



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA EN SISTEMAS ELECTRÓNICA E
INDUSTRIAL
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y
COMUNICACIONES

TEMA:

“SISTEMA DE COMUNICACIÓN PARA EL MONITOREO Y GENERACIÓN DE ALERTAS
PREVENTIVAS EN EL RELLENO SANITARIO DE LA EMPRESA EPM-GIDSA UBICADO
EN LA CIUDAD DE AMBATO”

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

SUBLÍNEA DE INVESTIGACIÓN: Comunicaciones Inalámbricas

AUTOR: Gonzalo Guillermo Velasco Arcos

TUTOR: Ing. Santiago Manzano, Mg.

Ambato - Ecuador

Marzo 2017



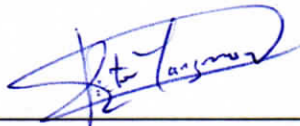
APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de Tutor del Trabajo de Investigación sobre el Tema:

“SISTEMA DE COMUNICACIÓN PARA EL MONITOREO Y GENERACIÓN DE ALERTAS PREVENTIVAS EN EL RELLENO SANITARIO DE LA EMPRESA EPM-GIDSA UBICADO EN LA CIUDAD DE AMBATO”, del señor Gonzalo Guillermo Velasco Arcos, estudiante de la Carrera de Ingeniería en Electrónica y Comunicaciones, de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial de la Universidad Técnica de Ambato, considero que el informe investigativo reúne los requisitos suficientes para que continúe con los trámites y consiguiente aprobación de conformidad con el numeral 7.2 de los Lineamientos Generales para la aplicación de Instructivos de las Modalidades de Titulación de las Facultades de la Universidad Técnica de Ambato.

Ambato marzo, 2017

EL TUTOR



Ing. Víctor Santiago Manzano Villafuerte, Mg.



AUTORÍA

El presente Proyecto de Investigación titulado: SISTEMA DE COMUNICACIÓN PARA EL MONITOREO Y GENERACIÓN DE ALERTAS PREVENTIVAS EN EL RELLENO SANITARIO DE LA EMPRESA EPM-GIDSA UBICADO EN LA CIUDAD DE AMBATO, es absolutamente original, auténtico y personal, en tal virtud, el contenido, efectos legales y académicos que se desprenden del mismo son de exclusiva responsabilidad del autor.

Ambato marzo, 2017



Gonzalo Guillermo Velasco Arcos

C.C.: 1804032538



DERECHOS DE AUTOR

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

Cedo los derechos de mi Trabajo de Titulación, con fines de difusión pública, además autorizo su reproducción dentro de las regulaciones de la Universidad.

Ambato marzo, 2017



Gonzalo Guillermo Velasco Arcos

C.C.: 1804032538




APROBACIÓN DE LA COMISIÓN CALIFICADORA


La Comisión Calificadora del presente trabajo conformada por los señores docentes Ing. Geovanni Danilo Brito Moncayo, Mg. e Ing. Carlos Diego Gordón Gallegos Ph.D., revisó y aprobó el Informe Final del Proyecto de Investigación titulado "SISTEMA DE COMUNICACIÓN PARA EL MONITOREO Y GENERACIÓN DE ALERTAS PREVENTIVAS EN EL RELLENO SANITARIO DE LA EMPRESA EPM-GIDSA UBICADO EN LA CIUDAD DE AMBATO", presentado por el señor Gonzalo Guillermo Velasco Arcos de acuerdo al numeral 9.1 de los Lineamientos Generales para la aplicación de Instructivos de las Modalidades de Titulación de las Facultades de la Universidad Técnica de Ambato.



Ing. Elsa Pilar Urrutia Urrutia, Mg.
PRESIDENTA DEL TRIBUNAL



Ing. Geovanni Brito, Mg.
DOCENTE CALIFICADOR



Ing. Carlos Gordón G., Ph.D.
DOCENTE CALIFICADOR

DEDICATORIA

A mis amados padres Gonzalo Velasco y Silvia Arcos por su apoyo incondicional, sus consejos constantes, por ser los pilares fundamentales de mi vida y ayudarme a culminar la carrera con los principios y valores que me han inculcado para ser una mejor persona.

A mi querida y amada esposa Lissette Falcón por ser el complemento perfecto y llenar de alegrías cada día que compartimos juntos.

A mi bendición más grande, mi hija Keyla que es la luz de mis ojos, un motivo más por el cual luchar y levantarme cada día.

A mi familia que día tras día han estado siempre pendiente y apoyándome en todos mis pasos por falsos que hayan estado.

A mis compañeros y amigos que semestre a semestre hemos superado cada obstáculo y poniendo como reto la culminación de esta grandiosa etapa.

Gonzalo Guillermo Velasco Arcos

AGRADECIMIENTO

A Dios por guiar mis pasos, ser la luz de los momentos difíciles y ser mi protección en todo lugar.

A mis padres por estar siempre pendiente y apoyándome con cada cosa.

A mi linda esposa Lis por su apoyo, motivación y darme ánimos en todo momento.

A mi princesita Keyla por sacarme una sonrisa con sus divertidas ocurrencias.

A mis amigos Franklin, Cristina, Sabrina, Kevin, Fernanda, Braulio por guiarme con el proyecto en su debido momento y ayudar que mi meta se haga realidad.

A mi tutor el Ing. Santiago Manzano por su apoyo, paciencia y el tiempo que me ha brindado para el desarrollo del proyecto.

A la empresa EPM-GSDA por abrirme las puertas para desarrollar el proyecto.

Gonzalo Guillermo Velasco Arcos

ÍNDICE

APROBACIÓN DEL TUTOR	ii
AUTORÍA	iii
DERECHOS DE AUTOR	iv
APROBACIÓN DE LA COMISIÓN CALIFICADORA	v
DEDICATORIA	vi
AGRADECIMIENTO	vii
ÍNDICE	viii
Resumen.....	xiv
Abstract.....	xv
Introducción	xvi
CAPÍTULO I El Problema	1
1.1. Tema	1
1.2. Planteamiento del Problema	1
1.3. Delimitación	3
1.4. Justificación	3
1.5. Objetivos.....	4
1.5.1. General:	4
1.5.2. Específicos:.....	4
CAPÍTULO II Marco Teórico	5
2.1. Antecedentes Investigativos	5
2.2. Fundamentación Teórica	8
2.2.1. Relleno Sanitario	8
2.2.2. Tipos de Rellenos Sanitarios	8

2.2.3.	Generación de líquidos y gases de un relleno sanitario.....	8
2.2.4.	Sistema de Comunicación Electrónica	9
2.2.5.	Sistemas de Comunicaciones en Rellenos Sanitarios.....	10
2.2.6.	Sistema Electrónico	11
2.2.7.	Dispositivos de Entrada	12
2.2.8.	Dispositivos de Proceso.....	16
2.2.9.	Dispositivos de Salida	16
2.3.	Memoria MicroSD.....	17
2.4.	Servidor LAMP	18
2.5.	WordPress.....	18
2.6.	Propuesta De Solución.....	19
CAPITULO III Metodología		20
3.1.	Modalidad de la Investigación.....	20
3.2.	Población y Muestra	20
3.3.	Recolección de Información	20
3.4.	Procesamiento y Análisis de Datos	21
3.5.	Desarrollo del Proyecto	21
CAPITULO IV Desarrollo de la Propuesta		22
4.1.	Situación Actual de la Empresa.....	22
4.2.	Requerimientos Técnicos	27
4.2.1.	Diagrama General de la Red de Monitoreo	29
4.2.2.	Análisis Técnico del Hardware Requerido	30
4.2.3.	Análisis del Software.....	35
4.3.	Adquisición de Señales.....	36
4.3.1.	Señales de Gas Metano.....	36

4.3.2.	Señales de Temperatura y Humedad	37
4.4.	Procesamiento y Transmisión.....	38
4.5.	Análisis del hardware y software para la generación de alertas	39
4.6.	Presentación de señales	42
4.7.	Importación de los datos a la Base	42
4.8.	Visualización en WordPress	44
4.8.1.	Reporte.....	45
4.8.2.	Nodo 1 y Nodo 2	46
4.9.	Diseño Electrónico del Prototipo.....	46
4.9.1.	Circuito Esquemático de los Nodos.....	46
4.9.2.	Circuito Esquemático del Dispositivo Receptor.....	47
4.9.3.	Dispositivos Finales.....	50
4.9.4.	Modificación de Hardware	50
4.10.	Pruebas de Funcionamiento	51
4.11.	Capacidad de Almacenamiento	55
4.12.	Consumo de Energía.....	55
4.13.	Presupuesto del Prototipo	56
4.14.	Presupuesto Total del Sistema.....	58
4.15.	Análisis de resultados	60
CAPITULO V Conclusiones y Recomendaciones		65
5.1.	Conclusiones.....	65
5.2.	Recomendaciones	66
BIBLIOGRAFÍA		67

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Tipos de Sensores más Utilizados	15
Tabla 2. Cantidad de Residuos Comunes Anual.....	25
Tabla 3. Comparación Técnica de los Controladores Centrales.....	30
Tabla 4. Características del Sensor de Temperatura y Humedad	31
Tabla 5. Características del Sensor de Gas Metano.....	32
Tabla 6. Comparación Técnica de Dispositivos de Comunicación	34
Tabla 7. Comparación Tecnologías Inalámbricas.....	40
Tabla 8. Presupuesto del Prototipo	57
Tabla 9. Presupuesto del Sistema	59

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Esquema de un Sistema de Comunicación Electrónica.....	10
Figura 2. Diagrama de Bloques de un Sistema Electrónico [15].....	11
Figura 3. Sensores según el principio físico de funcionamiento [16].....	13
Figura 4. Señales que generan los sensores. [16]	13
Figura 5. Sensores según la variable física medida	14
Figura 6. Edificio Administrativo EPM-GIDSA	22
Figura 7. Entrada y Báscula - Relleno Sanitario.....	23
Figura 8. Interior del Relleno Sanitario	24
Figura 9. Levantamiento Topográfico - Relleno Sanitario	26
Figura 10. Diagrama de Bloques	27
Figura 11. Adquisición de Información	28
Figura 12. Diagrama General Red de Monitoreo	29
Figura 13. Modulo Adaptador MicroSD.....	35
Figura 14. Circuito Interno del Sensor de Gas Metano [23].....	36
Figura 15. Curva Característica de Sensibilidad del Metano [23].....	37
Figura 16. Dependencia de Metano con respecto a la Temperatura y Humedad [23]....	37
Figura 17. Diagrama de Conexión DHT22.....	37
Figura 18. Diagrama de Flujo de la Configuración de Transmisión de Datos	39
Figura 19. Shield GSM Arduino.....	41
Figura 20. Diagrama de Flujo de la Configuración del Controlador Central	41
Figura 21. Importación desde MicroSD	43
Figura 22. Datos Importados en la Base	44
Figura 23. Página Principal WordPress	45
Figura 24. Resultados de los Sensores en PDF.....	45
Figura 25. Gráficos de Resultados de las Variables de los dos Nodos.....	46
Figura 26. Circuito Esquemático de los Nodos	47
Figura 27. Circuito Esquemático del Receptor	48
Figura 28. Dispositivo Receptor	48
Figura 29. Protección de Dispositivos	49

Figura 30. Dispositivos para el Monitoreo y Generación de Alertas Preventivas	50
Figura 31. Modificación Hardware Modulo MicroSD	51
Figura 32. Cargador Solar	52
Figura 33. Instalación Dispositivos en el Relleno Sanitario	52
Figura 34. Prueba de Conexión de los Nodos con el Receptor.....	53
Figura 35. Almacenamiento de Datos en MicroSD	54
Figura 36. Datos del Nodo 1	61
Figura 37. Datos del Nodo 2.....	62

Resumen

En el presente proyecto de titulación se lleva a cabo el diseño e implementación de un sistema de monitoreo para el relleno sanitario de la empresa EPM-GIDSA de la ciudad de Ambato. Teniendo como principal objetivo el monitoreo del gas metano y generando alertas preventivas para evitar algún tipo de emergencia dentro de los predios de la empresa. El sistema utiliza dispositivos de comunicación a través de radiofrecuencia y sensores para la medición de variables como la temperatura y humedad que son almacenados en una tarjeta MicroSD para su posterior importación a una base de datos.

Por lo cual se ha realizado la implementación del sistema con dispositivos de fuente abierta que permitan la modificación y manipulación del hardware necesario para la adquisición de los datos de interés con el objetivo de crear un sistema autónomo permitiendo establecer comunicación entre los dispositivos de cada nodo y el controlador central.

Los dispositivos electrónicos del sistema tienen características adaptables y modificables para cualquier eventualidad que se presente, así como también sus códigos de programación favoreciendo al intercambio de información entre nodo y controlador central para la adquisición y almacenamiento de datos respectivamente. Los cuáles son guardados en una base de datos alojada en un computador que proporciona al operario un historial organizado de las variables medidas y a su vez la interpretación de resultados mediante gráficos estadísticos.

Abstract

In the present project the design and implementation of a monitoring system for the sanitary landfill of the company EPM-GIDSA of the city of Ambato is carried out. Its main objective is the monitoring of methane gas and generating preventive alerts to avoid some type of emergency within the company's premises. The system uses communication devices through radiofrequency and sensors for the measurement of variables such as temperature and humidity that will be stored on a MicroSD card for later import into a database.

Therefore, the system has been implemented with open source devices that allow the modification and manipulation of the necessary hardware for the acquisition of the data of interest with the objective of creating an autonomous system allowing to establish communication between the devices of each node and the central controller.

The electronic devices of the system have adaptable and modifiable characteristics for any eventuality that is presented, as well as their programming codes favoring the exchange of information between node and central controller for the acquisition and storage of data respectively. Which will be stored in a database housed in a computer that provides the operator with an organized history of the measured variables and in turn the interpretation of results using statistical graphs.

Introducción

La alta demanda por los sistemas de monitoreo tienen un único propósito, tomar acciones preventivas de acuerdo a los datos proporcionados por estos, se desarrolló en el presente proyecto de investigación un sistema electrónico con la finalidad de monitorear los niveles de gas dentro del relleno sanitario, que permita el almacenamiento de los datos y posterior visualización.

El proyecto se encuentra estructurado de tal manera que, en el Capítulo I se describe la problemática generada por los niveles desconocidos de metano que genera el relleno y la falta de monitoreo, el cual según organismos internacionales y nacionales dichos niveles pueden afectar en gran medida a la contaminación del medio ambiente.

En el capítulo II, se detalla un análisis previo acerca de trabajos investigativos relacionados con el monitoreo de gas metano a través de sistemas de control industriales o dispositivos electrónicos, en el ámbito empresarial como en el ámbito educativo. Además de la fundamentación que sustenta teóricamente el proyecto de titulación presente, finalizando en la propuesta que da como solución a la problemática presentada en el Capítulo I.

En el apartado del Capítulo III se compone por la información metodológica utilizada para desarrollar el presente proyecto de investigación en su totalidad.

En el Capítulo IV se desarrolla de forma más específica la elaboración del sistema de monitoreo, teniendo en cuenta los requerimientos técnicos y la comparación técnica de dispositivos que cumpla con los objetivos planteados inicialmente.

Finalmente en el Capítulo V se redacta las conclusiones y recomendaciones obtenidas del presente proyecto de investigación, para posterior ayuda de proyectos futuros.

CAPÍTULO I

El Problema

1.1. Tema

Sistema de comunicación para el monitoreo y generación de alertas preventivas en el relleno sanitario de la empresa EPM-GIDSA ubicado en la ciudad de Ambato.

1.2. Planteamiento del Problema

El planeta enfrenta grandes desafíos con respecto al calentamiento global; debido a la emisión de gases de efecto invernadero (GEI), los cuales se han incrementado en los últimos años. Gran parte del calentamiento global se lo liga a las emisiones de Dióxido de Carbono (CO₂) provenientes de combustibles fósiles con un 76% de afectación a nivel mundial. El metano es el gas más abundante después del CO₂ que representa el 16% de las emisiones globales. Su duración es relativamente corta con aproximadamente 12 años. Si bien este gas no dura mucho tiempo en la atmósfera sin embargo es 28 a 34 veces más perjudicial que el CO₂ [1] [2].

El metano se emite durante la producción de carbón, gas natural y petróleo. Las emisiones también son el resultado de la descomposición en los rellenos sanitarios municipales producidos mediante condiciones anaeróbicas que típicamente se encuentran en los vertederos y los grandes sitios de desechos. [2]

En el país, desde el año 2002 hasta el año 2010 de un total de 221 municipios, 160 disponían sus desechos a cielo abierto perjudicando y contaminando los recursos: suelo, agua y aire.

Las acciones de control y seguimiento emprendidas por el Ministerio del Ambiente se han basado en los artículos 46 y 125 del Libro VI referente a “Calidad Ambiental, estipulados en el Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente (TULSMA)”, y las acciones actuales, en las políticas ambientales nacionales que el Ministerio del Ambiente emitió mediante Acuerdo Ministerial N° 86, del 11 de noviembre del 2009 relacionadas con el manejo de desechos; determinando que la población tiene derechos para vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado que garantice la sostenibilidad del buen vivir. [3]

El Ministerio del Ambiente del Ecuador en el 2010 propuso un Programa Nacional para la Gestión Integral de Desechos Sólidos (PNGIDS), la principal meta es reducir y aprovechar los residuos en cada etapa con el fin de mitigar los impactos del cambio climático para reducir la vulnerabilidad conjuntamente con la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero en los sectores productivos y sociales. [3]

En Tungurahua, en la ciudad de Ambato, el relleno sanitario presta servicios de calidad en la gestión integral de desechos sólidos que contribuyen a mantener la salud, bienestar de los habitantes y la protección del medio ambiente; sin embargo, no es la excepción los parámetros de gas generados por el relleno son desconocidos, ya que no cuentan con alguna línea base de indicadores, o algún tipo de sistema que pueda facilitar el acceso a verificar los mismos. Debido a las variables desconocidas de la empresa EPM-GIDSA no se sabe el grado de contaminación que toda la basura pueda generar, ya que se debe apreciar de forma empírica todos los datos como pueden ser: niveles de los gases existentes, humedad del terreno, temperatura ambiente, relevantes a la hora de la generación de gases de efecto invernadero. [4]

1.3. Delimitación

Área académica: Comunicaciones

Línea de investigación: Tecnologías de Comunicación

Sublínea de investigación: Comunicaciones Inalámbricas

Espacio: El presente proyecto se desarrolló en los laboratorios de la Facultad De Ingeniería En Sistemas, Electrónica e Industrial y en los predios del relleno sanitario de la empresa EPM-GIDSA.

Tiempo: El presente proyecto de investigación se desarrolló en el periodo Octubre 2016 – Marzo 2017 cumpliendo con lo establecido en el reglamento de graduación para obtener el título terminal de tercer nivel en la Universidad Técnica de Ambato.

1.4. Justificación

Los sistemas de monitoreo en los rellenos sanitarios son de gran importancia y útiles; debido a que ayudan para estar bien informado de las variables a vigilar, con el fin de evitar peligros en cualquier zona de riesgo permanente. A nivel mundial se busca mitigar las consecuencias que traen los gases de efecto invernadero con proyectos para el medio ambiente, brindando al organismo interesado maneras de realizar planes autosustentables y amigables, utilizando sistemas electrónicos que permiten obtener datos verídicos y así tomar acciones que ayuden a mitigar los impactos al cambio climático.

Debido a las grandes afectaciones que conlleva el calentamiento global mediante los gases de efecto invernadero (GEI) que se generan mayormente en los rellenos sanitarios es indispensable estar alerta mediante un sistema que permita obtener datos reales de la emanación de los gases y poder generar alertas ante un posible riesgo.

Siendo los principales beneficiarios, los ciudadanos en general, ya que conlleva evitar riesgos de contaminación ambiental, empleados de la empresa que trabajan en el área donde se llevó a cabo el proyecto para así estar en continuo cumplimiento de las normas regidas por instituciones gubernamentales internacionales.

Este proyecto genera un gran interés por parte de la empresa EPM-GIDSA, no solo de forma operacional sino también en la parte administrativa, ya que el sistema aporta con datos verídicos para la generación de informes de las distintas variables involucradas en el proceso de monitoreo, ayudando a una pronta respuesta en casos de emergencia, así también en la parte de comunicación, es decir, generando alertas en caso de anomalías de los datos sensados de gas dentro del relleno.

1.5. Objetivos

1.5.1. General:

Implementar un sistema de comunicación para el monitoreo y generación de alertas preventivas en el relleno sanitario de la empresa EPM-GIDSA

1.5.2. Específicos:

- Analizar técnicas o métodos para la generación de gases originados en el relleno sanitario.
- Determinar características de hardware y software en los sistemas electrónicos de comunicaciones de los rellenos sanitarios.
- Realizar un prototipo para el monitoreo y generación de alertas preventivas de las variables significativas en rellenos sanitarios.

CAPÍTULO II

Marco Teórico

2.1. Antecedentes Investigativos

En base a la investigación realizada, se han determinado trabajos de investigación a nivel nacional e internacional, referentes al tema a desarrollarse, los cuales se describen en un breve resumen a continuación:

En Uruguay las plantas operadas por la empresa Aborgama cuentan con un sistema de análisis de gases y monitoreo, cabezales de pozo que captan la cantidad de caudal, presión, temperatura del relleno, así como también monitorean gases contaminantes tales como CO₂ y metano. Cuentan a su vez con un equipo portátil de monitoreo de gases, utilizado en los pozos de captación de biogás. En total poseen 93 pozos de captación de biogás, cada uno de ellos tienen compresores con el fin de hacer una red de tuberías de aire comprimido que conduce al biogás, cuentan con bombas neumáticas de lixiviados en el fondo de los pozos que se encargan de llevarlos hacia la planta de tratamiento; la red de biogás llega hacia un colector succionados por unos ventiladores que los llevan a la antorcha final donde se monitorea los gases quemados, dichos datos se monitorean en tiempo real y se transmiten vía internet a través de PLC's y un sistema Scada, los pozos contribuyen a mitigar los efectos nocivos del biogás, con la quema del metano contenido se generan créditos de carbono, los cuales son comercializados en el marco del Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL) del protocolo de Kioto [5].

En el documento publicado por los ingenieros Wagner Colmenares y Karin Santos sugieren que la metodología de monitoreo está basado en la medida directa de la cantidad de gas de relleno capturado y destruido por la plataforma de quemado. El plan de

monitoreo debe proveer de medidas continuas de la cantidad y calidad del gas del relleno (LFG) quemado. Las principales variables que necesitan ser monitoreadas son la cantidad de residuos que se reciben en el relleno sanitario y la cantidad de metano quemado, los residuos recibidos son monitoreados directamente en una balanza, la cantidad de gas se mide utilizando un flujometro, y a su vez midiendo temperatura y presión, utilizando un analizador continuo se determina el porcentaje de gas del relleno (metano), por último se emplea un cronómetro para determinar las horas de quemado [6].

En Europa, la innovadora empresa MURCO explica que concentración de gas se debe detectar tras el monitoreo y cuáles son los tipos de sensores a utilizarse. Los sensores más utilizados para la detección de gas como el amoníaco son electroquímico, semiconductor catalítico, para el dióxido de carbono son infrarrojos, en lo que consiste a halocarburos lo preferible es un sensor semiconductor, los hidrocarburos como metano, propano, butano se pueden detectar valiéndose de sensores catalíticos y semiconductores [7].

En México, el Protocolo de Reporte de Proyectos en Rellenos Sanitarios establece la fracción de metano del gas de relleno sanitario medida con un analizador continuo o, en su defecto, con mediciones diarias o semanales utilizando un analizador de gas portátil calibrado y el índice de flujo del gas de relleno sanitario hacia cada dispositivo de destrucción, medido y registrado de manera continua (cada 15 minutos) o de manera acumulada y registrada al menos diariamente, ajustada por temperatura y presión. A menudo, el instrumento de medición directa utiliza también un grabador de datos para almacenar y documentar los datos sobre el flujo del gas de relleno sanitario y la concentración de metano, y puede ser configurado para proveer la cantidad de metano (por volumen) recolectado del relleno sanitario en forma periódica, según las especificaciones del operador. El analizador continuo de metano debería ser la opción preferida para monitorear las concentraciones de metano, ya que el contenido de metano del gas de relleno sanitario captado puede variar en más del 20% en el mismo día debido a las condiciones de la red de captura de gas (dilución con el aire de las bocas de los pozos, fugas en las tuberías, etc.) [8].

En el artículo académico publicado en la IEEE de los estudiantes de la Universidad de Ciencias Electrónicas y Tecnológicas de China en cooperación con el Centro Chino de Aplicaciones y Datos Satelitales dan a conocer un método para el monitoreo de metano en los arrozales de la llanura de Chengdu a través de un radar dispersómetro con tetra polarización para la adquisición de datos el cual dio a conocer que la emisión de metano por hectárea es de aproximadamente 418,88 Kg sabiendo que las muestras se mantienen en un nivel bajo no perjudicial durante la temporada de cultivo de arroz. Los resultados muestran que las imágenes multitemporales del satélite RADARSAT-2 se pueden utilizar para controlar la emisión de metano a través de dos modelos empíricos que vienen desarrollando. [9]

El método de calibración y visualización de un sistema inteligente de detección de metano publicado por el estudiante Zhang Xuhui determina que la manera más eficaz de realizar un sistema así recae principalmente en la forma de calibración automática que tiene y la exactitud de la misma evitando el factor humano en cada testeo. El núcleo del sistema es ATmega48V de la compañía de microcontroladores ATMEL, también incluye un elemento catalítico sensible al gas caliente, circuito regulador, circuito de alarma, una interfaz de comunicación RS232 y la unidad de administración de energía. El principio de funcionamiento del sistema es simple, se inicia cuando se enciende, el controlador central lee los valores almacenados en la memoria EEPROM para establecer curvas de sensibilidad, después la tensión obtenida por el sensor se la amplifica y por medio de un puente de Wheastone llega al controlador central para convertir el voltaje en un valor digital de 10 bits utilizando un conversor análogo digital (CAD), finalmente el valor de muestra se compara con un valor preestablecido en el valor de alarma, si el primero es mayor indica que la concentración de metano supera el nivel establecido y se deben tomar acciones pertinentes como un sonido de alarma o a su vez un luz intermitente de alarma que alerte del problema, instrucciones que deben ser controladas por el controlador central [10].

