

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

**DETECCIÓN DE EVENTOS DE CONTAMINACIÓN ACÚSTICA
INDUSTRIAL BASADO EN UNA RED DE SENSORES**

**DESARROLLO DE UNA RED DE SENSORES INALÁMBRICA;
DETECCIÓN, TRANSPORTE Y RECOPIACIÓN DE DATOS DE
EVENTOS ACÚSTICOS INDUSTRIALES DE LA EMPRESA
DANILACT**

**TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR PRESENTADO COMO
REQUISITO PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN
TELECOMUNICACIONES**

JEFFERSON PAÚL MORENO REINOSO

jefferson.moreno@epn.edu.ec

DIRECTOR: DR. TARQUINO FABIÁN SÁNCHEZ ALMEIDA

tarquino.sanchez@epn.edu.ec

DMQ, octubre 2022

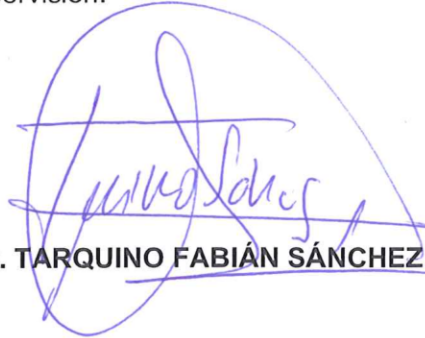
CERTIFICACIONES

Yo, Jefferson Paúl Moreno Reinoso declaro que el trabajo de integración curricular aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.



JEFFERSON PAÚL MORENO REINOSO

Certifico que el presente trabajo de integración curricular fue desarrollado por JEFFERSON PAÚL MORENO REINOSO, bajo mi supervisión.



DR. TARQUINO FABIÁN SÁNCHEZ ALMEIDA

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

A través de la presente declaración, afirmamos que el trabajo de integración curricular aquí descrito, así como el (los) producto(s) resultante(s) del mismo, son públicos y estarán a disposición de la comunidad a través del repositorio institucional de la Escuela Politécnica Nacional; sin embargo, la titularidad de los derechos patrimoniales nos corresponde a los autores que hemos contribuido en el desarrollo del presente trabajo; observando para el efecto las disposiciones establecidas por el órgano competente en propiedad intelectual, la normativa interna y demás normas.

JEFFERSON PAÚL MORENO REINOSO

DR. TARQUINO FABIÁN SÁNCHEZ ALMEIDA

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de integración curricular
a mis padres Galo Moreno y Gloria Reinoso
grandiosos dioses llenos de sabiduría que me
dieron la oportunidad de encontrarme como
ser humano.

A mis abuelitos Galo y Nelly, eternos seres que
han alimentado mi alma de grandes valores,
a mis hermanos David y Jennifer quienes día
a día me han apoyado e incursionado en las tareas
que la ingeniería me ha llevado a lograr.

A Verónica, ser virtuoso que vive febril dentro
de mí y ha apoyado incondicionalmente.

A mis amigos músicos, Eduardo y Jonathan,
con quienes compartí las grandiosas melodías
y a mis amigos músicos de R.M.F. quienes día a
día se esfuerzan por ser mejores.

AGRADECIMIENTO

Agradezco en primer lugar a mis padres por ser el cimiento y fortaleza que ha mantenido mi camino hacia la ciencia y han inculcado en mi la constancia, perseverancia y amor por las actividades académicas desarrolladas a lo largo de mi vida, a mis abuelitos, en especial a Juan de Dios Galo Moreno Álvarez que la divinidad del universo lo tenga en su manto eterno, y a mi abuelita Nelly de Moreno Álvarez, quienes durante mucho tiempo me acogieron en su regazo y proporcionaron valiosos consejos para lograr formarme en el entorno académico, también agradezco al Dr. Tarquino Sánchez Almeida por su asesoramiento, comprensión y paciencia a lo largo del desarrollo del presente proyecto y por último agradezco a todos mis queridos amigos por sus trivialidades que llenan el alma de alegría.

ÍNDICE DE CONTENIDO

| | |
|---|------|
| CERTIFICACIONES..... | I |
| DECLARACIÓN DE AUTORÍA..... | II |
| DEDICATORIA..... | III |
| AGRADECIMIENTO..... | IV |
| ÍNDICE DE CONTENIDO..... | V |
| RESUMEN | VII |
| ABSTRACT | VIII |
| 1. INTRODUCCIÓN..... | 1 |
| 1.1 Objetivo general..... | 2 |
| 1.2 Objetivos específicos | 2 |
| 1.3 Alcance | 3 |
| 1.4 Marco teórico..... | 4 |
| 1.4.1 Definición del problema a resolver..... | 4 |
| 1.4.2 Definición del problema técnico..... | 4 |
| 1.4.3 Normas Técnicas y Efectos del Ruido | 5 |
| 1.4.4 Estudio de una red de sensores inalámbrica | 7 |
| 1.4.5 Tipos de redes de sensores inalámbricos..... | 8 |
| 1.4.6 Motor de protocolo de banda base Enhanced Shockburst | 11 |
| 2. METODOLOGÍA..... | 13 |
| 2.1 Tamaño del Proyecto | 13 |
| 2.1.1 Mercado de las WSN | 13 |
| 2.1.2 Planes de ampliación y ensanche..... | 14 |
| 2.2 Localización del proyecto | 14 |
| 2.2.1 Mapa de macro localización | 15 |
| 2.3 Ingeniería del proyecto..... | 16 |
| 2.3.1 Descripción de los equipos y especificaciones técnicas..... | 16 |
| 2.3.2 Selección y preparación de los equipos | 21 |
| 2.3.3 Proceso de calibración | 23 |
| 2.3.4 Transmisión y recepción de datos | 26 |
| 2.3.5 Recepción y almacenamiento inicial de datos | 29 |
| 2.3.6 Escritura de datos en la nube Influxdb cloud y almacenamiento final..... | 30 |
| 2.3.7 Diseño de la Estructura que alojará a los dispositivos de la red de sensores inalámbrica WSN..... | 36 |

| | |
|--|----|
| 3. RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES..... | 41 |
| 3.1 Resultados | 41 |
| 3.2 Conclusiones..... | 49 |
| 3.3 Recomendaciones..... | 50 |
| 4. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 50 |
| 5. ANEXOS..... | 53 |

RESUMEN

El presente estudio se centra en el diseño y despliegue de una red de sensores inalámbrica, la cual permite la detección, transporte, recopilación y almacenamiento de datos de eventos de contaminación acústica industrial o intensidad de sonido en dBA, medidos mediante la implementación y programación de una red de sensores formados por el equipo Arduino UNO y el sensor de sonido MAX 9814, sistema que envía los datos a través del módulo de transmisión inalámbrica nRF24L01 hacia un dispositivo recolector Raspberry PI modelo B+ encargado de recibirlos mediante un equipo similar nRF24L01. El dispositivo recolector efectúa una calibración de datos por software considerando un error relativo porcentual menor al $\pm 5\%$ calculado en base a los datos tomados por el dispositivo sonómetro UT353 de UNI-T, finalmente redirecciona los datos de eventos de contaminación acústica a una base de datos en la nube llamada Influxdb Cloud para su posterior análisis. El despliegue de la red de sensores inalámbrica en un ambiente real se lleva a cabo en la empresa DANILACT, ubicada en la ciudad de Machachi, dedicada a la fabricación y venta de productos como: queso blanco, queso mozzarella, queso de orégano, quesos laminados y leche. Por tanto, con base a información proporcionada tanto del personal administrativo como operativo de la empresa, se ha determinado que los procesos de producción generan niveles de ruido molestos y que en algunos casos podrían estar afectando a la salud del personal, los cuales no han sido previamente monitorizados para un análisis y de hecho se podría estar afectando la salud de los trabajadores de turno de la empresa.

PALABRAS CLAVE: ruido industrial, detección, recopilación, nodo sensor, nodo recolector, influxdb cloud.

ABSTRACT

This study focuses on the designing and deployment of a Wireless Sensor Network that allows the detection, transportation, recompilation and storage of industrial acoustic contamination events data or dBA sound intensity which are measured through the implementation and programming of sensor nodes made up of Arduino UNO device and sound sensor MAX9814, this system sends the data through wireless transmission module called nRF24L01 to a collecting device which is a Raspberry PI model B+ that receives the data by a like device nRF24L01. The collecting device performs software calibration data considering a percent relative error of less than $\pm 5\%$ which is calculated based on data measured by the UT353 Sonometer of UNI-T, finally, this device redirects the acoustic contamination events data to a database called Influxdb Cloud for posting analysis. The wireless sensor network deployment in a real environment is performed on the DANILACT enterprise that is dedicated to the manufacture and sale of products like mozzarella cheese, white cheese, milk, and yogurt. So, based on comments of administrative and operative personnel has been determined that the production processes generate annoying sound noise levels which have not been previously monitored for analysis, and in fact, the health of the enterprise's shift workers could be affected.

KEYWORDS: industrial noise, detection, recopilation, sensor node, collecting node, influxdb cloud.

1. INTRODUCCIÓN

A lo largo de los años el ruido en ambientes industriales ha sido un factor determinante en la salud y el rendimiento de los trabajadores, esto debido a que los altos niveles de ruido a los que puede exponerse un ser humano dentro de las jornadas laborales pueden causar serios problemas en la salud como la pérdida parcial de la capacidad auditiva o en los peores casos una pérdida total de la misma. De esta manera nace la necesidad del diseño de un sistema basado en una red de sensores inalámbrica que permita la detección, transporte y recopilación de datos de eventos acústicos de una empresa del sector industrial y de este modo poder determinar focos de contaminación acústica en base a los datos recopilados por la red de sensores inalámbrica implementada.

El sistema diseñado se encuentra compuesto por dos nodos sensores los cuales se encargarán de recolectar los datos acústicos teniendo en cuenta una periodicidad de 6 segundos en la recolección de niveles de ruido para posteriormente enviarlos hacia un nodo recolector conocido como nodo sink el cual será capaz de efectuar la calibración, escritura y almacenamiento de los datos recolectados en una base de datos en la nube llamada influxdb cloud y así dar paso a un posterior procesamiento.

El presente estudio, inicia con la definición del problema a resolver en donde se abordan las consecuencias que podrían llegar a darse debido a la exposición de altos niveles de ruido por parte de los trabajadores de ambientes industriales. También se define el problema técnico en donde se especifica los equipos con lo que se tomaran los datos de ruido y la manera en que se efectúa dicho proceso.

Posteriormente se estudian algunas normas técnicas y los efectos del ruido, de esta manera se podrá determinar los niveles de ruido que llegarían a causar daños a la salud humana. El siguiente apartado se centra en el análisis de los sensores a disposición ya que se consideran temas relacionados con: tipos de sensores, tipos de redes, topologías y la tecnología de comunicaciones inalámbrica basada en un motor de protocolo de banda base integrado (Enhanced Shockburst). Dicha tecnología se considerada para la comunicación inalámbrica entre los distintos nodos sensores y el nodo recolector. A través del protocolo Enhanced Shockburst se dispone de una alternativa viable para este tipo de aplicaciones, debido a sus características enfocadas en la transmisión y recepción de datos con una administración eficiente en el consumo de potencia, alcance y en el manejo de operaciones de la capa de enlace de alta velocidad lo cual reduce el costo del sistema de manera significativa [1][2][3].

El siguiente apartado consta de la definición del tamaño del proyecto en donde se determina el número de sensores a usarse tanto como un estudio de la localización de la empresa, planes de ampliación de la red y zona en la cual se llevará a cabo el despliegue de la red. La localización de la empresa consta de dos fases, la primera la localización de la macrozona y una vez culminada esta fase se procede a elegir una micro localización considerando el lugar específico en el cual se instalarán los equipos. El capítulo tercero, se denomina, *Ingeniería del Proyecto*, aquí inicialmente se efectúa una descripción y análisis de las especificaciones técnicas de los equipos a emplearse tanto, en la implementación del hardware como en el desarrollo del software de los equipos del proyecto, incluye, además, el método de calibración por software de las mediciones y los procesos de transmisión, recepción y almacenamiento de datos. También se considera la implementación de una estructura de alojamiento la cual brindara protección y soporte a los dispositivos de la red de sensores inalámbrica diseñada.

Finalmente, y para culminar el presente trabajo se exponen los resultados obtenidos, las conclusiones y recomendaciones pertinentes, así como también las referencias bibliográficas utilizadas en el desarrollo del presente estudio.

1.1 Objetivo general

Diseño de una red de sensores inalámbrica (Wireless Sensor Network, WSN) para la detección, transporte y recopilación de datos de eventos acústicos de la empresa DANILACT mediante el uso de tecnologías de bajo costo y de código abierto como lo son los dispositivos Arduino y Raspberry Pi; se considera el uso del medio de comunicación inalámbrica vía radio empleando la banda ISM no licenciada y la tecnología inalámbrica basada en el motor de protocolo de banda base integrado, Enhanced Shockburst.

1.2 Objetivos específicos

1. Describir la importancia del análisis de señales acústicas industriales dentro de un área de trabajo en donde una persona puede ser expuesta a niveles perjudiciales de ruido.
2. Considerando las normas ISO 9612 y RD 286/2006 describir los niveles de ruido que afectan la salud del trabajador y la importancia del monitoreo y control de estos parámetros, dentro de un ambiente laboral de un trabajador de la industria, afectado por una exposición de niveles altos de ruido.

3. Estudiar las características y funcionamiento de una red de sensores inalámbrica WSN (Wireless Sensor Network) de modo que se permita definir: las tareas de cada uno de los dispositivos que involucran la red en estudio, tipos de sensores inalámbricos, tipos de redes y la tecnología de comunicaciones inalámbrica basada en el protocolo Enhanced Shockburst.
4. Definir la empresa del sector industrial, estudiar el área a implementarse la red y localizar los puntos más adecuados para la instalación de cada uno de los sensores y el nodo recolector, así como también describir las características y especificaciones técnicas de los equipos que se usarán para la red de sensores inalámbrica.
5. Diseñar e implementar la red de sensores previo a su despliegue dentro de un área de producción de una empresa.
6. Presentar los datos recopilados por la red de sensores inalámbrica en una base de datos en la nube.

1.3 Alcance

Diseñar e implementar una red de sensores inalámbrica (Wireless sensor Networks WSN) que permita la detección, transporte, recopilación y almacenamiento de los niveles de intensidad de sonido en dBA provenientes de procesos industriales de la empresa *DANILACT*. La red de sensores inalámbrica se conforma por dos nodos sensores los cuales se encargan de la toma de datos de intensidad de sonido en dBA. El sistema requerido para censar los niveles de ruido lo conforman; un dispositivo ARDUINO UNO y un sensor de sonido MAX 9814, los datos censados serán enviados vía inalámbrica mediante el módulo nRF24L01 hacia un nodo recolector considerando el uso del protocolo Enhanced Shockburst, el cual permite la construcción de redes punto a punto y tipo estrella hasta con 6 nodos sensores para una transmisión de datos simultánea [2][3]. Para el caso de este estudio, se considera el uso de una topología en estrella debido a la facilidad en la gestión y configuración que brinda.

El nodo recolector mejor conocido como nodo sink, también emplea un módulo transceptor inalámbrico nRF24L01 para la recepción de los datos transmitidos por parte de los nodos sensores y lo constituye un dispositivo Raspberry Pi modelo B+ el cual podrá redirigir la información recopilada hacia un sistema externo; una base de datos en la nube servirá para almacenar los datos recogidos para su posterior procesamiento [4].

Hay que recalcar, que el presente estudio, no se enfoca en el procesamiento de los datos recopilados por la red de sensores inalámbrica, sino más bien se limita; a la detección, transporte, recopilación y almacenamiento de los datos de ruido ambiental interno presentes en un área de la empresa en consideración.

1.4 Marco teórico

1.4.1 Definición del problema a resolver

Se puede identificar el problema a resolver, entendiendo la necesidad de la detección y la captura de eventos acústicos industriales tomando como referencia aquellos eventos que podrían causar problemas a la salud de los trabajadores de una empresa del sector industrial, lo cual, resulta en una reducción en el rendimiento de los trabajadores en los procesos industriales que pueden llevar a cabo en dicha empresa.

La falta de sistemas amigables y eficientes que dispongan de funcionalidades de monitoreo de niveles de ruido en una determinada área de una empresa del sector industrial motivó el desarrollo de este estudio, que parte de la implementación de una red de sensores inalámbrica mediante la cual se detectan y capturan eventos acústicos industriales de una manera oportuna y sistemática.

1.4.2 Definición del problema técnico

El problema técnico radica en la recopilación de los datos, misma que se lleva a cabo mediante acciones tomadas por los nodos sensores los cuales están constituidos por equipos (módulos) capaces de recopilar datos de ruido del ambiente y transmitirlos inalámbricamente hacia un nodo sink o recolector. Los equipos o módulos que constituyen un nodo sensor son: Arduino UNO, módulo sensor de sonido MAX 9814 y módulo para transmisión y recepción inalámbrica de datos NRF24L01. Además, el nodo sink lo constituye un dispositivo con capacidades de computacionales medias como lo es un raspberry Pi.

1.4.3 Normas Técnicas y Efectos del Ruido

El ruido ambiental interno ha estado presente como uno de los agentes más contaminantes en los puestos de trabajo, considerado peligroso para la audición si su nivel de exposición rebasa los límites permitidos por la Organización Mundial de la Salud (OMS), su exposición prolongada puede producir efectos negativos como los mostrados en Tabla 1.4.3. Además, según estudios elaborados, en el año 1948 se da el primer caso de una compensación a un trabajador por pérdida de audición, determinándose para el año 1968 un reglamento para evitar niveles de ruido superiores a los 85 dB [5][6].

A través del estudio de la norma ISO 9612:2009 se consigue un enfoque para determinar un método de ingeniería que permita efectuar mediciones de exposición al ruido de trabajadores en ambientes de trabajo y calcular el nivel de exposición al ruido con la menor incertidumbre. Esta norma internacional considera los niveles de ponderación A los cuales compensan la intensidad sonora real medida con base a la frecuencia de la fuente sonora [6].

Se especifica tres estrategias distintas para ejecutar tareas de mediciones, siendo estas:

- Medición basada en tareas:

Aquí se toma en cuenta un enfoque en las tareas que producen una exposición de ruido considerable y en minimizar la duración de las mediciones requeridas para la obtención de una incertidumbre específica. La medición basada en tareas se la usa cuando el trabajo puede ser dividido en tareas específicas con claras condiciones de ruido definibles durante las cuales se puede realizar mediciones. Se debe tener cuidado, ya que se debe considerar el conocimiento de cualquier exposición alta de duración corta de eventos acústicos durante el día de trabajo [6].

La estrategia en estudio provee información de las contribuciones de las diferentes tareas al ruido diario al cual se expone un trabajador, esta es una ventaja si el propósito de las mediciones se enfoca en determinar prioridades para un control programado de ruido. También se reduce en la ejecución el esfuerzo en las mediciones en comparación con otros métodos [6].

- Medición basada en el trabajo:

La medición basada en el trabajo se la utiliza cuando los patrones típicos de tareas son difíciles de describir o cuando no es práctico ni deseable desarrollar un análisis

detallado del trabajo. Si el número de tareas ruidosas que se efectúan en el trabajo es bajo; este método no se recomienda [6].

Mediante la aplicación de esta estrategia se puede reducir el esfuerzo requerido en el análisis del trabajo. Se debe tener cuidado en la definición de trabajos de modo que se garantice que la exposición al ruido de cualquier trabajador dentro de un trabajo determinado sea representativa. Esta estrategia puede llevar mucho tiempo debido al tiempo requerido para las mediciones, pero produce una menor incertidumbre en el resultado obtenido [6].

- Medición del día completo:

Estrategia similar a la medición basada en el trabajo ya que se emplea cuando los patrones típicos de trabajo son difíciles de describir. Sin embargo, requiere incluso menos esfuerzo en el análisis del trabajo. Por otro lado, si el trabajo es simple, el uso de esta estrategia resultará en mediciones de más larga duración en comparación con las estrategias analizadas previamente [6].

La medición del día completo se recomienda cuando el patrón de exposición al ruido de los trabajadores es desconocido, impredecible o complejo. También es posible el uso de esta estrategia para cualquier patrón de exposición al ruido, especialmente cuando no es deseable desarrollar un análisis detallado de trabajo

Tabla 1.4.3. Efectos del ruido [5].

| Efectos del ruido | | | |
|---|--|-----------------------------|---------------------------------------|
| Efectos sobre la audición (RD 286/2006) | Hipoacusia | Tinnitus | |
| Efectos Biológicos Extrauditivos | Efectos fisiológicos | Efectos psicológicos | Efectos comportamentales |
| | Incremento del ritmo cardiaco | Molestias | Cambio en las Posturas |
| | Aceleración del ritmo respiratorio | Cansancio | Ritmo de trabajo diferente |
| | Vasoconstricción periférica | Desagrado | Prolongación o interrupción de tareas |
| | Disminución de la actividad cerebral e inmunitaria | Perdida de la concentración | Incremento en la tasa de errores |

Nota: Se enumeran los efectos del ruido que un trabajador podría tener si acostumbra un ambiente laboral con niveles de intensidad sonora altos [5].

Según la norma ISO 9612:2009 se puede definir el ruido a través de las siguientes expresiones [6]:

- $L_{p,A,eqT}$, nivel de presión sonora continuo equivalente ponderado durante un periodo T y esta expresado en dB.
- $L_{p,A,eqT,m}$, nivel de presión sonora continuo equivalente ponderado para una tarea, también en dB.
- $L_{p,Cpeak}$, nivel de presión sonora pico ponderado C en dB.

Considerando la norma ISO 9612:2009 aquellos niveles de ruido aceptables constituyen aquellos que menores a 70 dB, mientras que para valores superiores a este valor se puede tener problemas en la salud del trabajador, un ejemplo de ello lo presenta la hipoacusia que aparece cuando un trabajador se expone a niveles de ruido constantes de 90 dB y cabe recalcar que el sonido del motor de un autobús puede emitir un nivel de ruido de aproximadamente 75 dB mientras que un proceso de soldadura industrial genera un nivel de alrededor de 80 dB [6].

De este modo se requiere tomar acciones ante la exposición del ruido a un ser humano y mucho más a un trabajador debido a que una reducción de un nivel de ruido perjudicial lograría incrementar la eficiencia que el trabajador otorga y a su vez esto radica en una adición directa del rendimiento de la empresa en la cual se desempeñe [6].

1.4.4 Estudio de una red de sensores inalámbrica

Una red de sensores inalámbrica o WSN (Wireless Sensor Network) se caracteriza por ser una red auto configurable constituida por nodos sensores pequeños llamados “motas” y distribuidos a lo largo de la zona a ser monitoreada. Estos sensores se comunican entre si mediante el uso de señales de radio eligiendo la ruta de comunicaciones óptima (de dispositivo a dispositivo) a través de la red hasta llegar a su destino [1][2][3].

A los nodos sensores se los puede asociar con computadoras pequeñas con un funcionamiento muy reducido ya que contienen: una unidad de procesamiento con capacidades computacionales y de memoria limitadas, un dispositivo de comunicación de radio, una fuente de poder y uno o más sensores. Los nodos sensores o motas trabajan de

manera colaborativa para la recolección de información del ambiente o de algún entorno específico, por ejemplo, monitorizar parámetros físicos o ambientales tales como temperatura, sonido, vibraciones, presión, movimiento o agentes contaminantes, etc; para posterior a ello redirigir esta información a un nodo principal o sink el cual se comunica con otro sistema ya que puede actuar como un Gateway o puerta de enlace predeterminada [2][3].

La tecnología WSN (Wireless Sensor Network) se considera una llave que habilita el paradigma del Internet de las cosas (IoT, Internet of Things) de esta manera, el ambiente de monitoreo puede darse tanto en aplicaciones indoor como outdoor, cada elemento de la red se considera relativamente barato además de su bajo consumo de potencia, autogestión, despliegue rápido y flexibilidad [3].

Una de las características más interesantes de las Redes de Sensores es su bajo consumo ya que dota a los dispositivos de una gran autonomía (típicamente de 5 a 10 años). Esto permite que los sensores se desplieguen en localizaciones poco accesibles o incluso integrados dentro de estructuras [3].

1.4.5 Tipos de redes de sensores inalámbricos

Una WSN típicamente puede tener o no una estructura, ya que consiste en un número de nodos sensores los cuales trabajan juntos para recolectar información del ambiente. Existen dos tipos de redes WSN, red estructurada y no estructurada. Una red de sensores estructurada considera a todos o algunos sensores desplegados considerando un planeamiento teniendo como resultado un bajo costo en la administración y mantenimiento de la red. Pocos nodos pueden ser desplegados ya que ellos son dispuestos en lugares específicos para lograr proveer una determinada cobertura [7].

Una red de sensores inalámbrica no estructurada por su parte contiene una cantidad densa de nodos sensores, estos nodos pueden desplegarse como una red Ad Hoc de tal manera que los sensores se ubiquen de manera randómica dentro del área de monitoreo. La red se deja desentendida para una mejora en las funciones de monitoreo y generación de informes. Los trabajos de mantenimiento como administración de conectividad y detección de fallas resultan dificultosos debido al gran número de nodos sensores [7].

Las redes WSN presentan un gran potencial para algunas aplicaciones como: seguimiento de objetivos militares, sistemas de vigilancia, exploración de entornos peligrosos, sistemas de detección sísmica, etc. A diferencia de las redes tradicionales, una red WSN presenta

sus propias limitaciones de diseño, estas incluyen: cantidad de energía limitada, rango corto de comunicación, bajo ancho de banda, almacenamiento y procesamiento limitado en cada nodo [3][7]

Dentro de la clasificación de redes WSN se puede encontrar las siguientes:

Red WSN Terrestre

La red consiste de cientos a miles de nodos sensores desplegados en la tierra. Presenta características de agregación de datos dentro de la red para mejora del desempeño en la comunicación, energía, costo y retardo, esta red se emplea en ambientes industriales de monitoreo e inspecciones de superficie [8]

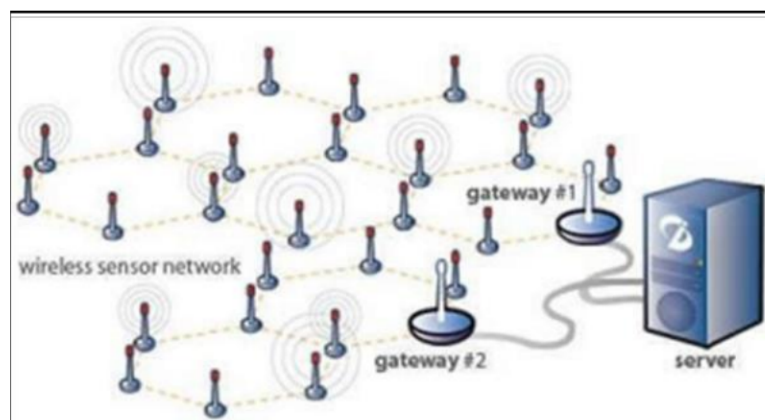


Figura 1.4.5.1. Red WSN Terrestre. [8]

Red WSN subterránea

Se compone de nodos sensores inalámbricos desplegados en cuevas o minas subterráneas. Su despliegue y mantenimiento son costosos y presenta problemas en los altos niveles de atenuación y pérdidas de la señal en la comunicación. Empleada en aplicaciones de monitoreo de agricultura, monitoreo de estructuras subterráneas, etc. En Figura 1.4.5.2, se presenta el despliegue de una red de sensores WSN subterránea para el monitoreo de un campo de golf. Los sensores bajo tierra pueden ser usados para el monitoreo de la salinidad del suelo, contenido de agua y temperatura. Los nodos sink y relay se ubican fuera del área de censado y se encargan de la recolección y envío de los datos hacia un punto receptor final [9].

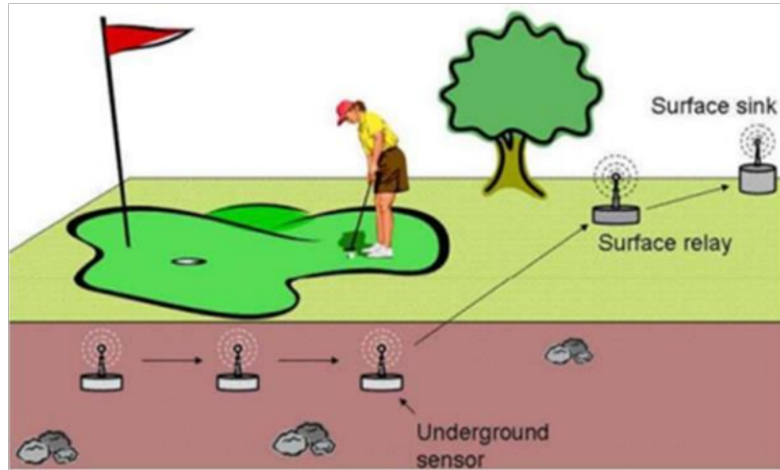


Figura 1.4.5.2. WSN subterránea para el monitoreo de un campo de golf. [9].

Red WSN submarina

Una red que consiste en sensores inalámbricos y vehículos desplegados dentro del ambiente oceánico. Los sensores que se usan son costosos mientras que las fallas debido al ambiente en el cual se despliegan los sensores son altas. Presentan ancho de banda limitado, retardos en la propagación, alta latencia y problemas de fading. Dentro de las aplicaciones se encuentran: monitoreo de contaminación, exploración y vigilancia submarina, monitoreo sísmico, etc [10].

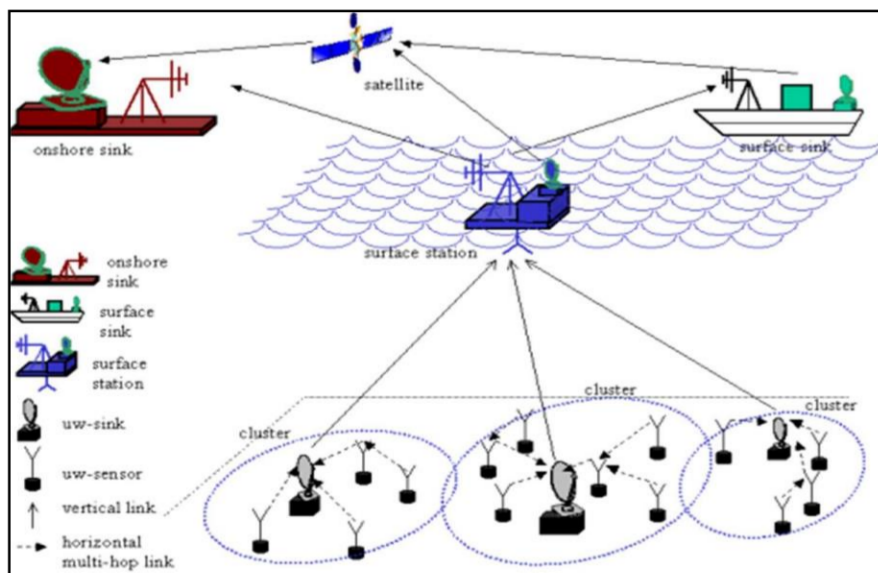


Figura 1.4.5.3. Arquitectura para una red de sensores inalámbrica bajo el agua. [10]

Red WSN multimedia

Este tipo de redes manejan sensores con la capacidad de almacenamiento que permitan manejar datos multimedia como video, audio e imágenes. Su energía de consumo es alta debido a la alta cantidad de datos a procesar, presenta una gran demanda de ancho de banda y una arquitectura flexible. Este tipo de redes se emplean principalmente para el monitoreo y el seguimiento [11]

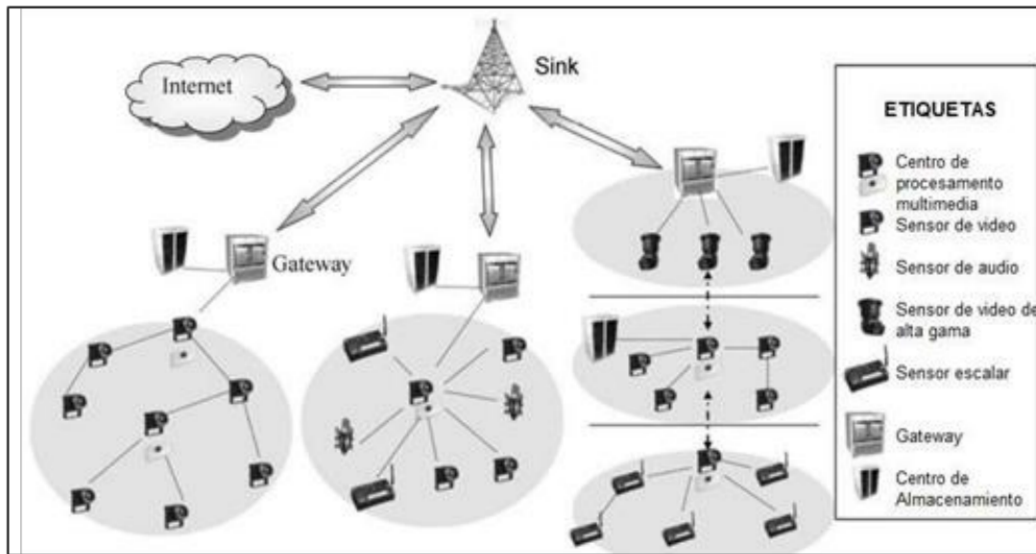


Figura 1.4.5.4. Arquitectura referencial de una red de sensores inalámbrica multimedia.

[11]

1.4.6 Motor de protocolo de banda base Enhanced Shockburst

El motor de protocolo de banda base embebido (Enhanced Shockburst) se basa en una comunicación de paquetes y soporta varios modelos de operación manual para una operación avanzada autónoma del protocolo, permite una reducción del costo del sistema a través del manejo de todas las operaciones de la capa de enlace de alta velocidad [1]

Las características que presenta el protocolo enhanced shockburst permiten: ensamblar y temporizar los paquetes de manera automática, transmisiones de ACK o acuses de recibo y retransmisiones de paquetes. Además, enhanced shockburst habilita la implementación de un consumo de potencia ultra baja, alta eficiencia en la comunicación con un bajo costo en los microcontroladores [1]. Las características mencionadas permiten mejoras significantes en la eficiencia de potencia para sistemas unidireccionales y bidireccionales,

sin tener que añadir complejidad en el microcontrolador del host. A continuación, se mencionan otras características del protocolo Enhanced Shockburst [2][3]:

- Manejo automático de paquetes
- Longitud dinámica del payload de 1 a 32 bytes
- ACK automático
- Retransmisiones automáticas de paquetes
- 6 pipes de datos Multiceiver para redes con topología estrella de 1:6.

2. METODOLOGÍA

2.1 Tamaño del Proyecto

2.1.1 Mercado de las WSN

Ahora, teniendo en cuenta el servicio que se requiere prestar el cual es el monitoreo de eventos acústicos en ambientes industriales mediante una red de sensores, se analizan los posibles proveedores de dispositivos para WSN (Wireless sensor network) [12].

- CROSSBOW

Desarrolla plataformas hardware y software las cuales dan soluciones para redes de sensores inalámbricos. Se pueden encontrar entre sus módulos inalámbricos a las plataformas: Mica, Mica2, Micaz, Mica2dot, telos, telosb, Iris e Imote2 [12][13].

- SENTILLA

Esta empresa se encarga de los nodos mota Tmote Sky, también diseñados por la universidad de Berkeley y preparados para ser usados por TynyOS [13].

- ARDUINO AG

Compañía de desarrollo de Plataformas de prototipos de electrónica de código abierto, se basa en hardware y software flexibles y fáciles de usar. También se caracteriza por mantener una comunidad que diseña y manufactura placas de desarrollo de hardware para la construcción de dispositivos digitales e interactivos con el fin de controlar y detectar objetos del mundo real [14] [15].

- RASPBERRY PI FOUNDATION

Compañía de Reino Unido la cual se encarga del desarrollo de placas electrónicas que fomentan el aprendizaje de la informática especialmente en ambientes escolares [15]

- SHOCKFICH

Ha desarrollado la plataforma TynyNode la cual se orienta para aplicaciones industriales. Mantienen la filosofía de suministrar una plataforma tanto para proyectos académicos como para aplicaciones industriales. TynyNode 584 presenta un núcleo tipo sensor de bajo consumo el cual dispone de conectividad, almacenamiento y alimentación [13]

- BTnode

Estos módulos han sido desarrollados por el ETH Zurich con ayuda de TIK (Computer Engineering and Networks Laboratory) y el grupo de investigación para sistemas distribuidos [13].

- EMBER

Empresa promotora de la Zigbee Alliance la cual presenta soluciones que cumplen según el estándar IEEE 802.15.4, es adecuada para aplicaciones de redes de sensores escalables [13].

- SUN

Sun SPOT se conoce como un nodo sensor para WSN desarrollado por SUN Microsystems. También construido bajo el estándar IEEE 802.15.4 bajo la implementación de una máquina virtual Java Squawk [13].

- Nano-RK

Esta empresa ha desarrollado la plataforma FireFly la cual se caracteriza por ser una plataforma para nodos inalámbricos de bajo consumo y bajo coste [13]

2.1.2 Planes de ampliación y ensanche

Considerando los planes de ampliación y ensanche del proyecto, este se encuentra orientado para lograr de una manera rápida y sencilla la inserción de uno o varios nodos sensores de modo que si la ocasión lo amerita se pueda efectuar un monitoreo mucho más eficiente de los niveles de ruido producidos en las áreas de trabajo de la empresa "DANILACT". Ahora teniendo en cuenta el bajo consumo de potencia lo cual caracteriza el funcionamiento de los equipos en consideración, la vida útil de los mismos incrementa teniéndose un promedio de varios años de un trabajo autónomo sin necesidad de la inspección directa de un técnico o ingeniero.

También la importancia que radica el análisis de los niveles de ruido en ambientes industriales hace posible la implementación de la red de sensores en cuestión no solo en la empresa en consideración; si no en ambientes industriales que presenten incidencia alta de máquinas, generadores, turbinas y procesos que generen niveles de ruido altos [12]

2.2 Localización del proyecto

Dentro de la localización del proyecto se definen las variables que determinan el lugar donde el proyecto logra la máxima utilidad o el mínimo costo. De esta manera teniendo en

cuenta la disponibilidad del terreno, mano de obra y capital se determina la mejor solución para la implementación de la red de sensores dentro del aérea determinada. Se considera la distribución de 3 sensores recolectores y un nodo central o estación base la cual se encargará de recolectar los datos tomado por los sensores y hacer el papel de Gateway para enviar estos datos a sistemas externos para el posterior procesamiento de datos.

Hay que tener en cuenta que la red WSN a implementarse se caracteriza por lograr un despliegue de sus equipos en lugares hostiles debido a que mantiene un funcionamiento autónomo una vez efectuada su implementación. También hay que considerar que la red mantendrá una comunicación mediante el motor de protocolo de banda base integrada enhanced shockburst; de este modo los requerimientos de algún tipo de monitoreo se pueden efectuar de manera remota [12]

Ahora, teniendo en cuenta la zona de análisis para el monitoreo de los eventos acústicos y con el objetivo de determinar aquella localización que maximice la rentabilidad del proyecto se toman en cuenta alternativas como la ejecución de encuestas con el personal gerencial, administrativo y operativo de la empresa “Lácteos Daniela” con el fin de determinar la ubicación más adecuada de cada uno de los equipos a instalarse y lograr el monitoreo de las zonas de interés. También hay que considerar cada uno de los criterios técnicos adecuados con el fin de salvaguardar la vida útil de los equipos, de este modo se requiere precautelar cada uno de los equipos con las protecciones adecuadas de modo que se garantice un funcionamiento correcto de la red de sensores inalámbrica [12].

2.2.1 Mapa de macro localización



Figura 3.3.1. Mapa de macro localización de la empresa elegida. Fuente: Autor

Se considera el análisis del mapa de macro localización, el cual se refiere a la ubicación de la macrozona dentro de la cual se establecerá el monitoreo de los niveles de ruido.

Como se puede apreciar en Figura 3.3.1, la ubicación de la empresa DANILACT. se encuentra en la parroquia de Aloasí perteneciente al cantón Mejía.

Una vez definida la macro localización se requiere considerar una micro localización la cual definirá la mejor alternativa de instalación dentro de la macrozona elegida, de este modo se toma en cuenta aquellas áreas de interés tanto por el personal operativo, administrativo como técnico para el despliegue de la red de sensores inalámbrica.

2.3 Ingeniería del proyecto

2.3.1 Descripción de los equipos y especificaciones técnicas

Arduino UNO

Placa electrónica basada en el procesador Atmega328, presenta 14 pines digitales de entrada/salida, de las cuales 6 son salidas PWM (Pulse With Modulation) las cuales permiten la generación de salidas analógicas desde pines digitales. Dispone de un oscilador cerámico de 16 MHz, una conexión USB, una cabecera ICSP, un botón de reinicio y un conector de alimentación Jack [14] [15]

La alimentación de la placa Arduino UNO dispone de una selección automática y puede ser provista ya sea mediante una conexión USB o a través de una fuente de alimentación externa ya sea un adaptador de AC-DC o una batería. Teniendo en cuenta el contexto medioambiental y el cuidado que el ecosistema requiere se determina el uso de un adaptador AC-DC con un enchufe de 2.1 mm, de centro positivo y el rango recomendable de voltaje de suministro a la tarjeta es de 7 a 12 voltios DC con el fin de evitar inestabilidades en los voltajes de los pines de la placa tal y como se puede observar en Tabla 2.3.1.1 [14][15][16].

Tabla 2.3.1.1. Características de la placa Arduino UNO [14] [15]

| Parámetros | Descripción |
|------------------------------------|------------------------|
| Microcontrolador | ATmega328 |
| Voltaje de funcionamiento | 5 V |
| Voltajes recomendados de entrada | 7-12 V |
| Voltajes límites de entrada | 6-20 V |
| Pines digitales de entrada /salida | 14(6 para salidas PWM) |
| Pines de entrada analógicos | 6 |

| | |
|--|--|
| Corriente DC por los pines de entrada/salida | 40 mA |
| Corriente DC para Pin 3.3 V | 50 mA |
| Flash Memory | 32 kB, 0.5kB se emplean para el arranque |
| SR AM | 2kB |
| EEPROM | 1kB |
| Velocidad de reloj | 16 MHz |

Nota: Se especifican parámetros significativos del dispositivo Arduino UNO [14][15]

Arduino mantiene su propio lenguaje de programación, dispone de un cargador de arranque el cual le permite cargar nuevo código. “La comunicación se realiza empleando el protocolo STK500” [14]

Módulos de comunicación inalámbrica NRF24L01

El módulo NFR24L01 se considera un módulo transceiver de radio de un solo chip diseñado para trabajar en la banda ISM de licencia libre de 2.4 GHz. El bajo costo que mantiene el módulo permite el enlace de una comunicación a altas velocidades (hasta 2 Mbps) con un consumo de potencia extremadamente bajo (corriente del receptor de 12.5 mA) [4].

El transceiver se encuentra compuesto de las siguientes partes [4]:

- Un sintetizador completo de frecuencia integrado
- Un amplificador de potencia
- Un oscilador de cristal
- Un demodulador
- Un modulador
- El motor de protocolo Enhanced Shockburst

Adicionalmente, el módulo NRF24L01 también ofrece una innovadora solución de hardware en chip llamado “Multiceiver” que soporta la comunicación inalámbrica de hasta 6 dispositivos de manera simultánea. En la Tabla 2.3.1.2 se presentan algunas especificaciones técnicas del módulo en estudio [3][4].

Tabla 2.3.1.2. Especificaciones técnicas del módulo Nrf24L01 [4]

| | |
|-------------------------------|-------------|
| Modelo del Transceiver | nRF24L01 |
| Frecuencia | 2.4 GHz |
| Voltaje de entrada | 1.9 – 3.6 V |
| Modulación | GFSK |

| | |
|---|---|
| Velocidad de datos | 250 kbps, 1 Mbps y 2 Mbps |
| Corriente de salida (transmisor) | 11.3 mA a 0dBm |
| Corriente de salida (receptor) | 13.5 mA a 2 Mbps |
| Sensibilidad | -82 dBm at 2 Mbps -85 dBm at 1 Mbps -94 dBm at 250 kbps |
| Temperatura de operación | -40 a +85 grados centígrados |
| Dimensiones | 2.9x1.5x1.2 cm |

Nota: Se enlistan las especificaciones técnicas más relevantes del módulo de transmisión inalámbrica nRF24L01 [4]

El módulo de comunicación inalámbrica NRF24L01 presenta 8 pines con su correspondiente función, tal y como se muestra en Figura 2.3.1.1.

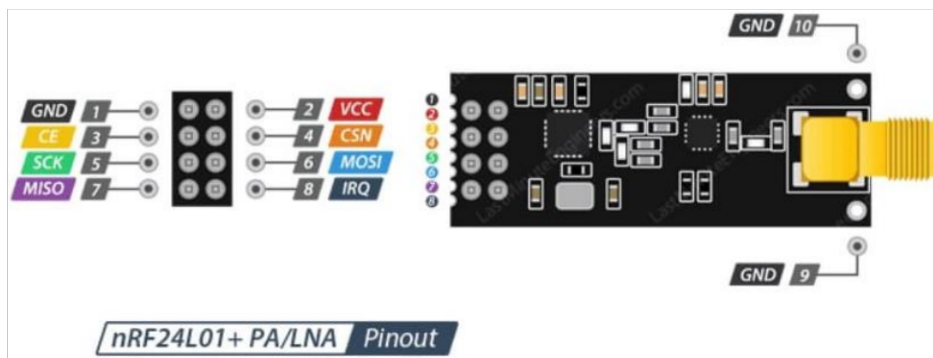


Figura 2.3.1.1. Modulo nRF24L01.[17]

Como se mencionó cada uno de los pines cumple una función específica en el proceso de transmisión o recepción de datos, de esta manera para entender mejor el funcionamiento de este equipo se detalla la funcionalidad de cada uno de los pines [4][17].

- GND: pin de referencia a tierra.
- VCC: suministro de energía el cual se encuentra en el rango de 1.9-3.9 V.
- CSN (Chip Select not): pin activo bajo, normalmente se mantiene en alto, si cambia su estado el dispositivo comienza a escuchar en puerto SPI los datos y por lo tanto los procesa.
- SCK (Serial Clock): Acepta los pulsos de reloj enviados por el maestro del bus SPI.

- CE (Chip Enable): pin activo alto, dependiendo del modo en el que se encuentre, el módulo transmitirá o receptara datos.
- MOSI: Entrada de datos para el maestro, salida de datos para el esclavo.
- MISO: Salida de datos para el maestro, entrada de datos para el esclavo.
- IRQ: Pin de interrupción, puede alertar al maestro cuando hay nuevos datos disponibles para procesar.

Raspberry Pi 3 modelo B +

Se considera un miniordenador de precio bastante accesible, desarrollada en reino unido con el objetivo principal de fomentar la enseñanza de ciencias de computación en escuelas. Se pueden desarrollar proyectos muchos más complejas que con Arduino y es posible el uso de lenguajes de alto nivel como Python, C ++ y Java [15].



Figura 2.3.1.2. Raspberry Pi 3 modelo B + [15]

Un dispositivo raspberry presenta las siguientes ventajas [15]:

- Bajo consumo de potencia.
- Bajo precio.
- Tamaño reducido, puede llegar a ser un poco más grande que una tarjeta de crédito.
- Gran potencia debido a su capacidad para procesar videos.
- Versatilidad en el uso de programas que se puede disponer en Linux, ejemplo de ellos están: apache, samba, mysql, transmisión, xbmc, etc.
- Accesorios de fácil disponibilidad.
- Gran comodidad debido a que cuenta con una variedad de usuarios y muchos proyectos de toda índole.

El diagrama de pines de equipo se puede visualizar en Figura 2.3.1.3, mismo que será de gran ayuda para la implementación del hardware lo cual se detallará en apartados posteriores [15][18].

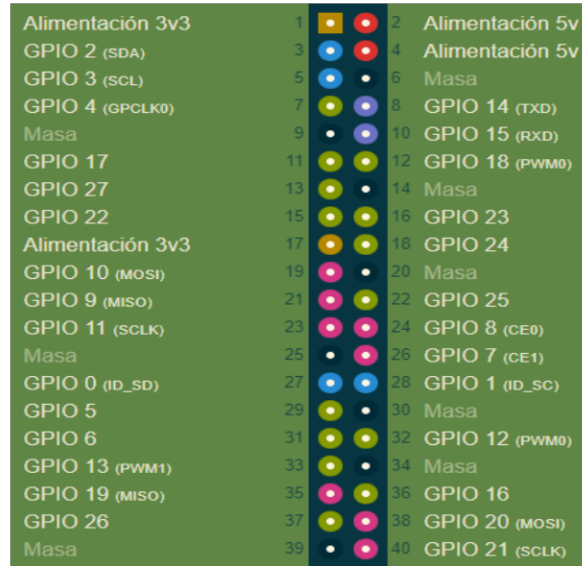


Figura 2.3.1.3. Diagrama de Pines Raspberry Pi modelo B +. [18]

Sensor de sonido MAX-9814

Debido a la amplia oferta de sensores y al difícil acceso a los mismos se determina un análisis del sensor MAX-9814. Dicho sensor mantiene precios mucho más bajos que sensores previamente analizados oscilando estos entre los 8 y 15 dólares americanos, sin embargo, para el caso en cuestión se debe considerar las características técnicas que permitan la recolección de los datos de presión sonora de manera íntegra [19].

El sensor de sonido MAX-9814 se define como un micrófono amplificador de alta calidad con control automático de ganancia (Automatic Gain Control, AGC) y polarización de bajo ruido, integra un sistema el cual le permite manejar fenómenos de saturación ante la presencia de volúmenes altos o picos repentinos, es decir, los valores que recolecte el sensor serán más fiables ante la presencia de cambios rápidos de volumen y dispondrá de un margen de valores para volúmenes altos [20]



Figura 2.3.1.4. Sensor MAX 9814 [19]

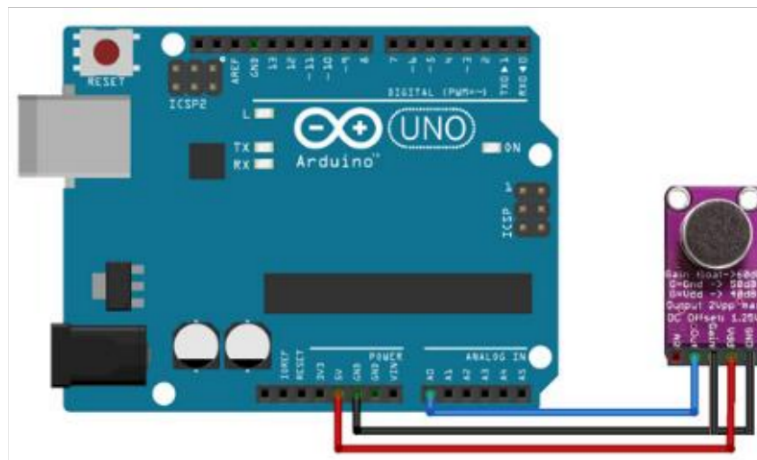


Figura 2.3.1.5. Conexión del sensor de sonido a la placa Arduino UNO [21]

2.3.2 Selección y preparación de los equipos

Teniendo en cuenta las características, costos y la disponibilidad en el mercado de los equipos previamente analizados, en cuestión a la toma de datos de ruido iniciales, el sensor MAX-9814 se determina como una elección prometedora debido a sus características relacionadas con el control automático de ganancia, polarización de bajo ruido y costo [20][21].

Hay que considerar la conexión del pin Gain del sensor MAX-9814 a tierra ya que se dispone de una sensibilidad intermedia del sensor. La máxima sensibilidad si bien pareciera la elección más idónea produce que el sensor se sature más rápido, sin embargo, dicha característica se analizara en el desarrollo del documento [20] [22].

De esta manera en base al diagrama de conexiones presentado en Figura 2.3.1.5, se inicia el proceso de pruebas para determinar el código de programación necesario que permita la apreciación de los datos que el sensor se sonido toma del ambiente, dichos datos

deberán contrastar previo a una calibración por software; con la intensidad de sonido en dBA que mide el equipo sonómetro UNI-T UT353 y teniendo en cuenta un error relativo porcentual menor al $\pm 5\%$ en los datos tomados por los equipos. Las características técnicas del equipo UNI-T UT353 se pueden analizar al final del documento en el anexo IV.

La intensidad de sonido en dB (A) puede ser obtenida a través de la intensidad de sonido en dB sumado un valor conocido como filtro de ponderación “A” el cual corrige el nivel sonoro de cada sonido con el fin de poder expresar la sonoridad o sensación sonora producida a una determinada frecuencia [23].

La intensidad de sonido en dB puede ser calculada mediante la implementación de la herramienta matemática FFT o Transformada rápida de Fourier caracterizada por mantener un ahorro en el cálculo de las operaciones que se efectúa para la obtención de los coeficientes complejos de Fourier, de este modo se mejora la eficiencia en el sistema debido al ahorro de memoria y rapidez en la obtención de los espectros de amplitudes de una determinada señal de entrada [24].

Por otro lado, para la inserción del valor que tome lugar del filtro de ponderación A, el cual es un parámetro en función de la frecuencia se hace uso de la ecuación 1, misma que presenta el comportamiento mostrado en Figura 2.3.2.1 [25]

$$P(f) = 2 + 20 \log_{10} \left(\left(\frac{12200^2 * f^4}{(f^2 + 20.6^2) * (f^2 + 12200^2) * \sqrt{(f^2 + 107.2^2) * (f^2 + 737.9^2)}} \right) \right) \quad (1)$$

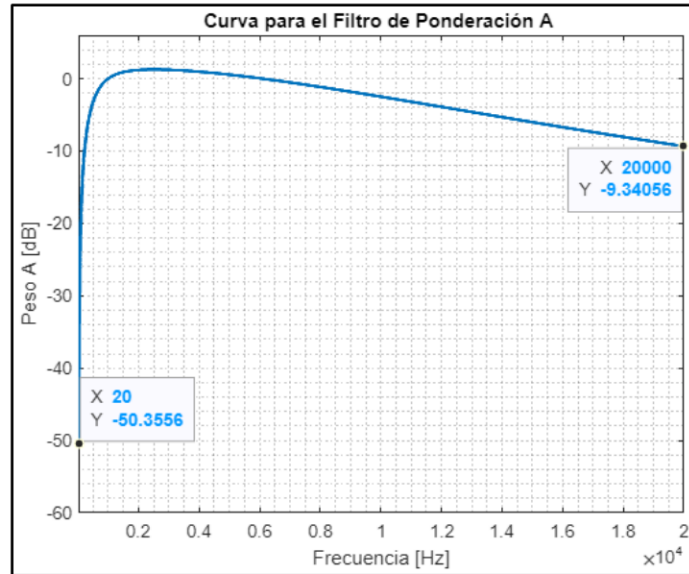


Figura 2.3.2.1. Comportamiento de la curva del Filtro de Ponderación A. Fuente: Autor

A partir de Figura 2.3.2.1 se puede deducir el comportamiento del filtro para frecuencias entre 20 y 20kHz siendo este el rango audible del ser humano. En Figura 2.3.2.1 se presentan pesos de ponderación positivos para frecuencias entre 1kHz y 6.1kHz y pesos negativos para otros casos.

2.3.3 Proceso de calibración

Una vez añadido el peso de ponderación A para los valores de decibeles estimados a partir de la herramienta FFT y que se implementa en un script en Arduino presente en el ANEXO I, se procede a la calibración de los datos en dBA tomados por parte de los nodos sensores. La calibración propuesta se la lleva a cabo en el nodo recolector a través del uso de código de programación o software, específicamente empleado dos lazos “for” y sentencias if anidadas. Sin embargo, inicialmente la implementación del proceso de calibración se lleva a cabo desde un nodo sensor ya que no es necesario una transmisión de datos, estos pueden ser visualizados directamente desde el monitor serie de la interfaz de Arduino. Cabe mencionar que el código de calibración inicial se lo presenta dentro de la estructura del ANEXO I.

Para comenzar el proceso de calibración de los nodos sensores se procedió de la siguiente manera:

1. La adquisición de un Sonómetro marca UNIT-T UT353 cotizada por la empresa ELICROM dedicada a la venta de equipos de laboratorio, instrumentación y procesos de medición [26].
2. La disponibilidad de una fuente de sonido con potencia máxima de 15000 mW correspondiente a un amplificador marca Primer American Classic GA-158C y un generador de señales de frecuencia variable (Matlab).
3. La preparación de un ambiente cerrado libre de perturbaciones externas teniendo en cuenta una disposición de la fuente de sonido a una distancia de 3 metros respecto al nodo sensor o mota.

Una vez llevado a cabo los pasos previamente descritos, se preparó una hoja de Excel de modo que se permita el registro de los datos de intensidad de sonido emitido por la fuente para un rango de frecuencias de 50 a 4000 Hz tanto por parte del nodo sensor implementado como por el sonómetro UNIT-UT353. De hecho, con la ayuda de un script en Python se logró determinar la tendencia de los datos tomados, de manera que en Figura 2.3.2.2 se exponen los resultados.

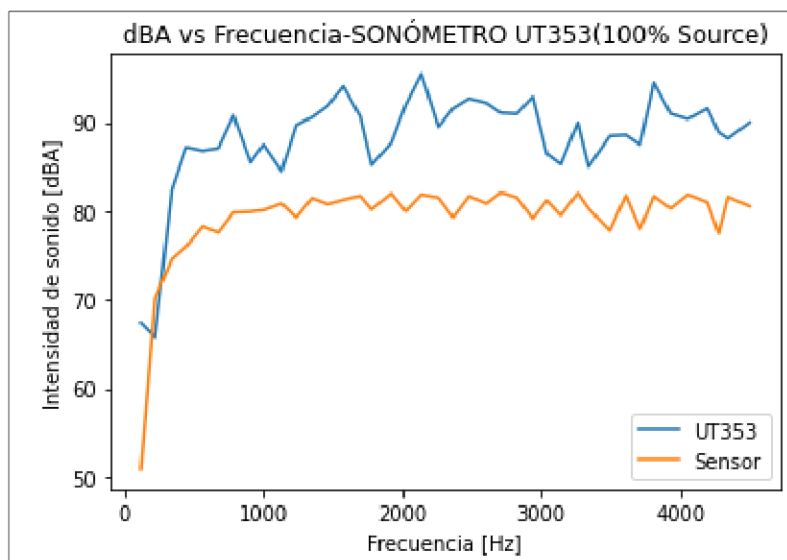


Figura 2.3.2.2 Gráfica de Intensidad de sonido en dBA vs Frecuencia en Hz. Fuente: Autor

Se puede notar en Figura 2.3.2.2 la correspondencia de la curva tomada a los datos tomados por parte del nodo sensor diseñado y la curva en color azul corresponde a los datos tomados por el sonómetro UT353. Se encuentra una cierta tendencia por parte de las dos curvas de modo que a los datos tomados por parte del nodo sensor se requiere añadir un vector de compensación el cual por simple inspección se definiría como la

diferencia entre los datos tomados por parte del sonómetro UT353 y los datos adquiridos por el sensor diseñado.

De esta manera para lograr corregir los valores de intensidad de sonido en dBA adquiridos por el nodo sensor diseñado se añaden los valores del vector de compensación para un rango de frecuencia determinado. En figura 2.3.2.3 se puede observar el resultado de implementar el proceso de calibración descrito, como se puede apreciar a diferencia de los resultados mostrados por la Figura 2.3.2.2 la tendencia de las dos gráficas es más parecida, de esta manera se logra obtener un error bajo, pero no menor al 5 %.

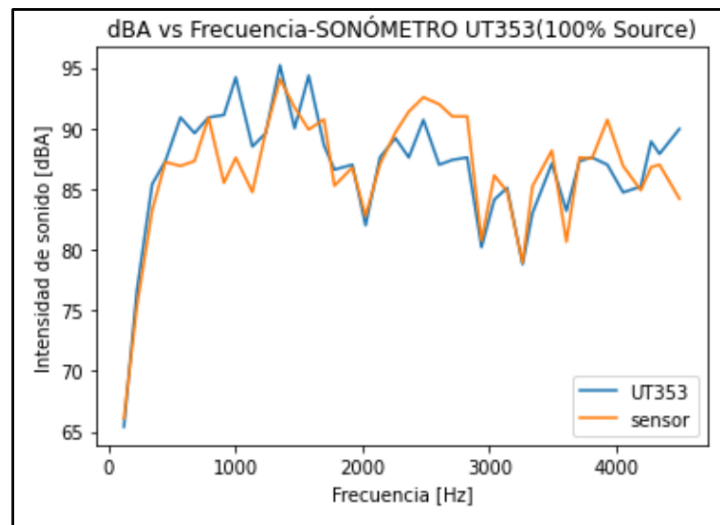


Figura 2.3.2.3. Gráfica de Intensidad de sonido en dBA vs Frecuencia en Hz. Fuente: Autor

Desde esta perspectiva se requiere de un proceso de recalibración, es decir se necesita volver a tomar datos de intensidad de sonido e ir compensando los valores del vector de compensación en las posiciones en donde los errores superan el 5%. En Figura 2.3.2.4 se puede apreciar el resultado final en la toma de datos por parte de ambos equipos luego del proceso de calibración teniendo en cuenta las correcciones efectuadas en el vector de compensación.

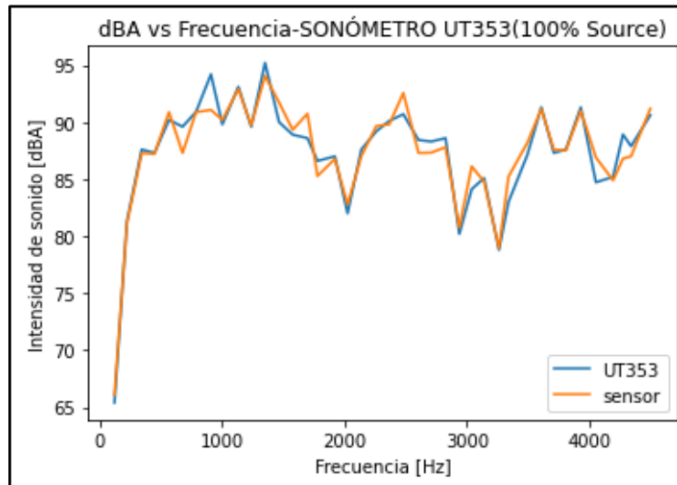


Figura 2.3.2.4. Gráfica de Intensidad de sonido en dBA vs Frecuencia en Hz. Fuente: Autor

Hay que recalcar que todo este proceso se efectuó con la ayuda de un script implementado en Google Colaboraty de manera que el error relativo porcentual sea menor que $\pm 5\%$ [27]

2.3.4 Transmisión y recepción de datos

Ahora, para la transmisión y recepción de los datos, se requiere de la preparación del hardware a emplearse tanto como para el par de nodos sensores como para el nodo recolector.

Para ello se considera la implementación de las conexiones necesarias en base a los diagramas presentados en Figura 2.3.1.1 y Figura 2.3.1.3 tanto como con la guía de pines de conexión mostrada en Tabla 2.3.4.1.

Tabla 2.3.4.1. Guía para conexiones de pines del módulo transmisor inalámbrico NRF24L01 con los nodos sensores y nodo recolector [17][18]

| nRF24L01 | | Raspberry Pi B+ | Arduino Uno |
|----------|------|-----------------|-------------|
| Pin | #Pin | #Pin | |
| GND | 1 | 9 | GND |
| VCC | 2 | 1 | 3V3 |
| CE | 3 | 29 | D9 |
| CSN | 4 | 24 | D10 |
| SCK | 5 | 23 | D13 |
| MOSI | 6 | 19 | D11 |
| MISO | 7 | 21 | D12 |
| IRQ | 8 | - | - |

Nota: Se enlistan los pines utilizados para la implementación del dispositivo de transmisión inalámbrica en los nodos sensores y nodo recolector [17][18].

Una vez preparado el hardware de los dispositivos que constituyen la red de sensores inalámbrica a diseñarse, se procede a la preparación del software o scripts que permitan la transmisión de los datos tomados por 2 nodos sensores y la recepción de estos por parte de un nodo recolector o nodo sink con capacidad de calibrar los datos almacenados temporalmente y enviarlos hacia la base de datos en la nube llamada Influxdb cloud.

En primera instancia para efectuar las tareas mencionadas se requiere de librerías necesarias tanto para el equipo Arduino como para la Raspberry, en el caso del equipo Arduino Uno se emplea la librería nRF24 la cual se la puede descargar de un repositorio en GitHub [28]. Posteriormente se procede a añadir la librería al entorno de programación de Arduino uno.

Por otro lado, para efectuar las configuraciones en el dispositivo recolector (Raspberry Pi B+) se requiere del acceso al mismo, esto se puede llevar a cabo de manera remota a través de una aplicación ya sea móvil o de escritorio, una de ellas es “VNC (Virtual Network Computing) Viewer”, sin embargo, se puede tener inconvenientes al momento de querer acceder al equipo y no disponer de una red de internet activa. Otra alternativa para poder acceder a la Raspberry Pi y efectuar las configuraciones necesarias para ejecutar el proceso de recepción de datos es a través del protocolo de acceso remoto ssh, un cable de red y el software MobaXterm. Cabe mencionar que para activar el protocolo SSH se tuvo que acceder remotamente vía VNC a la Raspberry.

Por último, se debe de la activar la interfaz serial SPI para posteriormente proceder a la instalación de la librería NFR24 en el nodo sink [29].

El acceso a la Raspberry Pi B+ a través del protocolo ssh y el cable de red se presenta en Figura 2.3.4.1.

```
login as: pi
pi@raspberrypi.local's password:

• MobaXterm Personal Edition v22.0 •
(SSh client, X server and network tools)

> SSH session to pi@raspberrypi.local
• Direct SSH : ✓
• SSH compression : ✓
• SSH-browser : ✓
• X11-forwarding : ✓ (remote display is forwarded through SSH)

> For more info, ctrl+click on help or visit our website.

Linux raspberrypi 5.10.63-v7+ #1459 SMP Wed Oct 6 16:41:10 BST 2021 armv7l

The programs included with the Debian GNU/Linux system are free software;
the exact distribution terms for each program are described in the
individual files in /usr/share/doc/*/copyright.

Debian GNU/Linux comes with ABSOLUTELY NO WARRANTY, to the extent
permitted by applicable law.
Last login: Fri May 27 12:17:14 2022
pi@raspberrypi:~ $
```

Figura 2.3.4.1. Acceso vía SSH al nodo recolector. Fuente: Autor

Una vez instaladas las librerías se procede a la configuración del código del ANEXO II de tal manera que se permita el envío de datos por parte de los equipos Arduino UNO a través de dos pipes distintos para cada nodo sensor, específicamente se configuró el pipe 0xE8E8F0F0E3 para el nodo sensor 1 y el pipe 0xE8E8F0F0E6 para el nodo sensor 2. También se toma en cuenta el canal 0x66 para el proceso de transmisión y recepción a través de la banda no licenciada de 2,4 GHz. Hay que considerar los mismos números de pipes y de canal configurados en los nodos sensores ya que tienen que ser incluidos en el script correspondiente para la recepción de datos y que será implementado en el dispositivo raspberry pi B+ [1][2][3].

Los códigos o scripts que se configuran en los nodos sensores difieren en el contenido de los datos que se envían tanto como en el número de pipe para la transmisión de datos. El tipo de dato que se envía hacia el nodo recolector es un array de caracteres el cual inicialmente se lo declara como un String, dato que almacena la potencia no calibrada en dBA, frecuencia y un identificador que distingue a cada nodo sensor. Una vez que el dato a enviar se almacena en un String se calcula su longitud para posteriormente preparar el buffer o array de caracteres y proceder a almacenarlo en esta estructura de dato. Finalmente se emplea la instancia `radio.write(&texto,sizeof(texto))` para efectuar el envío hacia el receptor. El símbolo “&” establece un indicador que apunta a la variable que

contiene los datos que se quiere enviar (texto), con el segundo argumento se establece la cantidad de bytes que va a usar dicha variable [30].

2.3.5 Recepción y almacenamiento inicial de datos

Para efectuar el proceso de recepción y almacenamiento de datos, se considera el uso de los scripts implementados en Python y presentados en el ANEXO III. En ellos se detalla la implementación de una recepción simultánea de datos configurando 2 pipes dentro de una lista de dos dimensiones, dichos pipes necesariamente deben coincidir, con los considerados en los nodos sensores. Se configura el tamaño del payload en 32 bytes, una velocidad de datos de 1 Mbps, un nivel de amplificación de potencia mínimo, también se tiene que ejecutar la apertura del pipe definido para cada uno de los nodos con el fin de realizar la escritura de datos. Mediante la función `radio.printDetails()` se puede visualizar los detalles básicos de la radio como pipes, canal, velocidad, nivel de amplificación de potencia, el uso del CRC activado el cual es un mecanismo de detección de errores; como se muestra en Figura 2.3.5.1.

```
STATUS      = 0x0e RX_DR=0 TX_DS=0 MAX_RT=0 RX_P_NO=7 TX_FULL=0
RX_ADDR_P0-1 =
0xe8e8f0f0e3 0xe8e8f0f0e6
RX_ADDR_P2-5 =
0xc3
0xc4
0xc5
0xc6

TX_ADDR     =
0xe7e7e7e7e7
RX_PW_P0-6 =
0x20
0x20
0x00
0x00
0x00
0x00

EN_AA      =
0x00

EN_RXADDR  =
0x03

RF_CH      =
0x66

RF_SETUP   =
0x01

CONFIG     =
0x0c

DYNPD/FEATURE =
0x3f
0x06

Data Rate  = 1MBPS
Model      = nRF24l01+
CRC Length = 16 bits
PA Power   = PA_MIN
```

Figura 2.3.5.1. Detalles básicos del módulo transmisor inalámbrico. Fuente: Autor

Ahora, en el primer script se resalta la creación de dos listas vacías y la importación de la librería “csv” para poder almacenar temporalmente los datos de potencia enviados por ambos nodos en archivo con extensión .csv el cual básicamente se compone de una lista de dos dimensiones [29][31].

A través del uso de la sentencia “try-except” en combinación con la sentencia “raise” se logra limitar el número de datos que el nodo recolector almacena temporalmente en memoria. Es decir, una vez alcanzado la recepción límite del número de datos configurados, se activa la excepción “KeyboardInterrupt” en el bloque try, esto obliga al programa a llegar al bloque “except” quien actúa en base a la excepción generada parando la adquisición y almacenamiento de datos. Finalmente se llama al script “calibrar.py” que ejecuta la calibración por software y el proceso de subir a la base de datos InfluxdbCloud los datos de los dos nodos sensores adquiridos y almacenados en un archivo con extensión .csv.

2.3.6 Escritura de datos en la nube Influxdb cloud y almacenamiento final

Como se mencionó en párrafos anteriores, los datos serán almacenados temporalmente en un archivo con extensión .csv y se consideran dentro del proceso calibración que se lleva a cabo en el script “calibrar.py”, de esta manera se crea un nuevo archivo .csv el cual almacena los datos calibrados y que serán considerados para subirlos a la base de datos InfluxdbCloud.

Para poder tener acceso al servidor en la nube Influxdb cloud se requiere ingresar a la página de inicio de sesión y proceder a crear una cuenta, esto se efectúa de manera sencilla mediante el ingreso de información personal como: email, nombre, apellido y contraseña [32][33].

Una vez creada la cuenta se efectúa una verificación mediante el email ingresado, y posteriormente se selecciona el proveedor y región en la cual se almacenarán los datos, en este caso se elige un servidor de AWS ubicado en US West (Oregon) como se visualiza en Figura 2.3.6.1, por último, se selecciona el nombre de una compañía y se aceptan las condiciones de uso [34].

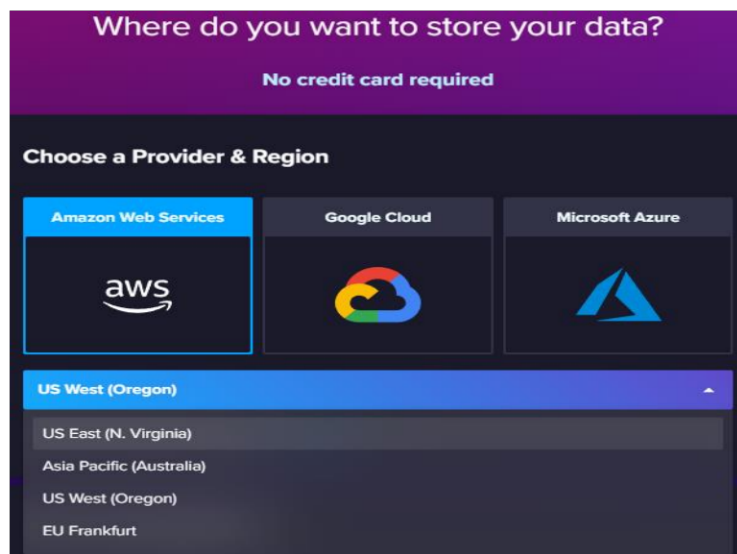


Figura 2.3.6.1. Selección del servidor para almacenamiento de datos [34]

Una vez seleccionado el servidor AWS se procede a elegir el tipo de cuenta, en Figura 2.3.6.2 se aprecian 3: basado en uso, gratis y anual. Se considera inicialmente el uso de la cuenta gratis para ejecutar las pruebas iniciales ya que permite un almacenamiento de hasta 10 000 datos los cuales serán almacenados durante un lapso de 30 días [34]

También se considera importante saber que en la base de datos Influxdb cada dato escrito y que fue recopilado por la red de sensores inalámbrica implementada se considera una “serie” la cual se define como una colección de puntos que comparten una medida, un conjunto de etiquetas (tag set) y una clave de campo (field key) [35].

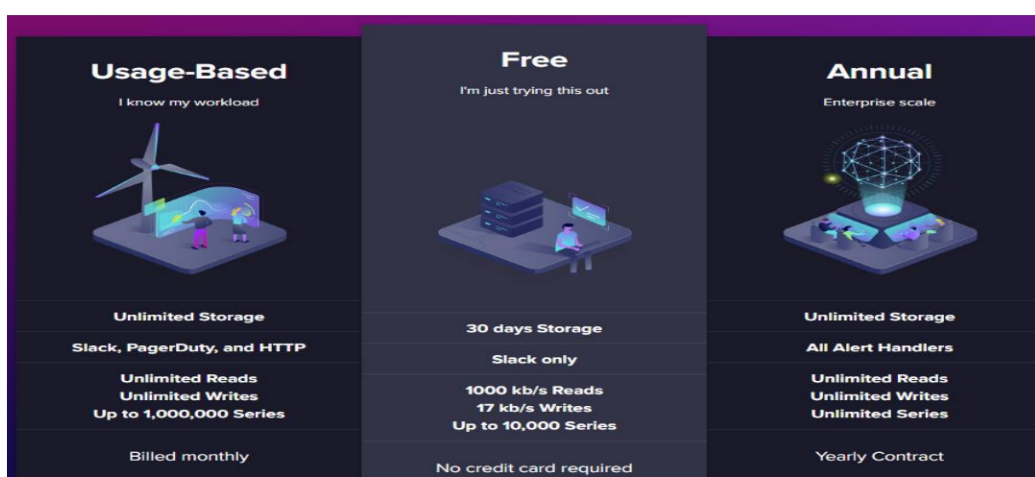


Figura 2.3.6.2. Tipos de cuentas para Influxdb cloud. [34]

En Figura 2.3.6.3 se visualiza la página inicial de la interfaz gráfica de la base de datos Influxdb Cloud la cual presenta como opción el uso del lenguaje de programación de Python para la escritura y consulta de datos, al ingresar en el icono mencionado se presentarán

varias opciones que se recomienda seguir las cuales permiten la escritura de los datos en un Bucket o balde creado, estas opciones se presentan en Figura 2.3.6.4 [34].

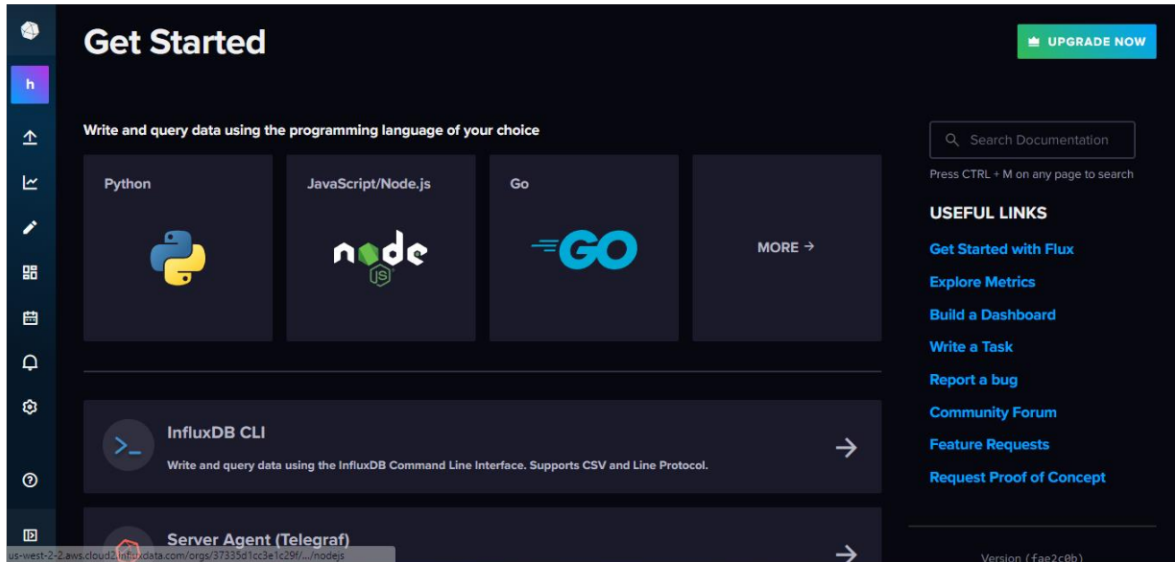


Figura 2.3.6.3. Interfaz gráfica de Influxdb cloud. [34]

Lo primero que se necesita es instalar el módulo `influxdb-client` ejecutando el siguiente comando en la terminal de la Raspberry pi B+:

```
pip3 install influxdb-client
```

Luego se efectúa la creación del token mediante el uso de la sentencia “`export`”. El token se considera una herramienta empleada por `influxdb cloud` para autenticar el acceso a la API y proceder a la escritura de datos, si no se dispone el valor del token configurado en la base de datos `influxdbcloud` el servidor denegará el acceso a la escritura de datos [34].

Posterior a ello, se inicializa el cliente a través del comando:

```
influxdb_client.InfluxDBClient(url=url, token=token, org=org),
```

teniendo en cuenta los módulos y librerías necesarios, token, organización, y url del servidor de la base de datos. Luego se procede a la creación del bucket en donde se almacenarán los datos y finalmente ejecutar la escritura de estos. Hay que recalcar que como organización se configuró el correo electrónico con el cual se creó la cuenta en `Influxdb cloud` [34]

La escritura de datos se inicia considerando el bucket creado y el comando:

```
client.write_api(write_options=SYNCHRONOUS),
```

el cual considera una escritura sincrónica de los datos. A partir de ello con el uso de la instancia Point del módulo “`influxdb_client`” se debe crear una estructura de datos tipo tupla

la cual almacene los datos a escribirse en el bucket creado teniendo en cuenta una etiqueta y un campo [32][34].

Finalmente, con el uso del comando:

```
write_api.write(bucket=bucket, org="hardj94@hotmail.com", record=point)
```

se escriben os datos en la API de Influxdb cloud [33]

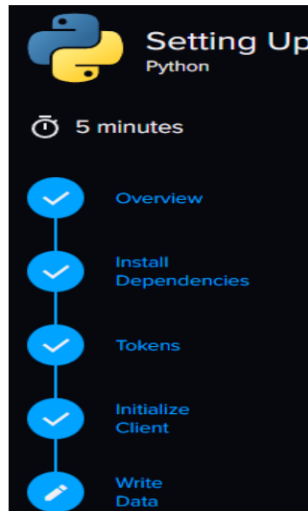


Figura. 2.3.6.4. Configuración para escritura de datos en Influxdb Cloud con script de Python.[33]

Todos los pasos que se muestran en Figura.2.3.6.4. se efectúan en el script llamado “calibrar.py” y que es presentado en el ANEXO III.

De esta manera los datos recolectados por el nodo sink podrán ser almacenados y presentados dentro de una base de datos manejada a través de una API dispuesta con una Interfaz gráfica amigable para el usuario y presentada en Figura 2.3.6.5.

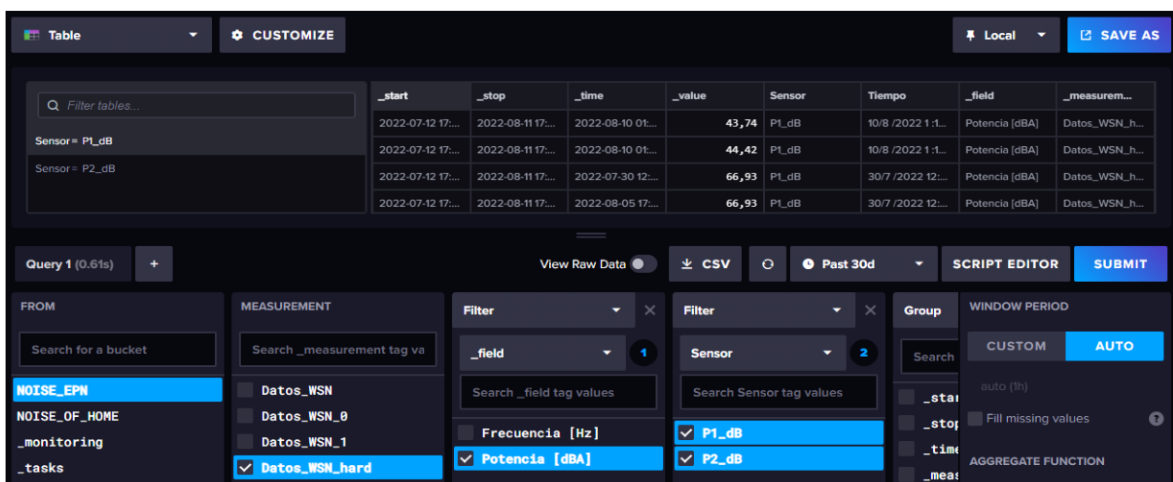


Figura. 2.3.6.5. Interfaz gráfica de API Influxdb cloud para presentación de datos. Fuente:

Autor

Mediante la API de influxdb cloud se puede visualizar a través de una tabla u otra herramienta; los datos que fueron escritos en la base de datos, como se puede observar en Figura 2.3.6.5 es posible el filtrado de datos teniendo en cuenta un filtro o un grupo, de esta manera es posible visualizar los datos adquiridos por la red de sensores inalámbrica diseñada. Si se requiere de un posterior procesamiento de los datos por ejemplo para determinar que niveles de ruido podrían causar daños a la salud auditiva a una persona en una determinada área o zona industrial de una empresa se puede hacer uso de la opción para descargar la base de datos almacenada en un archivo con extensión .csv.

Otras de las opciones de presentación interesantes que posee el DataExplorer de Influxdb cloud para la visualización de los datos escritos son: el mapa de calor y el histograma. Estas opciones pueden mostrar resultados como los de la Figura.2.3.6.6 y Figura 2.3.6.7 [32][33]

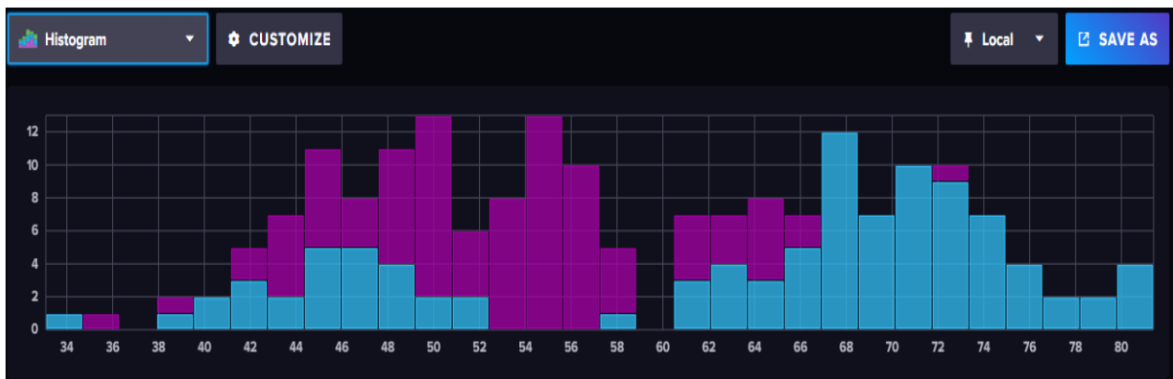


Figura.2.3.6.6. Mapa de calor e Histograma de consultas efectuadas en Influxdb cloud.

Fuente: Autor

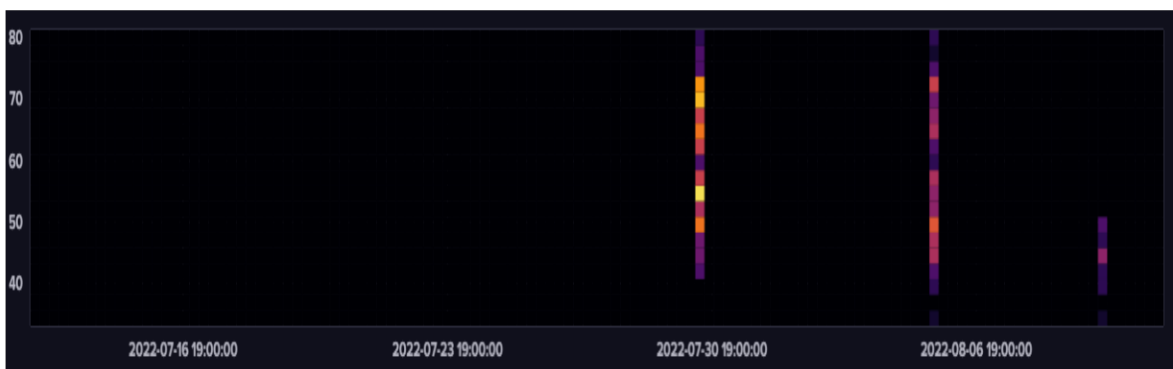


Figura.2.3.6.7. Mapa de calor de consultas efectuadas en Influxdb cloud. Fuente: Autor

Se debe considerar que se ha configurado para cada dato almacenado en influxdb cloud una longitud máxima de 60 bytes, lo cual se configura en el script presentado en el ANEXO III al momento de definir el payload dinámico que se establece entre una longitud de 30 y

60 bytes. Para corroborar lo mencionado se han efectuado pruebas del funcionamiento de la red de sensores inalámbrica teniendo en cuenta una recepción de 15, 33, 66 y hasta 600 datos enviados por dos nodos sensores. Una vez ejecutada la tarea de almacenamiento del archivo con extensión.csv, se verifica el tamaño de este y su tamaño en el disco, obteniéndose la siguiente tabla.

Tabla 2.3.6.1. Tamaño del archivo y memoria en disco de los datos almacenados en el nodo recolector. Fuente: Autor

| Número de datos | Tamaño del archivo .csv [kBytes] | Tamaño del archivo ocupado en disco [kBytes] | Tamaño de un dato recibido [Bytes] | Tiempo de escritura en influxdb cloud [seg] |
|------------------------|---|---|---|--|
| 15 | 0.834 | 4 | 55.60 | 20.78 |
| 33 | 1.8 | 4 | 54.54 | 42.35 |
| 66 | 3.656 | 4 | 55.39 | 80.63 |
| 99 | 5.479 | 8 | 55.34 | 120.00 |
| 200 | 10.027 | 12.28 | 50.13 | 242.45 |
| 400 | 19.99 | 20.48 | 50.00 | 479.55 |
| 600 | 30.106 | 32.768 | 50.16 | 722.08 |

Se determina en base a la Tabla 2.3.6.1 que el tamaño de un dato recibido no supera los 60 bytes configurados en el nodo recolector, este mantiene un tamaño aproximado de 55 bytes. Ahora, con el fin de determinar el máximo número de datos que podría almacenar el dispositivo recolector previo a la escritura de estos en la base de datos, se debe considerar el tamaño en disco ocupado por el archivo almacenado temporalmente y el tamaño disponible del dispositivo recolector. En Figura 2.3.6.8 se observa el resultado de ejecutar el comando `df -h --total` en el terminal de la raspberry pi, aquí se corrobora el tamaño disponible el cual es de 23 GBytes, de esta manera el número de datos almacenados sería calculado en base a la relación existente del tamaño disponible del dispositivo recolector respecto al tamaño máximo de un dato recibido; es así que se obtienen 383 333 333.3 datos que podrían ser almacenados, sin embargo cabe recalcar que este almacenamiento es temporal debido a que al terminar la tarea de escritura en la base de datos influxdb cloud este archivo es borrado mediante unas pocas líneas de programación que involucran básicamente el uso de las instancias `write()` y `writerows()` del módulo `csv` de Python.

```
pi@raspberrypi:~ $ df -h --total
S.ficheros      Tamaño Usados  Disp Uso% Montado en
/dev/root        30G    6,0G   23G  22% /
devtmpfs         333M     0   333M  0% /dev
tmpfs            462M     0   462M  0% /dev/shm
tmpfs           185M    784K   184M  1% /run
tmpfs            5,0M    4,0K    5,0M  1% /run/lock
/dev/mmcblk0p1  253M    49M   204M  20% /boot
tmpfs            93M    24K    93M  1% /run/user/1000
total            31G    6,1G   24G  21% -
pi@raspberrypi:~ $
```

Figura 2.3.6.8. Características de almacenamiento en disco ssd del dispositivo recolector

Fuente: Autor.

2.3.7 Diseño de la Estructura que alojará a los dispositivos de la red de sensores inalámbrica WSN

Con el fin de brindar protección y estabilidad a cada uno de los módulos que constituyen los dispositivos que forman parte de la red de sensores inalámbrica diseñada, se ha ingeniado un primer prototipo de estructura de alojamiento base. Como materia prima se consideran tres cajas de almacenamiento de componentes electrónicos Pro'sKit como la mostrada en Figura 2.3.7.1, y se la puede encontrar en cualquier tienda electrónica a un precio muy accesible.



Figura 2.3.7.1. Caja de almacenamiento de componentes electrónicos Pro'sKit. Fuente:

Autor

En la red implementada el nodo sensor consta principalmente de los módulos: transceptor inalámbrico NRF24L01, sensor de sonido MAX 9814 y una placa Arduino UNO mientras que el nodo recolector consta únicamente del módulo transceptor inalámbrico NRF24L01

y el dispositivo Raspberry Pi. También se tomó en cuenta la inserción de un switch y una batería de 9V Energizer para cada uno de los nodos sensores de modo que estos puedan ser desplazados teóricamente a un rango máximo de un kilómetro respecto al nodo recolector. De esta manera en Tabla 2.3.7.1 se presentan de manera detallada los componentes de cada equipo los cuales serán tomados en cuenta para la inserción dentro de la estructura de soporte y protección diseñada.

Tabla 2.3.7.1. Composición de los dispositivos de la red de sensores inalámbrica. Fuente: Autor

| | |
|-------------------------------|---|
| Nodo Sensor o Mota | Módulo transceptor inalámbrico NRF24L01 |
| | Módulo sensor de sonido MAX 9814 |
| | Placa Arduino Uno |
| | Batería de 9V Energizer de 625 mAh |
| | Switch KCD11 3A, 250V |
| | Jack para batería de 9V para alimentación de Placa Arduino. |
| | 11 cables electrónicos macho hembra |
| Nodo Recolector o Sink | Módulo transceptor inalámbrico NRF24L01 |
| | Raspberry Pi modelo B+ |
| | Cargador Micro Usb para alimentación de Raspberry Pi 5V 3A |
| | Cable de red con conector RJ45 |
| | 7 cables electrónicos macho hembra. |

Ahora, con el uso de un cautín y objetos metálicos cilíndricos se efectuaron cortes y orificios en la parte interna y tapa superior de las cajas consideradas como materia prima de tal manera que los módulos y equipos que forman parte de cada uno de los equipos de la red queden dispuestos de la mejor manera. En Figura 2.3.7.1 se puede visualizar la estructura de alojamiento base para el nodo sensor.



Figura. 2.3.7.1 Vista Frontal de la estructura de alojamiento base para el nodo sensor de sonido. Fuente: Autor

Es importante resaltar que la estructura de alojamiento base para el nodo recolector se la implementa del mismo modo que la estructura para el nodo sensor con la diferencia en los orificios, en este caso solo se requiere un orificio para la antena ubicado en la tapa superior de la caja y dos orificios dispuestos en las paredes laterales de la caja dispuestos para la inserción del cable de red y la alimentación del dispositivo Raspberry Pi. Cabe recalcar que se requiere también realizar orificios rectangulares en la parte interior de la caja para permitir el paso de los cables de conexión macho hembra.

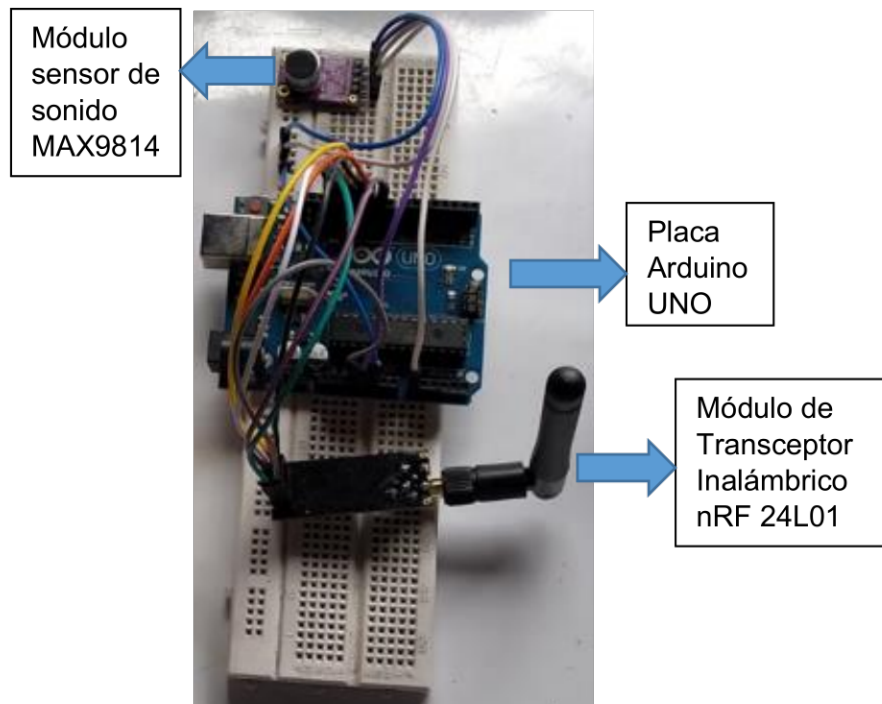


Figura 2.3.7.2 Nodo sensor o mota. Fuente: Autor



Figura 2.3.7.3 Estructura base y elementos del Nodo sensor o mota. Fuente: Autor

Previo a la inserción de cada uno de los módulos en las estructuras base, los dispositivos diseñados se presentan en Figura. 2.3.7.2 el nodo sensor, en Figura. 2.3.7.4, el nodo recolector. También se presenta en Figura. 2.3.7.3 todos los materiales y elementos que se requieren para ensamblar un nodo sensor y en Figura. 2.3.7.5 los materiales y elementos para ensamblar el nodo recolector.

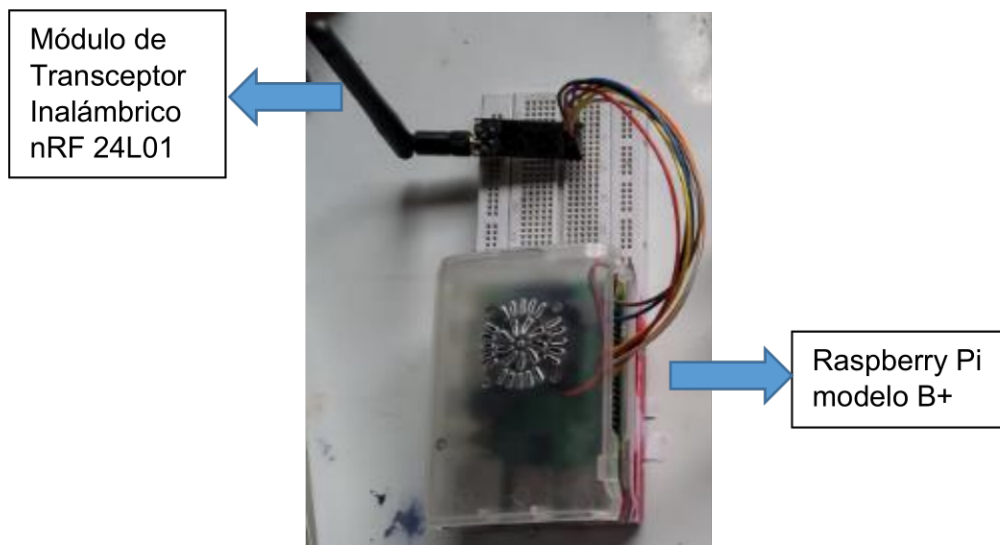


Figura 2.3.7.4 Nodo Recolector o sink. Fuente: Autor



Figura 2.3.7.5 Estructura base y Nodo Recolector o sink. Fuente: Autor

Una vez insertado cada uno de los módulos y dispositivos que forman parte de los equipos de la red de sensores inalámbrica en las estructuras de alojamiento base diseñadas, el resultado final de la implementación de la red de señores inalámbrica WSN con dos nodos sensores y un nodo recolector o sink se presentan en Figuras 2.3.7.6, 2.3.7.7 y 2.3.7.8.



Figura. 2.3.7.6. Nodo sensor de sonido. Fuente: Autor



Figura. 2.3.7.7. Nodo recolector. Fuente: Autor



Figura. 2.3.7.8. Red de sensores inalámbrica implementada. Fuente: Autor

3. RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

3.1 Resultados

La red de sensores implementada permite la detección, transporte, recopilación y escritura de datos en la nube Influxdb Cloud. Esta red considera dos nodos sensores o motas teniendo en cuenta la constitución de una red en estrella. Los nodos sensores mantienen un envío de datos periódico cada 6 segundos a través de un canal con dos pipes, un pipe individual se configura para cada nodo mota tanto como el canal y estos parámetros deben necesariamente coincidir con los correspondientes configurados en el nodo recolector.

