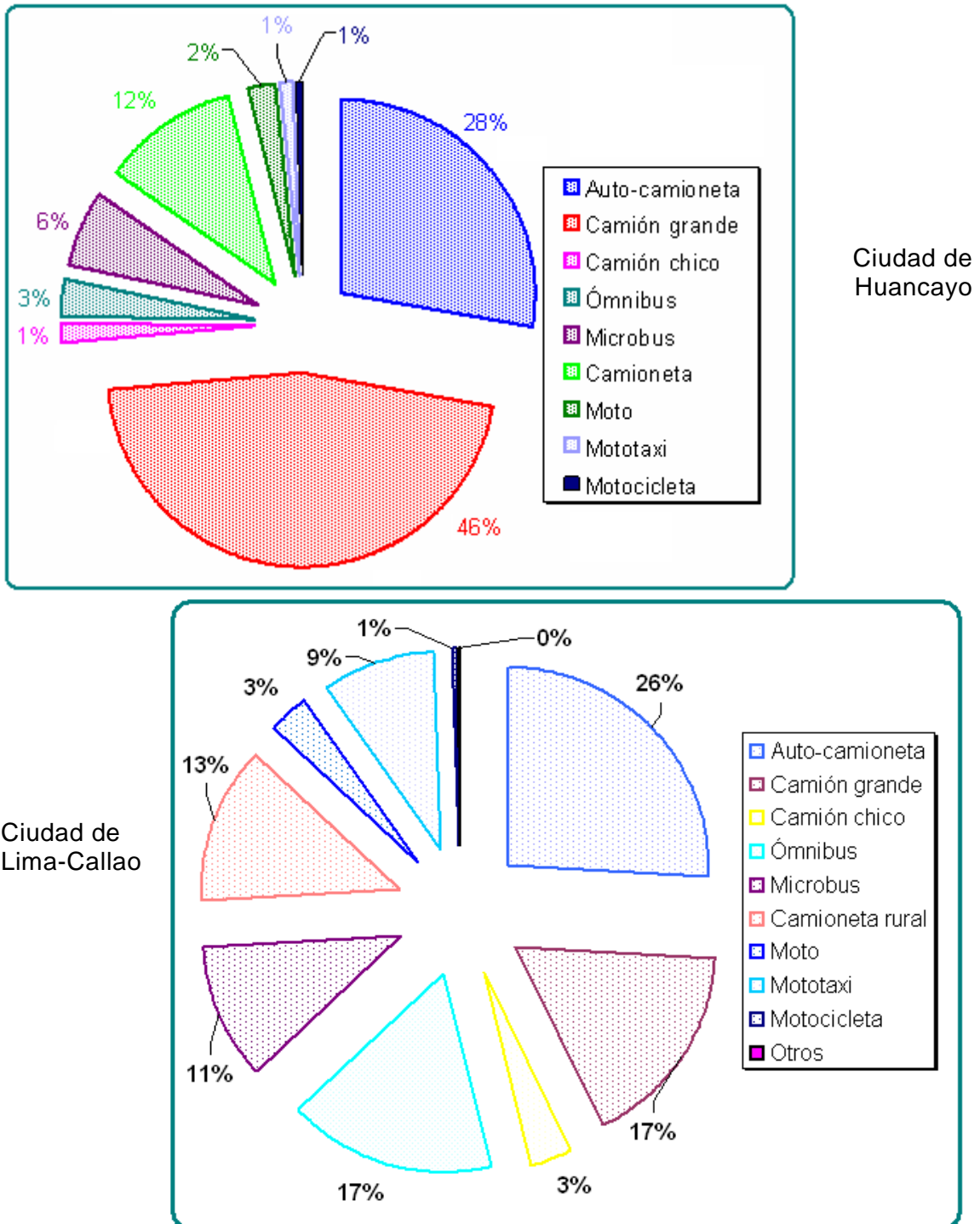
El modelo de predicción válido con un $R^2 = 77,3\%$ para la escala de molestia de ruido subjetiva vs. mediciones.