2.2. Fundamentación Teórica

2.2.1. Relleno Sanitario

Es una técnica de disposición final de los residuos sólidos que no perjudica al ambiente durante su operación ni después del cierre. Utiliza principios de ingeniería para confinar la basura en un área lo más estrecha posible, cubriendo diariamente con capas de tierra y compactando para la reducción de su volumen. [11]

2.2.2. Tipos de Rellenos Sanitarios

Existen tres tipos de relleno sanitario en relación con la disposición final de residuos sólidos municipales: [11]

a) Relleno Sanitario Mecanizado

Diseñado para grandes ciudades que generan más de 40 toneladas diarias generalmente con poblaciones mayores a 40000 habitantes. Está relacionado con la cantidad y el tipo de residuos, la planificación, la selección del sitio, diseño y la ejecución del relleno.

b) Relleno Sanitario Semimecanizado

Cuando la población genere o tenga que disponer entre 16 y 40 toneladas diarias de desecho, es conveniente usar maquinaria, a fin de hacer una buena compactación de la basura estabilizar los terraplenes y dar mayor vida útil al relleno.

c) Relleno Sanitario Manual

Adaptada para las pequeñas poblaciones que generen menos de 15 toneladas diarias, además de sus condiciones económicas, no están en capacidad de adquirir el equipo pesado debido a los altos costos de operación y mantenimiento.

2.2.3. Generación de líquidos y gases de un relleno sanitario

Casi todos los residuos sólidos sufren cierto grado de descomposición, pero es la fracción orgánica la que presenta los mayores cambios. Los subproductos de la descomposición están integrados por líquidos, gases y sólidos. [11]

a) Líquido lixiviado o percolado

La descomposición o putrefacción natural de la basura produce un líquido maloliente de color negro, parecido a las aguas residuales, pero mucho más concentrado.

b) Gases

No solo se producen líquidos sino también gases y otros compuestos. La descomposición de la materia orgánica por acción de los microorganismos presentes en el medio tiene dos etapas: aerobia y anaerobia.

Aerobia: Es aquella fase en el cual el oxígeno que está presente en el aire contenido en los intersticios de la masa de residuos enterrados es consumido rápidamente.

Anaerobia: Es la que predomina en el relleno sanitario porque no pasa el aire y no existe circulación de oxígeno, de ahí que se produzcan cantidades apreciables de metano (CH_4), y dióxido de carbono (CO_2), así como gases de olor penetrante, como el ácido sulfhídrico (H_2S), amoníaco (NH_3) y mercaptanos.

El gas metano reviste el mayor interés porque, a pesar de ser inodoro e incoloro, es inflamable y explosivo si se concentra en el aire en una proporción de 5 a 15% en volumen; los gases tienden a acumularse en los espacios vacíos dentro del relleno y aprovechan cualquier fisura del terreno o permeabilidad de la cubierta para salir. Cuando el gas metano se acumula en el interior del relleno y migra a las áreas vecinas, pueden generar riesgos de explosión. [11]

2.2.4. Sistema de Comunicación Electrónica

El principal objetivo de un sistema de comunicación electrónica, es la transferencia de información de un lugar hacia otro, se puede indicar también que las comunicaciones electrónicas son la transmisión, recepción y procesamiento de información entre dos o más lugares, mediante circuitos electrónicos. La fuente original de información puede estar en forma analógica, o en forma digital. Sin embargo, todas las fuentes de información se deben convertir a energía electromagnética antes de ser propagadas a través de un sistema de comunicación electrónica como se describe en la Figura 1. [12]

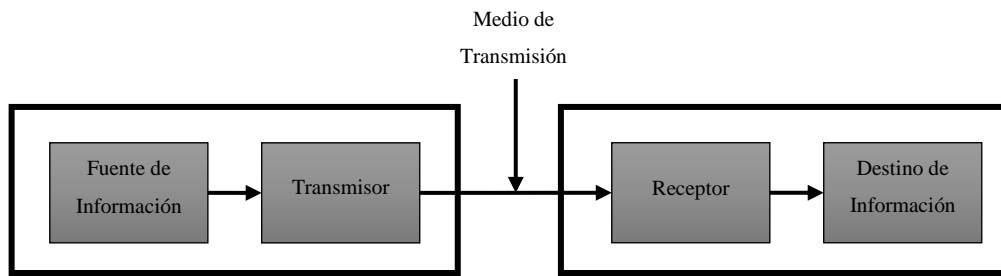


Figura 1. Esquema de un Sistema de Comunicación Electrónica

Elaborado por: Investigador

2.2.5. Sistemas de Comunicaciones en Rellenos Sanitarios

Para que un proyecto de mitigación adquiera valor en el mercado internacional debe ser sometido a un proceso de monitoreo diseñado especialmente para su medición y auditoría. Una vez que el proyecto es operacional, los participantes deben preparar un reporte de monitoreo, incluyendo un estimado de CERs generados y someterlo a consideración de una DOE para su verificación. [13]

La metodología de monitoreo está basada en la medida directa de la cantidad de gas de relleno capturado y destruido por la plataforma de quemado. El plan de monitoreo debe proveer de medidas continuas de la cantidad y calidad de LFG quemado. Las principales variables que necesitan ser monitoreadas son la cantidad de residuos que se reciben en el relleno sanitario y la cantidad de metano quemado. Estas variables se monitorean como sigue: [6]

Residuos recibidos: La cantidad de residuos recibidos en el relleno sanitario es monitoreado directamente empleando una balanza de pesaje.

Metano colectado y quemado: La cantidad de metano quemado será determinado por:

- La cantidad de gas de relleno colectado (m³, usando un flujómetro y midiendo la temperatura y la presión).
- Porcentaje de gas de relleno que es metano (% , usando un analizador continuo).
- Horas de quemado (horas, empleando un cronómetro).

Esta metodología de monitoreo provee medidas directas y continuas de la cantidad actual de gas de relleno quemado y de metano contenido en el gas de relleno quemado empujando un flujómetro y un analizador continuo de metano. El analizador continuo de metano es importante debido a que el contenido de metano del gas de relleno capturado varía por más del 20% durante un día debido a las condiciones de la red de trabajo de captura. La metodología de monitoreo es usado mayormente en rellenos sanitarios con gas para una planta de energía donde es necesario tener un control estricto del combustible para la planta de energía. [6]

En rellenos grandes y muy grandes, además en todos los rellenos sanitarios donde se aprovecha la energía del gas de relleno, es muy importante controlar la composición del gas de relleno, con el fin de evitar explosiones.

Se debe interrumpir la succión e incineración del gas de relleno si supera el contenido de oxígeno el 6 % y baja el contenido de metano a menos del 25 %. [14]

2.2.6. Sistema Electrónico

Sabiendo que el objetivo de un sistema de comunicación electrónica es el paso de información desde la fuente hacia su destino. Dichos sistemas cuentan con tres bloques funcionales que son: bloques de entrada, bloques de proceso y bloques de salida.

- Bloque de Entrada es aquel a través del cual se introduce la señal, a través de un elemento accionador o a través de sensores.
- Un bloque de proceso es aquel que se ocupa de transformar la señal física en eléctrica. Este bloque decide que acción realizar.
- Un bloque de salida se encarga de recibir la señal de salida del bloque de proceso para mandar al elemento actuador que pueden estar conectados.

En la figura 2 se puede ver el diagrama de un sistema electrónico. [15]

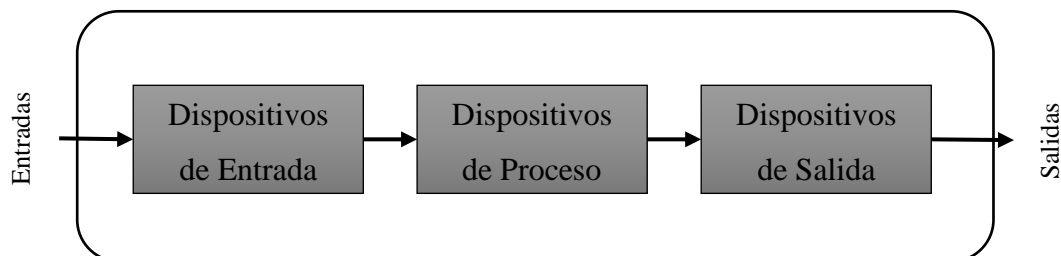


Figura 2. Diagrama de Bloques de un Sistema Electrónico [15]

2.2.7. Dispositivos de Entrada

Los dispositivos de entrada son dispositivos (sensores, interruptor, etc.) encargados de obtener la información de señales del exterior y llevarlas hacia el sistema para poder procesarlas.

Sensores

Son aquellos que tienen una característica especial la cual es imitar la capacidad de percepción de los seres humanos. Debido a esta característica podemos encontrar sensores relacionados con cada uno de los sentidos como son: tacto, oído, vista, es decir, que reaccionan al contacto, el ruido y la luz respectivamente. Los dispositivos que contienen sensores reaccionan a la información que reciben. Los sensores son dispositivos electrónicos que nos permiten interactuar con el entorno, de manera que nos suministran información de ciertas variables que nos rodean para poder procesarlas y por ende activar procesos o generar órdenes. [16]

Clasificación de los sensores

Dado el gran número de sensores que existen en el mercado, se hace necesario clasificarlos para poder entender de mejor manera su naturaleza y funcionamiento. Debido a esto existen un sinnúmero de clasificaciones.

Según el principio físico de funcionamiento, se clasifican en:

- Pasivos.- Un sensor es pasivo cuando la magnitud física a detectar proporciona la energía necesaria para la generación de la señal eléctrica, es decir, no requiere fuente externa de alimentación.
- Activos.- Un sensor es activo cuando la magnitud a detectar se limita a modificar alguno de los parámetros eléctricos característicos del elemento sensor, adicionalmente necesita de una fuente externa de energía. [16]

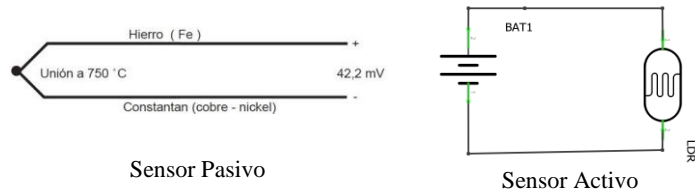


Figura 3. Sensores según el principio físico de funcionamiento [16]

Según las señales que generan, se clasifican en:

- Analógicos.- Son los sensores cuya información proporcionada es mediante una señal analógica, es decir, que puede tomar infinidad de valores entre mínimos y máximos.
- Digitales.- Los sensores digitales proporcionan la información mediante una señal digital que puede ser “0” o “1” lógico, o puede ser un código de bits [16].

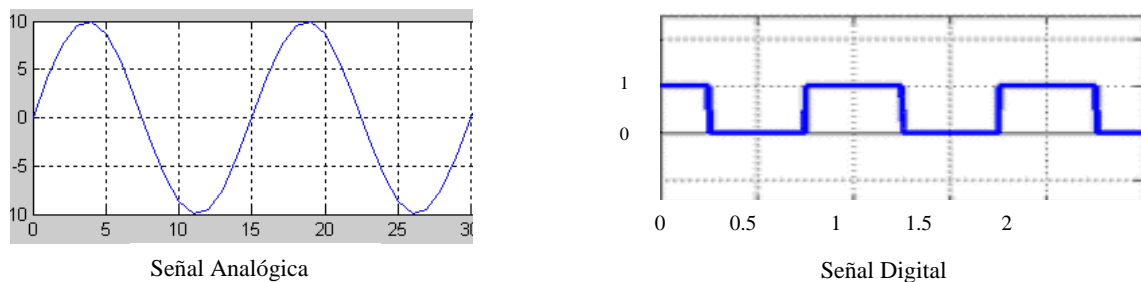


Figura 4. Señales que generan los sensores. [16]

Según el tipo de variable física medida, se clasifican en:

- Fotoeléctricos: son aquellos que experimentan variaciones en función de la luz que incide sobre los mismos.
- Magnéticos: son aquellos que experimentan variaciones en función del campo magnético que les atraviesa.
- Posición: son aquellos que experimentan variaciones en función de la posición que ocupan en cada instante de acuerdo a una referencia.
- Temperatura: son aquellos que experimentan variaciones en función de la temperatura del lugar donde están ubicados.

- Humedad: son aquellos que experimentan variaciones en función del nivel de humedad existente en el medio en que se encuentran.
- Presión: son aquellos que experimentan variaciones en función de la presión a que son sometidos.
- Movimiento: son aquellos que experimentan variaciones en función de los movimientos a los que son sometidos.
- Químicos: son aquellos que experimentan variaciones en función de los agentes químicos externos que pudieran incidir sobre ellos. [16]

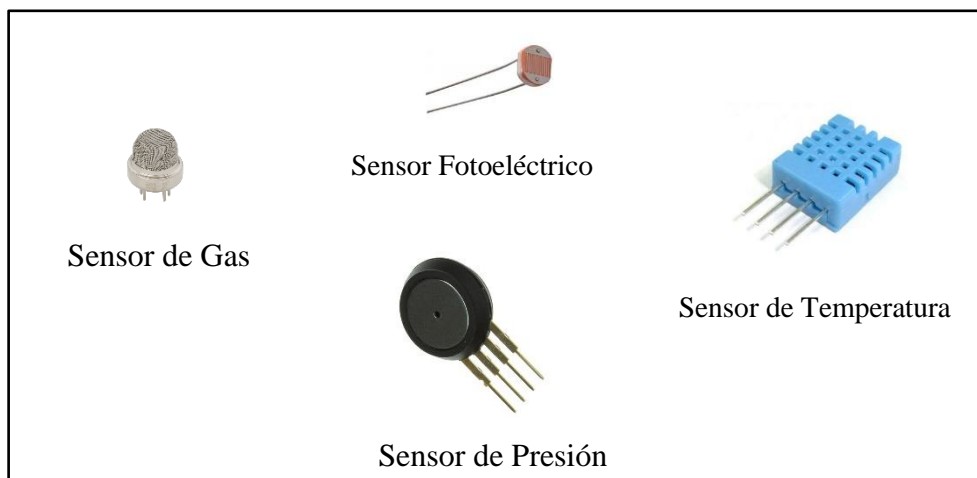


Figura 5. Sensores según la variable física medida

Elaborado por: Investigador

Características de los sensores

Debido al gran número de dispositivos que existe en el mercado, se debe elegir un sensor para la aplicación que se va a desarrollar, es necesario tener en cuenta determinados aspectos para obtener los resultados que se requieren.

- Radio de acción
- Fiabilidad
- Rapidez en la respuesta
- Consumo de corriente
- Tensiones de alimentación

- Rango de operatividad
- Situación donde van a ser utilizados
- Márgenes de temperatura
- Vulnerabilidad al ruido
- Relación precio/beneficio

A su vez es preciso conocer características técnicas sobre los sensores a utilizarse.

Error: Es la desviación de la medida proporcionada por el sensor respecto de la real. Se lo puede expresar en %.

Precisión: Es el error de medida máximo esperado

Repetitividad: Es el error esperado al repetir varias veces la misma medida.

Resolución: Es la mínima variación de la magnitud de entrada que puede apreciarse a la salida.

Sensibilidad: Es la relación entre la variación de la magnitud de salida y la variación de la magnitud de entrada.

La Tabla 1 muestra el tipo de sensores que habitualmente más se utiliza en función de la aplicación.

Tabla 1. Tipos de Sensores más Utilizados

Aplicación	Sensores
Distancia	Infrarrojos, Ultrasonido
Presión	Piezoeléctricos, Resistivos
Iluminación	Fotorresistivos (LDR), Fotoeléctricos
Temperatura	Termistores (PTC, NTC, Semiconductores)
Humedad	Resistivos, Capacitivos
Posición/Inclinación	Mecánicos, Resistivos, Acelerómetros, Magnéticos
Presencia	Magnéticos, Infrarrojos, Ultrasonido
Frío/Calor	Células termoeléctricas (Peltier)
Caudal	Piezoeléctricos, Magnetoresistivos
Químicos	Detectores de gas y humo

Elaborado por: Investigador

2.2.8. Dispositivos de Proceso

Los dispositivos de proceso son aquellos encargados de interpretar, manipular y transformar las señales provenientes de los elementos de entrada. Estos pueden ser dispositivos electrónicos de fuente abierta.

Dispositivos electrónicos de fuente abierta

Según la Asociación de Hardware de Fuentes Abiertas (OSHW) el hardware open source es aquel cuyo diseño está disponible de manera pública y accesible para que cualquier individuo pueda estudiarlo, modificarlo, distribuirlo, materializarlo o venderlo tanto el original como sus respectivas modificaciones de diseño. “El hardware de fuentes abiertas da libertad de controlar la tecnología y al mismo tiempo compartir conocimientos y estimular la comercialización por medio del intercambio abierto de diseños” [17].

2.2.9. Dispositivos de Salida

Los dispositivos de salida son aquellos encargados de convertir señales de voltaje o corriente en señales físicamente útiles. Por lo general los actuadores son dispositivos de salida.

Actuadores

Los actuadores son dispositivos mecánicos que brindan la posibilidad de transformar energía para generar el funcionamiento dentro de un sistema automatizado determinado. Estos generan una fuerza a partir de distintos elementos, como puede ser energía eléctrica, líquido o bien en estado gaseoso los cuales son su fuente de energía.

Se puede clasificar a los actuadores en diferentes clases:

- Hidráulicos
- Electrónicos
- Eléctricos

Los actuadores hidráulicos utilizan para generar fuerza un elemento líquido que puede ser aceite y es usado para todo tipo de maquinarias de gran tamaño y peso.

Este tipo de actuadores, por lo general, se caracterizan por ser utilizados en diferentes tipos de maquinarias que posean gran tamaño, siendo característica en este tipo de dispositivos la resistencia mecánica y la mayor velocidad. Es muy importante en esta clase de sistema que el líquido no tenga posibilidad de filtrarse por ningún lugar, pues podría ser altamente nocivo. Para este tipo de problemáticas que puedan surgir es recomendable que se realicen mantenimiento periódicos de las maquinarias utilizadas para evitar ciertos riesgos y peligrosidad que las mismas podrían generar si no se toman las medidas y precauciones necesarias.

Los actuadores electrónicos hacen honor a su nombre y están basados en mecanismos electrónicos para su funcionamiento. Existen actuadores electrónicos que consumen una considerable cantidad de energía, para este tipo de casos se utilizan drivers.

Los actuadores eléctricos son utilizados en diferentes aparatos mecatrónicos, como pueden ser robots.

Algunos tipos de actuadores eléctricos son:

- Leds
- DC Motor
- Electro válvula
- Nitinol
- Relé [18]

2.3. Memoria MicroSD

El significado de SD es Seguridad Digital (Secure Digital por sus siglas en inglés), esta memoria está basada en la tecnología Flash- NAND, la cual se basa en celdas de memoria de tipo no volátil, que permiten conservar la información guardada sin necesidad de alimentación eléctrica hasta por 10 años y dependiendo del tipo de chip instalado, soportan como mínimo 10,000 ciclos de escritura y borrado de datos. La familia MicroSD es la más pequeña de ellas siendo adecuada para el uso en smartphones y dispositivos electrónicos. Tienen una capacidad de hasta 32 GB con un formato de sistema de archivos FAT32.

2.4. Servidor LAMP

Se denomina LAMP (Linux, Apache, MySQL, PHP) a un grupo de software de código libre que se instala en conjunto para alojar aplicaciones web dinámicas y sitios web.

La palabra LAMP se deriva del acrónimo L. que representa al sistema operativo que se utiliza en este caso LINUX, A. el servidor APACHE con el que cuenta el software, M. por la base de datos en la que se almacena cualquier tipo de información MySQL y PHP por el contenido dinámico que se maneja.

Gracias a la ayuda de estos elementos podemos crear nuestras propias páginas web con los requerimientos que se desee y facilidad del mismo. [19]

2.5. WordPress

WordPress creada por la empresa Automattic es una plataforma con software de código abierto, un sistema de gestión de contenido CMS por sus siglas en inglés (*Content Management System*), que permite crear contenido web variado siendo la más popular y actualmente más del 25% de la red utiliza esta tecnología, empresas como *Time*, CNN o incluso *TechCrunch*.

WordPress ha sido creada en el 2005, para aquellas personas que sin tener algún conocimiento técnico en ello puedan de manera intuitiva crear blogs o incluso páginas web de manera totalmente gratuita.

Desarrollada con lenguaje PHP compatibles con entornos que ejecuten MySQL y APACHE, además de poseer distintos temas para su personalización y actualizaciones diarias para el mejor desempeño en la red.

Posee un sistema de plugins que permite insertar contenido de un sinnúmero de páginas haciendo una plataforma capaz de extender sus capacidades al máximo. [20]

2.6. Propuesta De Solución

Mediante el sistema de comunicaciones para el relleno sanitario de la empresa EPM-GIDSA de la ciudad de Ambato se pretende adquirir información de los parámetros de las distintas variables que se monitorean. Permitiendo generar alertas preventivas en caso de alguna anomalía dentro del sitio o a su vez crear informes para uso exclusivo de la empresa.

CAPITULO III

Metodología

3.1. Modalidad de la Investigación

El presente trabajo investigativo se describe en modalidad de investigación aplicada la cual se orienta a solucionar un problema o necesidad y se desarrolló mediante:

- Investigación Bibliográfica debido a que ayuda a obtener información contenida en documentos ya sean de libros, repositorios públicos y privados, publicaciones, artículos científicos, manuales y guías disponibles en internet.
- Investigación De Campo, porque constituye un proceso sistemático, riguroso y racional de recolección, tratamiento, análisis y presentación de datos, basado en una estrategia de recolección directa de la realidad de las informaciones necesarias para la investigación.
- Investigación Experimental, que permite la generación de información manejable bajo pruebas vigiladas y técnicas organizadas, necesarias para el trabajo y así encontrar una solución efectiva al tema central.

3.2. Población y Muestra

Por las características y naturaleza de la investigación no se requiere de población y muestra.

3.3. Recolección de Información

La información procesada, fue adquirida de fuentes o referencias bibliográficas obtenidas de ejemplares de investigaciones previas tanto como libros, informes, publicaciones,

artículos científicos provenientes de revistas de investigación científica hallada en internet.

3.4. Procesamiento y Análisis de Datos

La información adquirida se organizó sistemáticamente, de tal forma que favoreció con el imponderable desarrollo de la investigación planteada y a la vez consintió la comprensión de conceptos abstractos a través del análisis completo de la totalidad de la información obtenida.

3.5. Desarrollo del Proyecto

Para el desarrollo del proyecto se establece los siguientes pasos:

- Estudio de los tipos de rellenos sanitarios que existen.
- Estudio de la situación actual de la empresa EPM-GIDSA.
- Análisis de técnicas o métodos para la producción de gases.
- Análisis de sistemas electrónicos de comunicaciones en diferentes rellenos sanitarios.
- Análisis de las variables a monitorear para el presente proyecto.
- Diseño del sistema de comunicaciones para el monitoreo y alertas preventivas.
- Realización del prototipo para el relleno sanitario de la empresa EPM-GIDSA de la ciudad de Ambato.
- Realización del informe final.

CAPITULO IV

Desarrollo de la Propuesta

4.1. Situación Actual de la Empresa

La Empresa Pública Municipal para la Gestión Integral de Desechos Sólidos del Cantón Ambato (EPM-GIDSA), creada mediante Ordenanza Municipal el 16 de agosto de 2011, su misión es prestar servicios de calidad que contribuyan a mantener la salud, bienestar de los habitantes y la protección del ambiente en la gestión integral de desechos sólidos, con la participación activa de la ciudadanía y utilizando efectivamente el talento humano y los recursos.

Actualmente el edificio administrativo de la empresa está ubicada en la parroquia de Izamba en las calles César Augusto Salazar y José Cobo junto al parque recreacional, desde donde prestan varios servicios como: recolección, gestión del relleno sanitario, gestión del mantenimiento de transportes y gestión del barrido y limpieza de la ciudad.



Figura 6. Edificio Administrativo EPM-GIDSA

Elaborado por: Investigador

Como se ilustra en la Figura 7 el relleno sanitario posee una báscula industrial para determinar la cantidad de basura que ingresa al relleno, diariamente se recolecta entre 90 y 100 toneladas de basura de lunes a viernes, mientras que el fin de semana la cifra se eleva hasta un máximo de 120 toneladas.



Figura 7. Entrada y Báscula - Relleno Sanitario

Elaborado por: Investigador

El relleno sanitario cuenta con un terreno de 19230 m² aproximadamente, está dividido en cuatro áreas importantes que son: desechos comunes, industriales, cadáveres y hospitalarios; está ubicado en las afueras de la ciudad en la vía a Píllaro conocido como quebrada Chasinato.



Figura 8. Interior del Relleno Sanitario

Elaborado por: Investigador

En los últimos 4 años la empresa ha realizado la medición de la cantidad de residuos comunes que ha ingresado en el relleno diariamente dando como resultado la siguiente tabla anual.

