



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo

UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA

INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN

CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

**EVALUACIÓN DE LA FACTIBILIDAD DE LA
TECNOLOGÍA LORA WAN EN EL MONITOREO
AMBIENTAL DE ZONAS CON ALTO ÍNDICES DE
CONTAMINACIÓN DE LA CIUDAD DE AZOGUES.**

**TRABAJO DE TITULACIÓN O PROYECTO DE INTEGRACIÓN
CURRICULAR PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO ELECTRÓNICO.**

AUTOR: EDWIN CRISTIAN TENECELA GUAMAN

DIRECTOR: ING. JEAN PAUL MATA QUEVEDO.

AZOGUES – ECUADOR

2021

*Yo me gradúe en
los 50 años de La Cato!
... y sostuve la Universidad*



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

Comunidad Educativa al servicio del pueblo

UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN

CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

EVALUACIÓN DE LA FACTIBILIDAD DE LA TECNOLOGÍA LORA WAN
EN EL MONITOREO AMBIENTAL DE ZONAS CON ALTO ÍNDICES DE
CONTAMINACIÓN DE LA CIUDAD DE AZOGUES.

**TRABAJO DE TITULACIÓN O PROYECTO DE INTEGRACIÓN
CURRICULAR PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO ELECTRÓNICO.**

AUTOR: EDWIN CRISTIAN TENECELA GUAMAN.

DIRECTOR: ING. JEAN PAUL MATA QUEVEDO.

AZOGUES – ECUADOR

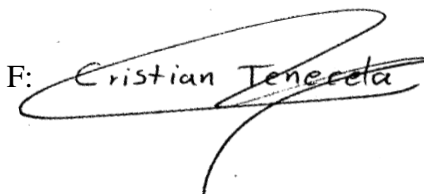
2021

*Yo me gradué en
los 50 años de La Cato!
... y sostuve la Universidad*

Declaratoria de Autoría y Responsabilidad

Edwin Cristian Tenecela Guaman portador(a) de la cédula de ciudadanía N° **0302399753**. Declaro ser el autor de la obra: “**Evaluación de la factibilidad de la tecnología LoRa WAN en el monitoreo ambiental de zonas con alto índices de contaminación de la ciudad de Azogues**”, sobre la cual me hago responsable sobre las opiniones, versiones e ideas expresadas. Declaro que la misma ha sido elaborada respetando los derechos de propiedad intelectual de terceros y eximo a la Universidad Católica de Cuenca sobre cualquier reclamación que pudiera existir al respecto. Declaro finalmente que mi obra ha sido realizada cumpliendo con todos los requisitos legales, éticos y bioéticos de investigación, que la misma no incumple con la normativa nacional e internacional en el área específica de investigación, sobre la que también me responsabilizo y eximo a la Universidad Católica de Cuenca de toda reclamación al respecto.

Azogues, **5 de agosto de 2021**

F: 

Edwin Cristian Tenecela Guaman


C.I. 0302399753

CERTIFICACIÓN

El trabajo de titulación denominado **“EVALUACIÓN DE LA FACTIBILIDAD DE LA TECNOLOGÍA LORA WAN EN EL MONITOREO AMBIENTAL DE ZONAS CON ALTO ÍNDICES DE CONTAMINACIÓN DE LA CIUDAD DE AZOGUES”**, elaborado por el Sr Edwin Cristian Tenecela Guaman con C.I. 0302399753 para optar por el título de INGENIERO electrónico, doy fe que dicho trabajo reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a presentación pública y evaluación por parte del jurado examinador que se designe.

En la ciudad de Azogue, a los 10 días del mes de agosto del 2021

Firma



.....
Ing. Jean Paul Mata Quevedo

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Yo, Edwin Cristian Tenecela Guaman con documento de identificación N° 0302399753 manifiesto mi voluntad y cedo a la Universidad Católica de Cuenca la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del trabajo de titulación: **“EVALUACIÓN DE LA FACTIBILIDAD DE LA TECNOLOGÍA LORA WAN EN EL MONITOREO AMBIENTAL DE ZONAS CON ALTO ÍNDICES DE CONTAMINACIÓN DE LA CIUDAD DE AZOGUES”**, mismo que se ha desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Electrónico, en la Universidad Católica de Cuenca, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Católica de Cuenca.

Azogues, 21 de julio del 2021

Edwin Cristian Tenecela Guaman

CI:0302399753

DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD

Yo, **EDWIN CRISTIAN TENECELA GUAMAN** con número de cédula de identidad 0302399753 autor del trabajo de titulación “**EVALUACION DE LA FACTIBILIDAD DE LA TECNOLOGIA LoRa WAN EN EL MONITOREO AMBIENTAL DE ZONAS CON ALTO INDICES DE CONTAMINACION DE LA CIUDAD DE AZOGUES**” certifico que el total contenido del Proyecto Técnico, es de mi exclusiva responsabilidad y autoría

Azogues, julio del 2021

Edwin Cristian Tenecela Guamán

CI:0302399753

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios y la virgen María por darme uno de los mejores regalos, la vida. A los mejores padres, que pudo haberme otorgado ya que, con su apoyo, consejos, he llegado a ser la persona que actualmente soy.

.

Edwin Cristian Tenecela Guamán.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mi familia en especial a mi madre, ya que gracias a ella y el apoyo incondicional que me ha ofrecido, e culminado esta etapa en mi vida, ya que fue el pilar principal, guiándome con sabiduría, paciencia y amor durante toda mi vida estudiantil. Ellos han sido para mí un gran ejemplo de dedicación, amor y trabajo.

Edwin Cristian Tenecela Guaman.

RESUMEN

Este proyecto propone el desarrollo de una estación meteorológica fija con el uso de la tecnología LoRa WAN aprovechando las características de bajo consumo y área de cobertura que poseen estos dispositivos. En la Actualidad se buscan sensores de bajo costo que tengan alta eficiencia energética ya que estos dispositivos no necesitan de una gran estructura para su funcionalidad por consiguiente este sistema propone el diseño y desarrollo de una estación meteorológica fija en la cual se evaluara la calidad del aire, velocidad, dirección del viento, lluvia, luz UV, dióxido de carbono, temperatura y humedad, la transmisión de datos se realiza de manera inalámbrica evaluando la función y factibilidad de la tecnología de comunicación LoRa WAN, el análisis de estos sensores podrán ser visualizados en tiempo real y para su almacenamiento se crea una base de datos en Excel, en donde se queda el registro de los diferentes tipos de sensores.

Palabras clave: LoRa WAN, Arduino, monitoreo, sensores, base de datos, calidad del aire

ABSTRACT.

This project proposes the development of a fixed weather station with the use of LoRa WAN technology taking advantage of the low power consumption and coverage area characteristics of these devices. Nowadays, low-cost sensors with high energy efficiency are being sought since these devices do not need a large structure for their functionality. Therefore, this system proposes the design and development of a fixed weather station in which the air quality, speed, wind direction, rain, UV light, carbon dioxide, temperature, and humidity will be evaluated. The data transmission is done wirelessly evaluating the function and feasibility of the LoRa WAN communication technology; likewise, the analysis of these sensors can be visualized in real-time and for its storage, a database is created in Excel, where the record of the different types of sensors is kept.

Keywords: LoRa Wan, Arduino, monitoring, sensors, database, air quality

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE GENERAL	I
ÍNDICE DE TABLAS	IV
ÍNDICE DE FIGURAS	V
AGRADECIMIENTOS	V
DEDICATORIA	VI
RESUMEN	VII
ABSTRACT	VIII
CAPÍTULO I	1
PROPUESTA	1
1.1. Antecedentes	1
1.2. Justificación	2
1.3. Definición del problema	2
1.4. Objetivos	3
1.4.1. Objetivo general	3
1.4.2. Objetivos específicos	3
1.5. Metodología	3
CAPÍTULO II	5
FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	5
2.1. Meteorología	5
2.2. Estaciones meteorológicas	5
2.3. Importancia de las estaciones meteorológicas	6
2.4. Estaciones sobre la superficie	6
2.5. Estación convencional	6
2.6. Variables climatológicas	7
2.6.1. Temperatura	7
2.6.2. Humedad relativa	8
2.6.3. Principios generales de la medida del viento	9
2.6.4. Velocidad del viento	9
2.6.5. Dirección del viento	10
2.6.6. Pluviómetro	12
2.6.7. Calidad del aire	13

2.6.8.	Dióxido de carbono.....	15
2.6.9.	Sensor de UV ML8511	16
2.6.10.	Radiación solar	17
2.6.11.	Constituyente de la radiación solar sobre la tierra	18
2.6.12.	Causas que inciden en los niveles de la radiación UV	19
2.6.13.	Índice UV	19
2.6.14.	Solmáforo	20
2.7.	Definición del software libre a utilizar.....	21
2.8.	Lenguaje de programación	21
2.9.	Arduino Mega 2560	22
2.10.	Tecnología LoRaWAN.....	23
2.11.	Estructura General	24
2.12.	Módulo de transmisión y recepción de datos	25
2.13.	Arquitectura del sistema de registro meteorológico.....	26
CAPÍTULO III.....		28
DISEÑO, DESARROLLO DEL PROTOTIPO METEOROLÓGICO MOVIL.		28
.....		28
3.1.	Diseño del prototipo de la estación meteorológica	28
3.1.1.	Arquitectura del sistema	28
3.1.2.	Consideraciones eléctricas	29
3.1.3.	Consideración de programación	29
3.2.	Software	29
3.3.	Visualización de los datos obtenidos	30
3.4.	Elección de la tarjeta base	30
3.5.	Requerimientos del sistema.....	30
3.5.1.	Obtener Visual Studio.....	30
3.5.2.	Instalación de Visual Studio.	31
3.5.3.	Selección de cargas de trabajo de visual Studio.	31
3.5.4.	Asignación de la instalación.	32
3.6.	Instalación de Arduino con Visual Studio.	33
3.7.	Instalación de la extensión para Arduino.	33
3.8.	Comando de la extensión VS Code Arduino	34
3.9.	Proceso de programación de los módulos.....	35

3.9.1.	Sensor de temperatura y humedad DTH11	35
3.9.2.	Sensor de dióxido de carbono	37
3.9.3.	Anemómetro calibración.....	38
3.10.	Diseño de la placa electrónica	39
3.11.	Configuración de LoRaWAN.....	40
3.12.	LoRaWAN.....	40
3.13.	Algoritmo de adquisición de datos	41
3.14.	La trama de información.	42
3.15.	Base de datos	43
3.16.	Análisis de coste de la estación meteorológica	44
CAPÍTULO IV	46
IMPLEMENTACION Y ANALISIS DE FUNCIONAMIENTO DEL EQUIPO	DESARROLLADO.....	46
4.1.	Implementación del equipo	46
4.2.	Recopilación de la información.	48
CAPÍTULO V	51
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	51
5.1	Conclusiones	51
5.2	Recomendaciones	52
ANEXOS	56

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Velocidad del viento.	9
Tabla 2. Características del Arduino Mega 2560.....	22
Tabla 3. Análisis coste de los componentes de la estación meteorológica.	44

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Estación meteorológica fija.	7
Figura 2. Sensor de temperatura y humedad DHT.....	8
Figura 3. Anemómetro.	10
Figura 4. Veleta de viento.	11
Figura 5. Denominación estándar de la dirección del viento.	11
Figura 6. Pluviómetro.....	12
Figura 7. Funcionamiento de pluviómetro.	13
Figura 8. Contaminantes que inciden en la calidad del aire.	14
Figura 9. Sensor de dióxido de carbono.	16
Figura 10. Intensidad ML8511.	17
Figura 11. Energía radiada por el sol y la tierra.	18
Figura 12. Radiación solar.	19
Figura 13. Estándar en la medición de rayos UV.	20
Figura 14. Niveles de radiación solar.	21
Figura 15. Tarjeta Arduino Mega 2560.....	23
Figura 16. Módulo LoRaWAN para Arduino	24
Figura 17. Parámetros de comunicación.	26
Figura 18. Arquitectura del sistema.....	29
Figura 19. Página oficial de Visual Studio.	31
Figura 20. Cargas de trabajo en Visual Studio.....	32
Figura 21. Ubicación de la instalación de Visual Studio.	32
Figura 22. Software de extensión para Arduino.	33
Figura 23. Asignación de Visual Studio Code.	34

Figura 24. Comandos de la extensión Arduino	34
Figura 25. Código sobre la inicialización y prueba del sensor.	36
Figura 26. Estructura de conexión del sensor de temperatura e humedad.....	36
Figura 27. Estructura de conexión del sensor de Co2	37
Figura 28. Código de inicialización del sensor.	38
Figura 29. Anemómetro.....	39
Figura 30. Diseño del circuito en PCB.	39
Figura 31. Formato de la trama física.	40
Figura 32. Especificaciones de los módulos LoRawan.	41
Figura 33. Algoritmo de control y transmisión de datos.	42
Figura 34. Base de datos en Excel.....	43
Figura 35. Análisis de datos recolectados en tiempo real.	44
Figura 36. Ubicación de la Universidad Católica de Azogues.	46
Figura 37. Implementación de la estación meteorológica fija.	47
Figura 38. Análisis del alcance máximo de transmisión.....	48
Figura 39. Ubicación del alcance máximo de la segunda prueba.	49
Figura 40. Base de datos.....	50
Figura 41. Análisis de los sensores.	50

CAPÍTULO I

PROPUESTA

En la actualidad recibimos el estado del tiempo y su previsión en los próximos días a través de medios de información, el camino que realiza esta información meteorológica hasta llegar al usuario involucrando numerosos procesos para el transporte de esta información.

1.1. Antecedentes

La contaminación es uno de los factores que más han influido en el medio ambiente afectando muchas áreas con impactos significativos tales como la salud, la economía, cuanto más bajo sean los niveles de contaminación del aire mejor será la salud cardiovascular de la población. el ambiente en el cual habitamos ha presentado un cambio significativo, debido a la contaminación atmosférica, la cual se ve afectada directamente por el desarrollo de la agricultura y ganadería, en este caso en especial es necesario la enfocar la deforestación para que estas actividades mencionadas anteriormente prevalezcan (Espinoza, 2013).

En la actualidad existen grandes estaciones meteorológicas por lo cual se empleará una estación meteorológica automática utilizando software y hardware libre con la finalidad de obtener reducción en los costos, equipos electrónicos y datos meteorológicos. En base a lo planteado sobre los equipos electrónicos que conllevan los datos obtenidos mediante estaciones meteorológicas automáticas teniendo una precisión en los datos receptados en tiempo real, los mismos que serán analizados por el operador (Encalada, 2018).

El proyecto tiene una expectativa, en cuanto al margen de funcionalidad de los parámetros proyectados que alcancen el mayor porcentaje de probabilidades de éxito experimental, este tipo de investigación se lo realiza en base a las necesidades que se presentan en las estaciones al no tener ningún inconveniente en las pruebas se procederá a la implementación.

1.2.Justificación

Las estaciones meteorológicas en el presente se han establecido como una de las mejores alternativas para el monitoreo de diversas variables ambientales mediante la cual permite evaluar el comportamiento climático. Estos poseen ciertas características debido a la zona en la que se encuentren ubicado, determinando de esta forma la afección que sufrirán debido a las variables atmosféricas (Encalada, 2018).

La contaminación es preocupante debido a los impactos significativos que tiene en el medio ambiente, en Ecuador existen normas y estudios para evitar este problema, la entidad que regula la calidad de aire en el país es el Ministerio del Ambiente mediante el plan nacional de calidad del aire, y como la constitución establece que el estado otorga el derecho a los ciudadanos vivir en un medio ambiente sano (Encalada, 2018).