Ecuación 8-2

$$EMR = 1,17 + 0,01 * (\text{años en la zona}) + 1,583 (\text{molestia por ruido}) + 0,005 * (\text{edades})$$

Se presenta a modo ilustrativo las molestias discriminadas por fuente de ruido

Figura 8-4: Molestia por tipo de vehículo



9. COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS DE LAS FÓRMULAS DE MIEDEMA CON LAS ENCUESTAS Y MEDICIONES EN TRES CIUDADES DEL PERÚ

Este trabajo surgió de la inquietud de verificar si la aplicación de estos modelos se podría correlacionar con mediciones objetivas y subjetivas en un entorno socio-cultural diferente al de las ciudades de Dinamarca, tal como el estudio efectuado en la ciudad de San Francisco; entonces, vamos a comparar los resultados obtenidos en las encuestas con la estimación del Ldn y las ecuaciones de H. Miedema, donde en algunos casos se verifica una similitud, sin olvidar que para los cálculos no fueron utilizadas mediciones continuas de 24 horas, las que no se hicieron por razones presupuestarias, ni tampoco son el resultado de mediciones de largo plazo (un año completo), sino que el Ensayo de mediciones fue de 10 días en todas las ciudades.

Tabla 9-1: Tomando en consideración los últimos 12 meses, en una escala de 0 al 10 ¿Cuánto le molesta o perturba el ruido cuando se encuentra en su vivienda?

		Pucallpa		Huancayo		Lima-Callao	
		Residen-tes	Transeún-tes	Residen-tes	Transeún-tes	Residen-tes	Transeún-tes
Hombres	Mediana	8	7	7	7	7	7
	Desvío	1,722	1,805	2,110	2,317	1,610	1,591
Mujeres	Mediana	8	7	7	6	7	8
	Desvío	1,974	1,802	2,210	2,115	1,921	1,897

Los umbrales para considerar la molestia según Miedema, de una escala de 0 a 100 es la siguiente,

Tabla 9-2: Escala de calificación del ruido

Calificación	Umbral
Levemente molestos	≥ 28
Molestos	≥ 50
Altamente molestos	≥ 72

Por lo que se puede observar que en todas las ciudades las personas están “molestas” y “altamente molestas” por el ruido proveniente de fuentes móviles, automotores de las categorías L, M y N.

Tabla 9-3: Estimación según Miedema (mediana)

Pucallpa		Huancayo		Lima-Callao	
HA	A	HA	A	HA	A
80,2%	66,9%	55,2%	51,7%	89,9%	72,5%

Para un mejor análisis, hallamos los promedios de los valores de la tabla 9-3 quedando los siguientes valores,

Tabla 9-4: Promedios de la molestia por ruido en sus viviendas

	Pucallpa	Huancayo	Lima-Callao
Promedio	7,5	6,75	7,25
Desvío	1,826	2,188	1,755

Comparando los valores de la tabla 9-3 y 9-4 tenemos que,

Tabla 9-5: Comparación de las estimaciones según Miedema y las encuestas

Pucallpa		Huancayo		Lima-Callao	
HA	Encuesta	A	Encuesta	A	Encuesta
80,20%	7,5 ± 1,8	51,70%	6,75 ± 2,2	72,50%	7,25 ± 1,8

De la tabla anterior se puede observar que dentro del desvío estadístico para un intervalo de confianza del 95%, los resultados son similares.

10. CONCLUSIONES

Teniendo en cuenta que se trabajó con escasos recursos económicos y poco tiempo.

