

Información Importante

La Universidad Santo Tomás, informa que el(los) autor(es) ha(n) autorizado a usuarios internos y externos de la institución a consultar el contenido de este documento a través del Catálogo en línea del CRAI-Biblioteca y el Repositorio Institucional en la página Web de la CRAI-Biblioteca, así como en las redes de información del país y del exterior con las cuales tenga convenio la Universidad.

Se permite la consulta a los usuarios interesados en el contenido de este documento, para todos los usos que tengan **finalidad académica**, nunca para usos comerciales, siempre y cuando mediante la correspondiente cita bibliográfica se le dé crédito al trabajo de grado y a su autor.

De conformidad con lo establecido en el Artículo 30 de la Ley 23 de 1982 y el artículo 11 de la Decisión Andina 351 de 1993, la Universidad Santo Tomás informa que “los derechos morales sobre documento son propiedad de los autores, los cuales son irrenunciables, imprescriptibles, inembargables e inalienables.”

**Centro de Recursos para el Aprendizaje y la Investigación, CRAI-Biblioteca
Universidad Santo Tomás, Bucaramanga**

Desarrollo de una estación meteorológica autónoma de bajo costo

Rafael David Ferrer Sanabria

Trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero de telecomunicaciones

Director

Ricardo Andrés Díaz Suarez

Ingeniero electrónico

Magister en seguridad informática

Magister en electrónica

Universidad Santo Tomás Bucaramanga

División de Ingenierías y Arquitectura

Facultad de Ingeniería de Telecomunicaciones

agosto de 2017

ELABORADO POR:	REVISADO POR:	APROBADO POR:
 AUTOR <i>Rafael David Ferrer Sanabria</i>	 Director	Comité de trabajos de grado

Dedicatoria y agradecimientos

Antes que nada, me gustaría agradecerle a Dios por llenarme de tantas bendiciones; una familia magnífica, permitirme estudiar esta carrera y poder hacer realidad este tan anhelado sueño de graduarme como ingeniero de telecomunicaciones.

A mis padres, a mis hermanas y a mi sobrina porque con su amor y comprensión me ayudaron a superar la gran cantidad de obstáculos que se me presentaron durante mi carrera universitaria. Gracias a ellos por ser lo más importante que tengo y quiero que sepan que siempre los llevaré en lo más profundo de mi corazón.

De igual manera agradecer a mi profesor de investigación y de tesis de grado, por permitirme hacer parte de este proyecto de investigación, por su visión crítica de muchos aspectos cotidianos de la vida, sus enseñanzas, por su rectitud en su profesión como docente y más que todo por su amistad.

También me gustaría agradecer a todas esas personas que han formado parte de mi vida como universitario, agradecerles por su amistad, sus consejos, apoyo, ánimo y compañía durante momentos difíciles. Algunos están aquí conmigo y otros viven en lo más profundo de mi ser y que sin importar en dónde se encuentren, quiero darles las gracias por hacerme la persona que soy ahora y por todo lo que me han brindado a lo largo de este viaje.

Resumen

Considerando la existencia de problemas para el monitoreo de variables ambientales en el sector agrícola, debido a sus altos costos, falta de autonomía, se desarrolló una estación meteorológica, que permite monitorizar variables como la temperatura, humedad, concentración de gases y demás, de forma remota. Se utilizó un módulo Arduino, un módulo sim900 y un conjunto de sensores encargados de sensor diversas variables, y finalmente se implementó un modelo de energía solar que le brinda autonomía al sistema.

El objetivo de este proyecto consiste en desarrollar una herramienta tecnológica que permita estudiar el comportamiento de variables ambientales y de esta forma poder comprender el comportamiento de los microclimas el cual puede ser un insumo para la agricultura de precisión, permitiendo así el ahorro de recursos y una mejor evaluación del estado de la siembra.

La metodología utilizada en este proyecto consiste en seis fases: La selección de las variables a sensor, el acondicionamiento de los sensores y módulos, el diseño de la base de datos, la programación de los módulos, el desarrollo de las interfaces gráficas, diseño del modelo de energía.

Como resultado de lo antes descrito, se presenta el desarrollo completo de la estación meteorológica, su funcionamiento basado en la impresión de los datos monitoreados en una página web, permitiendo así una herramienta que permita el estudio más detallado de los factores que afectan los cultivos.

Tabla de contenido

1. Introducción	12
2. Formulación del problema	13
3. Justificación	14
4. Objetivos.....	15
4.1. Objetivo general.....	15
4.2. Objetivos específicos	15
5. Marco de referencia	16
5.1. Marco conceptual.....	16
5.1.1. Estación meteorológica	16
5.1.2. Sensores.....	22
5.2. Energía en redes de sensores	22
5.2.1. Bases de datos climatológicas	23
5.2.2. Estándares de comunicación para estaciones meteorológicas.....	24
5.2.3. Recursos de desarrollo de software	25
5.3. Marco de antecedentes	26
6. Desarrollo del proyecto.....	38
6.1. Diseño inicial de la estación meteorológica.....	38

6.2.	Selección de variables a sensar	39
6.3.	Acondicionamiento de los sensores y módulos	40
6.3.1.	Características generales de los elementos.....	40
6.3.2.	Caracterización de los sensores	44
6.4.	Diseño de la base de datos.....	57
6.5.	Programación de los módulos	58
6.6.	Desarrollo interfaces gráficas.....	59
6.7.	Diseño del modelo de energía.....	59
7.	Resultados	60
8.	Conclusiones	64
10.	Presupuesto	66
11.	Referencias bibliográficas.....	69

Lista de figuras

Figura 1 Wireless environmental monitoring sensor node for forest micro-meteorology and phenology. [5]	27
Figura 2 Diagrama del sistema para alerta de inundaciones. [28]	31
Figura 3 Diagrama de bloques del diseño inicial de la estación meteorológica	39
Figura 4 Arduino MEGA [37].....	41
Figura 5 Módulo SIM900 [38]	42
Figura 6 Módulo weather shield [39].....	42
Figura 7 Kit weather meter [40]	43
Figura 8 Veleta de viento del Sparkfun Weather meter [40]	44
Figura 9 Diagrama de resistencias de la veleta de viento [40].....	45
Figura 10 Pluviómetro del Sparkfun Weather meter [40].....	47
Figura 11 Diagrama de bloques del programa de prueba de los sensores MQ	48
Figura 12 Valores arrojados por el monitor serie cuándo el MQ-4 no recibe gas metano.....	48
Figura 13 Valores arrojados por el monitor serie cuándo el MQ-4 recibe gas metano.....	49
Figura 14 Datasheet del sensor de gas metano MQ-4 [41]	50
Figura 15 Gráfica de la ecuación del sensor MQ-4.....	50
Figura 16 Valores tomados por el monitor serie cuándo el MQ-4 no recibe gas metano.....	51
Figura 17 Valores arrojados por el monitor serie cuándo el MQ-7 recibe gas metano.....	52
Figura 18 Datasheet del sensor de monóxido MQ-7 [42]	52
Figura 19 Gráfica de la ecuación del sensor MQ-7.....	53
Figura 20 Datasheet del sensor de monóxido MQ-8 [43]	54
Figura 21 Gráfica de la ecuación del sensor MQ-8.....	55

Figura 22 Sensor LM35 [45].....	56
Figura 23 Sparkfun Soil Moisture SEN-13322	57
Figura 24 Diagrama de bloques del proceso de creación de la base de datos.....	58
Figura 25 Diagrama de bloques del proceso de programación de los módulos.....	58
Figura 26 Prototipo final de la estación meteorológica	60
Figura 27 Elementos del prototipo	61
Figura 28 Interior caja imterperie	62
Figura 29 Comandos que comprueban la conexión exitosa del módulo.....	62
Figura 30 Valores en partes por millón de gas metano obtenidas por la estación meteorológica	63

Lista de tablas

Tabla 1 Estándares de comunicación presentes en estaciones meteorológicas.....	24
Tabla 2 Relación entre los rangos de direcciones con los rangos de resistencias y voltajes ...	46
Tabla 3 Equivalencias en mV y temperatura del LM35	56
Tabla 4 Equivalencia entre los valores arrojados por el sensor y el estado de la tierra	57
Tabla 5 Presupuesto del recurso humano	68
Tabla 6 Costo total del proyecto	68

Lista de apéndices

APÉNDICE A - SENSORES

APÉNDICE B - ENERGÍA EN REDES DE SENSORES

APÉNDICE C – BASES DE DATOS CLIMATOLÓGICAS

APÉNDICE D – RECURSOS DE DESARROLLO DE SOFTWARE

APÉNDICE E – MODELADO DE LA BASE DE DATOS DEL SISTEMA

APÉNDICE F –PROGRAMACIÓN DE LOS MÓDULOS DE COMUNICACIÓN

APÉNDICE G – PROCESO DE CREACIÓN DE INTERFAZ WEB PRELIMINAR

APÉNDICE H – PROCESO DE CREACIÓN DE INTERFAZ DE USUARIO

APÉNDICE I – MODELO DE ENERGÍA DEL SISTEMA

APÉNDICE J – RESULTADOS

APÉNDICE K – CÓDIGO DE PROGRAMACIÓN DE LOS MÓDULOS

1. Introducción

Desde su aparición, las redes de sensores siempre han brindado una gran variedad de aplicaciones. A partir de las funcionalidades que proponen las tecnologías de redes de sensores, se han diversificado sus aplicaciones en diferentes áreas como la domótica, agricultura, industria, producción en línea, entre otras.

Además, con la implementación de estas soluciones usando dispositivos embebidos, se reduce en gran escala el desarrollo electrónico para su funcionamiento. Con esto, es posible disminuir las dimensiones y el costo de implementación tecnológica de soluciones de ingeniería, permitiendo que empresas y personas con bajo poder adquisitivo puedan hacer uso de dichos sistemas.

Considerando lo descrito anteriormente, es importante diseñar las prestaciones y recursos con los que contará el desarrollo de un prototipo de estación meteorológica de bajo costo, que brinde mediciones de variables meteorológicas como la dirección del viento, dirección de ráfaga de viento, velocidad de ráfaga de viento y demás, por medio de la implementación de dispositivos de poco consumo, fáciles de adquirir y que brinden autonomía al sistema para así poder obtener datos en tiempo real y proveer la información en una interfaz web.

2. Formulación del problema

En la actualidad, las estaciones meteorológicas se han establecido como una de las mejores alternativas para el monitoreo de diversas variables ambientales para así poder evaluar el comportamiento de los microclimas naturales o artificiales. Estos climas localizados presentan ciertas características de acuerdo con la zona en que se encuentran. Ya que estos determinan la medida en que se verá afectada la superficie por las diferentes variables atmosféricas. [1]

El estudio de los microclimas se convierte en una herramienta para la implementación de la agricultura de precisión. Este tipo de agricultura se presenta como una tendencia que cada vez ha tomado más fuerza dentro del sector agrícola colombiano, ya que permite solventar problemas que se pueden presentar a la hora de ahorrar insumos, ahorrar recurso hídrico, mejorar la evaluación del estado de las siembras y demás medidas que permiten conocer el rendimiento, evolución y producción de los cultivos. [2]

El principal problema de la implementación y masificación de las estaciones meteorológicas en el sector agrícola son sus altos costos, debido a que sus precios oscilan entre los 6 millones de pesos colombianos en adelante, sin tener en cuenta que la mayoría de modelos de estaciones no suelen fabricarse con un sistema energético autónomo, el cual permite la implementación de los sistemas de monitoreo de variables en entornos desafiantes, debido a esto la relación costo/utilidad es bastante desalentadora. [3] [4]

Para solventar esta problemática se propone el desarrollo de un prototipo de estación meteorológica en la cual se integren elementos de bajo costo y que tenga un sistema de alimentación autónoma.

3. Justificación

Un elevado número de modelos de estaciones meteorológicas presentes en el mercado, carecen de interfaces de comunicación las cuales son indispensables cuando se quiere conocer su información de forma remota. Además, muchas de estas carecen de alimentación autónoma, lo cual es importante cuando se implementan en el análisis de microclimas en zonas rurales dónde se está implementando la agricultura de precisión en la actualidad. [5]

Alternativo a esto, la presencia de dispositivos de elevadas prestaciones que brindan una infinidad de aplicaciones para el monitoreo de variables meteorológicas, traen como consecuencia grandes costos dentro del sistema, y los que tienen costos más asequibles no permiten sensar la cantidad de variables necesitadas en el sector agrícola.

Estas problemáticas se pueden solucionar por medio del desarrollo de sistemas alternativos como el modelo de estación meteorológica propuesto. El cual se fundamenta en el uso de energía solar como fuente de alimentación principal, el uso de elementos de poca complejidad, la aplicación de tecnologías de conectividad que son adecuadas para la transmisión de información desde zonas rurales por medio del uso de módulo GSM/GPRS, que permite la convergencia entre la red móvil y la base de datos, la cual le suministrará la información a los usuarios de forma remota.

4. Objetivos

4.1.Objetivo general

- Desarrollar una estación meteorológica autónoma de bajo costo utilizando un microcontrolador arduino, un sistema de comunicación, sensores y un sistema de alimentación fotovoltaica para el sector agrícola.

