

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_{SPL}**.

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 una relación lineal entre ambas variables.

Cuando deseamos valorar los riesgos que sufren los trabajadores, derivados de la exposición al ruido, tenemos que conseguir que la medida de éste sea, de algún modo, reflejo de la forma en que el individuo lo percibe. Esto dio lugar a la creación 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 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.

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

- ε 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. RANGO DE MEDICIÓN

El límite máximo de medición que adoptamos es de 120dB-SPL. Este criterio fue adoptado por las precauciones que tendríamos que adoptar si quisiéramos medir valores más altos.

En cambio, fijar un valor mínimo se presenta como un inconveniente ya que demandaría que el acondicionador de señal tenga una tensión de referencia muy baja. Por este motivo, decidimos fijar que 0 cuentas del ADC representen 0 Pa, lo cual es físicamente imposible.

De esta forma, nuestro rango de medición en Pascales va desde 0 Pa a 20Pa (120dB SPL). Teniendo en cuenta que nuestro ADC es de 24 bits, la resolución en Pascales es de:

$$Pa = \frac{20Pa}{2^{24}} = 1,193uPa$$

Al aplicar un logaritmo, nuestra resolución no es lineal para todo el rango de decibels, siendo por debajo de los 80dB la zona donde se tiene menor resolución, como se observa en la Figura 1.

Con esta cantidad de bits, la resolución del adc para valores cercanos a los 35dB es de 0,02dB.

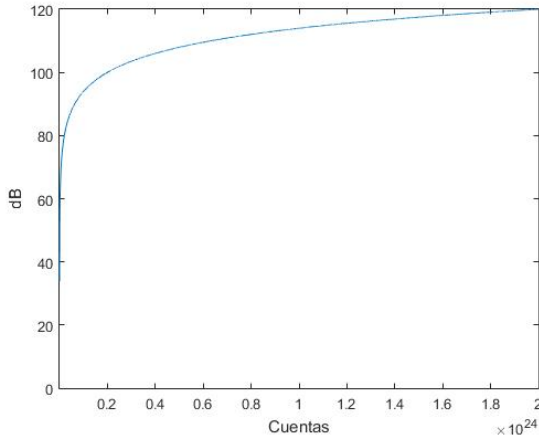


Fig. 1: Resolución del ADC en decibels

Como se ve, para el adc no hay inconvenientes al distinguir valores bajos. Sin embargo, el piso de ruido de nuestro dispositivo es mayor a estos valores.

IV. CIRCUITO EMPLEADO

A. Diagrama en bloques

En la Figura 2 se muestra el diagrama en bloques general del circuito empleado.

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_{RMS}/Pa. El piso de ruido del mismo es de 34dB.

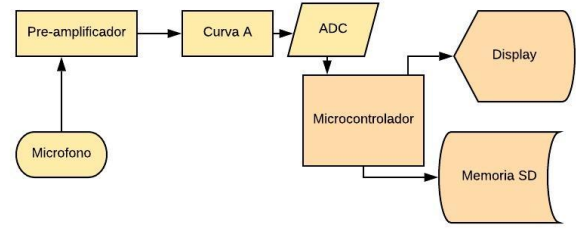


Fig. 2: Diagrama en bloques general

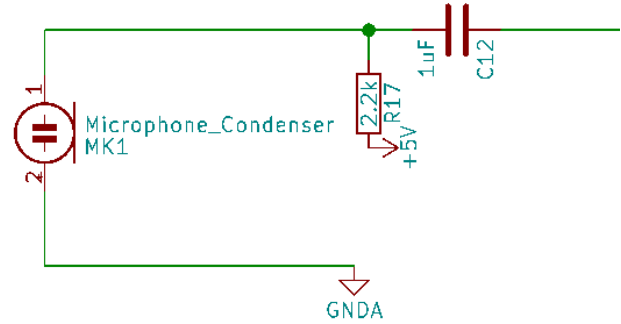


Fig. 3: Circuito implementado para el micrófono

C. Pre amplificador

La etapa preamplificadora, cuya función es aprovechar al máximo el rango del ADC (para medir a fondo de escala), es un amplificador no inversor como se muestra en la Figura 4.

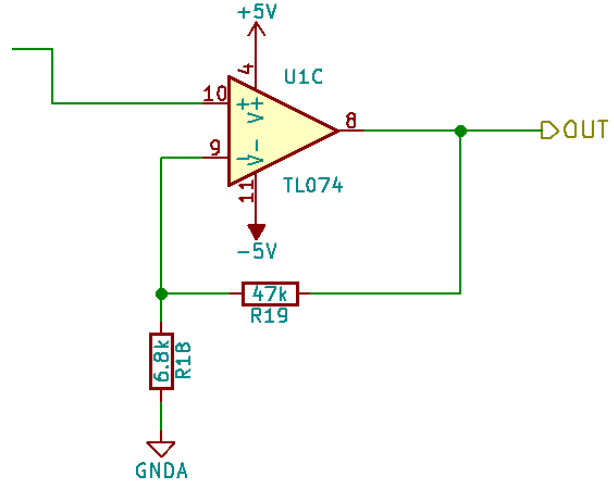


Fig. 4: Circuito implementado de la configuración no inversora

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 el "TL071", por su bajo ruido.

