

Ingeniería Electrónica

Proyecto Final
Medidor de sonido en incubadoras
en sala de Neonatología

Autor/es

Gerardo Ruben Balbarrey

Franco Ezequiel Gutierrez

Carlos Antonio Novello

Tutores

Mg. Guillermo Friedrich

Ing. Adrián Laiuppa

Índice

1.	Introducción.....	6
2.	Conceptos teóricos.....	7
2.1.	Sonido y ruido	7
2.2.	Caracterización del sonido	7
2.3.	Percepción del sonido.....	7
2.3.1.	Fisiología de la audición.....	7
2.3.2.	Curva Isofónica	8
2.4.	Efectos del ruido.....	9
2.4.1.	En Adultos	9
2.4.2.	En nacidos prematuros	10
2.5.	Medición del Ruido	12
2.5.1.	Curva de ponderación.....	12
2.5.2.	Ponderación temporal.....	13
2.5.3.	Descriptores de ruido.....	14
3.	Análisis del sonómetro propuesto.....	17
3.1.	Propuesta	17
3.2.	Micrófono.....	17
3.2.1.	Micrófono capacitivo	18
3.2.2.	Micrófono Electret	18
3.2.3.	Elección del micrófono	19
3.3.	Acondicionamiento de la señal.....	20
3.3.1.	Amplificación de la señal	20
3.4.	Filtrado de la señal	21
3.4.1.	Propuesta de filtrado.....	22
4.	Desarrollo y construcción del equipo	24
4.1.	Descripción General	24
4.2.	La Estación de Medición	24
4.2.1.	Operación	25
4.2.2.	Algoritmo de adquisición y procesamiento de la señal	29
4.3.	La Estación Central	34
4.4.	Comunicaciones	40
4.5.	Comandos.....	43
4.6.	Bróker MQTT: ThingSpeak	53
4.7.	Bróker MQTT: Local.....	57
5.	Calibración del Sonómetro	59
5.1.	Instrumento de calibración	59
5.2.	Calibración	60
6.	Conclusiones.....	63
7.	Anexos.....	64
7.1.	ESP32-S2-Saola-1	64
7.1.1.	ESP32-S2.....	64
7.1.2.	Placa de desarrollo Saola-1	65
7.2.	Raspberry Pi 2 Model B	67
Especificaciones técnicas	67	
7.3.	Módulo Conversor RS485 TTL	68
7.4.	Conversor RS-485 a USB	69
7.5.	Compendio fotográfico.....	70

Índice de Figuras

Figura 2-1. Curvas isofónicas. Extraído de <i>FletcherMunson ELC</i> , Flonejek~commonswiki, 2005, Wikipedia. Licencia CC-BY-SA 3.0.	9
Figura 2-2. Curvas de ponderación A y C.....	13
Figura 2-3. Análisis Distributivo de ruido. Extraído de Análisis Distributivo, de <i>Uriz, A. J., 2014, Sistema de medición de contaminación sonora. p. 23. CC BY-NC-ND 4.0.</i>	14
Figura 2-4. Análisis acumulativo de nivel sonoro. Extraído de Análisis Distributivo, de <i>Uriz, A. J., 2014, Sistema de medición de contaminación sonora. p. 24. CC BY-NC-ND 4.0.</i>	15
Figura 3-1. Diagrama en bloques del sonómetro	17
Figura 3-2. Diagrama en bloques del sonómetro	17
Figura 3-3. Micrófono capacitivo. Extraído de Señales: ciencia de la telecomunicación (p. 36), por <i>Pierce & Noll, 1995, Reverte.</i> Copyright © Scientific American Library.....	18
Figura 3-4. Micrófono electret. Extraído de Señales: ciencia de la telecomunicación (p. 36), por <i>Pierce & Noll, 1995, Reverte.</i> Copyright © Scientific American Library.....	19
Figura 3-5. Respuesta en frecuencia del micrófono. Extraído de <i>CMA-4544PF-W.</i> © Copyright CUI Devices 2023.....	20
Figura 3-6. Diagrama en bloques del sonómetro.....	20
Figura 3-7. Circuito amplificador. Adaptado de Adafruit Learning System. CC BY-SA 3.0.	21
Figura 3-8. Diagrama en bloques del sonómetro.....	21
Figura 3-9. Filtro Pasa bajos de primer orden.....	22
Figura 4-1. Diagrama de conexión del bus de alimentación y comunicación.	24
Figura 4-2. Esquema eléctrico estación de medición.....	25
Figura 4-3. Representación de la cara de la estación.....	26
Figura 4-4. Diagrama de flujo de la rutina de la estación de medición de presión sonora.	30
Figura 4-5. Pantalla Osciloscopio.....	33
Figura 4-6. Ventana Principal de la Aplicación.	35
Figura 4-7. Ventana de diálogo	36
Figura 4-8. Ventana de Configuración de la Aplicación (a la izquierda con bróker ThingSpeak, a la derecha con bróker local).....	36
Figura 4-9. Cuadro de diálogo del botón Ayuda	37
Figura 4-10. Cuadro de diálogo de valores promedio de todas las Estaciones de Medición.....	38
Figura 4-11. Ventana de Edición de Estaciones (a la izquierda con bróker ThingSpeak, a la derecha con bróker local).	38
Figura 4-12. Color del cuadro de la Estación durante su edición.....	39
Figura 4-13. Trama Maestro Base.....	40
Figura 4-14. Bits del Comando	41
Figura 4-15. Comandos que puede ejecutar el esclavo.....	41
Figura 4-16. Trama Esclavo Base.....	42
Figura 4-17. Bit de Estado	42
Figura 4-18. Comandos Parpadeo y Fin de parpadeo de Leds.	43
Figura 4-19. Comando Identificarse.	43
Figura 4-20. Comando Cambiar Dirección.....	44
Figura 4-21. Comandos enviar mediciones en dB, RMS y RMSA.	45
Figura 4-22. Comandos para envío de constantes de ajuste y alarma.	47
Figura 4-23. Bits de Variables a Enviar.	47
Figura 4-24. Comandos para el cambio de constantes de ajuste y alarma.....	48
Figura 4-25. Bits de Variables a Modificar.....	49
Figura 4-26. Comando de envío de medición.....	51
Figura 4-27. Codificación del byte 6.	52
Figura 4-28. Plataforma ThingSpeak con parámetros indicados.....	53
Figura 4-29. Ventana de la aplicación con parámetros de ThingSpeak señalados.....	54

Figura 4-30. Configuración de Campos del Canal en ThingSpeak.....	54
Figura 4-31. Vista de telemetría de una Estación de Medición.	56
Figura 4-32. Gráfico de todos los valores medidos.	57
Figura 4-33. Tópicos según el valor transmitido hacia el bróker local del ejemplo.....	58
Figura 4-34. Configuración para la Estación Central y la Estación de medición del ejemplo.	58
Figura 4-35. Configuración para la Estación Central y la Estación de medición del ejemplo.	58
Figura 5-1. Respuesta en frecuencia del instrumento patrón SVAN 958A y el sonómetro bajo ensayo.....	60
Figura 5-2. Sonómetro DT-8852.....	61
Figura 5-3. Mediciones del instrumento patrón DT-8852 y el instrumento propio.	62
Figura 7-1. Placa ESP32-S2 Saola-1.	64
Figura 7-2. Componentes de la Saola-1.....	66
Figura 7-3. Raspberry PI 2 Model B.....	67
Figura 7-4. Módulo Conversor RS-485 TTL.	68
Figura 7-5. Esquemático Módulo Conversor RS-485 TTL.	69
Figura 7-6. Adaptador Convertidor USB a RS485.	69
Figura 7-7. Instalación de estación en incubadora Medix PC-305.....	70
Figura 7-8. Instalación de estación en incubadora Medix Natal Care ST-LX.	71
Figura 7-9. Instalación de estación en incubadora Medix PC-305.....	71
Figura 7-10. Estaciones en operación.	72
Figura 7-11. Configuración en operación local.....	72

Índice de Tablas

Tabla 2.1. Niveles de ruido y su respectivo efectivo en bebés prematuros.....	12
Tabla 5.1. Características Medidor y Analizador de Sonido.....	59
Tabla 7.1. Componentes de la placa de desarrollo Saola-1.....	66
Tabla 7.2. Características de la Raspberry Pi 2.....	67

Resumen

La exposición a niveles elevados de ruido en las Unidades de Cuidados Intensivos Neonatales (UCIN) puede tener graves consecuencias para el desarrollo auditivo, cognitivo y emocional de los recién nacidos prematuros. Estos bebés son especialmente vulnerables al ruido debido a que sus sistemas nerviosos y auditivos están aún en desarrollo. El ruido en las UCIN puede provenir de diversas fuentes, como monitores de signos vitales, alarmas, equipos médicos y conversaciones entre el personal médico. Es importante controlar la intensidad y duración del ruido para minimizar su impacto negativo.

El proyecto propone implementar un sistema de medición de sonido en las incubadoras de Neonatología para alertar cuando se superen ciertos límites de presión sonora, evitando así el estrés y cualquier posible daño a los recién nacidos. Se utilizan módulos colocados dentro de las incubadoras para medir el nivel de sonido en decibelios en la escala "A". Estas mediciones se comunican a un ordenador que procesará la información y emitirá alertas visuales correspondientes en una pantalla, y envían a un servidor para un análisis más detallado.

Palabras claves: Nivel de Ruido, Unidades de Cuidado Intensivo de Neonatología, efectos del exceso de Ruido en Neonatos, sistemas embebidos, procesamiento digital de señales.

1. Introducción

La exposición a niveles elevados de ruido en las Unidades de Cuidados Intensivos Neonatales (UCIN) es un problema que puede tener graves consecuencias para el desarrollo auditivo, cognitivo y emocional de los recién nacidos prematuros. Estos bebés son especialmente vulnerables al ruido, debido a que sus sistemas nerviosos y auditivos están aún en desarrollo.

El ruido en las UCIN puede provenir de diversas fuentes, como monitores de signos vitales, alarmas, equipos médicos y conversaciones entre el personal médico. A menudo, estos sonidos son necesarios para el cuidado del paciente, pero es importante controlar su intensidad y duración para minimizar su impacto negativo.

La UCIN o Servicio de Neonatología del Hospital Interzonal General de Agudos “Dr. José Penna” se encuentra equipado con incubadoras desprovistas de funcionalidades relativas al nivel sonoro. A fin de dotar a las incubadoras existentes con esta característica, se plantea el proyecto como una solución práctica, económica y escalable.

El objeto del proyecto es implementar un sistema de medición de sonido para las incubadoras de Neonatología, cuyo propósito es alertar cuando se superen ciertos límites de nivel sonoro, evitando así el estrés y cualquier posible daño a los recién nacidos que allí se encuentren.

Específicamente, se implementa un sistema de módulos que miden el nivel sonoro en decibeles en la escala “A”. Estos módulos son colocados dentro de las incubadoras para realizar la medición del nivel de sonido que ingresa al habitáculo donde se encuentra el neonato. Todas las mediciones realizadas son comunicadas a un ordenador, el cual las procesará y emitirá las alertas visuales correspondientes en una pantalla.

Este ordenador utiliza el protocolo MQTT para enviar las mediciones a la plataforma ThingSpeak, en esta plataforma se puede consultar de manera online las mediciones y efectuar diferentes tipos de análisis ya que esta integrado con el software MATLAB.

2. Conceptos teóricos

2.1. Sonido y ruido

El ruido es un sonido indeseable. El sonido en sí mismo es una vibración en un medio, generalmente aire, que se transmite a través de ondas sonoras que llegan al tímpano del oyente y producen por lo tanto la vibración del mismo.

Se puede describir una fuente sonora como cualquier objeto que, mediante vibraciones mecánicas o turbulencia del aire, produce energía acústica en los rangos audibles de amplitud y frecuencia.

2.2. Caracterización del sonido

Como se mencionó previamente, el ruido se lo define como un "sonido indeseado". La percepción subjetiva de cada persona es el principal factor que influye en la determinación del ruido, y esta percepción puede variar entre individuos e incluso dentro de un mismo individuo según la situación o circunstancias. Debido a esta naturaleza subjetiva, no es posible medir el ruido en una unidad objetiva. Es por ello que se describe el sonido. El sonido como consecuencia de su naturaleza ondulatoria, tiene características específicas como intensidad (volumen), frecuencia (tono), periodicidad y duración.

La intensidad del sonido se mide en decibelios (dB), una escala logarítmica. Los umbrales de detección de las presiones sonoras dependen de las frecuencias. Por lo tanto, la intensidad se ajusta a la frecuencia para dar el nivel de presión sonora ponderado A (dBA), que se explicará más adelante.

La frecuencia del sonido, que se percibe como el tono del sonido, está determinada por la velocidad a la que vibra la fuente sonora y, en consecuencia, la velocidad a la que vibra el aire. La frecuencia del sonido se mide en Hertz (Hz).

2.3. Percepción del sonido

2.3.1. Fisiología de la audición

El oído humano es un órgano complejo que se divide en tres partes principales: el oído externo, el oído medio y el oído interno.

El oído externo está formado por la oreja y el canal auditivo. La oreja recoge las ondas sonoras del ambiente y las dirige hacia el canal auditivo, que las lleva al tímpano. El oído medio

está compuesto por tres huesos pequeños llamados martillo, yunque y estribo, que transmiten las vibraciones del tímpano a la cóclea. La cóclea es la parte más importante del oído interno. Es un órgano en forma de caracol lleno de líquido que contiene células ciliadas que convierten las vibraciones sonoras en señales eléctricas que son enviadas al cerebro a través del nervio auditivo. El cerebro procesa estas señales eléctricas para crear una percepción auditiva.

Sólo se perciben las frecuencias de 16 Hz–25.000 Hz y las presiones de sonido (pueden expresarse en pascales, [Pa]) de 20 μ Pa a 20 Pa. La gama de presiones sonoras que pueden percibirse es de una amplitud enorme (pueden variar en 1 millón de veces). Los umbrales de detección de las presiones sonoras dependen de las frecuencias; son mínimos a 1.000-6.000 Hz y aumentan con las frecuencias extremas.

Como se mencionó previamente, el nivel de presión sonora se expresa en (dB), que es una escala logarítmica que corresponde a la intensidad de sonido percibida en relación al umbral de audición. Por tanto, 20 μ Pa equivale a 0 dB. Cuando la presión sonora aumenta diez veces, el nivel de decibelios aumenta 20 dB, según la fórmula siguiente:

$$L_x = 20 \log \left(\frac{P_x}{P_0} \right) [dB]$$

dónde:

L_x = presión del sonido en dB

P_x = presión del sonido en pascales

P_0 = presión del sonido de referencia (20 μ Pa, el umbral auditivo)

2.3.2. Curva Isofónica

Tal como se mencionó previamente, la respuesta en frecuencia del oído humano no es uniforme, siendo más sensible a las frecuencias intermedias, que oscilan entre 1kHz y 6kHz. Por lo tanto, sonidos con igual nivel de presión sonora pero de diferentes frecuencias son percibidos como si tuvieran una intensidad distinta.

El término "fon" se refiere a la percepción subjetiva de la intensidad o sonoridad de un sonido por parte de un individuo. Las curvas que conectan puntos con igual nivel de sonoridad se conocen como isofónicas, **Figura 2-1** (Flonejek, 2013). Estas curvas relacionan una magnitud objetiva, el SPL (Sound Pressure Level, Nivel de Presión Sonora), con una subjetiva: la sonoridad.

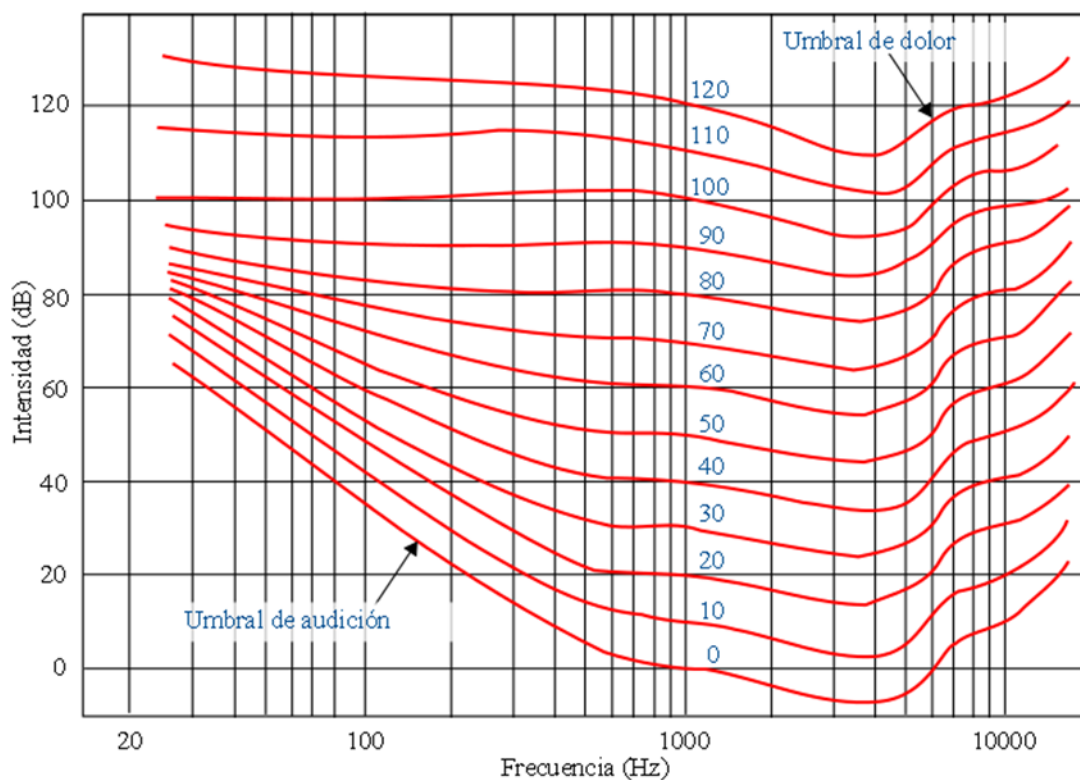


Figura 2-1. Curvas isofónicas. Extraído de *FletcherMunson ELC*, Flonejek~commonswiki, 2005, Wikipedia. Licencia CC-BY-SA 3.0.

2.4. Efectos del ruido

2.4.1. En Adultos

Los efectos adversos del ruido en la salud pública son diversos y un creciente motivo de preocupación a escala mundial. Las consecuencias del ruido nocturno pueden variar significativamente, desde una leve incomodidad temporal hasta trastornos crónicos graves. El sueño se ve afectado por el ruido nocturno, lo que puede tener un impacto negativo en el bienestar diario. Se estima que en Europa, 22 millones de personas experimentan molestias crónicas debido al ruido, mientras que otros 6,5 millones sufren alteraciones del sueño (European Environment Agency, 2020).

Cada vez hay más pruebas de que la exposición al ruido del tráfico es un factor de riesgo para el desarrollo de enfermedades cardiovasculares y metabólicas, como aumentos de tensión, hipertensión arterial, cardiopatía coronaria y diabetes (Münzel, y otros, 2018).

En las sociedades industriales actuales, el ruido representa un grave peligro para la audición. La exposición al ruido es la causa más frecuente de daño profesional y es la segunda causa de

pérdida auditiva después del envejecimiento. Además, no se debe subestimar el impacto del ruido no profesional, como en talleres caseros o con música a un volumen excesivo, especialmente cuando se utilizan auriculares o armas de fuego.

La Oficina Regional de la Organización Mundial de la Salud (OMS) para Europa llevó a cabo exámenes sistemáticos a fin de evaluar las relaciones entre el ruido y las consecuencias para la salud, con el propósito de desarrollar directrices y proporcionar recomendaciones para proteger la salud humana de la exposición a ruido ambiental procedente de diversas fuentes (European Environment Agency, 2020). Entre los efectos que pueden afectar la salud se encuentran el malestar, problemas cardiovasculares y metabólicos, disminución de la capacidad cognitiva, alteraciones en el sueño, pérdida de audición y zumbidos en los oídos, complicaciones durante el parto y afectaciones en la calidad de vida, salud mental y bienestar.

2.4.2. *En nacidos prematuros*

2.4.2.1. **Marco de referencia**

En los últimos años, se ha publicado una gran cantidad de literatura sobre la evolución neurológica a largo plazo de los bebés prematuros. Cada vez existe mayor convencimiento de que algunos de los problemas neurológicos están relacionados con los cuidados que se brindan después del nacimiento, entre otros factores. Por una parte, la exposición a un medio hostil, como es una unidad de cuidados intensivos, dificulta la organización del cerebro en desarrollo; por otra, los padres se someten a tal impacto emocional que se modifica el proceso de crianza.

Al evaluar los cuidados ambientales en las unidades neonatales, se nota que se presta más atención al control de la luz que al del ruido. Por lo tanto, es crucial contar con medidas objetivas para controlar el ruido, ya que a menudo se exceden los niveles recomendados. En 1997, el Comité de Salud Ambiental de la Academia Americana de Pediatría recomendó que se mantuviera un nivel máximo seguro de ruido (medido en Nivel de Presión Sonora Continua Equivalente, NPS Leq) de 45 dB (A) durante el día y 35 dB (A) durante la noche para evitar efectos adversos en la salud de los niños prematuros. Según numerosos estudios y reportes realizados por esta asociación, el exceso de ruido en neonatos puede provocar problemas como pérdida auditiva, estrés crónico, trastornos del sueño, fluctuaciones significativas en la presión arterial y disminución del oxígeno en sangre con afectación de órganos vitales (Noise: A Hazard for the Fetus and Newborn, 1997).

2.4.2.2. **Efectos niños prematuros**

La audición se altera en estos niños por múltiples factores como prematurez, medicamentos ototóxicos, hiperbilirrubinemia, ventilación mecánica, entre otros; la American Academy of Pediatrics, 1995, menciona que “la exposición a ruido ambiental en las UCIN puede ocasionar daño coclear y alterar el crecimiento y desarrollo normales, ya que las estructuras auditivas inmaduras pueden ser más susceptibles al daño por la combinación de ruido y otros factores de riesgo” (Joint Committee on Infant Hearing 1994 Position Statement, 1995).

Fernández y Cruz (2006) hacen referencia al trabajo de Mann y otros (1986), en el que “reportan un programa para reducir la luz y el ruido por doce horas cada noche en su hospital en Nottingham, Inglaterra. El método de reducción de ruido era apagar la radio e incitar al personal y visitas a hacer el menor ruido posible. Reportaron una reducción de 10 dB en las presiones de sonido en la noche, pero no reportan las presiones reales.

En su protocolo se excluían reuniones clínicas, el movimiento de grandes equipos y el sonido del teléfono durante la hora silenciosa. Se incitaba al personal hablar en susurros al lado de la unidad del paciente, de abstenerse de golpear, pegar y arrastrar equipos y de reorganizar el cuidado no urgente en otro horario.

Los promedios de presiones de sonido encontrados en este estudio, en los mismos horarios se redujeron de 50–78 dBA antes del programa, a 40–65 dBA después de dos semanas de efectuado. Esto se traduce en una reducción en el ruido percibido, de una mitad a un cuarto más abajo de los niveles pre-programa. El sueño del niño también era significativamente diferente entre el período control y la hora silenciosa.