4.2.Objetivos específicos

- Realizar una descripción de los parámetros meteorológicos específicos para la evaluación de los microclimas y que puedan ser utilizados en el sector agrícola.
- Elaborar las etapas de adquisición para el registro de variables climatológicas utilizando un módulo de comunicación GPRS el cual transmite la información hacia una base de datos localizada en un sitio web.
- Desarrollar un aplicativo web para la visualización gráfica de la información, proveniente de los sensores para así poder representar el estado de las variables meteorológicas.
- Desarrollar un sistema de alimentación fotovoltaica para el suministro energético de la estación meteorológica, considerando los niveles de radiación de la zona metropolitana de Bucaramanga.
- Realizar un procedimiento de validación de la solución propuesta, por medio de pruebas de funcionamiento de transmisión, recepción, almacenamiento y visualización de los datos de la estación meteorológica, para comprobar su correcto funcionamiento.

5. Marco de referencia

En esta sección se presentan los conceptos claves que se tuvieron en cuenta a la hora de desarrollar el proyecto. A su vez, esta sección se organiza en un marco conceptual, que abarca únicamente las teorías y definiciones relacionadas con el diseño, construcción e implementación la estación meteorológica. En el marco de referencia, se organiza la información que fue obtenida por antecedentes y literatura de investigación que relata proyectos de obtención y detección de información de sensores, como procesarla y visualizarla.

5.1.Marco conceptual

5.1.1. Estación meteorológica

Una estación meteorológica consiste en una estructura o dispositivo dotado con sensores (temperatura, humedad, velocidad de viento, dirección de viento, gas metano, etc) que responde a estímulos eléctricos, los cuales permiten registrar y coleccionar información meteorológica en forma automática y en tiempo real. Esto permite realizar un monitoreo de variaciones de la temperatura del aire, humedad relativa, radiación solar, dirección y velocidad del viento, lluvia, humedad relativa, presión atmosférica, etc. [6]

5.1.1.1. Variables ambientales

A la hora de instalar una estación meteorológica, se deben poner en marcha los sensores y de esa manera realizar mediciones de algunas variables del ambiente las cuales son:

- **Temperatura del aire:** La temperatura es la medida del contenido de calor de un cuerpo o del medio ambiente. En la gran mayoría de estaciones, es medida en grados centígrados(°C). Mediante la medida de esta, se puede medir la influencia de la temperatura en la velocidad en

que se desarrolla de los cultivos e insectos y de esa manera predecir la aparición de etapas fenológicas de cultivos y estadios biológicos de insectos. [6]

- **Precipitación pluvial:** La precipitación es la caída directa de gotas de agua o de cristales de hielo sobre la superficie terrestre. La medida se realiza por medio de un pluviómetro y generalmente se usan unidades en milímetros (mm) [6]

- **Humedad ambiental:** La humedad ambiental es la medida que nos dice la cantidad de vapor agua presente en el aire. Se representa en porcentaje o grado de humedad. Es medida por un psicrómetro. Su importancia radica en la predicción de posibles heladas. También es una variable climática importante presente en el desarrollo de pronósticos de posibles enfermedades de cultivos. [6]

- **Radiación solar:** La radiación solar es el flujo de energía que se recibe del sol en forma de ondas electromagnética de diferentes frecuencias. Medida en calorías por centímetro cuadrado por minuto o por día ($\text{cal/cm}^2/\text{día}$) o en watts por metro cuadrado (W/m^2) con un sensor llamado piranómetro. Su importancia radica en estimar la acumulación de materia seca por el cultivo. [6]

- **Velocidad del viento:** Se describe por dos características: velocidad y dirección. El instrumento para medir a este se llama anemómetro y se mide en metros por segundo (m/s) o kilómetros por hora (km/h). Permite determinar la evapotranspiración en cultivos y además es importante por su efecto en la erosión del suelo y daño a los cultivos, así como en la propagación de pesticidas. [6]

- **Dirección del viento:** La dirección del viento es el punto del horizonte de dónde viene o sopla el viento. El instrumento que se usa para dicha medición es la veleta. Para de esa manera conocer la renovación del aire que favorece la transpiración de las plantas, la dirección de

transporte del polen y fecundación de flores. Esta variable se mide en grados con respecto a los puntos cardinales. [6]

- **Humedad de las hojas:** Se refiere a la humedad que se encuentra sobre las hojas, ya sea por rocío o lluvia. Está directamente relacionado con la presencia de enfermedades, por lo que esta variable se utiliza para su pronóstico. [6]

Con las variables atmosféricas que son tomadas por la estación, es posible calcular otros parámetros que son muy importantes en la agricultura como lo son: la probabilidad de ocurrencia de lluvias, ocurrencia de temperaturas extremas en duración y localización, estimación de tasas fotosintéticas, determinación del nivel de riesgo climático para la ocurrencia de enfermedades en el cultivo y finalmente el índice de afecciones de plantas y daños a frutos y flores. [6]

5.1.1.2. Microclimas

Por debajo de determinadas alturas, existen una gran variedad de condiciones en el clima, las cuales corresponden a la gran diversidad que se encuentra presente en la superficie del suelo de un área determinada. Las condiciones climáticas que presentan pequeñas áreas por las diferencias que muestran en comparación a los espacios pequeños cercanos, son las que se le denomina microclimas. [7]

Las condiciones micro climáticas se pueden dar en zonas en las que no esté el estrato comprendido en la zona de la atmósfera más próxima a la superficie. Entre la espesura de una planta, en la copa de árboles y demás, se pueden presentar condiciones especiales que se diferencien a las de su alrededor, para así hacer propicia la aparición de un microclima. [7]

Las condiciones del tiempo que se presentan sobre la superficie terrestre que afectan el estado de esta de forma material, son un determinante para conocer la variabilidad de un microclima. También, los organismos que se encuentran en el ecosistema influyen en las condiciones de los diferentes microclimas un lugar de poca extensión en el estrato de atmósfera cercana al suelo. [7]

Finalmente, es importante saber que los microclimas pueden originarse, transformarse y hasta dejar de existir, debido a que la condición que permite que se genere un microclima puede desaparecer. [7]

5.1.1.3. Funcionamiento de una estación meteorológica

Una estación meteorológica es una herramienta que permite obtener datos de condiciones meteorológicas (temperatura, humedad, velocidad y dirección del viento, lluvia, etc.), las cuales son medidas por sensores electrónicos. Las lecturas son acondicionadas para luego pasar por una fase de procesamiento de dicha información por medio microcontroladores o microprocesador, para así ser transmitidas a través de un sistema de comunicación (radio, satélites, teléfono, etc.) de forma automática. [8] [9]

En algunos casos el funcionamiento de las estaciones meteorológicas es autónomo, debido a que en dichos sistemas se realiza la implementación de sistemas de alimentación a través de energía solar o mediante el uso de energía eólica. [8]

5.1.1.4. Clasificación estaciones meteorológicas

Las estaciones meteorológicas pueden clasificarse según la aplicación a las que va dirigido su desarrollo

- **Agro meteorológicas:** Enfocadas en el estudio e observación biológica y su relación entre los factores climáticos y el ciclo de los seres vivos en este. Relaciones entre tiempo, clima, planta, animales, etc. [10]
- **Climatológicas:** Enfocadas en el estudio a través de sistemas de sensores de fenómenos relacionados como: tiempo atmosférico, cantidad, visibilidad, precipitaciones, temperatura del aire, humedad. [11]
- **Sinópticas:** Enfocadas en el estudio de los principales elementos meteorológicos en horas convenidas internacionalmente. Mediciones de variables como: nubosidad, velocidad del viento y demás secuencias de fenómenos atmosféricos. Dichos datos son procesados y utilizados como medio de guía para modelos globales y locales de pronósticos con el fin de ser aplicados en los servicios de aviación. [11]

5.1.1.5. Aplicaciones en la agricultura de precisión

En el área de la agricultura de precisión, el uso de estaciones meteorológicas se utiliza para la gestión en la programación de riego, monitoreo de acumulación de unidades calor y hora frío, determinación de índices de confort climático para ganado, análisis del período apropiado para reforestación, control de enfermedades y plagas, patología de la planta y la predicción de heladas; además del estudio de la erosión y el almacenamiento y manejo de alimentos. [12]

Finalmente, el uso de las distintas variables que son obtenidas por el sistema son analizadas como en el caso de:

- **Temperatura del aire:** Esta variable es utilizada para el cálculo de unidades térmicas de crecimiento en los cultivos, llamadas unidades calor o grados-día, mediante las cuales es posible conocer la influencia de la temperatura en el desarrollo de los cultivos e insectos. Además, también es una variable que se encuentra ligada a las etapas fenológicas de cultivos. [12]
- **Humedad relativa:** Esta variable se utiliza para predecir posibles heladas en los cultivos. Además, también se utiliza para pronosticar enfermedades en los cultivos y estimación de la evapotranspiración. [12]
- **Radiación solar:** Esta variable se utiliza para estimar la acumulación de materia seca por un cultivo. [12]
- **Humedad de las hojas:** Esta variable se utiliza para estudiar la posible presencia de enfermedades en los cultivos. [12]

Con toda la información que captan las estaciones, es posible además calcular otros parámetros que son muy importantes para la agricultura, como:

- La probabilidad de ocurrencia de lluvias. [12]
- Ocurrencia de temperatura extremas en duración y localización. [12]
- Estimación de tasas fotosintéticas y de evapotranspiración mediante la información de radiación solar y horas de luminosidad. [12]
- Determinación del nivel de riesgo climático para la ocurrencia de enfermedades en el cultivo, por medio de la combinación de datos como la humedad relativa, humedad de la hoja, nubosidad y la temperatura. [12]

- Índices de acame de plantas y daño a frutos y flores, mediante la valoración de los niveles de velocidad de viento registrados. [12]

5.1.2. Sensores

Un sensor es un elemento capaz de detectar magnitudes físicas o químicas, a las cuales se les denomina variables de instrumentación y estas son transformadas en variables eléctricas, para de esa manera poder brindar una señal de salida que es una función de la variable que se desea estudiar. [13] ([Ver más acerca de sensores y su presencia en estaciones meteorológicas en el apéndice A](#))

5.2. Energía en redes de sensores

La gran limitante de las redes de sensores es la energía, debido a esto se deben realizar estrategias para una adecuada gestión al consumo de esta.

Las redes de sensores generalmente se alimentan a base de energía almacenada en baterías, las cuales tienen una capacidad limitada. Además, las redes suelen ubicarse en zonas de difícil acceso, debido a esto es dificultoso reemplazar las baterías en caso que la energía llegue a agotarse. Por esto, se debe pensar en aplicaciones que tengan el fin de permitir a la red trabajar de manera ininterrumpida durante largos períodos de tiempos, incluso si es posible, que los nodos tengan la capacidad de ser autosustentables, dicha necesidad ha dado espacio a una línea de investigación atada a la recolección de energía, la cual se denomina energy harvesting o energy scavenging [14] [15]. ([Ver más acerca energía en redes de sensores en el apéndice B](#))

5.2.1. Bases de datos climatológicas

Una base de datos climatológicas consiste en una serie de datos que contienen la información sobre el clima en determinada área geográfica. [16]

Estas se encuentran conformadas por un conjunto de tablas con información climática; es decir, datos de temperatura, precipitación evaporación y fenómenos naturales que son visibles. Además de datos como tempestad eléctrica, granizo, niebla y estado del cielo. [16]

Otras tablas contienen datos como la información del lugar dónde fue registrada la información climática (coordenadas de la localidad, municipio, etc.). [16]

La información climática es generada por medio de la ayuda de instrumentos de medición (termómetro, pluviómetro, etc.), todos estos debidamente configurados e instalados en una estación meteorológica. [16]. ([Ver más acerca de bases de datos climatológicas en el apéndice C\).](#)

5.2.2. Estándares de comunicación para estaciones meteorológicas

Estándar de comunicación	Características generales
Zigbee	• Velocidades comprendidas entre 20kb/s y 250 kb/s. • Rangos de alcance de 10 a 75 m. • Bandas libres: 2,4GhZ(Mundial), 868 MHz(Europa) y 915 MHz(EEUU). • Optimización de la vida útil de su sistema de alimentación. • Escalabilidad de red. • Localización grupal. • Recolección centralizada de datos.
Wi-Fi	• Velocidades: 54Mbps a 1.3 Gbps (depende el protocolo utilizado) • Frecuencia: 2,4GHz a 5GHz (depende del protocolo utilizado) • Las redes Wi-Fi permite el acceso de múltiples dispositivos sin ningún problema ni gasto en infraestructura, ni gran cantidad de cables. • Tecnología no compatible con otras redes como Bluetooth, GPRS, UMTS, etc. • 2255555555555555La potencia de la conexión del Wi-Fi se verá *5848/8/88//afectada por los agentes físicos que se encuentran en nuestro entorno como: árboles, paredes, etc.
GSM	• 512 a 810 canales • Uplink: 1850MHz – 1910MHz • Downlink: 1930 MHz – 1990MHz
UMTS	• Velocidades de transmisión de hasta 2Mbps con baja movilidad • Cobertura mundial, con servicios terrestres y por satélite. • Diferentes conexiones simultáneas sobre el mismo terminal móvil. • Servicios basados en la posición (localización geográfica, rastreo de llamadas de emergencia, información del tráfico, seguimiento de vehículos, tarifas diferentes desde distintas áreas, etc.).

