

# Decibelímetro

Federico Gonzalez  
UTN FRBA  
Ingeniería electrónica  
Legajo: 15706877

Matias Joglar  
UTN FRBA  
Ingeniería electrónica  
Legajo: 1560050

Luciano Ramos y Rubén Riveros  
UTN FRBA  
Ingeniería electrónica  
Legajos: 1562678 y 1567196

**Abstract**—La finalidad de este documento es dar a conocer el sonómetro digital que hemos desarrollado. El mismo consiste en un dispositivo capaz de determinar el nivel de presión sonora en el ambiente y ajustarla a la respuesta real del oído. A lo largo de este escrito se detallarán los principios de funcionamiento del mismo, así como las etapas de medición y de calibración.

## I. INTRODUCCIÓN

El sonómetro es un instrumento de medida cuya funcionalidad es la de medir niveles de presión sonora. En concreto, el sonómetro mide el nivel de ruido que existe en determinado lugar y en un momento dado. La unidad con la que trabaja el sonómetro es el **dB<sub>SPL</sub>**.

Los fabricantes de estos dispositivos deben seguir la norma IEC 61.672 emitidas por la Comisión Electrotécnica Internacional

### A. Clases de sonómetro

Existen 4 tipos de sonómetros:

- **Clase 0:** Se utiliza en laboratorios para obtener niveles de referencia.
- **Clase 1:** Permite el trabajo de campo con precisión.
- **Clase 2:** Permite realizar mediciones generales en los trabajos de campo
- **Clase 3:** es el menos preciso y sólo permite realizar mediciones aproximadas, por lo que sólo se utiliza para realizar reconocimientos.

La norma EIC 61.672 elimina las clases 0 y 3, restando exclusivamente las clases 1 y 2

### B. Curvas de ponderación

La percepción del sonido por el oído humano es un fenómeno complejo, que depende de la frecuencia y del nivel de presión sonora de la onda sonora, no existiendo linealidad entre ambas variables.

Cuando deseamos valorar los riesgos derivados de la exposición al ruido de los trabajadores, tendremos que conseguir que la medida del ruido sea, de algún modo, reflejo de la forma en que el trabajador percibe el ruido. Esto dio lugar a la obtención de 4 escalas de ponderación denominadas A, B, C, D.

- 1) **Curva A:** Mide la respuesta del oído, ante un sonido de intensidad baja. Es la más semejante a la percepción logarítmica del oído humano, aunque los estudios de psicoacústica modernos cuestionan esta afirmación. Se utiliza para establecer el nivel de contaminación acústica

y el riesgo que sufre el hombre al ser expuesto a la misma. Por ello, es la curva que se utiliza a la hora de legislar

- 2) **Curva B:** Su función era medir la respuesta del oído ante intensidades para intensidades medias. Como no tiene demasiadas aplicaciones prácticas es una de las menos utilizadas. Muchos sonómetros no la contemplan
- 3) **Curva C:** Mide la respuesta del oído ante sonidos de gran intensidad. Es tanto, o más empleada que la curva A a la hora de medir los niveles de contaminación acústica. También se utiliza para medir los sonidos más graves
- 4) **Curva D:** Se utiliza, casi exclusivamente, para estudiar el nivel de ruido generado por los aviones

## II. PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO

### A. Sonómetro integrador-promediador

Nuestro decibelímetro será un "sonómetro integrador-promediador" el cual la norma exige que proporcione los niveles de sonido con una ponderación frecuencial A promediados temporalmente.

El nivel de sonido continuo equivalente es Veinte veces el logaritmo decimal del cociente entre una presión cuadrática media durante un intervalo de tiempo establecido y la presión acústica de referencia, siendo obtenida la presión acústica con una ponderación frecuencial normalizada.

NOTA 1 - El nivel de sonido promediado en el tiempo o continuo equivalente se expresa en decibelios (dB).

