

## AMBIENTE ACÚSTICO DEL CENTRO DE LA CIUDAD DE LA PAZ

W. Tavera, S. Barreta, W. Cano

*Instituto de Investigaciones Físicas – UMSA  
Casilla 8635, La Paz – Bolivia*

### RESUMEN

Presentamos resultados de mediciones de ruido urbano realizadas en el centro de la ciudad de La Paz con la finalidad de elaborar un mapa acústico. Con un sonómetro tipo 1 previamente calibrado mediante normas internacionales se han adquirido datos de niveles de ruido en diferentes puntos de la ciudad. Los resultados muestran altos niveles de contaminación acústica en varios puntos de la ciudad independientemente de la hora del día.

### ABSTRACT

We show results of measurements of urban noise in the downtown of La Paz city in order to elaborate an acoustic map. With a type 1 Sound Level Meter previously calibrated we have performed measurements of noise levels in several points of the city. The results shown high levels of acoustic pollution in several points of the city.

### 1. INTRODUCCIÓN

La intensa actividad humana concentrada en el centro urbano de la Ciudad de La Paz, el vertiginoso crecimiento de la población y el incremento permanente del número de vehículos que circulan diariamente por sus calles, repercuten de manera directa en el medio ambiente y, consecuentemente, en la calidad de vida de sus habitantes. La exposición a la contaminación acústica es un problema que suscita gran inquietud entre la población de la urbe paceña. En la actualidad, lamentablemente, la escasa legislación sobre ruido ambiental [1,2] no se ajusta de manera apropiada a las características “normales”, del ambiente acústico en el centro de La Paz.

El ruido es uno de los contaminantes más subestimados a pesar de su omnipresencia y su efecto acumulativo sobre la salud. Está comprobado, que el ruido del tráfico rodado es la principal causa de contaminación acústica en ambientes urbanos e interurbanos.

Un mismo sonido, como la música por ejemplo, puede ser percibido como agradable relajante o estimulante, enriquecedor o sublime, por la persona que decide disfrutarla, o bien como una agresión física y mental por otra persona que ve perturbado su descanso.

Por definición, el ruido es un sonido no deseado que interfiere o molesta en algunas actividades. El ruido para ser tal, no necesariamente debe ser muy intenso, como es el caso del ruido de un mosquito volando cerca del oído o las gotas que caen de un grifo por la noche, que pueden producir una gran molestia a pesar de que su nivel sonoro sea muy bajo. Así por ejemplo, el ruido de millones de gotas que forman la lluvia es mucho más intenso y sin embargo es menos molesto y en muchos casos hasta placentero o sedante. La diferencia fundamental entre “sonido” y “ruido” está determinada por un factor subjetivo: “llamamos ruido a todo sonido no deseado”.

El ruido presenta grandes diferencias con respecto a otros contaminantes:

- es el contaminante más barato de producir y necesita muy poca energía para ser emitido.
- es complejo de medir y cuantificar.
- no deja residuos, no tiene un efecto acumulativo en el medio, pero si puede tener un efecto acumulativo en sus efectos en el hombre.
- tiene un radio de acción mucho menor que otros contaminantes, vale decir, es localizado.
- no se traslada a través de los sistemas naturales, como el aire contaminado movido por el viento, por ejemplo.
- se percibe sólo por un sentido: el oído, lo cual hace subestimar su efecto. Esto no sucede con el agua, por ejemplo, donde la contaminación se puede percibir por su aspecto, olor y sabor.

El ruido ambiental produce múltiples y variados efectos sobre el ser humano [3]. Precisamente, por tener el carácter de no deseado, el ruido urbano molesta, incomoda, perturba, produciendo un estado de nerviosismo y estrés, generalmente acompañado de una sensación de frustración e impotencia ante la imposibilidad de desactivar la fuente de ruido.

A diferencia de la vista, nuestro sistema auditivo está siempre abierto al mundo, lo que implica una recepción continua de estímulos y de informaciones sonoras de las que no podemos sustraernos. La exposición a niveles de ruido intenso durante un período de tiempo significativo, da lugar a pérdidas de audición, que si en un principio son recuperables cuando el ruido cesa, con

el tiempo pueden llegar a hacerse irreversibles, convirtiéndose en sordera. A su vez, la exposición a niveles de ruido de mediana intensidad, pero con una prolongación mayor en el tiempo, repercute en forma similar, traduciendo ambas situaciones en desplazamientos temporales o permanentes del umbral de audición. El umbral de audición para un oyente determinado es la presión sonora mínima de un sonido especificado que es capaz de permitir una sensación auditiva. El umbral de audición, puede sufrir desplazamientos temporales y permanentes por la presencia de ruido. El desplazamiento permanente del umbral de audición, es producido por exposiciones prolongadas a niveles superiores a 75 u 80  $dB(A)$ , (la Organización Mundial de la Salud recomienda un máximo nivel de exposición al ruido de 65  $dB(A)$ ) por sonidos de corta duración de entre 110 y 140  $dB(A)$ , o por acumulación de fatiga auditiva sin tiempo suficiente de recuperación. Hay lesión del oído interno, se produce inicialmente en frecuencias no conversacionales, por lo que el sujeto no la advierte hasta que es demasiado tarde. Puede ir acompañada de zumbidos de oído (acúfenos) y de trastornos del equilibrio (vértigos). Se vincula directamente con la presbiacusia, término que describe la pérdida de la sensibilidad auditiva debida a los efectos de la edad. La sordera producida es de percepción y simétrica, lo que significa que afecta ambos oídos con idéntica intensidad.

Pero los efectos del ruido van desde molestia, incomodidad y estrés, pasando por perturbación del sueño, hasta complicaciones psicofisiológicas y deterioro de la calidad de vida. Además de las ya señaladas afecciones producidas por el ruido al oído, éste actúa negativamente sobre otras partes del organismo, donde se ha comprobado que bastan 50 a 60  $dB(A)$  para que existan enfermedades asociadas al estímulo sonoro. En presencia de ruido, el organismo adopta una postura defensiva y hace uso de sus mecanismos de protección. Se han podido observar efectos vegetativos como la modificación del ritmo cardíaco y vasoconstricciones del sistema periférico. Entre los 95 y 105  $dB(A)$  se producen afecciones en el riego cerebral, debidas a espasmos o dilataciones de los vasos sanguíneos, además de alteraciones en la coordinación del sistema nervioso central; alteraciones en el proceso digestivo, dadas por secreciones ácidas del estómago las que acarrearán úlceras duodenales, cólicos y otros trastornos intestinales; aumento de la tensión muscular y presión arterial; cambios de pulso en el electroencefalograma; dilatación de la pupila, alterando la visión nocturna, además de estrechamiento del campo visual. Las reacciones fisiológicas al ruido no se consideran patológicas si ocurren en ocasiones aisladas, pero exposiciones prolongadas (por ejemplo, el ruido de tráfico urbano) pueden llegar a constituir un grave riesgo para la salud. Esta comprobado que en los sujetos expuestos al ruido, se produce un incremento significativo en la concentración de la hormona  $GH$ , que es uno de los principales marcadores de estrés.