En Figura 3.1.1 se puede ver un ejemplo de algunos datos enviados por el nodo sensor 1 y receptados por el dispositivo recolector.

```

2 raspberrypi.local x
14/8 /2022 12:23:42 P1_dBA 32.05 F_Hz: 208.65
14/8 /2022 12:23:42 P1_dBA 34.73 F_Hz: 224.98
14/8 /2022 12:23:42 P1_dBA 36.07 F_Hz: 3854.41
14/8 /2022 12:23:42 P1_dBA 34.69 F_Hz: 342.27
14/8 /2022 12:23:43 P1_dBA 38.59 F_Hz: 799.31
14/8 /2022 12:23:43 P1_dBA 32.04 F_Hz: 683.17
14/8 /2022 12:23:43 P1_dBA 38.36 F_Hz: 4276.05
14/8 /2022 12:23:43 P1_dBA 42.93 F_Hz: 1124.96
14/8 /2022 12:23:43 P1_dBA 38.21 F_Hz: 4119.50
14/8 /2022 12:23:44 P1_dBA 36.55 F_Hz: 643.10
14/8 /2022 12:23:44 P1_dBA 35.47 F_Hz: 926.49
14/8 /2022 12:23:44 P1_dBA 33.84 F_Hz: 432.92
14/8 /2022 12:23:44 P1_dBA 41.86 F_Hz: 1983.97
14/8 /2022 12:23:44 P1_dBA 38.36 F_Hz: 480.49
14/8 /2022 12:23:44 P1_dBA 31.43 F_Hz: 220.55
14/8 /2022 12:23:45 P1_dBA 35.92 F_Hz: 1102.88
14/8 /2022 12:23:45 P1_dBA 36.48 F_Hz: 4422.13
14/8 /2022 12:23:45 P1_dBA 35.21 F_Hz: 3577.80
14/8 /2022 12:23:45 P1_dBA 26.64 F_Hz: 181.34
14/8 /2022 12:23:45 P1_dBA 29.05 F_Hz: 263.22
14/8 /2022 12:23:46 P1_dBA 37.56 F_Hz: 2308.18
14/8 /2022 12:23:46 P1_dBA 36.24 F_Hz: 4485.53
14/8 /2022 12:23:46 P1_dBA 38.28 F_Hz: 2850.93
14/8 /2022 12:23:46 P1_dBA 37.66 F_Hz: 2612.56
14/8 /2022 12:23:46 P1_dBA 38.56 F_Hz: 1032.71
14/8 /2022 12:23:46 P1_dBA 35.21 F_Hz: 200.61
14/8 /2022 12:23:47 P1_dBA 40.55 F_Hz: 1551.67
14/8 /2022 12:23:47 P1_dBA 34.90 F_Hz: 4278.98
14/8 /2022 12:23:47 P1_dBA 26.06 F_Hz: 193.89
14/8 /2022 12:23:47 P1_dBA 37.35 F_Hz: 641.35
14/8 /2022 12:23:47 P1_dBA 33.64 F_Hz: 349.78
14/8 /2022 12:23:48 P1_dBA 29.63 F_Hz: 223.09
14/8 /2022 12:23:48 P1_dBA 30.90 F_Hz: 227.42
14/8 /2022 12:23:48 P1_dBA 32.54 F_Hz: 236.28
14/8 /2022 12:23:48 P1_dBA 31.22 F_Hz: 282.11
14/8 /2022 12:23:48 P1_dBA 32.71 F_Hz: 283.91
-----PROCESO DE CALIBRACIÓN Y SUBIDA DE DATOS A INFLUXDBCLOUD-----

```

Figura 3.1.1. Datos de Potencia almacenados por el nodo Recolector. Fuente: Autor

Ahora respecto a la escritura en la base de datos Influxdb cloud se pudo notar que el uso de la cuenta gratis conlleva una alta latencia en este proceso; ya que al ejecutar una recopilación de 200 datos estos tuvieron una latencia de aproximadamente 4 minutos en la escritura en la base de datos influxdbcloud.

Teniendo en cuenta la Tabla 2.3.6.1, los resultados registrados en cuanto a la latencia en la escritura en influxdb cloud de los datos recopilados por la red de sensores, se determina un comportamiento lineal el cual únicamente depende de un factor k, dicho factor se lo puede determinar si se hace un análisis a Figura 3.1.2.

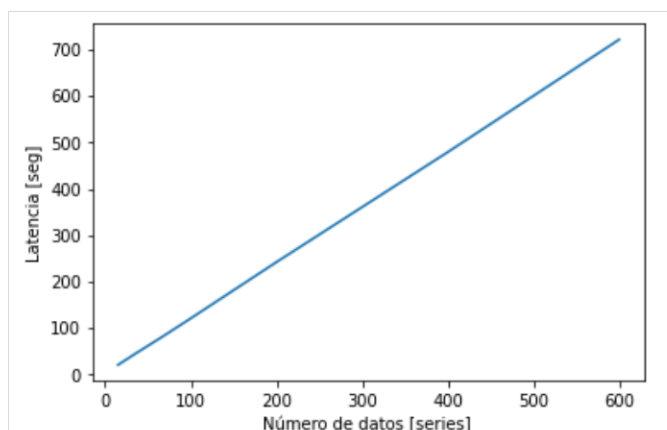


Figura 3.1.2. Latencia en función del número de datos o series a ser escritas en Influxdb Cloud. Fuente: Autor

Ahora, el factor k vendría a ser la pendiente de la ecuación que gobierne la gráfica de Figura 3.1.2, entonces a partir de los datos presentados en Tabla 2.3.6.1 se determina una pendiente $k=1.2$ al considerar los puntos iniciales y finales de la gráfica presentada en Figura 3.1.2.

Ahora, si se considerara una recepción y escritura de datos durante 2 días con un monitoreo de 3 horas y un envío de datos cada 6 segundos se tendrá teóricamente que escribir 3600 series que representarían aproximadamente 216 kB y una demora de 72 minutos, este cálculo se efectuó en base a los tamaños máximos de una serie o dato recopilado por la red de sensores inalámbrica [36].

Despliegue de la red de sensores inalámbrica y toma de datos en la empresa DANILACT.

El despliegue de la red de sensores inalámbrica implementada se llevó a cabo en dos áreas dentro de la empresa DANILACT, la primera el área de fabricación de queso mozzarella y la segunda el área de fabricación de queso fresco. Inicialmente se efectúa una inspección de las áreas a instalar los nodos sensores mostradas en Figura 3.1.3 considerando una ubicación óptima en donde existan máquinas que emitan mayor nivel de intensidad de sonido y una mayor concurrencia de los trabajadores de la empresa.



(a)

(b)

Figura 3.1.3. (a) y (b) Área 1 para la elaboración de queso mozzarella y área 2 para la elaboración de queso fresco, respectivamente, de la empresa DANILACT. Fuente: Autor

El área 1 se puede apreciar en Figura 3.1.3 (a) y se destina a la elaboración de queso mozzarella, aquí se ubica el nodo sensor 1, mientras que el área 2 se presenta en Figura

3.1.3 (b) y se destina a la elaboración de queso fresco y en donde se ubicará el nodo sensor 2. Las ubicaciones exactas de los sensores desde donde se dispondrán a tomar los datos de niveles de intensidad de sonido en dBA se observan en Figura 3.1.4 (a) y Figura 3.1.5 (a)

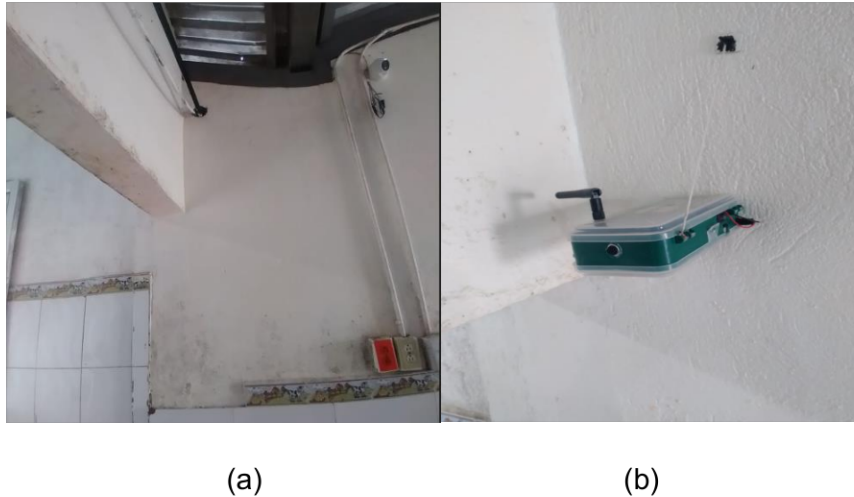


Figura 3.1.4. (a) y (b) Ubicación seleccionada y fijación del nodo sensor 1, respectivamente, de la instalación del nodo sensor 1 en el área 1. Fuente: Autor

La fijación de los nodos a la pared se evidencia en Figura 3.1.4. (b) y Figura 3.1.5. (b), para esta tarea se usó cinta doble faz marca Truper la cual según especificaciones de la caja del producto tiene 200% mayor adhesión en superficies rugosas que las cintas convencionales.

También en Figura 3.1.4. (b) y Figura 3.1.5. (b) se presenta un soporte dispuesto a una distancia de 16.5 cm respecto de la parte superior del nodo, este soporte se encuentra construido en base a 3 capas de cartón, cinta doble faz, silicona negra marca ABRO e hilo textil industrial; sistema que da mejor estabilidad y fijación al nodo sensor al punto de instalación seleccionado ya que se considera una disposición aproximada de 90 grados del sensor respecto al suelo a través de la aplicación básica de medidas en base al triángulo de Pitágoras.



Figura 3.1.5. (a) y (b) Ubicación seleccionada y fijación del nodo sensor 2, respectivamente, de la instalación del nodo sensor 2 en el área 2. Fuente: Autor

Finalmente, el nodo recolector se presenta en Figura 3.1.6 y se dispone en la entrada de la empresa DANILACT considerando una conexión a un punto de red, que en este caso es una conexión directa a un punto de acceso PIX LINK, de esta manera el nodo recolector tendrá la capacidad de efectuar la tarea de escritura de datos de contaminación acústica en la API de Influxdb Cloud, caso contrario dichos datos únicamente quedarían almacenados de manera temporal en la Raspberry y luego sería borrados, sin embargo se pueden efectuar cierto cambio en el código de programación para el funcionamiento del equipo recolector de modo que los datos recopilados se almacenen de manera local, esta última tarea puede ser factible debido a que cada dato que la red recopila mantiene una longitud de aproximadamente 55 bytes los cuales permiten un número inmenso de almacenamiento de datos dentro de las 21 GB de almacenamiento disponible del equipo Raspberry pi modelo B+.



Figura 3.1.6. Instalación del nodo recolector. Fuente: Autor

Una vez instalados cada uno de los equipos que forman parte de la red de sensores inalámbrica diseñada se procede a acceder al equipo recolector mediante el software MobaXterm empleando una conexión vía SSH, posterior a ello se ejecuta el código desarrollado en Python para la recepción de datos por parte del nodo recolector.

En Figura 3.1.7 se visualiza los datos previos a ser calibrados y recopilados por el nodo recolector, además de ciertas características del módulo de transmisión inalámbrica nRF24I01.

```

Data Rate      = 1Mbps
Model         = nRF24l01+
CRC Length    = 16 bits
PA Power      = PA_MIN
17/8 /2022 16:45:41 P2_dBA 60.27 F_Hz: 316.58
17/8 /2022 16:45:43 P1_dBA 55.99 F_Hz: 224.24
17/8 /2022 16:45:47 P2_dBA 63.34 F_Hz: 3218.15
17/8 /2022 16:45:50 P1_dBA 58.43 F_Hz: 353.01
17/8 /2022 16:45:56 P1_dBA 57.06 F_Hz: 295.91
17/8 /2022 16:45:59 P2_dBA 63.23 F_Hz: 418.77
17/8 /2022 16:46:2 P1_dBA 58.97 F_Hz: 215.77
17/8 /2022 16:46:8 P1_dBA 66.32 F_Hz: 283.69
17/8 /2022 16:46:14 P1_dBA 63.13 F_Hz: 241.12
17/8 /2022 16:46:20 P1_dBA 65.79 F_Hz: 281.55
17/8 /2022 16:46:24 P2_dBA 65.59 F_Hz: 412.28
17/8 /2022 16:46:26 P1_dBA 56.96 F_Hz: 269.21
17/8 /2022 16:46:32 P1_dBA 63.42 F_Hz: 484.84
17/8 /2022 16:46:36 P2_dBA 60.09 F_Hz: 213.82
17/8 /2022 16:46:39 P1_dBA 65.34 F_Hz: 2962.53
17/8 /2022 16:46:45 P1_dBA 59.41 F_Hz: 271.96
17/8 /2022 16:46:48 P2_dBA 62.21 F_Hz: 3293.18
17/8 /2022 16:46:51 P1_dBA 56.03 F_Hz: 212.00
17/8 /2022 16:46:57 P1_dBA 62.68 F_Hz: 213.56
17/8 /2022 16:47:3 P1_dBA 58.57 F_Hz: 247.09
17/8 /2022 16:47:9 P1_dBA 60.42 F_Hz: 282.61
17/8 /2022 16:47:15 P1_dBA 60.91 F_Hz: 304.36
17/8 /2022 16:47:19 P2_dBA 68.11 F_Hz: 926.44
17/8 /2022 16:47:21 P1_dBA 60.92 F_Hz: 490.39
17/8 /2022 16:47:28 P1_dBA 66.22 F_Hz: 2911.04
17/8 /2022 16:47:31 P2_dBA 60.81 F_Hz: 290.53
17/8 /2022 16:47:34 P1_dBA 75.85 F_Hz: 2348.00
17/8 /2022 16:47:37 P2_dBA 56.25 F_Hz: 485.32
17/8 /2022 16:47:40 P1_dBA 69.90 F_Hz: 1637.09
17/8 /2022 16:47:44 P2_dBA 56.12 F_Hz: 220.49
17/8 /2022 16:47:46 P1_dBA 66.29 F_Hz: 1784.61
17/8 /2022 16:47:50 P2_dBA 68.54 F_Hz: 2252.57
17/8 /2022 16:47:52 P1_dBA 67.34 F_Hz: 296.58

```

Figura 3.1.7 Datos recopilados por la red de sensores inalámbrica desplegada. Fuente: Autor

Si la recepción de los datos recopilados por el nodo recolector termina, es decir si el número de datos llega al número máximo configurado en el script considerado en el este nodo, la recepción de datos se interrumpe dando paso a la escritura de datos en la API de Influxdb Cloud obteniéndose 408 datos de intensidad de sonido en dBA provenientes de dos áreas de la empresa DANILACT, dichos datos pueden ser visualizados de manera amigable a través del explorador de datos de Influxdb Cloud. En figura 3.1.8 se presenta una porción de la tabla de los datos de intensidad de sonido adquiridos por la red de sensores inalámbrica implementada y desplegada en la empresa DANILACT.

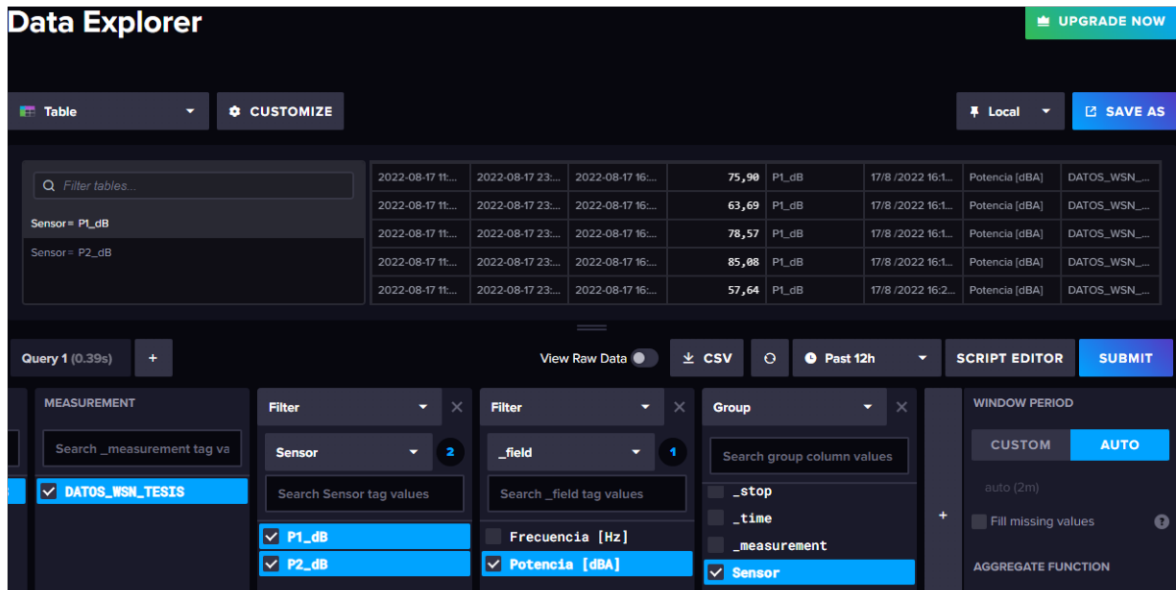


Figura 3.1.8. Presentación de datos almacenados en Influxdb Cloud. Fuente: Autor

De esta forma la red de sensores inalámbrica diseñada y desplegada efectuó el transporte, recopilación, calibración y escritura en Influxdb Cloud de 408 datos durante aproximadamente 40 minutos el miércoles 17 de agosto del 2022. Una vez culminada la toma de datos se procedió a retirar los equipos.

Al siguiente día se efectuó nuevamente el despliegue de la red de sensores inalámbrica diseñada, los nodos sensores y nodo recolector se instalaron en los mismos puntos considerados el día anterior. La toma de datos comenzó aproximadamente a las 9:40 am y de hecho se logró el transporte, recopilación, calibración y escritura en Influxdb Cloud de 1592 datos durante aproximadamente 2.65 horas

La red se desplegó durante dos días y como se evidencia en Figura 3.1.9 se obtuvo una base de datos con un total de 2000 datos o series almacenadas accesibles desde cualquier parte del mundo.

