



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA EN SISTEMAS, ELECTRÓNICA E  
INDUSTRIAL**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y COMUNICACIONES**

**Tema:**

---

**SISTEMA DE MONITOREO DE FACTORES AMBIENTALES EXTERNOS  
EN UNIDADES EDUCATIVAS CÉNTRICAS DEL CANTÓN PÍLLARO  
BASADO EN TECNOLOGÍA LORA**

---

Trabajo de Titulación Modalidad: Proyecto de Investigación, presentado previo a la obtención del título de Ingeniero en Electrónica y Comunicaciones.

**ÁREA:** Comunicaciones

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:** Tecnologías de la Información y la comunicación

**AUTOR:** Toapanta Llugsha Cecilia Guadalupe

**TUTOR:** Ing. Elizabeth Paulina Ayala Baño, Mg.

**AMBATO – ECUADOR**

**Agosto – 2021**

## **APROBACIÓN DEL TUTOR**

En calidad de tutor del Trabajo de Titulación sobre el tema: SISTEMA DE MONITOREO DE FACTORES AMBIENTALES EXTERNOS EN UNIDADES EDUCATIVAS CÉNTRICAS DEL CANTÓN PÍLLARO BASADO EN TECNOLOGÍA LORA, desarrollado por la señorita Cecilia Guadalupe Toapanta Llugsha, estudiante de la Carrera de Ingeniería en Electrónica y Comunicaciones, de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial, de la Universidad Técnica de Ambato, me permito indicar que el estudiante ha sido tutorado durante todo el desarrollo del trabajo hasta su conclusión, de acuerdo a lo dispuesto en el Artículo 15 del Reglamento para obtener el Título de Tercer Nivel, de Grado de la Universidad Técnica de Ambato, y el numeral 7.4 del respectivo instructivo.

Ambato, agosto de 2021

---

Ing. Elizabeth Paulina Ayala Baño, Mg.

TUTOR

## **AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

El presente Proyecto de Investigación titulado: SISTEMA DE MONITOREO DE FACTORES AMBIENTALES EXTERNOS EN UNIDADES EDUCATIVAS CÉNTRICAS DEL CANTÓN PÍLLARO BASADO EN TECNOLOGÍA LORA, es absolutamente original, auténtico y personal. En tal virtud, el contenido, efectos legales y académicos que se desprenden del mismo son de exclusiva responsabilidad del autor.

Ambato, agosto de 2021



---

Cecilia Guadalupe Toapanta Llugsha

C.C. 1804814802

AUTOR

## **APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO**

En calidad de par calificador del Informe Final del Trabajo de Titulación presentado por la señorita Toapanta Llugsha Cecilia Guadalupe, estudiante de la Carrera de Ingeniería en Electrónica y Comunicaciones, de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial, bajo la Modalidad proyecto de investigación titulado SISTEMA DE MONITOREO DE FACTORES AMBIENTALES EXTERNOS EN UNIDADES EDUCATIVAS CÉNTRICAS DEL CANTÓN PÍLLARO BASADO EN TECNOLOGÍA LORA nos permitimos informar que el trabajo ha sido revisado y calificado de acuerdo al Artículo 17 del Reglamento para obtener el Título de Tercer Nivel, de Grado de la Universidad Técnica de Ambato, y al numeral 7.6 del respectivo instructivo. Para cuya constancia suscribimos, conjuntamente con la señora Presidenta del Tribunal.

Ambato, agosto de 2021

---

Ing. Elsa Pilar Urrutia, Mg.  
PRESIDENTA DEL TRIBUNAL

---

Ing. Santiago Manzano, Mg.  
PROFESOR CALIFICADOR

---

Ing. Vicente Morales, Mg.  
PROFESOR CALIFICADOR

## **DERECHOS DE AUTOR**

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga uso de este Trabajo de Titulación como un documento disponible para la lectura, consulta y procesos de investigación.

Cedo los derechos de mi Trabajo de Titulación en favor de la Universidad Técnica de Ambato, con fines de difusión pública. Además, autorizo su reproducción total o parcial dentro de las regulaciones de la institución.

Ambato, agosto de 2021



---

Cecilia Guadalupe Toapanta Llugsha

C.C. 1804814802

AUTOR

## **DEDICATORIA**

*A Dios, a mis padres por su apoyo incondicional y a mi hijo por ser mi fortaleza e inspiración, por acompañarme en este camino que no fue fácil, pero con su apoyo, amor y motivación hoy un sueño se hace realidad esto es por ustedes y para ustedes.*

*Cecilia Guadalupe Toapanta Llugsha*

## AGRADECIMIENTO

*A mi familia por todo su apoyo brindado en cada etapa de mi vida, a mi esposo por apoyarme en cada decisión y ser mi fortaleza, a todos aquellos que creyeron en este sueño que a pesar de todo lo bueno y lo malo continuaron a mi lado, por toda la paciencia que me han tenido ya que no ha sido nada fácil.*

*En especial a mis padres Bachita y Segundito que sin su apoyo tanto moral como económico no hubiera podido llegar hasta aquí. A cada docente que formaron parte de mi vida universitaria por guiarme para ser una mejor persona y profesional.*

*Mi gratitud sincera a la Ing. Paulina Ayala por su dedicación, enseñanzas, por su tiempo, por creer en mí, por brindarme su apoyo y motivarme a continuar; muchas veces escuchaba la frase “esta no es una carrera de velocidad sino de resistencia” hoy sé que es verdad y quien persevera alcanza hoy culmina una de las etapas más duras, pero más satisfactorias.*

*Cecilia Guadalupe Toapanta Llugsha*

## ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

APROBACIÓN DEL TUTOR.....	I
AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN .....	II
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO .....	III
DERECHOS DE AUTOR.....	IV
DEDICATORIA .....	V
AGRADECIMIENTO.....	VI
ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS.....	VII
ÍNDICE DE TABLAS .....	X
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XI
RESUMEN.....	XII
ABSTRACT .....	XIII
CAPÍTULO I.....	1
MARCO TEÓRICO.....	1
1.1 Antecedentes Investigativos.....	1
1.1.1 Contextualización del problema.....	4
1.2 Fundamentación teórica .....	6
1.2.1 LA CONTAMINACIÓN.....	6
a. Contaminación del aire .....	6
b. Contaminación acústica.....	8
c. Radiación Solar Ultravioleta .....	11
1.2.2 SISTEMAS ELECTRONICOS.....	12
a. Microcontrolador .....	12
b. Sensor .....	13
1.2.3 TECNOLOGIA LORA .....	13
a. Arquitectura.....	14

b.	Protocolo LoRaWAN .....	14
c.	Seguridad de LoRaWAN .....	15
1.2.4	BASE DE DATOS .....	16
1.3.	Objetivos.....	16
1.3.1	Objetivo General.....	16
1.3.2	Objetivos Específicos.....	16
CAPÍTULO II .....		19
METODOLOGÍA .....		19
2.1	Materiales.....	19
2.2.	Métodos .....	25
2.2.1	Modalidad de la Investigación .....	25
2.2.2	Recolección de Información.....	26
2.2.3	Procesamiento y Análisis de Datos .....	26
2.2.4.	Desarrollo del Proyecto.....	26
CAPÍTULO III.....		28
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....		28
3.1	Análisis y discusión de los resultados.....	28
3.2	Desarrollo de la propuesta.....	28
3.2.1	Efectos en el rendimiento académico ante la exposición de factores ambientales decadentes.....	28
3.2.1	Sistemas de monitoreo ambiental de factores externos .....	29
3.2.2	Análisis de las Tecnologías Inalámbricas .....	31
3.2.3	Requerimientos del sistema .....	32
a.	Controlador del sistema .....	32
b.	Sensores .....	34
c.	Sensor de materia particulado .....	36
d.	Fuente de energía.....	37

3.2.4	Sistema de sensorización de factores externos.....	38
a.	Medición de factores externos.....	38
b.	Red de comunicación .....	38
c.	Servidor de aplicaciones .....	43
d.	Sistema de gestión y monitoreo. ....	45
3.2.5	Implementación de un Sistema de monitoreo.....	46
3.2.6	Pruebas de funcionamiento.....	48
3.2.7	Factibilidad Económica.....	52
CAPÍTULO IV.....		54
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		54
4.1	Conclusiones.....	54
4.2	Recomendaciones .....	55
BIBLIOGRAFÍA.....		56
ANEXOS.....		61
Anexo 1: Normativa sobre la calidad del aire.....		61
Anexos 2: Normativa INEN-ISO 1996-1:2003 Parte1: Magnitudes básicas y Métodos de evaluación. ....		63
Anexos 3: Normativa INEN-ISO 1996-2: 2007. ....		65
Anexo 4: Características técnicas del módulo Esp32 LoRa NODO.....		67
Anexo 5: Características técnicas del módulo Esp32 LoRa Gateway .....		68
Anexo 6: Características técnicas del sensor MQ-7 .....		69
Anexo 7: Características técnicas del sensor MQ-136.....		70
Anexo 8: Características técnicas del sensor MQ-131 .....		71
Anexo 9: Características técnicas del sensor GUVA-S12SD.....		72
Anexo 10: Características técnicas del sensor MAX9814 .....		73
Anexo 11: Código Nodo 1 y 2 LoRa.....		75
Anexo 12: Código Gateway LoRa .....		88

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1:</b> Efectos de los contaminantes del aire en la salud .....	7
<b>Tabla 2:</b> Límites máximos permisibles de concentración de los contaminantes . .....	7
<b>Tabla 3:</b> Niveles de ruido de los vehículos automotores .....	9
<b>Tabla 4:</b> Límites máximos permisibles de ruido ambiental . .....	10
<b>Tabla 5:</b> Indicador del índice de radiación UV . .....	12
<b>Tabla 6:</b> Características de la Tarjeta Esp32 LoRa .....	20
<b>Tabla 7:</b> Sensor de monóxido de carbono MQ-7 .....	21
<b>Tabla 8:</b> Características del Sensor de dióxido de azufre MQ-136 .....	21
<b>Tabla 9:</b> Características del Sensor de ozono MQ-131 .....	22
<b>Tabla 10:</b> Características del Sensor de materia particulado DSM501A .....	23
<b>Tabla 11:</b> Características del sensor ultravioleta GUVA-S12SD . .....	24
<b>Tabla 12:</b> Características Sensor de ruido MAX9814 .....	24
<b>Tabla 13:</b> Características de equipos de medición de factores contaminantes. ....	29
<b>Tabla 14:</b> Características del sistema de monitoreo de factores externos ambientales .....	31
<b>Tabla 15:</b> Características de las Tecnologías Inalámbricas .....	31
<b>Tabla 16:</b> Comparación de parámetros técnico de controladores nodo. ....	32
<b>Tabla 17:</b> Comparación de parámetros técnico de controladores Gateway .....	33
<b>Tabla 18:</b> Tipos de sensores de gases utilizados en el sistema. ....	34
<b>Tabla 19:</b> Tipos de sensores UV existentes en el mercado. ....	35
<b>Tabla 20:</b> Tipos de sensores de ruido existentes en el mercado.....	36
<b>Tabla 21:</b> Tipos de sensores de ruido existentes en el mercado.....	36
<b>Tabla 22:</b> Análisis de Corrientes de consumo del dispositivo LoRa Nodo y LoRa Gateway.....	37
<b>Tabla 23:</b> Datos Obtenidos de la Unidad Educativa Jorge Álvarez.....	91
<b>Tabla 24:</b> Datos Obtenidos de la Unidad Educativa Isabel La Católica. ....	94
<b>Tabla 25:</b> Comparativa de los resultados de medición con respecto a los límites permisibles. ....	49
<b>Tabla 26:</b> Presupuesto de construcción del sistema .....	52

## ÍNDICE DE FIGURAS.

<b>Figura 1:</b> Representación del sonido en el oído humano .....	11
<b>Figura 2:</b> Estructura interna de un microcontrolador .....	13
<b>Figura 3:</b> Arquitectura de la red LoRaWAN . .....	14
<b>Figura 4:</b> Diagrama de la seguridad de LoRaWAN .....	15
<b>Figura 5:</b> Tarjeta Esp32 LoRa con configuración nodo .....	19
<b>Figura 6:</b> Tarjeta Esp32 LoRa con OLED con configuración Gateway .....	20
<b>Figura 7:</b> Sensor de monóxido de carbono MQ-7 .....	20
<b>Figura 8:</b> Sensor de dióxido de azufre MQ-136 . .....	21
<b>Figura 9:</b> Sensor de ozono MQ-131 .....	22
<b>Figura 10:</b> Sensor de materia particulado DSM501A .....	23
<b>Figura 11:</b> sensor ultravioleta GUVA-S12SD . .....	23
<b>Figura 12:</b> Sensor de ruido MAX9814 .....	24
<b>Figura 13:</b> Fuente de alimentación batería Lipo. ....	25
<b>Figura 14:</b> Diseño y ubicación de los equipos del sistema .....	39
<b>Figura 15:</b> Componentes de la red LoRa .....	40
<b>Figura 16:</b> Diagrama de flujo de los nodos LoRa.....	41
<b>Figura 17:</b> Diagrama de flujo de los Gateway LoRa .....	42
<b>Figura 18:</b> Diagrama de bloques del sistema de monitoreo.....	43
<b>Figura 19:</b> Configuración TTN .....	43
<b>Figura 20:</b> Configuración NodeRED del sistema .....	44
<b>Figura 21:</b> Configuración de los servicios del sistema .....	44
<b>Figura 22:</b> Esquema del Nodo LoRa del sistema de monitoreo .....	45
<b>Figura 23:</b> Calibración del sensor dióxido de azufre .....	45
<b>Figura 24:</b> Calibración del sensor monóxido de ozono .....	46
<b>Figura 25:</b> Prototipo Final del Nodo1 y Nodo2 LoRa. ....	46
<b>Figura 26:</b> Implementación de la Unidad Educativa Jorge Álvarez .....	47
<b>Figura 27:</b> Implementación de la Unidad Educativa Isabel La Católica .....	47
<b>Figura 28:</b> Implementación del LoRa Gateway.....	48
<b>Figura 29:</b> Toma de datos de la Unidad Educativa Jorge Álvarez.....	51
<b>Figura 30:</b> Toma de datos de la Unidad Educativa Isabel La Católica.....	52

## RESUMEN EJECUTIVO

El presente desarrollo de investigación tiene como objetivo implementar un sistema de monitoreo de factores ambientales externos basado en tecnología LoRa así dando a conocer al público los contaminantes externos como: monóxido de carbono, ozono, dióxido de nitrógeno, dióxido de azufre, material particulado, radiación UV y contaminación por ruido que existe fuera de las unidades educativas céntricas de la ciudad de Píllaro, con la ayuda de innovaciones tecnológicas en IoT, logrando así informar y la ciudadanía tome precauciones de acuerdo a la situación.

El sistema realizado cuenta con una comunicación LoRa configurado como medio de envío de datos hacia un servidor de aplicaciones entre dos Nodos LoRa y un Gateway para el almacenamiento de variables físicas que mide fuera de las unidades, evaluando cada una de los contaminantes.

El proyecto realizado cuenta con sensores de calidad para el funcionamiento en exteriores al ser diseñada para obtener variables externas cumpliendo de forma adecuada a su propósito para obtener dichas variables físicas y enviarlo hacia la red.

La parte de acondicionamiento y obtención de variables cuenta con un módulo ESP32 que obtiene valores de los sensores y enviar estos datos mediante una comunicación inalámbrica de largo alcance, esta fue adaptada en el editor de Código Arduino para su fácil configuración y adaptabilidad.

**Palabras clave:** LoRa, IoT, ESP32, factores externos

## ABSTRACT

The present research development aims to implement a monitoring system for external environmental factors based on LoRa technology, thus making the public aware of external pollutants such as: carbon monoxide, ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide, particulate matter, radiation. UV and noise pollution that exists outside the central educational units of the city of Píllaro, with the help of technological innovations in IoT, thus managing to inform and citizens to take precautions according to the situation.

The system carried out has a LoRa communication configured as a means of sending data to an application server between two LoRa Nodes and a Gateway for the storage of physical variables that it measures outside the units, evaluating each of the contaminants.

The project carried out has quality sensors for outdoor operation as it is designed to obtain external variables, adequately fulfilling its purpose to obtain said physical variables and send it to the network.

The conditioning and obtaining variables part has an ESP32 module that obtains values from the sensors and sends these data through long-range wireless communication, this was adapted in the Arduino Code editor for easy configuration and adaptability.

**Keywords:** LoRa, IoT, ESP32, external factors

## CAPÍTULO I

### MARCO TEÓRICO

#### 1.1 Antecedentes Investigativos

El proceso de investigación bibliográfica se basó en los repositorios de las diferentes Universidades Nacionales e Internacionales, así como en artículos científicos publicados en diferentes revistas, proyectos de investigación relacionados con el uso de Tecnología LoRa y sistema de monitoreo de factores ambientales, los cuales permitieron la sustentación de la presente investigación.

En el año 2018, se registró en la base de datos de la IEEE un artículo científico de Ejah Umraeni, Arham Arifin, en Indonesia con el tema: ***“Detección de incendios forestales mediante la topología de mallas inalámbrica LoRa”***, el proyecto presenta un sistema de detectores de incendios forestales mediante una red de malla LoRa. El detector notifica por medio de una señal la ubicación del incendio utilizando el mapa de Google. El sistema está implementado con un Arduino Uno, módulos LoRa, sensores como: DHT11 para la medición de humedad y temperatura; y el MQ2 para la detección de gas en el aire. Obteniendo como resultados la recopilación de datos de rendimiento con 3 nodos teniendo en consideración el rango de la señal de LoRa para enviar y recibir datos se concluye que el mejor modo para el transceptor LoRa en el bosque es modo 2 con especificaciones BW250 CR 4/5 SF10 Tx Power 14 con buenos resultados RSSI (Recibir indicador de intensidad de señal) con lo cual distancia entre nodos de 500m. [1]

En el año 2018, en Ecuador se desarrolló un proyecto de investigación con el tema: ***“Sistema De Monitoreo De Nivel De Ruido Ambiental Para El Casco Central De La Ciudad De Ambato”***. Presentado por el señor Christian Chango en donde propuso un

sistema de monitoreo de nivel de ruido ambiental, basado en el empleo de una plataforma IoT y un dispositivo de medición integrado para la transmisión de datos vía GSM. Está compuesto de tres etapas, la etapa de adquisición de datos con el uso de un Arduino Nano, un sensor de sonido MAX9814 y un módulo GSM; la etapa de almacenamiento para el análisis de los datos en la nube; y la etapa de presentación de los datos en las oficinas del GAD Municipalidad de Ambato. Consiguiendo como resultados la comparación de las mediciones obtenidas entre el sonómetro, la aplicación celular y el prototipo de medición, concluyendo que el margen de error es mínimo de las mediciones obtenidas llegando a un margen máximo 2.1% para los horarios diurno y 1.96% para los horarios nocturnos. Con estos valores podríamos decir que el prototipo de medición posee una gran fiabilidad de datos al mantener valores semejantes a los esperados por un equipo especializado y alto costo como el sonómetro. [2]

En el año 2019, en Ecuador se realizó el proyecto de investigación con el tema: ***“Análisis de rendimiento de la tecnología LoRaWan aplicado al desarrollo de un sistema de monitoreo de calidad de aire en la unidad educativa santo Tomás Apóstol Riobamba”***. Presentado por las señoritas Cantuña Katherine Lizeth y Satián Daniela, en el proyecto se desarrolló mediante tres dispositivos, dos de ellos para la recolección de datos de los contaminantes ambientales captados por los sensores: MQ7, MQ131, MQ136 y DSM501A; mientras que, el tercer dispositivo está encargado de la comunicación inalámbrica mediante el módulo RA-01 LORA SX1278 que permite la transmisión y recepción de información entre los nodos transmisores y la puerta de enlace. Los datos son procesados con el módulo ESP8266 NODEMCU que los trasfiere y almacena en tiempo real en un Web Server denominada ThingSpeak. Alcanzando resultados favorables por los sensores como: en distancias de 0 m a 6 m, los sensores pueden captar valores de concentraciones de contaminantes de forma adecuada con una pérdida de datos del 0% al 3%. En distancias comprendidas entre 6 m y 10 m, los sensores pueden captar valores, pero con pérdida de 3% al 18% de los datos. Y en distancias de más de 10 metros, no se realiza la recolección de datos ya que existen pérdidas desde el 41% al 92% de datos. [3]

En el año 2019, se registró en la base de datos de la IEEE un artículo científico de Abdullah J. Alabdullah, Badr I. Farhat, Slim Chtourou, en Arabia Saudita con el tema: **“Sistema de monitoreo de calidad del aire basado en Arduino”**, el proyecto presenta un sistema que tiene como objetivo notificar al residente el nivel de concentración de compuesto orgánico volátil (VOC) tanto en interiores como en exteriores ambientes de deir, aire libre. El sistema está basado en Arduino, para monitorear y detectar compuestos orgánicos volátiles totales (TVOC) y luego informar al usuario a través del sistema de comunicación inalámbrica (bluetooth) de sus niveles para tomar acciones. Obteniendo como resultados un sistema de detección que permite conocer el nivel de TVOC bajo techo y en exteriores, en una oficina con un volumen de 25.2m<sup>3</sup> por 30 minutos, concluyendo que, el nivel de CO<sub>2</sub> permanece constante a 400 PPM. Y después de ocupar la habitación, el nivel de CO<sub>2</sub> comenzó a aumentar proporcionalmente con el tiempo con un máximo aceptable de 1000PPM. [4]

En el año 2019, se registró en la base de datos de la IEEE un artículo científico de Ayanle Ali, Sibel Zorlu, Hakan Partal, en Turkia con el tema: **“Sensores inalámbricos basados en ZigBee y LoRa para entornos inteligentes y aplicaciones de IoT”**, el proyecto presenta una diseñado mediante una unidad receptora central con módulos de transceptor LoRa y ZigBee, un microcontrolador, una tarjeta de sensor inalámbrico con sensores de temperatura y humedad, módulos de transceptor LoRa y ZigBee y una unidad de relé. El relé en la tarjeta del sensor se puede controlar de forma remota o en la nube, y los datos de temperatura y humedad del sensor se pueden enviar a la unidad receptora central utilizando los módulos transceptores ZigBee o LoRa. Obteniendo como resultados que LoRa funciona mejor cuando la distancia es mayor y el tamaño de los datos es respectivamente pequeño. Para la mayoría de las aplicaciones, LoRa puede manejar una extensa red estelar con función de potencia ultra baja. Después de -120dBm valor RSSI los datos no provenían del módulo transmisor, y el módulo remoto mostraba "el dispositivo está desconectado". [5]

En el año 2019, en Ecuador se registra un proyecto de investigación con el tema: **“Solmáforos para el monitoreo y alertas a personas sobre niveles de radiación solar”**

*en unidades educativas de la ciudad de Ambato*”. Presentado por el señor Francisco Chango en donde presenta el diseño de un dispositivo basado en sensores ópticos UV que pueden medir la intensidad de la radiación ultravioleta, un módulo raspberry pi 3 B+ que soporta la comunicación Ethernet wifi y bluetooth con un procesador para operaciones de paneles led y almacenamiento de base de datos MySQL. Obteniendo como resultados que el sensor UV debe sobresalir para una mejor captación de radiación del día estos datos extraídos de los canales cada hora estos registros permitieron evidenciar patrones detallados como las gráficas y alertas con una margen de mediciones de 3.69% para niveles de radiación baja u 4.44% para niveles altos de radiación. Con estos valores se indica que el prototipo de medición posee una fidelidad considerable de datos al mantener valores semejantes a los esperados por un equipo científico y de alto costo como el radiómetro. [6]

### **1.1.1 Contextualización del problema**

La contaminación ambiental es una amenaza flagrante actualmente, que presenta una amenaza a la biodiversidad del planeta causado por el diario vivir del hombre y por la falta de concientización del mismo. Existe organizaciones públicas y privadas que tratan de contrarrestar estos efectos colaterales mediante la medición de contaminantes del aire libre en entornos internos y externos con la utilización de equipo con tecnología avanzada para combatir en esta problemática.