Se han realizado estudios que han determinado que

para asegurar un sueño sin perturbaciones, condición necesaria para el bienestar fisiológico y mental, el nivel de presión sonora no debería exceder los 45  $dB(A)$ , lo cual prácticamente es imposible de encontrar en varios puntos de la ciudad. Se han detectado también efectos del ruido en la salud mental e influencias en el desempeño y la productividad de las personas, especialmente en tareas que requieren concentración. Estos efectos, como ya se mencionó en el párrafo anterior, son comprobables por cambios cuantificables en la presión sanguínea, ritmo cardíaco, niveles de secreción endócrina e, inclusive, índices de admisión en hospitales psiquiátricos. La interferencia con la comunicación degrada el nivel de vida directamente, causando trastornos en tareas laborales y sociales. En las calles del centro de La Paz, en las horas pico, es prácticamente imposible mantener una conversación debido al ruido que generan los vehículos de transporte público. La interferencia con la comunicación en interiores también se ve severamente afectada, ya que cuando el nivel de ruido de fondo supera los 45 ó 50  $dB(A)$ , las personas se ven forzadas a elevar un poco la voz, e inclusive, a cerrar las ventanas si dicho nivel supera los 70  $dB(A)$ . La aparición súbita de un ruido puede producir alteraciones en la conducta, haciendo que una persona se torne momentáneamente agresiva e irritable. El ruido hace más lenta la articulación en la tarea de repaso, especialmente con palabras desconocidas o de mayor longitud. El ruido provoca que la atención se enfoque en los aspectos más importantes en detrimento de aquellos otros aspectos considerados de menor relevancia. Mujeres embarazadas que han estado desde el principio en una zona muy ruidosa tienen niños que no sufren alteraciones, pero si se instalan en estos lugares después de los cinco meses de gestación, luego del parto los niños no soportan el ruido, lloran cada vez que lo sienten, y al nacer su tamaño podría ser inferior al normal. Los niños en un ambiente ruidoso sufren perturbaciones en su capacidad de escuchar y un retraso en el aprendizaje de la lectura. En resumen, es necesario tomar en cuenta que los altos niveles de contaminación acústica están directamente relacionados con una disminución en la calidad de vida de los ciudadanos. Otro aspecto que se maneja en ciudades grandes, difícil de cuantificar, pero que tiene que ver con el ruido contaminante, es la repercusión económica [4].

## 2. LA CIUDAD DE LA PAZ, A 3600 *m.s.n.m.*

La mayoría de los instrumentos de medida de niveles sonoros, por su fabricación y calibración bajo normas internacionales, están referidos a condiciones normales de presión y temperatura. Se conoce, sin embargo, que la presión afecta el comportamiento del sonido, por lo que se debe introducir correcciones cuando un equipo es usado en regiones, como La Paz, cuyas condiciones de presión y temperatura son totalmente diferentes de las normales [5].

La ciudad de La Paz, además, posee características diferentes a las de muchas ciudades en las que se han de-

sarrollado trabajos de elaboración de mapas acústicos. El parque automotor en La Paz supera los  $10^5$  vehículos, los mismos que transitan por pocas vías troncales, de manera que en determinados lugares se producen grandes congestionamientos y, por lo tanto, grandes niveles de contaminación acústica. No se debe dejar de mencionar la topografía de la hoyada paceña y las edificaciones altas que predeterminan un ambiente acústico singular en cada calle y avenida. A todo esto se suma la contaminación de ruido ambiental por el mal estado de los vehículos, uso indiscriminado de bocina en las calles, bullicio de vendedores ambulantes y voceadores, centros comerciales, etc.

Por todo lo anteriormente expuesto, la elaboración de un mapa acústico para la ciudad de La Paz, pasa necesariamente por un conocimiento previo de las características de las diferentes zonas y la calidad de las fuentes contaminantes de ruido. Hemos establecido, de manera inicial, un protocolo de mediciones de ruido [5] y un protocolo para elaboración de mapas acústicos. El acuerdo sobre dichos protocolos ha permitido tomar decisiones sobre la manera de realizar las mediciones, discriminar los puntos de medición, el tiempo de cada una, el tipo de tratamiento estadístico de los datos y la interpretación de los indicadores correspondientes.

### 3. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL SONIDO

En ausencia del sonido, la presión atmosférica alcanza un estado de equilibrio y es constante. El sonido es el resultado de una perturbación que se propaga en un medio elástico. Esta perturbación es una variación de la presión  $P$  del aire respecto a la presión de equilibrio,  $P_o$ . Físicamente, podemos establecer que el sonido es producido por una variación de presión, que depende del tiempo:

$$p(t) = P - P_o. \quad (1)$$

La variación de presión,  $p(t)$ , se conoce como *presión sonora instantánea*. Es interesante observar que para los sonidos habituales dicha variación de presión es mucho menor en magnitud que la presión atmosférica. Mientras que la presión atmosférica es del orden de  $P_o = 10^5 Pa$ , la variación de presión está en el rango:

$$30 \times 10^{-6} Pa < p < 30 Pa.$$

El sonido puede ser descrito a partir de sus principales características físicas: amplitud, frecuencia y patrón temporal.

La amplitud de un sonido es lo que percibimos como "potencia o sonoridad". En realidad, este término corresponde a la amplitud de las variaciones de presión atmosférica que constituyen el sonido (presión sonora). Por tanto, la presión sonora, es la magnitud que permite medir la amplitud del sonido, y es parte componente fundamental de varios descriptores de ruido.

La velocidad con la que vibra la fuente sonora, y por lo tanto, la velocidad a la que vibra el aire, determina la

frecuencia del sonido, la que se percibe como el tono del sonido. La mayoría de los sonidos están compuestos por una mezcla de tonos, de variada frecuencia y amplitud.

El sonido también puede caracterizarse por sus diferentes patrones temporales: continuo, fluctuante, impulsivo, intermitente. Los sonidos continuos son aquellos que se generan por largos periodos de tiempo a un nivel constante. Los fluctuantes son aquellos cuya amplitud varía en el tiempo, como el producido por el tráfico vehicular urbano. Los impulsivos son aquellos que se caracterizan por tener una duración extremadamente corta de tiempo, como un disparo de arma de fuego. Los sonidos intermitentes son aquellos producidos por intervalos de tiempo relativamente cortos pero de manera reiterada, como el despegue o aterrizaje de aviones en un aeropuerto.

La *presión sonora eficaz*,  $P_{ef}$ , se define como el valor cuadrático medio de la presión sonora instantánea  $p(t)$ , integrado sobre un número entero de periodos:

$$P_{ef} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T p(t)^2 dt} \quad (2)$$

El *nivel de presión sonora*, o SPL, se denota con el símbolo  $L_p$ , y se expresa en decibeles ( $dB$ ). El  $dB$  no es una unidad de medida, sino una relación logarítmica entre la presión sonora eficaz  $P_{ef}$  y una presión de referencia, de acuerdo a la siguiente expresión:

$$L_p = 20 \log_{10} \frac{P_{ef}}{P_{ref}}, \quad (3)$$

donde  $P_{ef}$  es el valor eficaz de la presión sonora y  $P_{ref}$  es la presión de referencia, que tiene un valor de:

$$P_{ref} = 20 \times 10^{-6} Pa. \quad (4)$$

Un incremento de  $1 dB$  no representa un incremento fijo de la presión sino un aumento relativo de un  $12,2\%$ . El valor de  $P_{ref}$  se ha elegido porque coincide con el umbral de audición normal para  $1 kHz$ , lo cual implica que un sonido se puede percibir cuando  $L_p > 0 dB$ .

La escala logarítmica resulta conveniente, dado el enorme rango de valores que se manejarían con una magnitud lineal. El oído humano posee un rango de respuesta en amplitud extremadamente amplio; puede percibir sonidos desde  $0 dB$  (umbral de audición) hasta  $120 dB$  (umbral de dolor). Al ser una magnitud logarítmica, es importante notar que la suma de niveles de presión sonora no se realiza sumando aritméticamente los valores en  $dB$ . Como ejemplo, supongamos que queremos obtener la suma de dos sonidos cuyos niveles de presión sonora son  $L_{p1}$  y  $L_{p2}$ , entonces, como la potencia acústica es proporcional a la presión eficaz al cuadrado, para sumar los niveles de presión sonora dados, primeramente debemos expresar estos valores en términos de la presión cuadrática media.