Tabla 1 Estándares de comunicación presentes en estaciones meteorológicas

5.2.3. Recursos de desarrollo de software

En esta sección se presenta la definición general y las características cada uno de los recursos de desarrollo de software que se utilizaron en el proyecto. ([Ver más acerca de las herramientas de desarrollo de software en el apéndice D](#)). [17] [18] [19] [20] [21] [22]

5.3.Marco de antecedentes

Seasonal wireless sensor network link performance in boreal forest phenology monitoring

En el artículo “*Seasonal Wireless Sensor Network Link Performance in Boreal Forest Phenology Monitoring*”, se describe un proyecto enfocado en las redes de sensores y su aplicación en entornos desafiantes, dónde se promueve la implementación de soluciones autónomas en dichas redes. En dicho trabajo, se presentan resultados de rendimiento de los sensores en Aspen Forest en Northren Albert, Canadá. Dónde se describen treinta y seis nodos de prueba que fueron equipados con sensores meteorológicos que fueron repartidos a través de una hectárea en la que se analizó la productividad del ecosistema en las diferentes temporadas de este bosque. [5]

Los resultados muestran datos meteorológicos y muestran también los índices de vegetación, los cuales son obtenidos por medio de combinaciones de las bandas espectrales las cuales son importantes para permitir el despliegue redes WSN las son efectivas en aplicaciones para bosques remotas. Dicho sistema está compuesto por un sensor de temperatura y humedad relativa, un sensor de radiación fotosintética, un sistema Wi-Fi y un sensor con 3 canales análogos y uno digital, estos alimentados por 2 baterías AA. [5]

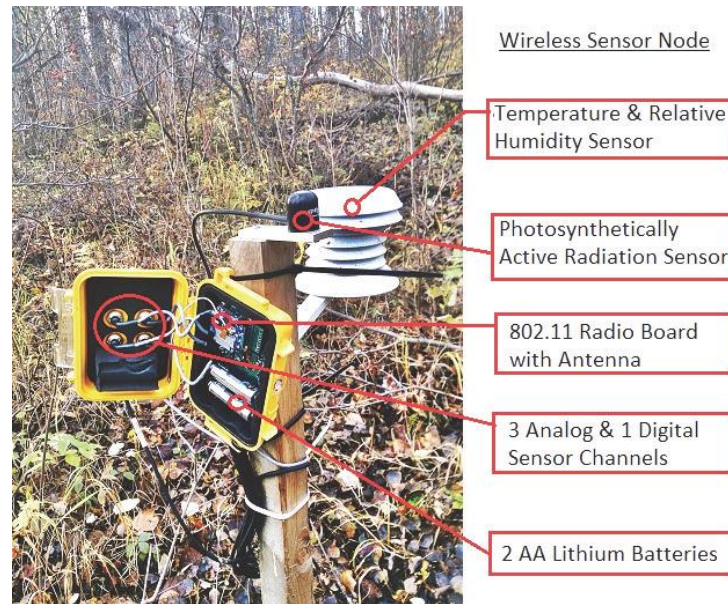


Figura 1 Wireless environmental monitoring sensor node for forest micro-meteorology and phenology. [5]

Using websocket-based technology to build real-time meteorological wireless sensor network information publishing platform

En el artículo “*Using WebSocket-Based Technology to Build Real-Time Meteorological Wireless Sensor Network Information Publishing Platform*” elaborado por el departamento de ingeniería electrónica y eléctrica de la universidad de ciencia y tecnología de Nanjin en China, se desarrolló una investigación para la elaboración de una estación metereologica. Debido a que se desarrolla una red meteorológica de sensores inalámbricos (MWSN). En esta, se describen los principios y problemas que tienen estas plataformas cuando se desea crear la aplicación vía web. Por esto, desarrollan una solución basada en Websocket. [23]

En el artículo, se analizaron y clasificaron los datos de observación de la red meteorológica y los paquetes en los que se enviaba la información relacionada con la meteorología. Sobre esta base, se desarrolló un marco general dónde se desarrolló un servidor intermedio. Al mismo tiempo, se realizaron comparaciones con otras tecnologías de comunicación envían datos hacia el portal web y se desarrolló un informe con las ventajas significativas que tienen los websockets como lo son: baja latencia y un mejor rendimiento de la red. [23]

Diseño de una red de estaciones meteorológicas de bajo costo

En el trabajo “Diseño de una red de estaciones meteorológicas de bajo costo” elaborada por los estudiantes de la universidad católica Andrés Bello, se realizó un diseño de una red de comunicaciones en la cual se permite el intercambio de información de los parámetros meteorológicos que pueden afectar a las comunicaciones; ya sea satelital o de enlaces de microondas. En cada terminal se encuentra una estación meteorológica de bajo costo para despliegue rápido, las cuales tienen como fin registrar y medir, durante intervalos de tiempo diversas variables a través de sensores, para que, seguido de esto, sean enviadas hacia un servidor y de esa manera almacenada en una base de datos y presentadas en una interfaz web. [24]

El servidor de la red se encuentra en un lugar remoto y este tiene la función de almacenar las tramas que se generan en las distintas estaciones que conforman la red inicialmente. Además, las diferentes estaciones reportan datos cada cinco minutos por defecto y la conexión se cierra cada doce tramas, así se garantiza un intervalo de conexión de una hora y de esa manera se evitan problemas de duración de la conexión TCP/IP. [24]

Micro sensor network node design for meteorological parameter monitoring

En “*Micro Sensor Network Node Design for Meteorological Parameter Monitoring*” realizan un importante énfasis en el creciente uso de las redes de sensores inalámbricos con el fin de realizar mediciones de datos meteorológicas pero que existe un gran problema y radica en lo costosas que pueden llegar a ser dichas estaciones. Además de que anteriores estudios a este se enfocan en el desarrollo de programas para la medición meteorológica, pero estos apenas han tenido en cuenta detalles relacionados con el hardware del propio sensor. En dicho trabajo, se enfocan en crear sensor que se enfoca específicamente en el monitoreo de aplicaciones meteorológicas; brindan una visión general de la arquitectura y diferentes formas de operar el sensor. [25]

Diseño y construcción de un sistema de monitoreo para invernaderos apoyado con tecnología Zigbee

En “Diseño y construcción de un sistema de monitoreo para invernaderos apoyado con tecnología Zigbee” se encuentra una de las grandes referencias del proyecto, en la que se puede observar el uso del estándar Zigbee con el fin de monitorear humedad relativa y temperatura en invernaderos. Este permite la conexión de múltiples dispositivos, con el fin de transmitir variables de humedad relativa y temperatura hacia un LCD y un ordenador. [26]

Conformado por tres etapas (desarrollo del hardware, construcción de una red e integración de sensores y evaluación), permite definir las especificaciones de cada nodo y el alcance de la comunicación de esta. El desarrollo de este dispositivo se presenta como una alternativa de diseño la cual es portable o de tamaño reducido y que a pesar de esto tiene la capacidad que tener

un porcentaje de éxito de recepción bastante alto, por lo cual puede ser implementado para ser usado en ambientes externos. [26]

Distributed networking in autonomic solar powered wireless sensor networks

En “*Distributed networking in autonomic solar powered wireless sensor networks*” describe que ha habido recientes avances en las tecnologías de captación de energía solar y estos han traído un cambio a las aplicaciones relacionadas con las redes de sensores, ya que vuelven a estas más sustentables. El gran problema que se ve en dicho trabajo radica en el planteamiento de complejidades asociadas con: bajos recursos, nodos de sensores altamente dinámicos y las vulnerabilidades que pueden presentarse en ambientes hostiles o que requieren un alto grado de autogestión y automatización del sistema. [27]

AutoSPWN es una framework que permite lograr la recopilación de datos sostenible y que a su vez optimiza el rendimiento de extremo a extremo de una red de sensores inalámbrica alimentada con energía solar. Dónde su principal aporte se centra en el accionar de componentes de gestión de energía, la cual es adaptativa y que de alguna manera varía en el tiempo; evitando así el agotamiento de la batería como la maximización de la utilidad de esta por nodo. [27]

Flood Sensing Framework by Arduino and Wireless Sensor Network in Rural-Rwanda

Asimismo, este artículo de investigación describe que existen múltiples aplicaciones de las redes de sensores inalámbricos, diferentes al censo del clima con el fin de monitorear condiciones que favorecen o no a las siembras. “*Flood Sensing Framework by Arduino and Wireless Sensor Network in Rural-Rwanda*”, consiste en una propuesta al control de inundaciones en una zona rural de Ruanda. Este consiste en un sistema conformado por un

módulo arduino, un módulo Xbee, un sensor de inundación, un servidor, una sirena y un panel solar los cuales conforman una solución de bajo costo al problema presentado en las últimas décadas en múltiples poblados de dicho país de África. El documento consta de un marco innovador y de bajo costo diseñado para proporcionar una alerta temprana de desastres naturales a través de una sirena. Este funciona mediante el registro y la transmisión de datos de un sensor hacia un servidor principal. El servidor, procesa los datos y genera alarmas de advertencia, para que así los residentes de zonas de riesgo puedan ser alertado de un posible peligro de inundación. [28]

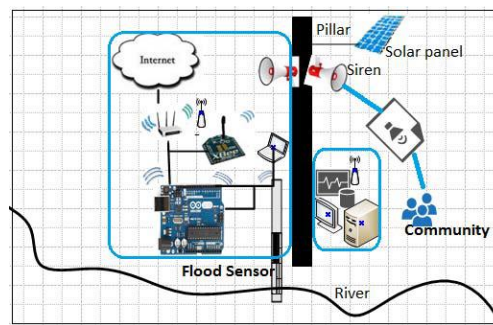


Figura 2 Diagrama del sistema para alerta de inundaciones. [28]

Managing Disaster with Wireless sensor networks

En el trabajo “*Managing Disaster with Wireless sensor networks*” desarrollado por estudiantes de la Universidad Cyberjaya en Malasia. Se habla del desarrollo de soluciones tecnológicas para la gestión de desastres por medio de las redes de sensores inalámbricos a través de la detección de catástrofes y el sistema de alerta, búsqueda y rescate. Realizan un énfasis en los aspectos a tener en cuenta al diseñar una red de sensores inalámbrica para la gestión de desastre, debido a la naturaleza de cada uno de estos. Con esto dan a entender la importancia que

radica en tener en cuenta dentro del diseño de la red cuestiones como: el despliegue de la red, cobertura, conectividad, movilidad y el tipo de sensor. [29]

De esta manera, se recogen datos climatológicos para proporcionar a las autoridades la habilidad de realizar predicciones, que les ayuden a tomar decisiones en casos como: Alerta de inundaciones en Honduras, red de sensores para monitorear los deslizamientos de tierra, detección de poluciones en el aire, monitoreo de erupciones volcánicas, alertas de terremoto y robot de emergencia de búsqueda y rescate. Con esto, se pudo observar el énfasis que realizó dependiendo de cada una de las aplicaciones en las que se envolvían las redes de sensores; dando así una óptica más amplia de lo fundamental que son estas en la vida cotidiana. [29]

Agricultura de precisión

El trabajo “Agricultura de precisión” desarrollado por estudiantes de la Universidad de Palermo consiste en una investigación que tiene como fin el dar a conocer las tecnologías de la agricultura de precisión, así como los productos y servicios que facilitan los procesos presentes en la misma. [30]

Empieza por una reseña histórica, continua con la definición de qué es la agricultura de precisión y la entrada de esta en la república Argentina, las facilidades que brinda tal tecnología y lo que podría ser un ciclo completo de las actividades de esta. [30]

También se encargan de resaltar tanto los factores que favorece como los factores en los que desfavorece adoptar la agricultura de precisión en dicho país. [30]

Dicha investigación nos permite una vista más general de lo que trae la agricultura de precisión y las posibles aplicaciones que puede tener el proyecto en dicho terreno. [30]

Ambient energy harvester design for a wireless sensor network

En el trabajo “Ambient energy harvester design for a wireless sensor network” desarrollado por los estudiantes del departamento de tecnología de Iowa, se desarrolló un sistema de recolección de energía solar que permite almacenar energía en supercondensadores que suministran energía a los nodos de sensores de una red de sensores inalámbrica. Este consiste, en un circuito de baja consumo que evita la pérdida de energía adicional cuándo la tensión cae por debajo de una tensión de corte determinada. [31]

Dentro de los objetivos del diseño se basan en un ciclo de recolección y almacenamiento de energía que incluye un sistema de bajo costo, bajo consumo de energía y un diseño simple. Todo esto permite que el hardware diseñado pueda alcanzar auto sostenibilidad durante las condiciones de luz fluctuantes y operación con tensiones que se encuentran por encima del corte. El rendimiento del circuito propuesto se evalúa por medio de una simulación base y el registro de datos a través del prototipo del sistema autónomo desplegado. [31]

Wsn based tracking for a concentrating solar thermal energy system

En “Wsn based tracking for a concentrating solar thermal energy system” describe una red de sensores inalámbricos basada en un sistema de control para un sistema térmico solar. Dichos sistemas requieren de gran concentración de energía solar para funcionar. [32]

Por un lado, se encuentran las centrales solares de canales parabólicos que necesitan al menos un eje de seguimiento y por otro, se encuentran los heliostatos que se usan en los sistemas de torre potencia los cuales requieren dos ejes rastreo. [32]

El sistema consiste en un sensor inalámbrico de red, un receptor de GPS único y el uso de un algoritmo de posición solar desarrollado por la NREL(National Renewable Energy Laboratory), que permite el seguimiento de superficies reflectivas de un sistema térmico solar. Dentro del sistema se utilizan múltiples métodos de uso eficiente de energía para así permitir optimizar el funcionamiento de las redes de sensores inalámbricas. [32]