- 10.1. Al aplicar métodos estadísticos de repetibilidad, se aseguró la fiabilidad de los resultados de las mediciones.
- 10.2. Las encuestas fueron 100% efectivas, ya que todas fueron contestadas porque el Objeto era tener respuestas positivas.
- 10.3. La correlación de la ciudad de Pucallpa $R^2 = 62,3\%$, si bien es estadísticamente válida, no supera el 70% el cual se lo considera como determinante de una variable, esto se debe a la poca cantidad de datos utilizados (menos de 700 valores como muestra).
- 10.4. La correlación para las ciudades de la costa y sierra $R^2 = 77,3\%$, indica que existe una alta relación entre la molestia subjetiva y las mediciones sonoras.
- 10.5. Las estimaciones del nivel sonoro día-noche, aplicando los modelos ampliamente usados, para extrapolar mediciones de corta duración a de larga duración, brinda resultados confiables para la situación estudiada.
- 10.6. Los modelos de H. Miedema fueron resueltos con mediciones objetivas y subjetivas de países con realidades socioeconómicas y culturales muy distintas al Perú, sin embargo se comprueba su validez a pesar de que el Ldn fue estimado con mediciones de corta duración.
- 10.7. Tal como presenta Miedema en sus publicaciones, cuando el Ldn supera los 75 dBA los modelos no son confiables, y esto se correlaciona con las mediciones de la ciudad de Lima-Callao, a causa de que el NSCE nocturno es muy alto por lo que las fórmulas para este caso sobrestiman los resultados.
- 10.8. Las respuestas de las encuestas tienen un alto contenido subjetivo, porque dependen del "estado mental y humor" de las personas frente al ruido de vehículos terrestres (en nuestro caso) al momento de la entrevista, sin embargo, se correlacionan con los métodos objetivos.
- 10.9. Analizar las presuntas molestias del ruido proveniente de fuentes móviles (vehículos terrestres) en las personas utilizando solamente el NSCE ($L_{Aeq,T}$), es insuficiente. Para investigar, indagar, etc., sobre esto, se tienen que utilizar los descriptores de ruido tales como los niveles percentiles del NSCE.

11. TRABAJOS FUTUROS

A consecuencia de la gran cantidad de datos recabados e información obtenida tanto de las mediciones del nivel sonoro como de las encuestas, se están realizando otros análisis, a saber:

- a) Estimar el NSCE en función del aforo vehicular discriminado y otras variables.
- b) Estimar los niveles percentiles en función del NSCE, aforo vehicular discriminado y otras variables.
- c) Definir un protocolo de mediciones para el ruido proveniente de fuentes móviles terrestres, automóviles de categoría L, M y N, y su análisis utilizando descriptores de ruido y algunas funciones estadísticas.

12. AGRADECIMIENTOS

Expreso mi agradecimiento hacia la Universidad La Salle y los/las docentes que, de una forma u otra, han contribuido al desarrollo de mi maestría, hacia las instituciones y su personal que colaboraron con el trabajo del cual resultó esta Tesis. Gratitud al área técnica de laboratorio de la empresa ARQUICUST SRL, por las facilidades brindadas para las mediciones sonoras, en especial a Walter Montano por su valiosa ayuda en la revisión y calidad del trabajo; Así como también gracias a Ivana Rossell, coordinadora de mi Tesis, por su tiempo y guía en el desarrollo del trabajo.

13. GLOSARIO

acústica. La ciencia del sonido, incluyendo su producción, transmisión, recepción y efectos. De una habitación, aquellas cualidades que determinan conjuntamente el carácter de la habitación con respecto a la percepción auditiva humana.

acústico, acústica: Los adjetivos calificativos acústico y acústica tienen los siguientes significados: contiene, produce, surge de, actúa por, o relacionado con el sonido. Se utiliza acústico cuando el término que se está calificando designa a algo que tiene propiedades, dimensiones o características físicas asociadas con las ondas sonoras (p.ej., impedancia acústica), se utiliza acústica cuando el término calificado no designa explícitamente a algo que tenga las propiedades, dimensiones o características físicas del sonido (p.ej., ingeniería acústica).

banda. Un segmento del espectro de frecuencia.

bel (B). Es un índice adimensional utilizado para expresar el logaritmo decimal de la razón entre un nivel medido y un nivel de referencia.