$$P_T^2 = P_1^2 + P_2^2, \quad (5)$$

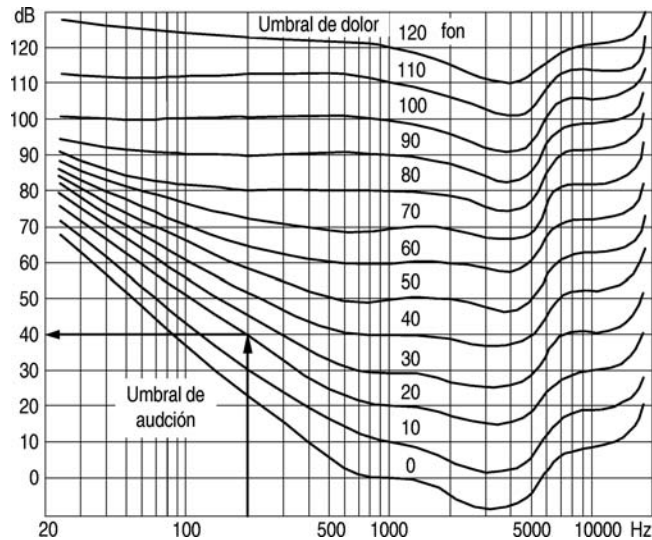


Figura 1. Curvas de Fletcher y Munson [6]. Un tono de 200  $Hz$  y 40  $dB$  de  $L_p$  provocará la misma sensación de sonoridad que uno de 1000  $Hz$  y 20  $dB$  de  $L_p$ . Se dice entonces que tiene un nivel de sonoridad de 20  $fon$ . Obsérvese que a igual  $L_p$  los sonidos muy graves (baja frecuencia) y los muy agudos (alta frecuencia) tienen menor nivel de sonoridad que los sonidos medios. Además, en la zona de los 3000  $Hz$  se tiene la mayor sensibilidad del oído. La curva de 0  $fon$  es el umbral de audición, y la de 120  $fon$ , el umbral de dolor.

$$\left(\frac{P_T}{P_{ref}}\right)^2 = \left(\frac{P_1}{P_{ref}}\right)^2 + \left(\frac{P_2}{P_{ref}}\right)^2. \quad (6)$$

De la ecuación (2),

$$\left(\frac{P}{P_{ref}}\right)^2 = 10^{L_p/10}. \quad (7)$$

La expresión del nivel sonoro,  $L_p$ , resultante de la suma es:

$$L_p = 10 \log_{10} \left( 10^{L_{p1}/10} + 10^{L_{p2}/10} \right). \quad (8)$$

En el caso de sumarse dos sonidos de diferentes niveles, el de menor nivel contribuye menos al de mayor nivel a medida que la diferencia entre ambos se amplía. Si la diferencia es de 10  $dB$ , el sonido de menor nivel prácticamente no suma nada al de mayor amplitud.

La frecuencia de un sonido (en  $Hz$ ) denota la cantidad de oscilaciones por segundo que ocurren en el aire en el cual el sonido se propaga. En los sonidos monofrecuentes, la frecuencia se asocia a la percepción del tono; sin embargo, la mayoría de los sonidos que se encuentran en la naturaleza y el medio ambiente son multifrecuentes, o sea, están conformados por una compleja suma de varias componentes de frecuencia. El rango de frecuencias audibles por el oído humano se extiende aproximadamente de 20  $Hz$  a 20  $kHz$ , para personas jóvenes sin problemas auditivos.

Para una evaluación más completa de un fenómeno sonoro, es necesario contemplar ambos aspectos: frecuencia y tiempo. El aspecto de la frecuencia puede ser toma-

do en cuenta intercalando diversos tipos de filtros entre la señal sonora detectada por el micrófono y el indicador final del instrumento de medición. Dichos filtros se clasifican en dos grandes clases: filtros de banda (de octava, de tercio de octava, de ancho de banda fijo) y las redes de ponderación (A, C, etc.). El aspecto temporal, por su parte, se tiene en cuenta por medio del tipo de respuesta temporal del instrumento: velocidad dinámica de respuesta (lenta, rápida, impulsiva) y la función promediadora (valor eficaz, pico, dosis, descriptores estadísticos). Esto se verá más adelante con mayor detalle.

La amplitud de una onda está relacionada con la sensación de sonoridad, o volumen del sonido correspondiente. Sin embargo, la relación no es tan directa como en el caso de la frecuencia, ya que la sensibilidad del oído varía notablemente con la frecuencia. Así, un sonido cuyo nivel de presión sonora es de 80  $dB$ , por ejemplo, sonará bastante débil si su frecuencia es de 30  $Hz$  y en cambio sumamente intenso si es de 3000  $Hz$ .

Se han realizado experimentos para establecer de una manera cuantitativa esta peculiaridad de la respuesta auditiva. El resultado son las curvas obtenidas por los investigadores H. Fletcher y W. A. Munson [6]. Dichas curvas, ilustradas en la Figura 1 se obtuvieron comparando la sonoridad de un tono de frecuencia dada con la de un tono de 1  $kHz$  al cual se le variaba el  $L_p$ . Estas curvas permitieron definir el nivel de sonoridad (NS) de un tono como el nivel de presión sonora de un tono de 1  $kHz$  igualmente sonoro que el primero. Para diferenciar el nivel de sonoridad del nivel de presión sonora, se lo expresa en fon. En la Figura 1, se muestra el ejemplo de un tono de 200  $Hz$  y 40  $dB$ , el cual se escucha como uno de 1000  $Hz$  y 20  $dB$ , por lo cual el primero tiene  $NS = 20 fon$ . Las curvas extremas, son los límites de la audición humana. La correspondiente a 0  $fon$  es el umbral de audición, por debajo del cual una vibración del aire no es perceptible. Debe aclararse que el umbral de audición depende realmente de la persona y del estado de su oído, correspondiendo las curvas a promedios estadísticos. La curva de 0  $fon$  es el umbral para personas de buena audición. Una pérdida de 10 a 20  $dB$  respecto a este umbral se considera normal. Por encima de los 25  $dB$  de pérdida, comienzan las dificultades para la comprensión oral. La curva de 120  $fon$  corresponde al umbral de dolor. De allí en adelante, además de sonido como tal comienza a percibirse un dolor intenso, además de empezar de inmediato el daño irreversible del oído interno.

Cada una de las curvas (o contornos) de Fletcher y Munson representa todas las combinaciones de frecuencia y nivel de presión sonora que suenan igual de intensas que un tono de referencia de 1000  $Hz$  y nivel de presión sonora dado. Dicho nivel de presión sonora (en  $dB$ ) es numéricamente igual al nivel de sonoridad (en fon) de todas esas combinaciones. Por dicha razón se suele denominar a estos contornos curvas de igual nivel de sonoridad. Lo anterior permite concluir que el oído es más sensible en la región central del espectro de frecuencias

(entre 500  $Hz$  y 5000  $Hz$  aproximadamente), ya que allí se requiere un menor nivel de presión sonora para evocar la misma sensación de sonoridad. Particularmente, la máxima sensibilidad se da cerca de los 3000  $Hz$ , lo cual se explica porque en esa región el canal auditivo posee una resonancia acústica. También se observa que en bajas frecuencias la sensibilidad disminuye notablemente, es decir que allí se requiere una presión mucho mayor para lograr igual sensación de sonoridad. Desde el punto de vista del control de ruido, esta propiedad del oído es beneficiosa, ya que los ruidos de baja frecuencia son mucho más difíciles de aislar o absorber, y por lo tanto de controlar.

### 3.1. REDES DE PONDERACIÓN DE FRECUENCIA

La presión es medida por un micrófono calibrado y un amplificador, o por un sonómetro, que incorpora un filtro eléctrico capaz de modificar la respuesta en frecuencia, intentando seguir aproximadamente la respuesta subjetiva del oído humano. Este hecho, junto con la facilidad de realización física del filtro, ha conducido a la adopción de redes de ponderación en frecuencia, como medida normalizada en muchas normativas nacionales e internacionales. Las ponderaciones en frecuencia ampliamente aceptadas son :

- A. Es la red de ponderación más comúnmente utilizada para la valoración de daño auditivo e inteligibilidad de la palabra. Empleada inicialmente para analizar sonidos de baja intensidad, es hoy, prácticamente, la referencia que utilizan las leyes y reglamentos contra el ruido producido a cualquier nivel.
- B. Fue creada para modelar la respuesta del oído humano a intensidades medias. Sin embargo, en la actualidad es muy poco empleada. De hecho una gran cantidad de sonómetros ya no la contemplan.
- C. En sus orígenes se creó para modelar la respuesta del oído ante sonidos de gran intensidad. En la actualidad, ha ganado prominencia en la evaluación de ruidos en la comunidad, así como en la evaluación de sonidos de baja frecuencia en la banda de frecuencias audibles.
- D. Esta red de compensación tiene su utilidad en el análisis del ruido provocado por los aviones
- U. Es una red de ponderación de las más recientes. Se aplica para medir sonidos audibles en presencia de ultrasonidos.