Las estaciones meteorológicas automáticas operan de manera automática las cuales sensan registran y transmiten los datos hacia una base, si bien su presencia en varios sectores requiere que estos datos sean verificados mediante las estaciones convencionales. A medida que se obtenga información verídica se reducirá la incertidumbre en la resolución final, es importante mencionar que el INAMHI publica datos fiables sobre las características climáticas(Bastidas, 2016).

1.3.Definición del problema

El analizar las variaciones climáticas es necesario ya que mediante estas se podrá realizar determinadas tareas, sin que estas sean afectadas por las inclemencias climáticas, así de esta manera se podrá tomar las precauciones necesarias. El Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) que es la entidad encargada del monitoreo del clima, la cual ofrece información climatológica a nivel general.

El estudio de la meteorología es de gran utilidad en la ingeniería civil, ya que las variables que analiza son cruciales en la toma de decisiones de las diferentes obras que se realizan debido al factor climático la cual afecta en las diferentes actividades que se

desempeñan en una obra, esta se ve afectada al no poseer los datos climáticos adecuados, la disciplina en la construcción del proyecto se refleja en varias áreas del conocimiento, una de ellas es la electrónica, mediante el uso de hardware y software libre como lo es Arduino con el manejo de Visual Studio la que permite la visualización de datos en tiempo real (Bastidas, 2016).

1.4.Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Desarrollar e implementar una estación meteorológica utilizando hardware y software libre para obtener datos climáticos confiables.

1.4.2. Objetivos específicos

- Realizar la revisión del estado del arte acerca del desarrollo de estaciones de monitoreo ambiental de bajo costo.
- Diseñar y construir un prototipo de dispositivo de una estación meteorológica.
- Desarrollar una base de datos en donde se almacenarán los registros de cada sensor, para luego visualizarlos en un cuadro de análisis individual.
- Implementar un sistema de monitoreo ambiental para determinar la calidad del aire aplicando la tecnología LaRaWAN.
- Evaluar el funcionamiento y rendimiento de la tecnología LoRaWAN para el monitoreo de la calidad del aire.

1.5.Metodología

Como estudiante de la carrera de ingeniería electrónica se propone realizar una red de sensores los cuales registran los diferentes contaminantes los cuales sirven para determinar el funcionamiento de los utilizando esta tecnología y a su vez se puede evaluar la comunicación entre dispositivos.

Para el desarrollo del proyecto se considera dividirla en tres partes en la primera se utilizará la metodología inductiva ya que se realiza un estudio presencial recolectando información de artículos investigativos, tesis, papers, entre otros.

En la segunda etapa del trabajo se establecerá los procedimientos para la transición de datos el cual tiene una forma y distribución establecida a través de la investigación deductiva y en la parte final se probará el monitoreo remoto del sistema a través de la investigación experimental.

CAPÍTULO II

FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

Los fenómenos naturales se manifiestan de diferentes formas, así mismo estos influyen de distintas maneras sobre los seres vivos, de tal forma que se hace necesario contar con un registro de los diferentes factores climáticos los cuales se detallan en este capítulo resaltando en que intervienen, ya que los datos que se obtengan servirán para crear una base y monitorear el estado del clima.

2.1.Meteorología

Es la ciencia encargada del estudio de la atmosfera, sus propiedades y fenómenos que tiene lugar en ella

. El estudio se basa en el conocimiento de una serie de magnitudes o variables meteorológicas, desde hace tiempo se ha observado los fenómenos atmosféricos intentando explicar las causas que los producen, en la actualidad existen estaciones meteorológicas que realizan el mismo trabajo que un meteorólogo, transformándose en una fuente de información confiable segura y fácil de manipular(Rica, Salazar, José, Rica, & Salazar, 2009)

2.2.Estaciones meteorológicas

Se define como un sistema electrónico el cual está diseñado para medir y registrar regularmente las diversas variables climáticas, las cuales cuentan con sensores electrónicos encargados de medir el estado físico del medio ambiente, y transmitir la información a grandes distancias a bajo costo, cabe recalcar que una estación automática tiene la capacidad de vigilar permanentemente y comunicar de inmediato el comportamiento de las variables meteorológicas consideradas en este análisis. Una estación meteorológica consta con diferentes variables climatológicas a medir las cuales pueden ser; temperatura, humedad, dirección y velocidad del viento,

precipitación, radiación solar, estas se clasifican según la aplicación a las que va dirigido. (Cardona & Porras, 2013).

2.3.Importancia de las estaciones meteorológicas

La información meteorológica resulta de gran utilidad ya que estas nos permiten hacer un seguimiento en tiempo real del estado del clima facilitando una base de datos la cual nos ayuda con ña información del tiempo con lo que podemos saber cómo se ha comportado la atmosfera a partir de los registros. Pero para tener registros acercados a la realidad de los eventos meteorológicos que han sucedido no basta con tener estaciones fiables, sino que debe haber una cantidad y distribución adecuada de las mismas (Jiménez, Capa, & Lozano, 2004).

2.4.Estaciones sobre la superficie

En la actualidad hay diversas estaciones, convencionales y automáticas, la automática posee un registro y almacenamiento de manera continua sobre las variables, ya que las manuales poseen un personal capacitado para el registro de datos y la lectura de estos, estas deben estar ubicadas en zonas que sean representativas para el lugar es decir apearse a la realidad que se pretende analizar (Bastidas, 2016).

2.5.Estación convencional

Este tipo de estaciones habituales poseen un parque meteorológico donde se instalan varios dispositivos como el visibilometro tanque de evaporación, pluviógrafo pluviómetro, anemómetro, vela, geotermómetros, (termómetros de profundidad), abrigo meteorológico, heliógrafo y nefobasimetro, el abrigo meteorológico hace referencia al lugar que no deben estar ubicados ciertos instrumentos los cuales reciben radiación directa del sol y estos también sean influenciados por la cantidad de viento, estas normalmente poseen el color blanco para reducir el sobrecalentamiento producido por los rayos solares las cuales tienen rendijas para la circulación del aire,

debido a la ubicación o región las características varían (Bastidas, 2016), a continuación se aprecia una estación meteorológica convencional en la Figura 1.



Figura 1. Estación meteorológica fija.
Fuente. (Bastidas, 2016)

2.6. Variables climatológicas

Las variables climatológicas a analizar en este proyecto están diseñadas para medir, y registrar regularmente diversas variables climáticas, en la actualidad contamos con diferentes sensores los cuales se detallan a continuación.

- Temperatura.
- Humedad ambiental.
- Calidad del aire
- CO₂
- Luz UV
- Dirección y velocidad del viento
- precipitación
- Ozono

2.6.1. Temperatura

Es una magnitud variable la cual depende de la velocidad de las moléculas del aire siendo estas moléculas de oxígeno, y el nitrógeno las que dan una impresión de calor

o frío, esta se expresa en grados centígrados o Fahrenheit. El sensor a usarse en este proyecto es el DHT 11, sensor de temperatura y humedad relativa ya que presenta una gran precisión y rango de medición, este posee una interfaz serial el cual requiere un pin para comunicarse con un microcontrolador, aunque algo lento en cuanto a velocidad de lectura. A continuación, se observa el sensor a usarse en este proyecto en la Figura 2 se detalla las características de este sensor.(Astron, Hurtado, Co-director, & Godoy, 2017)



Figura 2. Sensor de temperatura y humedad DHT.

Fuente. (Access & Shield, 2012)

A continuación, detallamos algunas características básicas del sensor.

- Voltaje de operación 3-5 VDC.
- Máxima corriente de 2.5 mA se realiza la conversión.
- Detección de humedad de 0 – 100% precisión de 2-5%.
- Sensa temperatura de -40 a 80 °C precisión de 5°C.
- Frecuencia de muestreo no más de 0.5 Hz (una vez cada 2sg).
- 3 pines de conexión.
- No requiere componentes externos.

2.6.2. Humedad relativa

Se define a la medida de vapor de agua que el aire contiene, esta no es constante, ya que depende de factores tales como, lloviznas recientes, si se está cerca del mar, si hay plantas etc. El sensor a usarse es el DHT11 ya que cuenta con un sensor que mide la

humedad relativa en el ambiente. La humedad ambiental es provocada por el vapor de agua ubicada en la atmósfera, la cual depende de la temperatura ambiental. Existen varias formas de medir la humedad una de ellas con el uso del Higrómetro, el vapor de agua presenta una densidad baja que la del aire, debido a esto la densidad del aire húmedo es baja que el aire seco, (Encalada, 2018).

2.6.3. Principios generales de la medida del viento

El viento puede ser considerado como un vector definido por una magnitud, intensidad, y dirección, por lo general tiene fluctuaciones rápidas, el grado de perturbación aportado por estas se denomina turbulencia. La intensidad y la dirección del viento se mide perfectamente con la ayuda de instrumentos, pero cuando es posible se puede evaluar, esta evaluación se puede efectuar a partir de una intensidad de dos nudos, pues con intensidades débiles los instrumentos son pocos sensibles es decir los sensores no miden velocidades inferiores a dos nudos ni tampoco la veleta muestra la dirección de la que proviene el viento por lo que el meteorólogo se ve obligado a realizar aproximaciones (WindFinder, 2019).

2.6.4. Velocidad del viento

Se define como la distancia recorrida por una masa de aire en una unidad de tiempo (segundos, minutos, horas), hay que destacar que el viento se mueve en sentido horizontal con respecto a la superficie terrestre, el resultado de la velocidad se expresa en unidades de kilómetros por hora (Km/h) o metros segundos (m/sg), se mide mediante un anemómetro y la ausencia de viento se denomina calmas (WindFinder, 2019) . A continuación se detalla la velocidad del viento en la Tabla 1.

Tabla 1. *Velocidad del viento.*

Escala de Beaufort	Denominación	Efectos observados	Nudos	Km/H
0	Calma	El humo se eleva en vertical	-1	0-1.9
1	Ventolina o brisa	El viento inclina el humo	1 a 3	1.9-7.3
2	Fresco	El viento agita las ramas de los arboles	22 a 27	41-51
3	Duro	El viento arranca ramas pequeñas	34 a 40	63-75

4	Tempestad	Devastación extensa	56 a 63	104-118
5	Huracán	Huracán catástrofe	64	119

Fuente. (WindFinder, 2019)

El anemómetro es considerado un equipo meteorológico que se utiliza para la predicción del clima, es usado específicamente para medir la velocidad del viento (WindFinder, 2019) a continuación se observa el anemómetro en la Figura 3.



Figura 3. Anemómetro.

Fuente. (Access & Shield, 2012)

el anemómetro más común para la medición es el de cazoletas, que está conformado por un eje vertical y tres copas que captura el viento donde el número de revoluciones por segundo son registrados en forma eléctrica, para luego ser procesada y hacer el cálculo de la velocidad del viento en el emplazamiento (Access & Shield, 2012).

2.6.5. Dirección del viento

Calcula la componente horizontal sobre la velocidad del viento, estudios sobre la meteorología consideran importante el cálculo de la dirección del viento ya que nos proporciona la dirección de donde proviene el viento no hacia el lugar donde se dirige, como ejemplo el viento norte es el que atraviesa desde el norte la cual se mide en grados desde 0° (excluido) hasta 360° (incluido), girando en el sentido de las agujas del reloj en un plano horizontal observando sobre la parte superior, los valores cercanos a 1° y 360° indican viento del norte, cercanos a 90° viento del este, 180° del

sur y 270° del oeste. Entre estos valores oscilarán el resto de direcciones nordeste, sureste, suroeste, y noroeste, la dirección del viento se mide mediante una veleta, la velocidad y la dirección del viento se miden a 10 metros de altura sobre el nivel del suelo en las mayorías de las estaciones, y a 2 metros de altura en algunas de ellas (WindFinder, 2019), en la Figura 4, se aprecia la veleta de viento (Access & Shield, 2012).



Figura 4. Veleta de viento.
Fuente.(Access & Shield, 2012)

Los servicios meteorológicos nacionales suelen utilizar como referencia ángulos para medir la dirección del viento, a continuación, se observa en la Figura 5 denominación estándar de la dirección del viento.

denominación de la dirección del viento	Angulo
norte	0
noreste	45
este	90
sureste	135
suroeste	180
oeste	225
noroeste	270
oeste	315
norte	360

Figura 5. Denominación estándar de la dirección del viento.
Fuente.(Encalada, 2018)

2.6.6. Pluviómetro

El pluviómetro es un instrumento que se emplea en las estaciones meteorológicas para la recogida y medición de la precipitación. Para realizar la medición se necesita los datos de cantidad de agua que cae, se demuestra en milímetros de altura o semejantes en litros por metro cuadrado. La estructura de un pluviómetro básico se caracteriza por tener una cobertura en el área superior conocida, de entrada, del agua hacia la estructura luego el agua se dirige mediante un embudo hacia un colector la cual es recogida y se aprecia de manera visual con una regla graduada o por el peso del agua en la estructura. Un litro caído en un metro cuadrado alcanza una altura de 1 milímetro, con el desarrollo de la electrónica primero los pluviografos evolucionaron sensiblemente, al pasar de un registro mecánico a los dispositivos electrónicos con la capacidad de almacenar datos digitales (Encalada, 2018). A continuación apreciamos en la Figura 6, el pluviómetro usado en el proyecto.



Figura 6. Pluviómetro.

Fuente. (Access & Shield, 2012)

El mecanismo de balancín de las cubetas es generado cuando el peso de la lluvia caída es almacenado en uno de los dos cubos provocando un desbalance respecto al otro cubo esto causa que cambie rápidamente de cubo y se vacíe el agua contenida en el a continuación se expresa la estructura interna en la Figura 7, (Encalada, 2018).

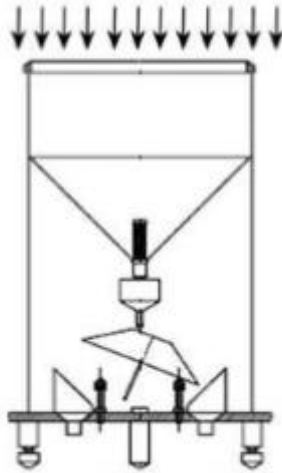


Figura 7. Funcionamiento de pluviómetro.
Fuente.(Access & Shield, 2012)

Este equipo está en la capacidad de analizar los siguientes estados del clima como, precipitación bastante uniforme, formada exclusivamente por gotas de agua muy pequeña, extraordinariamente numerosa, que parecen flotar en el aire haciendo visibles sus movimientos más débiles. La precipitación procede de lloviznas puede a veces ser apreciable, sobre todo en las costas y montañas, (Encalada, 2018).

2.6.7. Calidad del aire

La contaminación atmosférica es el principal riesgo ambiental para la salud en las personas, en la atmosfera existen contaminantes muy significativos que intervienen en la salud son material particulado (PM) de un diámetro de 10 micras las cuales se penetran en los pulmones de manera profunda y provocar la reacción de la superficie y las células de defensa, la contaminación es producida por el uso de combustibles fósiles, este factor varía por su composición según sus fuentes. Debido a la contaminación que producen existen reglamentos para cada sustancia sobre la cantidad máxima permitida al ser descargada en el aire, La autoridad nacional del medio ambiente fija los valores máximos permitidos, estas pueden aplicar para todo el territorio o por el contrario en ciertas partes son muy específicas para alguna región por sus deferentes características que posea (Espinoza, 2013).

Cada normativa ambiental de una nación establece sobre la entidad responsable de la calidad del aire para lo cual hay que evaluar diversos parámetros tales como se aprecia en la Figura 8.