D. Curva de ponderación

Para nuestro proyecto utilizamos un filtro de ponderación A, cuya respuesta en frecuencia se muestra en la Figura 5, y así cumplir con los requerimientos del sonómetro integrador-promediador de la norma IEC 61672-1.

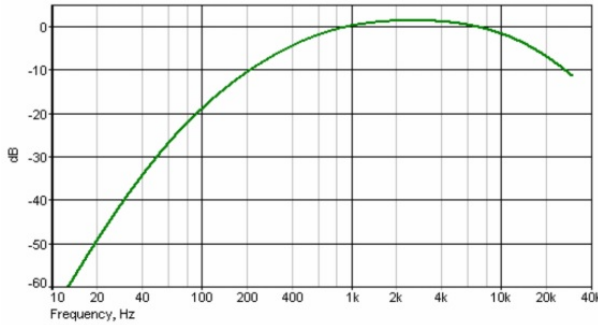


Fig. 5: Curva de ponderación A

El circuito utilizado es el siguiente:

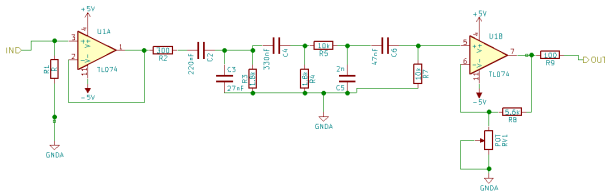


Fig. 6: Circuito implementado para lograr el filtro de ponderación A

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

Frecuencia(Hz)	CurvaA(dB)	Desvio(dB)
16	-51.49	5.22
31.5	-34.78	4.62
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	± 2.0	± 3.5
63	± 1.5	± 2.5
125	± 1.5	± 2.0
250	± 1.4	± 1.9
500	± 1.4	± 1.9
1000	± 1.1	± 1.4
2000	± 1.6	± 2.6
4000	± 1.6	± 3.6
8000	+2.1; -3.1	± 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 24 bits con interfaz I2S, el cual posee un filtro antialias integrado, como se ve en la Figura 7, diseñado para aplicaciones de audio. Además posee 2 canales para sonido estéreo, aunque nosotros utilizaremos sonido mono.

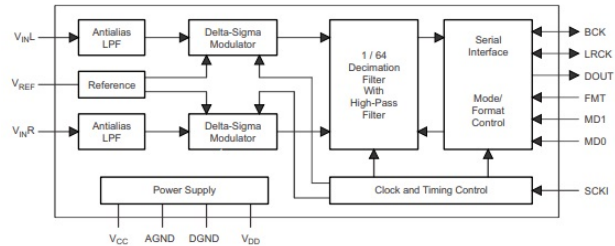


Fig. 7: Diagrama de bloques interno del PCM1808

F. Microprocesador

El microprocesador utilizado será el LPC1769, con el llevaremos a cabo el cálculo del promedio cuadrático de la señal y su conversión a dB SPL, además de gestionar el ADC mediante I2S.

G. Display

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

H. Memoria SD

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

V. CONFIGURACIÓN DE PERIFÉRICOS

A. I2S

Para este periférico, el microcontrolador ejerce el rol de master, por lo que será el encargado de proveer las tres señales de control: BCK (Bit clock), WCLK (Word clock) y MCLK (Master clock). La frecuencia de estas tres señales dependen de dos factores; frecuencia de muestreo y requerimientos del ADC (PCM1808) para MCLK (fig 8). En nuestro caso, optamos por una frecuencia de 256 fs ($f_{MCLK} = 11.2896 MHz$),

ya que para frecuencias más altas, la señal entregada por el microcontrolador se deforma demasiado. En un diseño futuro, lo ideal sería proveer MCLK a través de un oscilador más confiable.

SAMPLING FREQUENCY (kHz)	SYSTEM CLOCK FREQUENCY (f_{SCLK}) (MHz)		
	256 f_s	384 f_s	512 f_s
8	2.048	3.072	4.096
16	4.096	6.144	8.192
32	8.192	12.288	16.384
44.1	11.2896	16.9344	22.5792

Fig. 8: Frecuencia del MCLK en base a la frecuencia de muestreo

En cuanto a las señales WCLK y BCLK, la primera tiene una frecuencia igual a la utilizada para muestrear (44.1 kHz). Para la segunda, el ADC permite 48 o 64 pulsos de BCLK por período de WCLK. Nosotros optamos por 64 pulsos/frame, por lo que $f_{\text{BCLK}} = 2,8224 \text{ MHz}$.