NOTA 2 - En símbolos, el nivel de sonido con ponderación A promediado en el tiempo, LAT o LAeqT, está dado por

$$L_{AeqT} = 20 \lg \left\{ \left[ \frac{1}{T} \int_{t-T}^T P_a^2(\varepsilon) d\varepsilon \right]^{\frac{1}{2}} / P_0 \right\}$$

donde

$\varepsilon$  Es una variable ficticia del tiempo de integración sobre el intervalo de tiempo de promediado que finaliza en el instante de observación  $t$ ;

T Es el intervalo de tiempo promediado

$P_a(\varepsilon)$  Es la presión acústica instantánea con ponderación A

$P_0$  Es la presión acústica de referencia. '

### III. CIRCUITO EMPLEADO

#### A. Diagrama en bloques

En la Figura 1 se muestra el diagrama en bloques general del circuito empleado

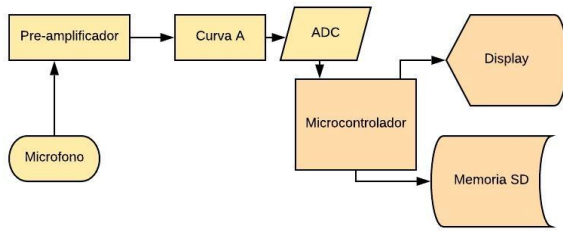


Fig. 1: Diagrama en bloques general

#### B. Micrófono

Para este proyecto se utilizó un micrófono condenser "CMB-6544PF"

La sensibilidad de este micrófono, obtenida de la hoja de datos, es de -44dB, lo cual representa 6.3096mV/Pa. El piso de ruido es de 34dB.

#### C. Pre amplificador

La etapa pre amplificador no es más que un amplificador no inversor como se muestra en la Figura 2 cuya funcionalidad es amplificar la señal del micrófono para poder medir en fondo de escala.

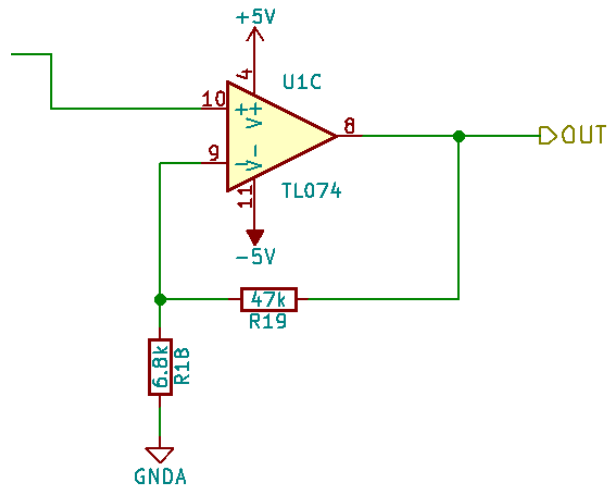


Fig. 2: Circuito implementado de la configuración no inversora

La ganancia del amplificador será igual a:

$$G = \frac{3V_{pp}/2}{Sensibilidad * 20Pa} = \frac{1.5v}{6.3mV * 20Pa} = 8.4$$

El amplificador operacional seleccionado es "TL074", el cual es un amplificador de bajo ruido.

#### D. Curva de ponderación

Para nuestro proyecto utilizamos un filtro de ponderación A, cuya respuesta en frecuencia se muestra en la Figura 3, y así cumplir con los requerimientos del sonómetro integrador-promediador de la norma IEC 61672-1.