### 3.2. REDES DE PONDERACIÓN TEMPORAL

En la definición del valor eficaz de la presión (2), interviene un tiempo de integración  $T$  de cuyo valor depende el resultado. En la figura 2 se muestra el valor eficaz de un pulso de 0,1s de duración, donde se puede apreciar esta dependencia.

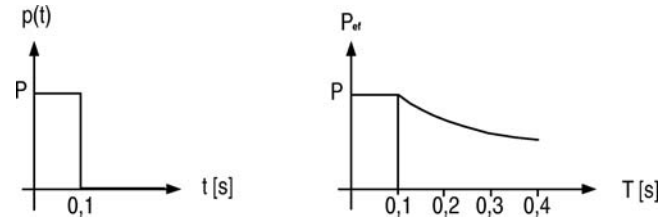


Figura 2. Un pulso de 0,1s de duración y su valor eficaz en función del tiempo de integración  $T$ .

En resumen, cuanto mayor sea el tiempo de integración, menos sensible es el valor eficaz a las fluctuaciones propias del ruido o sonido, transformándose en un parámetro global más que instantáneo del sonido. Esto lleva a considerar la necesidad de establecer al menos dos tipos de respuesta, en función del tipo de fenómeno que se quiera evidenciar con la medición. Surgen así las denominadas respuesta rápida y respuesta lenta, cuya caracterización precisa vemos a continuación. La obtención del valor eficaz en forma exacta se podría realizar con un dispositivo que realice la elevación al cuadrado y la integración, sin embargo, dado que es complicado realizar la integración en forma exacta, lo que se hace en la práctica es reemplazar dicha integración por un filtro de tipo “pasabajos”, que cumple una función similar comportándose como una especie de promediador “local”. El filtro pasabajos se caracteriza por una constante de tiempo  $\tau$  que permite minimizar los errores.

- Se define la respuesta lenta (*slow*) como aquella para la cual ante una excitación en forma de pulso senoidal de 1  $kHz$  y una duración de 0,5s, la indicación máxima obtenida está 4  $dB$  por debajo de la que se obtendría para una señal senoidal de igual frecuencia y amplitud en régimen permanente. La constante de tiempo del filtro para la denominada respuesta lenta es de aproximadamente  $\tau_{lento} = 1s$ .
- La respuesta rápida (*fast*) se define como aquella para la cual ante una excitación en forma de pulso senoidal de 1  $kHz$  y una duración de 0,2 s, la indicación máxima obtenida está 1  $dB$  por debajo de la que se obtendría para una señal senoidal de igual frecuencia y amplitud en régimen permanente. En este caso se tiene una constante de tiempo aproximada de :  $\tau_{rápido} = 0,125s$ .
- La respuesta impulsiva es aquella para la cual la constante de tiempo para señales de valor absoluto creciente en el tiempo es de 35ms, y en cambio para señales de valor absoluto decreciente es de 1,5s, es decir :

$$\tau_{impulsiva\uparrow} = 35ms$$

$$\tau_{impulsiva\downarrow} = 1,5ms$$

La diferencia se debe a que de esta manera el instrumento es capaz de reaccionar ante pulsos muy rápidos,

como ruidos percusivos o de impacto, explosiones, etc., pero luego retiene el valor leído durante un tiempo razonable que permite su lectura por parte del operador.

#### 4. EL NIVEL SONORO EQUIVALENTE ( $L_{eq}$ )

Un concepto importante es el de nivel ruido equivalente aplicado a mediciones a lo largo de ciertos periodos de tiempo (no instantáneas). El nivel sonoro continuo equivalente con ponderación de frecuencia,  $L_{eq}(A)$  o  $L_{eq}(C)$ , para un intervalo de tiempo especificado es el nivel de un ruido estable que corresponde al promedio (integral) en el tiempo de la presión sonora al cuadrado con ponderación de frecuencia producida por fuentes de sonidos estables, fluctuantes, intermitentes, irregulares o impulsivos en el mismo intervalo de tiempo (las letras mayúsculas A o C, se refieren al tipo de red de ponderación de frecuencia):

$$L_{eq} = 10 \log_{10} \frac{\frac{1}{T} \int_0^T p_A(t)^2 dt}{P_{ref}^2}, \quad (9)$$

donde  $p_A(t)$  es la presión sonora ponderada por la red de compensación A,  $P_{ref}$  es la presión de referencia ( $20\mu Pa$ ), y  $T$  el tiempo durante el cual se realiza el estudio, que puede ser la duración de una jornada de trabajo u otro tiempo cualquiera. El nivel sonoro continuo equivalente en un determinado punto de medición de un sonido que cambia con el tiempo es igual al nivel de un sonido estable equivalente para la misma duración de la medida; es decir, un sonido que tiene la misma energía sonora equivalente en una onda sonora libre progresiva que el sonido variable realmente medido. El nivel sonoro continuo equivalente es una cantidad que se mide directamente con un sonómetro integrador.

#### 5. INDICADORES DE CONTAMINACIÓN ACÚSTICA

Por las características variables y complejas del ruido, es necesario recurrir a herramientas estadísticas para tratar los datos registrados. De manera más específica, se hace uso de los llamados descriptores estadísticos de ruido [7]. El análisis estadístico puede ser de dos tipos: distributivo y acumulativo. El primero indica por cuánto tiempo el nivel sonoro ha estado dentro de un intervalo dado, mientras que el segundo brinda indicación de por cuánto tiempo un determinado nivel sonoro ha sido superado. Este último tipo de análisis es el más utilizado, y en base al mismo se definen los descriptores estadísticos de ruido comúnmente conocidos como percentiles, los cuales sirven para dar información acerca de cómo varía o fluctúa el nivel sonoro durante el periodo de medición.

Un nivel percentil  $L_x$  representa el valor de nivel sonoro que fue superado durante el  $x$  porcentaje del tiempo de medición. Los percentiles  $L_{90}$ ,  $L_{95}$  y  $L_{99}$  se suele utilizar para indicar lo que se conoce como *ruido de fondo*, ya que es el nivel de presión sonora mínimo o de base, que está presente casi todo el tiempo. Los percentiles  $L_1$ ,  $L_5$  y  $L_{10}$  se suelen usar para indicar lo que se conoce como pico de ruido. Los percentiles son considerados más

representativos que los valores máximos y mínimos absolutos. En particular, a la diferencia ( $L_{10} - L_{90}$ ) suele llamarse *clima de ruido*.

Entre los indicadores de niveles de contaminación, además de los percentiles, se tienen el nivel de contaminación de ruido ( $L_{np}$ ) y el Índice de ruido de tráfico ( $TNI$ ).

El  $L_{np}$  intenta explicar el aumento de la molestia debido a las fluctuaciones temporales del ruido y se define como:

$$L_{np} = L_{eq} + k\sigma \quad [dB], \quad (10)$$

donde  $\sigma$  es la desviación típica de los niveles sonoros instantáneos de los que se han tomado muestras durante el periodo de medición y  $k$  una constante de valor 2,56 obtenida por D.W. Robinson [5] después de varios estudios de respuesta subjetiva al ruido de tráfico y de aviones.

El  $TNI$  se utiliza frecuentemente para describir el ruido de la comunidad. Tiene en cuenta la variabilidad de los niveles sonoros observados, en un intento por mejorar la correlación entre las medidas de ruido de tráfico y la respuesta subjetiva frente al ruido. Se define por:

$$TNI = 4(L_{10} - L_{90}) + L_{90} - 30 \quad [dB]. \quad (11)$$

Tanto el  $TNI$  como el  $L_{np}$  tienen limitaciones aparentes o muestran inconsistencias cuando se aplican a tipos muy distintos de ruido de la comunidad.

#### 6. DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO UTILIZADO PARA LAS MEDICIONES

Para la realización del presente trabajo, el Instituto de Investigaciones Físicas (UMSA) puso a nuestra disposición un sonómetro integrador CESVA, cuyas características técnicas se resumen en la Tabla 1.

