



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN CONTROL Y REDES
INDUSTRIALES

“IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO ELECTRÓNICO
INALÁMBRICO PARA SUPERVISIÓN, AVISO Y CONTROL DE
GASES CONTAMINANTES EN INVERNADEROS
ARTESANALES”

Trabajo de titulación

Tipo: PROYECTO TÉCNICO

Presentado para optar al Grado Académico de:

INGENIERO EN ELECTRÓNICA, CONTROL Y REDES
INDUSTRIALES

AUTOR: SAQUI VALLA JOFRE ERNESTO

TUTOR: ING. JOSÉ ENRIQUE GUERRA SALAZAR

Riobamba – Ecuador
2018

©2018, Jofre Ernesto Saqui Valla

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN CONTROL Y REDES
INDUSTRIALES

El tribunal del trabajo de titulación certifica que: El Proyecto Técnico: “IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO ELECTRÓNICO INALÁMBRICO PARA SUPERVISIÓN, AVISO Y CONTROL DE GASES CONTAMINANTES EN INVERNADEROS ARTESANALES”, de responsabilidad del señor SAQUI VALLA JOFRE ERNESTO, ha sido minuciosamente revisado por los miembros del tribunal del trabajo de titulación, quedando autorizada su presentación.

NOMBRE	FIRMA	FECHA
Dr. Julio Santillan C. VICEDECANO DE LA FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA.
Ing. Freddy Chávez V. DIRECTOR DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN CONTROL Y REDES INDUSTRIALES.
Ing. José Guerra S. DIRECTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN
Ing. Henry Vallejo V. MIEMBRO DEL TRIBUNAL.

Yo, Jofre Ernesto Saqui Valla, declaro ser responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en este Trabajo de Titulación y el patrimonio intelectual le pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Jofre Ernesto Saqui Valla

DEDICATORIA

A mi madre María Valla por ser una bendición en mi vida y acompañarme en cada momento a lo largo de mis estudios, a mi familia y amigos que con su apoyo incondicional permitieron que alcance una nueva meta.

Jofre

AGRADECIMIENTO

A Dios por la vida y la salud. A los profesores de mí querida Escuela por todo lo que me enseñaron, por formarme y brindarme su apoyo incondicional. Al GADMA por darme la apertura para concluir con esta investigación.

A mi familia y amigos por su apoyo y comprensión.

Jofre

TABLA DE CONTENIDO

DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTO	vi
TABLA DE CONTENIDO	vii
ÍNDICE DE TABLAS	x
ÍNDICE DE FIGURAS	xi
ÍNDICE DE ABREVIATURAS	xii
ÍNDICE DE ANEXOS	xiv
RESUMEN	xv
SUMMARY	xvi
INTRODUCCIÓN	1

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO	4
1.1 Información ambiental en la agricultura de Ecuador 2016	4
1.1.1 Cultivos permanentes y transitorios	4
1.1.2 Uso de Agro insumos en cultivos transitorios	5
1.1.3 Aplicación de Agroquímicos en 2016	6
1.2 Impacto Ambiental del cultivo de tomate en un invernadero multitúnel	6
1.3 Contaminantes del aire y sus efectos en la salud	8
1.3.1 Compuestos Orgánicos Volátiles (COV)	8
1.3.2 Gas de Amoníaco (NH₃)	8
1.3.3 Óxidos de Nitrógeno (NO_x)	8
1.3.4 Monóxido de Carbono (CO)	9
1.3.5 Ozono Troposférico (O₃)	9
1.4 Control climático en invernaderos	10
1.4.1 Aireación y ventilación	10
1.5 Sistemas de monitoreo para invernaderos	12
1.5.1 Sistema de monitoreo AirPi	12
1.5.2 Sistema de monitoreo Grove Pi	13
1.5.3 Sistema de monitoreo Weather Meters	14
1.5.4 Waspnote Starter Kit	15
1.6 Flujo o Caudal	17

1.7	Sistemas de Control	18
<i>1.7.1</i>	<i>Clasificación de los sistemas de Control</i>	18
<i>1.7.2</i>	<i>Métodos de Control</i>	19

CAPÍTULO II

2.	IMPLEMENTACIÓN HARDWARE Y SOFTWARE DEL PROTOTIPO	21
2.1	Requerimientos del diseño SAC-GC	21
2.2	Concepción de la arquitectura general del prototipo	21
<i>2.2.1</i>	<i>Nodo sensor</i>	22
<i>2.2.1</i>	<i>Módulo de Supervisión-Control</i>	22
<i>2.2.3</i>	<i>Módulo de Aviso</i>	23
2.3	Establecimiento de la topología de Red	23
2.4	Diseño de la arquitectura de los módulos del SAC-GC	23
<i>2.4.1</i>	<i>Nodo sensor</i>	24
<i>2.4.2</i>	<i>Módulo de Supervisión y Control</i>	24
<i>2.4.3</i>	<i>Módulo de Aviso</i>	24
2.5	Selección de los dispositivos para el SAC-GC	25
<i>2.5.1</i>	<i>Tarjetas de desarrollo para el SAC-GC</i>	25
<i>2.5.2</i>	<i>Sensores para el SAC-GC</i>	26
<i>2.5.2.1</i>	<i>Sensor de Temperatura de precisión LM-35 (°C)</i>	26
<i>2.5.2.2</i>	<i>Sensor de gas MQ-7</i>	27
<i>2.5.2.3</i>	<i>Sensor de gas MQ-135</i>	28
<i>2.5.2.4</i>	<i>Sensor de gas MQ-131</i>	28
<i>2.5.3</i>	<i>Comunicación inalámbrica para el SAC-GC</i>	29
<i>2.5.3.1</i>	<i>Módulo Xbee S2C</i>	29
<i>2.5.4</i>	<i>Comunicación GSM y módulos adicionales para el SAC-GC</i>	31
<i>2.5.4.1</i>	<i>GSM/GPRS (SIM 900's)</i>	31
<i>2.5.4.2</i>	<i>Xbee explorer USB</i>	32
<i>2.5.4.3</i>	<i>Reloj de tiempo real (DS1307)</i>	32
<i>2.5.4.4</i>	<i>Módulo MicroSD</i>	33
<i>2.5.5</i>	<i>Visualización de información para el SAC-GC</i>	34
<i>2.5.6</i>	<i>Alimentación para el SAC-GC</i>	34
2.6	Esquema de conexión del SAC-GC	34
<i>2.6.1</i>	<i>Esquema de conexión del nodo sensor</i>	35

2.6.2	Esquema de conexión del módulo de Supervisión-Control	36
2.6.3	Esquema de conexión del módulo de Aviso	37
2.7	Diseño del Software del SAC-GC	37
2.7.1	Requerimientos del Software del SAC-GC	37
2.7.2	Diagrama de flujo del programa del módulo de Supervisión – Control	38
2.7.3	Diagrama de flujo del programa del módulo de aviso	40

CAPÍTULO III

3.	VALIDACIÓN DEL PROTOTIPO SAC-GC	42
3.1	Caracterización del módulo de Supervisión y Control	42
3.1.1	Caracterización de las mediciones realizadas por el módulo de Supervisión y Control	42
3.1.2	Repetitividad para el módulo de Supervisión y Control	48
3.2	Caracterización de la Comunicación RF del SAC-GC	49
3.2.1	Pruebas y puesta a punto de la comunicación RF entre el nodo sensor y el módulo de Supervisión y Control	49
3.2.2	Pruebas y puesta a punto de la comunicación RF entre el nodo sensor y el Módulo de aviso	51
3.3	Caracterización de la comunicación Serial entre el módulo de Supervisión y el Display Nextion	52
3.4	Prueba de la transmisión para el Control del SAC-GC	53
3.5	Comprobación del almacenamiento del SAC-GC	53
3.6	Caracterización del módulo de aviso	54
3.6.1	Pruebas y puesta a punto de la comunicación entre el módulo de aviso y la red GSM	55
3.7	Prueba de alimentación del SAC-GC	55
3.7.1	Autonomía del SAC-GC	56
3.7.2	Determinación del consumo de energía del SAC-GC	57
3.8	Pruebas del analizador de gases del GADMA versus el SAC-GC	58
3.8.1	Error medio de las lecturas de Ozono del SAC-GC	59
3.9	Puesta en marcha del SAC-GC	61
3.10	Análisis económico del prototipo SAC-GC	62
	CONCLUSIONES	64
	RECOMENDACIONES	65
	BIBLIOGRAFÍA	
	ANEXOS	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1: Valores límites ambientales para exposición diaria (VLA-ED) recomendados en España.....	9
Tabla 2-1: Concentraciones de contaminantes criterio que define los niveles de alerta, de alarma y de emergencia en la calidad del aire.....	10
Tabla 3-1: Comparación de sistemas de monitoreo para invernaderos.....	16
Tabla 1-2: Comparaciones entre placas Arduino.....	25
Tabla 1-3: Mediciones realizadas para caracterizar la temperatura.....	44
Tabla 2-3: Mediciones realizadas para evaluar la repetitividad del SAC-GC.....	49
Tabla 3-3: Potencia de Consumo del SAC-GC.....	56
Tabla 4-3: Analizador de gases versus SAC-GC (Ozono).....	59
Tabla 5-3: Cálculo de error medio de Ozono.....	60
Tabla 6-3: Costo del prototipo SAC-GC.....	62

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1:	Superficie total y superficie agropecuaria	5
Figura 2-1:	Porcentaje de la superficie donde se aplicó fertilizantes y plaguicidas (Orgánicos y Químicos)	5
Figura 3-1:	Porcentaje por personal que aplica agroquímicos en los cultivos	6
Figura 4-1:	Relación entre gases generados por la aplicación de fertilizantes y pesticidas	8
Figura 5-1:	Baterías de invernaderos	11
Figura 6-1:	Ubicación adecuada para el actuador monofásico	12
Figura 7-1:	Proyecto AirPi	13
Figura 8-1:	Proyecto GrovePi	13
Figura 9-1:	Proyecto Weather Meters	14
Figura 10-1:	Waspnote Starter Kit	15
Figura 11-1:	Diagrama de bloques de un sistema de control en lazo abierto	18
Figura 12-1:	Diagrama de bloques de un sistema realimentado	19
Figura 13-1:	Modo de trabajo del control por ciclos	20
Figura 1-2:	Concepción de la Arquitectura general del SAC-GC	22
Figura 2-2:	Invernaderos artesanales del Sector de Yaruqués-Riobamba	23
Figura 3-2:	Diagrama de bloques del nodo sensor	24
Figura 4-2:	Diagrama de bloques módulo de Supervisión-Control	24
Figura 5-2:	Diagrama de bloques módulo de aviso	25
Figura 6-2:	Arduino Mega R3	26
Figura 7-2:	Arduino Uno R3	26
Figura 8-2:	Sensor LM-35	27
Figura 9-2:	Módulo sensor de Monóxido de Carbono MQ-7	27
Figura 10-2:	Módulo Sensor de calidad de aire MQ-135	28
Figura 11-2:	Módulo Sensor de Ozono MQ-131	28
Figura 12-2:	Módulos RF Xbee S2c Wire Ant	29
Figura 13-2:	Roles del Xbee	30
Figura 14-2:	Módulo GSM/GPRS SIM900	31
Figura 15-2:	Módulo Xbee explorer	32
Figura 16-2:	Reloj de tiempo real DS1307	32
Figura 17-2:	Módulo MicroSD	33
Figura 18-2:	Pantalla Nextion 5"	33
Figura 19-2:	UPS Ultracell	34

Figura 20-2:	Conexión del nodo sensor del SAC-GC	35
Figura 21-2:	Conexión del Módulo Supervisión-Control del SAC-GC	36
Figura 22-2:	Conexión del Módulo Aviso del SAC-GC	37
Figura 23-2:	Diagrama de flujo del Módulo de Supervisión-Control	39
Figura 24-2:	Diagrama de flujo del Módulo de Aviso	41
Figura 1-3:	Nodo implementado	42
Figura 2-3:	Prototipo Nodo y módulo de supervisión – control	43
Figura 3-3:	Características de sensibilidad del sensor MQ-135	45
Figura 4-3:	Obtención de ecuación potencial de Amoniaco con Excel 2010	45
Figura 5-3:	Divisor de voltaje (arquitectura interna MQ-135)	46
Figura 6-3:	Obtención de ecuación potencial de CO con Excel 2010	47
Figura 7-3:	Obtención de ecuación potencial de Ozono con Excel 2010	47
Figura 8-3:	Obtención de ecuación potencial de Óxidos de Nitrógeno con Excel 2010	48
Figura 9-3:	Lectura de cuatro datos analógicos de un Xbee remoto en modo API	50
Figura 10-3:	Rangos de funcionamiento de módulos Xbee S2c	51
Figura 11-3:	Pruebas de comunicación RF en los módulos de Supervisión y Aviso	52
Figura 12-3:	Pruebas de transmisión de información al display Nextion	52
Figura 13-3:	Pruebas del funcionamiento del control SAC-GC	53
Figura 14-3:	Archivos creados en la tarjeta SD	54
Figura 15-3:	Prototipo implementado del módulo de Aviso	55
Figura 16-3:	Mensaje recibido por el dispositivo móvil y enviado por el módulo de aviso	55
Figura 17-3:	Analizadores de gases GADMA	59
Figura 18-3:	Puesta en Marcha del SAC-GC	61

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

PEA:	Población Económicamente Activa
INEC:	Instituto Nacional de Estadísticas y Censos
VOCs:	Volatile Organic Compounds, (Compuestos Orgánicos Volátiles)
NH₃:	Amoniaco
N₂O:	Óxido Nitroso
NO_x:	Óxidos de Nitrógeno
ESPOCH:	Escuela Superior Politécnica de Chimborazo
GADMA:	Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Ambato
TULSMA:	Texto Unificado de Legislación Secundaria
TULAS:	Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria
WSN:	Wireless Sensor Networks (Red Inalámbrica de Sensores)
WPAN:	Wireless Personal Area Network (Red Inalámbrica de Área Personal)
GSM:	Global System for Mobile Communications (Sistema Global para las comunicaciones móviles)
FTDI:	Future Technology Devices International
UMTS:	Universal Mobile Telecommunications System (Sistema universal de telecomunicaciones móviles)
RF:	Radio Frecuencia
MHz:	Megahercios
EEPROM:	Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory (ROM Programable y borrrable eléctricamente)
RAM:	Random Access Memory (Memoria de acceso aleatorio)
ROM:	Read-only memory (Memoria de solo lectura)
SD:	Secure Digital (Tarjeta Micro)
USB:	Universal Serial Bus (Bus Universal en Serie)
WIFI:	Wireless Fidelity (Fidelidad inalámbrica)
SPI:	Serial Peripheral Interface (Interfáz Serial Periférica)
SDA:	Serial Data Input/Output (Interfáz serial para la entrada y salida de datos)
SCK:	Serial Clock
MOSI:	Master Output Slave Input, or Master Out Slave In
MISO:	Master Input Slave Output, or Master In Slave Out
IDE:	Entorno de Desarrollo Integrado
ISM:	Industrial, Scientific and Medical (Industrial, científica y médica)

ÍNDICE DE ANEXOS

- Anexo A:** Datasheet Xbee S2c
- Anexo B:** Datasheet sensor de gas MQ-7
- Anexo C:** Datasheet sensor de gas MQ-135
- Anexo D:** Datasheet sensor de gas MQ-131
- Anexo E:** Datasheet Arduino Mega
- Anexo F:** Datasheet Nextion NX8048T050 - 5.0" LCD TFT HMI Intelligent Touch Display
- Anexo G:** Datasheet Módulo GPRS Shield Arduino Uno
- Anexo H:** Pantallas de la Interfaz del SAC-GC
- Anexo I:** Código Módulo de Supervisión-Control
- Anexo J:** Código Módulo de Aviso
- Anexo K:** Cargos Tarifarios 2018– Consumidor residencial
- Anexo L:** Cálculo de antenas
- Anexo M:** Cobertura 2.4 Ghz
- Anexo N:** Esquema de alimentación fotovoltaica - nodo

RESUMEN

Se implementó un Prototipo Electrónico Inalámbrico de Supervisión, Aviso y Control de gases contaminantes en invernaderos artesanales, es un prototipo de bajo costo, fácil instalación y manejo. Con el proyecto planteado se espera tener un impacto social y económico favorable para la población que se dedica a la explotación agraria en invernaderos artesanales donde la concentración de gases perjudiciales para la salud puede ser crítica. El prototipo tiende a ser escalable y permite el monitoreo por zonas de las variables de NH₃, CO, O₃, NO_x y temperatura. Consta de tres módulos, dos de ellos basados en la plataforma Arduino, se comunican mediante radiofrecuencia basada en el estándar IEEE 802.15.4 de WPANs con un alcance máximo de 510 metros con línea vista y hasta 50 metros en interiores. El nodo sensor recolecta y envía la información a los módulos restantes. El módulo de supervisión y control permite la visualización de las mediciones con hora y fecha, almacena la información del día en una tarjeta MicroSD y permite acceder a partir de su pantalla táctil a información referente a los niveles de temperatura y de contaminación permitidos. El módulo de aviso por su parte se encarga de comparar la información procesada con los límites de alerta preestablecidos y enviar un mensaje con los valores actuales indicando que variables están fuera del rango. De las pruebas realizadas se comprobó que el prototipo tiene un error medio de 0.32 °C en la medición de la variable de temperatura. Y un error medio menor a 15 ug/m³ para las variables de contaminación. Se concluye que el prototipo es considerado como una mini estación de supervisión de la calidad del aire, por lo que su uso no se limita a ambientes cerrados. Se recomienda incorporar al prototipo sensores de Dióxido de Azufre (SO₂), de PM_{2.5}, PM₁₀ para disponer de una estación de supervisión de calidad de aire completa.

Palabras Claves: <PROTOTIPO INALÁMBRICO>, <COMPUESTOS ORGÁNICOS VOLÁTILES (VOCs)>, <ARDUINO>, <RADIO FRECUENCIA (RF)>, <SENSORES DE GASES>, <DISPLAY NEXTION>, <TARJETA DE ALMACENAMIENTO (SD)>, <CONTROL Y REDES INDUSTRIALES>

SUMMARY

A Wireless Supervisory Electronic Prototype was implemented. Notice and Control of polluting gases in artisanal greenhouses, is a low cost prototype, easy installation and management. With the proposed project is expected to have a favorable social and economic impact for the population that is dedicated to agricultural exposure in artisanal greenhouses where the concentration of harmful gases for health can be critical. The prototype tends to be scalable and allows zone monitoring of the variables of NH₃, CO, C₃, NO_x and temperature. It consists of three modules, two of them based on the Arduino platform, they are communicated by radiofrequency based on the IEEE 802.15.4 standard of WPANs with a maximum range of 510 meters with line of sight and up to 50 meters indoors. The sensor node collects and sends the information to the remaining modules. The monitoring and control module allows the visualization of the measurements with time and date, stored the information of the day in a MicroSD card and allows access from its touch screen to information regarding the allowed temperature and contamination levels. The warning module on the other hand is responsible for comparing the processed information with the pre-established warning limits and sending a message with the current values indicating which variables are out of range. From the tests carried out, it was found that the prototype has an average error of 0.32 ° C in the measurement of temperature variable. And an average error of less than 15ug/m³ for the pollution variables. It is concluded that the prototype is considered as a mini air quality monitoring station, so its use is limited to closed environments. It is recommended to incorporate sensors of Sulfur Dioxide (SO₂), PM_{2.5}, PM₁₀ into the prototype to have a complete air quality monitoring station.

KEYWORDS: <WIRELESS PROTOTYPE>, <VOLATILE ORGANIC COMPOUNDS (VOCs)>, <ARDUINO>, <RADIO FREQUENCY (RF)>, <GAS SENSORS>, <DISPLAY NEXTION>, <STORAGE CARD (SD)>, < CONTROL AND INDUSTRIAL NETWORKS).

INTRODUCCIÓN

El sector agropecuario es uno de los principales motores de la economía de nuestro país, según datos del Banco Central del Ecuador (BCE) es la actividad que más aporta al PIB global (14%). En el sector rural absorbe cerca de 1'800.000 personas equivalente al 62% de la población ocupada en el sector rural. Es la segunda actividad generadora de divisas y es fuente de ahorro de las mismas (MAGAP, 2016, p. 99).

Muchos de los procesos de explotación agroalimentaria, tienen lugar en recintos cerrados. Invernaderos, granjas, plantas de manipulación y tratamiento de frutas u otros alimentos caen dentro de esta categoría. En estos sitios se ha evidenciado un grave problema de salud ambiental dada a la alta concentración de gases contaminantes (VOC) generados a partir de los procesos de fumigación, aplicación de pesticidas, fungicidas y otros compuestos químicos similares (Cotrino, 2017).

En invernaderos para el cultivo de flores y vegetales como el tomate se ha evidenciado la presencia de gases como el Amoniaco (NH_3), Óxido Nitroso (N_2O) y Óxidos de Nitrógeno (NO_x) emitidos al aire por la aplicación de fertilizantes sobre el cultivo, así lo determinó un estudio para identificar las principales cargas ambientales de la producción de tomate en un invernadero multitúnel. Este estudio formó parte de proyecto “Euphoros”, cuya finalidad es desarrollar invernaderos más sostenibles y contó con la participación de centros de investigación y empresas de los principales países de Europa que se dedican a la producción bajo invernaderos (Torrellas et al, 2011).

Expertos de la Escuela de Agronomía de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH) concuerdan en que no existe sistemas electrónicos de supervisión de gases contaminantes, confiables y de bajo costo, por lo que no se lleva ningún tipo de registro y control con tecnología actual de los gases contaminantes presentes en invernaderos artesanales de la zona 3 y del país.

Además afirman que en los invernaderos donde se realiza cultivo de tomate riñon es donde existe mayor contaminación. Esto conlleva a que los agricultores expuestos a plaguicidas por largo tiempo presenten daños a largo plazo, tales como cáncer, y daños al sistema reproductivo, al hígado, al cerebro y a otras partes del cuerpo (Hesperian health guides, 2017).

Aunque en el mercado existen sistemas de monitoreo ambiental, la mayoría de ellos no son escalables, es decir su uso está limitado a determinada área y no cuentan con tecnología inalámbrica confiable necesaria para la adquisición de datos en zonas o áreas centrales de los invernaderos.

Luego de la revisión del estado del arte actual se puede concluir que no existen sistemas inalámbricos de bajo costo que tenga como tarea el cuidado de la salud de los agricultores y su familia. Con el proyecto planteado se espera tener un impacto social y económico favorable para la población que se dedica a la explotación agraria en invernaderos artesanales donde la concentración de gases perjudiciales para la salud puede ser crítica, fruto de fertilizantes, insecticidas, fungicidas, desinfectantes u otros compuestos.

La investigación está en concordancia con el objetivo 11 del Plan Nacional del Buen Vivir, que indica “*Asegurar la soberanía y de los sectores estratégicos para la transformación industrial y tecnológica*”, el cual sugiere que el país debe gestionar sus recursos estratégicos en el marco de una inserción internacional, que permita que el ciclo tecnológico actual basado en la automatización, la robótica y la microelectrónica, contribuya al incremento generalizado del bienestar para sus habitantes (SENPLADES, 2018).

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El problema científico de esta investigación consiste en que es necesario desarrollar un prototipo electrónico inalámbrico de bajo costo para supervisión y aviso de gases contaminantes que proporcione la información requerida para conservar la salud de los agricultores y para la toma de decisiones en pos de mejorar la calidad y producción del cultivo.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

La presente investigación tiene como objetivo el implementar un prototipo electrónico inalámbrico para supervisión, aviso y control de gases contaminantes en invernaderos artesanales.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Detectar los gases contaminantes presentes en invernaderos artesanales que afectan la salud de los agricultores.
- Establecer los requerimientos del prototipo inalámbrico a implementar.
- Establecer la topología de red más adecuada y diseñar los módulos que integran el prototipo inalámbrico.
- Implementar el hardware y software que integran el prototipo inalámbrico.
- Evaluar si el prototipo inalámbrico de supervisión, aviso y control de gases contaminantes cumple con los requerimientos planteados.

Delimitación

Espacio

La presente investigación se delimita espacialmente para el cantón Riobamba específicamente para el sector de Yaruquíes, siendo este un muestreo no probabilístico del tipo casual o incidental que utiliza como muestra los individuos a los que se tiene fácil acceso.

Tiempo

Esta investigación está realizada con datos actuales vigentes en el pliego tarifario de la EERSA, por lo que el costo del consumo de energía eléctrica del proyecto deberá ser recalculado si fuera necesario.

Alcance

Con la implementación del prototipo electrónico inalámbrico de supervisión, aviso y control de gases contaminantes se espera: alcanzar una gestión ambiental adecuada del aire para proteger la salud de los agricultores y su familia que se dedican al cultivo bajo invernadero. A partir de los datos registrados se podrá determinar políticas públicas ambientales para reducir el uso indiscriminado de fertilizantes y pesticidas que afecten a la calidad final del cultivo y de este modo conseguir un producto más saludable para la población. Además se espera dar inicio a futuras investigaciones referentes a redes de supervisión de contaminación que a más de la agricultura se apliquen en la industria y en ciudades previo un estudio ambiental.

CAPITULO I

1. MARCO TEÓRICO

Esta investigación servirá para poder implementar el prototipo electrónico inalámbrico cumpliendo con los objetivos planteados, por lo que en el presente capítulo se estudiará aspectos que se debe tomar en cuenta al momento del desarrollo.

1.1 Información Ambiental en la agricultura de Ecuador 2016

En la Reforma del Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria(TULSMA) se define a la contaminación como: *La presencia en el medio ambiente de uno o más contaminantes o la combinación de ellos, en concentraciones tales y con un tiempo de permanencia tal, que causen en estas condiciones negativas para la vida humana, la salud y el bienestar del hombre, la flora, la fauna, los ecosistemas o que produzcan en el hábitat de los seres vivos, el aire, el agua, los suelos, los paisajes o los recursos naturales en general, un deterioro importante* (Padilla Jiménez, 2016).

1.1.1 Cultivos permanentes y transitorios

Los cultivos transitorios son cultivos caracterizados por el tiempo de permanencia en la tierra (menor a un año) destinados a la alimentación humana y/o animal, son también materia prima para industria alimenticia. Dentro de estos cultivos están los cereales, los tubérculos, la mayoría de hortalizas (tomate bajo invernadero) y las flores bajo invernadero.

Como se aprecia en la figura 1-1, 4.872.049,88 ha. que corresponde al 19% del territorio nacional, es de uso agropecuario; de este total 1.044.203,24 ha son de cultivos transitorios, los cultivos bajo invernaderos están dentro de esta categoría, es por ello que se realiza a continuación una revisión de su información ambiental.

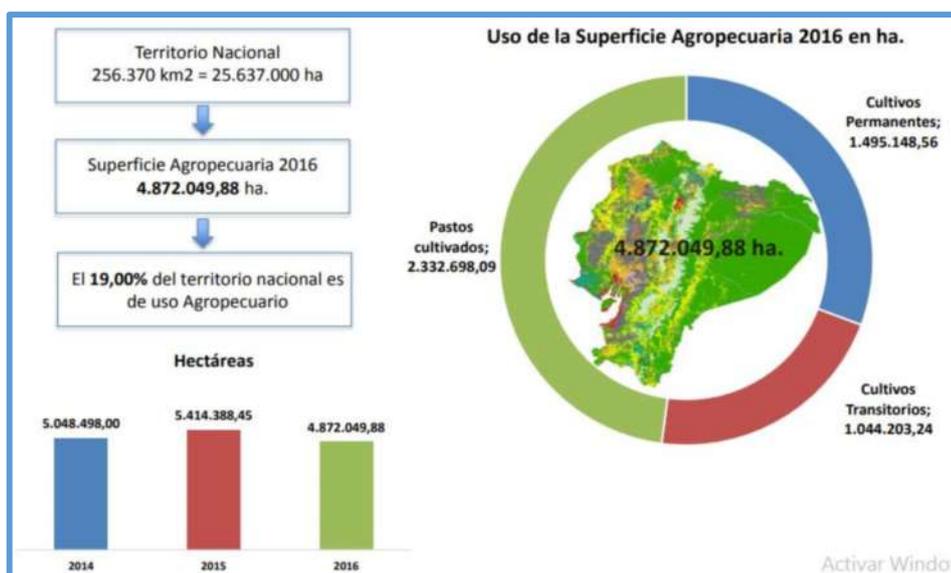


Figura 1-1: Superficie total y superficie agropecuaria

Fuente: INEC- Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua (ESPAC) 2016

1.1.2 Uso de Agro insumos en cultivos transitorios

De la superficie plantada y/o sembrada con cultivos transitorios en 2016, en la figura 2-1 se aprecia que, en el 78,24% se aplicó algún tipo de insumo de origen químico y apenas el 2,66% utilizó insumos orgánicos.