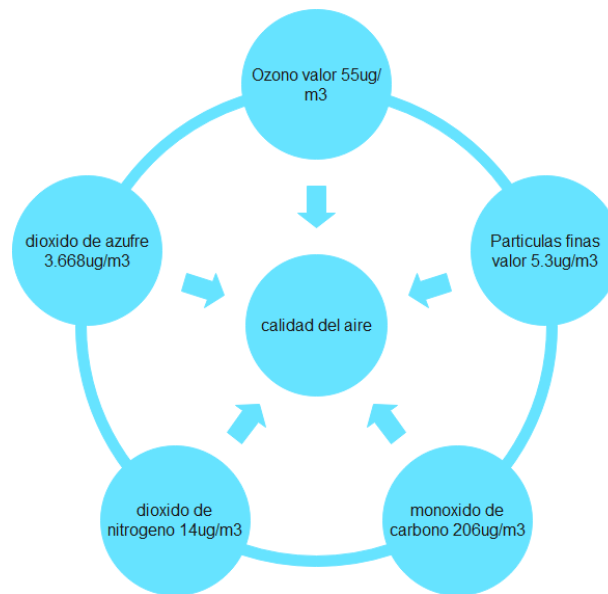


Figura 8. Contaminantes que inciden en la calidad del aire.

Fuente.(Millan, 2016)

Para establecer el índice de calidad del aire, se tomó en cuenta diversas experiencias exitosas de otros países, estos se establecen a partir de los niveles sugeridos por el grupo de estandarización (GESTA - Aire) de la Comisión Técnico Asesora de Medio Ambiente COTAMA, por la Organización Mundial de la Salud (OMS). Se calcula por cualquier tipo contaminante por separado, tomando 100 ppm (partículas por millón) como base, valor a partir del cual se considera que la concentración de ese contaminante en el aire supera el valor estándar (Millan, 2016).

Para definir los parámetros de la calidad del aire se procede a analizar el estado del mismo, evaluando, monóxido de carbono, dióxido de nitrógeno, ozono y partículas presentes. Para estaciones automáticas, se calculan los índices de todos los parámetros evaluados en dicha estación, este se basa en el peor valor obtenido en el periodo de referencia, el valor más alto obtenido se lo asume como parámetro predominante.

2.6.8. Dióxido de carbono

Es un gas incoloro y sin olor se forma a partir de la combustión incompleta del combustible, este afecta a la salud ingresando al torrente sanguíneo e interacciona con la hemoglobina, proteína responsable del transporte del oxígeno a las células reduciendo la cantidad de oxígeno que llega a los órganos vitales. Para este proyecto usaremos el sensor MQ135, antes de tomar medidas fiables con este sensor se procede a realizar un proceso de puesta en marcha y calibración, este consta de dos etapas precalentamiento, y la calibración en sí. El precalentamiento se lo realiza dejando conectado a la fuente de alimentación, lo cual ayuda a eliminar humedad o contaminación del proceso de fabricación y debe efectuarse únicamente una vez. Dicho dispositivo proporciona la detección de concentración de gas en muchos porcentajes, el MQ 135 brinda una señal de salida de tipo analógico y digital, cuando da una señal analógica es directamente proporcional a que el voltaje incremente, el microcontrolador procesa la señal digital debido que está presente en niveles TTL (Millan, 2016). A continuación, se detalla algunas especificaciones técnicas.

- Voltaje de operación 5 VDC.
- Corriente de operación 150mA.
- Potencia de consumo 800mW.
- Tiempo de precalentamiento 20 segundos.
- Resistencia de carga potenciómetro.
- Detección de partículas por millón 10ppm-1000ppm
- Concentración de oxígeno 2%-21%
- Temperatura de operación -20°C- 70°C.

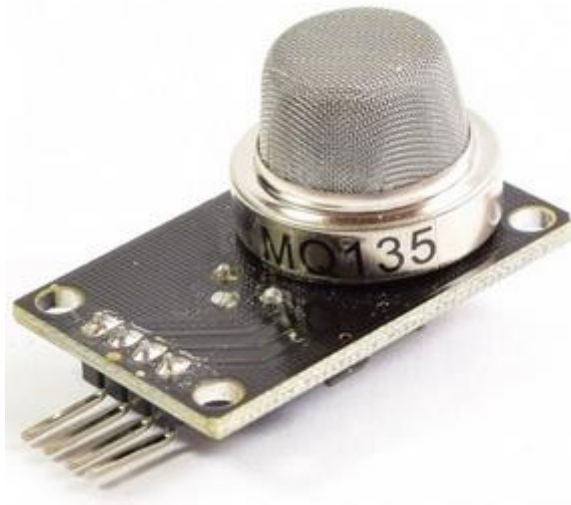


Figura 9. Sensor de dióxido de carbono.
Fuente. (Access & Shield, 2012)

2.6.9. Sensor de UV ML8511

Es un sensor de luz ultravioleta trabaja por medio de una señal analógica en relación con la cantidad de luz UV que este detecta, este es útil para la creación de dispositivos para el análisis de rayos ultravioletas los cuales causan quemaduras solares como también la detección de índice UV de las diferentes condiciones climáticas (Solmaforo, 2011).

Este sensor detecta 280-390nm luz con mayor eficacia, este se clasifica como parte de la UVB (rayos ardientes) espectro y la mayoría de la UVA (rayos de bronceado) espectro. A la salida del sensor da una tensión analógica que es lineal relacionada a la medida intensidad UV (mW/cm^2). El microcontrolador puede realizar una conversión de la señal analógica a digital detectando el nivel UV (Akano et al., 2015), a continuación, se detalla algunas características.

- Sensor ML8511.
- Espectro de detección 289-390nm (1 voltio a 2.5 voltios).
- Salida linealmente relacionado con la intensidad de luz UV (nW/cm^2).
- Voltaje de alimentación: 3.3-5V.

El sensor funciona mapeando la intensidad de rayos ultravioleta es decir ninguna luz ultravioleta comienza a 1V con un máximo de $15mW/cm^2$ alrededor de 2.8V. Arduino incorpora la función map() incorpora, pero esta no funciona para flotadores el sensor se calibra usando los datos que se reflejan en la Figura 10 este emite un voltaje de manera lineal con la intensidad UV medida y realiza la conversión.

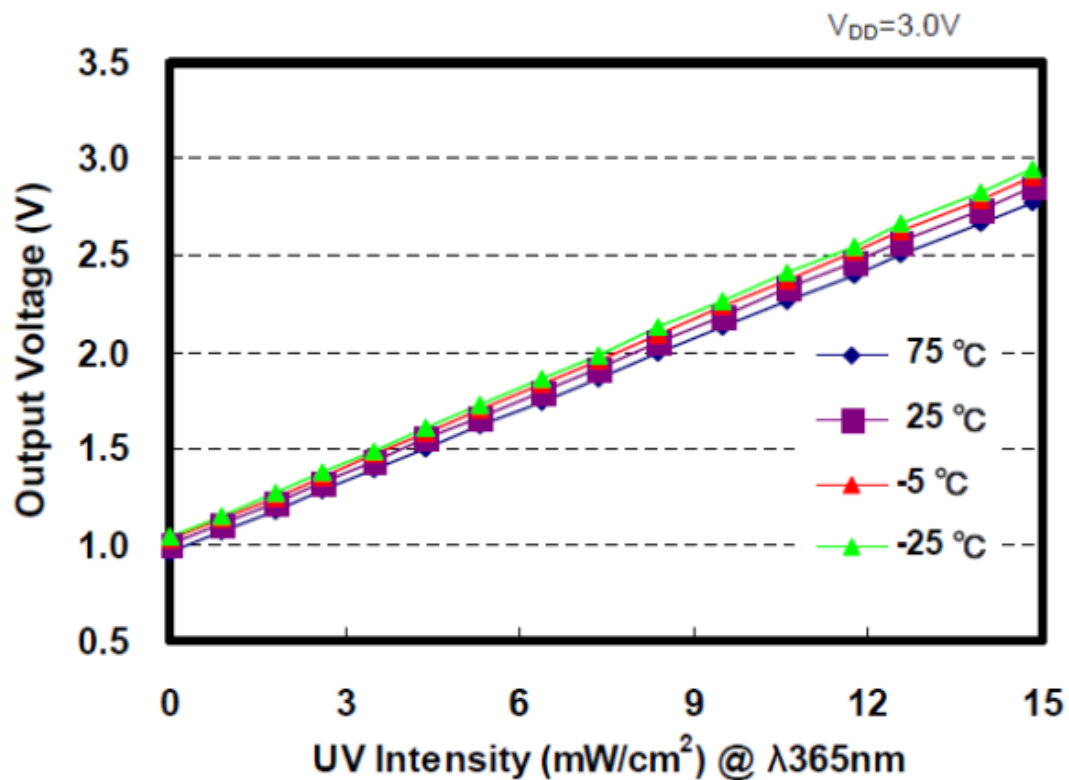


Figura 10. Intensidad ML8511.

Fuente. ("ML8511 UV Sensor Hookup Guide - learn.sparkfun.com," 2010.)

2.6.10. Radiación solar

es la energía procedente del sol la cual es generada por reacciones de fusión nuclear de hidrogeno que produce helio y otros núcleos más pesados esta energía se transmite en forma de radiación electromagnética y alcanza la atmosfera terrestre en forma de espectro electromagnético con longitudes de onda que van de $0.15\mu m$ a $4\mu m$ aproximadamente.

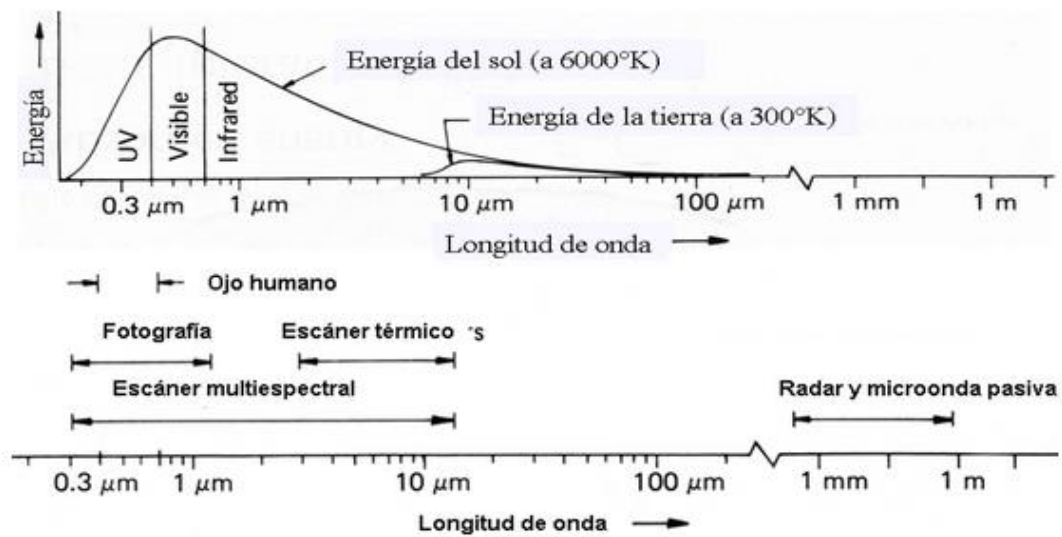


Figura 11. Energía radiada por el sol y la tierra.

Fuente. (Blasco, 2013)

El espectro en la parte superior que va de $0.40\mu\text{m}$ a $0.78\mu\text{m}$ forma el espectro visible que se denomina la luz común. Al contrario cuando no es visible el espectro está formada por radiaciones con longitudes de onda inferiores a $0.40\mu\text{m}$ se denominan comúnmente como radiaciones ultravioletas (UV) y con longitud superior a $0.78\mu\text{m}$ se denominan comúnmente como radiaciones infrarrojas (Blasco, 2013).

2.6.11. Constituyente de la radiación solar sobre la tierra

En la tierra existe la radiación solar se ubica en la superficie tiene variaciones temporales siendo unas aleatorias, afectadas por la nubosidad y otras previsible como son los cambios estacionales o el día y la noche, provocadas por los movimientos de la tierra, la radiación solar sobre la tierra se clasifica en tres componentes como se aprecia en la Figura 12.

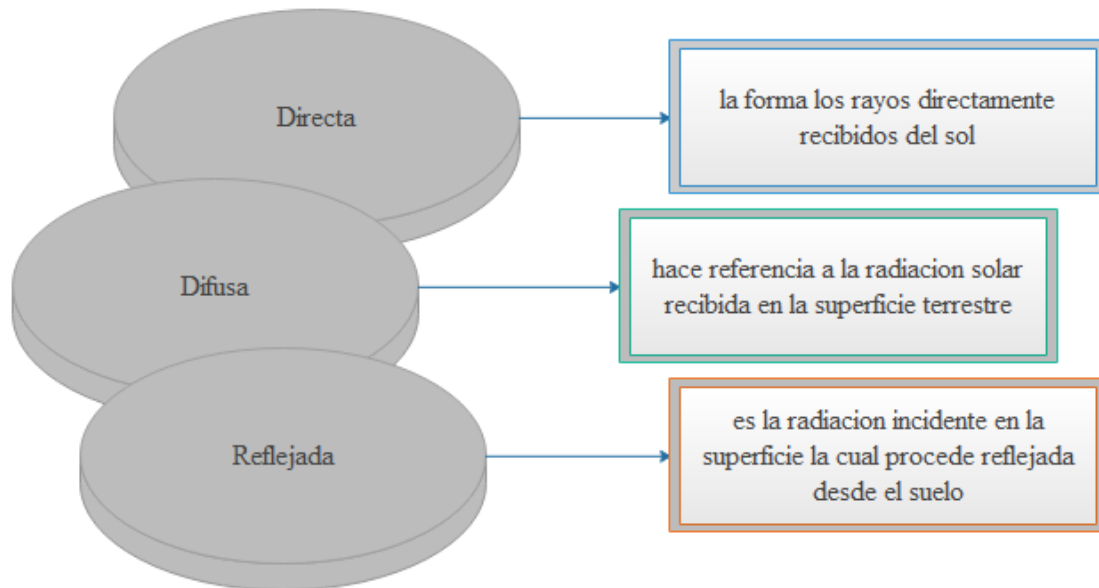


Figura 12. Radiación solar.
Fuente. (Blasco, 2013)

2.6.12. Causas que inciden en los niveles de la radiación UV

Existen diferentes factores que influyen en la radiación UV que llegan a la superficie provocadas por la altitud del lugar, la reflexión sobre la tierra, la ubicación del sol, la cobertura proporcionada por las nubes y si existe un mayor volumen del ozono en la atmosfera. Durante el día la radiación varía de niveles y a lo largo del año, comúnmente cuando el sol se ubica en su máxima elevación los niveles de radiación aumentan aproximadamente entre las 10am y 2 pm, según la ubicación geográfica varía la radiación UV, la radiación UV en la zona ecuatorial se ve incrementada en las latitudes medias ya que estos reciben los rayos del sol directamente, las zonas de mayor altitud también se ven afectadas ya que estas zonas el aire es limpio y la capa atmosférica es más delgada provocando que la radiación UV sea aún más, debido a que por cada mil metros de altura de un 10% y 12% la radiación UV crece (Blasco, 2013).

2.6.13. Índice UV

Es una medida adimensional la cual mide el nivel de radiación solar ultravioleta incidente y los posibles efectos nocivos para la salud. Este índice señala la capacidad

de radiación UV solar de producir lesiones en la piel, no siempre la cantidad de luz ambiental va relacionada con el índice UV, ya que puede ser engañoso la representación varia del lugar, para lo cual existe un sistema estándar del índice y una forma de presentarlo al público incluyendo un código de colores asociados (Blasco, 2013), como se puede apreciar en la Figura 13.