En el Ecuador la contaminación es uno de los principales problemas en el país, debido al crecimiento acelerado de la población, el incremento del parque automotor y el desarrollo industrial, entre otros, que ha facilitado la vida cotidiana de la población ocasionando impactos considerables sobre la salud humana y el ecosistema, en ese sentido, el Ministerio del Ambiente del Ecuador (MAE) ejecuta varias acciones para mitigar este fenómeno. [7]

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS) los efectos de la contaminación a corto plazo perjudican principalmente a las personas de la tercera edad y niños. [8] Diferentes investigaciones realizadas sobre el impacto de las condiciones ambientales y ergonómicas confirman que los espacios escolares influyen negativamente sobre los

resultados académicos de los alumnos y la labor del docente; la calidad interna del aire, el ruido, la radiación UV, ventilación y confort térmico, iluminación y el tamaño de la escuela y de las aulas son algunos de los atributos espaciales que pueden incidir sobre el rendimiento de alumnos y profesores, tal como apunta Mark Schneider (2019), del Centro Nacional de Estadísticas Educativas estadounidense. [9]

El cantón Santiago de Píllaro cuenta con varias instituciones educativas y tomando en cuenta que los estudiantes pasan gran parte de su tiempo en las mismas el Ministerio de Educación impone un conjunto de políticas, normas, actividades operativas y administrativas de planeamiento estrechamente vinculadas, que deben ser ejecutadas por el Estado y la sociedad para garantizar el desarrollo sustentable y una óptima calidad de vida (Ley de Gestión Ambiental). [10]

La tecnología en su constante evolución está en la capacidad de moldearse o acoplarse a cada actividad cotidiana del hombre, por lo tanto, al aplicar una solución tecnológica capaz de monitorear los parámetros ambientales como el ruido, la calidad del aire y la radiación ultravioleta beneficia a la hora de determinar si el ambiente al que los estudiantes y docentes están expuestos en una unidad educativa es seguro y saludable. La necesidad de implementar este proyecto en conjunto con las exigencias del mundo actual se encaminan al uso de sistemas que integren las necesidades a servicios en pequeños dispositivos, también se debe a que el Cantón Píllaro no cuenta con sistemas de monitoreo ambientales y debido a que las instituciones educativas se encuentran en lugares propensos a ruidos ambientales, infecciones respiratorias debido a la cantidad de CO<sub>2</sub> emitido por los vehículos y a que la radiación ultra violeta reporta índices altos, se busca concientizar y prevenir daños futuros en la salud de estudiantes y docentes.

La presente investigación tiene como beneficiarios directos a alumnos y docentes de las unidades educativas del cantón Píllaro pudiendo prevenir efectos perjudiciales a la salud y evitar repercusiones sobre el rendimiento académico, mientras los beneficiarios indirectos son todos los usuarios finales como pueden ser padres de familia, autoridades de las instituciones o el GAD Municipal Píllaro logrando así la

toma de decisiones que disminuyan la contaminación del aire, la auditiva y regular las practicas escolares relacionadas con actividades al aire libre con acciones que contribuyan con la salud ambiental y física de toda la comunidad.

Por todo lo anteriormente mencionado, el proyecto es viable ya que se presenta una solución tecnológica para el mejoramiento de la calidad del medio ambiente en el entorno académico, además se cuenta con los conocimientos teóricos y prácticos necesarios, la tecnología adecuada y las diferentes fuentes bibliográficas para el cumplimiento del proyecto.

## **1.2 Fundamentación teórica**

### **1.2.1 LA CONTAMINACIÓN**

El término contaminación proviene de latín contaminatio es la acción y efecto de contaminar, debido a sustancias o elementos que provocan alteraciones en el medio ambiente ya sea en el aire, agua y suelo; que están expuestos a variables físicas como la humedad, presión y los cambios climáticos [11].

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS) la contaminación del aire es la principal causa de fallecimiento de la población a nivel mundial, seguido por la contaminación acústica y la ultra violeta [12].

#### **a. Contaminación del aire**

La contaminación del aire o atmosférica, se debe a la presencia de sustancias contaminantes que pueden ser de fuentes móviles (vehículo automotor) y fuentes fijas de combustión fósil (industrias). Estos contaminantes tienen diferente grado de afección en el ser humano, actuando de diferente manera en cada individuo, debido a la concentración y tiempo de exposición del gas, poniendo en riesgo la salud y el bienestar de las personas [13].

En la **Tabla 1** se detalla los efectos de los contaminantes del aire en la salud

**Tabla 1:** Efectos de los contaminantes del aire en la salud [13].

Contaminantes	Enfermedades
Monóxido de carbono	Bronquitis
Ozono	Disminución de la función pulmonar
Dióxido de nitrógeno	Bronquitis, neumonía, fibrosis pulmonar edemas
Dióxido de azufre	Enfermedades cardiovasculares, debilidad en el sistema respiratorio, trombosis venosa
Material Particulado PM10	Alergias
Material particulado PM2.5	Asma

**Elaborado por:** La investigadora.

### Normativas sobre la calidad del aire o nivel de inmisión

La Reforma a la Norma de Calidad del Aire Ambiente o Nivel de Inmisión registrado en el Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente, el cual forma una serie de normas técnicas vigentes que permite el control y la prevención de la contaminación ambiental [14].

Esta norma establece los niveles máximos permisibles de concentración de la contaminación del aire a nivel de suelo por sustancias, partículas sedimentables como: dióxido de nitrógeno, dióxido de azufre, monóxido de carbono, ozono, material particular PM de 10 micrones y PM de 2,5 micrones (polvo, aerosoles, suciedad o humo) respectivamente y contaminantes no convencionales (cadmio, benceno, mercurio inorgánico) que produce malestar a la sociedad por fines comerciales o de servicios [14]. Detallado en la **Tabla 2 y Anexo 1:**

**Tabla 2:** Límites máximos permisibles de concentración de los contaminantes [14].

Contaminantes	Concentración de los contaminantes			
	Moderado	Alerta	Alarma	Emergencia
Monóxido de carbono ( $CO_2$ )	< 14999	15000	30000	40000
Ozono ( $O_3$ )	< 199	200	400	600
Dióxido de nitrógeno ( $NO_2$ )	< 999	1000	2000	3000

Dióxido de azufre ( $SO_2$ )	< 199	200	1000	1800
Material Particulado ( $PM_{10}$ )	< 249	250	400	500
Material particulado ( $PM_{2.5}$ )	< 149	150	250	350

**Elaborado por:** La investigadora.

Las mediciones obtenidas de concentración de contaminantes del aire deben ser corregida de acuerdo a las zonas que se efectúan la toma de datos [14]. Para ello se utiliza la siguiente ecuación:

$$C_C = C_O * \frac{760 \text{ (mmHg)}}{P_{bl} \text{ (mmHg)}} * \frac{(273+t \text{ }^\circ\text{C})^\circ\text{K}}{298^\circ\text{K}} \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde:

$C_C$ : Concentración corregida

$C_O$ : Concentracion pobservada

$P_{bl}$ : Presión atmosférica local (mmHg)

$t$ : Temperatura local ( $^\circ\text{C}$ )

## **b. Contaminación acústica**

La contaminación acústica se la define por la presencia de ruidos en el ambiente, que implica malestar y molestia a la población. El ser humano tiene una sensibilidad auditiva que soporta ruidos máximos de 65 dB [15].

El ruido ambiental esta compuesta de sonidos de fuentes fijas (construcciones, instalaciones electromecánicas, talleres, maquinarias, plantas industriales, estadios o coliseos, sistemas de ventilación, alarmas) y móviles (tránsito vehiculas o aéreo). La intensidad del ruido es diferente de acuerdo a la zona como: en la zona urbana donde se encuentra el sector comercial, residencial y escolar aquí existe el 70% de contaminación acústica por consecuencia de las construcciones de viviendas o vías, vehículos automotores, talles industriales y automotrices.

El excesivo ruido que existe en las vías públicas, debido al tráfico vehicular, sirenas de ambulancias y patrullas, al claxon de los vehículos automotores, entre otros, alcanzan niveles entre 75dB a 120dB. Estos ruidos han generado alteraciones en el

sistema neurológico causando problemas de salud como: estrés, alteraciones en el sueño, irritabilidad, trastornos auditivos y trastornos cardiovasculares [15]. En la **Tabla 3** se detalla los niveles de ruido de vehículos automotores.

**Tabla 3:** Niveles de ruido de los vehículos automotores [16].

<b>Vehículo automotor</b>	<b>Descripción</b>	<b>Ruido Máximo</b>
Vehículo de dos llantas	Motocicletas	88 dBA
Vehículo Liviano	Liviano con peso menos 2.500Kg	88 dBA
Vehículo de pasajeros	Furgonetas con capacidad de 8 a 16 pasajeros	88 dBA
	Busetas con capacidad de 17 a 28 pasajeros	90 dBA
	Bus con capacidad de 29 a 55 pasajeros	90 dBA
Vehículo de carga	Peso neto 3.500Kg	90 dBA
Vehículo agrícola	Maquinaria agrícola	95 dBA

**Elaborado por:** La investigadora.

### **Normativas del ruido ambiental.**

En el Ecuador existe normas técnicas vigentes que permite evaluar la medición del ruido ambiental las cuales son:

INEN-ISO 1996-1:2003. Parte1: Magnitudes básicas y Métodos de evaluación. Describe procedimientos de evaluación del ruido ambiental [17].

INEN-ISO 1996-2: 2007. Parte2: Determinación de los Niveles de Ruido Ambiental. Determina los niveles de presión sonora mediante medición directa con equipos, por extrapolación de los datos medidos y mediante cálculos, con el objetivo que sea una base para evaluar el ruido ambiental [18].

La Reforma Texto Unificado Legislación, Medio Ambiente (TULSMA), que determina los límites máximos permisibles de ruido detallado por zonas y horas en la **Tabla 4** [16].

Para más detalle de las normativas se encuentran en el **Anexo 2** y **Anexo 3**.

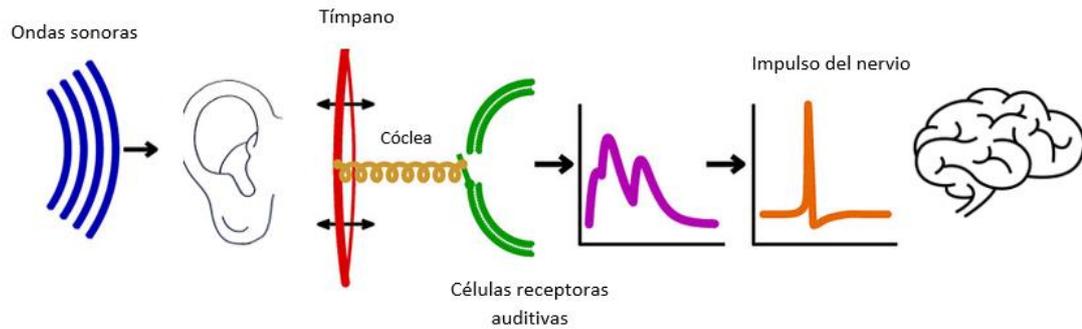
**Tabla 4:** Límites máximos permisibles de ruido ambiental [16].

Zonas	Límite máximo de ruido (dB)	
	06H00 A 20H00	20H00 A 06H00
Zona hospitalaria	55	45
Zona Escolar	55	45
Zona Residencial	60	50
Zona Residencial mixta	65	55
Zona Comercial	65	55
Zona Comercial mixta	70	60
Zona Industrial	75	65
Zonas de preservación de Hábitat	60	50

**Elaborado por:** La investigadora.

### **El sonido**

El sonido audible en el ser humano consiste en ondas sonoras que viajan por la presión del aire como señales eléctricas hacia el oído y se han percibidas por el cerebro a través del nervio auditivo. En la **Figura 1** se observa que el movimiento de las ondas sonoras llega al tímpano haciéndole vibrar, para luego transmitir a los huesecillos internos del oído amplificando y aumentando la vibración del sonido, así como también, envían a la cóclea donde ingresaran a las células receptoras auditivas donde, se detectan los sonidos de tonos altos y bajos, y pasan al nervio auditivo llevando estas señales eléctricas al cerebro que la convierte en sonido [19].



**Figura 1:** Representación del sonido en el oído humano [19].

### c. Radiación Solar Ultravioleta

La radiación solar ultravioleta es la energía emitida por el sol hacia la tierra compuesta por el espectro de infrarrojo, luz ultravioleta y luz visible que se trasmite en forma de ondas electromagnéticas, y a la vez se modifica a través de la atmosfera retenida la mayor parte de sus ondas por la capa de ozono y permitiéndole atravesar son 2/3 de la energía [20].

#### Existen tres tipos de rayos UV:

- Rayos solares ultravioleta tipo A tiene una longitud de onda entre (320 y 400) nm, la cual atraviesa totalmente la tierra [20].
- Rayos solares ultravioleta tipo B tiene una longitud de onda entre (280 y 320) nm, atraviesa el 90% de su energía siendo la radiación más peligrosa para la tierra [20].
- Rayos solares ultravioleta tipo C tiene una longitud de onda entre (100 y 280) nm, es totalmente retenida por la atmosfera de tal manera que no atraviesa la superficie de la tierra [20].

La exposición a la luz del sol puede producir efectos agudos y crónicos a la piel como: daños oculares, quemaduras en la piel, envejecimiento prematuro y cáncer en la piel [20].

#### Índice de radiación

El índice de radiación solar ultravioleta es un indicador de niveles que permite relacionar la intensidad de la radiación UV con respecto a la superficie terrestre. Se

expresa en escala de **1** que representa el nivel más bajo y **mayor a 11** que representa el nivel más alto y de peligrosidad, como se observa en la **Tabla 5** [20].

**Tabla 5:** Indicador del índice de radiación UV [20].

<b>Categoría de exposición</b>	<b>Intervalo de valores de IUV</b>
<b>BAJA</b>	<b>&gt; 2</b>
<b>MODERADA</b>	<b>3 a 5</b>
<b>ALTA</b>	<b>6 a 7</b>
<b>MUY ALTA</b>	<b>8 a 10</b>
<b>EXTERMADAMENTE ALTA</b>	<b>&gt; 11</b>

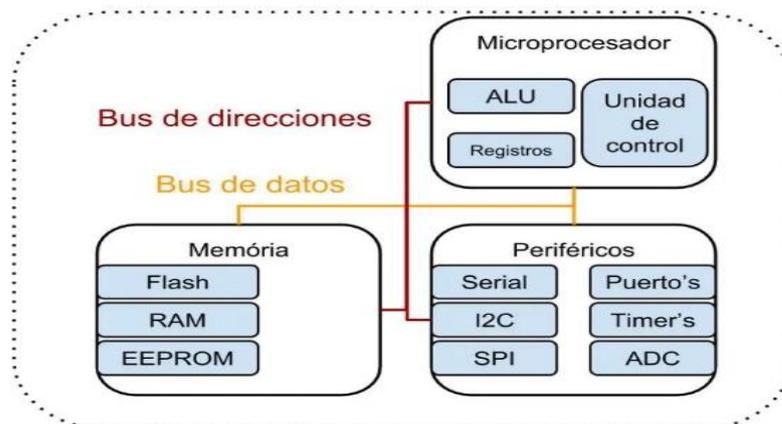
Existen diversos factores que influye en los niveles de radiación UV como: la posición del Sol, altitud, latitud, cubrimiento de las nubes, del grosor de la capa de ozono en la atmosfera y la reflexión terrestre. La radiación solar varia en el transcurso del día, entre las 10 am hasta las 2pm, los niveles de radiación solar se elevan con el 60% debido a que el sol se encuentra el punto más alto, siendo mayor la intensidad de radiación; otro factor es la ubicación geográfica los países que se encuentren cerca de la línea ecuatorial, ya que inciden directamente los rayos UV, las ciudades que tengan mayor altitud sobre el mar de manera que mayor altura mayor radiación UV y la reflexión de los rayos dependiendo del medio como: en el mar es del 40%, bajo techo de hormigón es del 10% al 20% y en arena blanca es del 15% [20].

## **1.2.2 SISTEMAS ELECTRONICOS**

### **a. Microcontrolador**

Un microcontrolador es una unidad computacional programable conformado por circuitos integrados. Se caracteriza por ser un integrado compacto que tiene alta versatilidad, además que fue diseñado para un consumo bajo en energía y bajo costo.

Está conformado por una unidad central de procesamiento (CPU), memoria FLASH, EEROM y RAM, buses de comunicaciones y puertos de entrada y salida, como se observa en la **Figura 2** [21].



**Figura 2:**Estructura interna de un microcontrolador [21].

### b. Sensor

Un sensor es un dispositivo que mide magnitudes físicas o variables físicas y las transforman a señales eléctricas. En el mercado se encuentra una variedad de sensores como:

- El sensor de radiación solar ultravioleta mide el índice de radiación UV que se encuentre en el medio
- El sensor de ruido detecta la presión de una onda de sonido o acústica
- Los sensores de gases detectan la concentración de gas en un medio interno como externo.

### 1.2.3 TECNOLOGIA LORA

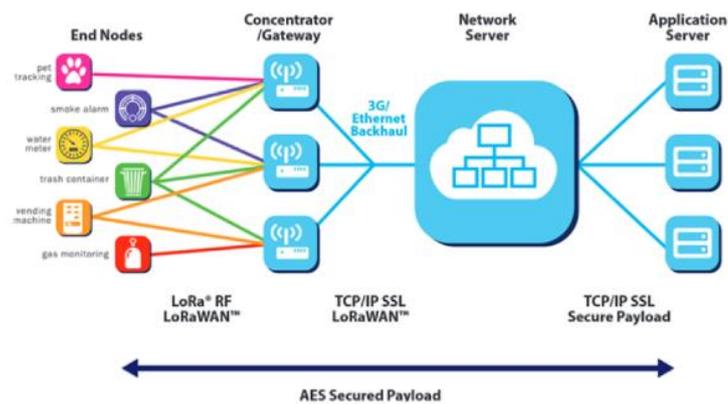
La tecnología inalámbrica LORA fue patentada por una empresa fabricante de chips de radio Semtech, diseñado para redes de gran alcance en el rango de (10 a 20) Km y bajo consumo de energía, pero con un ancho de banda pequeño a comparación de otras tecnologías inalámbricas y la velocidad de datos esta entre 0.3kbps a 50kbps. Sin embargo, tiene alta tolerancia al ruido, interferencias de múltiples señales y al efecto Doppler gracias a la modulación Chirp Spread Spectrum (amplio espectro) [22].

LoRa trabaja en frecuencias de 868MHz en Europa, 915MHz en América y 433MHz en Asia [23, 22].

### a. Arquitectura

La tecnología LoRa utiliza una arquitectura basada en el protocolo LoRaWAN, donde los diferentes dispositivos LoRa se entrelazan con el Gateway. En la **Figura 3** se observa la estructura de la red LoRaWAN, la cual está conformado por gateways, nodos, servidor de red y el servidor de aplicación [23, 22, 24]

- Nodos son dispositivos LoRa que transmiten y reciben la información hacia los gateways.
- Gateways es una antena que permite la transmisión y recepción de información bidireccional de los nodos y el servidor de red
- Servidor de red se encuentra conectado a los gateways mediante TCP/IP y el servidor de aplicación
- Servidor de aplicación es el encargado de recibir y procesar los datos de los nodos



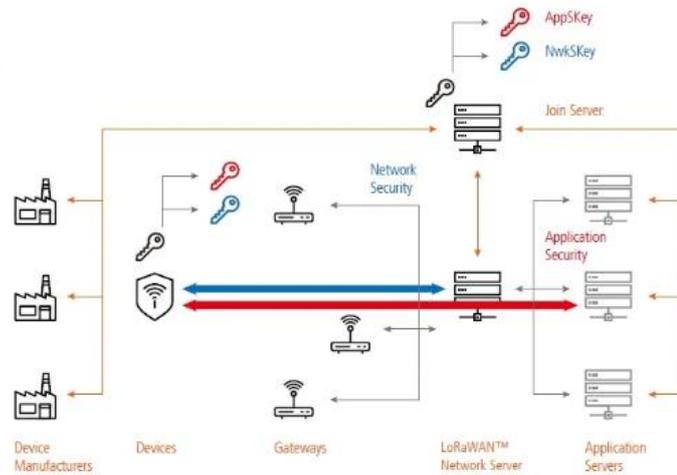
**Figura 3:** Arquitectura de la red LoRaWAN [22].

### b. Protocolo LoRaWAN

EL protocolo LoRaWAN define la comunicación y la arquitectura de la red tipo estrella, es decir que equivale a la capa 2 y 3 del modelo OSI, mientras que LoRa es la capa física de acceso a la red, en otras palabras, LoRaWAN es un protocolo de la capa de control de acceso para administrar la comunicación entre pasarelas de redes de área amplia, de baja potencia (LPWAN) [24].

### c. Seguridad de LoRaWAN

LoRaWAN utiliza varias capas de cifrado para la seguridad de datos como: la seguridad de la red, la seguridad de aplicación y la seguridad de flujo de datos, como se observa en la **Figura 4**.



**Figura 4:** Diagrama de la seguridad de LoRaWAN [25].

La seguridad de la red (Network security) asegura la autenticidad del nodo en la red [26].

La seguridad de la aplicación (Application security) asegura que el operador no tenga permisos para acceder a la información de la aplicación del usuario terminal [26].

La seguridad del flujo de datos es encriptado por el cifrado AES-128, desde el nodo de aplicación hacia el nodo del servidor de red, mediante tres componentes que son [26]:

- DevADDR: es un identificador para los dispositivos de 32 bits
- Network sesión Key (NwkSey): es para la clave de sesión de la red que cifra la comunicación del dispositivo del usuario final con respecto al servidor de red.
- Application sesión Key (AppSkey): es para la clave de sesión de aplicación que proteger información específicos dentro de la aplicación.

#### **1.2.4 BASE DE DATOS**

Una base de datos permite recopilar y organizar información de manera estructurada y relacionada entre sí, mediante tablas con la finalidad de administrar, consultar, actualizar y modificar los datos almacenados con facilidad de los sistemas computacionales. Existen varias bases de datos como:

**MySQL** es un gestor de base de datos multiplataforma que recibe peticiones de clientes locales o remotos a través TCP/IP [27].

**InfluxDB** es una plataforma de alto rendimiento diseñada para aplicaciones IoT, análisis, monitores en tiempo real y manejo de datos en volumen [28].

**MariaDB** es un gestor de base de datos de código abierto que se encuentra empaquetado en distribuciones Debian y Ubuntu [29].

**Oracle Database** es un sistema de datos multimodelo mediante JavaScript y tablas de blockchain [30].

### **1.3. Objetivos**

#### **1.3.1 Objetivo General**

Implementar un sistema de monitoreo de factores ambientales externos en unidades educativas céntricas del cantón Píllaro basado en tecnología LoRa.

#### **1.3.2 Objetivos Específicos**

- Analizar el impacto de los factores ambientales externos en el desempeño académico de niños.
- Diseñar un sistema de monitoreo de factores ambientales externos con uso de tecnología LoRa.
- Desarrollar un prototipo de monitoreo de factores ambientales externos para unidades educativas.

Mediante los objetivos planteados se realiza el siguiente análisis:

El objetivo principal de la presente investigación bibliográfica es implementar un sistema de monitoreo de factores ambientales externos en unidades educativas

céntricas del cantón Píllaro basado en tecnología LoRa, para prevenir efectos perjudiciales en la salud de estudiante, docentes, padres de familia y autoridades de la institución, y así como también mejorar el rendimiento académico, logrando la concientización de los mismo, para la toma de decisiones y la disminución de la contaminación en el aire.

Para el desarrollo del proyecto de investigación es indispensable analizar el impacto de los factores ambientales externos, y esto como perjudica en desempeño académico de niños. De tal manera que se realiza las siguientes actividades:

- Determinación de los efectos negativos en el rendimiento académico ante la exposición de factores ambientales decadentes.
- Análisis de normativas existentes sobre niveles permisibles de ruido ambiental.
- Análisis de normativas sobre la calidad del aire y tiempo de exposición solar en unidades educativas.

En el diseño del sistema de monitoreo de factores ambientales externos con uso de tecnología LoRa, se determinó las características del sistema y los equipos adecuados para la elaboración. Para ello se realizó las siguientes actividades:

- Análisis de los sistemas de monitoreo ambiental existentes.
- Análisis de la Tecnología y dispositivos LoRa.
- Determinación de los equipos necesarios y adecuados para el sistema de monitoreo.
- Diseño del sistema de monitoreo de parámetros medioambientales externos en unidades educativas de Cantón Santiago de Píllaro.

Finalmente, en el desarrollo del prototipo de monitoreo de factores ambientales externos para unidades educativas, se cumple las siguientes actividades:

- Simulación de un Sistema de monitoreo de parámetros medioambientales externos en unidades educativas con el uso de tecnología LoRa.

- Implementación de un Sistema de monitoreo de parámetros medioambientales externos en unidades educativas con el uso de tecnología LoRa.
- Ejecución de pruebas, detección y corrección de errores del sistema.
- Análisis de resultados y la obtención de conclusiones del sistema en funcionamiento.

## CAPÍTULO II METODOLOGÍA

### 2.1 Materiales

Los materiales que se utilizó en el desarrollo del proyecto se detallan a continuación:

#### 2.1.1 Esp32 LoRa

La tarjeta Esp32 LoRa es un microcontrolador que tiene integrado un chip LoRa. En el proyecto se utilizó dos dispositivos ESP32 LoRa configuradas una como Nodo y otra como Gateway.

