

PLANTILLA OFICIAL PARA LA PRESENTACIÓN DE TRABAJOS  
II CONVENCION CIENTÍFICA INTERNACIONAL  
“II CCI UCLV 2019”

DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.  
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.



XVIII SIMPOSIO INTERNACIONAL DE INGENIERÍA  
ELÉCTRICA. “SIE 2019”

**Sistema inalámbrico para supervisión, aviso y control de  
contaminación en invernaderos**

*Wireless system for monitoring, warning and controlling pollution in  
greenhouses*

**Jofre Ernesto Saqui Valla<sup>1</sup>, José Enrique Guerra Salazar<sup>2</sup>, Henry Ernesto Vallejo  
Vizhuete<sup>3</sup>, José Luis Morales Gordon<sup>4</sup>, Freddy Enrique Chávez Vásquez<sup>5</sup>, Isidoro  
Enrique Tapia Segarra<sup>6</sup>**

- 1- Jofre Ernesto Saqui Valla. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ecuador. E-mail: joersv2017@gmail.com
- 2- José Enrique Guerra Salazar. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ecuador. E-mail: j\_guerra@esepoch.edu.ec
- 3- Henry Ernesto Vallejo Vizhuete. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ecuador. E-mail: hvallejo@esepoch.edu.ec
- 4- José Luis Morales Gordon. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ecuador. E-mail: j\_morales@esepoch.edu.ec.
- 5- Freddy Enrique Chávez Vásquez. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ecuador. E-mail: [freddy.chavez@esepoch.edu.ec](mailto:freddy.chavez@esepoch.edu.ec).
- 6- Isidoro Enrique Tapia Segarra. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ecuador. E-mail: [freddy.chavez@esepoch.edu.ec](mailto:freddy.chavez@esepoch.edu.ec).

**Resumen**

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 NH<sub>3</sub>, CO, O<sub>3</sub>, NO<sub>x</sub> 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.

Información de contacto  
[convencionuclv@uclv.cu](mailto:convencionuclv@uclv.cu)  
[www.uclv.edu.cu](http://www.uclv.edu.cu)

PLANTILLA OFICIAL PARA LA PRESENTACIÓN DE TRABAJOS  
II CONVENCION CIENTÍFICA INTERNACIONAL  
“II CCI UCLV 2019”

DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.  
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.



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/m<sup>3</sup> 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.

**Palabras claves:** Prototipo inalámbrico; Compuestos orgánicos volátiles; Arduino, Radio frecuencia; Sensores de gases.

***Abstract***

*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 NH<sub>3</sub>, CO, C<sub>3</sub>, NO<sub>x</sub> 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. 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.*

Información de contacto  
[convencionuclv@uclv.cu](mailto:convencionuclv@uclv.cu)  
[www.uclv.edu.cu](http://www.uclv.edu.cu)

PLANTILLA OFICIAL PARA LA PRESENTACIÓN DE TRABAJOS  
II CONVENCION CIENTÍFICA INTERNACIONAL  
“II CCI UCLV 2019”

DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.  
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.



*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.*

**Keywords:** *wireless prototype; volatile organic compounds; Arduino; radio frequency, gas sensors.*

## 1. Introducción

El sector agropecuario es uno de los principales motores de la economía en Ecuador, según datos del Banco Central del Ecuador (BCE) la agricultura en la mayoría de los casos es una actividad familiar y que aporta con un 14% al PIB global. Son cerca de 1'800.000 personas que realizan esta actividad y que equivalente al 62% de la población rural. Es la segunda actividad generadora de divisas y es fuente de ahorro de las mismas (MAGAP, 2016, pág. 99).

Considerando que el 19% del territorio de Ecuador es de uso agropecuario y se divide en pastos cultivados, cultivos permanentes y cultivos transitorios (INEC, 2018). Estos últimos se caracterizan por tener un tiempo de permanencia en la tierra menor a un año, destinada a la alimentación humana y animal. Los cultivos bajo invernadero están dentro de la categoría de cultivos transitorios y es por ello que a continuación se hace una revisión de su información.