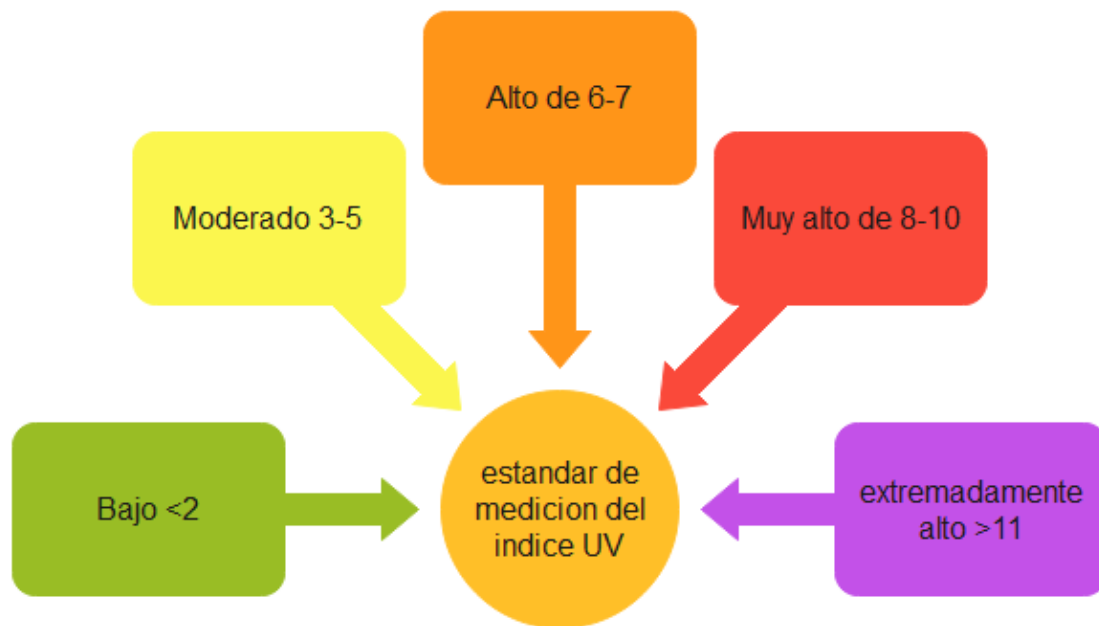


Figura 13. Estándar en la medición de rayos UV.
Fuente.(Blasco, 2013).

2.6.14. Solmáforo

Es un semáforo que mide los niveles de radiación ultravioleta, alertando a la población por medio de un código basado en cinco colores determinados por la organización mundial de la salud OMS. El solmaforo indica el nivel de radiación UV con cinco colores desde bajo hasta extremo cada color indica el tiempo recomendado de exposición al sol (Solmaforo, 2011).

01	puede permanecer al exterior sin ningun riesgo
02	mantengase en la sombra al medio dia
03	pongase camisa gorra y bloqueador solar
04	evite salir en medio dia
05	evite exponerse a la radiacion

Figura 14. Niveles de radiación solar.
Fuente. (Solmaforo, 2011)

2.7. Definición del software libre a utilizar

Con la finalidad de vincular todos los sensores y visualizar los datos obtenidos por los sensores, se utiliza software Arduino ya que este es libre para la programación y desarrollo de base de datos y sistemas operativos, el entorno de desarrollo integrado IDE es una aplicación multiplataforma ya que maneja el lenguaje de programación Java el cual admite lenguajes de desarrollo C y C++ utilizando reglas especiales de estructuración de códigos, (Arduino, 2018).

2.8. Lenguaje de programación

En el desarrollo se tiene en cuenta los diferentes tipos de formas que se pueden utilizar en Arduino mediante la programación, debido a que es un software libre en la página oficial de esta brinda diferentes variables y funciones que este software proporciona dentro de la interfaz de programación la cual te permite modificar su funcionamiento y optimizar los recursos de la memoria RAM que esta posee, hay una amplia selección de librerías que facilitan al usuario con la optimización de tiempo de programación, esto permiten el uso de sensores de manera más rápida. Ya que es un software libre se

maneja con fundamentos en el lenguaje C++ es su principal lengua de programación y esta se fundamenta por tres partes para su uso, estructura, valores y funciones (Arduino, 2018).

2.9. Arduino Mega 2560

Esta placa electrónica es basada en el microcontrolador Atmega 2560 la cual posee 54 pines digitales de salida y entrada donde solo 15 son usadas como PWM y 16 entradas analógicas, 4UARTS (puerto serie de hardware), una conexión USB, un oscilador de 16MHz, con conexión ICSP y un botón de reset, contiene todo lo necesario para apoyar el microcontrolador a continuación se detalla algunas características en la *Tabla 2*.

Tabla 2. Características del Arduino Mega 2560.

Microcontrolador	ATmega 2560
Tensión de trabajo	5VCD
Tensión de entrada recomendada	7-12VDC
Tensión de entrada limite	6-20VDC
Pines digitales I/O	54 (15 proporcionan PWM)
Pines de entrada analógica	16
Corriente por pin I/O	20mA
DC corriente por pin 3.3V	50mA
Memoria flash	256KB
SRAM	8KB
EEPROM	4KB
Velocidad del reloj	16MHz
Largo	101.52mm
Ancho	53.3mm

Fuente.(Oliva Ramos, 2017)

La placa Arduino Mega 2560 se puede programar con IDE de desarrollo que posee viene cargada con un programa de arranque (bootloader) que permite cargar nuevo código en ella según el código en ella sin el uso de un programador externo, se comunica usando el protocolo STK500 (referencia archivos de cabecera), también puede pasar por alto el gestor de arranque y programar por el microcontrolador a través

del conector ICSP (programación serial en circuito) utilizando ISP o similar (Oliva Ramos, 2017). A continuación se aprecia la placa Arduino Mega 2560 en la Figura 15.



Figura 15. Tarjeta Arduino Mega 2560.
Fuente. (Access & Shield, 2012).

2.10. Tecnología LoRaWAN

Esta tecnología utiliza un protocolo de red para comunicar y administrar dispositivos, se divide en dos partes nodos y un Gateway, los primeros son los dispositivos finales estos envían y reciben información la cual es transmitida al Gateway y los segundos reciben y envían información a los nodos. Es una tecnología para redes de baja potencia y área amplia, específicamente para dispositivos de bajo consumo de alimentación que operen en redes de alcance local. (Manrique, Buitrago, & Hernández, 2019).

La arquitectura de una red típica es en estrella de forma que la primera estrella está formada por dispositivos finales y las puertas de enlace y la segunda estrella están formadas por las puertas de enlace de un segundo servidor de la red central en este caso las puertas de enlace son un puente transparente entre dispositivos, finales y el servidor central la dirección entre el dispositivo entre y el servidor generalmente es unidireccional pero el estándar también soporta multidifusión, la comunicación entre los dispositivos finales y las puertas de enlace se las realiza mediante canales de frecuencia y a distintas velocidades de datos, la selección de la velocidad de dato es

un compromiso entre la distancia de alcance, la duración y consumo de energía de este (Manrique et al., 2019).

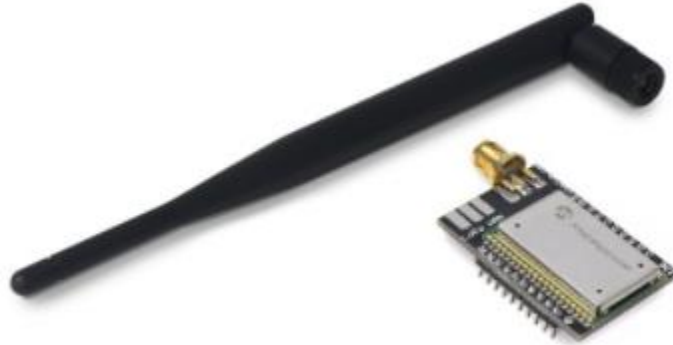


Figura 16. Módulo LoRaWAN para Arduino
Fuente.(Manrique et al., 2019).

Este módulo incluye una antena de 900/915 MHz para ser utilizada en esta frecuencia, la potencia es hasta 14dBm, y un alcance en zonas urbanas de hasta 5km, consumo de chipset de 38.9 mA. Tasa de bits de radio de 250 a 5470bps.

2.11. Estructura General

Mediante el uso de Arduino con su estructura permite la programación en lenguaje C++ por lo cual tiene el beneficio de aportar funciones que posee el lenguaje dando mucha ayuda para el desarrollo general, el cual está basado en: analizar, recoger, transmitir información, visualización y almacenamiento de datos.

- El análisis del estado climático se lo realiza mediante los diferentes sensores y el uso del microcontrolador Arduino Mega 2560.
- Los datos analizados se almacenan de forma temporal en la memoria eeprom del Arduino.
- La transmisión se realiza mediante el uso de la tecnología LoRa WAN la cual tiene un alcance máximo de cinco kilómetros en zonas urbanas con línea de vista.

- La visualización almacenamiento de datos se realiza en el ordenador en el cual mediante el manejo de visual se pueden observar estos en tiempo real.

las estaciones meteorológicas automáticas están dotadas de un conjunto de sensores, conectados a un sistema de control y registro, los datos climatológicos analizados son captados por los sensores que se están utilizando los cuales registran las diferentes inclemencias del lugar analizando estos datos, las captan y almacenan de forma temporal en la tarjeta de control y luego proceden a transmitir la información al servidor del proyecto. Para el transporte de información de datos desde la tarjeta de control es necesario el uso de la tecnología LoRaWAN y para el transporte de estos se encriptarán para que no interfiera otra señal (Martínez, 2003).

2.12. Módulo de transmisión y recepción de datos

Los módulos LoRa WAN proporcionan un compartimiento en múltiples plataformas incluyendo multipunto y topologías tipo estrella estas operan entre los 915MHz. Proporcionan una comunicación rápida robusta en configuraciones de tipo estrella y punto a punto, además permiten una conectividad de punto final robusta con facilidad(Meloni, 2009).

Ventajas de los módulos LoRaWAN.

- Alta tolerancia a las interfaces.
- Alta sensibilidad para recibir datos.
- Basado en modulación Chirp.
- Bajo consumo eléctrico.
- Largo alcance hasta 5Km con línea de vista.
- Baja transferencia de datos hasta 255 bytes.
- Conexión punto a punto.
- Frecuencia de trabajo 915Mhz en America.

Lora funciona con los siguientes parámetros de comunicación los cuales se detallan en la Figura 38.

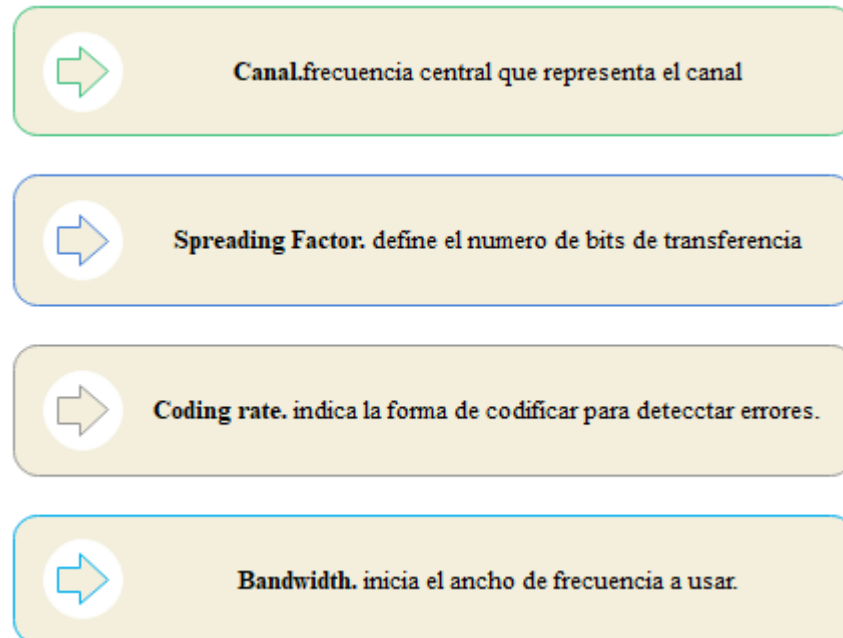


Figura 17. Parámetros de comunicación.

Fuente.(Manrique et al., 2019)

LoRaWAN tiene diferentes clases de dispositivos para atender las diferentes necesidades en la gama amplia de aplicaciones que posee siendo estos dispositivos finales bidireccionales, dispositivos finales bidireccionales con ranuras de recepción programadas, dispositivos finales bidireccionales con ranuras de recepción máximas. Esta basada en comunicación CSS “ Chirp Spread Spectrum” la cual ha sido usada para comunicaciones espaciales y militares debido a larga distancia de comunicación que se puede lograr y robustez en la interferencia, el protocolo que usa son nodos y gateways los primeros que se encargan de recibir y enviar información al gateway y los segundos que se encargan de recibir y enviar información a los nodos (Manrique et al., 2019).

2.13. Arquitectura del sistema de registro meteorológico

Están diseñados para el análisis de datos mediante la aplicación de varios sensores a través de una programación establecida, los cuales analizan, almacenan y posteriormente transmiten estos datos en tiempo real. el micro controlador

característico del proyecto será el Arduino Mega 2560 ya que este presenta como característica especial una conexión con los módulos LoRaWAN. Los elementos seleccionados son capaces de realizar un enlace entre ellos debido a que mantienen el mismo código en lo que es referente a la programación permitiendo la accesibilidad al sistema de forma remota (Astron et al., 2017).

Los sistemas de adquisición de datos se encargan de recibir información obtenida de los sensores y transmitirlos hacia el servidor, los sistemas de adquisición se encargan del procesamiento y almacenamiento de las señales obtenidas para luego ser visualizadas por el usuario en un ordenador (Martínez, 2003).

CAPÍTULO III

DISEÑO, DESARROLLO DEL PROTOTIPO METEOROLÓGICO MOVIL.

Previo al desarrollo del sistema, se identifican aspectos necesarios a ser considerados para el desarrollo de la misma, la cual integra las funciones automáticas de los sensores, sin dejar de lado las consideraciones ambientales a las que van a estar expuestas los sistemas y equipos electrónicos, para lo cual se cree necesario realizar unas consideraciones de diseño, físicas, eléctricas, análisis de programación y transmisión de datos.

3.1. Diseño del prototipo de la estación meteorológica

Está basado en las variables seleccionadas acorde al enfoque y aplicación del proyecto, al conocer las variables del proyecto se procede a indagar los elementos que son de ayuda para trabajar en función de estos.

3.1.1. Arquitectura del sistema

Se determina el desarrollo de la estación meteorológica, la cual tiene que ser apta para la intemperie y tener una protección IP65, la cual brinde una protección contra la lluvia y el polvo, utilizar equipos resistentes al oxido para la implementación de los sensores que soporten la rigurosidad del clima. Se debe tener la capacidad de integrar y desconectar sensores de una manera fácil y rápida que brinde las comodidades necesarias para realizar este cambio las cuales se aprecian en la Figura 18. El sistema se basa en el software y hardware Arduino, el cual es el encargado de monitorear las diferentes variables climatológicas, administrar los datos para transmitirlos posteriormente hacia la base receptora de la información.

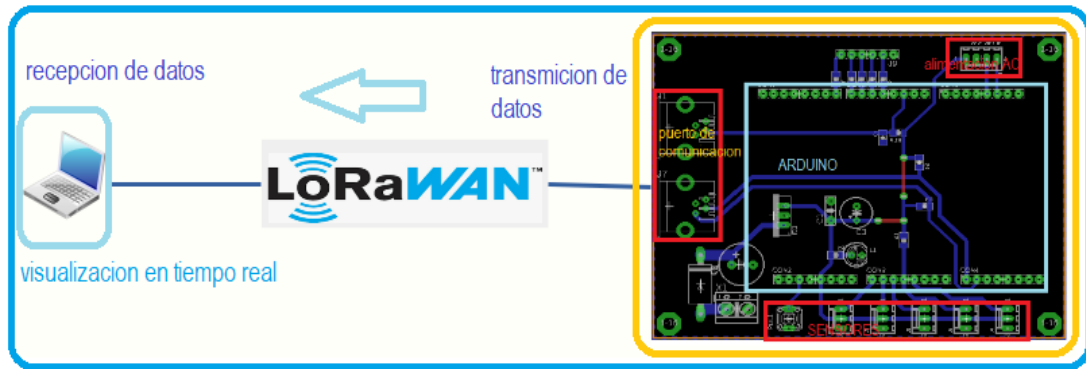


Figura 18. Arquitectura del sistema.
Fuente. El Autor

3.1.2. Consideraciones eléctricas

Se analiza esta característica en especial ya que el consumo energético es baja potencia debido a que está diseñada con un Arduino Mega 2560, y sensores de bajo consumo. Se considera que las variables a medir del clima son estándar según la recomendación del apartado anterior, se debe tener un sistema de corriente continua para alimentar todo el sistema.

3.1.3. Consideración de programación

Se opta por la utilización de software libre para la implementación de la estación meteorológica, la programación en Arduino tendrá que ser compatible con la base de datos la transmisión de datos se las realiza mediante una frecuencia de 915Mhz teniendo un enlace estable en la comunicación.

3.2. Software

El proyecto se desarrolla en el software Arduino en el cual se define los sensores, tiempos de muestreo y almacenamiento de cada uno. Luego para la visualización de los datos adquiridos se utiliza Visual Studio, ya que este software maneja gráficos de datos en tiempo real.

3.3. Visualización de los datos obtenidos

Para la visualización de los datos se realiza un acoplamiento de este con el software Visual Studio el cual es el encargado del manejo y administración de datos en tiempo real, la transmisión de la información lo realiza mediante una comunicación inalámbrica con una línea de vista, este envía una trama concatenada desde el Arduino mega hacia el ordenador en el cual esta una Shield LoRaWAN, la cual receipta los datos bajo el comando de Arduino e interfaz con Visual Studio, lo que permite visualizar los datos obtenidos, en esta plataforma la cual desfragmenta la trama de datos para presentarla ordenadamente de manera gráfica los datos de cada sensor en el ordenador.

3.4. Elección de la tarjeta base

La tarjeta electrónica que se selecciona para este proyecto es la Arduino Mega ya que integra un microcontrolador ATmega2560, tiene conexiones para una batería de polímero de litio e incluye un circuito de carga a través de USB, y es compatible con la Shield LoRaWAN.

3.5. Requerimientos del sistema.

3.5.1. Obtener Visual Studio

Para trabajar en el desarrollo de manejo y visualización de datos en tiempo real se procede a la descarga de Visual Studio accediendo <https://www.visualstudio.com> se descarga la versión de Visual Community 2018, en la Figura 19 se aprecia la página oficial de Visual Studio.

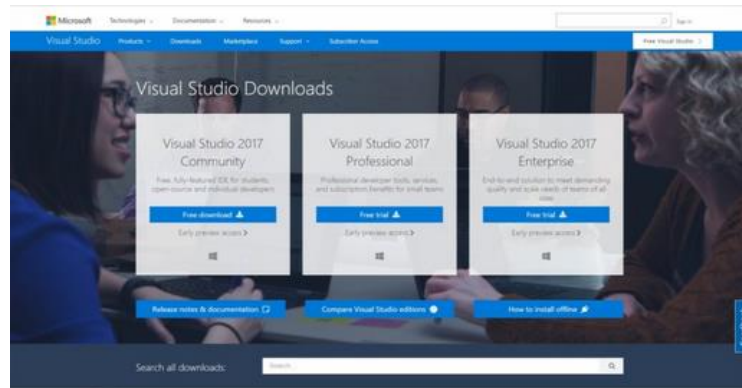


Figura 19. *Página oficial de Visual Studio.*

Fuente: (“Instalar Visual Studio,” 2018)

3.5.2. Instalación de Visual Studio.

Una vez que se obtiene Visual Studio se procede a instalar ejecutándolo como administrador, este archivo incluye todos los paquetes necesarios para personalizar el entorno de desarrollo, desde la carpeta que contiene el programa, hacemos clic en el archivo y se verifica que coincida con el siguiente dato.

- **Vs_community.exe** para Visual Studio Community.

Una vez analizado se recibirá un aviso de control de creación de cuenta de administrador el cual se acepta términos y condiciones y continua con la instalación.

3.5.3. Selección de cargas de trabajo de visual Studio.

Una vez instalado el programa y reiniciado el ordenador, se procede a personalizar el entorno de desarrollo, asignando las cargas de trabajo las cuales son necesarias para el desarrollo del manejo de base de datos, en la Figura 20. Se aprecia las cargas de trabajo.

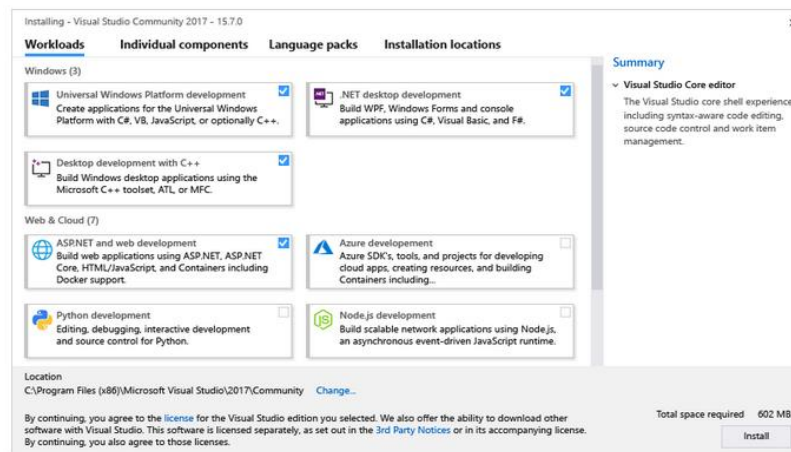


Figura 20. Cargas de trabajo en Visual Studio.
Fuente. (“Instalar Visual Studio,” 2018).

3.5.4. Asignación de la instalación.

Para tener un buen manejo de los recursos en la memoria del ordenador, se puede mover los datos a la memoria cache, los componentes compartidos, SDK y herramientas a distintas unidades, de esta manera el procesador trabajara en condiciones favorables. A continuación, se aprecia la ubicación del software instalado en la Figura 21.

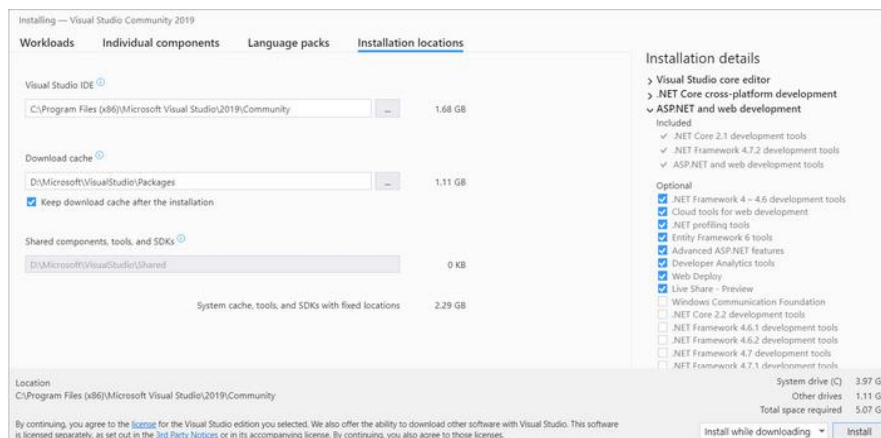


Figura 21. Ubicación de la instalación de Visual Studio.
Fuente. (“Instalar Visual Studio,” 2018).

3.6.Instalación de Arduino con Visual Studio.

Para el desarrollo de la base de datos en esta ocasión se va a vincular Visual Studio Code y su extensión para Arduino. Visual Studio Code permite editar en código fuente la cual es desarrollada por Microsoft para diferentes sistemas operativos, permite soporte de depuración y control integrado de (Git) resalto de sintaxis, finalización inteligente de código, fragmentos y refactorización de código.

3.7.Instalación de la extensión para Arduino.

Ya instalada la extensión de Arduino para Visual Studio Code se realiza click en el gestor de extensiones se busca la aplicación Arduino y se procede a instalar las dependencias necesarias para la extensión como se observa en la Figura 22.

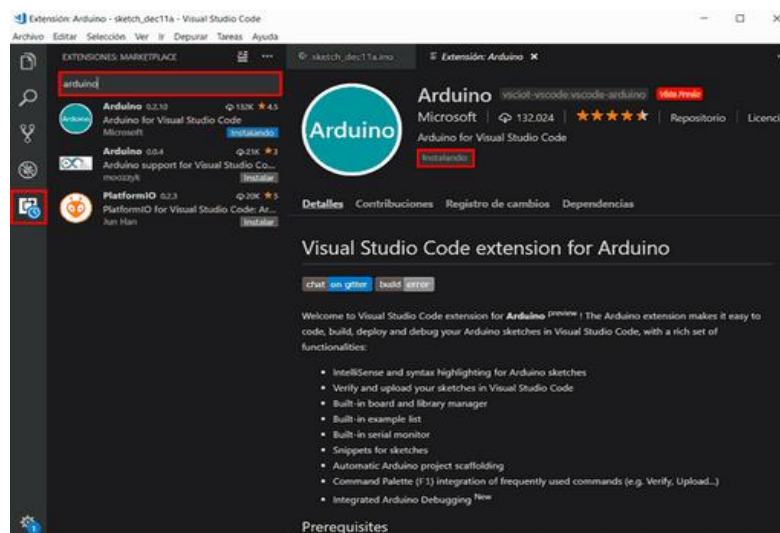


Figura 22. Software de extensión para Arduino.

Fuente. (Microsoft, 2019)

Ya instalado la extensión para Arduino se podrá usar Visual Studio Code para editar ficheros y funcionalidades resaltando la sintaxis como se observa en la Figura 23.

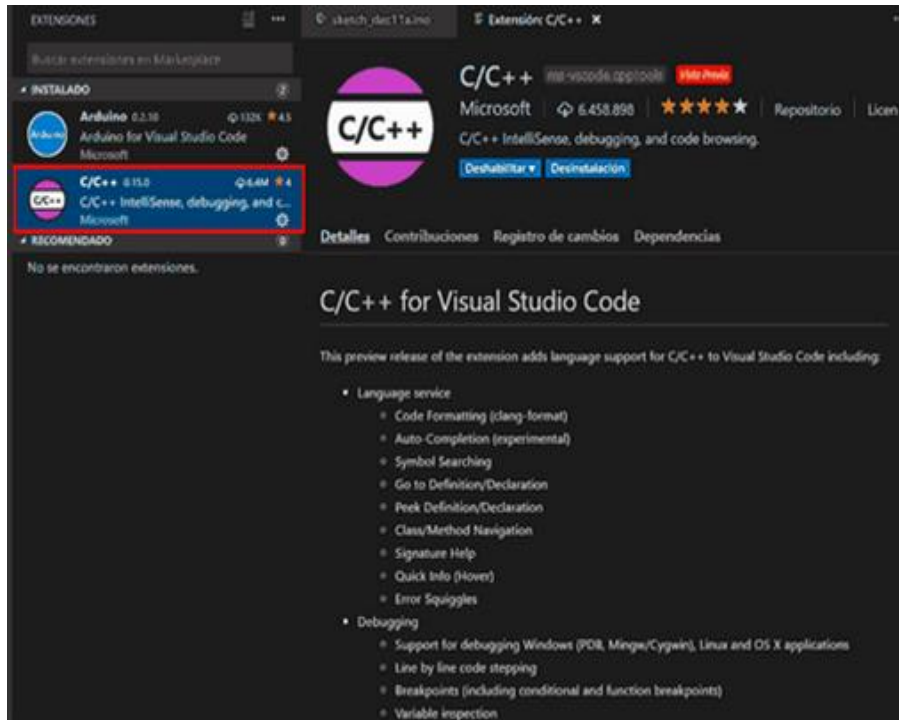


Figura 23. Asignación de Visual Studio Code.
Fuente. (Microsoft, 2019).

3.8. Comando de la extensión VS Code Arduino

La extensión Arduino añade diversos comandos, para interactuar con los ficheros, estos están activos cuando se está editando un sketch (*.ino).

Para acceder a los comandos se inicia la paleta de control pulsando las teclas F1 y escribimos el comando que se desee, (no hace falta escribir el código entero solo lo suficiente para que aparezca). Estos comandos de la extensión se detallan a continuación en la Figura 24.

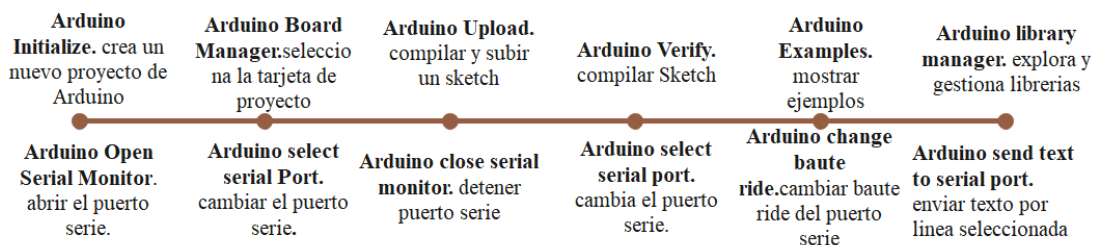


Figura 24. Comandos de la extensión Arduino
Fuente. (Mite Rivera, 2017).

3.9. Proceso de programación de los módulos

Se demuestra el desarrollo de la configuración de cada uno de los sensores utilizados en este proyecto, como base de desarrollo se toma el software Arduino, la tarjeta de control es el Arduino Mega 2560 en el cual se asignan las librerías y se activan los puertos de comunicación. Se desarrolla estableciendo tiempos de muestreo, luego se asigna el espacio en la memoria del microcontrolador para el almacenamiento temporal de los datos, se establece la trama para la transmisión de datos y en el ordenador se establece la base de datos. Se desarrolla la programación con el uso de lenguaje C++ lo que facilita el entorno de desarrollo ya que existen muchos foros donde hay expertos en programación los cuales comparten experiencias previas del manejo de los diferentes sensores.

3.9.1. Sensor de temperatura y humedad DHT11

Se configura con la librería DHT para Arduino la cual se descarga del link <https://github.com/adafruit/DHT-sensor-library> con esta librería se activa los sensores y protocolos de comunicación. La activación es simple a continuación se detalla la activación del sensor de la humedad y temperatura como se aprecia en la Figura 25.

```

#include "DHT.h"
#define DHTPIN 2 // Pin donde está conectado el sensor
#define DHTTYPE DHT11 // Descomentar si se usa el DHT 11
DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE); // inicializacion del sensor
void setup() {
  Serial.begin(9600); // velocidad de muestreo
  Serial.println("Iniciando...");
  dht.begin();
}
void loop() {
  delay(2000); // tiempo de encendido
  float h = dht.readHumidity(); // Leemos la Humedad
  float t = dht.readTemperature(); // Leemos la temperatura en grados Centigrados
  //-----Enviamos las lecturas por el puerto serial-----
  Serial.print("Humedad ");
  Serial.print(h);
  Serial.print(" %t");
  Serial.print("Temperatura: ");
  Serial.print(t);
  Serial.print(" °C ");
  tiempoUltimaLectura=millis(); // actualizamos el tiempo de la última lectura
}
digitalWrite(13, HIGH);
delay(100);
digitalWrite(13, LOW);
delay(100);
}

```

Figura 25. Código sobre la inicialización y prueba del sensor.
Fuente. El Autor.