La Esp32 LoRa TTGO está configurada como nodo para la adquisición de los datos de los sensores.



**Figura 5:** Tarjeta Esp32 LoRa con configuración nodo [31]

La Esp32 LoRa TTGO con OLED está configurada como Gateway que tiene la función de recibir los datos de la Esp32 Nodo y enviar hacia el servidor de aplicación (Digital Ocean) para el almacenamiento de los datos. Además, contiene una OLED para la visualización de la conectividad y la notificación de envío de datos.



**Figura 6:** Tarjeta Esp32 LoRa con OLED con configuración Gateway [31]

Las dos tarjetas tienen las mismas especificaciones técnicas que se detallan en la **Tabla 6**.

**Tabla 6:** Características de la Tarjeta Esp32 LoRa [32].

<b>Especificaciones técnicas</b>	
Procesador	Dual Core de 32 bits
Velocidad de reloj	160MHz – 240MHz
Voltaje	5v
Conector	Micro USB
Comunicación	Wi-Fi, Bluetooth, LoRa
Puertos input/output	36 puertos GPIO
Compatible	Arduino IDE, Lua, Micro Python

**Elaborado por:** La investigadora.

### 2.1.2 Sensores de gas

#### Sensor de Monóxido de Carbono

Se utilizó el Sensor MQ-7 para medir el nivel de concentración de gas monóxido de carbono que se encuentre en el aire libre, trabaja en el rango entre 20 a 2000 ppm, las características de detalla en la **Tabla 7**.



**Figura 7:** Sensor de monóxido de carbono MQ-7 [33]

**Tabla 7:** Sensor de monóxido de carbono MQ-7 [33].

<b>Especificaciones técnicas</b>	
Voltaje de operación	5 VDC
Corriente consumida	70mA
Resistencia de carga	Regulable
Resistencia de Calentamiento	33Ohm
Tiempo de calentamiento	90s (bajo)- 60s(alto)
Rango de detección	20 ppm-2000 ppm
Temperatura de funcionamiento	-20°C ~ 50°C

**Elaborado por:** La investigadora.

### Sensor dióxido de azufre

Gracias a la alta sensibilidad se utilizó el sensor MQ-136 para detectar el nivel del dióxido de azufre que existe en el aire, las especificaciones técnicas de detalla en la **Tabla 8.**



**Figura 8:** Sensor de dióxido de azufre MQ-136 [33].

**Tabla 8:** Características del Sensor de dióxido de azufre MQ-136 [33].

<b>Especificaciones técnicas</b>	
Voltaje de operación	5 VDC
Resistencia de carga	Ajustable
Resistencia de Calentamiento	31Ohm±5%
Tiempo de calentamiento	Mas de 24 h
Rango de detección	10 ppm-1000 ppm
Temperatura de funcionamiento	20°C±2°C

**Elaborado por:** La investigadora.

### Sensor de dióxido de nitrógeno y ozono

El sensor MQ-131 es un detector de sobrecarga de concentración de ozono y sensible al dióxido de nitrógeno y dióxido de cloro, que aumenta la tensión del sensor cuando existe mayor concentración de gas, los parámetros técnicos se encuentran en la **Tabla 9**



**Figura 9:** Sensor de ozono MQ-131 [33].

**Tabla 9:** Características del Sensor de ozono MQ-131 [33].

<b>Especificaciones técnicas</b>	
Voltaje de operación	5 VDC
Corriente consumida	180mA
Resistencia de carga	Ajustable
Resistencia de Calentamiento	31Ohm±5%
Tiempo de calentamiento	24 h
Rango de detección	10 ppm-1000 ppm
Temperatura de funcionamiento	20°C±2°C

**Elaborado por:** La investigadora.

### 2.1.3 Sensor de materia particulado (polvo)

Se utilizó el sensor de densidad DSM501A que realiza la medición de partículas mayores 1 micrómetro, detecta el polvo y el humo del cigarrillo, las características se describen en la **Tabla 10**.



**Figura 10:** Sensor de materia particulado DSM501A [33]

**Tabla 10:** Características del Sensor de materia particulado DSM501A [33].

<b>Especificaciones técnicas</b>	
Voltaje de operación	5 VDC $\pm$ 5
Resistencia de Calentamiento	31Ohm $\pm$ 5%
Tiempo de estabilización	1 min
Rango de concentración	0-15000 psc / 283 ml
Temperatura de funcionamiento	-10°C-65°C

**Elaborado por:** La investigadora.

#### 2.1.4 Sensor ultravioleta

El sensor ultravioleta GUVA-S12SD mide la radiación solar mediante un fotodiodo UV en el rango de 240nm – 370nm, es decir en el espectro UVB Y UVA, las especificaciones técnicas de detallan en la **Tabla 11**.



**Figura 11:** sensor ultravioleta GUVA-S12SD [34].

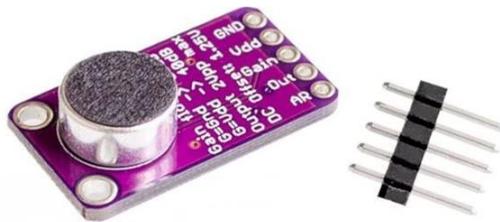
**Tabla 11:** Características del sensor ultravioleta GUVVA-S12SD [34].

<b>Especificaciones técnicas</b>	
Voltaje de operación	5 VDC $\pm$ 5
Corriente de trabajo	1 mA
Rango del espectro de detención	240nm – 370nm
Temperatura de funcionamiento	-30°C-85°C

**Elaborado por:** La investigadora.

### 2.1.5 Sensor de ruido

Se utilizó el sensor de ruido MAX9814, el cual mediante su micrófono capta diferentes niveles de sonidos que se encuentran en el rango de frecuencia de 20Hz – 20KHz que amplifica la señal captada, gracias al control de ganancia automática. Las especificaciones técnicas se detallan en la **Tabla 12**.



**Figura 12:** Sensor de ruido MAX9814 [33]

**Tabla 12:** Características Sensor de ruido MAX9814 [33]

<b>Especificaciones técnicas</b>	
Voltaje de operación	5 VDC $\pm$ 5
Ganancia ajustable	40dB – 60dB
Rango de la frecuencia operación	20Hz – 20KHz

**Elaborado por:** La investigadora.

### 2.4.6 Fuente de Alimentación

Para la alimentación del circuito nodo y del circuito Gateway se utilizó dos baterías Lipo para la suministración de energía



**Figura 13:** Fuente de alimentación batería Lipo.

## **2.2. Métodos**

### **2.2.1 Modalidad de la Investigación**

La presente investigación describe las diferentes técnicas que se aplicó en el sistema de monitoreo de factores externos, dando lugar a la solución del problema.

#### **Investigación Aplicada**

El presente proyecto es una investigación aplicada ya que, se emplea los conocimientos adquiridos para solucionar problemas que actualmente afectan el desempeño adecuado de docentes y alumnos de las unidades educativas, dando la solución a un problema social y la generación de nuevos conocimientos para alcanzar los objetivos planteados.

#### **Investigación Bibliográfica**

El proyecto tiene una modalidad bibliográfica basada en la investigación de revistas técnicas, libros, artículos científicos, publicaciones en internet y en proyectos de tesis similares referente a temas de sistemas de monitoreo de factores ambientales externos que permitan entender de mejor manera el problema y con ello proponer una solución factible.

#### **Investigación de Campo**

La investigación es de campo porque se realizó en diferentes unidades educativas céntricas del cantón Píllaro para recopilar información en el lugar donde se origina el problema, es decir con la población involucrada para de acuerdo a ello, plantear una solución factible.

### **2.2.2 Recolección de Información**

La sustentación de la investigación se realizó mediante la recolección de información de libros, revistas, fuentes online y proyectos desarrollados, así como guías prácticas y manuales de construcción, por lo que se tomó en cuenta fuentes bibliográficas confiables que permitieron el desarrollo del proyecto.

### **2.2.3 Procesamiento y Análisis de Datos**

Para el procesamiento y análisis de datos se desarrolló los siguientes pasos:

- Revisión de la información recopilada.
- Estudio de las propuestas de solución planteadas para disminuir los índices de enfermedades respiratorias, precautelar la salud auditiva y de la piel.
- Interpretación de la información relevante que contribuya al desarrollo de la propuesta de solución

### **2.2.4. Desarrollo del Proyecto**

En el desarrollo del prototipo se efectuó las siguientes actividades:

- Determinación de los efectos negativos en el rendimiento académico ante la exposición de factores ambientales decadentes.
- Análisis de normativas existentes sobre niveles permisibles de ruido ambiental.
- Análisis de normativas sobre la calidad del aire y tiempo de exposición solar en unidades educativas.
- Análisis de los sistemas de monitoreo ambiental existentes.
- Análisis de la Tecnología y dispositivos LoRa
- Determinación de los equipos necesarios y adecuados para el sistema de monitoreo.
- Diseño del sistema de monitoreo de parámetros medioambientales externos en unidades educativas de Cantón Santiago de Píllaro.
- Simulación de un Sistema de monitoreo de parámetros medioambientales externos en unidades educativas con el uso de tecnología LoRa.
- Implementación de un Sistema de monitoreo de parámetros medioambientales externos en unidades educativas con el uso de tecnología LoRa.
- Ejecución de pruebas, detección y corrección de errores del sistema.

- Análisis de resultados y la obtención de conclusiones del sistema en funcionamiento.
- Elaboración del informe final de la propuesta.

## **CAPÍTULO III**

### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

#### **3.1 Análisis y discusión de los resultados**

La implementación del sistema de monitoreo de factores ambientales externos en unidades educativas céntricas es un instrumento vital relevante que nos permite evaluar el nivel de contaminación que se encuentre en el aire libre, así como también informar y concientizar a los habitantes, para la toma de decisiones, acciones y medidas que ayuden a la disminución de estos factores, que se encuentran perjudicando la salud de los estudiantes de forma indirecta en el rendimiento académico de cada uno de ellos.

#### **3.2 Desarrollo de la propuesta**

En la presente investigación se realiza una indagación y construcción de una red LORAWAN, que permite monitorear mediante aplicación web en tiempo real para mejorar el comportamiento o hábito humano y tomar medidas con respecto a las diferentes fuentes que pueden causar daños en el organismo por los diferentes factores como la contaminación en el aire, la radiación UV y contaminación auditiva.

##### **3.2.1 Efectos en el rendimiento académico ante la exposición de factores ambientales decadentes.**

Los riesgos ambientales, debido a la contaminación del aire es un problema que actualmente está afectando la salud de los ciudadanos en especial en las zonas urbanas. Sin embargo, las personas se exponen diariamente a altos niveles de contaminación, siendo así los más afectados los grupos vulnerables como son los niños y los adultos mayores [12].

Según el estudio publicado por la revista *Enviroment International* por el proyecto BREATHE determino que la relación entre el ambiente fuera y dentro del aula: y el estudiante influyen en el rendimiento escolar de los niños y niñas, ya que al estar expuesto a altos niveles de contaminación afectan directamente en el desarrollo cognitivo y cerebral. De tal manera que los padres de familia también serian afectados indirectamente en especial las mujeres en estado de gestación, ya que los niños se encuentran en desarrollo de su cerebro, y al estar expuestos a partículas pequeñas y a gases él bebe recibe todos estos contaminantes alterando la salud y dando lugar a trastornos de autismo, hiperactividad, dislexia entre otros [35].

El ambiente donde conviven los niños y adolescentes, es un agente de estudio conformado por el entorno personal de los estudiantes, donde se relacionan con otras personas formando su carácter, personalidad, hábitos, costumbre y valores, siendo un medio indispensable para el desempeño académico.

Los niños y adolescentes son expuestos a factores ambientales externos fuera de las instituciones que perjudican su salud, debido a la contaminación del aire, la radiación solar y el ruido. Que influyen de manera negativa a corto o a largo plazo, dando lugar a enfermedades respiratorias, enfermedades cardiacas, migraña, pérdida auditiva, daños oculares, estrés y enfermedades cerebrovasculares. Por ende, afecta directamente al estudiante en su bienestar y estado de ánimo, provocando trastornos de sueño y debilidad en el cerebro, dificultando la concentración y el aprendizaje, a su vez, teniendo problemas de memorización y siendo causa que el estudiante tenga un bajo rendimiento escolar a consecuencia de estos factores [12].

### 3.2.1 Sistemas de monitoreo ambiental de factores externos

Existen diferentes sistemas de monitoreo ambiental que tienes diversas características para la toma de datos de factores externos contaminantes del medio ambiente, basado en normativas. Los equipos comerciales se describen en la **Tabla 13**.

**Tabla 13:** Características de equipos de medición de factores contaminantes.

	<b>GFG Monitor de Gas G460</b>	<b>Sonómetro SC101</b>	<b>Medidor de radiación PCE-UV34</b>
--	--------------------------------	------------------------	--------------------------------------

<b>Parámetros técnicos</b>			
Tipo de medición	Contaminación del aire	Contaminación acústica	Radiación UV
Peso	380 gr	438 gr	220gr
Resolución	Monóxido de carbón 0.01% vol Ozono 0.01 ppm Dióxido de nitrógeno 0.2 ppm Dióxido de azufre 0.05ppm	0,1 dB	0,001 mW/cm2
Tiempo de medición	6 horas	4 horas	8 horas
Rangos de medición	Monóxido de carbón (0 – 5%) vol Ozono (0 - 1) ppm Dióxido de nitrógeno (0 - 50) ppm Dióxido de azufre (0 – 10) ppm	55dB a 140dB	0,000 a 1,999 mW/cm2 1,999 a 19,99 mW/cm2
Sensor	- Monóxido de carbono - Ozono - Dióxido de nitrógeno - Dióxido de azufre	Sensor de audio	Sensor de luz fotodiodo con filtro corrector UV
Fuente de energía	Batería recargable NIMH Pack	Batería Lipo	Batería Lipo
Costo	\$ 4687.00	\$ 1948.00	\$3694.00

**Elaborado por:** La investigadora.

En la **Tabla 13** se analizó que en el mercado existen varios equipos de medición de factores contaminantes del medio ambiente, pero con limitadas funciones. Además, los costos son elevados. La investigación presente se realizó un sistema de monitoreo integrado de mayores prestaciones, gracias a la tecnología que utiliza. Las características se detallan en la **Tabla 12**.

**Tabla 14:**Características del sistema de monitoreo de factores externos ambientales

Sistema	Tipo de medición	Sensores	Tecnología	Aplicación	Tiempo de medición
Sistema de monitoreo de factores ambientales externos	- Contaminación del aire - Contaminación acústica - Radiación UV	- Sensor Monóxido de carbono - Sensor de Ozono - Sensor de Dióxido de nitrógeno - Sensor Dióxido de azufre - Sensor de polvo - Sensor acústico - Sensor rayos UV	LoRa	Servidor de aplicaciones DigitalOcean	6 horas

**Elaborado por:** La investigadora.

### 3.2.2 Análisis de las Tecnologías Inalámbricas

Existen diferentes tecnologías inalámbricas que transmiten datos mediante el aire, a través de ondas electromagnéticas como la radio frecuencia y microondas. Y comunicar entre dos o más equipos separados a una distancia, sin la necesidad de utilizar un medio físico como el cable.

En la **Tabla 15** se detalla las características de las Tecnologías Inalámbricas más utilizadas.

**Tabla 15:** Características de las Tecnologías Inalámbricas

Parámetros técnicos	Bluetooth	WI-FI	LoRa
Alcance	10m	100m	20Km
Frecuencia	2.4GHz	2.4GHz – 5.4GHz	915MHz - 868MHz
Capacidad de transmisión	1Mbps	54Mbps – 600Mbps	50Kbps
Consumo de energía	Bajo	Moderado	Bajo
Tipo de transmisión	Transmisión de datos Audio Video	Transmisión de datos Audio Video	Transmisión de datos

**Elaborado por:** La investigadora.

Según el análisis en la **Tabla 15** LoRa es una tecnología que se caracteriza por el consumo bajo de energía y largo alcance de transmisión de 20Km. Sin embargo, tiene una capacidad de transferencia muy baja, es decir solo permite transferir datos. A diferencia de Wi-fi y Bluetooth que permite la transmisión de datos, audio y video, pero de corto alcance [36].

### 3.2.3 Requerimientos del sistema

El sistema de monitoreo de factores externos para el funcionamiento requiere de un controlador que adquiera los datos de los diferentes sensores a gran alcance y pueda transmitir estos datos hacia un servidor de aplicaciones para la administrar y la interpretación de los datos obtenidos de forma gráfica, a su vez sea amigable y comprensible para el usuario.

#### a. Controlador del sistema

Para la selección del controlador del sistema se consideró el rendimiento, la capacidad y accesibilidad del dispositivo en el mercado, además, que sea capaz de interpretar señales analógicas y digitales mediante los puertos GPIO de entrada y salida, tomando en cuenta las corrientes suministradas hacia la salida, la tecnología de comunicación inalámbrica de gran alcance y la tensión requerida, la cual se detalla en la **Tabla 16** y **Tabla 17**.

**Tabla 16:** Comparación de parámetros técnico de controladores nodo.

	<b>Arduino nano</b>	<b>Tarjeta Esp8266</b>	<b>Modulo Esp32 LoRa Nodo</b>
<b>Parámetros Técnicos</b>			
Procesador	ATmega168	Tensilica Xtensa LX3 de 32bits	Tensilica Xtensa LX3 de 32bits Dual Core
Fuente de alimentación	5V	5V	5V
Corriente de operación	40mA	80mA	80mA

SRAM	32KB	32KB	520KB
Puertos I/O GPIO	14	10	34
Comunicación	SPI I2C RS232	Wi-Fi SPI I2C RS232	Wi-Fi Bluetooth LoRa SPI I2C RS232
Chip LoRa	No	No	Si
Costo	\$ 15.00	\$10.00	\$20.00

**Elaborado por:** La investigadora.

Al concluir el análisis de la **Tabla 16** se decidió utilizar el Módulo Esp32 LoRa Nodo por la factibilidad, diseño compacto, y tipo de conexión disponible, además el dispositivo tiene grandes prestaciones y es el único que tiene el módulo LoRa para la comunicación disponible y necesario para el envío de datos a través de esta tecnología, las características con detalle a profundidad se encuentran en el **Anexo 4**.

**Tabla 17:** Comparación de parámetros técnico de controladores Gateway

Parámetros Técnicos	Sparkfun LoRa Gateway 	Modulo RAK831 Gateway 	Modulo Esp32 LoRa Gateway 
Procesador	Tensilica Xtensa LX3 de 32bits Dual Core	Tensilica Xtensa LX3 de 32bits Dual Core	Tensilica Xtensa LX3 de 32bits Dual Core
Fuente de alimentación	5V	5V	5V
Corriente de operación	70mA – 170mA	80mA – 100mA	80mA
SRAM	520KB	520KB	520KB
Puertos I/O GPIO	14	34	34
Frecuencia de operación	868MHz 915MHz	863MHz 870MHz	433MHz 868MHz 915MHz
Comunicación	Wi-Fi Bluetooth LoRa	Wi-Fi Bluetooth LoRa	Wi-Fi Bluetooth LoRa

	SPI I2C RS232	SPI I2C RS232	SPI I2C RS232
Chip LoRa	Si	Si	Si
Costo	\$ 50.00	\$120.00	\$40.00

**Elaborado por:** La investigadora.

Al concluir el análisis de la **Tabla 17** se decidió utilizar el Módulo Esp32 LoRa Gateway por la factibilidad, diseño compacto, y tipo de conexión disponible, además el dispositivo tiene grandes prestaciones, un Oled para la visualizan de configuraciones iniciales, las características con detalle a profundidad se encuentran en el **Anexo 5**.

### b. Sensores

Para la sensorización del sistema se tomó en cuenta todos los factores contaminantes del medio ambiente también, así como los gases (dióxido de nitrógeno, dióxido de azufre, monóxido de carbono, ozono), la radiación UV, el ruido, material particulado (polvo, humo de cigarrillo, hollín) que afecta la salud de las personas. Para la adquisición de los datos de estos agentes contaminantes se realiza el respectivo análisis en las tablas (**Tabla 18 – Tabla 21**).

### Sensores de gases

**Tabla 18:** Tipos de sensores de gases utilizados en el sistema.

	<b>MQ-7</b>	<b>MQ-136</b>	<b>MQ-131</b>
<b>Parámetros Técnicos</b>			
Sensor de gas	Sensor de Monóxido de Carbono	Sensor de Dióxido de Azufre	Sensor de Dióxido de Nitrógeno y Ozono
Voltaje de operación	5 VDC	5 VDC	5 VDC
Corriente consumida	70mA	100mA	180mA
Resistencia de carga	Regulable	Ajustable	Ajustable

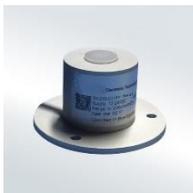
Resistencia de calentamiento	330Ohm	31Ohm±5%	31Ohm±5%
Tiempo de calentamiento	90s (bajo)- 60s(alto)	Mas de 24 h	24 h
Rango de detección	20 ppm-2000 ppm	10 ppm-1000 ppm	10 ppm-1000 ppm
Temperatura de funcionamiento	-20°C ~ 50°C	20°C±2°C	20°C±2°C
Costo	\$ 5.00	\$ 60.00	\$ 30.00

**Elaborado por:** La investigadora.

Al finalizar el análisis de la **Tabla 18** se concluyó que el sistema requiere de todos los agentes contaminantes en cuanto se refiere a gases, por el cual se decidió utilizar los tres tipos de sensores ya que son los adecuados para el dispositivo además con estos módulos se obtiene todas las variables físicas de gases como: dióxido de nitrógeno, dióxido de azufre y monóxido de carbono, las características con detalle a profundidad se encuentran en los anexos (**Anexo 6 – Anexo 8**)

### Sensores Ultravioleta

**Tabla 19:** Tipos de sensores UV existentes en el mercado.

	<b>GUVA-S12SD</b>	<b>UV SPR200-07</b>	<b>UV ML8511</b>
<b>Parámetros Técnicos</b>			
Fuente de alimentación	5 V	5V – 24 V	3.3V – 5V
Corriente de operación	1 mA	4mA – 20mA	2mA – 10mA
Comunicación	Analógico	RS485	SPI
Rango	240nm – 370nm	240nm – 400nm	280nm - 390nm
Costo	\$ 12	\$ 82	\$ 15

**Elaborado por:** La investigadora.

Con el análisis de la **Tabla 19** se concluyó que el dispositivo Nodo LoRa necesita dispositivos que consuman corrientes mínimos, además obtengan longitudes de onda entre 240nm – 370nm por el cual en sensor GUVA-S12SD cumple con las

características necesarias para este sistema logrando optimizar recurso de las baterías. Las características con detalle a profundidad se encuentran en el **Anexo 9**.

### Sensor de ruido

**Tabla 20:** Tipos de sensores de ruido existentes en el mercado.

	<b>KY-038</b>	<b>LM2904</b>	<b>MAX9814</b>
<b>Parámetros Técnicos</b>			
Voltaje de operación	4V – 6V	3.5V – 10V	3.3V – 5V
Corriente de operación	25mA	40 mA	20mA
Ganancia ajustable	30dB – 50dB	48dB – 66dB	40dB – 60dB
Rango de frecuencia de operación	100Hz – 10KHz	50Hz – 2KHz	20Hz – 20KHz
Costo	\$ 5.00	\$ 32.00	\$ 10.00

**Elaborado por:** La investigadora.

Al finalizar el análisis de la **Tabla 20** se concluyó que el sistema LoRa nodo debe obtener un sensor capaz de medir niveles de ruido en un rango de 40dB-60dB a una frecuencia de 20Hz-20kHz, además pueda optimizar el recurso de la fuente de alimentación, por el cual en sensor MAX9814 cumple con las condiciones requeridas para el sistema logrando mejorar el rendimiento de nodo LoRa. Las características con detalle a profundidad se encuentran en el **Anexo 10**.

### c. Sensor de materia particulado

**Tabla 21:** Tipos de sensores de ruido existentes en el mercado.

	<b>DSM501A</b>	<b>PMS7003</b>	<b>GP2Y1010AUDF</b>
<b>Parámetros Técnicos</b>			

Voltaje de operación	5 VDC $\pm$ 5	5 VDC $\pm$ 5	5 VDC $\pm$ 5
Corriente de operación	90mA	100mA	11mA
Rango de medición	0.5 $\mu$ m – 20 $\mu$ m	0.3 $\mu$ m – 10 $\mu$ m	0.3 $\mu$ m – 10 $\mu$ m
Resolución	1 $\mu$ g/m <sup>3</sup>	1 $\mu$ g/m <sup>3</sup>	1 $\mu$ g/m <sup>3</sup>
Resistencia de Calentamiento	31Ohm $\pm$ 5%	21Ohm $\pm$ 5%	31Ohm $\pm$ 5%
Rango de temperatura de operación	-20°C a 80°C	-10°C a 80°C	-10°C a 65°C
Costo	\$49,50	\$95,00	\$67,00

**Elaborado por:** La investigadora.

Al concluir con el análisis de la **Tabla 21** se decide la utilización del módulo DSM501A por su fácil adquisición y estar en el rango óptimo para el sistema.