El sueño ligero y el sueño profundo aumentaron de 33,9% a 84,5% y el llanto disminuyó de 14,3% a 2,4%. Los padres y el personal creían que había otras ventajas de la hora silenciosa en términos de estrés reducido y aumento de oportunidades para actividades sin interrupción. El programa no señaló, sin embargo, los niveles de ruido que ocurrían durante el resto del día.

Se ha investigado el impacto del ruido en los indicadores vitales del recién nacido que se le han colocado tapones para los oídos antes, durante y después de colocar una botella de vidrio sobre la incubadora. Aunque no se observaron efectos en la frecuencia cardíaca ni respiratoria, se registró una disminución significativa en los episodios de desaturación de oxígeno con el uso de estos tapones. Sin embargo, debido a la necesidad de mantener el sellado del protector auditivo y proteger la piel, la recopilación de datos se limitó en el tiempo.

Aunque la protección auditiva es prometedora por períodos breves o eventos específicos, los efectos sobre el uso continuo o prolongado sobre la organización comportamental, la integridad de la piel, postura, y forma de la cabeza no han sido estudiados. Los efectos del sello prolongado sobre la discriminación al hablar también requieren investigación.”

En la **Tabla 2.1** (Noise: A Hazard for the Fetus and Newborn, 1997) se muestran diferentes niveles ruido y su efecto en bebés prematuros.

Tabla 2.1. Niveles de ruido y su respectivo efecto en bebés prematuros

Calidad	Intensidad Pico, dBA	Ejemplo	Dentro de la Incubadora	Efecto
Solo audible	10	Latido del corazón		<35 dBA, nivel deseado para dormir
	20-30	Susurro		
Calma	40	Casa promedio		<50 dBA deseado para trabajar
	50	Tráfico liviano	Sonido de fondo	
Moderadamente ruidoso	60	Conversación normal	Encendido y apagado del motor	Molestia
	70	Aspiradora	Burbujeo en tubos de ventilador	
	80	Tráfico pesado Teléfono sonando	Golpeo de la incubadora con los dedos	
	90	Taladro neumático	Cierre de las puertas metálicas del armario bajo la incubadora	
Muy ruidoso	100	Cortadora de césped eléctrico	Cierre de ojo de buey de plástico sólido	Pérdida de audición con exposición persistente
Incómodamente ruidoso	120	Boom box en el coche	Dejar caer la cabecera del colchón	Dolor y angustia
	140	Avión a reacción a 30 m de altura		

Nota. Adaptado de “Noise: A Hazard for the Fetus and Newborn”, 1997, Pediatrics, 100(4), p. 725. Copyright © 1997 American Academy of Pediatrics.

2.5. Medición del Ruido

2.5.1. Curva de ponderación

La respuesta del oído humano no es la misma para las diferentes frecuencias, es decir, siendo más sensible a frecuencias que están en el rango de 1kHz hasta 6kHz. A fin de que la medición del nivel de presión sonora realizada con un dispositivo se corresponda con la percepción auditiva, se emplea un filtro de ponderación conocido como "A" para ajustar la medición. En la **Figura 2-2** se encuentra la curva de ponderación "A" representada en color rojo.

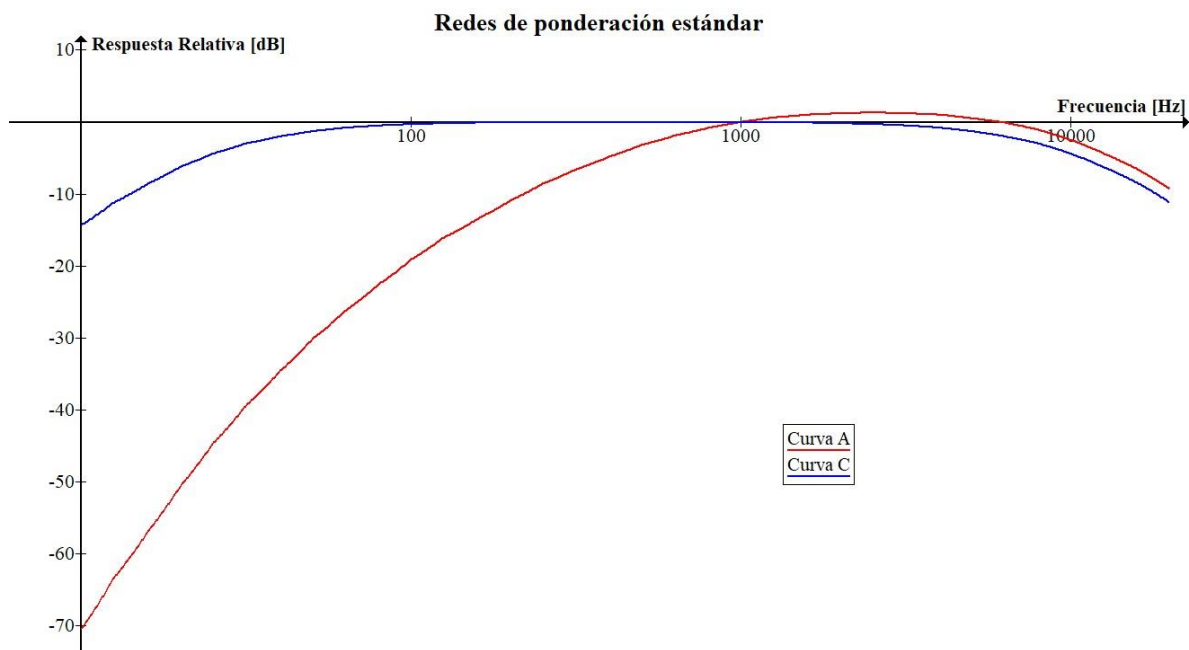


Figura 2-2. Curvas de ponderación A y C

El filtro A es un filtro pasabanda centrado en 2500Hz, con una atenuación de cerca de 20dB en 100Hz, 2,5dB en 10kHz, y aproximadamente 10dB de atenuación en 20kHz. Este filtro intenta reproducir la respuesta en frecuencia del oído humano, y se aproxima a la inversa de la curva isofónica de 30 fones. El nivel medido de esta forma se denomina $L_p(A)$, y se expresa en dB(A). La curva C intenta representar la respuesta del oído a niveles más altos de intensidad sonora, pero no es tan utilizada.

2.5.2. Ponderación temporal

Varias normas internacionales (UNE EN 61672-1:1204) han unificado los períodos de ponderación o constantes de tiempo para evitar discrepancias en la interpretación de señales sonoras idénticas, que son los siguientes:

- Lento (Slow, S): valor promedio de un 1s. Se utiliza cuando la señal fluctúa ampliamente.
- Rápido (Fast, F): valor promedio sobre 125 ms. Se utiliza para señales estacionarias.

- Por impulso (Impulsive, I): valor promedio de subida de 35 ms y de caída 1s. Mide la respuesta del oído humano ante sonidos de corta duración.
- Por pico (Peak, P): valor de pico. Valor promedio entre 50 y 100 ms. Este valor sirve para evaluar el riesgo de daños en el oído, ante un impulso muy corto pero muy intenso.

2.5.3. Descriptores de ruido

La compleja interacción entre las características del ruido ambiental y su impacto en las personas no es sencilla, lo que hace que analizar adecuadamente la exposición al ruido de una población sea un proceso muy complejo y poco práctico debido a la gran cantidad de información que se debe manejar y comparar. Por lo tanto, el objetivo de un descriptor o indicador es simplificar este escenario complejo del ruido a una medida significativa más fácil de manejar y entender. Obviamente se perderán detalles del evento global, ya que esto es una simplificación.

2.5.3.1. Análisis distributivo

El análisis de distribución ilustra cuánto tiempo permanece el nivel de sonido dentro de un cierto rango, por ejemplo, 70 y 71 dB(A). En la **Figura 2-3** (Uriz, 2014) encuentra un ejemplo de análisis distributivo de ruido en el cual se utilizan valores ficticios.

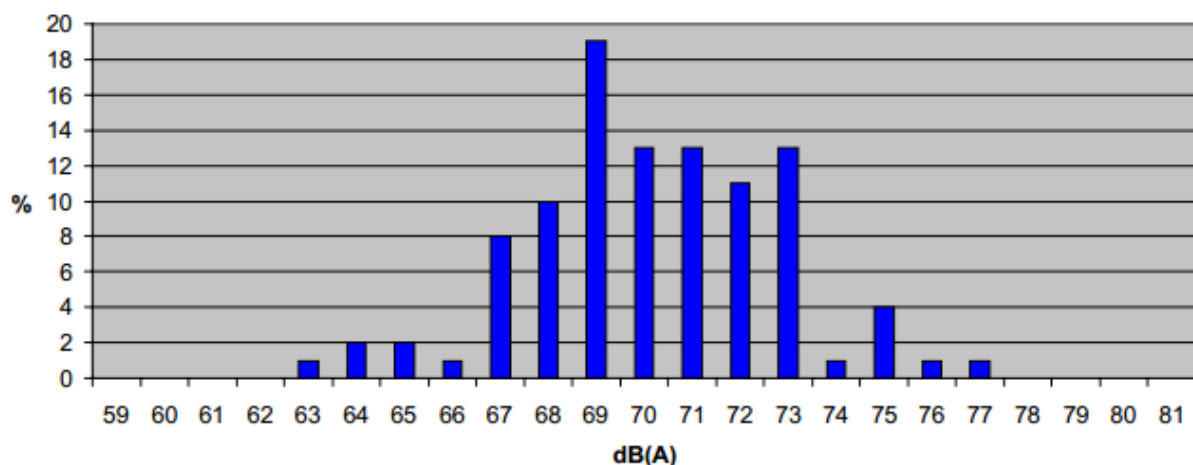


Figura 2-3. Análisis Distributivo de ruido. Extraído de Análisis Distributivo, de Uriz, A. J., 2014, *Sistema de medición de contaminación sonora*. p. 23. CC BY-NC-ND 4.0.

2.5.3.2. Análisis Acumulativo

El análisis acumulativo, por otro lado, proporciona información sobre el tiempo en que se supera un determinado nivel sonoro. En la **Figura 2-4** (Uriz, 2014) se puede visualizar un gráfico que corresponde a este tipo de análisis.

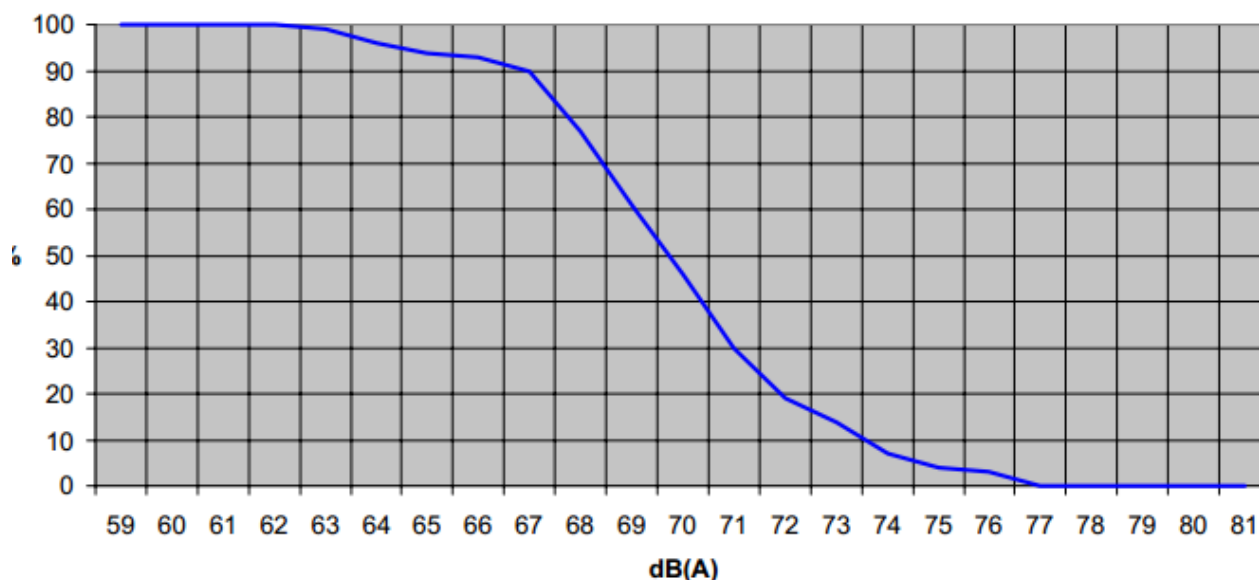


Figura 2-4. Análisis acumulativo de nivel sonoro. Extraído de *Análisis Distributivo*, de Uriz, A. J., 2014, *Sistema de medición de contaminación sonora*. p. 24. CC BY-NC-ND 4.0.

En la **Figura 2-4** se observa que los niveles de sonido registrados durante la medición hipotética siempre superaron los 60dB(A), aunque nunca alcanzaron valores tan altos como 80dB(A). Este tipo de análisis es comúnmente utilizado para definir los descriptores estadísticos de ruido, conocidos como percentiles, que proporcionan información sobre la variación del nivel sonoro durante el período de medición.

El nivel percentil L_{eq} representa el valor de $L_p(A)$ que fue superado durante un x porcentaje de tiempo de medición. Los percentiles más empleados son L_1 , L_5 , L_{50} , L_{90} , L_{95} , L_{99} . Estos tres últimos percentiles se emplean comúnmente para señalar el ruido de fondo, que es el nivel de sonido más bajo o de base que se encuentra presente en la mayoría del tiempo.

Es importante destacar que un valor $L_{10} = 70\text{dB}(A)$ indica que solo el 10% del tiempo de medición se superó ese nivel sonoro, sin tener en cuenta los picos esporádicos de sonidos excepcionalmente altos. Por lo tanto, los percentiles son considerados más representativos que los

valores máximos y mínimos absolutos. L_{10} y L_{90} son dos de los descriptores más utilizados, y la diferencia entre ellos ($L_{10} - L_{90}$) se conoce como clima de ruido.

2.5.3.3. Nivel sonoro equivalente continuo

El L_{eq} o Nivel Equivalente Continuo se describe como el nivel de un sonido constante que tiene la misma cantidad de energía que el sonido medido, lo que significa que también tiene la misma capacidad para causar daño al sistema auditivo (Departamento de Teoría de Sinal e Comunicaciones).

Durante el lapso de tiempo en que se realiza una medición, se registra un nivel de sonido instantáneo que fluctúa con el tiempo. Es factible calcular la cantidad total de energía suministrada por este sonido durante el período de medición. Después, para establecer el nivel equivalente, se determina el nivel de sonido constante que proporciona la misma cantidad de energía que el sonido variable. La ecuación siguiente proporciona el nivel equivalente.

$$L_{eqA} = 10 \log \left[\frac{1}{T} \int_{t_0}^{t_1} \left(\frac{p_A(t)}{p_0} \right)^2 dt \right]$$

Siendo $T = (t_1 - t_0)$ el período de medición, $p_A(t)$ la presión sonora instantánea utilizando la ponderación A y p_0 la presión de referencia ($20 \mu\text{Pa}$).

Si se cuenta con una secuencia de valores discretos obtenidos a partir de la medición del nivel sonoro en n ocasiones con un intervalo de muestreo constante, y se supone que el nivel sonoro permanece invariable en cada intervalo, entonces la ecuación mencionada previamente puede expresarse como una sumatoria.

$$L_{eqA} = 10 \log \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n 10^{\frac{L_{iA}}{10}} \right]$$

3. Análisis del sonómetro propuesto

En este segmento se examinan minuciosamente los componentes que integran el sistema de medición de nivel sonoro, con el fin de llevar a cabo una evaluación detallada de las tareas que desempeña cada uno de ellos.



Figura 3-1. Diagrama en bloques del sonómetro

3.1. Propuesta

A partir de lo mencionado previamente, se propone la creación y diseño de un modelo de un sonómetro de bajo costo que permita la medición de niveles sonoros empleando la ponderación tipo A. Este instrumento estará diseñado de forma tal, que pueda caber en un espacio reducido, con el fin de poder introducirlo en las incubadoras de una Sala de Neonatología. Este sonómetro estará conectado en red, para centralizar las mediciones en una Central de Medición que permitirá la visualización de los datos y emisión de alertas visuales en un Monitor cuando se superan ciertos umbrales de ruido configurables.

3.2. Micrófono

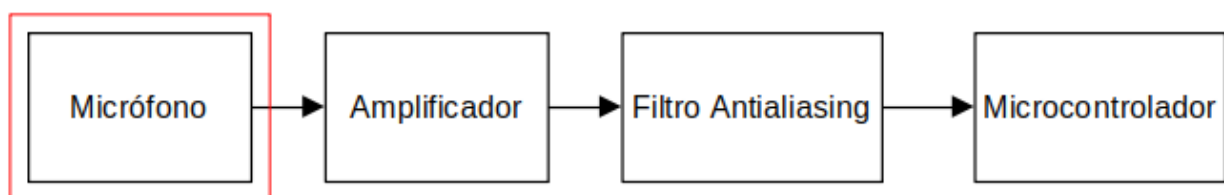


Figura 3-2. Diagrama en bloques del sonómetro

Los micrófonos son dispositivos electroacústicos capaces de transformar las vibraciones sonoras en señales eléctricas (Saposhkov, 1983).

Los micrófonos empleados en la medición son los denominados electrostáticos, y más precisamente los de condensador. Estos micrófonos cuentan con una cápsula microfónica compuesta por dos placas de condensador, una de ellas fija y la otra móvil, separadas por un material aislante (dieléctrico). Los micrófonos electret pertenecen a la familia de los electrostáticos.

3.2.1. *Micrófono capacitivo*

El micrófono capacitivo, como su nombre indica, se basa en el principio del capacitor. Una fina hoja metálica se sitúa en frente de otra placa metálica. Estos dos elementos forman un condensador. Se conectan la hoja y la placa a una fuente de corriente continua. Una de las conexiones a la fuente de alimentación se hace a través de una resistencia grande de forma que la carga del condensador sea esencialmente constante en el tiempo. Cuando la onda sonora hace que la hoja del micrófono vibre, la carga del condensador no varía, pero sí lo hace su capacidad, y debido a la relación entre la capacidad, la carga y la tensión, esta última varía en consonancia con la intensidad de la vibración de la hoja del micrófono.

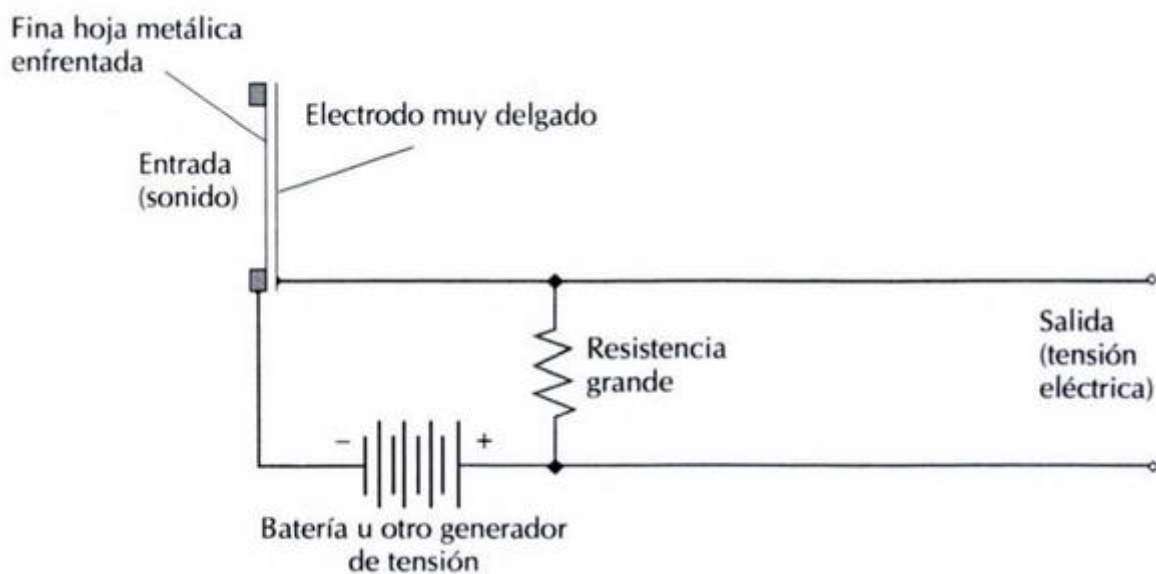


Figura 3-3. Micrófono capacitivo. Extraído de Señales: ciencia de la telecomunicación (p. 36), por Pierce & Noll, 1995, Reverte. Copyright © Scientific American Library.

3.2.2. *Micrófono Electret*

El micrófono electret, al igual que otros micrófonos capacitivos, utiliza la presión de las ondas sonoras para hacer vibrar un diafragma flexible. Este diafragma está compuesto por una delgada hoja de plástico que ha sido solidificada en un fuerte campo eléctrico, lo que le permite

mantener una carga eléctrica permanente y no requiere ser alimentado por una fuente de continua, como ocurre con los micrófonos capacitivos convencionales. En la parte superior de la hoja de plástico se coloca una fina capa de metal laminado, creando así una hoja electreto que se apoya sobre la tapa del cilindro metálico. Debido a las irregularidades superficiales, siempre quedan bolsas de aire entre la hoja electreto y la tapa del cilindro metálico. Las vibraciones sonoras provocan el movimiento del diafragma electreto, lo que se traduce en variaciones en la tensión de salida.

Las perforaciones de la tapa donde se coloca la hoja electreto posibilitan la conexión de las bolsas de aire con la amplia cavidad de aire del cilindro, lo que permite el movimiento del diafragma sin que las ondas sonoras del lado protegido por el cilindro tengan influencia sobre él.

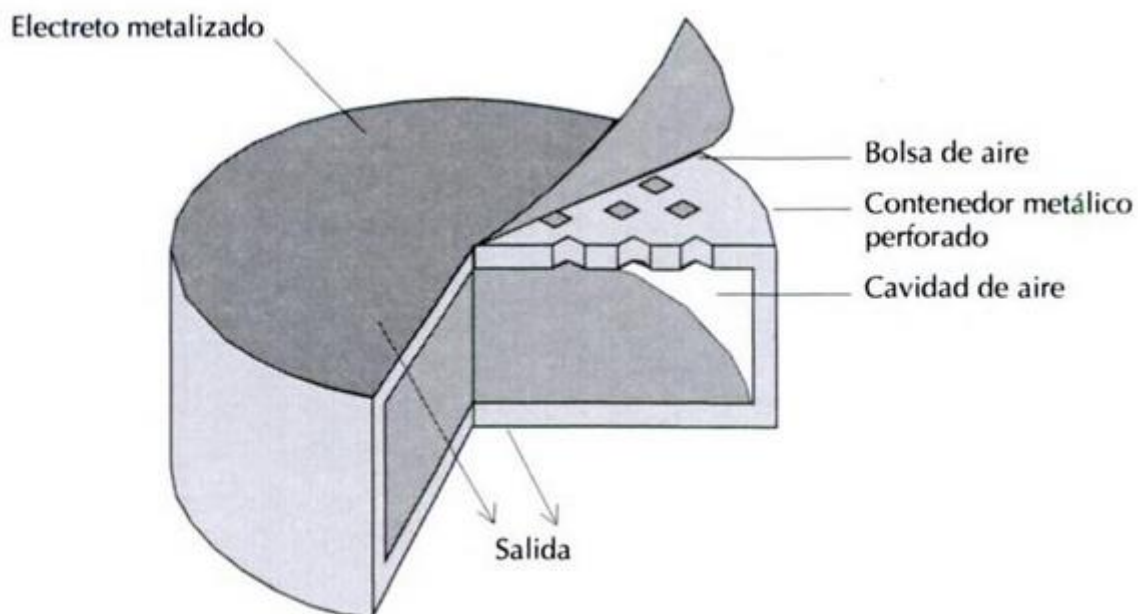


Figura 3-4. Micrófono electret. Extraído de Señales: ciencia de la telecomunicación (p. 36), por Pierce & Noll, 1995, Reverte. Copyright © Scientific American Library.