Calibración certificada: Documento emitido por un Laboratorio Homologado por la Autoridad de Aplicación, el cual posea el instrumental científico necesario y la capacidad técnica para efectuar verificaciones de instrumentos para medir el nivel sonoro (sonómetro) y calibradores acústicos, respecto a curvas de trazabilidad internacionales; el mismo certificará la calibración respecto al desvío normal del instrumento acorde a su Clase.

calificar. Apremiar o determinar las cualidades o circunstancias de alguien o de algo. Juzgar el grado de suficiencia o la insuficiencia de algo o alguien

Clase de un instrumento: Se refiere a la clasificación dada por las Normas IEC 61672/1:2002, IEC 61672/2:2003, para sonómetros. Para el caso de los calibradores, IEC 60942:2003.

comparar. Fijar la atención en dos o más objetos para descubrir sus relaciones o estimar sus diferencias o semejanza.

Contaminación acústica: Presencia en el ambiente exterior o interior de las edificaciones, de ruidos y/o vibraciones que impliquen daños, molestias o riesgos para la salud de las personas y altere el Ambiente.

criterio. Juicio o discernimiento. Norma para conocer la verdad

decibel. Una unidad de nivel que denota la relación entre dos cantidades que son proporcionales a la potencia; el número de decibeles es diez veces el logaritmo (base 10) de esta relación. En muchos campos sonoros, las relaciones de presión sonora no son proporcionales a las correspondientes relaciones de potencia, pero es una práctica habitual ampliar el uso de la unidad a tales casos. Un decibel es un décimo de un bel. Símbolo de la unidad: dB.

ensayo. Escrito en el cual un autor desarrolla sus ideas sin necesidad de mostrar el aparato erudito.

Espectro de banda de octava: Un espectro que tiene una octava de anchura.

espectro. Una dispersión de una cantidad en función de la frecuencia; el término puede utilizarse para significar un rango continuo de componentes, habitualmente amplio en extensión, que poseen algunas características comunes, como el espectro de frecuencias auditivas. Es la amplitud de los niveles de presión en función de sus frecuencias componentes; para el caso de la presente Ley será en el rango de las frecuencias que van de 1 Hz a 20.000 Hz, siendo éste continuo y distribuido uniformemente.

evaluar. Señalar el valor de algo. Estimar, apreciar, calcular el valor de algo

frecuencia. De una fracción periódica en el tiempo, el número de veces que la cantidad se repite a sí misma en un segundo (número de ciclos por segundo. El recíproco del periodo. Unidad: hertz. Símbolo de la unidad: Hz.

- incertidumbre.** Parámetro, asociado al resultado de una medición, que caracteriza la dispersión de los valores que podrían ser razonablemente atribuidos al mensurando.
- Incertidumbre en la medición:** Parámetro, asociado con el resultado de una medición, que caracteriza la dispersión de los valores que razonablemente pueden ser atribuidos al mesurando. La reducción de la *incertidumbre* en una medición, se refiere y requiere que sin importar cómo se realice su cuantificación, ésta debe ser controlada y reducida en la medida de lo posible, para que no se acumulen y exista una propagación de errores o una acumulación de incertidumbres que conlleven a dudar del método aplicado.
- Límite máximo permisible (LMP):** Es la concentración o grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, que caracterizan a un efluente o a una emisión, que al ser excedido puede causar daños a la salud, bienestar humano y al ambiente.
- mediana.** *Mat.* Elemento de una serie ordenada de valores crecientes de forma que la divide en dos partes iguales, superiores e inferiores a él.
- molestia.** Sentimiento de displacer asociado con estímulos acústicos que afectan adversamente al individuo y por tanto su calidad de vida.
- monitoreo.** Es la acción de medir y obtener datos en forma programada de los parámetros que inciden o modifican la calidad del entorno acústico o de la emisión a los efectos de conocer la variación de la concentración o nivel de este parámetro en el tiempo y el espacio.
- Nivel percentil:** Para una duración establecida del periodo total de medición, el nivel sonoro o nivel sonoro promediado en el tiempo que es superado el x por 100 del periodo total de medición. Si se utilizan niveles sonoros, hay que especificar la ponderación temporal; si se utilizan niveles sonoros equivalentes, hay que especificar el periodo de medición de cada muestra. Unidad: decibel. Símbolo de la unidad: dB.
- nivel.** El logaritmo de la relación entre una cantidad determinada y una cantidad de referencia del mismo tipo. Hay que indicar la base del logaritmo, la cantidad de referencia y el tipo de nivel. (El tipo de nivel se indica mediante el uso de un término compuesto, como nivel de potencia sonora o nivel de presión sonora. El nivel de cantidad de referencia no se modifica ya se elija su punta, rms u otro).
- objetivo, va.** 1. adj. Perteneciente o relativo al objeto en sí mismo, con independencia de la propia manera de pensar o de sentir
- objeto.** (Del lat. *obiectus*). 1. m. Todo lo que puede ser materia de conocimiento o sensibilidad de parte del sujeto, incluso este mismo.
- octava.** El intervalo de frecuencia entre dos sonidos cuya relación de frecuencia es 2.
- percentiles:** Representan un nivel que es excedido durante un N por ciento del total de los NPS durante el tiempo de medición. Así, el $LN = L_{10}$ es el nivel que superó el 10% del tiempo de medición.
- protocolo.** Plan escrito y detallado de un experimento científico, un ensayo clínico o una actuación médica.
- sonómetro.** Un instrumento que es utilizado para la medición del nivel sonoro, con ponderación de frecuencia y ponderación exponencial de tiempo promedio estandarizadas, de acuerdo a las Normas serie IEC 61672 o aquellas(s) que la sustituyan.
- trazabilidad.** Propiedad del resultado de una medición o del valor de un patrón por la cual pueda ser relacionado a referencias determinadas, generalmente patrones nacionales o internacionales, por medio de una cadena ininterrumpida de comparaciones teniendo todas, incertidumbres determinadas
- Valor normal:** *Fís.* El que toma una magnitud en condiciones normales.

14. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Berglund, Birgitta; Lindvall, Thomas; Schwela, Dietrich H. *Guidelines for Community Noise*. World Health Organization. Suiza 1999.
- [2] Comisión Europea. "Position paper on EU noise indicators". Oficina de Publicaciones Oficiales de las Comunidades Europeas. Luxemburgo, 2000.
- [3] Constitución Política del Perú, Artículo 2° inciso 22.
- [4] Diccionario de la Real academia española (RAE). 22° Edición. www.rae.es
- [5] Directiva N° 002-2006-MTC/15 Clasificación vehicular y estandarización de características registrables vehiculares
- [6] DS 083-2003-PCM Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECAs) para ruido.
- [7] Eco, Umberto. *Cómo se hace una tesis*. Ed. GEDISA, Barcelona, 1982.
- [8] Miyara, Federico. *Niveles sonoros*. Laboratorio de Acústica y Electroacústica Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura Universidad Nacional de Rosario. <http://www.eie.fceia.unr.edu.ar/~acustica/biblio/niveles.htm>
- [9] Miyara, Federico. *Paradigmas para la investigación de las molestias por ruido*. Laboratorio de Acústica y Electroacústica Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura Universidad Nacional de Rosario. (Buenos Aires, 2001).
- [10] García, María Marta; Pérgola, Laura; Stern, Mirta. *El arte de escribir bien en Español*. Ed. Santiago Arcos INSTRUMENTOS; Buenos Aires 2006.
- [11] Harris, Cyril M.. *Manual de medidas acústicas y control del ruido*. Mc Graw Hill. 3° Ed. España 1995,
- [12] Instituto Nacional de Estadística e Informática del Perú. Censo de Población y Vivienda 2007
- [13] IRAM 35050:2001 *Estadística - Procedimiento para la evaluación de la incertidumbre de la medición*
- [14] ISO serie 1996 *Acústica – Descripción, medición y valoración del ruido ambiental*
- [15] ISO 15666:2003 *Acoustics -- Assessment of noise annoyance by means of social and socio-acoustic surveys*
- [16] Ley N° 23560-1982 *Sistema legal de unidades de medidas del Perú (SLUMP)*.
- [17] Ley N° 28.611-2005 *Ley General del Ambiente*.
- [18] Miedema, Henk M.E. *Relationships between exposure to single or multiple transportation noise sources and noise annoyance*. TNO-PG, Leiden. Technical Document for WHO, Germany 2002.
- [19] Miedema, Henk M.E.; Oudshoorn, Catharina G.M.. *Annoyance from Transportation Noise: Relationships with Exposure Metrics DNL and DENL and Their Confidence Intervals*. TNO-PG, Leiden. The Netherlands, 2001.
- [20] North Carolina State University. *Historia de la acústica*.
- [21] Ouis D. *Annoyance caused by exposure to road traffic noise: An update*. Noise Health 2002;4:69-79
- [22] Seto; Edmund Yet Wah; Holt, Ashley; Rivard, Tom; Bhatia, Rajiv. *Spatial distribution of traffic induced noise exposures in a US city: an analytic tool for assessing the health impacts of urban planning decisions*. International Journal of Health Geographics. EEUU 2007.
- [23] St. Pierre, Richard L. Jr; Maguire, Daniel J. *The Impact of A-weighting Sound Pressure Level Measurements during the Evaluation of Noise Exposure*. NOISE-CON, Maryland USA 2004.
- [24] Stallen, Pieter Jan M. *A theoretical framework for environmental noise annoyance*. Noise & health 1999, 1-3, pages 69-79
- [25] Texas University. *A Texan at Harvard: Did Success Spoil G. W. Pierce?* <http://txtell.lib.utexas.edu/stories/p0003-article.htm>.
- [26] Valladares Rodríguez, Otto. *Manual de ortografía*. Ed. Mantaro; Lima 1999.
- [27] http://www4.ncsu.edu/~rifki/arc414/Acoustics/Acoustics_01.htm