#### **d. Fuente de energía**

Para el sistema de monitoreo de factores externos tenga un funcionamiento requerido es necesario suministrar un voltaje y corriente que optimice adecuadamente el dispositivo para el cual es necesario una batería que este entre 4,7V – 7,2V con una corriente mayor a 2Ah. El consumo de se detalla en la **Tabla 22**.

**Tabla 22:** Análisis de Corrientes de consumo del dispositivo LoRa Nodo y LoRa Gateway

<b>Dispositivo</b>	<b>LoRa Nodo</b>	<b>LoRa Gateway</b>
Modulo ESP32 LoRa	80 mA	180 mA
Sensor MQ7	70 mA	-
Sensor MQ136	100 mA	-
Sensor MQ131	180 mA	-
Sensor GUV A-S12SD	1 mA	-
Sensor MAX9814	20 mA	-
<b>Total</b>	451 mA	180 mA

**Elaborado por:** La investigadora.

### **3.2.4 Sistema de sensorización de factores externos.**

#### **a. Medición de factores externos.**

El sistema para el proceso de envío de datos requiere una etapa de adquisición de datos en la cual se utiliza los siguientes sensores:

Sensor de Gas, obtiene la variable física del nivel de gas mediante los sensores (MQ-7, MQ-131 y MQ-136), estos datos son interpretados mediante un microcontrolador que se enviara por la transmisión inalámbrica LoRa para ser almacenada en una base de datos alojada en un servidor de aplicaciones.

Sensor UV, obtiene el rango ente 1-13 de radiación solar mediante el sensor GUVA-S2SD, dicho dato será interpretado por el módulo ESP32 que se encarga de enviar mediante LoRa hacia el servidor de aplicaciones.

Sensor de Materia Particulado, el sistema obtiene la cantidad de partículas por metro cubico que se encuentra en el ambiente y es perjudicial para el ser humano, con la ayuda del módulo ESP32 y el sensor DSM501A, y lo envía hacia el servidor de datos para que las personas tomen precaución y tomen opciones como utilizar puertas secundarias de ingreso hacia la institución.

Sensor de Ruido, obtiene los niveles de ondas sonoras que genera el ambiente, las industrias, los vehículos automotores y las personas, mediante el sensor MAX9814 y el módulo ESP32 que interpreta y envía hacia el servidor de aplicaciones para que el usuario tome precauciones.

#### **b. Red de comunicación**

El dispositivo encargado del sensorizado de datos también tiene la función de transmitir la cadena de contenido hacia el Gateway que posteriormente será almacenado en un servidor de aplicaciones, en la cual se utiliza la tecnología LoRa que brinda un mayor alcance para la transmisión de datos. Los nodos LoRa están ubicados en las unidades educativas Jorge Álvarez y Isabel la Católica, el Gateway está ubicado en el domicilio de acceso a red TTN para enrutar las tramas hacia una base de datos y sea interpretado

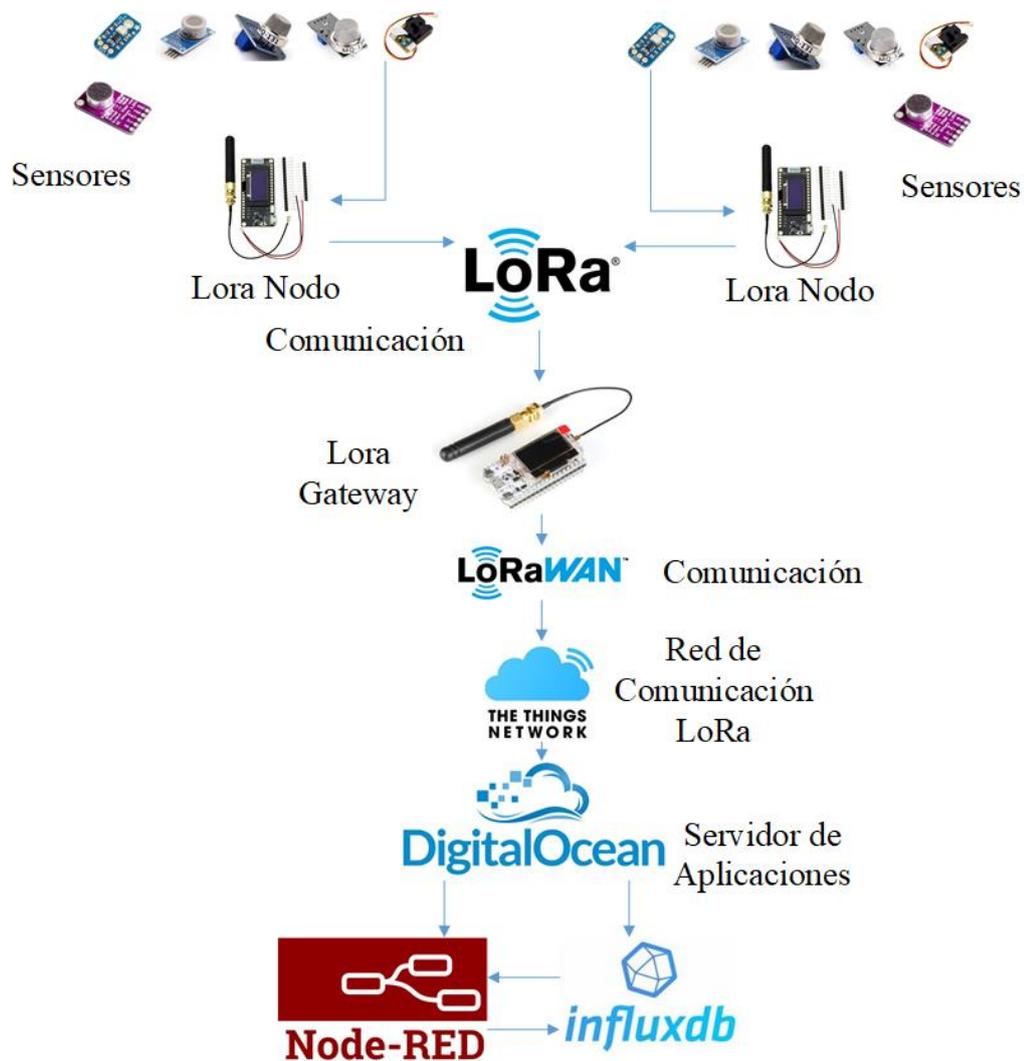
por el usuario de forma visual. La distancia es considerable la cual otras tecnologías como el WiFi y Bluetooth no podrían obtener acceso a estos datos, por el cual LoRa cumple para el área de cobertura, como se observa en la figura.



**Figura 14:** Diseño y ubicación de los equipos del sistema

**Elaborado por:** La investigadora.

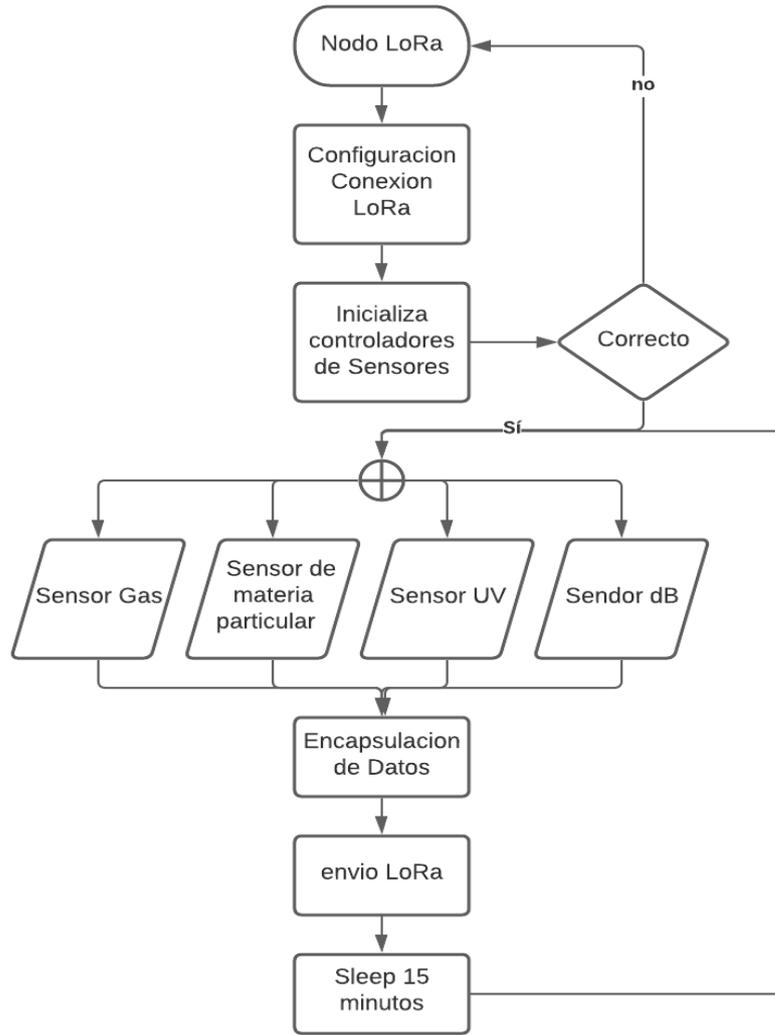
En la **Figura 15** se aprecia la composición de los nodos y el Gateway para el funcionamiento del sistema, de las cual se detallaron en las **Tablas 16 – Tablas 21**, además se observa que el Gateway por medio de la TTN tiene acceso al servidor de aplicaciones Digital Ocean donde se instala los servidores Node-Red e InfluxDB para el almacenamiento de datos mediante protocolos de comunicaciones.



**Figura 15:** Componentes de la red LoRa

**Elaborado por:** La investigadora.

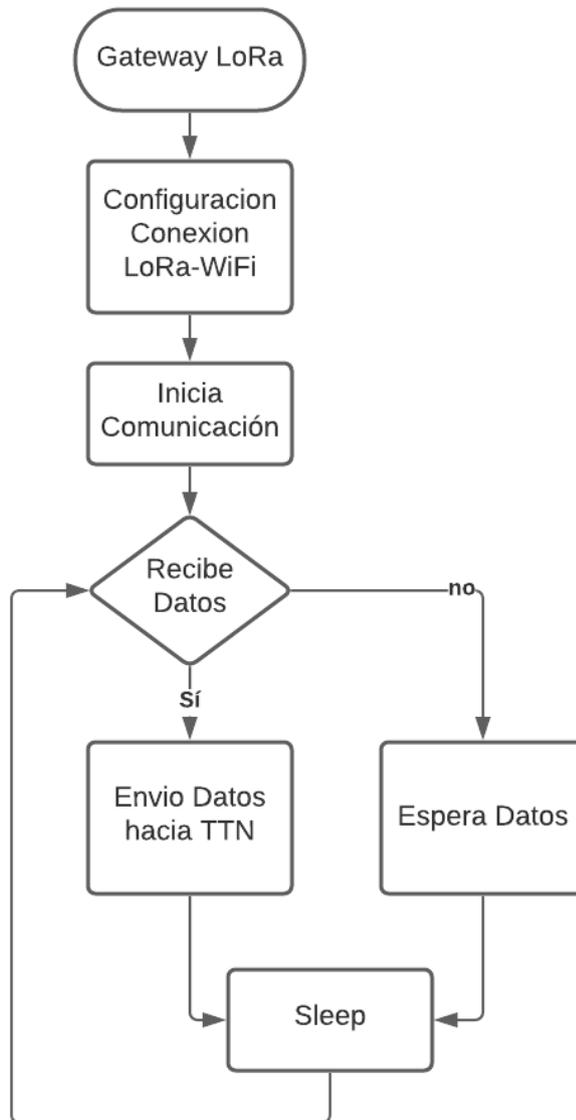
El Nodo de LoRa Esta configurado para obtener datos de los sensores y enviarlo hacia Gateway cada 15 minutos, se utiliza la configuración con el IDE de Arduino para cargar el firmware de acuerdo al diagrama de flujo de la **Figura 16** su programación se encuentra detallado en el **Anexo 11**.



**Figura 16:** Diagrama de flujo de los nodos LoRa

**Elaborado por:** La investigadora.

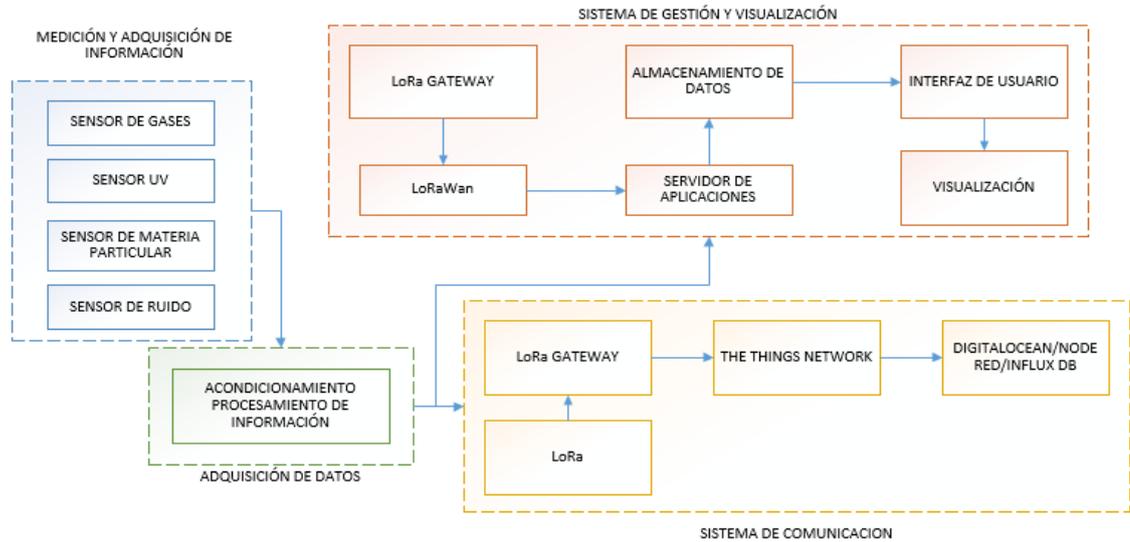
El Gateway de LoRa Esta configurado para obtener datos de los nodos LoRa y enviarlo hacia TTN cada vez que reciba un dato, se utiliza la configuración con el IDE de Arduino para cargar el firmware de acuerdo al diagrama de flujo de la **Figura 17** su programación se encuentra detallado en el **Anexo 12**.



**Figura 17:** Diagrama de flujo de los Gateway LoRa

**Elaborado por:** La investigadora.

La **Figura 18** representa el diagrama por bloques del sistema de monitoreo de factores ambientales externos, en el cual se determina todas las fases desarrolladas y su comunicación entre sí.

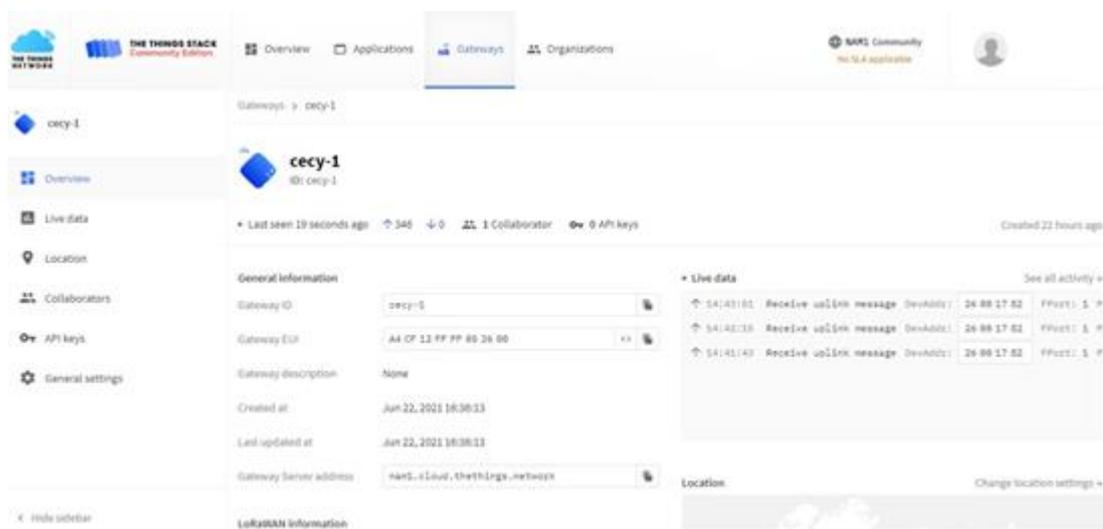


**Figura 18:** Diagrama de bloques del sistema de monitoreo

**Elaborado por:** La investigadora.

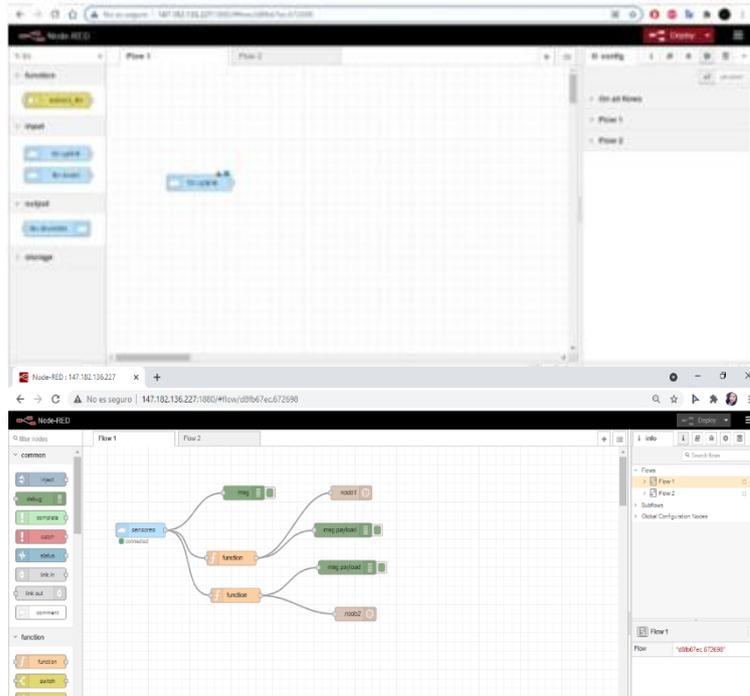
### c. Servidor de aplicaciones

El sistema de monitoreo de factores externos está alojada en el servidor de aplicaciones Digital Ocean que brinda servicios de máquina virtual en la nube bajo una dirección IP única para redireccionar desde la TTN (**Figura 19**) hacia una base de datos instalada en la plataforma, mediante la configuración de Node-Red. Su configuración se aprecia en la **Figura 20**.



**Figura 19:** Configuración TTN

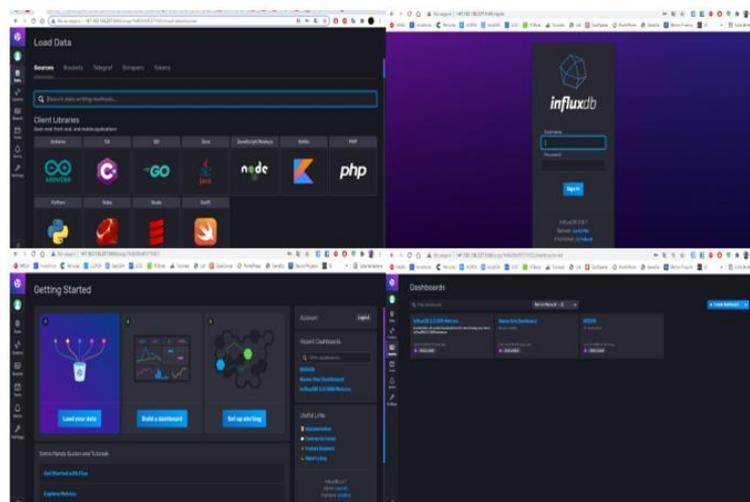
**Elaborado por:** La investigadora.



**Figura 20:** Configuración NodeRED del sistema

**Elaborado por:** La investigadora.

En el sistema además se instala una base de datos, para ello se instaló InfluxDB el cual es específicamente diseñado para IoT, además tiene una función de mostrar datos mediante gráficos para la interpretación de los mismos. La **Figura 21** ilustra las capturas del servidor con InfluxDB.

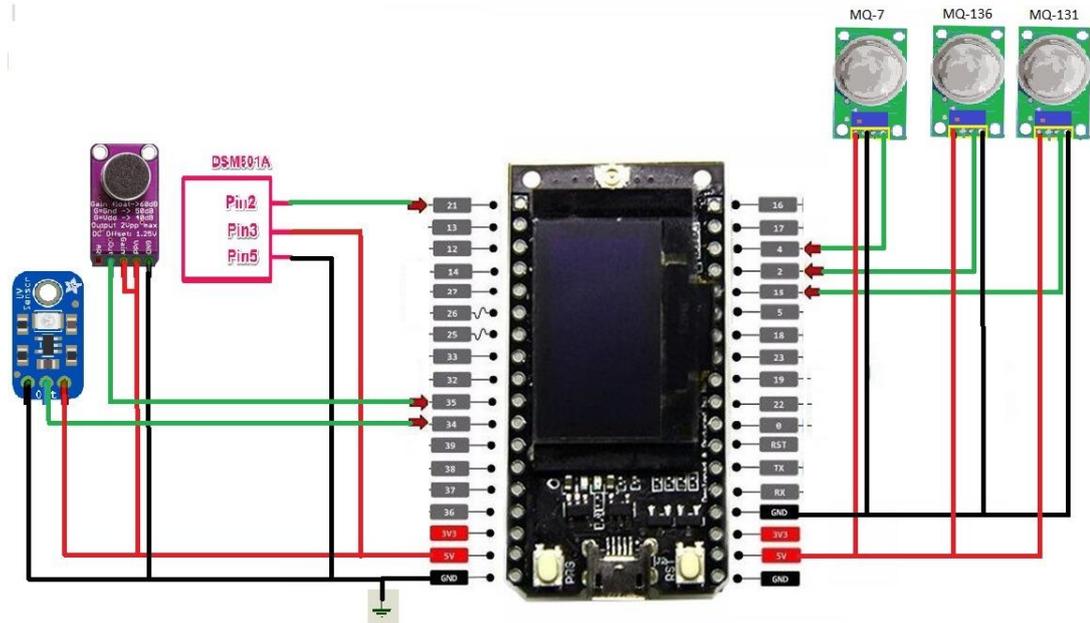


**Figura 21:** Configuración de los servicios del sistema

**Elaborado por:** La investigadora.

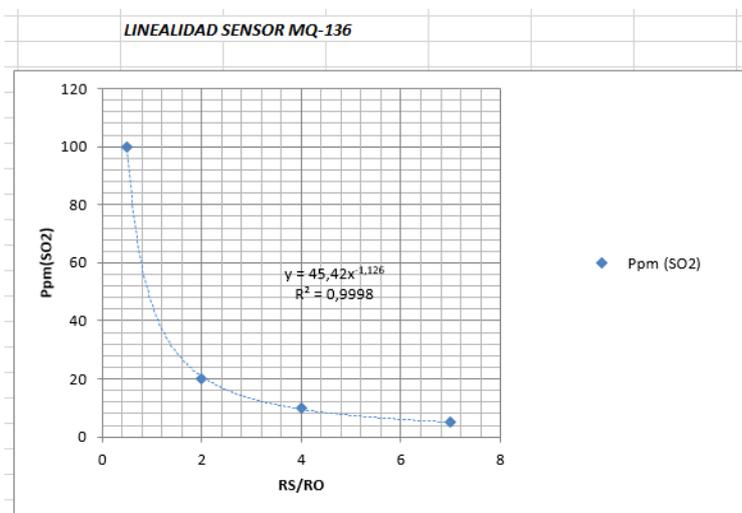
**d. Sistema de gestión y monitoreo.**

En la **Figura 22** se ilustra la representación esquemática de conexiones, donde se encuentran los sensores y el módulo Esp32 LoRa. Además, la curva característica de los sensores que toman variables físicas de Gas, estos se representan en la **Figura 23** y **Figura 24**