El sonómetro cuenta con un calibrador proporcionado por el fabricante, cuyas especificaciones técnicas se detallan en la Tabla 2.

El micrófono del sonómetro ha sido sometido también a pruebas de respuesta en frecuencia y omnidireccionalidad, según el esquema descrito en la referencia [5], por lo que se han tomado las correspondientes previsiones a fin de eliminar los errores sistemáticos.

#### 7. LINEAS METODOLÓGICAS DEL TRABAJO DE MEDICIÓN DE NIVELES DE RUIDO

En trabajos anteriores [5,7] se ha descrito el establecimiento de un protocolo de mediciones de ruido ambiental [5], con el objetivo de adoptar una metodología de evaluación del ruido urbano en la ciudad de La Paz y poder extenderlo al resto de ciudades del País; posibilitar una evaluación acertada de la exposición al ruido de los habitantes de una determinada región; determinar la necesidad de aplicar o extender políticas y plantear medidas tendientes al control del ruido urbano a mediano y largo plazo. De igual manera, se han sugerido diferentes líneas de acción para la elaboración de un mapa acústico de la ciudad de La Paz [7].

TABLA 1

Especificaciones técnicas del sonómetro integrador- promediador Cesva SC - 20c Tipo 1 utilizado para medir los niveles de contaminación acústica de la ciudad de La Paz.

Características	Sonómetro integrador - promediador
Marca	CESVA.
Modelo	SC - 20 c.
Rango dinámico	De 23 a 130 $dB(A)$ (RMS).
Rango pico	Hasta a 140 $dB(C)$ .
Funciones	Fast (LF), Slow (LS), Pico (Lpk), nivel continuo equivalente ( $L_{eqT}$ , $L_{eq1'}$ , $L_{eq1''}$ ), nivel de exposición sonora SEL (LE) y sus máximos. Medidas estadísticas, percentiles ( $L_{10}$ , $L_{50}$ , $L_{90}$ ). Reloj (indica la duración de la medida).
Ponderación frecuencial	A y C para todas las funciones, excepto Lpk con sólo C.
Indicaciones	Saturación y batería agotada.
Memoria	1999 resultados finales o 199 minutos de grabación segundo a segundo (siempre guarda todos los parámetros).
Normas	IEC 60651:1979 (A1:1993), UNE-EN 60651:1996 (A1:1997), IEC 60804:1985 (A1:1989, A2:1993), UNE-EN 60804:1996 (A2:1997) en todas ellas como clase 1. B.O.E. núm. 311 del 29 Diciembre 1998 sobre metrología legal (aprobación de tipo nº 99006).
Certificados	Certificado de aprobación suizo (OFMET) nº S - 60 como clase 1.
Ruido de fondo	< 18 $dB(A)$ sin micrófono.
Salidas	Serie (RS-232) a 9.600 baudios para impresora y comunicación con PC . AC salida sin ponderación directa del preamplificador (max. 2,7 V RMS). DC salida equivalente al display (10 $mV/dB$ ).
Batería	1 batería tipo 6LF22 de 9 V, alcalina o de litio.
Dimensiones	260 × 82 × 19mm.
Peso	600gr con batería.

Por la importancia de la metodología contemplada en las referencias [5,7], y por ser el presente, un trabajo complementario a los mencionados, vemos por conveniente detallar nuevamente los diferentes pasos sistemáticamente utilizados en el proceso de recopilación, tratamiento e interpretación de datos de contaminación acústica en el centro de la ciudad de La Paz.

En primer lugar, siguiendo el protocolo de mediciones de ruido ambiental [5]:

- Para la valoración del ruido ambiental se siguen los

procedimientos y códigos de ensayo señalados por las normas ISO.

- Es recomendable medir de manera permanente. Sin embargo, más adelante veremos que para el caso de mapas acústicos, además por no contar con suficientes equipos de medida, el tiempo de medida se restringe a periodos apropiados.
- El equipo de medida acústica debe ser clasificado como tipo 1 necesariamente.

TABLA 2

Especificaciones técnicas del calibrador sonoro Cesva CB - 5 clase 1L.

Características	Calibrador acústico
Marca	CESVA.
Modelo	CB - 5.
Frecuencia	1 kHz ± 1,5 %.
Nivel de presión sonora	94 y 104 dB.
Distorsión armónica	< 1 %.
Variación a largo plazo	< 0,1 dB.
Normas	IEC 942:1988, UNE-EN 20942:1994 como clase 1L en ambas B.O.E. núm 311 del 29 diciembre 1998 sobre metrología legal (aprobación de tipo nº 99009).
Certificados	certificado de aprobación suizo (OFMET) nº S-60 como clase 1L.
Batería	1 batería tipo 6LF22 de 9V, alcalina o de litio.
Dimensiones	135mm, Ø48mm.
Peso	230gr con batería.

- Se debe calibrar adecuadamente el equipo de medida, considerando correcciones por variaciones de presión.
- Las medidas se deberán realizar a una altura entre 1,2m y 1,8m sobre el nivel del suelo, lo más cercano posible a la altura de los oídos de las personas. La distancia del micrófono a la superficie reflectora más próxima debe ser entre 1m y 2m.
- Para evaluar los niveles de contaminación de ruido ambiental se monitoreará con la red de ponderación de frecuencia A. Pudiéndose también usar la red de ponderación de frecuencia C si el ruido presenta fuertes componentes de baja frecuencia. Se recomienda la constante de tiempo de respuesta lenta (*slow*).
- Los parámetros para poder evaluar un estado de contaminación de ruido ambiental en una zona dada deben ser los siguientes:  $L_{eq}$  (Nivel sonoro continuo equivalente), percentiles  $L_{10}$ ,  $L_{50}$ ,  $L_{90}$  y los indicadores de contaminación  $L_{np}$  (Nivel de contaminación de ruido) y  $TNI$  (Índice de ruido de tráfico).

Para la aplicación de este protocolo a la elaboración de un mapa acústico de una ciudad o región, se han realizado algunas precisiones descritas en detalle en la referencia [7].

De manera resumida, algunos de los criterios generales considerados para la elección o descarte de puntos, son los siguientes:

- Distribución mas o menos uniforme de puntos en cada barrio

- Densidad de población
- Criterio de algunos habitantes consultados
- Cercanía a centros escolares u hospitales
- Agrupando varios puntos que presentan similitud en un único punto de medición representativo
- Combinación de uno o más de los criterios anteriores

Como método de validación de los parámetros adoptados, la diferencia entre los niveles de presión sonora en puntos adyacentes no debería ser superior a 5 dB.

Se realizó un trabajo de diagnóstico previo que permitió decidir también sobre los horarios en los cuales se deberían realizar las mediciones [7]. Considerando el mayor o menor flujo vehicular y la mayor o menor intensidad de actividad humana, se establecieron los siguientes 6 intervalos horarios para la toma de datos:

7:00 hrs - 9:00 hrs
10:00 hrs - 12:00 hrs
12:00 hrs - 14:00 hrs
16:00 hrs - 18:00 hrs
18:00 hrs - 20:00 hrs
22:00 hrs - 24:00 hrs

Para determinar qué tiempo de muestreo por cada intervalo era el que debía adoptarse como representativo del mismo, se realizó un estudio del tiempo de estabilización de los datos medidos, siguiendo el siguiente esquema simple. Con el criterio de que las medidas comienzan a estabilizarse si difieren apenas en (1 dB, se registran



TABLA 3

Información requerida en la hoja de datos generales.

INFORMACIÓN	DETALLE
Generales	Zona Calles Hora Nombre del archivo
Tipo de vía	N° de carriles Material del suelo Pendiente
Edificaciones	Altura estimada Promedio Material de construcción Vegetación cercana
Tráfico	Flujo vehicular Tipos de vehículos N° de vehículos

datos del nivel de ruido equivalente en forma completa minuto a minuto durante una hora. Con los datos registrados se calculan los niveles equivalentes para los primeros 59 minutos, luego para los primeros 58 minutos, y así sucesivamente hasta el primer minuto. Examinando los resultados se busca en qué minuto el nivel equivalente cumple con la condición de estabilización, siendo éste el número de minutos en la hora, necesarios para realizar las mediciones y que estas sean representativas de la hora entera. Este procedimiento se debe repetir varias veces para asegurar confiabilidad. Se observa, que en algunos puntos de la ciudad como la plaza Pérez Velasco, el tiempo de estabilización es mínimo y el nivel de ruido equivalente es prácticamente constante en todo el intervalo de medición. En otros puntos se requieren tiempos de medición mayores, lo que nos llevó a decidir normalizar todas las mediciones a un tiempo de 15 minutos por intervalo horario.