/ * / * / * **FIN DEL TRABAJO DE TESIS** * / * / * /

**ANEXO
ENCUESTA PARA RESIDENTES**

Dept.: Prov.: Fecha:
Ciudad: Distrito: Urb.:

Punto N° **Lugar:** **Encuesta N°**

1. De la persona encuestada (En domicilio)

Nombres y apellidos: SEXO F M EDAD
Domicilio:

¿Cuál es su grado de instrucción? (especificar)

¿Cuántas personas viven en la casa? ... ¿Cuántos menores de edad? ... ¿Cuántos de la 3ª edad? ...

2. De la vivienda

Condición de la vivienda	Propia	Alquilada S/.			Compartida	Otro	
¿Con qué servicios básicos cuenta?	Agua	Luz	Desagüe	Cable	Teléfono	Ninguno	

¿De qué materiales está construida la vivienda?

Mat. Noble	Madera	Tripley	Quincha y adobe	Esteras	Otros:
------------	--------	---------	-----------------	---------	--------

3. Del trabajo

¿Cuál es su trabajo/ocupación?

Agricultura	Ganadería	Minería	Albañil	Jornalero	Artesano	Comerciante
Empleado	Obrero	Chofer			Otro	

¿Cuál es su ingreso? Mensual S/ Quincenal S/ Semanal S/ Diario S/

4. Del ruido en el lugar

¿Cuanto tiempo hace que vive en esta zona?

Cuando usted vino a vivir a esta zona ¿El ruido era igual que ahora?

SI	NO
----	----

A su parecer en los últimos doce meses ¿Se incrementó o aumentó el ruido?

SI	NO
----	----

A su parecer en la zona ¿Hay continuamente fuentes de ruido fuertes?

SI	NO
----	----

A su criterio ¿Qué fuentes de ruido causan mayor nivel de molestia, en esta zona?

Vehículos (autos, camiones, motos, etc.)	Bares. Discotecas. Pubs	Industrias	Obras en la calle	Los vecinos (gritos, TV, etc.)	Aviones	Recolector de basura, ambulancias, policías
--	-------------------------	------------	-------------------	--------------------------------	---------	---

Otros.

¿Qué tipo de vehículos es que le causa mayor molestia?

Auto – camioneta	Camión (grande)	Camión chico	Bus (ómnibus)	Microbús	Camioneta rural combi	Moto	Moto taxi	Motocicleta
------------------	-----------------	--------------	---------------	----------	-----------------------	------	-----------	-------------

Tomando en consideración los últimos 12 meses, en una escala del 0 al 10 ¿Cuánto le molesta o perturba el ruido producido por la fuente de ruido que le causa mayor molestia, cuando se encuentra en su vivienda?