Tabla 2. Cantidad de Residuos Comunes Anual

AÑO	CANTIDAD DE RESIDUOS (Tn)
2013	89784,56
2014	92243,02
2015	97087,37
2016	92507,65

Elaborado por: Investigador

El sitio por donde emana el gas metano se lo conoce con el nombre de chimenea, dichas chimeneas se construyen con tubos de hormigón para alcantarilla, los cuales son ubicados en sitios estratégicos para que el gas pueda surgir al exterior. En la actualidad cuentan con 75 chimeneas pero solo 46 se encuentran activas, esto quiere decir, que siguen emanando gas metano.

La Figura 9 contiene el levantamiento topográfico actual (2017), ubicación de chimeneas, ubicación de celdas por edades y cantidad de residuos, así como perfiles transversales y longitudinal del relleno sanitario.

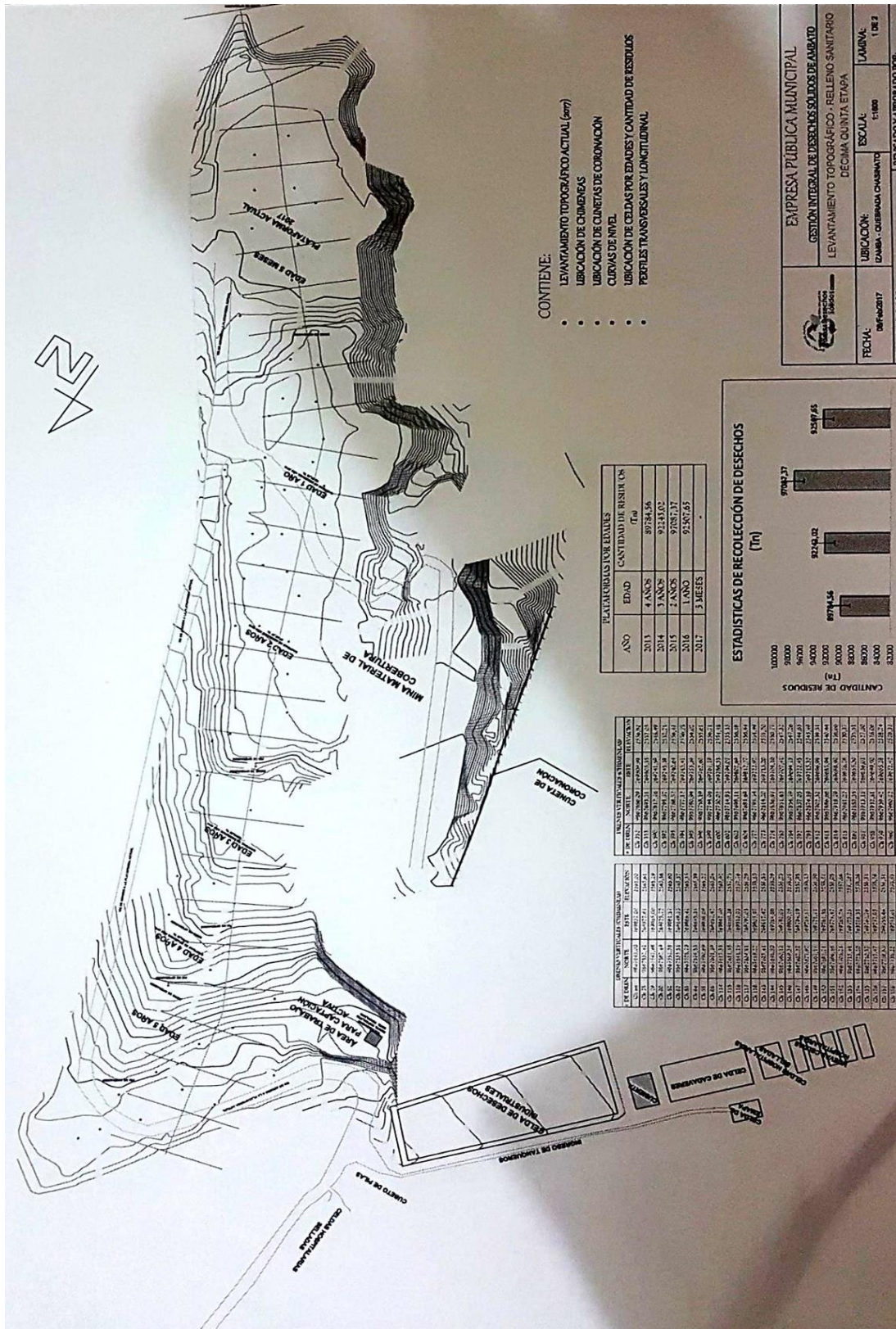


Figura 9. Levantamiento Topográfico - Relleno Sanitario
 Elaborado por: Ing. Jenniffer Anchundia – Analista del Relleno Sanitario

4.2. Requerimientos Técnicos

Analizado el estado del arte, se ha llegado a determinar el diagrama de bloques (ver Figura 10) para el monitoreo y la generación de alertas preventivas en el relleno sanitario de la empresa EPM-GIDSA.

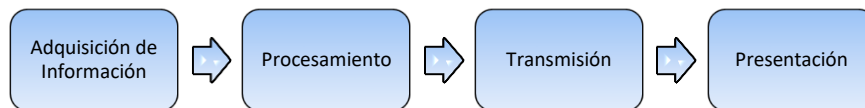


Figura 10. Diagrama de Bloques

Elaborado por: Investigador

La primera etapa permite la adquisición de información mediante sensores específicos para el monitoreo de magnitudes del relleno sanitario. La segunda etapa se realiza el procesamiento en la cual se lleva a cabo el acondicionamiento de las señales para poder interpretarlas y enviarlas. El tercer bloque es el de comunicación en la que se realiza el traslado de información de un lugar hacia otro inalámbricamente, como último punto se facilita la parte de presentación donde van a llegar la información una vez completado el proceso.

Adquisición de Información

Una de las partes fundamentales en un sistema de monitoreo es la adquisición de datos a través de algún tipo de transductor o sensor, el cual es de gran utilidad a la hora de adquirir datos de las variables desconocidas por el usuario. Se puede realizar de dos maneras ya sea de forma análoga o digital.

Las principales variables a monitorear en el relleno sanitario son el gas metano, temperatura ambiente y humedad, estas dos últimas se las puede realizar con un mismo sensor como se lo grafica en la Figura 11. Los sensores deben ser de alta precisión para tener un margen de error mínimo, en cuanto al sensor de gas metano se debe tomar en cuenta la sensibilidad, rapidez en la respuesta y el rango de operatividad.

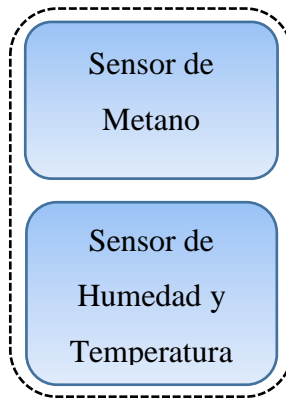


Figura 11. Adquisición de Información

Elaborado por: Investigador

En cuanto a la adquisición de los datos se requiere al menos dos puntos de recolección de información.

Procesamiento

Mediante el uso de dispositivos electrónicos de fuente libre se puede procesar la información obtenida a través de un controlador central, dicho dispositivo tiene la gran responsabilidad de recibir las magnitudes provenientes de los sensores y transformarlos en valores numéricos entendibles para el usuario. De esta manera cada vez que el sensor adquiera la información del exterior se lo procesa por el dispositivo encargado de llevar la información hacia el dispositivo de comunicación.

Comunicación

El principal objetivo de un sistema electrónico de comunicaciones, es enviar información de un lugar hacia otro. La comunicación es la transmisión, recepción y procesamiento de información mediante circuitos electrónicos [12].

El dispositivo encargado de llevar la información desde la fuente hacia el controlador central que tenga conexión hacia el almacenamiento de datos, deberá consumir una baja cantidad de recurso energético, tener amplio rango de alcance entre el transmisor - receptor y además transmitir un ancho de banda considerable, es decir que abarquen los datos a transmitir.

Presentación

Dada la comunicación del sistema se procede a realizar la presentación de los datos, los mismos que al ser almacenados en una base de datos pueden visualizarse desde cualquier sitio donde el operador requiera y tenga una conexión a la red interna de la empresa, los datos serán visualizados de manera ordenada ya que el sistema va a ir proporcionando poco a poco la información obtenida de los sensores.

Las alertas que el sistema genera, se las realiza en cuanto a la variable más importante, en este caso el metano ya que es el gas más inflamable dentro de los predios y con un alto índice explosivo.

El sistema debe generar una alerta cuando el nivel de gas esté a punto de llegar por a los límites normales de explosividad para tomar las debidas precauciones dentro del predio.

4.2.1. Diagrama General de la Red de Monitoreo

Una vez analizado los requerimientos en cada uno de los bloques a implementarse, se obtiene una visión más específica del sistema, logrando obtener un diagrama mejor detallado que servirá para el análisis técnico posterior y valoración según la Figura 12.

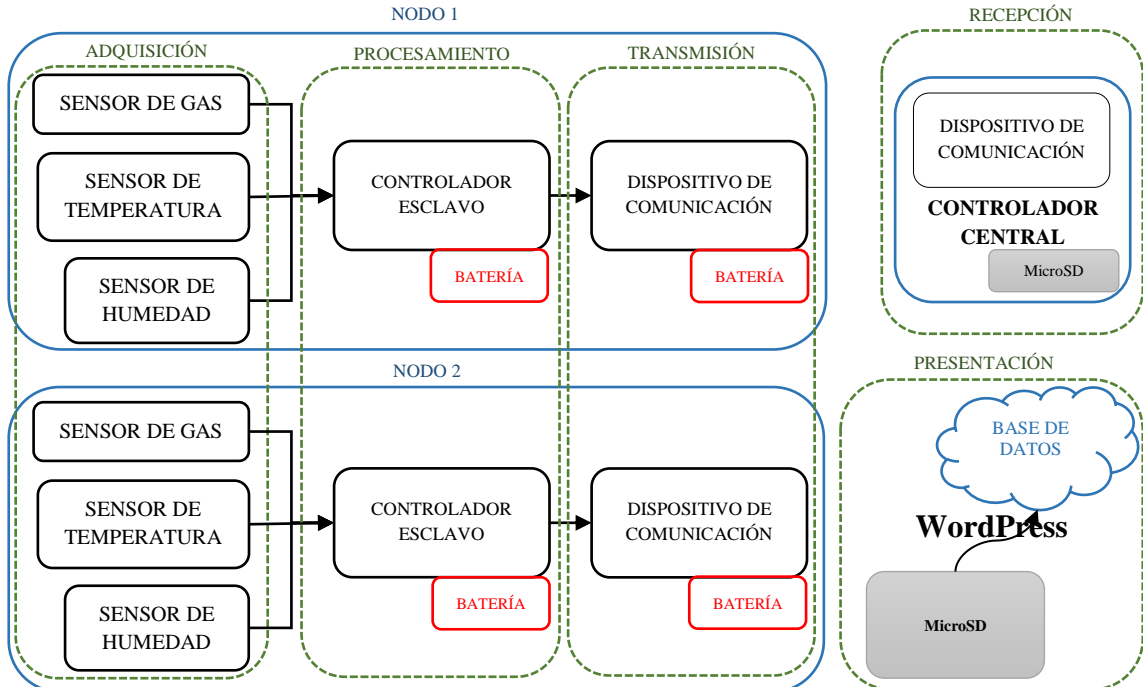


Figura 12. Diagrama General Red de Monitoreo




Elaborado por: Investigador

4.2.2. Análisis Técnico del Hardware Requerido

Controlador Central

Existe un sinnúmero de placas de fuente libre destinadas al procesamiento de señales o el sensado de variables físicas, en la Tabla 3 se realiza una comparativa de los principales controladores centrales en el mercado, tomando como referencia la accesibilidad, parámetros técnicos, y atributos que brinden al sistema el mejor desempeño posible [21], [22], [23].

Tabla 3. Comparación Técnica de los Controladores Centrales

Controlador Central			
	Arduino UNO	Intel Galileo	Raspberry Pi 2
Parámetros Técnicos			
Costo	\$ 20	\$ 80	\$ 73
Controlador	ATmega 328	Intel Quark X1000	Broadcom BCM2836
Voltaje de Operación	5V	3.3 – 5V	5V
Velocidad de Reloj	16 MHz	400 MHz	900 MHz
Voltaje de Entrada	7 – 12V	7 – 15V	5 V
Consumo	20 - 50mA	800mA	700 – 1000mA
Puertos I/O Digitales	14	20	26
Canales PWM	6	6	No
Entradas Analógicas	6	6	No



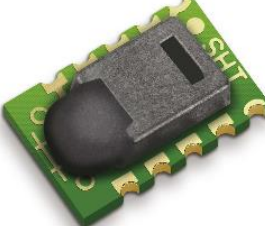
Elaborado por: Investigador

Analizando los parámetros de la Tabla 3 y los beneficios de cada una de las placas electrónicas se ha optado por elegir al Arduino UNO como el controlador central, debido al bajo consumo energético, la cantidad de entradas y salidas necesarias para los requerimientos deseados y adicionalmente el bajo costo que este representa.

Sensor de Temperatura y Humedad

En el caso de los sensores de temperatura y humedad, está claro que se puede conseguir los dos sensores por separado, sin embargo, las variables físicas a medir se lo puede realizar con un solo dispositivo, de esta manera se reduce el costo, además el principal requerimiento para este sensor es su compatibilidad con el controlador central, rango de operación y la exactitud que nos pueda brindar. Es por ello que se presenta la Tabla 4.

Tabla 4. Características del Sensor de Temperatura y Humedad

Sensor de Temperatura y Humedad			
	Sensor HC2S3	Sensor DHT22	Sensor SHT10
Parámetros Técnicos			
Costo	\$ 15	\$ 8	\$ 10
Accesibilidad	Determinadas Zonas Geográficas	Cualquier parte del mundo	Determinadas Zonas Geográficas
Alimentación	5 – 24V	3.3 – 6V	2.4 – 5.5V
Señal de Salida	Voltaje	Digital	Voltaje
Rango Temperatura	Temperatura -40 – 60°C	Temperatura -40 – 80°C	Temperatura -40 – 123°C
Rango Humedad	Humedad 0 – 100%RH	Humedad 0 – 100%RH	Humedad 0 – 100%RH
Exactitud Temperatura	Temperatura $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$	Temperatura $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$	Temperatura $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$

Exactitud Humedad	Humedad $\pm 5\%RH$	Humedad $\pm 2\%RH$	Humedad $\pm 4.5\%RH$
Compatibilidad con Controlador	No	Si	Si
Dispositivo Interno	Temperatura: PT100 RTD Humedad: Rotronic Hygromer IN-1	Condensador de Polímero	Temperatura: Espacio Humedad: Capacitivo




Elaborado por: Investigador

Una vez analizado en la Tabla 4 las características de los sensores puestos a consideración se ha determinado al Sensor DHT22 como el encargado de realizar el funcionamiento de sensado tanto de la temperatura como de la humedad, siendo una de las principales ventajas la exactitud de medida, a un bajo costo y además al ser compatible con el procesador central garantiza su convergencia.

Sensor de Gas Metano

Para la medición de gas metano se requiere un dispositivo que permita el monitoreo, compatible con el controlador central, además debe tener una alta sensibilidad y una respuesta rápida para que el sistema sea altamente fiable y preciso.

Tabla 5. Características del Sensor de Gas Metano

Sensor de Gas Metano			
	MSH2-LS/HC	TGS2611	MQ-4
Parámetros Técnicos			
Costo	\$ 15	\$ 24	\$ 7
Rango de Detección	0 - 2500 ppm & 0 - 50000 ppm	500 – 10000 ppm	0 – 10000 ppm

Voltaje de Operación	3 – 5V	5V	5V
Temperatura de Trabajo	-20°C – 50°C	-20°C – 50°C	-10°C – 50°C
Compatibilidad con Controlador	No	Si	Si
VARIABLES OBJETIVAS	Metano, Propano	Metano, Gas Natural	Metano, Gas Natural (Licuado)
Sensibilidad	Media	Media	Alta
Respuesta Rápida	No	Si	Si




Elaborado por: Investigador

Analizando cada uno de los parámetros técnicos de los sensores en la Tabla 5 se ha elegido como mejor opción el sensor MQ-4, debido a que por las necesidades del proyecto posibilita obtener de manera rápida resultados fiables, su rango de detección es muy amplio respecto al costo del elemento, además de ofrecer una señal lineal y garantía en la convergencia de los dispositivos a utilizar.

Dispositivo de Comunicación

Ya que se requiere de una comunicación inalámbrica, pero que la principal virtud sea un alto alcance para el envío de información, además la compatibilidad con el controlador y su consumo energético deberá ser el mínimo ya que va a utilizarse para la transferencia de información entre los dispositivos transmisores y receptor, por lo que lo analizaremos en la Tabla 6.

Tabla 6. Comparación Técnica de Dispositivos de Comunicación

Dispositivo de Comunicación Inalámbrica			
	NRF24L01	Módulo HC06	Módulo XBEE
Parámetros Técnicos			
Costo	\$ 7	\$ 10	\$ 23
Comunicación	Radiofrecuencia	Bluetooth	Bluetooth
Protocolo	ShockBurst	Bluetooth v2.0 + EDR	Bluetooth v2.0 + EDR
Voltaje de Operación	1.9 – 3.6V	3.1 – 4.2V	3.3V
Consumo	8.8 – 13 mA	30 – 40 mA	50 mA
Frecuencia de Trabajo	2.4 – 2.5 GHz	2.4 – 2.48 GHz	2.4 – 2.48 GHz
Temperatura de Operación	-40°C – 85°C	-25°C – 75°C	-20°C – 55°C
Compatibilidad	Si	Si	Si
Distancia	20 m	10 m	10 m

Elaborado por: Investigador

Analizando la importancia de utilizar los módulos anteriormente descritos, es correspondiente mencionar que el puntal fundamental como distancia y consumo que son los principales objetivos a tomar en cuenta para la selección del dispositivo, claramente nos inclinamos por el módulo NRF24L01 ya que al ser compatible con el controlador y tener un alto rango en la temperatura de operación sin olvidar su bajo costo lo llevan a ser el mejor dispositivo entre los analizados previamente.

Dispositivo de Almacenamiento de Datos

Para el almacenamiento de las variables se requiere utilizar un dispositivo de bajo consumo energético capaz de alimentarse a través del controlador central y guardar la información de los valores obtenidos por los sensores, que permita el traslado de la información hacia la base de datos para la visualización de resultados.

En el mercado existe solo un dispositivo con tales características compatible con el controlador central y a su vez con los otros dispositivos utilizados en este por lo que no es relevante la preselección de diferentes módulos adicionales ya que la opción es única. El adaptador MicroSD para Arduino de la Figura 13 cumple con las siguientes características:

Voltaje de entrada: 3.3 – 5 V

Consumo: 150 mA.

Compatibilidad MicroSD: Hasta 32GB SDHC

Versión: 1.1

Comunicación: SPI

Costo: \$ 10



Figura 13. Modulo Adaptador MicroSD

Fuente: <https://altronics.cl/modulo-micro-sd-01>

4.2.3. Análisis del Software

El software a utilizar debe ser compatible con el hardware libre que se ha elegido previamente, también debe ser de fácil manejo para el operario, además el costo debe ser mínimo por lo que la mejor opción sería el software gratuito y de código abierto.

En este caso se requiere visualizar el contenido de cada una de las variables a monitorear en un gráfico que sea de fácil interpretación.

4.3. Adquisición de Señales

La parte más importante del sistema es el apartado de adquisición de las señales a evaluar, el sistema tiene un alto porcentaje de dependencia que va a ayudar a la confiabilidad del mismo. Las señales involucradas deben ser tratadas de forma íntegra y responsable para no tener ninguna lectura falsa que pueda alterar posteriormente su procesamiento. Cabe recalcar que la señal prioritaria dentro del proceso es el gas metano.

4.3.1. Señales de Gas Metano

En la Figura 14 se describe el diagrama interno del sensor de gas metano MQ4 preseleccionado, el cual cuenta con una alta sensibilidad y una respuesta sumamente rápida. Dicho sensor no necesita de una etapa de acondicionamiento electrónico puesto que el nivel de señal voltaica generado por el sensor se encuentra dentro de los rangos de trabajo del controlador en uso.

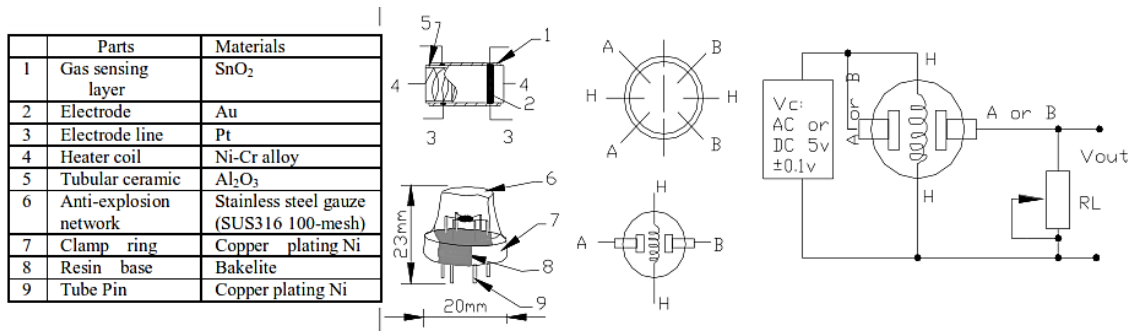


Figura 14. Circuito Interno del Sensor de Gas Metano [23]

La curva presentada por el sensor en la Figura 15 indica la alta sensibilidad al gas metano y la baja sensibilidad al humo y al alcohol, además la relación de resistencias del sensor de varias concentraciones de gases con respecto al gas metano en un ambiente de aire limpio, además en la Figura 16 se observa la dependencia típica del metano de acuerdo a la temperatura y humedad.

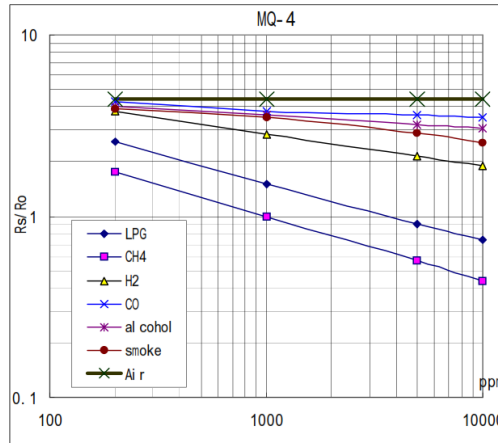


Figura 15. Curva Característica de Sensibilidad del Metano [23]

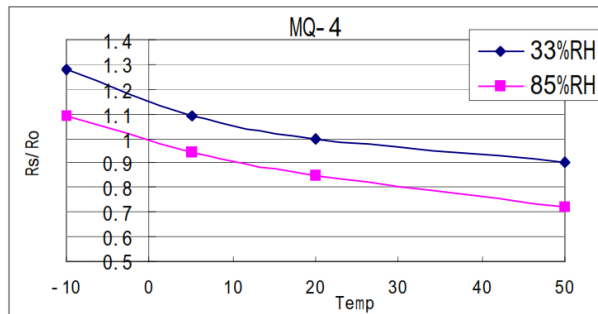


Figura 16. Dependencia de Metano con respecto a la Temperatura y Humedad [23]

4.3.2. Señales de Temperatura y Humedad

En la Figura 17 se puede observar el diagrama de conexión del sensor DHT22 seleccionado previamente por sus favorables características con el sistema, además de tener una sola salida de datos posee un bajo tiempo de sincronismo con el controlador central alrededor de 5ms.

Pin	Name	Description
1	VDD	Power (3.3V – 5.5V)
2	SDA	Serial Data, Bidireccional Port
3	NC	No Connect
4	GND	Ground

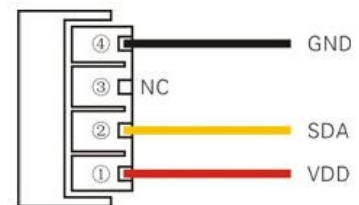


Figura 17. Diagrama de Conexión DHT22

Fuente: <http://dwmzone.com/en/humidity-and-temperature/168-dht22-am2302-digital-temperature-and-humidity-sensor.html>

4.4. Procesamiento y Transmisión

El período de procesamiento de las señales eléctricas se lleva a cabo en el controlador Arduino Nano tanto en el nodo uno como en la nodo dos, el cual es el encargado de recibir las señales enviadas por los sensores y convertirlos en valores indicadores de cada una de las variables establecidas. Por consiguiente se envían dichas señales en formato de cadena concatenada hacia el controlador central, a través del módulo de comunicación NRF24L01, es necesario recalcar que para poder utilizar dichos módulos se debe proveer a los controladores de direcciones llamadas “pipe” para que así los controladores puedan comunicarse sin ningún problema . Dicha parte del procesamiento y la conversión de señales eléctricas a valores indicadores de las variables anteriormente mencionadas se describen en el diagrama de flujo de la Figura 18, además a través de los anexos A y B se presentan los algoritmos acordes al diagrama de la parte de transmisión de datos.

La trama de envío representada en la Figura 18 como “y” se compone de los datos de gas metano, temperatura y humedad. Trama que es enviada hacia el controlador central, realizando un proceso de concatenación de las variables monitoreadas.

Cabe recalcar que debido a la importancia que tiene el sistema no se lo ha provisto de retardos con el fin de optimizar y disminuir los tiempos de envío. Finalmente una vez que los datos lleguen hacia el controlador central por medio de los módulos de comunicación se divide la trama en las distintas variables que se ha transmitido para posteriormente poder almacenar los resultados en una MicroSD y a su vez transferirlos a la base de datos para interpretar los resultados de manera clara y precisa cada uno de ellos.

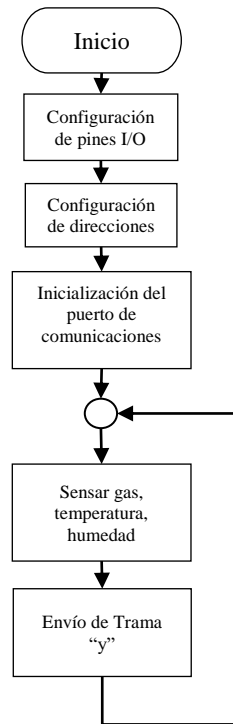


Figura 18. Diagrama de Flujo de la Configuración de Transmisión de Datos

Elaborado por: Investigador

4.5. Análisis del hardware y software para la generación de alertas

Una vez culminado el proceso de almacenamiento de datos dentro del controlador central se procede al respectivo análisis, gracias a ello se establece una conexión entre el relleno y el encargado del mismo en caso de tener anomalías en la lectura de los niveles de gas metano (PPM) se genera automáticamente alertas preventivas para poder evitar cualquier incidente que pueda llegar a suceder dentro del relleno sanitario.

El uso de las tecnologías de hoy en día ha simplificado mucho el trabajo a la hora de estar informados cada cierto tiempo de algún evento o suceso que se suscita a nuestro alrededor o ambiente de trabajo. Gracias a diferentes tecnologías es posible el acercamiento a lugares hostiles.

El relleno sanitario no cuenta con suministro de energía excepto a la entrada (GARITA) que se encuentra las instalaciones para verificar la entrada y salida de desechos sólidos

hacia el relleno por lo que se requiere realizar el análisis para generar las alertas preventivas hacia el operador encargado de la empresa GIDSA.

Tabla 7. Comparación Tecnologías Inalámbricas

TECNOLOGÍAS INALÁMBRICAS			
Tecnología	Bluetooth	Wi-Fi	GSM
Estándares	802.15	802.11	GSM
Radio de Celda	10 m	10 – 100 m	30 Km por celda (Zona Rural)
Banda de Transmisión	2.4 GHz	2.4 GHz, 5 GHz	800, 1800, 1900, 2100 MHz
BW del Canal	1 MHz	20 MHz	200KHz-5MHz
Tasa de transmisión	721 Kbps	54 Mbps	114Kbps – 2Mbps
Modulación	GFSK	PSK, QPSK, OFDM	GMSK, QPSK, 16QAM
Tecnología de Acceso	CSMA/CA	CSMA/CA	FDMA-FDD CDMA

Elaborado por: Investigador

Después de haber seleccionado la tecnología GSM como la solución más apropiada para la generación de alertas preventivas debido al gran alcance que tiene, su facilidad con el envío de mensajes de texto hacia cualquier dispositivo celular, además en el mercado existen shield para Arduino adaptables solo se necesita la programación necesaria para el fin que se requiera.

El dispositivo de la Figura 19 es el más adecuado en cuanto a la compatibilidad con el controlador central, siendo compatible con el módulo NRF24L01 y por su bajo consumo de energía entre otras características es el SIM900 Shield GPRS/GSM para Arduino Uno.



Figura 19. Shield GSM Arduino

Fuente:<http://arduino.stackexchange.com/questions/22530/arduino-gprs-gsm-shield-sim900-no-long-pins>
 Dicho dispositivo enviará un mensaje de texto hacia el operario encargado del relleno cuando el valor del metano este cerca del mínimo nivel de explosividad, esto sería cerca del 5% LEL o 50000 ppm [24], el código de programación del receptor se encuentra en el Anexo C, D, E.

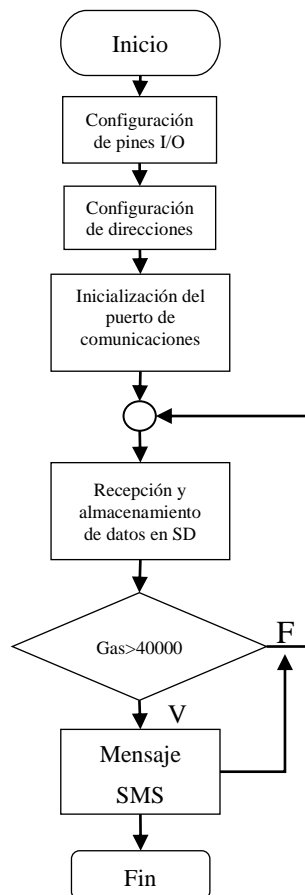


Figura 20. Diagrama de Flujo de la Configuración del Controlador Central

Elaborado por: Investigador

4.6. Presentación de señales

Para la presentación de los datos, se ha utilizado un software bajo los requerimientos técnicos descritos anteriormente. Siendo WordPress la plataforma elegida para el desarrollo de la interfaz e interacción. En la cual la trama de datos recibidos son desempaquetados y presentados en una interfaz gráfica de usuario de manera amigable y simplificada que brinde un panorama mucho más amplio de las variables involucradas en el proceso de monitoreo.

La plataforma permite la comprensión del código implementado en el controlador central, además modificaciones en caso de ser necesario. El controlador central permite guardar la información expuesta por los sensores en una tarjeta MicroSD, la cual se puede extraer del controlador, siendo más fácil el acceso a la información.

La información almacenada por la MicroSD comprende los datos adquiridos por los dos controladores esclavos, esto quiere decir, guarda la información del nivel de gas, temperatura y humedad de los dos dispositivos. Una vez almacenado los datos en la MicroSD se debe extraer dicha información para realizar el proceso de importación a la base de datos y posterior visualización.

Para ello se necesitó levantar un servidor LAMP que junto a WordPress nos permitan visualizar el contenido de una manera entendible, por medio de un gráfico elaborado gracias a WordPress.

4.7. Importación de los datos a la Base

Las características del servidor LAMP nos permite importar los datos almacenados en la MicroSD y transferirlos hacia la base de datos, que los guarda de manera ordenada y sistemática según hayan sido sensado, como se muestra en la Figura 22.

Los datos almacenados en la MicroSD se guardan en un archivo de texto fácil de importar a la base, solo con ir a la pestaña de Importar en PhpMyAdmin y seleccionar la opción

“Buscar en el ordenador”, seleccionar el archivo de texto donde están almacenados los datos, los pasos a seguir se visualizan en la Figura 21.



Figura 21. Importación desde MicroSD

Elaborado por: Investigador

Una vez realizado este proceso la información se guarda en la base de datos que previamente hayamos creado.

TIE	ID	GAS	TEMPERATURA	HUMEDAD
00	1	121	20.4	48.4
00	2	124	22.3	50.7
00	1	123	24.4	44.9
00	2	111	22.1	45.7
00	1	124	24.4	45
00	2	121	22.1	46.4
00	1	124	24.5	45
00	2	121	22.1	46.3
00	1	124	24.5	45
00	2	121	22.1	46.1
00	1	124	24.5	44.9
00	2	121	22.1	46.3
00	1	124	24.5	44.8
00	2	121	22.2	45.9
00	1	124	24.5	44.7
00	2	121	22.2	45.1
00	1	124	24.5	44.6
00	2	121	22.2	45.3
00	1	124	24.6	44.6
00	2	121	22.3	46.1
00	1	124	24.5	44.4
00	2	111	22.2	47.3
00	1	124	24.5	44.4
00	2	121	22.3	48
00	1	124	24.6	44.4

Figura 22. Datos Importados en la Base

Elaborado por: Investigador

4.8. Visualización en WordPress

Realizada la importación a la base de datos, los resultados obtenidos gracias a WordPress podemos interpretarlos de una manera gráfica y en un sitio distinto a la base de manera clara y concisa.

En la Figura 23 se puede visualizar la página principal realizada a través de WordPress, donde se tiene tres ventanas definidas, las cuales nos brindan acceso a los datos almacenados en la base.



Figura 23. Página Principal WordPress

Elaborado por: Investigador

4.8.1. Reporte

En esta página se puede obtener todos los datos almacenados en la base, se puede realizar consultas de la información y generar un archivo pdf descargable, toda la programación relacionada con el emparejamiento entre la base de datos y la pestaña de reporte se lo detalla en el Anexo F.

The screenshot shows a PDF document titled 'Datos generados de sensores en campo'. The document contains a table with 20 rows of sensor data. Each row includes a timestamp, a station number, and four numerical values representing sensor readings.

0000-00-00 00:00:00	2	144	19.8	50
0000-00-00 00:00:00	1	143	19.5	58.2
0000-00-00 00:00:00	2	144	19.8	50.1
0000-00-00 00:00:00	1	143	19.6	58.1
0000-00-00 00:00:00	2	144	19.8	50.2
0000-00-00 00:00:00	1	147	19.6	58
0000-00-00 00:00:00	2	145	19.8	50.2
0000-00-00 00:00:00	1	158	19.6	58.4
0000-00-00 00:00:00	2	144	19.8	49.7
0000-00-00 00:00:00	1	148	19.6	58.4
0000-00-00 00:00:00	2	151	19.8	50.1
0000-00-00 00:00:00	1	143	19.7	57.9
0000-00-00 00:00:00	2	156	19.8	50.7
0000-00-00 00:00:00	1	154	24.6	44.3
0000-00-00 00:00:00	2	151	22.4	46.1
0000-00-00 00:00:00	1	154	24.6	44.3
0000-00-00 00:00:00	2	151	22.4	45.8
0000-00-00 00:00:00	1	152	19.5	58.5
0000-00-00 00:00:00	2	156	19.8	50.1
0000-00-00 00:00:00	1	152	19.5	58.5
0000-00-00 00:00:00	2	156	19.8	50.3

Figura 24. Resultados de los Sensores en PDF

Elaborado por: Investigador

4.8.2. Nodo 1 y Nodo 2

En las dos ventanas se visualiza los gráficos de los nodos respectivos, la base se conecta directamente con estas páginas gracias a los algoritmos de los Anexos G, H y mediante plugins de google chart se grafica los resultados obtenidos.

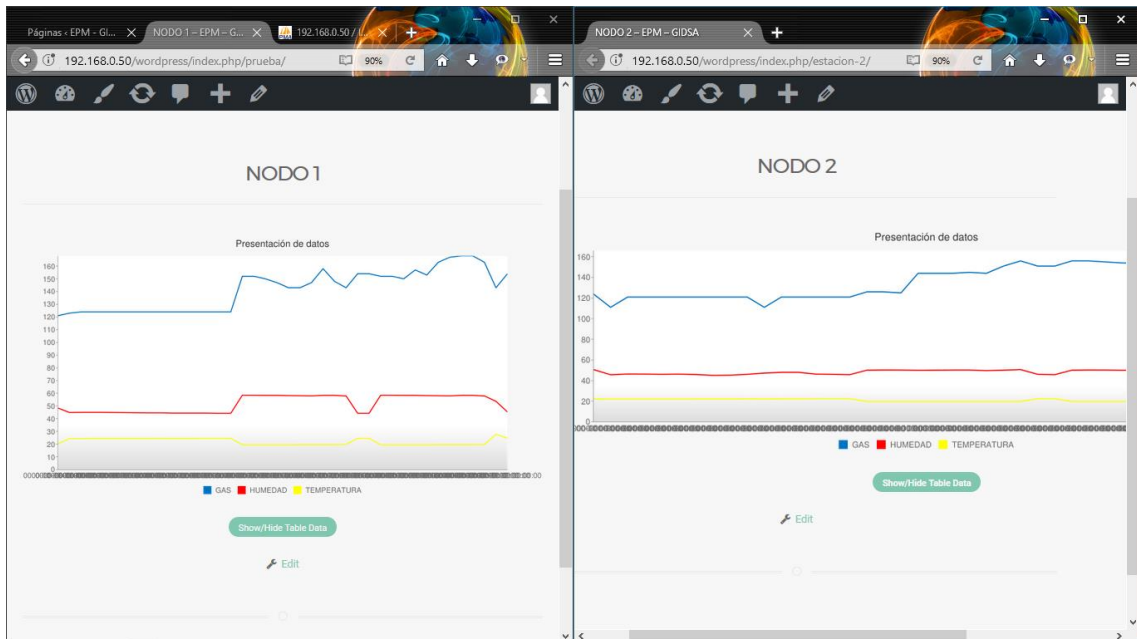


Figura 25. Gráficos de Resultados de las Variables de los dos Nodos

Elaborado por: Investigador

4.9. Diseño Electrónico del Prototipo

De igual manera todo software necesita al hardware para poder funcionar, los diagramas del circuito esquemático de los dispositivos utilizados para el sensado de las tres variables: gas, temperatura y humedad que se ubicaron en el relleno sanitario se los detalla a continuación:

4.9.1. Circuito Esquemático de los Nodos

Después de la preselección de los dispositivos que se van a utilizar en la parte de los nodos, se realiza un diagrama llamado circuito esquemático, con el fin de saber la interconexión de los dispositivos a interactuar.

En el diagrama esquemático se representa los pines de cada dispositivo, la función que cumple y dependiendo a ello la conexión que se necesita realizar, según el datasheet de cada uno. Los dispositivos utilizados en los nodos se componen de un Arduino Nano, el sensor DHT22, el sensor MQ4 y el dispositivo de comunicación NRF24L01, como se ilustra en la Figura 26.

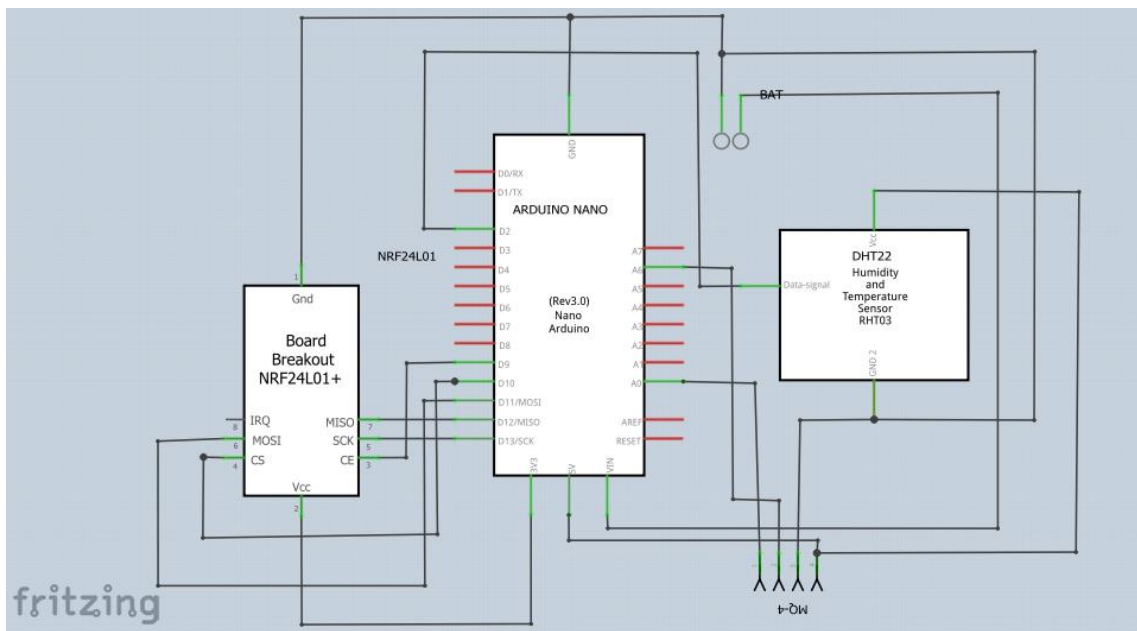


Figura 26. Circuito Esquemático de los Nodos

Elaborado por: Investigador

4.9.2. Circuito Esquemático del Dispositivo Receptor

De la misma manera que se realiza el circuito esquemático de los nodos, también se lo hace con el dispositivo receptor. En este caso los componentes utilizados son: Arduino UNO, shield SIM900, módulo adaptador MicroSD, y el dispositivo de comunicación NRF24L01, del mismo modo se realizan las conexiones para el correcto funcionamiento de cada uno de los elementos involucrados como se observa en la Figura 27.

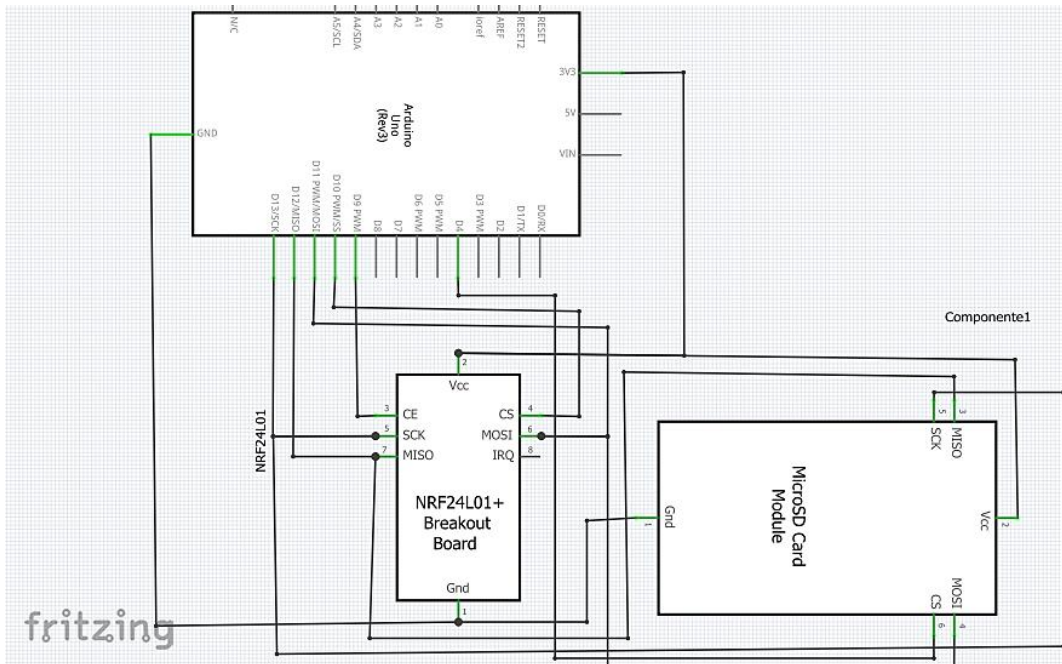


Figura 27. Circuito Esquemático del Receptor

Elaborado por: Investigador

Sin embargo, los dispositivos tenían que ser diseñados de tal manera que sean lo menos invasivos posible y de un tamaño mínimo para el fácil manejo y movilización de estos como se ve en la Figura 28.

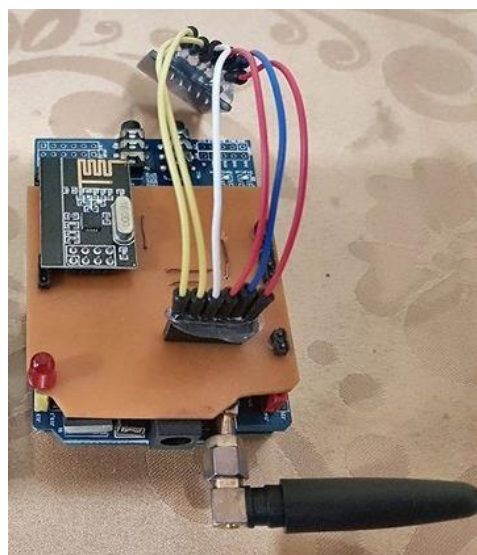


Figura 28. Dispositivo Receptor

Elaborado por: Investigador

Otro punto relevante dentro del diseño es la protección para que los dispositivos sean resistentes a la lluvia, debido a que se necesita realizar una semana de prueba dentro del relleno sanitario tomando en cuenta que ninguno de ellos posee tecnología IP (por sus siglas en inglés, Ingress Protection) [25], esto quiero decir que no posee protección especial, por lo que se adecuó a los dispositivos como se observa en la Figura 29.



Figura 29. Protección de Dispositivos

Elaborado por: Investigador

De esta forma se ha logrado evitar que los dispositivos se deterioren con la lluvia y a su vez, no impedir el sensado de las variables involucradas en el proceso, por otro lado son dispositivos poco invasivos, esto quiere decir que no altera el trabajo que se realiza dentro del relleno sanitario, ni necesita realizarse cambios dentro del mismo.

4.9.3. Dispositivos Finales

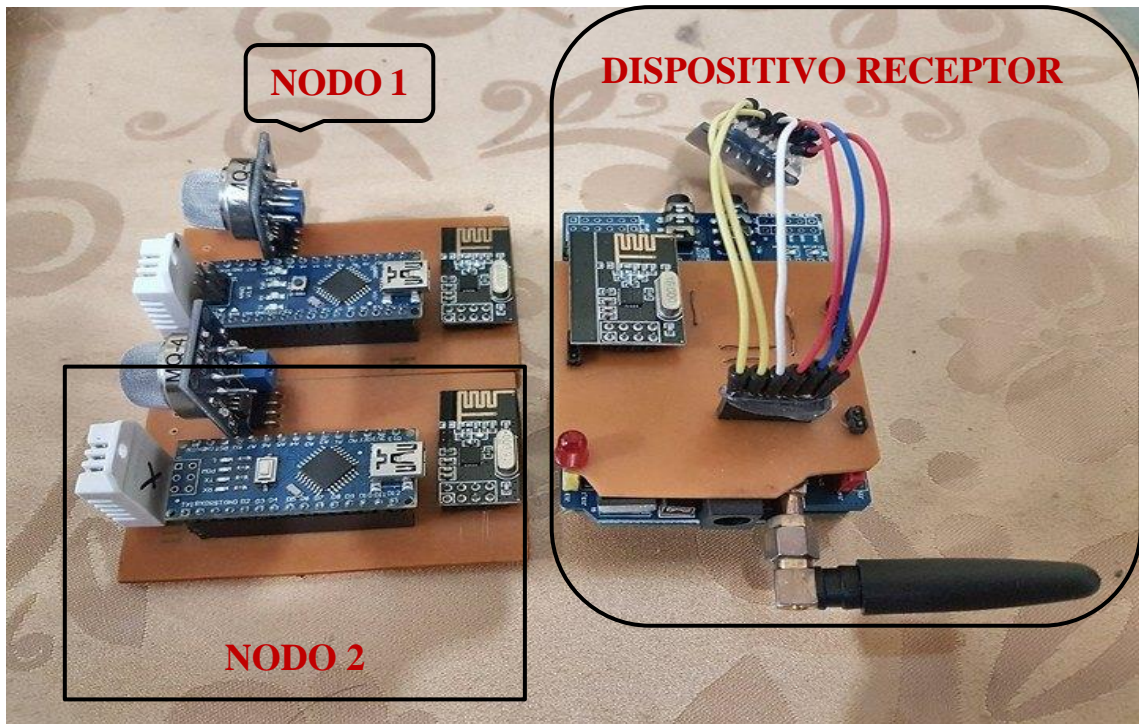


Figura 30. Dispositivos para el Monitoreo y Generación de Alertas Preventivas

Elaborado por: Investigador

Como se ilustra en la Figura 30 el sistema para el monitoreo y generación de alertas preventivas contiene tres dispositivos, encargados de sensar la información obtenida, enviarla hacia el dispositivo receptor y almacenarla, en caso de anomalías generar alertas en modo mensaje de texto.

4.9.4. Modificación de Hardware

Al trabajar con el adaptador MicroSD conjuntamente con el módulo NRF24L01 se produjo un problema de sincronización, debido a que ambos trabajan mediante comunicación SPI; gracias a los foros en la Página Oficial de Arduino se logró encontrar una solución de hardware para el correcto funcionamiento de los dos módulos, esto quiere decir que trabajen al mismo tiempo ambos módulos tanto la comunicación mediante el NRF24L01 y el adaptador MicroSD para el almacenamiento de datos.

Para ello, se necesitó realizar solo una modificación en la parte de hardware del módulo MicroSD que corresponde al pin 13 del integrado LVC125A ubicado en el mismo.

El pin 13 controla la salida MISO que por defecto viene soldada a GND, esto hace que el dispositivo este trabajando continuamente y cree conflictos al haber otro módulo interactuando con la misma comunicación SPI.

La solución al problema antes mencionado es desconectar el pin 13 de la conexión a GND, haciendo que el módulo se active únicamente cuando el selector de esclavo (SS, por sus siglas en inglés, Slave Select) envíe una señal.

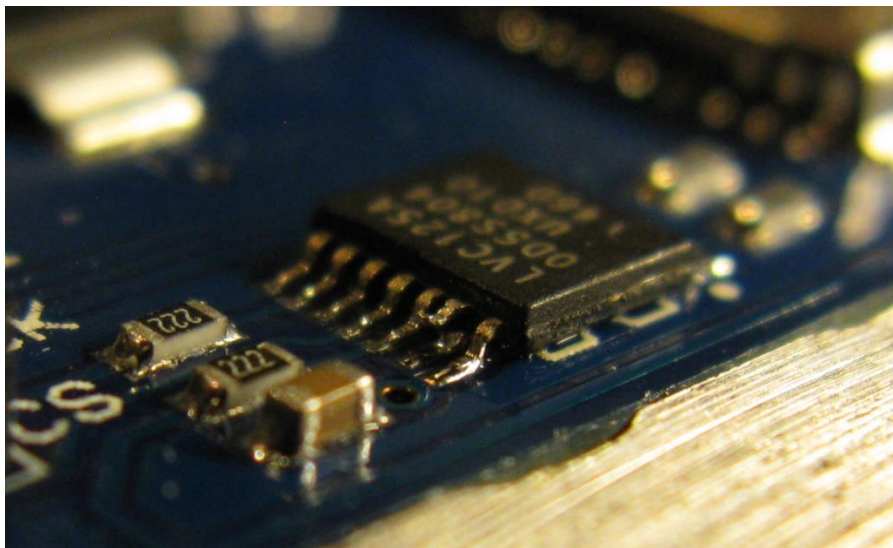


Figura 31. Modificación Hardware Modulo MicroSD

Elaborado por: Investigador

4.10. Pruebas de Funcionamiento

Para realizar las pruebas de funcionamiento y comprobación que el prototipo funcione adecuadamente se lo sometió a una semana de pruebas dentro del relleno sanitario, cabe recalcar que los dispositivos tenían que estar conectados a una fuente de energía y debido a que en el lugar donde se iban a realizar las pruebas no existía una fuente, se adaptó con cargadores solares debido a las características que estos brindan, con la finalidad de mantener a los dispositivos el mayor tiempo posible en funcionamiento, como se lo aprecia en la Figura 32.



Figura 32. Cargador Solar
Elaborado por: Investigador

Una vez instalado los dispositivos de los nodos dentro del relleno sanitario como se muestra en la Figura 33 a una distancia de 1,5 m de las chimeneas generadoras de metano, debido a la llama que estas generan cuando se encienden.



Figura 33. Instalación Dispositivos en el Relleno Sanitario
Elaborado por: Investigador

Al igual que el dispositivo de recepción y almacenamiento de los datos, se verificó la comunicación entre los dispositivos dando como resultado una conexión exitosa como se muestra en la Figura 34, la cual muestra un mensaje de “DATO ENVIADO” cuando la comunicación entre los nodos y el dispositivo receptor se ha establecido.

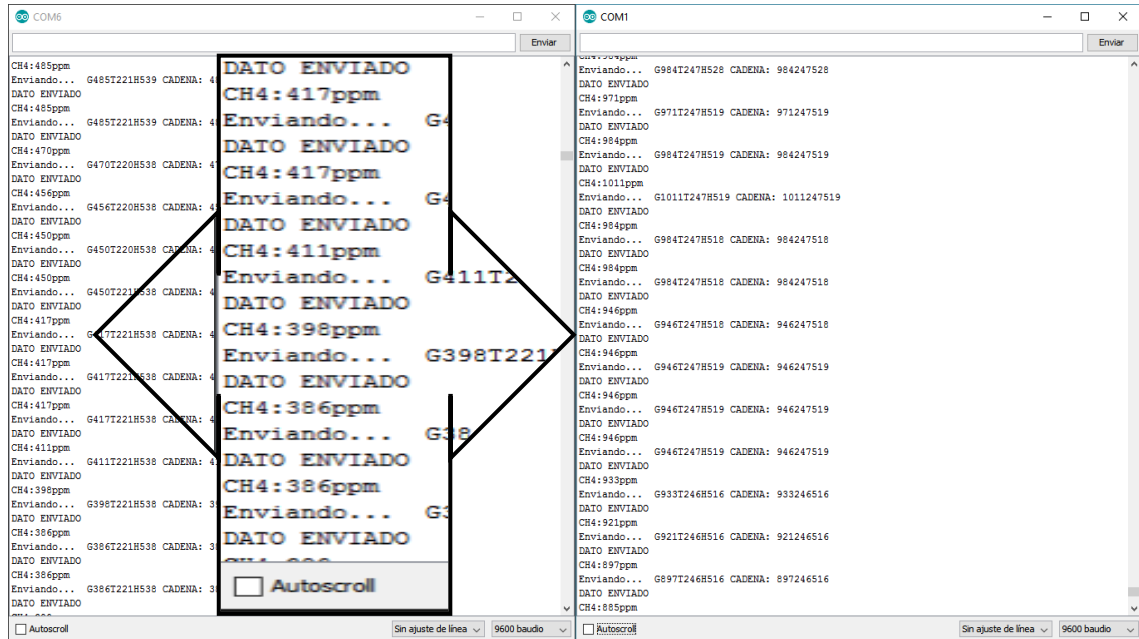


Figura 34. Prueba de Conexión de los Nodos con el Receptor

Elaborado por: Investigador

Por último se comprobó diariamente el almacenamiento dentro de la MicroSD en un archivo de texto como se aprecia en la Figura 35 de las variables involucradas en el sensado de forma sistemática y ordenada.

La información que se guardaba dentro del archivo de texto estaba segmentada de la siguiente manera:

(‘D’, N, G, T, H),

Donde:

- D = Número de dato obtenido.

- N = Número de nodo sensado, en este caso solo puede ser 1 o 2.
- G = Valor del gas metano en partes por millón (ppm).
- T = Valor de temperatura ambiente en grados centígrados (°C).
- H = Valor de la humedad en el lugar (%).

Archivo	Edición	Formato	Ver	Ayuda
('95'	1,	167.00,	24.60,	58.00),
('96'	2,	165.00,	19.80,	50.20),
('97'	1,	168.00,	25.70,	57.30),
('98'	2,	164.00,	19.80,	49.70),
('99'	1,	168.00,	25.40,	57.40),
('100'	2,	161.00,	19.80,	50.10),
('101'	1,	163.00,	26.10,	57.90),
('102'	2,	166.00,	17.80,	50.70),
('103'	1,	153.00,	19.50,	51.50),
('104'	2,	167.00,	17.80,	50.30),
('105'	1,	153.00,	19.60,	52.20),
('106'	2,	155.00,	17.80,	50.20),
('107'	1,	154.00,	19.40,	51.40),
('108'	2,	159.00,	17.80,	50.00),
('109'	1,	154.00,	19.50,	58.20),
('110'	2,	158.00,	16.80,	50.10),
('111'	1,	163.00,	19.60,	58.10),
('112'	2,	164.00,	16.70,	50.20),
('113'	1,	167.00,	19.50,	58.00),
('114'	2,	165.00,	16.20,	50.20),
('115'	1,	168.00,	18.40,	57.30),
('116'	2,	164.00,	15.80,	49.70),
('117'	1,	166.00,	18.40,	57.40),
('118'	2,	161.00,	15.80,	50.10),
('119'	1,	162.00,	18.10,	57.90),
('120'	2,	165.00,	15.80,	50.70),
//////////DIA 2//////////				
('121'	1,	115.00,	18.20,	59.30),
('122'	2,	287.00,	19.30,	53.30),
('123'	1,	115.00,	18.10,	59.30),
('124'	2,	287.00,	19.30,	53.30),
('125'	1,	125.00,	18.20,	59.40),
('126'	2,	287.00,	19.30,	53.30),
('127'	1,	135.00,	18.20,	58.30),
('128'	2,	287.00,	19.30,	53.30),
('129'	1,	163.00,	18.10,	58.30),
('130'	2,	287.00,	19.30,	53.30),

Figura 35. Almacenamiento de Datos en MicroSD

Elaborado por: Investigador

4.11. Capacidad de Almacenamiento

El dispositivo de almacenamiento de datos tiene compatibilidad con MicroSD desde 2GB y se lo puede expandir hasta 32 GB, matemáticamente diariamente se almacenaba un valor aproximado de 4 KB llegando a un valor promedio en la semana de 32 KB.

Mediante la Ecuación 1 se obtendrá el tiempo de almacenamiento según la MicroSD utilizada.

$$T = \frac{\text{Capacidad total MicroSD(GB)}}{\text{Valor promedio Semanal(MB/KB)}} \quad (1)$$

En el sistema de monitoreo se utilizó un MicroSD de 8GB por lo que utilizando la ecuación (1), el tiempo de almacenamiento está dado por el resultado de la ecuación (2):

$$T = \frac{8 \text{ GB}}{32 \text{ KB}} = 250000 \text{ semanas} \quad (2)$$

$$T = 250000 \text{ semanas} \left| \frac{1 \text{ año}}{52 \text{ semanas}} \right| = 4807 \text{ años}$$

Como resultado la capacidad de almacenamiento tiene una larga durabilidad, adicionalmente la MicroSD en caso de presentar problemas se la puede reemplazar en cualquier momento.

4.12. Consumo de Energía

Finalmente y para concluir el análisis. La vida útil de la batería se calcula en base a la corriente en miliamperios por hora. La capacidad de la batería o vida útil se puede calcular a partir de la capacidad total de la batería y la corriente de carga del dispositivo. La fuente de energía se encuentra compuesta de una batería de 5 V y 10000 mAh. Matemáticamente el consumo energético del dispositivo instalado en los nodos es 178 mA.

La ecuación para saber la vida útil de nuestro dispositivo según *DigikeyElectronics* se da mediante la ecuación (3):

$$Vida \acute{U}til \text{ Bat} = \frac{Capacidad \text{ Bat}(mAh)}{ICarga(mA)} * 0.70(3)$$

Siendo el factor de 0.70 la tolerancia hacia factores desconocidos que pueden afectar la capacidad de la batería. Tanto para el nodo 1 como para el nodo 2 utilizando la ecuaci3n (3), la vida útil de los dispositivos está dada por la ecuaci3n (4):

$$Vida \acute{U}til \text{ Nodo} = \frac{10000 \text{ mAh}}{178 \text{ mA}} * 0.70(4)$$

$$Vida \acute{U}til \text{ Nodo} = 39.33 \text{ Horas}$$

Mientras que el consumo energético del controlador central matemáticamente es 348 mA. El valor es mayor, debido a los dispositivos que en él se encuentran como el adaptador MicroSD y el m3dulo Sim900, haciendo referencia a esto y utilizando la ecuaci3n (3) se obtiene:

$$Vida \acute{U}til \text{ CC} = \frac{10000 \text{ mAh}}{348 \text{ mA}} * 0.70(5)$$

$$Vida \acute{U}til \text{ CC} = 20.12 \text{ Horas}$$

Estos valores matemáticamente se mantendran si las baterías no tendran vida autosustentable, referenciando a que las baterías utilizadas para el sistema se las puede cargar a través de luz solar.

En la práctica se evidenci3 que las baterías pueden llegar a durar hasta 60 horas cargándose mediante luz solar en condiciones medias, esto quiere decir, en días no tan soleados tendran un aumento de la vida útil en 52.55%.

4.13. Presupuesto del Prototipo

La Tabla 8 muestra el detalle del presupuesto utilizado para el diseño del prototipo.

Tabla 8. Presupuesto del Prototipo

ELEMENTO	UNIDAD	CANTIDAD	COSTE UNITARIO (USD)	TOTAL (USD)
Arduino UNO	c/u	1	12.50	12.50
Arduino Nano	c/u	2	15.30	30.60
Shield SIM900	c/u	1	66.20	66.20
Chip CLARO	c/u	1	5.00	5.00
DHT22	c/u	2	11.50	23.00
MQ4	c/u	2	15.60	31.20
NRF24L01	c/u	3	4.60	13.80
Cargador Solar	c/u	3	60	180
Adaptador MicroSD	c/u	1	15.60	15.60
MicroSD	c/u	1	10	10
Cables Protokit Macho/Macho	juego	2	3	6
Led Rojo	c/u	1	0.10	0.10
Espadines Hembra	tira	4	0.60	2.40
Espadines Macho	tira	2	0.60	1.20
Pistola Silicón	c/u	1	2.50	2.50
Silicón	barra	4	0.50	2
Cautín Lápiz ProsKit	c/u	1	6.00	6.00
Estaño	m	6	0.60	3.60
Cloruro Férrico	funda	6	0.90	5.40
Baquelita	A4	1	5.20	5.20

Forro de Mica	c/u	3	0.85	2.55
Caja de Dispositivos	c/u	3	9	18
Cinta de Peligro	m	100	0.15	15
Estacas	c/u	4	2.50	10
Lustre #1	c/u	1	0.60	0.60
Laca Protectora	c/u	1	2.50	2.50
Pasta de Soldadura	c/u	1	2.40	2.40
Resma Papel A4	c/u	1	4.00	4.00
Diseño Preliminar del Prototipo	hora	13	1.50	19.50
Diseño Final del Prototipo	hora	30	1.50	45.00
Imprevistos				50.00
TOTAL (USD)				591.85

Elaborado por: Investigador

El valor del diseño final del prototipo ha sido calculado en base a la información proporcionada por la tabla de sueldos mínimos sectoriales 2017 suministrada por el Ministerio del Trabajo del Gobierno Nacional de la República del Ecuador.

4.14. Presupuesto Total del Sistema

La Tabla 9 muestra el detalle del presupuesto utilizado para el diseño del sistema tomando en consideración las 46 chimeneas activas dentro del relleno.

Tabla 9. Presupuesto del Sistema

ELEMENTO	UNIDAD	CANTIDAD	COSTE UNITARIO (USD)	TOTAL (USD)
Arduino UNO	c/u	23	12.50	287.50
Arduino Nano	c/u	46	15.30	703.80
Shield SIM900	c/u	23	66.20	1522.60
Chip CLARO	c/u	23	5.00	115.00
DHT22	c/u	46	11.50	529.00
MQ4	c/u	46	15.60	717.60
NRF24L01	c/u	69	4.60	317.40
Cargador Solar	c/u	69	60	4140
Adaptador MicroSD	c/u	23	15.60	358.80
MicroSD	c/u	23	10	230.00
Cables Protokit Macho/Macho	juego	46	3	138.00
Led Rojo	c/u	23	0.10	2.30
Espadines Hembra	tira	92	0.60	55.20
Espadines Macho	tira	23	0.60	13.80
Pistola Silicón	c/u	1	2.50	2.50
Silicón	barra	92	0.50	46.00
Cautín Lápiz ProsKit	c/u	1	6.00	6.00
Estaño	m	138	0.60	82.80
Cloruro Férrico	funda	138	0.90	124.20
Baquelita	A4	23	5.20	119.60

Forro de Mica	c/u	92	0.85	78.20
Caja de Dispositivos	c/u	92	9	828
Lustre #1	c/u	20	0.60	12.00
Laca Protectora	c/u	5	2.50	12.50
Pasta de Soldadura	c/u	1	2.40	2.40
Resma Papel A4	c/u	3	4.00	12.00
Diseño Preliminar del Prototipo	hora	400	1.50	600
Diseño Final del Prototipo	hora	920	1.50	1380.00
Imprevistos				1500.00
TOTAL (USD)				13937.20

Elaborado por: Investigador

El valor del diseño final del sistema ha sido calculado en base a la información proporcionada por la tabla de sueldos mínimos sectoriales 2017 suministrada por el Ministerio del Trabajo del Gobierno Nacional de la República del Ecuador.

4.15. Análisis de resultados

Mediante el periodo de pruebas realizadas durante una semana en el relleno sanitario se ha podido obtener de acuerdo a los resultados un análisis detallado que representen de mejor manera el funcionamiento dentro del predio del relleno con valores reales.

Con el fin de evaluar los niveles de gas metano, temperatura y humedad de las chimeneas seleccionadas dentro del relleno se realizaron las siguientes gráficas correspondientes a las medidas tomadas por los sensores durante siete días consecutivos.

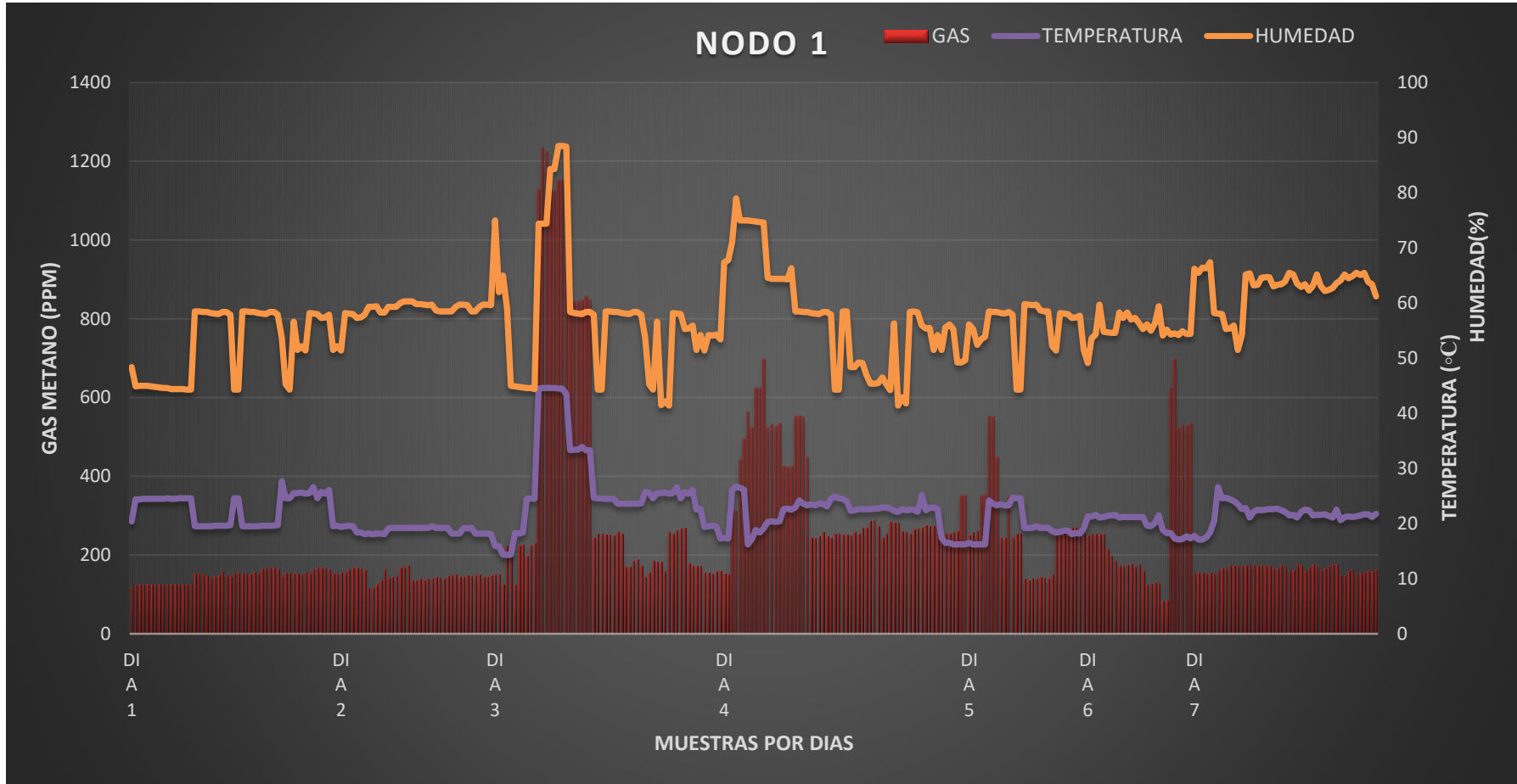


Figura 36. Datos del Nodo 1
 Elaborado por: Investigador
 61

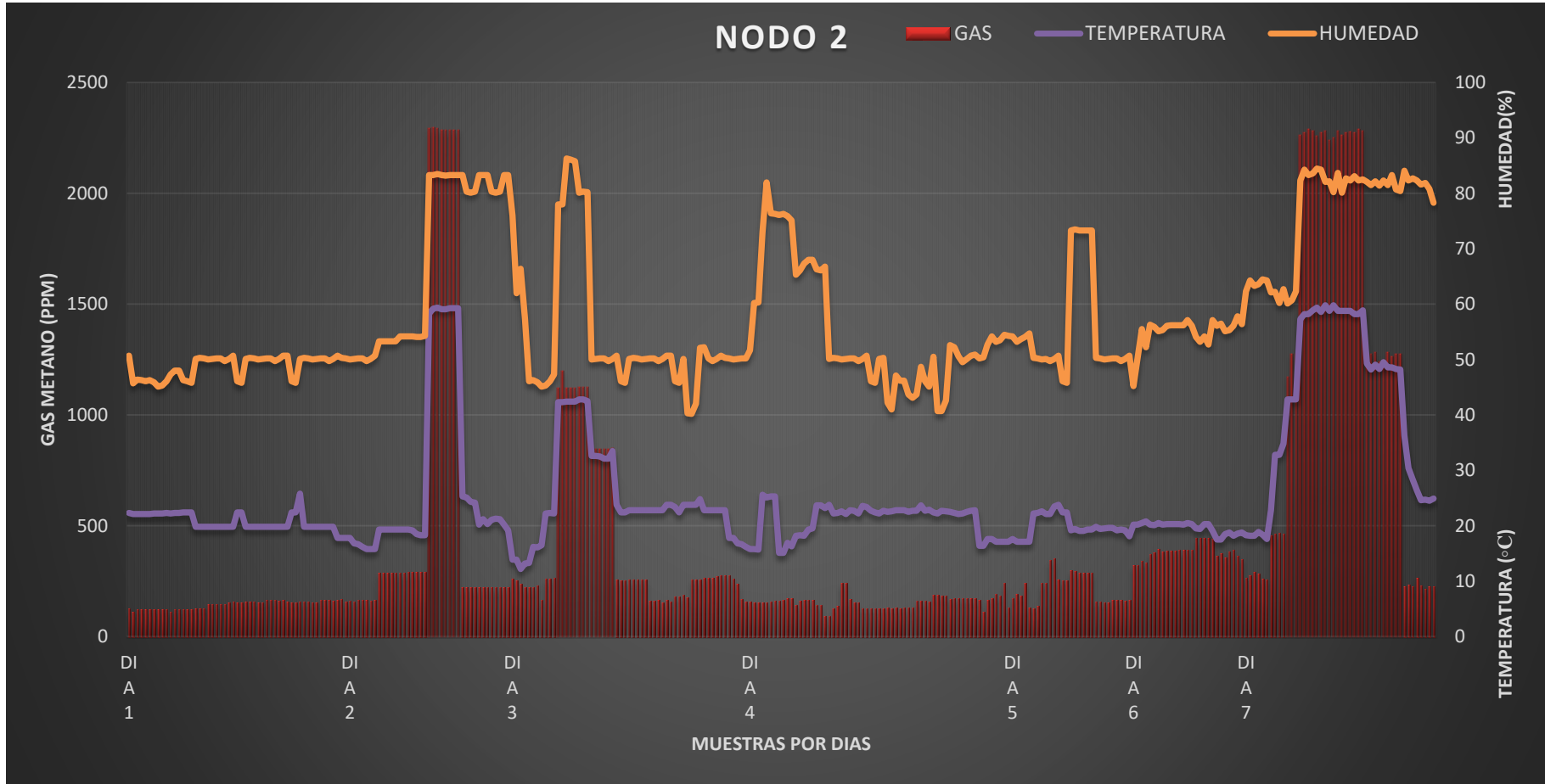


Figura 37. Datos del Nodo 2

Elaborado por: Investigador

Al analizar las gráficas anteriores, el nodo 1 en comparación con el nodo 2, muestra que la primera ha estado más activa en cuanto a la producción de metano por los picos que se divisan en la Figura 36, a pesar de ello los niveles de metano no sobrepasan los 1200 ppm aproximadamente, en promedio todos los picos de metano no sobrepasan los 700 ppm, en cuanto al nodo 2 posee 3 picos de metano bien definidos 2 de los cuales superan ampliamente los 2100 ppm; lo cual dio como resultado que la chimenea ubicada en el nodo 2 se encendiera automáticamente en contacto con el aire.

Adicionalmente, se puede apreciar que tanto la temperatura como la humedad son directamente proporcional con el gas metano, esto quiere decir, que si aumenta el nivel de gas metano también aumentan los valores de las otras variables.

En cuanto a la temperatura y humedad, los valores de ambas variables se han mantenido constantes por así decirlo, difiriendo si es de día o de noche, ya que por la proximidad de los sensores a las chimeneas no se podía apreciar en tal magnitud el cambio de temperatura.

El nivel de gas metano producido por el relleno sanitario de la empresa EPM-GIDSA no generaría explosiones dentro de los predios del relleno; debido a que la cantidad máxima de gas metano entregado por cada chimenea es aproximado de 2000 ppm, además estas chimeneas se encuentran separadas a 12 m evitando la acumulación de este gas. Por otro lado se considera al metano como explosivo en un rango entre 50000 ppm y 150000 ppm.

Cuando aumenta el nivel de metano alrededor de 2000 ppm se produce una llama que se enciende automáticamente al contacto con el aire, lo que resulta en la disminución del nivel del gas y por ende que se apague cuando los niveles están por debajo de lo establecido.

La temperatura en la chimenea, cuando el nivel de metano bordea los 1200 ppm aproximadamente es de 40°C, a partir de 2000 ppm dicha temperatura aumenta hasta los 60°C debido al calor que genera el gas.

Finalmente, los valores obtenidos por los dos nodos pueden determinar que el nivel de metano del relleno sanitario es completamente aleatorio e independiente, las chimeneas no son dependientes una de otra por lo que las lecturas varían entre sí, sin embargo pueden tener similitud de valores si están cerca; las alzas y bajas de los niveles de metano se dan por la dirección del viento ya que la posición en los que estaban puestos los dispositivos tenía una posición fija.

CAPITULO V

Conclusiones y Recomendaciones

5.1. Conclusiones

Al finalizar el presente proyecto de titulación se obtuvieron las siguientes conclusiones:

- De acuerdo a las gráficas características de cada nodo, se comprobó que los sensores utilizados tienen una alta sensibilidad, debido a que, en algunos casos el gas pasaba de un nivel estable a un valor alto en forma abrupta por la dirección del viento.
- Para el uso del sensor de gas metano se debe realizar una calibración previa en un ambiente de aire limpio, es decir, que no contenga niveles del gas que se vaya a medir, esto aumentará la sensibilidad del sensor una vez expuesto al gas.
- Cuando se realiza la calibración del sensor de gas metano se determina la resistencia a utilizarse con relación al aire limpio de acuerdo al sitio, una vez realizada las pruebas se determinó que una menor resistencia corresponde a un ambiente más limpio.
- La empresa EPM-GIDSA corresponde al tipo de relleno mecanizado, basado en la cantidad de basura diaria obtenida alrededor de 100 toneladas y anualmente en promedio la cantidad de residuos comunes que ingresan al relleno es de 92905.65 toneladas.

5.2. Recomendaciones

- Se recomienda tener un respaldo de los datos directamente hacia la base, es decir, enviar la información por medio del controlador central hacia un servidor conectado directamente al sistema.
- Realizar la adquisición de un hosting para el almacenamiento de los datos adquiridos por los dispositivos de cada nodo y la revisión de información a través del internet en cualquier parte del mundo.
- Verificar que la tasa de transmisión de los dispositivos de comunicación NRF24L01 sea la misma en todos los dispositivos a utilizar para su correcto funcionamiento.
- Diseñar un sistema completo para todo el relleno sanitario para el análisis de resultados y en base a ello, implementar una planta de recolección de biogás para la generación de electricidad.
- Realizar un diseño de protección de los dispositivos más adecuado tomando en cuenta factores como: lluvia, humedad, calor, viento, polvo y cualquier situación adicional adversa que se presente dentro del relleno.
- Es necesario implementar un sistema de alimentación ininterrumpida, para el suministro de energía de los dispositivos a través de paneles solares o energía renovable debido a que el sitio no cuenta con luz eléctrica.
- Realizar un plan de mantenimiento para los dispositivos que están expuestos a la intemperie y a la alta humedad que genera el relleno porque son susceptibles a daños internos y externos.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] N.N., «Climate Changes: Global Greenhouse Gas Emissions Data,» US EPA, [En línea]. Available: <http://www3.epa.gov/climatechange/ghgemissions/global.html#three>. [Último acceso: 11 03 2016].
- [2] G. M. Initiative, «Emisiones globales de metano y oportunidades de mitigación,» 2016. [En línea]. Available: http://www.globalmethane.org/documents/GMI_Mitigation-Factsheet_Spanish.pdf. [Último acceso: 11 03 2016].
- [3] M. d. Ambiente, «Programa 'PNGIDS' Ecuador,» 2016. [En línea]. Available: <http://www.ambiente.gob.ec/programa-pngids-ecuador/>. [Último acceso: 11 03 2016].
- [4] E. GIDSA, «Enfoque Estratégico,» GIDSA, 2016. [En línea]. Available: <http://epmgidsa.gob.ec/>. [Último acceso: 11 03 2016].
- [5] P. Zamonsky, «Captura y quema de biogás en rellenos sanitarios,» Aborgama, 2014. [En línea]. Available: http://expoambientaluruquay.net/pres2015/Pablo_Zamonsky_ABORGAMA.pdf. [Último acceso: 11 03 2016].
- [6] I. K. S. Ing. Wagner Colmenares, «Generación y manejo de gases en sitios de disposición final,» 2007. [En línea]. Available: <http://www.ingenieriaquimica.org/system/files/relleno-sanitario.pdf>. [Último acceso: 11 03 2016].
- [7] MURCO, «Gas Detection Solutions,» 2016. [En línea]. Available: <http://www.murcogasdetection.com/es/faq/faq-7-what-gas-concentration-to-detect/>. [Último acceso: 11 03 2016].
- [8] C. A. Reserve, «Protocolo de Reporte de Proyectos,» 2009. [En línea]. Available: <http://www.climateactionreserve.org/wp-content/uploads/2009/07/LF-Reporting-V1.0-Spanish.pdf>. [Último acceso: 11 03 2016].

- [9] M. Jia, L. Tong, Y. Cheng, L. Tan y Y. Lu, «Methane Emissions Monitoring of Rice Fields using RADARSAT-2 data,» University of Electronic Science and Technology of China, School of Automation Engineering and China Centre for Resources Satellite Data and Application, Beijing, 2013.
- [10] Z. Xuhui, «Visualization Calibration Method of an Intelligent Methane Detection System,» Xi'an University of Science and Technology, Xi'an, 2011.
- [11] wmacutel, «GESTIÓN Y DISEÑO EN TRATAMIENTO DE RESIDUOS SÓLIDOS,» 2007. [En línea]. Available: http://www.bvsde.paho.org/cursoa_rsm/e/unidades/unidad3.pdf. [Último acceso: 16 03 2016].
- [12] W. TOMASI, Sistemas de comunicaciones electrónicas, México: Pearson Educación, 2003.
- [13] B. & Asociados, Captura de gases de efecto invernadero de rellenos sanitarios para su aprovechamiento económico, Santiago: BID, 2006.
- [14] E. Röben, Diseño, Construcción, Operación y Cierre de Rellenos Sanitarios Municipales, Loja: DED, 2002.
- [15] L. S. Instituto de Educación Secundaria, «Sistemas Electrónicos,» Departamento de Tecnología, Albacete, 2008.
- [16] A. Serna Ruiz, F. Ros y J. C. Rico, «Guía Práctica de Sensores,» Creaciones Copyright, Madrid, 2010.
- [17] OSHWA, «Open source hardware association,» Febrero 2012. [En línea]. Available: <http://www.oshwa.org/definition/spanish/>. [Último acceso: 28 Julio 2016].
- [18] 330ohms, «¿Qué son los actuadores electrónicos?,» Derechos Reservados, México, 2013.
- [19] Linode, «LAMP GUIDES,» 26 Oct 2016. [En línea]. Available: <https://www.linode.com/docs/websites/lamp>. [Último acceso: 04 12 2016].
- [20] Automattic, «Wordpress,» Automattic Medley, [En línea]. Available: <https://es.wordpress.com/about/>. [Último acceso: 24 12 2017].
- [21] J. Garrido Pedraza, Fundamentos de Arduino, Autor, 2015.

- [22] E. Upton y G. Halfacree, «Raspberry Pi User Guide,» John Wiley & Sons Ltd. Publication, Chichester, 2012.
- [23] I. Corporation, «Intel Galileo Board User Guide,» Intel Corporation Copyright, EEUU, 2014.
- [24] Sparkfun, «Technical Data MQ4 Gas Sensor,» 2007. [En línea]. Available: <https://www.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Biometric/MQ-4.pdf>. [Último acceso: 24 12 2016].
- [25] J. Bell, P. Janicki y G. Yekta, «LANDFILL GAS TRAINING,» 05 10 2005. [En línea]. Available: <http://www.calrecycle.ca.gov/LEA/Training/Landfillgas/2005August/Presentation.pdf>. [Último acceso: 15 11 2016].
- [26] David, «Inscape Data,» 10 5 2004. [En línea]. Available: <http://www.inscapedata.com/pdf/IP68.pdf>. [Último acceso: 02 02 2017].
- [27] Sparkfun, «nRF24L01 Preliminary Product Specification,» 25 03 2008. [En línea]. Available: https://www.sparkfun.com/datasheets/Components/SMD/nRF24L01Pluss_Preliminary_Product_Specification_v1_0.pdf. [Último acceso: 15 12 2016].
- [28] D. Ashlock y A. Warren, «Guía de Acondicionamiento de Señales para Ingenieros,» National Instruments, Austin, 2015.

ANEXOS

Anexo A

Código de programación del procesamiento de señales analógicas correspondiente al nodo 1

El código fue realizado bajo el entorno de programación del IDE de Arduino.

```
#include <SPI.h>           //incluye librerías a utilizar
#include "nRF24L01.h"
#include "RF24.h"
#include "DHT.h"
#define    MQ1              (0)  //define la entrada analógica para el sensor
#define    RL_VALOR        (20)  //define el valor de la resistencia de carga en
kilo ohms según datasheet
#define    RAL    (4.47) // resistencia del sensor en el aire limpio / RO, que se deriva
de la tabla de la hoja de datos
#define    GAS_LP          (1)
String inputstring = ""; //Cadena recibida desde el PC
float    LPCurve[3] = {2.3,0.26,-0.37}; //Curva característica del sensor de metano
float    Ro    = 0; //Inicializa variable a determinar
#define DHTPIN 2          //define pines y sensores a utilizar
#define DHTTYPE DHT22
DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);
RF24 radio(9,10);

const uint64_t pipes[2] = { 0xF0F0F0F0A1LL, 0xF0F0F0F0A1LL }; //Dirección de
comunicación del nodo 1

int i=0;
void setup(void)
{
    pinMode(10, OUTPUT);
    Serial.begin(9600); //Velocidad de comunicacion
    pinMode(A0,INPUT); //modo de pines
```

```

Serial.println("Iniciando ..."); //configuración del sensor
Serial.print("Calibrando...\n");
Ro = Calibracion(MQ1);           //Calibrando el sensor. Por favor de asegurarse
que el sensor se encuentre en una zona de aire limpio mientras se calibra
Serial.print("Calibracion finalizada...\n");
Serial.print("Ro=");
Serial.print(Ro);
Serial.print("kohm");
Serial.print("\n");
radio.begin();
dht.begin();
radio.openWritingPipe(pipes[0]); // Camino de comunicación por el que va a escribir
}
void loop(void)
{
  radio.stopListening(); // Paramos la escucha para poder hablar
  int hum = dht.readHumidity()*10; //Procesamiento de humedad
  int tem= dht.readTemperature()*10; //Procesamiento Temperatura
  int gas=porcentaje_gas(lecturaMQ(MQ1)/Ro,GAS_LP); //Procesamiento gas metano
  if(gas==0)
  {
    gas=1;
  }
  Serial.print("CH4:");
  Serial.print(gas);
  Serial.print(" ppm ");
  Serial.print(" ");
  Serial.print("\n");
  String cad = (String)gas + (String)tem + (String)hum; //Cadena a enviar
  unsigned long long y = 0;

```



```

for (int i = 0; i < cad.length(); i++) { //Ordenar los datos a enviar
    char c = cad.charAt(i);
    if (c < '0' || c > '9') break;
    y *= 10;
    y += (c - '0');
}

Serial.print("Enviando... ");
Serial.print("G");
Serial.print(gas);
Serial.print("T");
Serial.print(tem);
Serial.print("H");
Serial.print(hum);
Serial.print(" CADENA: ");
Serial.print(cad);
Serial.println();
bool ok = radio.write( &y, sizeof(unsigned long)); //Cadena concatenada de datos a
enviar
    if (ok)
        Serial.println("DATO ENVIADO");
    else
        Serial.println("ERROR CONEXION");

    radio.startListening(); //Volvemos a la escucha
}
float calc_res(int raw_adc) //Configuración ADC para cálculo de resistencia
{
    return ( ((float)RL_VALOR*(1023-raw_adc)/raw_adc));
}

```

```

float Calibracion(float mq_pin){//Calibración del sensor MQ4
  int i;
  float val=0;
  for (i=0;i<50;i++) {      //tomar múltiples muestras
    val += calc_res(analogRead(mq_pin));
    delay(500);
  }
  val = val/50; //calcular el valor medio
  val = val/RAL;
  return val;
}

```

```

float lecturaMQ(int mq_pin){//Lectura de señales del sensor MQ4
  int i;
  float rs=0;
  for (i=0;i<5;i++) {
    rs += calc_res(analogRead(A0));
    delay(50);
  }
  rs = rs/5;
  return rs;
}

```

```

int porcentaje_gas(float rs_ro_ratio, int gas_id){//Transformación de valores de
resistencia a ppm
  if ( gas_id == GAS_LP ) {
    return porcentaje_gas(rs_ro_ratio,LPCurve);
  }
  return 0;
}

```

```
int porcentaje_gas(float rs_ro_ratio, float *pcurve){//Delimitador de ppm a medir
    return (pow(10, (((log(rs_ro_ratio)-pcurve[1])/pcurve[2]) + pcurve[0])));
}
```

Anexo B

Código de programación del procesamiento de señales analógicas correspondiente al nodo 2

El código fue realizado bajo el entorno de programación del IDE de Arduino.

```
#include <SPI.h>
#include "nRF24L01.h"
#include "RF24.h"
#include "DHT.h"
#define MQ1 (0) //define la entrada analógica para el sensor
#define RL_VALOR (20) //define el valor de la resistencia de carga en kilo ohms
#define RAL (4.47) // resistencia del sensor en el aire limpio / RO, que se deriva de la tabla de la hoja de datos
#define GAS_LP (1)
String inputstring = ""; //Cadena recibida desde el PC
float LPCurve[3] = {2.3,0.26,-0.37};
float Ro = 0;
#define DHTPIN 2
#define DHTTYPE DHT22
DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);
RF24 radio(9,10);

const uint64_t pipes[2] = { 0xF0F0F0F0E2LL, 0xF0F0F0F0E2LL };

char buff[10];
int i=0;
void setup(void)
{
    pinMode(10, OUTPUT); //Pin de NRF24L01
    Serial.begin(9600); //Comunicación a 9600
    pinMode(A0,INPUT);
```

```

Serial.println("Iniciando ..."); //configuración del sensor
Serial.print("Calibrando...\n");
Ro = Calibracion(MQ1);           //Calibrando el sensor. Por favor de asegurarse
que el sensor se encuentre en una zona de aire limpio mientras se calibra
Serial.print("Calibracion finalizada...\n");
Serial.print("Ro=");
Serial.print(Ro);
Serial.print("kohm");
Serial.print("\n");
radio.begin();
dht.begin();
// Canal de comunicación
radio.openWritingPipe(pipes[1]);
}
void loop(void)
{
  radio.stopListening(); // Paramos la escucha para poder hablar
  int hum = dht.readHumidity()*10;
  int tem= dht.readTemperature()*10;
  int gas=porcentaje_gas(lecturaMQ(MQ1)/Ro,GAS_LP);
  if(gas==0)
  {
    gas=1;
  }
  Serial.print("CH4:");
  Serial.print(gas);
  Serial.print(" ppm");
  Serial.print(" ");
  Serial.print("\n");
  String cad = (String)gas + (String)tem + (String)hum;
  unsigned long long y = 0;

```

```

for (int i = 0; i < cad.length(); i++) {
    char c = cad.charAt(i);
    if (c < '0' || c > '9') break;
    y *= 10;
    y += (c - '0');
}

Serial.print("Enviando... ");
Serial.print("G");
Serial.print(gas);
Serial.print("T");
Serial.print(tem);
Serial.print("H");
Serial.print(hum);
Serial.print(" CADENA: ");
Serial.print(cad);
Serial.println();
    bool ok = radio.write( &y, sizeof(unsigned long));
if (ok)
    Serial.println("DATO ENVIADO");
else
    Serial.println("ERROR CONEXION");

    radio.startListening();    //Volvemos a la escucha
}
float calc_res(int raw_adc)
{
    return ( ((float)RL_VALOR*(1023-raw_adc)/raw_adc));
}

```

```

float Calibracion(float mq_pin){
    int i;
    float val=0;
    for (i=0;i<50;i++) { //tomar múltiples muestras
        val += calc_res(analogRead(A0));
        delay(500);
    }
    val = val/50; //calcular el valor medio
    val = val/RAL;
    return val;
}

```

```

float lecturaMQ(int mq_pin){
    int i;
    float rs=0;
    for (i=0;i<5;i++) {
        rs += calc_res(analogRead(A0));
        delay(50);
    }
    rs = rs/5;
    return rs;
}

```

```

int porcentaje_gas(float rs_ro_ratio, int gas_id){
    if ( gas_id == GAS_LP ) {
        return porcentaje_gas(rs_ro_ratio,LPCurve);
    }
    return 0;
}

```

```

int porcentaje_gas(float rs_ro_ratio, float *pcurve){

```

```
return (pow(10, (((log(rs_ro_ratio)-pcurve[1])/pcurve[2]) + pcurve[0]]));  
}
```


Anexo C

Código de Programación del controlador central para la recepción de datos

El código fue realizado bajo el entorno de programación del IDE de Arduino.

```
#include <SPI.h>
#include "nRF24L01.h"
#include "RF24.h"
#include <SoftwareSerial.h>
#include <String.h>

SoftwareSerial mySerial(7, 8);      //pines de comunicación lógicos

RF24 radio(9,10);
//
const uint64_t pipes[2] = {0xF0F0F0F0A1LL, 0xF0F0F0F0E2LL};

int i;
bool bandera=false;

float temperatura=0;      //inicialización de variables
float humedad=0;
float gs=0;

float tem1,hum1,gas1;
float tem2,hum2,gas2;

String datosSD;
unsigned long retardo = 0;//4,294,967,295

void setup(void)
{
  Serial.begin(9600);
```

```

mySerial.begin(19200);          // the GPRS baud rate
delay(500);
pinMode(10, OUTPUT);           //modo de los pines a utilizar
pinMode(18, OUTPUT);
pinMode(19, OUTPUT);
digitalWrite(19,LOW);
radio.begin();
radio.startListening();
radio.openReadingPipe(2,pipes[0]); //direcciones por el que va a leer
radio.openReadingPipe(1,pipes[1]);
//Serial.print("HOLA \n MUNDO");

}

void loop()
{
  delayMicroseconds(10);
  radio.stopListening();
  delayMicroseconds(10);
  delayMicroseconds(10);
  radio.startListening();
  delayMicroseconds(10);
  for(i=0;i<2;i++)
  {
    gs=temperatura=humedad=0;
    leesclavo();           //método de lectura
    gas1=gs;
    tem1=temperatura;
    hum1=humedad;
    delay(112);//tiempo de espera
  }
}

```

```

if(gas1==0)
{
    leeresclavo();
}
delayMicroseconds(10);
radio.stopListening();
delayMicroseconds(10);
delayMicroseconds(10);
radio.startListening();
delayMicroseconds(10);
for(i=0;i<2;i++)
{
    gs=temperatura=humedad=0;
    leeresclavo();
    gas2=gs;
    tem2=temperatura;
    hum2=humedad;
    delay(112);//tiempo de espera
}
if(gas1!=0&&tem1!=0&&hum1!=0&&gas2!=0&&tem2!=0&&hum2!=0)
// if(gas1!=0||tem1!=0||hum1!=0||gas2!=0||tem2!=0||hum2!=0)
{
    Serial.print("G1: ");
    Serial.print(gas1);
    Serial.print(" T1: ");
    Serial.print(tem1);
    Serial.print(" H1: ");
    Serial.print(hum1);
    Serial.print(" G2: ");
    Serial.print(gas2);
    Serial.print(" T2: ");

```

```

Serial.print(tem2);
Serial.print(" H2: ");
Serial.println(hum2);
datosSD="(", 1, "(String)gas1+", "(String)tem1+", "(String)hum1+"),"+'\n';
escribirSD(datosSD);          //cadena que se guarda en la MicroSD
delay(100);
datosSD="(", 2, "(String)gas2+", "(String)tem2+", "(String)hum2+"),"+'\n';
escribirSD(datosSD);          //cadena que se guarda en la MicroSD
delay(100);
if(gas1<40000 && gas2<40000)
{
  retardo = 0;
}
}
if( (gas1>=40000 || gas2>=40000 ) && retardo == 0)
{
  Serial.print("Enviando SMS... ");
  enviarSMS();          //método para enviar mensaje de texto
  retardo=1;
}
gas1=gas2=tem1=tem2=hum1=hum2=0;
}
void leesclavo()
{
  if ( radio.available() && (gs == 0 && temperatura == 0 && humedad == 0)) // Si hay
datos disponibles y que no exista valores iguales a cero
{
  unsigned long din=0;
  int temp=0;
  int hum=0;
  int gas=0;

```

```

bool listo = false;
while (!listo)    // Espera aquí hasta recibir algo
{
    listo = radio.read( &din, sizeof(unsigned long) );
}
String datos = (String)din;
switch(datos.length())
{
    case 7:
        gas = (datos.substring(0, 1)).toInt();
        temp = (datos.substring(1, 4)).toInt();
        hum = (datos.substring(4, 7)).toInt();
        break;
    case 8:
        gas = (datos.substring(0, 2)).toInt();
        temp = (datos.substring(2, 5)).toInt();
        hum = (datos.substring(5, 8)).toInt();
        break;
    case 9:
        gas = (datos.substring(0, 3)).toInt();
        temp = (datos.substring(3, 6)).toInt();
        hum = (datos.substring(6, 9)).toInt();
        break;
    case 10:
        gas = (datos.substring(0, 4)).toInt();
        temp = (datos.substring(4, 7)).toInt();
        hum = (datos.substring(7, 10)).toInt();
        break;
}
temperatura = temp/10.0;
humedad = hum/10.0;

```

```
gs = gas;  
delayMicroseconds(50);  
}  
}
```

Anexo D

Módulo de Envío de Mensajes

El código fue realizado bajo el entorno de programación del IDE de Arduino.

```
void enviarSMS()
{
  Serial.println("Metodo SMS");
  mySerial.print("AT+CMGF=1\r"); //Código para envío de SMS
  delay(100);
  mySerial.println("AT + CMGS = \"+593983796593\"); //Añadir siempre el código del
país antes del numero celular
  delay(100);
  mySerial.println("ALARMA! NIVELES NORMALES EXCEDIDOS");//Contenido
del mensaje
  delay(100);
  mySerial.println((char)26);
  delay(100);
  mySerial.println();
}
```

Anexo E

Módulo para el almacenamiento de datos en la MicroSD

El código fue realizado bajo el entorno de programación del IDE de Arduino.

```
#include <SPI.h>
#include "SdFat.h"
SdFat SD;

File myFile;

void escribirSD(String datosAlmacenar)
{
  if (!SD.begin(4))          //verifica si existe el módulo de MicroSD
  {
    Serial.println("ERROR EN INICIO DE SD!");
    digitalWrite(18,HIGH);    //enciende led para visualizer el error
    return;
  }
  myFile = SD.open("datalogger.txt", FILE_WRITE); //archive de texto datalogger
  para almacenar los datos
  if (myFile)
  {
    myFile.println(datosAlmacenar);          //instrucción de almacenamiento de
  información
    myFile.close();          //siempre hay que cerrar el archivo si no se pueden perder los
  datos
    digitalWrite(18,LOW);
  }
  else
  {
    Serial.println("ERROR ABRIENDO ARCHIVO");
  }
}
```


Anexo F

Código de Programación para la creación de un archivo pdf a partir de la base de datos

El código fue realizado mediante código php y html dentro del entorno Wordpress.

```
<link rel="stylesheet"
href="https://ajax.googleapis.com/ajax/libs/jqueryui/1.11.4/themes/smoothness/jquery-
ui.css">
<script
src="https://ajax.googleapis.com/ajax/libs/jquery/1.11.3/jquery.min.js"></script>
<script src="https://ajax.googleapis.com/ajax/libs/jqueryui/1.11.4/jquery-
ui.min.js"></script>

<script>
$(document).ready(function() { //función genera cuadro para ingresar la
hora
    $("#datepicker1").datepicker();
});
</script>

<script>
$(document).ready(function() { //funcion genera cuadro de ingreso de
fecha
    $("#datepicker2").datepicker();
});
</script>

&nbsp;
<div align="center">
<h1>Ingresar el rango de fecha que desea generar el reporte!</h1>
&nbsp;
```

```
<form id="form1" action="/pdf/texto.php" method="get" name="form1">
<div align="center">
Desde(hh:mm):
<input id="tiempo1" name="tiempo1" type="time" value="00:00" />
<label for="fecha1"></label>
<input id="datepicker1" name="fecha1" type="text" />
Hasta(hh:mm):
<input id="tiempo2" name="tiempo2" type="time" value="23:59"/>
<label for="fecha2"></label>
<input id="datepicker2" name="fecha2" type="text" /><input id="Enviar"
name="Enviar" type="submit" value="Enviar" /></form></div>
&nbsp;
```

Anexo G

Código de Programación para la visualización de la gráfica de la base de datos del

Nodo 1

El código fue realizado mediante código php y html dentro del entorno Wordpress.

```
<html>
<?php
$con=mysqli_connect("localhost","root","root","tabla") or die ("no conecta");
header("refresh: 5;");
$cond1 = mysqli_query($con, "SELECT * FROM Datos WHERE ID = 1 ORDER BY
TIEMPO DESC");
$cond2 = mysqli_query($con, "SELECT * FROM Datos WHERE ID = 1 ORDER BY
TIEMPO DESC");
$cond3 = mysqli_query($con, "SELECT * FROM Datos WHERE ID = 1 ORDER BY
TIEMPO DESC");
$vlm = mysqli_fetch_array(mysqli_query($con, "SELECT COUNT(*) FROM Datos
WHERE ID = 1 ORDER BY TIEMPO DESC")); //id 1 debido a que es solo datos
del nodo 1
$i=0;$j=0;$k=0;
while($vecd1 = mysqli_fetch_array($cond1))
{
$id[$i]=$vecd1['TIEMPO'];
$dato1[$i]=$vecd1['GAS'];
$i++;
}
while($vecd2 = mysqli_fetch_array($cond2))
{
$dato2[$j]=$vecd2['TEMPERATURA'];
$j++;
}
while($vecd3 = mysqli_fetch_array($cond3))
{
```

```

$dato3[$k]=$vecd3['HUMEDAD'];
$k++;
}
date_default_timezone_set("America/Guayaquil");
$hora= date ("h:i:s");
$fecha= date ("j/n/Y");
?>
<th>
[easychart type="line" height="400" width="800" title="Presentación de datos"
groupnames="GAS, TEMPERATURA, HUMEDAD" valuenames="<?php
for($k = 0; $k < 40; $k++)
{
echo $id[$k];
if($k==39)
echo ";
else
echo ',';
}
?>" group1values="<?php
for($k = 0; $k < 40; $k++)
{
echo $dato1[$k];
if($k==39)
echo ";
else
echo ',';
}
?>" group2values="<?php
for($k = 0; $k < 40; $k++)
{
echo $dato2[$k];

```

```
if($k==39)
    echo "
else
    echo ',';
}
?>" group3values="<?php
for($k = 0; $k < 40; $k++)
{
    echo $dato3[$k];
    if($k==39)
        echo "
    else
        echo ',';
}
?>
</th>
</tr>
</table>
</html>
```

Anexo H

Código de Programación para la visualización de la gráfica de la base de datos del

Nodo 2

El código fue realizado mediante código php y html dentro del entorno Wordpress.

```
<html>
<table style="width:150%">
  <tr>
    <?php
$con=mysqli_connect("localhost","root","root","tabla") or die ("no conecta");
header("refresh: 5;");
$cond1 = mysqli_query($con, "SELECT * FROM Datos WHERE ID = 2 ORDER BY
TIEMPO DESC");
$cond2 = mysqli_query($con, "SELECT * FROM Datos WHERE ID = 2 ORDER BY
TIEMPO DESC");
$cond3 = mysqli_query($con, "SELECT * FROM Datos WHERE ID = 2 ORDER BY
TIEMPO DESC");
$vlm = mysqli_fetch_array(mysqli_query($con, "SELECT COUNT(*) FROM Datos
WHERE ID = 2 ORDER BY TIEMPO DESC")); //id 2 debido a que es solo datos
del nodo 2
$i=0;$j=0;$k=0;
while($vecd1 = mysqli_fetch_array($cond1))
{
$id[$i]=$vecd1['TIEMPO'];
$dato1[$i]=$vecd1['GAS'];
$i++;
}
while($vecd2 = mysqli_fetch_array($cond2))
{
$dato2[$j]=$vecd2['TEMPERATURA'];
$j++;
}
```

```

while($vecd3 = mysqli_fetch_array($cond3))
{
$dato3[$k]=$vecd3['HUMEDAD'];
$k++;
}
date_default_timezone_set("America/Guayaquil");
$hora= date ("h:i:s");
$fecha= date ("j/n/Y");
?>
<th>
[easychart type="line" height="500" width="1670" title="Presentación de datos"
groupnames="GAS, TEMPERATURA, HUMEDAD" valuenames="<?php
for($k = 0; $k < 40; $k++)
{
echo $id[$k];
if($k==39)
echo ";
else
echo ',';
}
?>" group1values="<?php
for($k = 0; $k < 40; $k++)
{
echo $dato1[$k];
if($k==39)
echo ";
else
echo ',';
}
?>" group2values="<?php
for($k = 0; $k < 40; $k++)

```

```
{
    echo $dato2[$k];
    if($k==39)
        echo "
    else
        echo ',';
}
?>" group3values="<?php
for($k = 0; $k < 40; $k++)
{
    echo $dato3[$k];
    if($k==39)
        echo "
    else
        echo ',';
}
?>
</th>
</tr>
</table>
</html>
```


Anexo I

Datasheet MQ4

TECHNICAL DATA

MQ-4 GAS SENSOR

FEATURES

- * High sensitivity to CH₄, Natural gas.
- * Small sensitivity to alcohol, smoke.
- * Fast response . * Stable and long life * Simple drive circuit

APPLICATION

They are used in gas leakage detecting equipments in family and industry, are suitable for detecting of CH₄, Natural gas, LNG, avoid the noise of alcohol and cooking fumes and cigarette smoke.