La estructura de conexión de este sensor de humedad y temperatura se ejecuta de la siguiente forma la señal del sensor se conecta a la pin 2 digital del Arduino la alimentación se la realiza a 5V. y se coloca una resistencia en paralelo a la señal de salida el pin tres del sensor queda libre, y al cuarto se le coloca GND como se detalla en la Figura 26.

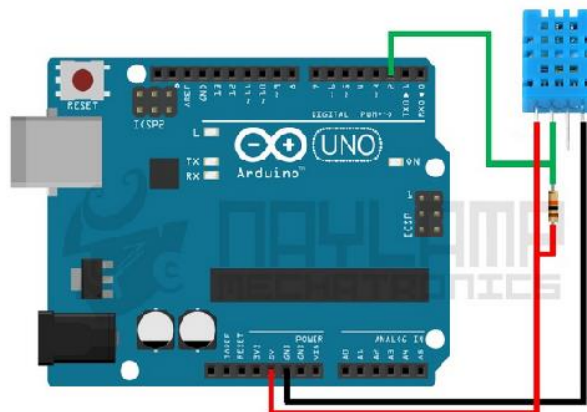


Figura 26. Estructura de conexión del sensor de temperatura e humedad.
Fuente. (Arduino, 2018).

3.9.2. Sensor de dióxido de carbono

Es un sensor analógico por lo que son fáciles de usar con cualquier microcontrolador, este sensor se caracteriza por ser electroquímico, varían su resistencia al momento de exponerse a determinado gas luego internamente tiene un calentador que se encarga de aumentar la temperatura interna permitiendo al sensor reaccionar la cual provoca una variación en su resistencia. se lo alimenta a 5VDC. Y GND. Como se observa en la Figura 27.

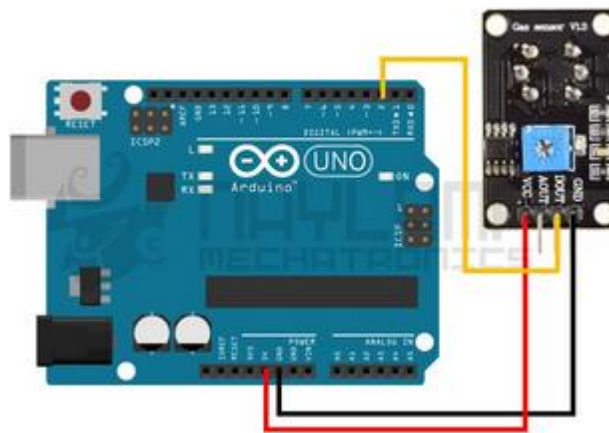


Figura 27. Estructura de conexión del sensor de Co2
Fuente. (Arduino, 2018).

La estructura de inicialización del sensor se realiza con el programa que se aprecia en la Figura 28. En el cual se declara el pin digital al que va a ser conectado, el tiempo de muestreo, luego se activa el estado de lectura del sensor y se procede a imprimir la respuesta cada segundo.

```

int pin_mq = 2;
void setup() {
  Serial.begin(9600);
  pinMode(pin_mq, INPUT);
}
void loop() {
  boolean mq_estado = digitalRead(pin_mq); //Leemos el sensor
  if(mq_estado) //si la salida del sensor es 1
  {
    Serial.println("Sin presencia de CO2");
  }
  else //si la salida del sensor es 0
  {
    Serial.println("CO2 detectado");
  }
  delay(100);
}

```

Figura 28. Código de inicialización del sensor.
Fuente. El Autor.

3.9.3. Anemómetro calibración

Este dispositivo funciona mediante el viento el cual mueve las copas en el anemómetro luego a su vez gira un imán cerrado, después el imán cierra un interruptor de láminas por cada rotación que refleja en la salida, los cuales se pueden medir por los conductores internos del conector RJ-11 en los pines (2 y 3), luego usando un contador digital o interrupciones sobre el microcontrolador el cual convierte esto en una velocidad de viento que funcione, se utiliza la formula de conversión de $1.492 \text{ mph} = 1 \text{ interruptor de cierre/segundo}$ o 2.4 Km/h



Figura 29. Anemómetro
Fuente. (Access & Shield, 2012)

3.10. Diseño de la placa electrónica

Mediante un software de diseño electrónico Eagle, se realizó el circuito impreso de control que integra todos los sensores y dispositivos que conforman el sistema, de adquisición y transmisión de datos. A continuación, se presenta la placa PCB en la Figura 30.

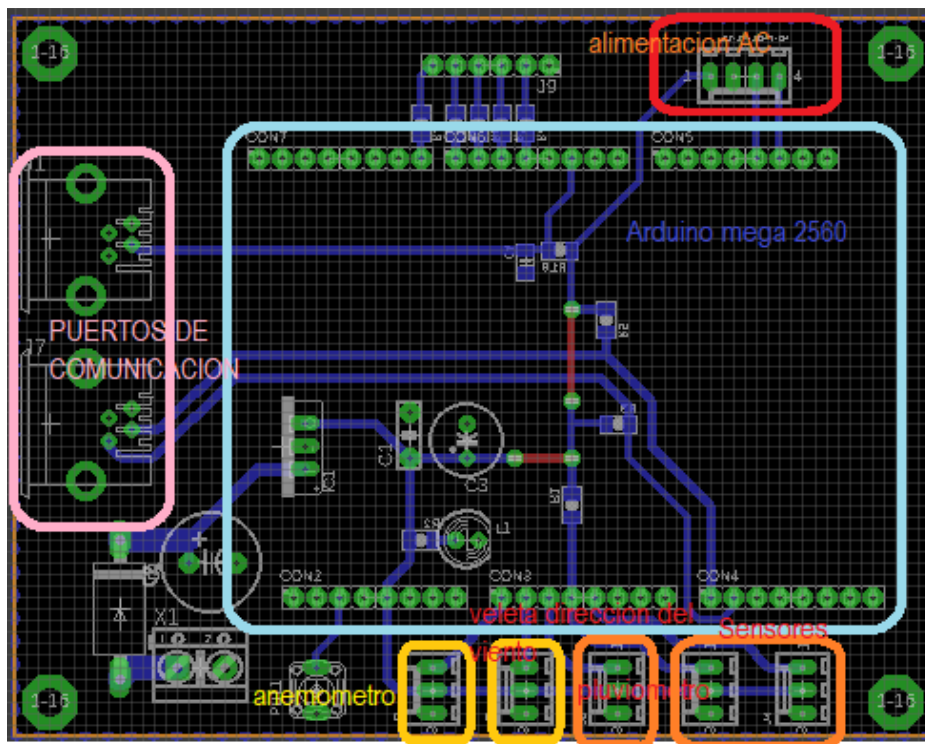


Figura 30. Diseño del circuito en PCB.
Fuente. El Autor.

La etapa de control esta comandada por el Arduino Mega la cual consta de un microcontrolador Atmega2560 el mismo integra todos los sensores y un led indicador de inicio, en esta etapa hay que considerar los pines que fueron declarados para la obtención de datos de los diferentes componentes, debido a que algunos son analógicos y otros son digitales, ya definidos estos se procede a implementar el algoritmo de adquisición y transmisión de datos.

3.11. Configuración de LoRaWAN

Los paquetes siguen una estructura definida por el protocolo LoRaWAN, ya que cuenta con las siguientes características las cuales se aprecian en la Figura 31:



Figura 31. Formato de la trama física.

Fuente. El Autor.

El preámbulo permite definir parámetros de forma individual para cada paquete, este indica el instante para transmitir, así como el esquema en función de distancia y el consumo energético que es importante en la implementación de una IoT, la cabecera está definida por un solo byte en la trama (PHDR). Payload tiene un tamaño máximo de 255 bytes contiene la capa de acceso al medio de LoRaWAN, la cabecera MAC identifica el tipo de mensaje y el formato de la trama dentro de la capa con la que ha sido asociada (Manrique et al., 2019).

3.12. LoRaWAN

Para la activación se conectan los módulos con su respectiva antena y luego hacia el ordenador en este se procede a configurarlo de la siguiente manera la cual se aprecia en la Figura 32.

Especificaciones:	
Puertos:	1xAntena; 1xRS485; 1xEthernet;
Protocolo RS485	Maestro BACnet MSTP
Protocolo de antena	LoRaWAN 868MHz
Velocidades de datos Bacnet	Hasta 115200 bps
Velocidades de datos LoRaWAN	programable
Conector Bacnet	Bloque de terminales de 3 vías de 5 mm
Conector LoRaWAN	Antena SMA Hembra
Conector de fuente de alimentación	Bloque de terminales de 2 vías de 5 mm
Fuente de alimentación	15..21V AC; 18..35 V CC
Temperatura de funcionamiento	-40 𠄎 / + 85 𠄎 (-40 𠄎 / + 185 𠄎)
Dimensiones	71x60x95 (largo x ancho x alto)
Peso	200g aprox.
Fijacion mecanica	Montaje en carril DIN
SOFTWARE:	SW67D16
CÓDIGO DE ORDEN:	HD67D16-MSTP-B2-868MHz

Figura 32. Especificaciones de los módulos LoRawan.
Fuente. (Manrique et al., 2019)

Esta tecnología trabaja en un rango de frecuencias distintas dependiendo de la región en la que se encuentre en Ecuador se usan planes de frecuencia que oscilan entre los 915 – 928MHz de acuerdo a lo que impone LoRa Alliance. El ciclo de trabajo no es limitado y no existe restricciones de transición entre dispositivos, no afecta al rendimiento de red así que la probabilidad de colisión será mínima provocando un aumento de consumo energético.

3.13. Algoritmo de adquisición de datos

La Figura 33 muestra el diagrama de flujo que explica las librerías usadas y los interfaces para activar los diferentes sensores.

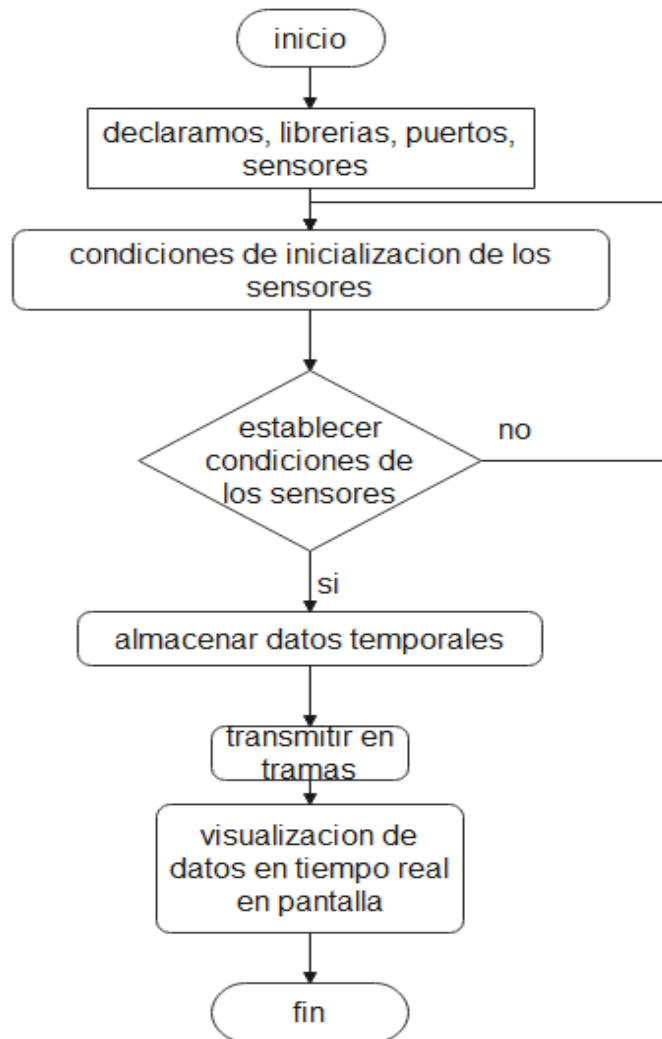


Figura 33. Algoritmo de control y transmisión de datos.

Fuente. El Autor

El programa se inicializa declarando las variables, pines y librerías a usar, estas se definen en base, al puerto que requieran ya sea digital o analógico, en el software se asigna una variable que realiza la activación de pruebas a cada sensor instalado. los códigos detallados sirven para hacer pin a cada sensor utilizado, es decir se procede a preguntar el estado en el que está el sensor.

3.14. La trama de información.

Una trama de datos es una serie sucesiva de bits, organizados de forma cíclica que transportan información desde la placa de censado hacia el ordenador, donde se registra la base de datos y se visualizan en tiempo real, normalmente esta trama constara de cabecera, datos y cola. En la cola suele estar el chequeo de errores, en la

cabecera habrá campos de control de protocolo y la parte de datos es el que transmite en nivel de comunicación.

3.15. Base de datos

El desarrollo de la base de datos es en Excel sin embargo se usa Visual Studio para la visualización de los datos en tiempo real, para la obtención de estos se utiliza el puerto serial, realizando la comunicación entre los softwares Arduino y Visual Studio. Para el almacenamiento de los datos obtenidos, es necesario realizar un enlace con Excel, en el cual se le asigna una columna para asignar el ID, Fecha, Humedad Temperatura, Aire, CO2, luz UV, lluvia, velocidad dirección del viento. estos son de tipo (float) ya que presentan decimales, y otros son de tipo (int) lo que representa valores enteros, la fecha está declarada con varchar, a continuación se muestra la tabla de datos en la Figura 34.

Id	Fecha	Temperatura	Humedad	Aire	CO2	Luz UV	Lluvia	Velocidad vi	Dirección viento
1	22/03/2021 23:02	19.36	50	0.24	3.87	0.14	0	0	N
2	22/03/2021 23:02	19.36	50	0.24	3.87	0.14	0	0	N
3	22/03/2021 23:02	19.36	50	0.25	3.87	0.14	0	0	N
4	22/03/2021 23:02	19.36	50	0.24	3.87	0.14	0	0	N
5	22/03/2021 23:02	19.36	50	0.24	3.87	0.14	0	0	N
6	22/03/2021 23:02	19.36	50	0.25	3.87	0.14	0	0	N
7	22/03/2021 23:02	19.36	50	0.25	3.87	0.14	0	0	S
8	22/03/2021 23:02	19.36	50	0.25	3.87	0.14	0	0	S
9	22/03/2021 23:03	19.36	50	0.25	3.87	0.14	0	0	NO
10	22/03/2021 23:03	19.36	50	0.24	3.87	0.14	0	0	NO
11	22/03/2021 23:03	19.36	50	0.25	3.87	0.14	0	21.4	NO
12	22/03/2021 23:03	19.36	50	0.25	3.87	0.1	0	35.2	NO
13	22/03/2021 23:03	19.36	50	0.24	3.87	0.14	0	13.2	O
14	22/03/2021 23:03	20.43	49	0.24	3.81	0.14	0	6.2	NO
15	22/03/2021 23:03	20.43	49	0.24	3.87	0.1	0	4	O
16	22/03/2021 23:03	20.43	49	0.22	3.87	0.14	0	0.8	N
17	22/03/2021 23:03	20.43	49	0.24	3.87	0.14	0	2.4	N
18	22/03/2021 23:03	20.43	49	0.24	3.87	0.14	0	1	N
19	22/03/2021 23:03	20.43	49	0.24	3.87	0.14	0	1	N
20	22/03/2021 23:04	20.43	49	0.23	3.87	0.14	0	0	N
21	22/03/2021 23:04	20.43	49	0.24	3.87	0.14	0	0	N
22	22/03/2021 23:04	20.43	49	0.23	3.87	0.14	0	0	N

Figura 34. Base de datos en Excel.