0 Nada	1	2	3	4	5 Más o menos	6	7	8	9	10 Extremadamente
-----------	---	---	---	---	------------------	---	---	---	---	----------------------

Este mismo ruido ¿Cuánto le molesta o perturba el ruido, cuando se encuentra en su vivienda?

Nada	Casi nada	Más o menos	Mucho	Extremadamente
------	-----------	-------------	-------	----------------

5. De la salud

¿Sufre Ud. frecuentemente de algunos de los siguientes síntomas y/o enfermedades?

¿Tiene dificultad para escuchar?

No	Algunas veces	Siempre	Desde cuándo		Con qué frecuencia	
----	---------------	---------	--------------	--	--------------------	--

¿Tiene sonidos en los oídos? (Zumbido de oídos)

No	Algunas veces	Siempre	Desde cuándo		Con qué frecuencia	
----	---------------	---------	--------------	--	--------------------	--

¿Tiene dolor de cabeza? ¿Como pesadez?

No	Algunas veces	Siempre	Desde cuándo		Con qué frecuencia	
----	---------------	---------	--------------	--	--------------------	--

¿Sufre Ud. de insomnio?

No	Algunas veces	Siempre	Desde cuándo		Con qué frecuencia	
----	---------------	---------	--------------	--	--------------------	--

¿Se siente estresado por el ruido?

No	Algunas veces	Siempre	Desde cuándo		Con qué frecuencia	
----	---------------	---------	--------------	--	--------------------	--

¿Ud. va al Hospital/Clínica o Centro médico para el tratamiento de alguna enfermedad o síntoma mencionada en alguna pregunta anterior?

¿Cuál?

...

No	Algunas veces	Siempre	Desde cuándo		Con qué frecuencia	
----	---------------	---------	--------------	--	--------------------	--

¿Ud. compró alguna medicina para el tratamiento de la enfermedad ó síntomas mencionados anteriormente?

No	Algunas veces	Siempre	Desde cuándo		Con qué frecuencia	
----	---------------	---------	--------------	--	--------------------	--

¿Recuerda cuánto gastó?	Por semana		Por mes	
-------------------------	------------	--	---------	--

6. De la legislación

¿Cree Ud. que se debe controlar el ruido en las calles?

SI	NO
----	----

¿Cree Ud. que se puede controlar el ruido en las

No sabe	Un poco	Más o menos	Mucho
---------	---------	-------------	-------

calles?

¿Conoce Ud. algún Reglamento que regule el ruido en las calles?		SI	NO
¿Para Ud. debería existir un Reglamento que regule el ruido en las calles?		SI	NO

(Si la respuesta es afirmativa)

¿Por qué sería importante la existencia de un Reglamento?

Nombre del encuestador:

Verificado por: Ingresado por:

ENCUESTA PARA LOS TRANSEUNTES Y TRABAJADORES DE LA CALLE

Dept.: Prov.: Fecha:
 Ciudad: Distrito: Urb.:

Punto Nº **Lugar:** **Encuesta Nº**

1. De la persona encuestada (En la calle)

Nombres y apellidos: SEXO F M EDAD

Domicilio:

¿Cuál es su grado de instrucción? (especificar).....

¿Cuántas personas viven en la casa? ... ¿Cuántos menores de edad? ... ¿Cuántos de la 3ª edad?

2. Del trabajo

¿Cuál es su trabajo/ocupación?

Agricultura	Ganadería	Minería	Albañil	Jornalero	Artesano	Comerciante
Empleado	Obrero	Chofer			Otro	

¿Cuál es su ingreso? Mensual S/ Quincenal S/ Semanal S/ Diario S/

Si es trabajador de la calle

¿Cuántas horas trabaja en la calle?

hs/sem.			
< 1 año	1 y 5	6 a 10	> 10
< 1 año	1 y 5	6 a 10	> 10

¿Cuánto tiempo hace que está trabajando en la calle?

¿Cuánto tiempo hace que está trabajando en este mismo lugar?