Multifunctional gateway sensor node for agriculture and forest activities

En “Multifunctional gateway sensor node for agriculture and forest activities” se desarrolla una extensión de los gateways tradicionales de las redes de sensores, ya que se les añaden a estas múltiples funcionalidades. Ya sea añadir pantallas LCD, teclados para la operación de los gateway, cámaras avr e incluso un panel solar para proveer a cada nodo de un suministro de energía adicional. Cada nodo actúa como una estación meteorológica basado en Fuzzy AHP (algoritmo de toma de decisiones), para de esa manera poder operar la WSN sin necesidad de computadora. [33]

Los gateways multifuncionales serán utilizados en campos que van desde la agricultura hasta la vigilancia de bosques, etc. Además, la ubicación de cada una de las estaciones meteorológicas será seleccionada con ayuda de la clasificación climática de Köppen, la cual consiste en una clasificación climática mundial que identifica cada tipo de clima con una serie de letras que indican el comportamiento de las temperaturas y las posibles precipitaciones que caracterizan cada tipo de clima en una zona geográfica determinada. [33]

Solar powered water quality monitoring system using wireless sensor network

En “Solar powered water quality monitoring system using wireless sensor network” desarrollan la idea de una red de sensores submarinos UWSN (Underwater Wireless sensor

network) con el agregado de que son alimentadas con energía solar. El sistema sensa variables como la calidad del agua en distintas zonas y presenta los datos en tiempo real, por medio de una arquitectura constituida por nodos distribuidos conectados con la estación base por medio de Zigbee. El reto del proyecto se fundamenta en el diseño e implementación de un sistema que permita la convergencia de una red de sensores junto con los celulares solares. [34]

El sistema tendrá como principal función la recolección de variables como: pH, turbidez, nivel de oxígeno, etc. Dichos datos recolectados serán enviados a la estación base y seguido de esto podrán ser visualizados desde un sitio remoto. Además, este sistema tendrá la ventaja de no realizar emisiones de carbono, bajo consumo de energía y visualización desde sitios remotos. [34]

La importancia de este trabajo dentro de la investigación radica en el desarrollo de un sistema para la captación de energía solar fotovoltaica que permita alimentar a una red de sensores que se comunicará con una interfaz que permitirá la visualización de variables.

A prototype wireless sensor network for precision agriculture

En “A prototype wireless sensor network for precision agriculture” hacen énfasis en la importancia de las redes de sensores inalámbricos como una solución para una gran variedad de aplicaciones que van desde el monitoreo, la recolección de datos científicos, monitoreo ambiental e incluso su uso en operaciones militares. [35]

En el artículo presentan una prueba de concepto de las redes de sensores que permite recoger el contenido de humedad del suelo, la cual es una variable importante de sensor dentro de la agricultura de precisión. [35]

En la solución presentada, utilizan una tarjeta Micaz motes (tecnología xbee), una tarjeta de adquisición de datos MDA300CA y unos sensores EC-5 que permiten sensar la humedad del suelo, los cuales trabajan en conjunto con el sistema operativo TinyOS 2.1.1 que consiste en una interfaz de código abierto basada en componentes para redes de sensores inalámbricas. [35]

También se muestra la arquitectura integrada con la parte software y su integración con posibles mejoras como sería el agregado de sensores que tienen otras aplicaciones. Además, la solución a problemas de suministros de energía como lo son el uso de baterías. [35]

Todas las características anteriormente mencionadas dan entender la gran similitud que tiene dicho artículo con nuestro trabajo. Aunque diverge en algunos aspectos, como en el caso de las variables que medirá el sistema, el hardware a utilizar, la ausencia de energía fotovoltaica y su aplicación final.

A GSM, WSN and embedded web server architecture for internet based kitchen monitoring system

El artículo “A GSM, WSN and embedded web server architecture for internet based kitchen monitoring system” expone el diseño y desarrollo de un sistema de monitoreo inteligente y el sistema de control para una cocina en tiempo real. [36]

El sistema está conformado por una placa Raspberry que se comunica con los Xbee, que envía la información a una base de datos. Este dispositivo utiliza un modem GPRS que permite enviar un correo electrónico y/o un SMS a través de la red GSM, en caso de condiciones anormales. [36]

La aplicación propuesta, permite sensor la intensidad de luz, temperatura, detección de incendios, detección de movimiento y nivel de gas LPG, mostrando así un estado general de la cocina. Además, los usuarios pueden controlar y monitorear el sistema a través de páginas elaboradas en JavaScript y Java. Para de esa manera, el sistema ofrece una alternativa completa, de bajo costo, potente y amigable con el usuario que permite monitorear y controlar de forma remota su cocina. [36]

La importancia de este proyecto radica en la aplicación de las redes de sensores en un nuevo ambiente. Que diverge de nuestro trabajo debido al uso de un módulo Raspberry como núcleo del sistema y en la ausencia de un sistema de alimentación de respaldo para el sistema.

En conclusión, en el desarrollo del marco de antecedentes se encontraron aportes e ideas significativas en diferentes áreas de conocimiento presentes en el proyecto.

Empezando por el diseño de redes de sensores, sistemas de energía alternativos y nuevas aplicaciones en las que se necesitaban monitorear variables para diferentes propósitos, como en el caso de la agricultura de precisión. Además, algunos artículos hacen referencia al valor agregado que brinda la implementación de energía solar como suministro de energía alternativo para diversas aplicaciones.

Con lo anterior dicho, el proyecto de la estación meteorológica de bajo costo surge como una propuesta que abarca todos los campos en los que se vieron involucrados los artículos presentes en el estado del arte, basándose en un sistema que permite monitorear variables de forma remota, contando con una página web que permite el acceso a usuarios y administradores a una base de datos que muestra las variables sensadas durante un intervalo de tiempo. Además de la implementación de un sistema de energía fotovoltaico que le brinda autonomía a la estación.

6. Desarrollo del proyecto

6.1.Diseño inicial de la estación meteorológica

El diseño inicial de la estación meteorológica se basó en la selección de variables a sensar acorde a la aplicación y enfoque del proyecto. Una vez conocidas las variables, se procedió a buscar los elementos para trabajar en función de estas; como fueron los sensores, los módulos de recepción y transmisión de datos, etc.

Habiendo obtenido los elementos iniciales, se continuó con el acondicionamiento de estos por medio de actividades como la prueba del funcionamiento y caracterización de estos.

Una vez se tenían los elementos de adquisición de datos en funcionamiento, se desarrolló una base de datos teniendo en cuenta las variables que se iban a obtener, elaborando así los campos y registros en función a lo requerido.

Con la elaboración de la base de datos inicial, surgió la necesidad de iniciar con la programación. Dicha fase consistió en la elaboración de los programas que permitirían a los módulos realizar las etapas de comunicación entre elementos, transmisión, recepción de datos, conexión con la red móvil y finalmente la comunicación con la base de datos.

Al realizar las conexiones preliminares con la base de datos en un hosting remoto, se continuó con el desarrollo y conformación de la interfaz gráfica, tanto el desarrollo de una interfaz web preliminar en HTML y la interfaz de acceso a los usuarios en PHP.

Tras desarrollar todo el sistema, se procedió al diseño de un modelo de energía que brinda al sistema autonomía la cual permite su uso en diversas aplicaciones como la agricultura de precisión.

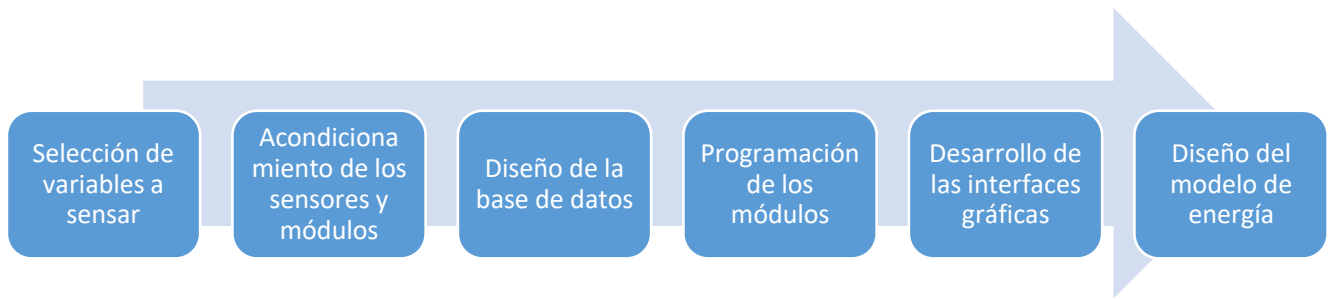


Figura 3 Diagrama de bloques del diseño inicial de la estación meteorológica

6.2. Selección de variables a sensor

La selección de variables a sensor se desarrolló teniendo en cuenta las necesidades de la aplicación de nuestra estación meteorológica, la sección de variables ambientales del marco teórico, el estado del arte del trabajo y la sección relacionada con los sensores que se encuentran presentes en las estaciones meteorológicas. [\(Ver más en marco de referencia y en el apéndice A\).](#)

En estas secciones se puede evidenciar la importancia que tienen dichas variables y por ende la estación meteorológica lee las siguientes variables: Temperatura, humedad de la tierra, velocidad del viento, dirección del viento, velocidad de ráfagas de viento, dirección de ráfagas de tiempo, humedad, volumen de lluvia.

También, está compuesta de tres sensores de gas: sensor de monóxido, hidrógeno y metano, los cuales brindan valores no relacionados con el clima como tal, sino con la integridad misma de la siembra.

6.3.Acondicionamiento de los sensores y módulos

La sección de acondicionamiento de los sensores y módulos consta de dos partes. La primera parte consiste en la presentación de las características generales de los elementos seleccionados.

En cambio, la segunda parte consiste en la caracterización dónde se muestran la razón por la que cada uno de los sensores arroja ciertos valores.

6.3.1. Características generales de los elementos

6.3.1.1.Tarjeta arduino mega

Arduino es una plataforma de hardware de código abierto, la cual consta de una sencilla placa con entradas y salidas, tanto analógicas como digitales.

En el proyecto se utilizará el modelo ATmega2560 que tiene un total de 54 pines de entrada/salida digital, 16 entradas analógicas, 4 puertos seriales, un oscilador de cristal de 16 MHz, una conexión USB, un conector de alimentación un conector para ICSP y un botón de reinicio.

Es de gran importancia el uso del ATmega2560 dentro de nuestro proyecto, ya que permite el uso de los pines analógicos y digitales para conectar los sensores encargados de recoger los valores que se almacenaran en nuestra base de datos y la visualización de estos, tanto en un monitorio del puerto serial como en una interfaz gráfica desarrollada en php.

Además, nos brinda una gran compatibilidad con distintos dispositivos para la convergencia de la placa arduino con el módulo weather shield y el módulo SIM900.

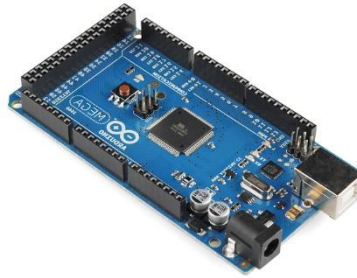


Figura 4 Arduino MEGA [37]

6.3.1.2. Módulo sim 900

El módulo SIM900 es una tarjeta GPRS ultra compacta de comunicación inalámbrica. Este se comunica con el microcontrolador a través de una interfaz serial y comandos AT. El módulo soporta reset y encendido por medio del hardware. Los módulos SIMCOM suelen implementarse en shields para arduino o computadora como el Raspberry Pi o PC de escritorio.

Es de gran importancia el uso del módulo SIM900, debido a que posee un stack TCP/IP incluido, por lo que permite realizar aplicaciones que involucren comunicaciones a través de internet de forma más sencilla y todas las operaciones con sockets se realizan mediante comandos AT. Además, el módulo soporta las cuatro bandas de frecuencias internacionales de GSM, lo que garantiza la compatibilidad del dispositivo con gran parte de operadores de telefonía a nivel global.



Figura 5 Módulo SIM900 [38]

6.3.1.3. Módulo weather shield

Es una placa que funciona con arduino y que tiene la capacidad de sensor con gran precisión variables como: presión barométrica, humedad relativa, luminosidad y temperatura; opera desde 3,3 V hasta 16V.



Figura 6 Módulo weather shield [39]

Además, brinda conexiones extra para sensores opciones como los de velocidad de viento, dirección, pluviómetro, GPS para localización.

Los sensores que utiliza esta shield son:

- HTU21D(Humedad)
- MPL3115A2(Presión barométrica)

- ALS-PT19(Sensores de luz)

6.3.1.4. Weather meters

El kit Weather Meters SEN-08942 de Sparkfun está compuesto por los tres componentes principales de la medición del tiempo: velocidad del viento, dirección del viento y precipitaciones. Ninguno de los elementos del kit contiene elementos electrónicos activos, pues está constituido por un grupo de interruptores magnéticos sellados e imanes los cuales necesitan una fuente de voltaje para realizar la toma de medidas.