En cuanto a la recepción de datos, optamos por el formato I2S, esto quiere decir que cuando la señal WCLK (también llamada LRCK) vale 0, los datos recibidos pertenecen al canal izquierdo, mientras que cuando vale 1, estos pertenecen al canal derecho (fig. 9).

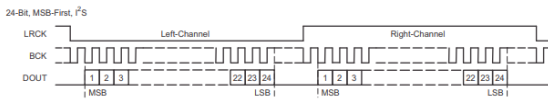


Fig. 9: Formato I2S

Como los datos que mandamos son monoaurales y no estéreo, se envía la señal del micrófono por los dos canales, basándonos en el manual de usuario del microcontrolador LPC1769, que indica que el protocolo I2S en modo mono, asume que se envía el mismo dato por ambos. Éste protocolo permite datos de 8 bits, 16 bits, o 32 bits. Si los datos enviados tienen un tamaño menor al seleccionado, se rellenan los bits menos significativos con ceros. Al ser nuestro ADC de 24 bits, las muestras deben ser desplazadas 8 bits a la derecha previo a cualquier operación.

B. SD

Para la configuración de la tarjeta microSD utilizamos la librería FatFS, cuyas funciones ya fueron implementadas por la cátedra, por lo que sólo nos limitamos a utilizar las funciones proveídas para inicialización y escritura. Como se mencionó previamente, la función de la tarjeta SD será llevar un registro de los valores medidos. El procedimiento de guardado es el siguiente: Se abre un archivo (o se crea si no existe el archivo con el nombre seleccionado), y se escriben (en formato binario, para una mejor performance) los valores de las mediciones junto con el horario correspondiente en el que se realizaron. La cantidad de puntos a guardar es decidida por el usuario (en base al tiempo que eligió para integrar). Finalmente, se provee aparte un script que crea un nuevo archivo en formato ASCII para poder ver el log, y además, grafica los datos recibidos contra el tiempo de integración (fig.10 y fig. 11).

[3:9:31]	92.46
[3:9:32]	94.91
[3:9:34]	94.91
[3:9:35]	94.91
[3:9:37]	94.91
[3:9:39]	94.90
[3:9:40]	94.89
[3:9:42]	94.89
[3:9:43]	94.89
[3:9:45]	94.90
[3:9:47]	94.91
[3:9:48]	94.92
[3:9:50]	94.92
[3:9:51]	94.93
[3:9:53]	94.93
[3:9:54]	94.92
[3:9:56]	94.92
[3:9:58]	94.91
[3:9:59]	94.90

Fig. 10: Formato del documento ASCII

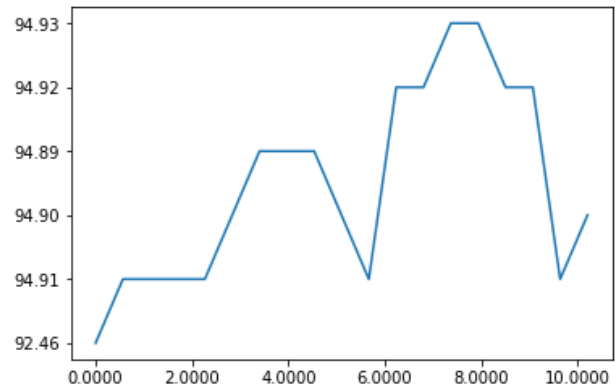


Fig. 11: Gráfico de dB(A) vs. tiempo

C. ADC interno LPC1769

El ADC del microcontrolador se encarga de medir la tensión de las 3 baterías que alimentan al decibelímetro. Para esta tarea, utilizamos 3 canales en modo burst, el cual activamos cada 1 minuto mediante el uso del TickHook. Luego de recibir estos datos, en una tarea se convierten las muestras a tensión, se realiza un promedio de las tres, y, mediante el display, se indica la batería aproximada que le queda al aparato.

D. RTC

Éste se configuró para interrumpir cada 1 segundo e informar la hora en el display. Además, se utiliza para la documentación de las mediciones.

VI. CONVERSIÓN A SPL

Para obtener el valor de presión en pascales, se necesita hallar el valor eficaz de la señal. Como la conversión a dB implica el uso de un logaritmo, ahorramos poder de procesamiento quitando la raíz del cálculo del RMS, mediante las propiedades del logaritmo.

Para obtener la media cuadrática para una cantidad N de muestras se realiza la siguiente operación de manera digital:

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

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.

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

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

Siendo Ref la referencia utilizada, la misma es de:

$$Ref = 20 \mu Pa$$

VII. CONCLUSIONES

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

- Realizar la aritmética utilizando punto fijo en vez de punto flotante.
- 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.

AGRADECIMIENTOS

Los autores de este informe queremos agradecerles a los profesores por su apoyo, y a la cátedra de electrónica por dejarnos usar el laboratorio.

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>