

## RESULTADO DE ENCUESTAS SOBRE MOLESTIA DEL RUIDO Y SU CORRELACIÓN CON LAS ECUACIONES DE MIEDEMA EN 3 CIUDADES DEL PERÚ

PACS: 43.28.Hr

Feo Rodríguez, Walter A.; Gushiken Uesu, Elena I.  
Arquitectura y Consultoría Acústica (ARQUICUST)  
Av. Javier Prado Oeste 304 - Magdalena –  
17 Lima Perú.  
Tel: (51 1) 461 7119 Fax: (51 1) 461 5961  
arquicust@arquicust.com

### 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.

### 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.

### 1. INTRODUCCIÓN

El parque automotor del Perú es obsoleto y con muy bajo mantenimiento, 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 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, y 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; habiendo la empresa ARQUICUST ganado la licitación para el trabajo, 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. Por razones económicas y presupuestarias no se pudo 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.

## 2. MEDICIÓN SUBJETIVA. ENCUESTAS

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

Tabla 2-1: 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).

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.

### 2.1. Prueba de normalidad

Para todas las muestras se aplicaron dos pruebas de normalidad 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 sobre esto último.

Tabla 2-3: ¿Qué fuentes de ruido causan mayor nivel de molestia?

Fuente de ruido	Pucallpa		Huancayo		Lima-Callao	
	Residen-tes	Transeún-tes	Residen-tes	Transeún-tes	Residen-tes	Transeún-tes
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%

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 automotor son la mayor fuente de queja por ruido.

Tabla 2-4: Tomando en consideración los últimos doce meses, en una escala de 0 al 10 ¿Cuánto le molesta o perturba el ruido cuando se encuentra en su vivienda?

Fuente de ruido		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

### 3. MEDICIÓN OBJETIVA. REGISTRO DEL NSCE

Se registró el NSCE en cuatro periodos horarios y en días diferentes: **a) Diurno 1:** 07:01 a 13:00 hs; **b) Diurno 2:** 13:01 a 18:00 hs; **c) Vespertino:** 18:01 a 22:00 hs; **d) Nocturno:** 22:01 a 07:00 hs

Tabla 3-1: Resumen del NSCE dBA (re 20 µPa) - 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
<b>a)</b>	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>b)</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
<b>c)</b>	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
<b>Huancayo</b>	<b>Nº 1</b>	<b>Nº 2</b>	<b>Nº 3</b>	<b>Nº 4</b>	<b>Nº 5</b>	<b>Nº 6</b>	<b>Nº 7</b>					
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					

<b>Huancayo</b>	<b>Nº 8</b>	<b>Nº 9</b>	<b>Nº 10</b>	<b>Nº 11</b>	<b>Nº 12</b>	<b>Nº 13</b>	<b>Nº 14</b>
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

<b>Lima</b>	<b>Nº 1</b>	<b>Nº 2</b>	<b>Nº 3</b>	<b>Nº 4</b>	<b>Nº 5</b>	<b>Nº 6</b>	<b>Nº 7</b>	<b>Nº 8</b>	<b>Nº 9</b>	<b>Nº 10</b>
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

<b>Lima</b>	<b>Nº 11</b>	<b>Nº 12</b>	<b>Nº 13</b>	<b>Nº 14</b>	<b>Nº 15</b>	<b>Nº 16</b>	<b>Nº 17</b>	<b>Nº 18</b>	<b>Nº 19</b>	<b>Nº 20</b>
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

<b>Lima</b>	<b>Nº 21</b>	<b>Nº 22</b>	<b>Nº 23</b>	<b>Nº 24</b>	<b>Nº 25</b>	<b>Nº 26</b>	<b>Nº 27</b>	<b>Nº 28</b>	<b>Nº 29</b>	<b>Nº 30</b>
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

#### 4. ESTIMACIÓN DEL NSCE A $L_{dn}$

Para estimar los niveles sonoros día-noche corregido, se utilizaron las siguientes ecuaciones

$$L_d = 10 \log \left( \frac{1}{660} \right) (L_A \text{ diurno } 1 + L_A \text{ diurno } 2 + \text{mediana} + \text{residual } 1 + \text{residual } 2)$$

$$L_e = 10 \log \left( \frac{1}{240} \right) (L_A \text{ vespertino} + \text{mediana} + \text{residual})$$

$$L_n = 10 \log \left( \frac{1}{540} \right) (L_A \text{ nocturno} + \text{mediana} + \text{residual})$$

$$L_{dn} = 10 \log \left( \frac{1}{24} \right) \left( 15 \left( 10^{\frac{L_d}{10}} + 10^{\frac{L_e}{10}} \right) + 9 \left( 10^{\frac{L_d+10}{10}} \right) \right)$$