Para cada punto de medida se elaboraron dos hojas de reporte, una de datos generales y la otra de reporte de resultados. La hoja de reporte de datos generales, contiene la información detallada en la Tabla 3.

La información de la hoja de datos generales es muy importante al momento de abordar la elaboración de un mapa acústico. Permite, juntamente con los datos técnicos, desarrollar modelos que de manera complementaria enriquecen la información contenida en el mapa y permiten el desarrollo de modelos para extrapolar los resultados hacia lugares donde no se realizaron las mediciones. Lamentablemente este último aspecto no ha sido incorporado en el presente trabajo pues la extrema variabilidad de los datos en calles que no son troncales no permite adaptar un modelo estándar, sino por el contrario se requiere la concepción de un modelo más elaborado. En muchas calles y avenidas, no es posible encontrar

correlaciones entre los datos medidos y la información recopilada, siendo los mismos por el contrario, fuertemente aleatorios.

La hoja de reporte de resultados procesados de 10 columnas contiene la siguiente información: nombre del archivo donde esta almacenada la información original, identificación del punto de medida, la memoria en la que se grabaron los datos (Rcd), hora de inicio de las mediciones, desviación standard de la serie de medidas, los percentiles  $L_{10}$ - $L_{50}$ - $L_{90}$ , el nivel sonoro continuo equivalente  $L_{eq}$ , y los indicadores de contaminación  $L_{np}$  (Nivel de contaminación de ruido) y  $TNI$  (Índice de ruido de tráfico). De manera adicional se incluye en esta tabla la tasa horaria de flujo vehicular.

## 8. PUNTOS DE MEDIDA, DATOS, DIAGRAMAS Y MAPAS

Se han realizado mediciones de nivel sonoro en varios puntos del centro de la ciudad, elegidos siguiendo los criterios descritos en la sección anterior, por considerarlos importantes principalmente por la concentración permanente o circunstancial de personas en diferentes horas del día. En esta fase se cuentan con registros de 58 puntos que permiten una adecuada descripción del ambiente acústico de la ciudad de La Paz. Los puntos de medida están listados en la Tabla 4.

En las tablas incluidas en el apéndice se presentan ejemplos de los datos procesados para cuatro puntos de medida representativos. De igual manera las figuras del apéndice permiten observar histogramas comparativos entre los indicadores importantes para los diferentes intervalos horarios. Estos histogramas muestran relaciones importantes que las discutiremos en la siguiente sección.

Si bien existen muchas maneras de presentar un mapa acústico, la mayoría de ellas requieren necesariamente la utilización de un modelo computacional para extrapolar la información a puntos donde no se han realizado mediciones, lo cual no se ha alcanzado a realizar en el presente trabajo. Sin embargo, para fines de descripción del ambiente acústico del centro de la ciudad de La Paz, presentamos mapas acústicos parciales de los seis intervalos horarios considerados, complementados con criterios adicionales de tipo cualitativo antes que cuantitativo.

## 9. CONSIDERACIONES FINALES Y CONCLUSIONES

Se ha presentado una breve revisión de las características físicas del sonido, con énfasis en los aspectos relacionados con la cuantificación de ruido como un importante contaminante ambiental.

Se ha descrito nuevamente la técnica empleada para realizar mediciones de niveles de contaminación acústica en el centro de la ciudad de La Paz, siguiendo los trabajos de las referencias [5, 7].

Revisando la ley de medio ambiente [1], vemos que el Artículo 52 del Capítulo VI, Anexo 6, recomienda la necesidad del levantamiento de un mapa acústico de la ciudad de La Paz, para de manera objetiva y científica

TABLA 4

Lista de puntos de medida considerados en el trabajo.

Nº	PUNTO DE MEDIDA	Nº	PUNTO DE MEDIDA
1	Paseo del Prado (fuente)	30	Av. Pando Esq. Av. Montes
2	Esq. Cine 16 de Julio	31	Av. Perú esq. Independencia
3	Plaza del Estudiante	32	Terminal de Buses
4	Plaza Venezuela	33	Avenida Periférica Esq. C. Chacaltaya
5	Landaeta Esq. 20 de Octubre	34	Plaza Rene Barrientos
6	Plaza El Condor	35	Avenida Periferica cruce Vino Tinto
7	Landaeta Esq. Jaimes Freyre	36	Av. Sucre esq. C. Bolivar
8	Paseo Nuñez del Prado	37	Plaza Murillo
9	Plaza San Pedro	38	Mercado Yungas
10	Plaza Israel	39	Av. Camacho esq. Bueno
11	Almirante Grau Esq. Zoilo Flores	40	Av. Simón Bolívar – entrada Kusillo
12	Zoilo Flores esq. Riobamba	41	Plaza Stadium
13	Plaza Marcelo Quiroga Santa Cruz	42	Hospital Obrero
14	Plaza Líbano	43	Plaza Triangular
15	Av. Avaroa esq R. Bustamante	44	Av. Saavedra – Facultad de Medicina
16	Sagárnaga Esq. Max Paredes	45	Plaza Villarroel
17	Sagárnaga Esq. Murillo	46	C. Haití esq. Av. Iturralde
18	C. Santa Cruz Esq. Figueroa	47	Plaza España Esq. Ecuador
19	Figueroa Esq. America	48	Plaza Adela Zamudio
20	Tumusla Esq. Illampu	49	Plaza Andrew Esq. Jaimes Freyre
21	Puerta del cementerio	50	Plaza Lira Esq. General Lanza
22	Parada micro 42 – detrás del cementerio	51	C. Rosendo Gutierrez esq. C. Bustillos
23	Calle E. Avaroa esq. M. Cossio	52	C. Chaco esq. C. Reseguin
24	Plaza Garita de Lima	53	Jaimes Freyre Esq. Jaime Zudañes
25	Buenos Aires Esq. Tumusla	54	Av. 20 de Octubre Esq. Aspiazu
26	Plaza Kennedy (Av.America)	55	Av. 20 de Octubre Esq. Belisario Salinas
27	Plaza Pérez Velasco	56	Final 6 de agosto y Avenida Arce
28	Av. Montes – puente autopista	57	Plaza Isabel la Católica
29	Av. Montes – TAM	58	Final Sánchez Lima – inicio Av. Kantutani

plantear las regulaciones y ordenanzas municipales sobre emisiones acústicas y la clasificación de las zonas urbanas acorde a la sensibilidad acústica. La ley señalada indica que el máximo permisible de emisión de ruido en fuentes fijas es de  $68 \text{ dB}(A)$  de las seis a las veintidós horas y de  $65 \text{ dB}(A)$  de las veintidós a las seis horas. Las fuentes fijas que se localicen en áreas cercanas a centros hospitalarios, guarderías, escuelas, asilos y otros lugares de descanso no deben rebasar el límite máximo permisible de emisión de ruidos de  $55 \text{ dB}(A)$ . El gobierno municipal de la ciudad de La Paz, mediante ordenanza municipal GMLP No. 233/2002, ha hecho público el REGLAMENTO DE PREVENCIÓN Y CONTROL DE LA CONTAMINACIÓN ACÚSTICA [2], que maneja los mismos parámetros que la ley de medio ambiente aunque es un poco más explícito en la explicación de los mismos.

El presente trabajo de recolección de datos de ma-

nera sistemática tendiente a la elaboración de un mapa acústico de la ciudad de La Paz, además de continuar con las mediciones, debe ser complementado con modelos computacionales que permitan cuantificar los niveles de contaminación acústica en calles y avenidas donde no se haya realizado medidas de niveles de ruido. El trabajo podrá servir de base para dar respuesta a los objetivos señalados en la ley del medio ambiente. Resulta claro concluir que la ley no es adecuada o nadie la respeta.