3.2.3. Elección del micrófono

El micrófono seleccionado para el desarrollo es el micrófono electret CMA-4544PF-W que viene incluido en una placa que integra un preamplificador MAX4466. En la **Figura 3-5** se encuentra la gráfica de la respuesta en frecuencia, que es prácticamente plana.

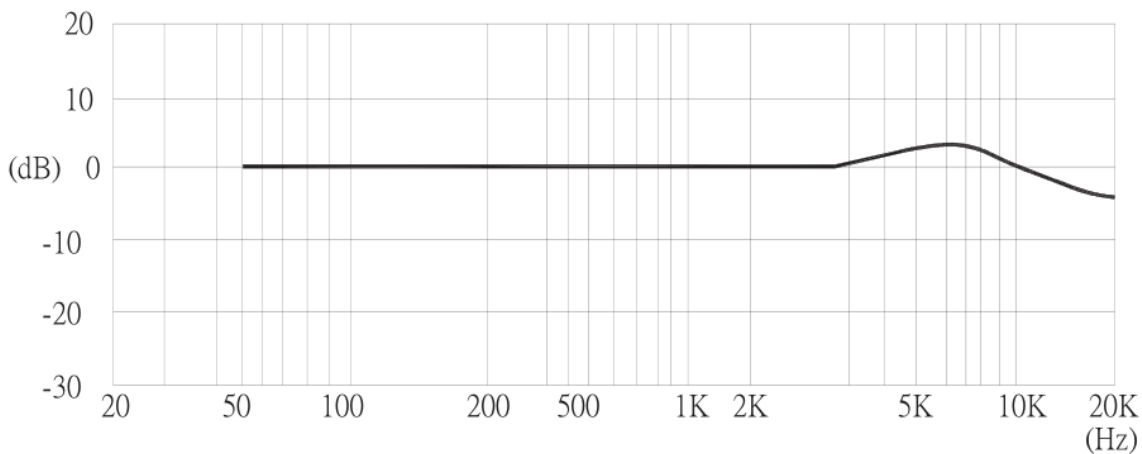


Figura 3-5. Respuesta en frecuencia del micrófono. Extraído de *CMA-4544PF-W*. © Copyright CUI Devices 2023.

3.3. Acondicionamiento de la señal

El acondicionamiento de señales de audio es importante porque permite mejorar la calidad del sonido y reducir el ruido o interferencias que puedan afectar la señal. Además de permitir la adaptación de la amplitud de la señal de audio, en este caso al microcontrolador.

El acondicionamiento de la señal involucra dos funciones principales:

- Amplificación de la señal
- Filtrado de la señal

3.3.1. Amplificación de la señal

El propósito de esta etapa es amplificar la señal proporcionada por el micrófono con una ganancia determinada, minimizando al máximo la presencia de ruido y distorsión.

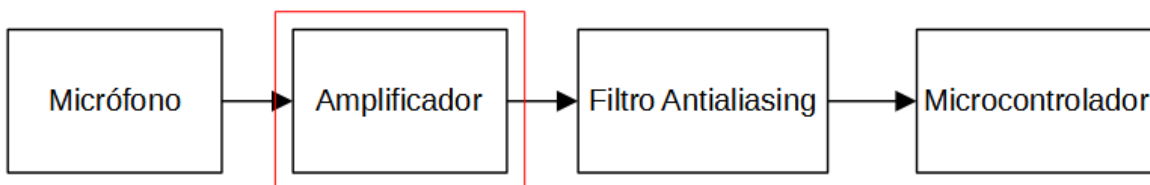


Figura 3-6. Diagrama en bloques del sonómetro.

Con la utilización del módulo que incluye el micrófono electret junto con un amplificador, ya se dispone del circuito de amplificación. Se puede establecer la ganancia de 25x a 125x, lo que permite un ajuste en el momento de la calibración. El amplificador utilizado es el MAX4466, que es

un amplificador operacional optimizado para su uso como preamplificador de micrófono. En la **Figura 3-7** (Townsend K) se muestra el esquema del circuito de amplificación.

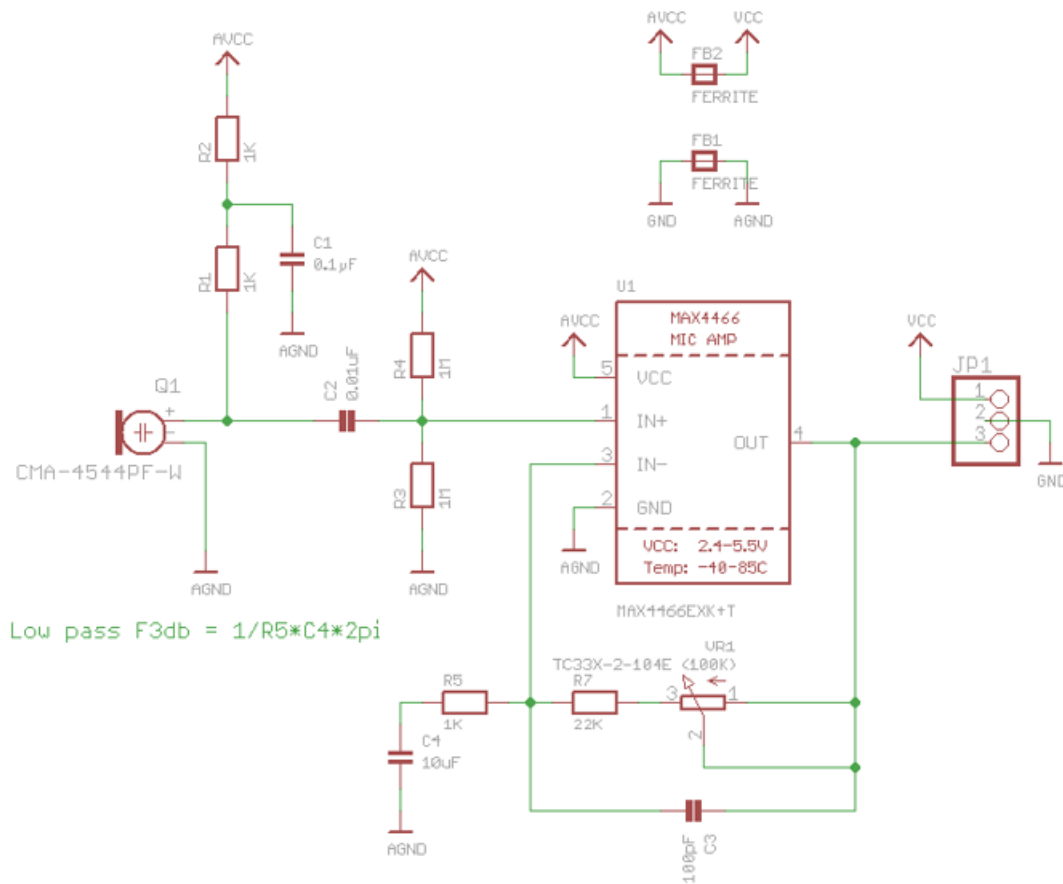


Figura 3-7. Circuito amplificador. Adaptado de *Adafruit Learning System*. CC BY-SA 3.0.

3.4. Filtrado de la señal

El filtrado de señal en este caso se enfoca principalmente en el filtrado antialiasing. De acuerdo al Teorema del muestreo de Nyquist, para poder reconstruir una señal a partir de su versión muestreada, es necesario que la señal a ser muestreada no tenga componentes en frecuencias mayores a la mitad de la frecuencia de muestreo. Para garantizar que esto se cumpla, es necesario aplicar un filtrado sobre la señal de entrada para generar una versión limitada en banda. Una vez logrado esto, se puede digitalizar la señal. El encargado de realizar este procedimiento es el filtro antialiasing o antisolapamiento.

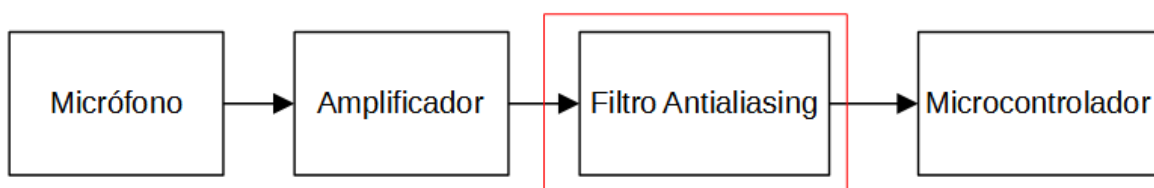


Figura 3-8. Diagrama en bloques del sonómetro.

Para realizar el diseño, hay que identificar las características necesarias para el filtro, algunas de las cuales se obtienen a partir de los requerimientos establecidos por el conversor analógico/digital (ADC). La frecuencia de muestreo establecida es 40kHz. Por lo que la frecuencia máxima de entrada para el ADC debe ser 20kHz.

3.4.1. Propuesta de filtrado

A la salida del amplificador de audio, se utiliza un filtro pasa bajos de primer orden para anti-aliasing porque es un filtro simple y efectivo para reducir la presencia de componentes de alta frecuencia en una señal. Este tipo de filtro permite pasar las frecuencias bajas y atenuar gradualmente las frecuencias más altas, lo que evita que se produzcan efectos no deseados como el aliasing.

Para que cumpla su propósito de anti-aliasing, se elige un filtro pasa bajos pasivo de primer orden con frecuencia de corte menor a 20 kHz. Este filtro está compuesto por un resistor y un capacitor, como se observa en la **Figura 3-9**.

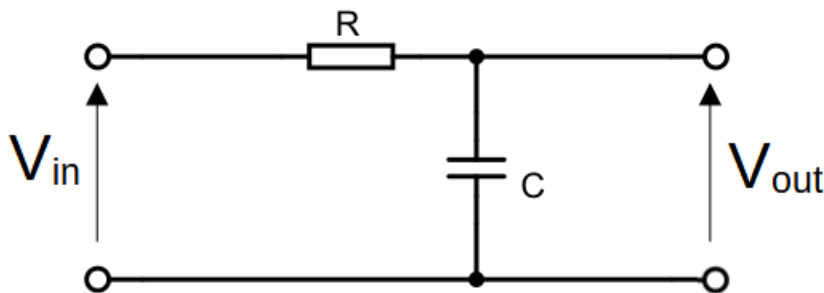


Figura 3-9. Filtro Pasa bajos de primer orden.

Para el diseño se toma como punto de partida que se utilizará una resistencia de valor:

$$R = 4,7 \text{ k}\Omega$$

Se elige un capacitor de valor:

$$C = 1,8 \text{ nF}$$

Por lo que calculando el valor de frecuencia de corte de -3dB.

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC}$$

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC} = \frac{1}{2\pi \times 4,7 \text{ k}\Omega \times 1,8 \text{ nF}} = 18,8126 \text{ kHz}$$

También podría calcularse de esta otra manera:

Como se tienen fijados los valores de resistencia y frecuencia de corte, el valor del capacitor tiene que ser mayor que:

$$C = \frac{1}{2\pi R f_c} = \frac{1}{2\pi \times 4,7 \text{ k}\Omega \times 20 \text{ kHz}} = 1,6931 \text{ nF}$$

Por lo que se elige el capacitor de valor comercial 1,8nF.

4. Desarrollo y construcción del equipo

4.1. Descripción General

El concepto del sistema consiste en medir el nivel de sonido dentro de cada incubadora utilizando una Estación de Medición, y centralizar todas las mediciones en una estación central, la cual permite la visualización y retransmisión de las mediciones de todas las estaciones a un servidor en la nube utilizando el protocolo MQTT. Se utiliza un bus para el suministro de energía a las estaciones de medición y las comunicaciones de éstas con la estación central. Para simplificar el cableado se opta por la comunicación a través de una interfaz RS485, que permite la conexión en paralelo de todas las estaciones con solo dos cables, por lo tanto, el bus se puede implementar con cuatro conductores, dos para alimentación y dos para las comunicaciones.

Cada Estación de Medición necesita una tensión de alimentación de 5VDC, pero a medida que se agregan Estaciones, el consumo de energía de cada una de ellas producirá una caída de tensión en los cables de suministro de energía a lo largo del bus. Para minimizar este problema se trabaja con una tensión de alimentación de 12VDC en el bus, y en cada estación se reduce el voltaje a los 5VDC requeridos por la placa del microcontrolador y la interfaz UART-RS485, logrando un margen de 7 volts, que permite agregar más estaciones sin necesidad de incrementar la sección del cable.

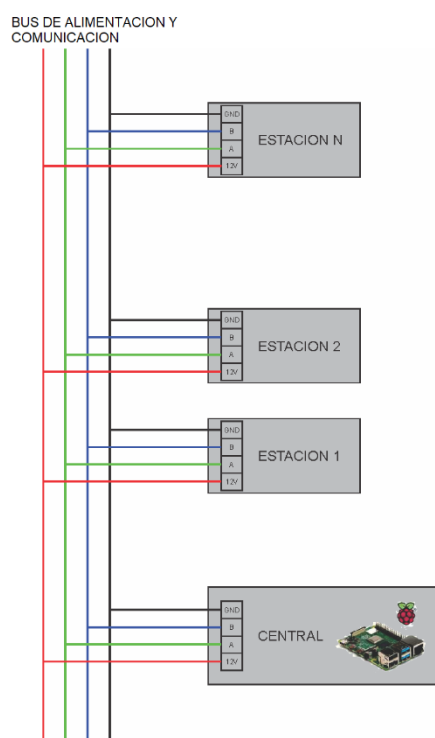


Figura 4-1. Diagrama de conexión del bus de alimentación y comunicación.

4.2. La Estación de Medición

Una Estación de Medición está compuesta por los siguientes elementos:

- Placa ESP32S2-Saola 1, que incluye un botón para resetear la dirección de red
- Placa que contiene un micrófono electret y un preamplificador MAX4466
- Placa interface RS485-TTL
- Conversor DC-DC para obtener 5VDC a partir de los 12VDC del bus
- Tres leds de indicación
- Placa base de interconexión que incluye un filtro anti aliasing y un filtro para la alimentación del amplificador del micrófono

El esquema electrónico de una Estación de Medición se muestra a continuación en la **Figura 4-2:**

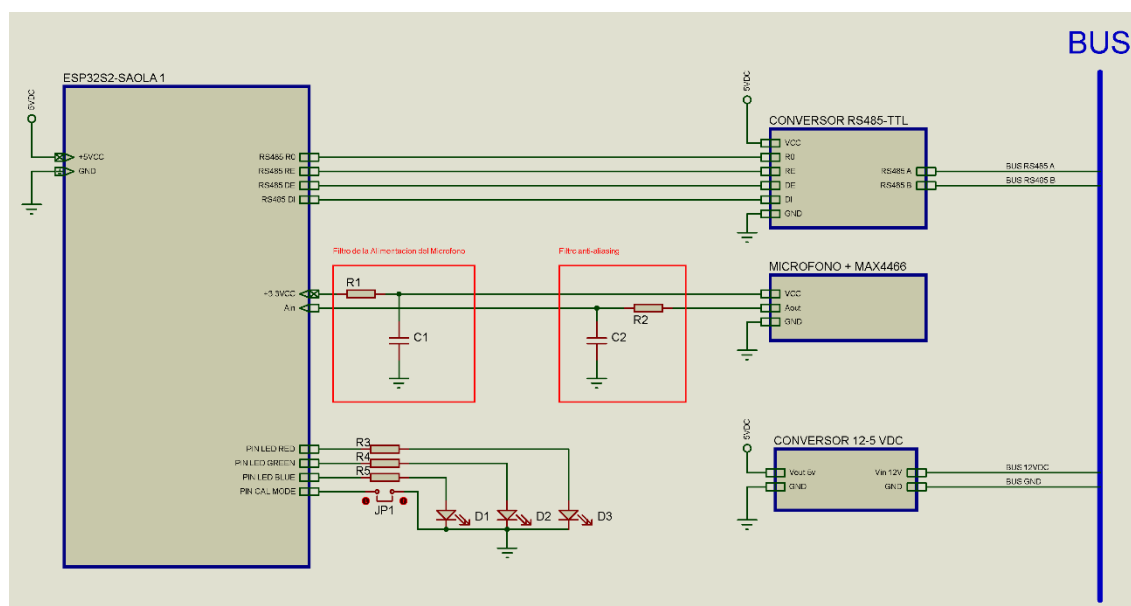


Figura 4-2. Esquema eléctrico estación de medición.

4.2.1. Operación

La mayor parte de las funciones de las Estaciones de Medición se controlan desde la Estación Central; no obstante, cada Estación de Medición cuenta con un botón y un jumper interno que permiten algunas operaciones, y tres leds que indican el modo de operación, estado de conexión y si ocurrió una alarma.

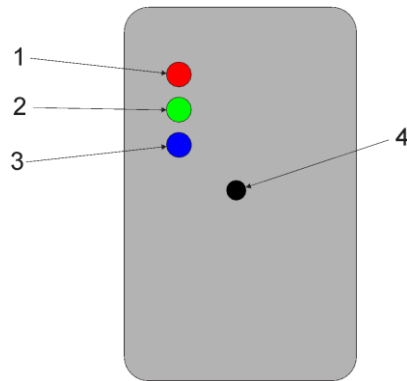


Figura 4-3. Representación de la cara de la estación.

- 1: Led Rojo: se enciende cuando el nivel de sonido medio supera un valor de alarma preestablecido.
- 2: Led Verde: indica el modo de operación de la estación mediante la duración relativa entre el tiempo que permanece encendido y apagado. Cuando el tiempo de encendido es muy corto está en modo normal, y cuando el tiempo de apagado es igual al de encendido, la estación está en el modo calibración.
- 3: Led Azul: indica el modo de conexión de la estación con la central, si está apagado todo el tiempo la estación está conectada, si se observan destellos la estación no está conectada.
- 4: Botón de reiniciar red. Al mantener oprimido este botón, inicia un temporizador, y al cabo de 10 segundos desconecta el dispositivo de la red y hace 0 la dirección del mismo, indicando la acción mediante tres parpadeos simultáneos de los tres leds. Para realizar esta operación solo se requiere energizar la estación, no es necesario conectar la misma a la red RS485 ni al computador por el puerto USB. Antes de agregar una estación a la red RS485 se recomienda reiniciar la red.

A continuación, se explican los modos de operación de las estaciones:

Modo normal: se trabaja en este modo cuando el jumper interno está abierto. En este modo la estación de medición se conecta a la red RS485 en modo esclavo, y solo transmitirá si la estación central lo solicita. Todas las funciones de la estación se activan mediante comandos enviados por la estación central a través de la red RS485, y se explicará en detalle en la sección **4.4**.

Modo calibración: para trabajar en este modo es necesario cerrar el jumper interno, y una vez que se hace esto, el led verde emite destellos, permaneciendo encendido por un periodo de tiempo igual al que permanece apagado. El puerto RS485 y el USB trabajan en modo maestro, transmiten caracteres ASCII que indican el nivel de sonido instantáneo medido, lo

que permite calibrar la estación utilizando un medidor patrón. Mediante un software que permita la emulación de un terminal se pueden visualizar los valores medidos y modificar ciertos parámetros de la estación de medición. Como se explica en la sección 4.2.2, el valor de medición mostrado responde a la siguiente expresión:

$$Sonido_{dBA Escalado} = K_1 + K_2 Sonido_{dBA Sin Escalar}$$

Modificando los valores de las constantes K_1 y K_2 podemos calibrar la estación al contrastar las mediciones obtenidas con un medidor patrón, para lograr esto se utilizan comandos, los cuales se ingresan en el software de emulación de terminal. A continuación, se explican todos los comandos disponibles en el modo calibración:

Comandos K_1 y K_2 : Permiten modificar los valores de las constantes K_1 y K_2 .

Ejemplo 1:

Ingreso: K1 1.2
Respuesta: K1= 1.2 OK

Ejemplo 2:

Ingreso: K2 40.1
Respuesta: K2= 40.1 OK

Comando ALN : este comando permite modificar el valor de alarma por alto nivel sonoro, en dBA, registradas durante el horario nocturno.

Ejemplo:

Ingreso: ALN 35.3
Respuesta: Alarma Nocturna(dBA)= 35.3 OK

Comando ALD : este comando permite modificar el valor de alarma por alto nivel sonoro, en dBA, registradas durante el horario diurno.

Ejemplo:

Ingreso: ALD 45.1
Respuesta: Alarma Diurna(dBA)= 45.1 OK

Comando UD: este comando permite modificar el valor de alarma por umbral de daño al oído, en dBA.

Ejemplo:

Ingreso: UD 65.4
Respuesta: Alarma Diurna(dBA)= 65.4 OK

Comando DIR: mediante este comando se puede modificar la dirección de red de la estación de medición.

Ejemplo:

Ingreso: DIR 6
Respuesta: Direccion= 6 OK

Comando DEBUG: permite visualizar diferentes valores utilizados por el algoritmo de adquisición y procesamiento de la señal, y se utilizó para realizar algunos ensayos y depurar dicho algoritmo. Para seleccionar que datos se van a presentar, se cuenta con las siguientes variantes que pueden combinarse:

DEBUG 1: se presentan los valores de la tabla de ponderación.

DEBUG 2: se presentan los valores obtenidos de la señal en el dominio del tiempo mediante el conversor ADC.

DEBUG 3: se presenta el resultado de la transformada rápida de Fourier de la señal digitalizada. Se muestran la parte real y la imaginaria.

DEBUG 4: se presenta la magnitud de la transformada rápida de Fourier de la señal digitalizada.

DEBUG 5: se presenta la magnitud con ponderación A de la transformada rápida de Fourier de la señal digitalizada.

Ejemplo 1:

Ingreso: DEBUG 1
Respuesta: DEBUG OK

Ejemplo 2:

Ingreso: DEBUG 234
Respuesta: DEBUG OK

4.2.2. Algoritmo de adquisición y procesamiento de la señal

Según la curva ISO 226:2003 (Ver **Figura 2-2**) que representa la sensibilidad promedio de la audición humana en función de la frecuencia, el rango de frecuencia audible para la mayoría de las personas se extiende desde aproximadamente 20 Hz hasta 20 kHz. Este es el rango de frecuencias a tener en cuenta para obtener una digitalización que abarque las frecuencias que pueden dañar el oído humano, y según el criterio de Nyquist, basta con muestrear la señal a 40 kHz.

Como la medición de sonido ambiental requiere la ponderación de la presión sonora en función de la frecuencia, se debe trabajar con el espectro en frecuencia de la señal digitalizada, o dicho de otra forma, se debe aplicar la transformada rápida de Fourier (FFT), y luego a cada componente del espectro se la pondera según su frecuencia, es decir, se multiplica la magnitud de cada componente por una constante cuyo valor está dado por la frecuencia según la curva de ponderación “A”. Finalmente se promedian todas las componentes ponderadas y se obtiene el nivel del sonido.