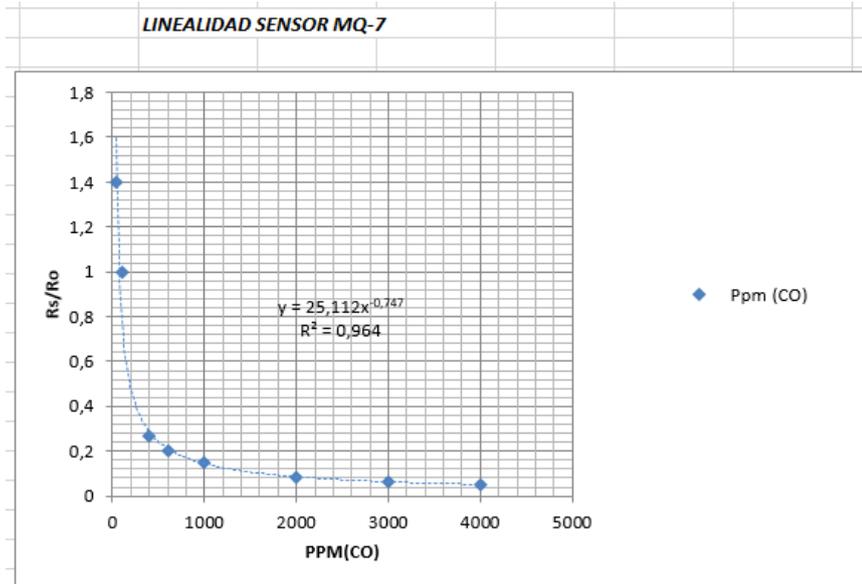
**Figura 22:** Esquema del Nodo LoRa del sistema de monitoreo

**Elaborado por:** La investigadora.



**Figura 23:** Calibración del sensor dióxido de azufre

**Elaborado por:** La investigadora.

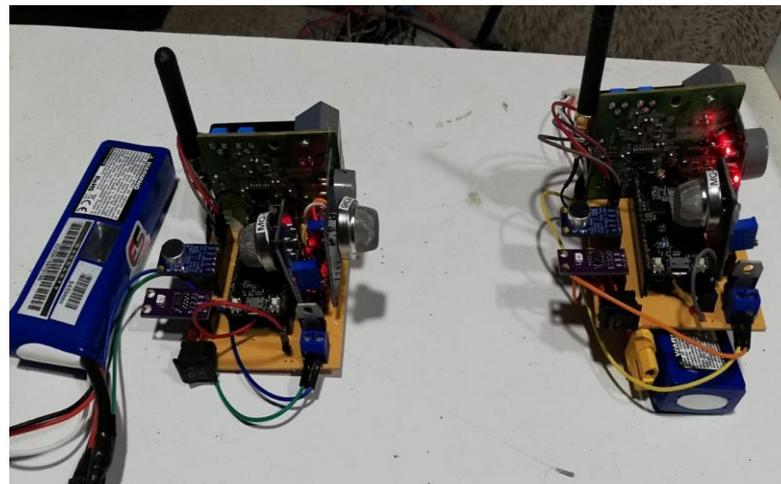


**Figura 24:** Calibración del sensor monóxido de carbono

**Elaborado por:** La investigadora.

### 3.2.5 Implementación de un Sistema de monitoreo

En las **Figuras (25 – 28)** se representa las imágenes del dispositivo final



**Figura 25:** Prototipo Final del Nodo1 y Nodo2 LoRa.

**Elaborado por:** La investigadora.



**Figura 26:** Implementación de la Unidad Educativa Jorge Álvarez  
**Elaborado por:** La investigadora.



**Figura 27:** Implementación de la Unidad Educativa Isabel la Católica  
**Elaborado por:** La investigadora.



**Figura 28:** Implementación del LoRa Gateway.

**Elaborado por:** La investigadora.

### 3.2.6 Pruebas de funcionamiento

Para la fiabilidad del sistema se realizó diferentes pruebas en dos instituciones educativas céntricas del Cantón Píllaro en la Unidad Educativa Jorge Álvarez y la Unidad Educativa Isabel la Católica. Los datos adquiridos del sistema se dieron durante el mes abril en tres diferentes horarios, en las horas más transcurridas del día que son: 6:45 a 8:45, 12:45 a 14:45 y 17:00 a 19:00.

En la **Tabla 25** y **Tabla 26**, se detalla la toma de mediciones del sistema en las dos instituciones por los 6 sensores, obteniendo 24 datos por cada sensor en cada jornada, los valores son tomados cada 15 minutos en el transcurso de 6 horas por día. Estos Resultados se encuentran en el **Anexo 13**.

En la **Tabla 23** se observa los resultados registrados en la base de datos del sistema de monitoreo durante 5 días a la semana, en tres diferentes jornadas, los límites máximos permisibles de contaminación según las normativas establecidas e investigaciones realizadas en los últimos años.

**Tabla 23:** Comparativa de los resultados de medición con respecto a otras investigaciones y a los límites permisibles [2, 6, 37].

<b>Datos</b>	<b>Unidad Educativa Isabel la Católica</b>	<b>Unidad Educativa Jorge Álvarez</b>	<b>Datos referentes a otras investigaciones PUCE 2019</b>	<b>Datos referentes a otras investigaciones UTA 2018</b>	<b>Datos referentes a otras investigaciones UTA 2019</b>	<b>Límites permisibles</b>
Monóxido de carbono ( <i>CO</i> ) MQ-7	492,09 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	477,29 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	306.34 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	.....	.....	< 15000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Ozono ( <i>O</i> <sub>3</sub> ) MQ-131	22,12 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	22,05 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	32.87 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	.....	.....	< 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Dióxido de azufre ( <i>SO</i> <sub>2</sub> ) MQ-136	2,17 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	1.81 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	2.98 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	.....	.....	< 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Material Particulado ( <i>PM</i> <sub>2.5</sub> ) DSM501A	8,60 $\mu\text{m}$	8,47 $\mu\text{m}$	5.42 $\mu\text{m}$	.....	.....	< 25 $\mu\text{m}$
Ruido MAX9814	72,30 dB	70,09 dB	.....	76dB	.....	45dB – 55dB

Radiación UV GUVA S12SD	6:45 a 7:35 Baja 8:00 a 8:45 Moderada 12:45 a 13:15 Muy alta 13:30 a 14:45 Extremadamente alta 17:00 a 17:30 Moderada 17:45 a 19:00 Baja	6:45 a 7:35 Baja 8:00 a 8:45 Moderada 12:45 a 13:15 Muy alta 13:30 a 14:45 Extremadamente alta 17:00 a 17:30 Moderada 17:45 a 19:00 Baja	.....	.....	Moderada 12:45 a 13:15 Muy alta 13:30a16:4 5	Baja > 2 Moderada 3 a 5 Alta 6 a 7 Muy alta 8 a 10 Extremadamente alta > 11
-------------------------------	--	--	-------	-------	--	--

**Elaborado por:** La investigadora.

En la **Tabla 23** se observa que los datos obtenidos por el sistema de monitoreo de factores externos en las Unidades Educativas céntricas del cantón Píllaro está dentro de los rangos permisibles según las normativas. Sin embargo, en el cantón Píllaro no existe actualmente investigaciones referentes a la contaminación ambiental, por lo tanto, los datos obtenidos del sistema se referencio con investigaciones realizadas en el cantón Ambato obteniendo resultados con variaciones mínimas, debido a la altitud y latitud del cantón, y al crecimiento de la población.



**Figura 29:** Toma de datos de la Unidad Educativa Jorge Álvarez

**Elaborado por:** La investigadora.



**Figura 30:** Toma de datos de la Unidad Educativa Isabel la Católica

**Elaborado por:** La investigadora.

La **Figuras 29** y **30** ilustran donde se implementó el sistema de monitoreo de factores externo.

### 3.2.7 Factibilidad Económica

El presente proyecto va dirigido hacia la comunidad en general en el cual podrán informarse de los factores externos de cada uno de las unidades educativas que se implementen, tiene bajo costo con materiales, módulos y sensores de fácil acceso para su fabricación, esto se detalla en la Tabla.

**Tabla 24:** Presupuesto de construcción del sistema

Tablas de costos del sistema			
Material	Tipo	Cantidad	Valor Total
Modulo LoRa Nodo	ESP 32 LoRa	2	40 \$
Case	Acrílico	3	60 \$

Sensor Dióxido de Azufre	MQ-136	2	120 \$
Sensor Dióxido Carbono	MQ-7	2	10 \$
Sensor Dióxido de Nitrógeno y Ozono	MQ-131	2	60 \$
Sensor UV	GUVA-S12SD	2	24 \$
Sensor Material Particulado	DSM501A	2	98 \$
Sensor de Ruido	MAX9814	2	20 \$
Modulo Gateway LoRa	ESP 32 LoRa	1	40 \$
Total			472 \$

**Elaborado por:** La investigadora.

Los costos establecidos están sujetos a valores por unidad, tomando en cuenta el precio unitario de los materiales que se adquieren en el mercado actual a nivel del país, este valor de fabricación final es \$472. A esto hay que añadir precios de diseño e instalación, un sueldo básico de ingeniería que ronda por los \$650 dando un valor total de \$1122.

## CAPÍTULO IV

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 4.1 Conclusiones

- Mediante la elaboración del presente trabajo se realizó una investigación de las consecuencias de un medio ambiente deteriorado siendo los más vulnerables niños en desarrollo y adultos mayores por lo cual se determinó que la calidad del aire, contaminación auditiva y la radiación UV afectan de forma negativa la salud, sistema inmunológico hasta su rendimiento académico.
- Se analizó las características de la tecnología LoRa, esta información permitió determinar que tiene mayor cobertura con respecto al resto de las comunicaciones inalámbricas, además es de bajo consumo lo cual facilita la configuración bajo baterías para el propósito de sensorizado, prolongando la vida útil.
- El diseño del sistema de monitoreo se conforma por dos nodos encargados de recolectar la información, un Gateway que recibe los datos y los reenvía al servidor LoRaWAN (TTN); para el manejo de datos se lo hace mediante un servidor alojado en Digital Ocean en donde se encuentra la base de datos (InfluxDB2.0) encargada de almacenar y visualizar los datos que posteriormente serán analizados.
- Los datos obtenidos del sistema fueron comparados con los datos de las normativas vigentes por lo cual se determinó que son moderados debido a las restricciones actuales y de acuerdo a la ley actual por la pandemia, al no haber actividad educativa dentro de las instalaciones los datos que se aprecian en el sistema dan como resultado que la contaminación en las unidades educativas nos es a gran escala por

esta causa, el sistema será óptimo al momento de reiniciar actividades presenciales y así obtener nuevos datos, para mejorar los resultados.

- La medición de los factores de contaminación ya sea de aire, auditivo o por radiación, depende mucho de la ubicación de la zona donde se realice, debe ser considerada la altitud y latitud, además el crecimiento económico y poblacional.

#### **4.2 Recomendaciones**

- El sistema de monitorización de factores ambientales externos es recomendado para la utilización de gobiernos municipales de los diferentes cantones, con el objetivo de tomar las medidas respectivas en los puntos más vulnerables como las instituciones educativas.
- La investigación presente es una base para investigaciones futuras con respecto a los sistemas de monitoreo de factores ambientales externos, ayudando a concientizar a la población y a los municipios para la toma de decisiones, por ende, recomendando tomar como base para potencializar este tipo de sistemas y mejorar la calidad de vida de las personas creando entornos sanos y saludables para las futuras generaciones.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] E. Umraeni y A. Arifin, «Forest Fire Detection using LoRa Wireless Mesh Topology,» 2018. [En línea]. Available: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8878488>. [Último acceso: 06 Diciembre 2019].
- [2] C. R. C. Vásconez, «Sistema de monitoreo de nivel de ruido ambiental para el casco central de la ciudad de Ambato,» 2018. [En línea]. Available: <https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/28939>. [Último acceso: 06 Diciembre 2019].
- [3] K. L. Cantuña y D. F. Satián, «Análisis de rendimiento de la tecnología lorawan aplicado al desarrollo de un sistema de monitoreo de calidad de aire en la unidad educativa Santo Tomás apóstol Riobamba,» 2019. [En línea]. Available: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/11026/1/98T00246.pdf>. [Último acceso: 06 Diciembre 2019].
- [4] J. Abdullah , I. Farhat y S. Chtourou, «Air Quality Arduino Based Monitoring System,» 2019. [En línea]. Available: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8769529>. [Último acceso: 06 Diciembre 2019].
- [5] L. Ayanle y S. Zorlu , «ZigBee and LoRa based Wireless Sensors for Smart Environment and IoT Applications,» 15 Junio 2019. [En línea]. Available: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8778505>. [Último acceso: 06 Diciembre 2019].
- [6] C. T. F. Israel, «Solmáforos para el monitoreo y alertas a personas, sobre los niveles de radiación solar en unidades educativas de la ciudad de Ambato,» 2019. [En línea]. Available: <https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/30080>. [Último acceso: 06 Diciembre 2019].

- [7] Miniterio del Ambiente Ecuador, «Controlar la contaminación ambiental contribuye a mejorar la calidad de vida de la población,» 2018. [En línea]. Available: <http://www.ambiente.gob.ec/controlar-la-contaminacion-ambiental-contribuye-a-mejorar-la-calidad-de-vida-de-la-poblacion/>. [Último acceso: 10 Diciembre 2019].
- [8] Organización Panamericana de la Salud, «7 millones de muertes ocurren cada año debido a la contaminación atmosférica, según la OMS,» 2015. [En línea]. Available: [https://www.paho.org/ecu/index.php?option=com\\_content&view=article&id=1172:7-millones-muertes-ocurren-cada-ano-debido-contaminacion-atmosferica-segun-oms&Itemid=360](https://www.paho.org/ecu/index.php?option=com_content&view=article&id=1172:7-millones-muertes-ocurren-cada-ano-debido-contaminacion-atmosferica-segun-oms&Itemid=360). [Último acceso: 05 Diciembre 2019].
- [9] M. Vázquez, «Condiciones ambientales en la escuela,» 22 Octubre 2010. [En línea]. Available: <https://www.consumer.es/educacion/condiciones-ambientales-en-la-escuela.html>. [Último acceso: 05 Diciembre 2019].
- [10] F. Falconí, «Manual de Buenas Prácticas Ambientales para Instituciones Educativas,» 2018. [En línea]. Available: <https://educacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/02/Manual-BPA.pdf>. [Último acceso: 05 Diciembre 2019].
- [11] D. Cicerone, P. Sanchez y S. Reich, Contaminacion y medio ambiente, Buenos Aires: Eudeba, 2007.
- [12] Organización Mundial de Salud, «Organización Panamericana de la salud,» [En línea]. Available: <https://www.paho.org/es/temas/calidad-aire>. [Último acceso: 14 06 2021].
- [13] T. E. Lopez Ortiz y A. I. Pacheco Gonzalez, «Efectos de la contaminación atmosférica en la salud de las personas en la ciudad de Cuenca,» 2015.
- [14] Ministerio del Medio Ambiente, «Ministerio del Medio Ambiente, Agua y Transición Ecológica,» [En línea]. Available: <https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2012/10/libro-calidad-aire-1-final.pdf>. [Último acceso: 17 06 2021].

- [15] IBERDROLA, S.A, «IBERDROLA,» 2021. [En línea]. Available: <https://www.iberdrola.com/medio-ambiente/que-es-contaminacion-acustica-causas-efectos-soluciones>. [Último acceso: 18 06 2021].
- [16] Camaras de Industrias y Produccion, «Camaras de Industrias y Produccion,» [En línea]. Available: <https://www.cip.org.ec/attachments/article/450/ANEXO%205%20RUIDO.pdf>. [Último acceso: 15 06 2021].
- [17] Instituto Ecuatoriano de Normalizacion, «Instituto Ecuatoriano de Normalizacion,» [En línea]. Available: [https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/nte\\_inen\\_iso\\_1996\\_1.pdf](https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/nte_inen_iso_1996_1.pdf). [Último acceso: 15 06 2021].
- [18] Instituto Ecuatoriano de Normalizacion, «Instituto Ecuatoriano de Normalizacion,» [En línea]. Available: [https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/nte\\_inen\\_iso\\_1996\\_2.pdf](https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/nte_inen_iso_1996_2.pdf). [Último acceso: 15 06 2021].
- [19] National Institute on Deafness and other Communication Disorders, «National Institute on Deafness and other Communication Disorders,» [En línea]. Available: <https://www.nidcd.nih.gov/es/espanol/como-oimos>. [Último acceso: 6 07 2021].
- [20] Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, «Minambiente,» 2021. [En línea]. Available: <https://www.minambiente.gov.co/index.php/component/content/article?id=687:pl>. [Último acceso: 20 06 2021].
- [21] Hetpro, «Hetpro,» [En línea]. Available: <https://hetpro-store.com/TUTORIALES/microcontrolador/>. [Último acceso: 20 06 2021].
- [22] Keller, «CATSENSORS,» 2011. [En línea]. Available: <https://www.catsensors.com/es/lorawan/tecnologia-lora-y-lorawan>. [Último acceso: 21 06 2021].

- [23] R. Hernandez, «The Things Network,» 2019. [En línea]. Available: <https://www.thethingsnetwork.org/community/santa-rosa/post/que-es-la-tecnologia-lora-y-por-que-es-importante-para-iot>. [Último acceso: 21 06 2021].
- [24] Aprendiendo Arduino, «Aprendiendo Arduino,» [En línea]. Available: <https://aprendiendoarduino.wordpress.com/tag/the-things-network/>. [Último acceso: 21 06 2021].
- [25] G. Reimondo, «Tecnología Humanizada,» 2019. [En línea]. Available: <https://humanizationoftechnology.com/seguridad-en-redes-lorawan/revista/iot/01/2019/>. [Último acceso: 04 7 2021].
- [26] J. Rivas, «Seguridad en LoraWAN,» 3 06 2021. [En línea]. Available: <http://lora-panama.com/seguridad/>. [Último acceso: 4 07 2021].
- [27] R. Capms Pare, L. A. Casillas Santillán, D. Costal Costa, M. Gibert Ginestà, C. Martín Escofet y O. Pérez Mora, «Software Libre,» 2005.
- [28] Influxdata, «Influxdata,» [En línea]. Available: <https://www.influxdata.com/>. [Último acceso: 5 07 2021].
- [29] Fundacion MariaDB, «Fundacion MariaDB,» [En línea]. Available: <https://mariadb.org/>. [Último acceso: 5 07 2021].
- [30] Oracle, «Oracle,» [En línea]. Available: <https://www.oracle.com/database/technologies/>. [Último acceso: 4 07 2021].
- [31] Bricogeek, «Bricogeek,» [En línea]. Available: <https://tienda.bricogeek.com/arduino-compatibles/1122-ttgo-lora32-esp32-con-oled-900-mhz.html>. [Último acceso: 22 06 2021].
- [32] I. Uriarte, «Prometec,» [En línea]. Available: <https://www.prometec.net/instalando-esp32/>. [Último acceso: 22 06 2021].

- [33] E-ika , «E-ika electronica y robotica,» [En línea]. Available: <https://www.e-ika.com/sensor-de-monoxido-de-carbono-para-arduino>. [Último acceso: 22 06 2021].
- [34] Cetronic, «Cetronic Componentes Electronicos,» [En línea]. Available: <https://www.cetronic.es/sqlcommerce/disenos/plantilla1/seccion/producto/DetalleProducto.jsp?seccion=detalleProducto&idIdioma=&cPath=1343&codProducto=999334062&idTienda=93>. [Último acceso: 22 06 2021].
- [35] America Economia, «Cluster Salud,» [En línea]. Available: <https://clustersalud.americaeconomia.com/sector-publico/la-polucion-perjudica-el-desarrollo-cognitivo-de-ninos-y-ninas>. [Último acceso: 18 07 2021].
- [36] Andres Sabas , «Software Guru,» [En línea]. Available: <https://sg.com.mx/revista/56/tecnologias-inalambricas-iot>. [Último acceso: 4 07 2021].
- [37] P. Rivera Caranqui, «Diseño de la red de monitoreo pasivo de calidad de aire para la zona urbana del canton Ambato,» Ambato, 2019.

## ANEXOS

**Anexo 1:** Normativa sobre la calidad del aire.

Nivel de inmisión según La Reforma Texto Unificado Legislación Medio Ambiente (TULSMA),

### **NORMA TÉCNICA QUE ESTABLECE LOS LIMITES PERMISIBLES DE RUIDO AMBIENTE PARA FUENTES FIJAS Y FUENTES MÓVILES**

#### **LIBRO VI ANEXO 5**

#### **INTRODUCCIÓN**

La presente norma técnica es dictada bajo el amparo de la Ley de Gestión Ambiental y del Reglamento a la Ley de Gestión Ambiental para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental y se somete a las disposiciones de éstas, es de aplicación obligatoria y rige en todo el territorio nacional.

La presente norma técnica determina o establece:

- Los límites permisibles de ruido en el ambiente, provenientes de fuentes fijas.
- Los métodos y procedimientos destinados a la determinación de los niveles de ruido.
- Medidas de prevención y mitigación de ruidos
- Los límites permisibles de emisiones de ruido desde vehículos automotores.

#### **1 OBJETO**

La presente norma tiene como objeto el preservar la salud y bienestar de las personas, y del ambiente en general, mediante el establecimiento de límites máximos permisibles de ruido. La norma establece además los métodos y procedimientos destinados a la determinación de los niveles de ruido en el ambiente, así como disposiciones generales en lo referente a la prevención y control de ruidos.

Se establecen también los límites de ruido máximo permisibles para vehículos automotores y los métodos de medición de estos niveles de ruido.

El ámbito de aplicación de esta norma es nacional, para ruido ambiental, al exterior de las fuentes fijas de emisión, así como para las emisiones de ruido de escape generadas por las fuentes móviles

#### **2 DEFINICIONES**

Para el propósito de esta norma se consideran las definiciones establecidas en el Reglamento a la Ley de Prevención y Control de la Contaminación, y las que a continuación se indican:

#### 4.1.1 Límites máximos permisibles de ruido

4.1.1.1 Los niveles de presión sonora equivalente,  $NPS_{eq}$ , expresados en decibeles, en ponderación con escala A, que se obtengan de la emisión de una fuente fija emisora de ruido, no podrán exceder los valores que se fijan en la Tabla 1.

**TABLA 1**  
**LÍMITES MÁXIMOS DE RUIDO PERMISIBLES SEGÚN USO DEL SUELO**

TIPO DE ZONA SEGÚN USO  DE SUELO	LÍMITES DE PRESIÓN SONORA EQUIVALENTE NPS eq [dB(A)]	
	DE 06H00 A 20H00	DE 20H00 A 06H00
Zona hospitalaria y educativa	55	45
Zona Residencial	60	50
Zona Residencial mixta	65	55
Zona Comercial	65	55
Zona Comercial mixta	70	60
Zona Industrial	75	65
Zonas de Preservación de Hábitat	60	50

4.1.1.2 Los métodos de medición del nivel de presión sonora equivalente, ocasionado por una fuente fija, y de los métodos de reporte de resultados, serán aquellos fijados en esta norma.

4.1.1.3 Para evaluar la fuente fija de emisión de ruido, se debe aplicar el siguiente procedimiento:

- a) un reconocimiento inicial para la determinación de los puntos de muestreo;
- b) una medición de campo;
- c) un procesamiento de datos de medición y;
- d) elaboración de un informe de medición.

4.1.1.4 Para fines de verificación de los límites de presión sonora equivalente estipulados en la Tabla 1, emitidos desde la fuente de emisión de ruidos objeto de evaluación, las mediciones se realizarán en la parte exterior del predio donde se encuentra la fuente fija, sea en la posición física en que se localicen los receptores externos, o en el límite de propiedad donde se encuentra ubicada la fuente evaluada.

## Normativas de Ruido Ambiental

**Anexos 2:** Normativa INEN-ISO 1996-1:2003 Parte1: Magnitudes básicas y Métodos de evaluación.



Quito – Ecuador

**NORMA  
TÉCNICA  
ECUATORIANA**

**NTE INEN-ISO 1996-1**

Primera edición  
2014-01

**ACÚSTICA. DESCRIPCIÓN, MEDICIÓN Y EVALUACIÓN DEL RUIDO  
AMBIENTAL. PARTE 1: MAGNITUDES BÁSICAS Y MÉTODOS DE  
EVALUACIÓN (ISO 1996-1:2003, IDT)**

ACOUSTICS. DESCRIPTION, MEASUREMENT AND ASSESSMENT OF ENVIRONMENTAL  
NOISE. PART 1: BASIC QUANTITIES AND ASSESSMENT PROCEDURES (ISO 1996-1:2003,  
IDT)

---

Correspondencia:

Esta Norma Técnica Ecuatoriana es una traducción idéntica de la Norma Internacional  
ISO 1996-1:2003

## INTRODUCCIÓN

Para que cualquier método de descripción, medición y evaluación del ruido medioambiental sea de utilidad práctica, tiene que estar relacionado de alguna manera con lo que se conoce sobre la reacción humana frente al ruido. Muchas consecuencias adversas del ruido medioambiental aumentan a medida que el ruido aumenta, pero las relaciones exactas dosis-respuesta implicadas siguen siendo objeto de debates científicos. Además, es importante que todos los métodos utilizados se puedan aplicar en el entorno social, económico y político en el que se utilizan. Por ello existe una muy amplia gama de diferentes métodos actualmente en uso en el mundo para diferentes tipos de ruido, lo que dificulta bastante la comparación y la comprensión internacionales.

El objetivo de la serie de Normas ISO 1996 es el de contribuir a la armonización internacional de métodos de descripción, medición y evaluación del ruido medioambiental de cualesquiera fuentes.

Los métodos y procedimientos descritos en esta parte de la Norma ISO 1996 pretenden poder ser aplicados al ruido procedente de varias fuentes, individuales o en conjunto, que contribuyen a la exposición total en un lugar. En el estado tecnológico actual, la evaluación de la molestia producida por el ruido a largo plazo parece llevarse a cabo mejor adoptando el nivel de presión sonora continuo equivalente ponderado A corregido, denominado "nivel de evaluación".

La serie de Normas ISO 1996 pretende proporcionar a las autoridades material para la descripción y evaluación del ruido en ambientes comunitarios. Basándose en los principios descritos en esta parte de la Norma ISO 1996, se pueden desarrollar normas nacionales, reglamentos y los correspondientes límites de ruido aceptables.

## 1 OBJETO Y CAMPO DE APLICACIÓN

Esta parte de la Norma ISO 1996 define las magnitudes físicas que se deben utilizar para la descripción del ruido en ambientes comunitarios y describe los procedimientos básicos de evaluación. Asimismo especifica los métodos de evaluación del ruido medioambiental e indica las directrices para predecir la respuesta potencial a la molestia de una comunidad sometida a la exposición a largo plazo procedente de diferentes tipos de ruidos medioambientales. Las fuentes acústicas pueden ser aisladas o en varias construcciones. La aplicación del método para predecir la respuesta a la molestia está limitada a las zonas habitadas y al uso del suelo a largo plazo.

La respuesta de la comunidad al ruido puede variar de forma diferente para distintas fuentes acústicas con los mismos niveles acústicos. Esta parte de la Norma ISO 1996 describe los términos correctores para ruidos con diferentes características. El término "nivel de evaluación" se utiliza para describir las predicciones o las mediciones acústicas físicas a los que se han añadido uno o más términos correctores. Basándose en estos niveles de evaluación se puede estimar la respuesta social a largo plazo.

Los ruidos se evalúan tanto individualmente como en conjunto, lo que permite, cuando las autoridades responsables lo estiman oportuno, tener en cuenta las características especiales de su impubilidad, tonalidad y contenido de baja frecuencia, y las diferentes características del ruido del tráfico rodado y de otras formas de ruido de transporte (como el ruido de aviones) y el ruido industrial.

Esta parte de la Norma ISO 1996 no especifica los límites para el ruido medioambiental.

NOTA 1 – En acústica, las diferentes magnitudes físicas que describen el ruido pueden tener su nivel expresado en decibelios (por ejemplo, la presión acústica, la presión acústica máxima, la presión sonora continua equivalente). Los niveles correspondientes a estas mediciones físicas serán generalmente diferentes para el mismo sonido. Esto lleva generalmente a confusión. Por ello, es necesario especificar la magnitud física de que se trata (por ejemplo, el nivel de presión acústica, el nivel de presión acústica máxima, el nivel de presión sonora continua equivalente).

NOTA 2 – En esta parte de la Norma ISO 1996, las magnitudes se expresan en decibelios. Sin embargo, algunos países expresan la magnitud física de que se trata, como la presión acústica máxima en pascuales, o la exposición sonora en pascuales al cuadrado por segundo.

NOTA 3 – La Norma ISO 1996-2 trata sobre la determinación de los niveles de presión acústica.

**Anexos 3:** Normativa INEN-ISO 1996-2: 2007.

Parte2: Determinación de los Niveles de Ruido Ambiental.



Quito – Ecuador

**NORMA  
TÉCNICA  
ECUATORIANA**

**NTE INEN-ISO 1996-2**

Primera edición  
2014-01

**ACÚSTICA. DESCRIPCIÓN, MEDICIÓN Y EVALUACIÓN DEL RUIDO  
AMBIENTAL. PARTE 2: DETERMINACIÓN DE LOS NIVELES DE  
RUIDO AMBIENTAL (ISO 1996-2:2007, IDT)**

**ACOUSTICS. DESCRIPTION, MEASUREMENT AND ASSESSMENT OF ENVIRONMENTAL  
NOISE. PART 2: DETERMINATION OF ENVIRONMENTAL NOISE LEVELS (ISO 1996-2:2007,  
IDT)**

---

Correspondencia:

Esta Norma Técnica Ecuatoriana es una traducción idéntica de la Norma Internacional  
ISO 1996-2:2007

DESCRIPTORES: Acústica, descripción, medición, evaluación, ruido ambiental, determinación, niveles  
ICS: 13.140; 17.140.01

47  
Páginas

© ISO 2007 – Todos los derechos reservados  
© INEN 2014.

## 1 OBJETO Y CAMPO DE APLICACIÓN

Esta parte de la Norma ISO 1996 describe cómo se pueden determinar los niveles de presión sonora mediante la medición directa, por extrapolación de los resultados de medición, por medio del cálculo, o exclusivamente mediante el cálculo, pretendiendo que ello sirva como base para evaluar el ruido ambiental. Las recomendaciones que se indican se refieren a las mejores condiciones para la medición o los cálculos que se deben aplicar ahí donde no se aplican otras normas. Esta parte de la Norma ISO 1996 se puede utilizar para medir con cualquier ponderación frecuencial o en cualquier banda de frecuencia. Las directrices que se indican sirven para evaluar la incertidumbre de los resultados de una evaluación de ruido.

NOTA 1 Dado que esta parte de la Norma ISO 1996 trata sobre mediciones en condiciones de funcionamiento reales, no tiene relación con esta parte de la Norma ISO 1996 y otras normas ISO que especifican las mediciones de emisión en condiciones de funcionamiento especificadas.

NOTA 2 Con el fin de generalizar, los subíndices de las ponderaciones frecuenciales y temporales se han omitido a lo largo de toda esta parte de la Norma ISO 1996.

## 2 NORMAS PARA CONSULTA

Las normas que a continuación se indican son indispensables para la aplicación de esta norma. Para las referencias con fecha, sólo se aplica la edición citada. Para las referencias sin fecha se aplica la última edición de la norma (incluyendo cualquier modificación de ésta).

ISO 1996-1:2003 *Acústica. Descripción, medición y evaluación del ruido ambiental. Parte 1: Magnitudes básicas y métodos de evaluación.*

ISO 7196 *Acústica. Características de la ponderación frecuencial para mediciones de infrasonidos.*

IEC 60942:2003 *Electroacústica. Calibradores acústicos.*

IEC 61260:1995 *Electroacústica. Filtros de bandas de octava y de bandas de una fracción de octava.*

IEC 61672-1:2002 *Electroacústica. Sonómetros. Parte 1: Especificaciones.*

*Guía para la expresión de la incertidumbre de medición (GUM), BIPM/IEC/IFCC/ISO/IUPAC/IUPAP/OIML, 1993 (correcta y reimpresa, 1995)*

## 3 TÉRMINOS Y DEFINICIONES

Para los fines de este documento, se aplican los términos y definiciones incluidos en la Norma ISO 1996-1 además de los siguientes:

### 3.1 ubicación del receptor:

Ubicación donde se evalúa el ruido.

### 3.2 método de cálculo:

Conjunto de algoritmos para calcular el nivel de presión sonora en puntos arbitrarios a partir de emisiones sonoras medidas o predichas y a partir de los datos de atenuación sonora.

### 3.3 método de predicción:

Subconjunto de un método de cálculo destinado al cálculo de niveles de ruido futuros.

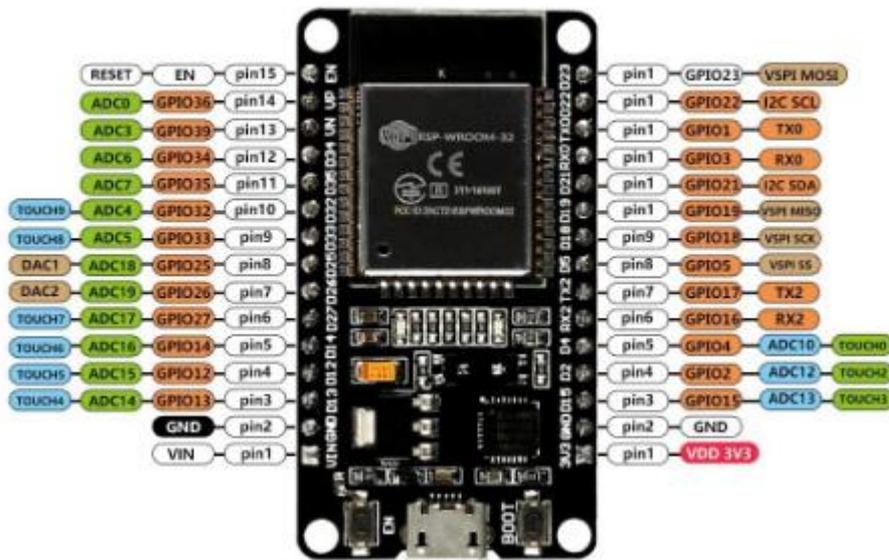
### 3.4 intervalo de tiempo de medición:

Intervalo de tiempo durante el cual se realiza una única medición.

### 3.5 intervalo de tiempo de observación:

Intervalo de tiempo durante el cual se realizan una serie de mediciones.

## Anexo 4: Características técnicas del módulo Esp32 LoRa NODO

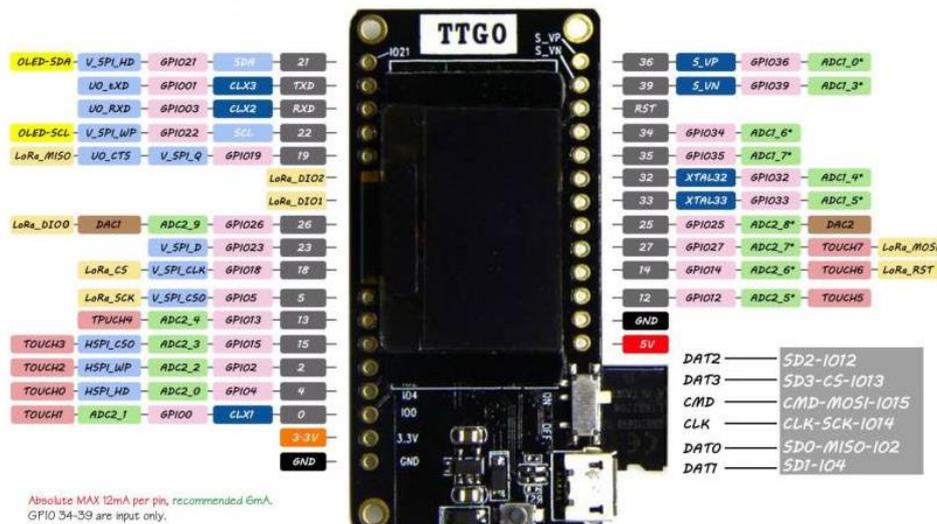


### Características

- Frecuencia máxima: 240 MHz Flash: 32M-Bits
- Procesador: Para Tensilica LX6 Dual Core
- Pantalla: Oled 0.96" azul
- Maestro chip: ESP32
- LoRa chip: SX1276
- Banda de frecuencia compatible: 868-915 MHz
- Distancia de comunicación abierta: 2,8 Km
- Capacidad de procesamiento: hasta 600 MIPS
- Bluetooth de modo Dual: Bluetooth tradicional y Bluetooth BLE de baja potencia
- Entorno de desarrollo: soporte perfecto para Arduino, ESP-IDF y Mongoose OS .
- Voltaje de funcionamiento: 3,3-7 V
- Rango de temperatura de funcionamiento:-40-90 °
- Sensibilidad del receptor:-139dBm (SF12, 125 KHZ)
- Rendimiento continuo UDP: 135 Mbps
- Adaptador USB chip: CP2102
- Modo de soporte: rastreador, estación, softAP y Wi-Fi directo
- Potencia de transmisión: 19.5dBm @ 11b, 16.5dBm @ 11g, 15,5dbm @ 11n
- Velocidad de datos: 150 Mbps @ 11n HT40, 72 Mbps @ 11n HT20,54 Mbps @ 11g 11 Mbps @ 11b

## Anexo 5: Características técnicas del módulo Esp32 LoRa Gateway

### TTGO LoRa32 V2.0 Pinout



### Características

- Frecuencia máxima: 240 MHz Flash: 32M-Bits
- Procesador: Para Tensilica LX6 Dual Core
- Pantalla: Oled 0.96" azul
- Maestro chip: ESP32
- LoRa chip: SX1276
- Banda de frecuencia compatible: 868-915 MHz
- Distancia de comunicación abierta: 2,8 Km
- Capacidad de procesamiento: hasta 600 MIPS
- Bluetooth de modo Dual: Bluetooth tradicional y Bluetooth BLE de baja potencia
- Entorno de desarrollo: soporte perfecto para Arduino, ESP-IDF y Mongoose OS .
- Voltaje de funcionamiento: 3,3-7 V
- Rango de temperatura de funcionamiento:-40-90 °
- Sensibilidad del receptor:-139dBm (SF12, 125 KHZ)
- Rendimiento continuo UDP: 135 Mbps
- Adaptador USB chip: CP2102
- Modo de soporte: rastreador, estación, softAP y Wi-Fi directo
- Potencia de transmisión: 19.5dBm @ 11b, 16.5dBm @ 11g, 15,5dbm @ 11n
- Velocidad de datos: 150 Mbps @ 11n HT40, 72 Mbps @ 11n HT20,54 Mbps @ 11g 11 Mbps @ 11b

## Anexo 6: Características técnicas del sensor MQ-7

**Winson**

郑州科技 Zhengzhou Winsen Electronics Technology Co., Ltd

www.winsensor.com

### MQ-7 Semiconductor Sensor for Carbon Monoxide

#### Profile

Sensitive material of MQ-7 gas sensor is  $\text{SnO}_2$ , which with lower conductivity in clean air. It make detection by method of cycle high and low temperature, and detect CO at low temperature(heated by 1.5V).The sensor's conductivity gets higher along with the CO gas concentration rising. At high temperature(heated by 5.0V),it cleans the other gases adsorbed at low temperature. Users can convert the change of conductivity to correspond output signal of gas concentration through a simple circuit.



#### Features

It has good sensitivity to carbon monoxide in wide range, and has advantages such as long lifespan, low cost and simple drive circuit &etc.

#### Main Applications

It is widely used in domestic CO gas leakage alarm, industrial CO gas alarm and portable CO gas detector.

#### Technical Parameters

Table.1

Model		MQ-7	
Sensor Type		Semiconductor	
Standard Encapsulation		Plastic cap	
Target Gas		carbon monoxide	
Detection range		10~500ppm CO	
Standard Circuit Conditions	Loop Voltage	$V_L$	$\leq 10V$ DC
	Heater Voltage	$V_H$	5.0V $\pm$ 0.1V AC or DC (High tem.) 1.5V $\pm$ 0.1V AC or DC (Low tem.)
	Heater Time	$T_H$	60 S $\pm$ 1S (High tem.) 90 S $\pm$ 1S (Low tem.)
	Load Resistance	$R_L$	Adjustable
Sensor character under standard test conditions	Heater Resistance	$R_H$	290 $\pm$ 30 (room tem.)
	Heater consumption	$P_H$	$\leq 900mW$
	Sensitivity	$S$	$R_{H(in air)}/R_{H(in 150ppm CO)}$ ( $\times 5$ )
	Output Voltage	$V_O$	2.5V~4.2V (in 150ppm CO)
	Concentration Slope	$\alpha$	$\approx 0.6(R_{H(100ppm CO)}/R_{H(1ppm CO)})$
Standard test conditions	Tem. Humidity	20 $^{\circ}$ C $\pm$ 2 $^{\circ}$ C, 55% $\pm$ 5%RH	
	Standard test circuit	$V_L$ : 5.0V $\pm$ 0.1V, $V_H$ (High tem.): 5.0V $\pm$ 0.1V, $V_H$ (Low tem.): 1.5V $\pm$ 0.1V	
	Preheat time	Over 48 hours	

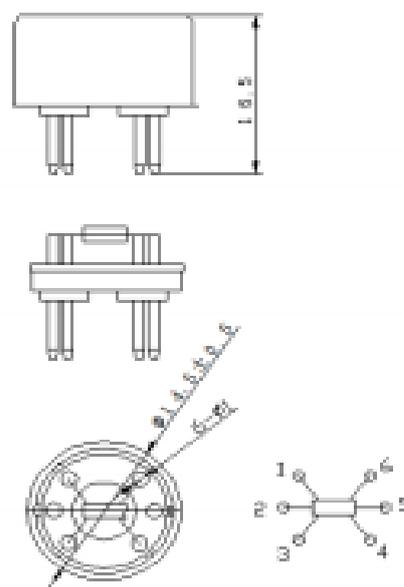


Fig1.Sensor Structure

Unit: mm

NOTE: Output voltage ( $V_O$ ) is  $V_{OL}$  in test environment.

Tel: 86-371-67169007/67169670 Fax: 86-371-60932088

Email: [sales@winsensor.com](mailto:sales@winsensor.com)

## Anexo 7: Características técnicas del sensor MQ-136

**Winson**

郑州科技 Zhengzhou Winson Electronics Technology Co., Ltd

[www.winson-sensor.com](http://www.winson-sensor.com)

### MQ136 Gas Sensor for Hydrogen Sulfide

#### Profile

Sensitive material of MQ136 gas sensor is  $\text{SnO}_2$ , which with lower conductivity in clean air. When  $\text{H}_2\text{S}$  gas exists, the sensor's conductivity gets higher along with the gas concentration rising. Users can convert the change of conductivity to correspond output signal of gas concentration through a simple circuit. MQ136 gas sensor has high sensitivity to  $\text{H}_2\text{S}$  gas, also can monitor organic vapour including sulfur well. It a kind of low-cost sensor for kinds of applications.



#### Features

It has good sensitivity to  $\text{H}_2\text{S}$  gas in wide range, and has advantages such as long lifespan, low cost and simple drive circuit &c.

#### Main Applications

It is widely used in domestic  $\text{H}_2\text{S}$  gas alarm, industrial  $\text{H}_2\text{S}$  gas leakage alarm and portable  $\text{H}_2\text{S}$  gas detector.

#### Technical Parameters

Stable. 1

Model		MQ136	
Sensor Type		Semiconductor	
Standard Encapsulation		Epoxy, Metal cap	
Target Gas		Hydrogen Sulfide( $\text{H}_2\text{S}$ gas)	
Detection range		1 ~ 200ppm	
Standard Circuit Conditions	Loop Voltage	$V_L$	$\pm 24\text{V DC}$
	Heater Voltage	$V_H$	5.0V $\pm$ 0.1V AC or DC
	Load Resistance	$R_L$	Adjustable
Sensor character under standard test conditions	Heater Resistance	$R_H$	250 $\pm$ 10 ( $\text{room temp.}$ )
	Heater consumption	$P_H$	$\leq 900\text{mW}$
	Sensitivity	S	$R_A(\text{in air})/R_A(50\text{ppm } \text{H}_2\text{S})$
	Output Voltage	$\Delta V_A$	$\pm 0.5\text{V}$ (in 50ppm $\text{H}_2\text{S}$ )
Standard test conditions	Concentration Slope	$\alpha$	$\pm 0.6(R_{100\text{ppm}}/R_{10\text{ppm}} \text{H}_2\text{S})$
	Temp. Humidity	20 $^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ , 55% $\pm$ 5%RH	
	Standard test circuit	$V_L$ : 5.0V $\pm$ 0.1V, $V_H$ : 5.0V $\pm$ 0.1V	
Preheat time		Over 48 hours	

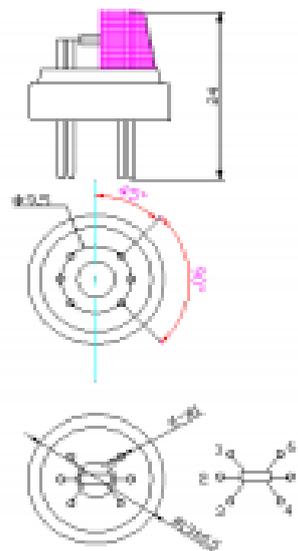


Fig1. Sensor Structure

Unit: mm

NOTE: The change of Output voltage( $\Delta V_A$ ) is the difference value between  $V_{A0}$  in test environment and

Tel: 86-371-67169097/67169670 Fax: 86-371-60932988

Email: [sales@winsonsensor.com](mailto:sales@winsonsensor.com)

## Anexo 8: Características técnicas del sensor MQ-131

### MQ131 Semiconductor Sensor for Ozone

Sensitive material of MQ131 gas sensor is  $\text{SnO}_2$  which with lower conductivity in clean air. When Ozone gas exists. The sensor's conductivity is more higher along with the gas concentration rising. Please use simple electrocircuit, Convert change of conductivity to correspond output signal of gas concentration.

MQ131 gas sensor has high sensivity to Ozone, also sensitive to  $\text{Cl}_2$ ,  $\text{NO}_2$ , etc.

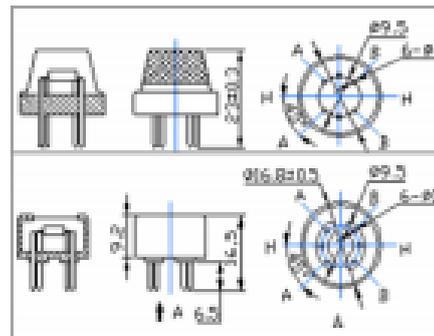
#### Character

- \* Good sensitivity to Ozone in wide range
- \* High sensitivity to Ozone
- \* Long life and low cost
- \* Simple drive circuit

#### Application

- \* Domestic Ozone concentration overload Detector
- \* Industrial Ozone concentration overload Detector
- \* Portable Ozone concentration overload Detector

#### Configuration



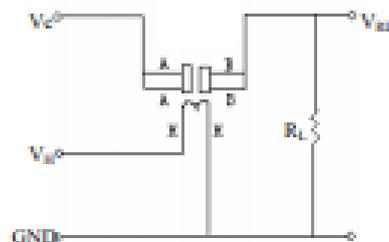
#### Technical Data

Model No.	MQ131		
Sensor Type	Semiconductor		
Standard Encapsulation	Bakelite (Black Bakelite)		
Detection Gas	Ozone		
Concentration	10-1000ppm Ozone		
Circuit	Loop Voltage	$V_L$	$\leq 24V$ DC
	Heater Voltage	$V_H$	5.0V $\pm$ 0.2V AC or DC
	Load Resistance	$R_L$	Adjustable
Character	Heater Resistance	$R_H$	310 $\pm$ 30 (Room Tem.)
	Heater consumption	$P_H$	$\leq 900mW$
	Sensing Resistance	$R_s$	50K $\Omega$ -500K $\Omega$ (in 50ppm $O_3$ )
	Sensitivity	$S$	$R_s(\text{in air})/R_s(\text{in } 50\text{ppm } O_3) \geq 3$
	Slope	$\alpha$	$(R_{smax}/R_{smin}) \geq 0$
Condition	Tem. Humidity	20 $^{\circ}C \pm 2^{\circ}C$ , 65% $\pm$ 5%RH	
	Standard test circuit	$V_L$ : 5.0V $\pm$ 0.1V $V_H$ : 5.0V $\pm$ 0.1V	
	Preheat time	Over 48 hours	

Power of Sensitivity body( $P_s$ ):  $P_s = V_L^2 \cdot R_s / (R_s + R_L)^2$

Resistance of sensor( $R_s$ ):  $R_s = (V_L / V_{RL} - 1) \cdot R_L$

#### Basic test loop



The above is basic test circuit of the sensor.

The sensor need to be put 2 voltage, heater voltage( $V_H$ ) and test voltage( $V_C$ ).  $V_H$  used to supply certified working temperature to the sensor, while  $V_C$  used to detect voltage ( $V_{RL}$ ) on load resistance ( $R_L$ ) whom is in series with sensor. The sensor has light polarity,  $V_C$  need DC power.  $V_C$  and  $V_H$  could use same power circuit with precondition to assure performance of sensor. In order to make the sensor with better performance, suitable  $R_L$  value is needed.