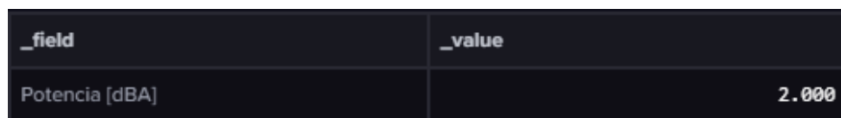


Figura. 3.1.9. Número de datos almacenados. Fuente: Autor

En el ANEXO V se presenta los datos 2000 de intensidad de sonido en dBA con extensión .csv descargados de la base de datos influxdb cloud.

Cálculo del consumo de energía y tiempo de duración de baterías de un nodo sensor.

Teniendo en cuenta la composición de un nodo sensor por los módulos: Arduino UNO, módulo de transmisión inalámbrica nRF24L01 y el módulo sensor de sonido MAX 9814, se considera el consumo de corriente de cada uno de estos módulos con el fin de encontrar la duración de las baterías consideradas para el funcionamiento adecuado de los nodos sensores o motas. La tarea para determinar el consumo de corriente de cada uno de los módulos se llevó a cabo mediante mediciones con un multímetro en serie al módulo respectivo, de esta manera en Tabla 3.4.1.1.

Tabla 3.4.1.1. Consumo en mA de los módulos de un nodo sensor. Fuente: Autor

| Módulo | Consumo medido en mA |
|--------------------------|-----------------------------|
| Sensor de sonido MAX9814 | 3.5 mA |
| Transceiver nRF24L01 | 7.5 mA |
| Placa Arduino UNO | 39 mA |
| TOTAL | 50 mA |

Hay que recalcar que los 50 mA fueron encontrados mediante una medición en serie con la batería de 9V y la placa ARDUINO UNO en funcionamiento con todos los módulos, es decir con el sensor de sonido transmitiendo datos. De este modo se pudo determinar los 39 mA que la placa Arduino consume. Ahora la potencia que consume el módulo sensor sería $P=V \cdot I$ [Watts], donde $V = 9[V]$ es el voltaje de la batería, por otro lado, $I=50mA$ es la corriente total que consume el nodo sensor entonces, $P=0.405$ [Watts].

Por último, se puede calcular el tiempo de duración de la batería que usa un sensor como alimentación para lograr su correcto funcionamiento teniendo en cuenta la razón entre la capacidad de la batería en miliamperios hora (mAh) respecto a la corriente total que consume este dispositivo, como se muestra en la ecuación (2).

$$Tiempo\ de\ duración[Horas] = \frac{Capacidad\ de\ la\ Batería\ [mAh]}{Corriente\ total\ [mA]} \quad (2)$$

Para el caso de los nodos sensores se ha considerado una batería Energizer MAX 9V1 con una capacidad de 625 mA y la corriente total sería la mostrada en Tabla 3.4.1.1, de esta manera el tiempo de duración de sería de 12.5 horas; tiempo que podría incrementarse si se considera la inserción de baterías de mayor capacidad o si se insertan bancos de baterías en paralelo.

3.2 Conclusiones

- Las redes de sensores inalámbricas permiten el monitoreo de parámetros del ambiente como eventos de contaminación acústica y su estudio se considera crucial debido a las repercusiones que causan en la salud de los trabajadores, de esta manera la implementación de una red de sensores inalámbrica que permita la detección, transporte, recopilación y almacenamiento de los eventos de contaminación acústica servirá para un posterior procesamiento de datos y con ello tomar alguna acción que resguarde la salud del trabajador.
- El módulo de transmisión inalámbrica nRF24L01 trabaja con el protocolo enhanced shockburst el cual permite una topología en estrella y la transición simultánea de datos provenientes de hasta 6 dispositivos a la vez, esto se lleva a cabo mediante la configuración de distintos pipes o direcciones en cada dispositivo transmisor y la configuración de los mismos pipes en el nodo recolector. Estos pipes se consideran dentro de un canal que trabaja en la banda de los 2,4 GHz.
- Una red de sensores inalámbrica puede ser implementada con una variedad de sensores, sin embargo, se requiere tener en cuenta factores como los costos de hardware y software, especificaciones técnicas, rangos de alcance, consumo de potencia, vida útil de los mismos, nivel de conocimiento distintos lenguajes de programación entre otros factores.
- La API de influxdb cloud a través de su explorador de datos permite visualizar las series o datos almacenados y recopilados por la red de sensores inalámbrica implementada y desplegada en la empresa DANILACT de tal manera que se construyeron 2000 series dentro una base de datos que se encuentra en un Servidor de AWS en US West Oregon.
- Se presentan limitaciones en cuanto a la velocidad de escritura y almacenamiento de datos al momento de usar una cuenta gratis en Influxdb cloud, siendo estas: almacenamiento de hasta 10000 series, latencia en la escritura de datos, aproximadamente 1.2 segundos por serie o dato de 55 Bytes y el borrado de los datos luego de 30 días de almacenamiento. Sin embargo, estas limitaciones no fueron un obstáculo debido al número y tamaño de datos almacenados por la red de sensores implementada y de hecho pueden ser superadas ejecutando una recopilación datos periódica o efectuando las actualizaciones de la cuenta gratis a una cuenta basada en uso o anual.

3.3 Recomendaciones

- Tener en cuenta la hoja de datos técnicos del fabricante para el uso de alguna de las soluciones disponibles dentro del mercado para nodos sensores WSN.
- Efectuar un análisis de la macro localización y micro localización de la empresa a considerarse, de este modo se tendrá una mejor apreciación del posicionamiento de los nodos sensores al considerar el despliegue de la red para la medición de datos de eventos de contaminación acústica.
- Tener en cuenta la aplicación a implementar para el uso de los diferentes nodos sensores ya que presenta diferentes características y capacidades de procesamiento.
- Considerar las librerías adecuadas para la programación de los módulos de transmisión y recepción inalámbrica, dichas librerías pueden ser obtenidas mediante procesos adecuados de instalación tanto en el dispositivo Arduino UNO como en la Raspberry PI.
- Considerar un punto de red para conectar el dispositivo recolector de modo que se permita la salida a la nube influxdb cloud y proceder a la escritura de los datos recopilados por la red de sensores inalámbrica implementada.

4. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] S. S. Sonavane, V. Kumar, y B. P. Patil, «Designing wireless sensor network with low cost and low power», en 2008 16th IEEE International Conference on Networks, New Delhi, India, 2008, pp. 1-5. doi: 10.1109/ICON.2008.4772585.
- [2] X. Wang, C. Zhang, y S. Yang, «Design of Wireless Video Communication System Used to Monitor and Control Plant Disease», en 2009 International Conference on Networks Security, Wireless Communications and Trusted Computing, Wuhan, China, abr. 2009, pp. 584-587. doi: 10.1109/NSWCTC.2009.235.
- [3] H. Rahaman, N. AbdulAziz. M.F. Abdulmaek, «Design and testing of a cluster-tree topology networking protocol over cost effective non-standard RF module», en International Journal of Latest Research in Engineering and Technology (IJLRET), Dubai, United Arab Emirates, sep. 2017, pp 89-96. ISSN: 2454-5031.
- [4] Nordic Semiconductor, «NRF24L01 pdf, NRF24L01 Description, NRF24L01 Datasheet, NRF24L01 view :::ALLDATASHEET », [En línea]. Disponible en <https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/1243924/ETC1/NRF24L01.html>
- [5] G. D. NAVARRA, «Disposiciones mínimas de seguridad y salud de los trabajadores relativas a la EXPOSICIÓN AL RUIDO», Instituto Navarro de Salud Laboral,

NAVARRA, 2008.

- [6] I. S. I. 9612, «Acoustics — Determination of occupational noise exposure — occupational noise exposure», 2009. [En línea]. Disponible en: <http://ppm-co.ir/wp-content/uploads/2019/08/ISO-9612-2009.pdf>
- [7] J. Yick, B. Mukherjee, y D. Ghosal, «Wireless sensor network survey», *Comput. Netw.*, vol. 52, n.o 12, pp. 2292-2330, ago. 2008, doi: 10.1016/j.comnet.2008.04.002
- [8] J.M. López Egea, Dr. Losilla López, «Estudio e implementación de un Sistema de Seguimiento de Vehículos con una Red de Sensores Inalámbrica», 2012. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.upct.es/bitstream/handle/10317/2982/pfc4411.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [9] I.F. Akyildiz, E.P. Stuntebeck, «Wireless underground sensor networks: research challenges, *Ad-Hoc Networks 4*», 2006, pp. 669–686.
- [10] T. Murgod y S. Sundaram, «Survey on underwater optical wireless communication: Perspectives and challenges», *Indones. J. Electr. Eng. Comput. Sci.*, vol. 13, pp. 138-146, ene. 2019, doi: 10.11591/ijeecs.v13.i1.pp138-146.
- [11] I. F. Akyildiz, T. Melodia, y K. R. Chowdhury, «A survey on wireless multimedia sensor networks», *Comput. Netw.*, vol. 51, n.o 4, pp. 921-960, mar. 2007, doi: 10.1016/j.comnet.2006.10.002.
- [12] M. C. Padilla, «El Marco Lógico para el Diseño de Proyectos, BID, Banco Interamericano de desarrollo, Oficina de Apoyo regional de Operaciones, Oficina de Gestión de Cartera y Seguimiento de proyectos», noviembre, 2004.
- [13] R. Fernández Martínez, J. Odieres Meré, F. J. Martínez de Pisón Ascacibar, A. Gonzáles Marcos, F. Alba Elías, R. Lostado Lorza y V. Pernía Espinosa, *Redes inalámbricas de sensores: teoría y aplicación práctica*, España: Universidad de Rioga.
- [14] R. E. Herrador, «01-guia_de_usuario_arduino.pdf», noviembre, 2009, Creative Commons Attribution-Noncommercial-Share Alike 3.0. [En línea]. Disponible en: https://foros.giltesa.com/otros/arduino/fc/docs/01-guia_de_usuario_arduino.pdf
- [15] J. I. J. Mariñas, «Soft computing para el análisis de datos en Redes de Sensores Inalámbricas,» Córdoba, 2013.
- [16] Amazon, «Amazon.com:Arduino Uno R3 MicrocontroladorA000066: Electrónica». [En línea]. Disponible en: https://www.amazon.com/-/es/A000066-Arduino-Uno-R3-Microcontrolador/dp/B008GRTSV6?ref_=nav_ya_signin&returnFromLogin=1&
- [17] Descubre Arduino, «Cómo funciona el módulo inalámbrico nRF24L01 y su interfaz con Arduino», *Descubrearduino.com*, 2020. [En línea]. Disponible en: <https://descubrearduino.com/nrf24l01/>
- [18] I. García, «Pinout de Raspberry Pi - Pi 1, B+, Pi 2». [En línea]. Disponible en: <https://es.pinout.xyz/>

- [19] Amazon, «Amazon.com: Comimark MAX9814 - Amplificador de micrófono electret, 2 unidades, control de ganancia automática para Arduino: Electrónica». [En línea]. Disponible en: https://www.amazon.com/-/es/interruptor-detecci%C3%B3n-micr%C3%B3fono-adecuado-Arduino-MAX9814/dp/B09CPLRMCL/ref=sr_1_16?crid=2JXTB0OZLQGNN&keywords=sensor%2Bmax9814&qid=1661396872&sprefix=%2Caps%2C644&sr=8-16&th=1
- [20] M. integrated, «Microphone Amplifier with AGC and Low-Noise Microphone Bias,» 06 2009. [En línea]. Available: <https://cdn-shop.adafruit.com/datasheets/MAX9814.pdf>.
- [21] M. Damirchi, «Electro peak! Interfacing MAX9814 Electret Microphone Amplifier Module with Arduino,» [En línea]. Disponible: <https://electropeak.com/learn/interfacing-max9814-electret-microphone-amplifier-module-with-arduino/>. [Último acceso: 12 06 2022].
- [22] Carlos Rojo Horno «Diseño de sonómetro con conexión Wlifi para control de nivel de sonido». [En línea]. Disponible en: <http://deeea.urv.cat/public/PROPOSTES/pub/pdf/2495pub.pdf>
- [22] C. Rojo, «Diseño de sonómetro con conexión WiFi para control de nivel de sonido,» Tarragona, 2017. [En línea]. Disponible en: <http://deeea.urv.cat/public/PROPOSTES/pub/pdf/2495pub.pdf>.
- [23] P. L. Fernández, «Conceptos Físicos de las ondas sonoras», Física Soc., n.o 11, p. 1, 2000. [En línea]. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=960657>
- [24] A. M. Manzano, «Transformada Rápida de Fourier Implementación y Algunas Aplicaciones,» Murcia, 06 2018. [En línea]. Disponible en: https://www.um.es/documents/118351/9850722/Mart%C3%ADnez+Manzano+TF_48705250_v2.pdf/c44507c8-e990-4aac-b282-927acadcedd1.
- [25] Z. Gilvey, « MathWorks, MATLAB Answers,» 18 07 2019. [En línea]. Disponible en: <https://es.mathworks.com/matlabcentral/answers/472246-fft-to-dba-to-overall-dba>.
- [26] Elicrom, «Especializados en actividades específicas como son las áreas de Metrología, Medio Ambiente, Validaciones, Mantenimiento de Equipos de Laboratorio y Construcción/Reformas de Laboratorios.» [En línea]. Disponible en: <https://elicrom.com/>
- [27] J. Moreno, «Google Colaboratory, TESIS_CALIBRAR_current». [En línea]. Disponible en: https://colab.research.google.com/drive/1tlnMHXtv9ZczKYkZKnK0hr667pLt6_NC?usp=sharing
- [28] GITHUB, «Librería nRF24L01 para Raspberry,» [En línea]. Disponible en: <https://github.com/nRF24/RF24>.
- [29] Doxygen, «Optimized high speed nRF24L01+ driver class documentation 1.4.5,» 07 2022. [En línea]. Disponible en: <https://nrf24.github.io/RF24/>.
- [30] H. t. Mechatronics, «nRF24L01 – How It Works, Arduino Interface, Circuits, Codes,» [En línea]. Disponible en: <https://howtomechatronics.com/tutorials/arduino/arduino->

wireless-communication-nrf24l01-tutorial/.

- [31] Ramiro de la Vega, Pharos.sh, «Leer y escribir archivos CSV en Python,» [En línea]. Disponible en: <https://pharos.sh/leer-y-escribir-archivos-csv-en-python/>.
- [32] InfluxDB Cloud, «Create your Free account influxDB Cloud». [En línea]. Disponible en: <https://cloud2.influxdata.com/signup>
- [33] InfluxDB Cloud, «Use the InfluxDB Python client library | InfluxDB Cloud Documentation». [En línea]. Disponible en: <https://docs.influxdata.com/influxdb/cloud/api-guide/client-libraries/python/>
- [34] InfluxDB Cloud, «Get started with InfluxDB Cloud | InfluxDB Cloud Documentation». [En línea]. Disponible en: <https://docs.influxdata.com/influxdb/cloud/reference/regions/>
- [35] InfluxDB Cloud, «InfluxDB key concepts | InfluxDB OSS 1.8 Documentation». [En línea]. Disponible en: https://docs.influxdata.com/influxdb/v1.8/concepts/key_concepts/
- [36] InfluxDB Cloud, «InfluxDB Cloud Pricing», InfluxData. [En línea]. Disponible en: <https://www.influxdata.com/influxdb-cloud-pricing/>

5. ANEXOS

ANEXO I. Enlace del código para la detección de ruido considerado en el dispositivo Arduino UNO

https://docs.google.com/document/d/1qDgZj2v7IRcKnH0b_u-iJ29fLhjF4XJGjG7FOsPwJrs/edit?usp=sharing

ANEXO II. Enlace del código para la transmisión de los datos tomados por el nodo sensor 1 y 2.

<https://docs.google.com/document/d/1u1sCXoZ3e07VFnQIZPU5udHAKsBoVCe8v2haMpVCyM/edit?usp=sharing>

ANEXO III. Enlace del código para la recepción y almacenamiento de los datos enviados por parte de los nodos sensores 1 y 2.

<https://docs.google.com/document/d/1ehNQilBRroZszK1JST5AGeat8ipK5cHK9AGOssgD-xl/edit?usp=sharing>

ANEXO IV. Enlace del sonómetro industrial UT353 de UNI-T

<https://drive.google.com/file/d/1oCNv8FPSebUvSnM56BL8p5yOHIjf0Wj3/view?usp=sharing>

ANEXO V. Enlace del archivo con datos de intensidad de sonido en dBA con extensión .csv descargado de la base de datos influxdb cloud

https://drive.google.com/file/d/1nZwehW_9IbjCN4GlpDbahvWTrK2nOmE4/view?usp=sharing