Se han tomado en cuenta mediciones realizadas en 58 puntos del centro paceño. Para efectos de elaboración del mapa acústico, se ha considerado, el nivel sonoro equivalente,  $L_{eq}$ , y para la presentación e interpretación de resultados, se han considerado también los percentiles L10 y L90 además de los indicadores de contaminación acústica  $L_{np}$  y  $TNI$ . Se ha trabajado sobre seis intervalos horarios diferenciados: 7-9, 10-12, 12-14, 16-18, 18-20

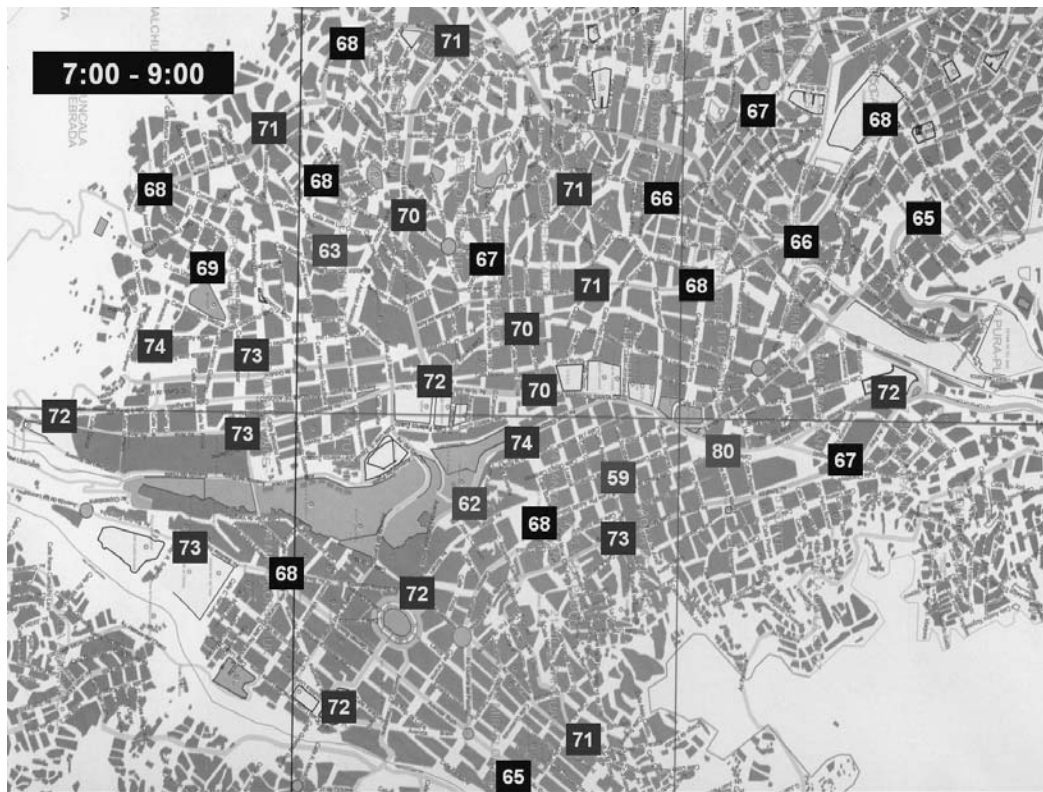


Figura 3. Mapa acústico parcial del centro de la ciudad de La Paz en el intervalo horario de 7:00 a 9:00.



Figura 4. Mapa acústico parcial del centro de la ciudad de La Paz en el intervalo horario de 10:00 a 12:00.

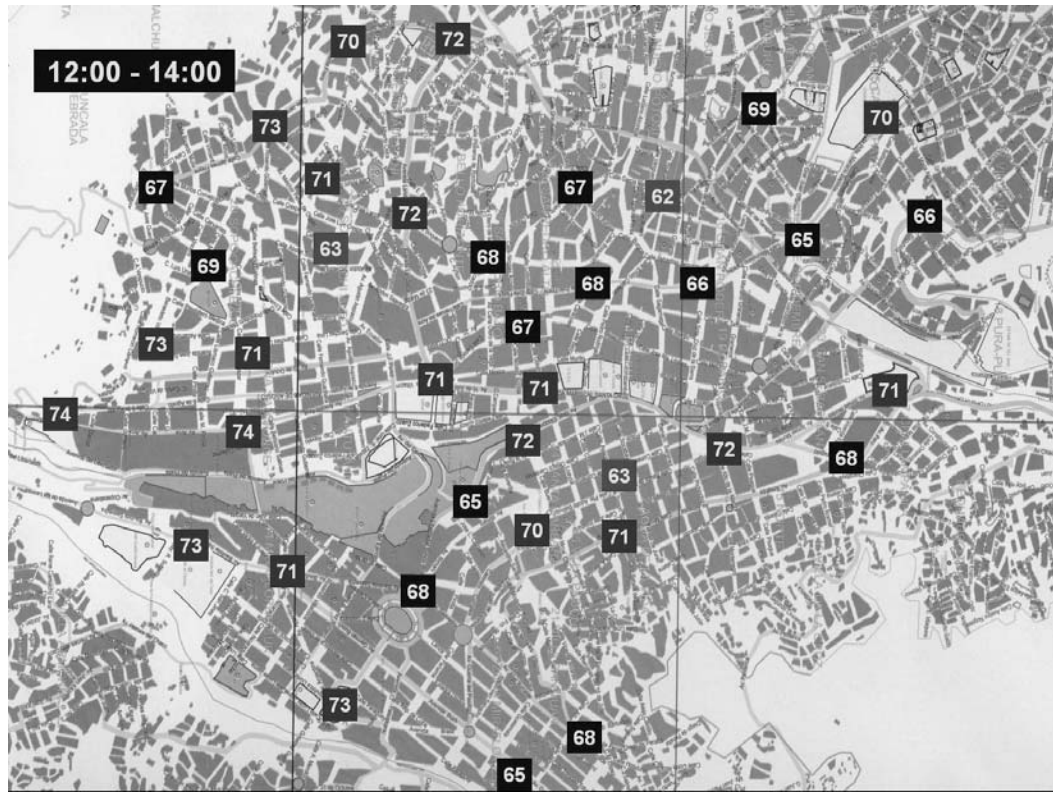


Figura 5. Mapa acústico parcial del centro de la ciudad de La Paz en el intervalo horario de 12:00 a 14:00.



Figura 6. Mapa acústico parcial del centro de la ciudad de La Paz en el intervalo horario de 16:00 a 18:00.



Figura 7. Mapa acústico parcial del centro de la ciudad de La Paz en el intervalo horario de 18:00 a 20:00.

y 22-24, lo que permite un óptimo conocimiento del ambiente acústico en el centro de La Paz.

Las mediciones han sido realizadas en días laborables (lunes a viernes), llegándose a comprobar previamente, que el ambiente acústico es prácticamente equivalente en cualquiera de estos días. Con seguridad que no es lo mismo en los días sábado y domingo. Consideramos, aunque de manera *ad-hoc*, que todas las semanas a lo largo del año son equivalentes. Es necesario realizar un estudio detallado para determinar las variaciones estacionales.

Se ha escogido el tiempo de muestreo de 15 minutos en cada intervalo en base a pruebas de estabilidad de los datos realizadas en diferentes lugares. En general, del análisis de los datos, de los histogramas comparativos y de los mapas acústicos se puede deducir lo siguiente:

- No existe una variación significativa de los datos en los diferentes intervalos horarios. Esto permite concluir que el ambiente acústico en el centro de la ciudad es similar a lo largo de todo el día.
- Las medidas tomadas en horario nocturno presentan gran variabilidad por lo que en principio no se puede sacar las mismas conclusiones que para el horario diurno.
- Los promedios de nivel sonoro equivalente están casi siempre por encima de los que indica la norma a cualquier hora del día. Principalmente en el eje norte sur que va desde la terminal, bajando por la avenida Montes, Av. Mariscal Santa Cruz, El Prado, Av.

Arce hasta San Jorge. En un 80% de los casos, los niveles superan los 70  $dB(A)$  permanentemente.