Si es conductor de transporte público

Moto	Moto-kar	Taxi	Bus	Combi	Custer
¿Cuántas horas conduce su vehículo?			hs/sem.		
¿Cuánto tiempo hace que está conduciendo?			< 1 año	1 y 5	6 a 10 > 10

3. Del ruido en el lugar

Cuando usted vino a trabajar a esta zona ¿El ruido era igual que ahora?

A su parecer en los últimos doce meses ¿Se incrementó o aumentó el ruido?

A su parecer en la zona ¿Hay continuamente fuentes de ruido fuertes?

SI	NO
SI	NO
SI	NO

A su criterio ¿Qué fuentes de ruido causan mayor nivel de molestia, en esta zona?

Vehículos (autos, camiones, motos, etc.)	Bares. Discotecas. Pubs	Industrias	Obras en la calle	Los vecinos (gritos, TV, etc.)	Aviones	Recolector de basura, ambulancias, policías
--	-------------------------	------------	-------------------	--------------------------------	---------	---

Otros.

¿Qué tipo de vehículos es que le causa mayor molestia?

Auto – camioneta	Camión (grande)	Camión chico	Bus (ómnibus)	Micro bús	Camioneta rural combi	Moto	Moto taxi	Motocicleta
------------------	-----------------	--------------	---------------	-----------	-----------------------	------	-----------	-------------

Tomando en consideración los últimos 12 meses, en una escala del 0 al 10, ¿Cuánto le molesta o perturba el ruido producido por la fuente de ruido que le causa mayor molestia, cuando se encuentra en su lugar de trabajo?

0 Nada	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10 Extremadamente
--------	---	---	---	---	---	---	---	---	---	-------------------

Este mismo ruido ¿Cuánto le molesta o perturba el ruido, cuando se encuentra en su vivienda?

Nada	Casi nada	Más o menos	Mucho	Extremadamente
------	-----------	-------------	-------	----------------

4. De la salud

¿Sufre Ud. frecuentemente de algunos de los siguientes síntomas y/o enfermedades?

¿Tiene dificultad para escuchar?

No	Algunas veces	Siempre	Desde cuándo		Con qué frecuencia	
----	---------------	---------	--------------	--	--------------------	--

¿Tiene sonidos en los oídos? (Zumbido de oídos)

No	Algunas veces	Siempre	Desde cuándo		Con qué frecuencia	
----	---------------	---------	--------------	--	--------------------	--

¿Tiene dolor de cabeza? ¿Como pesadez?

No	Algunas veces	Siempre	Desde cuándo		Con qué frecuencia	
----	---------------	---------	--------------	--	--------------------	--

¿Sufre Ud. de insomnio?

No	Algunas veces	Siempre	Desde cuándo		Con qué frecuencia	
----	---------------	---------	--------------	--	--------------------	--

¿Se siente estresado por el ruido?

No	Algunas veces	Siempre	Desde cuándo		Con qué frecuencia	
----	---------------	---------	--------------	--	--------------------	--

¿Ud. va al Hospital/Clínica o Centro médico para el tratamiento de alguna enfermedad o síntoma mencionada en alguna pregunta anterior?

¿Cuál?

No	Algunas veces	Siempre	Desde cuándo		Con qué frecuencia	
----	---------------	---------	--------------	--	--------------------	--

¿Ud. compró alguna medicina para el tratamiento de la enfermedad ó síntomas mencionados anteriormente?

No	Algunas veces	Siempre	Desde cuándo		Con qué frecuencia	
¿Recuerda cuánto gastó?			Por semana		Por mes	

5. De la legislación

¿Cree Ud. que se debe controlar el ruido en las calles?		SI	NO	
¿Cree Ud. que se puede controlar el ruido en las calles?	No sabe	Un poco	Más o menos	Mucho
¿Conoce Ud. algún Reglamento que regule el ruido en las calles?		SI	NO	
¿Para Ud. debería existir un Reglamento que regule el ruido en las calles?		SI	NO	

(Si la respuesta es afirmativa)

¿Por qué sería importante la existencia de un Reglamento?

.....

Nombre del encuestador:

Verificado por: Ingresado por: