



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE INFORMATICA Y ELECTRONICA

**CARRERA INGENIERIA EN ELECTRONICA, TELECOMUNICACIONES Y
REDES**

**“DISEÑO DE UN PROTOTIPO MULTIMODAL UTILIZANDO
TECNOLOGÍAS INALÁMBRICAS Y MÓVILES PARA
MONITOREAR EN TIEMPO REAL LA CONTAMINACIÓN
AUDITIVA EN EL CENTRO HISTÓRICO DE LA CIUDAD DE
RIOBAMBA”**

Trabajo de titulación

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERA EN ELECTRÓNICA, TELECOMUNICACIONES Y
REDES**

AUTORA:

YESENIA LISBETH GÓMEZ CHÁVEZ

Riobamba – Ecuador

2022



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE INFORMATICA Y ELECTRONICA

**CARRERA INGENIERIA EN ELECTRONICA, TELECOMUNICACIONES Y
REDES**

**“DISEÑO DE UN PROTOTIPO MULTIMODAL UTILIZANDO
TECNOLOGÍAS INALÁMBRICAS Y MÓVILES PARA
MONITOREAR EN TIEMPO REAL LA CONTAMINACIÓN
AUDITIVA EN EL CENTRO HISTÓRICO DE LA CIUDAD DE
RIOBAMBA”**

Trabajo de titulación

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERA EN ELECTRÓNICA, TELECOMUNICACIONES Y
REDES**

AUTORA: YESENIA LISBETH GÓMEZ CHÁVEZ

DIRECTOR: ING. OSWALDO GEOVANNY MARTÍNEZ GUASHIMA, MSc.

Riobamba – Ecuador

2022

© 2022, Yesenia Lisbeth Gómez Chávez

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Yo, Yesenia Lisbeth Gómez Chávez, declaro que el presente trabajo de titulación es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autora asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 29 de marzo del 2022

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Yesenia Lisbeth Gómez Chávez', with a large, stylized flourish above the name.

Yesenia Lisbeth Gómez Chávez

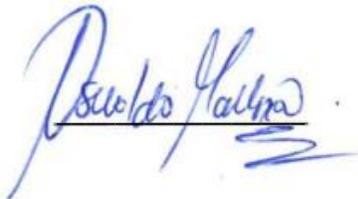
060615641-2

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA

CARRERA INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA, TELECOMUNICACIONES Y REDES

El Tribunal del Trabajo de Titulación certifica que: El trabajo de titulación; tipo: Proyecto Técnico, **DISEÑO DE UN PROTOTIPO MULTIMODAL UTILIZANDO TECNOLOGÍAS INALÁMBRICAS Y MÓVILES PARA MONITOREAR EN TIEMPO REAL LA CONTAMINACIÓN AUDITIVA EN EL CENTRO HISTÓRICO DE LA CIUDAD DE RIOBAMBA.**, realizado por la señorita: **YESENIA LISBETH GÓMEZ CHÁVEZ**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del trabajo de titulación, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. Franklin Geovanni Moreno Montenegro PRESIDENTE DEL TRIBUNAL		2022-03-29
Ing. Oswaldo Geovanny Martínez Guashima DIRECTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN		2022-03-29
Ing. Pedro Severo Infante Moreira PhD MIEMBRO DEL TRIBUNAL		2022-03-29

DEDICATORIA

Cada momento vivido durante estos años de preparación estudiantil, sin duda han sido únicos, por las oportunidades y experiencias que la vida me ha presentado para corregir errores y empezar de nuevo. Dedico este trabajo de titulación a Dios que siempre ha bendecido mi vida estudiantil y personal, con sabiduría, conocimiento y perseverancia para culminar con mi carrera profesional.

A mis amados padres Alberto y Araceli por su apoyo y sacrificio para cumplir con mi sueño, por ser mi inspiración y ejemplo de responsabilidad. A mis hermanos Erika y Jordan por estar presentes en cada etapa de mi estudio y ser mi apoyo incondicional día a día. Realmente todos mis logros se los debo a mi familia por todos los esfuerzos realizados. Por último, dedico también a todos mis maestros, por las enseñanzas brindadas durante mi formación profesional.

A todos ellos dedico este presente trabajo, agradecida por el enorme cariño, amor y paciencia que me han brindado para culminar con este sueño.

Yesenia Lisbeth

AGRADECIMIENTO

Primeramente, el agradecimiento es para Dios, por ser mi guía y mi bendición todos los días de mi vida, por permitirme aprender de las experiencias dentro de mi formación académica en la universidad, la cual me ha convertido en una persona profesional, gracias a mis padres y hermanos por estar presente no solo en esta etapa importante de mi vida, sino en todo momento ofreciéndome lo mejor para cumplir con esta meta.

A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, a la Escuela de Ingeniería Electrónica en Telecomunicaciones y Redes y a cada maestro que hizo parte de este proceso integral de formación por la pacencia y todos los conocimientos impartidos.

Finalmente agradezco a todos mis compañeros de clase durante los niveles de Universidad ya que gracias al compañerismo, amistad y apoyo moral han aportado a mis ganas de avanzar y seguir adelante en mi carrera profesional.

Yesenia Lisbeth

TABLA DE CONTENIDO

INDICE DE TABLAS.....	xi
INDICE DE FIGURAS.....	xii
INDICE DE GRAFICOS.....	xiv
INDICE DE ANEXOS	xv
RESUMEN	xvi
SUMMARY	xvii
INTRODUCCION	1

CAPITULO I

1. DIAGNOSTICO DEL PROBLEMA	2
1.1 Antecedentes	2
1.2 Formulación del problema.....	4
1.3 Sistematización del problema	4
1.4 Justificación del trabajo de titulación	5
1.4.1 <i>Justificación teórica</i>	5
1.4.2 <i>Justificación aplicada</i>	5
1.5 Objetivos	6
1.5.1 <i>Objetivo general</i>	6
1.5.2 <i>Objetivos específicos</i>	6

CAPITULO II

2. MARCO TEORICO.....	7
2.1 Ciudad de Riobamba.....	7
2.2 Estudios realizados en Riobamba sobre la supervisión de contaminación acústica	8
2.3 Contaminación Acústica	9

2.3.1	<i>Definición</i>	9
2.3.2	<i>Causas de la contaminación acústica</i>	10
2.3.3	<i>Efectos en la salud</i>	10
2.3.4	<i>Ruido Ambiental</i>	10
2.3.5	<i>Clasificación del Ruido ambiental</i>	11
2.3.6	<i>Niveles permisibles de Ruido para fuentes fijas y fuentes móviles</i>	12
2.3.7	<i>Niveles permisibles de nivel de presión sonora producido por vehículos</i>	13
2.4	Redes de sensores Inalámbricos	14
2.4.1	<i>Estructura</i>	14
2.4.2	<i>Topologías de Red</i>	15
2.4.3	<i>Comparación de topologías</i>	19
2.4.4	<i>Componentes</i>	19
2.4.5	<i>Interfaces</i>	21
2.4.6	<i>Protocolo de transmisión de datos</i>	22
2.4.7	<i>Factores para considerar en redes de sensores inalámbricos</i>	33
2.5	Sistemas de desarrollo aplicadas a redes de sensores inalámbricos	34
2.5.1	<i>Arduino</i>	34
2.5.2	<i>Raspberry Pi</i>	35
2.5.3	<i>Intel Galileo</i>	35
2.5.4	<i>Libelium – Waspmote</i>	36
2.6	Sensores de ruido	37
2.7	Almacenamiento masivo	37
2.8	Factores que contribuyen al auge de IoT	38
2.9	Interfaz Multimodal	39
2.10	Equipos de medición de ruido	39
 CAPITULO III		
3.	MARCO METODOLOGICO	41

3.1	Situación actual del Centro Histórico de Riobamba	41
3.2	Requerimientos de diseño del prototipo multimodal	41
3.3	Arquitectura del hardware del prototipo multimodal	42
3.4	Módulos del diseño del prototipo multimodal	43
3.4.1	<i>Bloque de entrada</i>	44
3.4.2	<i>Bloque de procesamiento</i>	47
3.4.3	<i>Bloque de salida</i>	49
3.4.4	<i>Bloque de almacenamiento</i>	52
3.4.5	Interfaz de Usuario	55
3.4.6	Bloque de alimentación	57
3.5	Diagrama de Flujo del sistema de monitoreo	58
3.6	Esquema de conexión del prototipo	59
3.7	Simulación del esquema de conexión del prototipo multimodal	60
3.7.1	<i>Esquema de conexión del módulo de transmisión</i>	60
3.7.2	<i>Esquema de conexión del módulo receptor</i>	61
3.8	Implementación	61
3.8.1	<i>Configuración de los dispositivos</i>	62
3.8.2	<i>Protección física</i>	68
3.9	Sectores de medición	69
3.10	Intensidades sonoras	70

CAPITULO IV

4.	ANALISIS Y VALIDACION DE RESULTADOS	71
4.1	Estructura y características del prototipo	71
4.2	Pruebas del funcionamiento de la aplicación móvil desarrollada en App Inventor	72
4.3	Pruebas del funcionamiento de envío de mensajes de texto	72
4.4	Cálculo de tiempo de duración de la batería del sistema	73
4.5	Mediciones realizadas en cada sector	74
4.6	Validación del prototipo	80
4.6.1	<i>Datos comparativos de niveles de ruido</i>	82

4.7	Análisis económico de la implementación del prototipo multimodal	85
	CONCLUSIONES.....	87
	RECOMENDACIONES.....	88
	GLOSARIO	
	BIBLIOGRAFIA	
	ANEXOS	

INDICE DE TABLAS

Tabla 1-2:	Niveles máximos de ruido permisibles según uso del suelo.....	13
Tabla 2-2:	Niveles de presión sonora máximos para vehículos automotores	13
Tabla 3-2:	Ventajas y desventajas de las topologías de red.....	19
Tabla 4-2:	Especificaciones de protocolos de transmisión de datos.....	23
Tabla 5-2:	Esquemas de codificación GPRS	31
Tabla 1-3:	Comparación de características de los sensores de ruido MAX1412 y MAX4466	44
Tabla 2-3:	Especificaciones Técnicas del Micrófono Electret.....	46
Tabla 3-3:	Especificaciones Arduino UNO	49
Tabla 4-3:	Características principales del Módulo SIM800C GSM/GPRS.....	50
Tabla 5-3:	Especificaciones de la Batería Turnigy LiPo.....	57
Tabla 6-3:	Conexión de sensor con Arduino UNO.....	62
Tabla 7-3:	Conexión del módulo Shield GSM/GPRS con el Arduino.....	64
Tabla 8-3:	Configuración APN.	65
Tabla 9-3:	Comandos AT para conectarse al internet.	65
Tabla 10-3:	Comandos AT para enviar SMS.....	66
Tabla 11-3:	Ubicación de sectores.....	69
Tabla 12-3:	Porcentaje de peligro por exposición al ruido.....	70
Tabla 1-4:	Consumo de corriente del prototipo sonómetro.	73
Tabla 2-4:	Mediciones realizadas en el sector del Parque Sucre.....	74
Tabla 3-4:	Mediciones realizadas en el sector de la Plaza Alfaro.	75
Tabla 4-4:	Mediciones realizadas en el sector de la Merced.	76
Tabla 5-4:	Mediciones realizadas en el sector del Parque Maldonado.	77
Tabla 6-4:	Mediciones realizadas en el sector de la Plaza Roja.	78
Tabla 7-4:	Número de veces excedido el valor de ruido.	79
Tabla 8-4:	Porcentaje de error del prototipo con respecto a la aplicación móvil.	81
Tabla 9-4:	Valores promedios de cada sector en los cuatro horarios.....	83
Tabla 10-4:	Promedio de niveles de ruido en días no laborables.	85
Tabla 11-4:	Presupuesto detallando cada elemento que conforman el prototipo.	86

INDICE DE FIGURAS

Figura 1-2:	Ciudad de Riobamba	7
Figura 2-2:	Topología punto a punto.....	16
Figura 3-2:	Topología Estrella	16
Figura 4-2:	Topología Clúster (Árbol).....	17
Figura 5-2:	Topología Malla	17
Figura 6-2:	Topología en Anillo	18
Figura 7-2:	Topología Estrella - Malla.....	18
Figura 8-2:	Componentes de la red de sensores	19
Figura 9-2:	Arquitectura de la Red GSM	27
Figura 10-2:	Arquitectura red GPRS.....	30
Figura 11-2:	Red GSM/GPRS.....	32
Figura 12-2:	Tarjeta Arduino "Uno"	34
Figura 13-2:	Modulo Raspberry Pi	35
Figura 14-2:	Modulo Intel Galileo	35
Figura 15-2:	Tarjeta de desarrollo Waspnote	36
Figura 16-2:	Equipos de medición de ruido	40
Figura 1-3:	Diagrama de bloques del sistema del prototipo multimodal.	42
Figura 2-3:	Esquema general del prototipo multimodal	43
Figura 3-3:	Diagrama esquemático de MAX4466	45
Figura 4-3:	Dispositivo Sensor MAX4466.....	46
Figura 5-3:	Diseño de la tarjeta de desarrollo Arduino UNO.	48
Figura 6-3:	Descripción física de la tarjeta SIM800c GSM/GPRS.....	51
Figura 7-3:	Arquitectura Plataforma IoT.....	52
Figura 8-3:	Interfaz plataforma IoT ThingSpeak.	54
Figura 9-3:	Estructura de App Inventor.	55
Figura 10-3:	Diseño de App Inventor.	56
Figura 11-3:	Editor de Bloques.....	56
Figura 12-3:	Batería Turnigy LiPo.....	57
Figura 13-3:	Diagrama de flujo del funcionamiento del sistema.	58
Figura 14-3:	Esquema de conexión de los elementos del prototipo.....	59
Figura 15-3:	Esquema de conexión del módulo transmisor con nivel 0.	60

Figura 16-3: Esquema de conexión del módulo transmisor con nivel 1.....	60
Figura 17-3: Esquema de conexión del módulo receptor con nivel 1.....	61
Figura 18-3: Esquema de conexión del módulo receptor con nivel 0.....	61
Figura 19-3: Conexión de dispositivos del bloque de entrada.....	62
Figura 20-3: Programación en IDE Arduino.....	63
Figura 21-3: Ranura para colocar el Chip.....	63
Figura 22-3: Colocación de Jumpers en los pines 7 y 8.....	64
Figura 23-3: Plataforma ThingSpeak.....	67
Figura 24-3: Diseño de la pantalla principal de la aplicación.....	67
Figura 25-3: Diseño de la segunda pantalla de la aplicación.....	68
Figura 26-3: Protección física del prototipo.....	68
Figura 27-3: Sectores del Centro Histórico de Riobamba.....	69
Figura 1-4: Estructura interna del prototipo.....	71
Figura 2-4: Visualización de los valores.....	72
Figura 3-4: Mensaje de texto recibido.....	73
Figura 4-4: Mediciones de ruido en el sector del Parque Sucre.....	75
Figura 5-4: Mediciones de ruido en el sector de la Plaza Alfaro.....	76
Figura 6-4: Mediciones de ruido en el sector de la Merced.....	77
Figura 7-4: Mediciones de ruido en el sector del Parque Maldonado.....	78
Figura 8-4: Mediciones de ruido en el sector de la Plaza Roja.....	79
Figura 9-4: Diagrama de flujo de la validación del prototipo.....	80
Figura 10-4: Funcionamiento del prototipo mediante el ingreso manual de ruido.....	81
Figura 11-4: Funcionamiento del prototipo mediante el sensor de ruido.....	82

INDICE DE GRAFICOS

Gráfico 1-4: Sectores con mayor ruido según horario.	84
Gráfico 2-4: Ruido medido durante un día en cada sector.	84

INDICE DE ANEXOS

ANEXO A: Datasheet Modulo SIM800C

ANEXO B: Datasheet Sensor MAX4466

ANEXO C: Programación Arduino para mediciones automáticas

ANEXO D: Programación Arduino para mediciones manuales

ANEXO E: Programación de la aplicación móvil en app inventor

ANEXO F: Base de datos thingspeak de almacenamiento de información

ANEXO G: Fotografías de las pruebas de medición de ruido

RESUMEN

El objetivo de este presente trabajo de titulación fue el diseño de un prototipo multimodal utilizando tecnologías inalámbricas y móviles con el fin de monitorear en tiempo real la contaminación auditiva en el Centro Histórico de Riobamba. La investigación bibliográfica realizada permitió determinar causas y efectos que produce el ruido, siendo el valor límite permisible 80dBm, según la Legislación Ambiental de Secundaria (TULSMA). Se indagó también en las topologías y características de equipos que cumplan con el requerimiento del sistema. El diseño e implementación del prototipo se llevó a cabo mediante una topología estrella, los equipos fueron elegidos por su fácil adquisición y bajo consumo de energía, estos son: sensor MAX4466, Arduino UNO y GSM SIM800C con un chip CLARO. Para el procesamiento virtual se optó por la plataforma Thingspeak y el entorno App Inventor. Este sistema además de medir el ruido posee un método de envío de mensajes de texto, cuando este sobrepase el límite permisible. Para las pruebas se escogieron cinco sectores: Parque Sucre, Plaza Alfaro, La Merced, Parque Maldonado y Plaza Roja, asimismo, se programaron cuatro horarios de 60 minutos cada uno. Posteriormente se realizó un análisis cuantitativo de todos los datos obtenidos en cada sector para validar los resultados de nivel de ruido, además, de verificar la eficiencia de este prototipo con referencia a un sonómetro que fue instalado en un teléfono móvil. Los resultados fueron favorables en relación al funcionamiento del prototipo porque los valores obtenidos se encontraban dentro del rango de los medidos con la aplicación móvil. El sector que presentó mayor ruido durante un día y sobrepasó más veces el nivel límite fue el Parque Sucre. Se recomienda realizar un estudio más profundo sobre los dispositivos para optimar el programa de funcionamiento y garantizar un mejor tiempo de respuesta y desempeño del sistema.

PALABRAS CLAVE: <TECNOLOGIA INALAMBRICA Y MOVIL>, <REDES DE AREA AMPLIA (WAN)>, <RUIDO AMBIENTAL (dBm)>, <LIMITE DE RUIDO PERMISIBLE>, <APLICACIÓN MOVIL DE MONITOREO>, <CENTRO HISTORICO>



Firmado digitalmente por:
**HOLGER GERMAN
RAMOS UVIDIA**

0657-DBRA-UPT-2022

2022-04-12

SUMMARY

The objective of this degree work was the design of a multimodal prototype using wireless and mobile technologies in order to monitor the auditory contamination in real time at the Historic Center of Riobamba. The bibliographical research carried out allowed to determine causes and effects produced by noise, being the permissible limit value 80dBm according to the Secondary Environmental Legislation (TULSMA). It was also inquired in the topologies and characteristics of equipment that accomplish with the system requirement. The design and implementation of the prototype was carried out using a star topology, the teams were chosen for their easy acquisition and low power consumption, these are: MAX4466 sensor, Arduino UNO and GSM SIM800C with a CLARO chip. For the virtual processing, we opted for the Thingspeak platform and the App Inventor environment. In addition to measuring noise, this system has a method of sending text messages, when this exceeds the permissible limit. For the tests, five sectors were chosen: Parque Sucre, Plaza Alfaro, La Merced, Parque Maldonado and Plaza Roja, likewise, four schedules of 60 minutes each were scheduled. Subsequently, a quantitative analysis of all the data obtained in each sector was carried out to validate the noise level results, in addition to verifying the efficiency of this prototype with reference to a sound level meter that was installed in a mobile phone. The results were favorable in relation to the functioning of the prototype because the values obtained were within of measured range with the mobile application. The sector which presented the greatest noise during one day and exceeded more times the limit level was the Parque Sucre. It is recommended to carry out a deeper study about devices in order to optimize the program of operation and ensure better response time and system performance.

Keywords: <WIRELESS AND MOBILE TECHNOLOGY> < WIDE AREA NETWORKS (WAN)> <ENVIROMENTAL NOISE (dBm)> <PERMISSIBLE NOISE LIMIT> <MONITORING MOBILE APPLICATION> <HISTORIC CENTER>.



Firmado electrónicamente por:
**WILSON GONZALO
ROJAS YUMISACA**

MSc. Wilson G. Rojas
NOMBRE Y FIRMA PROFESOR

INTRODUCCION

La modernidad, la industria, la urbanización y el ajetreo cotidiano causan una alta contaminación auditiva en los parajes urbanos. El transporte, la construcción, el acelerado crecimiento poblacional, entre otros, son la principal causa de ruido en las zonas urbanas. Se puede asegurar que todas estas actividades rompen el equilibrio natural y provocan estrés, pues el ruido es todo sonido indeseable que afecta o perjudica a las personas. Hoy en día, el ruido es una de las principales fuentes de contaminación en las grandes ciudades. (Alfie Cohen et al., 2017)

Para Romo Orozco y Gómez Sánchez (2012: 274) las fuentes que provocan ruido pueden dividirse entre aquellas que por sus altos niveles pueden dañar el órgano auditivo y otras que con niveles más bajos pueden molestar y/o afectar la salud psicosomática del individuo. En las ciudades son muchas las fuentes productoras de contaminación auditiva, siendo una de las más importantes el transporte motorizado, principalmente los automóviles, las motocicletas, el tránsito ferroviario y el aéreo. Otras fuentes incluyen las construcciones, las obras públicas, el ruido industrial y el ruido propio de los vecindarios (ruido comunitario). (Alfie Cohen et al., 2017)

Varios estudios médicos muestran que el tráfico vehicular tiene efectos negativos sobre la salud de las personas: el ruido puede generar pérdida de la audición, trastornos del sueño, estrés y enfermedades mentales, a lo que se puede añadir el sedentarismo y obesidad derivados de la dependencia del uso de modos de transporte motorizados. (Ocampo et al., 2018)

En la ciudad de Riobamba, las afecciones respiratorias debidas a la contaminación auditiva han aumentado en los últimos años donde más de la mitad se desarrollaron en el sector urbano.

CAPITULO I

1. DIAGNOSTICO DEL PROBLEMA

1.1 Antecedentes

En los últimos años la humanidad ha pasado por el proceso de avances tecnológicos, científicos y sociales. El crecimiento de los pueblos en ciudades y estos en ciudades más grandes, el aumento de las horas aprovechables durante el día, la interconexión entre ciudades por medios de transporte cada vez más rápidos, los escapes de los vehículos y las áreas industriales situadas cerca de las áreas urbanas son los causantes principales de la contaminación auditiva. (Caicedo Carrera, 2017)

Según un estudio realizado por la Organización Mundial de la Salud (OMS) en mayo de 2016 y actualizado en 2018, la gran parte de las grandes ciudades afrontan este problema. Más del 80% de las zonas urbanas alcanzan niveles de contaminación auditiva muy por encima de los valores aceptables, lo cual ha provocado enfermedades para los habitantes de las zonas. («| DE LA OMS Organización Mundial de la Salud» 2018)

En la ciudad de Barranquilla Colombia en el año 2016, Galyder Vilorio, Johanna Niño y María Calle realizan un sistema de “Red Inalámbrica de Sensores para Monitoreo de Ruido Ambiental”, los mismos que plantean un prototipo de red inalámbrica de sensores que permite medir el nivel de ruido en varios lugares al mismo tiempo. El prototipo planteado contiene un circuito de sensores que poseen errores menores a 6 % comparados con un sonómetro American Recorder Technologies SPL-8810. Por esta razón, el sistema de monitoreo puede diseñarse como una alternativa conveniente para medir ruido ambiental a un bajo costo.(Galyder, Niño y Calle, 2016)

En Ecuador, se ha elaborado un sistema de monitoreo de nivel de ruido ambiental que tiene como objetivo determinar la cantidad de ruido presente en los lugares más críticos, previamente examinados de contaminación auditiva de la ciudad de Ambato. Con el análisis obtuvieron datos recolectados de este sistema los mismos que se utilizaron como apoyo para el departamento de Gestión Ambiental del Gobierno Autónomo Descentralizado de Ambato, con el fin de mantener un análisis minucioso de lugares críticos de la zona central, de forma que los datos tomados periódicamente, permitieron distinguir los niveles de ruido conforme al horario y actividad. Mediante

la evolución tecnológica y la aplicación de un modelo de IoT (Internet of Thing) existe la ventaja de manipular fácilmente los datos, para emplear a variables de contaminación que generalmente aparecen en las ciudades. (Chango C y Ayala E, 2018)

En el año 2018 se realizó un análisis estadístico del ruido ambiental en la zona urbana de la ciudad de Riobamba por parte de un estudiante de la Facultad de Ciencias de la ESPOCH para lo cual utilizó un equipo de medición que cumpla con la normativa implementada en el Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA), en las zonas que generan mayor nivel de ruido ambiental. Como resultado de la evaluación de siete zonas de estudio encontró que el 9,52% de la población evaluada está expuesta a niveles de ruido ligero entre 60,01 a 65dB, el 4,76% expuestos a niveles de ruido molesto de 65,01 a 69dB, el 57,14% están expuestos a niveles de ruido muy molesto de 69,01 a 75dB y el 28,57% de la población evaluada está expuesta a niveles de ruido peligroso que sobrepasan los 75,01 a 80dB. La evaluación realizada en todos los puntos presenta valores de ruido altos y constantes que exceden los límites determinados para cada zona, menciona que la fuente principal de generación de ruido en estos puntos es la gran afluencia de vehículos, buses urbanos, comercialización, trabajos de construcción y otros factores de actividades cotidianas que realizan las personas. (Patín Patín, 2018)

El estudio más reciente elaborado en agosto del 2020 valora los servicios ambientales que el GADM brinda a la ciudad de Riobamba, en el que menciona que la contaminación acústica cada año aumenta en relación que aumenta la población y el desarrollo urbano, y que dentro de la ciudad se identificaron 11 sensores de control de ruido, ubicados principalmente en el centro histórico de la ciudad. El GADM de Riobamba dispone de un reglamento municipal para la regulación del ruido que puntualiza las acciones que son consideradas transgresoras y contaminadoras de ruido; además indica que la sanción existente para infractores oscila entre 3 y 4 Remuneraciones Básicas Unificadas. (Guadalupe et al., 2020)

Considerando que en la actualidad existen herramientas que permiten desarrollar sistemas electrónicos que generan y transmiten información de forma inalámbrica, aparece un término importante en la rama de las telecomunicaciones conocido como Internet-of-Things (IoT) que se define como una red de dispositivos que recopilan e intercambian datos. Los dispositivos conectados poseen componentes electrónicos, sensores y conectividad de red integrados lo cual permite la conectividad y combinación con otros dispositivos de IoT. El tema de monitoreo del ruido es estudiado por varios proyectos de investigación e iniciativas comunitarias, ya que la calidad del

ambiente es una preocupación importante para muchas ciudades del mundo, debido a que en zonas urbanas produce efectos negativos en la salud de las personas que están expuestas diariamente a este conflicto. (Caicedo Carrera, 2017)

La contaminación auditiva en Ecuador ha sido estudiada en varias provincias y ciudades, sin embargo, Riobamba a pesar de ser considerada como una ciudad comercial en la que diariamente se debe tolerar con el tráfico de personas, vehículos y actividad industrial, tiene muy pocos estudios referentes a la medición de ruido ambiental, por lo cual no se puede pasar por alto la valoración del ambiente urbano en esta ciudad.

En el presente proyecto se pretende realizar un prototipo de monitoreo auditivo el mismo que se ubicara en un punto del Centro Histórico de la ciudad de Riobamba, con el fin de medir el nivel de ruido generado en las horas donde existe más tráfico vehicular y analizar como este problema afecta a la salud de los habitantes de la zona.

1.2 Formulación del problema

¿Es favorable el diseño de un prototipo multimodal utilizando tecnologías inalámbricas y móviles que realicen acciones específicas y permitan monitorear el nivel de contaminación de ruido como instrumento de ayuda para la toma de decisiones y así evitar problemas de salud en habitantes de la zona del Centro Histórico de Riobamba?

1.3 Sistematización del problema

- ¿Qué efectos provoca el ruido ambiental a la salud de los habitantes de la zona del Centro Histórico de Riobamba?
- ¿Cuáles son los elementos y equipos apropiados que se ajustan a los requerimientos del sistema de monitoreo auditivo?
- ¿Cuál es la arquitectura adecuada para la interconexión inalámbrica de los dispositivos del sistema?
- ¿Es posible obtener el rendimiento idóneo del prototipo, ubicado en un punto del Centro Histórico de la ciudad de Riobamba donde se probará el funcionamiento correcto del sistema?

1.4 Justificación del trabajo de titulación

1.4.1 *Justificación teórica*

Hoy en día la nueva intervención de El Internet de las cosas (IoT) ha permitido que las ciudades inteligentes avancen hacia un entorno integrado e inteligente, donde IoT se utiliza para interconectar, interactuar, controlar y proporcionar información sobre los diversos sistemas fragmentados dentro de las ciudades.

La gran cantidad de dispositivos interconectados, así como los datos generados por ellos, ofrecen oportunidades sin precedentes para abordar los desafíos urbanos. Estas tecnologías se fusionan con los sistemas urbanos para formar un entorno donde el mundo real y el digital se encuentran y están continuamente en una interacción sinérgica. (Alharbi y Soh, 2019)

El proyecto plantea desarrollar un sistema electrónico que supervise, e informe en tiempo real la evolución del nivel de ruido existente en el punto donde se ubicara el prototipo. La información se registra en una base de datos que permita visualizar esa información y determinar el grado de peligro que éstos representan.

1.4.2 *Justificación aplicada*

Con los avances tecnológicos en computación y telecomunicaciones se ha transformado drásticamente el mundo. Principalmente, el crecimiento de la Internet de las cosas y la computación en nube mejora la calidad de los servicios en las ciudades. (Alharbi y Soh, 2019)

Las ciudades inteligentes se benefician con una supervisión automática del estado del ruido ambiental, permitiendo saber el nivel de contaminación auditiva de las zonas de la ciudad. A través de sensores colocados estratégicamente en puntos específicos, mediante los cuales se obtendrá datos en tiempo real.

Este sistema puede hacer uso de Redes de Sensores Inteligentes con comunicación inalámbrica, que reduce costos y facilita la instalación. Estas redes son escalables y se basan en nodos capaces de obtener información de su entorno, procesarla y comunicarla a largas distancias. (Altamirano y Puente, 2016)

Este trabajo requiere de un control por medio de un dispositivo para determinar la forma de

funcionamiento y las acciones a realizar, esto se puede lograr con el uso de tarjetas de desarrollo ya que la compatibilidad con dispositivos dentro de una red de sensores no presenta ningún problema.

La combinación de estas tecnologías hace factible desarrollar un sistema de monitorización en tiempo real de la contaminación acústica que existe en un punto del Centro Histórico de Riobamba independientemente de su área, para determinar niveles máximos y mínimos de las condiciones del ruido, además de permitir que la información sea visible y esté al alcance de sus habitantes.

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo general

- Diseñar un prototipo multimodal utilizando tecnologías inalámbricas y móviles para monitorear en tiempo real la contaminación auditiva en el Centro Histórico de la ciudad de Riobamba

1.5.2 Objetivos específicos

- Analizar las características, tipos y niveles de potencia del ruido ambiental y su impacto en la salud de los habitantes del sector del Centro Histórico de Riobamba.
- Realizar una investigación y selección de los sensores, tarjetas de desarrollo, tecnologías de comunicación inalámbrica y almacenamiento de datos que se ajusten a los requerimientos del sistema de monitoreo auditivo.
- Estructurar una arquitectura multimodal que permita interconectar de manera inalámbrica los dispositivos del sistema.
- Diseñar el prototipo multimodal basado en tecnologías inalámbricas y móviles para monitorear en tiempo real la contaminación auditiva.
- Evaluar y validar el prototipo en un punto del sector del Centro Histórico de la ciudad de Riobamba.

CAPITULO II

2. MARCO TEORICO

2.1 Ciudad de Riobamba

La ciudad de Riobamba está ubicada a 2.754 metros sobre el nivel del mar. Se localiza a 188 kms. al sur de Quito, Capital del Ecuador, en la Sierra Central, y es la capital de la Provincia de Chimborazo, cuenta con 5 parroquias urbanas y 11 rurales, con una población de 225.741 habitantes. En la Figura 1-2 se observa una fotografía de la ciudad.



Figura 1-2: Ciudad de Riobamba

Fuente: (CIDEU, 2020)

Riobamba posee una estructura arquitectónica de inigualable riqueza histórica conocido como el Centro Histórico de Riobamba, desde el periodo precolonial hasta la llegada de los españoles, quienes dieron origen a la etapa republicana.

El centro histórico es considerado como “*Núcleo urbano original de planeamiento y construcción de un área urbana, generalmente el de mayor atracción social, económica, política y cultural, que se caracteriza por contener los bienes vinculados con la historia de la ciudad, a partir de la cultura que le dio origen, y de conformidad en los términos de la declaratoria respectiva o por determinación de la ley*”.

Entre los bienes más representativos del centro histórico están:

- Iglesias
 - ✓ La Catedral
 - ✓ Inmaculada Concepción
 - ✓ San Alfonso

- ✓ San Felipe
- ✓ Basílica del Sagrado corazón de Jesús
- ✓ San Francisco
- ✓ Templo de La Merced
- Edificios importantes
 - ✓ Teatro León
 - ✓ Colegio Pedro Vicente Maldonado
 - ✓ SRI
 - ✓ Palacio Municipal
 - ✓ La Gobernación
 - ✓ Casa de la Independencia
 - ✓ Correo
- Parques
 - ✓ Sucre
 - ✓ Maldonado
 - ✓ La Libertad
- Plazas
 - ✓ Plaza Alfaro
 - ✓ Plaza Roja de la Concepción

Todas estas zonas del centro de la ciudad, a diario presentan gran congestión vehicular y circulación de peatones, debido a que en sus alrededores se sitúan tiendas, grandes almacenes, oficinas de las autoridades de la ciudad y de las principales empresas, además de sitios de visita turística.

2.2 Estudios realizados en Riobamba sobre la supervisión de contaminación acústica

La ciudad de Riobamba es una ciudad pequeña, pero presenta problemas de contaminación acústica al igual que las grandes ciudades del Ecuador como Quito, Guayaquil y Cuenca, esto debido al desarrollo tecnológico y de sistemas automatizados que son muy importantes porque facilitan la supervisión de zonas afectadas y proporciona un mejor control a ciertas actividades que produzcan altos niveles de ruido en la ciudad.

Entre los trabajos que se han realizado sobre este tema, se menciona una propuesta de la Universidad Nacional de Chimborazo sobre un modelo de gestión de ruido, en el que se realizan mediciones de

ruido con un sonómetro para desarrollar un plan estratégico que permita concientizar a la ciudadanía y trabajar en conjunto con las autoridades para controlar la contaminación acústica presente en la ciudad (Altamirano y Puente, 2016). Una evaluación del nivel de ruido realizado por la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo basándose en la normativa implantada en el libro VI anexo 5, TULSMA, señala que según el uso del suelo (Comercial, Educativo, Residencial Mixta) los niveles de ruido oscilan entre 70 y 75 NPS (dB), los cuales sobrepasan los límites de umbral establecidos por la norma. (Patín Patín, 2018)

Un análisis reciente elaborado sobre este tema en el mes de abril por La Prensa de Riobamba menciona que comerciantes de la zona céntrica de la ciudad, sienten cansancio durante la jornada laboral debido a que varias veces se congestiona el tráfico y los conductores pitan muy fuerte la bocina, también por la gran cantidad de gente que a diario camina por las calles en horarios de 09h00 a 18h00. Por tal razón la ciudad actualmente atraviesa por altos niveles de contaminación acústica.

2.3 Contaminación Acústica

El inicio de la contaminación acústica se dio en las zonas urbanas, y actualmente ha llegado a las áreas rurales. Debido a la gran escala en los últimos años ha incrementado la contaminación, causando daños físicos como psicológicos en los habitantes de las zonas. La Organización Mundial de la Salud (OMS) menciona que el rango máximo permisible de ruido para el ser humano se encuentra entre los 55 a 65 decibelios, dentro de estos valores no provoca problemas audibles. (OMS, 2020)

2.3.1 Definición

La contaminación acústica o auditiva, se considera como el “exceso de sonido que perturba las condiciones normales del ambiente en una determinada zona. Si bien el ruido no se acumula, traslada o mantiene en el tiempo como las otras contaminaciones, también puede causar grandes daños en la calidad de vida de las personas si no se controla bien o adecuadamente”. Los factores que constituyen la contaminación acústica es el sonido y el ruido.

Por parte de la OMS (Organización Mundial de la Salud) menciona que el ruido es un sonido no deseado cuyos efectos provocan una molestia para las personas, ya que están expuestas a sufrir problemas para la salud mental y física.

2.3.2 Causas de la contaminación acústica

Este tipo de contaminación tiene su causa principal en la actividad humana como es natural, debido a algunas variantes como el transporte, la construcción de edificios, obras públicas, la industria, actividades cotidianas entre otras, que generan cantidades de ruido a altos niveles en el desarrollo de su actividad, y por lo tanto interrumpe el bienestar de la población. (Guevara, 2013)

En las ciudades grandes existen diversas fuentes de ruido que contribuyen cualitativa y cuantitativamente al ruido urbano. Entre ellas se encuentran el ruido del tránsito vehicular, el ruido de la industria y el ruido originado en actividades de esparcimiento. (Altamirano y Puente, 2016)

Con respecto a las fuentes de ruido se menciona las principales causas que genera la contaminación acústica en las grandes ciudades como son las siguientes:

- El uso de máquinas industriales (fábricas, industrias etc.)
- Trabajos de construcción.
- Lugares de entretenimiento.
- Hogares de vivienda.
- Obras públicas.
- Medios de transporte terrestre

2.3.3 Efectos en la salud

El alto nivel de ruido causa al ser humano afecciones en la salud clasificadas en tres tipos:

- ❖ Físicos: cardiovasculares, hormonales, respiratorios, sobre el sueño, gastrointestinales.
- ❖ Psicológicos: malestar, alteraciones en el aprendizaje, rendimiento
- ❖ Psiquiátricos.

Estos efectos sobre la audición son acumulativos a lo largo de toda la vida. Algunos factores favorecen el daño celular auditivo y su progresión: hipertensión arterial, dietas ricas en grasas, inhalación de monóxido de carbono, fármacos ototóxicos. (Salud, 2007)

2.3.4 Ruido Ambiental

El Ruido Ambiental es el que está presente en el ambiente exterior y de intensidad mensurable, compuesto usualmente por sonidos de varias fuentes fijas y móviles cercanas y lejanas.

2.3.5 *Clasificación del Ruido ambiental*

2.3.5.1 *Fuente*

➤ **Fuente Emisora de Ruido (FER)**

Toda actividad, operación o proceso que genere o pueda generar emisiones de ruido al ambiente, incluyendo ruido proveniente de seres vivos.

➤ **Fuente Fija de Ruido (FFR)**

Para esta norma, la fuente fija de ruido se considera a una fuente emisora de ruido o a un conjunto de fuentes emisoras de ruido situadas dentro de los límites físicos y legales de un predio ubicado en un lugar fijo o determinado. Ejemplo de estas fuentes son: metal mecánicas, lavaderos de carros, fabricas, terminales de buses, discotecas, etc

➤ **Fuente Móvil de Ruido (FMR)**

Para efectos de la presente norma, se entiende como fuentes móviles de ruido a todo vehículo motorizado que pueda emitir ruido al medio ambiente. Si una FMR se encontrase dentro de los límites de una FFR será considerada como una FER perteneciente a esta última.

2.3.5.2 *Origen*

Por el origen del ruido se mencionan las siguientes:

- **Urbanas:** transporte aéreo, vehículos, trenes, etc.
- **Industriales:** manufactura, comercio, compresoras, etc.
- **Agropecuarios:** animales, maquinaria agrícola, entre otras.
- **Servicios:** restaurantes, discotecas, tiendas, clubs, bares, etc.
- **Domestica:** equipos electrodomésticos, personas, etc.

2.3.5.3 *Decibelio (dB)*

Los decibelios se definen como una medida adimensional en base a logaritmos para permitir representar tanto relaciones muy grandes como muy pequeñas con números fáciles de manejar. El

decibelio (dB) es 10 veces el logaritmo decimal del cociente de dos valores de una variable. (International Centre for Theoretical Physics ICTP, 2010)

La unidad dBm se refiere al hecho que la referencia es un mW, es decir:

0 dBm corresponde por lo tanto a 1 mW.

dBm es definida como la unidad de medida de relación o razón de potencia expresada en decibelios (dB) relativa a un milivatio (mW).

El uso de esta medida generalmente es en redes de radio, microondas, audio y fibra óptica como una medida útil de la potencia absoluta a causa de su capacidad para expresar tanto valores muy grandes como muy pequeñas en forma corta. (International Centre for Theoretical Physics ICTP, 2010)

2.3.6 Niveles permisibles de Ruido para fuentes fijas y fuentes móviles

Con la breve explicación anteriormente realizada, es preciso mencionar que para la realización de una escala logarítmica y no lineal que es susceptible de equivocación, motivo por el cual es necesario diferenciar entre estos dos términos, seguido al tema el autor. (Cabezas, 2016) EXPRESA que por ser una *“escala logarítmica y no lineal se presenta a confundir, hay que tener presente por ello que en esta escala un cambio de 10 dB significa una duplicación intensidad del ruido; así, un ruido de 60 dB tiene el doble de intensidad que un ruido de 50 dB”*.

El Texto Unificado de Legislación Ambiental de Secundaria (TULSMA) LIBRO VI ANEXO 5, manifiesta las diferentes leyes con respecto a los recursos naturales, que trabaja con el objetivo de dar protección a los mismos. Dentro de dicho texto existen secciones, en las cuales se menciona el libro VI que trata específicamente de la calidad ambiental del Ecuador. El libro VI - TULSMA – Anexo 5 establece que los valores permitidos son de 60 dB(A) en periodos de tiempo de 06H00 a 20H00 y 50 dB(A) en periodo de tiempo de 20H00 a 06H00. Tomando en cuenta a procesos industriales, máquinas de trabajo y transporte pesado (personas, carga), el valor máximo permitido se establece en 85dB(A).

Los niveles de ruido permisibles en el país están establecidos en la norma técnica del Anexo 5 del Libro VI (Tabla 1-2). En el documento se establecen los máximos niveles de ruido permisibles emitidos por automóviles, además de la valoración de vibraciones realizadas en edificaciones

Tabla 1-2: Niveles máximos de ruido permisibles según uso del suelo

TIPO DE ZONA SEGÚN USO DEL SUELO	NIVELES DE PRESIÓN SONORA EQUIVALENTE NPS eq [dB]	
	De 06H00 a 20H00	De 20H00 A 06H00
Zona hospitalaria y educativa	45	35
Zona Residencial	50	40
Zona Residencial Mixta	55	45
Zona Comercial	60	50
Zona Comercial Mixta	65	55
Zona Industrial	70	65

Fuente: (TULSMA, 2017)

Realizado por: Gómez, Yesenia, 2021

NPS el nivel de presión sonora, establece la intensidad del sonido que alcanza una persona en un momento dado, se mide en decibelios (dB) y varía entre 0 dB umbral de audición y 120 dB umbral de dolor. El nivel de presión sonora equivalente está medido en decibeles, esto quiere decir que “en el mismo intervalo de tiempo, contiene la misma energía total que el ruido medido”. En áreas rurales, los valores rectificadas que han sido adquiridos en el sitio del receptor no deberán superar los 10 dB.

2.3.7 Niveles permisibles de nivel de presión sonora producido por vehículos

En la Tabla 2-2, se establecen los niveles máximos permisibles de nivel de presión sonora producido por la categoría vehículos.

Tabla 2-2: Niveles de presión sonora máximos para vehículos automotores

Categoría de vehículo	Descripción	NPS Máximo [dBA]
Motocicletas	De hasta 200 cm ³	80
	Entre 200 y 500 c. c	85
	Mayores a 500 c. c	86
Vehículos	Transporte de personas, nueve asientos, incluido el conductor.	80
	Transporte de personas, nueve asientos, incluido el conductor, y peso no mayor a 3,5 toneladas.	81

	Transporte de personas, nueve asientos, incluido el conductor, y peso mayor a 3,5 toneladas.	82
	Transporte de personas, nueve asientos, incluido el conductor, peso mayor a 3,5 toneladas, y potencia de motor mayor a 200 HP.	85
Vehículos de carga	Peso máximo hasta 3,5 toneladas	81
	Peso máximo de 3,5 toneladas hasta 12,0 toneladas	86
	Peso máximo mayor a 12,0 toneladas	88

Fuente: (TULSMA, 2017)

Realizado por: Gómez, Yesenia, 2021

2.4 Redes de sensores Inalámbricos

En los últimos años se ha observado un interés creciente en las redes de sensores inalámbricos para la vigilancia ambiental y la detección urbana. Una red de sensores inalámbricos (WSN) es una red inalámbrica que consta de dispositivos autónomos distribuidos espacialmente que utilizan sensores para monitorear cooperativamente las condiciones ambientales, como la temperatura, el sonido, la presión del aire o la calidad del aire, en diferentes ubicaciones. (Maisonneuve et al., 2009)

Una WSN utiliza una gran cantidad de dispositivos de sensores sencillos y baratos. Los sensores pueden integrarse directamente en el entorno y funcionar de forma continua, lo que permite un seguimiento en tiempo real de los fenómenos medioambientales (o actividades humanas). (Maisonneuve et al., 2009)

2.4.1 Estructura

La estructura de la Red de Sensores se define como una composición de un conjunto de nodos y un nodo coordinador (más simplemente el coordinador, también llamado Gateway). Un nodo recopila información, realiza un preprocesamiento y transmite los datos producidos al coordinador. El coordinador recopila todos los datos de los nodos y los transmite a los servidores para su almacenamiento y procesamiento posterior. (Picaut et al., 2020)

Entre las más comunes variantes son las siguientes:

- La red puede estar formada por varios coordinadores. En este caso, un grupo de nodos identificados transmite los datos producidos a un coordinador específico. Luego, todos los receptores transmiten datos a los servidores. Otra posible opción es considerar que un nodo

puede elegir el coordinador de acuerdo con restricciones particulares, como disponibilidad, proximidad, carga.

- La transmisión de datos de un nodo al receptor se puede retransmitir utilizando uno o más nodos. El nodo actúa entonces simultáneamente como sensor y relé. Esto define una red de sensores de varios saltos, a diferencia de la red de sensores de un solo salto. La gestión de la transmisión de datos desde los nodos a un receptor determinado se rige por protocolos de enrutamiento relativamente complejos que dependen de la topología seleccionada, como topologías punto a punto, en estrella o en malla.
- La transmisión de datos de un nodo a un receptor se puede realizar en modo cableado o inalámbrico. En el último caso, la red se define como una red inalámbrica de sensores acústicos (WASN). Hoy en día, el modo de transmisión inalámbrica es casi la parte principal de las redes de sensores para el monitoreo ambiental. La transmisión de datos desde un receptor al servidor también se puede realizar utilizando uno de estos dos modos de transmisión. Los nodos y coordinadores también pueden incluir simultáneamente varios protocolos de transmisión inalámbrica, donde algunos protocolos se involucran en caso de falla del protocolo principal.
- El tipo de alimentación de los nodos también puede dar lugar a varias variantes: a través de una red eléctrica pública o privada, mediante batería intercambiable, alimentación mediante batería recargable de una fuente de energía renovable externa (solar, eólica).
- También se pueden considerar varias familias de nodos, cada uno con sus propias características técnicas (características de medida, potencia de procesamiento, modo de alimentación). En este caso, estamos hablando de una red de sensores heterogénea, para oponerse a una red homogénea.

2.4.2 Topologías de Red

2.4.2.1 Topologías Punto a Punto

En un diseño de sistema punto a punto, el sistema está organizado con un conjunto de estaciones de trabajo que se comunican a través de una red en la que cada punto puede enviar mensajes directamente a cualquier otro punto como muestra la Figura 2-2. Si solo está disponible una red que

admite mensajes de unidifusión, los pares envían un mensaje de unidifusión a otros pares cuando se actualiza una entidad. (Soparia y Bhatt, 2014)

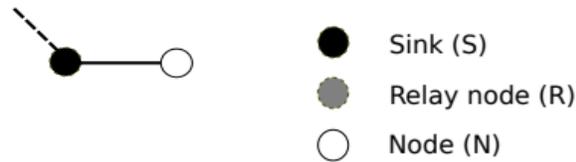


Figura 2-2: Topología punto a punto

Fuente: (Picaut et al, 2020)

2.4.2.2 Topología Estrella

En Star Topology, todos los nodos sensores están conectados a un solo nodo que se puede llamar como un nodo central que funciona como coordinador PAN (Red de área de personal) como indica la Figura 3-2. En esta topología, todas las redes de sensores están en un rango de comunicación directo, es decir, 30-100 metros hasta el nodo central. El coordinador de PAN funciona para manejar las capacidades de toma de decisiones y el enrutamiento.

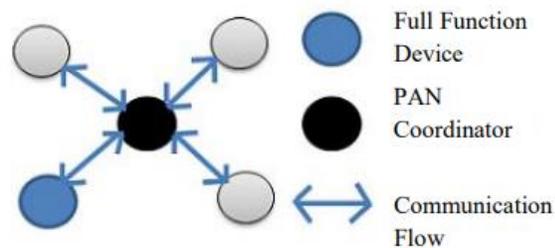


Figura 3-2: Topología Estrella

Fuente: (Soparia et al, 2014)

Los nodos finales no reenvían los datos o la comunicación entre sí, sino que utilizan el nodo central como punto de comunicación. Si el nodo utilizado para la comunicación se colapsa, entonces no afecta a toda la red, sino que solo afecta al nodo en particular. Si el nodo central se bloquea, toda la red de sensores se verá afectada. (Soparia y Bhatt, 2014)

2.4.2.3 Topología Clúster

Este es un caso especial de topología en el que la mayoría de los nodos son dispositivos completamente funcionales como muestra la Figura 4-2. Entre todos los nodos, se especificará un nodo como coordinador PAN debido al cual se puede identificar la red.

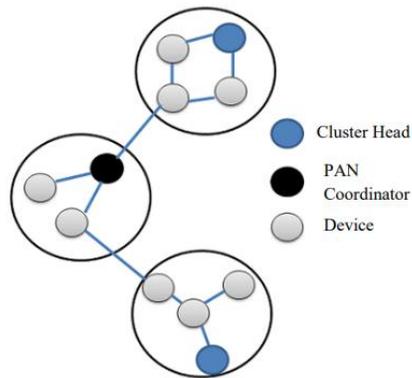


Figura 4-2: Topología Clúster (Árbol)

Fuente: (Soparia et al, 2014)

El primer ID de grupo creado por el coordinador PAN que se designa a sí mismo como un jefe de grupo tiene un valor de identificador de grupo de cero. El coordinador de PAN envía la baliza. El dispositivo que recibe la baliza puede solicitar unirse a la red. Si el coordinador acepta la solicitud, el dispositivo solicitante se agrega como hijo en su lista de vecinos. El dispositivo recién unido agrega el Clúster Head como su padre en su lista vecina. (Soparia y Bhatt, 2014)

2.4.2.4 Topología Malla

La topología de malla es básicamente un sistema de múltiples esperanzas en el que todos los nodos sensores pueden comunicarse con el nodo central, así como entre sí. La propagación de datos a través de la malla permite que una red de sensores se extienda, en teoría el rango se amplía ilimitadamente. La red de sensores tiene una alta tolerancia a fallas, ya que cada nodo de sensor tiene múltiples rutas de regreso al nodo central y otros nodos. Si algún nodo causa una falla, la red se reconfigura automáticamente alrededor del nodo fallado, observe la Figura 5-2. Los problemas principales no están relacionados con la energía y la latencia, pero el problema importante es expandir la red en edificios grandes. (Soparia y Bhatt, 2014)

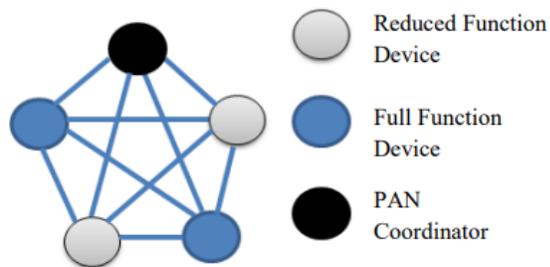


Figura 5-2: Topología Malla

Fuente: (Soparia et al, 2014)

2.4.2.5 Topología en Anillo

Generalmente los mensajes se transmiten en el anillo. Solo los nodos vecinos pueden comunicarse entre sí. Si algún nodo o enlace se rompe durante la comunicación, afectará a toda la red de sensores. Hoy en día, la topología en anillo no se prefiere mucho en las aplicaciones. Una ventaja de esta topología de red de sensores es que no tiene ningún líder (nodo central) como se indica en la Figura 6-2. (Soparia y Bhatt, 2014)

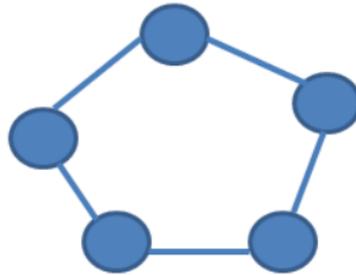


Figura 6-2: Topología en Anillo

Fuente: (Soparia et al, 2014)

2.4.2.6 Topología Estrella – Malla

Esta topología tiene ventajas tanto de la topología en estrella como de la topología en malla. El híbrido estrella-malla organiza los nodos en topología en estrella alrededor de los nodos de malla, que finalmente se convierten en una red de malla. El nodo malla proporciona flexibilidad para expandir el rango de la red y también tolerancia a fallas. Si un nodo falla en la red, se envía el enlace de radio. La hibridación de la red estrella - malla ofrece el más alto grado de movilidad y flexibilidad del nodo sensor para cambios rápidos en la población de la red y el bajo consumo de energía general. Por lo tanto, el híbrido de malla en estrella ha demostrado ser una opción lógica para muchas implementaciones de redes de sensores inalámbricos. La Figura 7-2 muestra esta topología. (Soparia y Bhatt, 2014)

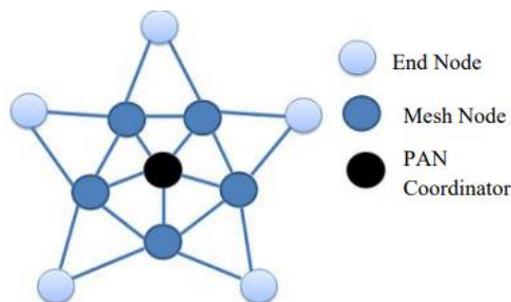


Figura 7-2: Topología Estrella - Malla

Fuente: (Soparia et al, 2014)

2.4.3 Comparación de topologías

Tabla 3-2: Ventajas y desventajas de las topologías de red

TOPOLOGIA	VENTAJA	DESVENTAJA
Punto a Punto	Fácil de configurar y mantener	Capacidad limitada Insegura
Estrella	La falla del nodo no afecta a toda la red	La falla del coordinador causa que toda la red no funcione
Malla	Altamente tolerante a fallas	La topología de malla es muy compleja
Clúster (Árbol)	La falla del nodo no afecta a toda la red	Se deben enviar señales para agregar más nodos
Estrella- Malla	El mayor grado de movilidad y flexibilidad para cambios rápidos	Es muy complejo y requiere mucho esfuerzo para manejarlo que cualquier otra topología.
Anillo	Es muy simple en comparación con otras topologías.	La falla del nodo afecta a toda la red

Fuente: (Soparia et al, 2014)

Realizado por: Gómez, Yesenia, 2021

La Tabla 3-2 simplemente nos resume las ventajas y desventajas de las diversas topologías.

2.4.4 Componentes

Los componentes principales de las redes inalámbricas consisten en una unidad de detección, una unidad de procesamiento, un transceptor y una unidad de potencia como se observa en la Figura 8-2.

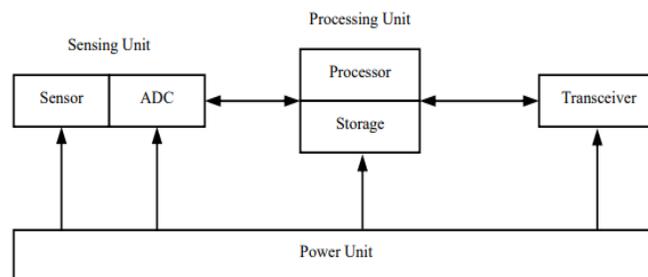


Figura 8-2: Componentes de la red de sensores

Fuente: (Khemapech, et al, 2014)

2.4.4.1 Unidad de detección

La principal funcionalidad de la unidad censora es detectar o medir datos físicos del área objetivo. El voltaje o señal analógica es generado por el sensor correspondiente al fenómeno observado. La onda continua se digitaliza mediante un convertidor de analógico a digital (ADC) y luego se envía a la unidad de procesamiento para su posterior análisis.

La unidad de detección es un cuello de botella de la tecnología actual porque las tecnologías de detección son mucho más lentas que las de los semiconductores.

2.4.4.2 Unidad de procesamiento

La unidad de procesamiento juega un papel importante en la gestión de la colaboración con otros sensores para lograr las tareas predefinidas. Actualmente existen varias familias de esta unidad que incluyen microcontroladores, microprocesadores y matrices de puertas programables en campo (FPGA).

La memoria no volátil y las interfaces como los ADC se pueden integrar en un solo circuito integrado. La unidad de procesamiento necesita almacenamiento para realizar tareas y minimizar el tamaño de los mensajes transmitidos mediante el procesamiento local y la agregación de datos.

2.4.4.3 Transceptor

Hay tres esquemas de comunicación de implementación en sensores que incluyen comunicación óptica (láser), infrarrojos y radiofrecuencia (RF). El láser consume menos energía que la radio y proporciona alta seguridad, pero requiere una línea de visión y es sensible a las condiciones atmosféricas. El infrarrojo, como el láser, no necesita antena, pero tiene una capacidad de transmisión limitada.

La RF es la más fácil de usar, pero requiere antena. Se han desarrollado varias estrategias de reducción del consumo de energía, como la modulación, el filtrado y la demodulación. La modulación de amplitud y frecuencia son mecanismos estándar.

2.4.4.4 Unidad de poder

El consumo de energía es una de las principales debilidades de las redes de sensores. Cualquier esquema de conservación de energía puede ayudar a prolongar la vida útil del sensor. Las baterías utilizadas en los sensores se pueden clasificar en dos grupos; recargable y no recargable. Los sensores

de corriente están desarrollados para poder renovar su energía a partir de energía solar o vibratoria [20,21]. Las baterías alcalinas tienen un amplio rango de voltaje y un gran tamaño físico, mientras que el litio proporciona un suministro de voltaje constante, pero con corrientes de descarga nominales muy bajas. (Khemapech, Duncan y Miller, 2014)

2.4.5 Interfaces

Para permitir el desarrollo de aplicaciones prácticas, la mayoría de las plataformas WSN ofrecen interfaces de sensor analógicas y digitales.

2.4.5.1 Interfaz analógica

Los sensores, como los fotorresistores y termistores simples, o los micrófonos de condensador y giroscopio más complejos, generalmente proporcionan lecturas analógicas. La mayoría de las plataformas WSN o BSN portátiles están equipadas con interfaces ADC para el muestreo y la adquisición de datos.

Por ejemplo, el MCU Atmel Atmega128L tiene un ADC de 10 bits de ocho canales que puede muestrear a una velocidad de hasta 15,4 ksp/s (kilo-muestras por segundo), mientras que el microcontrolador TI MSP430 tiene un ADC de 12 bits, que proporciona una mayor precisión que la del procesador Atmel.

2.4.5.2 Interfaz digital

Dado que las lecturas analógicas son propensas a la deriva de voltaje causada por el agotamiento de la energía de la batería, los sensores como la unidad de movimiento inercial de 9 ejes MPU-9150 proporcionan lecturas digitales directas. Como los datos de los sensores son de tamaño relativamente pequeño, la comunicación en serie se utiliza principalmente para interactuar con sensores digitales, y los tres protocolos de comunicación en serie más utilizados son I2C, SPI y UART.

2.4.5.3 Sensores integrados

Para facilitar el desarrollo de aplicaciones, muchas plataformas WSN o BSN portátiles tienen sensores integrados, como sensores de humedad, temperatura, inerciales, magnéticos y fotosensores. Con un diseño de placa de sensor integrado, la plataforma de hardware se puede hacer más compacta e inmune al ruido inducido por cables y conectores. Sin embargo, la integración de sensores en las

plataformas de hardware puede limitar el uso general de las plataformas, ya que diferentes aplicaciones pueden tener diferentes requisitos de sensores. (Lo y Yang, 2014)

2.4.6 Protocolo de transmisión de datos

En una red de sensores inalámbricos, la comunicación se realiza a través de ondas electromagnéticas que permite efectuar el proceso de transmisión y recepción de información entre ellos y con los demás dispositivos que conforman la red. Las tecnologías inalámbricas se usan para la conexión con el fin de evitar la utilización de un canal físico.

Las mediciones pueden requerir una frecuencia muy alta, lo que induce a transmitir una gran cantidad de datos. Por el contrario, una integración temporal de la señal de audio no genera una enorme cantidad de datos a transmitir. (Picaut et al., 2020)

2.4.6.1 Tecnología WSN

Se puede considerar varias tecnologías para el proceso de transmisión de datos, que permiten posibles soluciones, dependiendo del compromiso de rango / velocidad de datos que se espera para las redes de sensores. En la Tabla 4-2. se observa las características de los distintos protocolos de transmisión.

Las velocidades de datos en la Tabla 4-2 indican que las tecnologías LPWAN como LoRaWAN y Sigfox no permitirían transmisiones de datos con una eficiencia suficiente. Incluso para LoRaWAN, la velocidad de datos máxima es más alta que la velocidad de datos útil debido a la sobrecarga del protocolo. En términos de velocidad de datos, los protocolos Wi-Fi y Bluetooth serían más eficientes, pero la duración de la batería será demasiado limitada para una aplicación sin energía constante y para una cobertura eficiente de un área urbana. Zigbee y 6LoWPAN, basados en la especificación 802.15.4, presentan tanto el rango máximo como las velocidades de datos que son compatibles con el ruido en la red de sensores. (Picaut et al., 2020)

Tabla 4-2: Especificaciones de protocolos de transmisión de datos

Protocolo	Bluetooth	Bluetooth LE	Wi-Fi	Wi-Fi	Zigbee and 6LoWPAN	LoRaWAN	Sigfox
Especificación	802.15.1	802.15.1	802.11g	802.11n	802.15.4	LoRa Alliance	Sigfox
Frecuencia	2.4 GHz	2.4 GHz	2.4 GHz	2.4 GHz 5 GHz	868 MHz (EU) 915 MHz (US) 2.4 GHz	Sub-GHz ISM band 868 MHz in EU	Sub-GHz ISM band 868 MHz in EU
Alcance interior (m)	30	10	25	50	30	>100	>100
Rango máximo (m)	100	50	75	125	1500	>10000	>10000
Velocidad de datos máxima	3 Mbit/s	1 Mbit/s	54 Mbit/s	540 Mbit/s	250 kbit/s	11 kbit/s	100 bit/s
Tipo de velocidad de datos	2.1 Mbit/s	270 kbit/s	25 Mbit/s	200 Mbit/s	150 kbit/s	300 – 11 kbit/s	100 bit/s
Corriente pico	150 mA	20 mA	150 mA	150 mA	50 mA	25 mA	25 mA
Corriente	5 mA	1 μ A	100 μ A	100 μ A	5 μ A	4 μ A	4 μ A
Duración de la batería	Mes	Año	Día	Día	Mes / Año	Años	Años
Topología de red	Estrella	Estrella	Estrella		Estrella, árbol, malla	Estrella	Estrella
Aplicación	Auriculares Periféricos de computadora	Teléfonos móviles Rastreadores deportivos y dispositivos de salud Sensores inalámbricos	PC (red) WLAN	Igual que 802.11g con rendimiento mejorado LAN exterior	Hogar inteligente Redes de sensores inalámbricos Medición inteligente	Edificio inteligente Smart city	Edificio inteligente Smart city

Fuente: (Picaut et al, 2020)

Realizado por: Gómez, Yesenia, 2021

2.4.6.2 *Tecnología Móvil*

En este modelo de redes móviles se auto organizan para establecer una red que use sus interfaces inalámbricas, sin necesidad de un requerimiento de infraestructura preinstalada.

Estas redes admiten un gran número de clientes y además que los nodos estén en todas partes (densos y activos). (Gonzales A, 2012: p.3)

La tecnología móvil a lo largo del tiempo ha ido presentando algunos avances que se detallan a continuación:

- Primera generación (1G)

Entre los sistemas que dieron origen a la tecnología móvil son: TACS, AMPS, NMT, NAMT, conocidos también como la primera generación, por ser analógicos. Los terminales de estas tecnologías eran de cobertura limitada para grandes ciudades y avenidas principales, además transmitían únicamente voz y carecía de compatibilidad con redes de distintos países.

- Segunda generación (2G)

Aparecen los sistemas conocidos como segunda generación que son: GSM, CDMA, TDMA, PDC, que son sistemas digitales, los cuales disminuyen la dimensión de los extremos, permitiendo mayor cobertura y logrando de esta manera transmitir datos, pero a velocidades pequeñas, se agrega también el envío de mensajes SMS que son utilizados hasta la actualidad, además de la gran compatibilidad entre las diferentes redes nacionales. (Jose y Sbani, 2008)

- Generación 2.5G

Algunas empresas proveedores de servicio de telecomunicaciones trabajan con las redes 2.5G debido a su rapidez y bajo costo, esto antes de actualizar sus redes a 3G. Las redes 2.5G entre sus características ofrece mayor capacidad de cobertura con respecto a las redes 2G, soportan mayor ancho de banda y permiten transmisión de datos, además de la voz, estos sistemas son: GPRS, HSCSD, EDGE, entre otros. Los sistemas 2.5G son la base para la generación 3G.

- Tercera Generación 3G

La evolución a las redes 3G ha permitido definir sus principales características que es la convergencia de voz y datos con acceso inalámbrico a internet, es decir que esta tecnología es ideal para aplicaciones multimedia y altas transmisiones de datos.

Los protocolos que usa el sistema 3G son capaces de soportar altas velocidades de información, además están orientados para aplicaciones de audio (mp3), video en movimiento, videoconferencia y rápido acceso a internet. Esta generación tiene la capacidad de albergar a una gran cantidad de usuarios.

- Cuarta generación 4G

La tecnología 4G utiliza el estándar UMTS para transmitir información a velocidades de 100Mbps, permitiendo el acceso ilimitado a la información sin tomar en cuenta el tamaño del archivo, se basa en un sistema IP y red de sensores logrando convergencia entre redes de cable o redes Wireless, dispositivos electrónicos entre otras. Esta tecnología mantiene la calidad de servicio QoS de punto a punto para asegurar la fiabilidad de los servicios. (Giraldo, 2013)

Estos avances tecnológicos de las telecomunicaciones permiten utilizar redes de comunicaciones convencionales para la transmisión de datos, además con el avance de la internet y los equipos electrónicos se define el medio ideal para la transmisión de datos (variables del proceso) del sistema de generación de energía solar fotovoltaica. (Segura y Posso, 2015)

2.4.6.3 *Estándar GSM (Sistema Global de comunicaciones móviles)*

- **Definición**

El sistema GSM conocido anteriormente como "*Group Special Mobile*", se da a inicios del siglo XXI, se lo conoce como estándar de segunda generación 2G porque la comunicación se da en modo digital. Es un estándar mundial abierto, no propietario y evolutivo, fue creado por CEPT y consecutivamente desarrollado por ETSI como estándar para teléfonos móviles. (Segura y Posso, 2015)

El sistema de comunicación GSM está basado en el uso de celdas digitales, para intervenir en el desarrollo de sistemas móviles y que fuese compatible con servicios existentes y futuros sobre ISDN.

GSM digitaliza y comprime los datos con información del usuario y los envía por medio de un canal, cada uno de ellos en su propia ranura de tiempo. Trabaja en bandas de frecuencia de 900 MHz o de 1800 MHz llamada DCS, hoy en día hay operadoras que trabajan con redes de las dos frecuencias, también existen redes de 1900MHz y las más actual 850Mhz. (Espín y Maldonado, 2008)

La tecnología GSM ofrece:

- Movilidad internacional
- Variedad de servicios como: telefonía, transferencia de datos, fax, mensajes cortos de texto de hasta 160 caracteres.
- Tasa de transferencia de 9.6 kbps
- Se acerca a los requerimientos de un sistema de comunicaciones personales

- **Ventajas y beneficios de GSM**

GSM posee ventajas en cuanto al usuario y al operador:

- **Cobertura:** GSM está disponible en todo el mundo, por lo tanto, los clientes tienen acceso constante a servicios de voz de alta calidad y servicios en su lugar de residencia.
- **Calidad de voz:** Proporciona claridad y menor interferencia en llamadas.
- **Selección:** dispositivos con diversas funciones y precios, debido a la gran cantidad de clientes que requieren volúmenes de terminales.
- **Flexibilidad:** Por el uso de la tarjeta SIM, los clientes tienen la ventaja de cambiar con facilidad el dispositivo GSM manteniendo el servicio de suscripción y el mismo teléfono. La flexibilidad de la tarjeta SIM permite que las redes de datos basadas en GSM, tales como las GPRS, sean interesantes para diversas aplicaciones de datos (por ejemplo, telemetría).
- **Servicios innovadores:** La tecnología GSM inicia los servicios más utilizados en el mundo; ejemplo el SMS mensaje de texto y capacidad de itinerancia de GSM en el que los usuarios ingresan a sus servicios preferidos durante su viaje.
- **Economía:** GSM está disponible en muchos países, por lo cual requiere de un gran volumen de dispositivos e infraestructura, razón por la que atrae a proveedores y desarrolladores de aplicaciones al tiempo que reduce los costos.
- **Capacidad de actualizarse:** GSM es el primer paso de una migración fluida, flexible y costo-efectiva a 3G.
- **Eficiencia:** GSM maneja el espectro de forma eficiente y proporciona siete veces mayor capacidad que la tecnología EDGE, brinda un aumento adicional de casi tres veces más llamadas de voz simultáneas que la tecnología GSM básica.

- Arquitectura GSM

El sistema está formado por una red de radio-celdas contiguas para dar cobertura a una determinada área de servicio. Cada celda posee una BTS que funciona con un grupo de canales diferentes de los utilizados por las celdas adyacentes para administrar la distribución de los recursos. La Figura 9-2 presenta el conjunto de BTSs que es controlado por una BSC, que a su vez son controladas por una MSC, la misma que se encarga de enrutar las llamadas hacia y desde redes externas ya sean públicas o privadas. El MSC corresponde a un Subsistema de conmutación de red (NSS) que se encarga de la gestión de las identidades de los usuarios, su ubicación y el establecimiento de comunicaciones con otros usuarios. (Segura y Posso, 2015)

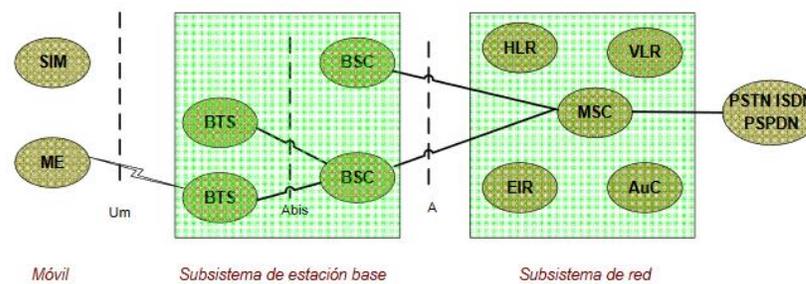


Figura 9-2: Arquitectura de la Red GSM

Fuente: (Espín, Maldonado, 2008)

SIM: Módulo Identificador de Cliente.

MSC: Centro de Conmutación de Móviles.

HLR: Registro de Localización de Clientes.

BTS: Transmisor de Estación Base.

AuC: Centro de Autenticación

BSC: Controlador de Estación Base

VLR: Registro de Identificación de Visitantes

ME: Equipo Móvil

EIR: Registro de Identificación de Móviles

Los subsistemas de la arquitectura de GSM se detallan a continuación:

- **Equipo móvil:** Es el terminal y la card SIM, que permiten movilidad, de esa manera el cliente con esa tarjeta puede acceder a la red desde cualquier terminal. La protección de la SIM contra el uso no autorizado se lo realiza mediante el uso de password o número de identificación personal. El terminal se identifica de forma inequívoca mediante el IMEI.

- **Base Transceiver Station (BTS):** La BTS cumple con la principal función de proveer un número de canales de radio a la zona a la que da servicio. Una BTS con un transceptor y con codificación “full rate” proporciona 8 canales en el enlace radio, uno de los cuales se utiliza para señalización. Con una codificación "half rate" el número de canales disponibles se duplica.
- **Base Station Controller (BSC):** Este subsistema BSC cumple como primera función el mantenimiento de la llamada y adaptación de la velocidad del enlace de radio al estándar de 64Kbp/s utilizado por la red. Durante una llamada en GSM, la estación móvil está constantemente escuchando a un grupo de estaciones base y anunciando a la BSC de la calidad de la señal con que está trabajando. Este proceso permite a la BSC definir el momento de iniciar un “Handover” y a que celda. El termino Handover se refiere a que la llamada se mantenga en curso sin interrupciones. La BSC controla a su vez la potencia de trabajo de la estación móvil para menorar la interferencia producida a otros usuarios y aumentar la duración de la batería.
- **Mobile Switching Centre (MSC):** En el sistema GSM la parte más importante es el MSC porque es el centro de control de llamadas, se encarga del establecimiento, conmutación y terminación de cualquier llamada, interviene en los servicios suplementarios y handover entre MSCs, adicionalmente cumple con la función de recoger información útil para realizar la tarificación.
- **Home Location Register (HLR):** Este subsistema HLR contiene información de estado de cada usuario asignado al mismo, así como también la información sobre la posible área visitada.
- **Visitor Location Register (VLR):** El VLR es el subsistema que contiene la información de estado de todos los usuarios que en un cierto instante son registrados dentro de su zona de influencia, la información del VLR es solicitada y obtenida de los datos comprendidos en el HLR del que depende el usuario. Esta información está relacionada al estado activo o desactivo del usuario, para evitar retardos y consumo de recursos innecesarios en el momento en que esta apagada la estación móvil.
- **AuC (Authentication Center):** Este subsistema contiene claves y algoritmos de verificación para admitir el acceso de un usuario a una red telefónica. Lleva a cabo el proceso de

autenticación. La tarjeta SIM es la que contiene una llave especial, y la copia de esta se almacena el AuC. (Espín y Maldonado, 2008)

Este sistema de comunicación formado de esta manera está diseñado para permitir movilidad a través de la gestión de trasposos (movimientos que se realizan de una celda a otra).

Por lo tanto, el concepto de las redes GSM admiten el termino roaming: que es el movimiento desde la red de un operador a otra. (Segura y Posso, 2015)

2.4.6.4 Estándar GPRS (*Servicio General de Paquetes de Radio*)

- **Definición**

Este estándar GPRS pertenece a la generación 2.5, se encuentra entre la segunda generación GSM y la tercera UMTS. Provee altas velocidades de transferencia de datos y es usado en las redes GSM, gestiona cuatro canales simultáneos de recepción y dos de transmisión, alcanzando velocidades de 9,6 Kbps en GSM a 40 Kbps en la etapa de recepción de GPRS y 20 Kbps de transmisión. (Segura y Posso, 2015)

GPRS tiene nuevas características que no posee el estándar GSM y que se pueden clasificar en los siguientes tipos de servicios:

- Servicio de punto a punto (PTP): es la capacidad de conectarse en modo cliente-servidor a un equipo en una red IP.
- Servicio de punto a multipunto (PTMP): constituye la capacidad de enviar paquetes a un grupo de destinatarios (Multidifusión).
- Servicio de mensajes cortos (SMS)

La tarificación por parte del operador de telefonía móvil sólo se produce por la información transitada, no por el tiempo de conexión. Esto permite que un dispositivo móvil que se conecta a la red y permanece conectado durante un periodo prolongado de tiempo no afecte en gran medida a la cantidad facturada por el operador.

- **Arquitectura**

La arquitectura de la red GPRS es similar al de la red GSM, pero añade nuevos nodos de red llamados GSN ubicados en una red de transporte.

GPRS está basado en un BSS (Base Station Subsystem) GSM evolucionado, como se presenta en la

Figura 10-2.

Una MS en GPRS se ordena conforme a sus capacidades para soportar diferentes modos de operación simultáneamente para GSM y GPRS:

- **Clase A:** La MS resiste uso simultáneo de servicios GSM y GPRS (asociación, activación, monitoreo, transmisión, etc.), y logra establecer o recibir llamadas en los dos servicios simultáneamente.
- **Clase B:** La MS tiene opción de estar asociada a ambos servicios, GSM y GPRS. Pero la MS puede operar solo en uno de ellos a la vez.
- **Clase C:** La MS está asociada ya sea al servicio GSM o al GPRS, pero no a los dos al mismo tiempo. La MS debe asociarse específicamente al servicio deseado, antes de establecer o recibir una llamada en uno de estos servicios.

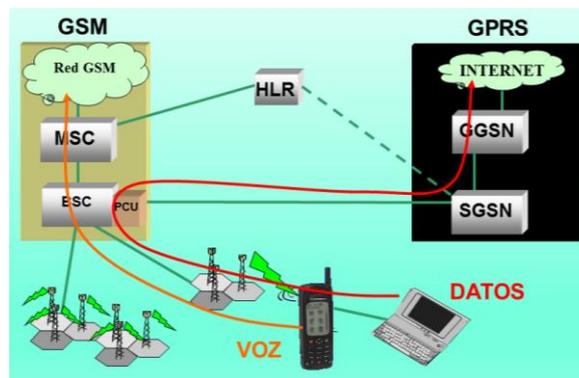


Figura 10-2: Arquitectura red GPRS

Fuente: (Turmero, 2017)

La red GPRS añade nuevos nodos de red llamados GSN (Nodos de soporte GPRS) que están ubicados en la red de transporte.

- **Serving GPRS Support Node (SGSN):** Está conectado a uno o más BSS. Funciona como un router para los paquetes de datos de todas las MSs presentes en un espacio geográfico. Ejecuta funciones de seguridad y de control de acceso, y realiza un seguimiento de la ubicación de las MSs.
- **Gateway GPRS Support Node (GGSN):** Proporciona el sitio de agrupación entre el dominio GPRS y otras redes de datos como por ejemplo el Internet o redes corporativas. Un usuario móvil usa un APN (Access Point Name) para conectarse a la red de destino solicitada.

El termino APN es la referencia que el GGSN usa como un gateway a una red externa.

El GGSN obtiene una dirección de la red pública de paquetes:

- PDP packet-data protocol
- PDP address: IP ó X.25

- **Gateway MSC:** Interconecta el núcleo de la red con redes externas de circuitos conmutados

- **Calidad de servicio**

La red GPRS involucra el concepto de calidad de servicio (QoS), que es la capacidad de adaptar el servicio como requiera la aplicación. Los criterios de calidad de servicio son:

- Prioridad
- Confiabilidad, GPRS define dos tipos: Demora – Rendimiento

GPRS especifica cuatro esquemas de codificación, los cuales se presentan en la Tabla 5-2, denominados CS1, CS2, CS3 y CS4, cada uno de ellos concreta el nivel de protección de los paquetes contra interferencias para degradar la señal conforme a la distancia entre las terminales móviles y las estaciones base. Cuanto mayor sea la protección, menor será el rendimiento.

Tabla 5-2: Esquemas de codificación GPRS

Esquema de codificación	Rendimiento	Protección
CS1	9,05 Kbit/s	Normal (Señalización)
CS2	13,4 Kbit/s	Ligeramente menor
CS3	15,6 Kbit/s	Reducida
CS4	21,4 Kbit/s	Sin error de conexión

Fuente: (Picaut et al, 2020)

Realizado por: Gómez, Yesenia, 2021

Las características definidas de los dos estándares permiten definir la importante utilización de la red GSM/GPRS, como se observa en la Figura 11-2, ya que brinda movilidad y posibilidad de ser utilizada en distintos puntos geográficos en los que exista cobertura de las dos operadoras, también permite fácil instalación, por razón de que no necesita ningún tipo de cableado para comunicación y transmisión de datos, permitiendo que el sistema sea más móvil, monitoreable e inclusive controlable.

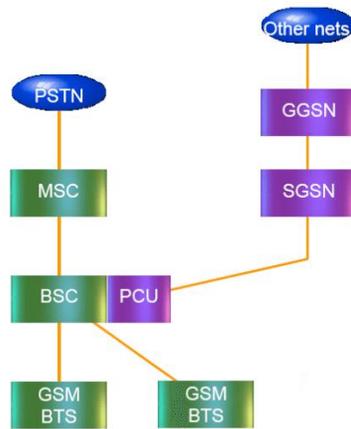


Figura 11-2: Red GSM/GPRS

Fuente: (Castellanos G, 2014)

Entre GSM y GPRS se añadieron tres elementos a la arquitectura de red, los que se explican a continuación:

- **BG:** Es un nodo pasarela entre la interfaz del backbone de las diferentes operadoras GPRS.
- **GGSN:** Permite el encaminamiento de paquetes originados en un móvil hacia su destino y/o Internet mediante una interfaz lógica.
- **SGSN:** Es un nodo de conmutación de paquetes IP que se encuentra al nivel de la MSC, transporta los datos desde y hacia las estaciones base localizadas en el área de servicio, funciona como detector de dispositivos móviles GPRS, al mismo tiempo se encarga del control de tarificación, acceso y seguridad de datos que contiene procesos de encriptación y compresión de estos.

- **Acceso a Internet**

La conexión a Internet se efectúa por la red GPRS que se la considera como una subred IP, por el hecho de que se agrupan todos los dispositivos móviles que desean conectarse a Internet y a los cuales se les establece una dirección IP. (Pastrano, 2017)

Posee una configuración de esta forma:

- Asignación de IP al terminal GPRS
- La red GPRS usa un servidor DNS local (Domain Name Server)
- Accede a un nombre del punto de acceso (APN), propio de cada operadora, con información de usuario y nodo, consulta al DNS y así obtiene a dirección de conexión del terminal móvil.
- La información enviada por el GGSN para conectar el terminal móvil a internet tiene la siguiente nomenclatura: {[ID Red.mnc][MNC]. mcc [MCC]. gprs}

- Finalmente, el acceso puede ser transparente (IP del operador GPRS) o no transparente (IP de direccionamiento del proveedor ISP).

2.4.7 Factores para considerar en redes de sensores inalámbricos

En el diseño de una red de sensores inalámbricos es importante tener en cuenta los factores que influyen en la elección de los componentes físicos y hardware, con el fin de que se ajusten a los requerimientos del caso de estudio. (Altamirano y Puente, 2016)

Entre los factores más relevantes se mencionan los siguientes:

- **Tiempo de vida:** se refiere al consumo de energía que la red de sensores inalámbricos presenta, ya que este factor en cada uno de los nodos dentro de la red está vinculado directamente con la duración que tiene la fuente de energía entregada a los nodos.
- **Cobertura de la red:** El factor cobertura en una red de sensores inalámbricos está relacionado directamente con el tipo de topología a utilizar. Un parámetro importante del cual depende la cobertura es la ubicación geográfica de sus nodos sensoriales, los mismos que pueden ser distribuidos según el diseño y la ruta por la que los datos viajan a través de los nodos.
- **Escalabilidad:** El diseño puede llegar a ser capaz de trabajar con un número extenso de nodos que dependerá de la aplicación, además de tomar en cuenta la alta densidad.
- **Tolerancia a fallos:** Existen algunos nodos sensores que pueden presentar fallos o bloqueos debido a la falta de energía, recibir daños físicos o interferencias medioambientales, lo que afecta directamente al funcionamiento global de la red censora. Este es el principio de la tolerancia a fallos o fiabilidad.
- **Costo y facilidad de implementación:** un factor importante a considerar es el costo que tiene el desarrollar redes de sensores inalámbricos, esto debido a que cada nodo, así como los sensores a utilizar, debe tener un valor económico a diferencia de los sistemas comunes; con el fin de optimizar recursos.
- **Precisión y frecuencia de las mediciones:** El objetivo de cada nodo sensor es medir lo que sucede a su alrededor dependiendo la aplicación de la red. El parámetro que enfatizan a estas redes es la capacidad que poseen de medir las condiciones físico-ambientales en tiempo real. Con esta característica, los datos obtenidos por los nodos muestran cifras precisas, los resultados son evaluados en las mismas condiciones que dispositivos con similares funciones, alcanzando el valor real de la magnitud medida.

2.5 Sistemas de desarrollo aplicadas a redes de sensores inalámbricos

Sistemas de desarrollo conocidos también como tarjetas son placas electrónicas pequeñas las cuales contienen circuitos impresos, la fabricación de cada una de ellas ha dependido de las aplicaciones y características que poseen. Estas tarjetas ofrecen compatibilidad con un gran número de dispositivos, como son sensores, módulos inalámbricos, tarjetas de memoria microSD, y otros más, permitiendo realizar los diseños de redes de sensores inalámbricos de manera sencilla y rápida.

2.5.1 *Arduino*

El dispositivo Arduino es un sistema de código abierto basado en los microcontroladores reprogramables Atmel y una serie de pines hembra en los cuales se conecta fácilmente sensores y actuadores, tiene la característica de conectar lo físico con lo virtual, son utilizados para el desarrollo de propósitos electrónicos. El Arduino tiene un componente físico y un software mediante el cual se transfieren las líneas de código del programa hacia la parte física. Las características más importantes de este dispositivo son:

- Factibilidad y accesibilidad
- Multiplataforma
- Simple programación
- Hardware y software flexibles de código abierto

El entorno de desarrollo es un software gratis, libre y multiplataforma el cual se instala en el ordenador para escribir, verificar, guardar y cargar en la memoria del microcontrolador de la placa Arduino el conjunto de instrucciones que queremos que este comience a ejecutar. En la Figura 12-2, se presenta la placa del Arduino uno. (Tapia y Manzano, 2013)



Figura 12-2: Tarjeta Arduino "Uno"

Fuente: Arduino.cc, 2012

2.5.2 *Raspberry Pi*

Raspberry Pi es el nombre que recibe un modelo de ordenador de placa reducida (SBC, Single Board Computer) lanzado en 2011. El proyecto Raspberry Pi nace en 2006 con el fin de crear un ordenador de bajo coste. Su tamaño es equivalente a una tarjeta de crédito, principalmente se lo usa para permitir el aprendizaje de computación por medio del sistema operativo Linux; admite la conexión de elementos de un computador estándar. La capacidad que posee es amplia. Se compone de puertos tanto de entradas como de salidas, facilitando aplicaciones en las que se necesiten control.(Moya, 2011). La Figura13-2, muestra la tarjeta Raspberry Pi.



Figura 13-2: Modulo Raspberry Pi

Fuente: (Moya, Fernández, 2018)

2.5.3 *Intel Galileo*

El motivo que impulso a las empresas a crear nuevas tarjetas de desarrollo para proyectos electrónicos fue la gran acogida que tuvieron las plataformas y diferentes placas de Arduino. Debido a esa razón Intel lanzó al mercado su primer modelo, con tendencia a facilitar trabajos dirigidos a IoT (Internet of Things, por sus siglas en inglés), denominada Intel Galileo como se muestra en la Figura 14-2.



Figura 14-2: Modulo Intel Galileo

Fuente: (Intel, 2020)

Este nuevo modelo es una tarjeta microcontroladora basada en el procesador Intel Quark SoC X1000, que trabaja con un sistema Pentium Intel de 32 bits, esta placa basada en la arquitectura Intel, diseñada para ser compatible con el hardware y software de las placas Arduino. La tarjeta Intel Galileo opera con 3.3V y está diseñada para que la tensión de sus pines E/S puedan ser de 3.3V o 5V según se requiera a través de la configuración de un puente físico presente en la placa. El entorno de desarrollo para esta placa es el “Arduino-IDE para Intel Galileo”, además incorpora varios puertos E/S estándar, tales como: un puerto Ethernet de 10/100 Mbps, una ranura Micro-SD, un puerto serial RS-232, un puerto Host USB, un puerto USB cliente. (Intel®, 2014)

2.5.4 Libelium – Waspnote

Libelium representa una de las mayores compañías que presentan dispositivos con tendencia a realizar proyectos con tecnologías IoT. El producto que más se acopla para este tipo de proyectos es Waspnote, que se aprecia en la Figura 15-2. Waspnote es una tarjeta desarrollada por Libelium con características más completas que las anteriores. Basada en un diseño modular, que tiene como funcionalidad reunir módulos inalámbricos en cada dispositivo con la capacidad de ampliarlos según los requerimientos necesarios y de ser el caso retirarlos sin problema.

Dichos módulos que lo integran son: Zigbee, GSM – 3G/GPRS, GPS, placas sensoriales, y tarjetas de memoria SD; así mismo presenta compatibilidad con dispositivos de Arduino. La Figura 15-2, muestra la tarjeta de desarrollo Waspnote. (Libelium, 2021)

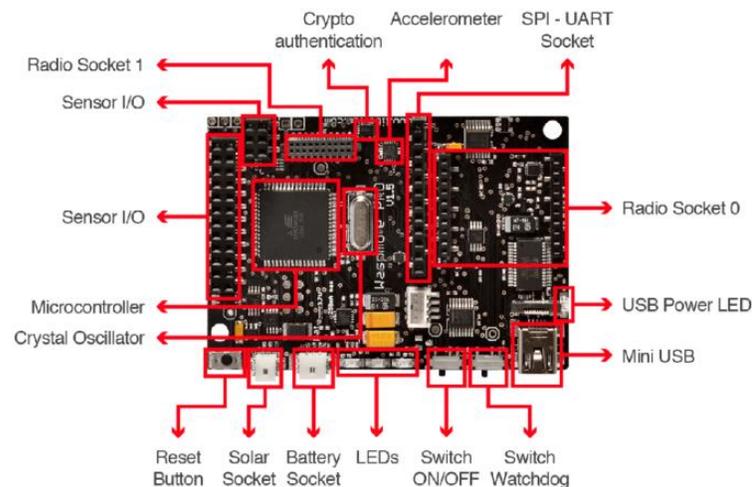


Figura 15-2: Tarjeta de desarrollo Waspnote

Fuente: (Libelium, 2019)

2.6 Sensores de ruido

Desde mediados de la década de 2000, con la aparición de componentes electrónicos y procesadores informáticos de bajo costo, muchos investigadores han estado trabajando en el desarrollo de Red de sensores de ruido de bajo costo, principalmente para aplicaciones de acústica ambiental.

El sensor de ruido es un dispositivo autónomo e inalámbrico diseñado para medir niveles de ruido de un determinado sitio, que realiza medidas continuamente y transmite nuevos valores de nivel de sonido mediante redes de comunicación.

Se pueden distinguir tres familias principales en la red de sensores:

1. Redes de sensores fijos
2. Redes de medición participativa móvil (principalmente con teléfonos inteligentes)
3. Redes de sensores móviles.

Para este tipo de estudio el enfoque principal es en sensores de bajo costo desarrollados específicamente para mediciones acústicas ambientales, que permiten configurar una red de medición controlada. La medición participativa con teléfonos inteligentes es un enfoque interesante, complementario al de las redes estáticas profesionales y de bajo costo.

No obstante, el enfoque comparte aspectos técnicos comunes con el ruido estático de los sensores, como el preprocesamiento de datos, la elección de indicadores acústicos, la implementación de una infraestructura de gestión de datos. Por último, la tercera familia, en lo que respecta a los sensores móviles, aunque genera importantes complejidades adicionales en relación con la transmisión de datos y la autonomía de los sensores, considera sensores de ruido específicamente diseñados. (Picaut et al., 2020)

2.7 Almacenamiento masivo

Los sensores también pueden tener capacidades de almacenamiento masivo para almacenar información diversa, para el mantenimiento del sensor, pero también para almacenar temporalmente los datos recopilados cuando se interrumpe la conexión a la puerta de enlace o al servidor de datos. El tamaño de esta memoria debe tener en cuenta la duración de la copia de seguridad temporal de los datos y, potencialmente, la capacidad del sensor para transmitir una gran cantidad de datos una vez que se establece la conexión, al mismo tiempo que recopila y procesa nuevos datos.

2.8 Factores que contribuyen al auge de IoT

El paradigma de (IoT) Internet de las Cosas se caracteriza por una alta heterogeneidad de sistemas finales, dispositivos y tecnologías de capa de enlace. Para respaldar la visión de las ciudades inteligentes, los sistemas de IoT urbanos deben mejorar la calidad de vida de los ciudadanos y proporcionar valor añadido a la comunidad mediante la explotación de los sistemas de TIC más avanzados. (Capponi et al., 2019)

- **Sensores y WSN:** los sensores son un componente esencial para la adquisición de datos. Los equipos de detección suelen estar integrados en dispositivos móviles, pero las aplicaciones específicas (por ejemplo, el control de la calidad del aire) pueden emplear hardware dedicado conectado con tecnología inalámbrica (por ejemplo, Bluetooth).
- **Dispositivos móviles inteligentes / Wearables.** La transición de los teléfonos móviles a los dispositivos móviles inteligentes ha impulsado el auge de MCS (Mobile crowdsensing - detección de multitudes móvil). Si bien los teléfonos móviles solo permiten llamadas telefónicas y mensajes de texto, los teléfonos inteligentes están equipados con capacidades de detección, computación y comunicación.

La proliferación de teléfonos móviles y teléfonos inteligentes ha creado un entorno desafiante en términos de desarrollo de aplicaciones de tránsito en tiempo real para dispositivos móviles. “Los analistas sostienen que el mercado móvil permanece en un estado de fluctuación, lo que deja mucho espacio para que estas empresas cojan impulso si pueden crear algo que llame la atención de los consumidores”. Esta declaración describe el estado del mercado de aplicaciones y teléfonos móviles en mayo de 2010, con la introducción de un nuevo dispositivo móvil cada poca semana y con dispositivos que tienen cada vez más capacidades. (Schweiger, 2011)

- Web móvil es el término utilizado cuando se accede a Internet por medio de un teléfono celular, PDA [asistente digital personal] u otro dispositivo con capacidades de Internet
- SMS es la transmisión de mensajes de texto alfanuméricos cortos hacia y desde un teléfono móvil, máquina de fax y / o dirección IP [protocolo de Internet]

- **Computación en la nube.** Teniendo en cuenta los recursos limitados del almacenamiento local de datos en dispositivos inteligentes, el procesamiento de dichos datos suele tener lugar en la nube. Los dispositivos móviles contribuyen a una considerable cantidad de información recopilada que debe almacenarse para su análisis y procesamiento. La nube permite acceder fácilmente a recursos compartidos e infraestructura común con un enfoque ubicuo para una gestión de datos eficiente
- **Factor humano.** La fusión entre los roles complementarios de la inteligencia humana y de la máquina se basa en la inclusión de los humanos en el ciclo de los procesos de detección, computación y comunicación

2.9 Interfaz Multimodal

Una interfaz multimodal es una interfaz que combina voz, tacto, audio y diferentes tipos de imágenes en una única interfaz de usuario perfecta. Las interfaces multimodales presentan una forma más humana de comunicación entre el usuario y la máquina. Abren nuevas oportunidades para interacciones más profundas.

2.10 Equipos de medición de ruido

Actualmente el ruido se ha convertido en un problema ambiental que afecta al ser humano que está expuesto a esta contaminación, es por eso que existen herramientas de ayuda para medir los valores de ruido presentes en el medio. Se trata de equipos de medición con una característica en común, utilizar un transductor como elemento principal para medir los niveles de ruido. (Guevara, 2013)

Entre los equipos más relevantes del mercado, se muestra en la Figura 16-2, y son los siguientes

- **Sonómetro:** Se caracteriza por medir la presión sonora y reconocer un sonido simulando al oído humano. Este equipo es empleado para obtener valores de cualquier fuente ruidosa.
- **Dosímetro:** Considerado un sonómetro portátil debido a que presenta un menor tamaño y sirve para deducir la cantidad de ruido existente en una zona, a la cual se exponen las personas.
- **Analizador de Frecuencias:** Es un equipo de medición que sirve de ayuda para establecer “el contenido energético de cualquier sonido, pero en función de la frecuencia” (Guevara, 2013).
- **Calibrador acústico:** Es un equipo diseñado para cerciorar que los sonómetros trabajen

correctamente con los parámetros necesarios. El objetivo de estos instrumentos, según Guevara (2013), es: “generar un tono estable de nivel a una frecuencia predeterminada y ajustar la lectura del sonómetro haciéndola coincidir con el nivel patrón generado por el calibrador”.



Figura 16-2: Equipos de medición de ruido

Fuente: (Gómez, 2020)

CAPITULO III

3. MARCO METODOLOGICO

3.1 Situación actual del Centro Histórico de Riobamba

Debido al desarrollo económico microempresarial en la ciudad de Riobamba y el aumento de la agresión por el ruido, el ambiente se ve afectado por los diferentes procesos contaminantes que representan un argumento clave de la gestión ambiental, lo cual ha provocado una reducción de la calidad de vida urbana, iniciando nuevas enfermedades a lo largo del tiempo de convivencia en la zona. Técnicamente el ruido se define como un tipo de energía secundaria que se origina de los procesos o actividades que se desarrollan en el ambiente siguiendo una forma ondulatoria compleja desde el punto emisor o productor hasta el receptor lo cual produce una alteración física afectando directamente al equilibrio del ser humano y perturbando especialmente en su calidad de vida.

Las causas del deterioro de la calidad del ambiente en el Centro Histórico de la ciudad de Riobamba que está expuesto al ruido se generan por varias fuentes propias del desarrollo ya que día a día este factor va aumentando debido el exagerado crecimiento del transporte, la falta de control de tránsito en general, peatones que provocan congestión y ruido, influencia de las actividades económicas y por la presencia de las industrias ubicadas cerca de esta zona. Estos factores son los causantes de alteraciones psicológicas, biológicas y sociales en los habitantes que están expuestos a esta contaminación. (Prefectura de Riobamba, 2019)

3.2 Requerimientos de diseño del prototipo multimodal

La investigación realizada en el Capítulo II, permite determinar los requerimientos de diseño que debe tener el prototipo multimodal para la monitorización de contaminación auditiva en los diferentes sectores del Centro Histórico de Riobamba, los mismos que se detallan a continuación:

- Implementación de un sistema de reducido costo, liviano, con dispositivos de fácil instalación y operación indistintamente del sector a cubrir.
- Proveer información en tiempo real del nivel de ruido medido en el Centro Histórico.
- Cubrir el área mediante equipos móviles que logren captar niveles de ruido inalámbricamente para su cómoda transportación.

- Sistema independiente de la red eléctrica, por lo cual debe utilizarse baterías.

3.3 Arquitectura del hardware del prototipo multimodal

En la Figura 1-3, se presenta el diagrama de bloques del prototipo, en el mismo que se ubica cada bloque del sistema, teniendo como entrada la fuente que alimenta todo el sistema y el sensor que se encarga de recoger información de ruido, el bloque de procesamiento se ejecuta a través del Arduino UNO que recibe la información del sensor y la entrega al módulo de transmisión GSM, el cual mediante el servicio GPRS transmite los datos al servicio en la nube, para posteriormente ser visualizada en la aplicación móvil.

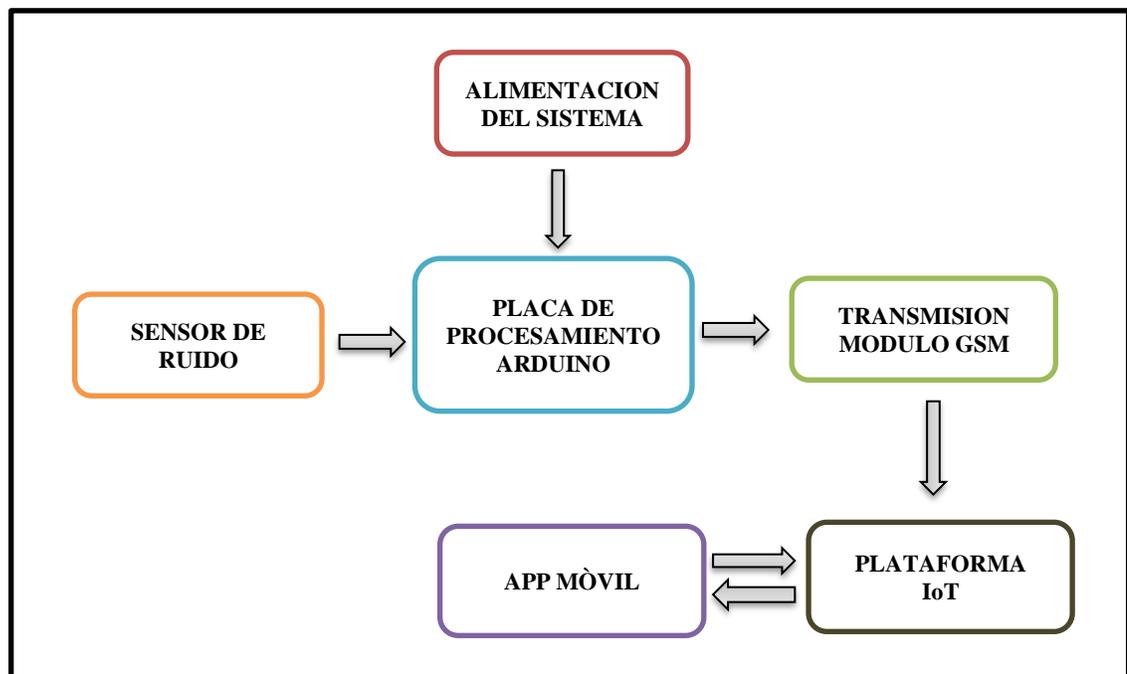


Figura 1-3: Diagrama de bloques del sistema del prototipo multimodal.

Fuente: (Gómez, 2021)

El esquema que se pretende implementar se presenta en la Figura 2-3 en la cual se visualiza los componentes que intervienen en cada una de las etapas dependiendo de la función que realicen:

- **Bloque de entrada y procesamiento:** son los elementos encargados de recolectar la información y que mediante una plataforma de hardware libre se efectúa un algoritmo para manipular los datos recibidos.
- **Bloque de salida:** es el medio por el cual se transmiten los datos obtenidos hacia la red de la operadora celular e internet mediante el aire.
- **Bloque de almacenamiento:** almacena los datos en un Hosting Web.

- **Interfaz de usuario:** se visualiza en una interfaz amigable los datos recolectados por la plataforma IoT.

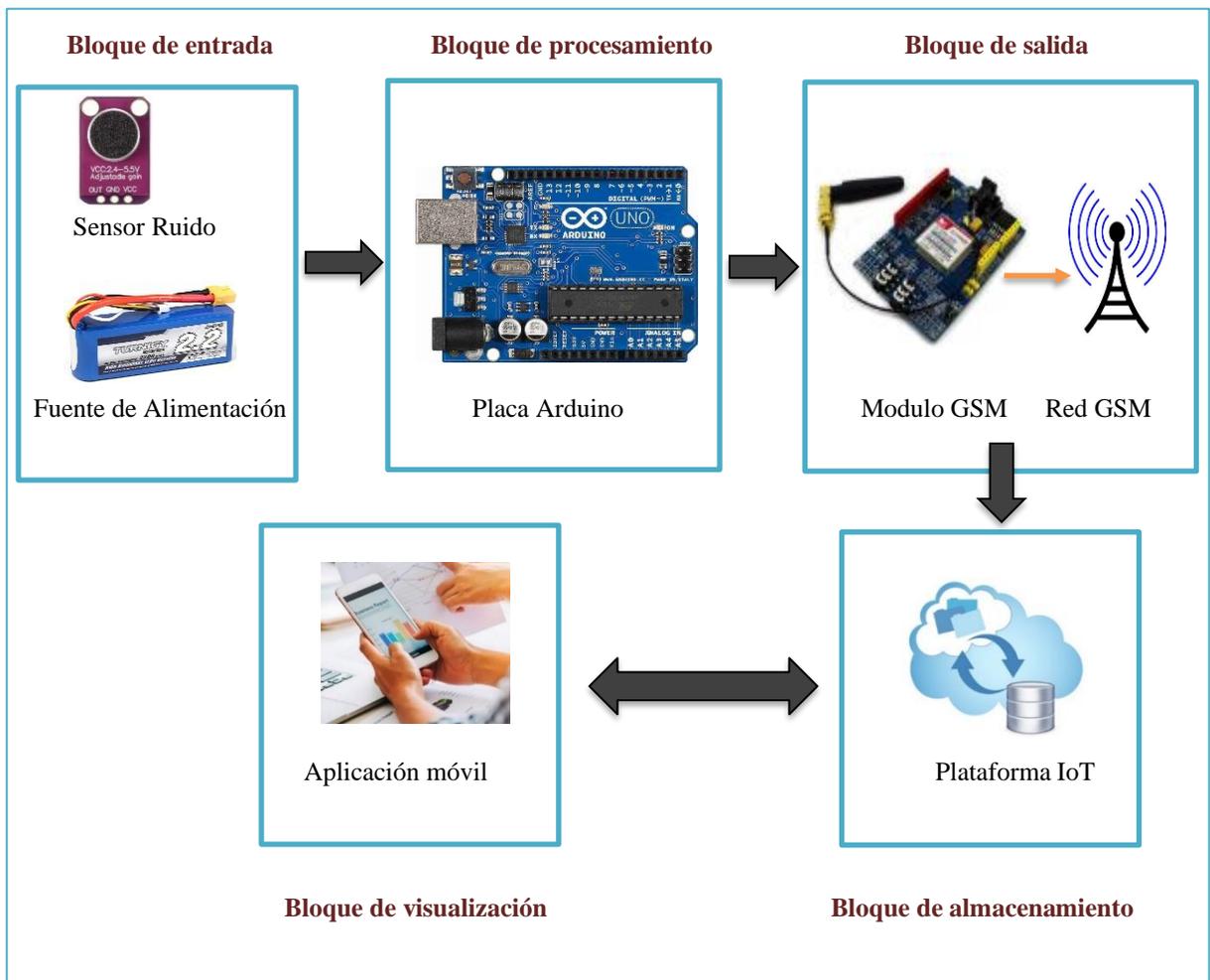


Figura 2-3: Esquema general del prototipo multimodal

Fuente: (Gómez, 2021)

Para el diseño de este prototipo se considera la utilización de una topología estrella, ya que posee las características adecuadas para la red inalámbrica, en el cual el nodo Tx se conecta directamente al nodo Rx, formando una comunicación bidireccional.

3.4 Módulos del diseño del prototipo multimodal

Después de definir los requerimientos y arquitectura del prototipo de monitoreo de ruido, se prosigue con el diseño de cada uno de los módulos del sistema, por tanto, es importante detallar los elementos que se necesitan para la implementación adecuada de cada bloque del sistema de monitoreo, tal que

permita una correcta comunicación y procesamiento de datos. A continuación, se detallan estos elementos:

3.4.1 Bloque de entrada

La medición de la variable se lo realiza mediante el uso de un sensor, el cual está diseñado para captar y arrojar valores de la variable medida.

3.4.1.1 Sensor de ruido

En la Tabla 1-3 se presentan características importantes de dos tipos de sensores de ruido, lo cual permite elegir el más adecuado para el prototipo.

Tabla 1-3: Comparación de características de los sensores de ruido MAX1412 y MAX4466

Características	Max9812	Max4466
Ganancia	Fija 20dB	Ajustable 25x a 125x
Aplicaciones	Audios portátiles como computadoras portátiles, teléfonos celulares y PDA	Detección de Sonido, Alarmas, Cambiadores de voz, Grabación de audio
Rango de frecuencia		20Hz a 20 KHz
Ancho de banda	500Khz	600khz
Relación de rechazo	Alimentación 100dB	Alimentación 112dB y común 126dB
THD	0,04%	0.03%
Corriente reposo	230uA	24uA
Voltaje	2.7 -3.6	2.4 – 5.5
Entradas	Single/dual	Single
Salida	Rail to rail	Rail to rail
Densidad de voltaje de ruido de entrada	40 nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$	80 nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$

Fuente: (Lara, 2015)

Realizado por: Gómez, Yesenia, 2021

Luego del análisis de las características de los sensores presentadas en la Tabla 1-3, se opta por el MAX4466, debido a que el amplificador tiene un excelente rechazo de ruido de la fuente de

alimentación, por lo que este amplificador suena muy bien y no es tan ruidoso o áspero, además incluye un pequeño potenciómetro para ajustar la ganancia que puede variar de 25x a 125x, eso es aproximadamente 200mvpp (para volumen de habla normal a 6 "de distancia) o hasta aproximadamente 1vpp, la salida es de riel a riel, de modo que si los sonidos se hacen fuertes, la salida puede llegar hasta 5vpp.

3.4.1.2 Amplificador de micrófono Electret - MAX4466

Es un amplificador operacional de micro potencia optimizado para su uso como preamplificador de micrófono, tiene estabilidad de ganancia, requiriendo solo 24 μ A de corriente de suministro para proporcionar un ancho de banda de ganancia de 200kHz. Después de la descompresión, se puede lograr una ganancia estable mínima de +5 V / V. En la Figura 3-3 se muestra el diagrama esquemático del este preamplificador de sonido. (Adafruit, 2017)

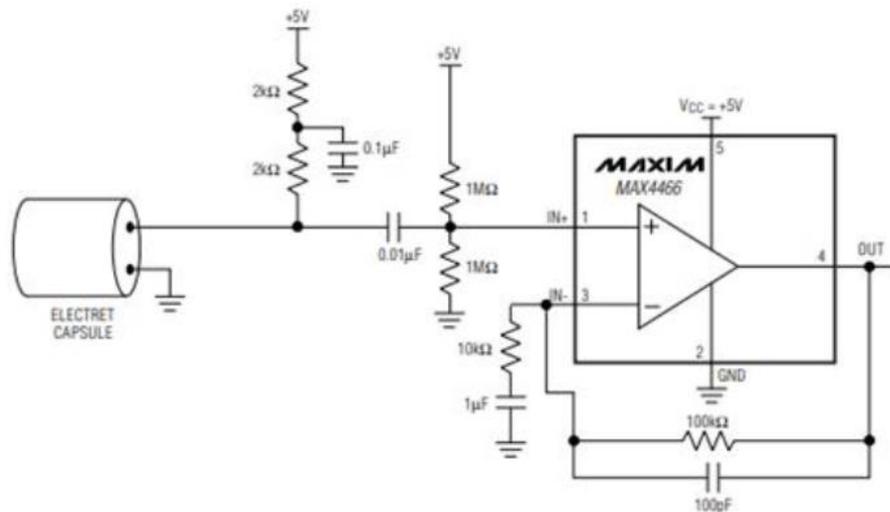


Figura 3-3: Diagrama esquemático de MAX4466

Fuente: (Adrián, 2017)

El amplificador de micrófono adopta un micrófono de cápsula Electret con un amplificador operacional MAX4466 optimizado para su uso en aplicaciones de preamplificador de micrófono. El voltaje de suministro flexible y la ganancia ajustable hacen que este módulo se adapte a una amplia variedad de aplicaciones de audio.

El sensor consta de Lógica Transistor-Transistor en sus puertos de información lo cual lo hace compatible con Atmega328p. Véase en la Figura 4-3.



Figura 4-3: Dispositivo Sensor MAX4466.

Fuente: (Adrián, 2017)

Tiene salida de riel a riel, AVOL alto y excelente rechazo de fuente de alimentación y relación de rechazo de modo común, adecuados para operar en entornos ruidosos.

Ampliamente utilizado en teléfonos celulares, repetidores digitales, auriculares, audífonos, preamplificadores de micrófono, computadoras portátiles, sistemas de reconocimiento de voz.

- **Micrófono Electret**

El micrófono de condensador llamado Electret, pertenece a una variante del micrófono de condensador que utiliza un electrodo (fluorocarbonato o policarbonato de flúor) que es una lámina de plástico que por su polarización no necesita alimentación, es decir, que estas placas polarizadas están cargadas permanentemente desde su fabricación. (Yepez, 2018)

El tipo de micrófono incluido en este sensor es el CMA-4544PF-W, en la Tabla 2-3 se detallan sus especificaciones técnicas:

Tabla 2-3: Especificaciones Técnicas del Micrófono Electret

Parámetros	Características
Sensibilidad	-44 ±2dB
Voltaje de operación	3Vdc (estándar) 10Vdc (máximo)
Impedancia de salida	2.2 kΩ
Rango de frecuencias	20 – 20.000 Hz
Consumo de corriente	0.5mA Vs= 3.0 Vdc RL= 2.2kΩ
Relación señal a ruido (S/N)	60dBA
Temperatura de operación	-20 ~ +70° C
Material	Aluminio

Fuente: (Yépez, 2018)

Realizado por: Gómez, Yesenia, 2021

Para interpretar los valores provenientes del sensor se debe considerar tres factores, el primero es el rango que ofrece el sonómetro (30 ~ 130 dB), el segundo factor sería los niveles en los que rondan el sector y por último los valores máximos de voltaje que entrega el sensor (0,02 voltios y 3,3 voltios). Con estos factores, se debe referenciar cuál será el valor mínimo y máximo que tendrá el dispositivo a medir el ruido.

Por lo tanto, para este proyecto se tomarán en cuenta los siguientes valores:

- Valores máximos equivaldrán a 3,3 voltios del sensor de sonido.
- Valores mínimos (aproximadamente 30 dB) equivaldrán a 0,02 voltios del sensor de sonido.

3.4.2 Bloque de procesamiento

En el capítulo II se realizó una investigación acerca de las tarjetas de desarrollo, lo cual permitió seleccionar la tarjeta más adecuada para el prototipo. Para este proyecto se va a utilizar el Arduino UNO, debido a que presenta una gran ventaja en cuanto al IDE, su software personalizado es una de las herramientas más sencillas de utilizar con respecto a la programación para el desarrollo de las aplicaciones, la configuración de sus terminales analógicos y digitales es simple de la forma más beneficiosa para el usuario.

3.4.2.1 Arduino UNO

El módulo Arduino UNO es una board que está basado en Atmega328. Posee 14 pines de entrada/salida (4 pueden ser usados como para salida PWM), de los cuales 6 son entradas análogas, tiene un resonador cerámico de 16 MHz, un conector para USB tipo hembra, Jack para fuente de poder, un conector ICSP y un botón reset. (Guerrero, 2014)

El UNO también está equipado con varios LED pequeños de montaje en superficie para indicar la transmisión en serie (TX) y la recepción (RX) y un LED adicional para uso en proyectos. La banda de encabezado en la parte superior de la placa proporciona acceso a una señal de referencia analógica, señales de modulación de ancho de pulso (PWM), entrada / salida digital (E / S) y comunicaciones en serie. el sistema de analógico a digital (ADC) y los terminales de la fuente de alimentación. (Thornton, 2013)

Este módulo de transmisión tiene todo lo requerido para manejar el controlador, se realiza simplemente la conexión al computador por medio del cable USB. En la Figura 5-3 se aprecia el módulo Arduino UNO con sus componentes principales:

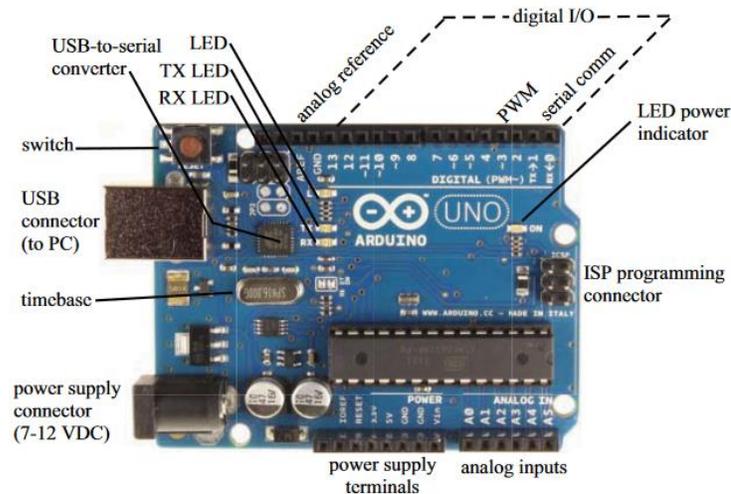


Figura 5-3: Diseño de la tarjeta de desarrollo Arduino UNO.

Fuente: (Guerrero, 2014)

- **Procesador Host Arduino UNO R3: Atmega328**

El procesador anfitrión para Arduino UNO R3 es el Atmel Atmega328. El "328" es un microcontrolador de 28 pines y 8 bits. La arquitectura se basa en el concepto de Computadora de conjunto de instrucciones reducidas (RISC) que permite que el procesador complete 20 millones de instrucciones por segundo (MIPS) cuando opera a 20 MHz. (Thornton, 2013)

El "328" está equipado con una amplia variedad de características que pueden clasificarse convenientemente en los siguientes sistemas:

- Sistema de memoria
- Sistema de puerto
- Sistema de temporizador
- Convertidor de analógico a digital (ADC)
- Sistema de interrupción
- Comunicaciones en serie

Las características más importantes de este dispositivo se detallan en la Tabla 3-3:

Tabla 3-3: Especificaciones Arduino UNO

Características	
Microcontrolador	ATmega328
Voltaje operativo	5V
Voltaje de entrada (Recomendado)	7 – 12V
Pines de entradas/salidas digitales	14 (6 son salidas PWM)
Pines de entrada análogas	6
Corriente continua por pin	20 mA
Corriente CC para 3.3V por pin	50mA
Memoria flash	32 KB (ATmega328) de los cuales 0,5 KB es usado por Bootloader
SRAM	2 KB (ATmega328)
EEPROM	1 KB (ATmega328)
Velocidad de reloj	16 MHz

Fuente: (Guerrero, 2014)

Realizado por: Gómez, Yesenia, 2021

Arduino UNO es una plataforma de hardware libre, por lo cual permite obtener su esquemático y su diseño, además las capacidades que posee se acoplan perfectamente en casi todos los diseños que se desee realizar.

3.4.3 Bloque de salida

En este bloque se maneja la tecnología inalámbrica que permite transmitir los datos procesados en la placa Arduino hacia el almacenamiento en Internet, al conectarse a internet, el dispositivo se convierte en un cliente más dentro del mundo de la WWW, es aquí donde se encaminan los datos hacia el Hosting Web, donde se dispone de los recursos para ser almacenado y luego visualizado en línea.

De las tecnologías inalámbricas usadas en una Smart City, se eligió la tecnología GPRS, debido a que esta tecnología posee una cobertura más extensa en las diferentes áreas, su fundamento se encuentra implementada por la operadora celular y los datos a transmitir no demandan una velocidad alta.

3.4.3.1 Módulo de Transmisión GSM/GPRS

Este sistema tiene la capacidad de transmitir los datos obtenidos a un servidor web, para este proceso utiliza el módulo de transmisión GSM/GPRS, el cual se vale de la red celular para la transmisión de los datos conseguidos a internet. La utilización de este tipo de módulos tiene una ventaja principal con respecto al módulo de transmisión TCP/IP por el hecho de que permite transmitir datos desde cualquier parte en la exista cobertura de la red celular.

Es un sistema que se podría utilizar en el caso de áreas remotas en las no se tenga otro tipo de conexión inalámbrica para el proceso de transmisión de datos a la web.

Para el prototipo se utilizó el módulo de transmisión celular SIM800C, el mismo que se conecta directamente con el Arduino UNO. (Segura y Posso, 2015)

3.4.3.2 Modulo SIM 800C GSM/GPRS

El SIM800C es un módulo de comunicación inalámbrica GSM/GPRS que está formado por cuatro bandas en un tipo LCC que admite GPRS con transferencia de datos de hasta 85,6 Kbps.

Tiene compatibilidad con todos los modelos de Arduino con formato UNO, lo que permite que pueda ser controlada con otros microcontroladores. El estándar GPRS está configurado y controlado por vía UART haciendo uso de los comandos AT, de tal manera que únicamente se conecta la tarjeta al microcontrolador Arduino para iniciar la comunicación. (SIMCom, 2020)

La tarjeta SIM800C GSM/GPRS es la encargada de permitir al sistema las comunicaciones necesarias con el usuario de forma remota, por lo cual posee importantes características que se detallan en la Tabla 4-3:

Tabla 4-3: Características principales del Módulo SIM800C GSM/GPRS.

CARACTERISTICAS	
Compatibilidad	Arduino
Conexión	Puerto serial
Quand-Band	850/900/1800/1900 MHz
Voltaje de suministro	3.4V – 4.4 V
Voltaje de alimentación	5 – 12 V
Corriente:	0.6 mA (modo descanso)

Comunicación	UART
Multi-GPRS Slot	clase 12/10
Control	Comandos AT
Estación móvil	GPRS Clase B
Fase	GSM 2/2+GSM compatible clase 4 y 1
Clase 1 1W a	1800/1900 MHz
Clase 4 2W a	850/900 MHz
Soporta	RTC
Pila embebida TCP/UDP	Carga de datos a un servidor web
GPRS clase 12	Enlace ascendente / descendente hasta 85,6 Kbps

Fuente: (Lara, 2015)

Realizado por: Gómez, Yesenia, 2021

Los conectores de esta tarjeta están alineados con la finalidad de que se conecte directamente con el Arduino UNO. En la Figura 6-3 se observa los elementos principales del módulo SIM800C.

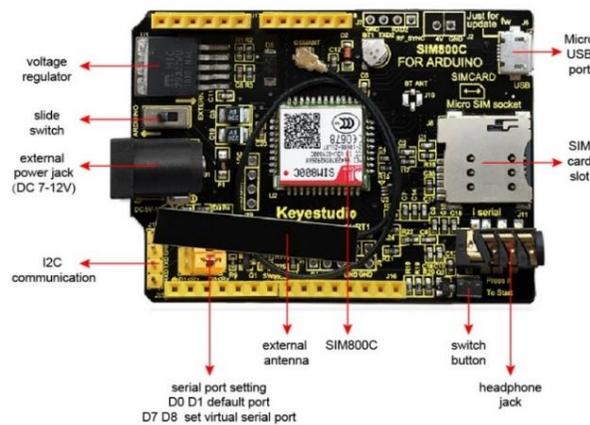


Figura 6-3: Descripción física de la tarjeta SIM800c GSM/GPRS.

Fuente: (Adrián, 2017)

A continuación, se detalla la distribución de los terminales de la tarjeta:

- **Power Select:** selección de Alimentación Externa o del Arduino.
- **Power Jack:** conector para la alimentación externa.
- **Antenna Interface:** conector para la antena externa.
- **Serial Port Select:** permite seleccionar el puerto serial “Software” o el puerto serial “Hardware” para conectarse al módulo GPRS.
- **Hardware Serial:** D0/D1 del Arduino.
- **Software Serial:** D7/D8 del Arduino.
- **Status Led:** indica cuando el módulo GPRS está encendido.

- **Net light:** indica cuando el módulo GPRS está conectándose a la red celular.
- **Microphone:** micrófono para contestar las llamadas.
- **Speaker:** parlante para contestar las llamadas.
- **Powerkey:** encendido y apagado para el SIM800.
- Terminales usados en el Arduino:
 - D0-D1.- no se usa si el puerto serial en modo “software” ha sido seleccionado para comunicarse con el módulo GPRS.
 - D2-D6.- no se usa.
 - D7-D8.- se usa si el puerto serial en modo “software” ha sido seleccionado para comunicarse con el módulo GPRS.
 - D9.- usado para controlar el encendido y apagado del módulo GPRS desde software.
 - D10-D13.- sin usar.
 - D14 (A0)-D19 (A5).- sin usar.

3.4.4 Bloque de almacenamiento

Este bloque se ubica en internet, donde se alojan los datos enviados por el Shield GPRS, es decir una Plataforma IoT donde puedan ser procesada la información para la Aplicación Web.

3.4.4.1 Plataformas IoT

Las plataformas IoT admiten el registro de datos obtenidos por sensores, el enrutamiento de datos en tiempo real y el control remoto de dispositivos como se indica en la Figura 7-3. Asimismo, presentan una interfaz que permiten el acceso a sus recursos mediante protocolos de Internet, para efectuar procesamiento de datos y operar remotamente un dispositivo. (Quiñones-Cuenca et al., 2017)

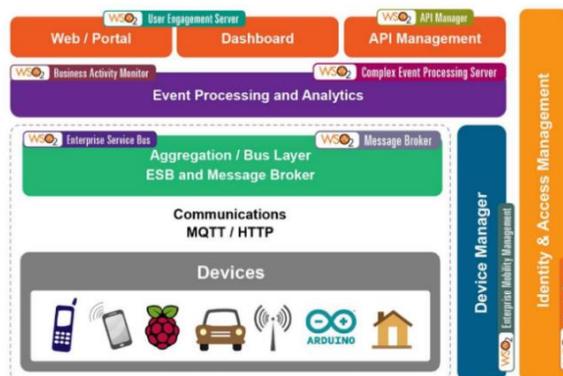


Figura 7-3: Arquitectura Plataforma IoT.

Fuente: (Monroy, 2020)

Las plataformas IoT administran de manera responsable la información, esto quiere decir:

- Capacidad de recoger la información enviada por el dispositivo.
- Capacidad de almacenar y/o analizar la información.
- Mostrar la información de forma que el usuario pueda entender y hacer uso de esta.

Asimismo, garantizan la seguridad del sistema en todo momento, para no exhibir la información a ningún usuario que no haya sido autorizado anticipadamente.

De tal forma que una plataforma IoT debe estar formada, al menos, por los siguientes módulos o bloques:

- **Conectividad y normalización:** Permite la conexión a través de protocolos, y la recepción de diferentes tipos de datos en una interfaz que garantice la precisa transmisión de datos y la interacción con los dispositivos.
- **Almacenamiento de datos:** Los datos deben ser almacenados para un posterior análisis, representación o integración con una herramienta propia o de terceros.
- **Procesamiento y gestión de la acción:** Los datos deben ser procesados para, según un conjunto de normas reglas o disparadores, ejecutar acciones dependiendo del valor resultante.
- **Analítica y Visualización:** Los datos deben de poder ser analizados y transformados, para continuamente poder ser visualizados mediante gráficos o expuestos en APIs para aplicaciones externas a la plataforma.

Para el prototipo, se ha evaluado la Plataforma IoT ThingSpeak, como medio de almacenamiento de los datos, permitiendo ser monitoreados a través de una aplicación móvil, además permite tratar los datos enviados por la Shield GSM/GPRS. (Martinez, 2017)

3.4.4.2 ThingSpeak

Esta es una plataforma que permite la recolección y almacenamiento de datos recogidos por dispositivos IoT como indica la Figura 8-3, con lo cual se lleva a cabo el desarrollo de aplicaciones enfocadas a las necesidades y acciones dependiendo de los parámetros preconfigurados.

En una plataforma abierta y de código libre, además, dispone de un gran conjunto de desarrolladores dando soporte a una gran variedad de dispositivos.

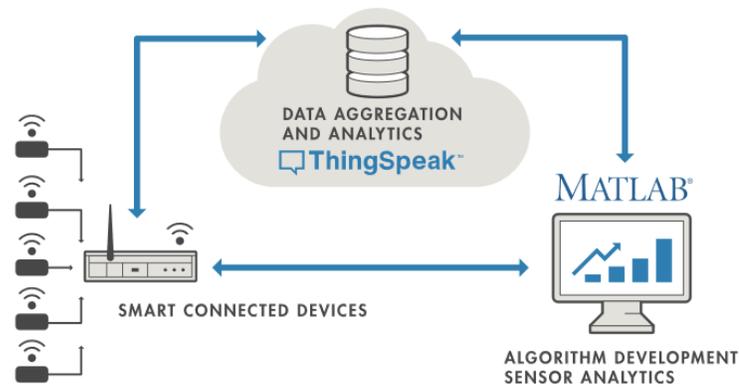


Figura 8-3: Interfaz plataforma IoT ThingSpeak.

Fuente: (ThingSpeak, 2021)

- Utilidad

Esta plataforma ofrece tanto un hosting en la nube administrado por la desarrolladora (MathWorks), así como el código de su plataforma con la opción de modificarlo y ejecutarlo en servidores propios o en la nube.

Ofrece compatibilidad oficial con los siguientes dispositivos:

- Arduino.
- Los módulos Photon y Electron de Particle.
- Modulo Wifi ESP8266.
- Raspberry Pi

- Funcionamiento

La plataforma se maneja sobre una base conocida como “Canal ThingSpeak”, dicho canal se encarga de almacenar información que envían los otros dispositivos y está conformado por las siguientes partes:

- Ocho campos para almacenar datos de todo tipo: Este tipo de campos pueden ser utilizados para almacenar datos de un sensor o un dispositivo embebido.
- Tres campos para almacenar información: Se utilizan para guardar latitud, longitud y elevación.
- Un campo denominado estado, el cual se utiliza para describir la información almacenada en el canal.

Los datos recorren desde los dispositivos al API a través de los protocolos HTTP y MQTT. En esta plataforma los dispositivos no se gestionan, ya que toda gira en torno al concepto de Canal. (Martinez, 2017)

3.4.5 Interfaz de Usuario

Este es el bloque final del sistema, porque corresponde a la visualización de datos enviados por el sensor, mediante una interfaz accesible para el usuario como es una Aplicación Web.

3.4.5.1 Entorno de desarrollo App Inventor

La plataforma App Inventor es un entorno de desarrollo gratuito de software creado por Google Labs para la elaboración de aplicaciones que son destinadas al sistema operativo Android.

Esta plataforma permite efectuar conexiones a internet mediante servidor web y con la utilización de la llave de lectura de ThingSpeak, es posible leer los valores de cada canal, en los que se guardan los datos recogidos por el sistema de monitoreo y publicarlos en tiempo real en la aplicación como indica la Figura 9-3.

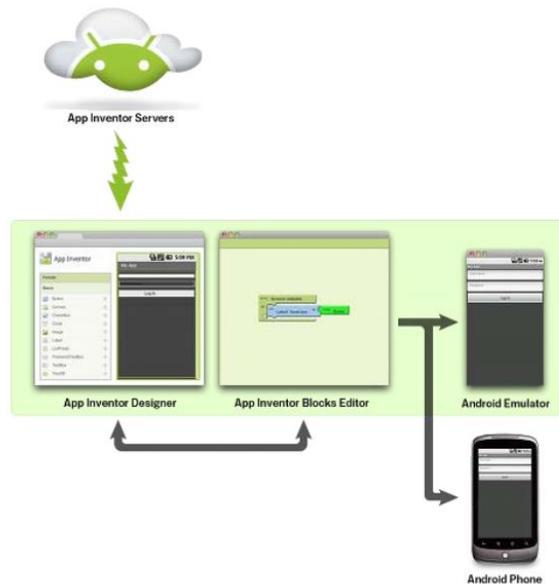


Figura 9-3: Estructura de App Inventor.

Fuente: (Ramírez, 2012)

Posee una interfaz gráfica, que brinda facilidad de crear la aplicación porque permite al usuario arrastrar y soltar objetos visuales, que se adaptan a la necesidad del dispositivo.

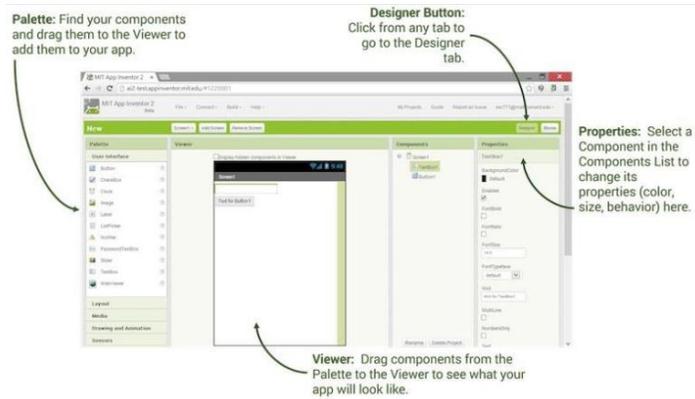


Figura 10-3: Diseño de App Inventor.

Fuente: (appinventor.mit.edu)

La Figura 10-3 muestra las partes que integran la plataforma, que son las que permiten al usuario construir aplicaciones móviles de manera rápida y sencilla. (Cabrero, 2018)

El entorno web de App Inventor tiene tres partes fundamentales:

- Diseñador
- Editor de bloques
- Emulador

El bloque del diseñador es el sitio en el cual se eligen los componentes que van a formar la aplicación, estos elementos son básicos y de diferentes tipos, algunas de ellas son: *Label* (muestra un texto en la pantalla), *Button* (muestra un botón en la pantalla que al ser pulsado realizara una acción), *Canvas* (lienzo de dibujo que almacena imágenes fijas o animaciones) etc.

El editor de bloque es el lugar donde se construye la lógica del programa, es decir, ahí se programa el comportamiento de la aplicación, se efectuará las órdenes a los componentes de lo que deben hacer y en qué momento hacerlo, la Figura 11-3 presenta el editor de bloques. Este bloque es independiente al de los componentes y esta implementado como una aplicación de *Java Web Start* que se ejecuta en el ordenador.

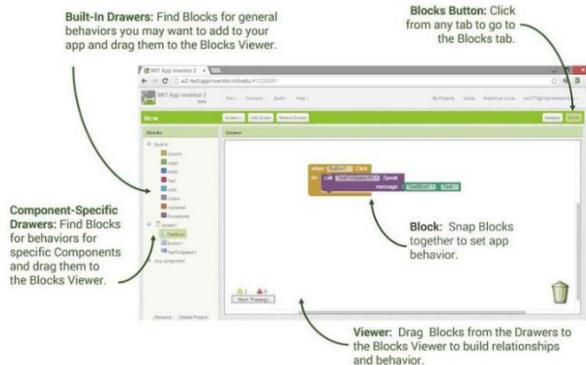


Figura 11-3: Editor de Bloques.

Fuente: (appinventor.mit.edu)

Finalmente, la plataforma dispone de un emulador, el mismo que se presenta como un software que copia el funcionamiento de un dispositivo móvil Android real, lo cual permite probar el funcionamiento de la aplicación que se desarrolla.

3.4.6 Bloque de alimentación

Para la alimentación del prototipo de monitorización del nivel de ruido, se concluye que el sistema debe ser netamente autónomo. Por lo tanto, se considera alimentar al sistema con una batería externa que cubra el rango de voltaje y corriente necesario para funcione correctamente.

Se eligió la utilización de una batería externa Turnigy LiPo, por las especificaciones que presenta y se acogen a las necesidades del dispositivo. La batería Turnigy posee cables de descarga de alta resistencia para minimizar la resistencia y soportar cargas de alta corriente como se observa en la Figura 12-3.



Figura 12-3: Batería Turnigy LiPo.

Fuente: (Gómez, 2021)

La batería Turnigy LiPo esta ensamblada mediante el uso de celdas compatibles con IR. En la Tabla 5-3 se detallan las características principales de la batería:

Tabla 5-3: Especificaciones de la Batería Turnigy LiPo.

CARACTERISTICAS	
Capacidad mínima	2200mAh
Configuración	3S1P / 11.1v / 3Cell
Descarga constante	35C
Descarga máxima (10 segundos)	70C
Enchufe de carga	JST-XH
Enchufe de descarga	XT60

Fuente: (Turnigy, 2020)

Realizado por: Gómez, Yesenia, 2021

La fuente de alimentación debe ser capaz de suministrar 2A de corriente de sobrecarga durante la ráfaga de transmisión, caso contrario el módulo SIM800c no se mantendrá encendido continuamente.

3.5 Diagrama de Flujo del sistema de monitoreo

En la Figura 13-3 se describe el diagrama de flujo del programa desarrollado con las funciones que lo integran, el mismo que inicia definiendo las bibliotecas y variables que se van a utilizar en el procedimiento, en el instante en que se inicia el microcontrolador, por consiguiente se procede con la adquisición y lectura de los valores que proporciona el sensor para luego trasladarlos a la etapa de procesamiento, donde se analizarán los datos de ruido que serán enviados al microcontrolador y compararlos con las directrices establecidas por el sistema para medir el ruido ambiental.

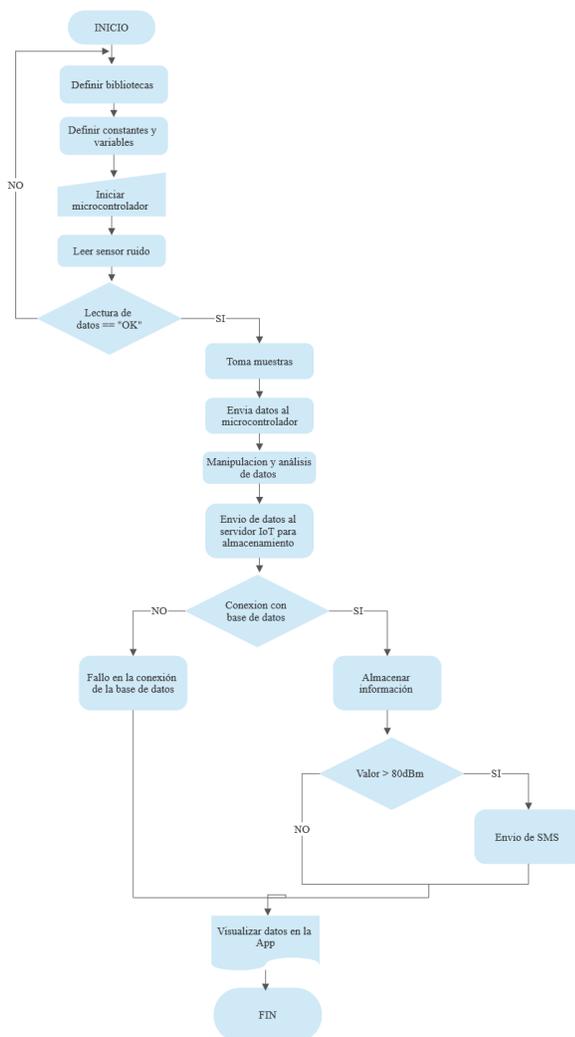


Figura 13-3: Diagrama de flujo del funcionamiento del sistema.

Fuente: (Gómez, 2021)

3.6 Esquema de conexión del prototipo

Luego de la elección y presentación de los elementos electrónicos y sensor que integran el dispositivo, se muestra en la Figura 14-3 el esquema de conexión de cada uno de ellos, los cuales permitirán el correcto funcionamiento del prototipo.

El micrófono MAX4466 es muy sencillo de conectar, el pin GND a la tierra de Arduino, el pin Vcc a los 3.3V de Arduino para obtener el mejor rendimiento y el pin Out al pin A0 de Arduino. Con respecto al módulo GSM se conecta los pines 7 y 8 para la comunicación serie y el GND entre ambas tarjetas. Finalmente, para alimentar todo el sistema se conecta la fuente de 11V al Arduino y un led que indica el estado de encendido y apagado del dispositivo.

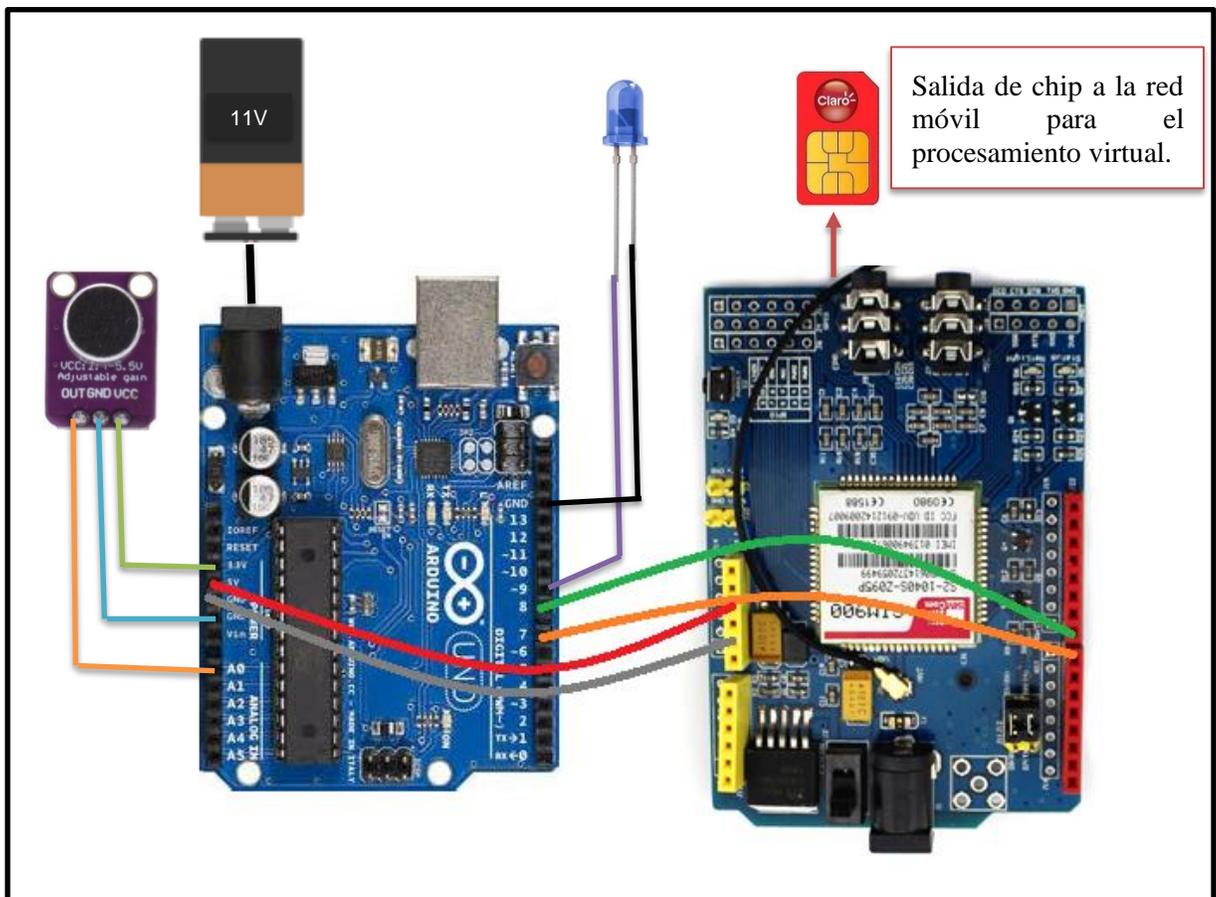


Figura 14-3: Esquema de conexión de los elementos del prototipo.

Fuente: (Gómez, 2021)

3.7 Simulación del esquema de conexión del prototipo multimodal

Esta simulación se realiza mediante el uso del software Proteus Versión CAD V8.0.

3.7.1 Esquema de conexión del módulo de transmisión

En la Figura 15-3, se visualiza el esquema de conexión del módulo transmisor, en el cual su elemento principal es el Arduino UNO, que se encarga de procesar los valores de ruido medidos por el sensor, para esta simulación se colocó un sensor digital, por tal razón el ingreso de valores se lo realiza mediante los valores digitales 1 y 0. En esta conexión se establece un valor de 0 por lo cual el estado del módulo se presenta como “NOT Detected”.

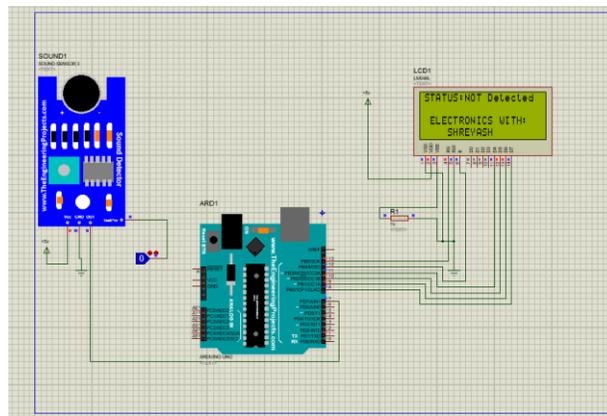


Figura 15-3: Esquema de conexión del módulo transmisor con nivel 0.

Fuente: (Gómez, 2021)

En la Figura 16-3 se observa la conexión cuando se establece un valor de 1 por lo cual el estado del módulo se presenta como “Detected”, es decir que en este estado el Arduino recibe y almacena los datos.

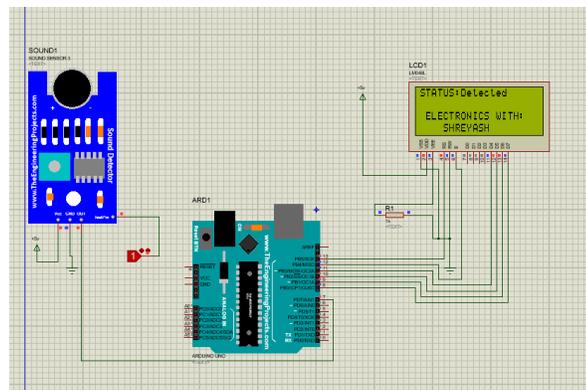


Figura 16-3: Esquema de conexión del módulo transmisor con nivel 1.

Fuente: (Gómez, 2021)

3.7.2 Esquema de conexión del módulo receptor

La Figura 17-3, presenta la conexión del módulo receptor, en este bloque se integra la tarjeta GSM que para el caso de simulación es la SIM900, este elemento permite la transmisión de la información hacia una plataforma IoT, para luego presentarla mediante una aplicación Web.

En este caso se coloca la entrada en nivel 1, con el fin de considerarle como nivel alto de ruido y mostrar el mensaje de alerta.

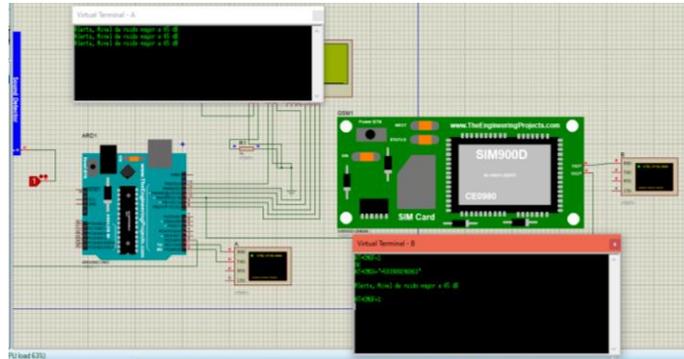


Figura 17-3: Esquema de conexión del módulo receptor con nivel 1.

Fuente: (Gómez, 2021)

En la Figura 18-3, se observa que al colocar la entrada en nivel 0, el sistema lo considera como nivel normal de ruido y muestra un simple mensaje de monitoreo.

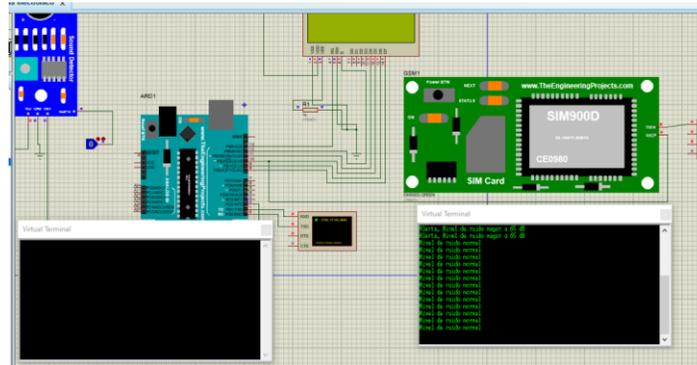


Figura 18-3: Esquema de conexión del módulo receptor con nivel 0.

Fuente: (Gómez, 2021)

3.8 Implementación

Después de presentar la estructura de cada bloque, se procede a configurar cada elemento para armar el sistema de monitoreo.

3.8.1 Configuración de los dispositivos

Se detalla a continuación la configuración de cada bloque que conforma el sistema de monitoreo.

3.8.1.1 Bloque de entrada

El sensor es el componente primordial que conforma este bloque como se muestra en la Figura 19-3. Como fuente de alimentación para su buen funcionamiento se consideró un voltaje adecuado con el fin de alargar la vida de este y evitar posibles fallas del dispositivo.



Figura 19-3: Conexión de dispositivos del bloque de entrada.

Fuente: (Gómez, 2021)

El sensor está conectado directamente al hardware libre Arduino UNO, distribuyendo sus pines de la siguiente manera como muestra la Tabla 6-3:

Tabla 6-3: Conexión de sensor con Arduino UNO.

Sensor	Pines sensor	Pines Arduino UNO
MAX4466	VCC	3.3 v
	GND	GND
	OUT	A0

Realizado por: Gómez, Yesenia, 2021

3.8.1.2 Bloque de procesamiento y salida

Para el segundo bloque, se programa y compila todo el programa del sistema en el entorno de desarrollo libre llamado Arduino IDE, en el cual se configura el comportamiento del sensor y la tarjeta shield GSM/GPRS, como se muestra en la Figura 20-3.

```
PROGRAMA_COMPLETO_BIEN Arduino 1.8.13
Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda
PROGRAMA_COMPLETO_BIEN$
#include <SoftwareSerial.h>
#include <String.h>
SoftwareSerial Sim800(7,8);

int alarma=0;
const int duracion = 50;
unsigned int muestra;
float dB;
String db;

int sound;

/////////////////////////////////////////////////////////////////
void setup() {
  Sim800.begin(19200);//Arduino se conecta al SIM800 a una velocidad de 9600
  Serial.begin(19200);//Velocidad del puerto serial del arduino
  Serial.println("OK");
}

void loop() {
  //calculo de decibeles
  unsigned long startMillis= millis(); // Inicio ventana de muestra - intervalo de tiempo
  float peakToPeak = 0; // Nivel pico a pico

  unsigned int signalMax = 0;
  unsigned int signalMin = 1024;

  // recopilar datos durante 50 ms
  while (millis() - startMillis < duracion)
```

Figura 20-3: Programación en IDE Arduino.

Fuente: (Gómez, 2021)

En el bloque de salida se encuentra el módulo Shield GSM/GPRS, que es el encargado de la transmisión de los datos hacia el bloque de almacenamiento. La tarjeta GSM/GPRS, está basada en el módulo SIM800, y se configura y controla vía UART utilizando los comandos AT, contiene una ranura SIM en el cual se coloca el Chip como muestra la Figura 21-3. La transmisión de los datos hacia el internet se realiza con un contrato de un paquete de datos móviles en la operadora CLARO.

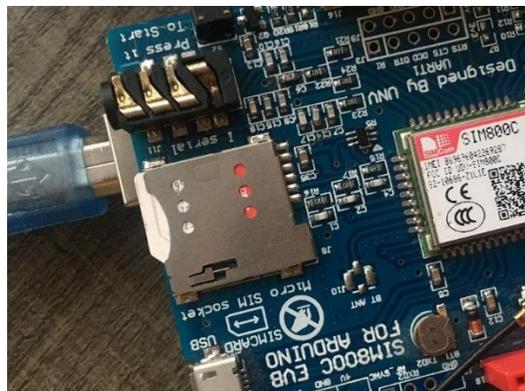


Figura 21-3: Ranura para colocar el Chip.

Fuente: (Gómez, 2021)

Se coloca los jumpers que dispone la tarjeta en los pines 7(Tx) y 8(Rx) para la comunicación como indica la Figura 22-3.



Figura 22-3: Colocación de Jumpers en los pines 7 y 8.

Fuente: (Gómez, 2021)

El correcto funcionamiento del Shield GSM/GPRS y la placa Arduino, depende de la fuente de energía, debido a la gran cantidad de corriente que se necesita para encender la Shield, ya que si la misma no recibe tal corriente se apaga y no cumple con los procesos requeridos.

La activación de la tarjeta SIM se lo puede realizar de dos formas; la primera consiste en hacerlo manualmente presionando durante dos segundos el botón Power ubicado cerca de la salida de micrófono y altavoz y la otra forma es activar mediante software, para lo cual se debe realizar una soldadura entre 2 puntos de la Shield.

La distribución de los pines del Shield GSM/GPRS se realizó como se observa en la Tabla 7-3

Tabla 7-3: Conexión del módulo Shield GSM/GPRS con el Arduino.

Arduino	GSM
5V	5V
GND	GND
Pin 7 (RX)	Pin 7
Pin 8 (TX)	Pin 8

Realizado por: Gómez, Yesenia, 2021

3.8.1.3 Conexión con ThingSpeak

El módulo de comunicación posee funcionalidades importantes, una de ellas es el envío de los valores medidos a la plataforma ThingSpeak, los cuales son visualizados en una aplicación móvil creada en App Inventor. Para el envío de datos se considera algunos aspectos que son importantes y se detallan a continuación.

- Consideraciones previas al envío

Los datos obtenidos por el sistema de monitorización desarrollado se transmiten por TCP gracias al

protocolo HTTP, para lo cual es primordial activar el servicio GPRS de la Shield de Arduino. Mientras que, para el envío de SMS, el GSM no requiere de ninguna configuración propia más allá de las que permiten iniciar la Shield y conectarla a la red, en cambio el servicio GPRS necesita de una configuración propia.

En este proceso es necesario saber dónde va a operar el sistema y la compañía de la SIM que se utiliza, para definir el Nombre del Punto de Acceso (APN). El APN, su usuario y contraseña se configuran en el sistema para poder acceder a la red de datos GPRS y dependen del operador. En este proyecto se utiliza la operadora CLARO que tiene los siguientes parámetros presentados en la Tabla 8-3:

Tabla 8-3: Configuración APN.

APN	gprs.claro.com.ec
Usuario	No tiene
Contraseña	No tiene

Realizado por: Gómez, Yesenia, 2021

○ Comandos AT

Con la conexión de la Shield a la placa Arduino se procedió a realizar el proceso de control mediante comandos AT los cuales se comunican por los puertos seriales elegidos.

Los comandos AT se definen como una serie de ordenes que la placa Shield envía al Arduino para que cumpla con las funciones que indica el comando. De la misma forma se debe establecer un tiempo prudencial para que el Shield responda con un mensaje de confirmación.

Los comandos AT que se han utilizado para este sistema están divididos en dos bloques:

- ✓ Configurar Shield para conectarse a internet

Los comandos que son utilizados para conectarse al internet se detallan en la Tabla 9-3.

Tabla 9-3: Comandos AT para conectarse al internet.

Comando	Acción
“AT”	Verifica si el módulo SIM900 está funcionando adecuadamente para entrar en modo comando.
“AT+CPIN?”	Indica si se requiere alguna contraseña o no
"AT+CREG?"	Estado de registro y la tecnología de acceso de la celda de servicio.
"AT+CGATT?"	Conecta o separa el dispositivo al servicio de dominio de paquetes.

"AT+CIPSHUT"	Cerrará el contexto GPRS PDP
"AT+CIPSTATUS"	Devuelve el estado del servidor aplicable, el estado del cliente, el número de conexión y la información del portador de GPRS.
"AT+CIPMUX=0"	Configura el dispositivo para una conexión IP única o múltiple. '0' (IP única) o '1' (IP múltiple)
"AT+CSTT=\"gprs.claro.com.ec\""	Configura el APN, el nombre de usuario y la contraseña para el contexto PDP.
"AT+CIICR"	Abre la llamada GPRS en función de la configuración establecida previamente por el comando AT+CSTT.
"AT+CIFSR"	Devuelve la dirección IP local.
"AT+CIPSPRT=0"	Establece el indicador de ">" cuando el módulo envía datos.
"AT+CIPSTART"	Inicia una conexión TCP o UDP.
"AT+CIPSEND"	Envía los datos a través de la conexión TCP o UDP
"AT+CIPSHUT"	Cerrará el contexto GPRS PDP

Realizado por: Gómez, Yesenia, 2021

- ✓ Configurar Shield para enviar un SMS

Los comandos usados para enviar el mensaje de texto SMS se especifican en la Tabla 10-3.

Tabla 10-3: Comandos AT para enviar SMS.

Comando	Acción
"AT+CMGF=1"	Ver el formato de un mensaje, ya sea PDU (0) o SMS (1)
"AT+CMGS"	Envía un SMS al número telefónico definido
((char)26)	Por último, para saber que el SMS termino es necesario mandar un ctrl+Z

Realizado por: Gómez, Yesenia, 2021

3.8.1.4 Bloque de almacenamiento

El proceso de almacenamiento y visualización de datos se lo realiza en la plataforma ThingSpeak que ofrece interfaces HTTP y MQTT para que el usuario que use estos protocolos pueda gestionar la información.

Los datos se almacenan en canales que están asociados a cuentas del usuario que pueden ser públicos o privados como se indica en la Figura 23-3.



Figura 23-3: Plataforma ThingSpeak.

Fuente: (Gómez, 2021)

3.8.1.5 Programación de Interfaz de usuario

Para el monitoreo y visualización de datos en tiempo real, se programa la aplicación web en la plataforma App Inventor, la misma que contiene dos pantallas; la portada y la que muestra los datos. En la pantalla principal se diseñan dos botones como muestra la Figura 24-3, al momento de ser presionados envían la solicitud a las acciones programadas en cada uno de ellos.

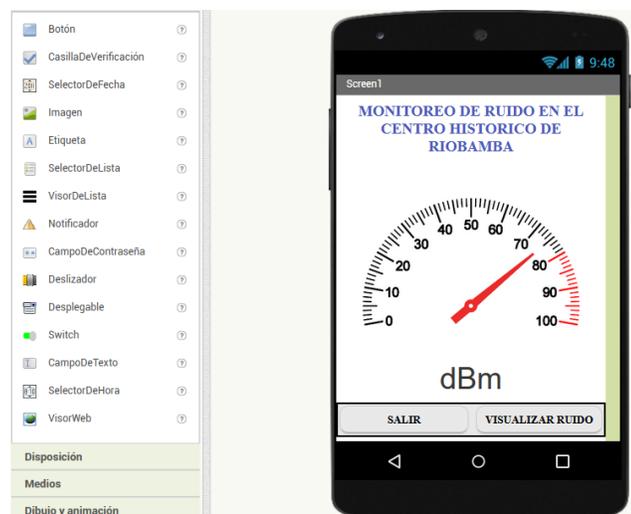


Figura 24-3: Diseño de la pantalla principal de la aplicación.

Fuente: (Gómez, 2021)

Estos botones son:

- Botón Salir: Cierra la aplicación
- Botón Visualizar Ruido: Abre la pantalla que contiene la información recogida por ThingSpeak.

La segunda pantalla contiene el dato medido y un botón como se observa en la Figura 25-3.



Figura 25-3: Diseño de la segunda pantalla de la aplicación.

Fuente: (Gómez, 2021)

El botón Inicio permite regresar a la pantalla principal para posterior a eso cerrar la aplicación desde el botón Salir.

3.8.2 *Protección física*

El sistema está comprendido por el bloque de entrada, procesamiento y salida, para lo cual se diseñó una caja protectora como se muestra en la Figura 26-3, para preservar de posibles golpes, evitar suciedad, cuidar del agua y el sol. La caja es de mucha utilidad y beneficio para salvaguardar los dispositivos que conforman el sistema.



Figura 26-3: Protección física del prototipo.

Fuente: (Gómez, 2021)

3.9 Sectores de medición

Con el prototipo implementado se procedió a seleccionar 5 diferentes sectores del Centro Histórico de Riobamba los mismos que contienen la mayoría de los sitios mencionados en el capítulo II, con el fin de medir el nivel de ruido ambiental, en la Figura 27-3 se observan los sectores selectos, señalados con un icono color morado.



Figura 27-3: Sectores del Centro Histórico de Riobamba.

Fuente: (Gómez, 2021)

En la Tabla 11-3, se detalla la ubicación de los sectores mediante las variables latitud y longitud, medidos con el GPS de un teléfono móvil iPhone 6S.

Tabla 11-3: Ubicación de sectores.

SECTOR	LATITUD	LONGITUD	HORA
Parque Sucre	-1.672321	-78.650422	12h16
Parque Maldonado	-1.672675	-78.648831	12h09
Plaza roja	-1.671152	-78.648497	12h12
La Merced	-1.673899	-78.649826	12h00
Plaza Alfaro	-1.669799	-78.653269	12h37

Realizado por: Gómez, Yesenia, 2021

Conjuntamente, se estableció 4 diferentes horarios para la medición que van de la siguiente manera:

- Mañana: de 8:00 a 9:00
- Medio día: de 12:00 a 13:00
- Tarde: 15:00 a 16:00
- Noche: 18:00 a 19:00

En estos sectores seleccionados del Centro Histórico de Riobamba, se prevé que el nivel de ruido es variante y en horas comerciales supera el establecido en el Texto Unificado de Legislación Ambiental de Secundaria (TULSMA) LIBRO VI ANEXO 5.

3.10 Intensidades sonoras

Debido a las diferentes fuentes emisoras de ruido, los valores constantemente exceden el nivel permisible, lo cual representa peligro para el oído humano. La Tabla 12-3 según el Texto Unificado de Legislación Ambiental de Secundaria (TULSMA) LIBRO VI ANEXO 5, muestra el porcentaje de daño en la salud, de acuerdo con el valor de ruido, tomando en cuenta que valores mayores a 115dBm es netamente perjudicial para el humano y representa el 100% de daño.

Tabla 12-3: Porcentaje de peligro por exposición al ruido.

Niveles máximos	% Peligro	Déficit auditivo	Tiempo límite de exposición	Razón
80 – 90 dBm	70%	Límite de nocividad	8 horas al día	Legislación laboral
90 – 115 dBm	80%	Peligro sonidos nocivos	30 minutos al día	Martillo, perforadora, sierra
Mayores a 115 dBm	100%	Sonidos excepcionales daños irreversibles	1 – 4 minutos al día	Disparos, explosión, despegue de avión.

Realizado por: Gómez, Yesenia, 2021

CAPITULO IV

4. ANALISIS Y VALIDACION DE RESULTADOS

Después del proceso de diseño e implementación del prototipo multimodal y el software para el análisis de resultados del sistema de monitoreo, se procede en este capítulo a realizar la comprobación del prototipo y mostrar los resultados obtenidos, para evidenciar el funcionamiento correcto del hardware y software que integran el dispositivo.

El sistema estuvo activo durante 14 días (del 10 al 23 de enero del 2022), este es el tiempo recomendado por trabajos anteriormente realizados sobre este tema como “Diseño e implementación de una red inalámbrica de sensores inteligentes para el registro de la contaminación acústica en la ESPOCH basado en Tarjetas de desarrollo”

El dispositivo de medición estuvo ubicado a una altura de 1,5 m aproximadamente desde el suelo, y con una distancia de al menos 2 m de estructuras que causan posibles reflejos del ruido.

El tiempo que duró cada medición es de 60 minutos en las horas establecidas en el capítulo III.

4.1 Estructura y características del prototipo

En la Figura 1-4, se observa el prototipo ensamblado, en el cual se puede apreciar su estructura y sus componentes.



Figura 1-4: Estructura interna del

Fuente: (Gómez, 2022)

Las características técnicas del dispositivo se detallan a continuación:

- Sonómetro de clase 2 (Para la toma de medidas generales en trabajos de campo)
- Rango de medida 33 – 115 dBm

- Mide el parámetro de nivel de ruido (2 mediciones por minuto)
- Rango de frecuencia 20Hz a 20 KHz
- Calibración sencilla
- Alarma mediante mensajes de texto, cuando las señales sobrepasan los 80 dBm

4.2 Pruebas del funcionamiento de la aplicación móvil desarrollada en App Inventor

Para la comprobación de la aplicación desarrollada, se utilizó un celular Samsung Galaxy J2, en el cual se instaló la aplicación web para observar en tiempo real los valores medidos por el prototipo. La comunicación entre la plataforma IoT y la aplicación desarrollada en App Inventor se realizó correctamente comprobándose que se reciben los datos sin interrupción alguna. En la Figura 2-4 se presentan uno de los valores medidos y monitorizados mediante la aplicación web en un instante de tiempo.



Figura 2-4: Visualización de los valores.

Fuente: (Gómez, 2022)

4.3 Pruebas del funcionamiento de envío de mensajes de texto

Una de las características del prototipo además de su aplicación móvil es el envío de mensajes de texto al número telefónico del usuario cuando el nivel de ruido sobrepasa el valor permisible, en este caso se limitó valores mayores a 85dBm, por lo tanto, en el instante en que el dispositivo mida niveles de ruido mayores al valor establecido automáticamente envía un mensaje de texto con el siguiente contenido "Precaución, el nivel de ruido sobrepasa el valor permisible. Valor actual:"

En la Figura 3-4 se observa el mensaje recibido en el celular, el cual muestra el valor actual de ruido.

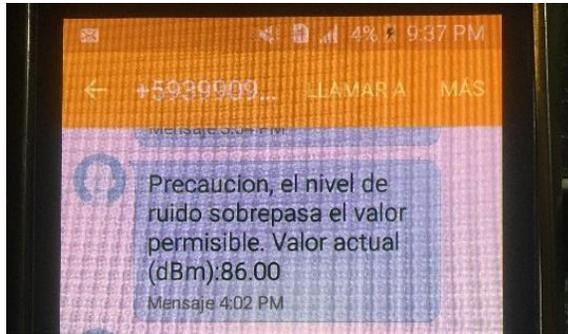


Figura 3-4: Mensaje de texto recibido.

Fuente: (Gómez, 2022)

4.4 Cálculo de tiempo de duración de la batería del sistema

Para este cálculo es necesario tener el dato del valor de consumo de corriente de cada elemento del sistema cuando este se encuentre en modo activo. En la Tabla 1-4 se indican estos valores:

Tabla 1-4: Consumo de corriente del prototipo sonómetro.

Elemento	Cantidad	Consumo (mA)
Sensor Max4466	1	15
Módulo SIM 800C	1	1500
Arduino UNO	1	50
Led blanco	1	2,2
TOTAL		1567,2

Realizado por: Gómez, Yesenia, 2022

Cálculos:

V_b = Voltaje de la batería

I_b = Corriente de la batería

I_c = Corriente del circuito

H = Horas

W_b = Potencia de la batería

W_c = Potencia del circuito

$$V_b \times I_b = 11.1V \times 2.2Ah = 24.42 Wb$$

$$1567.2 mA = 1.6 A$$

$$V_b \times I_c = 11.1V \times 1.6Ah = 17.76 Wc$$

$$H = \frac{24.42}{17.76} = 1.89 \approx 2 \text{ horas}$$

Este es el tiempo de duración de la batería mientras el dispositivo se encuentre en modo activo, es decir, este constantemente midiendo y transmitiendo datos a internet.

4.5 Mediciones realizadas en cada sector

En las Tablas 2-4, 3-4, 4-4, 5-4 y 6-4, se muestran los resultados de las mediciones obtenidas en días laborables del 10 al 14 de enero y del 17 al 21 de enero, por lo que se distribuyeron dos días de medición para cada sector, de tal forma que, del total de las muestras, se presentan los valores de ocho de ellas, tomando los cuatro primeros y los cuatro últimos valores, calculando también el valor de la media. Cabe recalcar que el prototipo realiza 2 lecturas por minuto.

Tabla 2-4: Mediciones realizadas en el sector del Parque Sucre.

Sector	Valor de ruido (dBm)				
	Muestras (240)	8h00 a 9h00	12h00 a 13h00	15h00 a 16h00	18h00 a 19h00
Parque Sucre	1	69.00	58.00	65.00	81.00
	2	73.00	67.00	57.00	65.00
	3	71.00	77.00	64.00	88.00
	4	69.00	84.00	72.00	75.00

	237	78.00	61.00	75.00	94.00
	238	89.00	59.00	68.00	107.00
	239	72.00	83.00	72.00	79.00
	240	69.00	72.00	67.00	87.00
	Media	64.00	74.00	68.00	81.00

Realizado por: Gómez, Yesenia, 2022



Figura 4-4: Mediciones de ruido en el sector del Parque Sucre.

Realizado por: Gómez, Yesenia, 2022

Tabla 3-4: Mediciones realizadas en el sector de la Plaza Alfaro.

Sector	Valor de ruido (dBm)				
	Muestras (240)	8h00 a 9h00	12h00 a 13h00	15h00 a 16h00	18h00 a 19h00
Plaza Alfaro	1	57.00	78.00	66.00	75.00
	2	73.00	74.00	70.00	77.00
	3	69.00	67.00	68.00	81.00
	4	64.00	64.00	65.00	79.00

	237	86.00	59.00	58.00	87.00
	238	67.00	65.00	61.00	92.00
	239	69.00	76.00	63.00	98.00
	240	71.00	68.00	74.00	84.00
	Media	67.00	69.00	71.00	74.00

Realizado por: Gómez, Yesenia, 2022

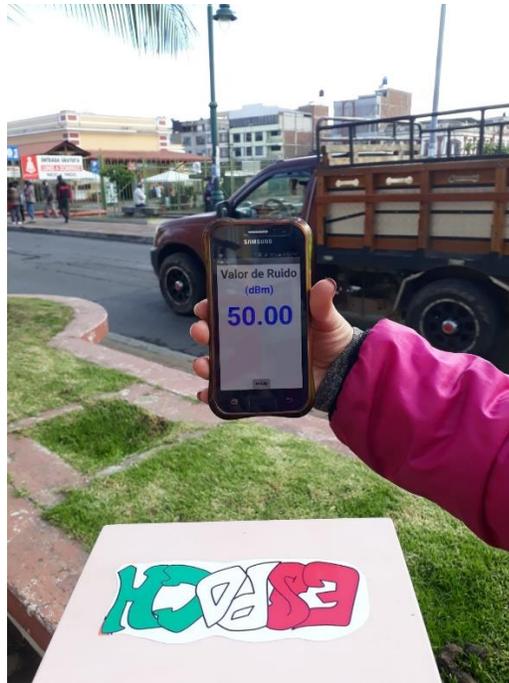


Figura 5-4: Mediciones de ruido en el sector de la Plaza Alfaro.

Realizado por: Gómez, Yesenia, 2022

Tabla 4-4: Mediciones realizadas en el sector de la Merced.

Sector	Valor de ruido (dBm)				
	Muestras (240)	8h00 a 9h00	12h00 a 13h00	15h00 a 16h00	18h00 a 19h00
La Merced	1	67.00	74.00	56.00	87.00
	2	54.00	67.00	47.00	81.00
	3	56.00	78.00	58.00	76.00
	4	65.00	81.00	61.00	79.00

	237	68.00	76.00	66.00	67.00
	238	59.00	99.00	57.00	83.00
	239	48.00	104.00	73.00	79.00
	240	62.00	85.00	69.00	97.00
	Media	61.00	79.00	65.00	79.00

Realizado por: Gómez, Yesenia, 2022



Figura 6-4: Mediciones de ruido en el sector de la Merced.

Realizado por: Gómez, Yesenia, 2022

Tabla 5-4: Mediciones realizadas en el sector del Parque Maldonado.

Sector	Valor de ruido (dBm)				
	Muestras (240)	8h00 a 9h00	12h00 a 13h00	15h00 a 16h00	18h00 a 19h00
Parque Maldonado	1	58.00	67.00	49.00	68.00
	2	57.00	60.00	55.00	58.00
	3	63.00	84.00	53.00	74.00
	4	65.00	59.00	57.00	71.00

	237	66.00	75.00	54.00	91.00
	238	72.00	53.00	60.00	78.00
	239	58.00	69.00	68.00	87.00
	240	69.00	64.00	77.00	68.00
	Media	63.00	67.00	65.00	74.00

Realizado por: Gómez, Yesenia, 2022



Figura 7-4: Mediciones de ruido en el sector del Parque Maldonado.

Realizado por: Gómez, Yesenia, 2022

Tabla 6-4: Mediciones realizadas en el sector de la Plaza Roja.

Sector	Valor de ruido (dBm)				
	Muestras (240)	8h00 a 9h00	12h00 a 13h00	15h00 a 16h00	18h00 a 19h00
Plaza Roja	1	60.00	58.00	56.00	78.00
	2	58.00	68.00	67.00	84.00
	3	65.00	71.00	58.00	64.00
	4	61.00	60.00	75.00	76.00

	237	61.00	68.00	71.00	81.00
	238	70.00	96.00	60.00	92.00
	239	64.00	93.00	92.00	78.00
	240	83.00	78.00	68.00	71.00
	Media	66.00	72.00	69.00	78.00

Realizado por: Gómez, Yesenia, 2022



Figura 8-4: Mediciones de ruido en el sector de la Plaza Roja.

Realizado por: Gómez, Yesenia, 2022

Las Figuras 4-4, 5-4, 6-4, 7-4 y 8-4, muestran las pruebas de mediciones de ruido realizadas en cada sector del Centro Histórico de Riobamba.

Con las mediciones almacenadas en la base de datos de ThingSpeak, se procede a realizar un proceso de filtrado de los 240 datos de cada sector, con el fin de obtener el número de veces que el nivel de ruido excedió el nivel permisible limitado en los 80 dBm, esta información se presenta en la Tabla 7-4.

Tabla 7-4: Número de veces excedido el valor de ruido.

Sector	Muestras	Número de muestras excedidas
Parque Sucre	240	89
Plaza Alfaro	240	65
La Merced	240	81
Parque Maldonado	240	78
Plaza Roja	240	74

Realizado por: Gómez, Yesenia, 2022

Con la información de la Tabla 7-4, se determina que en las dos horas medidas el ruido en cada sector, el número de veces excedido del valor permisible se encuentra entre un mínimo de 65 valores y un máximo de 89 valores del total de las muestras obtenidas.

4.6 Validación del prototipo

Para la validación del prototipo se modificó el programa del sistema para comprobar el funcionamiento del sistema de monitoreo. En la Figura 9-4 se muestra el diagrama de flujo del programa modificado, el cual se diferencia únicamente por el ingreso manual del valor de ruido.

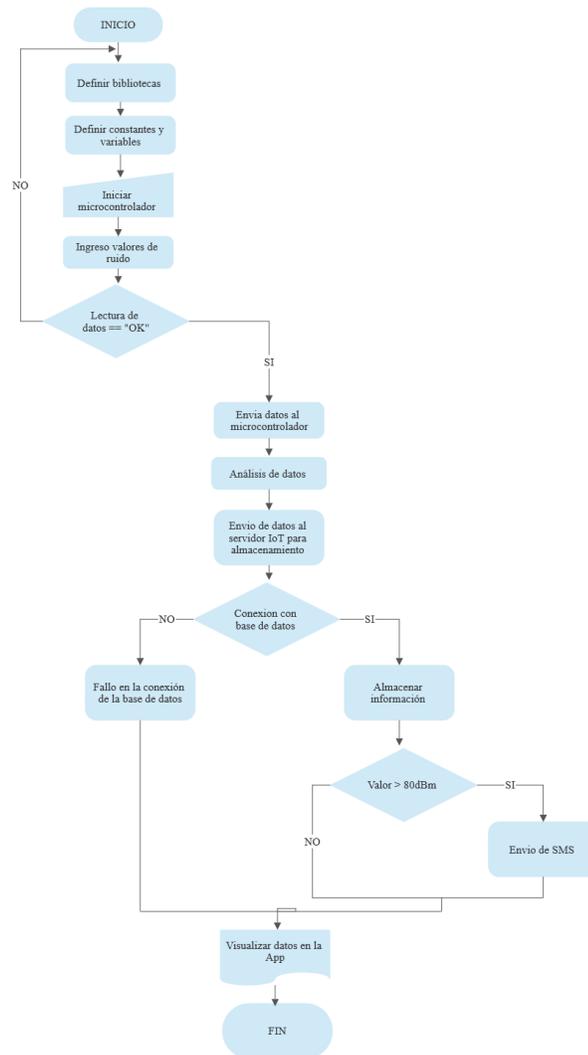


Figura 9-4: Diagrama de flujo de la validación del prototipo.

Realizado por: Gómez, Yesenia, 2022

La validación del prototipo consiste en ingresar valores de ruido manualmente para observar el funcionamiento del sistema y comprobar la visualización de datos en la aplicación móvil como se muestra en la Figura 10-4, así como también recibir el mensaje de precaución si se cumple la condición.



Figura 10-4: Funcionamiento del prototipo mediante el ingreso manual de ruido.

Realizado por: Gómez, Yesenia, 2022

Dentro de la validación también se realizaron pruebas de medición con el prototipo y una aplicación móvil instalada en un teléfono Samsung J2 llamado “Sonómetro”, con el objetivo de verificar la eficiencia en medición del prototipo implementado, estas pruebas consistieron en tomar valores de ruido durante 15 minutos, con cada dispositivo al mismo instante, en el sector del Parque Sucre de 15:H00 a 15H15. Tomando en cuenta que el prototipo toma y procesa un valor en un intervalo de tiempo de 30s, mientras que la aplicación móvil lo hace en 1s.

Por tal razón no se puede realizar una comparación de cada valor medido por los dos sistemas debido al tiempo de retardo que existe entre ambos, de tal forma que se calculó el nivel promedio de ruido en ese tiempo tanto del prototipo como de la aplicación dando los siguientes resultados:

Tabla 8-4: Porcentaje de error del prototipo con respecto a la aplicación móvil.

Dispositivo	Tiempo (minutos)	Muestras	Promedio ruido (dBm)
Prototipo	15	30	78
Aplicación móvil	15	900	81
Error	---	---	-3

Realizado por: Gómez, Yesenia, 2022

Con los resultados de la Tabla 8-4, se estima que el prototipo toma valores que se encuentran alrededor del rango de valores de la aplicación móvil.

Durante las pruebas de medición realizadas en los cinco sectores se pudo constatar también que el prototipo automáticamente toma valores de ruido, los mismos que son visualizados a través de la aplicación móvil, estos niveles dependen del movimiento comercial, industrial o social que exista en ese instante y la cantidad de ruido que se produzca, por lo tanto pueden encontrarse dentro del rango permisible y en otros casos sobrepasando el límite permisible definido en TULSMA, dependiendo del ruido que se midió en el horario que se efectuaron las pruebas.

Estos se observan en la Figura 11-4.

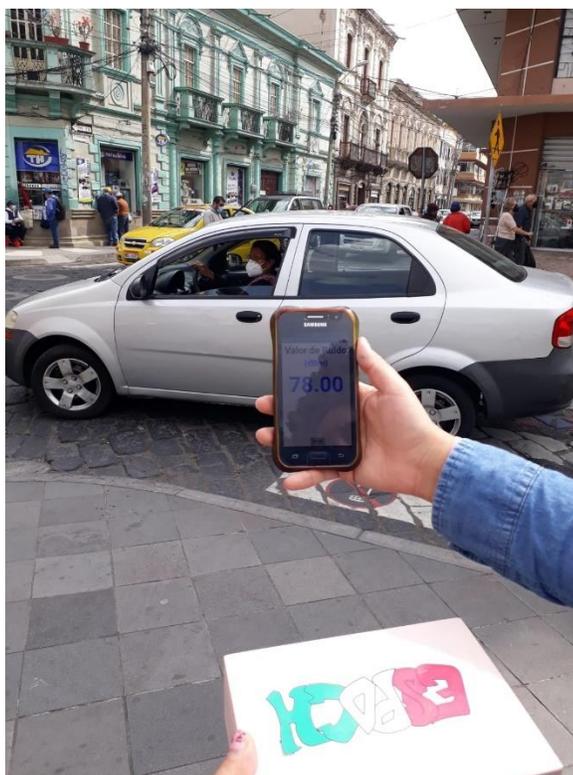


Figura 11-4: Funcionamiento del prototipo mediante el sensor de ruido.

Realizado por: Gómez, Yesenia, 2022

4.6.1 *Datos comparativos de niveles de ruido*

De acuerdo con los resultados obtenidos de las mediciones con el prototipo en cada sector a las horas establecidas, se resume en la Tabla 9-4, los valores promedios de ruido en días laborables.

Tabla 9-4: Valores promedios de cada sector en los cuatro horarios.

Hora	Sector	Valor (dBm)
8h00 - 9h00	Parque Sucre	64.00
	Plaza Alfaro	67.00
	La Merced	61.00
	Parque Maldonado	63.00
	Plaza Roja	66.00
12h00 - 13h00	Parque Sucre	74.00
	Plaza Alfaro	69.00
	La Merced	79.00
	Parque Maldonado	67.00
	Plaza Roja	72.00
15h00 - 16h00	Parque Sucre	68.00
	Plaza Alfaro	67.00
	La Merced	65.00
	Parque Maldonado	71.00
	Plaza Roja	69.00
18h00 - 19h00	Parque Sucre	81.00
	Plaza Alfaro	74.00
	La Merced	79.00
	Parque Maldonado	74.00
	Plaza Roja	78.00

Realizado por: Gómez, Yesenia, 2022

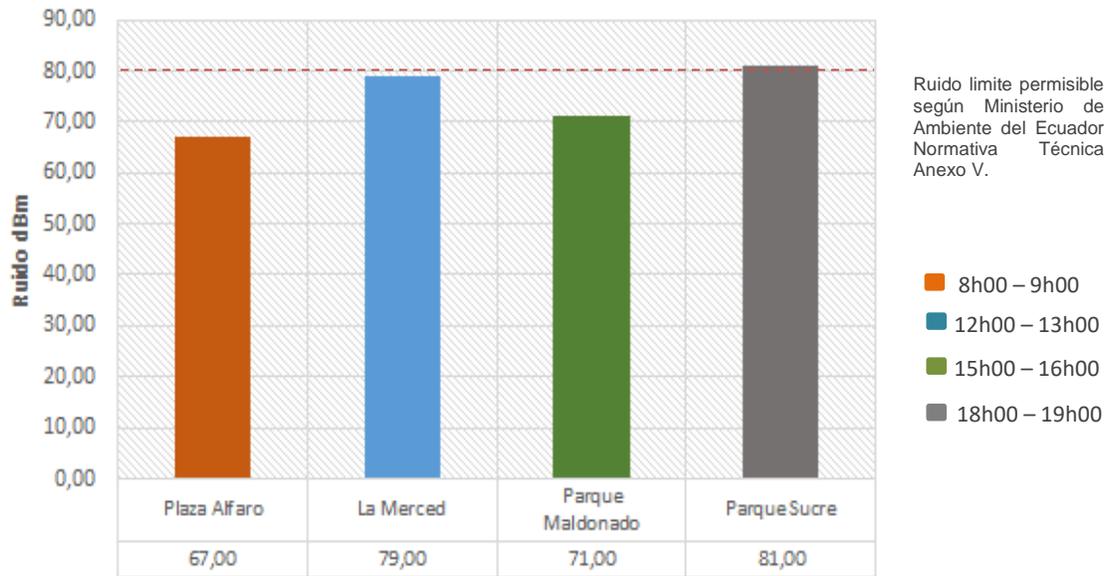


Gráfico 1-4: Sectores con mayor ruido según horario.

Realizado por: Gómez Y. 2022

En el Gráfico 1-4, se observan barras de diferente color, las cuales indican el valor y el sector más ruidoso en cada horario; iniciando de 8h00 a 9h00 con la Plaza Alfaro, de 12h00 a 13h00 La Merced, de 15h00 a 16h00 el Parque Maldonado y de 18h00 a 19h00 el Parque Sucre, el ruido es producto del transporte particular y público que circulan por sus alrededores, tomando en cuenta también la gran cantidad de peatones que transitan constantemente.

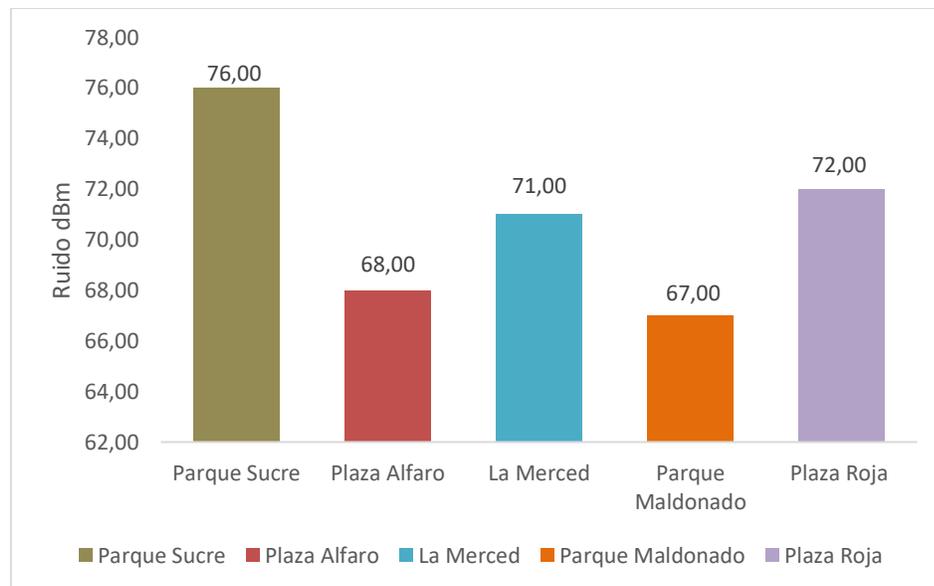


Gráfico 2-4: Ruido medido durante un día en cada sector.

Realizado por: Gómez Y. 2022

Con los sectores ya indicados, en el Gráfico 2-4, se muestra el valor promedio de las mediciones realizadas durante un día en cada sector, por tal razón se puede determinar que el lugar con mayor presencia de ruido es el Parque Sucre debido a la actividad laboral diaria y el de menor ruido es el Parque Maldonado.

Como se mencionó anteriormente las mediciones se realizaron por 14 días, empezando desde el lunes 10 de enero hasta el Domingo 23 de enero, con el fin de obtener resultados de ruido en los días en que existe actividad laboral y en los que haya ausencia de labores.

Se determino los valores promedios de ruido obtenidos de las mediciones elaboradas durante el fin de semana en los cuatro horarios señalados, independientemente del sector, es decir, en los sábados se midió el ruido en cuatro diferentes sectores, uno en cada hora establecida, de igual manera se realizó los domingos. Estos valores se observan en la Tabla 10-4, en la cual se especifica el sector medido en cada hora.

Tabla 10-4: Promedio de niveles de ruido en días no laborables.

Días/Horas		8h00 -9h00	12h00 - 13h00	15h00 - 16h00	18h00 - 19h00
Sábado	15/1/2022	63 dBm (Parque Sucre)	73 dBm (Plaza Roja)	61 dBm (Parque Maldonado)	67 dBm (Plaza Alfaro)
	22/1/2022	60 dBm (Parque Maldonado)	65 dBm (La Merced)	72 dBm (Parque Sucre)	62 dBm (Plaza Roja)
Domingo	16/1/2022	59 dBm (Plaza Alfaro)	69 dBm (Parque Sucre)	60 dBm (La Merced)	58 dBm (Parque Maldonado)
	23/1/2022	61 dBm (Plaza Alfaro)	63 dBm (Parque Maldonado)	59 dBm (Plaza Roja)	56 dBm (La Merced)

Realizado por: Gómez, Yesenia, 2022

Con los valores observados en la Tabla 10 - 4, se puede constatar que el fin de semana existe una reducción del nivel de ruido que casi en su totalidad se encuentran dentro del rango permisibles para el oído humano, por lo tanto, son días en que las personas no sufren daños auditivos en esos sectores.

4.7 Análisis económico de la implementación del prototipo multimodal

En la Tabla 11-4, se muestran todos los costos de los materiales y dispositivos utilizados en la implementación del prototipo, detallando cada elemento que lo conforman.

Tabla 11-4: Presupuesto detallando cada elemento que conforman el prototipo.

DISPOSITIVO	CANT.	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
Módulo de transmisión			
Sensor MAX4466 Electret	1	18,00	18,00
Modulo Arduino UNO R3 + cable USB	1	15,50	15,50
Batería Lipo 3s 11,1v 2200mah Turnigy	1	40,00	40,00
Shield Modulo Sim800C GSM	1	35,00	35,00
Chip CLARO para el módulo GSM	1	5,00	5,00
Recarga para datos/megas	3	5,00	15,00
Recarga para mensajes de texto	2	1,00	2,00
Interruptor y led	1	1,50	1,50
Cables de conexión	1	5,00	5,00
TOTAL, MODULO DE TANSMISION			137,00
Módulo de Recepción			
Celular Samsung Galaxy J2	1	50,00	50,00
Chip CLARO para el celular	1	5,00	5,00
Caja de madera para protección física	1	10,00	10,00
TOTAL, MODULO DE RECEPCION			65,00

Realizado por: Gómez, Yesenia, 2021

Con los valores resultantes obtenidos en la tabla antes indicada, se puede evaluar que el módulo de transmisión tiene un alto costo de \$137,00 con respecto al módulo de recepción de \$65,00, de tal forma que el costo total del prototipo es de \$202,00.

CONCLUSIONES

- Los estudios de niveles de ruido realizados en el Centro Histórico de Riobamba permitieron constatar que, debido a la actividad laboral diaria, los niveles de ruido continuamente varían desde un mínimo de 48dBm hasta un máximo de 105dBm. Por tal razón, del total de las 240 muestras obtenidas de cada sector, se detalla el número de veces excedidas del valor permisible de 80 dBm establecido por el Ministerio del Ambiente Ecuatoriano, de donde se obtuvo estos resultados: Parque Sucre 89 muestras, Plaza Alfaro 65 muestras, La Merced 81 muestras, Parque Maldonado 78 muestras y Plaza Roja 74 muestras, las mismas que no representan ni el 50% del total de las muestras, lo que quiere decir que las personas en su mayoría de tiempo durante la actividad laboral no se exponen completamente a altos niveles de ruido.
- De acuerdo con los requerimientos del prototipo y por las características que posee, se eligió el sensor MAX4466 como instrumento para leer los datos del ruido, teniendo como ventaja una manipulación y programación sencilla. Para la etapa de procesamiento y transmisión de datos se seleccionó la tarjeta de desarrollo Arduino UNO y el módulo GSM 800C con un chip de operadora Claro, por su bajo costo, fácil adquisición y mejor cobertura.
- La utilización de las diferentes tecnologías en el diseño e implementación del prototipo sonómetro, permitieron al dispositivo ser multimodal, además el uso de redes WWAN (Wireless Local Area Network) en las cuales la comunicación es a través de la red móvil posibilitaron abarcar mayor espacio y conectarse desde cualquier lugar para obtener información del medio ambiente: ruido.
- El sector que presento mayor presencia de ruido es el Parque Sucre, debido a que el nivel de presión sonora equivalente en zona comercial supera lo establecido de acuerdo con el Texto Unificado de Legislación Ambiental de Secundaria (TULAS) LIBRO VI ANEXO 5, establecido por el Ministerio del Ambiente Ecuatoriano, que es 60 dBm en periodos de tiempo de 06H00 a 20H00 y 50 dBm en periodo de tiempo de 20H00 a 06H00, teniendo en cuenta que la exposición a niveles de sonido menos de 70 dBm produce molestias y perturbación del sueño o descanso mas no daño auditivo como tal, independientemente de su duración, lo contrario a la exposición durante más de 8 horas a niveles sonoros por encima de 80 dBm que es potencialmente peligroso.

RECOMENDACIONES

- Implementar sensores que permitan medir otros contaminantes como CO₂, calidad de aire, temperatura y otros, con el fin de extender la información del prototipo en cuanto a niveles de contaminación ambiental.
- Investigar de manera minuciosa la calibración del sensor MAX4466 para obtener una alta sensibilidad que permita mejorar la precisión y estabilidad en las lecturas de datos, de tal forma que se pueda perfeccionar el funcionamiento del prototipo.
- Utilizar dispositivos más robustos para la etapa de procesamiento, con el fin de lograr un tiempo de respuesta superior al alcanzado en el prototipo implementado, ya que se obtuvo hasta 2 medidas por minuto.
- Para la transmisión de cadenas cortas de datos seriales entre dos dispositivos, se recomienda manejar velocidades altas de transmisión como 115200 baudios, que ayudan a tener un mayor control de la información, por el contrario, si las cadenas de datos son largas es mejor utilizar velocidades medias y bajas como 9600 y 4800 baudios para evitar problemas de pérdida de datos por la latencia propia del sistema.
- El prototipo sonómetro implementado está diseñado para determinar los niveles de ruido en ambientes con gran afluencia de sonido, así como también donde hay ausencia de este, de tal manera que se recomienda su utilización debido a la versatilidad y fácil transporte que permiten ubicarlo en cualquier punto que se desee medir la contaminación del ruido.

GLOSARIO

OMS	Organización Mundial de la Salud
TULSMA	Texto Unificado de Legislación Ambiental de Secundaria
IoT	Internet de las Cosas
NPS	Nivel de Presión Sonora
WSN	Red de Sensores Inalámbricos
ADC	Convertidor Analógico Digital
FPGA	Matriz de Puertas Reprogramables
RF	Radio Frecuencia
MCU	Unidad de Control Principal
MPU	Unidad de Microprocesador
UART	Transmisor-Receptor asíncrono Universal
LPWAN	Red de Área amplia de Baja Potencia
WLAN	Red de área local inalámbrica
GSM	Sistema Global para las Comunicaciones Móviles
GPRS	Servicio General de Paquetes vía Radio
GPS	Sistema de Posicionamiento Global

BIBLIOGRAFIA

| **DE LA OMS** Organización Mundial de la Salud. [en línea], 2018. [Consulta: 22 septiembre 2021]. Disponible en: <https://www.who.int/>.

ADAFRUIT, Maxim Intergrated LM4466 Microphone Preamplifiers with Complete Shutdown. [en línea], 2017, pp. 1-15. Disponible en: <http://www.adafruit.com/datasheets/MAX4465-MAX4469.pdf>.

ALFIE COHEN, M., SALINAS CASTILLO, O., ALFIE COHEN, M. y SALINAS CASTILLO, O., Ruido en la ciudad. Contaminación auditiva y ciudad caminable. *Estudios demográficos y urbanos* [en línea], 2017, vol. 32, no. 1, pp. 65-96. [Consulta: 22 septiembre 2021]. ISSN 0186-7210. Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0186-72102017000100065&lng=es&nrm=iso&tlng=es.

ALHARBI, N. y SOH, B., Roles and Challenges of Network Sensors in Smart Cities. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2019, vol. 322, no. 1. DOI 10.1088/1755-1315/322/1/012002.

ALTAMIRANO y PUENTE, 2016. *Diseño e implementación de una red inalámbrica de sensores inteligentes para el registro de la contaminación acústica en la ESPOCH basado en tarjetas de desarrollo*. [en línea]. Riobamba: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. [Consulta: 22 septiembre 2021]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/6378>.

CABEZAS, J., *La contaminación acústica vulnera los derechos ambientales en el distrito metropolitano de Quito en el año 2015* [en línea]. S.l.: s.n. ISBN 1722922265. Disponible en: <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/5930/1/T-UCE-0013-Ab-073.pdf>.

CABRERO, F., Innovaciones educativas motivadoras del conocimiento de las matemáticas y las ciencias. , 2018, .

CAICEDO CARRERA, S., Diseño de un sistema de tecnologías abiertas para la medición de material particulado en la ciudad de Santa Elena. [en línea], 2017, pp. 63. Disponible en:

<http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/22251>.

CAPPONI, A., FIANDRINO, C., KANTARCI, B., FOSCHINI, L., KLIAZOVICH, D. y BOUVRY, P., A Survey on Mobile Crowdsensing Systems: Challenges, Solutions, and Opportunities. *IEEE Communications Surveys and Tutorials*, 2019, vol. 21, no. 3, pp. 2419-2465. DOI 10.1109/COMST.2019.2914030.

CHANGO C y AYALA E, 2018. Sistema de monitoreo de nivel de ruido ambiental para el Casco Central de la ciudad de Ambato. *Tesis* [en línea]. [Consulta: 22 septiembre 2021]. Disponible en: https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/28939/1/Tesis_t1495ec.pdf.

ESPÍN, D. y MALDONADO, E., Diseño de un sistema de telemetría basado en transmisores de corriente y tecnología celular GSM para el monitoreo y prevención de fugas en una sección del Poliducto Transecuatoriano. [en línea], 2008, . [Consulta: 22 septiembre 2021]. Disponible en: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/842>.

GALYDER, NIÑO y CALLE, Red Inalámbrica de Sensores para Monitoreo de Ruido Ambiental. *IEEE Sensors Journal* [en línea], 2016, vol. 15, no. 2, pp. 836-844. [Consulta: 22 septiembre 2021]. DOI 10.1109/JSEN.2014.2356342. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/309494352_Red_Inalambrica_de_Sensores_para_Monitoreo_de_Ruido_Ambiental.

GIRALDO, Y., 2013. Implementacion, control y monitoreo de un sistema de seguridad vehicular por redes GSM/GPRS. [en línea]. Pereira: Disponible en: https://www.academia.edu/34712371/IMPLEMENTACIÓN_CONTROL_Y_MONITOREO_DE_UN_SISTEMA_DE_SEGURIDAD_VEHICULAR_POR_REDES_GSM_GPRS.

GUADALUPE, C.S.A.-, MANCHENO, A.C.F.-, MALDONADO-ERAZO, C.P. y COSTA-HARO, M.J., Valoración económica de los servicios ambientales de la ciudad de Riobamba, provincia de Chimborazo. *Polo del Conocimiento* [en línea], 2020, vol. 5, no. 8, pp. 590-617. [Consulta: 22 septiembre 2021]. ISSN 2550-682X. DOI 10.23857/PC.V5I8.1612. Disponible en: <https://polodelconocimiento.com/ojs/index.php/es/article/view/1612/html>.

GUERRERO, J., 2014. Arduino Uno: Especificaciones y características | PlusElectric. [en línea]. [Consulta: 23 septiembre 2021]. Disponible en: <https://pluselectric.wordpress.com/2014/09/21/arduino-uno-especificaciones-y-caracteristicas/>.

GUEVARA, M., Eficacia de la normativa jurídica que regula a la contaminación acústica generada por actividades económicas en el D.M.Q. , 2013, .

INTEL®, Galileo [Datasheet]. *Intel* [en línea], 2014, vol. 13. Disponible en: https://www.intel.com/content/dam/support/us/en/documents/galileo/sb/galileo_datasheet_329681_003.pdf.

INTERNATIONAL CENTRE FOR THEORETICAL PHYSICS ICTP, Matemáticas con dB. [en línea], 2010, vol. 1.0, pp. 23. Disponible en: http://www.ie.tec.ac.cr/einteriano/MPC/Wireless/02-Matematicas_con_dB-es-v1.12-notes.pdf.

JOSE, A. y SBANI, R., FUNDAMENTOS DE LAS COMUNICACIONES MÓVILES SBANI PATRICIA RINCON TORRES. [en línea], 2008, pp. 19-21. [Consulta: 22 septiembre 2021]. Disponible en: <https://biblioteca.utb.edu.co/notas/tesis/0043125.pdf>.

KHEMAPECH, I., DUNCAN, I. y MILLER, D., A Survey of Wireless Sensor Networks Technology. [en línea], 2014, pp. 3-7. [Consulta: 22 septiembre 2021]. Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/250879747>.

LIBELIUM, 2021. Wasp mote » The sensor platform to develop IoT projects - Libelium. [en línea]. [Consulta: 22 septiembre 2021]. Disponible en: <https://www.libelium.com/iot-products/wasp-mote/>.

LO, B. y YANG, G., Body Sensor Networks. *Body Sensor Networks*, 2014, . DOI 10.1007/978-1-4471-6374-9.

MAISONNEUVE, N., STEVENS, M., NIESSEN, M.E., HANAPPE, P. y STEELS, L., 2009. Citizen Noise Pollution Monitoring. [en línea]. S.l.: Disponible en: <http://www.noisetube.net>.

MARTINEZ, R., Comparativa y estudio de plataformas IoT. *Manajemen Asuhan Kebidanan Pada Bayi Dengan Caput Succedaneum Di Rsud Syekh Yusuf Gowa Tahun* [en línea], 2017, vol. 4, pp. 9-

15. Disponible en: <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/113622/TFG-RodrigoMartinezJacobson.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

MOYA, F., Taller de Raspberry Pi. *Redes de Ingeniería*, 2011, vol. 2, no. 1, pp. 1. DOI 10.14483/2248762x.7176.

OCAMPO, R.H., MATAILO, S.G., OCAMPO, F.H., VIÑAMAGUA, G.C. y JARAMILLO, V.A., El ruido vehicular: un problema de contaminación en la ciudad de Loja, Ecuador. *CEDAMAZ* [en línea], 2018, vol. 8, no. 1, pp. 9-14. [Consulta: 22 septiembre 2021]. ISSN 1390-5880. Disponible en: <https://revistas.unl.edu.ec/index.php/cedamaz/article/view/547>.

OMS, 2020. La Organización Mundial de la Salud (OMS) declara a Ecuador libre de oncocercosis – Ministerio de Salud Pública. [en línea]. S.l.: [Consulta: 22 septiembre 2021]. Disponible en: <https://www.salud.gob.ec/la-organizacion-mundial-de-la-salud-oms-declara-a-ecuador-libre-de-oncocercosis/>.

PASTRANO, L., Diseño E Implementación De Un Sistema Electrónico Para La Conducción Segura, Basado En Monitorización De Señales Biométricas, Utilizando Tecnologías Gsm, Gprs. [en línea], 2017, pp. 177. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/6864>.

PATÍN PATÍN, S.M., Medición de los niveles de ruido ambiental en la zona urbana de la ciudad de Riobamba. [en línea], 2018, . [Consulta: 22 septiembre 2021]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/8359>.

PICAUT, J., CAN, A., FORTIN, N., ARDOUIN, J. y LAGRANGE, M., Low-Cost Sensors for Urban Noise Monitoring Networks—A Literature Review. *Sensors 2020, Vol. 20, Page 2256* [en línea], 2020, vol. 20, no. 8, pp. 2256. [Consulta: 22 septiembre 2021]. DOI 10.3390/S20082256. Disponible en: <https://www.mdpi.com/1424-8220/20/8/2256/htm>.

PREFECTURA DE RIOBAMBA, Plan de desarrollo y Ordenamiento Territorial. , 2019, .

QUIÑONES-CUENCA, M., GONZÁLEZ-JARAMILLO, V., TORRES, R., JUMBO, M., Sistema De Monitoreo de Variables Medioambientales Usando Una Red de Sensores Inalámbricos y Plataformas De Internet De Las Cosas. *Enfoque UTE* [en línea], 2017, vol. 8, pp. 329-343. [Consulta:

23 septiembre 2021]. ISSN 1390-6542. DOI 10.29019/ENFOQUEUTE.V8N1.139. Disponible en: http://scielo.senescyt.gob.ec/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1390-65422017000100329&lng=es&nrm=iso&tlng=es.

SALUD, S.L.A., Efectos de la contaminación acústica sobre la salud. *Revista de Salud Ambiental*, 2007, vol. 7, no. 2, pp. 175-180. ISSN 1697-2791.

SCHWEIGER, C.L., Use and deployment of mobile device technology for real-time transit information. , 2011, pp. 78.

SEGURA, J. y POSSO, R., 2015. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE TELEMETRÍA PARA EL MONITOREO DE UN SISTEMA DE GENERACIÓN DE ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICO. . Pereira:

SIMCOM, Wireless Solutions Limitd. [en línea], 2020, . [Consulta: 23 septiembre 2021]. Disponible en:

<https://translate.google.com/translate?depth=1&hl=es&prev=search&pto=ae&rurl=translate.google.com&sl=en&sp=nmt4&u=https://www.simcom.com/product/SIM800C.html>.

SOPARIA, J. y BHATT, N., A Survey on Comparative Study of Wireless Sensor Network Topologies. *International Journal of Computer Applications*, 2014, vol. 87, no. 1, pp. 40-43. DOI 10.5120/15175-3255.

TAPIA, C. y MANZANO, H., Evaluación de la plataforma arduino e implementación de un sistema de control de posición horizontal. [en línea], 2013, . [Consulta: 22 septiembre 2021]. Disponible en: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/5522>.

THORNTON, M.A., Synthesis Lectures on Digital Circuits and Systems Editor. [en línea], 2013, vol. 3ra edicio, pp. 51. [Consulta: 23 septiembre 2021]. DOI 10.2200/S00522ED1V01Y201307DCS043. Disponible en: https://www.morganclaypool.com/doi/suppl/10.2200/S00522ED1V01Y201307DCS043/suppl_file/Barrett_Ch1.pdf.

YEPEZ, C., Sistema de supervision de parametros ambientales para unidades de cuidados intensivos neonatales, UCIN. *Computers and Industrial Engineering* [en línea], 2018, vol. 2, no. Febrero, pp. 93. ISSN 20782489. Disponible en: <http://ieeauthorcenter.ieee.org/wp-content/uploads/IEEE-Reference-Guide.pdf><http://wwwlib.murdoch.edu.au/find/citation/ieee.html><https://doi.org/10.1016/j.cie.2019.07.022><https://github.com/ethereum/wiki/wiki/White-Paper><https://tore.tuhh.de/hand>.

ANEXOS

ANEXO A: Datasheet Modulo SIM800C

Feature	Implementation
Power supply	3.4V ~4.4V
Power saving	Typical power consumption in sleep mode is 0.88mA (BS-PA-MFRMS=9)
Frequency bands	<ul style="list-style-type: none"> ● Quad-band: GSM 850, EGSM 900, DCS 1800, PCS 1900. SIM800C can search the 4 frequency bands automatically. The frequency bands can also be set by AT command "AT+CBAND". For details, please refer to <i>document [1]</i>. ● Compliant to GSM Phase 2/2+
Transmitting power	<ul style="list-style-type: none"> ● Class 4 (2W) at GSM 850 and EGSM 900 ● Class 1 (1W) at DCS 1800 and PCS 1900
GPRS connectivity	<ul style="list-style-type: none"> ● GPRS multi-slot class 12 (default) ● GPRS multi-slot class 1~12 (option)
Temperature range	<ul style="list-style-type: none"> ● Normal operation: -40°C ~ +85°C ● Storage temperature -45°C ~ +90°C
Data GPRS	<ul style="list-style-type: none"> ● GPRS data downlink transfer: max. 85.6 kbps ● GPRS data uplink transfer: max. 85.6 kbps ● Coding scheme: CS-1, CS-2, CS-3 and CS-4 ● PAP protocol for PPP connect ● Integrate the TCP/IP protocol. ● Support Packet Broadcast Control Channel (PBCCH)
USSD	<ul style="list-style-type: none"> ● Unstructured Supplementary Services Data (USSD) support
SMS	<ul style="list-style-type: none"> ● MT, MO, CB, Text and PDU mode ● SMS storage: SIM card
SIM interface	Support SIM card: 1.8V, 3V
External antenna	Antenna pad
Audio features	Speech codec modes: <ul style="list-style-type: none"> ● Half Rate (ETS 06.20) ● Full Rate (ETS 06.10) ● Enhanced Full Rate (ETS 06.50 / 06.60 / 06.80) ● Adaptive multi rate (AMR) ● Echo Cancellation ● Noise Suppression
Serial port and USB port	Serial port: <ul style="list-style-type: none"> ● Default one Full modem serial port ● Can be used for AT commands or data stream ● Support RTS/CTS hardware handshake and software ON/OFF flow control ● Multiplex ability according to GSM 07.10 Multiplexer Protocol ● Autobauding supports baud rate from 1200 bps to 115200bps ● upgrading firmware USB port: <ul style="list-style-type: none"> ● USB_DN and USB_DP ● Can be used for debugging and upgrading firmware
Phonebook management	Support phonebook types: SM, FD, LD, RC, ON, MC
SIM application toolkit	GSM 11.14 Release 99
Physical characteristics	Size:17.6*15.7*2.3mm Weight:1.3g
Firmware upgrade	Full modem serial port or USB port(recommend to use USB port)

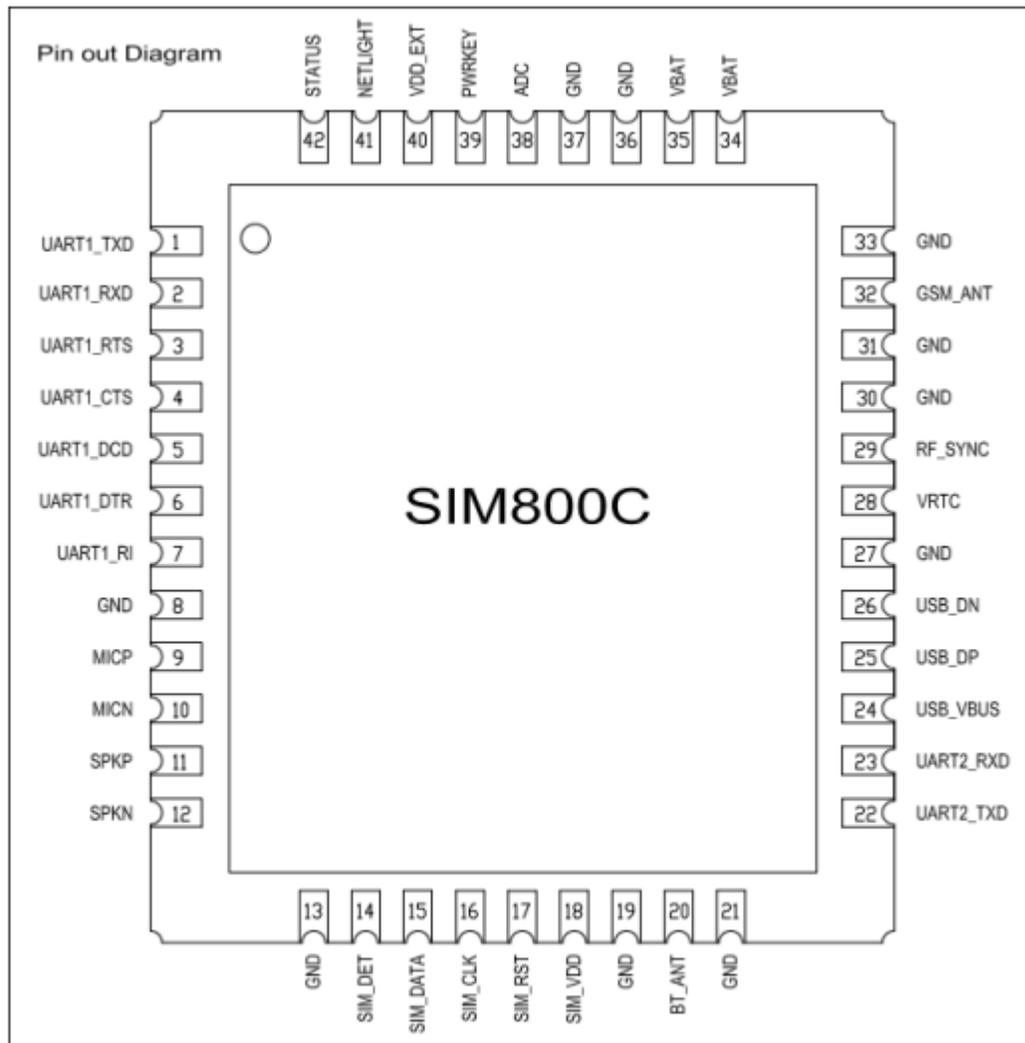


Figure 2: Pin out Diagram (Top view)



Low-Cost, Micropower, SC70/SOT23-8, Microphone Preamplifiers with Complete Shutdown

MAX4465-MAX4469

General Description

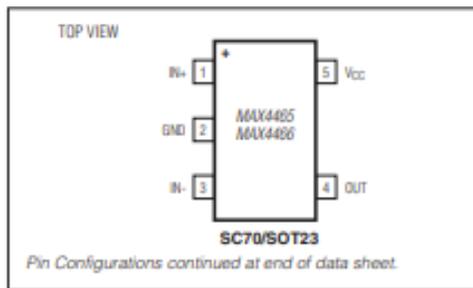
The MAX4465-MAX4469 are micropower op amps optimized for use as microphone preamplifiers. They provide the ideal combination of an optimized gain bandwidth product vs. supply current, and low voltage operation in ultra-small packages. The MAX4465/MAX4467/MAX4469 are unity-gain stable and deliver a 200kHz gain bandwidth product from only 24µA of supply current. The MAX4466/MAX4468 are decompensated for a minimum stable gain of +5V/V and provide a 600kHz gain bandwidth product. In addition, these amplifiers feature Rail-to-Rail® outputs, high A_{VOL} , plus excellent power-supply rejection and common-mode rejection ratios for operation in noisy environments.

The MAX4467/MAX4468 include a complete shutdown mode. In shutdown, the amplifiers' supply current is reduced to 5nA and the bias current to the external microphone is cut off for ultimate power savings. The single MAX4465/MAX4466 are offered in the ultra-small 5-pin SC70 package, while the single with shutdown MAX4467/MAX4468 and dual MAX4469 are available in the space-saving 8-pin SOT23 package.

Applications

- Microphone Preamplifiers
- Hearing Aids
- Cellular Phones
- Voice-Recognition Systems
- Digital Dictation Devices
- Headsets
- Portable Computing

Pin Configurations



Rail-to-Rail is a registered trademark of Nippon Motorola, Ltd.

Features

- ♦ +2.4V to +5.5V Supply Voltage Operation
- ♦ Versions with 5nA Complete Shutdown Available (MAX4467/MAX4468)
- ♦ Excellent Power-Supply Rejection Ratio: 112dB
- ♦ Excellent Common-Mode Rejection Ratio: 126dB
- ♦ High A_{VOL} : 125dB ($R_L = 100k\Omega$)
- ♦ Rail-to-Rail Outputs
- ♦ Low 24µA Quiescent Supply Current
- ♦ Gain Bandwidth Product:
 - 200kHz (MAX4465/MAX4467/MAX4469)
 - 600kHz $A_V \geq 5$ (MAX4466/MAX4468)
- ♦ Available in Space-Saving Packages
 - 5-Pin SC70 (MAX4465/MAX4466)
 - 8-Pin SOT23 (MAX4467/MAX4468/MAX4469)

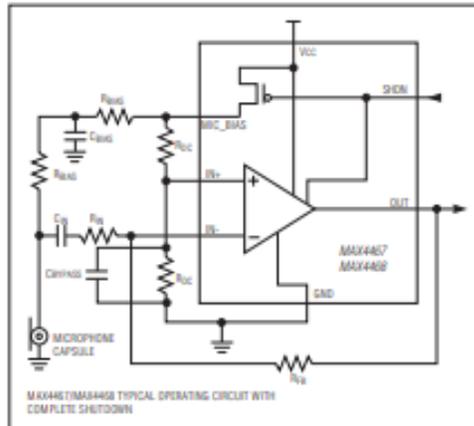
Ordering Information

PART	TEMP RANGE	PIN-PACKAGE
MAX4465EXK+T	-40°C to +85°C	5 SC70
MAX4466EUK+T	-40°C to +85°C	5 SOT23
MAX4466EXK+T	-40°C to +85°C	5 SC70
MAX4466EUK+T	-40°C to +85°C	5 SOT23

+ Denotes a lead(Pb)-free/RoHS-compliant package.

Ordering information continued at end of data sheet.

Typical Operating Circuit



Low-Cost, Micropower, SC70/SOT23-8, Microphone Preamplifiers with Complete Shutdown

common mode. The ratio of these voltages is called the common-mode gain. The common-mode rejection ratio is the ratio of differential-mode gain to common-mode gain. The high CMRR properties of the MAX4465-MAX4469 provide outstanding performances when configured as a noninverting microphone preamplifier.

Power-Up

The MAX4465-MAX4469 outputs typically settle within 1 μ s after power-up. Figure 6 shows the output voltage on power-up.

Power Supplies and Layout

The MAX4465-MAX4469 operate from a single +2.4V to +5.5V power supply. Bypass the power supply with a 0.1 μ F capacitor to ground. Good layout techniques are necessary for the MAX4465-MAX4469 family. To decrease stray capacitance, minimize trace lengths by placing external components close to the op amp's pins. Surface-mount components are recommended. In systems where analog and digital grounds are available, the MAX4465-MAX4469 should be connected to the analog ground.

Test Circuits/Timing Diagrams

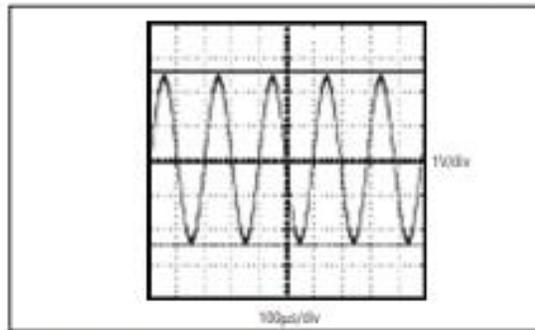


Figure 1. Rail-to-Rail Output Operation

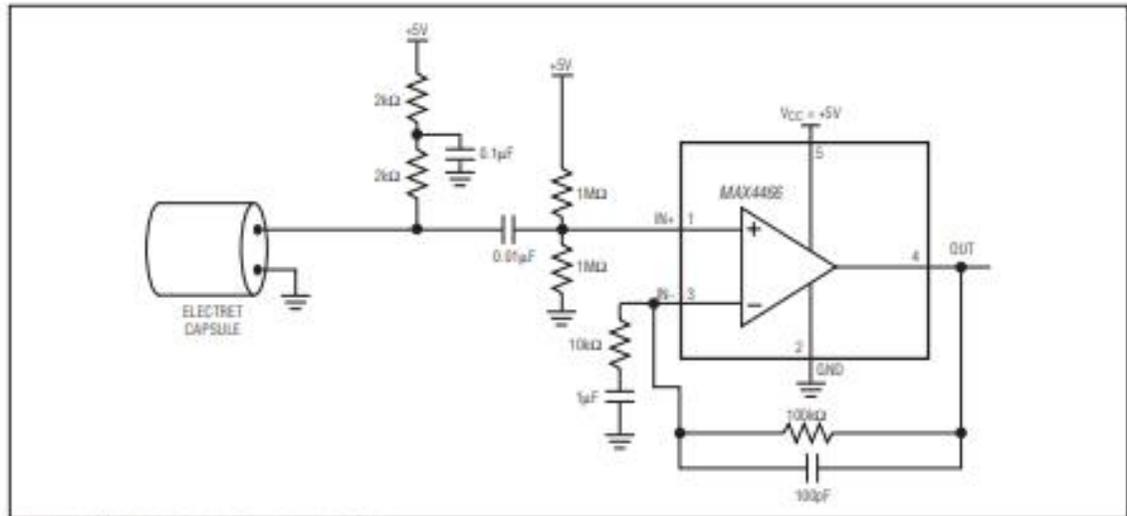


Figure 2. MAX4466 Typical Application Circuit

ANEXO C: Programación Arduino para mediciones automáticas

```
#include <SoftwareSerial.h>
#include <String.h>
SoftwareSerial Sim800(7,8);

int alarma=0;
const int duracion = 50;
unsigned int muestra;
float DB;
String db;

int sound;

////////////////////////////////////

void setup() {
  Sim800.begin(19200);//Arduino se conecta al SIM800 a una velocidad de 9600
  Serial.begin(19200);//Velocidad del puerto serial del arduino
  Serial.println("OK");
}

//PROGRAMACION DEL SENSOR DE RUIDO
void loop() {
  //calculo de decibeles
  unsigned long startMillis= millis(); // Inicio ventana de muestra - intervalo de tiempo
  float peakToPeak = 0; // Nivel pico a pico

  unsigned int signalMax = 0;
  unsigned int signalMin = 1024;

  // recopilar datos durante 50 mS
  while (millis() - startMillis < duracion)
  {
    muestra = analogRead(0);
    if (muestra < 1024) // descarta lecturas falsas
```

```

{
  if (muestra > signalMax)
  {
    signalMax = muestra; // guarda solo niveles maximos
  }
  else if (muestra < signalMin)
  {
    signalMin = muestra; // guarda solo niveles minimos
  }
}

peakToPeak = signalMax - signalMin; // max - min = amplitud pico - pico
float DB = map(peakToPeak,0,1023,33,115);// Mapea valores entre 0 y 1023 - se va a regular entre
33 y 115
delay(1000);
db = DB;

Serial.print("El valor del nivel de ruido es: ");
Serial.println(db);

//CONDICION PARA ENVIO DE MENSAJE

if (DB > 80 ){
  mensaje_sms();
}

// CONEXION CON LA PLATAFORMA IOT THINGSPEAK
Connect2Server();
if (Sim800.available())
  Serial.write(Sim800.read());
}
void Connect2Server()
{

```

```
Sim800.println("AT");
//delay(1000);
Sim800.println("AT+CPIN?");
//delay(1000);

Sim800.println("AT+CREG?");
//delay(1000);

Sim800.println("AT+CGATT?");
//delay(1000);

Sim800.println("AT+CIPSHUT");
//delay(1000);

Sim800.println("AT+CIPSTATUS");
//delay(1000);

Sim800.println("AT+CIPMUX=0");//comando configura el dispositivo para una conexion ip unica
delay(1000);

//ShowSerialData();

Sim800.println("AT+CSTT=\"gprs.claro.com.ec\"");//Configura el APN del operador
delay(1000);

//ShowSerialData();

Sim800.println("AT+CIICR");//realizar una conexion inlambrica con GPRS
delay(1000);

//ShowSerialData();

Sim800.println("AT+CIFSR");//Obtenemos nuestra direccion IP local
delay(1000);
```

```
//ShowSerialData();
```

```
Sim800.println("AT+CIPSPRT=0");
```

```
delay(1000);
```

```
//ShowSerialData();
```

```
Sim800.println("AT+CIPSTART=\"TCP\", \"api.thingspeak.com\", \"80\"); //start up the connection
```

```
delay(1000);
```

```
//ShowSerialData();
```

```
Sim800.println("AT+CIPSEND"); //begin send data to remote server
```

```
delay(1000);
```

```
//ShowSerialData();
```

```
String str="GET https://api.thingspeak.com/update?api_key=ODRXMSM4PBGKMC0V&field1=" + String(db);
```

```
Sim800.println(str); //begin send data to remote server
```

```
delay(1000);
```

```
ShowSerialData();
```

```
Sim800.println((char)26); //sending
```

```
delay(1000); //waitting for reply, important! the time is base on the condition of internet
```

```
Sim800.println();
```

```
ShowSerialData();
```

```
Sim800.println("AT+CIPSHUT"); //close the connection
```

```
delay(100);
```

```
//ShowSerialData();
```

```

}
void ShowSerialData()
{
  while(Sim800.available() != 0)
    Serial.write(Sim800.read());
  delay(5000);
}

///  

/// ENVIO DE MENSAJE DE TEXTO SMS
void mensaje_sms(){
  Serial.println("Enviando SMS...");
  Sim800.println("AT+CMGF=1"); //comando AT para configurar el sim800 en modo texto
  delay(1000);
  Sim800.println("AT+CMGS=\"+593989246963\""); //numero a enviar mensaje
  //sim800c.println("AT+CMGS=\"+593986619756\""); //numero a enviar mensaje
  delay(1000);
  Serial.println("Enviando SMS al número ");
  Sim800.println("Precaución, el nivel de ruido sobrepasa el valor permisible. Valor actual (dBm):"
+ (db)); // Texto del SMS
  delay(100);
  Sim800.println((char)26); //Comando de finalización ^Z
  delay(1000);
  Sim800.println();
  delay(5000); // Esperamos un tiempo para que envíe el SMS
  Serial.println("SMS enviado");
  delay(5000);
}

```

ANEXO D: Programación Arduino para mediciones manuales

```
#include <SoftwareSerial.h>
#include <String.h>
SoftwareSerial Sim800(7,8);

String db;
int r;

//////////Conexion de modulo GSM y arduino
void setup() {

Sim800.begin(19200);//Arduino se conecta al SIM800 a una velocidad de 9600
Serial.begin(19200);//Velocidad del puerto serial del arduino
Serial.println("Ingrese el valor de ruido en dBm:");
delay(8000);
Serial.println("Ruido: 73");
delay(8000);
Serial.println("OK");
delay(8000);
}

void loop() {
/////////Lectura del valor de ruido ingresado manualmente

if(Serial.available(>0)
{
r = Serial.read();
}
db = r;//Poner el valor r como dato string para el modulo gsm

//CONDICION PARA ENVIO DE MENSAJE

if (DB > 80 ){
mensaje_sms();
```

```
}
```

```
////////Subida de datos a thingspeak
```

```
Connect2Server();  
if (Sim800.available())  
  Serial.write(Sim800.read());  
}
```

```
void Connect2Server()
```

```
{  
  Sim800.println("AT");  
  //delay(1000);  
  
  Sim800.println("AT+CPIN?");  
  //delay(1000);  
  
  Sim800.println("AT+CREG?");  
  //delay(1000);  
  
  Sim800.println("AT+CGATT?");  
  //delay(1000);  
  
  Sim800.println("AT+CIPSHUT");  
  //delay(1000);  
  
  Sim800.println("AT+CIPSTATUS");  
  //delay(1000);  
  
  Sim800.println("AT+CIPMUX=0");//comando configura el dispositivo para una conexion ip unica  
  delay(1000);  
  
  //ShowSerialData();
```

```
Sim800.println("AT+CSTT=\"gprs.claro.com.ec\");//Configura el APN del operador
delay(1000);

//ShowSerialData();

Sim800.println("AT+CIICR");//realizar una conexion inlambrica con GPRS
delay(1000);

//ShowSerialData();

Sim800.println("AT+CIFSR");//Obtenemos nuestra direccion IP local
delay(1000);

//ShowSerialData();

Sim800.println("AT+CIPSPRT=0");
delay(1000);

//ShowSerialData();

Sim800.println("AT+CIPSTART=\"TCP\", \"api.thingspeak.com\", \"80\");//start up the connection
delay(1000);

//ShowSerialData();

Sim800.println("AT+CIPSEND");//begin send data to remote server
delay(1000);

//ShowSerialData();

String str="GET https://api.thingspeak.com/update?api_key=ODRXMSM4PBGKMC0V&field1="
+ String(db);
Sim800.println(str);//begin send data to remote server
delay(1000);
```

```

ShowSerialData();

Sim800.println((char)26);//sending
delay(1000);
Sim800.println();

ShowSerialData();

Sim800.println("AT+CIPSHUT");//close the connection
delay(100);

//ShowSerialData();
}

void ShowSerialData()
{
while(Sim800.available()!=0)
Serial.write(Sim800.read());
delay(5000);
}

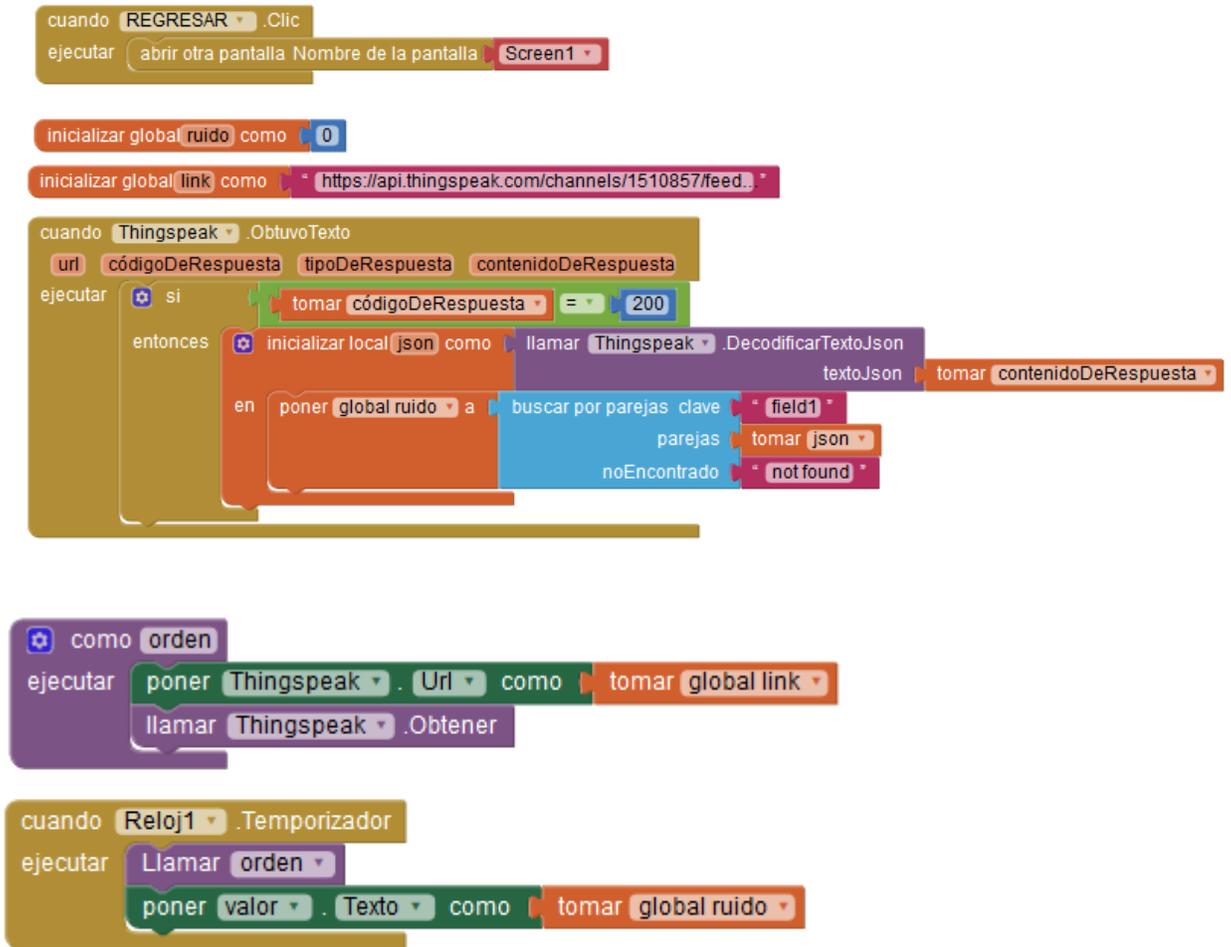
///  

ENVIO DE MENSAJE DE TEXTO SMS
void mensaje_sms(){
Serial.println("Enviando SMS...");
Sim800.println("AT+CMGF=1"); //comando AT para configurar el sim800 en modo texto
delay(1000);
Sim800.println("AT+CMGS=\"+593989246963\"");//numero a enviar mensaje
//sim800c.println("AT+CMGS=\"+593986619756\"");//numero a enviar mensaje
delay(1000);
Serial.println("Enviando SMS al número ");
Sim800.println("Precaución, el nivel de ruido sobrepasa el valor permisible. Valor actual (dBm):"
+ (db)); // Texto del SMS

```

```
delay(100);  
Sim800.println((char)26); //Comando de finalización ^Z  
delay(1000);  
Sim800.println();  
delay(5000); // Esperamos un tiempo para que envíe el SMS  
Serial.println("SMS enviado");  
delay(5000);  
  
}
```

ANEXO E: Programación de la aplicación móvil en app inventor



ANEXO F: Base de datos thingspeak de almacenamiento de información

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
4088	2022-01-23T18:47:00-05:00		1539,49.00	,, ,,					
4089	2022-01-23T18:47:30-05:00		1540,55.00	,, ,,					
4090	2022-01-23T18:48:00-05:00		1541,48.00	,, ,,					
4091	2022-01-23T18:48:30-05:00		1542,56.00	,, ,,					
4092	2022-01-23T18:49:00-05:00		1543,56.00	,, ,,					
4093	2022-01-23T18:49:30-05:00		1544,52.00	,, ,,					
4094	2022-01-23T18:50:00-05:00		1545,50.00	,, ,,					
4095	2022-01-23T18:50:30-05:00		1546,51.00	,, ,,					
4096	2022-01-23T18:51:00-05:00		1547,51.00	,, ,,					
4097	2022-01-23T18:51:30-05:00		1548,48.00	,, ,,					
4098	2022-01-23T18:52:00-05:00		1549,59.00	,, ,,					
4099	2022-01-23T18:52:30-05:00		1550,58.00	,, ,,					
4100	2022-01-23T18:53:00-05:00		1551,50.00	,, ,,					
4101	2022-01-23T18:53:30-05:00		1552,62.00	,, ,,					
4102	2022-01-23T18:54:00-05:00		1553,59.00	,, ,,					
4103	2022-01-23T18:54:30-05:00		1554,47.00	,, ,,					
4104	2022-01-23T18:55:00-05:00		1555,58.00	,, ,,					
4105	2022-01-23T18:55:30-05:00		1556,47.00	,, ,,					
4106	2022-01-23T18:56:00-05:00		1557,51.00	,, ,,					
4107	2022-01-23T18:56:30-05:00		1558,57.00	,, ,,					
4108	2022-01-23T18:57:00-05:00		1559,50.00	,, ,,					
4109	2022-01-23T18:57:30-05:00		1560,53.00	,, ,,					
4110	2022-01-23T18:58:00-05:00		1561,53.00	,, ,,					
4111	2022-01-23T18:58:30-05:00		1562,53.00	,, ,,					
4112	2022-01-23T18:59:00-05:00		1563,51.00	,, ,,					

ANEXO G: Fotografías de las pruebas de medición de ruido