Figura 7 Kit weather meter [40]

El kit está compuesto por los siguientes sensores:

- Pluviómetro:
- Anemómetro
- Aleta de viento

6.3.2. Caracterización de los sensores

6.3.2.1. Escalamiento de los valores de los sensores del kit weather

6.3.2.1.1. Anemómetro

El funcionamiento del anemómetro se basa en la codificación de los valores de velocidad del viento por medio del cierre de un interruptor en cada una de sus rotaciones.

La velocidad del viento de 1,492 MPH (2,4km/h) produce un cierre de interruptor una vez por segundo.

6.3.2.1.2. Veleta de viento



Figura 8 Veleta de viento del Sparkfun Weather meter [40]

La veleta de viento indica la dirección del viento como un voltaje producido por la combinación de resistencias que hay dentro del sensor. Se encuentra conformada por un conjunto de switches magnéticos que pueden tener hasta un total de 16 posiciones diferentes, es decir, dependiendo de hacia dónde se dirige la ráfaga de viento, el sistema abre o cierra un sistema de resistencias para así brindar unos datos relacionados con la inclinación del elemento.

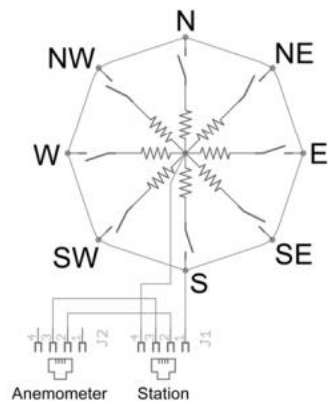


Figura 9 Diagrama de resistencias de la veleta de viento [40]

Cuando la veleta capta una precipitación, cambia a la resistencia acorde a la dirección del viento y con esto, se ve un cambio también en el voltaje que recibe el microcontrolador al que se encuentra conectado el sistema.

A continuación, en la tabla 3 se describe la relación entre la dirección del viento, la resistencia y voltaje que cambian, según las variables captadas en el entorno.

Por ejemplo, cuándo la inclinación de la veleta es de 45°, el circuito hace switch con la resistencia de 8,2k y el voltaje mostrado sería 2,25V.

Dirección (Degrees)	Resistencia (Ohms)	Voltaje (V=5V, R=10k)
0	33k	3.84v
22.5	6.57k	1.98v
45	8.2k	2.25v
67.5	891	0.41v
90	1k	0.45v

112.5	688	0.32v
135	2.2k	0.90v
157.5	1.41k	0.62v
180	3.9k	1.40v
202.5	3.14k	1.19v
225	16k	3.08v
247.5	14.12k	2.93v
270	120k	4.62v
292.5	42.12k	4.04v
315	64.9k	4.78v
337.5	21.88k	3.43v

Tabla 2 Relación entre los rangos de direcciones con los rangos de resistencias y voltajes

6.3.2.1.3. Pluviómetro

El pluviómetro tiene como función medir la cantidad de precipitación. Está constituido por un cubo que por cada 0,2794mm, el contenedor llega a su límite para de ese modo activar un interruptor magnético que completa el circuito eléctrico, lo que permite al contenedor volverse a posicionar para repetir el proceso.

Se realiza una interrupción que detecte los flancos de bajada, es decir, cada vez que el circuito es cerrado se cambia de un nivel alto, a un nivel bajo de voltaje y se ejecutará la rutina de esta interrupción.



Figura 10 Pluviómetro del Sparkfun Weather meter [40]

6.3.2.2. Sensores de Gas (MQ4, MQ7, MQ8)

Los sensores de gas de la serie MQ son sensores analógicos electroquímicos y que varían su resistencia cuándo se exponen a determinados gases, internamente tienen un calentador que funciona por medio del aumento de su temperatura interna, para así permitir que el sensor reaccione con los gases, provocando así un cambio en el valor de la resistencia interna de cada sensor. El calentador, dependiendo del modelo puede necesitar un voltaje de entre 2 y 5 V, el sensor se comporta como una resistencia y necesita una resistencia de carga (R_L) encargada de cerrar su circuito, para así poder realizar un divisor de tensión para realizar la conversión analógico digital.

Por esto, el calentador necesita un tiempo de esperar para poder recibir unos valores de salida estables que correspondan a las características que el fabricante muestra en los datasheets de cada uno de los diferentes sensores.

La diferencia entre los sensores MQ radica en las distintas sensibilidades que tiene cada sensor a cierta gama de gases, debido a esto algunos detestan un gas en específico, por lo que es necesario revisar los datasheet para escoger el sensor adecuado para nuestra aplicación.

Debido a la gran similitud que tienen los sensores MQ, se desarrolló un programa que tiene como fin realizar la lectura de la salida de cada uno de los sensores. Empezando por la declaración de una variable entera que realizará la lectura de la salida analógica de cada sensor MQ, seguido de una variable flotante que nos mostrará los valores en voltaje que arroja cada sensor y finalmente nos imprimirá cada valor, para así conocer el cambio que muestra con la presencia o ausencia de cada uno de los gases

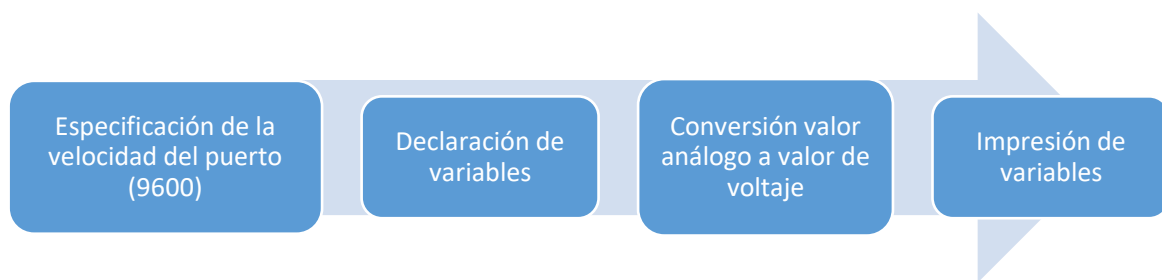


Figura 11 Diagrama de bloques del programa de prueba de los sensores MQ

6.3.2.2.1. Sensor de gas metano (MQ-4)

Las pruebas de funcionamiento del sensor se basaron en una medida de los valores sin exposición a gas metano.

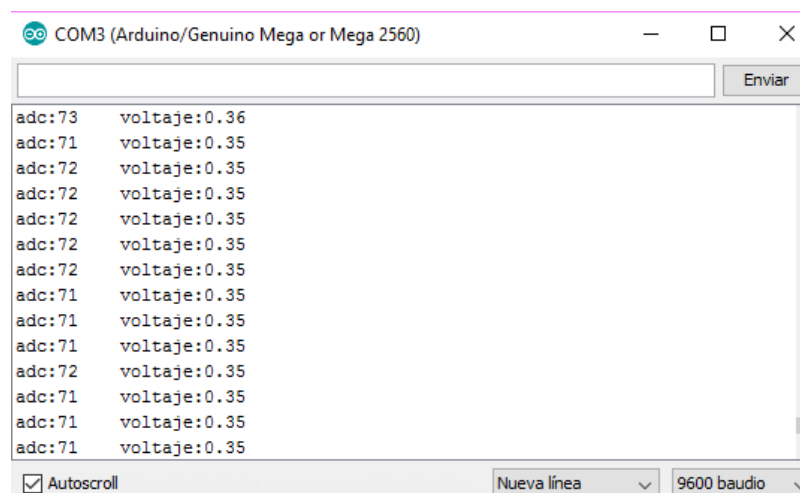


Figura 12 Valores arrojados por el monitor serie cuándo el MQ-4 no recibe gas metano

Seguido de esto, se realizó una medida de los valores tras ser expuestos a gas metano.

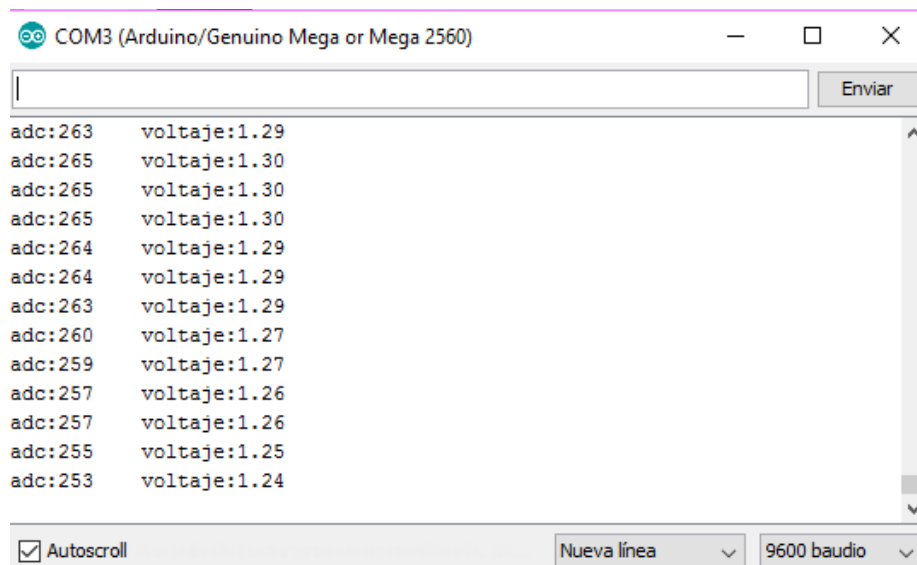


Figura 13 Valores arrojados por el monitor serie cuándo el MQ-4 recibe gas metano

Para escalar el sensor MQ4 se realizó un análisis de los valores obtenidos del sensor, ya que se debe conocer los valores correspondientes a la concentración del gas. Una vez obtenidos los valores del sensor, se realizó un escalado de los valores registrados, debido a que la relación entre la lectura analógica y el valor real no es lineal. Por lo que se necesitará estimar la curva que se puede obtener interpretando el datasheet.

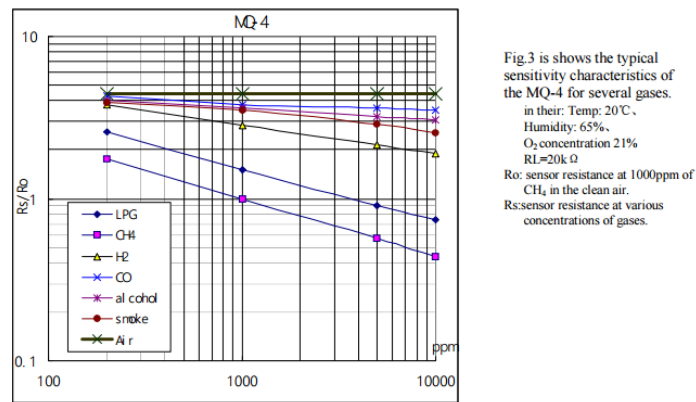


Figura 14 Datasheet del sensor de gas metano MQ-4 [41]

Debido a que el datasheet nos brinda la curva y no la ecuación. Por esto, es necesario estimar y por regresión hallar la ecuación apartir de una interpolación utilizando Excel.

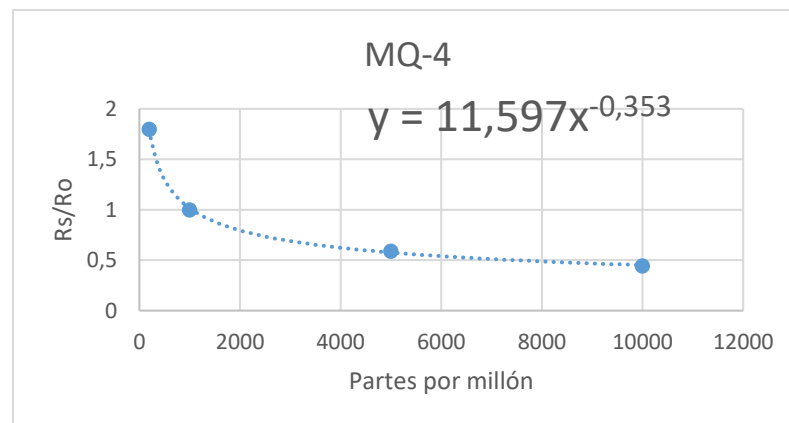


Figura 15 Gráfica de la ecuación del sensor MQ-4

La ecuación que se obtiene es:

$$\text{Metano} = 11,597 (Rs/Ro)^{-0,353} \quad (1.1)$$

Como se ve en la ecuación (1.1), metano equivale al valor de la concentración de alcohol, Ro es una constante que equivale al valor de la resistencia cuándo se expone el sensor a una concentración de 1000 ppm y Rs es la resistencia del sensor.

Seguido de esto, para calcular el valor de R_s se despeja la ecuación (1.2) del divisor de voltaje que forma el sensor con la resistencia de carga R_L que como se ve en la ecuación (1.3) en la mayoría de módulos es de 20K.

$$\text{Voltaje leído} = 5(20000/(R_s + 20000)) \quad (1.1)$$

$$R_s = 20000((5 - V) / V) \quad (1.3)$$

6.3.2.2.2. Sensor de gas monóxido (MQ-7)

Las pruebas de funcionamiento se basaron en una medida de los valores sin exposición a gas metano.