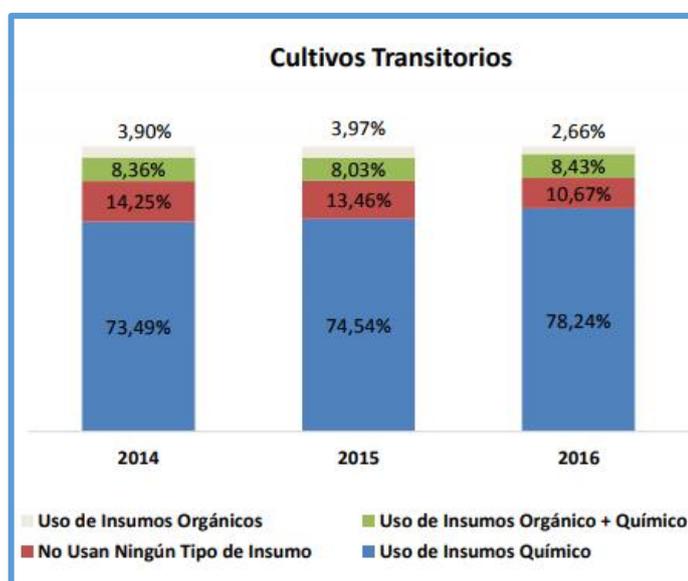


Figura 2-1: Porcentaje de la superficie donde se aplicó fertilizantes y plaguicidas (Orgánicos y Químicos)

Fuente: INEC- Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua (ESPAC) 2016

1.1.3 Aplicación de Agroquímicos en 2016

Según la ESPAC en 2016, en el 49,22% de los casos estudiados es el agricultor o productor quien aplica agroquímicos sobre el cultivo y apenas en un 3,91% lo realiza un personal o técnico especializado.

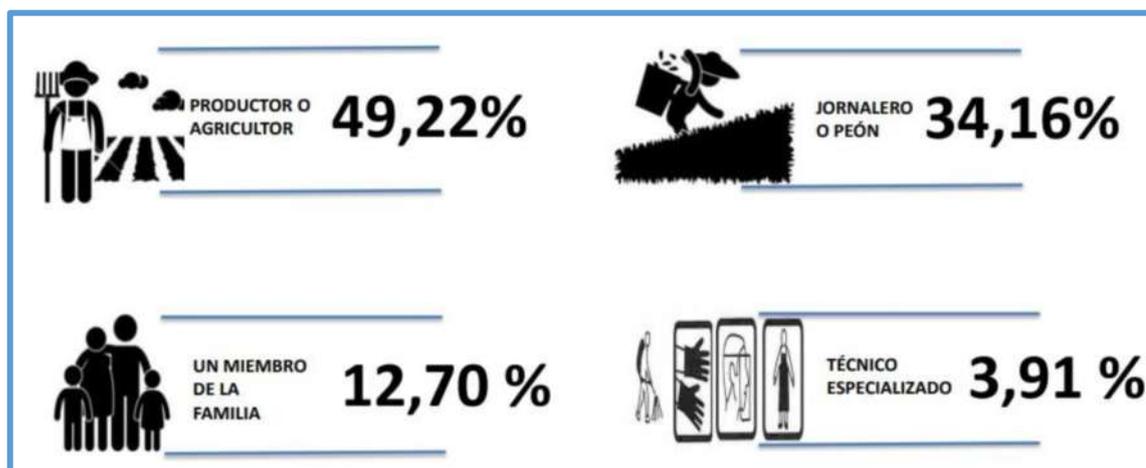


Figura 3-1: Porcentaje por personal que aplica agroquímicos en los cultivos

Fuente: INEC- Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua (ESPAC) 2016

En la figura 3-1 se puede observar que tanto el agricultor, el jornalero y los miembros de la familia que aplican agroquímicos a los cultivos, están expuestos a enfermedades a largo plazo, ya que no han recibido algún tipo de capacitación técnica sobre manejo, precauciones y uso de plaguicidas; es por ello que el proyecto planteado tiene una relevancia social importante, ayuda a resolver un problema real y la información con la que se contará realmente tendrá un uso (INEC, 2018).

1.2 Impacto ambiental del cultivo de tomate en un invernadero multitúnel

El proyecto “Euphoros” cuya finalidad es el desarrollo de invernaderos sostenibles, realizó un estudio en el cual se pudo determinar las principales cargas ambientales derivadas del cultivo de tomate en invernaderos multitúnel, en dicho estudio participaron centros de investigación y empresas de los principales países Europeos que se dedican al cultivo bajo invernaderos, donde sobresalen: España, Italia, Holanda, Hungría, Letonia y Gran Bretaña.

Se consideraron como subsistemas para el estudio: la estructura, los fertilizantes, los plaguicidas, el equipo auxiliar, el sistema de control climático y la gestión de los residuos. Las

principales cargas ambientales como resultado de la evaluación ambiental fueron: la estructura (con acero), los fertilizantes y el equipo auxiliar (Torrellas et al, 2011).

Los invernaderos artesanales no cuentan con estructuras de acero, por lo que para esta investigación no se considera este subsistema como carga ambiental. El equipo auxiliar se refiere a las instalaciones de drenaje y al consumo de electricidad especialmente para sistemas de riego, esta carga ambiental tampoco es considerada en la investigación.

Fertilizantes: Las cantidades totales de N, P y K aplicados al cultivo fueron: 798.4 kg•ha⁻¹ de N, 220.8 kg•ha⁻¹ de P, 1.296,3 kg• ha⁻¹ de K. Se calcularon las emisiones al aire de NH₃-N, N-N₂O y NO_x-N y las emisiones al agua de NO₃-N (Audsley, 1997; Brentrup et al., 2000.) (Torrellas et al, 2011).

A partir de este estudio se determina que los gases contaminantes emitidos al aire por la aplicación de fertilizantes sobre el cultivo bajo invernadero son: NH₃, N₂O y NO_x, y se puede considerar la presencia de estos gases en otros cultivos como el babaco y las flores, ya que los fertilizantes o abonos complejos tienen composición química similar (NPK) y en su aplicación en un cultivo u otro varía la cantidad de estos componentes, así se incrementa el contenido de nutrientes en el suelo, se estimula el crecimiento vegetativo de las plantas, etc.

Los gases VOC que resultan de la aplicación continua de pesticidas y fungicidas en los cultivos más los NO_x y la luz ultravioleta del sol da lugar a la formación de Ozono es por ello que esta variable también es considerada. La figura 4-1 muestra la relación entre los distintos gases. Otro gas considerado dañino para la salud por la OMS es el monóxido de carbono (CO), es incluso más peligroso que el dióxido de carbono (CO₂) en altas concentraciones.



Figura 4-2: Relación entre gases generados por la aplicación de fertilizantes y pesticidas

Realizado por: Saqui, Jofre; 2018.

1.3 Contaminantes del aire y sus efectos en la salud

Los contaminantes criterio analizados por la OMS y la Norma Ecuatoriana de la calidad del aire (NECCA) son: el CO, NO₂, SO₂, O₃, PM₁₀ y PM_{2.5}, y estos producen efectos negativos en la salud de la población. En cuanto a contaminantes dentro de invernaderos tenemos los COV, NH₃, NO_x, CO y O₃. A continuación se analiza y describe brevemente estos contaminantes y sus límites permitidos.

1.3.1 *Compuestos Orgánicos Volátiles (COV)*

Los COV corresponden a cualquier compuesto de carbono que participan en la formación de ozono troposférico. Se excluyen al monóxido de carbono, dióxido de carbono y otros compuestos. El uso de disolventes y de compuestos químicos constituye una fuente importante de COV. Los COV producen irritación en los ojos, nariz y garganta. En casos severos de exposición provocan dolores de cabeza, pérdida de coordinación y náusea. En exposición crónica, algunos COV afectan el hígado, los riñones y el sistema nervioso central (Municipalidad Cuenca, 2015, p. 20).

1.3.2 *Gas de amoníaco (NH₃)*

Se trata de un gas incoloro, de olor muy penetrante, bastante soluble en agua, y en estado líquido es fácilmente evaporable. Una fuente significativa de emisión de NH₃ proviene de la degradación de residuos animales, basuras y del uso de fertilizantes nitrogenados (Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente, 2017).

- Densidad relativa del gas (aire = 1 g/ml): 0.59
- Masa molecular: 17.03 g/mol
- Umbral de olor: 5 ppm (3,6 mg/m³)

1.3.3 *Óxidos de Nitrógeno (NO_x)*

Son un grupo de gases compuestos por óxido nítrico (NO) y dióxido de nitrógeno (NO₂). El término NO_x se refiere a la combinación de ambas sustancias. Es un gas tóxico, irritante y precursor de la formación de partículas de nitrato, que conllevan la producción de ácidos y elevados niveles de PM_{2.5} en el ambiente (Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente, 2017).

- Densidad relativa del gas (aire = 1g/ml): 1.58

1.3.4 Monóxido de Carbono (CO)

Es un gas inodoro, incoloro, insípido, tóxico y muy inflamable, aunque no es irritante, por lo que su exposición puede pasar completamente desapercibido. Es menos pesado que el aire, por lo que se acumula en las zonas altas de la atmósfera. Tiene una afinidad mucho más alta que el oxígeno por la hemoglobina de la sangre, formando un compuesto denominado carboxihemoglobina, que impide el transporte de oxígeno a las células, y por tanto el organismo no puede obtener la energía para sobrevivir (Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente, 2017).

Densidad relativa del gas (aire = 1): 0.97

1.3.5 Ozono troposférico (O3)

El O3 troposférico es un fuerte irritante que promueve el envejecimiento prematuro y la rigidez de los tejidos pulmonares. Según la OMS, las concentraciones horarias de 200 µg/m3 pueden causar irritación de los ojos, nariz y garganta, dolor pectoral, tos y dolor de cabeza. Los grupos más sensibles constituyen las personas que sufren asma, bronquitis crónica y enfisema. Afecta el normal desarrollo y crecimiento de plantas y produce el deterioro de materiales como el caucho, colorantes textiles y pinturas. El O3 troposférico de origen antropogénico, es un contaminante secundario que se produce principalmente por las reacciones entre los NOx y COV en presencia de radiación solar (Municipalidad Cuenca, 2015, p. 21).

Tabla 1-1: Valores límites ambientales para exposición diaria (VLA-ED) recomendados en España.

CONTAMINANTE	LOA-EL(Lowest observed adverse effect level)	VLA-ED(Valor límite ambiental de exposición diaria)	VLA-EC (Valor límite ambiental de exposición de corta duración)máx 15 min
Amoniaco (NH ₃)	50 ppm	20 ppm (14000 $\frac{\mu g}{m^3}$)	50 ppm
Monóxido de Carbono (CO)	---	25 ppm	---
Monóxido de Nitrógeno (NO)	---	25 ppm (30622 $\frac{\mu g}{m^3}$)	---
Dióxido de Nitrógeno (NO ₂)	5 ppm	3 ppm (5633 $\frac{\mu g}{m^3}$)	---
Ozono (O ₃) Trabajo pesado, moderado o ligero (≤ 2 horas)	---	0.08 ppm (160 $\frac{\mu g}{m^3}$)	---

Realizado Por: Saqui, Jofre; 2018.

Fuente: (Límites de exposición profesional para agentes químicos en España 2014, 2014)

Tabla 2-1: Concentraciones de contaminantes criterio que define los niveles de alerta, de alarma y de emergencia en la calidad del aire.

Contaminante y Período de Tiempo	Alerta	Alarma	Emergencia
Monóxido de Carbono Concentración promedio en ocho horas (µg/m3)	15000	30000	40000
Ozono Concentración promedio en ocho horas (µg/m3)	200	400	600
Dióxido de Nitrógeno Concentración promedio en una hora (µg/m3)	1000	2000	3000
Dióxido de Azufre Concentración promedio en veinticuatro horas (µg/m3)	200	1000	1800
Material particulado PM 10 Concentración en veinticuatro horas (µg/m3)	250	400	500

Realizado por: Saqui, Jofre; 2018.

Fuente: Norma ecuatoriana de la calidad del aire, 2011.

1.4 Control climático en invernaderos

La agro tecnología Israelí está enfocada al desarrollo de ambientes controlados con tecnología de punta. Sistemas computarizados se encargan de proporcionar la temperatura e irrigación exacta para el cultivo, su innovación en sistemas de riego y aplicación de fertilizantes hacen que sus productos sean de la más alta calidad cumpliendo así las necesidades de un mercado mundial más exigente.

Por lo mencionado, tomando en cuenta el conocimiento y experiencia de Israel, se hará un estudio de los aspectos a considerar para lograr un adecuado control ambiental y de gases contaminantes emitidos al aire durante los procesos de fumigación en invernaderos artesanales.

1.4.1 Aireación y Ventilación

Es la actividad agro técnica más importante en cualquier tipo de invernadero, la aparición de enfermedades del follaje y de frutas se debe a la alta humedad relativa presente, la aireación tiene solo como meta bajar la humedad dentro del invernadero.

Métodos de aireación

La ubicación del invernadero.- El invernadero debe ser ubicado en un lugar alto, libre de obstáculos y expuesto a la aireación natural.

La altura del invernadero.- Una mayor altura permite temperaturas más bajas durante el día y una mayor aireación.

La longitud del invernadero.- La longitud máxima del invernadero de acuerdo a información israelí no debe superar los 32 metros asegurando de esta manera una buena aireación.

Instalación de cortinas.- Es la forma principal de aireación en invernaderos, deben estar presentes en los cuatro lados de la construcción, la altura recomendada de la ventana es de 1.5-2 metros.

Aperturas del techo.- el aire caliente siempre sube y es por las aperturas del techo que sale el mayor volumen. Además un efecto venturi es producido por el movimiento del viento fuera del invernadero que aspira el aire cálido o contaminado fuera de la construcción (Peralta Peralta, 2016).

Si se van a construir varias baterías de invernaderos, se recomienda dejar una distancia de 12m entre ellas, esto para asegurar una buena aireación. Así lo muestra la figura 5-1 donde la longitud máxima de cada batería de invernadero es de 32m, una altura recomendada de 4.5m y con un ancho ilimitado.

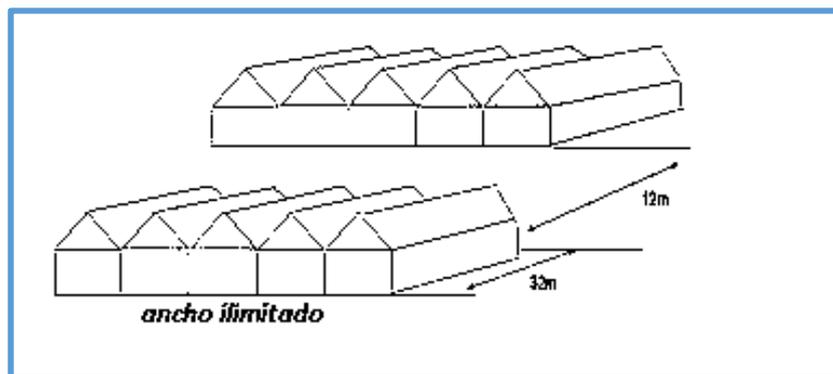


Figura 5-3: Baterías de invernaderos

Realizado por: Saqui, Jofre; 2018.

Ventilación

La función de los ventiladores es únicamente extraer aire cálido, húmedo o contaminado y renovarlo por aire fresco, seco y limpio, y nunca debe empujar aire para adentro; por ello se llaman extractores de aire. Los extractores se instalan en la pared del invernadero siguiendo la dirección del viento natural. Si la longitud del invernadero es mayor a 32m los extractores no podrán extraer adecuadamente el aire interior para renovarlo, este es un aspecto importante a considerar en proyectos de este tipo.

Considerando el aspecto fitosanitario del cultivo en cada sitio donde se coloque un extractor será necesario colocar una malla mosquitera o una cortina de plástico que automáticamente se abra cuando el extractor esté funcionando y se cierre cuando termine de trabajar. La figura 6-1 muestra la ubicación correcta para un extractor industrial considerando la dirección natural del viento y la longitud máxima del invernadero que es de 32m.

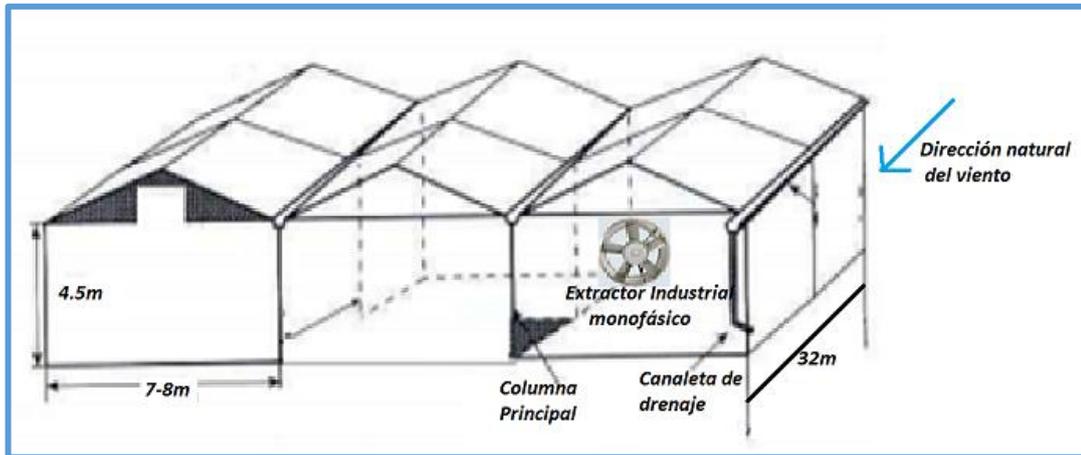


Figura 6-4: Ubicación adecuada para el actuador monofásico.

Realizado por: Saqui, Jofre; 2018.

1.5 Sistemas de monitoreo para invernaderos

Se presentarán cuatro proyectos similares al propuesto en esta investigación, estos proyectos son de código abierto y presentan un bajo consumo energético. Entre ellos destacan el AIR PI, GrovePi, Weather Methers y el Waspnote, estos proyectos son multipropósito y son utilizados para medir variables ambientales o meteorológicas. Se describen a continuación las características principales de ellos para compararlos con este proyecto y definir sus ventajas y desventajas.

1.5.1 Sistema de monitoreo AirPi

La presentación del AirPi se muestra en la figura 7-1, usa como base la conectividad a un Raspberry Pi y es un proyecto desarrollado para monitoreo de la calidad de aire y del clima. El AirPi tiene su propio código abierto que se encarga del procesamiento de los datos y envió de los mismos a Internet. Físicamente es una placa que cuenta con sensores de temperatura, humedad, monóxido de carbono, entre otros; que determinan niveles de temperatura, humedad, presión del aire y los niveles de contaminación (López, 2016, p. 5).

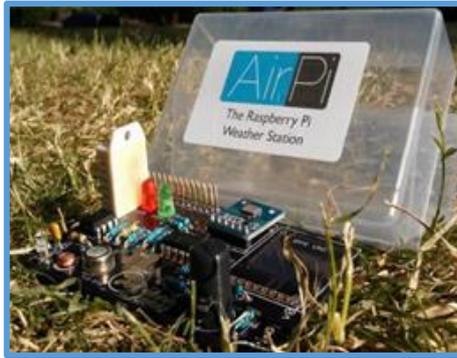


Figura 7-5: Proyecto AirPi

Realizado por: Saqui, Jofre; 2018.

Detalles:

- Sensor de CO₂ y de NO₂.
- DHT22 Sensor de Temperatura y Humedad.
- Sensor de luz LDR
- Micrófono para medir la contaminación acústica

1.5.2 Sistema de monitoreo GrovePi

Es una placa electrónica con 15 interfaces de 4 pines (figura 8-1), que permite la conexión de sensores a una Raspberry Pi. Se usa para monitoreo ambiental o pequeños proyectos de automatización. Es un prototipo modular fácil de usar, para su programación es necesaria la conexión con la Raspberry Pi. Tiene una gran colección de sensores GrovePi que detectan y controlan el mundo físico.

(López, 2016, p. 7).

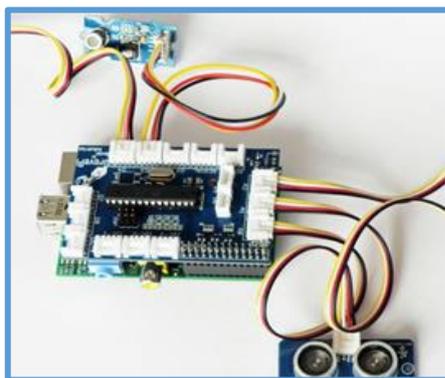


Figura 8-6: Proyecto GrovePi

Realizado por: Saqui, Jofre; 2018.

Detalles:

- GrovePi
- Sensor de Sonido
- Sensor de Humedad y Temperatura

- Sensor de luz
- Relay
- Botón
- Detector de movimiento
- Leds

1.5.3 Sistema de monitoreo Weather Meters

La presentación de este proyecto se muestra en la figura 9-1, es una estación meteorológica que permite medir la velocidad del viento y su dirección, además permite la detección de la lluvia. Es un proyecto enfocado a agricultores, meteorólogos o para personas interesadas en el monitoreo climático. Los sensores que los componen están diseñados para exteriores y soportan viento, nieve y lluvia, el procesador es un Arduino y necesita ser protegido de los factores del tiempo. Con el Weather Meters se tiene el control de los componentes por medio de una red Wi-fi. Los sensores fueron diseñados con cables con terminales RJ11 (López, 2016, p. 6).

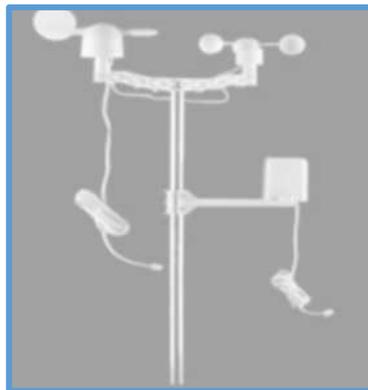


Figura 9-7: Proyecto Weather Meters

Realizado por: Saqui, Jofre; 2018.

Dimensiones: 724mm x 203mm

Detalles:

- Veleta
- Anemómetro
- Pluviómetro
- Mástil de montaje
- Brazo de montaje del pluviómetro
- Barra de montaje para el anemómetro
- Dos abrazaderas

1.5.4 Wasmote Starter Kit

Es una tarjeta modular de código abierto (figura 10-1), diseñada para crear redes de sensores inalámbricas que sean de bajo consumo, desarrollada por la empresa española Libelium. Dentro de los componentes que la forman está un microcontrolador, batería, acelerómetro, memoria y sockets para añadir más módulos. El software de Arduino es compatible con esta plataforma con ciertas consideraciones.



Figura 10-8: Wasmote Starter Kit

Realizado por: Saqui, Jofre; 2018.

Detalles:

- 1 Wasmote 802.15.4 PRO SMA
- 1 Wasmote Gateway 802.15.4 PRO SMA
- 1 2300 mAh LiPo Battery
- 1 miniUSB Cable
- 1 Temperature Sensor

A continuación se hace una comparación de las plataformas investigadas describiendo sus principales características.

Tabla 3-1: Comparación de sistemas de monitoreo para invernaderos.

Proyecto	Tecnología	Escalabilidad	Nº de sensores	Implementación	Precio unitario	Consumo de Energía
AirPi	Alámbrica	No es escalable	Hasta 6 sensores análogos o digitales conectados simultáneamente.	Fácil de implementar, solo es necesario añadir al proyecto la Raspberry Pi.	\$90(No incluye Raspberry Pi)	5v,900mA (depende de los sensores conectados)
GrovePi	Alámbrica	No es escalable	Hasta 15 sensores conectados simultáneamente.	Necesario conocimientos básicos de electrónica.	\$90(No incluye Raspberry Pi)	5v,900mA (depende de los sensores conectados)
Weather Meters	Alámbrica	No es escalable	Hasta 3 sensores conectados simultáneamente.	Necesario conocimientos básicos de electrónica.	\$250 (incluye Arduino)	5v,900mA
Waspnote Starter Kit + módulo de sensores de gases.	Inalámbrica	Escalable	Hasta 6 sensores de gases con módulo adicional	Necesario conocimientos avanzados de electrónica.	\$435+ \$208	Bajo consumo de energía

Realizado por: Saqui, Jofre; 2018

Fuente: (López, 2016).

Las ventajas frente al proyecto planteado son:

- Bajo costo

De los sistemas considerados la mayoría de ellos son de bajo costo y son muy parecidos en cuanto a funcionalidad.

- Facilidad de implementación

Ponerlos a funcionar no representa gran dificultad, solo es necesario conocimientos básicos de electrónica en la mayoría de ellos.

- Altas tasas de transferencia de datos

El estándar Ethernet 802.3 permite una transferencia de datos a velocidad de 1 Gbps, el estándar 802.11g permite una velocidad de 54 Mbps, si bien es cierto estas tasas de transferencia de datos son altas comparadas a los 250Kbps de la tecnología ZigBee, para proyectos como el planteado esto no es realmente una ventaja ya que los datos a transmitir no requieren de altas velocidades. Además en tecnologías como Wi-Fi se da un mayor consumo de energía por parte del router, similar al consumo de un televisor de 32" y casi el doble de un computador portátil (NRDC, 2013).

Las desventajas frente al proyecto planteado son:

- No escalabilidad

Tres de los proyectos descritos no son escalables a excepción de Wasmote que a pesar de presentar esta característica su desventaja es su alto costo. Al no ser escalables no se puede ampliar el área de cobertura en una misma red para la supervisión de contaminación en invernaderos.

- Son independientes

Nuevamente a excepción de Wasmote, los demás sistemas son independientes por lo que no se puede vincular un sistema con otro, si se desea monitorear en un área mayor es necesario más sistemas de estos funcionando de manera independiente lo que elevaría los costos de la implementación.

- Limitaciones por distancia

Los sistemas presentados que trabajan con el estándar Ethernet o Wi-Fi tienen un alcance de transmisión relativamente corto comparado con la tecnología ZigBee, sin equipos repetidores con Wi-Fi en teoría se puede alcanzar hasta 500 metros con la versión 802.11g y con Ethernet hasta los 100m, en la práctica estas distancias son más cortas.

- No consideran técnicas agrícolas para la implementación

Esto referente a la comunicación inalámbrica requerida y a la implementación de actuadores si fuera necesario.

1.6 Flujo o Caudal

Se denomina el flujo volumétrico (Q) como el volumen de fluido que circula en una sección por unidad de tiempo. (MOTT, 2006)

$$Q = Av \text{ Ecuación 1-1}$$

Donde

Q: Caudal viene dado en (m³/seg)

A: Área de la sección de la tubería y viene dada en (m²)

v: es la velocidad promedio del fluido y viene dada en (m/s)

En el dimensionamiento de extractores de aire el caudal viene dado en metros cúbicos por hora, es importante considerar la renovación del aire necesario en recintos cerrados y de acuerdo a ello elegir el extractor más adecuado.

1.7 Sistemas de Control

Un sistema de control se puede definir como un conjunto de elementos que interactúan para conseguir que la salida de un proceso se comporte tal como se desee mediante una acción de control.

Acción de control: Es la cantidad dosificada de energía que afecta al sistema para producir la salida o la respuesta deseada (Hernández, 2010, p. 5).

1.7.1 Clasificación de los sistemas de control

Los sistemas de control se clasifican en sistemas de lazo abierto y sistemas de lazo cerrado. A continuación se hace una descripción de cada uno de ellos.

Sistemas de control de lazo abierto.- sistema en el cual la acción de control es, en cierto modo, independiente de la salida y utiliza un regulador o actuador con el fin de obtener la respuesta deseada (Hernández, 2010, p. 5).

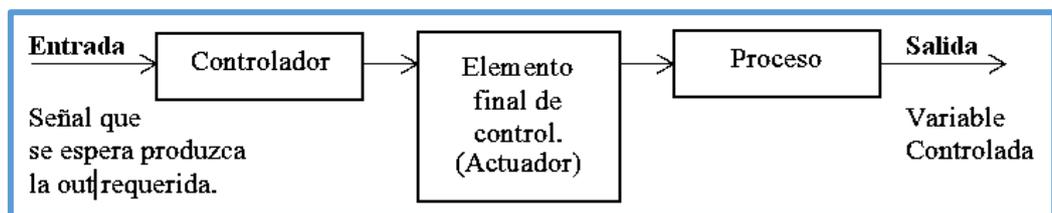


Figura 11-9: Diagrama de bloques de un sistema de control en lazo abierto.

Realizado por: Saqui, Jofre; 2018.

El controlador es el encargado de comparar y/o procesar la información recibida y da lugar a una variable regulada v , que se aplica al elemento final de control (actuador), este a su vez da lugar a una variable manipulada m que entrega la energía necesaria al proceso por controlar.

Sistemas de control de lazo cerrado.- es aquel sistema en el cual la acción de control depende de la salida. Es necesario el uso de sensores que detecten el valor actual y lo comparen con una entrada de referencia. Estos sistemas son llamados también sistemas realimentados.

Como se aprecia en la figura 12-1, un sistema realimentado trabaja de la siguiente manera: la entrada de referencia $r(t)$ se compara con la variable de retroalimentación $b(t)$, el comparador lleva a cabo la suma algebraica de $r(t)-b(t)$, con la cual se genera una señal de error $e(t)$ variable

que ejerce su efecto sobre el controlador; esto da lugar a una variable $v(t)$ que se aplica al elemento final de control (actuador) y produce una variable manipulada $m(t)$ cuya función es suministrar la energía necesaria al proceso a controlar. La variable controlada $y(t)$ resulta de ajustar el comportamiento del proceso (Hernández, 2010, pp. 5,6)

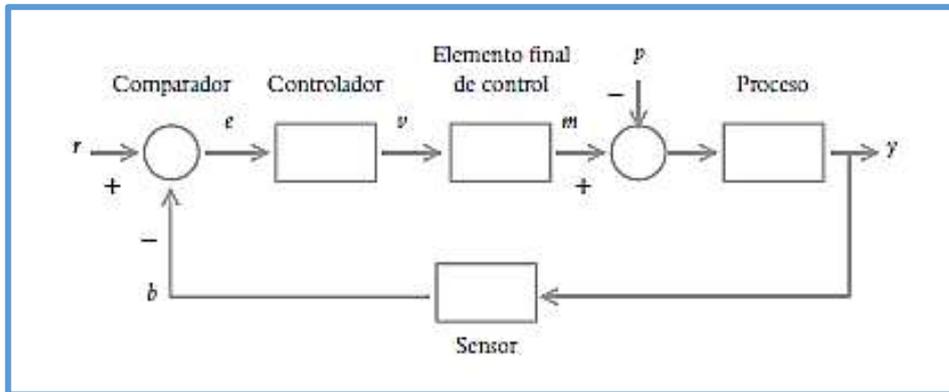


Figura 12-10: Diagrama de bloques de un sistema realimentado.