La forma más utilizada para estas mediciones es la ponderación “A slow” (o lenta), en la cual se hace la ponderación en frecuencia según la curva A de la señal como se explicó en el párrafo anterior, y el promedio de esta ponderación durante 1 segundo en escala logarítmica es el resultado de la medición, y representa el nivel de sonido en dBA.

Dicho esto, al tomar las muestras a 40 kHz durante 1 segundo, para obtener una sola medición será necesario digitalizar y procesar 40000 muestras, para lograr esto sin demorar los resultados, ni tener tiempos muertos excesivos por el procesamiento de los 40000 datos, lo que hace nuestro algoritmo es procesar bloques más pequeños de 512 muestras, obtener su promedio ponderado o nivel de sonido, y repetir la operación 79 veces, para finalmente promediar los 79 niveles de sonido obtenidos, el resultado será el mismo que procesar las $512 \cdot 79 = 40448$ muestras de una sola vez (40448 es el valor más próximo a 40000 múltiplo de 512).

El programa está formado básicamente por una rutina de ajuste inicial de variables y configuración de periféricos, más un bucle infinito que realiza el procedimiento recién explicado, el cual puede representarse en forma sencilla mediante el diagrama de flujo de la **Figura 4-4**.

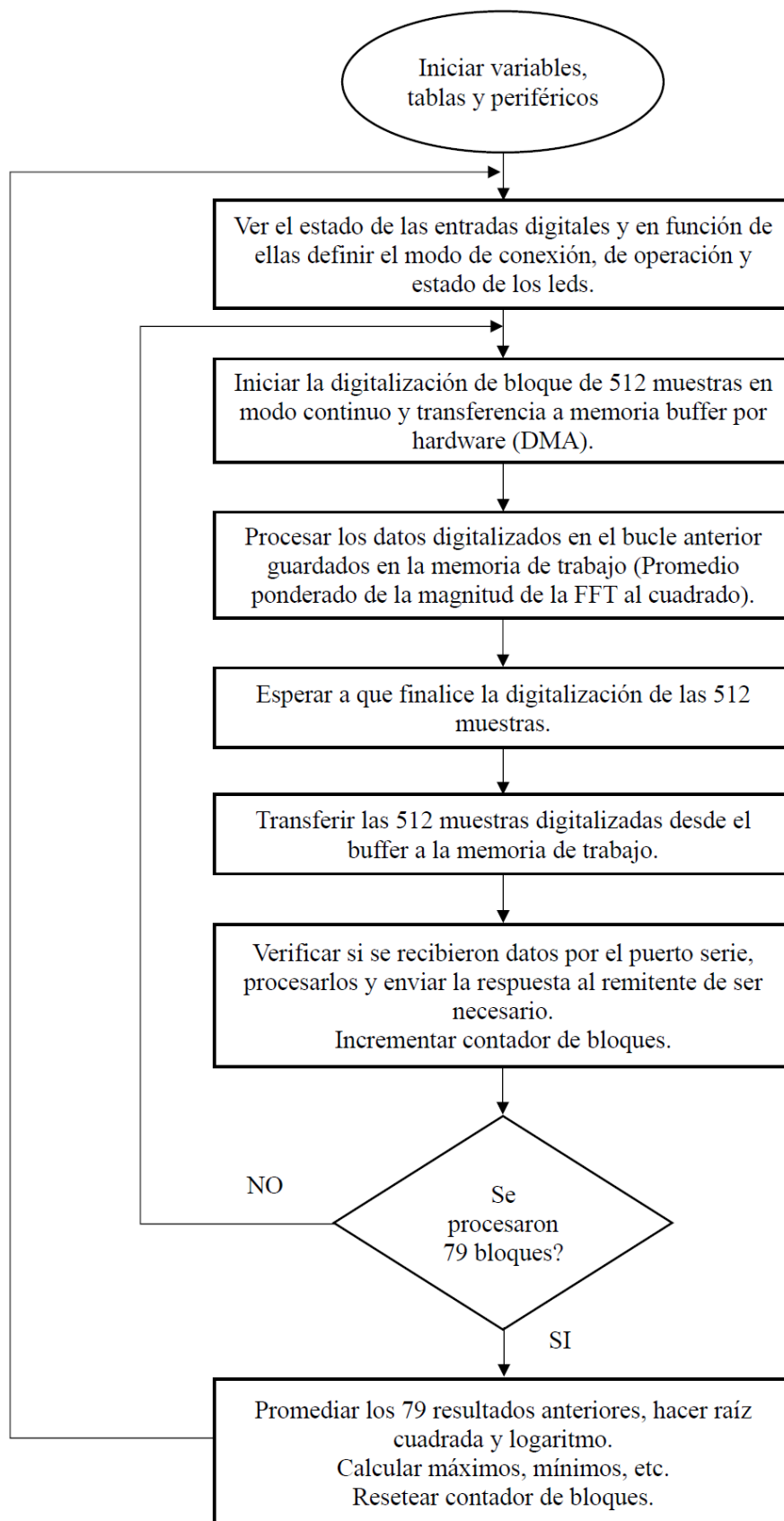


Figura 4-4. Diagrama de flujo de la rutina de la estación de medición de presión sonora.

Del diagrama puede verse que al principio de cada ciclo se atienden los pines que corresponden a entradas digitales, y según el estado de estas entradas el microcontrolador define si debe trabajar en el modo calibración o en el modo medición o normal, o si debe reiniciar la dirección que lo identifica en el bus RS485.

Como se explicó, las muestras se procesan en bloques de 512, es decir, se obtienen 512 muestras que se almacenan en la memoria de trabajo como punto de partida.

$$ADC_i|_{i=0}^{511} = \text{Array con valores obtenido por conversor A/D}$$

$$x1_i|_{i=0}^{511} = ADC_i|_{i=0}^{511}$$

Donde:

$x1_i$ es la memoria de trabajo, y ADC_i es la memoria buffer utilizada por el conversor analógico-digital (A/D).

A estas muestras se les aplica la transformada rápida de Fourier (*FFT*), la que da como resultado valores complejos:

$$x1 = FFT[x1]$$

con:

FFT: Transformada rápida de Fourier

$$x1_i|_{i=0}^{511} = \{x1_0, x1_1, \dots, x1_{510}, x1_{511}\}$$

Y el número complejo se puede expresar como:

$$x1_k|_{k=0}^{255} = \{x1_0 + j x1_1, \dots, x1_{510} + j x1_{511}\} = [x1_{2k} + j x1_{2k+1}]|_{k=0}^{255}$$

con:

$x1_{2k}$: Parte real de la *FFT*, con $2k=\{0,2,4,\dots,510\}$

$x1_{2k+1}$: Parte imaginaria de la *FFT*, con $2k+1=\{1,3,5,\dots,511\}$

$k=\{0,1,2,\dots,255\}$

De la transformada rápida de Fourier se obtienen 256 números complejos, con los que se calculan sus 256 módulos al cuadrado, con los que luego se obtiene la suma con ponderación A.

$$(FFT_k|_{k=0}^{255})^2 = \frac{1}{256^2} (x1_{2k}^2 + x1_{2k+1}^2)$$

$$(sumRMSA_n)^2 = \sum_{k=0}^{255} [(FFT_k)^2 * PonderacionA_k^2]$$

Donde:

FFT_k : modulo al cuadrado de la transformada rápida de Fourier

$k=\{0,1,2,\dots,255\}$

$n=\{0,1,2,\dots,78\}$

$sumRMSA_n$: corresponde al promedio RMS al cuadrado con ponderación “A” del n-ésimo bloque de datos digitalizados.

Este proceso se repite 79 veces, obteniendo 79 valores de sumas cuadráticas ponderadas, cada una correspondiente a un bloque de 512 muestras. Una vez que se tienen las 79 sumas, se hace la media cuadrática de estos, que equivale a la media cuadrática de las 40448 muestras que se obtienen en 1 segundo, es decir, el nivel de sonido correspondiente a un periodo de tiempo de 1 segundo ponderado según a curva “A”.

$$tempRMSA = \sqrt{\frac{\sum_{n=0}^{78} (sumRMSA_n)^2}{79}}$$

Si al resultado obtenido del proceso anterior se le aplica logaritmo, se obtiene el valor de presión sonora en escala dBA, con ponderación temporal lenta, y a los fines de obtener una medición más precisa, se utilizan las constantes de calibración, k_1 y k_2 .

$$dBA = K_1 + K_2 * \log(tempRMSA)$$

Como no se sabe cuándo se va a transmitir la medición obtenida, ya que solamente se transmite cuando la central lo solicita, se calculan el promedio, el mínimo y el máximo de nivel de ruido desde la última vez que se transmitió el valor. Desde la Central se puede elegir qué valor se le solicita a la estación de medición.

$$dBA_{min} = \min(dBA|_{t=0}^T)$$

$$dBA_{max} = \max(dBA|_{t=0}^T)$$

$$dBA_{mean} = \text{mean}(dBA|_{t=0}^T)$$

$$dBA_{RMS} = \text{RMS}(dBA|_{t=0}^T)$$

Donde:

t=tiempo

T=Periodo de tiempo entre transmisiones a la central

Para optimizar la medición, se trata de que la digitalización sea continua; para ello se trabaja el conversor ADC en el modo DMA, de esta manera mientras el ADC digitaliza las 512 muestras de la señal proveniente del micrófono, el programa procesa las 512 muestras almacenadas en el bucle

anterior, o sea, la convierte al dominio frecuencia (FFT) y calcula la suma cuadrática ponderada según la curva “A” junto con sus promedios cuadráticos. De esta manera se tiene un muestreo y procesamiento cuasi continuo, con muy pocos períodos de tiempo en que el sonido no es digitalizado.

Para asegurar lo antes dicho, se escribe el código para que modifique el estado de cuatro salidas digitales en puntos clave del ciclo continuo del procesamiento de la señal, y conectando estas salidas digitales a un analizador lógico que nos permite la visualización y medición del tiempo de las etapas de interés.

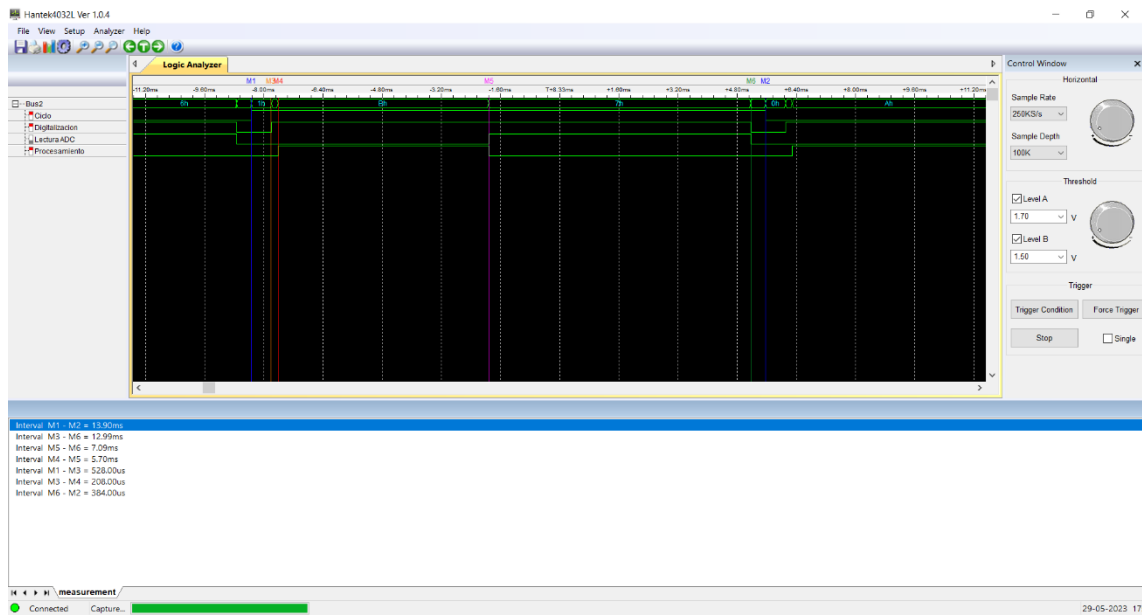


Figura 4-5. Pantalla Osciloscopio.

En el diagrama de tiempos de la **Figura 4-5** se observan cuatro señales, a saber:

- Ciclo: Generada modificando el estado de la salida digital al inicio de cada ciclo de procesamiento de un bloque de 512 muestras.
- Digitalizacion: Generada poniendo en “1” la salida digital al iniciar en conversor A/D la digitalización de las 512 muestras. Al finalizar la digitalización se pone en “0” la salida.
- Lectura ADC: Generada poniendo en “1” la salida digital al llamar a la función que aguarda el fin de la digitalización, y poniendo en “0” al retornar de dicha función.

- Procesamiento: Generada poniendo en “1” la salida digital al iniciar el procesamiento de la señal guardada en la memoria de trabajo en el bucle anterior, y al finalizar poniendo en “0” dicha salida.

Del diagrama de la **Figura 4-5** se tiene que la duración de un ciclo de digitalización-procesamiento es de 13.9 [mseg], mientras se está digitalizando la señal durante 12.99[mseg], es decir que se pierden $13.9-12.99=0.91$ [mseg] de sonido de los 13.9[mseg], o en porcentajes, un 6.5% de la señal de sonido no es digitalizada y se pierde su información.

4.3. La Estación Central

La Estación Central está conformada por los siguientes elementos:

- Placa Raspberry Pi II modelo B
- Fuente de 220VCA a 12VDC para alimentar el bus
- Conversor DC-DC para obtener 5VDC a partir de 12VDC
- Monitor
- Teclado y ratón

Las funciones de la Estación Central son más amplias que las de las Estaciones de Medición, ellas son las siguientes:

- Controlar el flujo de datos por el bus RS485, ya que es el único dispositivo conectado a este bus que trabaja en modo maestro.
- Almacenar los datos recibidos por las Estaciones de Medición.
- Presentar los datos recibidos por las Estaciones de Medición y visualizar las alertas que hubiere.
- Agregar, quitar y configurar las Estaciones de Medición.
- Retransmitir los datos recibidos por las Estaciones de Medición al bróker MQTT.

A nivel de software, se implementan dos temporizadores que se reinician automáticamente al expirar el tiempo configurado en cada uno de ellos, y sus funciones son las siguientes:

- Temporizador de Demora entre Encuestas: al expirar este temporizador, se inicia un ciclo de encuestas, donde la Estación Central solicita a todas las Estaciones de Medición el envío de los valores medidos.

- Temporizador de Subida de datos: al expirar este temporizador, se envían al bróker MQTT todos los datos de las mediciones de las estaciones. Una vez enviados, se reinician los promedios y contadores de alarmas.

Para lograr una interfaz lo más intuitiva posible, se elige un entorno visual de programación, implementado con las librerías GTK3 en lenguaje C++, y utilizando el software Glade para editar las interfaces gráficas o ventanas de la aplicación.

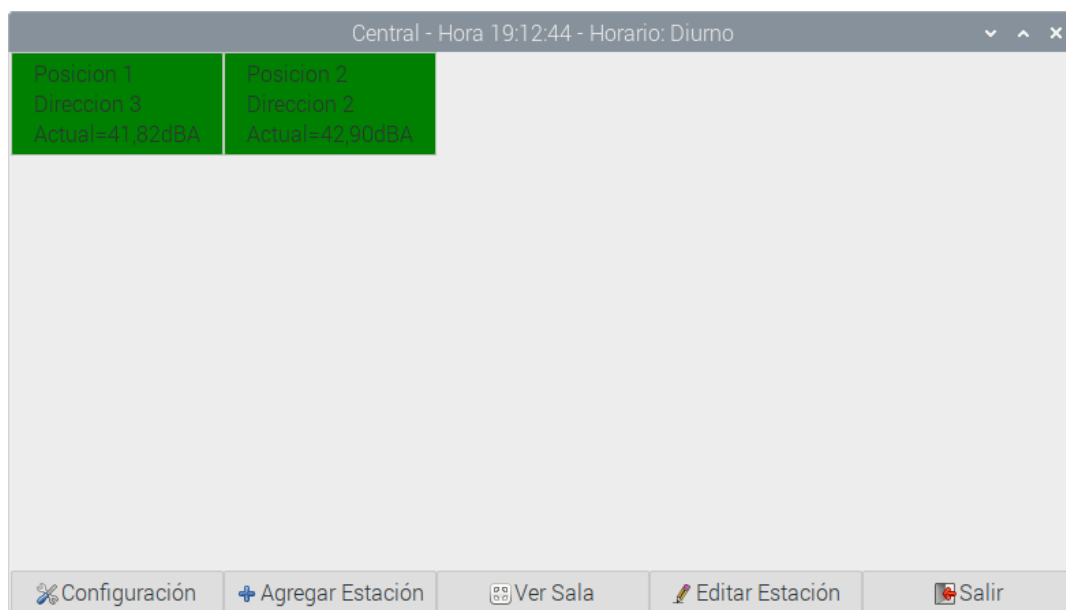


Figura 4-6. Ventana Principal de la Aplicación.

Como se observa en la **Figura 4-6**, todos los datos de las estaciones se presentarán en cuadros en la parte superior, en este caso se pueden observar dos estaciones, y debajo agrupan los botones que permiten realizar diferentes funciones. En resumen, se tienen los siguientes elementos:

- Barra Superior de información de la Aplicación: en la parte superior de la ventana principal se puede observar la hora actual y a la izquierda se indica si la hora mostrada corresponde al horario diurno o nocturno.
- Cuadros de Estaciones de Medición: los datos se presentan en forma de texto dentro del cuadro de cada Estación, además se diferencia el estado de cada una mediante el color del cuadro, a saber:
 - Color Verde: Estación de Medición en línea y con valores normales de sonido.
 - Color parpadeando entre Verde y Rojo: Estación de Medición en línea y con valores de sonido que superan el umbral de alarma configurado en dicha estación.

- Color parpadeando entre Rojo y Amarillo: Estación de Medición en línea y con valores de sonido que superan el umbral de daño al oído configurado en dicha estación.
- Color Gris: Estación de Medición fuera de línea, apagada, desconectada, o con problemas de transmisión y/o recepción, etc.

Si se clikea sobre un cuadro de Estación de Medición, se abre un diálogo con todas las mediciones solicitadas/enviadas a/por dicha Estación como se muestra en la **Figura 4-7**.

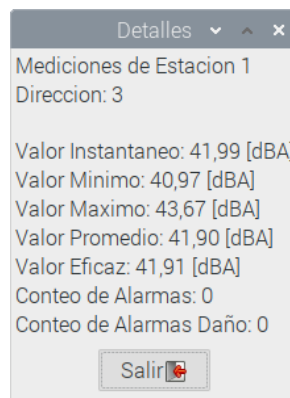


Figura 4-7. Ventana de diálogo

- Botón Configuración: al oprimir el botón, se abre la Ventana de Configuración de la Aplicación, mostrada en la **Figura 4-8**.

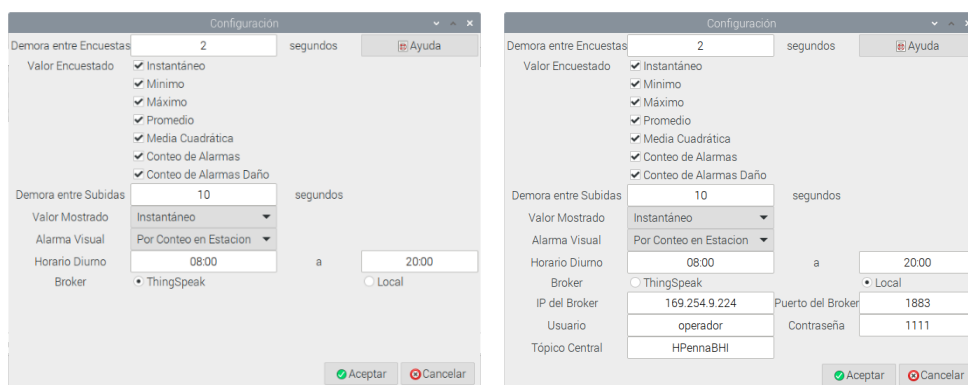


Figura 4-8. Ventana de Configuración de la Aplicación (a la izquierda con bróker ThingSpeak, a la derecha con bróker local)

Mediante la Ventana de Configuración se pueden modificar los siguientes parámetros de la aplicación:

- Demora entre Encuestas: es el valor en segundos que se cargará al Temporizador de Demora entre Encuestas. Para mayor información sobre el valor, se cuenta con el botón Ayuda, el cual abrirá un pequeño cuadro de diálogo como el de la **Figura 4-9**.

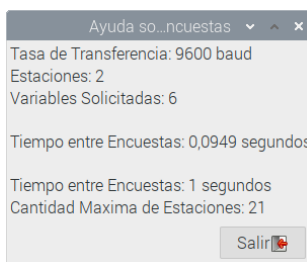


Figura 4-9. Cuadro de diálogo del botón Ayuda

- Valor Encuestado: nos permite elegir que datos solicitará la Estación Central a las Estaciones de Medición.
- Demora entre Subidas: es el valor en segundos que se cargará al Temporizador de Subida de datos al bróker mqtt.
- Valor Mostrado: Nos permite elegir uno de todos los valores encuestados para ser visualizado en los cuadros de las Estaciones de Medición.
- Alarma Visual: Se puede seleccionar como se activa la alarma visual, es decir, el cambio de color de los cuadros de las Estaciones de Medición, hay dos opciones disponibles, una es el cambio de color si el valor mostrado supera el valor de alarma por alto nivel sonoro, la otra opción es el cambio de color si la estación detectó un nivel sonoro superior al de la alarma durante el periodo de tiempo entre encuestas.
- Horario Diurno: se puede modificar la hora de inicio y final del horario diurno.
- Broker: nos permite seleccionar el bróker mqtt al cual transmitir los valores recibidos en la Estación Central de las Estaciones de Medición. Hay disponibles dos opciones, a saber:
 - ThingSpeak: los datos se transmitirán al bróker ThingSpeak, para lo cual se debe contar con acceso a internet, y seguidamente se deberán configurar todas las Estaciones de Medición en la ventana Editar Estaciones, el Channel ID, User Name, User Password y Client ID, para establecer la conexión con el bróker. Para más detalles ver la sección **4.6**.
 - Local: los datos se transmitirán a un bróker local, para lo cual se deberá ingresar la dirección IP del bróker, el puerto, que por defecto se utiliza el

1883, junto con un usuario y contraseña validos que serán utilizados por el protocolo MQTT. También se debe ingresar un tópicos para diferenciar múltiples Estaciones Centrales transmitiendo al mismo bróker MQTT. Para más detalles ver la sección 4.7.

- **Botón Agregar Estación:** al oprimir el botón, la Estación Central envía un comando de identificación de nuevas Estaciones de Medición, si se halla una nueva entonces se agregará un nuevo cuadro de Estación de Medición con sus datos. Antes de agregar una nueva Estación de Medición, esta debe tener su dirección reseteada, para más detalles ver la sección [Botón Reiniciar Red](#).
- **Botón Ver Sala:** Este botón nos abrirá un dialogo con los valores promedio de todas las Estaciones de Medición.

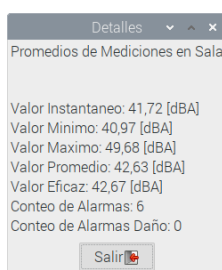


Figura 4-10. Cuadro de diálogo de valores promedio de todas las Estaciones de Medición.

- **Botón Editar Estación:** al oprimir el botón, se abre la Ventana para Editar Estaciones, mostrada en la **Figura 4-11**:

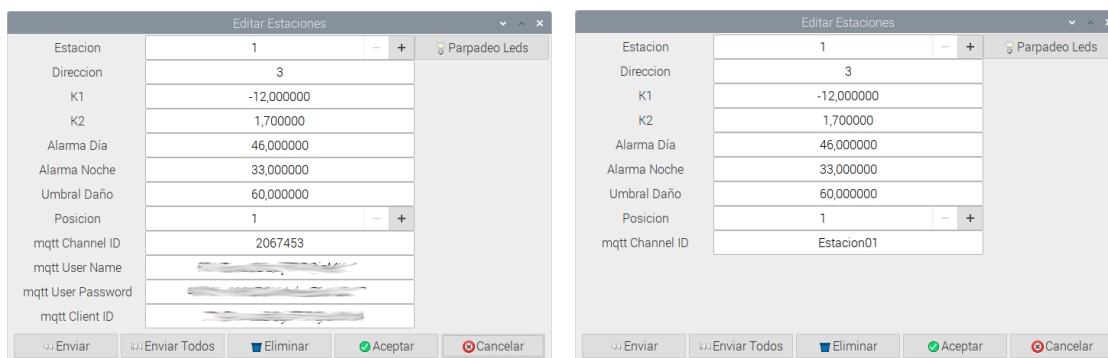


Figura 4-11. Ventana de Edición de Estaciones (a la izquierda con bróker ThingSpeak, a la derecha con bróker local).

Se pueden observar diferentes campos de datos y controles, que se explican a continuación:

- **Campo Estación:** En el cuadro de texto se muestra el número de Estación de Medición de la que se están mostrando los datos en los demás campos de la ventana, y que podemos modificar. Mediante los botones “-“ y “+“ de la derecha se puede seleccionar otra Estación de Medición, y al oprimirlos se modificaran los datos presentados en los campos de la ventana según la Estación elegida. Para facilitar la

edición y configuración de la Estación de Medición seleccionada, el cuadro de la Estación cambia al color cian.

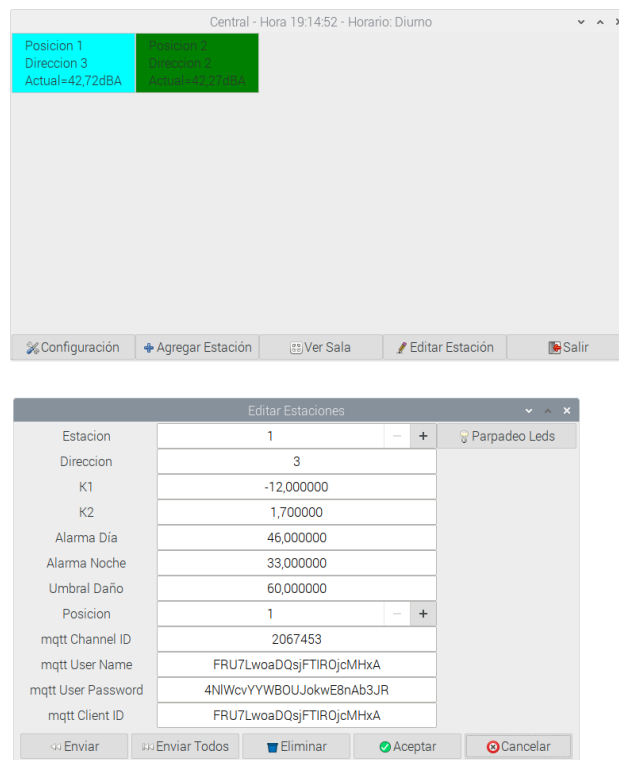


Figura 4-12. Color del cuadro de la Estación durante su edición.

- Campos Direccion, K1, K2, Alarma Día, Alarma Noche y Umbral Daño en dBA: en estos campos se puede ingresar directamente el calor del parámetro a modificar.
- Campo Posición: este campo indica la posición en la que es mostrado el cuadro de la Estación de Medición en la ventana, y puede modificarse mediante los botones “-“ y “+” de la derecha.
- Campos MQTT Channel ID, User Name, User Password y Client ID: son los datos necesarios para establecer la conexión con el bróker MQTT. Debe configurarse de forma individual para cada estación. Si se utiliza un bróker local, solo se requiere del ingreso del Channel ID, el cual será utilizado como tópicos por el protocolo MQTT para diferenciar las diferentes Estaciones de Medición.
- Botón Enviar: al oprimir este botón se envían los datos de la Estación de Medición seleccionada.
- Botón Enviar Todas: al oprimir este botón se envían los datos todas las Estaciones de Medición.

- Botón Eliminar: al oprimir este botón se envía el comando de desconexión a la Estación de Medición y se elimina esta de la red.
- Botón Aceptar: al oprimir este botón se confirman todas las modificaciones realizadas, actualizando el archivo de configuración, pero no se envían las mismas a las Estaciones de Medición, para ello se utilizan los botones Enviar y Enviar Todas.
- Botón Cancelar: al oprimir este botón se desestiman todas las modificaciones realizadas, a excepción de las posiciones de los cuadros de las Estaciones de Medición. Para lograr desestimar las posiciones, luego de oprimir el botón Cancelar, se debe reiniciar la aplicación, es decir, cerrarla para luego abrirla.
- Botón Parpadeo Leds: al oprimir este botón, se envía el comando de iniciar el parpadeo de leds a la Estación de Medición seleccionada, esto sirve para ubicar físicamente la estación. Si se vuelve a oprimir el botón, la estación dejará el modo Parpadeo de Leds.
- Botón Salir: al oprimir este botón se sale de la aplicación.

4.4. Comunicaciones

Las comunicaciones se realizan a través de un bus RS-485, trabajando la Estación Central en modo maestro, y las Estaciones de Medición en modo esclavo, es decir que las Estaciones de Medición transmiten solo si la Estación Central lo solicita. El protocolo de transmisión utiliza tramas formadas por una cantidad de bytes variables. Para lidiar con esto, se implementa una trama maestro base de 5 bytes, y una serie de tramas según el tipo de comando, que son derivadas de la trama maestro base.

Trama Maestro base:

Byte 1	Dirección Destino
Byte 2	Dirección Origen
Byte 3	Comando
Byte 4	Bytes Extra
Byte 5	CRC

Figura 4-13. Trama Maestro Base.

Donde:

Byte 1, Dirección Destino: dirección de red del dispositivo al cual va dirigido el mensaje. Si es 0 va dirigido a todos los esclavos (modo broadcast).

Byte 2, Dirección Origen: dirección de red del dispositivo que envía el mensaje.

Byte 3, Comando: En este byte se codifica la acción que debe ejecutar el esclavo y se informa al esclavo si se está trabajando en horario diurno o nocturno (ver **Figura 4-14**):

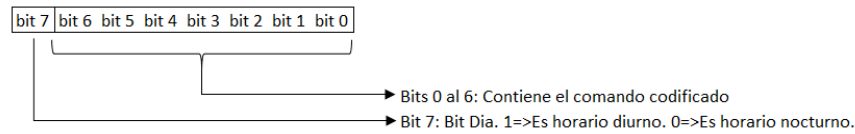


Figura 4-14. Bits del Comando

El comando que debe ejecutar el esclavo se codifica según se muestra en la siguiente figura:

Comando	Acción
0	Identificarse (se usa cuando se dan de alta nuevos dispositivos, en este caso el byte 4 contiene una dirección/número de dispositivo libre)
1	Enviar mediciones
2	Enviar medición de sonido en dB
3	Enviar medición de sonido en RMSA
4	Enviar medición de sonido en RMS
5	Enviar configuraciones (K1, K2, Alarma Nocturna, Diurna y por Umbral de Daño)
6	Cambiar configuraciones (K1, K2, Alarma Nocturna, Diurna y por Umbral de Daño)
7	Desconectarse (sin cambiar la dirección/número de dispositivo)
8	Cambiar dirección (en este caso el byte 4 contiene la nueva dirección/número de dispositivo)
9	Comando blink leds (parpadean los leds para identificar la placa)
10	Comando no blink leds (los leds trabajan normalmente)

Figura 4-15. Comandos que puede ejecutar el esclavo.

Byte 4, Bytes Extra: Indica la cantidad de bytes extras que contiene la trama luego del primer CRC. Incluye el CRC final.

Byte 5, CRC: Código de Redundancia Cíclica o CRC, calculado con los bytes 1 al 4. Si el CRC enviado no coincide con el CRC calculado en el dispositivo que recibe el mensaje, se descarta dicho mensaje.

Bytes adicionales con datos: Si el valor de Bytes Extra es distinto de “0”, se irán agregando bytes adicionales según el comando enviado por la Estación Central, y el último byte adicional será un nuevo CRC, el cual se calcula con los bytes 1 al ante último de la trama.

Todos los comandos emitidos por la Estación Central se corresponden con respuestas emitidas por una Estación de Medición, y al igual que sucede con la Estación Central, el protocolo se implementa con tramas de longitud variable; con una trama esclavo base de 5 bytes, y otras tramas derivadas de ésta.

Trama Esclavo base:

Byte 1	Dirección Destino
Byte 2	Dirección Origen
Byte 3	Comando
Byte 4	Bytes Extra
Byte 5	CRC

Figura 4-16. Trama Esclavo Base.

De la **Figura 4-16**:

Byte 1, Dirección Destino: dirección de red del dispositivo al cual va dirigido el mensaje, en nuestro caso será siempre la dirección de la Estación Central.

Byte 2, Dirección Origen: dirección de red del dispositivo que envía el mensaje.

Byte 3, Estado: en este byte se codifica el estado de la operación solicitada por el maestro (ver **Figura 4-17**):

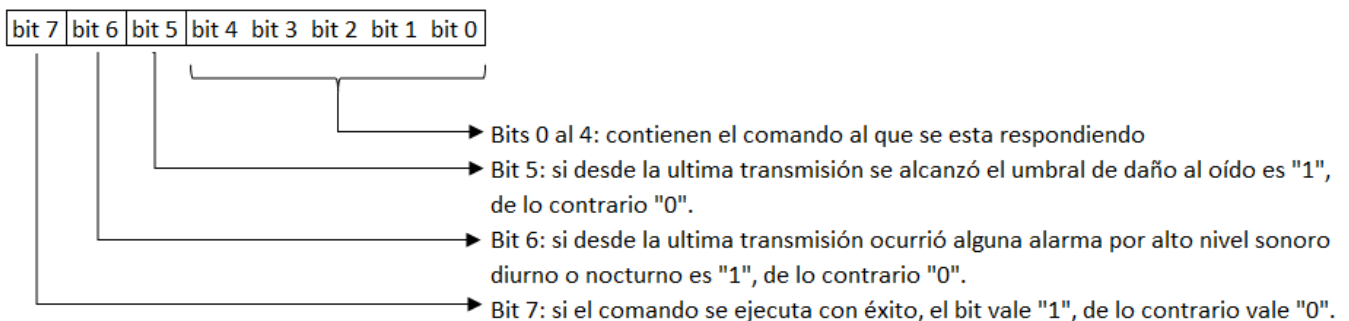


Figura 4-17. Bit de Estado

Byte 4, Bytes Extra: Indica la cantidad de bytes extras que contiene la trama luego del primer CRC. Incluye el CRC final.

Byte 5, CRC: Código de Redundancia Cíclica o CRC, calculado con los bytes 1 al 4. Si el CRC enviado no coincide con el CRC calculado en el dispositivo que recibe el mensaje, se descarta dicho mensaje.

Bytes adicionales con datos: Si el valor de Bytes Extra es distinto de "0", se irán agregando bytes adicionales según el comando enviado por la Estación de Medición, y el

último byte adicional será un nuevo CRC, el cual se calcula con los bytes 1 al ante último de la trama.

4.5. Comandos

A continuación, se presentan los diferentes comandos y las respuestas de las estaciones.

Comandos Parpadeo de Leds y Fin de Parpadeo de Leds: los formatos de la trama enviada por la Estación Central (maestro) y de la enviada por la Estación de Medición (esclavo) son los que se observan en la **Figura 4-18:**

COMANDO_BLINK_LEDS					0x09
COMANDO_NO_BLINK_LEDS					0x0A
Master			Slave		
Byte	Contenido	Valor	Byte	Contenido	Valor
Byte 1	Dirección de Origen	X	Byte 1	Dirección de Origen	X
Byte 2	Dirección Destino	X	Byte 2	Dirección Destino	X
Byte 3	Comando	X	Byte 3	Estado	X
Byte 4	Bytes Extra	0	Byte 4	Bytes Extra	0
Byte 5	CRC	X	Byte 5	CRC	X

Figura 4-18. Comandos Parpadeo y Fin de parpadeo de Leds.

- Comando Parpadeo de Leds (Blink Leds): luego de recibir una Estación de Medición el comando Parpadeo de Leds, los leds rojo, verde y azul comienzan a parpadear los tres sincronizados hasta que les llegue un comando para detener el parpadeo.
- Comando Fin Parpadeo de Leds (No Blink Leds): luego de recibir una Estación de Medición el comando Fin de Parpadeo de Leds, los tres leds se ponen a trabajar de forma normal indicando el estado operativo de la Estación de Medición.

Comando Identificarse: los formatos de la trama enviada por la Estación Central (maestro) y de la enviada por la Estación de Medición (esclavo) son los que se observan en la **Figura 4-19:**

COMANDO_IDENTIFICARSE					0x00
Master			Slave		
Byte	Contenido	Valor	Byte	Contenido	Valor
Byte 1	Dirección de Origen	X	Byte 1	Dirección de Origen	X
Byte 2	Dirección Destino	0	Byte 2	Dirección Destino	X
Byte 3	Comando	0x00	Byte 3	Estado	X
Byte 4	Bytes Extra	2	Byte 4	Bytes Extra	1
Byte 5	CRC	X	Byte 5	CRC	X
Byte 6	Dirección Libre	X	Byte 6	Dirección elegida	X
Byte 7	CRC 1	X	Byte 7	CRC 1	X

Figura 4-19. Comando Identificarse.

Luego de recibir una Estación de Medición el comando Identificarse, genera una demora de duración aleatoria, y al cabo de ésta, si no se detectan transmisiones en el bus RS485, se emite la respuesta a la Estación Central con la dirección seleccionada para la Estación de Medición.

La dirección que toma la Estación de Medición depende del valor que tenía antes de recibir el comando:

Dirección igual a “0”: se toma como dirección la Dirección Libre enviada por la Estación Central en el byte 6 de la trama.

Dirección mayor que “0”: se toma como dirección la que ya tenía la Estación de Medición.

Comando Cambiar Dirección: los formatos de la trama enviada por la Estación Central (maestro) y de la enviada por la Estación de Medición (esclavo) son los que se visualizan en la **Figura 4-20:**

COMANDO_CAMBIAR_DIR						0x08
Master			Slave			
Byte	Contenido	Valor	Byte	Contenido	Valor	
Byte 1	Dirección de Origen	X	Byte 1	Dirección de Origen	X	
Byte 2	Dirección Destino	X	Byte 2	Dirección Destino	X	
Byte 3	Comando	0x0B	Byte 3	Estado	X	
Byte 4	Bytes Extra	2	Byte 4	Bytes Extra	2	
Byte 5	CRC	X	Byte 5	CRC	X	
Byte 6	Nueva Dirección	X	Byte 6	Nueva Dirección	X	
Byte 7	CRC 1	X	Byte 7	CRC 1	X	

Figura 4-20. Comando Cambiar Dirección.

Luego de recibir una Estación de Medición el comando Cambiar Dirección, sobre escribe la dirección configurada con el valor de Nueva Dirección contenido en el byte 6 recibido de la Estación Central, y se emite la respuesta a la Estación Central con esta dirección.

Comandos Enviar medición en dB, RMS, RMSA: comandos no utilizados normalmente, solo para fines de pruebas. Los formatos de la trama enviada por la Estación Central (maestro) y de la enviada por la Estación de Medición (esclavo) son los que se presentan en la **Figura 4-21:**

COMANDO_ENVIAR_dB			0x02		
COMANDO_ENVIAR_RMSA			0x03		
COMANDO_ENVIAR_RMS			0x04		
Master			Slave		
Byte	Contenido	Valor	Byte	Contenido	Valor
Byte 1	Dirección de Origen	X	Byte 1	Dirección de Origen	X
Byte 2	Dirección Destino	X	Byte 2	Dirección Destino	X
Byte 3	Comando	X	Byte 3	Estado	X
Byte 4	Bytes Extra	0	Byte 4	Bytes Extra	5
Byte 5	CRC	X	Byte 5	CRC	X
			Byte 6	Dato1[0]	Medición
			Byte 7	Dato1[1]	
			Byte 8	Dato1[2]	
			Byte 9	Dato1[3]	
			Byte 10	CRC 1	X

Figura 4-21. Comandos enviar mediciones en dB, RMS y RMSA.

- Comando Enviar dB: luego de recibir este comando, una Estación de Medición responde con el valor de la medición de nivel sonoro en decibeles, es decir, sin ponderar según la curva A y en escala logarítmica, y la ubica entre los bytes 6 y 9 de la trama enviada a la Estación Central.
- Comando Enviar RMSA: luego de recibir este comando, una Estación de Medición responde con el valor de la medición de nivel sonoro ponderado según la curva A, en escala lineal, no logarítmica, y la ubica entre los bytes 6 y 9 de la trama enviada a la Estación Central.
- Comando Enviar RMS: luego de recibir este comando, una Estación de Medición responde con el valor de la medición de nivel sonoro sin ponderar según la curva A y en escala lineal, no logarítmica, y la ubica entre los bytes 6 y 9 de la trama enviada a la Estación Central.

Comando Enviar Configuraciones (K_1 , K_2 y Alarma Nocturna, Diurna y por umbral de Daño al oído en dBA): los formatos de la trama enviada por la Estación Central (maestro) y de la enviada por la Estación de Medición (esclavo) son los que se desarrollan en la **Figura 4-22:**

COMANDO_ENVIAR_CONFIG		0x05
Master		
Byte	Contenido	Valor
Byte 1	Dirección de Origen	X
Byte 2	Dirección Destino	X
Byte 3	Comando	X
Byte 4	Bytes Extra	2
Byte 5	CRC	X
Byte 6	Variables a Enviar	X
Byte 7	CRC 1	X

RESPUESTA Slave			RESPUESTA Slave			RESPUESTA Slave			RESPUESTA Slave		
Byte	Contenido	Valor	Byte	Contenido	Valor	Byte	Contenido	Valor	Byte	Contenido	Valor
Byte 1	Dirección de Origen	X	Byte 1	Dirección de Origen	X	Byte 1	Dirección de Origen	X	Byte 1	Dirección de Origen	X
Byte 2	Dirección Destino	X	Byte 2	Dirección Destino	X	Byte 2	Dirección Destino	X	Byte 2	Dirección Destino	X
Byte 3	Estado	X	Byte 3	Estado	X	Byte 3	Estado	X	Byte 3	Estado	X
Byte 4	Bytes Extra	6	Byte 4	Bytes Extra	10	Byte 4	Bytes Extra	14	Byte 4	Bytes Extra	18
Byte 5	CRC	X	Byte 5	CRC	X	Byte 5	CRC	X	Byte 5	CRC	X
Byte 6	Variables Enviadas	X	Byte 6	Variables Enviadas	X	Byte 6	Variables Enviadas	X	Byte 6	Variables Enviadas	X
Byte 7	Dato1[0]	Variable 1	Byte 7	Dato1[0]	Variable 1	Byte 7	Dato1[0]	Variable 1	Byte 7	Dato1[0]	Variable 1
Byte 8	Dato1[1]		Byte 8	Dato1[1]		Byte 8	Dato1[1]		Byte 8	Dato1[1]	
Byte 9	Dato1[2]		Byte 9	Dato1[2]		Byte 9	Dato1[2]		Byte 9	Dato1[2]	
Byte 10	Dato1[3]		Byte 10	Dato1[3]		Byte 10	Dato1[3]		Byte 10	Dato1[3]	
Byte 11	CRC 1	X	Byte 11	Dato2[0]	Variable 2	Byte 11	Dato2[0]	Variable 2	Byte 11	Dato2[0]	Variable 2
			Byte 12	Dato2[1]		Byte 12	Dato2[1]		Byte 12	Dato2[1]	
			Byte 13	Dato2[2]		Byte 13	Dato2[2]		Byte 13	Dato2[2]	
			Byte 14	Dato2[3]		Byte 14	Dato2[3]		Byte 14	Dato2[3]	
			Byte 15	CRC 1	X	Byte 15	Dato3[0]	Variable 3	Byte 15	Dato3[0]	Variable 3
			Byte 16	Dato3[1]	Byte 16	Dato3[1]	Byte 16		Dato3[1]		
			Byte 17	Dato3[2]	Byte 17	Dato3[2]	Byte 17		Dato3[2]		
			Byte 18	Dato3[3]	Byte 18	Dato3[3]	Byte 18		Dato3[3]		
			Byte 19	CRC 1	X	Byte 19	Dato4[0]	Variable 4	Byte 19	Dato4[0]	Variable 4
			Byte 20	Dato4[1]	Byte 20	Dato4[1]	Byte 20		Dato4[1]		
			Byte 21	Dato4[2]	Byte 21	Dato4[2]	Byte 21		Dato4[2]		
			Byte 22	Dato4[3]	Byte 22	Dato4[3]	Byte 22		Dato4[3]		
			Byte 23	CRC 1	X	Byte 23	CRC 1	X	Byte 23	CRC 1	X