De la superficie total sembrada con cultivos transitorios en 2016, en el 78,24%, se aplicó insumos de origen químico y apenas el 2,66% utilizó insumos orgánicos (INEC, 2018). Según la Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua (ESPAC) en 2016, en el 49,22% de los casos estudiados es el agricultor o productor quien aplica agroquímicos a los cultivos y solo en el 3,91% lo realiza una persona o técnico especializado. En los cultivos bajo invernadero se ha evidenciado la presencia de gases contaminantes como el Amoniaco (NH<sub>3</sub>), Óxido Nitroso (N<sub>2</sub>O) y Óxidos de Nitrógeno

Información de contacto  
[convencionuclv@uclv.cu](mailto:convencionuclv@uclv.cu)  
[www.uclv.edu.cu](http://www.uclv.edu.cu)

**PLANTILLA OFICIAL PARA LA PRESENTACIÓN DE TRABAJOS  
II CONVENCION CIENTÍFICA INTERNACIONAL  
“II CCI UCLV 2019”**

**DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.  
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.**



(NOx) emitidos al aire por la aplicación de fertilizantes sobre el cultivo (Cotrino, 2017). Así lo determinó un estudio para identificar las principales cargas ambientales de la producción de tomate en un invernadero multitúnel, el cual formó parte de proyecto “Euphoros”, con la finalidad de desarrollar invernaderos más sostenibles. (Torrellas et al, 2011).

Expertos de la Escuela de Agronomía de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH) del Ecuador, manifiestan que no se registra y controla los gases contaminantes presentes en invernaderos artesanales de la zona y en general del país. Afirman que en los invernaderos donde se realiza el cultivo de tomate riñón, siembra más popular de la zona, es donde existe mayor contaminación por la periodicidad de agroquímicos aplicado. Esto conlleva a que los agricultores y sus familias al ser expuestos a plaguicidas por largo tiempo presenten afecciones en su salud a largo plazo, como cáncer, problemas en el sistema reproductivo, hígado, 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, su uso está limitado a determinada área. No cuentan con tecnología inalámbrica confiable necesaria para la adquisición de datos por zonas o áreas centrales de los invernaderos. El rendimiento y la confiabilidad de las redes inalámbricas de monitoreo de aire ambiental se pueden usar como un método alternativo para el monitoreo de aire en tiempo real (Chaiwatpongsakorn, 2014). La supervisión de los parámetros ambientales en los centros de datos está generando cada vez más atención de la industria (Brunelli D, 2016).

De lo expuesto se puede concluir que no existen sistemas inalámbricos que tenga como tarea alertar o cuidar de los peligros a que se encuentran expuesta la salud del agricultor y su familia. De este análisis surge como problema científico de esta investigación la necesidad de desarrollar un prototipo electrónico inalámbrico de bajo costo para supervisión y aviso de gases contaminantes que proporcione la información requerida

Información de contacto  
[convencionuclv@uclv.cu](mailto:convencionuclv@uclv.cu)  
[www.uclv.edu.cu](http://www.uclv.edu.cu)

PLANTILLA OFICIAL PARA LA PRESENTACIÓN DE TRABAJOS  
II CONVENCION CIENTÍFICA INTERNACIONAL  
“II CCI UCLV 2019”

DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.  
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.



como herramienta de ayuda para conservar la salud de los agricultores y para la toma de decisiones en pos de mejorar la calidad y producción del cultivo.

## 2. Metodología

Para desarrollar el prototipo inalámbrico de supervisión, aviso y control de gases contaminantes (SAC-GC), se realizó un análisis histórico bibliográfico de datos relacionados con la problemática para establecer requerimientos funcionales *hardware* y *software*, con lo cual se planteó una concepción general del diseño acompañada del análisis detallado de cada una de las partes que lo integran, así como los esquemas electrónicos y algorítmicos, que derivan en la implementación final. Para la obtención y análisis de resultados se emplearon pruebas estadísticas. A continuación, se detalla el procedimiento seguido.

### 2.1 Noción integral del prototipo inalámbrico.

La arquitectura general del prototipo se presenta en la figura 1, consta de tres módulos: Nodo sensor, Supervisión-Control y Aviso, que 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 por zonas de temperatura y de contaminación presente sin importar las dimensiones del invernadero. Utiliza una topología estrella que es la más adecuada considerando aspectos como: el alcance de comunicación entre los módulos inalámbricos y las dimensiones habituales de los invernaderos de la zona (sistemas de información geográfica) (Martín-Tardío & Felicísimo, 2014).