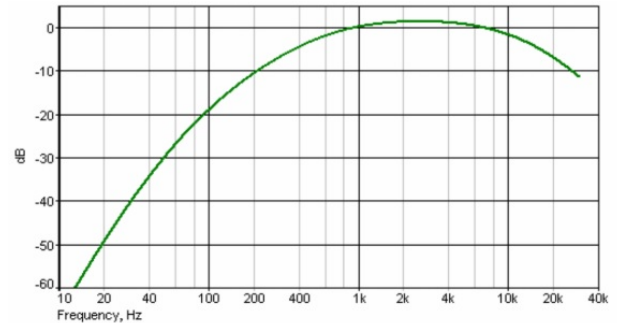


Fig. 3: Curva de ponderación A

El circuito utilizado es el siguiente:

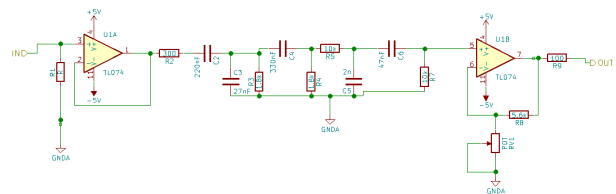


Fig. 4: Circuito implementado para lograr el filtro de ponderación A

Del cual obtuvimos de manera práctica la siguiente respuesta en frecuencia:

Frecuencia(Hz)	CurvaA(dB)	Desvio(dB)
16	-51.49	5.22
31.5	-36.78	2.62
63	-25.92	0.28
125	-16.38	-0.29
250	-8.78	-0.18
500	-3.34	-0.14
1000	0.08	0.08
2000	1.38	0.18
4000	1.18	0.18
8000	-0.8	0.28
16000	-5.58	1.02

Los límites establecidos por la norma 61672-1 son los siguientes:

$f[Hz]$	Clase1	Clase2
16	+2.5; -4.5	+5.5; -4
31.5	$\pm 2.0$	$\pm 3.5$
63	$\pm 1.5$	$\pm 2.5$
125	$\pm 1.5$	$\pm 2.0$
250	$\pm 1.4$	$\pm 1.9$
500	$\pm 1.4$	$\pm 1.9$
1000	$\pm 1.1$	$\pm 1.4$
2000	$\pm 1.6$	$\pm 2.6$
4000	$\pm 1.6$	$\pm 3.6$
8000	+2.1; -3.1	$\pm 5.6$
16000	+3.5; -17.0	+6.0; -4

Como se puede observar la curva implementada cumple perfectamente con la requerida por la norma.

#### E. ADC

El ADC seleccionado es el "PCM1808", un ADC de audio de 24bits con interfaz I2S el cual posee un filtro antialias integrado, como se ve en la Figura 5, excelente para aplicaciones de audio, ademas posee 2 canales para sonido estéreo, aunque nosotros utilizaremos sonido mono.

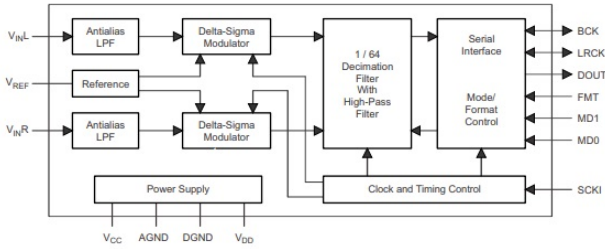


Fig. 5: Diagrama de bloques interno del PCM1808

#### F. Microprocesador

El microprocesador utilizado sera el LPC1769, con el llevaremos a cabo el calculo del promedio cuadrático de la señal y su conversión a dBSPL, ademas de gestionar el ADC mediante I2S.

#### G. Display

En el display se mostrará al usuario el último valor medido.

#### H. Memoria SD

Se tendra una memoria SD para llevar un registro de los últimos valores medidos.

### IV. ANALISIS DE INCERTIMBRE

#### A. Pre amplificador

La ganancia del amplificador no inversor es la siguiente:

$$V_o = V_i * \left( \frac{R_2}{R_1} + 1 \right)$$

La expresión de incertidumbre de la ecuación es la siguiente:

$$uC_{V_o} = \sqrt{\frac{\partial V_o^2}{\partial R_1} uC_{R_1}^2 + \frac{\partial V_o^2}{\partial R_2} uC_{R_2}^2 + \frac{\partial V_o^2}{\partial V_i} uC_{V_i}^2}$$

#### B. ADC

Teniendo los datos técnicos del conversor utilizado, se tiene que la ecuación de muestreo del mismo responde a:

$$C = V_i \frac{2^N}{V_{REF}}$$

Donde se tiene que  $V_{REF}$  es la tensión de referencia del ADC, la cual es igual a 0.6Vcc, N es el número de bits del ADC y  $2^N$  es el número de cuentas totales del mismo.