## Anexo 9: Características técnicas del sensor GUA-S12SD

### UV-A Sensor GUA-S12SD

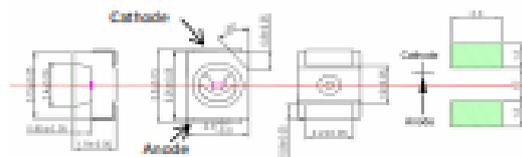


- Features**
- Gallium Nitride Based Material
  - Schottky-type Photodiode
  - Photovoltaic Mode Operation
  - Good Visible Blindness
  - High Responsivity & Low Dark Current



- Applications**
- UV Index Monitoring
  - UV-A Lamp Monitoring

#### Outline Diagrams and Dimensions



#### Absolute Maximum Ratings

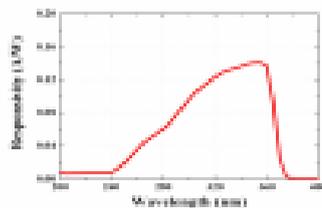
Parameter	Symbol	Min.	Max.	Unit	Remark
Storage Temperature	$T_{st}$	-40	90	°C	
Operating Temperature	$T_{op}$	-30	85	°C	
Reverse Voltage	$V_{r,max}$		5	V	
Forward Current	$I_{f,max}$		1	mA	
Optical Source Power Range	$P_{opt}$	0.1μ	100m	W/cm <sup>2</sup>	UVA Lamp
Soldering Temperature	$T_{sol}$		260	°C	within 10 sec.

!Notice: apply to us in the case that Optical Source Power is over 100mW/cm<sup>2</sup>

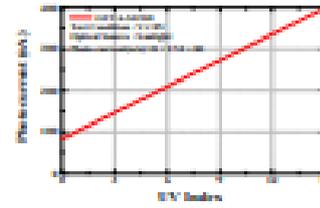
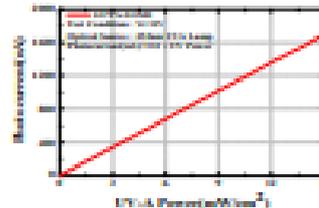
#### Characteristics (at 25°C)

Parameter	Symbol	Min.	Typ.	Max.	Unit	Test Conditions
Dark Current	$I_d$			1	nA	$V_r = 0.1$ V
Photo Current	$I_{ph}$	101	113	125	nA	UVA Lamp, 1mW/cm <sup>2</sup>
			21		nA	1 UVI
Temperature Coefficient	$I_{tc}$		0.08		%/°C	UVA Lamp
Responsivity	$R$		0.14		A/W	$\lambda = 350$ nm, $V_r = 0$ V
Spectral Detection Range	$\lambda$	240		370	nm	10% of R
Active area			0.076		cm <sup>2</sup>	

#### Responsivity Curve



#### Photocurrent along UV Power



#### Caution

ESD can damage the device hence please avoid ESD.

## Anexo 10: Características técnicas del sensor MAX9814

MAX9814

Microphone Amplifier with AGC and  
Low-Noise Microphone Bias

### Absolute Maximum Ratings

$V_{DD}$ to GND	-0.3V to +6V	Continuous Power Dissipation ( $T_A = +70^\circ\text{C}$ )	
All Other Pins to GND	-0.3V to ( $V_{DD} + 0.3V$ )	14-Pin TQFN-EP	
Output Short-Circuit Duration	Continuous	(derate 18.7mW/°C above +70°C)	1481.5mW
Continuous Current (MICOUT, MICBIAS)	$\pm 100\text{mA}$	Operating Temperature Range	-40°C to +85°C
All Other Pins	$\pm 20\text{mA}$	Junction Temperature	+150°C
		Lead Temperature (soldering, 10s)	+300°C
		Bump Temperature (soldering) Reflow	+235°C

Stresses beyond those listed under "Absolute Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only, and functional operation of the device at these or any other conditions beyond those indicated in the operational sections of the specifications is not implied. Exposure to absolute maximum rating conditions for extended periods may affect device reliability.

### Electrical Characteristics

( $V_{DD} = 3.3V$ ,  $SRDN = V_{DD}$ ,  $C_{CT} = 470\text{nF}$ ,  $C_{CG} = 2\mu\text{F}$ ,  $GAIN = V_{DD}$ ,  $T_A = T_{MIN}$  to  $T_{MAX}$ , unless otherwise specified. Typical values are at  $T_A = +25^\circ\text{C}$ .) (Note 1)

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
<b>GENERAL</b>						
Operating Voltage	$V_{DD}$	Guaranteed by PSRR test	2.7		5.5	V
Supply Current	$I_{DD}$			3.1	6	mA
Shutdown Supply Current	$I_{SHDN}$			0.01	1	$\mu\text{A}$
Input-Referred Noise Density	$e_n$	BW = 20kHz, all gain settings		30		nV/√Hz
Output Noise		BW = 20kHz		430		$\mu\text{V}_{RMS}$
Signal-to-Noise Ratio	SNR	BW = 22Hz to 22kHz (500mV <sub>RMS</sub> output signal)		61		dB
		A-weighted		64		
Dynamic Range	DR	(Note 2)		60		dB
Total Harmonic Distortion Plus Noise	THD+N	$I_{IN} = 1\text{kHz}$ , BW = 20Hz to 20kHz, $R_L = 10\text{k}\Omega$ , $V_{TH} = 1V$ (threshold = 2V <sub>p-p</sub> ), $V_{IN} = 0.5mV_{RMS}$ , $V_{CT} = 0V$		0.04		%
		$I_{IN} = 1\text{kHz}$ , BW = 20Hz to 20kHz, $R_L = 10\text{k}\Omega$ , $V_{TH} = 0.1V$ (threshold = 200mV <sub>p-p</sub> ), $V_{IN} = 30mV_{RMS}$ , $V_{CT} = 2V$		0.2		
Amplifier Input BIAS	$V_{IN}$		1.14	1.23	1.32	V
Maximum Input Voltage	$V_{IN\_MAX}$	1% THD		100		mV <sub>p-p</sub>
Input Impedance	$Z_{IN}$			100		k $\Omega$
Maximum Gain	A	GAIN = $V_{DD}$	39.5	40	40.5	dB
		GAIN = GND	49.5	50	50.5	
		GAIN = unconnected	59.5	60	60.5	
Minimum Gain		GAIN = $V_{DD}$	18.7	20	20.5	dB
		GAIN = GND	29.0	30	30.8	
		GAIN = unconnected	38.7	40	40.5	
Maximum Output Level	$V_{OUT\_RMS}$	1% THD+N, $V_{TH} = \text{MICBIAS}$		0.707		V <sub>RMS</sub>
Regulated Output Level		AGC enabled, $V_{TH} = 0.7V$	1.26	1.40	1.54	V <sub>p-p</sub>
AGC Attack Time	$t_{ATTACK}$	$C_{CT} = 470\text{nF}$ (Note 3)		1.1		ms
Attack/Release Ratio	A/R	A/R = GND		1:500		ms/ms
		A/R = $V_{DD}$		1:2000		
		A/R = unconnected		1:4000		

## Electrical Characteristics (continued)

( $V_{DD} = 3.3V$ ,  $SHDN = V_{DD}$ ,  $C_{CT} = 470nF$ ,  $C_{CG} = 2\mu F$ ,  $GAIN = V_{DD}$ ,  $T_A = T_{MIN}$  to  $T_{MAX}$ , unless otherwise specified. Typical values are at  $T_A = +25^\circ C$ .) (Note 1)

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
MICOUT High Output Voltage	$V_{OH}$	$I_{OUT}$ sourcing 1mA		2.45		V
MICOUT Low Output Voltage	$V_{OL}$	$I_{OUT}$ sinking 1mA		3		mV
MICOUT Bias		MICOUT unconnected	1.14	1.23	1.32	V
Output Impedance	$Z_{OUT}$			50		$\Omega$
Minimum Resistive Load	$R_{LOAD\_MIN}$			5		k $\Omega$
Maximum Capacitive Drive	$C_{LOAD\_MAX}$			200		pF
Maximum Output Current	$I_{OUT\_MAX}$	1% THD, $R_L = 500\Omega$		1	2	mA
Output Short-Circuit Current	$I_{SC}$		3	8		mA
Power-Supply Rejection Ratio	PSRR	AGC mode; $V_{DD} = 2.7V$ to $5.5V$ (Note 4)	35	50		dB
		$f = 217Hz$ , $V_{RIPPLE} = 100mV_{p-p}$ (Note 5)		55		
		$f = 1kHz$ , $V_{RIPPLE} = 100mV_{p-p}$ (Note 5)		52.5		
		$f = 10kHz$ , $V_{RIPPLE} = 100mV_{p-p}$ (Note 5)		43		
<b>MICROPHONE BIAS</b>						
Microphone Bias Voltage	$V_{MICBIAS}$	$I_{MICBIAS} = 0.5mA$	1.84	2.0	2.18	V
Output Resistance	$R_{MICBIAS}$	$I_{MICBIAS} = 1mA$		1		$\Omega$
Output Noise Voltage	$V_{MICBIAS\_NOISE}$	$I_{MICBIAS} = 0.5mA$ , BW = 20Hz to 22kHz		5.5		$\mu V_{RMS}$
Power-Supply Rejection Ratio	PSRR	DC, $V_{DD} = 2.7V$ to $5.5V$	70	80		dB
		$I_{MICBIAS} = 0.5mA$ , $V_{RIPPLE} = 100mV_{p-p}$ , $f_M = 1kHz$		71		
<b>TRILEVEL INPUTS (AIR, GAIN)</b>						
Trilevel Input Leakage Current		AIR or GAIN = $V_{DD}$	$0.5V_{DD} / 180k\Omega$	$0.5V_{DD} / 100k\Omega$	$0.5V_{DD} / 50k\Omega$	mA
		AIR or GAIN = GND	$0.5V_{DD} / 180k\Omega$	$0.5V_{DD} / 100k\Omega$	$0.5V_{DD} / 50k\Omega$	
Input High Voltage	$V_{IH}$		$V_{DD} \times 0.7$			V
Input Low Voltage	$V_{IL}$			$V_{DD} \times 0.3$		V
Shutdown Enable Time	$t_{ON}$			60		ms
Shutdown Disable Time	$t_{OFF}$			40		ms
<b>DIGITAL INPUT (SHDN)</b>						
SHDN Input Leakage Current			-1	+1		$\mu A$
Input High Voltage	$V_{IH}$		1.3			V
Input Low Voltage	$V_{IL}$			0.5		V
<b>AGC THRESHOLD INPUT (TH)</b>						
TH Input Leakage Current			-1	+1		$\mu A$

Note 1: Devices are production tested at  $T_A = +25^\circ C$ . Limits over temperature are guaranteed by design.

Note 2: Dynamic range is calculated using the EIAJ method. The input is applied at -60dBFS (0.707 $\mu V_{RMS}$ ).  $f_M = 1kHz$ .

Note 3: Attack time measured as time from AGC trigger to gain reaching 90% of its final value.

Note 4: CG is connected to an external DC voltage source, and adjusted until  $V_{MICOUT} = 1.23V$ .

Note 5: CG connected to GND with 2.2 $\mu F$ .

## Anexo 11: Código Nodo 1 y 2 LoRa

```
#include <CayenneLPP.h>
#include<string.h>
#include <DHTesp.h>
#include <HardwareSerial.h>
#include <Imic.h>
#include <hal/hal.h>
#include <SPI.h>
#include <Wire.h>
#include <math.h>
#include <MQ131.h>
#include "MQ7.h"
#define RZERO 260.91

// LoRaWAN NwkSKey, network session key
static const PROGMEM u1_t NWKSKEY[16] = { 0x3A, 0xD1, 0x7D, 0x9F, 0xE4,
0x50, 0xC8, 0x79, 0x72, 0x53, 0x7A, 0xDF, 0x58, 0x4F, 0x48, 0xF9 };

// LoRaWAN AppSKey, application session key
static const u1_t PROGMEM APPSKEY[16] = { 0xC3, 0xC8, 0xA4, 0x44, 0x5B,
0x61, 0x34, 0x16, 0xAF, 0x78, 0xAA, 0x43, 0x39, 0x86, 0x00, 0xDD };

// LoRaWAN end-device address (DevAddr)
static const u4_t DEVADDR = { 0x2601306a };

// These callbacks are only used in over-the-air activation, so they are
// left empty here (we cannot leave them out completely unless
// DISABLE_JOIN is set in config.h, otherwise the linker will complain).
void os_getArtEui (u1_t* buf) { }
void os_getDevEui (u1_t* buf) { }
void os_getDevKey (u1_t* buf) { }
static osjob_t sendjob;
```

```

// Schedule data trasmission in every this many seconds (might become longer due to
duty

// cycle limitations).

const unsigned TX_INTERVAL = 28; // 578Fair Use policy of TTN requires update
interval of at least several min. We set update interval here of 1 min for testing

// Pin mapping according to Cytron LoRa Shield RFM
const lmic_pinmap lmic_pins = {
    .nss = 18,
    .rxtx = LMIC_UNUSED_PIN,
    .rst = 14,
    .dio = {26, 33, 32},
};

/** pines de entrada de los sensores*/
const int s_MQ7 = 4;
const int s_MQ136 = 2;
const int s_MQ131 = 15;
const int s_DUST = 21;
const int s_MAX9814 = 35;
const int s_UV = 34;

/**definicion del voltaje con el que se esta trabajando*/
const int volt = 5;

/**inicializar MQ7*/
MQ7 mq7(s_MQ7, volt);
MQ7 mq131(s_MQ131, volt);
MQ7 mq136(s_MQ136, volt);

//declaracion de variables para el sensor de polvo
byte buff[2];
unsigned long duration;
unsigned long starttime;

```

```

unsigned long endtime;
unsigned long samptime_ms = 30000;
unsigned long lowpulseoccupancy = 0;
double ratio = 0;
double concentration = 0;

//const int sampleWindow = 50;           // Sample window width in mS
(50 mS = 20Hz)

//unsigned int sample;
const int sensitivity = -56; // microphone sensitivity in dB
const int gain = 20; // op-amp gain dB
//const int sensorPIN = A0;
const int sampleWindow = 1000; //sample for 1000 milliseconds
unsigned int sample;
int i=0;

int valor ;
float VRL; //Voltage drop across the MQ sensor
float Rs; //Sensor resistance at gas concentration
//float ratio; //Define variable for ratio

float RS_2;
float RS_3;
float voltaje_2;
float voltaje_3;

double amoniaco;
double co2;

```

```

CayenneLPP lpp(41);
DHTesp dht;
//SSD1306 display(0x3c, 4, 15);
void onEvent (ev_t ev)
{
  Serial.printf("entro al on evt ");
  Serial.print(os_getTime());
  Serial.print(": ");
  switch (ev)
  {
    case EV_TXCOMPLETE:
      Serial.printf("EV_TXCOMPLETE (includes waiting for RX windows)\r\n");
      // Schedule next transmission
      os_setTimedCallback(&sendjob, os_getTime() + sec2osticks(TX_INTERVAL),
do_send);
      Serial.println("envio,... ");
      break;
    case EV_RXCOMPLETE:
      if (LMIC.dataLen)
      {
        Serial.printf("Received %d bytes\n", LMIC.dataLen);
      }
      break;
    default:
      Serial.printf("Unknown event\r\n");
      break;
  }
}

```

```

void do_send(osjob_t* j)
{
    // Check if there is not a current TX/RX job running
    if (LMIC.opmode & OP_TXRXPEND)
    {
        Serial.printf("OP_TXRXPEND, not sending\r\n");
    }
    else if (!(LMIC.opmode & OP_TXRXPEND))
    {
        //digitalWrite(activa,HIGH);
        //delay(20000);
        LMIC_reset();
        // Set static session parameters. Instead of dynamically establishing a session
        // by joining the network, precomputed session parameters are be provided.
        uint8_t appskey[sizeof(APPSKEY)];
        uint8_t nwkskey[sizeof(NWKSKEY)];
        memcpy_P(appskey, APPSKEY, sizeof(APPSKEY));
        memcpy_P(nwkskey, NWKSKEY, sizeof(NWKSKEY));
        LMIC_setSession (0x1, DEVADDR, nwkskey, appskey);
        // Select frequencies range
        LMIC_selectSubBand(0);
        // Disable link check validation
        LMIC_setLinkCheckMode(0);
        // TTN uses SF9 for its RX2 window.
        LMIC.dn2Dr = DR_SF9;

        // Set data rate and transmit power for uplink (note: txpow seems to be ignored by
        the library)
        LMIC_setDrTxpow(DR_SF9, 14);

        double s_polvo = polvo();
    }
}

```

```

double s_ruido = ruido();
double s_uv = UV();
double s_CO = mq7.readPpm();
double s_O3 = mq131.readPpm();
double s_NOx = mq131.readPpm();
double s_H2S = mq136.readPpm();
//mostrar datos en el serial

Serial.print("particulas PPM = ");Serial.println(s_polvo);
Serial.print("ruido dB = ");Serial.println(s_ruido);
Serial.print("radiación UV= ");Serial.println(s_uv);
Serial.print("CO PPM = ");Serial.println(s_CO);
Serial.print("O3 PPM = ");Serial.println(s_O3);
Serial.print("NOx PPM = ");Serial.println(s_NOx);
Serial.print("O2S PPM = ");Serial.println(s_H2S);

/**TempAndHumidity newValues = dht.getTempAndHumidity();
VRL = analogRead(MQ_sensor);
    voltaje_2=VRL*(1.5/1023.0)-0.04;

if((voltaje_2<1.2)&&(voltaje_2>0)){
    RS_2=1000*((4.5-voltaje_2)/voltaje_2);

    amoniacos=(102.79*pow(RS_2/3571,-2.424));
}

voltaje_3=VRL*(5.0/1023.0);
RS_3=1000*((4.5-voltaje_3)/voltaje_3);
co2=(115.62*pow(RS_3/5800,-2.887));

```

```

*/
// Serial.print(" NH3 (ppm) = ");
//Serial.print(amoniaco);
//Serial.print(" GAS C02 = ");
// Serial.println(co2);
// float co3=gasSensor.getPPM();
//Serial.print(" GAS C02.1 = ");
//Serial.println(co3);
lpp.reset();
// lpp.addTemperature(1, newValues.temperature);
// lpp.addRelativeHumidity(1, newValues.humidity);
// lpp.addAnalogInput(1, co3/10);
//adicionar datos a la cabecera
lpp.addAnalogInput(1, s_polvo);
lpp.addAnalogInput(2, s_ruido);
lpp.addAnalogInput(3, s_uv);
lpp.addAnalogInput(4, s_CO);
lpp.addAnalogInput(5, s_O3);
lpp.addAnalogInput(6, s_NOx);
lpp.addAnalogInput(7, s_H2S);

// Serial.printf("Temperatura : %.2f, Humedad : %.2f\r\n", newValues.temperature,
newValues.humidity);
// Prepare upstream data transmission at the next possible time.
LMIC_setTxData2(1, lpp.getBuffer(), lpp.getSize(), 0);
Serial.printf("Packet queued\r\n");
//digitalWrite(activa,LOW);
}
// Next TX is scheduled after TX_COMPLETE event.
}
double polvo()

```

```

{
  duration = pulseIn(s_DUST, LOW);
  lowpulseoccupancy += duration;
  endtime = millis();
  if ((endtime-starttime) > sampletime_ms)
  {
    ratio = (lowpulseoccupancy-endtime+starttime +
sampletime_ms)/(sampletime_ms*10.0); // Integer percentage 0=>100
    concentration = 1.1*pow(ratio,3)-3.8*pow(ratio,2)+520*ratio+0.62; // using spec
sheet curve
    Serial.print("lowpulseoccupancy:");
    Serial.print(lowpulseoccupancy);
    Serial.print("  ratio:");
    Serial.print(ratio);
    Serial.print("  DSM501A:");
    Serial.println(concentration);
    lowpulseoccupancy = 0;
    starttime = millis();
  }
return concentration;
}

```

```

double ruido()
{
  unsigned long startMillis= millis(); // Start of sample window
  unsigned int peakToPeak = 0; // peak-to-peak level
  unsigned int signalMax = 0;
  unsigned int signalMin = 1024; // 10 bit ADC = 2^10

  // collect data for Sample window width in mS
  while (millis() - startMillis < sampleWindow)

```

```

{
  sample = analogRead(s_MAX9814);

  if (sample < 1024) // toss out spurious readings
  {
    // see if you have a new maxValue
    if (sample > signalMax)
    {
      signalMax = sample; // save just the max levels
    }
    else if (sample < signalMin)
    {
      signalMin = sample; // save just the min levels
    }
  }
}

peakToPeak = signalMax - signalMin; // max - min = peak-peak amplitude

double volts = ((peakToPeak * 5.0) / 1024)*10; // convert to volts,gain 20db =
10V

// Uno/Mega analogRead() voltages between 0 and
5 volts into integer values between 0 and 1023

// change if have different board

// https://electronics.stackexchange.com/questions/96205/how-to-convert-volts-
in-db-spl

// The microphone sensitivity is -58db, so V RMS / PA is 0.001259

// conversion using : http://www.sengpielaudio.com/calculator-gainloss.htm
double volts_db = 5*log10(volts/0.001259);

```

```

// 94 is a 1 Pa expressed as dB SPL
// https://support.biamp.com/General/Audio/Microphone_sensitivity
//
https://forums.adafruit.com/download/file.php?id=38278&sid=3f8400ec828f5b22ed
3be3ef64eb4e86

double spl_db = volts_db + 94 + sensitivity - gain;

// Output results
Serial.print("volts: " + String(volts) );
Serial.print("\t");           // prints a tab
Serial.print("dB: " + String(volts_db) );
Serial.print("\t");
Serial.println("dB-spl: " + String(spl_db) );
return volts_db;
}
double UV()
{
float sensorVoltage;
float sensorValue;

sensorValue = analogRead(s_UV);
sensorVoltage = sensorValue/1024*5.0;
Serial.print("sensor reading = ");
Serial.print(sensorValue);
Serial.println("");
Serial.print("sensor voltage = ");
Serial.print(sensorVoltage);
Serial.println(" V");
//delay(1000);
return sensorValue;
}

```

```

}

void setup()
{
  Serial.begin(115200);
  //gpsSerial.begin(115200, SERIAL_8N1, SERIAL1_RXPIN, SERIAL1_TXPIN);
  pinMode(s_MQ7,INPUT);
  pinMode(s_MQ136,INPUT);
  pinMode(s_MQ131,INPUT);
  pinMode(s_DUST,INPUT);
  pinMode(s_MAX9814,INPUT);
  pinMode(s_UV,INPUT);
  starttime = millis();
  Serial.printf("Starting...\r\n");
  Serial.printf("Calibrando MQ7...\r\n");
  mq7.calibrate();
  Serial.printf("fin de la calibración...\r\n");

  Serial.printf("Calibrando MQ131...\r\n");
  mq131.calibrate();
  Serial.printf("fin de la calibración...\r\n");

  Serial.printf("Calibrando MQ136...\r\n");
  mq136.calibrate();
  Serial.printf("fin de la calibración...\r\n");

  // LMIC init

```

```

os_init();
// Reset the MAC state. Session and pending data transfers will be discarded.
LMIC_reset();
// Set static session parameters. Instead of dynamically establishing a session
// by joining the network, precomputed session parameters are be provided.
uint8_t appskey[sizeof(APPSKEY)];
uint8_t nwkskey[sizeof(NWKSKEY)];
memcpy_P(appskey, APPSKEY, sizeof(APPSKEY));
memcpy_P(nwkskey, NWKSKEY, sizeof(NWKSKEY));
LMIC_setSession (0x1, DEVADDR, nwkskey, appskey);
// Select frequencies range
LMIC_selectSubBand(0);
// Disable link check validation
LMIC_setLinkCheckMode(0);
// TTN uses SF9 for its RX2 window.
LMIC.dn2Dr = DR_SF9;
// Set data rate and transmit power for uplink (note: txpow seems to be ignored by
the library)
LMIC_setDrTxpow(DR_SF9, 14);
Serial.printf("LMIC setup done!\r\n");
// Start job
//Declaración de puertos como entrada

//pinMode(activa,OUTPUT);
//digitalWrite(activa,HIGH);
//delay(20000);
//float rzero = gasSensor.getRZero();
//delay(300);
//Serial.print("MQ135 RZERO Calibration Value : ");
// Serial.println(rzero);

```

```
do_send(&sendjob);  
  
}  
  
void loop()  
{  
    os_runloop_once();  
}
```