Fuente. El Autor.

A continuación, se observa un análisis grafico de los datos recolectados por los sensores como se observa en la Figura 35.

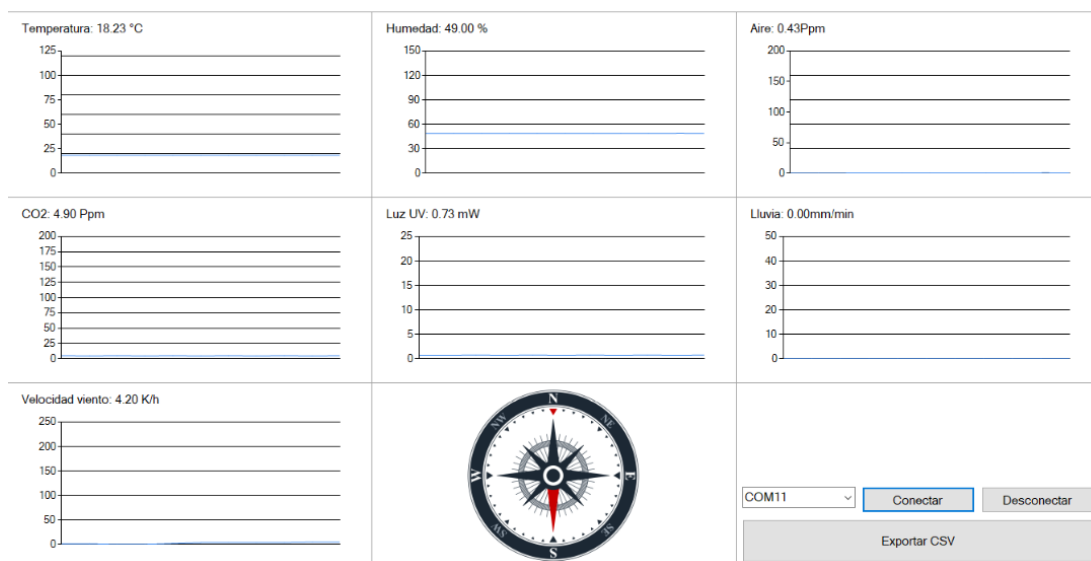


Figura 35. Análisis de datos recolectados en tiempo real.

Fuente. El Autor.

3.16. Análisis de coste de la estación meteorológica

El análisis de coste de una estación meteorológica, analiza la factibilidad en ejecución del proyecto, lo que permite visualizar de manera temprana si es viable, en qué condiciones se debe desarrollar para que este alcance el éxito, el factor con mayor incidencia en la factibilidad del proyecto, la precisión en la adquisición de los diferentes equipos a usarse se detalla en la Tabla 3.

Tabla 3. Análisis coste de los componentes de la estación meteorológica.

Descripción	unidades	Precio unitario	Precio total
Arduino mega 2560	1	50	50
Sensor de temperatura y humedad DHT11	1	20	20
Sensor de dióxido de carbono MQ135	1	20	20
Sensor de ozono MQ-131	1	48	48
Estación meteorológica APRS	1	150	150
Módulo LoRa WAN	1	80	80
Caja de protección	1	60	60
Tubo galvanizado	1	6	6
Controlador de corriente	1	45	45

	Subtotal	479
IVA	12%	57.48
	TOTAL	536.48

Fuente. El Autor.

CAPÍTULO IV

IMPLEMENTACION Y ANALISIS DE FUNCIONAMIENTO DEL EQUIPO DESARROLLADO.

Con la finalidad de verificar el funcionamiento y hacer valido el proyecto se desarrolla este capítulo el cual tiene como objetivo resaltar las actividades necesarias para la implementación y validación del mismo. Para lo cual se acudió a la universidad católica de cuenca sede Azogues para realizar el trámite pertinente y conseguir los permisos por parte de la entidad para realizar la implementación.

4.1. Implementación del equipo

La implementación de la estación meteorológica fija se desarrolla en la ciudad de Azogues, en la Universidad Católica, la cual se encuentra ubicada entre las avenidas Che Guevara, y 16 de abril frente al terminal terrestre, la estación meteorológica se ubica en la parte superior del edificio central como se aprecia en la Figura 36.



Figura 36. Ubicación de la Universidad Católica de Azogues.

Fuente. El Autor.

Inicialmente se realizó la visita a la universidad y se solicitó los permisos necesarios al señor ingeniero director de la carrera de ingeniería electrónica, el cual se tomó la

molestia de conversar con el encargado para proceder a la inspección previa a la implementación dicho sistema desarrollado.

Para efectuar la implementación se consideró algunos puntos tales como: la fuente de voltaje ya que funciona a $12VDC$, conociendo que el sistema tendrá que operar de manera continua se acoplo una conexión a $120VAC$, para que el equipo opere sin ocasionar problemas tales como caída o pérdida de información, o en otros casos por falta de muestras de los sensores.

Con el fin de diseñar dispositivos portátiles los cuales se adapten al medio de estudio para efectuar la implementación se ubicó el sistema de sensado en una carcasa de protección la misma que tiene como característica especial normas de protección contra la lluvia, polvo, y algunas inclemencias que puede generar el clima como se aprecia en la Figura 37.



Figura 37. Implementación de la estación meteorológica fija.
Fuente. El Autor.

Ya implementado el equipo, para efectuar la validación de este lo analizamos con el software el cual es el encargado de recibir los datos y visualizarlos en tiempo real, la prueba consiste en evaluar el porcentaje de paquetes recibidos en el servidor cuando la red se encuentra funcionando con un nodo cliente. La prueba consiste en evaluar el porcentaje de paquetes recibidos en el servidor cuando la red se encuentre funcionando permitiendo visualizar la transmisión de datos en tiempo real.

4.2. Recopilación de la información.

La información recolectada proviene del análisis del clima en el sector en el cual se procedió a ubicar la estación meteorológica, para la misma se utilizó diferentes sensores como los hemos mencionado en los capítulos anteriores, estos datos obtenidos se pueden visualizar en la pantalla del ordenador mediante el software desarrollado, en el cual se pudo evaluar la fiabilidad de la comunicación entre estos dispositivos inalámbricos, considerando que el hardware está ubicado en la parte superior del techo de la universidad en el bloque central, a una altura de 2400msnm , para que exista una cobertura de enlace no deben existir interferencias tales como: arboles, edificios, ondas que hagan que el enlace perezca, entre otros factores, se constató que el alcance máximo es hasta la intersección de las calles Juan Montalvo y Cacha, a un desnivel de 300m desde donde se ubicó el equipo, la señal de enlace llega una cuadra antes del santuario Franciscano de la ciudad de Azogues siendo el alcance máximo de este 1.6Km debido a que existen diferentes edificaciones las cuales se oponen a la verificación del conexión que se está probando, como se observa en la Figura 38.

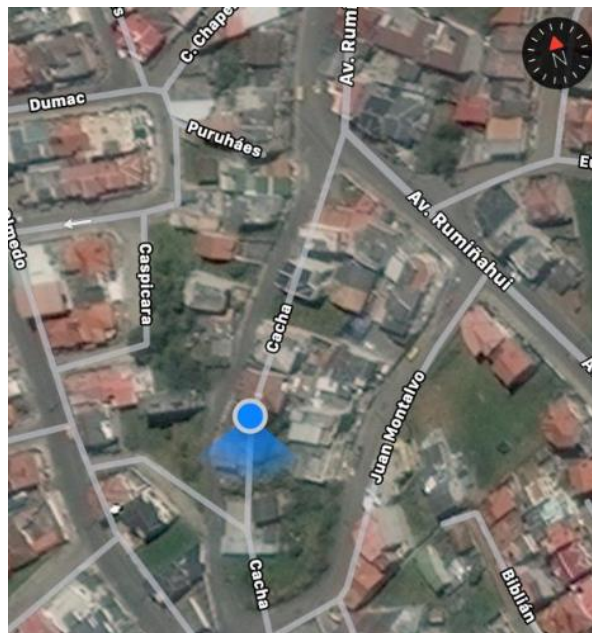


Figura 38. Análisis del alcance máximo de transmisión.
Fuente. El Autor

Ya constatado los datos máximos a desnivel se procedió a crear una segunda etapa de pruebas las cuales se ejecutaron en la Avenida Aurelio Jaramillo con una distancia de 600m desde la Universidad Católica de Azogues los cuales están a un nivel menor del que se encuentra ubicado el equipo de transmisión de datos como se observa en la Figura 39.

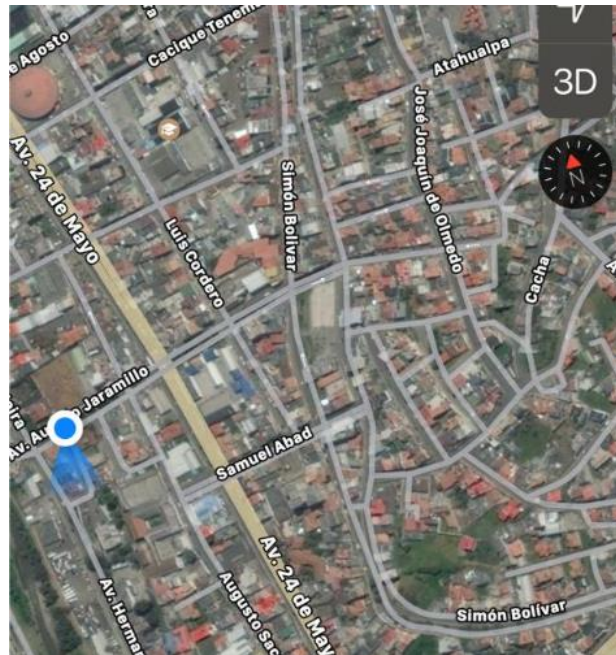


Figura 39. Ubicación del alcance máximo de la segunda prueba.
Fuente. El Autor.

Mediante estas pruebas se llegó a determinar que las comunicaciones inalámbricas con esta tecnología son estables a un rango de 1.6Km siempre que no existan limitantes tales como edificaciones, arboles, entre otros aspectos los cuales afecten el enlace. Los datos obtenidos se almacenan en Excel para lo cual se creó un interfaz de muestreo, el almacenamiento de estos datos se efectúa cada segundo a como se muestra en la Figura 40.

Id	Fecha	Temperatura	Humedad	Aire	CO2	Luz UV	Lluvia	Velocidad vi	Dirección viento
1	22/03/2021 23:02	19.36	50	0.24	3.87	0.14	0	0	0 N
2	22/03/2021 23:02	19.36	50	0.24	3.87	0.14	0	0	0 N
3	22/03/2021 23:02	19.36	50	0.25	3.87	0.14	0	0	0 N
4	22/03/2021 23:02	19.36	50	0.24	3.87	0.14	0	0	0 N
5	22/03/2021 23:02	19.36	50	0.24	3.87	0.14	0	0	0 N
6	22/03/2021 23:02	19.36	50	0.25	3.87	0.14	0	0	0 N
7	22/03/2021 23:02	19.36	50	0.25	3.87	0.14	0	0	0 S
8	22/03/2021 23:02	19.36	50	0.25	3.87	0.14	0	0	0 S
9	22/03/2021 23:03	19.36	50	0.25	3.87	0.14	0	0	0 NO
10	22/03/2021 23:03	19.36	50	0.24	3.87	0.14	0	0	0 NO
11	22/03/2021 23:03	19.36	50	0.25	3.87	0.14	0	21.4	NO
12	22/03/2021 23:03	19.36	50	0.25	3.87	0.1	0	35.2	NO
13	22/03/2021 23:03	19.36	50	0.24	3.87	0.14	0	13.2	O
14	22/03/2021 23:03	20.43	49	0.24	3.81	0.14	0	6.2	NO
15	22/03/2021 23:03	20.43	49	0.24	3.87	0.1	0	4	O
16	22/03/2021 23:03	20.43	49	0.22	3.87	0.14	0	0.8	N
17	22/03/2021 23:03	20.43	49	0.24	3.87	0.14	0	2.4	N
18	22/03/2021 23:03	20.43	49	0.24	3.87	0.14	0	1	N
19	22/03/2021 23:03	20.43	49	0.24	3.87	0.14	0	1	N
20	22/03/2021 23:04	20.43	49	0.23	3.87	0.14	0	0	N
21	22/03/2021 23:04	20.43	49	0.24	3.87	0.14	0	0	N
22	22/03/2021 23:04	20.43	49	0.23	3.87	0.14	0	0	N

Figura 40. Base de datos.

Fuente. El Autor.

De los registros que se obtuvo de los sensores se procede a realizar un análisis individual obteniendo los datos que se observan en la Figura 41.



Figura 41. Análisis de los sensores.

Fuente. El Autor.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

En este proyecto se desarrolló un prototipo de estación meteorológica fija la cual está compuesta de ocho unidades de análisis del estado ambiental, el proyecto se conforma de dos etapas la primera es la de análisis y recolección de información y la segunda es la de transmisión de datos hacia una base la cual permita la visualización de estos en tiempo real.

Las pruebas de funcionamiento realizadas a la estación se comprobó la capacidad de los diferentes equipos que conforman los parámetros analizados los cuales son: humedad, temperatura, calidad del aire, luz UV, dióxido de carbono, lluvia, velocidad y dirección del viento, Se hizo constancia del análisis y transporte de datos en tiempo real.

Mediante la plataforma Arduino se logró determinar la programación adecuada para la medición de variables las que tienen una gran variedad de utilidad en el campo de la ingeniería y muchos otros campos del conocimiento en la actualidad.

El diseño de esta estación permite que sea desplazada en diferentes zonas geográficas facilitando el estudio medioambiental en determinada zona geográfica.

Se demostró la gran cantidad de usos que esta puede ofrecer y es viable el diseño y construcción de una estación meteorológica confiable que puede brindar datos reales y necesarios en la actualidad para el desarrollo de posibles otros proyectos de ingeniería.

Las medidas climatológicas básicas es la función principal del sistema y considerando que existe un tiempo de muestreo para realizar estas medidas, estas se la realizan y

transmiten en tiempo real, aunque para el almacenamiento de datos en la base se considera el tiempo de 1 segundo, dando como resultado una base de datos sólidos.

Las bondades que presta el Arduino Mega son limitadas en cuanto a memoria RAM, ya que el almacenamiento de datos en este equipo es temporal lo que ha obligado la transmisión de datos hacia el servidor.

5.2 Recomendaciones

La instalación de este tipo de estaciones en zonas con bajo y alto potencial de desarrollo, donde se prevean grandes proyectos de infraestructura para de esta manera recolectar información meteorológica la cual ayude en la toma de decisiones finales con los diseños y métodos de construcción.

Tras las pruebas de funcionalidad se ha llegado a determinar que una de las principales recomendaciones es utilizar la tecnología de redes inalámbricas y Shields de internet, de esta manera se abarcaría una mayor distancia de transmisión de datos haciendo posible determinar los estudios meteorológicos a diferente altura.

Este proyecto propone una base para futuras líneas de investigación ya que este se podría utilizar en varios campos e implementar estaciones meteorológicas que sirvan de ayuda ya que este documento presenta las características necesarias para el desarrollo.