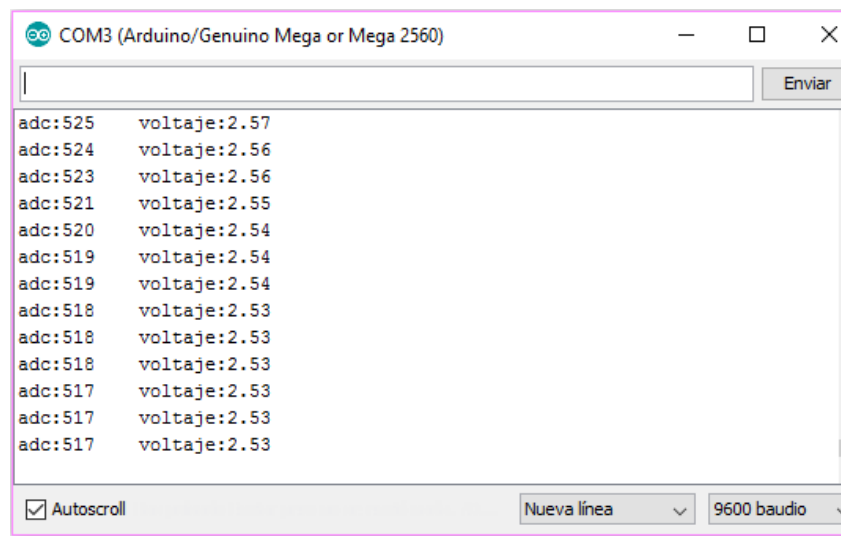


Figura 16 Valores tomados por el monitor serie cuándo el MQ-4 no recibe gas metano

Seguido de esto, se realizó una medida de los valores tras ser expuestos a gas metano.

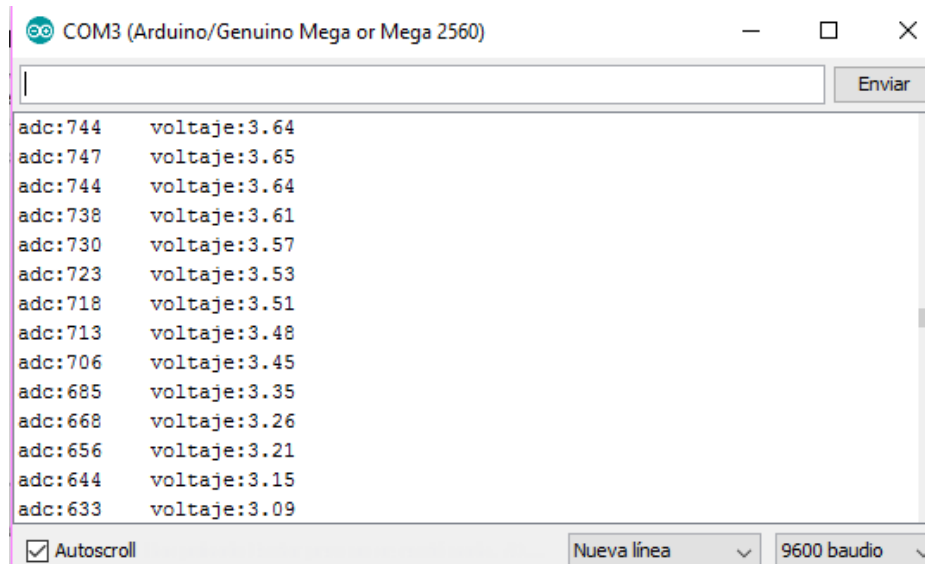


Figura 17 Valores arrojados por el monitor serie cuándo el MQ-7 recibe gas metano

Para escalar el sensor MQ7 se realizó un análisis de los valores obtenidos del sensor, ya que se debía conocer los valores correspondientes a la medición del gas. Una vez obtenidos los valores del sensor, se realizó un escalado de los valores registrados, debido a que la relación entre la lectura analógica y el valor real no es lineal. Por lo que se necesitará estimar la curva que se puede obtener interpretando el datasheet.

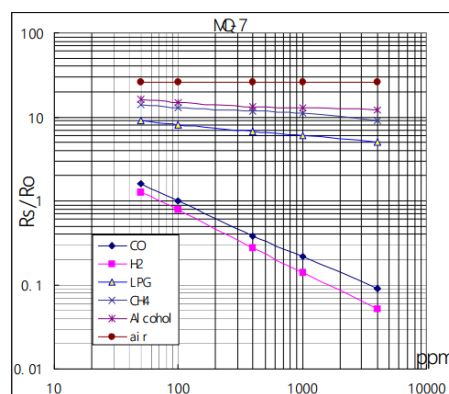


Fig.3 shows the typical sensitivity characteristics of the MQ-7 for several gases. in their: Temp: 20°C, Humidity: 65%, O₂ concentration 21% RL=10k Ω

Ro: sensor resistance at 100ppm CO in the clean air.

Rs: sensor resistance at various concentrations of gases.

Figura 18 Datasheet del sensor de monóxido MQ-7 [42]

Debido a que el datasheet nos brinda la curva y no la ecuación, es necesario estimar y por regresión hallar la ecuación. Para esto, se usará Microsoft Excel, para así ingresar los datos de la curva de CO, tomando la mayor cantidad de puntos posibles y realizar la respectiva gráfica.

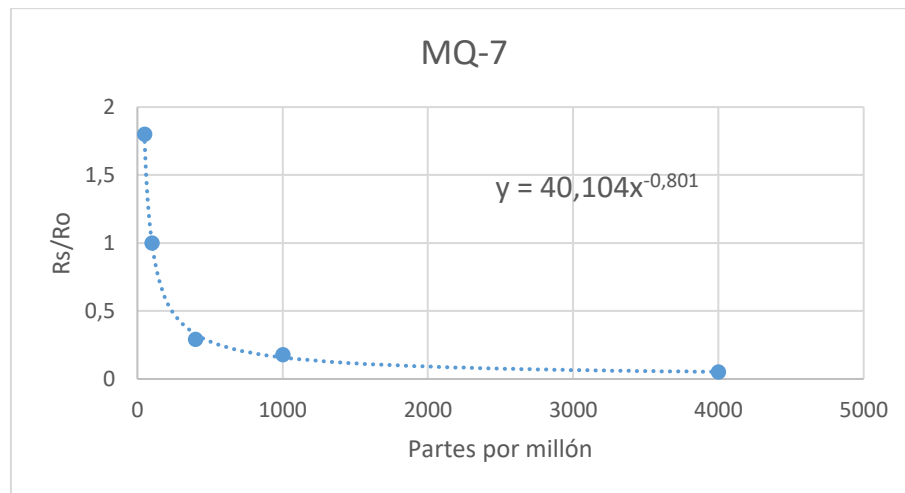


Figura 19 Gráfica de la ecuación del sensor MQ-7

La ecuación que obtenemos es:

$$\text{Monóxido} = 40,104 (R_s/R_o)^{-0,801} \quad (2.1)$$

Como se ve en la ecuación (2.1), monóxido equivale al valor de la concentración de alcohol, R_o es una constante que equivale al valor de la resistencia cuándo se expone el sensor a una concentración de 100 ppm y R_s es la resistencia del sensor.

Seguido de esto, se utiliza la ecuación (2.2) para calcular el valor de R_s , despejamos la ecuación del divisor de voltaje que forma el sensor con la resistencia de carga R_L , que en la mayoría de módulos es de 10K, como en el caso de la ecuación (2.3)

$$\text{Voltaje leído} = 5(10000/(R_s + 10000)) \quad (2.2)$$

$$R_s = 10000((5 - V) / V) \quad (2.3)$$

6.3.2.2.3. Sensor de hidrógeno(mq-8)

Para escalar el sensor MQ8 se realizó un análisis de los valores obtenidos del sensor, ya que se debía conocer los valores correspondientes a las medidas de concentración del gas. Una vez obtenidos los valores del sensor, se realizó un escalado de los valores registrados, debido a que la relación entre la lectura analógica y el valor real no es lineal. Por lo que se necesitará estimar la curva que se puede obtener interpretando el datasheet.

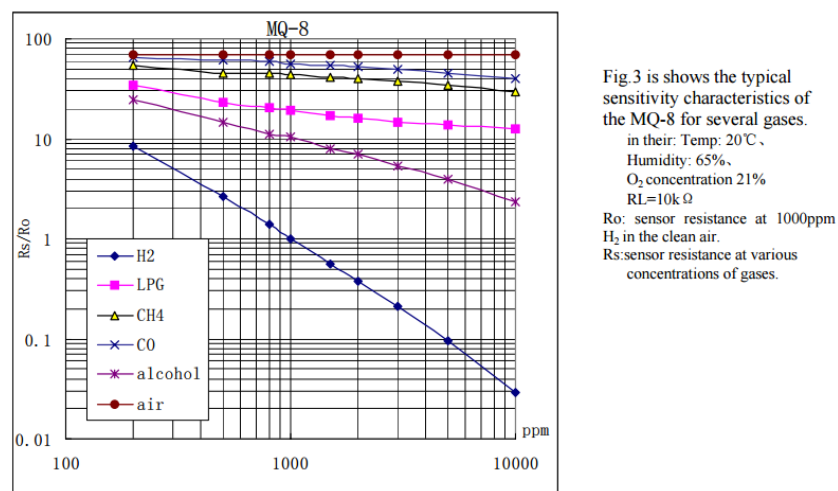


Figura 20 Datasheet del sensor de monóxido MQ-8 [43]

Debido a que el datasheet nos brinda la curva y no la ecuación, es necesario estimar y por regresión hallar la ecuación. Para esto, se usará Microsoft Excel, para así ingresar los datos de la curva de CO, tomando la mayor cantidad de puntos posibles y realizar la respectiva gráfica.

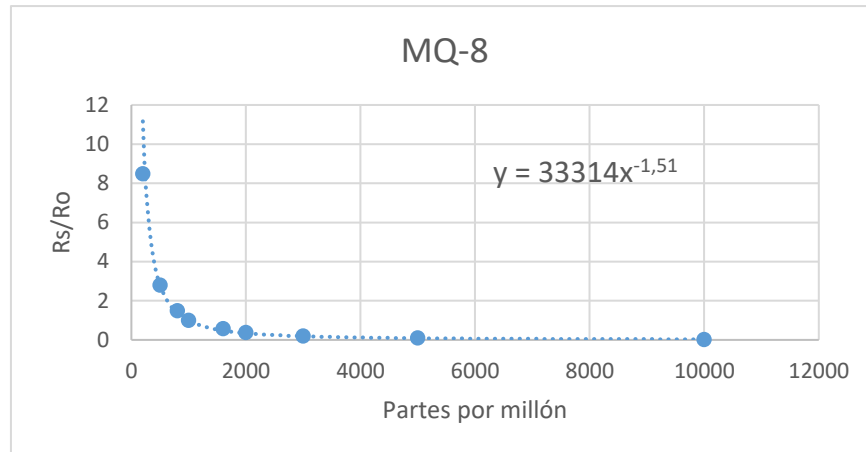


Figura 21 Gráfica de la ecuación del sensor MQ-8

La ecuación que obtenemos es:

$$\text{Hidrógeno} = 33314 (R_s/R_o)^{-0,801} \quad (3.1)$$

Cómo podemos ver en la ecuación (3.1), el hidrógeno equivale al valor de la concentración de alcohol, R_o es una constante que equivale al valor de la resistencia cuándo se expone el sensor a una concentración de 1000 ppm y R_s es la resistencia del sensor.

Seguido de esto, para calcular el valor de R_s despejamos la ecuación (3.2) del divisor de voltaje que forma el sensor con la resistencia de carga R_L , que como en la ecuación (3.3) en la mayoría de módulos es de 10K.

$$\text{Voltaje leído} = 5(10000/(R_s + 10000)) \quad (3.2)$$

$$R_s = 10000((5 - V) / V) \quad (3.3)$$

6.3.2.3. Sensor de temperatura LM35

LM35 es un sensor de temperatura integrado de precisión que tiene un rango de operación que oscila entre -55°C hasta los 150°C , teniendo en cuenta que este tipo de



6.3.2.3.1. Calibración/Funcionamiento

Equivalencia en mV	Equivalencia en temperatura
+1500mV	150 °C
+250mV	25 °C
-550Mv	-55 °C

6.3.2.4. Sparkfun Soil Moisture SEN-13322

El sensor de humedad SEN-13322 es un sensor que permite medir la humedad en el suelo y materiales similares. El sensor de humedad es bastante sencillo de usar, ya que su funcionamiento consiste en que las dos almohadillas expuestas funcionan como sondas para el sensor, actuando ambas como una resistencia variable, ya que entre más agua esté

en el suelo, mejor será la conductividad entre las almohadillas y resultará menor la resistencia.

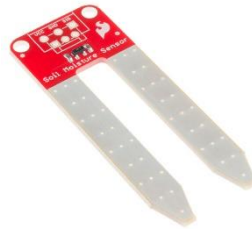


Figura 23 Sparkfun Soil Moisture SEN-1332

6.3.2.4.1. Calibración/Funcionamiento

El funcionamiento del sensor SEN-1332 se basa en la variación de las resistencias que se encuentran en las almohadillas de los sensores. Los valores arrojados por el sensor oscila entre 0 y 1023, siendo 1024 equivalente a 3.3v.