El nodo sensor se encarga de adquirir y enviar las lecturas de los sensores por RF a los módulos restantes, utilizando un tiempo de muestreo de un segundo configurado en el *software* XCTU. El módulo de Supervisión-Control es el encargado de recibir las lecturas del nodo por RF, permite visualizar las mediciones con hora y fecha, almacena la información del día y acceder a información referente a los niveles de temperatura y contaminación permitidos. Con la ayuda del módulo de supervisión se obtiene una base

Información de contacto  
[convencionuclv@uclv.cu](mailto:convencionuclv@uclv.cu)  
[www.uclv.edu.cu](http://www.uclv.edu.cu)

PLANTILLA OFICIAL PARA LA PRESENTACIÓN DE TRABAJOS  
II CONVENCION CIENTIFICA INTERNACIONAL  
“II CCI UCLV 2019”

DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.  
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.

de datos a ser utilizada por entidades gubernamentales para emitir políticas públicas ambientales en favor de la sociedad.

El módulo de aviso se comunica directamente con el nodo y es el encargado comparar la información procesada con los niveles de alerta considerados en la Norma Ecuatoriana de la Calidad del Aire (NECCA). Si los niveles son excedidos el módulo se comunica con la Red GSM y envía un mensaje con los valores actuales e indicando que variables se encuentran fuera de rango en un tiempo aproximado de nueve segundos.

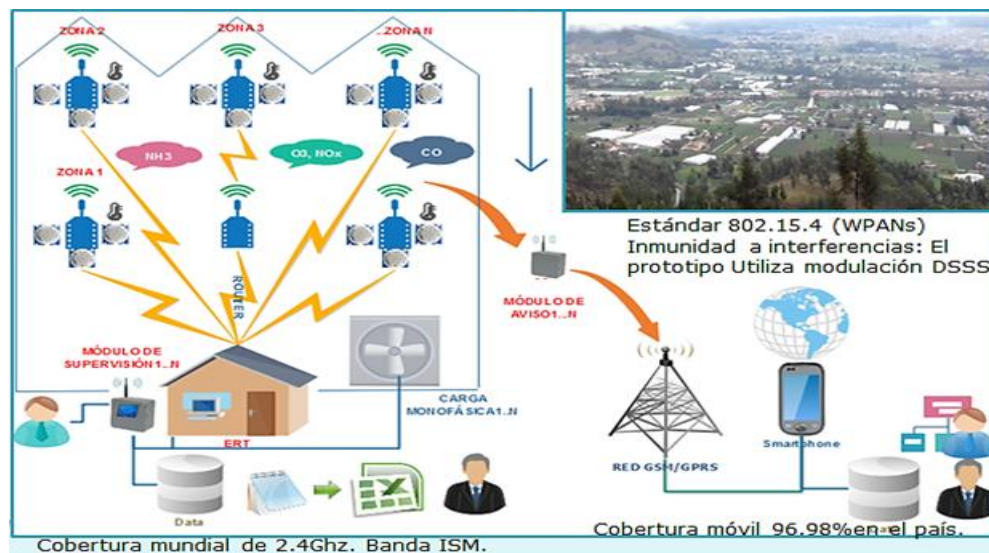


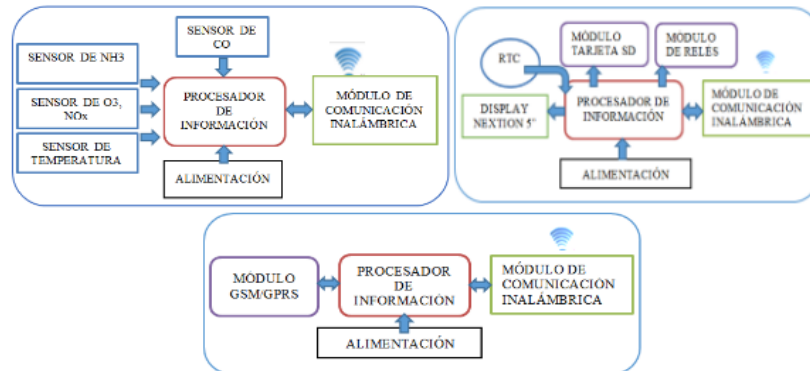
Figura 1. Concepción de la Arquitectura general del SAC-GC.

Fuente: Elaboración propia.

## 2.2. Diseño de la arquitectura de los módulos.

PLANTILLA OFICIAL PARA LA PRESENTACIÓN DE TRABAJOS  
II CONVENCION CIENTÍFICA INTERNACIONAL  
“II CCI UCLV 2019”

DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.  
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.