A continuación, se presenta una tabla con los valores finales calculados de  $L_{dn}$  estimado para cada uno de los puntos testigos,

Tabla 4-1: Resumen del  $L_{dn}$  estimado (dB re 20  $\mu$ Pa)

Pucallpa	74,3	80,7	72,9	76,5	78,7	69,4	77,9	78,7	73,4	72,6	77,0	79,4
Huancayo	73,9		72,0		73,2		70,9		70,6		70,8	71,6
	71,1		76,6		74,9		76,8		69,4		69,0	66,7
Lima-Callao	78,8	79,8	81,1	80,8	76,9	78,1	80,7	76,5	81,4	76,6		
	76,0	76,3	75,8	78,9	78,3	83,1	80,7	75,1	81,1	77,2		
	81,0	75,8	74,5	81,0	83,6	81,7	77,4	76,1	78,5	74,9		

## 5. ECUACIONES DE MIEDEMA. PREDICCIÓN DE LA MOLESTIA POR RUIDO

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

$$\%LA = -6.188 \cdot 10^{-4} (DNL-32)^3 + 5.379 \cdot 10^{-2} (DNL-32)^2 + 0.723 (DNL-32)$$

$$\%A = 1.732 \cdot 10^{-4} (DNL-37)^3 + 2.079 \cdot 10^{-2} (DNL-37)^2 + 0.566 (DNL-37)$$

$$\%HA = 9.994 \cdot 10^{-4} (DNL-42)^3 - 1.523 \cdot 10^{-2} (DNL-42)^2 + 0.538 (DNL-42)$$

## 6. CORRELACIÓN DE LAS MEDICIONES OBJETIVAS vs. MEDICIONES SUBJETIVAS

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.

**6.1.** La encuesta realizada en la ciudad de Pucallpa, 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 ( $R^2 = 62,3\%$ ) para la escala de molestia de ruido subjetiva vs mediciones.

$$EMR = 4,3 + 0,014 \cdot (\text{Años en la zona}) + 0,48 \cdot (\text{Molestia de ruido}) + 0,019 \cdot (\text{Edades})$$

**6.2.** La encuesta realizada 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 ( $R^2 = 77,3\%$ ) para la escala de molestia de ruido subjetiva vs mediciones.

$$EMR = 1,17 + 0,01 \cdot (\text{Años en la zona}) + 1,583 \cdot (\text{Molestia de ruido}) + 0,005 \cdot (\text{edades})$$

## 7. COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS DE LAS ECUACIONES DE MIEDEMA CON LAS ENCUESTAS Y MEDICIONES EN TRES CIUDADES DEL PERÚ

Por último 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, sino que el Ensayo de mediciones fue de 10 días en todas las ciudades.

Tabla 7-1: Comparación de las mediciones subjetivas vs. Miedema

	Pucallpa		Huancayo		Lima-Callao	
	Residen-tes	Transeún-tes	Residen-tes	Transeún-tes	Residen-tes	Transeún-tes
Encuestas (mediana)	8	7	7	7	7	7
Estimación según Miedema	HA	A	LA	A	HA	A
	80,5%	67,05%	76,0%	56,28%	89,5%	72,2%

Por exceder los alcances de esta Comunicación no se presenta la correlación estadística de la distribución normal (frecuencia vs. escala de molestia), las cuales aplicando una regresión sobre la calificación subjetiva del ruido para comparar y no la mediana, existe una mayor aproximación entre los resultados subjetivos con los objetivos.

## 8. CONCLUSIONES

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

**8.1.** Al aplicar métodos estadísticos de repetibilidad, se aseguró la fiabilidad de los resultados de las mediciones.

**8.2.** Las encuestas fueron 100% efectivas, ya que todas fueron contestadas porque el Objeto era tener respuestas positivas.

**8.3.** 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).

**8.4.** 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.

**8.5.** 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.

**8.6.** 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

## 9. BIBLIOGRAFÍA

MIEDEMA, Henk M.E. Relationships between exposure to single or multiple transportation noise sources and noise annoyance.

Technical meeting on exposure-response relationships of noise on health. 19-21 September 2002 Bonn, Germany. Meeting report.

Instituto Nacional de Estadística e Informática del Perú. Censo de Población y Vivienda 2007



ISO serie 1996 *Acústica* – Descripción, medición y valoración del ruido ambiental  
IRAM 35050:2001 *Estadística* – Procedimiento para la evaluación de la incertidumbre de la medición