

¿Qué es el SQNR?

SQNR significa *Signal-to-Quantization-Noise Ratio* (Relación Señal a Ruido de Cuantificación).

Es una métrica que mide la calidad de la digitalización de una señal. Compara la potencia de la señal analógica original con la potencia del "error" o "ruido" que se introduce inevitablemente al redondear el valor analógico continuo a un nivel digital discreto (cuantificación).

La Fórmula General

La fórmula correcta para cualquier forma de onda es:

$$SQNR = 6.02 \cdot N + 4.77 - 20 \cdot \log_{10} \left(\frac{V_p}{V_{rms}} \right) \text{ dB}$$

Donde:

- V_p = Voltaje pico de la señal
- V_{rms} = Valor RMS (eficaz) de la señal

Cómo cambia según la forma de onda:

Forma de Onda	Relación V_p/V_{rms}	SQNR (para N=10 bits)
Senoidal	$\sqrt{2} \approx 1.414$	61.96 dB
Triangular	$\sqrt{3} \approx 1.732$	57.19 dB
Cuadrada	1	61.96 dB
Diente de sierra	$\sqrt{3} \approx 1.732$	57.19 dB

¿Por qué importa esto en tu laboratorio?

Si en lugar de una senoidal usas una **onda triangular** o **diente de sierra** del generador de funciones, el SQNR será aproximadamente **4.77 dB menor** (peor calidad) que con una senoidal, porque estas formas de onda tienen más energía en sus valores pico relativos al RMS, lo que hace que el error de cuantificación sea proporcionalmente más significativo.

La senoidal es la forma de onda "óptima" para medir el SQNR porque tiene la mejor relación pico/RMS entre las formas de onda comunes.

¿Por qué existe este "ruido"?

El Arduino tiene un ADC de 10 bits, lo que divide el rango de 0V a 5V en 1024 niveles. El paso entre cada nivel es de aproximadamente 4.88 mV. Si la señal analógica real tiene un voltaje de, por ejemplo, 2.501 V, el Arduino la redondeará al nivel digital más cercano (digamos, 2.495 V). Esa diferencia de 0.006 V es el error de cuantificación (ruido).

La Regla de Oro (Fórmula)

Para una señal senoidal que ocupa todo el rango del convertidor, el SQNR teórico máximo se calcula con una fórmula muy sencilla:

$$\text{SQNR} \approx 6.02 \cdot N + 1.76 \text{ dB}$$

Donde N es el número de bits de resolución.

Ejemplo aplicado a tu Arduino:

Como el Arduino Uno tiene un ADC de 10 bits ($N=10$):

$$\text{SQNR} \approx 6.02 \cdot 10 + 1.76 = 61.96 \text{ dB}$$

Esto significa que, en el mejor de los casos, la señal útil es aproximadamente 62 dB más fuerte que el ruido generado por el propio proceso de digitalización.

Conclusión práctica para el laboratorio:

- A mayor número de bits (N), mayor es el SQNR y mejor la fidelidad de la señal reconstruida (se agrega ~6 dB de calidad por cada bit extra).
- Si en tu laboratorio usas el PWM de 8 bits para reconstruir la señal (como se sugirió en la mejora), estás reduciendo la resolución efectiva, lo que disminuye el SQNR y aumenta el ruido de cuantificación audible/visible en la salida.