SPECIFICATIONS

A. Standard work condition

Symbol	Parameter name	Technical condition	Remarks
V _c	Circuit voltage	5V±0.1	AC OR DC
V _H	Heating voltage	5V±0.1	AC OR DC
P _L	Load resistance	20K Ω	
R _H	Heater resistance	33 Ω ± 5%	Room Tem
P _H	Heating consumption	less than 750mw	

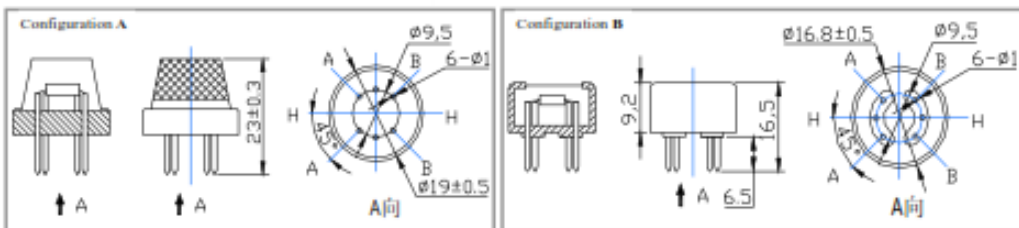
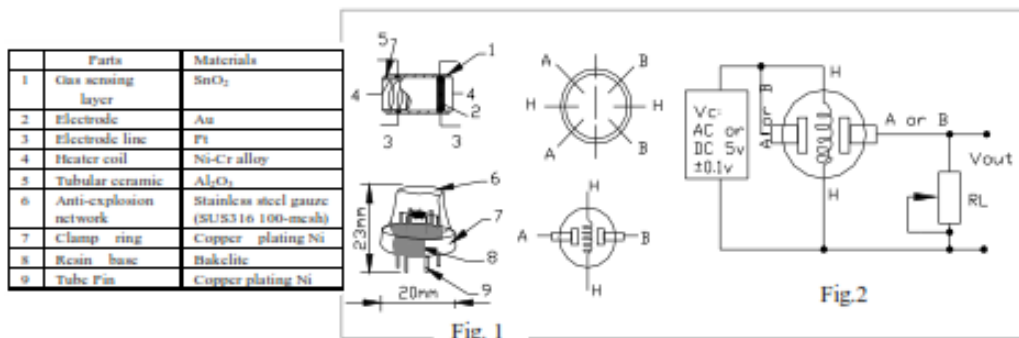
B. Environment condition

Symbol	Parameter name	Technical condition	Remarks
T _{ao}	Using Tem	-10°C -50°C	
T _{as}	Storage Tem	-20°C -70°C	
R _H	Related humidity	less than 95%Rh	
O ₂	Oxygen concentration	21%(standard condition)Oxygen concentration can affect sensitivity	minimum value is over 2%

C. Sensitivity characteristic

Symbol	Parameter name	Technical parameter	Remark 2
R _s	Sensing Resistance	10K Ω - 60K Ω (1000ppm CH ₄)	Detecting concentration scope: 200-10000ppm CH ₄ , natural gas
α (1000ppm/ 5000ppm CH ₄)	Concentration slope rate	≤0.6	
Standard detecting condition	Temp: 20°C ± 2°C Humidity: 65%±5%	V _c :5V±0.1 V _H : 5V±0.1	
Preheat time	Over 24 hour		

D. Structure and configuration, basic measuring circuit



Structure and configuration of MQ-4 gas sensor is shown as Fig. 1 (Configuration A or B), sensor composed by micro Al_2O_3 ceramic tube, Tin Dioxide (SnO_2) sensitive layer, measuring electrode and heater are fixed into a crust made by plastic and stainless steel net. The heater provides necessary work conditions for work of sensitive components. The enveloped MQ-4 have 6 pin ,4 of them are used to fetch signals, and other 2 are used for providing heating current.

Electric parameter measurement circuit is shown as Fig.2

E. Sensitivity characteristic curve

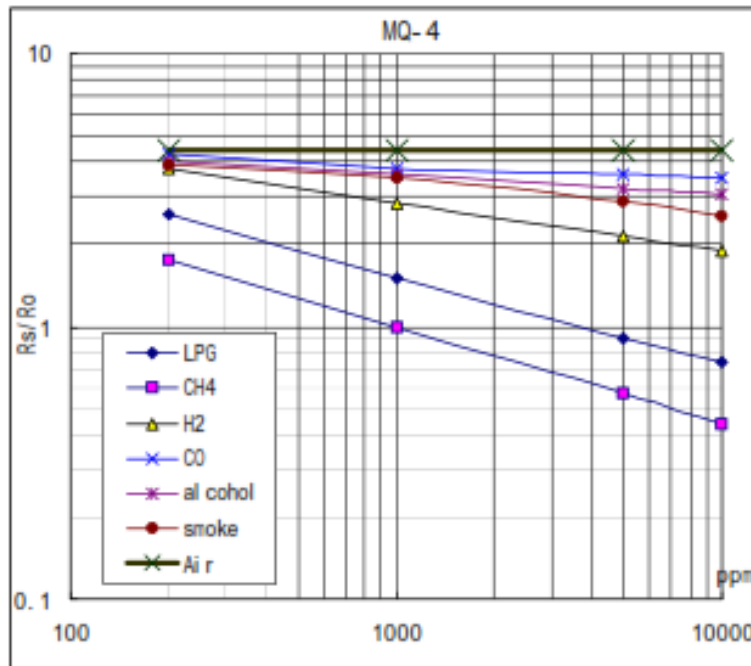


Fig.2 sensitivity characteristics of the MQ-4

Fig.3 is shows the typical sensitivity characteristics of the MQ-4 for several gases.

in their: Temp: 20°C,
Humidity: 65%,
O₂ concentration 21%
RL=20k Ω

R₀: sensor resistance at 1000ppm of CH₄ in the clean air.
R_s:sensor resistance at various concentrations of gases.

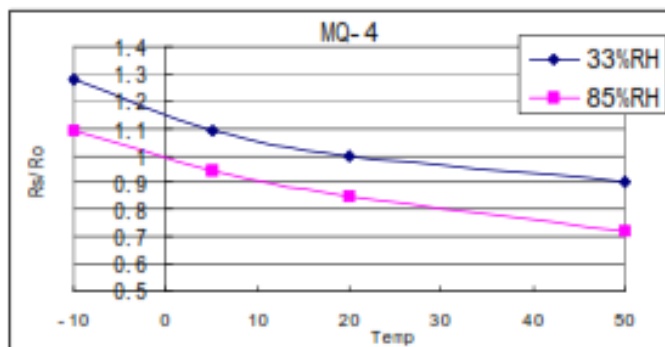


Fig.4 is shows the typical dependence of the MQ-4 on temperature and humidity.

R₀: sensor resistance at 1000ppm of CH₄ in air at 33%RH and 20 degree.

R_s: sensor resistance at 1000ppm of CH₄ in air at different temperatures and humidities.

SENSITIVITY ADJUSTMENT

Resistance value of MQ-4 is difference to various kinds and various concentration gases. So, When using this components, sensitivity adjustment is very necessary. we recommend that you calibrate the detector for 5000ppm of CH₄ concentration in air and use value of Load resistance (R_L) about 20K Ω (10K Ω to 47K Ω).

When accurately measuring, the proper alarm point for the gas detector should be determined after considering the temperature and humidity influence.

Anexo J

Datasheet DHT22

Aosong Electronics Co.,Ltd

Your specialist in innovating humidity & temperature sensors

Digital-output relative humidity & temperature sensor/module

DHT22 (DHT22 also named as AM2302)



Capacitive-type humidity and temperature module/sensor

1

Thomas Liu (Business Manager)

Email: thomasliu198518@yahoo.com.cn

Aosong Electronics Co.,Ltd

Your specialist in innovating humidity & temperature sensors

1. Feature & Application:

- * Full range temperature compensated
- * Relative humidity and temperature measurement
- * Calibrated digital signal
- * Outstanding long-term stability
- * Extra components not needed
- * Long transmission distance
- * Low power consumption
- * 4 pins packaged and fully interchangeable

2. Description:

DHT22 output calibrated digital signal. It utilizes exclusive digital-signal-collecting-technique and humidity sensing technology, assuring its reliability and stability. Its sensing elements is connected with 8-bit single-chip computer.

Every sensor of this model is temperature compensated and calibrated in accurate calibration chamber and the calibration-coefficient is saved in type of programme in OTP memory, when the sensor is detecting, it will cite coefficient from memory.

Small size & low consumption & long transmission distance(20m) enable DHT22 to be suited in all kinds of harsh application occasions.

Single-row packaged with four pins, making the connection very convenient.

3. Technical Specification:

Model	DHT22
Power supply	3.3-6V DC
Output signal	digital signal via single-bus
Sensing element	Polymer capacitor
Operating range	humidity 0-100%RH; temperature -40~80Celsius
Accuracy	humidity +2%RH(Max +5%RH); temperature <+-0.5Celsius
Resolution or sensitivity	humidity 0.1%RH; temperature 0.1Celsius
Repeatability	humidity +-1%RH; temperature +-0.2Celsius
Humidity hysteresis	+0.3%RH
Long-term Stability	+0.5%RH/year
Sensing period	Average: 2s
Interchangeability	fully interchangeable
Dimensions	small size 14*18*5.5mm; big size 22*28*5mm

4. Dimensions: (unit----mm)

1) Small size dimensions: (unit----mm)

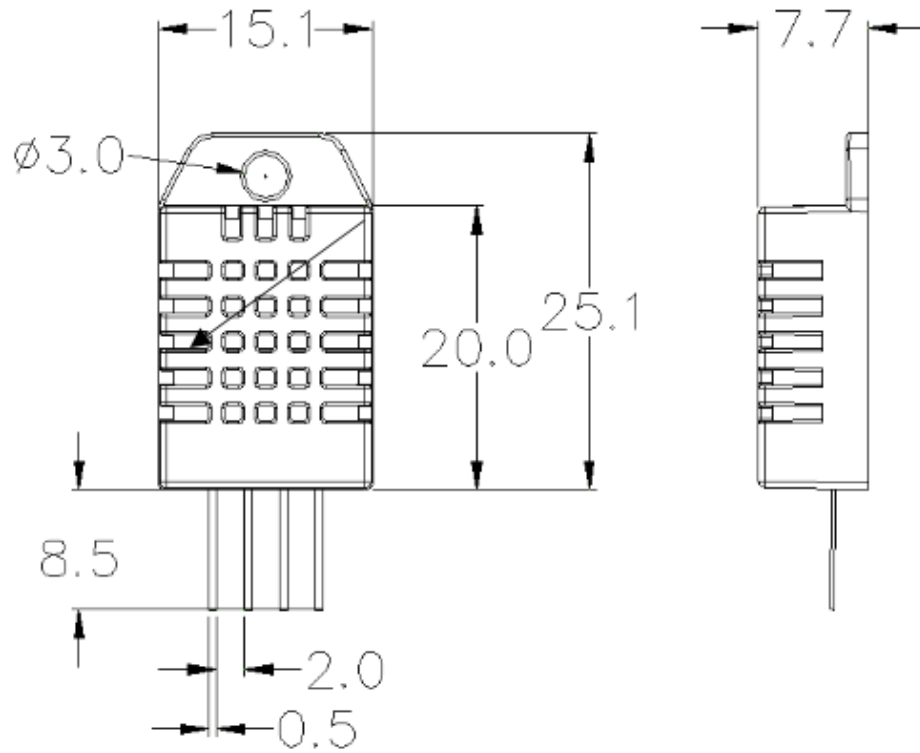
2

Thomas Liu (Business Manager)

Email: thomasliu198518@yahoo.com.cn

Aosong Electronics Co.,Ltd

Your specialist in innovating humidity & temperature sensors



Pin sequence number: 1 2 3 4 (from left to right direction).

Pin	Function
1	VDD---power supply
2	DATA--signal
3	NULL
4	GND

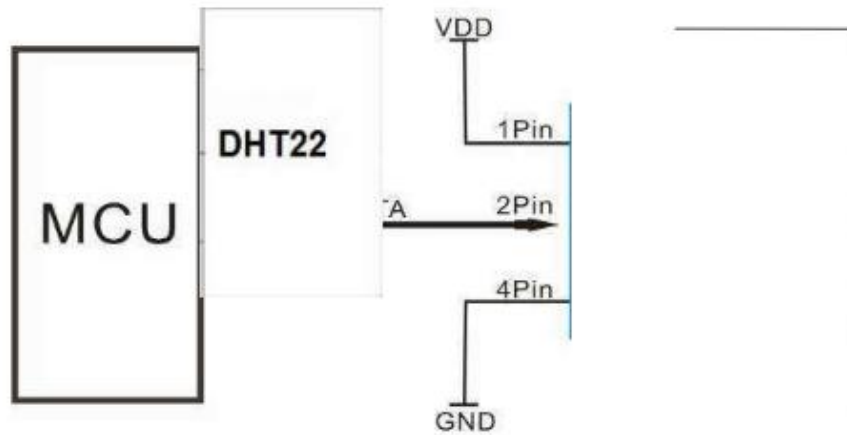
Thomas Liu (Business Manager)

Email: thomasliu198518@yahoo.com.cn

Aosong Electronics Co.,Ltd

Your specialist in innovating humidity & temperature sensors

5. Electrical connection diagram:



3Pin---NC, AM2302 is another name for DHT22

6. Operating specifications:

(1) Power and Pins

Power's voltage should be 3.3-6V DC. When power is supplied to sensor, don't send any instruction to the sensor within one second to pass unstable status. One capacitor valued 100nF can be added between VDD and GND for wave filtering.

(2) Communication and signal

Single-bus data is used for communication between MCU and DHT22, it costs 5mS for single time communication.

Data is comprised of integral and decimal part, the following is the formula for data.

DHT22 send out higher data bit firstly!

DATA=8 bit integral RH data+8 bit decimal RH data+8 bit integral T data+8 bit decimal T data+8 bit check-sum
If the data transmission is right, check-sum should be the last 8 bit of "8 bit integral RH data+8 bit decimal RH data+8 bit integral T data+8 bit decimal T data".

When MCU send start signal, DHT22 change from low-power-consumption-mode to running-mode. When MCU finishes sending the start signal, DHT22 will send response signal of 40-bit data that reflect the relative humidity

5

Thomas Liu (Business Manager)

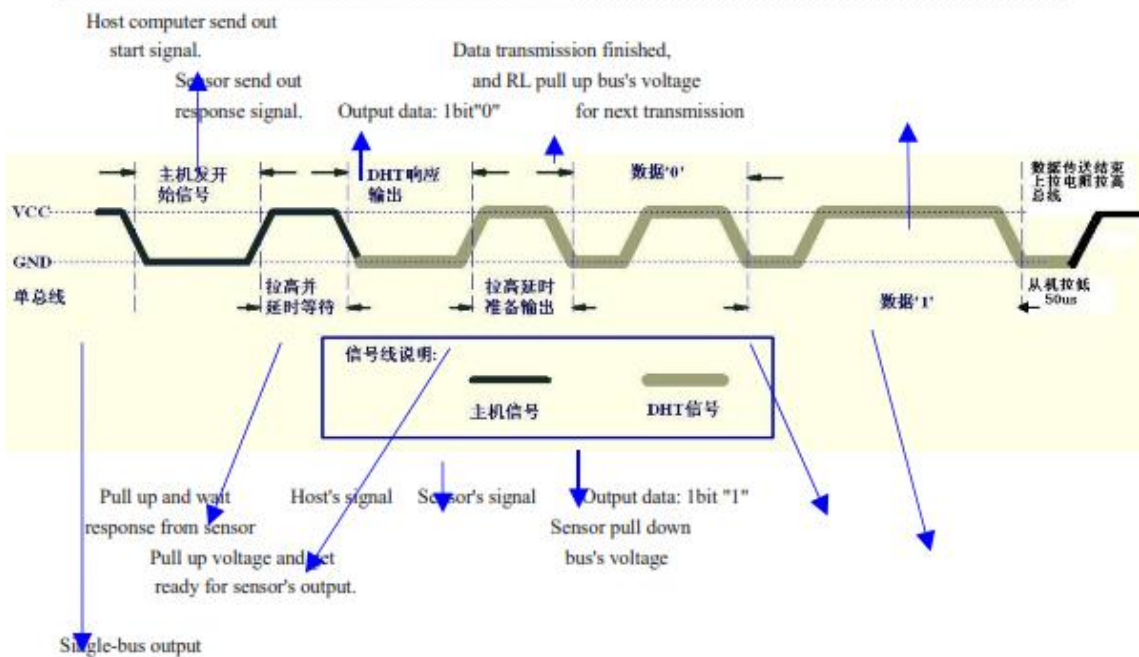
Email: thomasliu198518@yahoo.com.cn

Aosong Electronics Co.,Ltd

Your specialist in innovating humidity & temperature sensors

and temperature information to MCU. Without start signal from MCU, DHT22 will not give response signal to MCU. One start signal for one time's response data that reflect the relative humidity and temperature information from DHT22. DHT22 will change to low-power-consumption-mode when data collecting finish if it don't receive start signal from MCU again.

1) Check bellow picture for overall communication process:



2) Step 1: MCU send out start signal to DHT22

Data-bus's free status is high voltage level. When communication between MCU and DHT22 begin, program of MCU will transform data-bus's voltage level from high to low level and this process must beyond at least 1ms to ensure DHT22 could detect MCU's signal, then MCU will wait 20-40us for DHT22's response.

Check bellow picture for step 1:

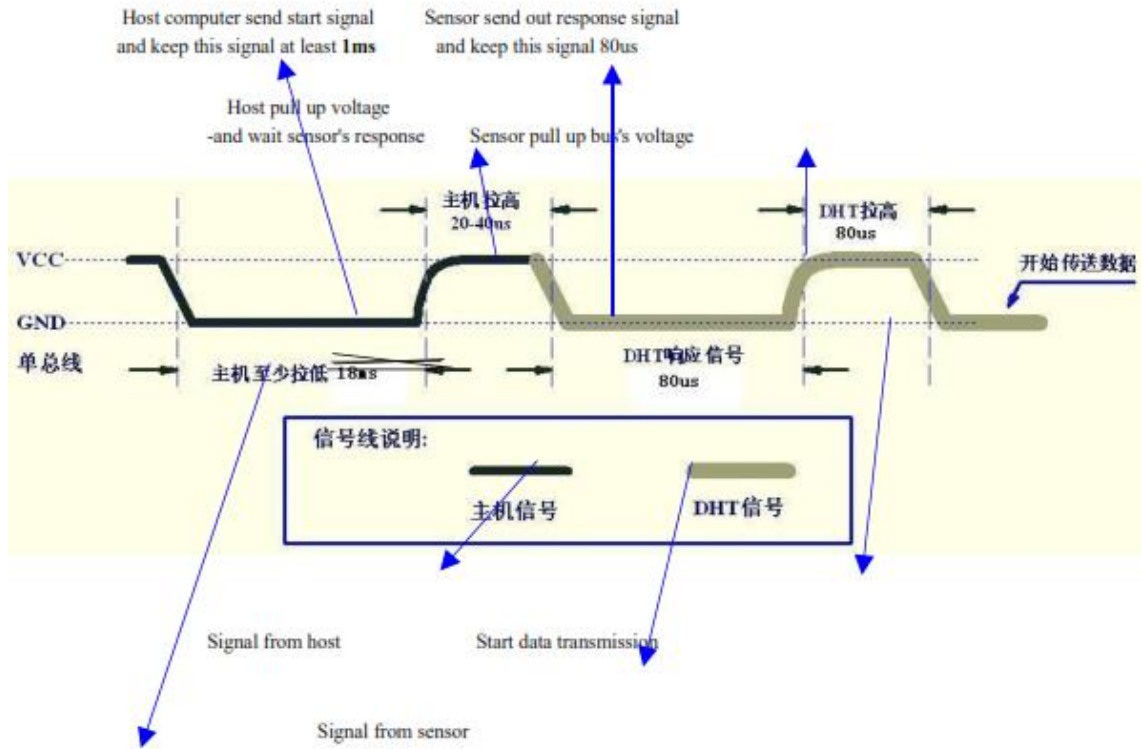
6

Thomas Liu (Business Manager)

Email: thomasliu198518@yahoo.com.cn

Aosong Electronics Co.,Ltd

Your specialist in innovating humidity & temperature sensors



Single-bus signal

Step 2: DHT22 send response signal to MCU

When DHT22 detect the start signal, DHT22 will send out low-voltage-level signal and this signal last 80us as response signal, then program of DHT22 transform data-bus's voltage level from low to high level and last 80us for DHT22's preparation to send data.

Check bellow picture for step 2:

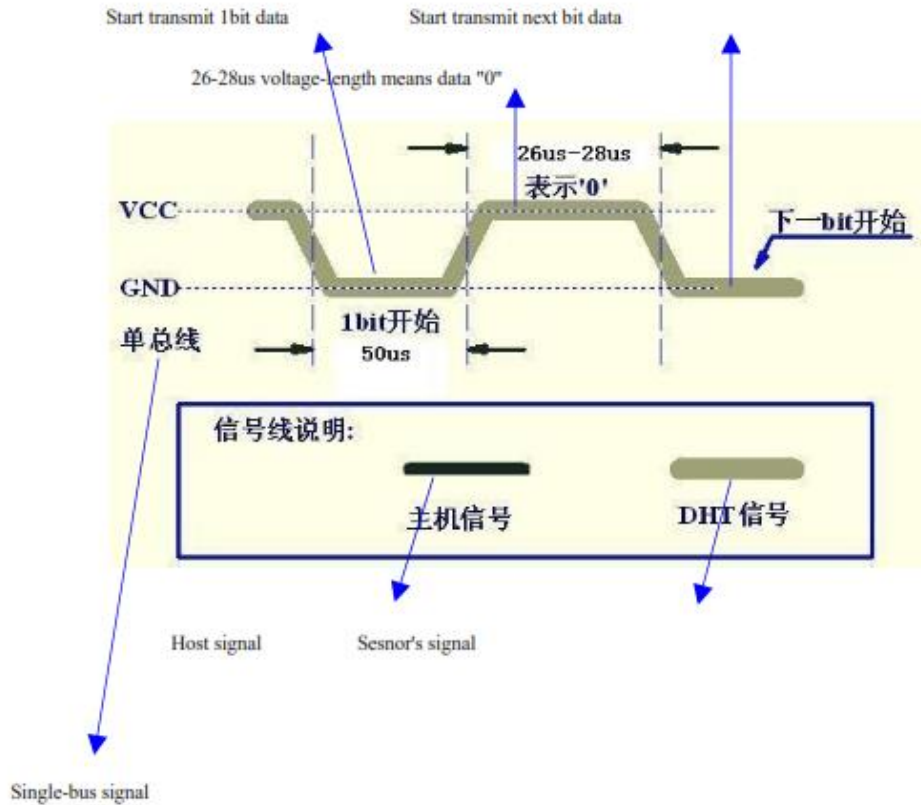
7

Thomas Liu (Business Manager)

Email: thomasliu198518@yahoo.com.cn

Aosong Electronics Co.,Ltd

Your specialist in innovating humidity & temperature sensors



Step 3: DHT22 send data to MCU

When DHT22 is sending data to MCU, every bit's transmission begin with low-voltage-level that last 50us, the following high-voltage-level signal's length decide the bit is "1" or "0".