La expresión de incertidumbre de la ecuación es la siguiente:

$$uC_{V_o} = \sqrt{\frac{\partial V_o^2}{\partial V_i} uC_{V_i}^2 + \frac{\partial V_o^2}{\partial V_{REF}} uC_{V_{REF}}^2}$$

### V. CONVERSIÓN A SPL

Para obtener el valor de presión en pascal se necesita hallar el valor eficaz de la señal, pero como se tendrá que realizar un logaritmo para obtener el resultado en decibeles, nos da la posibilidad de no realizar una raíz cuadrada y ahorrar tiempo de procesamiento gracias a las propiedades del logaritmo.

Para obtener la media cuadrática para un valor N de muestras dado se realiza la siguiente operación de manera digital

$$V_{rms}^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N V_i^2$$

Su incertidumbre será:

$$uC_{V_{rms}^2} = \sqrt{\sum_{i=1}^N \frac{\partial V_{rms}^2}{\partial V_{id}^2} uC_{V_{id}^2}^2} \quad (1)$$

El próximo paso será obtener el valor de presión en pascal al cuadrado.

$$Pa_{rms}^2 = \left( \frac{V_{ef}}{G_{amp} S_{mic}} \right)^2$$

Donde  $G_{amp}$  es el valor de la ganancia del pre-amplificador de entrada y  $S_{mic}$  es la sensibilidad del micrófono.

Luego, se obtiene su incertidumbre:

$$uC_{Pa} = \sqrt{\frac{\partial Pa^2}{\partial G_{amp}^2} uC_{G_{amp}}^2 + \frac{\partial Pa^2}{\partial S_{mic}^2} uC_{S_{mic}}^2}$$

Una vez calculada la presión en pascal, calculamos su equivalente en dB

$$SPL = 20 \log_{10} \left( \frac{Pa_{rms}}{Ref} \right) = 10 \log_{10} \left( \frac{Pa_{rms}^2}{Ref^2} \right)$$

Siendo  $Ref$  la referencia utilizada, la misma es de:

$$Ref = 20\mu Pa$$

La incertidumbre del nivel en SPL es de

$$uC_{spl} = \sqrt{\frac{\partial SPL^2}{\partial Pa_{rms}^2}} uC_{Pa_{rms}^2}$$

## VI. RESULTADOS

Resultado obtenido para una SPL de 93,97dBA a 1KHz con una incertidumbre expandida suponiendo distribución gaussiana:

$$SPL = (93,99 \pm 0,36)dBA$$

## VII. CONCLUSIONES

El decibelímetro funciona acorde a lo esperado. Como posibles mejoras a futuro, podemos mencionar las siguientes:

- Utilizar un microcontrolador con mejores prestaciones, como podría ser un ARM Cortex M4, para poder realizar ponderaciones temporales FAST y LOW
- Cambiar los operacionales por unos que necesiten una tensión de alimentación menor, ya que los actuales funcionan en los valores mínimos especificados en las hojas de datos.

## REFERENCES

- [1] <https://www.nxp.com/products/processors-and-microcontrollers/arm-based-processors-and-mcus/lpc-cortex-m-mcus/lpc1700-cortex-m3/512kb-flash-64kb-sram-ethernet-usb-lqfp100-package:LPC1769FBD100>
- [2] Norma IEC 61672-1 Electroacustica Sonometros
- [3] <https://www.nxp.com/docs/en/user-guide/UM10360.pdf>
- [4] <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/pcm1808.pdf>