RESPUESTA Slave			RESPUESTA Slave			RESPUESTA Slave			RESPUESTA Slave		
Byte	Contenido	Valor	Byte	Contenido	Valor	Byte	Contenido	Valor	Byte	Contenido	Valor
Byte 1	Dirección de Origen	X	Byte 1	Dirección de Origen	X	Byte 1	Dirección de Origen	X	Byte 1	Dirección de Origen	X
Byte 2	Dirección Destino	X	Byte 2	Dirección Destino	X	Byte 2	Dirección Destino	X	Byte 2	Dirección Destino	X
Byte 3	Estado	X	Byte 3	Estado	X	Byte 3	Estado	X	Byte 3	Estado	X
Byte 4	Bytes Extra	22	Byte 4	Bytes Extra	26	Byte 4	Bytes Extra	30	Byte 4	Bytes Extra	34
Byte 5	CRC	X	Byte 5	CRC	X	Byte 5	CRC	X	Byte 5	CRC	X
Byte 6	Variables Enviadas	X	Byte 6	Variables Enviadas	X	Byte 6	Variables Enviadas	X	Byte 6	Variables Enviadas	X
Byte 7	Dato1[0]	Variable 1	Byte 7	Dato1[0]	Variable 1	Byte 7	Dato1[0]	Variable 1	Byte 7	Dato1[0]	Variable 1
Byte 8	Dato1[1]		Byte 8	Dato1[1]		Byte 8	Dato1[1]		Byte 8	Dato1[1]	
Byte 9	Dato1[2]		Byte 9	Dato1[2]		Byte 9	Dato1[2]		Byte 9	Dato1[2]	
Byte 10	Dato1[3]		Byte 10	Dato1[3]		Byte 10	Dato1[3]		Byte 10	Dato1[3]	
Byte 11	Dato2[0]	Variable 2	Byte 11	Dato2[0]	Variable 2	Byte 11	Dato2[0]	Variable 2	Byte 11	Dato2[0]	Variable 2
Byte 12	Dato2[1]		Byte 12	Dato2[1]		Byte 12	Dato2[1]		Byte 12	Dato2[1]	
Byte 13	Dato2[2]		Byte 13	Dato2[2]		Byte 13	Dato2[2]		Byte 13	Dato2[2]	
Byte 14	Dato2[3]		Byte 14	Dato2[3]		Byte 14	Dato2[3]		Byte 14	Dato2[3]	
Byte 15	Dato3[0]	Variable 3	Byte 15	Dato3[0]	Variable 3	Byte 15	Dato3[0]	Variable 3	Byte 15	Dato3[0]	Variable 3
Byte 16	Dato3[1]		Byte 16	Dato3[1]		Byte 16	Dato3[1]		Byte 16	Dato3[1]	
Byte 17	Dato3[2]		Byte 17	Dato3[2]		Byte 17	Dato3[2]		Byte 17	Dato3[2]	
Byte 18	Dato3[3]		Byte 18	Dato3[3]		Byte 18	Dato3[3]		Byte 18	Dato3[3]	
Byte 19	Dato4[0]	Variable 4	Byte 19	Dato4[0]	Variable 4	Byte 19	Dato4[0]	Variable 4	Byte 19	Dato4[0]	Variable 4
Byte 20	Dato4[1]		Byte 20	Dato4[1]		Byte 20	Dato4[1]		Byte 20	Dato4[1]	
Byte 21	Dato4[2]		Byte 21	Dato4[2]		Byte 21	Dato4[2]		Byte 21	Dato4[2]	
Byte 22	Dato4[3]		Byte 22	Dato4[3]		Byte 22	Dato4[3]		Byte 22	Dato4[3]	
Byte 23	Dato5[0]	Variable 5	Byte 23	Dato5[0]	Variable 5	Byte 23	Dato5[0]	Variable 5	Byte 23	Dato5[0]	Variable 5
Byte 24	Dato5[1]		Byte 24	Dato5[1]		Byte 24	Dato5[1]		Byte 24	Dato5[1]	
Byte 25	Dato5[2]		Byte 25	Dato5[2]		Byte 25	Dato5[2]		Byte 25	Dato5[2]	
Byte 26	Dato5[3]		Byte 26	Dato5[3]		Byte 26	Dato5[3]		Byte 26	Dato5[3]	
Byte 27	CRC 1	X	Byte 27	Dato6[0]	Variable 6	Byte 27	Dato6[0]	Variable 6	Byte 27	Dato6[0]	Variable 6
			Byte 28	Dato6[1]		Byte 28	Dato6[1]		Byte 28	Dato6[1]	
			Byte 29	Dato6[2]		Byte 29	Dato6[2]		Byte 29	Dato6[2]	
			Byte 30	Dato6[3]		Byte 30	Dato6[3]		Byte 30	Dato6[3]	
			Byte 31	CRC 1	X	Byte 31	Dato7[0]	Variable 7	Byte 31	Dato7[0]	Variable 7
						Byte 32	Dato7[1]		Byte 32	Dato7[1]	
						Byte 33	Dato7[2]		Byte 33	Dato7[2]	
						Byte 34	Dato7[3]		Byte 34	Dato7[3]	
						Byte 35	CRC 1	X	Byte 35	Dato8[0]	Variable 8
									Byte 36	Dato8[1]	
									Byte 37	Dato8[2]	
									Byte 38	Dato8[3]	
									Byte 39	CRC 1	X

Figura 4-22. Comandos para envío de constantes de ajuste y alarma.

En el byte 6 de la trama enviada por el maestro, se codifica la/las constantes que deben ser enviadas por el esclavo según se muestra en la siguiente figura:



Figura 4-23. Bits de Variables a Enviar.

Comando Cambiar Configuraciones (K_1 , K_2 y Alarma Nocturna, Diurna y por umbral de Daño al oído en dBA): los formatos de la trama enviada por la Estación Central (maestro) y de la enviada por la Estación de Medición (esclavo) son los que se desarrollan en la **Figura 4-24:**

COMANDO_CAMBIAR_CONFIG 0x06			COMANDO_CAMBIAR_CONFIG 0x06			COMANDO_CAMBIAR_CONFIG 0x06			COMANDO_CAMBIAR_CONFIG 0x06		
Master			Master			Master			Master		
Byte	Contenido	Valor	Byte	Contenido	Valor	Byte	Contenido	Valor	Byte	Contenido	Valor
Byte 1	Dirección de Origen	X	Byte 1	Dirección de Origen	X	Byte 1	Dirección de Origen	X	Byte 1	Dirección de Origen	X
Byte 2	Dirección Destino	X	Byte 2	Dirección Destino	X	Byte 2	Dirección Destino	X	Byte 2	Dirección Destino	X
Byte 3	Comando	X	Byte 3	Comando	X	Byte 3	Comando	X	Byte 3	Comando	X
Byte 4	Bytes Extra	6	Byte 4	Bytes Extra	10	Byte 4	Bytes Extra	14	Byte 4	Bytes Extra	18
Byte 5	CRC	X	Byte 5	CRC	X	Byte 5	CRC	X	Byte 5	CRC	X
Byte 6	Variables a Cambiar	X	Byte 6	Variables a Cambiar	X	Byte 6	Variables a Cambiar	X	Byte 6	Variables a Cambiar	X
Byte 7	Dato1[0]	Variable 1	Byte 7	Dato1[0]	Variable 1	Byte 7	Dato1[0]	Variable 1	Byte 7	Dato1[0]	Variable 1
Byte 8	Dato1[1]		Byte 8	Dato1[1]		Byte 8	Dato1[1]		Byte 8	Dato1[1]	
Byte 9	Dato1[2]		Byte 9	Dato1[2]		Byte 9	Dato1[2]		Byte 9	Dato1[2]	
Byte 10	Dato1[3]		Byte 10	Dato1[3]		Byte 10	Dato1[3]		Byte 10	Dato1[3]	
Byte 11	CRC 1	X	Byte 11	Dato2[0]	Variable 2	Byte 11	Dato2[0]	Variable 2	Byte 11	Dato2[0]	Variable 2
			Byte 12	Dato2[1]		Byte 12	Dato2[1]		Byte 12	Dato2[1]	
			Byte 13	Dato2[2]		Byte 13	Dato2[2]		Byte 13	Dato2[2]	
			Byte 14	Dato2[3]		Byte 14	Dato2[3]		Byte 14	Dato2[3]	
			Byte 15	CRC 1	X	Byte 15	Dato3[0]	Variable 3	Byte 15	Dato3[0]	Variable 3
			Byte 16	Dato3[1]	Byte 16	Dato3[1]	Byte 16		Dato3[1]		
			Byte 17	Dato3[2]	Byte 17	Dato3[2]	Byte 17		Dato3[2]		
			Byte 18	Dato3[3]	Byte 18	Dato3[3]	Byte 18		Dato3[3]		
			Byte 19	CRC 1	X	Byte 19	CRC 1	X	Byte 19	Dato4[0]	Variable 4
						Byte 20	Dato4[1]	Byte 20	Dato4[1]		
						Byte 21	Dato4[2]	Byte 21	Dato4[2]		
						Byte 22	Dato4[3]	Byte 22	Dato4[3]		
						Byte 23	CRC 1	X	Byte 23	CRC 1	X

COMANDO_CAMBIAR_CONFIG 0x06			COMANDO_CAMBIAR_CONFIG 0x06			COMANDO_CAMBIAR_CONFIG 0x06			COMANDO_CAMBIAR_CONFIG 0x06		
Master			Master			Master			Master		
Byte	Contenido	Valor	Byte	Contenido	Valor	Byte	Contenido	Valor	Byte	Contenido	Valor
Byte 1	Dirección de Origen	X	Byte 1	Dirección de Origen	X	Byte 1	Dirección de Origen	X	Byte 1	Dirección de Origen	X
Byte 2	Dirección Destino	X	Byte 2	Dirección Destino	X	Byte 2	Dirección Destino	X	Byte 2	Dirección Destino	X
Byte 3	Comando	X	Byte 3	Comando	X	Byte 3	Comando	X	Byte 3	Comando	X
Byte 4	Bytes Extra	22	Byte 4	Bytes Extra	26	Byte 4	Bytes Extra	30	Byte 4	Bytes Extra	34
Byte 5	CRC	X	Byte 5	CRC	X	Byte 5	CRC	X	Byte 5	CRC	X
Byte 6	Variables a Cambiar	X	Byte 6	Variables a Cambiar	X	Byte 6	Variables a Cambiar	X	Byte 6	Variables a Cambiar	X
Byte 7	Dato1[0]	Variable 1	Byte 7	Dato1[0]	Variable 1	Byte 7	Dato1[0]	Variable 1	Byte 7	Dato1[0]	Variable 1
Byte 8	Dato1[1]		Byte 8	Dato1[1]		Byte 8	Dato1[1]		Byte 8	Dato1[1]	
Byte 9	Dato1[2]		Byte 9	Dato1[2]		Byte 9	Dato1[2]		Byte 9	Dato1[2]	
Byte 10	Dato1[3]	Variable 2	Byte 10	Dato1[3]	Variable 2	Byte 10	Dato1[3]	Variable 2	Byte 10	Dato1[3]	Variable 2
Byte 11	Dato2[0]		Byte 11	Dato2[0]		Byte 11	Dato2[0]		Byte 11	Dato2[0]	
Byte 12	Dato2[1]		Byte 12	Dato2[1]		Byte 12	Dato2[1]		Byte 12	Dato2[1]	
Byte 13	Dato2[2]	Variable 3	Byte 13	Dato2[2]	Variable 3	Byte 13	Dato2[2]	Variable 3	Byte 13	Dato2[2]	Variable 3
Byte 14	Dato2[3]		Byte 14	Dato2[3]		Byte 14	Dato2[3]		Byte 14	Dato2[3]	
Byte 15	Dato3[0]		Byte 15	Dato3[0]		Byte 15	Dato3[0]		Byte 15	Dato3[0]	
Byte 16	Dato3[1]	Variable 4	Byte 16	Dato3[1]	Variable 4	Byte 16	Dato3[1]	Variable 4	Byte 16	Dato3[1]	Variable 4
Byte 17	Dato3[2]		Byte 17	Dato3[2]		Byte 17	Dato3[2]		Byte 17	Dato3[2]	
Byte 18	Dato3[3]		Byte 18	Dato3[3]		Byte 18	Dato3[3]		Byte 18	Dato3[3]	
Byte 19	Dato4[0]	Variable 5	Byte 19	Dato4[0]	Variable 5	Byte 19	Dato4[0]	Variable 5	Byte 19	Dato4[0]	Variable 5
Byte 20	Dato4[1]		Byte 20	Dato4[1]		Byte 20	Dato4[1]		Byte 20	Dato4[1]	
Byte 21	Dato4[2]		Byte 21	Dato4[2]		Byte 21	Dato4[2]		Byte 21	Dato4[2]	
Byte 22	Dato4[3]	Variable 6	Byte 22	Dato4[3]	Variable 6	Byte 22	Dato4[3]	Variable 6	Byte 22	Dato4[3]	Variable 6
Byte 23	Dato5[0]		Byte 23	Dato5[0]		Byte 23	Dato5[0]		Byte 23	Dato5[0]	
Byte 24	Dato5[1]		Byte 24	Dato5[1]		Byte 24	Dato5[1]		Byte 24	Dato5[1]	
Byte 25	Dato5[2]	Variable 7	Byte 25	Dato5[2]	Variable 7	Byte 25	Dato5[2]	Variable 7	Byte 25	Dato5[2]	Variable 7
Byte 26	Dato5[3]		Byte 26	Dato5[3]		Byte 26	Dato5[3]		Byte 26	Dato5[3]	
Byte 27	CRC 1		X	Byte 27		Dato6[0]	Variable 8		Byte 27	Dato6[0]	
			Byte 28	Dato6[1]	Byte 28	Dato6[1]		Byte 28	Dato6[1]		
			Byte 29	Dato6[2]	Byte 29	Dato6[2]		Byte 29	Dato6[2]		
			Byte 30	Dato6[3]	Byte 30	Dato6[3]		Byte 30	Dato6[3]		
			Byte 31	CRC 1	X	Byte 31	Dato7[0]	Variable 9	Byte 31	Dato7[0]	Variable 9
			Byte 32	Dato7[1]	Byte 32	Dato7[1]	Byte 32		Dato7[1]		
			Byte 33	Dato7[2]	Byte 33	Dato7[2]	Byte 33		Dato7[2]		
			Byte 34	Dato7[3]	Byte 34	Dato7[3]	Byte 34		Dato7[3]		
			Byte 35	CRC 1	X	Byte 35	CRC 1	X	Byte 35	Dato8[0]	Variable 10
						Byte 36	Dato8[1]	Byte 36	Dato8[1]		
						Byte 37	Dato8[2]	Byte 37	Dato8[2]		
						Byte 38	Dato8[3]	Byte 38	Dato8[3]		
						Byte 39	CRC 1	X	Byte 39	CRC 1	X

RESPUESTA		
Slave		
Byte	Contenido	Valor
Byte 1	Dirección de Origen	X
Byte 2	Dirección Destino	X
Byte 3	Estado	X
Byte 4	Bytes Extra	2
Byte 5	CRC	X
Byte 6	Variables a Cambiar	X
Byte 7	CRC 1	X

Figura 4-24. Comandos para el cambio de constantes de ajuste y alarma.

En el byte 6 de la trama enviada por el maestro, se codifica la/las constantes que deben ser modificadas en el esclavo (ver **Figura 4-25**), y seguidamente se envían los nuevos valores de dichas constantes:



Figura 4-25. Bits de Variables a Modificar.

Comando Enviar Medición: los formatos de la trama enviada por la Estación Central (maestro) y de la enviada por la Estación de Medición (esclavo) son los que se presentan en la **Figura 4-26**:

COMANDO_ENVIAR_MEDICION		0x01
Master		
Byte	Contenido	Valor
Byte 1	Dirección de Origen	X
Byte 2	Dirección Destino	X
Byte 3	Comando	0x01
Byte 4	Bytes Extra	2
Byte 5	CRC	X
Byte 6	Variables a Enviar	X
Byte 7	CRC 1	X

RESPUESTA			RESPUESTA			RESPUESTA			RESPUESTA		
Slave			Slave			Slave			Slave		
Byte	Contenido	Valor	Byte	Contenido	Valor	Byte	Contenido	Valor	Byte	Contenido	Valor
Byte 1	Dirección de Origen	X	Byte 1	Dirección de Origen	X	Byte 1	Dirección de Origen	X	Byte 1	Dirección de Origen	X
Byte 2	Dirección Destino	X	Byte 2	Dirección Destino	X	Byte 2	Dirección Destino	X	Byte 2	Dirección Destino	X
Byte 3	Estado	X	Byte 3	Estado	X	Byte 3	Estado	X	Byte 3	Estado	X
Byte 4	Bytes Extra	6	Byte 4	Bytes Extra	10	Byte 4	Bytes Extra	14	Byte 4	Bytes Extra	18
Byte 5	CRC	X	Byte 5	CRC	X	Byte 5	CRC	X	Byte 5	CRC	X
Byte 6	Variables Enviadas	X	Byte 6	Variables Enviadas	X	Byte 6	Variables Enviadas	X	Byte 6	Variables Enviadas	X
Byte 7	Dato1[0]	Variable 1	Byte 7	Dato1[0]	Variable 1	Byte 7	Dato1[0]	Variable 1	Byte 7	Dato1[0]	Variable 1
Byte 8	Dato1[1]		Byte 8	Dato1[1]		Byte 8	Dato1[1]		Byte 8	Dato1[1]	
Byte 9	Dato1[2]		Byte 9	Dato1[2]		Byte 9	Dato1[2]		Byte 9	Dato1[2]	
Byte 10	Dato1[3]		Byte 10	Dato1[3]		Byte 10	Dato1[3]		Byte 10	Dato1[3]	
Byte 11	CRC 1	X	Byte 11	Dato2[0]	Variable 2	Byte 11	Dato2[0]	Variable 2	Byte 11	Dato2[0]	Variable 2
			Byte 12	Dato2[1]		Byte 12	Dato2[1]		Byte 12	Dato2[1]	
			Byte 13	Dato2[2]		Byte 13	Dato2[2]		Byte 13	Dato2[2]	
			Byte 14	Dato2[3]		Byte 14	Dato2[3]		Byte 14	Dato2[3]	
			Byte 15	CRC 1	X	Byte 15	Dato3[0]	Variable 3	Byte 15	Dato3[0]	Variable 3
						Byte 16	Dato3[1]		Byte 16	Dato3[1]	
						Byte 17	Dato3[2]		Byte 17	Dato3[2]	
						Byte 18	Dato3[3]		Byte 18	Dato3[3]	
						Byte 19	CRC 1	X	Byte 19	Dato4[0]	Variable 4
									Byte 20	Dato4[1]	
									Byte 21	Dato4[2]	
									Byte 22	Dato4[3]	
									Byte 23	CRC 1	X

RESPUESTA			RESPUESTA			RESPUESTA		
Slave			Slave			Slave		
Byte	Contenido	Valor	Byte	Contenido	Valor	Byte	Contenido	Valor
Byte 1	Dirección de Origen	X	Byte 1	Dirección de Origen	X	Byte 1	Dirección de Origen	X
Byte 2	Dirección Destino	X	Byte 2	Dirección Destino	X	Byte 2	Dirección Destino	X
Byte 3	Estado	X	Byte 3	Estado	X	Byte 3	Estado	X
Byte 4	Bytes Extra	22	Byte 4	Bytes Extra	26	Byte 4	Bytes Extra	26
Byte 5	CRC	X	Byte 5	CRC	X	Byte 5	CRC	X
Byte 6	Variables Enviadas	X	Byte 6	Variables Enviadas	X	Byte 6	Variables Enviadas	X
Byte 7	Dato1[0]	Variable 1	Byte 7	Dato1[0]	Variable 1	Byte 7	Dato1[0]	Variable 1
Byte 8	Dato1[1]		Byte 8	Dato1[1]		Byte 8	Dato1[1]	
Byte 9	Dato1[2]		Byte 9	Dato1[2]		Byte 9	Dato1[2]	
Byte 10	Dato1[3]		Byte 10	Dato1[3]		Byte 10	Dato1[3]	
Byte 11	Dato2[0]	Variable 2	Byte 11	Dato2[0]	Variable 2	Byte 11	Dato2[0]	Variable 2
Byte 12	Dato2[1]		Byte 12	Dato2[1]		Byte 12	Dato2[1]	
Byte 13	Dato2[2]		Byte 13	Dato2[2]		Byte 13	Dato2[2]	
Byte 14	Dato2[3]		Byte 14	Dato2[3]		Byte 14	Dato2[3]	
Byte 15	Dato3[0]	Variable 3	Byte 15	Dato3[0]	Variable 3	Byte 15	Dato3[0]	Variable 3
Byte 16	Dato3[1]		Byte 16	Dato3[1]		Byte 16	Dato3[1]	
Byte 17	Dato3[2]		Byte 17	Dato3[2]		Byte 17	Dato3[2]	
Byte 18	Dato3[3]		Byte 18	Dato3[3]		Byte 18	Dato3[3]	
Byte 19	Dato4[0]	Variable 4	Byte 19	Dato4[0]	Variable 4	Byte 19	Dato4[0]	Variable 4
Byte 20	Dato4[1]		Byte 20	Dato4[1]		Byte 20	Dato4[1]	
Byte 21	Dato4[2]		Byte 21	Dato4[2]		Byte 21	Dato4[2]	
Byte 22	Dato4[3]		Byte 22	Dato4[3]		Byte 22	Dato4[3]	
Byte 23	Dato5[0]	Variable 5	Byte 23	Dato5[0]	Variable 5	Byte 23	Dato5[0]	Variable 5
Byte 24	Dato5[1]		Byte 24	Dato5[1]		Byte 24	Dato5[1]	
Byte 25	Dato5[2]		Byte 25	Dato5[2]		Byte 25	Dato5[2]	
Byte 26	Dato5[3]		Byte 26	Dato5[3]		Byte 26	Dato5[3]	
Byte 27	CRC 1	X	Byte 27	Dato6[0]	Variable 6	Byte 27	Dato6[0]	Variable 6
			Byte 28	Dato6[1]		Byte 28	Dato6[1]	
			Byte 29	Dato6[2]		Byte 29	Dato6[2]	
			Byte 30	Dato6[3]		Byte 30	Dato6[3]	
			Byte 31	CRC 1	X	Byte 31	Dato7[0]	Variable 7
						Byte 32	Dato7[1]	
						Byte 33	Dato7[2]	
						Byte 34	Dato7[3]	
						Byte 35	CRC 1	X

Figura 4-26. Comando de envío de medición.

La variable solicitada por la Estación Central se codifica en el byte 6, según se muestra a continuación en la **Figura 4-27**:

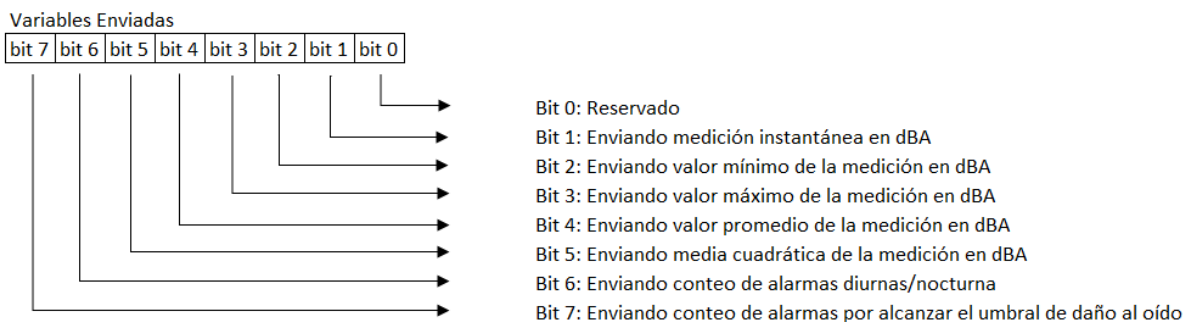


Figura 4-27. Codificación del byte 6.

Luego de recibir una Estación de Medición el comando Enviar Medición, genera la respuesta según la trama esclavo base, y luego del CRC se van colocando de forma consecutiva las variables solicitadas por la Estación Central, cada una con un largo de 4 bytes.

4.6. Bróker MQTT: ThingSpeak

ThingSpeak es un software de código abierto escrito en Ruby que permite a los usuarios comunicarse con dispositivos habilitados para comunicarse por Internet. Facilita el acceso a los datos, la recuperación y el registro de datos al proporcionar una API tanto para los dispositivos como para los sitios web de las redes sociales. ThingSpeak fue lanzado originalmente por ioBridge en 2010 como un servicio de apoyo a las aplicaciones de IoT.

ThingSpeak tiene soporte integrado del software de computación numérica MATLAB de MathWorks, lo que permite a los usuarios de ThingSpeak analizar y visualizar datos cargados usando MATLAB sin necesidad de comprar una licencia de MATLAB de MathWorks.