Valores arrojados por el SEN-1332	Condición de la tierra
0-350	Tierra seca
350-700	Tierra húmeda
700-1024	Sumergido en agua

Tabla 4 Equivalencia entre los valores arrojados por el sensor y el estado de la tierra

6.4.Diseño de la base de datos

En esta sección se presenta el desarrollo el modelado, estructura y la especificación de cada uno de los registros de la base de datos. Además, se muestra de forma detallada cada uno de los pasos que se siguió para la creación de las tablas, registros, llaves principales, llaves foráneas del

sistema en el programa Postgress. ([Para ver todo el desarrollo de la base de datos ver el apéndice E\)](#)

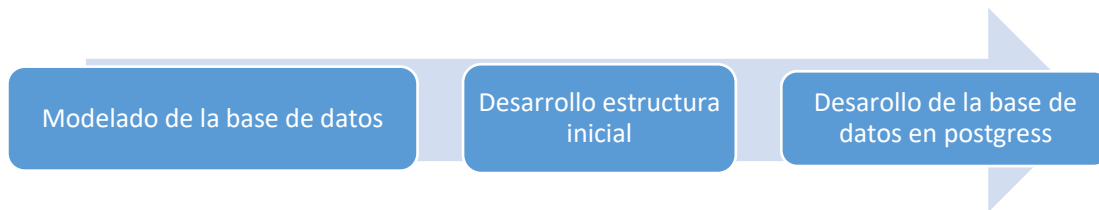


Figura 24 Diagrama de bloques del proceso de creación de la base de datos

6.5.Programación de los módulos

En esta sección se presenta el proceso de configuración de las dos grandes partes del sistema de adquisición de datos: la tarjeta arduino y módulo shield SIM900. Se desarrolló un programa en C(arduino) dónde se realizó la comunicación entre la placa, el módulo GRPS y la base de datos. Además, se describe cada uno de los ciclos de lectura de datos de cada uno de los sensores, tratamiento de variables para la transmisión y el envío de variables por medio del módulo GRPS por medio del protocolo http. ([Para ver el proceso de programación ver apéndice E\)](#)

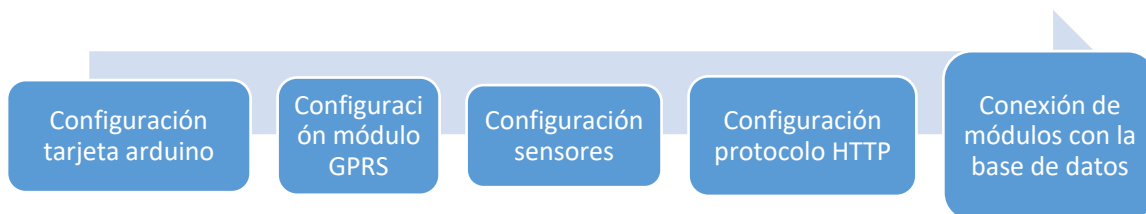


Figura 25 Diagrama de bloques del proceso de programación de los módulos

6.6. Desarrollo interfaces gráficas

En esta sección se presentan las dos interfaces gráficas que se desarrollaron. La primera consiste en una plantilla en HTML en la que se creó una interfaz web preliminar dónde se brindan detalles iniciales y generales del sistema a los nuevos usuarios. [\(Para ver más detalles del desarrollo de la interfaz preliminar ver apéndice G\)](#)

La segunda es la interfaz de usuario en php, en la que se muestran graficados y enlistados los datos relacionados con la estación meteorológica que se encuentran almacenados en la base de datos. [\(Para ver más detalles del desarrollo de la interfaz preliminar ver apéndice H\)](#)

6.7. Diseño del modelo de energía

En esta sección se presenta el desarrollo del sistema de energía fotovoltaica, su estructura y la función que cumplen cada uno de los elementos para brindarle autonomía al sistema. [\(Para ver más detalles del diseño del modelo de energía ver apéndice I\)](#)

7. Resultados

En esta sección se presenta la evidencia del desarrollo del prototipo de la estación meteorológica con un panel de 40W. Este apartado comprende la construcción, conexión y la puesta en funcionamiento de cada uno de los elementos de la estación meteorológica. Además, una vez llevada a cabo la implementación, se mostrará el conjunto de pruebas que se le realizaron al sistema con el fin de comprobar la correcta transmisión, recepción y visualización de los datos que este sensa. [\(Para ver más detalles de los resultados ver apéndice J\).](#)



Figura 26 Prototipo final de la estación meteorológica

7.1.Prototipo panel 40W

En esta sección se muestran los elementos que conforman el prototipo final de la estación meteorológica. Esta está conformada por un panel solar de 40W, una batería de auto de 12V, un regulador de energía solar (el cual funciona por medio de un algoritmo que le permite realizar un correcto uso de la energía al sistema), dos reguladores de 12 a 5V(permite convertir el voltaje de la batería a 5V para poder realizar la conexión de los módulos a dicho suministro), los módulos de comunicación (placa SIM900 y el arduino MEGA), la weather shield, los diferentes sensores que se encargan de sensar los valores deseados y finalmente una caja de intemperie que brinda una correcta protección a los elementos de cualquier problemas que se encuentre en el entorno.

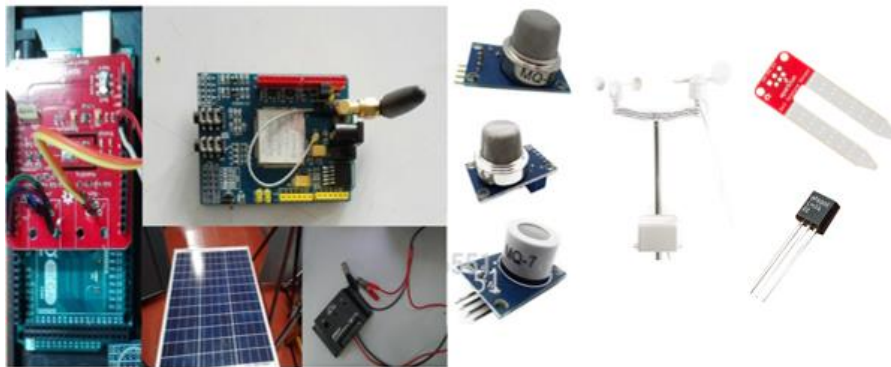


Figura 27 Elementos del prototipo

7.1.1. Elaboración del prototipo

En esta sección se muestra todo el ensamblaje del sistema. Iniciando con la presentación de cada uno de los elementos que lo conforman, seguido de la presentación paso a paso de la construcción y montaje de cada uno de los elementos dentro de la caja y, finalmente la presentación del prototipo final. [\(Para ver más detalles de los resultados ver apéndice J\).](#)

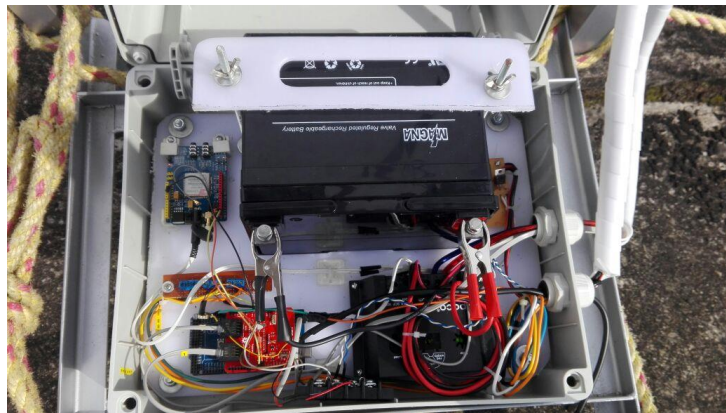


Figura 28 Interior caja interperie

7.1.2. Pruebas de funcionamiento de la solución final

En esta sección se muestran las actividades que se realizaron para probar el correcto funcionamiento de la solución final. Como lo fueron las pruebas de transmisión y recepción de datos, las pruebas de visualización de datos. [\(Para ver más detalles de los resultados ver apéndice J\)](#)

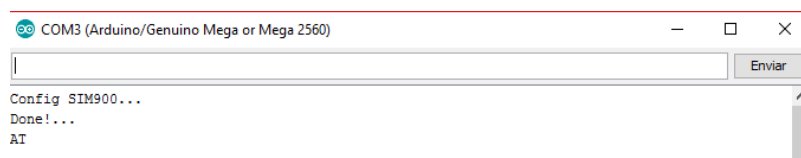


Figura 29 Comandos que comprueban la conexión exitosa del módulo

7.1.3. Pruebas de autonomía de la solución final

En esta sección se muestran las actividades que se realizaron para probar la autonomía del sistema. Empezando por su puesta en marcha desde la azotea de la torrea A de la Universidad Santo Tomás de Bucaramanga, en dónde se empezaron a tomar muestras desde el 30 de junio hasta el 5 de mayo de forma ininterrumpida. Y la muestra de los resultados en tiempo real de las variables monitoreadas por la estación ([Para ver más detalles de los resultados ver apéndice J](#))

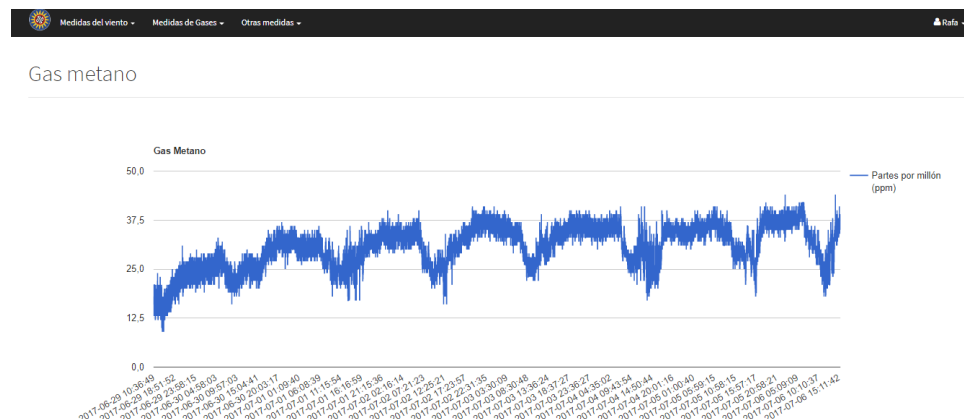


Figura 30 Valores en partes por millón de gas metano obtenidas por la estación meteorológica

8. Conclusiones

- En este trabajo de investigación se desarrolló un sistema de alimentación autónoma, que se diseñó para tener una autonomía de 2 días sin tener radiación solar.
- El desarrollo de un sistema de transmisión basado en el uso de la red móvil (3G en adelante) fue fundamental debido a que brindó al sistema una mayor cobertura en referencia a otras tecnologías. Esto permitió al sistema ser utilizado en entornos donde exista cobertura por el operador de telefonía móvil.
- Se desarrolló una interfaz que presenta de forma gráfica la información alojada en la base de datos, la cual nos permitió entender el comportamiento climático y ambiental de la zona geográfica en la que estuvo ubicada la estación meteorológica.
- La estación es viable para el monitoreo de variables ambientales y climáticas en sitios remotos, debido a que cuenta con un sistema fotovoltaico que le brinda autonomía, mide y gráfica correctamente los valores que se están sensando y además hay una buena cobertura de red celular en el departamento de Santander.

9. Trabajo futuro

En este trabajo se presentó una estación meteorológica autónoma de bajo costo, que tiene como función monitorear variables ambientales, para emplear estos valores en aplicaciones como la evaluación de microclimas, agricultura de precisión y demás.

Se propone como trabajo futuro la construcción de un sistema conformado por múltiples estaciones meteorológicas, las cuales serán construidas bajo especificaciones similares a la planteada por el trabajo, con el fin de brindar un servicio que permita monitorear los distintos microclimas en la ciudad de Bucaramanga.

El sistema constará de varias estaciones que serán ubicadas en distintos puntos estratégicos de la ciudad. Por consiguiente, se deberá construir una interfaz para cada una de las estaciones, para así monitorear cada una de manera independiente.

Además, se sugiere la implementación de nuevos elementos como: un gps para tener el dato exacto de la ubicación de cada una de las estaciones, un actinógrafo para medir la radiación solar diaria, un evaporímetro y un barógrafo para poder proporcionar datos de presión atmosférica.