- Los valores mínimos del nivel sonoro equivalente registrados son:

#### VALORES MÍNIMOS DE $L_{eq}$ EN LOS DIFERENTES INTERVALOS

7:00 hrs - 9:00 hrs	59 $dB$
10:00 hrs - 12:00 hrs	62 $dB$
12:00 hrs - 14:00 hrs	62 $dB$
16:00 hrs - 18:00 hrs	61 $dB$
18:00 hrs - 20:00 hrs	61 $dB$

- Los valores máximos del nivel sonoro equivalente registrados son:

#### VALORES MÁXIMOS DE $L_{eq}$ EN LOS DIFERENTES INTERVALOS

7:00 hrs - 9:00 hrs	80 $dB$
10:00 hrs - 12:00 hrs	77 $dB$
12:00 hrs - 14:00 hrs	74 $dB$
16:00 hrs - 18:00 hrs	80 $dB$
18:00 hrs - 20:00 hrs	77 $dB$

- De la observación de los percentiles L90 se puede concluir que existe un ruido de fondo sumamente elevado, por encima de los 60  $dB(A)$ , lo que

- está en relación directa con la tasa horaria de flujo de vehículos que como puede verse es muy alta y casi permanente en las horas del día.
- La situación en áreas donde existen hospitales y escuelas, es similar a la de cualquier calle. No se cumple la reglamentación en absoluto.
  - Más allá de la medida de la variable física nivel sonoro, tenemos la sensación subjetiva de molestia por las variaciones en los valores medidos, por lo que su incidencia en la salud es importante. El indicador  $L_{np}$  permite concluir que se producen fuertes molestias relacionadas con las variaciones en los niveles de ruido. Los valores de este indicador varían mucho debido a lo dispersos que son los datos.
  - El indicador  $TNI$  muestra como principal agente contaminante al tráfico vehicular. Los valores calculados son sumamente elevados aún en zonas cercanas a escuelas y hospitales.
  - No se observa una relación directa entre el flujo de automóviles y los indicadores  $L_{eq}$ ,  $L_{np}$  y  $TNI$ . Por lo tanto se concluye que deben tomarse en cuenta otros parámetros adicionales como el tipo de edificaciones, el material de la calle, la pendiente, el tipo de moviidades, la velocidad con la que transitan por el punto, etc, para considerarlo en la construcción del mapa acústico.
  - Existen efectos anómalos que alteran el registro de los datos, los cuales no han sido procesados en el presente trabajo por falta de registros precisos.
  - Algunas personas consultadas de manera casual en las cercanías de los puntos de medición, perciben que realmente existe un ruido fuerte.
  - Las personas mas afectadas son aquellas que realizan sus actividades de manera cotidiana en las calles del centro paceño.
  - La situación podría ser algo diferente en las laderas y la zona sur de la ciudad, aunque en el diagnóstico previo concluimos que existe muchísima variación de una calle a otra, aún cuando están muy próximas la una de la otra.
  - La recolección sistemática de datos y su tratamiento estadístico apropiado permitirá la elaboración de modelos que tengan un grado de predictibilidad de los niveles de contaminación acústica en relación a cambios en los centros urbanos, como ser apertura de vías, construcción de edificaciones, levantamiento de urbanizaciones, construcción de hospitales y escuelas, etc.
- El presente es un trabajo parcial que debe ser complementado con muchas más mediciones, y adicionalmente, con la elaboración de modelos de mapas acústicos en cada zona o barrio.

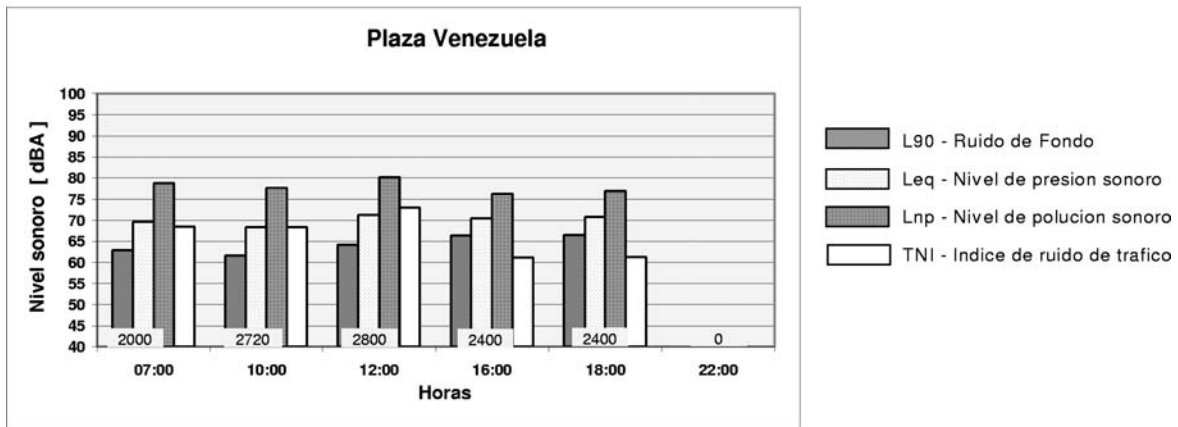
#### REFERENCIAS

- [1] LEY DE MEDIO AMBIENTE (Ley N° 1333 de 27 de abril de 1992) Y REGLAMENTO DE MEDIO AMBIENTE (Decreto Supremo N° 24176 de 8 de diciembre de 1995), U.P.S. Editorial.
- [2] REGLAMENTO DE PREVENCIÓN Y CONTROL DE LA CONTAMINACIÓN ACÚSTICA, Ordenanza Municipal GMLP No. 233/2002.
- [3] World Health Organization, Guidelines for Community Noise, edited by Birgitta Berglund, Thomas Lindvall, Dietrich H. Schwela, (1999).
- [4] M. Arana y J.M. Asiain, "Elaboración de mapas acústicos mediante técnicas computacionales", Departamento de Física, Universidad de Navarra, España (2001).
- [5] S. F. Barreta, "Protocolo Para Medidas de Ruido Ambiental en la Ciudad de La Paz", Tesis de Licenciatura, Carrera de Física, UMSA (2003).
- [6] Alberto Behar, "El ruido y su control", Ed. Trillas.
- [7] W. Tavera, S. F. Barreta, E. Franck, "Resultados preliminares de mediciones de ruido urbano en la Ciudad de La Paz: Bases para la elaboración de un mapa acústico", Artículo-informe, Resumen de labores 2003, IIF-Carrera de Física, UMSA (2003).

## ANEXO 1

Archivo :	DATOS	Punto de medida :	Plaza Venezuela
-----------	-------	-------------------	-----------------

Rcd	Hora	$\sigma$	L 10	L 50	L 90	Leq	Lnp	TNI	Nro. autos
8 (10mayo)	7:00	3,57	71,8	67,5	62,9	69,7	78,8	68,5	2000
12 (10mayo)	10:00	3,64	70,8	66,5	61,6	68,4	77,7	68,4	2720
18 (10mayo)	12:00	3,51	74,0	69,4	64,3	71,2	80,2	73,1	2800
2 (27mayo)	16:00	2,29	72,6	69,2	66,4	70,4	76,3	61,2	2400
6 (27mayo)	18:00	2,42	72,7	69,3	66,5	70,8	77,0	61,3	2400



## ANEXO 2

Archivo :		Punto de medida :	Plaza. Marcelo Quiroga Santa Cruz
-----------	--	-------------------	-----------------------------------

Rcd	Hora	$\sigma$	L 10	L 50	L 90	Leq	Lnp	TNI	Nro. autos
1 (m 2)	7:00	2,73	70,4	66,5	63,6	68,4	75,4	60,8	1200
11 (m 1)	10:00	3,47	70,1	65,0	62,1	68,9	77,8	64,1	1200
9 (m 2)	12:00	2,96	69,2	64,2	60,9	66,5	74,1	64,1	720
8 (m 1)	16:00	2,65	68,7	64,8	62,0	66,6	73,4	58,8	1080
3 (m 1)	18:00	3,22	70,3	65,9	62,9	69,3	77,5	62,5	600
11	22:00	6,89	70,5	61,6	52,2	68,1	85,7	95,4	280