## Anexo 12: Código Gateway LoRa

```
#include <Esp.h>
#include <string.h>
#include <stdio.h>
#include <sys/types.h>
#include <unistd.h>
#include <fcntl.h>
#include <cstdlib>
#include <sys/time.h>
#include <cstring>
#include <SPI.h>
#include <TimeLib.h> //
http://playground.arduino.cc/code/time
#ifdef ESP32BUILD
#include "esp_wifi.h"
#include "WiFi.h"
#include "SPIFFS.h"
#else
#include <ESP8266WiFi.h>
#include <DNSServer.h> // Local
DNSServer
#endif
#include "FS.h"
#include <WiFiUdp.h>
#include <pins_arduino.h>
#include <ArduinoJson.h>
#include <SimpleTimer.h>
#include <gBase64.h> //
https://github.com/adamvr/arduino-base64 (changed the name)
#endif ESP32BUILD
```

```

#include <ESP8266mDNS.h>
int WlanReadWpa() {

    readConfig( CONFIGFILE, &gwayConfig);

    if (gwayConfig.sf != (uint8_t) 0) sf = (sf_t) gwayConfig.sf;
    ifreq = gwayConfig.ch;
    debug = gwayConfig.debug;
    _cad = gwayConfig.cad;
    _hop = gwayConfig.hop;
    gwayConfig.boots++; // Every
boot of the system we increase the reset

#if GATEWAYNODE==1
    if (gwayConfig.fcnt != (uint8_t) 0) frameCount = gwayConfig.fcnt+10;
#endif

#if WIFIMANAGER > 0
    String ssid=gwayConfig.ssid;
    String pass=gwayConfig.pass;

    char ssidBuf[ssid.length()+1];
    ssid.toCharArray(ssidBuf,ssid.length()+1);
    char passBuf[pass.length()+1];
    pass.toCharArray(passBuf,pass.length()+1);
    Serial.print(F("WlanReadWpa: ")); Serial.print(ssidBuf); Serial.print(F(", "));
Serial.println(passBuf);

    strcpy(wpa[0].login, ssidBuf); // XXX changed
from wpa[0][0] = ssidBuf
    strcpy(wpa[0].passw, passBuf);

```

```
Serial.print(F("WlanReadWpa: <"));
Serial.print(wpa[0].login);           // XXX
Serial.print(F(">, <"));
Serial.print(wpa[0].passw);
Serial.println(F(">"));
#endif
```

**Anexo 13: Resultados Obtenidos.**

**Tabla 25:** Datos Obtenidos de la Unidad Educativa Isabel la Católica

Id	FECHA	HORA	MQ-136 µg/m <sup>3</sup>	MQ-131 µg/m <sup>3</sup>	MQ-7 µg/m <sup>3</sup>	GUVA S12SD	MAX9814 (dB)	DSM501A µm
1	21/4/2021	6:46:09	2,35	22,14	480,23	2	66,56	8,1
2	21/4/2021	7:01:12	2,41	22,64	482,47	2	66,89	7,92
3	21/4/2021	7:16:15	2,26	22,74	492,11	3	66,93	7,98
4	21/4/2021	7:31:18	2,37	21,31	499,17	3	67,48	8,32
5	21/4/2021	7:46:21	2,33	22,41	501,23	5	67,78	8,21
6	21/4/2021	8:01:24	2,32	22,35	516,14	5	69,03	8,34
7	21/4/2021	8:16:27	2,31	22,39	517,17	5	69,33	8,14
8	21/4/2021	8:31:30	2,30	22,47	499,35	5	69,97	8,24
9	21/4/2021	12:45:01	2,29	22,51	617,01	11	71,98	8,65
10	21/4/2021	13:00:04	2,28	22,86	655,41	7	72,01	8,50
11	21/4/2021	13:15:07	2,27	23,04	639,58	9	72,87	8,56
12	21/4/2021	13:30:10	2,26	22,93	613,34	9	70,13	8,62
13	21/4/2021	13:45:13	2,25	22,87	602,25	9	69,24	8,68
14	21/4/2021	14:00:16	2,24	23,01	517,11	9	67,25	8,74
15	21/4/2021	14:15:19	2,24	22,75	514,25	9	67,49	8,79
16	21/4/2021	14:30:22	2,23	22,97	487,03	9	67,78	8,85
17	21/4/2021	17:03:48	2,22	23,11	468,09	3	67,98	8,91
18	21/4/2021	17:18:51	2,21	23,28	421,10	3	68,01	8,97
19	21/4/2021	17:33:54	2,20	23,26	480,18	3	68,65	9,03
20	21/4/2021	17:48:57	2,19	22,64	497,23	3	69,00	9,09
21	21/4/2021	18:04:00	2,18	22,02	547,14	1	73,89	9,14
22	21/4/2021	18:19:03	2,17	22,39	536,47	1	73,12	9,20
23	21/4/2021	18:34:06	2,16	21,77	597,65	0	71,56	9,26
24	21/4/2021	18:49:09	2,15	21,15	574,74	0	69,84	9,32
25	22/4/2021	6:45:55	2,41	21,12	508,28	3	69,07	8,44
26	22/4/2021	7:00:58	2,47	21,62	510,52	3	69,4	8,26
27	22/4/2021	7:16:01	2,32	21,72	520,16	3	69,44	8,32
28	22/4/2021	7:31:04	2,43	20,29	527,22	4	69,99	8,66
29	22/4/2021	7:46:07	2,38	21,39	529,28	4	70,23	8,55
30	22/4/2021	8:01:10	2,37	21,33	544,19	4	71,54	8,68
31	22/4/2021	8:16:13	2,36	21,37	545,22	5	71,84	8,48
32	22/4/2021	8:31:16	2,35	21,45	527,40	5	72,48	8,58
33	22/4/2021	12:50:29	2,35	21,49	645,06	7	74,49	8,99
34	22/4/2021	13:05:32	2,34	21,84	683,46	7	75,11	8,84
35	22/4/2021	13:20:35	2,33	22,02	667,63	7	73,38	8,90
36	22/4/2021	13:35:38	2,32	21,91	641,39	8	72,64	8,95
37	22/4/2021	13:50:41	2,31	21,85	630,30	8	71,75	9,01
38	22/4/2021	14:05:44	2,30	21,99	545,16	8	69,76	9,07
39	22/4/2021	14:20:47	2,29	21,73	542,31	8	70,00	9,13
40	22/4/2021	14:35:50	2,28	21,95	515,08	5	70,29	9,19

41	22/4/2021	17:01:17	2,27	22,09	496,14	1	70,49	9,25
42	22/4/2021	17:16:20	2,26	22,26	449,15	1	70,52	9,30
43	22/4/2021	17:31:23	2,26	22,24	508,23	1	71,16	9,36
44	22/4/2021	17:46:26	2,25	21,62	525,28	1	71,51	9,42
45	22/4/2021	18:01:29	2,24	21,00	575,19	1	76,43	9,48
46	22/4/2021	18:16:32	2,23	21,37	564,52	0	75,63	9,54
47	22/4/2021	18:31:35	2,22	20,75	625,70	0	74,07	9,60
48	22/4/2021	18:46:38	2,21	20,13	602,79	0	72,35	9,65
49	23/4/2021	6:48:53	2,18	21,72	379,98	4	66,43	7,86
50	23/4/2021	7:04:04	2,24	22,23	382,22	4	66,76	7,68
51	23/4/2021	7:19:15	2,09	22,31	391,86	4	66,8	7,74
52	23/4/2021	7:34:26	2,20	20,92	398,92	4	67,35	8,08
53	23/4/2021	7:49:37	2,16	22,01	400,98	4	67,65	7,97
54	23/4/2021	8:04:48	2,15	21,95	415,89	4	68,91	8,10
55	23/4/2021	8:19:59	2,14	21,96	416,92	5	69,22	7,90
56	23/4/2021	8:35:10	2,13	22,07	399,10	5	69,84	8,00
57	23/4/2021	12:47:01	2,12	22,11	516,76	5	71,85	8,41
58	23/4/2021	13:02:12	2,11	22,42	555,16	5	71,88	8,26
59	23/4/2021	13:17:23	2,10	22,66	539,33	5	72,74	8,32
60	23/4/2021	13:32:34	2,09	22,53	513,09	6	70,00	8,38
61	23/4/2021	13:47:45	2,08	22,42	502,00	6	69,11	8,44
62	23/4/2021	14:02:56	2,07	22,64	416,86	6	67,12	8,50
63	23/4/2021	14:18:07	2,07	22,33	414,00	7	67,36	8,55
64	23/4/2021	14:33:18	2,06	22,58	386,78	7	67,65	8,61
65	23/4/2021	17:05:56	2,05	22,71	367,84	3	67,85	8,67
66	23/4/2021	17:21:07	2,04	22,86	320,85	3	67,88	8,73
67	23/4/2021	17:36:18	2,03	22,81	379,93	3	68,52	8,79
68	23/4/2021	17:51:29	2,02	22,22	396,98	3	68,87	8,85
69	23/4/2021	18:06:40	2,01	21,67	446,89	2	73,76	8,90
70	23/4/2021	18:21:51	2,00	21,95	436,22	2	72,99	8,96
71	23/4/2021	18:37:02	1,99	21,36	497,40	1	71,43	9,02
72	23/4/2021	18:52:13	1,98	20,74	474,49	1	69,71	9,08
73	26/4/2021	6:51:53	2,26	21,81	456,82	3	67,36	7,91
74	26/4/2021	7:06:56	2,32	22,31	459,06	3	67,69	7,73
75	26/4/2021	7:21:59	2,17	22,41	468,70	3	67,73	7,79
76	26/4/2021	7:37:02	2,28	20,98	475,76	3	68,28	8,13
77	26/4/2021	7:52:05	2,24	22,08	477,82	4	68,58	8,02
78	26/4/2021	8:07:08	2,23	22,02	492,73	4	69,83	8,15
79	26/4/2021	8:22:11	2,22	22,06	493,76	4	70,13	7,95
80	26/4/2021	8:37:14	2,21	22,14	475,94	4	70,77	8,05
81	26/4/2021	12:49:01	2,20	22,18	593,60	7	72,78	8,46
82	26/4/2021	13:04:04	2,19	22,53	632,00	7	72,81	8,31
83	26/4/2021	13:19:07	2,18	22,71	616,17	7	73,67	8,37
84	26/4/2021	13:34:10	2,17	22,60	589,93	7	70,93	8,43

85	26/4/2021	13:49:13	2,16	22,54	578,84	7	70,04	8,49
86	26/4/2021	14:04:16	2,15	22,68	493,70	8	68,05	8,55
87	26/4/2021	14:19:19	2,15	22,42	490,84	8	68,29	8,60
88	26/4/2021	14:34:22	2,14	22,64	463,62	8	68,58	8,66
89	26/4/2021	17:01:56	2,13	22,78	444,68	3	68,78	8,72
90	26/4/2021	17:16:59	2,12	22,95	397,69	3	68,81	8,78
91	26/4/2021	17:32:02	2,11	22,93	456,77	3	69,45	8,84
92	26/4/2021	17:47:05	2,10	22,31	473,82	3	69,80	8,90
93	26/4/2021	18:02:08	2,09	21,69	523,73	1	74,69	8,95
94	26/4/2021	18:17:11	2,08	22,06	513,06	1	73,92	9,01
95	26/4/2021	18:32:14	2,07	21,44	574,24	1	72,36	9,07
96	26/4/2021	18:47:17	2,06	20,82	551,33	1	70,64	9,13
97	27/4/2021	6:45:55	2,14	21,82	378,69	5	66,44	7,97
98	27/4/2021	7:00:58	2,20	22,32	380,93	5	66,77	7,79
99	27/4/2021	7:16:01	2,05	22,42	390,57	5	66,81	7,85
100	27/4/2021	7:31:04	2,16	20,99	397,63	5	67,36	8,19
101	27/4/2021	7:46:07	2,12	22,09	399,69	5	67,60	8,08
102	27/4/2021	8:01:10	2,11	22,03	414,60	5	68,91	8,21
103	27/4/2021	8:16:13	2,10	22,07	415,63	4	69,21	8,01
104	27/4/2021	8:31:16	2,09	22,15	397,81	4	70,85	8,11
105	27/4/2021	12:50:29	2,08	22,19	515,47	6	72,86	8,52
106	27/4/2021	13:05:32	2,07	22,54	553,87	6	73,48	8,37
107	27/4/2021	13:20:35	2,06	22,72	538,04	7	71,75	8,43
108	27/4/2021	13:35:38	2,05	22,61	511,80	7	71,01	8,49
109	27/4/2021	13:50:41	2,04	22,55	500,71	7	70,12	8,55
110	27/4/2021	14:05:44	2,03	22,69	415,57	9	68,13	8,61
111	27/4/2021	14:20:47	2,03	22,43	412,71	9	68,37	8,66
112	27/4/2021	14:35:50	2,02	22,65	385,49	9	68,66	8,72
113	27/4/2021	17:01:17	2,01	22,79	366,55	2	68,86	8,78
114	27/4/2021	17:16:20	2,00	22,96	319,56	2	68,89	8,84
115	27/4/2021	17:31:23	1,99	22,94	378,64	2	69,53	8,90
116	27/4/2021	17:46:26	1,98	22,32	395,69	2	69,88	8,96
117	27/4/2021	18:01:29	1,97	21,70	445,60	1	74,77	9,01
118	27/4/2021	18:16:32	1,96	22,07	434,93	1	74,00	9,07
119	27/4/2021	18:31:35	1,95	21,45	496,11	0	72,44	9,13
120	27/4/2021	18:46:38	1,94	20,83	473,20	0	70,72	9,19
<b>PROMEDIO</b>			<b>2,17</b>	<b>22,12</b>	<b>492,09</b>		<b>72,30</b>	<b>8,60</b>

Elaborado por: La investigadora.

**Tabla 26:** Datos Obtenidos de la Unidad Educativa Jorge Álvarez

Id	FECHA	HORA	MQ-136 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	MQ-131 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	MQ-7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	GUVA S12SD	MAX9814 dB	DSM501A $\mu\text{m}$
1	21/4/2021	6:46:09	1,99	21,60	388,86	2	70,01	7,83
2	21/4/2021	7:03:43	2,05	22,10	390,86	2	70,34	7,65
3	21/4/2021	7:21:17	1,90	22,20	400,86	3	70,38	7,71
4	21/4/2021	7:38:51	2,01	20,77	407,86	3	70,93	8,05
5	21/4/2021	7:56:25	1,97	21,87	409,86	4	71,23	7,94
6	21/4/2021	8:13:59	1,96	21,81	424,86	4	72,48	8,07
7	21/4/2021	8:31:33	1,95	21,85	425,86	4	72,78	7,87
8	21/4/2021	8:49:07	1,94	21,93	407,86	6	73,42	7,97
9	21/4/2021	12:45:01	1,93	21,97	525,86	8	75,43	8,38
10	21/4/2021	13:02:35	1,92	22,32	563,86	8	75,46	8,23
11	21/4/2021	13:20:09	1,91	22,50	547,86	8	76,32	8,29
12	21/4/2021	13:37:43	1,90	22,39	521,81	8	73,58	8,35
13	21/4/2021	13:55:17	1,89	22,33	510,47	8	72,69	8,41
14	21/4/2021	14:12:51	1,88	22,47	508,36	8	70,74	8,47
15	21/4/2021	14:30:25	1,88	22,21	422,61	8	70,94	8,52
16	21/4/2021	14:47:59	1,87	22,43	395,36	8	71,23	8,58
17	21/4/2021	17:03:48	1,86	22,57	376,86	3	71,36	8,64
18	21/4/2021	17:21:22	1,85	22,74	329,12	3	71,69	8,70
19	21/4/2021	17:38:56	1,84	22,72	316,86	3	72,1	8,76
20	21/4/2021	17:56:30	1,83	22,10	405,14	3	72,45	8,82
21	21/4/2021	18:14:04	1,82	21,48	455,01	2	77,34	8,87
22	21/4/2021	18:31:38	1,81	21,85	444,47	1	76,57	8,93
23	21/4/2021	18:49:12	1,80	21,23	505,65	0	75,01	8,99
24	21/4/2021	19:06:46	1,79	20,61	482,86	0	73,29	9,05
25	22/4/2021	6:45:55	2,05	21,16	499,28	2	71,25	8,13
26	22/4/2021	7:00:58	2,11	21,66	501,52	2	71,58	7,95
27	22/4/2021	7:16:01	1,96	21,76	511,16	2	71,62	8,01
28	22/4/2021	7:31:04	2,07	20,33	518,22	2	72,17	8,35
29	22/4/2021	7:46:07	2,02	21,43	520,28	2	72,41	8,24
30	22/4/2021	8:01:10	2,01	21,37	535,19	2	73,72	8,37
31	22/4/2021	8:16:13	2,00	21,41	536,22	2	74,02	8,17
32	22/4/2021	8:31:16	1,99	21,49	518,40	2	74,66	8,27
33	22/4/2021	12:50:29	1,99	21,53	636,06	5	76,67	8,68
34	22/4/2021	13:05:32	1,98	21,88	674,46	5	77,29	8,53
35	22/4/2021	13:20:35	1,97	22,06	658,63	5	75,56	8,59
36	22/4/2021	13:35:38	1,96	21,95	632,39	6	74,82	8,65
37	22/4/2021	13:50:41	1,95	21,89	621,30	6	73,93	8,71
38	22/4/2021	14:05:44	1,94	22,03	536,16	6	71,94	8,77
39	22/4/2021	14:20:47	1,93	21,77	533,31	6	72,18	8,82
40	22/4/2021	14:35:50	1,92	21,99	506,08	4	72,47	8,88
41	22/4/2021	17:01:17	1,91	22,13	487,14	4	72,67	8,94

42	22/4/2021	17:16:20	1,90	22,30	440,15	4	72,72	9,00
43	22/4/2021	17:31:23	1,90	22,28	499,23	4	73,34	9,06
44	22/4/2021	17:46:26	1,89	21,66	516,28	3	73,69	9,12
45	22/4/2021	18:01:29	1,88	21,04	566,19	3	78,58	9,17
46	22/4/2021	18:16:32	1,87	21,41	555,52	2	77,81	9,23
47	22/4/2021	18:31:35	1,86	20,79	616,70	1	76,25	9,29
48	22/4/2021	18:46:38	1,85	20,17	593,79	1	74,53	9,35
49	23/4/2021	6:48:53	1,82	21,95	392,91	0	66,69	7,78
50	23/4/2021	7:04:04	1,88	22,45	395,15	1	67,02	7,60
51	23/4/2021	7:19:15	1,73	22,55	404,79	1	67,06	7,66
52	23/4/2021	7:34:26	1,84	21,12	411,85	1	67,61	8,00
53	23/4/2021	7:49:37	1,80	22,22	413,91	1	67,91	7,89
54	23/4/2021	8:04:48	1,79	22,16	428,82	4	69,16	8,02
55	23/4/2021	8:19:59	1,78	22,20	429,85	5	69,46	7,82
56	23/4/2021	8:35:10	1,77	22,28	412,03	5	70,1	7,92
57	23/4/2021	12:45:21	1,76	22,32	529,69	5	72,11	8,33
58	23/4/2021	13:00:32	1,75	22,67	568,09	5	72,14	8,18
59	23/4/2021	13:15:43	1,74	22,85	552,26	5	73,00	8,24
60	23/4/2021	13:30:54	1,73	22,74	526,02	5	70,26	8,30
61	23/4/2021	13:46:05	1,72	22,68	514,93	5	69,37	8,36
62	23/4/2021	14:01:16	1,71	22,82	429,79	5	67,38	8,42
63	23/4/2021	14:16:27	1,71	22,56	426,93	5	67,62	8,47
64	23/4/2021	14:31:38	1,70	22,78	399,71	6	67,91	8,53
65	23/4/2021	17:05:17	1,69	22,92	380,77	3	68,11	8,59
66	23/4/2021	17:20:28	1,68	23,09	333,78	3	68,14	8,65
67	23/4/2021	17:35:39	1,67	23,07	392,86	3	68,78	8,71
68	23/4/2021	17:50:50	1,66	22,45	409,91	3	69,13	8,77
69	23/4/2021	18:06:01	1,65	21,83	459,82	2	74,02	8,82
70	23/4/2021	18:21:12	1,64	22,20	449,15	1	73,25	8,88
71	23/4/2021	18:36:23	1,63	21,58	510,33	1	71,69	8,94
72	23/4/2021	18:51:34	1,62	20,96	487,42	1	69,97	9,00
73	26/4/2021	6:51:53	1,90	21,69	446,90	2	69,67	7,77
74	26/4/2021	7:06:56	1,96	22,19	449,14	2	70,00	7,59
75	26/4/2021	7:21:59	1,81	22,29	458,78	2	70,04	7,65
76	26/4/2021	7:37:02	1,92	20,86	465,84	2	70,59	7,99
77	26/4/2021	7:52:05	1,88	21,96	467,90	3	70,89	7,88
78	26/4/2021	8:07:08	1,87	21,90	482,81	3	72,14	8,01
79	26/4/2021	8:22:11	1,86	21,94	483,84	3	72,44	7,81
80	26/4/2021	8:37:14	1,85	22,02	466,02	4	73,08	7,91
81	26/4/2021	12:49:01	1,84	22,06	583,68	4	75,09	8,32
82	26/4/2021	13:04:04	1,83	22,41	622,08	5	75,12	8,17
83	26/4/2021	13:19:07	1,82	22,59	606,25	5	75,98	8,23
84	26/4/2021	13:34:10	1,81	22,48	580,01	5	73,24	8,29
85	26/4/2021	13:49:13	1,80	22,42	568,92	6	72,35	8,35

86	26/4/2021	14:04:16	1,79	22,56	483,78	6	70,36	8,41
87	26/4/2021	14:19:19	1,79	22,30	480,92	7	70,60	8,46
88	26/4/2021	14:34:22	1,78	22,52	453,70	7	70,89	8,52
89	26/4/2021	17:01:56	1,77	22,66	434,76	5	71,09	8,58
90	26/4/2021	17:16:59	1,76	22,83	387,77	5	71,12	8,64
91	26/4/2021	17:32:02	1,75	22,81	446,85	5	71,76	8,70
92	26/4/2021	17:47:05	1,74	22,19	463,90	5	72,11	8,76
93	26/4/2021	18:02:08	1,73	21,57	513,81	2	77,00	8,81
94	26/4/2021	18:17:11	1,72	21,94	503,14	1	76,23	8,87
95	26/4/2021	18:32:14	1,71	21,32	564,32	0	74,67	8,93
96	26/4/2021	18:47:17	1,70	20,70	541,41	0	72,95	8,99
97	27/4/2021	6:45:55	1,78	21,85	401,64	0	69,27	8,08
98	27/4/2021	7:00:58	1,84	22,35	403,88	0	69,6	7,90
99	27/4/2021	7:16:01	1,69	22,45	413,52	0	69,64	7,96
100	27/4/2021	7:31:04	1,80	21,02	420,58	2	70,19	8,30
101	27/4/2021	7:46:07	1,76	22,12	422,64	2	70,43	8,19
102	27/4/2021	8:01:10	1,75	22,06	437,55	2	71,74	8,32
103	27/4/2021	8:16:13	1,74	22,10	438,58	2	72,04	8,12
104	27/4/2021	8:31:16	1,73	22,18	420,76	2	73,68	8,22
105	27/4/2021	12:50:29	1,72	22,22	538,42	5	75,69	8,63
106	27/4/2021	13:05:32	1,71	22,57	576,82	5	76,31	8,48
107	27/4/2021	13:20:35	1,70	22,75	560,99	5	74,58	8,54
108	27/4/2021	13:35:38	1,69	22,64	534,75	6	73,84	8,60
109	27/4/2021	13:50:41	1,68	22,58	523,66	6	72,95	8,66
110	27/4/2021	14:05:44	1,67	22,72	438,52	6	70,96	8,72
111	27/4/2021	14:20:47	1,67	22,46	435,66	7	71,25	8,77
112	27/4/2021	14:35:50	1,66	22,68	408,44	7	71,49	8,83
113	27/4/2021	17:01:17	1,65	22,82	389,50	5	71,69	8,89
114	27/4/2021	17:16:20	1,64	22,99	342,51	5	71,72	8,95
115	27/4/2021	17:31:23	1,63	22,97	401,59	5	72,36	9,01
116	27/4/2021	17:46:26	1,62	22,35	418,64	4	72,71	9,07
117	27/4/2021	18:01:29	1,61	21,73	468,55	3	77,6	9,12
118	27/4/2021	18:16:32	1,60	22,10	457,88	3	76,83	9,18
119	27/4/2021	18:31:35	1,59	21,48	519,06	1	75,27	9,24
120	27/4/2021	18:46:38	1,58	20,86	496,15	1	73,55	9,30
<b>PROMEDIO</b>			<b>1,81</b>	<b>22,05</b>	<b>477,29</b>		<b>70,09</b>	<b>8,47</b>

**Elaborado por:** La investigadora.