10. Presupuesto**10.1. Presupuesto equipo**

Ítem	Descripción	Cantidad	Valor unitario	Valor total
1	Kit estación meteorológica (Weather Meters)	1	\$277.586,21	\$277.586,21
2	Placa sensores (Weather Shield)	1	\$138.793,10	\$138.793,10
5	Sensor Monoxido de Carbono (MQ7)	1	\$23.189,65	\$23.189,65
6	Sensor de Metano(MQ-4)	1	\$20.818,96	\$20.818,96
7	Sensor de Hidrogeno(MQ- 8)	1	\$27.758,62	\$27.758,62
9	Board Arduino Mega 2560 R3	1	\$137.068,97	\$137.068,97
10	GPRS y GPS (Cellular Shield - MG2639)	1	\$150.000	\$150.0000

17	Caja de intemperie	1	\$40.000	\$40.000
18	Panel solar de 44W	1	\$120.000	\$120.000
19	Cables panel solar	2	\$7500	\$15000
20	Batería 12V	1	\$150.000	\$150.000
21	SparkFun Soil Moisture Sensor	1	\$20.000	\$20.000
22	Sensor de temperatura LM35	1	\$5.500	\$5.500
23	Soporte de la estación	1	\$250000	\$250000
	Envío			\$6.000
TOTAL \$1.381.712				

10.1. Recurso humano

Descripción	Valor Hora (en pesos)	Valor Total (en pesos)
Ejecutor del proyecto – Rafael David Ferrer Sanabria	30.000	3'000.000
TOTAL		3'000.000

*Tabla 5 Presupuesto del recurso humano***10.2. Costo total**

PRESUPUESTO EQUIPOS	\$1.381.712
RECURSO HUMANO	\$3.000.000
TOTAL	\$4.381.712

Tabla 6 Costo total del proyecto

11. Referencias bibliográficas

- [M. y. P. G. F. Frere, Pronóstico de Cosechas basado en Datos Agrometeorológicos, 1980.
1]
- [Colombia Digital, «Colombia Digital,» 3 Mayo 2013. [En línea]. Available:
2] <https://colombiadigital.net/opinion/columnistas/artifice-innovacion/item/4866-como-las-tic-complementan-la-agricultura-de-precision.html>.
- [scientificsales, «scientificsales,» scientificsales, [En línea]. Available:
3] <http://www.scientificsales.com/Professional-Meteorological-Instruments-s/23.htm>.
- [L. B. Hörmann, T. Buchegger y C. Steger, «Optimizing the energy supply of autonomous
4] wireless sensor nodes,» *IEEE*, p. 6, 2015.
- [C. Rankine, G. Sanchez-Azofeifa y M. H. MacGregor, «Seasonal Wireless Sensor
5] Network Link Performance,» *IEEE*, p. 9, 2014.
- [G. Medina García , J. Grageda Grageda, J. A. Ruiz Corral y A. D. Báez González, «Uso
6] de estaciones meteorológicas en la agricultura,» *Uso de estaciones meteorológicas en la agricultura*, p. 32, 2008.
- [Ecured, «Ecured,» Ecured, 14 Abril 2014. [En línea]. Available:
7] <https://www.ecured.cu/Microclima>. [Último acceso: 25 Abril 2017].

- [Universidad nacional de asunción, «Universidad nacional de asunción,» Universidad
8] nacional de asunción, 15 Septiembre 2014. [En línea]. Available:
<http://www.pol.una.py/?q=node/165>. [Último acceso: 25 Abril 2017].
- [IDM INSTRUMENTOS, «IDM INSTRUMENTOS,» IDM INSTRUMENTOS, 20
9] Septiembre 2013. [En línea]. Available: <http://idm-instrumentos.es/estaciones-y-sensores-meteorologicos/>. [Último acceso: 24 Abril 2017].
- [LanGIF, «LanGIF,» LanGIF, 3 Diciembre 2016. [En línea]. Available:
10 http://langif.uaslp.mx/documentos/presentaciones_internacionl/01/ponencia_slp.pdf.
] [Último acceso: 25 Abril 2017].
- [Ecured, «Ecured,» Ecured, 12 Febrero 2015. [En línea]. Available:
11 https://www.ecured.cu/Estaci%C3%B3n_de_Observaci%C3%B3n_Meteorol%C3%B3gica.
] [Último acceso: 25 Abril 2017].
- [INIFAP, «INIFAP,» INIFAP, 22 Julio 2015. [En línea]. Available:
12 [http://www.zacatecas.inifap.gob.mx/publicaciones/Uso_de_estaciones_meteorologicas_en_l
\] a_agricultura.pdf. \[Último acceso: 24 Abril 2017\].](http://www.zacatecas.inifap.gob.mx/publicaciones/Uso_de_estaciones_meteorologicas_en_la_agricultura.pdf)
- [R. Pallás Areny, Sensores y acondicionadores de señal, Catalunya: Marcombo, 2004.
13
]

- [D. A. A. SÁNCHEZ, «Repositorio utp,» Repositorio utp, 11 Abril 2014. [En línea].
14 Available:
] <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/2369/62131244A681.pdf?sequence=1>. [Último acceso: 25 Abril 2017].
- [J. R. Lajara Vizcaníno, «UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA,» Junio
15 2014. [En línea]. Available: <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/39371/Lajara%20-%20Modelado%20y%20optimizaci%C3%B3n%20de%20energ%C3%ADa%20en%20redes%20de%20sensores%20inal%C3%A1mblicas%20para%20la%20medida%20de%20p....pdf?sequence=1>.
] f?sequence=1.
- [Gobierno de México, «Gobierno de México,» Gobierno de México, 14 Septiembre 2015.
16 [En línea]. Available: <http://smn.conagua.gob.mx/es/8-smn-general/20-base-de-datos-climatologica>. [Último acceso: 11 Abril 2017].
] climatologica. [Último acceso: 11 Abril 2017].
- [Arduino, «Arduino,» 2010. [En línea]. Available:
17 <https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction>.
]]
- [PHP, «PHP,» 2008. [En línea]. Available: <http://php.net/manual/en/intro-what-is.php> .
18
]]

- [Mozilla Firefox, «Mozilla Developer Network,» 2014. [En línea]. Available:
19 <https://developer.mozilla.org/es/docs/Web/HTML>.
]
- [Your HTML Source, «Your HTML Source,» 2007. [En línea]. Available:
20 <http://www.yourhtmlsource.com/starthere/whatishtml.html>.
]
- [S. L. Mora, Programación de aplicaciones web, Club Universitario, 2002.
21
]
- [K. D. y S. D. , PostgreSQL, Indianapolis: Indianapolis, 2003.
22
]
- [L. Y. D. X. y W. Z. , «Using websocket-based technology to build real-time
23 meteorological wireless sensor network information publishing platform,» *IEEE*, p. 6, 2014.
]
- [C. P. y I. R. , «Universidad catolica andres bello,» Universidad catolica andres bello, 12
24 Agosto 2011. [En línea]. Available:
] <http://biblioteca2.ucab.edu.ve/anexos/biblioteca/marc/texto/AAS2750.pdf>. [Último acceso:
15 Enero 2017].

[Z. F. Z. Z. y X. C. , «Micro sensor network node design for meteorological parameter
25 monitoring,» *IEEE*, p. 6, 2011.

]

[J. C. Suárez Barón, «Universidad Nacional Abierta y a Distancia,» 16 Noviembre 2013.
26 [En línea]. Available: <http://repository.unad.edu.co/bitstream/10596/2415/1/7186263.pdf>.

]

[S. Yang, X. Yang, J. A. McCann, T. Zhang, G. Liu y Z. Liu, «IEEE,» *IEEE*, 12
27 Diciembre 2013. [En línea]. Available:
] <http://ieeexplore.ieee.org/document/6708555/authors>. [Último acceso: 12 Febrero 2017].

[Vianney Vunabandi, Ryuji Matsunaga y Sandor Markon, «Flood Sensing Framework by
28 Arduino and Wireless Sensor Network in Rural-Rwanda,» *IEEE*, p. 6, 2015.

]

[Nor Azlina Ab. Aziz y Kamarulzaman Ab. Aziz, «Managing Disaster with Wireless
29 sensor networks,» *IEEE*, p. 6, 2011.

]

[E. García, «Universidad de palermo,» 2014. [En línea]. Available:
30 <http://www.palermo.edu/ingenieria/downloads/pdfwebc&T8/8CyT12.pdf>.

]

- [R. Joshi y J. Zhu, «IEEE,» 11 Abril 2014. [En línea]. Available:
31 <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=7293347>.
]
- [J. F. D, J. T. Varghese y D. P. , «IEE,» 30 Junio 2013. [En línea]. Available:
32 <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=6617321>.
]
- [H. H. Bhavsar, «IEEE,» 14 Abril 2014. [En línea]. Available:
33 <http://ieeexplore.ieee.org/document/6915416/>.
]
- [K. A. M. y T. S. M. , «IEEE,» 11 Mayo 2015. [En línea]. Available:
34 <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=6526423>.
]
- [B. S. Jonathan Jao y K. W. , 14 Agosto 2013. [En línea]. Available:
35 <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=6679901>.
]
- [M. S. A. N. R. A. y D. S. , «IEEE,» 24 Febrero 2015. [En línea]. Available:
36 <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=7159480>.
]

[Pololu, «Pololu,» Pololu, [En línea]. Available: <https://www.pololu.com/product/1699>.

37

]

[Epalsite Electronics, «Epalsite Electronics,» Epalsite Electronics, [En línea]. Available:

38 http://wiki.epalsite.com/index.php?title=SIM900_Quad-

] Band_GPRS_shield_with_Micro_SD_card_slot.

[Sparkfun, «Sparkfun,» Sparkfun, [En línea]. Available:

39 <https://www.sparkfun.com/products/12081>.

]

[Sparkfun, «Sparkfun,» Sparkfun, [En línea]. Available:

40 <https://www.sparkfun.com/products/8942>.

]

[SPARKFUN, [En línea]. Available:

41 <https://www.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Biometric/MQ-4.pdf>.

]

[Sparkfun electronics, [En línea]. Available:

42 <https://www.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Biometric/MQ-7.pdf>.

]

- [Sparkfun Electronics, [En línea]. Available:
43 <https://dlnmh9ip6v2uc.cloudfront.net/datasheets/Sensors/Biometric/MQ-8.pdf>.
]
- [National Semiconductor, «National Semiconductor,» National Semiconductor, [En
44 línea]. Available: http://www.electronicoscaldas.com/datasheet/LM35DZ_National.pdf.
]
- [Texas Instruments, [En línea]. Available: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm35.pdf>.
45
]
- [MinTIC, «MinTIC,» 28 Julio 2016. [En línea]. Available:
46 http://www.mintic.gov.co/portal/604/articles-15972_recurso_2.pdf.
]
- [E. García y F. Flego, «Universidad de Palermo,» *Revista Ciencia y Tecnología N° 8*
47 *Universidad de Palermo*, 2015.
]
- [Greenenergy Latin America, «Greenenergy Latin America,» Mayo 29 2015. [En línea].
48 Available: <http://www.greenenergy-latinamerica.com/es/energia-solar-solar-fotovoltaica->
] 197.

[M. Márques, Bases de datos, Universitat Jaume I. Servei de Comunicació i Publicacions,
49 2009.

]

[M. V. Nevado, Introducción a las bases de datos relacionales, Vision Librios, 2010.
50

]

[C. Parada y I. Rivero, «Universidad Católica Andrés Bello,» 1 Agosto 2011. [En línea].
51 Available: <http://biblioteca2.ucab.edu.ve/anexos/biblioteca/marc/texto/AAS2750.pdf>.

]

[W. Chebbi, M. Benjemaa y A. Kamoun, «Development of a WSN Integrated Weather
52 Station,» *IEEE*, p. 6, 2011.

]

[Shusen Yang, X. Y. y Julie A. McCann, «Distributed networking in autonomic solar
53 powered wireless sensor networks,» *IEEE*, p. 12, 2014.

]

[M. P, M. Herrera y O. Cruz, Manual de Agrometeorologia, 1980.

54

]

[Twenergy, «Twenergy,» 5 Marzo 2013. [En línea]. Available:
55 <https://twenergy.com/a/como-funciona-la-energia-solar-fotovoltaica-339>.
]

[E. García. [En línea]. Available:
56 <http://www.palermo.edu/ingenieria/downloads/pdfwebc&T8/8CyT12.pdf>.
]

[C. Scientific, «Campbell Scientific,» Campbell Scientific, 21 Mayo 2011. [En línea].
57 Available: https://s.campbellsci.com/documents/es/product-brochures/b_weatherstation.pdf.
] [Último acceso: 11 Mayo 2005].

[Universidad tecnológica de pereira, «Universidad tecnológica de pereira,» Universidad
58 tecnológica de pereira, 12 Septiembre 2010. [En línea]. Available:
] <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/2369/62131244A681.pdf?sequence=1>. [Último acceso: 11 Noviembre 2016].

[<http://elies.rediris.es/>, «<http://elies.rediris.es/>,» <http://elies.rediris.es/>, 13 Abril 2011. [En
59 línea]. Available: <http://elies.rediris.es/elies9/4-2.htm>. [Último acceso: 25 Septiembre
] 2016].

[Silberschatz, Silberschatz: Fundamentos de bases de datos.
60
]

[A. Silberschatz, H. F. Korth y S. S. , Fundamentos de bases de datos, Bombay: Mc Graw
61 Hill, 2002.

]

[Universidad de Málaga, «Universidad de Málaga,» Universidad de Málaga, [En línea].
62 Available: <http://www.lcc.uma.es/~>.

]

[DIGI, «DIGI,» DIGI, 11 Abril 2014. [En línea]. Available:
63 <https://www.digi.com/resources/standards-and-technologies/rfmodems/zigbee-wireless->
] standard. [Último acceso: 17 Enero 2016].

[IEEE, «IEEE,» IEEE, 30 Abril 2013. [En línea]. Available: <http://www.wi-fi.org/>.
64 [Último acceso: 17 Enero 2017].

]

[Universidad de Sevilla, «Universidad de Sevilla,» Universidad de Sevilla, 18 Octubre
65 2015. [En línea]. Available:
] <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/11141/fichero/PFC%252F4+Red+GSM.pdf>. [Último
acceso: 18 Enero 2017].

[PROMETEC, «PROMETEC,» PROMETEC, 12 Abril 2014. [En línea]. Available:
66 <http://www.prometec.net/gprs-llamar-enviar-sms/>.

]

[L. M. Meza y J. D. M. Díaz, SIMULACIÓN IMPLEMENTACIÓN Y
67 CARACTERIZACIÓN DE ENLACES WIFI PARA LARGAS DISTANCIAS EN
] ENTORNOS RURALES., Bucaramanga, 2010.

[M. M. y M. B. P. , The GSM system for mobiel communications, 2013.

68

]