Fuente: (Hernández, 2010).

1.7.2 Métodos de control

Los sistemas de renovación de aire a partir de extractores se recomiendan únicamente para invernaderos o recintos totalmente cerrados, una vez verificado este aspecto son varios los métodos de control a ser implementados, por ello se hace una revisión de los métodos de control posibles y así determinar el más adecuado, considerando como elemento final de control una carga alterna monofásica.

Control On/Off: Este método de control está basado en instrucciones lógicas (presenta dos estados 1 o 0). Con este tipo de control todo el voltaje de la fuente de alterna se aplica a la carga, con este método la eficiencia η se ve afectada al hacer un encendido brusco y da lugar a la aparición de armónicos que se traducen en pérdidas de energía.

Control por fase: Otro método de control posible, es el control por fase de una carga R-L a partir de semiconductores de potencia (TRIACs, SCRs), este método es adecuado en aplicaciones en las cuales es necesario variar la velocidad de un motor de inducción monofásico. Sin embargo, la eficiencia energética de este tipo de control es mala, especialmente a bajas velocidades. Las aplicaciones típicas son aquellas en las que la carga es pequeña, como en los motores monofásicos con una potencia igual a una fracción de un caballo de vapor, o donde el periodo de operación a baja velocidad es corto.

Control por ciclos enteros (Cruce por cero): En este control como su nombre lo indica, conmuta cuando la tensión tiene valor instantáneo cero y la energía entregada dependerá de la relación entre el tiempo de conducción y no conducción, tomando como base un período de varios ciclos. Es análogo a un control por modulación de ancho de pulsos, donde el "pulso" es en realidad un conjunto de ciclos enteros (figura 13-1). Los circuitos para este tipo de control son algo más complejos que los de control por fase. La eficiencia conseguida con este tipo de control es mayor comparada con un control por fase.

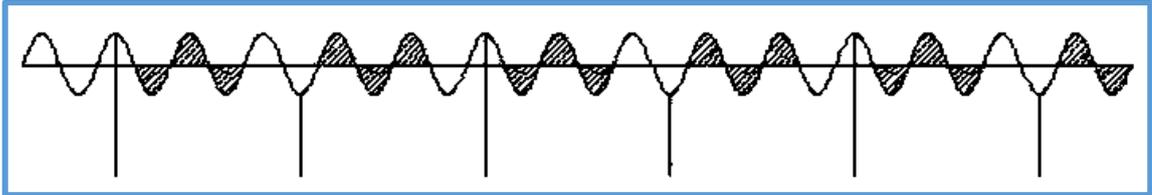


Figura 13-11: Modo de trabajo del control por ciclos.

Fuente: Saqui, Jofre; 2018.

CAPITULO II

2. IMPLEMENTACIÓN; *HARDWARE Y SOFTWARE* DEL PROTOTIPO

En este capítulo se presenta el diseño del *hardware y software* del prototipo inalámbrico de supervisión, aviso y control de gases contaminantes (SAC-GC). Se especifica los requerimientos técnicos que debe cumplir y se realiza el diseño en bloques de cada uno de sus módulos. Se justifica la selección de los sensores y componentes que lo integran. Al final se presenta el esquema de los módulos del prototipo diseñado.

2.1 Requerimientos del diseño SAC-GC

Basado en el estudio realizado en el capítulo anterior se pueden definir los requerimientos de diseño que debe satisfacer el prototipo SAC-GC. Estos son:

- Ser de bajo costo, sencillo de instalar e intuitivo para el usuario.
- Supervisar por zonas las variables de NH₃, CO, O₃, NO_x y temperatura.
- Presentar información referente a los niveles de temperatura y contaminación permitidos.
- Supervisar y emitir avisos independientemente de si se dispone o no de energía eléctrica.
- Ser modular y escalable.
- Los módulos se deben comunicar inalámbricamente (comunicación unidireccional o bidireccional) en tiempo real.
- Almacenar los datos del día en una tarjeta SD con hora y fecha.
- Operar independientemente del país en el cual se implemente.

2.2 Concepción de la arquitectura general del prototipo

La concepción general propuesta para el sistema se presenta en la figura 1-2, donde se encuentran los módulos fundamentales: Nodo sensor, Supervisión-Control y Aviso. Estos módulos se comunican entre sí inalámbricamente por tecnología ZigBee (IEEE 802.15.4 de

WPANs), el diseño propuesto tiende a ser escalable lo cual permite la supervisión de la contaminación y temperatura presente sin importar el tamaño del invernadero.

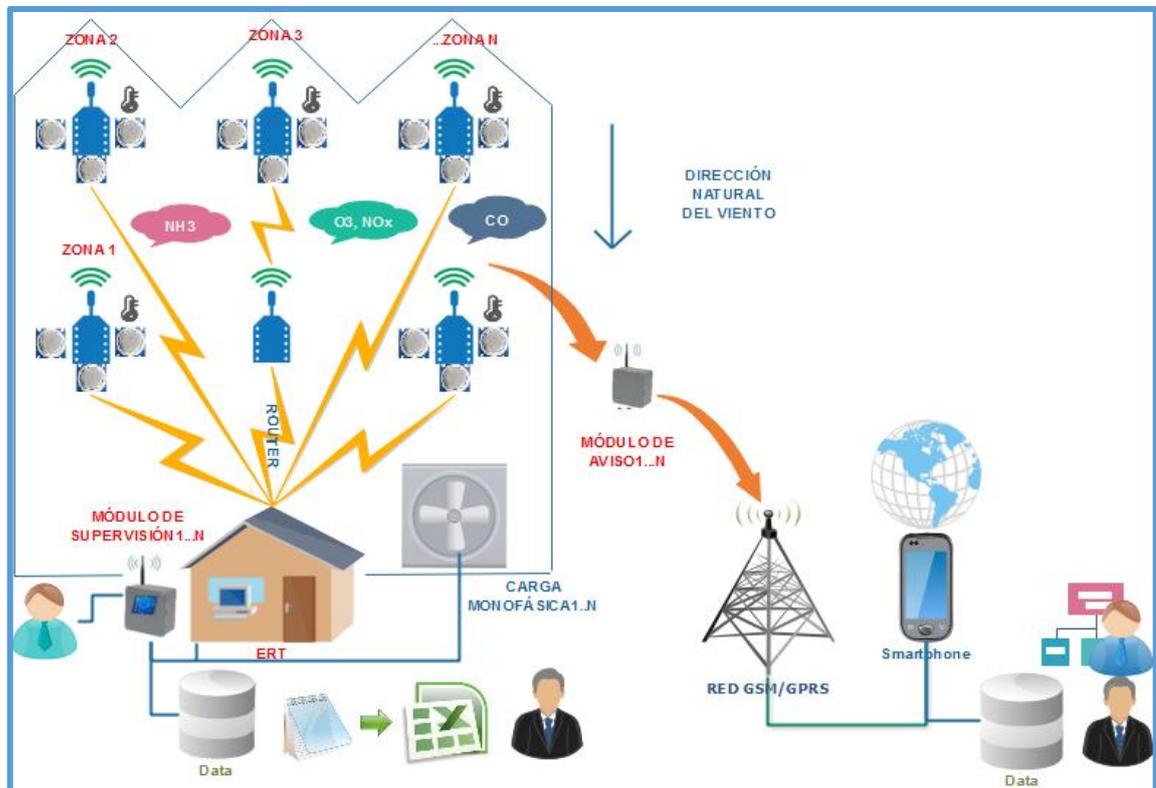


Figura 1-2: Concepción de la Arquitectura general del SAC-GC

Realizado por: Saqui, Jofre; 2018.

2.2.1 *Nodo sensor*

Se encarga de adquirir y enviar las lecturas de los sensores por RF a los módulos de supervisión y aviso. El número de nodos depende del tamaño del invernadero siendo recomendable uno por cada nave de 7x4.5x32m (ancho, alto, profundidad) y ubicado en el centro a la altura especificada, debido a que es en el centro donde tiende a acumularse los gases y el aire caliente. Para la alimentación del nodo se utiliza una batería de 6 voltios y 7500mAh, esto debido al gran consumo de corriente de los sensores de gases y el tiempo requerido en el precalentamiento. La batería se recarga a partir de un panel solar de 15W haciendo uso de un convertor Buck.

2.2.2 *Módulo de Supervisión-Control*

Es el encargado de recibir las lecturas del nodo sensor por RF contiene una tarjeta de desarrollo Arduino Mega R3 que procesa la información, un Xbee Shield, un módulo Xbee S2c, un display Nextion de 5", módulos micro SD, RTC y dispone de una fuente de alimentación

ininterrumpida (UPS). Incluye un módulo de relés para controlar el encendido y apagado de una carga alterna monofásica previamente dimensionada.

2.2.3 Módulo de Aviso.

Es el encargado de recibir las lecturas del nodo sensor por RF y emitir avisos a través de llamadas y mensajes cuando se ha superado los niveles de temperatura y de contaminación permitidos. Consta de una tarjeta de desarrollo Arduino Uno R3, un módulo GSM/GPRS Sim900, un Xbee Shield y un módulo Xbee S2c. Comparte la fuente de alimentación del módulo de Supervisión-Control.

2.3 Establecimiento de la topología de red

A partir de la concepción general del prototipo, se determinó la topología estrella, lo cual es viable por el alcance de transmisión de los módulos Xbee S2c de cientos de metros con línea de vista y de 60 metros en interiores. Además se considera las dimensiones habituales de los invernaderos de la zona como se aprecia en la figura 2-2 y se concluye que la topología estrella es la correcta para el proyecto.



Figura 2-1: Invernaderos artesanales del Sector de Yaruquíes-Riobamba

Realizado por: Saqui, Jofre; 2018.

2.4 Diseño de la arquitectura de los módulos del SAC-GC

A continuación se hace una descripción breve de la función de los bloques que conforman cada uno de los módulos.

2.4.1 *Nodo sensor*

En la figura 3-2 se presenta el diagrama de los siete bloques que lo conforman y se muestra la interconexión que existe entre ellos. Cuatro de los bloques contienen los sensores que se encargan de la medición de cinco variables (NH_3 , CO , O_3 , NO_x y T). El bloque de procesamiento de información y el bloque de comunicación inalámbrica están contenidos en el módulo Xbee S2c, ya que se encarga de realizar la conversión analógica a digital y de transmitir la información por RF a los módulos restantes. El bloque de alimentación contiene un sistema de energía renovable fotovoltaica.

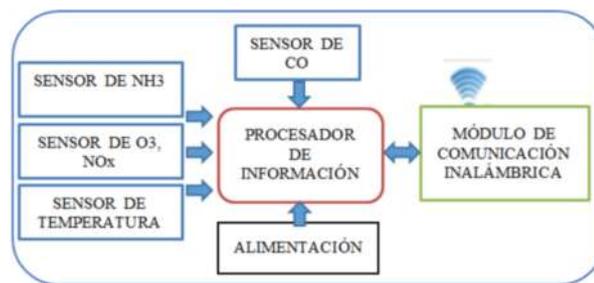


Figura 3-2: Diagrama de bloques del nodo sensor

Realizado por: Saqui, Jofre; 2018.

2.4.2 *Módulo de Supervisión y Control*

En la Figura 4-2 se presenta el diagrama de los siete bloques del módulo de Supervisión y Control, donde se muestra la interconexión que existe. El bloque de comunicación inalámbrica recibe la información del nodo sensor y la envía al bloque de procesamiento que permite la visualización de los valores actuales, máximos y mínimos. Muestra información acerca de los niveles de temperatura y contaminación permitidos. Almacena los valores de las variables con hora y fecha y controla la activación de los actuadores (extractores).

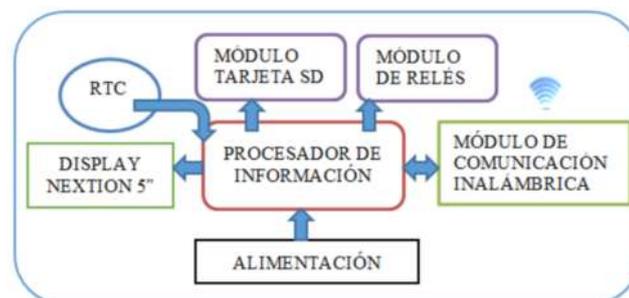


Figura 4-2: Diagrama de bloques módulo de Supervisión-Control

Realizado por: Saqui, Jofre; 2018.

2.4.3 *Módulo de aviso*

En la figura 5-2 el bloque de comunicación inalámbrica recibe información del nodo sensor y lo transmite por comunicación serial al bloque de procesamiento que es el encargado de calcular

los valores de las variables medidas y compararlos con los valores máximos y mínimos permitidos. A través del bloque GSM se realiza una llamada, y se envía un mensaje que indica si el valor actual es adecuado o no.

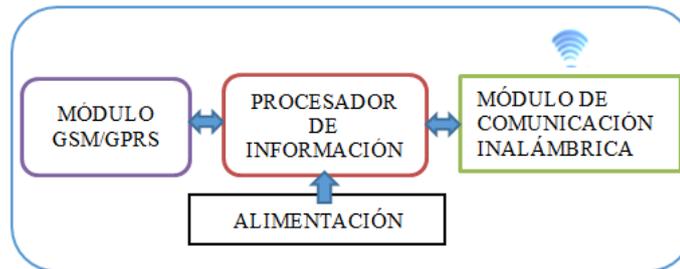


Figura 5-2: Diagrama de bloques módulo de aviso.

Realizado por: Saqui, Jofre; 2018.

2.5 Selección de dispositivos para el SAC-GC

A continuación, se detallan las principales características de los elementos que conforman los módulos del prototipo y una breve reseña de su selección.

2.5.1 Tarjetas de Desarrollo para el SAC-GC

En nuestro proyecto Arduino cumple las características requeridas por el prototipo. Debido a que es de bajo costo, por el número de terminales I/O disponible, por los tipos de comunicación que permite y porque dispone de *software* libre para la utilización de los varios dispositivos. En la tabla 1-2 se presenta la comparación entre las tarjetas Arduino más conocidas.

Tabla 1-2: Comparaciones entre placas Arduino

Descripción	Arduino Uno R3	Arduino Mega R3	Arduino Nano
Precio en dólares	\$ 15	\$ 22	\$ 9
Procesador	Atmega328P	Atmega2560	Atmega328
Voltaje	5V/ 7-12 V	5V/ 7-12 V	5V / 7-9 V
Velocidad de reloj	16 MHZ	16 MHZ	16 MHZ
Entradas/ salidas analógicas	6/0	16/0	8/0
Entradas digitales/ pwm	14/6	54/15	14/6
Eeprom [kb]	1	4	1
Sram [kb]	2	8	2
Flash [kb]	32	256	32
Usb	Regular	Regular	Mini

Realizado por: Saqui, Jofre; 2018.

Fuente: <https://www.arduino.cc/en/Products/Compare>

Para el módulo de supervisión se opta por un Arduino Mega R3, por su velocidad de procesamiento de 16MHz, la capacidad de almacenamiento de su memoria Flash, por el número de terminales de conexión tanto analógica como digital, por su compatibilidad con otros dispositivos y su bajo costo, la figura 6-2 muestra su presentación.

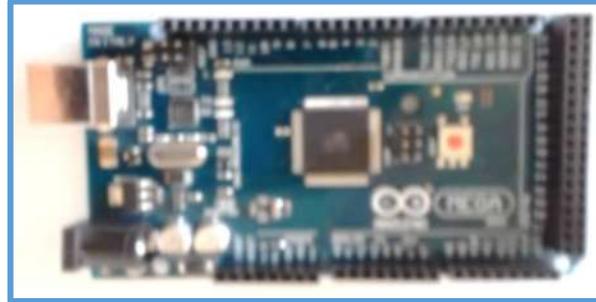


Figura 6-2: Arduino Mega R3

Realizado por: Saqui, Jofre; 2018.

Para el módulo de Aviso se optó por un Arduino Uno R3 como se puede apreciar en la figura 7-2, el cual es compatible con el módulo GPRS SIM 900, la memoria de programa requerida por el módulo de aviso no es tan grande como en el módulo de supervisión, ya que la tarea del módulo será comparar los datos recibidos con valores preestablecidos y emitir avisos cuando los valores estén fuera del rango permitido.



Figura 7-2: Arduino Uno R3

Realizado por: Saqui, Jofre; 2018.

2.5.2 *Sensores para el SAC-GC.*

A continuación se detalla las características principales de los sensores del prototipo.

2.5.2.1 Sensor de Temperatura de precisión LM-35 (°C)

Es un sensor analógico con una precisión calibrada de 1°C y se muestra en la figura 8-2, por tanto no necesita ajustes de calibración, su capacidad de medida va de -55°C a 150°C. Su

salida es lineal y entrega $10\text{mV}/^\circ\text{C}$. Su consumo de corriente es menor a $60\ \mu\text{A}$ y es ideal para aplicaciones remotas (Alldatasheet, 2018).



Figura 8-2: Sensor LM-35

Realizado por: Saqui, Jofre; 2018.

Principales características:

- Calibrado directamente en grados Celsius (Centígrados)
- Lineal $+10.0\ \text{mV}/^\circ\text{C}$ factor de escala
- 0.5°C de precisión garantizada (en los $+25^\circ\text{C}$)
- Rango: -55°C a 150°C
- Funciona de 4 a 30V.
- Consumo de corriente menor a $60\ \mu\text{A}$.

2.5.2.2 Sensor de gas MQ-7

Mide la cantidad de este gas en el aire y es fabricado por la empresa China HANWEI ELECTRONICS Co Ltd. La presentación del módulo se muestra en la figura 9-2.



Figura 9-2: Módulo sensor de Monóxido de Carbono MQ-7

Realizado por: Saqui, Jofre; 2018.

Este tipo de sensor electroquímico varía su resistencia cuando la tensión se aplica a los electrodos del sensor y el gas CO atraviesa la membrana. Esto debido a que se produce una reacción de reducción u oxidación que genera una corriente eléctrica en función de la concentración del gas (Morales, 2016, p.27). Ver Anexo B.

Principales características:

- Corriente consumida: 70 mA
- Concentración de 10-10000 PPM
- Resistencia de carga ajustable RL Ajustable
- Resistencia a un determinado gas se calcula con (Rs): $R_s = (V_c / V_{RL} - 1) \times R_L$

2.5.2.3 Sensor de gas MQ-135

Es un sensor de calidad de aire que detecta gases peligrosos como el Amoniaco, Benceno y Alcohol. Este sensor puede detectar concentraciones de gases en un rango de 10 a 1000 ppm. Comercialmente está disponible en un módulo que se muestra en la figura 10-2, ver anexo C.



Figura 10-2: Módulo Sensor de calidad de aire MQ-135

Realizado por: Saqui, Jofre; 2018.

Principales características:

- Corriente consumida: 160 mA
- Rango de detección de Amoniaco: 10ppm-300ppm
- Rango de detección Benceno: 10ppm-1000ppm
- Rango de detección de Alcohol: 10ppm-300ppm

2.5.2.4 Sensor de gas MQ-131

Mide la cantidad de Ozono y Óxidos de Nitrógeno presentes en el aire, el módulo MQ-131 se muestra en la figura 11-2, es fabricado por la empresa HANWEI ELECTRONICS Co Ltd. Es un sensor de tipo electrolito sólido, donde la conductividad disminuye con el aire limpio (Morales, 2016, p.28). Ver anexo D.

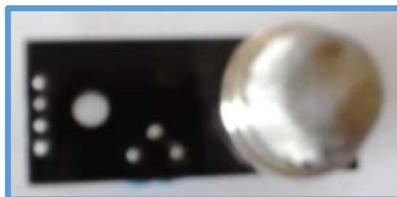


Figura 11-2: Módulo Sensor de Ozono MQ-131

Realizado por: Saqui, Jofre; 2018.

Principales características:

- Corriente consumida: 180 mA
- Concentración de 10-1000 ppm
- Temperatura y humedad $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$; $65\% \pm 5\% \text{ RH}$
- Resistencia a un determinado gas se calcula con (Rs): $R_s = (V_c / V_{RL} - 1) \times R_L$

2.5.3 Comunicación inalámbrica para el SAC-GC.

La topología y consideraciones del capítulo uno permitieron la elección del módulo Xbee S2c para transmitir la información por RF.

2.5.3.1 Módulo Xbee S2C

Cuenta con cuatro entradas analógicas y trece I/O digitales, internamente este módulo utiliza un ADC y envía al Xbee remoto la trama. Otra característica importante del módulo Xbee es la confiabilidad que brinda al transmitir la información ya que la red se auto repara y es posible comunicarlo con Arduino Mega y Uno a través de un Xbee Shield. Tiene cobertura mundial, es un dispositivo para la mayoría de mercados.

Permite seleccionar uno de 16 canales y utiliza modulación DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum) de esta manera se logra la expansión del espectro de la señal a transmitir, con lo cual se agrega seguridad y confiabilidad al sistema, además da cierta inmunidad al ruido presente en las líneas de transmisión de energía eléctrica (Agudelo et al., 2011). El módulo transceptor Xbee S2c wire ant viene con una antena incorporada de fábrica como se aprecia en la figura 12-2.

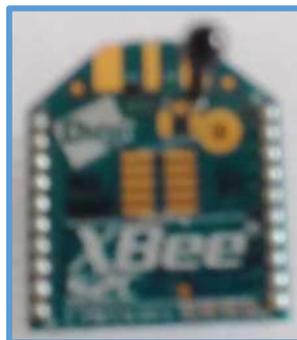


Figura 12-2: Módulos RF Xbee S2c Wire Ant

Realizado por: Saqui, Jofre; 2018.

Principales características:

- Voltaje de operación: 2.1-3.6V

- Corriente de operación: 33mA a 3.3V
- Rango en interiores: 60 metros
- Rango en línea vista: 1200 metros
- Red auto reparable
- Temperatura operación: -40°C a 85°C
- Velocidad de transmisión RF: 250 kbps
- Frecuencia: 2.4 GHz – 2.5 GHz
- Modulación: DSSS

Roles de Xbee

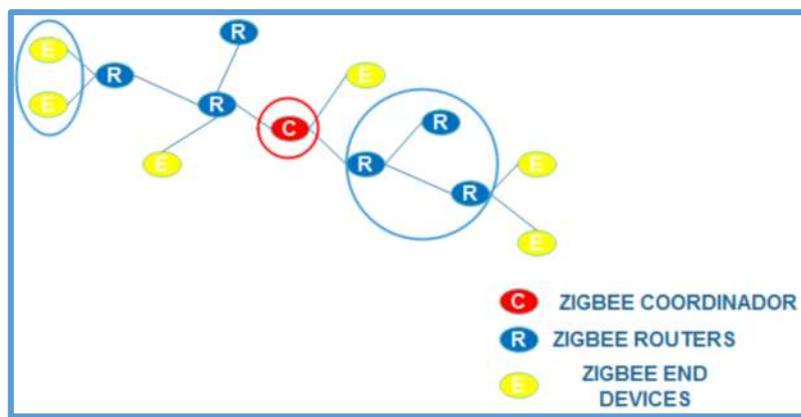


Figura 13-2: Roles del Xbee

Realizado por: Saqui, Jofre; 2018.

Coordinador: Se encarga de configurar la red y se requiere uno en cada red, no puede estar en modo sleep.

Ruoter: pueden existir múltiples en una red. Pueden redirigir los mensajes a otros routers o end device, no pueden estar en modo sleep.

End device: pueden existir muchos en una red. No pueden redirigir mensajes. Pueden trabajar en modo sleep para ahorrar energía.

Modos de trabajo del Xbee

- **Modo transparente:** Los dispositivos actúan como un reemplazo de cable serial. Esto quiere decir que lo que reciben por RF lo transmiten por el puerto serial.
- **Modo Comando o API:** Esto es basado en tramas, esto quiere decir que él se encarga de encapsular en diferentes campos todos los parámetros para así recibir o transmitir una trama.

2.5.4 Comunicación GSM y módulos adicionales para el SAC-GC.

La comunicación GSM importante para el módulo de aviso se realiza con un módulo GPRS de bajo costo, por otro lado el módulo de supervisión requiere de módulos adicionales como son el RTC y MicroSD y en la implementación del nodo se utilizó un Xbee explorer como módulo adicional, por ello a continuación se detallan sus principales características.

2.5.4.1 GSM/GPRS (SIM 900's)

Existen aplicaciones en las cuales no tenemos acceso a redes Ethernet y Wi-Fi, los invernaderos que se encuentran en los sectores rurales tienen también esta realidad. Es por ello que se utiliza el módulo GSM basado en el chip SIM 900's mostrado en la figura 14-2 para el aviso de niveles riesgosos de contaminación, ya que permite enviar y recibir llamadas y SMS y conectarnos a Internet.



Figura 14-2: Módulo GSM/GPRS SIM900

Realizado por: Saqui, Jofre; 2018.

Principales características:

- Voltaje de alimentación: 5V
- Rango de temperatura industrial: -40°C a +85°C
- Control vía comandos AT
- Soporta protocolos de transporte TCP/UDP.
- Puerto Serial a elegir
- Potencia de consumo baja en modo sleep (1.5 mA)

2.5.4.2 Xbee explorer USB

Debido a que el espacio entre los pines del Xbee es un poco más angosto que otro dispositivo, no es posible colocarlo en una protoboard, por eso para ocuparlo y configurarlo se hace uso de un Xbee explorer USB mostrado en la figura 15-2, que se encarga de comunicarse directamente con los pines seriales del Xbee.

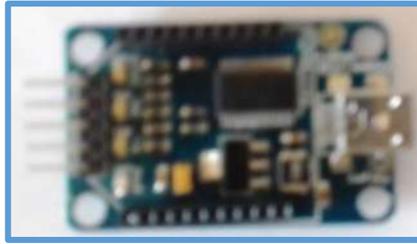


Figura 15-2: Módulo Xbee explorer

Realizado por: Saqui, Jofre; 2018.

Principales características:

- Basada en FT323RL de Future Technology Devices International (FTDI) para mayor estabilidad en las comunicaciones.
- Puede funcionar como una interfaz PC- Xbee
- Zócalo para Xbee incluido en la tarjeta
- Pines en 90° para comunicación serial entre microcontroladores con UART

2.5.4.3 Reloj de tiempo real (DS1307)

El DS1307 mostrado en la figura 16-2 es un reloj de código BCD con calendario, presenta una función de compensación por año bisiesto y permite la selección del formato de 12 o 24 horas. Trabaja con una pila recargable LIR2032 de 3.6 V, la cual tiene un tiempo de vida de hasta un año (Guerra, 2015, p.28).

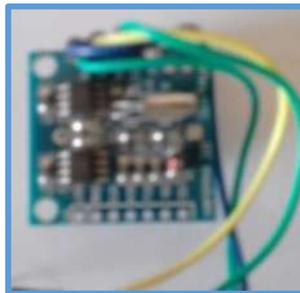


Figura 16-2: Reloj de tiempo real DS1307

Realizado por: Saqui, Jofre; 2018.

Principales características:

- Reloj de tiempo real de baja potencia
- Trabaja con comunicación I²C
- Posee 56 bits de memoria RAM no volátil

2.5.4.4 Módulo MicroSD

Es compatible con tarjetas SD TF (comúnmente utilizado en teléfonos móviles), que es la tarjeta más pequeña en el mercado. El módulo SD tiene diversas aplicaciones tales como registrador de datos, audio, vídeo, gráficos. Este módulo mostrado en la figura 17-2 ampliará enormemente la capacidad de memoria del Arduino.

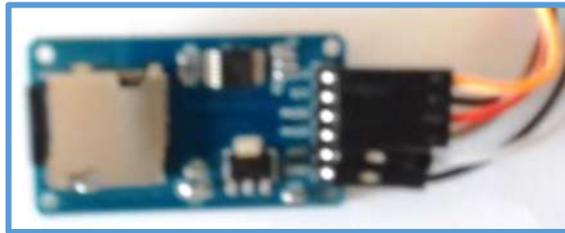


Figura 17-2: Módulo MicroSD

Realizado por: Saqui, Jofre; 2018.

Principales características:

- Tamaño: 20x28mm
- Interfaz: SPI
- Compatible: MicroSD (TF)

2.5.5 Visualización de Información para el SAC-GC

Para la visualización de información del prototipo se eligió una pantalla Nextion de 5" que proporciona una interfaz de control y visualización entre un ser humano y un proceso, máquina, aplicación o dispositivo, la presentación del display se muestra en la figura 18-2, el hardware comprende un serie de placas Thin-film transistor (TFT) y el software el editor Nextion, la pantalla utiliza un solo puerto serie para comunicarse lo cual reduce el cableado. Además HMI Nextion 5.0 " cuenta con panel táctil resistivo integrado de 4 hilos 800x480 NX8048T050.

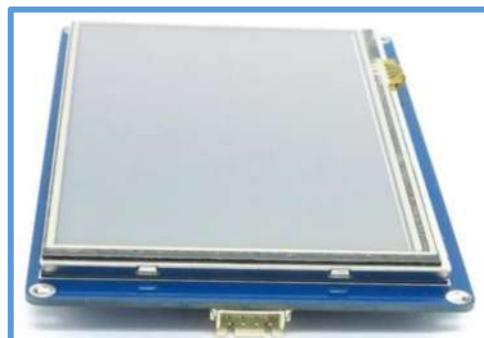


Figura 18-2: Pantalla Nextion 5"

Realizado por: Saqui, Jofre; 2018.