Una opción interesante de esta plataforma es que nos permite agregar dispositivos que utilicen diferentes protocolos, entre ellos el protocolo MQTT. Una vez agregado el dispositivo, para que este pueda iniciar la conexión, ThingSpeak generará las credenciales, conformadas por 4 parámetros, los cuales deberán cargarse en la configuración de la Estación de Medición correspondiente. Para más detalles visitar <https://la.mathworks.com/help/thingspeak/>.

MQTT Devices / Edit Estacion01

Edit Estacion01

Device Information

Name: Estacion01

Description: Enter optional information about this device for later reference.

MQTT Credentials

Use these MQTT credentials to publish and subscribe to ThingSpeak channels. [Learn More](#)

1 Client ID

2 Username

3 Password

Authorize channels to access ⓘ

-- Select a Channel --

...

Add Channel

Authorized Channel ⓘ	Allow Publish	Allow Subscribe
Estacion 0 (2067453) 4	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

Save Cancel

Figura 4-28. Plataforma ThingSpeak con parámetros indicados.

En la **Figura 4-28** se resaltan con elipses de color rojo los cuatro parámetros en cuestión y se los identifica con un número la **Figura 4-29** se muestra dónde deben cargarse en la aplicación de la estación central cada uno de los parámetros señalados con el mismo número en rojo.

Figura 4-29. Ventana de la aplicación con parámetros de ThingSpeak señalados.

Para cada Estación de Medición deberá agregarse un dispositivo MQTT, y para cada dispositivo MQTT se configuran los campos entregados, en nuestro caso los campos pueden ser: Medición Instantánea en dBA, Valor Mínimo Medido en dBA, Valor Máximo Medido en dBA, Valor Medio Medido en dBA, Valor RMS Medido en dBA, Conteo de Alarmas Diurnas/Nocturnas y Conteo de Alarmas por Umbral de Daño.

Figura 4-30. Configuración de Campos del Canal en ThingSpeak.

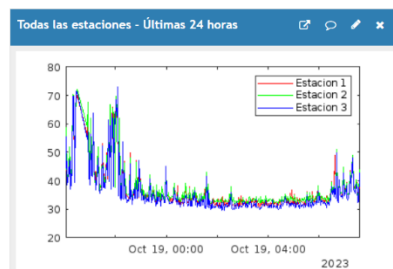
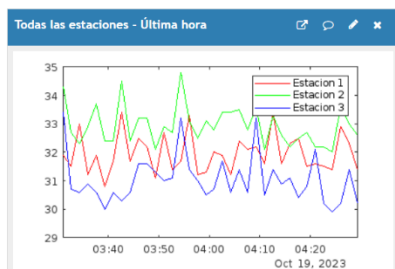
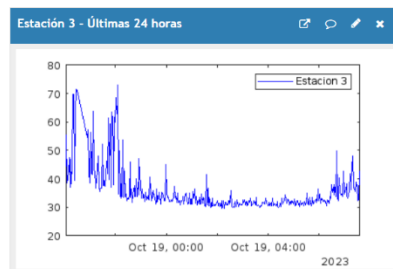
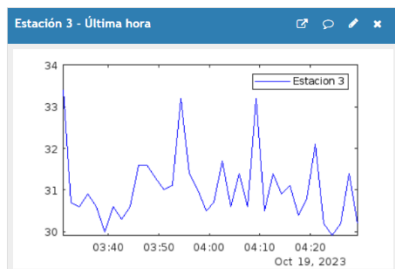
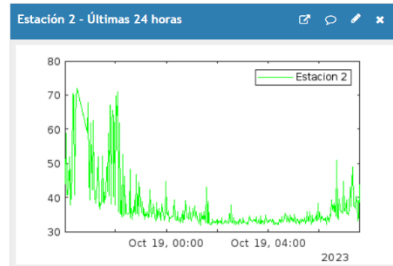
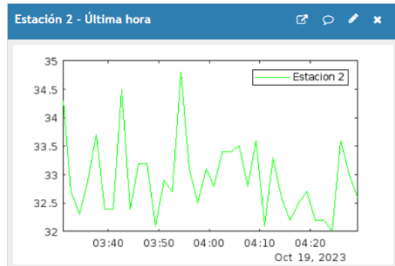
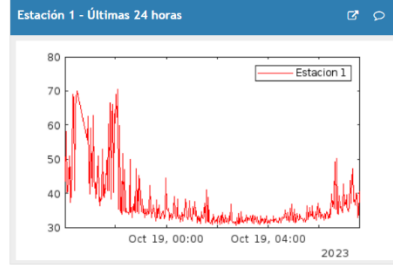
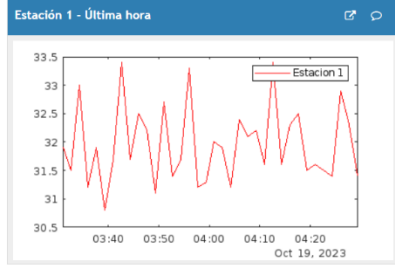
Una vez generados los dispositivos en la plataforma ThingSpeak y cargadas las credenciales en la aplicación de la Estación Central, todas las mediciones serán retransmitidas mediante el protocolo MQTT al bróker MQTT de ThingSpeak, y luego de configurar las visualizaciones, se podrán observar en detalle cada estación en diferentes periodos de tiempo, o todas las estaciones en un solo gráfico, como observa en la **Figura 4-31**.

Estacion 01

Channel ID: 2067453
 Author: mwa000029537156
 Access: Public

Export recent data

MATLAB Analysis MATLAB Visualization



+ Add Visualizations

Add comment

Figura 4-31. Vista de telemetría de una Estación de Medición.

También se pueden generar visualizaciones personalizadas, como se muestra a continuación en la **Figura 4-32**, donde en una sola vista se grafican las mediciones instantaneas, junto a sus valores minimos, maximos, promedio y RMS:

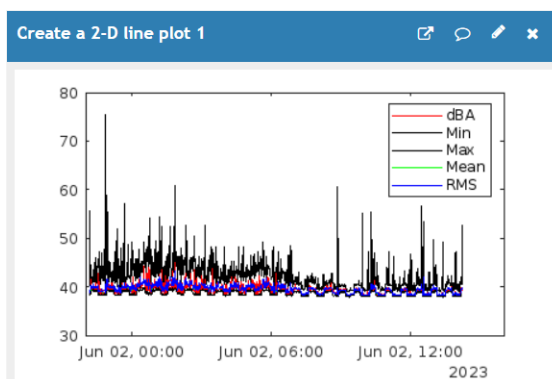


Figura 4-32. Gráfico de todos los valores medidos.

Si bien supera el alcance de este informe, cabe mencionar que la plataforma ThingSpeak al estar integrada con el software MatLab, permite realizar análisis de datos más complejos y presentarlos gráficamente o exportarlos a formatos xml, csv y json.

4.7. Bróker MQTT: Local

Si se dispone de un bróker local, pueden enviarse las mediciones concentradas de una o más Estaciones Centrales, y luego este bróker procesarlas, generar históricos, o actuar como puente hacia otro bróker.

En la aplicación de la Estación Central, se deben ingresar algunos parámetros que se utilizaran en el protocolo MQTT para generar los tópicos que diferenciaran a las diferentes Estaciones de Medición y sus Centrales de Medición de otras. Por ejemplo, si tenemos una sola Estación de Medición, y configuramos el **tópico central** como *HPennaBHI*, y el **mqtt Channel ID** para las Estaciones de Medición como *Estacion01* y *Estacion02*, como se observa en la **Figura 4-34**, se enviará un mensaje por cada valor medido (instantáneo, mínimo, máximo, promedio, RMS, cantidad de alarmas y cantidad de sobrepaso del umbral de daño al oído), y los tópicos de cada mensaje transmitidos desde la Estación Central hacia el bróker serán como los mostrados en la **Figura 4-33**.

Medición transmitida	Tópico para Estación de Medición 1	Tópico para Estación de Medición 2
Medición Instantánea	HPennaBHI\Estacion01\Actual	HPennaBHI\Estacion02\Actual
Valor Mínimo	HPennaBHI\Estacion01\Min	HPennaBHI\Estacion02\Min
Valor Máximo	HPennaBHI\Estacion01\Max	HPennaBHI\Estacion02\Max
Valor Promedio	HPennaBHI\Estacion01\Mean	HPennaBHI\Estacion02\Mean
Valor RMS	HPennaBHI\Estacion01\RMS	HPennaBHI\Estacion02\RMS
Conteo de Alarmas	HPennaBHI\Estacion01\Alarm	HPennaBHI\Estacion02\Alarm
Conteo de sobrepasos del umbral de daño al oído	HPennaBHI\Estacion01\Damage	HPennaBHI\Estacion02\Damage

Figura 4-33. Tópicos según el valor transmitido hacia el bróker local del ejemplo.



Figura 4-34. Configuración para la Estación Central y la Estación de medición del ejemplo.

Si se utiliza en la Estación Central la configuración explicada en el ejemplo anterior, y se la conecta a la misma red ethernet que una computadora en la que se corre la aplicación `mosquitto_sub` en un terminal, se obtienen las lecturas que se muestran en la **Figura 4-35**.

```

Administrador: Windows PowerShell
PS C:\Program Files\mosquitto> .\mosquitto_sub -d -h localhost -p 1883 -t "#" -u operador -P 1111
Client null sending CONNECT
Client null received CONNACK (0)
Client null sending SUBSCRIBE (Mid: 1, Topic: #, QoS: 0, Options: 0x00)
Client null received SUBACK
Subscribed (mid: 1): 0
Client null received PUBLISH (d0, q0, r0, m0, 'HPennaBHI/Estacion01/Actual', ... (4 bytes))
42,9
Client null received PUBLISH (d0, q0, r0, m0, 'HPennaBHI/Estacion01/Min', ... (4 bytes))
42,5
Client null received PUBLISH (d0, q0, r0, m0, 'HPennaBHI/Estacion01/Max', ... (4 bytes))
42,9
Client null received PUBLISH (d0, q0, r0, m0, 'HPennaBHI/Estacion01/Mean', ... (4 bytes))
42,7
Client null received PUBLISH (d0, q0, r0, m0, 'HPennaBHI/Estacion01/RMS', ... (4 bytes))
42,7
Client null received PUBLISH (d0, q0, r0, m0, 'HPennaBHI/Estacion01/Alarm', ... (1 bytes))
0
Client null received PUBLISH (d0, q0, r0, m0, 'HPennaBHI/Estacion01/Damage', ... (1 bytes))
0
Client null received PUBLISH (d0, q0, r0, m0, 'HPennaBHI/Estacion02/Actual', ... (4 bytes))
39,3
Client null received PUBLISH (d0, q0, r0, m0, 'HPennaBHI/Estacion02/Min', ... (4 bytes))
38,3
Client null received PUBLISH (d0, q0, r0, m0, 'HPennaBHI/Estacion02/Max', ... (4 bytes))
39,7
Client null received PUBLISH (d0, q0, r0, m0, 'HPennaBHI/Estacion02/Mean', ... (4 bytes))
39,1
Client null received PUBLISH (d0, q0, r0, m0, 'HPennaBHI/Estacion02/RMS', ... (4 bytes))
39,1
Client null received PUBLISH (d0, q0, r0, m0, 'HPennaBHI/Estacion02/Alarm', ... (1 bytes))
0
Client null received PUBLISH (d0, q0, r0, m0, 'HPennaBHI/Estacion02/Damage', ... (1 bytes))
0
PS C:\Program Files\mosquitto>

```

Figura 4-35. Configuración para la Estación Central y la Estación de medición del ejemplo.

5. Calibración del Sonómetro

5.1. Instrumento de calibración

La calibración se llevó a cabo inicialmente utilizando como instrumento patrón un analizador de sonido y vibración SVAN 958A.

Este dispositivo es un sonómetro de clase I. Un sonómetro de clase I es un instrumento de medición de sonido que cumple con los estándares más exigentes de precisión y exactitud. Estos dispositivos se utilizan para medir el nivel de presión sonora en diferentes entornos, como fábricas, aeropuertos, carreteras y zonas urbanas. Los sonómetros de clase 1 se consideran los más precisos y confiables para la medición del ruido ambiental, se utilizan comúnmente en estudios científicos y mediciones oficiales.

En lo que respecta a la medición de nivel de sonido, este dispositivo con la característica que se observa en la **Tabla 5.1**.

Tabla 5.1. Características Medidor y Analizador de Sonido

Estándar	Clase 1:IEC 61672-1:2013
Modo de Medición	RMS, VDV, MTVV o máximo, Pico, Pico-Pico
Analizador (opcional)	Análisis de 1/1 o 1/3 octava en tiempo real FFT 1600 líneas con ventanas Hanning, Kaiser-Bessel o Plana. Mediciones de espectros cruzados FFT Mediciones de intensidad de sonido
Filtros de Ponderación	A, C, Z y G
Detector RMS	Detector Digital de TRUE RMS con detección de pico, resolución 0,1dB. Constantes de tiempo: Lenta, Rápida, Impulso
Micrófono (opcional)	MK 255, Clase 1, 50 mV/Pa, micrófono de condensador prepolarizado 1/2" con preamplificador SV 12L
Rango de Medición	Rango Rango lineal total dinámico: 16 dBA RMS ÷ 140 dBA Pico-Pico (IEC 61672): 26 dBA RMS ÷ 140 dBA Pico
Rango de Frecuencia	0.5 Hz ÷ 20 kHz (dependiente del micrófono, con micrófono MK 255: 3.5 Hz ÷ 20 kHz)

5.2. Calibración

Los resultados obtenidos en las mediciones de sonido fueron analizados cuidadosamente para determinar la relación entre el nivel de sonido y la frecuencia. Se obtuvieron las curvas que se observan en la **Figura 5-1** en las cuales se puede ver que el sonómetro construido tiene una respuesta similar al patrón, pero que hay que hallar el factor de ajuste.

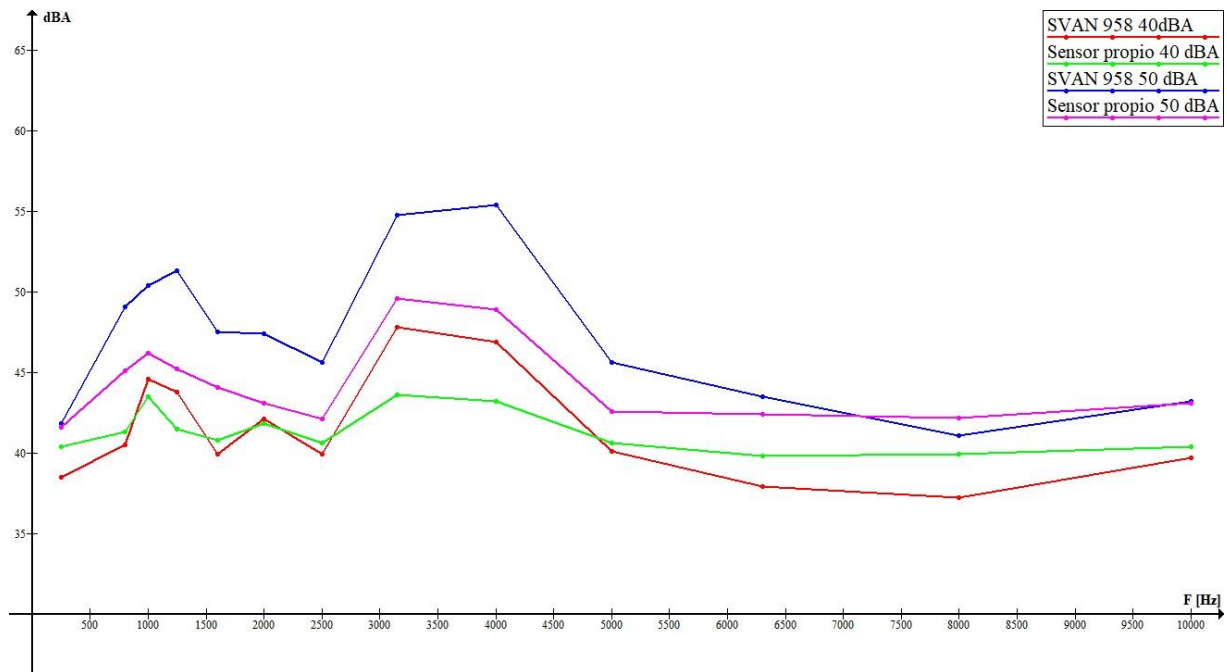


Figura 5-1. Respuesta en frecuencia del instrumento patrón SVAN 958A y el sonómetro bajo ensayo.

Para hallar las variables de ajuste, se evaluaron varias posibilidades: constantes, factores lineales o factores logarítmicos ya que no se lograba que las mediciones del patrón y el dispositivo bajo ensayo sean similares para diferentes intensidades sonoras.

En este punto, se obtuvo el sonómetro Clase II DT-8852 (ver **Figura 5-2**), con el cual nos independizamos parcialmente en lo que respecta a la calibración. Previamente no se habían podido realizar pruebas con niveles bajos de ruido, ya que no se encontraba un ambiente que tenga esta característica dentro de la universidad. Debido a esto, no era posible percatarse de que el nivel de ruido eléctrico proveniente de la fuente de alimentación afectaba las mediciones. El ruido eléctrico tenía una amplitud tal que se detectaba como una fuente sonora de 40dBA, lo que afectaba a las mediciones y posterior calibración. Por ésto se tuvo que aplicar un filtrado de fuente para energizar el amplificador de audio. Una vez superado este obstáculo, se usaron constantes como variables de ajuste.



Figura 5-2. Sonómetro DT-8852.

Se llevaron a cabo experimentos con el objetivo de encontrar los valores de ajuste necesarios para obtener una medición de presión sonora que se asemeje a la de los instrumentos patrones. Una vez logrado lo anterior, se hicieron mediciones para diferentes presiones sonoras y frecuencia obteniéndose las curvas de la **Figura 5-3**, utilizando como instrumento patrón el DT-8852 que tiene una exactitud igual a $\pm 1,4$ dB y un rango que va desde 30 dB hasta 130 dB.

Como se mencionó previamente, este sonómetro pertenece a la Clase II, a esta clase de medidores se los llama de “grado general”, su uso está orientado para trabajo de campo como es la medición de ruido en el trabajo, higiene industrial y ruido de vehículos.

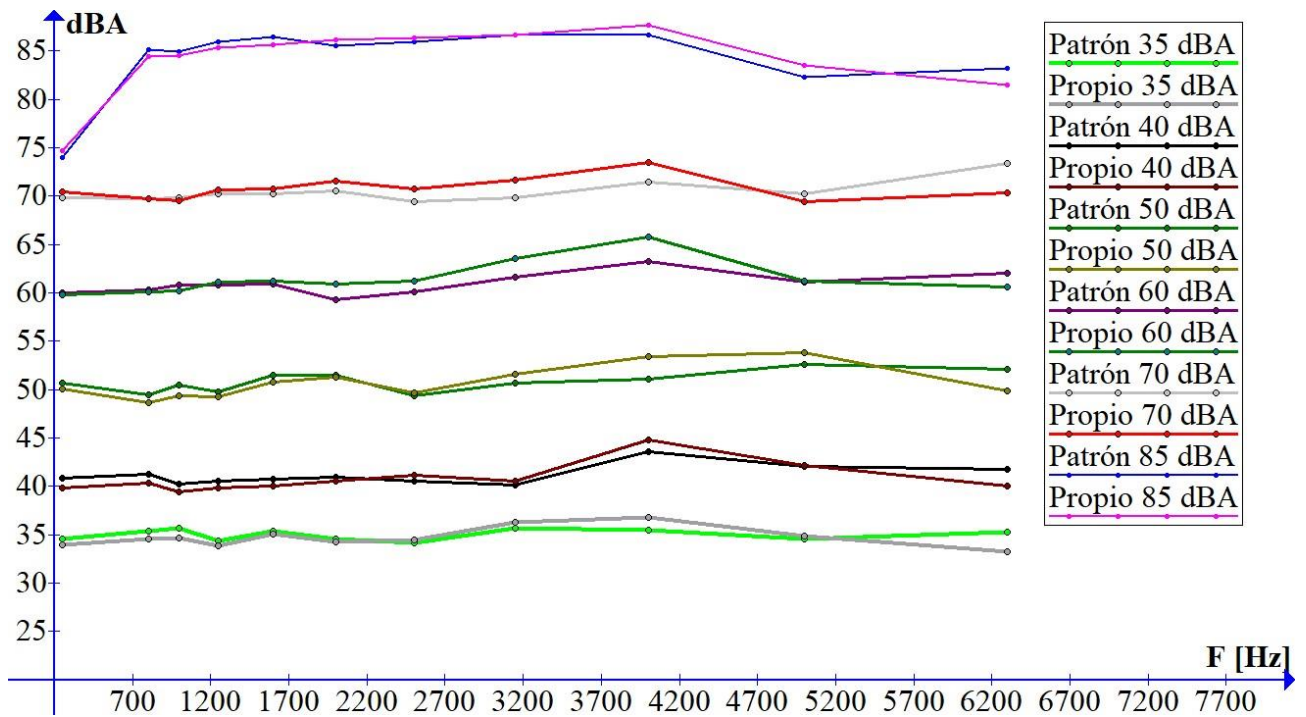


Figura 5-3. Mediciones del instrumento patrón DT-8852 y el instrumento propio.

Nota. “Patrón” hace referencia a la medición obtenida con el instrumento patrón y “Propio” hace referencia a la medición del dispositivo bajo ensayo.

Las gráficas presentadas en la **Figura 5-3** muestran que se obtuvieron mediciones cercanas a las de un sonómetro de clase II en el rango de 33 a 85 dBA. Teniéndose una diferencia máxima de 3,1 dB con respecto a la medición del instrumento patrón. Por lo que puede utilizarse como una referencia válida para conocer la intensidad de sonido de un ambiente.

6. Conclusiones

Hemos visto que los sonidos fuertes representan un problema real, pueden ser causa de estrés y daño auditivo, entre otros, para los neonatos. Podemos decir que el ruido es un problema de manifestación silenciosa, donde el bebé no puede expresar sus molestias y el adulto no puede percibir el sonido de fondo por la atenuación natural del oído, llevando a perder la noción del nivel de ruido en la incubadora.

Existen en el mercado indicadores de ruido que, mediante una serie de luces de colores tipo semáforo, permiten monitorizar y mostrar los niveles de ruido ambientales. Estos instrumentos resultan útiles para identificar los ruidos excesivos y tomar acción para lograr un entorno confortable y saludable, pero no detectan que es lo que ocurre en el ambiente del bebé, es decir, en el interior de la incubadora. Tampoco es una funcionalidad prevista por las incubadoras del mercado nacional.

En tal sentido, el proyecto representa una solución versátil y escalable diseñada con componentes de bajo costo, calibrados con instrumentos patrón de alta precisión. Si bien es necesario realizar una instalación más elaborada, las capacidades de monitoreo in situ, registro de datos y acceso remoto, compensan con creces la inversión.

Respecto al factor económico, es importante tener en cuenta que los sonómetros y medidores de ruido ambientales disponibles en el mercado para uso hospitalario, suelen tener un precio que es aproximadamente más de 10 veces el costo de materiales de nuestro prototipo propuesto.