Bibliografía

- Access, A., & Shield, C. (2012). *Manual de Usuario*.
- Akano, A. O., Dixon, A. G. O., Mba, C., Barrera, E., Fregene, M. A., Nägele, T., ... Ferguson, M. E. (2015). NoTitle. *Nature Reviews Genetics*, *11*(1), 1–14. Retrieved from <http://link.springer.com/10.1007/978-94-007-0507-4%0Ahttps://doi.org/10.1080/09766634.2011.11885545%0Ahttps://www.uniprot.org/citations/15056893%0Ahttp://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1672630818300830%0Ahttps://www.uniprot.org/citations/19901>
- Arduino. (2018). Thingspeak | Aprendiendo Arduino. Retrieved May 2, 2020, from <https://aprendiendoarduino.wordpress.com/2018/11/23/thingspeak/>
- Astron, C., Hurtado, S. I., Co-director, E. A. S., & Godoy, A. (2017). Tesis de Licenciatura en Meteorología y Ciencias de la Atmósfera “ Estudio de las variaciones en baja frecuencia de la precipitación en la Provincia del Chaco .”
- Bastidas, W. (2016). “Guía climática agroecoturística para el cantón Quito-provincia de Pichincha 2014,” 107. Retrieved from <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/6085/1/T-UCE-0004-01.pdf>
- Blasco, Y. (2013). Estimación radiación solar.
- Cardona, J. C. G., & Porras, D. M. H. (2013). DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA APLICACIÓN ELECTRÓNICA PARA EL AHORRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN UNA VIVIENDA DEL SECTOR RURAL UTILIZANDO UNA ENERGÍA ALTERNATIVA.
- Encalada, S. I. P. (2018). Diseño, Desarrollo E Implementación De Una Estación Meteorológica Basada En Una Red Jerárquica De Sensores, Software Libre Y Sistemas Embebidos Para La Empresa Elecaustro En La Minicentral Gualaceo Utilizando Comunicación Mqtt Y Modbus. *Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca*, *0*(0), 148. Retrieved from <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/5264/1/UPS-CT002757.pdf>
- Espinoza, E. (2013). Universidad Nacional De Loja Autor. *Universidad Nacional De Loja*, 62. Retrieved from http://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/17025/1/TESIS_WILSON_FERNANDO.pdf

- Instalar Visual Studio. (2018). Retrieved July 6, 2018, from <https://visualstudio.microsoft.com/es/vs/getting-started/new-install/>
- Jiménez, R. M. R., Capa, Á. B., & Lozano, A. P. (2004). *Meteorología Y Climatología*. Retrieved from <https://cab.inta-csic.es/uploads/culturacientifica/adjuntos/20130121115236.pdf>
- Manrique, A., Buitrago, L., & Hernández, J. (2019). Redes LoRaWAN. Revisión de componentes funcionales en aplicaciones IoT. *Universidad Distrital Francisco José de Caldas*, 32.
- Martínez, F. (2003). Metodología y criterios para el desarrollo de un sistema integrado de información meteorológica y oceanográfica para la navegación, 357. Retrieved from <https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/6997/TESIS.pdf?sequence=1>
- Meloni, J. C. (2009). *PHP, MySQL y Apache*. Anaya Multimedia-Anaya Interactiva. Retrieved from <https://books.google.com.ec/books?id=kPVCPwAACAAJ&dq=modulo+gsm+para+arduino&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwicps2hqsnGAhUJnFkKHRImBTY4HhDoAQhQMAc>
- Microsoft. (2019). Características avanzadas - Visual Studio | Microsoft Docs. Retrieved May 31, 2020, from <https://docs.microsoft.com/es-es/visualstudio/ide/advanced-feature-overview?view=vs-2019>
- Millan, F. M. (2016). Diseño e implementación de un sistema de medida de gases con arduino. Retrieved from <https://zagan.unizar.es/record/59102/files/TAZ-TFG-2016-2689.pdf>
- Mite Rivera, J. O. (2017). Diseño de un generador de señales para estudiantes en la Facultad de Ingeniería Industrial. Retrieved from <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/27431>
- ML8511 UV Sensor Hookup Guide - learn.sparkfun.com. (n.d.). Retrieved March 29, 2021, from <https://learn.sparkfun.com/tutorials/ml8511-uv-sensor-hookup-guide/all>
- Oliva Ramos, R. (2017). *Monitoreo, control y adquisición de datos con Arduino y Visual Basic .Net*. Marcombo. Retrieved from <https://books.google.com.ec/books?id=vSsLtAEACAAJ&dq=modulo+gsm+par>

a+arduino&hl=es-

419&sa=X&ved=0ahUKEwiGivXDqMngAhUNpFkKHRz7Aj8Q6AEISzAG

Rica, U. D. E. C., Salazar, E. R., José, S. A. N., Rica, C., & Salazar, E. R. (2009).

Diseño y construcción de una interfaz de control de nivel, temperatura y flujo de agua en un tanque para uso en prácticas de laboratorio.

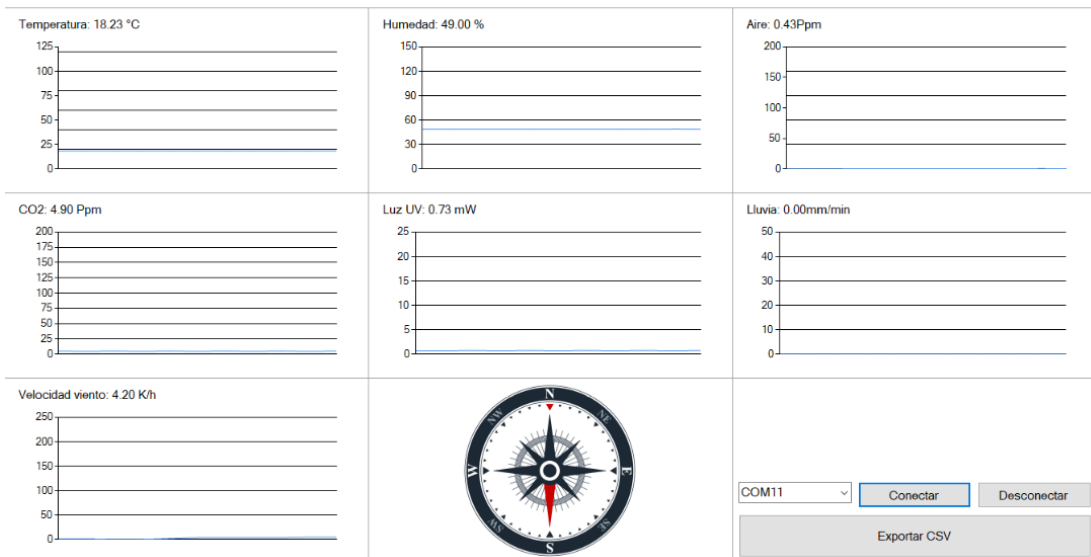
Solmaforo, E. L. (2011). Universidad nacional de ingeniería.

WindFinder. (2019). Dirección del viento. *Mapas Del Tiempo*, 8. Retrieved from

<http://atlas.ideam.gov.co/basefiles/TEXTO---Direccion-del-Viento.pdf>

ANEXOS

Anexo 1. Pruebas de la estación meteorológica en la universidad.





Anexo 2. Código del programa

```
#include "DHT.h"
#include "MQ135.h"
#include <DELduino.h>
#define Tiemp_M 5000
Pin_O L1(4), L2(5), L3(6), L4(7), L5(8);
volatile int numRevsAnemometer = 0, numLLuv = 0; // Incremented in the interrupt
long nextCalc; // When we next calc the wind speed
long tiempo; // Millis() at each start of loop().
int adc[8] = {284,784, 90,944,185,460,888,630};
char *strVals[8] = {"N","S","O","E","NO","SO","SE","NE"};
//int adc[8] = {284,784, 90,944,185,460,888,630};
//char *strVals[8] = {"N","S","E","O","NE","SE","SO","NO"};
String Dir_V;
float Vel_V, LLuvi, t, h, hic, Luz_UV, PpmAir, PpmCo2;

DHT dht(A3, DHT11);
MQ135 gasSensor = MQ135(A1);
MQ135 gasC02 = MQ135(A2);
```

```

void countAnemometer() {numRevsAnemometer++;}
void countLLuv() {numLLuv++;}

void Mid_LLuvia() {
  float CatLL = 0.2794;
  CatLL *= numLLuv;
  CatLL /= 12;
  LLuvi = CatLL; ///< 10;    // Need this for formatting below
  numLLuv = 0;    // Reset counter
}

void Vel_Viento() {
  float Speed = 2.4;
  Speed *= float(numRevsAnemometer);
  Vel_V = Speed / 12;
  numRevsAnemometer = 0;    // Reset counter
}

void Dir_Viento() {
  int val = analogRead(A9);
  for(int pos = 0; pos < 8; pos++) {
    if (val >= (adc[pos]-10) && val < (adc[pos]+10)) {
      Dir_V = strVals[pos];
      break;
    }
  }
}

void Mid_TemHum() {
  h = dht.readHumidity();
  hic = dht.readTemperature();
  t = dht.computeHeatIndex(hic, h, false);
}

void Mid_Luz_UV() {
  int uvLevel = analogRead(A2);
  Luz_UV = float(uvLevel * 5) / 1023;
}

```

```

Luz_UV = (Luz_UV - 0.9) * (15.0 - 0.0) / (2.9 - 0.9) + 0.0;
if(Luz_UV >= 0.0 && Luz_UV <= 3.0) {L1.Out(1); L2.Out(0); L3.Out(0); L4.Out(0); L5.Out(0);}
if(Luz_UV > 3.0 && Luz_UV <= 6.0) {L1.Out(0); L2.Out(1); L3.Out(0); L4.Out(0); L5.Out(0);}
if(Luz_UV > 6.0 && Luz_UV <= 9.0) {L1.Out(0); L2.Out(0); L3.Out(1); L4.Out(0); L5.Out(0);}
if(Luz_UV > 9.0 && Luz_UV <= 12.0) {L1.Out(0); L2.Out(0); L3.Out(0); L4.Out(1); L5.Out(0);}
if(Luz_UV > 12.0 && Luz_UV <= 15.0) {L1.Out(0); L2.Out(0); L3.Out(0); L4.Out(0); L5.Out(1);}
}

void Mid_Calair() {
  PpmAir = gasSensor.getPPM();
}

void Mid_CalCo2() {
  PpmCo2 = gasC02.getPPM();
}

void setup() {
  L1.Out(0); L2.Out(0); L3.Out(0); L4.Out(0); L5.Out(0);
  Serial.begin(9600);
  Serial1.begin(9600);
  dht.begin();
  pinMode(2, INPUT);
  pinMode(3, INPUT);
  attachInterrupt(0, countAnemometer, FALLING);
  attachInterrupt(1, countLLuv, FALLING);
  nextCalc = millis() + Tiemp_M;
}

void loop() {
  tiempo = millis();
  if(tiempo >= nextCalc) {
    Mid_TemHum(); Mid_LLuvia(); Vel_Viento(); Dir_Viento(); Mid_Luz_UV();
    Mid_Calair();Mid_CalCo2();

    Serial.println("Val_Temper = " + String(t));
    Serial.println("Val_Humeda = " + String(h));
    Serial.println("Vel_Viento = " + String(Vel_V));
    Serial.println("Dir_Viento = " + String(Dir_V));
    Serial.println("Val_LLuvia = " + String(LLuvi));
  }
}

```

```
Serial.println("Luv_mW/cm2 = " + String(Luz_UV));
```

```
Serial.println("CalidadAir = " + String(PpmAir));
```

```
Serial.println("CalidadCo2 = " + String(PpmCo2));
```

```
Serial.println("-----");
```

```
Serial1.println(String(t) + "," + String(h) + "," + String(PpmAir) + "," + String(PpmCo2) + "," +  
String(Luz_UV) + "," + String(LLuvi) + "," + String(Vel_V) + "," + String(Dir_V));
```

```
nextCalc = millis() + Tiemp_M;
```

```
}
```

```
}
```



Azogues, a 20 de julio de 2021

Asunto: Informe final de tutoría de tesis

Señora Economista
Nancy Peralta

**SECRETARIA DE LA UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA
INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN.**

UNIVERSIDAD CATOLICA DE CUENCA

Ciudad.

De mi consideración.

Por medio del presente me permito saludarle, a la vez que es menester indicarle que una vez culminada la revisión del trabajo de titulación del alumno EDWIN CRISTIAN TENECELA GUAMAN, con C.I. 0302399753, es mi deber conferir la nota de 42/50 al trabajo de titulación en mención, cumpliendo de esta manera con los parámetros establecidos por parte de nuestra Alma Mater como tutor de la misma, dentro de la unidad de titulación.

Dicho proyecto lleva por nombre **“EVALUACION DE LA FACTIBILIDAD DE LA TECNOLOGIA LoRa WAN EN EL MONITOREO AMBIENTAL DE ZONAS CON ALTO INDICES DE CONTAMINACION DE LA CIUDAD DE AZOGUES”**, previo a la obtención del título de Ingeniero Electrónico, de la Unidad Académica de Ingeniería Industria y Construcción.

Es menester informar que el presente trabajo de titulación tiene una coincidencia del 9% de similitud en contenidos con otras fuentes, según reporte del sistema anti plagio (Turnitin) de nuestra Universidad.

Por la atención que dé a la presente suscribo de Ud. Agradecido.

Atentamente.

Ing. Jean Paul Mata Quevedo

TUTOR

Tesis - Cristian Tenecela Rev4

por Cristian Tenecela

Fecha de entrega: 20-jul-2021 [07:56a.m.](#) (UTC-0500)

Identificador de la entrega: 1621959724

Nombre del archivo: EDWIN_CRISTIAN_TENECELA_V4.docx (4.19M)

Total de palabras: 11699

Total de caracteres: 63394

Tesis - Cristian Tenecela Rev4

INFORME DE ORIGINALIDAD

9 %
INDICE DESIMILITUD

10 %
FUENTES DE INTERNET

1 %
PUBLICACIONES

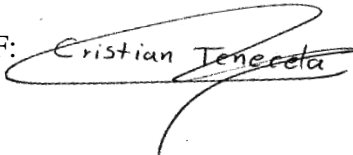
4 %
TRABAJOS DEL
ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	repositorio.espe.edu.ec Fuente de Internet	2 %
2	hdl.handle.net Fuente de Internet	1 %
	manueldegadocrespo.blogspot.com Fuente de Internet	1 %
	documentop.com Fuente de Internet	1 %
	www3.fi.mdp.edu.ar Fuente de Internet	1 %
	repositorio.utn.edu.ec Fuente de Internet	1 %
7	creativecommons.org Fuente de Internet	1 %
8	www.agspecinfo.com repositorio.univ.edu.pe Fuente de Internet	1 % 1 %

Edwin Cristian Tenecela Guaman portador(a) de la cédula de ciudadanía N° **0302399753**. En calidad de autor/a y titular de los derechos patrimoniales del trabajo de titulación “**Evaluación de la factibilidad de la tecnología LoRa WAN en el monitoreo ambiental de zonas con alto índices de contaminación de la ciudad de Azogues**” de conformidad a lo establecido en el artículo 114 Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación, reconozco a favor de la Universidad Católica de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos y no comerciales. Autorizo además a la Universidad Católica de Cuenca, para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el Repositorio Institucional de conformidad a lo dispuesto en el artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Azogues, **10 de agosto de 2021**

F: 

Edwin Cristian Tenecela Guaman

C.I. 0302399753



El Bibliotecario de la Sede Azogues

CERTIFICA:

Que, **Edwin Cristian Tenecela Guamán** portador(a) de la cédula de ciudadanía N° **0302399753** de la Carrera de **Ingeniería Electrónica**, Sede Azogues, Modalidad de estudios presencial no adeuda libros, a esta fecha.

Azogues, **10 de agosto del 2021**


Sr. **Byron Alonso Torres Romo**
Bibliotecario

Biblioteca Universitaria
MONS. FROILAN POZO QUEVEDO