Características

- Compatible con Raspberry Pi A +, B + y Raspberry Pi 2, Arduino
- Resolución 800 x 480
- RGB 65K fiel a los colores de la vida
- Interfaz fácil de 4 pines para cualquier host serie TTL para Arduino
- Memoria Flash de 16M para Código de Aplicación de Usuario y Fecha
- Tarjeta micro-SD incorporada para la actualización del firmware
- Consumo de energía 5V, 410mA

2.5.6 Alimentación para el SAC-GC

Para determinar la alimentación adecuada del prototipo se recorrió el sector de Yaruquíes, y se pudo apreciar que la mayoría de invernaderos se encuentran junto a las viviendas, disponiendo así de la red eléctrica. En ausencia de la misma cuenta de alimentación auxiliar conformado por un UPS que es un sistema de alimentación ininterrumpida o por sus siglas en inglés (*uninterruptible power supply*) (DICCIONARIO TECNOLÓGICO, 2016) , así aseguramos la autonomía del prototipo.

Debido a que el Arduino uno y mega pueden ser alimentados hasta con 12V y considerando el tamaño del gabinete se ha seleccionado el UPS de 12V y 4 Amperio/ Hora como se muestra en la figura 19-2 para los módulos de supervisión-control y aviso. En la alimentación del nodo se utiliza energía fotovoltaica renovable. (Ver anexo N).



Figura 19-2: UPS Ultracell

Realizado por: Saqui, Jofre; 2018.

2.6 Esquema de conexión del SAC-GC

Una vez seleccionado los dispositivos electrónicos que integran los diferentes módulos, las conexiones de cada módulo se realizaron en *Proteus 8 Profesional* por ser un entorno amigable

y accesible en el que se puede diseñar y realizar diferentes simulaciones. En Isis se realizó las conexiones de los diagramas de cada módulo del SAC-GC, se instaló librerías para la compatibilidad con Arduino Mega, Uno, sensores de gases, DS-1307, módulo SIM900, entre otros permitiendo realizar modificaciones rápidas para la implementación.

2.6.1 Esquema de conexión del nodo sensor

El esquema de conexión del nodo sensor se aprecia en la figura 20-2, tiene como elemento central es un Xbee S2c que se comunica con cada uno de los sensores:

- Se ubica el Xbee sobre el Xbee explorer, tanto para la alimentación como para la verificación de una comunicación correcta mediante el encendido del led de RSSI.
- La señal del sensor de temperatura LM-35 se conecta al terminal A0 del Xbee S2c.
- Debido a que el módulo Xbee lee valores analógicos hasta 1,2 voltios y el sensor MQ-7 inicialmente da valores por encima de 0.9 voltios, se implementa un divisor de voltaje con resistencias iguales siendo la entrada Vcc y la señal de voltaje de salida (Vout) de la resistencia R2 se conecta al terminal A1 del Xbee S2c y mediante programación en el módulo receptor se obtiene el valor de voltaje real medido.
- La señal del sensor de gas MQ-135 se conecta al terminal A2 del Xbee S2c.
- La señal del sensor de gas MQ-131 se conecta al terminal A3 del Xbee S2c.
- Se establece la comunicación inalámbrica entre el router y el coordinador para enviar las lecturas por RF.
- Se coloca un switch en serie con la alimentación para el encendido y apagado del nodo.

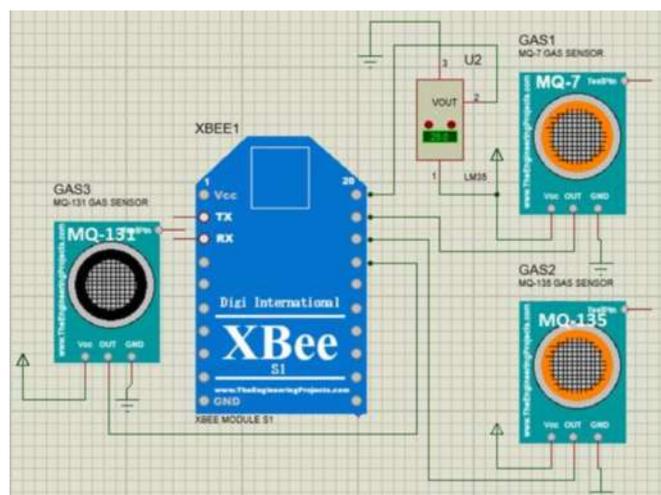


Figura 20-2: Conexión del nodo sensor del SAC-GC

Realizado por: Saqui, Jofre; 2018.

2.6.2 Esquema de conexión del módulo Supervisión - Control

Tiene como elemento central el Arduino Mega R3 como se puede apreciar en la figura 21-2 conectado a una pantalla Nextion TFT Touch de 5" para cumplir requerimientos de visualización del prototipo, adicionalmente se incorpora un RTC y un módulo MicroSD para el almacenamiento de información.

- Al Xbee coordinador llega las lecturas por RF, esta señal se envía al Arduino Mega R3 por el puerto serie con la ayuda del Xbee Shield, los pines utilizados son el RX0 y el TX0.
- El Arduino Mega R3 procesa la información recibida, realiza la calibración respectiva y permite visualizar los valores obtenidos tanto en el computador como en la pantalla Nextion utilizando comunicación serial. La comunicación con la pantalla se establece por los terminales D10 y D11.
- Con la ayuda del módulo RTC y micro SD se almacenan periódicamente los valores obtenidos con hora y fecha, cumpliendo así con los requerimientos planteados. Son utilizados los terminales D41, D50, D51 y D52 para trabajar con la micro SD y los terminales D20 y D21 para el RTC junto con su respectiva alimentación.
- El procesador determina si los datos recibidos están dentro del rango permitido y si sobrepasan los límites establecidos coloca en alto el terminal D7 que se conecta con la IN1 del módulo de relés de dos canales, al activarse RELE 1 permite la transmisión de la línea monofásica para el encendido de la carga R-L, del mismo modo el terminal D6 controlará el encendido de una segunda carga monofásica si fuera necesario.

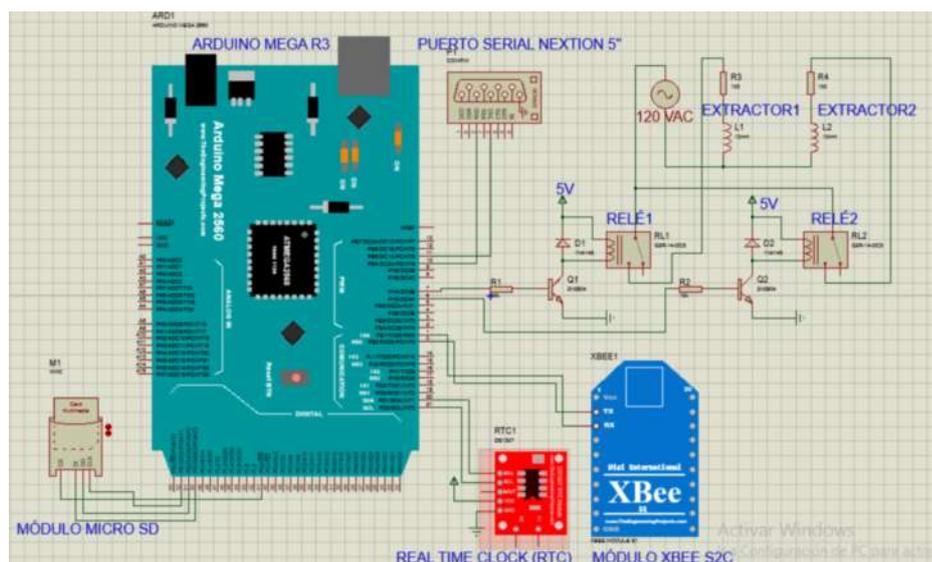


Figura 21-2: Conexión del Módulo Supervisión-Control del SAC-GC

Realizado por: Saqui, Jofre; 2018.

2.6.3 Esquema de conexión del módulo de Aviso

Tiene como elemento central el Arduino Uno R3 como se puede apreciar en la figura 22-2, se comunica por serial físico con el Xbee S2c para recibir información y por Software serial con el módulo GSM/GPRS SIM900.

- Al Xbee de este módulo llega las lecturas por RF, esta señal se envía al Arduino Uno R3 con la ayuda del Xbee Shield utilizando los pines RX0 y el TX0.
- El Arduino Uno R3 procesa la información recibida, realiza la calibración respectiva, y permite visualizar los valores obtenidos en el computador utilizando comunicación serial.
- El módulo SIM 900 se comunica por puerto serie virtual con el Arduino Uno R3, haciendo uso de los terminales D7 y D8. Cuando se ha sobrepasado los niveles de alerta permitidos genera un mensaje donde se indica los valores de las distintas variables e indica que variables están fuera del rango.
- Adicionalmente realiza una llamada para asegurar que el usuario recibe el aviso.

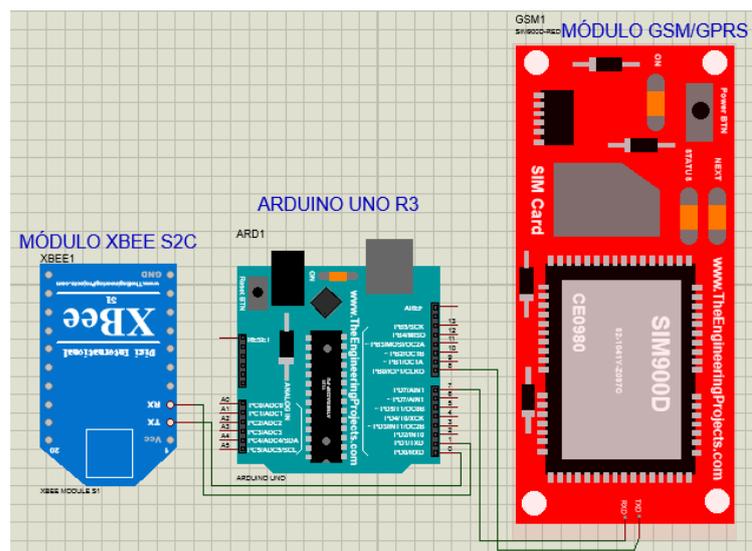


Figura 22-2: Conexión del Módulo Aviso del SAC-GC

Realizado por: Saqui, Jofre; 2018.

2.7 Diseño del Software de SAC-GC

El diseño del *Software* se realiza en IDE de Arduino, se parte definiendo los requerimientos específicos que debe satisfacer, se presenta los diagramas de flujo, las funciones y librerías utilizadas que combinadas con el hardware cumplirán los requerimientos globales del prototipo.

2.7.1 Requerimientos del Software del SAC-GC

- Obtener mediciones de las variables de NH₃, CO, O₃, NO₂ y temperatura.
- Determinar los valores máximos y mínimos de cada variable medida por el sistema.
- Mostrar en la HMI la zona sobre la cual se está monitoreando, el nombre del archivo donde se guarda la información, la fecha y hora actual, así como los valores máximos, mínimos y actuales de cada variable medida.
- Transmisión de datos en tiempo real entre el procesador y la pantalla Nextion.
- Interfaz amigable e intuitiva para el usuario que muestre los niveles de temperatura y de gases permitidos.
- Formato de almacenamiento debe ser reconocido por *software* de cálculo como Excel.
- Rapidez al emitir avisos cuando sobrepase los niveles de alerta.
- Permitir un control para el encendido y apagado de una carga monofásica.

2.7.2 Diagrama de flujo del programa del Módulo de Supervisión – Control

En la figura 23-2 se presenta el diagrama de flujo del programa detallando su proceso.

Para la inicialización:

- Se realiza la inclusión de librerías para el RTC, módulo micro SD, y puerto serie virtual para la pantalla Nextion.
- Declaración e inicialización de las variables globales que se utilizará.
- Se definen las funciones **error(char *str)**, **write_sd()**, **find_max_min()**, **sendnextion()** y **ff()**.
- Se inicializa la comunicación serial, el RTC y el módulo micro SD.
- Se envía el nombre del archivo **filename** a la HMI del display Nextion vía serial.
- Configuración de entradas y salidas de los dispositivos.

Para el ciclo de repetición:

- Se procede a identificar si existen bytes disponibles para leer desde el buffer serie con el comando **Serial.available ()**.
- Se pregunta si es el inicio de la trama (0x7E) enviada por el módulo Xbee del nodo.
- De ser así por descarte de bytes se identifica la zona y los bytes correspondientes a cada entrada analógica del nodo.
- Se unen los bytes de cada entrada analógica y de este modo se obtiene la lectura enviada por el nodo.
- Se pregunta si la lectura realizada fue o no correcta. De ser así se continúa con el procesamiento de información y realiza la calibración respectiva en caso contrario se

descarta la lectura.

- Si la lectura fue correcta se pregunta si es la primera lectura realizada, de ser así se asigna los valores máximos y mínimos con los valores actuales.
- Si no es la primera lectura se determina los valores máximos y mínimos de cada variable con la función **find_max_min()**.
- A continuación se transmiten los datos obtenidos vía serial al computador y utilizando la función **sendnextion()** al display Nextion .
- Se escribe en la SD los datos obtenidos con hora y fecha con ayuda de la función **write_sd()**.
- Finalmente se pregunta si la lectura es mayor al nivel de alerta permitido, de ser así se envía la señal correspondiente para la activación de los relés y en consecuencia permitir el encendido de la carga monofásica.

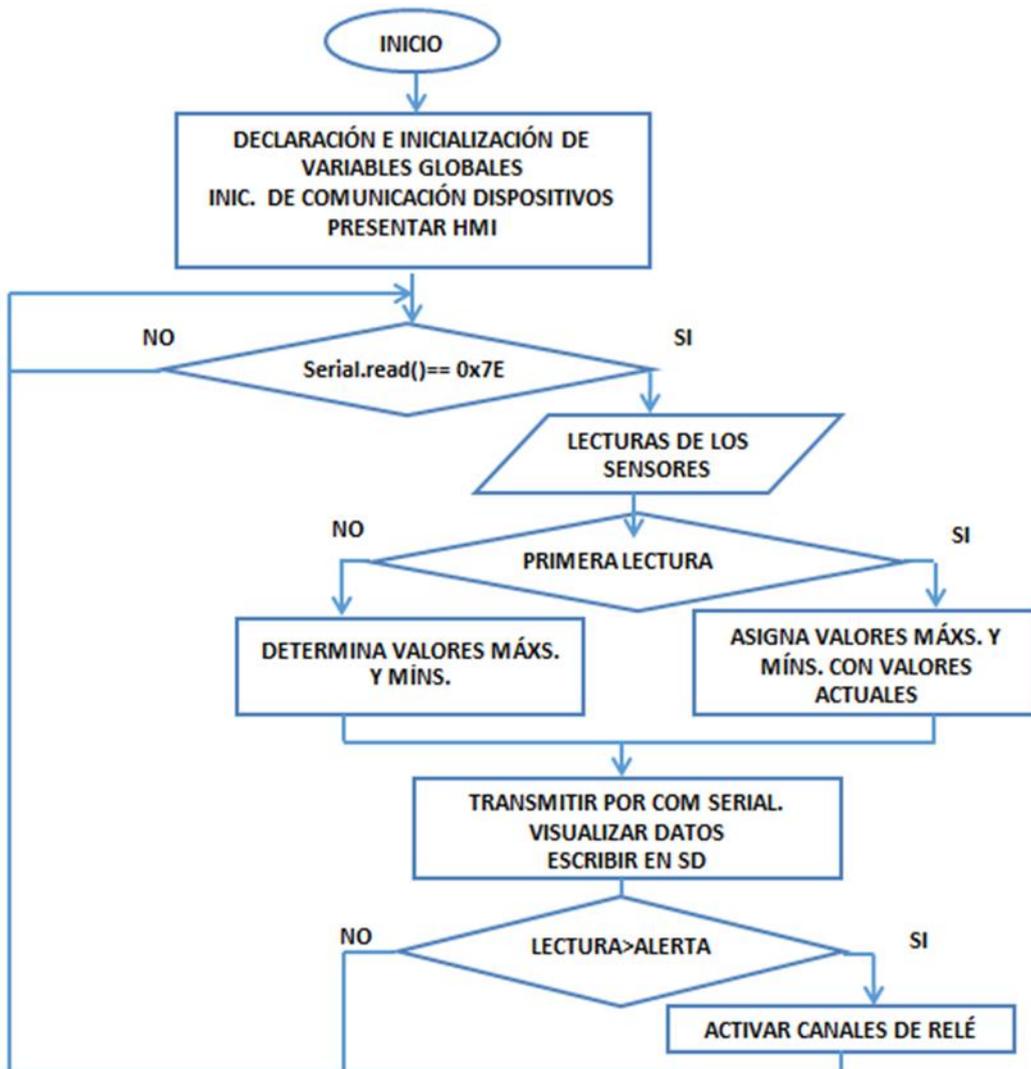


Figura 23-2: Diagrama de flujo del Módulo de Supervisión-Control

Realizado por: Saqui, Jofre; 2018.

2.7.3 Diagrama de flujo del programa del Módulo de Aviso

En la figura 24-2 se presenta el diagrama de flujo del programa detallando su proceso.

Para el ciclo de inicio:

- Se realiza la inclusión de librerías para el puerto serie virtual para el SIM900.
- Declaración e inicialización de las variables globales que se utilizará.
- Se definen las funciones **id_zona()**, **compara_var()**, **create_sms()**, **send_sms()** y **llamar()**.
- Se inicializa la comunicación serial y se configura las entradas y salidas de los dispositivos.

Para el ciclo de repetición:

- Se procede a identificar si existen bytes disponibles para leer desde el buffer serie con el comando **Serial.available ()**.
- Se pregunta si es el inicio de la trama (0x7E) enviada por el módulo Xbee del nodo.
- De ser así por descarte de bytes se identifica la zona y los bytes correspondientes a cada entrada analógica del nodo.
- Se unen los bytes de cada entrada analógica y de este modo se obtiene la lectura enviada por el nodo.
- Se pregunta si la lectura realiza fue o no correcta. De ser así se continua con el procesamiento de información, en caso contrario se descarta la lectura.
- Si la lectura fue correcta se transmiten los datos obtenidos vía serial al computador.
- Se verifica si la lectura está fuera del rango permitido con ayuda de la función **compara_var()**, de ser así se genera el mensaje con los datos actuales con la función **create_sms()**.
- Finalmente se realiza una llamada con la función **llamar()** y se envía el mensaje por GSM donde se indica si la variable es apropiada o no con la función **send_sms()**.

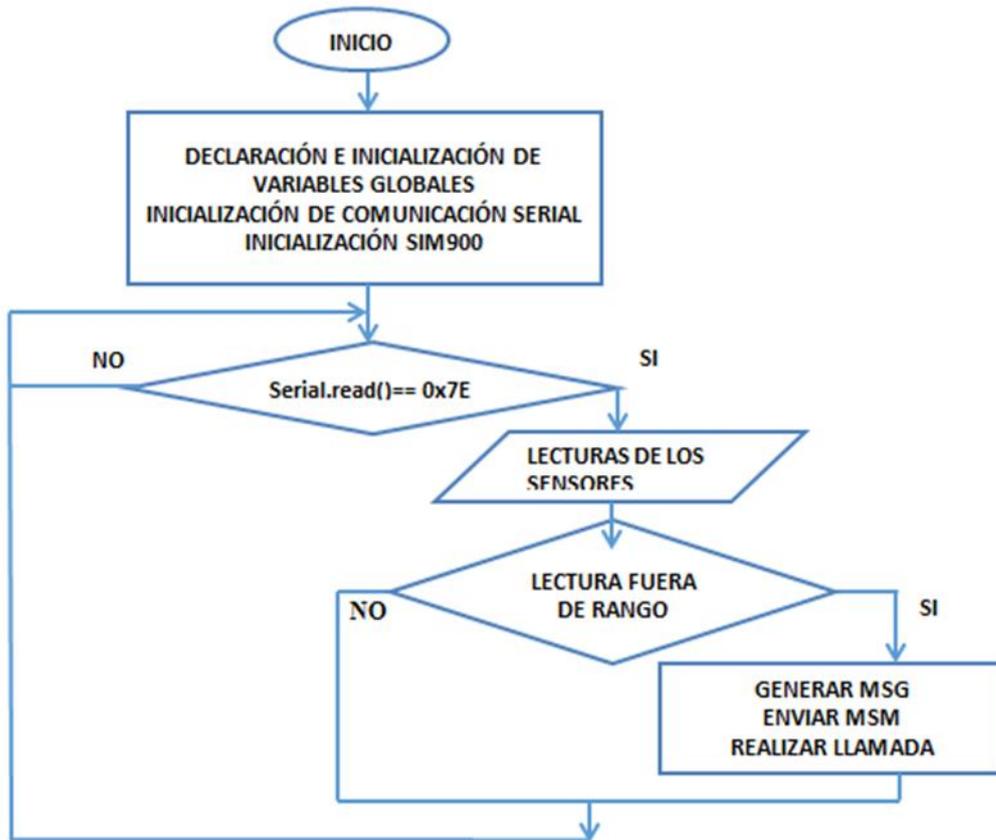


Figura 24-2: Diagrama de flujo del Módulo de Aviso

Realizado por: Saqui, Jofre; 2018.

Adicionalmente se desarrolló la interfaz HMI para el módulo de supervisión en el software Nextion Editor que consta de tres páginas o ventanas. La primera es la ventana principal donde se muestran los valores actuales, máximos y mínimos de las variables medidas, con hora y fecha. La segunda ventana muestra las temperaturas críticas para el tomate, y las temperaturas óptimas tanto para los periodos de desarrollo, floración y maduración. La tercera ventana muestra los niveles de alerta, alarma y emergencia de los gases contaminantes riesgosos (Ver Anexo H).

CAPITULO III

3. VALIDACIÓN DEL PROTOTIPO SAC-GC

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos en las pruebas realizadas a cada uno de los módulos del prototipo incorporando tanto el *hardware* y *software*. Se realiza la caracterización de las mediciones y de la comunicación inalámbrica. Se verifica el almacenamiento de información y visualización en el display Nextion. Adicionalmente se presenta un análisis de costos del prototipo implementado.

3.1 Caracterización del Módulo de Supervisión y control

Para comprobar que el módulo de supervisión y control cumple con los resultados esperados se caracterizaron las mediciones y la comunicación inalámbrica.

3.1.1 Caracterización de las mediciones realizadas por el Módulo de Supervisión y control

En la figura 1-3 se muestra el nodo sensor y en la figura 2-3 una fotografía del prototipo del módulo de Supervisión y Control, los módulos y dispositivos que lo conforman fueron instalados en un gabinete transparente que permite la visualización del estado (on, off) de cada uno de los componentes.

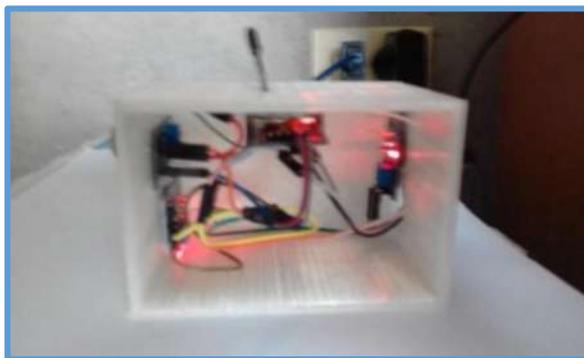


Figura 1-3: Nodo implementado

Realizado por: Saqui, Jofre; 2018.



Figura 2-3: Prototipo Nodo y módulo de supervisión - control

Realizado por: Saqui, Jofre; 2018.

Para evaluar las mediciones del prototipo diseñado para la variable de temperatura se utilizó un equipo comercial con características similares. A partir de las características de sensibilidad típicas de los sensores MQ-7, MQ-135 y MQ-131 se procedió a la calibración de los mismos por software. La obtención de las ecuaciones para determinar la concentración del gas se muestra a continuación. Para caracterizar las mediciones de los gases CO, NO₂, O₃ se compara las mediciones del prototipo con las mediciones de la Estación de Monitoreo de Calidad de Aire del GADMA, dichos procedimientos se muestran más adelante.

3.1.1.1 Caracterización de las mediciones de la temperatura ambiente

En la tabla 1-3 se presenta los resultados de las mediciones realizadas con el sensor de temperatura LM-35 del SAC-GC y se tomó como referencia un termómetro digital con cable sensor de temperatura, que tiene una exactitud de $\pm 1,0^{\circ}\text{C}$. Se puso en funcionamiento continuo al módulo de Supervisión y Control por varios días y se obtuvo un total de 20 muestras a diferentes horas para su análisis. Estas mediciones fueron realizadas para comprobar que el sistema no introduce más error del generado por el sensor que es de $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$.

Tabla 1-3 Mediciones realizadas para la caracterización de temperatura.

N°	Temperatura referencial Termómetro digital	Temperatura SAC-GC	Error Absoluto
1	20.9	20.84	0.06
2	21.1	20.84	0.26
3	22	21.04	0.96
4	21.6	21.13	0.47
5	15.5	15.13	0.37
6	16.1	15.89	0.21
7	13.8	13.5	0.3
8	20.5	20.14	0.36
9	18.4	18.06	0.34
10	21.6	21.15	0.45
11	20.8	20.63	0.17
12	17.5	17.34	0.16
13	20.3	20.08	0.22
14	21.9	21.53	0.37
15	15.6	15.45	0.15
16	20.3	20.15	0.15
17	14.8	14.15	0.65
18	20.3	20.1	0.2
19	22.2	21.91	0.29
20	21.7	21.43	0.27

Realizado por: Saqui, Jofre; 2018.

Aplicando estadística descriptiva al Error absoluto de temperatura se obtuvo una media de 0.3205°C , debido a que los errores absolutos en las mediciones de temperatura ambiente no sobrepasan el error máx esperado de $\pm 1.5^{\circ}\text{C}$, error que resulta de sumar el error del termómetro referencial y el error del sensor empleado en el prototipo. Con los resultados obtenidos en las mediciones experimentales se verifica que el sistema no introduce más error que el generado por el sensor, cumpliendo así el requerimiento de que la lectura debe ser exacta.

3.1.1.2 Ecuación de ajuste sensor de gas Amoniac.

En el capítulo dos se determinó que el sensor MQ-135 es adecuado para medir la presencia de amoniac en el aire. En la figura 3-3 se muestra las características de sensibilidad típicas del sensor para varios gases (CO_2 , CO , NH_3).

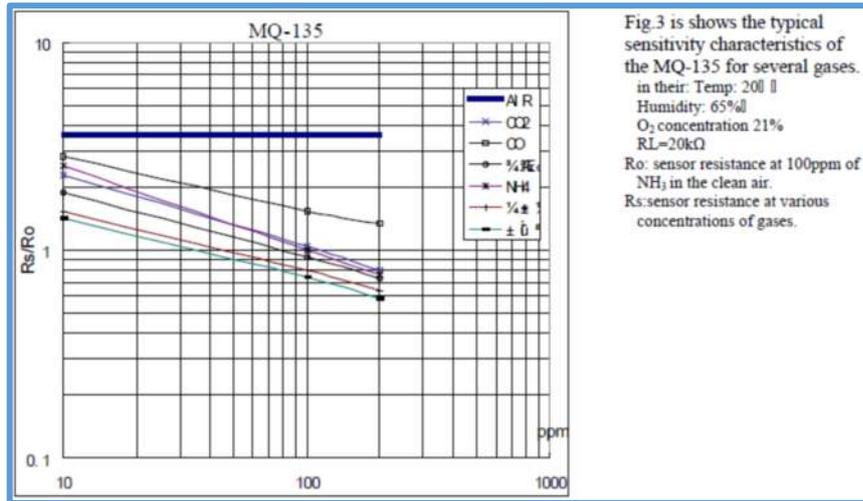


Figura 3-3: Características de sensibilidad del sensor MQ-135

Fuente: <http://www.china-total.com/Product/meter/gas-sensor/MQ135.pdf>

En la calibración del sensor de gas MQ-135 se toma los puntos pertenecientes al gas amoniac y haciendo uso de Microsoft Excel 2010 se aproxima una curva con tendencia potencial, en la cual la concentración del gas en ppm está en función de Rs/Ro.

En la parte superior derecha de la figura 4-3, se aprecia que el coeficiente de determinación que refleja la bondad del ajuste de un modelo a la variable que pretende explicar es $R^2 = 0.9919$, como se puede ver tiende a 1 lo cual da una muy buena aproximación.

La ecuación obtenida es la siguiente:

$$y = 102.79X^{-2.424}$$

$$X = \frac{Rs}{Ro}$$

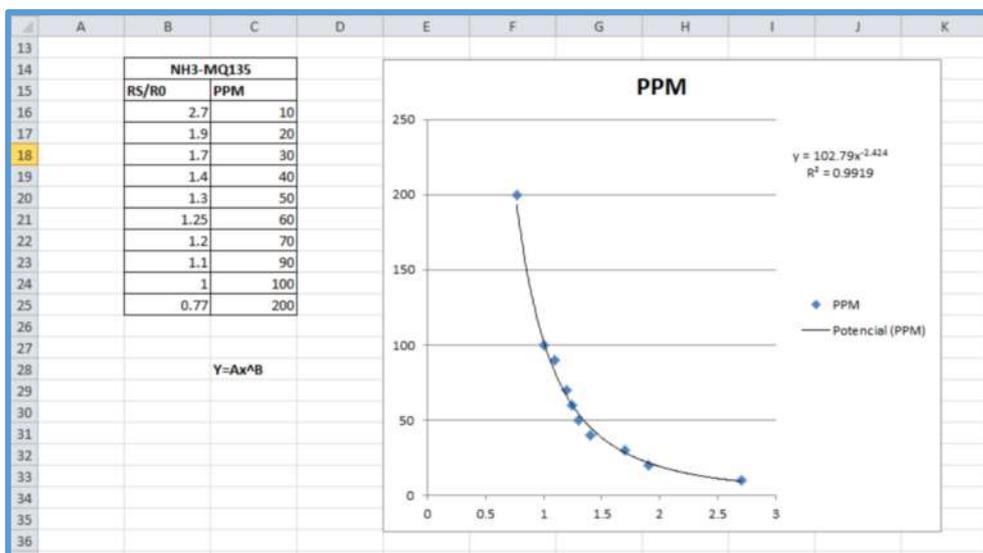


Figura 4-3: Obtención de ecuación potencial de Amoniac con Excel 2010

Realizado por: Saqui, Jofre; 2018.

A continuación es necesario escalar el valor analógico de la salida del sensor entre 0 y 1023 bits. El valor máximo considerado en la salida del sensor fue de 1.2 voltios (V_{RL}), con un voltaje de entrada de 4.5 voltios (V_C). Luego calculamos R_s a partir de un divisor de voltaje propio de la construcción del sensor mostrado en la figura 5-3 con $R_L = 1K\Omega$.

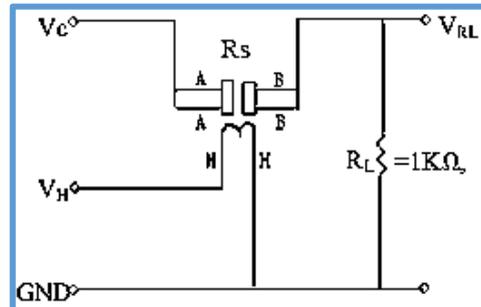


Figura 5-3: Divisor de voltaje (arquitectura interna MQ-135)

Realizado por: Saqui, Jofre; 2018.

$$R_s = \frac{(4.5 - 1.2)V}{1.2V} * 1K\Omega = 2750\Omega$$

Una vez obtenido R_s el valor que nos falta obtener es R_o . En la figura 4-3 se puede apreciar que a medida que crece la concentración en ppm, $\frac{R_s}{R_o}$ tiende a 0.77, esto implica errores pequeños del R_o aproximado obtenido.

$$\frac{R_s}{R_o} = 0.77$$

Despejando R_o tenemos: $R_o = 3571\Omega$.

3.1.1.3 Ecuaciones de ajuste sensores de gas Monóxido de Carbono, Ozono y Dióxido de Nitrógeno.

Siguiendo el mismo procedimiento que determina la concentración del gas amoniac. Se obtiene la ecuación potencial de los demás gases. Las curvas y ecuaciones obtenidas con la ayuda de Microsoft Excel 2010 se muestran a continuación:

La ecuación obtenida para determinar la concentración de CO en ppm, figura 6-3 es:

$$y = 106.18X^{-1.491}$$

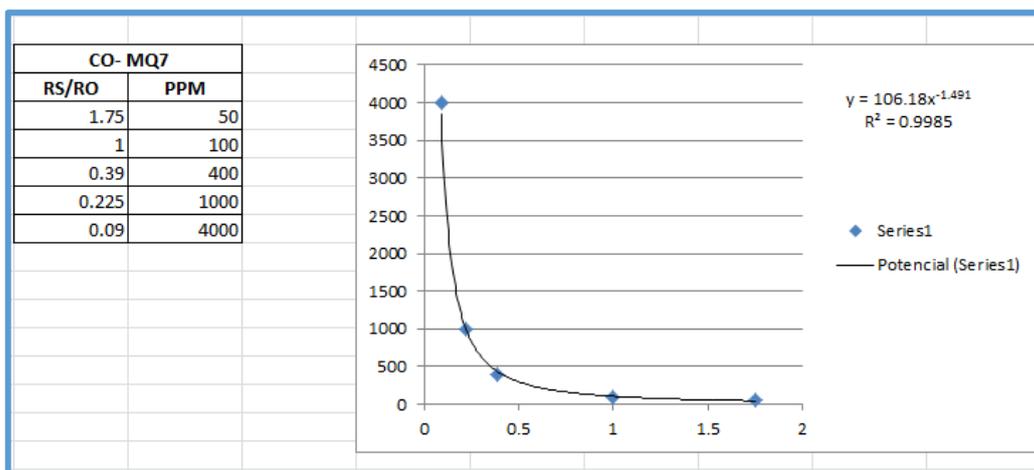


Figura 6-3: Obtención de ecuación potencial de CO con Excel 2010

Realizado por: Saqui, Jofre; 2018.

La ecuación obtenida para determinar la concentración de O₃ en ppm, figura 7-3 es:

$$y = 42.368X^{-1.099}$$

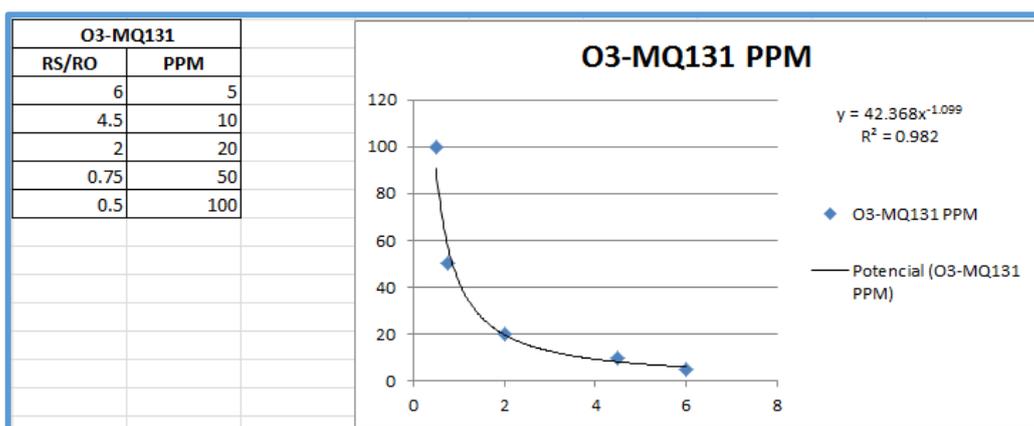


Figura 7-3: Obtención de ecuación potencial de Ozono con Excel 2010

Realizado por: Saqui, Jofre; 2018.

La ecuación obtenida para determinar la concentración de NO_x en ppm, figura 8-3 es

$$y = 11139X^{-3.499}$$

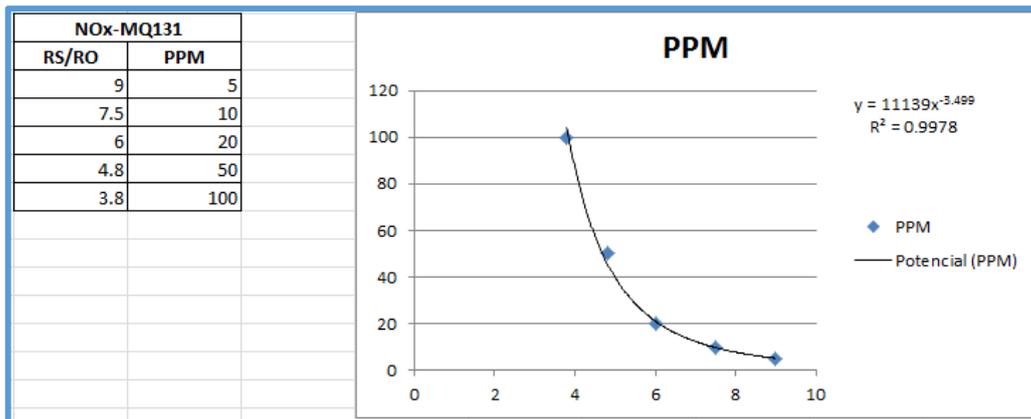


Figura 8-3: Obtención de ecuación potencial de Óxidos de Nitrógeno con Excel 2010

Realizado por: Saqui, Jofre; 2018

3.1.2 Repetitividad del módulo de Supervisión-Control

Con la ayuda del módulo de Supervisión y Control se obtuvieron 25 lecturas de las cinco variables supervisadas, que se midieron en un ambiente cerrado considerando un intervalo de un minuto. Debido a que la repetitividad se puede expresar en forma cuantitativa, en función de las características de dispersión de los resultados, con las lecturas obtenidas se realiza un análisis estadístico descriptivo con Microsoft Excel 2010 que permite obtener la media (\bar{X}), la desviación estándar (σ) y el coeficiente de variación C.V definido por $C.V = (\sigma/\bar{X}) * 100\%$.

Las lectura obtenidas con el módulo de supervisión y control se muestran en la tabla 2-3. Se destaca que el coeficiente de variación obtenido de las lecturas del sensor de amoniaco es de cero por ciento, en las lecturas de temperatura el resultado es de 0.29 por ciento, en las lecturas de CO el resultado es de 0.87 por ciento, para la variable de Ozono el resultado es de 0.96 por ciento y por último el resultado de las lecturas de NOx es de 3.06 por ciento. Como resultado del análisis se obtuvo que las lecturas realizadas por los sensores del SAC-GC exhiben poca variabilidad según lo reportado, por lo que el error cometido en la medición de las variables es mínimo. La repetitividad para cada una de las variables es menor al 10%, y se concluye que el sistema de medición es aceptable por su estabilidad (Llamosa, 2007).

Tabla 2-3 Mediciones realizadas para evaluar la repetitividad del SAC-GC.

Zona	Fecha/Hora	Temp1C	CO-mg/m3	AMONIACO-ppm	OZONO-ug/m3	NOx-ug/m3
1	24/02/2018 00:33	20.14	0.43	5.78	48.55	27.2
1	24/02/2018 00:34	20.24	0.43	5.78	48.55	27.2
1	24/02/2018 00:35	20.24	0.44	5.78	48.55	27.2
1	24/02/2018 00:36	20.24	0.44	5.78	48.55	27.2
1	24/02/2018 00:37	20.24	0.44	5.78	48.55	27.2
1	24/02/2018 00:38	20.34	0.44	5.78	48.55	27.2
1	24/02/2018 00:39	20.24	0.43	5.78	48.55	27.2
1	24/02/2018 00:40	20.34	0.43	5.78	48.55	27.2
1	24/02/2018 00:41	20.34	0.43	5.78	48.55	27.2
1	24/02/2018 00:42	20.34	0.43	5.78	48.02	26.26
1	24/02/2018 00:43	20.34	0.43	5.78	48.02	26.26
1	24/02/2018 00:44	20.24	0.43	5.78	48.02	26.26
1	24/02/2018 00:45	20.24	0.43	5.78	48.02	26.26
1	24/02/2018 00:46	20.34	0.43	5.78	48.02	26.26
1	24/02/2018 00:47	20.24	0.43	5.78	48.02	26.26
1	24/02/2018 00:48	20.34	0.43	5.78	48.02	26.26
1	24/02/2018 00:49	20.34	0.43	5.78	47.48	25.34
1	24/02/2018 00:50	20.34	0.43	5.78	47.48	25.34
1	24/02/2018 00:51	20.34	0.43	5.78	47.48	25.34
1	24/02/2018 00:52	20.24	0.43	5.78	47.48	25.34
1	24/02/2018 00:53	20.24	0.43	5.78	47.48	25.34
1	24/02/2018 00:54	20.24	0.43	5.78	47.48	25.34
1	24/02/2018 00:55	20.34	0.43	5.78	47.48	25.34
1	24/02/2018 00:56	20.24	0.43	5.78	47.48	25.34
1	24/02/2018 00:57	20.34	0.43	5.78	47.48	25.34
Media (\bar{X})		20.284	0.4316	5.78	48.0164	26.2672
Desviación Estándar		0.0583095	0.0037417	0	0.463329257	0.80541666
Coefficiente de Variación (C.V)%		0.2874656	0.8669271	0	0.964939597	3.06624483

Realizado por: Saqui, Jofre; 2018

3.2 Caracterización de la comunicación RF del SAC-GC

La caracterización de las comunicaciones del SAC-GC se efectuó en dos fases: una durante la implementación de cada módulo y la otra con el prototipo puesto en marcha. Las pruebas realizadas tuvieron como objetivo evaluar la integridad de los datos transmitidos a cada uno de los módulos. Estas pruebas se detallan a continuación.

3.2.1 Pruebas y puesta a punto de la comunicación RF entre el nodo sensor y el módulo de Supervisión-Control

Las pruebas se centraron en determinar si existe integridad en la lectura de datos analógicos de un Xbee remoto en modo API, así como determinar la máxima distancia de comunicación entre el Xbee que trabaja router y el Xbee coordinador. En la figura 9-3 se muestra en la ventana del

monitor serial, la comunicación RF establecida entre el nodo sensor y el módulo de supervisión y control, comprobando así la integridad de los datos transmitidos.

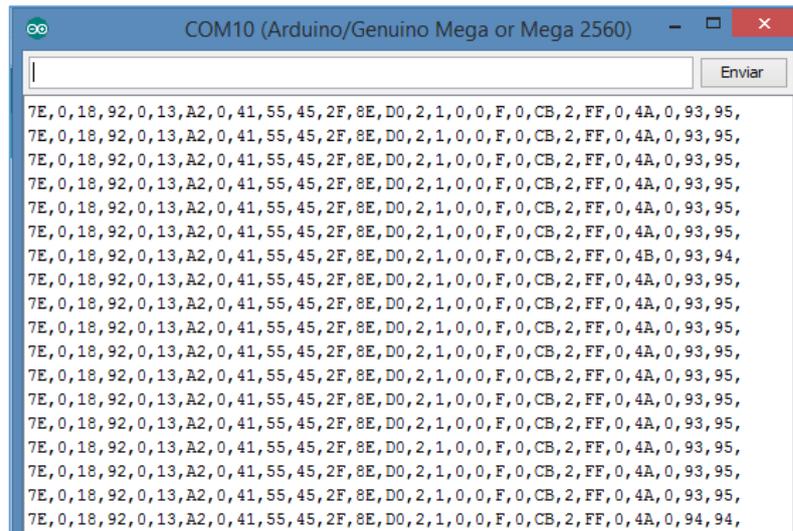


Figura 9-3: Lectura de cuatro datos analógicos de un Xbee remoto en modo API

Realizado por: Saqui, Jofre; 2018.

A continuación se procede a analizar cada campo de la trama recibida por el Xbee coordinador.

- 7E: es el byte de inicio o byte 0.
- 0x18: Es la longitud de toda la trama, sin incluir el byte de inicio, el de longitud y el checksum.
- 92: es el tipo de trama, 0x92 indica que es un muestreo de las entradas del Xbee.
0_13_A2_0_41_55_45_2F: es decir del byte 4 al byte 11, se indica el número serial del Xbee remoto.
- 8ExD0: Dirección de 16 bits de la red de origen.
- 2: Opción de recepción (01= packet acknowledged, 02=broadcast packet)
- 1: Número de muestras. Siempre es 1 dada las limitaciones del Xbee.
- 0x0: máscara para el canal digital. Indica que pines están configurados como DIO, en este caso es 0.
- F: máscara para el canal analógico.
F=1111= Pin A3, Pin A2, Pin A1 y Pin A0
- 0 x CB: Lectura del canal analógico 0.
- 2 x FF: Lectura del canal analógico 1.
- 0 x 4A: Lectura del canal analógico 2.
- 0 x 93: Lectura del canal analógico 3.
- 95: byte del checksum (0 x FF-la suma de todos los bytes desde el byte 3 hasta el último).

La siguiente prueba fue determinar la distancia máxima de transmisión entre los dispositivos emisor y receptor para ello se buscó una vía despejada y de gran longitud (Desde el centro de salud de la ESPOCH- hasta la Escuela de Ecoturismo) y con la ayuda de Googlemaps se determinó las distancias de funcionamiento, también se realizó el cálculo de la longitud de antenas (ver Anexo L). Después de varias pruebas la distancia máxima de comunicación RF entre el nodo y el módulo de Supervisión-Control fue de 510 m con línea de vista y 50 metros en interiores. En la figura 10-3 se puede apreciar que la distancia de funcionamiento con línea de vista tiene un rango para el nivel de recepción de datos categorizados como: alto de 0 a 155m tiene una comunicación y auto recuperación de red óptima, media de 155 a 260 m existen pequeños retardos en la comunicación, regular de 260 a 510m ciertos datos se alteran durante la transmisión y los retardos son mayores y nulo cuando sobrepasa los 510m donde no se establece conexión alguna entre el nodo y el módulo receptor.

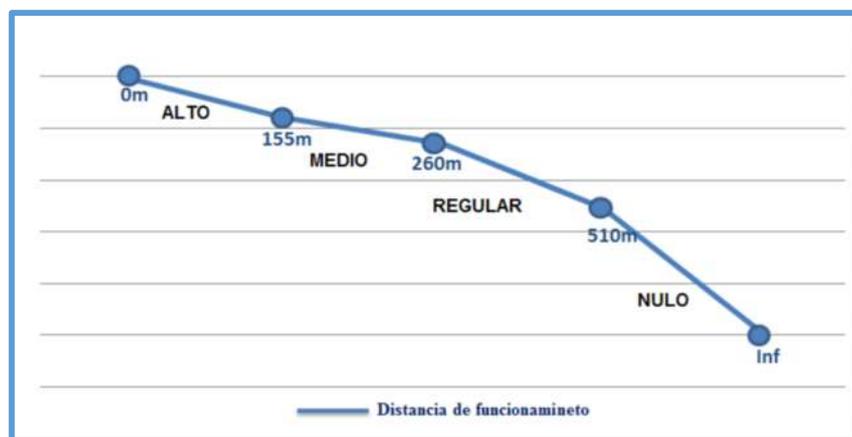


Figura 10-3: Rangos de funcionamiento de módulos Xbee S2c

Realizado por: Saqui, Jofre; 2018.

3.2.2 Pruebas y puesta a punto de la comunicación RF entre el nodo y el módulo de Aviso.

Para caracterizar la comunicación RF del módulo de Aviso, se procedió a establecer comunicación en el monitor serie para ambos módulos. Y se pudo comprobar que la información recibida por los módulos son iguales. Así lo muestra la figura 11-3, donde se visualiza la trama recibida periódicamente.

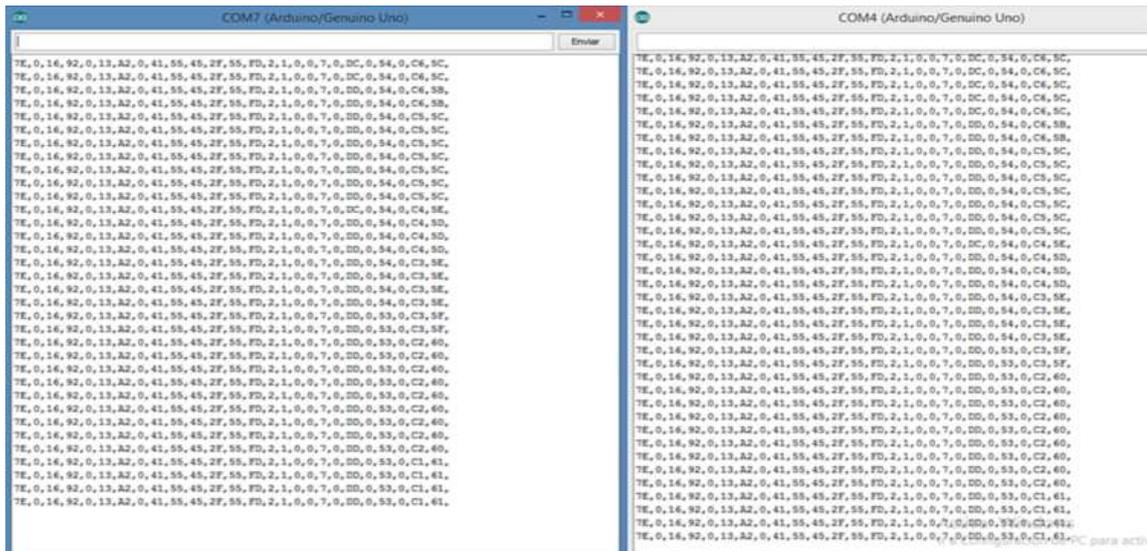


Figura 11-3: Pruebas de comunicación RF en los módulos de Supervisión y Aviso

Realizado por: Saqui, Jofre; 2018.

3.3 Caracterización de la comunicación Serial entre el módulo de Supervisión y el display Nextion.

El objetivo de la prueba es determinar la integridad en la transmisión de información vía serial para lo cual se verificó la información en el monitor serie versus la pantalla Nextion como se muestra en la figura 12-3, se confirmó que las lecturas son en tiempo real y correctas mostrando los valores actuales, máximos y mínimos de las variables, la zona, el nombre del archivo donde se almacena la información y hora y fecha en la pantalla. Se concluye que la comunicación serial entre el módulo de Supervisión y el Display Nextion que componen el prototipo se realiza sin problemas en tiempo real, y se verifica así la integridad de la información transmitida. Haciendo uso de la pantalla táctil se accede a información referente a los límites de temperatura y contaminación permitidos cumpliendo así con los requerimientos software planteados.

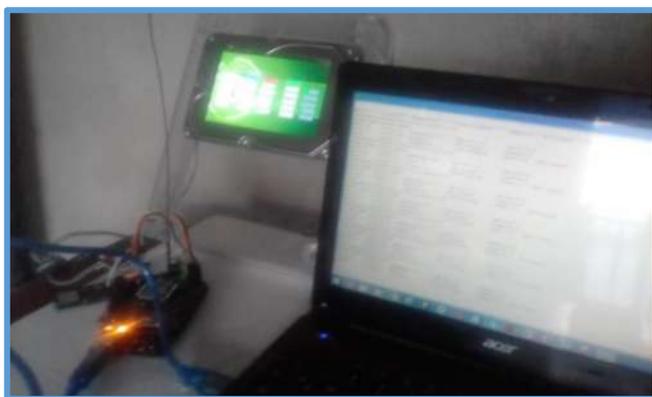


Figura 12-3: Pruebas de transmisión de información al display Nextion

Realizado por: Saqui, Jofre; 2018.

3.4 Prueba de la Transmisión para el Control del SAC-GC

Para comprobar la transmisión del control se debemos saber que el funcionamiento depende de la activación o puesta en alto de las salidas digitales 6 y 7 del Arduino Mega R3. Para realizar la prueba se excedió el valor permitido por las distintas variables obteniendo como resultado la activación de los canales del módulo de relés, permitiendo así el encendido de la carga y en el monitor serie se visualiza un mensaje que dice “VARIABLE EXCEDIDA”, en caso contrario se muestra el mensaje “VARIABLE NORMAL”. La realización de esta prueba se muestra en la figura 13-3.

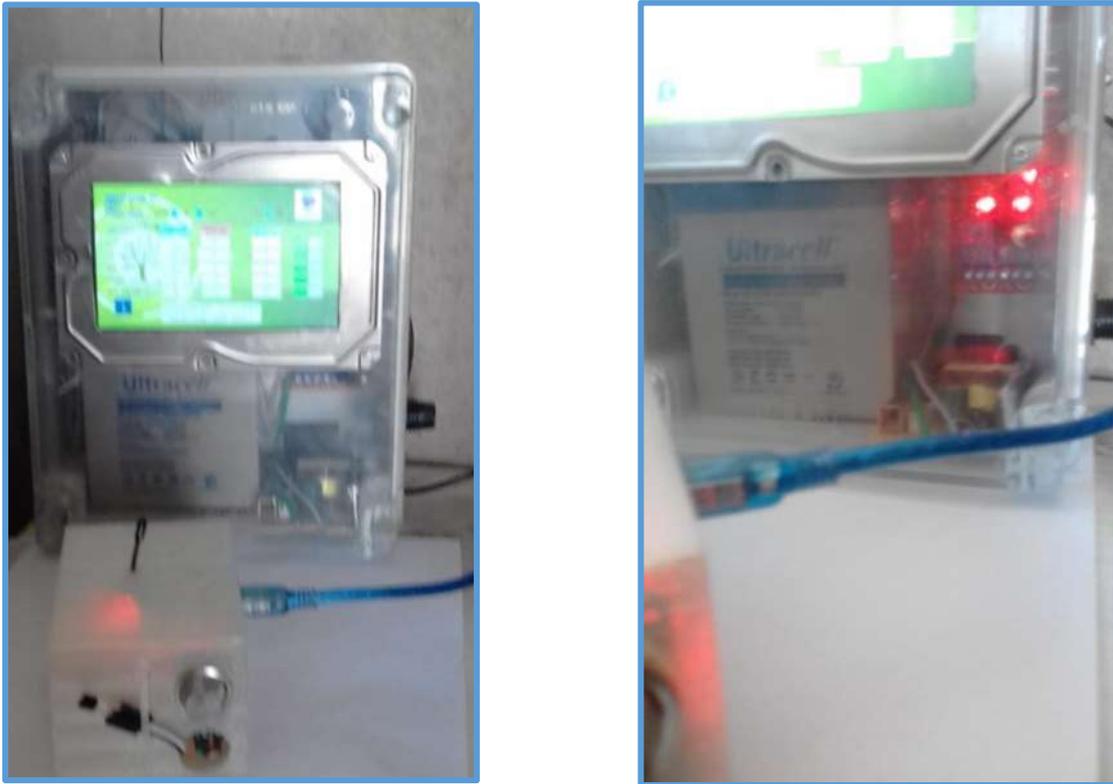


Figura 13-3: Pruebas del funcionamiento del control SAC-GC

Realizado por: Saqui, Jofre; 2018.

3.5 Comprobación del Almacenamiento del SAC-GC

Uno de los requerimientos del prototipo es el almacenamiento de la información con hora y fecha, es por ello que el prototipo no iniciará la visualización y recolección de datos si los módulos RTC y Micro SD no están debidamente inicializados. De las pruebas realizadas se pudo demostrar que el prototipo no inicia si: en la tarjeta SD se ha generado el máximo de archivos permitidos que son 100, cuando no se encuentra la tarjeta y cuando la comunicación establecida con los módulos no es correcta, en el monitor serie se muestran los mensajes “No hay RTC”, y Error SD dependiendo el problema.

En caso contrario se genera el archivo donde se almacenará la información y se indica su nombre en el monitor serie y en el display Nextion con el texto “Registrando en: LOGGER00-99”. Se realizó la verificación de la creación del archivo indicando la zona, fecha y hora, y valores de las variables supervisadas y el resultado se puede apreciar en la figura 14-3. Así se concluye que el almacenamiento se realiza sin problema y los datos obtenidos pueden ser reconocidos por *Software* de cálculo como Excel.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1		Zona	Fecha/Hora	Temp1C	CO-mg/m3	AMONIACO	OZONO-ug/	NOx-ug/m3	
2	1	1	24/02/2018 00:33	20.14	0.43	5.78	48.55	27.2	
3	2	1	24/02/2018 00:34	20.24	0.43	5.78	48.55	27.2	
4	3	1	24/02/2018 00:35	20.24	0.44	5.78	48.55	27.2	
5	4	1	24/02/2018 00:36	20.24	0.44	5.78	48.55	27.2	
6	5	1	24/02/2018 00:37	20.24	0.44	5.78	48.55	27.2	
7	6	1	24/02/2018 00:38	20.34	0.44	5.78	48.55	27.2	
8	7	1	24/02/2018 00:39	20.24	0.43	5.78	48.55	27.2	
9	8	1	24/02/2018 00:40	20.34	0.43	5.78	48.55	27.2	
10	9	1	24/02/2018 00:41	20.34	0.43	5.78	48.55	27.2	
11	10	1	24/02/2018 00:42	20.34	0.43	5.78	48.02	26.26	
12	11	1	24/02/2018 00:43	20.34	0.43	5.78	48.02	26.26	
13	12	1	24/02/2018 00:44	20.24	0.43	5.78	48.02	26.26	
14	13	1	24/02/2018 00:45	20.24	0.43	5.78	48.02	26.26	
15	14	1	24/02/2018 00:46	20.34	0.43	5.78	48.02	26.26	
16	15	1	24/02/2018 00:47	20.24	0.43	5.78	48.02	26.26	
17	16	1	24/02/2018 00:48	20.34	0.43	5.78	48.02	26.26	
18	17	1	24/02/2018 00:49	20.34	0.43	5.78	47.48	25.34	
19	18	1	24/02/2018 00:50	20.34	0.43	5.78	47.48	25.34	
20	19	1	24/02/2018 00:51	20.34	0.43	5.78	47.48	25.34	
21	20	1	24/02/2018 00:52	20.24	0.43	5.78	47.48	25.34	
22	21	1	24/02/2018 00:53	20.24	0.43	5.78	47.48	25.34	
23	22	1	24/02/2018 00:54	20.24	0.43	5.78	47.48	25.34	
24	23	1	24/02/2018 00:55	20.34	0.43	5.78	47.48	25.34	
25	24	1	24/02/2018 00:56	20.24	0.43	5.78	47.48	25.34	

Figura 14-3: Archivos creados en la tarjeta SD

Realizado por: Saqui, Jofre; 2018.

3.6 Caracterización del Módulo de Aviso

El prototipo implementado del módulo de aviso se muestra en la figura 15-3. Las pruebas de comunicación RF con el nodo se realizaron anteriormente y es por ello que a continuación se describe la verificación de la comunicación del módulo con la red GSM.



Figura 15-3: Prototipo implementado del módulo de Aviso

Realizado por: Saqui, Jofre; 2018.

3.6.1 Pruebas y puesta a punto de la comunicación entre el módulo de Aviso y la red GSM

Considerando el costo que implica hacer uso de la red GSM, se realizaron pruebas en dos etapas. La primera durante la implementación del módulo se realizó únicamente llamadas de 30 segundos cuando se exceda los niveles de alerta permitidos, esto para verificar que existe comunicación entre el módulo y el dispositivo móvil. Y la segunda en la estructuración correcta del mensaje para su envío por GSM con el prototipo final en marcha, en la figura 16-3 se presenta en mensaje recibido por el dispositivo móvil, indicando el valor actual de las cinco variables y detallando si se encuentran o no dentro del rango permitido. La estructuración y envío del msg través de la red GSM desde el módulo de aviso hacia el dispositivo móvil se realiza de manera correcta en un tiempo aproximado de 9 segundos.

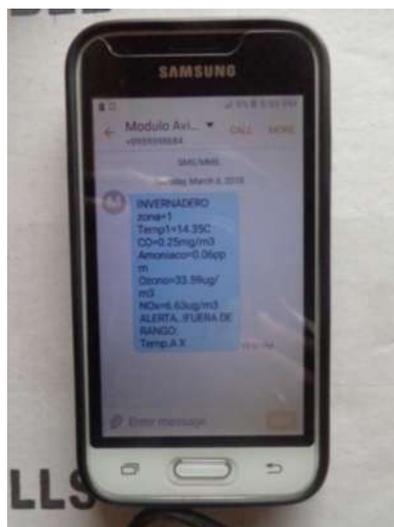


Figura 16-3: Mensaje recibido por el dispositivo móvil y enviado por el módulo de aviso.

Realizado por: Saqui, Jofre; 2018.

3.7 Prueba de la Alimentación del SAC-GC

Se realizó en dos fases: la primera es la comprobación de la autonomía del prototipo con el UPS y la segunda es el cálculo del consumo de energía eléctrica del prototipo. Por esta razón se realizó la tabla 3-3 de la potencia de consumo del SAC-GC en la cual se puede apreciar que el nodo sensor se tiene un consumo de potencia considerable comparado con los módulos restantes debido a los sensores de gases, siendo esta de 2.159W. La potencia que utiliza el Módulo de Supervisión-Control es de 2.359W, mientras que el Módulo Aviso utiliza una menor potencia de 0.3165W.

Tabla 3-3: Potencia de Consumo del SAC-GC.

Potencia consumo del SAC-GC				
Módulos del SAC-GC	Componentes	Voltaje (V)	Corriente (A)	Potencia (W)
NODO SENSOR	Módulo Xbee S2c	3,3	0.033	0.109
	Sensor de gas MQ-7	5	0.070	0.350
	Sensor de gas MQ-135	5	0.160	0.800
	Sensor de gas MQ-131	5	0.180	0.900
	Sensor de temperatura LM-35	5	0.000006	0.000030
	Consumo Potencia Nodo sensor			
MÓDULO SUPERVISIÓN – CONTROL	Tarjeta Arduino MEGA	5	0.040	0.200
	Módulo Xbee S2c	3.3	0.033	0.109
	Display 5 TFT Nextion	5	0.410	2.050
	Potencia Consumo del Módulo Supervisión-Control			
MÓDULO AVISO	Tarjeta Arduino UNO	5	0.040	0.200
	Módulo Xbee S2c	3.3	0.033	0.109
	Módulo GSM/GPRS SIM900	5	1.5 mA (susp)	0.0075
	Potencia Consumo del Módulo de aviso			
POTENCIA DE CONSUMO TOTAL				4.5255

Realizado por: Saqui, Jofre; 2018.

3.7.1 Autonomía del SAC-GC

La capacidad de duración del UPS se calcula en base a la siguiente ecuación

$$Cd = \frac{Cb}{Cc} * 0.7 \quad \text{Ecuación 1-3}$$

Dónde:

Cd: es la capacidad de duración viene dada en horas

Cb: es la capacidad de la batería viene dada por miliamperios por hora

Cc: es la corriente de carga viene dada en miliamperios

0.7: es el factor de tolerancia a factores externos del UPS

Durante la implementación del *hardware* se consideró la instalación del módulo de aviso en el gabinete del módulo de supervisión, es por ello que ambos módulos serán alimentados por el mismo UPS en caso de ausencia de energía eléctrica. Por ello se suma las corrientes requeridas por ambos módulos siendo **Cc**= 147.5 m A, sin considerar el display Nextion que requiere de otra fuente independiente.

Aplicando la ecuación 1-3 se obtiene un **Cd**=18.98 Horas.

Mientras que la duración del nodo sensor considerando la máxima corriente dada en el Datasheet de los dispositivos con **Cc** = 443 m A y **Cb** = 7500 m A aplicando la misma ecuación será de **Cd**= 11.85 Horas.

Se verificó con el multímetro la corriente real requerida por los sensores y fue aproximadamente 250m A, por tanto con **Cc** = 250m A y **Cb** = 7500 m A, la duración del nodo **Cd** = 21 Horas.

3.7.2 *Determinación del consumo de energía del SAC-GC*

Para determinar el consumo de energía se debe tener claro la cantidad de horas al día que los módulos van a estar conectado a la red eléctrica. Para esto se calculó por separado como en el ítem anterior con la siguiente ecuación:

$$CM = P * hd * dm \quad \text{Ecuación 2-3}$$

Dónde:

CM: consumo mensual viene dado en Kwh

P: potencia del dispositivo viene dado en W

hd: horas de uso por día

dm: días de uso al mes

El consumo de potencia tanto del módulo de Supervisión y aviso es de 2.6755W y estarán conectados las 24 horas del día. Por lo tanto, procedemos a calcular cuánto será el consumo de energía al mes,

$$CM = 2.6755 * 24 * 30$$

$$CM = 1.926 Kwh$$

El display Nextion estará conectado las 24 horas al día con una fuente independiente, siendo la potencia requerida de 2.05 W.

$$CM = 2.05 * 24 * 30$$

$$CM = 1.476 Kwh$$

Procedemos a calcular para el nodo sensor en el caso de que se conecte las 24 horas al día a la red eléctrica con una potencia de 2.159W.

$$CM = 2.159 * 24 * 30$$

$$CM = 1.554Kwh$$

Obteniendo como resultado que el consumo de Energía Eléctrica del nodo sensor se aproxima al consumo de los módulos de supervisión y aviso juntos, esto se debe a que los sensores de gases requieren de un calentador para reaccionar frente a determinado gas.

Según el pliego tarifario del presente año, la tarifa para un consumidor residencial con nivel de tensión de 101-150 voltios es de 0,095 (USD/KWh). Considerando los módulos de supervisión y aviso conectados a la red eléctrica junto con el display Nextion el costo de energía mensual es 0.323 USD. Esto sin incluir el valor de comercialización.

Como vemos el costo de energía del prototipo implementado es muy bajo comparado con otros equipos utilizados en el hogar.

3.8 Pruebas del Analizador de gases del GADMA versus el SAC-GC

En primer lugar fue necesario realizar una revisión de los lugares y ciudades donde se llevan a cabo mediciones automáticas de la calidad del aire, en la ciudad de Riobamba únicamente se realiza mediciones pasivas de los contaminantes del aire, es por ello que se solicitó ayuda a la alcaldía de Ambato para acceder a la estación de monitoreo y comparar el prototipo con los analizadores de gases de la estación.

Para esta prueba se instaló el SAC-GC al interior de la Estación de monitoreo del GADMA, estando el prototipo y los analizadores de gases (figura 17-3) en las mismas condiciones ambientales y verificando la igualdad de horario, se procedió a recolectar información para las variables de CO, O3 y NOx a intervalos de cinco minutos.



Figura 17-3: Analizadores de gases GADMA

Realizado por: Saqui, Jofre; 2018.

3.8.1 Error medio de lecturas de Ozono del SAC-GC

En la tabla 4-3 se puede apreciar que las mediciones son confiables, debido a que las mediciones del prototipo se aproxima a las mediciones del analizador de gases.

N°	Fecha-Hora	Ozono referencial Analizador de gases	Ozono SAC-GC	Error absoluto
1	3/12/2018 9:36 a. m.	37.1	32.02	5.08
2	3/12/2018 9:40 a. m.	29.5	32.02	2.52
3	3/12/2018 9:45 a. m.	39.1	32.33	6.77
4	3/12/2018 9:50 a. m.	41.3	31.09	10.21
5	3/12/2018 9:55 a. m.	41.1	29.54	11.56
6	3/12/2018 10:00 a. m.	28.9	29.54	0.64
7	3/12/2018 10:05 a. m.	34.7	28.61	6.09
8	3/12/2018 10:10 a. m.	40.1	28	12.1
9	3/12/2018 10:15 a. m.	32.1	27.39	4.71
10	3/12/2018 10:20 a. m.	43.1	26.78	16.32
11	3/12/2018 10:25 a. m.	43.8	25.56	18.24
12	3/12/2018 10:30 a. m.	45.7	24.96	20.74
13	3/12/2018 10:35 a. m.	49.6	25.56	24.04
14	3/12/2018 10:40 a. m.	41	25.26	15.74
15	3/12/2018 10:45 a. m.	44.3	24.96	19.34
16	3/12/2018 10:50 a. m.	40.2	25.56	14.64
17	3/12/2018 10:55 a. m.	29.7	28	1.7
18	3/12/2018 11:00 a. m.	22.7	30.16	7.46
19	3/12/2018 11:05 a. m.	29.2	31.71	2.51
20	3/12/2018 11:10 a. m.	22.3	32.33	10.03
21	3/12/2018 11:15 a. m.	21.9	33.59	11.69
22	3/12/2018 11:20 a. m.	16.7	34.21	17.51
23	3/12/2018 11:25 a. m.	12.5	34.84	22.34
24	3/12/2018 11:30 a. m.	23.7	35.16	11.46
25	3/12/2018 11:35 a. m.	20.5	35.48	14.98

Tabla 4-3: Analizador de gases versus SAC-GC (Ozono)

Realizado por: Saqui, Jofre; 2018.

Para determinar el error medio de la medición de Ozono del prototipo frente al Analizador de gases (tabla 5-3), se aplicó estadística descriptiva obteniendo un valor medio de error de 11.53 ug/m3 en la medición de esta variable.

Tabla 5-3: Cálculo de error medio de Ozono

<i>Error absoluto Ozono</i>	
Media	11.5368
Error típico	1.35477166
Mediana	11.56
Moda	#N/A
Desviación estándar	6.77385828
Varianza de la muestra	45.885156
Curtosis	-0.98455181
Coficiente de asimetría	0.08653338
Rango	23.4
Mínimo	0.64
Máximo	24.04
Suma	288.42
Cuenta	25

Realizado por: Saqui, Jofre; 2018.

Durante la caracterización de las variables de CO y NOx se pudo constatar el analizador de estos gases da valores negativos a ciertos instantes, por lo que no se pudo realizar un análisis estadístico descriptivo como en las otras variables. Sin embargo los datos validados del analizador de gases se aproximaron a los valores obtenidos por el prototipo.

3.9 Puesta en marcha del SAC-GC

En esta prueba se instaló el prototipo implementado obteniendo como resultados que en la comunicación no existe perdida de datos al momento de poner distancia e interferencia entre los dos módulos que lo integran, cumpliendo así con los requerimientos planteados al igual que la visualización y almacenamiento de datos se realiza de manera satisfactoria, los avisos emitidos se realizan en un tiempo estimado de 40 segundos, en la figura 18-3 se muestra los módulos implementados.





Figura 18-3: Puesta en Marcha del SAC-GC

Realizado por: Saqui, Jofre; 2018.

3.10 Análisis económico del prototipo SAC-GC

En la tabla 6-3 se presenta el análisis económico de la implementación de los módulos, con elementos adquiridos en nuestro país.

Tabla 6-3: Costo del prototipo SAC-GC

Módulos	Componentes	Cantidad	Costo (USD)
NODO SENSOR	Módulo Xbee S2c	1	\$ 45,00
	Xbee explorer USB	1	\$ 11,00
	Sensor de gas MQ-7	1	\$ 8,00
	Sensor de gas MQ-135	1	\$ 8,00
	Sensor de gas MQ-131	1	\$ 60,00
	Sensor de temperatura LM-35	1	\$ 1,50
	Batería EVL 6V-7.5A	1	\$ 17,00
	Convertidor DC-DC Buck LM2596	1	\$ 5,00
	Panel Solar Copex 15W	1	\$ 28,00
	Costo del Nodo sensor		
MÓDULO SUPERVISIÓN – CONTROL	Tarjeta Arduino Mega R3	1	\$ 22,00
	Xbee Shield	1	\$ 14,00
	Módulo Xbee S2c	1	\$ 45,00
	Módulo Tiny RTC	1	\$ 8,00
	Módulo MicroSD	1	\$ 5,00
	Módulo de Relés de 2 canales	1	\$ 8,00
	Display Nextion TFT Touch 5”	1	\$ 95,00
	Fuente Regulable Genérica	1	\$ 20,00
	UPS 12V, 4 A/h	1	\$ 28,00
	Gabinete transparente	1	\$ 20,00
	Costo del módulo Supervisión-Control		
MÓDULO AVISO	Tarjeta Arduino Uno R3	1	\$ 15,00
	Xbee Shield	1	\$ 14,00
	Módulo Xbee S2c	1	\$ 45,00
	Módulo GSM/GPRS SIM900	1	\$ 45,00
	Accesorios	varios	\$ 10,00
	Costo del módulo de aviso		
COSTO TOTAL DEL PROTOTIPO			\$ 577,50

Fuente: Saqui, Jofre; 2018.

Realizado por: Saqui, Jofre; 2018.

El invernadero donde se implementó el prototipo tiene una superficie de 966 m² y fue necesaria una inversión de \$5000,00. Para la implementación del prototipo completo se requiere una

inversión de \$577,50 que representa el 11,55 % de la inversión inicial y por cada nodo que se incorpore un incremento del 3.67%. Considerando las ventajas de la tecnificación agrícola con la implementación del prototipo, este valor no es representativo.

El prototipo es modular por lo que el usuario puede elegir entre el nodo con el módulo de aviso, o el nodo con el módulo de supervisión lo cual reduce los costos.

Estaciones de monitoreo de la calidad del aire tienen costos muy elevados, que superan los \$100 000,00; el prototipo es considerado una mini estación y su costo no supera los \$1000,00 , lo cual es verdaderamente una ventaja ya que es posible implementar redes de monitoreo de la calidad del aire en la ciudad con baja inversión.

CONCLUSIONES

- Se implementó un prototipo electrónico inalámbrico para supervisión, aviso y control de gases contaminantes en invernaderos artesanales, consta de tres módulos dos de ellos basados en la plataforma Arduino. Su operatividad está respaldada por la cobertura mundial de 2.4 Ghz correspondiente a la banda ISM y por la cobertura móvil en nuestro país del 96.98%
- Se verifica que el sistema no introduce errores grandes con la calibración de los sensores de gases, cumpliendo así el requerimiento de que la lectura debe ser exacta. Obteniendo un error medio de 11.95 ug/m^3 para la variable de Ozono durante las pruebas.
- La repetitividad de los resultados para cada una de las variables medidas por el prototipo es menor al 10%, por lo que el sistema de medición es aceptable por su estabilidad.
- El alcance de la comunicación RF máximo entre los módulos del Prototipo es de 510 m con línea de vista y de 50m en interiores. La red se auto recupera de manera óptima en el rango de funcionamiento categorizado como ALTO.
- La estructuración y envío del mensaje través de la red GSM desde el módulo de aviso hacia el dispositivo móvil se realiza de manera correcta en un tiempo aproximado de 9 segundos.
- La comunicación serial entre el módulo de Supervisión y el Display Nextion que componen el prototipo se realiza sin problemas en tiempo real, y se verifica así la integridad de la información transmitida.
- El almacenamiento del prototipo se realiza sin problema y los datos obtenidos pueden ser reconocidos por *Software* de cálculo como Excel.
- Los niveles de las variables de contaminación medidas con el prototipo se acercan a los niveles de alerta durante las pruebas con aplicación de fertilizantes y pesticidas.
- Considerando los módulos de supervisión y aviso conectados a la red eléctrica el costo de energía mensual del prototipo es 0.323 USD. Lo cual representa un aumento mínimo del 1.6% en el costo del consumo mensual a pagar.
- El módulo de supervisión es considerado como una mini estación de monitoreo de calidad del aire, por lo que su uso no se limita a ambientes cerrados.

RECOMENDACIONES

- Realizar la caracterización de los sensores de gases con equipos de mejor precisión, ya que la estabilidad del analizador utilizado para la variable de Ozono no es la adecuada para realizar la comparación.
- Incorporar extractores industriales únicamente en invernaderos o granjas que no cuenten con cortinas cenitales y laterales, ya que de otro modo no se podrá realizar la extracción de manera adecuada.
- Enviar los datos obtenidos de la contaminación en invernaderos a Internet, para que entidades como el Ministerio del Ambiente y entidades de control de calidad del cultivo realicen los registros y controles respectivos.
- Incorporar al prototipo sensores de Dióxido de Azufre (SO₂), de PM_{2.5}, PM₁₀ para disponer de una estación de monitoreo de calidad de aire completa.
- Implementar estaciones de este tipo en la ciudad de Riobamba, en los lugares donde se realiza mediciones pasivas de contaminación y en los lugares que se consideren estratégicos previo un estudio ambiental.

BIBLIOGRAFÍA

AGUDELO, A.; et al . "Modulación DSSS para transmisión de información a través de líneas eléctricas de potencia". *Scientia et technica*. [En línea]. 2011, vol. 17, no. 47. [Consulta: 12 de febrero de 2018]. Disponible en: <<http://www.redalyc.org/pdf/849/84921327002.pdf>>.

ALLDATASHEET. LM35. [En línea] 2018. [Consulta: 11 de febrero de 2018.] Disponible en: <<http://html.alldatasheet.com/html-pdf/517588/TI1/LM35/108/2/LM35.html>>.

ASOCIACIÓN AMERICANA DE HIGIENE INDUSTRIAL. INDUSTRIAL SCIENTIFIC. [En línea] 2017. [Consulta: 21 de Septiembre de 2017.]. Disponible en: <<http://www.indsci.es/productos/dioxido-de-carbono/>>.

COTRINO, J. *Recupera 2020. Purificación de aire en invernaderos.*[En línea], 2017. [Consulta: 10 diciembre de 2017.] Disponible en: <<http://www.recupera2020.csic.es/es/hito/purificacion-aire-invernaderos-centros-tratamiento-alimentos>>.

DICCIONARIO TECNOLÓGICO. "Definición de UPS". [En línea] 2017. [Consulta: 26 de Septiembre de 2017.]. Disponible en: <<http://www.alegsa.com.ar/Dic/ups.php>>.

FAO. *Agricultura mundial: hacia los años 2015/2030.* [En línea] 2017. [Consulta: 29 de junio de 2017.] Disponible en : <<http://www.fao.org/docrep/004/y3557s/y3557s11.htm>>

GUERRA, J., "DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA INALÁMBRICO PARA EL MONITOREO EN LÍNEA DEL MICROCLIMA DE INVERNADEROS ARTESANALES"(tesis).(Maestría). Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría, La Habana, Cuba, 2015. p.28.

HERNÁNDEZ, R. *Introducción a los sistemas de control:Conceptos, aplicaciones y simulación con MATLAB.* México : PEARSON EDUCACIÓN, 2010. Vol. Primera edición. pp. 5-6.

HESPERIAN HEALTH GUIDES. *Efectos a largo plazo de los plaguicidas sobre la salud.* [En línea] 2017. [Consulta: 24 de junio de 2017.] Disponible en : <http://es.hesperian.org/hhg/A_Community_Guide_to_Environmental_Health:Efectos_a_largo_plazo_de_los_plaguicidas_sobre_la_salud.>

INEC. *Información ambiental en la agricultura.* [En línea] 2018. [Consulta: 12 de diciembre de 2017.] Disponible en : <http://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Encuestas_Ambientales/Informacion_ambiental_en_la_agricultura/2016/PRESENTACION_AGRO_AMBIENTE_2016.pdf>.

INSHT., *Límites de exposición profesional para agentes químicos en España 2014* [en línea], 2014. Madrid: Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. ISBN 978-84-7425-812-7. [Consulta: 25 de enero de 2018]. Disponible en:

<http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/LEP%20_VALORES%20LIMITE/Valores%20limite/Limites2014/FINAL%20-%20Web%20v5%20-%20LEP%202014%20-%2029-01-2014.pdf>

LLAMOSA, L. "Estudio de repetibilidad y reproducibilidad utilizando el método de promedios y rangos para el aseguramiento de la calidad de los resultados de calibración de acuerdo con la norma técnica NTCISO/IEC 17025", 2007, *Scientia et technica*, Vol. 1. [Consulta: 01 de marzo de 2018].

Disponible en: <<http://revistas.utp.edu.co/index.php/revistaciencia/article/viewFile/5479/2817>>

LÓPEZ, M. "Monitoreo Ambiental aplicado a un mini invernadero usando tecnología ZigBee e INTERNET ". Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Quito, Ecuador, 2016. pp. 5-7 .[Consulta: 2 de diciembre de 2017.] Disponible en. <<http://repositorio.puce.edu.ec/handle/22000/12451>>.

MAGAP. *Políticas Agropecuarias al 2025*. [En línea] 2016. [Consulta: 5 de febrero de 2018.] Disponible

en:<<http://servicios.agricultura.gob.ec/politicas/La%20Pol%C3%ADticas%20Agropecuarias%20al%202025%20I%20parte.pdf>>.

MINISTERIO DE AGRICULTURA Y PESCA, ALIMENTACIÓN Y MEDIO AMBIENTE. © *PRTR España*. [En línea] 2017. [Consulta: 16 de enero de 2018.] Disponible en: <<http://www.prtr-es.es/NH3-amoniaco,15593,11,2007.html>>.

MINISTERIO DE AGRICULTURA Y PESCA, ALIMENTACIÓN Y MEDIO AMBIENTE. © *PRTR España*. [En línea] 2017. [Consulta: 25 de enero de 2018.] Disponible en: <<http://www.prtr-es.es/NOx-oxidos-de-nitrogeno,15595,11,2007.html>>.

MINISTERIO DE AGRICULTURA Y PESCA, ALIMENTACIÓN Y MEDIO AMBIENTE. © *PRTR España*. [En línea] 2017. [Consulta: 21 de enero de 2018.] Disponible en:< <http://www.prtr-es.es/CO-Monoxido-de-carbono,15589,11,2007.html>>.

MINISTERIO DEL AMBIENTE. Reforma del Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria. [En línea] 4 de Mayo de 2015. [Consulta: 16 de enero de 2018.] Disponible en:< <http://suia.ambiente.gob.ec/documents/10179/185880/ACUERDO+061+REFORMA+LIBRO+VI+TULSMA+-+R.O.316+04+DE+MAYO+2015.pdf/3c02e9cb-0074-4fb0-afbe-0626370fa108>>.

MORALES, J.,"CONTROL PARA LA NAVEGACIÓN PRE-PROGRAMADA DE TRAYECTORIAS DE UN VEHÍCULO AÉREO NO TRIPULADO (UAV) APLICADO A LA SUPERVISIÓN Y TRANSMISIÓN EN LÍNEA DE LA CALIDAD DEL AIRE" (tesis).(Maestría). Escuela Superior politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador, 2016. pp. 27-28.

MOTT Robert L. 2006. "Mecanica de Fluidos Sexta Edición". Mexico : Pearson Educación de México,, 2006. pp. 153-155. ISBN: 970-26-0805-8.

MUNICIPALIDAD CUENCA. *Informe de calidad del aire Cuenca-2015*. Cuenca ., 2015. [En línea] 2015. [Consulta: 19 de febrero de 2018.] Disponible en:<http://gis.uazuay.edu.ec/ierse/links_doc_contaminantes/Informes%20Claudia%20Calidad%20de%20Aire/Calidad%20del%20Aire%20final%202015.pdf>.

NRDC. 2013. *NRDC.org*. [En línea] 06 de 2013. [Consulta: 25 de febrero de 2018.] Disponible en: <<https://www.nrdc.org/sites/default/files/residential-network-IB.pdf>>.

PADILLA JIMÉNEZ, C.M., "Propuesta para un Plan de Gestión Ambiental del Reciclado de Biomasa Recolectada por una Comunidad Rural de la Costa". (tesis).(Maestría).Universidad de Guayaquil, Guayaquil, Ecuador, 2016.

PERALTA PERALTA, J.A., "Estructura de costos en cultivo de chiltoma bajo invernaderos y determinación de la rentabilidad financiera, en la Universidad Católica del Trópico Seco Estelí",(tesis).(Doctoral). Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Managua, Nicaragua, 2015.

SENPLADES. *Buen vivir plan nacional 2013-2017* . [En línea] 10 de 02 de 2018. [Consulta: 10 de julio de 2017.] . Disponible en: <<http://www.buenvivir.gob.ec/descarga-objetivo>>.

TORRELLAS et al, M. *Interempresas*. [En línea] 23 de 01 de 2011. [Consulta: 14 de enero de 2018.] Disponible en: <<http://www.interempresas.net/Horticola/Articulos/47367-Estudio-del-impacto-ambiental-del-cultivo-de-tomate-en-un-invernadero-multitunel.html>>.

ANEXOS

Anexos A: Datasheet Xbee S2c



DIGI EMPOWERED BY MODULES FOR EVERYONE

XBEE® S2C 802.15.4 RF MODULES

Low-cost, easy-to-deploy modules provide critical end-point connectivity to devices and sensors

XBee RF modules provide OEMs with a common hardware shared by multiple platforms, including multipoint and ZigBee/Mesh topologies, and both 2.4 GHz and 900 MHz solutions. OEMs deploying the XBee can substitute one XBee for another, depending upon dynamic application needs, with minimal development, reduced risk and shorter time-to-market.

XBee 802.15.4 RF modules are ideal for applications requiring low latency and predictable communication timing. Providing quick, robust communication in point-to-point, peer-to-peer, and multipoint/star configurations, XBee 802.15.4 products enable robust end-point connectivity with ease. Whether deployed as a pure cable replacement for simple serial communication, or as part of a more complex hub-and-spoke network of sensors, XBee 802.15.4 RF modules maximize performance and ease of development.

XBee 802.15.4 modules seamlessly interface with compatible gateways, device adapters and range extenders, providing developers with true beyond-the-horizon connectivity.

The updated XBee S2C 802.15.4 module is built with the Silicon Labs E802154C and offers improved power consumption, support for over-the-air firmware updates, and provides an upgrade path to DigMesh® or ZigBee® mesh protocols if desired.

BENEFITS

- Simple, out-of-the-box RF communications, no configuration needed
- Point-to-multipoint network topology
- 2.4 GHz for worldwide deployment
- Common XBee footprint for a variety of RF modules
- Industry leading sleep current of sub 1µA
- Firmware upgrades via UART, SPI or over-the-air
- Migrateable to DigMesh and ZigBee PRO protocols and vice-versa

APPLICATION EXAMPLE

REMOTE MONITORING AND CONTROL DEVICES

COMMUNITY Wi-Fi NETWORK

RELATED PRODUCTS

XBee Pro, XBee Pro S2C, XBee Pro S2B, XBee Pro S2C, XBee Pro S2B, XBee Pro S2C

SPECIFICATIONS	XBee® S2C 802.15.4	XBee PRO® S2C 802.15.4
PERFORMANCE		
CHANNELS SUPPORT	XBee S2C: 16007-16017	
DATA RATE	40-200 kbps, depending on 1 Mbps	200 kbps
RECEIVING RANGE	200-500 m	200-500 m
OUTDOOR LINE-OF-SIGHT RANGE	4000-5,000 m	1,000-2,000 m
TRANSMIT POWER	2.1 mW (+0 dBm) / 10.4 mW (+10 dBm)	10.4 mW (+10 dBm)
RECEIVE SENSITIVITY (dBm)	-100 dBm / -102 dBm (noise floor)	-102 dBm
FEATURES		
VOLTAJE DE ALIMENTACION	3.0V-3.3V	
CONSUMO DE CORRIENTE EN ESTADO DE ESPERA	400 nA (typical), 1 µA (max) (at 3.0V)	
FACTORES DE MONTAJE	0.80 (2.54 mm)	
FORMA FACTOR	Through-hole, Surface Mount	
EMBALAJE	500	
CONEXIONES DE SALIDA	4x 0.100 (2.54 mm) pins	
ESTADO DE LA UNIDAD	SI	
OPCIONES DE ALIMENTACION		
OPCION DE ALIMENTACION	Through-hole, PCB (headers, 5.0V), Connector, 3P/3M (connector, in integrated XBee)	
OPCION DE ALIMENTACION	0.80 (2.54 mm) headers, 5.0V, Connector, 4P/3M (connector, in PCB)	
OPCIONES DE TEMPERATURA		
OPCION DE TEMPERATURA	-40°C to +85°C	
OPCION DE TEMPERATURA	Through-hole: -55°C to +125°C	
OPCION DE TEMPERATURA	0.80 (2.54 mm) headers: -55°C to +125°C	
OPCION DE TEMPERATURA	0.80 (2.54 mm) headers: -55°C to +125°C	
REQUISITOS DE SEGURIDAD		
OPCION DE SEGURIDAD	XBee 802.15.4 (Proprietary 802.15.4)	
OPCION DE SEGURIDAD	No	
OPCION DE SEGURIDAD	No	
OPCION DE SEGURIDAD	IEEE 802.15.4 (Proprietary Standard)	
OPCION DE SEGURIDAD	IEEE 802.15.4	
OPCION DE SEGURIDAD	RoHS (Restriction of Hazardous Substances)	
OPCION DE SEGURIDAD	RoHS (Restriction of Hazardous Substances)	
OPCIONES DE ENTREGA		
OPCION DE ENTREGA	RoHS (Restriction of Hazardous Substances)	
OPCION DE ENTREGA	RoHS (Restriction of Hazardous Substances)	
OPCIONES DE ALIMENTACION		
OPCION DE ALIMENTACION	3.0V-3.3V	
OPCION DE ALIMENTACION	2.0 mA @ 3.0V (typical)	
OPCION DE ALIMENTACION	10.4 mW @ 3.3V (typical)	
OPCION DE ALIMENTACION	10.4 mW @ 3.3V (typical)	
OPCION DE ALIMENTACION	10.4 mW @ 3.3V (typical)	
OPCIONES DE APROBACION		
OPCION DE APROBACION	No	
OPCION DE APROBACION	No	
OPCION DE APROBACION	No (Controlling agent)	
OPCION DE APROBACION	No (Controlling agent)	

Anexo B: Datasheet sensor de gas MQ-7

HANWEI ELECTRONICS CO., LTD. MQ-7 <http://www.hanweim.com>

TECHNICAL DATA MQ-7 GAS SENSOR

FEATURES

- * High sensitivity to carbon monoxide
- * Stable and long life

APPLICATION

They are used in gas detecting equipment for carbon monoxide(CO) in family and industry or car.

SPECIFICATIONS

A. Standard work condition

Symbol	Parameter name	Technical condition	Remark
V _c	Power supply voltage	5V ± 0.1	Ac or Dc
V _H (H)	Heating voltage (high)	5V ± 0.1	Ac or Dc
V _H (L)	Heating voltage (low)	1.4V ± 0.1	Ac or Dc
R _c	Load resistance	Can adjust	
R _s	Heating resistance	33 ± 3%	Room temperature
T _{rh} (H)	Heating time (high)	80 ± 1 seconds	
T _{rh} (L)	Heating time (low)	80 ± 1 seconds	
PH	Heating consumption	About 250mW	

b. Environment condition

Symbol	Parameter	Technical conditions	Remark
T _o	Using temperature	-20 ~ +50	
T _{st}	Storage temperature	-20 ~ +50	Adhesion using scope
RH	Relative humidity	Less than 95%RH	
O ₂	Oxygen concentration	21%(standard condition) the oxygen concentration can affect the sensitivity characteristic	Minimum value is over 2%

c. Sensitivity characteristic

Symbol	Parameter	Technical parameters	Remark
R _s	Surface resistance	2-20K	Carbon Monoxide
R _s	Of sensitive body	Less than 0.5	Carbon Monoxide
R _s	Concentration slope rate	Less than 0.5	Carbon Monoxide
R _s	Temperature	±2 ~ ±3	relative humidity: 65% ± 5% RH, 100% ± 5%
R _s	Standard working condition	V _c : 5V ± 0.1V V _H : 5V ± 0.1V V _H : 1.4V ± 0.1V	
R _s	Pulse time	No less than 40 hours	Detecting range: 20ppm-2000ppm carbon monoxide

D. Structure and configuration, basic measuring circuit

Structure and configuration of MQ-7 gas sensor is shown as Fig. 1 (Configuration A or B). sensor composed by micro Al₂O₃ ceramic tube, Tin Dioxide (SnO₂) sensitive layer, measuring electrode and heater are fixed into a crust made by plastic and stainless steel set. The heater provides necessary work conditions for work of sensitive components. The developed MQ-7 have

TEL:86-171-4716070 4716080 FAX:86-171-4716080 Email: sales@hanweim.com

HANWEI ELECTRONICS CO., LTD. MQ-7 <http://www.hanweim.com>

6 pin. 4 of them are used to fetch signals, and other 2 are used for providing heating current.

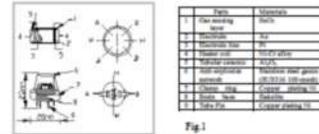


Fig. 1

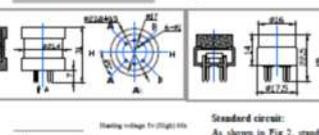


Fig. 2

Standard circuit: As shown in Fig. 2, standard measuring circuit of MQ-7 sensitive components consists of 2 parts, one is heating circuit having time control function (the high voltage and the low voltage work circularly). The second is the signal output circuit, it can accurately respond changes of surface resistance of the sensor.

Electric parameter measurement circuit is shown as Fig. 3

E. Sensitivity characteristic curves

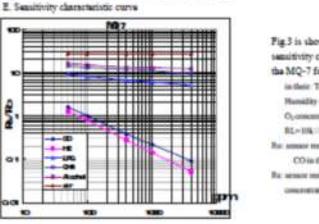


Fig. 3 shows the typical sensitivity characteristics of the MQ-7 for several gases, in their: Temp: 20°C, Humidity: 65%, O₂ concentration: 21%, RL = 10KΩ

R_s: sensor resistance at 100ppm CO in the clean air

R_s: sensor resistance at various concentrations of gases.

TEL:86-171-4716070 4716080 FAX:86-171-4716080 Email: sales@hanweim.com

Notification

1 Following conditions must be prohibited

1.1 Exposed to organic silicon steam

Organic silicon steam cause sensors invalid, sensors must be avoid exposing to silicon bond, fixture, silicon latex, putty or plastic contain silicon environment

1.2 High Corrosive gas

If the sensors exposed to high concentration corrosive gas (such as H₂S, SO₂, Cl₂, HCl etc), it will not only result in corrosion of sensors structure, also it cause sincere sensitivity attenuation.

1.3 Alkali, Alkali metals salt, halogen pollution

The sensors performance will be changed badly if sensors be sprayed polluted by alkali metals salt especially brine, or be exposed to halogen such as fluorin.

1.4 Touch water

Sensitivity of the sensors will be reduced when spattered or dipped in water.

1.5 Freezing

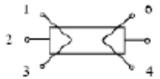
Do avoid icing on sensor's surface, otherwise sensor would lose sensitivity.

1.6 Applied voltage higher

Applied voltage on sensor should not be higher than stipulated value, otherwise it cause down-line or heater damaged, and bring on sensors' sensitivity characteristic changed badly.

1.7 Voltage on wrong pins

For 6 pins sensor, if apply voltage on 1, 3 pins or 4, 6 pins, it will make lead broken, and without signal when apply on 2, 4 pins



2 Following conditions must be avoided

2.1 Water Condensation

Indoor conditions, slight water condensation will effect sensors performance lightly. However, if water condensation on sensors surface and keep a certain period, sensor' sensitivity will be decreased.

2.2 Used in high gas concentration

No matter the sensor is electrified or not, if long time placed in high gas concentration, it will affect sensors characteristic.

2.3 Long time storage

The sensors resistance produce reversible drift if it's stored for long time without electrify, this drift is related with storage conditions. Sensors should be stored in airtight without silicon gel bag with clean air. For the sensors with long time storage but no electrify, they need long aging time for stability before using.

2.4 Long time exposed to adverse environment

No matter the sensors electrified or not, if exposed to adverse environment for long time, such as high humidity, high temperature, or high pollution etc, it will effect the sensors performance badly.

2.5 Vibration

Continual vibration will result in sensors down-lead response then repute. In transportation or assembling line, pneumatic screwdriver/ultrasonic welding machine can lead this vibration.

2.6 Concussion

If sensors meet strong concussion, it may lead its lead wire disconnected.

2.7 Usage

For sensor, handmade welding is optimal way. If use wave crest welding should meet the following conditions:

- 2.7.1 Soldering flux: Rosin soldering flux contains least chlorine
- 2.7.2 Speed: 1-2 Meter/ Minute
- 2.7.3 Warm-up temperature: 100±20°C
- 2.7.4 Welding temperature: 250±10°C
- 2.7.5 1 time pass wave crest welding machine

If disobey the above using terms, sensors sensitivity will be reduced.

Tel: 86-371-67169070/80 Fax: 86-371-67169090

Email: sales@hwsensor.com

Anexo C: Datasheet sensor de gas MQ-135

TECHNICAL DATA MQ-135 GAS SENSOR

FEATURES

Wide detecting scope Fast response and High sensitivity
Stable and long life Simple drive circuit

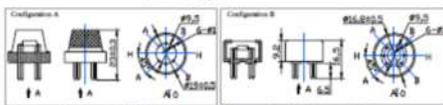
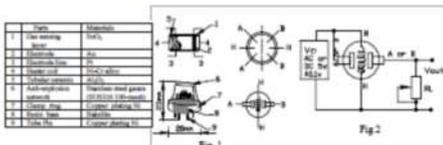
APPLICATION

They are used in air quality control equipment for buildings/offices, are suitable for detecting of NH₃, NO_x, alcohol, Benzene, smoke, CO₂, etc.

SPECIFICATIONS

A. Standard work condition			
Symbol	Parameter name	Technical condition	Remarks
V _{cc}	Circuit voltage	5V±1	AC/DC 50%
V _o	Output voltage	0V±0.1	ALCOE 20%
R _L	Load resistance	open-circuit	
R _H	Heater resistance	150±5%	Warm Up
R _h	Heater consumption	less than 100mW	
B. Environment condition			
Symbol	Parameter name	Technical condition	Remarks
Temp	Using Temp	-10~40°C	
Hum	Storage Hum	20~90%	
R _h	Relative humidity	less than 95%RH	
O ₂	Oxygen concentration	21% (normal condition)	Minimum value is over 20%
C. Sensitivity characteristic			
Symbol	Parameter name	Technical condition	Remarks
R _a	Sensing Resistance	10KΩ~100KΩ	Detecting concentration scope: 10ppm~100ppm NH ₃ , 10ppm~100ppm Alcohol
S	Concentration Slope rate	at 45	Sensitivity: 10ppm~100ppm Alcohol
Standard Condition	Temp: 20±0.2°C; V _{cc} : 5V±0.1; Humidity: 45%±5%; V _o : 0V±0.1		
Package size	Dim: 14.5mm		

D. Structure and configuration, basic measuring circuit



Structure and configuration of MQ-135 gas sensor is shown in Fig. 1 (Configuration A or B), sensor composed by nano Al₂O₃ ceramic tube, Tin Dioxide (SnO₂) 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 wrapped MQ-135 have 6 pins, 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. 3 sensitivity characteristics of the MQ-135

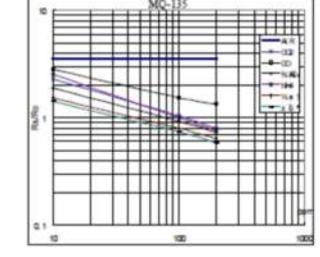


Fig. 3 shows the typical sensitivity characteristics of the MQ-135 for several gases. In this: Temp: 20°C Humidity: 45% O₂ concentration: 21% R_L: 10KΩ For sensor resistance at 100ppm of 10k in the clean air. For sensor resistance at various concentrations of gases.

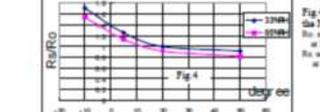
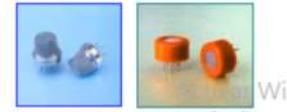


Fig. 4 shows the typical dependence of the MQ-135 on temperature and humidity. For sensor resistance at 100ppm of 10k in air at 15%RH and 20 degree. For sensor resistance at 100ppm of 70% at different temperatures and humidities.

SENSITIVITY ADJUSTMENT

Resistance value of MQ-135 is different to various kinds and various concentration gases. So, when using this component, sensitivity adjustment is very necessary. We recommend that you calibrate the detector for 100ppm NH₃ or 10ppm Alcohol concentration in air and use value of Load resistance(R_L) about 20 KΩ(10KΩ to 47 KΩ).

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



Windows
It's a Configuración d

Anexo D: Datasheet sensor de gas MQ-131

MQ131 Semiconductor Sensor for Ozone

Sensitive material of MQ131 gas sensor is SnO₂, which with lower conductivity in clean air. When Ozone gas exists, the sensor's conductivity is more higher along with the gas concentration rising. Please use simple electrocircuit. Convert change of conductivity to correspond output signal of gas concentration.

MQ131 gas sensor has high sensitivity to Ozone, also sensitive to CL₂, NO₂, etc.

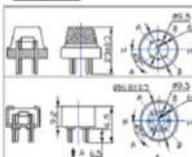
Character

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

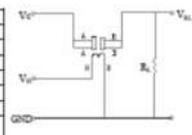
Application

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

Configuration



Basic test here

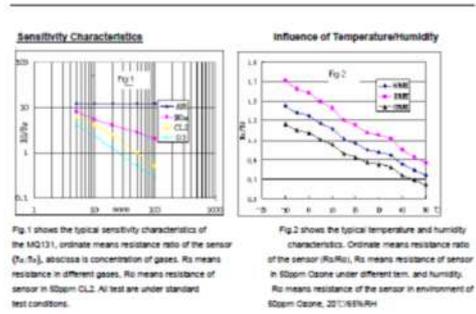


The above is basic test circuit of the sensor. The sensor needs to be put 2 voltage, heater voltage (VH) and test voltage (VCC). VH used to supply certified working temperature to the sensor, while VCC used to detect voltage (VRL) on load resistance (RL) which is in series with sensor. The sensor has light polarity, VCC need DC power. VCC and VH could use same power circuit with precondition to assure performance of sensor. In order to make the sensor with better performance, suitable RL value is needed.

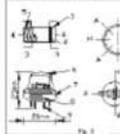
Technical Data

Model No.	MQ131
Sensor Type	Semiconductor
Standard Encapsulation	Selenite (Black Selenite)
Detection Gas	Ozone
Concentration	10-100ppm Ozone
Loop Voltage	V _L 5-24V DC
Heater Voltage	V _H 5.0V±0.2V AC or DC
Load Resistance	R _L Adjustable
Heater Resistance	R _H 310±30 (Room Temp.)
Heater Consumption	P _H $\leq 900mW$
Setting Resistance	R ₀ 50K-500K (in 50ppm O ₃)
Sensitivity	S Room air/R ₀ in 50ppm O ₃ ±2
Scale	S (R ₀ →R ₀ ±1)
Temp. Humidity	20°C±2°C, 65%±5%RH
Standard test circuit	V _C 5.0V±0.1V V _H 5.0V±0.1V
Preheat time	Over 48 hours

Power of Sensitivity body(P₀): P₀=V_CI_{RL}/R_L
Resistance of sensor(R₀): R₀=V_C/I_{RL}±1(R_L)



Structure and configuration



Structure and configuration of MQ131 gas sensor is shown as Fig. 1, sensor composed by micro AL2O₃ ceramic tube, Tin Dioxide (SnO₂) 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.

Part	Material
Gas sensing layer	SnO ₂
Dielectric	Al ₂ O ₃
Electrode line	Ag
Heater coil	nickel wire
Heater connect	AgNi
nickel-plating network	Stainless steel mesh
Clamp ring	IL6024 100 mesh
Heater base	Copper plating Ni
Tube Pin	Stainless steel
Clamp plating Ni	Copper plating Ni

Anexo E: Datasheet Arduino Mega



Arduino MEGA 2560

Product Overview

The Arduino Mega 2560 is a microcontroller board based on the ATmega2560 (datasheet). It has 54 digital input/output pins (of which 14 can be used as PWM outputs), 16 analog inputs, 4 UARTs (hardware serial ports), a 16 MHz crystal oscillator, a USB connection, a power jack, an ICSP header, and a reset button. It contains everything needed to support the microcontroller; simply connect it to a computer with a USB cable or power it with a AC-to-DC adapter or battery to get started. The Mega is compatible with most shields designed for the Arduino Duemilanove or Diecimila.

Index

- Technical Specifications [Page 2](#)
- How to use Arduino Programming Environment, Basic Tutorials [Page 6](#)
- Terms & Conditions [Page 7](#)
- Environmental Policies [Page 7](#)

RS radiospares RADIONICS

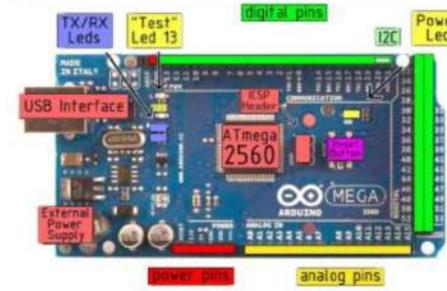
Technical Specification

EAGLE file: [arduino_mega2560_reference_design_20_schematic_arduino_mega2560_caherwin.pdf](#)

Summary

Microcontroller	ATmega2560
Operating Voltage	5V
Input Voltage (recommended)	7-12V
Input Voltage (limits)	6-20V
Digital I/O Pins	54 (of which 14 provide PWM output)
Analog Input Pins	16
DC Current per I/O Pin	40 mA
DC Current for 3.3V Pin	50 mA
Flash Memory	256 KB of which 8 KB used by bootloader
SRAM	8 KB
EEPROM	4 KB
Clock Speed	16 MHz

the board



RS radiospares RADIONICS

Power

The Arduino Mega2560 can be powered via the USB connection or with an external power supply. The power source is selected automatically. External (non-USB) power can come either from an AC-to-DC adapter (wall-wart) or battery. The adapter can be connected by plugging a 2.1mm center-positive plug into the board's power jack. Leads from a battery can be inserted in the GND and VIN pin headers of the POWER connector.

The board can operate on an external supply of 6 to 20 volts. If supplied with less than 7V, however, the 5V pin may supply less than five volts and the board may be unstable. If using more than 12V, the voltage regulator may overheat and damage the board. The recommended range is 7 to 12 volts.

The Mega2560 differs from all preceding boards in that it does not use the FTDI USB-to-serial driver chip. Instead, it features the ATmega8U2 programmed as a USB-to-serial converter.

The power pins are as follows:

- VIN:** The input voltage to the Arduino board when it's using an external power source (as opposed to 5 volts from the USB connection or other regulated power source). You can supply voltage through this pin, or, if supplying voltage via the power jack, access it through this pin.
- 5V:** The regulated power supply used to power the microcontroller and other components on the board. This can come either from VIN via an on-board regulator, or be supplied by USB or another regulated 5V supply.
- GND:** A 3.3 volt supply generated by the on-board regulator. Maximum current limit is 50 mA.
- GND:** Ground pins.

Memory

The ATmega2560 has 256 KB of flash memory for storing code (of which 8 KB is used for the bootloader), 8 KB of SRAM and 4 KB of EEPROM (which can be read and written with the [EEPROM library](#)).

Input and Output

Each of the 54 digital pins on the Mega can be used as an input or output, using [analogOut\(\)](#), [digitalWrite\(\)](#), and [digitalRead\(\)](#) functions. They operate at 5 volts. Each pin can provide or receive a maximum of 40 mA and has an internal pull-up resistor (disconnected by default) of 20-50 kOhms. In addition, some pins have specialized functions:

- Serial:** 0 (RX) and 1 (TX); Serial 2: 19 (RX) and 18 (TX); Serial 3: 16 (RX) and 14 (TX). Used to receive (RX) and transmit (TX) UART serial data. Pins 0 and 1 are also connected to the corresponding pins of the ATmega8U2 USB-to-UART bridge chip.
- External Interrupts:** 2 (Interrupt 0), 3 (Interrupt 1), 18 (Interrupt 4), 19 (Interrupt 4), 20 (Interrupt 3), and 21 (Interrupt 2). These pins can be configured to trigger an interrupt on a low value, a rising or falling edge, or a change in value. See the [attachInterrupt\(\)](#) function for details.
- PWM:** 0 to 13. Provide 8-bit PWM output with the [analogWrite\(\)](#) function.
- SPI:** 40 (MISO), 41 (MOSI), 42 (SS), 53 (SCK). These pins support SPI communication, which, although provided by the underlying hardware, is not currently included in the Arduino language. The SPI pins are also broken out on the ICSP header, which is physically compatible with the Duemilanove and Diecimila.
- LED:** 13. There is a built-in LED connected to digital pin 13. When the pin is HIGH value, the LED is on, when the pin is LOW, it's off.
- IC:** 20 (SDA) and 21 (SCL). Support I²C (TWI) communication using the [Wire library](#) (documentation on the Wiring website). Note that these pins are not in the same location as the IC pins on the Duemilanove.

The Mega2560 has 16 analog inputs, each of which provide 10 bits of resolution (i.e. 1024 different values). By default they measure from ground to 5 volts, though it is possible to change the upper end of their range using the AREF pin and [analogReference\(\)](#) function.

There are a couple of other pins on the board:

- AREF:** Reference voltage for the analog inputs. Used with [analogReference\(\)](#).
- Reset:** Bring this line LOW to reset the microcontroller. Typically used to add a reset button to shields which lock the pins on the board.



Communication

The Arduino Mega2560 has a number of facilities for communicating with a computer, another Arduino, or other microcontrollers. The ATmega2560 provides four hardware UARTs for TTL (5V) serial communication. An ATmega8U2 on the board handles one of these over USB and provides a virtual COM port to software on the computer (Windows machines will need a .inf file, but OSX and Linux machines will recognize the board as a COM port automatically). The Arduino software includes a serial monitor which allows simple textual data to be sent to and from the board. The RX and TX LEDs on the board will flash when data is being transmitted via the ATmega8U2 chip and USB connection to the computer (but not for serial communication on pins 0 and 1).

A [SoftwareSerial library](#) allows for serial communication on any of the Mega's digital pins.

The ATmega2560 also supports I²C (TWI) and SPI communication. The Arduino software includes a Wire library to simplify use of the I²C bus; see the [documentation on the Wiring website](#) for details. To use the SPI communication, please see the ATmega2560 datasheet.

Programming

The Arduino Mega2560 can be programmed with the Arduino software ([download](#)). For details, see the [reference](#) and [tutorials](#).

The ATmega2560 on the Arduino Mega comes pre-wired with a [bootloader](#) that allows you to upload new code to it without the use of an external hardware programmer. It communicates using the original DTR-RTN protocol ([reference](#), [C header files](#)).

You can also bypass the bootloader and program the microcontroller through the ICSP (In-Circuit Serial Programming) header; see [these instructions](#) for details.



How to use Arduino



Arduino can sense the environment by receiving input from a variety of sensors and can affect its surroundings by controlling lights, motors, and other actuators. The microcontroller on the board is programmed using the [Arduino programming language](#) (based on [Wiring](#)) and the Arduino development environment (based on [Processing](#)). Arduino projects can be stand-alone or they can communicate with software on running on a computer (e.g. Flash, Processing, Max/MSP).

Arduino is a cross-platform program. You'll have to follow different instructions for your personal OS. Check on the [Arduino site](#) for the latest instructions. <http://arduino.cc/en/Guide/HomePage>

Linux install

Windows install

Mac install

Once you have downloaded/unzipped the Arduino IDE, you can Plug the Arduino to your PC via USB cable.

Blink led

Now you're actually ready to "burn" your first program on the arduino board. To select "blink led", the physical translation of the well known programming "hello world", select:

File>Sketchbook> Arduino-0017>Examples> Digital>Blink

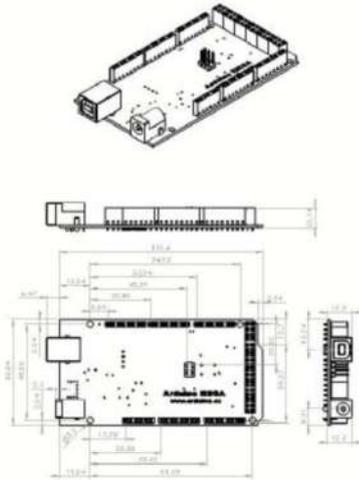
Once you have your sketch you'll see something very close to the screenshot on the right.

In Tools>Board select MEGA

Now you have to go to Tools>SerialPort and select the right serial port, the one arduino is attached to.



Dimensioned Drawing



Terms & Conditions



1. Warranties

- 1.1. The producer warrants that its products will conform to the specifications. The warranty lasts for one (1) years from the date of the sale. The producer shall not be liable for any defects that are caused by required, misuse or modification by the Customer, including incorrect installation or testing or for any products that have been altered or modified in any way by a Customer. Moreover, the producer shall not be liable for any products that result from Customer's design, specifications or instructions for such products. Testing and other quality control techniques are used to the extent the producer deems necessary.
- 1.2. If any products fail to conform to the warranty set forth above, the producer's sole liability shall be to replace such products. The producer's liability shall be limited to products that are determined by the producer not to conform to such warranty. If the producer wishes to replace such products, the producer shall have a reasonable time to re-ship them. Replaced products shall be warranted for a one (1) year warranty period.
- 1.3. EXCEPT AS SET FORTH ABOVE, PRODUCTS ARE PROVIDED "AS IS" AND WITH ALL FAULTS. THE PRODUCER DISCLAIMS ALL OTHER WARRANTIES, EXPRESS OR IMPLIED, REGARDING PRODUCTS, INCLUDING BUT NOT LIMITED TO, ANY IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY OR FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE.
- 1.4. Customer agrees that prior to using any systems that include the producer products, Customer will test such systems and the functionality of the products as used in such systems. The producer may provide technical, application or design advice, quality characterization, reliability data or other services. Customer acknowledges and agrees that providing these services shall not expand or otherwise alter the producer's warranties, as set forth above, and no additional obligations or liabilities shall arise from the producer providing such services.
- 1.5. The producer's products are not authorized for use in safety-critical applications where a failure of the product would reasonably be expected to cause severe personal injury or death. Safety-Critical Applications include, without limitation, the support, detection and systems, deployment or systems for the operation of nuclear facilities and weapons systems. Arduino's products are neither designed nor intended for use in military or aerospace applications or environments and for submarine applications or environments. Customer acknowledges and agrees that any such use of Arduino's products shall, as a matter of the Customer's law, and that Customer is solely responsible for compliance with all legal and regulatory requirements in connection with such use.
- 1.6. Customer acknowledges and agrees that it is solely responsible for compliance with all legal, regulatory and other-related requirements concerning its products and any use of Arduino's products in Customer's applications, substantiating any such technical information or support that may be provided by the producer.

2. Indemnification

The Customer acknowledges and agrees to defend, indemnify and hold harmless the producer from and against any and all third party losses, damages, liabilities and expenses it incurs in the extent directly caused by (i) an act or omission by a Customer of the representation and warranty made under the terms and conditions or (ii) the gross negligence or willful misconduct by the Customer.

3. Consequential Damages Waiver

In no event shall the producer shall be liable to the Customer or any third parties for any special, incidental, indirect, punitive, exemplary, consequential or exemplary damages in connection with or arising out of the products provided hereunder, regardless of whether the producer has been advised of the possibility of such damages. The waiver will survive the termination of the warranty period.

4. Changes to specifications

The producer may make changes to specifications and product descriptions at any time without notice. The Customer shall not rely on the absence or characteristics of any features or instructions marked "reserved" or "optional". The producer reserves the right to make modifications and shall have no responsibility whatsoever for confusion or incompatibilities arising from future changes to them. The product information on the data sheet or datasheet is subject to change without notice. Do not fabricate a design with the information.



Environmental Policies



The producer of Arduino® has joined the Impatto Zero® policy of LifeGate.it. For each Arduino board produced is created / looked after half squared km of Costa Rica's forest's.

Anexo F: Datasheet Nextion NX8048T050 - 5.0" LCD TFT HMI Intelligent Touch Display

Package include: a Nextion 5.0" display, a wire, a power supply test board

Note: there's a small power supply test board and a wire for you to test if the electricity supply is enough or not. Please see below image how to use it.

Caution:

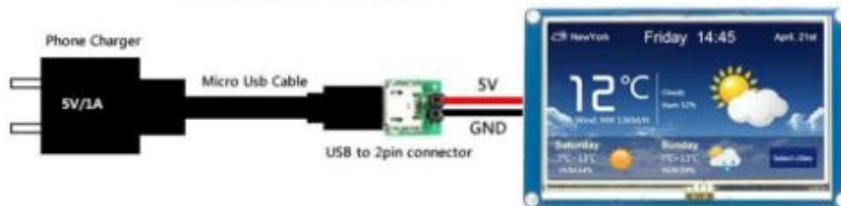
Working under insufficient power supply condition will damage the Nextion model easily.



Blurred screen? Flashing? You may be suffering from power shortages. Power off at the first possible moment. No more repeated attempts to damage your Nextion model.

A small connector is included in the package. Please try to power Nextion with your phone charger through the connector to check if Nextion works well.

A high quality usb cable is required.



Nextion User Manual: <http://goo.gl/LbvAJ5>

Features

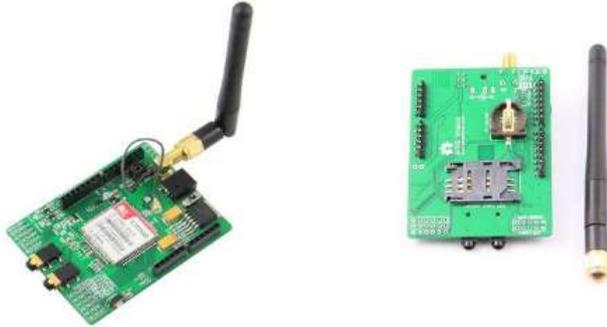
- Compatible with Raspberry Pi A+, B+ and Raspberry Pi 2, Arduino
- 800 x 480 Resolution
- RGB 65K true to life colours
- TFT Screen with integrated 4-wire Resistive Touch Panel For Raspberry Pi and Arduino
- Easy 4 pin interface to any TTL Serial Host For Arduino
- 16M Flash memory for User Application Code and Date
- On board micro-SD card for firmware upgrade
- Visual Area:108mm(L)×64.8mm(W)
- Adjustable Brightness:0~230 nit, the interval of adjustment is 1%
- 5V410mA power consumption
- CE/EMC, RoHS certified ([certificates](#))

ADDITIONAL INFORMATION

Discontinued	No
Link Wiki	No
Display Resolution	800 x 480
Display Interface	Serial
Screen Type	Touch Screen
Display Controller	No
TFT display interface	N/A
Display Size	5.0"
Board Size	133.5mm*84mm
Expand	<ul style="list-style-type: none"> • SD Card Socket • Touch Screen
Weight	174 g

Anexo G: Datasheet Módulo GPRS Shield Arduino Uno

Introduction



The GPRS Shield is based on SIM900 module from SIMCOM and compatible with Arduino and its clones. The GPRS Shield provides you a way to communicate using the GSM cell phone network. The shield allows you to achieve SMS, MMS, GPRS and Audio via UART by sending AT commands (GSM 07.07, 07.05 and SIMCOM enhanced AT Commands). The shield also has the 12 GPIOs, 2 PWMs and an ADC of the SIM900 module(They are all 2V8 logic) present onboard.

Features

- Quad-Band 850 / 900/ 1800 / 1900 MHz - would work on GSM networks in all countries across the world.
- GPRS multi-slot class 10/8
- GPRS mobile station class B
- Compliant to GSM phase 2/2+
- Class 4 (2 W @ 850 / 900 MHz)
- Class 1 (1 W @ 1800 / 1900MHz)
- Control via AT commands - Standard Commands: GSM 07.07 & 07.05 | Enhanced Commands: SIMCOM AT Commands.
- Short Message Service - so that you can send small amounts of data over the network (ASCII or raw hexadecimal).
- Embedded TCP/UDP stack - allows you to upload data to a web server.
- RTC supported.
- Selectable serial port.
- Speaker and Headphone jacks
- Low power consumption - 1.5mA(sleep mode)
- Industrial Temperature Range - -40°C to +85 °C

Specifications

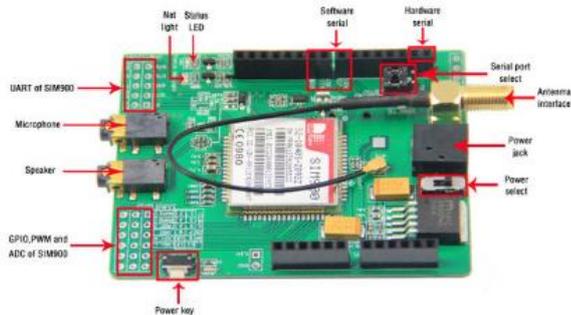
Application Ideas

- M2M (Machine 2 Machine) Applications.
- Remote control of appliances.
- Remote Weather station or a Wireless Sensor Network.
- Vehicle Tracking System with a GPS module.

Cautions

- Make sure your SIM card is unlocked.
- The product is provided as is without an insulating enclosure. Please observe ESD precautions specially in dry (low humidity) weather.
- The factory default setting for the GPRS Shield UART is 19200 bps 8-N-1. (Can be changed using AT commands).

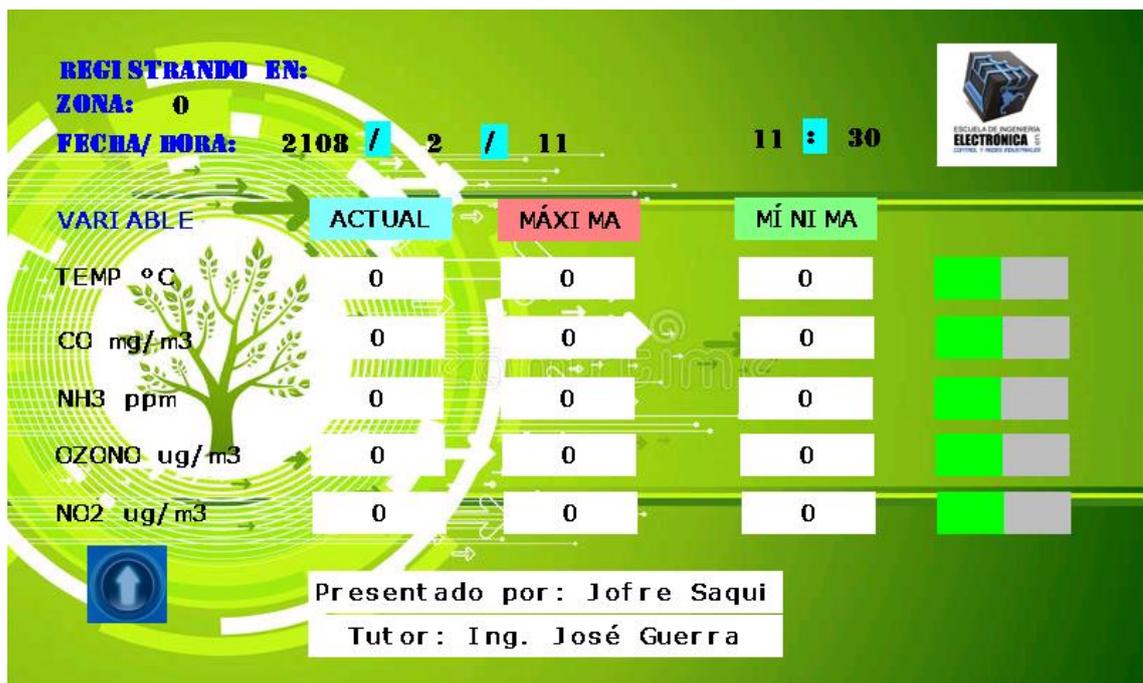
Hardware Diagram



- Power select - select the power supply for GPRS shield(external power or 5v of arduino)
- Power jack - connected to external 4.8-5VDC power supply
- Antenna interface - connected to external antenna
- Serial port select - select either software serial port or hardware serial port to be connected to GPRS Shield
- Hardware Serial - D0/D1 of Arduino
- Software serial - D7/D8 of Arduino
- Status LED - tell whether the power of SIM900 is on
- Net light - tell the status about SIM900 linking to the net
- UART of SIM900 - UART pins breakout of SIM900
- Microphone - to answer the phone call

- Microphone - to answer the phone call
- Speaker - to answer the phone call
- GPIO,PWM and ADC of SIM900 - GPIO,PWM and ADC pins breakout of SIM900
- Power key - power up and down for SIM900
- Pins usage on Arduino
- D0 - Unused if you select software serial port to communicate with GPRS Shield
- D1 - Unused if you select software serial port to communicate with GPRS Shield
- D2 - Unused
- D3 - Unused
- D4 - Unused
- D5 - Unused
- D6 - Unused
- D7 - Used if you select software serial port to communicate with GPRS Shield
- D8 - Used if you select software serial port to communicate with GPRS Shield
- D9 - Used for software control the power up or down of the SIM900
- D10 - Unused
- D11 - Unused
- D12 - Unused
- D13 - Unused
- D14(A0) - Unused
- D15(A1) - Unused
- D16(A2) - Unused
- D17(A3) - Unused
- D18(A4) - Unused
- D19(A5) - Unused
- Note: A4 and A5 are connected to the I2C pins on the SIM900. The SIM900 however cannot be accessed via the I2C .

Anexo H: Pantallas de la Interfaz del SAC-GC



INFORMACIÓN TEMPERATURA

Cuadro 1. Temperaturas críticas de tomate



Se huela la planta			-2°C
Detiene su desarrollo			10 – 12 °C
Desarrollo normal de la planta			18 – 25 °C
Mayor desarrollo de la planta			21 – 24 °C
Germinación óptima			25 – 30 °C
Temperaturas óptimas			
Desarrollo	Diurna		23 – 26 °C
	Nocturna		13 – 16 °C
Floración	Diurna		23 – 26 °C
	Nocturna		15 – 18 °C
Maduración			15 – 22 °C

CASES CONTAMINANTES RIESGOSOS

Contaminante y Período de Tiempo	Alerta	Alarma	Emergencia
Monóxido de Carbono Concentración promedio en ocho horas (mg/m ³)	15	30	40
Ozono Concentración promedio en ocho horas (µg/m ³)	200	400	600
Dióxido de Nitrógeno Concentración promedio en una hora (µg/m ³)	1000	2000	3000

EL NIVEL DE ALERTA PARA AMONIACO ES DE 20 PPM.



FUENTE: NORMA ECUATORIANA DE LA CALIDAD DEL AIRE.

Anexo I: Código Módulo de Supervisión-Control

```
#include <SoftwareSerial.h>
// software serial #1: RX = digital pin 10, TX = digital pin 11
SoftwareSerial portTwo(10,11);

#include <Wire.h> // Librerías del RTC
#include "RTClib.h"

#include <SD.h>

#include <SPI.h>

float lect1;
float lect2;
float lect3;
float lect4;

float temp1C;
double COmg;
double amoniaco;
double ozonoug;
double NOxug;

double t1max=0, t1min=0;
double COmax=0, COmin=0;
double NH3max=0, NH3min=0;
double O3max=0, O3min=0;
double NOxmax=0, NOxmin=0;

byte zona=1;

//Declaramos el Reloj
RTC_DS1307 RTC;

File logfile; // Fichero a escribir en la SD
const int chipSelect = 41; // SD card pin select
const bool eco = true;
int count = 0; // Controla cada cuanto tiempo se vuelcan los datos a la SD

void setup(){
  Serial.begin(9600);
  portTwo.begin(9600);
  pinMode(6, OUTPUT);
  pinMode(7, OUTPUT);

  Wire.begin();
  RTC.adjust(DateTime(__DATE__, __TIME__));
  if (!RTC.begin())
    Serial.println("No hay RTC.");

  else
    Serial.println(" RTC correcto. Listo para captura de datos");

  // %%%%%%%%%INICIALIZACIÓN SD%%
  //Conectar el SD
```

```

pinMode(chipSelect, OUTPUT); // SD card pin select

if (!SD.begin(chipSelect))
  error("No hay tarjeta SD.");
else
  Serial.println("Tarjeta SD inicializada.");

// %%%%%%%%%CREAR FICHERO DE REGISTRO%%%%%%%%%%
char filename[] = "LOGGER00.CSV";
for (uint8_t i = 0; i < 100; i++)
  {
  filename[6] = i/10 + '0';
  filename[7] = i%10 + '0';
  if (!SD.exists(filename)) // Si no existe el fichero, lo creamos
    {
    logfile = SD.open(filename, FILE_WRITE);
    break; // leave the loop!
    }
  }
if (!logfile)
  error("No se pudo crear el fichero de registro");

Serial.print("Registrando en: "); Serial.println(filename);
portTwo.print("\t\t\t\t");
portTwo.write(0x22);
portTwo.print(filename);
portTwo.write(0x22);
ff();

logfile.print("Zona");
logfile.print(", ");
logfile.print("Fecha/Hora");
logfile.print(", ");
logfile.print("Temp1C");
logfile.print(", ");
logfile.print("CO-mg/m3");
logfile.print(", ");
logfile.print("AMONIACO-ppm");
logfile.print(", ");
logfile.print("OZONO-ug/m3");
logfile.print(", ");
logfile.println("NOx-ug/m3");

}

void loop () {

if (Serial.available() > 27) { // si hay algun dato entrado por el serial empezamos

if (Serial.read() == 0x7E) { // byte de inicio

  DateTime now;
  now = RTC.now();

```

```

for (int i=0;i<18;i++){
  byte descartar= Serial.read();
  Serial.print(descartar, HEX);
}

int analog1MSB= Serial.read();
int analog1LSB= Serial.read();

int analog2MSB= Serial.read();
int analog2LSB= Serial.read();

int analog3MSB= Serial.read();
int analog3LSB= Serial.read();

int analog4MSB= Serial.read();
int analog4LSB= Serial.read();

int analogReading1 = analog1LSB + (analog1MSB * 256);
int analogReading2 = analog2LSB + (analog2MSB * 256);
int analogReading3 = analog3LSB + (analog3MSB * 256);
int analogReading4 = analog4LSB + (analog4MSB * 256);

Serial.print("Lecturas");// Imprime el valor que recibe

Serial.print(".");
Serial.print(now.year(), DEC);
Serial.print('/');
Serial.print(now.month(), DEC);
Serial.print('/');
Serial.print(now.day(), DEC);
Serial.print(' ');
Serial.print(now.hour(), DEC);
Serial.print(':');
Serial.println(now.minute(), DEC);

lect1 = analogReading1;
float voltaje_t =lect1* (1.02/1023)-0.01// 110grados centigrados valor max considerado

if((voltaje_t<0.4)&&(voltaje_t>0.05)){
temp1C = voltaje_t/0.01;

if (t1max == 0 && t1min ==0){
t1max=temp1C;
t1min=temp1C;
}
else{
find_max_min (temp1C,t1max,t1min);}
Serial.println();

Serial.print("adc:");
Serial.print (lect1);
Serial.print("\tvoltaje:");
Serial.print(voltaje_t);

```



```

Serial.print("adc:");
Serial.print(lect3);
Serial.print("\tvoltaje:");
Serial.print(voltaje_sg2);
//Serial.print(" Rs:");
//Serial.print(Rs_2);
Serial.print("\tAmoniaco:");
Serial.print(amoniac);
Serial.print("ppm");
Serial.print("\tAmoniaco:");
Serial.print(amoniacoug);
Serial.print("ug/m3");
Serial.println();
}
else {
int error_sg2=lect3;}

lect4 = analogReading4;
float voltaje_sg3 = lect4 * (1.01/ 1023)-0.02; //Convertimos la lectura en un valor de voltaje
if((voltaje_sg3<1.2)&&(voltaje_sg3>0)){
float Rs_3=1000*((4.5-voltaje_sg3)/voltaje_sg3); //Calculamos Rs con un RL de 1k
double ozono= 42.368*pow(Rs_3/30,-1.099);
ozonoug=((ozono*(48)*1000)/24.45);
double ozonoppb=ozono*1000;

double NOx= 11139*pow(Rs_3/510,-3.499);
NOxug=((NOx*(46.01)*1000)/24.45);
double NOxppb=NOx*1000;

if (O3max == 0 && O3min ==0){
O3max=ozonoug;
O3min=ozonoug;
}
else{
find_max_min (ozonoug,O3max,O3min);}

if (NOxmax == 0 && NOxmin ==0){
NOxmax=NOxug;
NOxmin=NOxug;
}
else{
find_max_min (NOxug,NOxmax,NOxmin);}

Serial.print("adc:");
Serial.print(lect4);
Serial.print("\tvoltaje:");
Serial.print(voltaje_sg3);
//Serial.print(" Rs:");
//Serial.print(Rs_2);
Serial.print("\tOzono:");
Serial.print(ozono);
Serial.print("ppm");
Serial.print("\tOzono:");
Serial.print(ozonoug);

```



```

logfile.print(",");
logfile.print(now.year(). DEC);
logfile.print('/');
logfile.print(now.month(). DEC);
logfile.print('/');
logfile.print(now.day(). DEC);
logfile.print(' ');
logfile.print(now.hour(). DEC);
logfile.print(':');
logfile.print(now.minute(). DEC);
logfile.print(':');
logfile.print(now.second(). DEC);
logfile.print(", ");
logfile.print(temp1C);
logfile.print(", ");
logfile.print(COmg);
logfile.print(", ");
logfile.print(amoniacol);
logfile.print(", ");
logfile.print(ozonoug);
logfile.print(", ");
logfile.println(NOxug);

    if ( count++ > 100 ) // Incrementa count en uno y retorna el viejo valor de count
    { logfile.flush(); // Para forzar la escritura en la SD
      count = 0; // Cada 100 lecturas
    }
    delay(500);
}

void find_max_min (double v_sensor, double &v_max, double &v_min) // declaramos los
parámetros de la función como referencias a objetos.
{
if (v_max<v_sensor)
v_max=v_sensor;
if(v_min>v_sensor)
v_min=v_sensor;
}

void sendnextion(){
    DateTime now;
    now = RTC.now();

    portTwo.print("\n15.val=");
    portTwo.print(zona);
    ff();

    portTwo.print("\n16.val=");
    portTwo.print(now.year());
    ff();
    portTwo.print("\n17.val=");
    portTwo.print(now.month());
    ff();
    portTwo.print("\n18.val=");

```

```
portTwo.print(now.day());
ff();
portTwo.print("n19.val=");
portTwo.print(now.hour());
ff();
portTwo.print("n20.val=");
portTwo.print(now.minute());
ff();
```

```
portTwo.print("n0.val=");
portTwo.print((int)temp1C);
ff();
portTwo.print("n1.val=");
portTwo.print((int)t1max);
ff();
portTwo.print("n2.val=");
portTwo.print((int)t1min);
ff();
int progress = map((int)temp1C, 0, 40, 0, 100);
portTwo.print("j0.val=");
portTwo.print(progress);
ff();
```

```
portTwo.print("n3.val=");
portTwo.print((int)amoniaco);
ff();
portTwo.print("n4.val=");
portTwo.print((int)NH3max);
ff();
portTwo.print("n5.val=");
portTwo.print((int)NH3min);
ff();
int progress_NH3 = map((int)amoniaco, 0, 40, 0, 100);
portTwo.print("j1.val=");
portTwo.print(progress_NH3);
ff();
```

```
portTwo.print("n6.val=");
portTwo.print((int)COmg);
ff();
portTwo.print("n7.val=");
portTwo.print((int)COmax);
ff();
portTwo.print("n8.val=");
portTwo.print((int)COmin);
ff();
int progress_CO = map((int)COmg, 0, 20, 0, 100);
portTwo.print("j2.val=");
portTwo.print(progress_CO);
ff();
```

```
portTwo.print("n9.val=");
portTwo.print((int)ozonoug);
```

Anexo J: Código Módulo de Aviso

```
double NOxmax=1000, NOxmin=0;

String aviso;
int n_call=0;
int n_sms=0;

byte LSB_mac;
byte zona=1;

void setup(){
Serial.begin(9600);
digitalWrite(9, HIGH); // Descomentar para activar la alimentación de la tarjeta por
Software
delay(1000);
digitalWrite(9, LOW);
delay(5000); //Nos damos un tiempo para encender el GPRS y la alimentación de la tarjeta
SIM900.begin(9600); //Configura velocidad del puerto serie para el SIM900

Serial.println("OK");
delay(1000);
SIM900.println("AT+CPIN?");
//SIM900.println("AT+CPIN=\\"XXXXX\\""); //Comando AT para introducir el PIN de la
tarjeta
delay(2000); //Tiempo para que encuentre una RED
Serial.println("GPRS SHIELD Inicializado...");
}

void loop () {

if (Serial.available() > 27) { // si hay algun dato entrado por el serial empezamos

if (Serial.read() == 0x7E) { // byte de inicio

for (int i=0;i<18;i++){
byte descartar= Serial.read();
Serial.print(descartar, HEX);
}

int analog1MSB= Serial.read();
int analog1LSB= Serial.read();

int analog2MSB= Serial.read();
int analog2LSB= Serial.read();

int analog3MSB= Serial.read();
int analog3LSB= Serial.read();

int analog4MSB= Serial.read();
int analog4LSB= Serial.read();

int analogReading1 = analog1LSB + (analog1MSB * 256);
int analogReading2 = analog2LSB + (analog2MSB * 256);
int analogReading3 = analog3LSB + (analog3MSB * 256);
```

```

int analogReading4 = analog4LSB + (analog4MSB * 256);

Serial.print("Lecturas");// Imprime el valor que recibe

Serial.print(".");

lect1 = analogReading1;
float voltaje_t=lect1* (1.02/1023)-0.01// 110grads centigrados valor max considerado

if((voltaje_t<0.4)&&(voltaje_t>0.05)){
temp1C = voltaje_t/0.01;

Serial.println();

Serial.print("adc:");
Serial.print (lect1);
Serial.print("\tvoltaje:");
Serial.print(voltaje_t);

Serial.print("\tTemperatura:");// Imprime el valor que recibe
Serial.print(temp1C);
Serial.print(".");

Serial.println();

}
else {
int error_t=lect1;}

lect2 = analogReading2;
float voltaje_sg1 = lect2 * (2.02/ 1023); //Convertimos la lectura en un valor de voltaje
//Escalaamos 1:2 el valor de voltaje aplicando un divisor de voltaje.
if((voltaje_sg1<1.2)&&(voltaje_sg1>0)){
float Rs=1000*((4.5-voltaje_sg1)/voltaje_sg1); //Calculamos Rs con un RL de 1k
double CO= 106.18*pow(Rs/230,-1.491);
COmg=((CO*(28))/24.45); // En mg/m3

Serial.print("adc:");
Serial.print(lect2);
Serial.print("\tvoltaje:");
Serial.print(voltaje_sg1);
//Serial.print(" Rs:");
//Serial.print(Rs);
Serial.print("\tCO:");
Serial.print(CO);
Serial.print("ppm");
Serial.print("\tCO:");
Serial.print(COmg);
Serial.print("mg/m3");
Serial.println();
}
else {

```

```

int error_sg1=lect2;}

lect3 = analogReading3;
float voltaje_sg2 = lect3 * (1.01/ 1023)-0.04; //Convertimos la lectura en un valor de voltaje
if((voltaje_sg2<1.2)&&(voltaje_sg2>0)){
float Rs_2=1000*((4.5-voltaje_sg2)/voltaje_sg2); //Calculamos Rs con un RL de 1k
amoniaco= 102.79*pow(Rs_2/3571,-2.424);
double amoniacoug=((amoniaco*(17.03)*1000)/24.45);

Serial.print("adc:");
Serial.print(lect3);
Serial.print("\tvoltaje:");
Serial.print(voltaje_sg2);
//Serial.print(" Rs:");
//Serial.print(Rs_2);
Serial.print("\tAmoniaco:");
Serial.print(amoniaco);
Serial.print("ppm");
Serial.print("\tAmoniaco:");
Serial.print(amoniacoug);
Serial.print("ug/m3");
Serial.println();
}
else {
int error_sg2=lect3;}

lect4 = analogReading4;
float voltaje_sg3 = lect4 * (1.01/ 1023)-0.02; //Convertimos la lectura en un valor de voltaje
if((voltaje_sg3<1.2)&&(voltaje_sg3>0)){
float Rs_3=1000*((4.5-voltaje_sg3)/voltaje_sg3); //Calculamos Rs con un RL de 1k
double ozono= 42.368*pow(Rs_3/30,-1.099);
ozonoug=((ozono*(48)*1000)/24.45);
double ozonoppb=ozono*1000;

double NOx= 11139*pow(Rs_3/510,-3.499);
NOxug=((NOx*(46.01)*1000)/24.45);
double NOxppb=NOx*1000;

Serial.print("adc:");
Serial.print(lect4);
Serial.print("\tvoltaje:");
Serial.print(voltaje_sg3);
//Serial.print(" Rs:");
//Serial.print(Rs_2);
Serial.print("\tOzono:");
Serial.print(ozono);
Serial.print("ppm");
Serial.print("\tOzono:");
Serial.print(ozonoug);
Serial.print("ug/m3");
Serial.print("\tOzono:");
Serial.print(ozonoppb);
Serial.print("ppb");

```

```

Serial.println();

Serial.print("VVVVNOx:");
Serial.print(NOx);
Serial.print("ppm");
Serial.print("VVNOx:");
Serial.print(NOxug);
Serial.print("ug/m3");
Serial.print("VVNOx:");
Serial.print(NOxppb);
Serial.print("ppb");
Serial.println();
delay(1000);
}
else {
int error_sg3=lect4;}

create_sms();

Serial.print(create_sms());

if (create_sms()!=0 && n_call==0&& n_sms==0)
{

Serial.println(avisos);
llamar();
send_sms();
}

}
}
}

```

```

int compara_var(double v_max, double v_min, double v_act)
{
int EnviaSMS=0;
if((v_act>v_max)||(v_act<v_min))
EnviaSMS=1;

return(EnviaSMS);
}

```

```

int create_sms()

int enviar=0;
avisos="rALERTA..!FUERA DE RANGO:";
if (compara_var(t1max,t1min,temp1C)==1)
{
avisos=(avisos+"rTemp.A X");
enviar=enviar+1;
}

```

```

}

if (compara_var(COmax ,COmin, COmg)==1)
{
  aviso= (aviso+"\rCO X");
  enviar=enviar+1;
}

if (compara_var(NH3max ,NH3min,amoniac)==1)
{
  aviso= (aviso+"\rAmoniac X");
  enviar=enviar+1;
}

  if (compara_var(O3max ,O3min,ozonoug)==1)
{
  aviso= (aviso+"\rOzono X");
  enviar=enviar+1;
}

if (compara_var(NOxmax ,NOxmin,NOxug)==1)
{
  aviso= (aviso+"\rNOx X");
  enviar=enviar+1;
}

return(enviar);
}

void llamar()
{
  Serial.println("Realizando llamada...");
  SIM900.println("ATD+593967774737;"); //Comando AT para realizar una llamada
  delay(30000); // Espera 30 segundos mientras realiza la llamada
  SIM900.println("ATH"); // Cuelga la llamada
  delay(1000);
  Serial.println("Llamada finalizada");
  n_call=n_call+1;
}

void send_sms()
{
  Serial.println("Enviando SMS...");
  SIM900.print("AT+CMGF=1\r"); //Configura el modo texto para enviar o recibir mensajes
  delay(1000);
  SIM900.println("AT+CMGS=\n+593967774737\n"); //Numero al que vamos a enviar el
mensaje
  delay(1000);
}

```

Anexo K: Cargos Tarifarios 2018– Consumidor residencial



Agencia de
Regulación y Control
de Electricidad

PERIODO: **ENERO - DICIEMBRE ***

EMPRESAS ELÉCTRICAS:

AMBATO-AZOGUES-CNEL BOLÍVAR-CENTROSUR-COTOPAXI-NORTE-RIOBAMBA-SUR

CARGOS TARIFARIOS ÚNICOS

ENERO - DICIEMBRE **

RANGO DE CONSUMO	DEMANDA (USD/kW-mes)	ENERGÍA (USD/kWh)	COMERCIALIZACIÓN (USD/Consumidor)
CATEGORÍA	RESIDENCIAL		
NIVEL TENSIÓN	BAJA Y MEDIA TENSIÓN		1,414
1-50		0,091	
51-100		0,093	
101-150		0,095	
151-200		0,097	
201-250		0,099	
251-300		0,101	
301-350		0,103	
351-500		0,105	
501-700		0,1285	
701-1000		0,1450	
1001-1500		0,1709	
1501-2500		0,2752	
2501-3500		0,4360	
Superior		0,6812	
	RESIDENCIAL TEMPORAL		
		0,1285	

Anexo L: Cálculo de antenas

Una antena es un transductor que transforma energía eléctrica en electromagnética y viceversa, es decir emite y recepta una señal de RF.

Las antenas no generan potencia solo pueden direccionarla, por lo que son elementos pasivos.

El medio de propagación que es el aire también es conocido como espectro electromagnético.

Las frecuencias RF de Zigbee, como de otras tecnologías está dentro de la banda ISM (Industrial, Científica y Médica).

El rango de frecuencias depende fundamentalmente de la longitud de onda y de la frecuencia de los ciclos de cada señal.

Una onda de radio se puede definir como una oscilación que se propaga en el espacio.

La velocidad a la que viajan las ondas de radio es la velocidad de la luz, es decir a 3×10^8 m/s.

Sabemos que:

$$v = f * \lambda$$

Donde:

$v = \text{velocidad_onda_RF}$

$f = \text{frecuencia}$

$\lambda = \text{longitud_de_onda}$

$$\lambda = \frac{v}{f}$$

$$\lambda = \frac{3 \times 10^8 \text{ m/s}}{2.4 \times 10^9 \text{ Hz}}$$

$$\lambda = \frac{0.3}{2.4} \text{ m}$$

$$\lambda = 0.125 \text{ m}$$

$$\lambda = 12.5 \text{ cm}$$

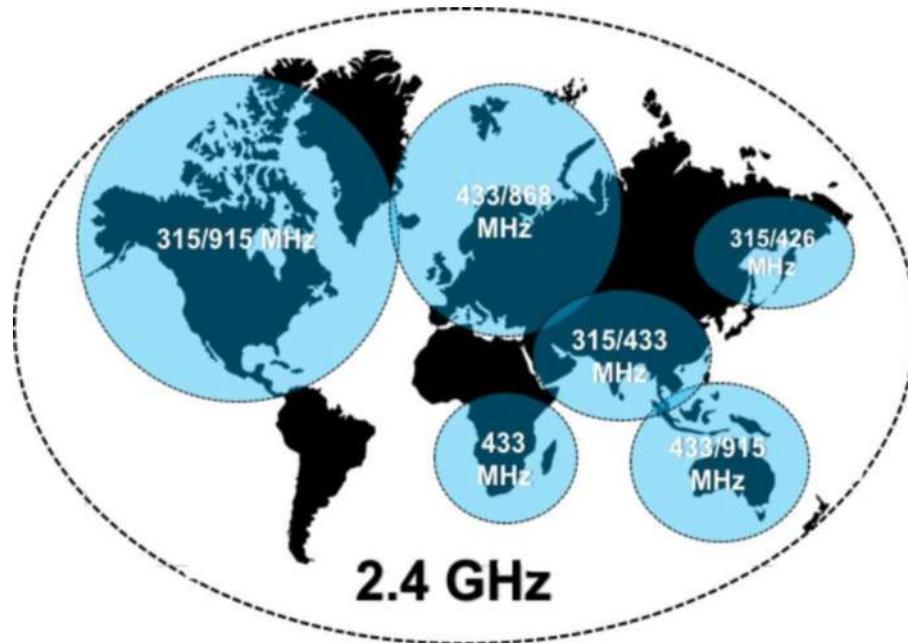
Considerando una antena de tipo vástago o de mástil vertical (Yagui)

$$\text{long. antena} = \frac{\lambda}{4}$$

$$\text{long. antena} = 3.125 \text{ cm}$$

Tanto para el módulo de supervisión y aviso se sobredimensionó la longitud de la antena calculada.

Anexo M: Cobertura 2.4 Ghz



Anexo N: Esquema de alimentación fotovoltaica - nodo