7. Anexos

Anexo A

Elementos utilizados

7.1. ESP32-S2-Saola-1

La ESP32-S2-Saola-1 es una placa de desarrollo de pequeño tamaño basado en ESP32-S2, producida por Espressif. Esta placa cuenta con un diseño compacto y fácilmente integrable en cualquier proyecto. Su tamaño reducido permite su uso en aplicaciones donde el espacio es limitado. En la **Figura 7-1** se presenta la placa de desarrollo.

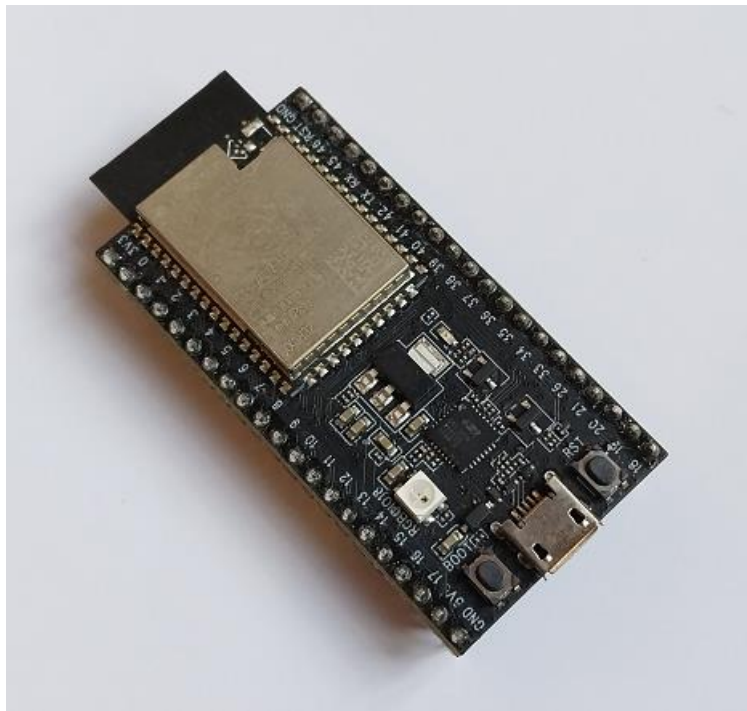


Figura 7-1. Placa ESP32-S2 Saola-1.

7.1.1. *ESP32-S2*

El ESP32-S2 es un microcontrolador de bajo consumo y alta eficiencia energética, diseñado para aplicaciones de Internet de las cosas (IoT) y dispositivos conectados. Tiene las siguientes características.

7.1.1.1. CPU

ESP32-S2 cuenta un procesador de bajo consumo Xtensa 32-bit LX7 con las siguientes características:

- Frecuencia de trabajo de hasta 240 MHz
- Conjunto de instrucciones de 16/24 bits que proporciona alta densidad de código
- Soporte para multiplicador de 32 bits y divisor de 32 bits
- Soporte para 32 interrupciones de seis niveles.
- Soporte para la función de rastreo con el compresor TRAX, hasta 16 kB de memoria de rastreo.
- JTAG para la depuración.

7.1.1.2. Memoria Interna

- **128 KB de ROM:** para el arranque y las funciones centrales.
- **320 KB on-chip SRAM:** para datos e instrucciones, ejecutándose a una frecuencia configurable de hasta 240 MHz.
- **RTC FAST Memory:** 8 kb de SRAM en RTC. Se puede acceder por la CPU principal. Puede retener datos en modo de sueño profundo.
- **RTC SLOW Memory:** Se puede acceder por la CPU principal o el coprocesador. Puede retener datos en modo de sueño profundo.
- **4 Kbit of eFuse:** 1792 Bits están reservados para datos del usuario, como la clave de cifrado y la ID de dispositivo.

7.1.2. Placa de desarrollo Saola-1

La Saola-1 es una placa de desarrollo fabricado por Espressif que incluye un ESP32-S2 y los componentes necesarios para su programación y conexión con dispositivos externos.

La placa incluye dos conectores de 21 pines cada uno para conectar los pines del módulo, así como dos pulsadores (BOOT para programar y RESET para reiniciar), un LED RGB, un puerto micro USB y un LED indicador de encendido.

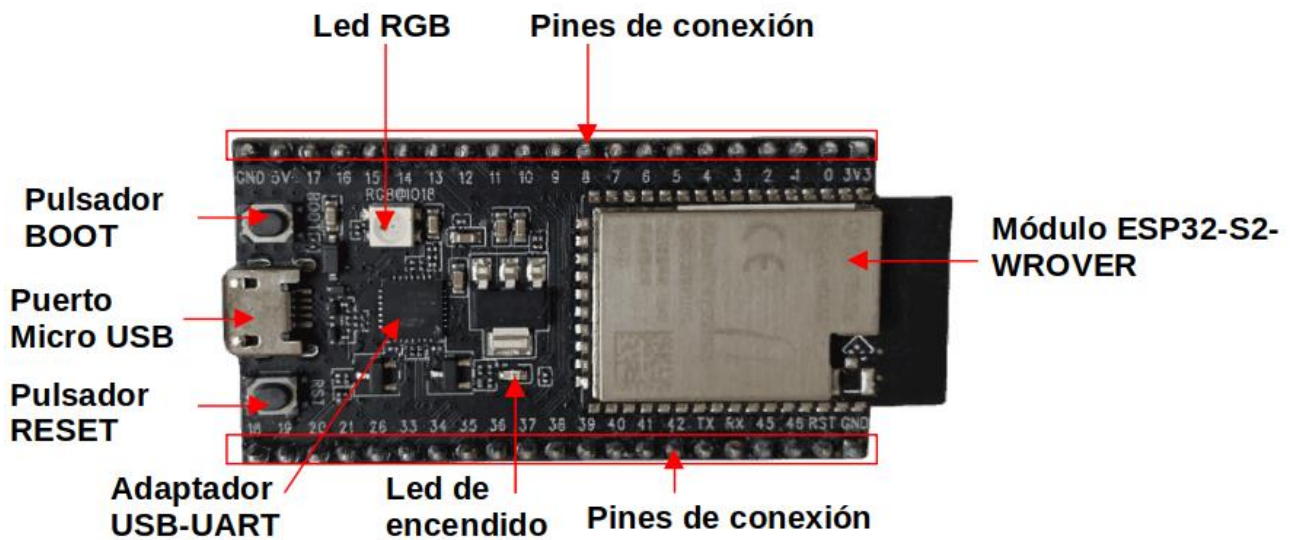


Figura 7-2. Componentes de la Saola-1.

Los componentes clave de la placa se describen en la **Tabla 7.1** (ESP32-S2-Saola-1 - ESP32-S2 - — ESP-IDF Programming Guide latest documentation).

Tabla 7.1. Componentes de la placa de desarrollo Saola-1

Componente	Descripción
ESP32-S2-WROVER	Módulo ESP32-S2 con antena WiFi tipo PCB, 4 MB de memoria externa flash y 2 MB de PSRAM.
Pines de conexión	de Todos los pines GPIO disponibles (excepto el bus SPI para Flash y PSRAM que conectan las memorias Flash y PSRAM internas).
LED encendido	de Se enciende cuando se energiza la placa.
Adaptador USB-UART	Adapta un puerto tipo UART del ESP32-S2 con el conector Micro-USB. Se lo puede emplear para cargar el firmware. Se pueden lograr velocidades de transferencia de hasta 3 Mbps.
Pulsador Reset	de Reinicia la placa
Puerto Micro-USB	Interfaz USB. Fuente de alimentación para la placa, así como la interfaz de comunicación entre una computadora y el chip ESP32-S2.
Pulsador Boot	Botón de descarga. Manteniendo este pulsador presionado y apretando el de RESET inicia el modo de descarga de firmware para descargar firmware a través del puerto serie.

Nota. Adaptado de ESP32-S2-Saola-1 - ESP32-S2 - — ESP-IDF Programming Guide latest documentation por Espressif Systems Co., Ltd, s.f. (<https://docs.espressif.com/projects/esp-idf/en/latest/esp32s2/hw-reference/esp32s2/user-guide-saola-1-v1.2.html>). © Copyright 2016 - 2023, Espressif Systems (Shanghai) Co., Ltd.

7.2. Raspberry Pi 2 Model B

La Raspberry Pi 2 Model B es una pequeña computadora de placa única (SBC) desarrollada por la Fundación Raspberry Pi. Es la segunda generación de la serie Raspberry Pi, en **Figura 7-3**.

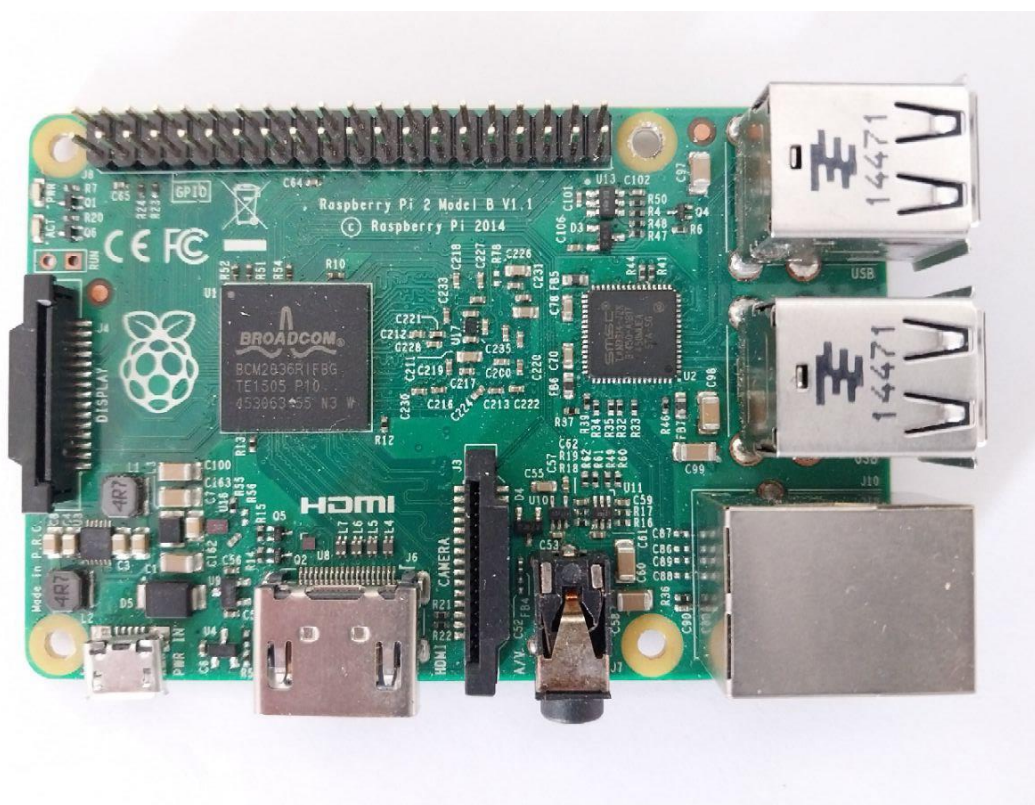


Figura 7-3. Raspberry PI 2 Model B.

Especificaciones técnicas

La Raspberry Pi 2 Model B es una placa compacta pero potente, que ofrece muchas opciones de conectividad y expansión, lo que la hace ideal para proyectos de electrónica y programación.

Tabla 7.2. Características de la Raspberry Pi 2

	Descripción
SoC	Broadcom BCM2836
CPU	ARM11 ARMv7 ARM Cortex-A7 4 núcleos @ 900 MHz
GPU	Broadcom VideoCore IV 250 MHz. OpenGL ES 2.0
RAM	1 GB LPDDR2 SDRAM 450 MHz

USB 2.0	4
Salidas de vídeo	HDMI 1.4 @ 1920×1200 píxeles
Almacenamiento	microSD
Ethernet	Sí, 10/100 Mbps
Pines	GPIO extendido de 40 pines
Salida de audio	Conector de audio de 3,5 mm
Puerto cámara	Puerto de cámara CSI para conectar la cámara Raspberry Pi
Puerto Pantalla	Puerto de pantalla DSI para conectar la pantalla táctil de la Raspberry Pi
Consumo	5v, 900mA, aunque depende de la carga de trabajo de los 4 núcleos de la CPU.

7.3. Módulo Conversor RS485 TTL

Es un módulo conversor que posibilita la creación de una interfaz RS485 a Serial TTL. Su función principal es transformar señales RS485 a señales TTL y viceversa. El dispositivo posibilita la transmisión de datos en modo half-dúplex, utilizando el chip Maxim MAX485 como base.

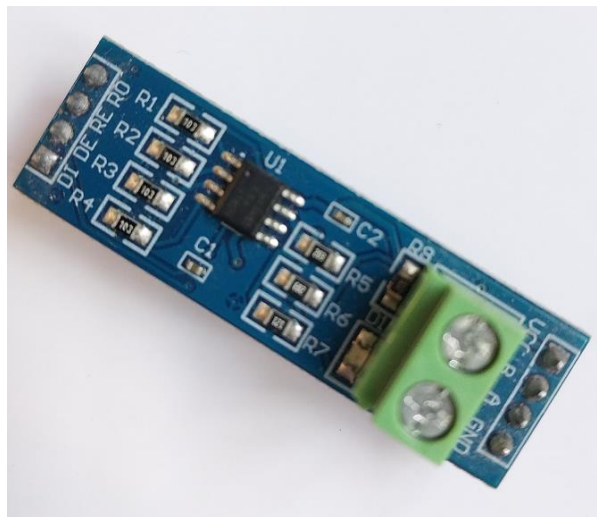


Figura 7-4. Módulo Conversor RS-485 TTL.

Especificaciones Técnicas:

Voltaje de alimentación: 5V DC

- Corriente de operación: 500 uA (máx)
- Chip conversor: MAX485
- Interfaz microcontrolador Serial UART TTL
- Tipo de comunicación: Half-Duplex
- Velocidad máxima de 10 Mbit/s (a 12 metros)
- Distancia máxima de alcance de 1200 metros (a 100 kbit/s)
- Dimensiones: 44*14*20 [mm]
- Peso: 4 gramos

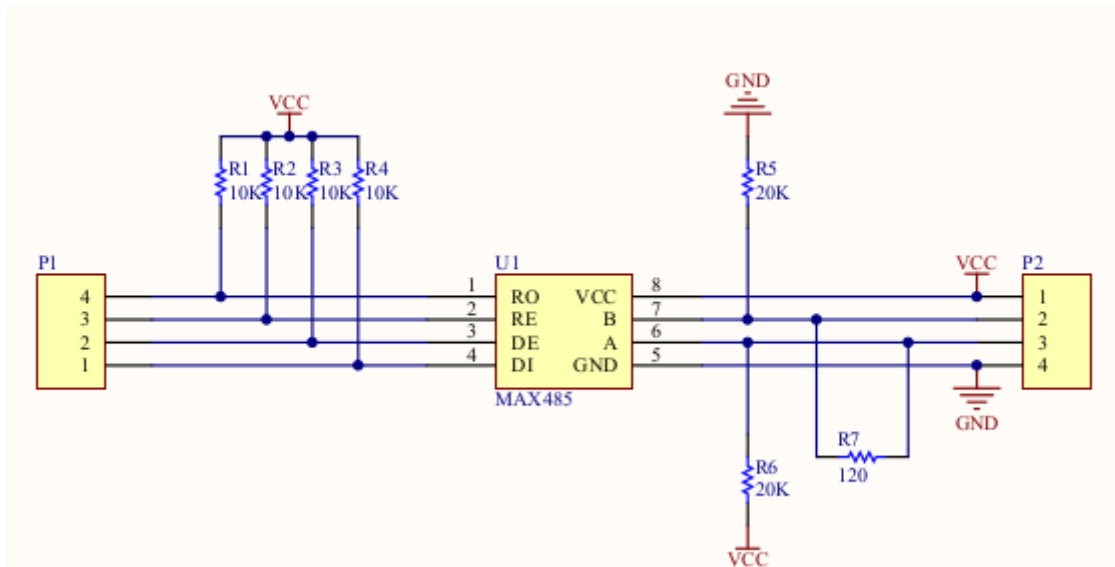


Figura 7-5. Esquemático Módulo Conversor RS-485 TTL.

7.4. Conversor RS-485 a USB

El adaptador convertidor USB a RS485 es una herramienta muy útil para aquellos que necesitan conectar dispositivos serie RS485 a una computadora. Este tipo de conexión es común en sistemas de automatización industrial, control de procesos y equipos de medición.

El adaptador convierte la señal USB en una señal RS485, lo que permite la comunicación entre la computadora y los dispositivos conectados. Además, este adaptador es compatible con diferentes sistemas operativos como Windows, Linux y Mac OS.



Figura 7-6. Adaptador Convertidor USB a RS485.

Especificaciones Técnicas:

- Estándar: RS-485
- Chip principal: FTDI FT232RL
- USB 2.0 compatible con USB 1.0
- Baud rate: Hasta 3000Kbps
- Sistemas operativos soportados: Windows2000,CE,xp,7,8,10, Ubuntu 11.10, kernel 3.0.0-193, Mac OS X 10.3 to 10.8 (32 &64 bit) 4,Mac OS X 10.9 and above(64 bit), Linux.
- Admite EEPROM, admite la reescritura de ID del proveedor, admite mprog.

Anexo B

Ensayo en Servicio de Neonatología

7.5. Compendio fotográfico

Se llevaron a cabo las pruebas en el servicio y en compañía del personal médico se verificó el correcto funcionamiento. A continuación, se muestran una serie de tomas fotográficas realizadas durante el ensayo.



Figura 7-7. Instalación de estación en incubadora Medix PC-305.

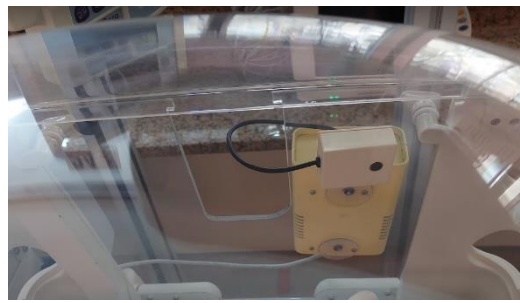


Figura 7-8. Instalación de estación en incubadora Medix Natal Care ST-LX.



Figura 7-9. Instalación de estación en incubadora Medix PC-305.

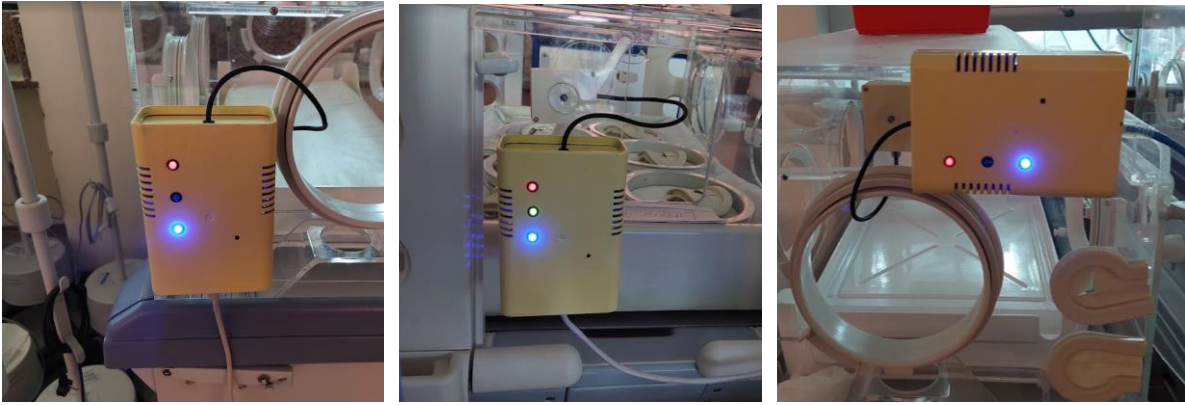


Figura 7-10. Estaciones en operación.



Figura 7-11. Configuración en operación local.

Referencias Bibliográficas

- Antonio, G. G. (19 de marzo de 2018). *Diseño de sonómetro de medición continua con conectividad Wi-Fi*. Obtenido de <http://hdl.handle.net/10662/7204>
- CUIDEVICES. (s.f.). *CMA-4544PF-W*. Obtenido de <https://www.cuidevices.com/product/resource/pdf/cma-4544pf-w.pdf>
- Departamento de Teoría do Sinal e Comunicaci3ns. (s.f.). *Capítulo 1 - Valoraci3n de ruido*. Obtenido de http://gcastro.webs.uvigo.es/PFC/Capitulo_uno_d.htm
- Documentation, Raspberry Pi*. (s.f.). Obtenido de Raspberry Pi hardware: <https://www.raspberrypi.com/documentation/computers/raspberry-pi.html>
- ESP32-S2-Saola-1 - ESP32-S2 - — ESP-IDF Programming Guide latest documentation*. (s.f.). Obtenido de <https://docs.espressif.com/projects/esp-idf/en/latest/esp32s2/hw-reference/esp32s2/user-guide-saola-1-v1.2.html>
- European Environment Agency. (2020). *Environmental noise in Europe, 2020*. Publications Office. Obtenido de Publications Office: <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/ed51a8c9-6d7e-11ea-b735-01aa75ed71a1/language-en>
- Fernández, P., & Cruz, N. (2006). *Efectos del Ruido en Ambiente Hospitalario Neonatal*.
- Flonejek. (2013). *FletcherMunson ELC*. Obtenido de Wikipedia: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:FletcherMunson_ELC.png#/media/File:Sonoridad.png
- Joint Committee on Infant Hearing 1994 Position Statement. (1995). *Pediatrics*, 95(1), 152-156. Obtenido de <https://doi.org/10.1542/peds.95.1.152>
- Mann, N. P., Haddow, R., Stokes, L., Goodley, S., & Rutter, N. (1986). Effect of night and day on preterm infants in a newborn nursery: randomised trial. *BMJ*, 293(6557), 1265-1267.
- Münzel, T., Schmidt, F., Steven, S., Herzog, J., Daiber, A., & Sørensen, M. (2018). Environmental Noise and the Cardiovascular System. *Journal of the American College of Cardiology*, 71(6), 688-697. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2017.12.015>
- Noise: A Hazard for the Fetus and Newborn. (1997). *Pediatrics*, 100(4), 724-727. Obtenido de <https://doi.org/10.1542/peds.100.4.724>
- Pierce, J. R., & Noll, A. M. (1995). *Señales: ciencia de la telecomunicaci3n*. Reverte.
- Raspberry PI. (s.f.). *Buy a Raspberry Pi 2 Model B – Raspberry Pi*. *Raspberry Pi*. Obtenido de <https://www.raspberrypi.com/products/raspberry-pi-2-model-b/?resellerType=industry>
- Saposhkov, M. A. (1983). *Electroacústica*. Reverte.
- Tolocka, E. (2022b). *Usando la placa Saola-1 con ESP32-S2 en Micropython | profe Tolocka*. Obtenido de profe Tolocka | Bits, Volts & KVAr: <https://www.profetolocka.com.ar/2022/03/28/usando-la-placa-saola-1-con-esp32-s2-en-micropython/>
- Townsend K. (s.f.). *Adafruit Learning System*. Obtenido de <https://learn.adafruit.com/assets/4521>
- Uriz, A. J. (2014). *Sistema de medici3n de contaminaci3n sonora*. Obtenido de <http://rinfi.fi.mdp.edu.ar/xmlui/handle/123456789/331>