Check bellow picture for step 3:

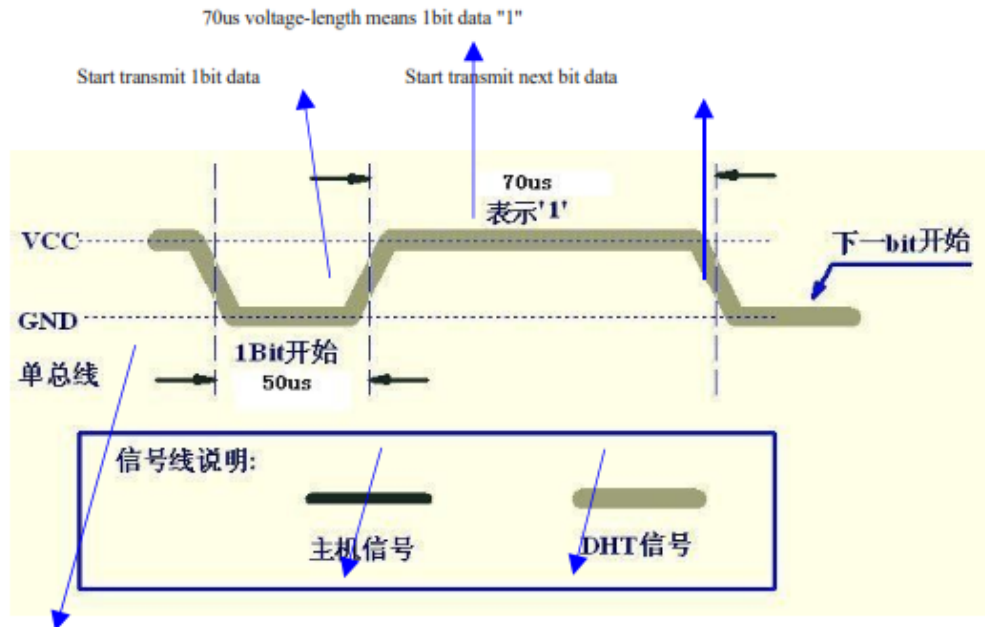
8

Thomas Liu (Business Manager)

Email: thomasliu198518@yahoo.com.cn

Aosong Electronics Co.,Ltd

Your specialist in innovating humidity & temperature sensors



Host signal Sesnor's signal

Single-bus signal

If signal from DHT22 is always high-voltage-level, it means DHT22 is not working properly, please check the electrical connection status.

7. Electrical Characteristics:

Item	Condition	Min	Typical	Max	Unit
Power supply	DC	3.3	5	6	V
Current supply	Measuring	1		1.5	mA
	Stand-by	40	Null	50	uA
Collecting period	Second		2		Second

*Collecting period should be : >2 second.

9

Thomas Liu (Business Manager)

Email: thomasliu198518@yahoo.com.cn

Aosong Electronics Co.,Ltd

Your specialist in innovating humidity & temperature sensors

8. Attentions of application:

(1) Operating and storage conditions

We don't recommend the applying RH-range beyond the range stated in this specification. The DHT22 sensor can recover after working in non-normal operating condition to calibrated status, but will accelerate sensors' aging.

(2) Attentions to chemical materials

Vapor from chemical materials may interfere DHT22's sensitive-elements and debase DHT22's sensitivity.

(3) Disposal when (1) & (2) happens

Step one: Keep the DHT22 sensor at condition of Temperature 50~60Celsius, humidity <10%RH for 2 hours;

Step two: After step one, keep the DHT22 sensor at condition of Temperature 20~30Celsius, humidity >70%RH for 5 hours.

(4) Attention to temperature's affection

Relative humidity strongly depend on temperature, that is why we use temperature compensation technology to ensure accurate measurement of RH. But it's still be much better to keep the sensor at same temperature when sensing.

DHT22 should be mounted at the place as far as possible from parts that may cause change to temperature.

(5) Attentions to light

Long time exposure to strong light and ultraviolet may debase DHT22's performance.

(6) Attentions to connection wires

The connection wires' quality will effect communication's quality and distance, high quality shielding-wire is recommended.

(7) Other attentions

* Welding temperature should be bellow 260Celsius.

* Avoid using the sensor under dew condition.

* Don't use this product in safety or emergency stop devices or any other occasion that failure of DHT22 may cause personal injury.

1

Thomas Liu (Business Manager)

Email: thomasliu198518@yahoo.com.cn

Anexo K

Datasheet NRF24L01

El respectivo anexo solo contempla lo más destacado del datasheet. Para mayor información revise la bibliografía [26].

PRODUCT SPECIFICATION



nRF2401 Single Chip 2.4 GHz Radio Transceiver

Single chip 2.4 GHz Transceiver

nRF2401

FEATURES

- True single chip GFSK transceiver in a small 24-pin package (QFN24 5x5mm)
- Data rate 0 to 1Mbps
- Only 2 external components
- Multi channel operation
 - 125 channels
 - Channel switching time <200µs.
 - Support frequency hopping
- Data slicer / clock recovery of data
- Address and CRC computation
- DuoCeiver™ for simultaneous dual receiver topology
- ShockBurst™ mode for ultra-low power operation and relaxed MCU performance
- Power supply range: 1.9 to 3.6 V
- Low supply current (TX), typical 10.5mA peak @ -5dBm output power
- Low supply current (RX), typical 18mA peak in receive mode
- 100% RF tested
- No need for external SAW filter
- World wide use

APPLICATIONS

- Wireless mouse, keyboard, joystick
- Keyless entry
- Wireless data communication
- Alarm and security systems
- Home automation
- Home automation
- Surveillance
- Automotive
- Telemetry
- Intelligent sports equipment
- Industrial sensors
- Toys

GENERAL DESCRIPTION

nRF2401 is a single-chip radio transceiver for the world wide 2.4 - 2.5 GHz ISM band. The transceiver consists of a fully integrated frequency synthesizer, a power amplifier, a crystal oscillator and a modulator. Output power and frequency channels are easily programmable by use of the 3-wire serial interface. Current consumption is very low, only 10.5mA at an output power of -5dBm and 18mA in receive mode. Built-in Power Down modes makes power saving easily realizable.

QUICK REFERENCE DATA

Parameter	Value	Unit
Minimum supply voltage	1.9	V
Maximum output power	0	dBm
Maximum data rate	1000	kbps
Supply current in transmit @ -5dBm output power	10.5	mA
Supply current in receive mode	18	mA
Temperature range	-40 to +85	° C
Sensitivity	-90	dBm
Supply current in Power Down mode	1	µA

Table 1 nRF2401 quick reference data

PRODUCT SPECIFICATION



nRF2401 Single Chip 2.4 GHz Radio Transceiver

Type Number	Description	Version
NRF2401 IC	24 pin QFN 5x5	A
NRF2401-EVKIT	Evaluation kit (2 test PCB, 2 configuration PCB, SW)	1.0

Table 2 nRF2401 ordering information

BLOCK DIAGRAM

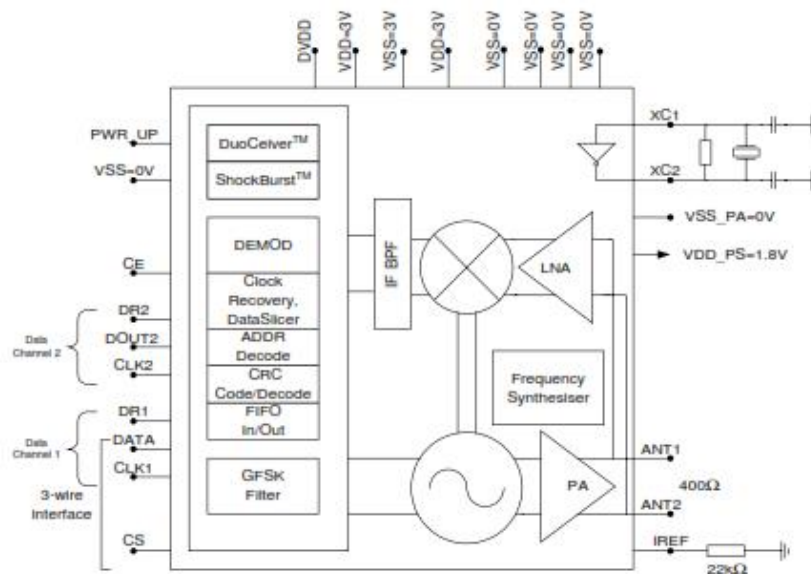


Figure 1 nRF2401 with external components.

PRODUCT SPECIFICATION



nRF2401 Single Chip 2.4 GHz Radio Transceiver

PIN FUNCTIONS

Pin	Name	Pin function	Description
1	CE	Digital Input	Chip Enable Activates RX or TX mode
2	DR2	Digital Output	RX Data Ready at Data Channel 2 (ShockBurst™ only)
3	CLK2	Digital I/O	Clock Output/Input for RX Data Channel 2
4	DOU2	Digital Output	RX Data Channel 2
5	CS	Digital Input	Chip Select Activates Configuration Mode
6	DR1	Digital Output	RX Data Ready at Data Channel 1 (ShockBurst™ only)
7	CLK1	Digital I/O	Clock Input (TX) & Output/Input (RX) for Data Channel 1 3-wire interface
8	DATA	Digital I/O	RX Data Channel 1/TX Data Input/ 3-wire interface
9	DVDD	Power	Positive Digital Supply output for decoupling purposes
10	VSS	Power	Ground (0V)
11	XC2	Analog Output	Crystal Pin 2
12	XC1	Analog Input	Crystal Pin 1
13	VDD_PA	Power Output	Power Supply (+1.8V) to Power Amplifier
14	ANT1	RF	Antenna interface 1
15	ANT2	RF	Antenna interface 2
16	VSS_PA	Power	Ground (0V)
17	VDD	Power	Power Supply (+3V DC)
18	VSS	Power	Ground (0V)
19	IREF	Analog Input	Reference current
20	VSS	Power	Ground (0V)
21	VDD	Power	Power Supply (+3V DC)
22	VSS	Power	Ground (0V)
23	PWR_UP	Digital Input	Power Up
24	VDD	Power	Power Supply (+3V DC)

Table 3 nRF2401 pin function

PIN ASSIGNMENT

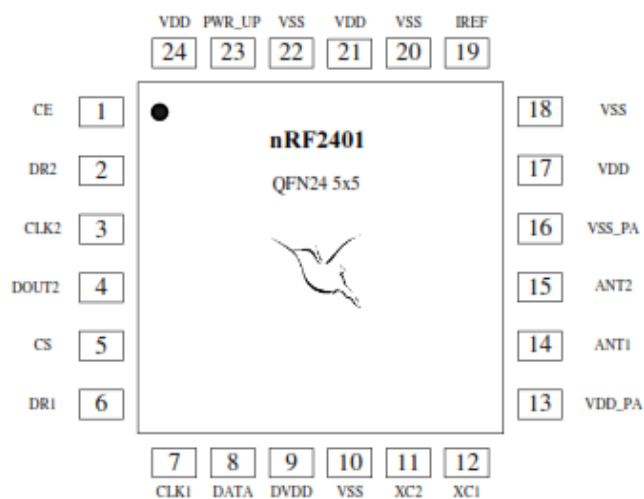


Figure 2. nRF2401 pin assignment (top view) for a QFN24 5x5 package.

PRODUCT SPECIFICATION



nRF2401 Single Chip 2.4 GHz Radio Transceiver

ELECTRICAL SPECIFICATIONS

Conditions: VDD = +3V, VSS = 0V, TA = - 40°C to + 85°C

Symbol	Parameter (condition)	Notes	Min.	Typ.	Max.	Units
Operating conditions						
VDD	Supply voltage		1.9	3.0	3.6	V
TEMP	Operating Temperature		-40	+27	+85	°C
Digital input pin						
V _{HI}	HIGH level input voltage		VDD- 0.3		VDD	V
V _{IL}	LOW level input voltage		VSS		0.3	V
Digital output pin						
V _{OHI}	HIGH level output voltage (I _{OH} =-0.5mA)		VDD- 0.3		VDD	V
V _{OIL}	LOW level output voltage (I _{OL} =0.5mA)		VSS		0.3	V
General RF conditions						
f _{OP}	Operating frequency	1)	2400		2524	MHz
f _{CRYSTAL}	Crystal frequency	2)	4		20	MHz
Δf	Frequency deviation			±156		kHz
R _{DATA}	Data rate ShockBurst™		>0		1000	kbps
R _{DATA}	Data rate Direct Mode	3)	250		1000	kbps
F _{CHANNEL}	Channel spacing			1		MHz
Transmitter operation						
P _{RF}	Maximum Output Power	4)		0	+4	dBm
P _{RF}	RF Power Control Range		16	20		dB
P _{RF}	RF Power Control Resolution				±3	dB
P _{RF}	20dB Bandwidth for Modulated Carrier				1000	kHz
P _{RF}	2 nd Adjacent Channel Transmit Power 2MHz				-20	dBm
P _{RF}	3 rd Adjacent Channel Transmit Power 3MHz				-40	dBm
I _{VDD}	Supply current (@ 0dBm output power)	5)		13		mA
I _{VDD}	Supply current (@ -20dBm output power)	5)		8.8		mA
I _{VDD}	Average Supply current (@ -5dBm output power, ShockBurst™)	6)		0.8		mA
I _{VDD}	Average Supply current in stand-by mode	7)		12		μA
I _{VDD}	Average Supply current in power down			1		μA
Receiver operation						
I _{VDD}	Supply current one channel 250kbps			18		mA
I _{VDD}	Supply current one channel 1000kbps			19		mA
I _{VDD}	Supply current two channels 250kbps			23		mA
I _{VDD}	Supply current two channels 1000kbps			25		mA
RX _{SF35}	Sensitivity at 0.1%BER (@250kbps)			-90		dBm
RX _{SF35}	Sensitivity at 0.1%BER (@1000kbps)			-80		dBm
C/I _{CC}	C/I Co-channel			6		dB
C/I _{1M}	1 st Adjacent Channel Selectivity C/I 1MHz			-1		dB
C/I _{2M}	2 nd Adjacent Channel Selectivity C/I 2MHz			-16		dB
C/I _{3M}	3 rd Adjacent Channel Selectivity C/I 3MHz			-26		dB
RX _B	Blocking Data Channel 2			-41		dB

- Usable band is determined by local regulations
- The crystal frequency may be chosen from 5 different values (4, 8, 12, 16, and 20MHz) which are specified in the configuration word, see Table 8. 16MHz are required for 1Mbps operation.
- Data rate must be either 250kbps or 1000kbps.
- De-embedded Antenna load impedance = 400 Ω
- De-embedded Antenna load impedance = 400 Ω. Effective data rate 250kbps or 1Mbps.
- De-embedded Antenna load impedance = 400 Ω. Effective data rate 10kbps.
- Current if 4 MHz crystal is used.

Table 4 nRF2401 RF specifications

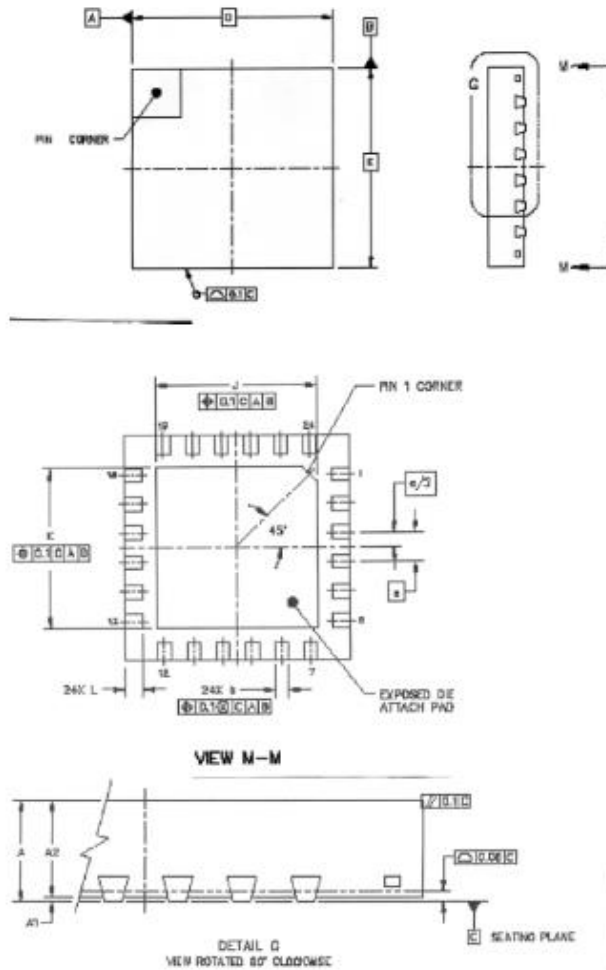
PRODUCT SPECIFICATION



nRF2401 Single Chip 2.4 GHz Radio Transceiver

PACKAGE OUTLINE

nRF2401 uses the QFN 24LD 5x5 package. Dimensions are in mm.



Package Type		A	A ₁	A ₂	b	D	E	e	J	K	L
QFN24 (5x5 mm)	Min	0.8	0.0	0.75	0.25	5 BSC	5 BSC	0.65 BSC	3.47	3.47	0.35
	typ.				0.3				3.57	3.57	0.4
	Max	1	0.05	1	0.35				3.67	3.67	0.45

Figure 3 nRF2401 package outline.

PRODUCT SPECIFICATION



nRF2401 Single Chip 2.4 GHz Radio Transceiver

Absolute Maximum Ratings

Supply voltages

VDD - 0.3V to + 3.6V

VSS 0V

Input voltage

V_I - 0.3V to VDD + 0.3V

Output voltage

V_O - 0.3V to VDD + 0.3V

Total Power Dissipation

P_D (T_A=85°C) 90mW

Temperatures

Operating Temperature.... - 40°C to + 85°C

Storage Temperature..... - 40°C to + 125°C

Note: Stress exceeding one or more of the limiting values may cause permanent damage to the device.

ATTENTION!

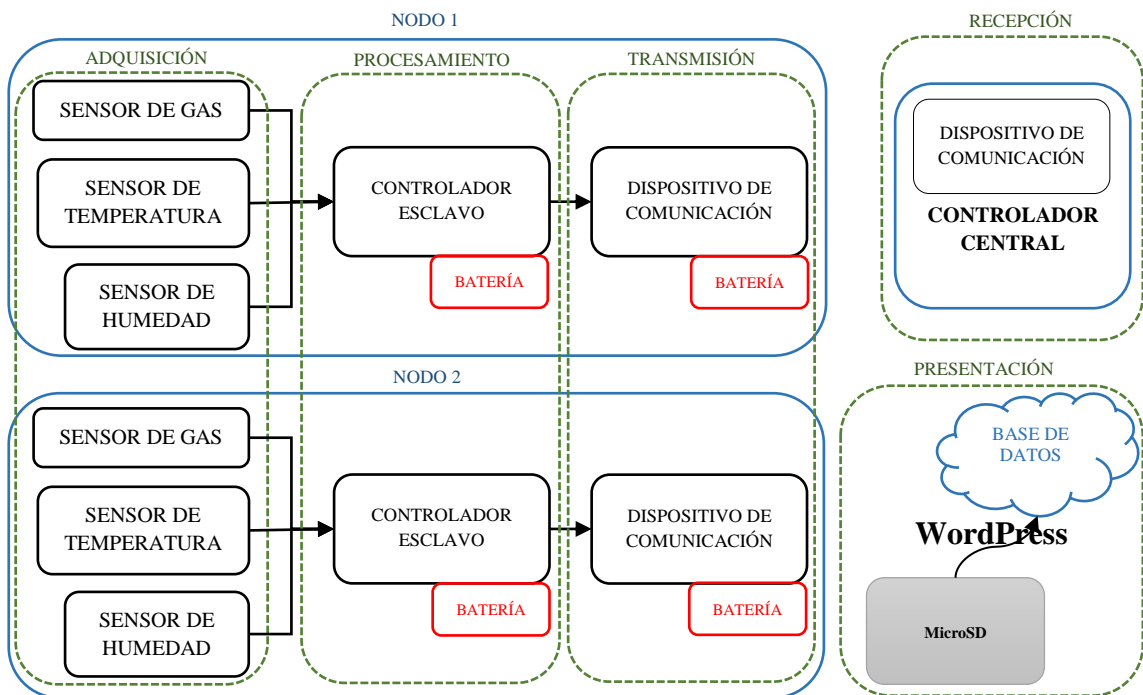
Electrostatic Sensitive Device
Observe Precaution for handling.



Anexo L

Guía de Procedimientos para la Elaboración del Prototipo

1. Petición de las problemáticas que tiene la empresa.
2. Selección de la empresa según disposición y conveniencia mutua.
3. Estudio de la situación actual de la empresa.
4. Análisis de las variables involucradas.
5. Gráfica de un diagrama general del sistema a elaborar.



6. Selección de dispositivos según requerimientos técnicos.

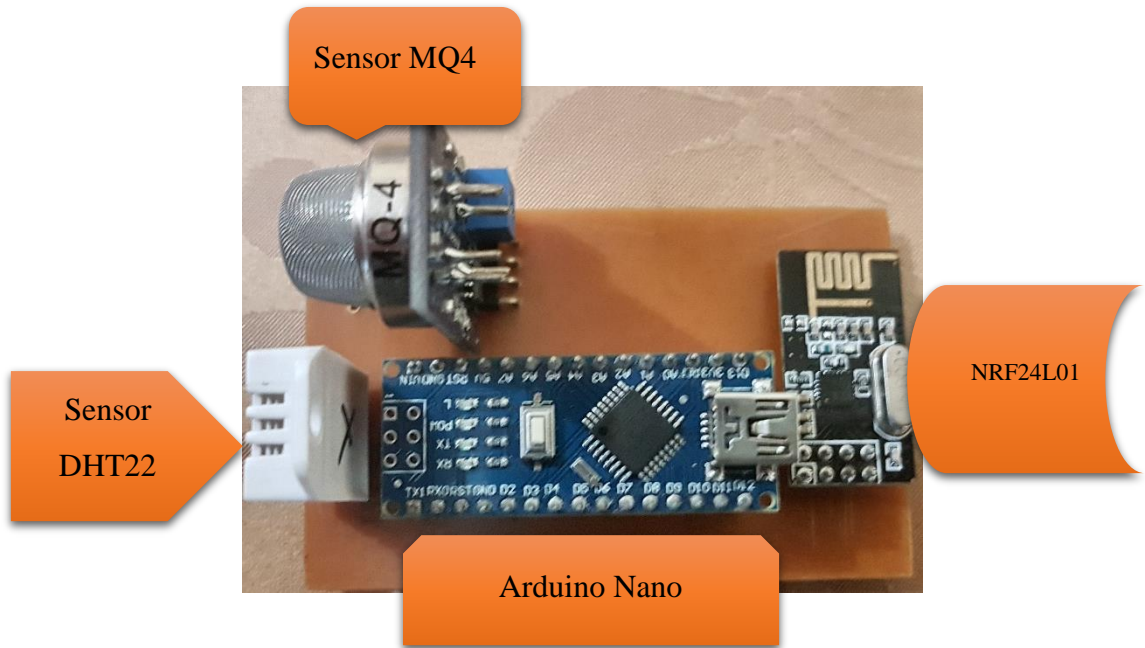


7. Estudio de los diferentes sistemas electrónicos de comunicación.
8. Estudio del software a utilizar según requerimientos técnicos.

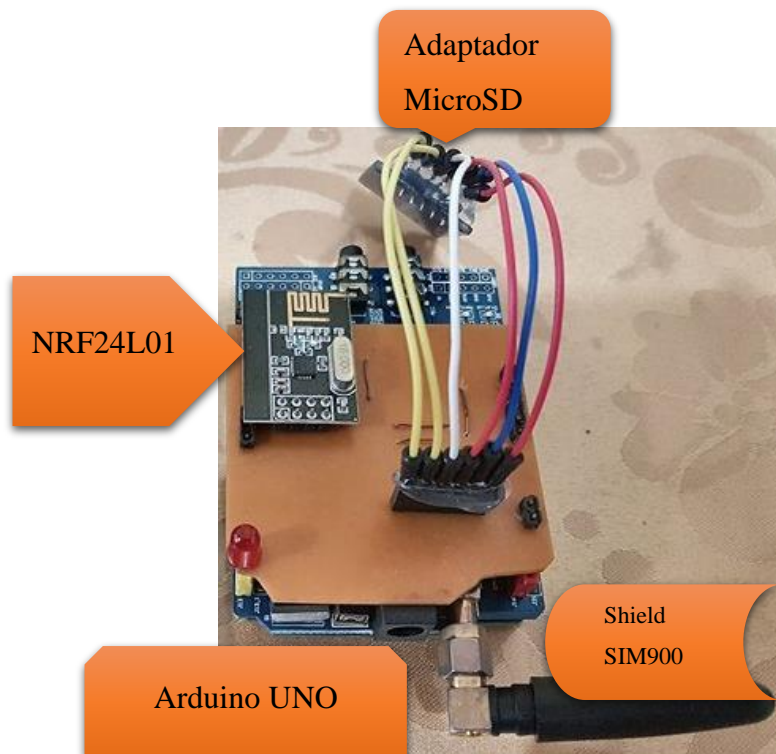
LAMP:



9. Diseño electrónico del prototipo.
 - 9.1. Dispositivo de sensado de nodos



9.2. Dispositivo de recepción de información



10. Diagrama específico del sistema y comunicación entre dispositivos