**Figura 2.** Diagrama de bloques de cada módulo que constituye el sistema inalámbrico de supervisión de contaminación.

**Fuente:** Elaboración propia.

**El Nodo Sensor.** Consta de siete bloques como lo muestra la figura 2, cuatro de ellos lo conforman los sensores: tres de gases y uno de temperatura. El bloque de procesamiento de la información y el de comunicación inalámbrica están contenidos en el módulo Xbee S2c, configurado como Router en el XCTU. Se caracteriza por la confiabilidad que brinda al transmitir la información (Wei, 2017) .Cuenta con cuatro entradas analógicas y trece I/O digitales, internamente este módulo utiliza un ADC de 10 bits y envía la trama al Xbee remoto. Es posible comunicarlo con Arduino Mega y Uno respectivamente, a través de un Xbee Shield, que permite seleccionar uno de 16 canales y utiliza modulación DSSS (*Direct Sequence Spread Spectrum* por sus siglas en inglés) De esta manera se logra la expansión del espectro de la señal a transmitir y se reduce el ancho de banda, con lo cual se agrega seguridad y confiabilidad al sistema, al mismo tiempo da cierta inmunidad al ruido presente en las líneas de transmisión de energía eléctrica (Agudelo A., 2011), (Ghayvat H, 2015). Dispone de un sensor analógico de temperatura LM-35, con una precisión calibrada de 1°C, su capacidad de medida va de -55°C a 150°C (ALLDATASHEET, 2018).

Un sensor de gas MQ-7 que mide la cantidad de CO en el aire. Sensor electroquímico varía su resistencia cuando la tensión se aplica a los electrodos del sensor y el gas atraviesa la membrana. Esto debido a que se produce una reacción de reducción u

PLANTILLA OFICIAL PARA LA PRESENTACIÓN DE TRABAJOS  
II CONVENCION CIENTÍFICA INTERNACIONAL  
“II CCI UCLV 2019”



DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.  
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.

oxidación (depende del gas). Genera una corriente eléctrica en función de la concentración del gas (Morales, 2016).

Un sensor de gas MQ-135 que detecta gases peligrosos como el Amoniaco, Benceno y Alcohol. Puede detectar concentraciones de gases en un rango de 10 a 1000 ppm.

Un sensor de gas MQ-131 que mide la cantidad de Ozono y Óxidos de Nitrógeno presentes en el aire. Es de tipo electrolito sólido, donde la conductividad disminuye con el aire limpio (Morales, 2016).

El bloque de alimentación lo conforma un panel solar Copex poli cristalino de 15W, un conversor DC-DC Buck LM2596 y una batería EVL 6V-7.5A. El esquema de conexión del nodo se aprecia en la figura 3.

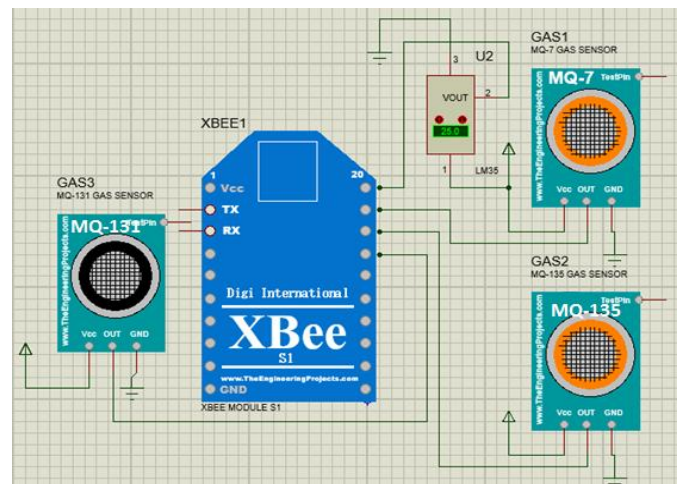


Figura 3. Esquema de conexión del nodo sensor del SAC-GC

Fuente: Elaboración propia.

**Módulo de supervisión y control.** Consta de siete bloques, en la figura 2 se muestra la interconexión que existe. Al igual que el nodo sensor la comunicación inalámbrica se realiza con un módulo Xbee S2c. Para esta aplicación, cada módulo de supervisión incorpora los siguientes componentes:

Información de contacto  
[convencionuclv@uclv.cu](mailto:convencionuclv@uclv.cu)  
[www.uclv.edu.cu](http://www.uclv.edu.cu)



PLANTILLA OFICIAL PARA LA PRESENTACIÓN DE TRABAJOS  
II CONVENCION CIENTIFICA INTERNACIONAL  
“II CCI UCLV 2019”



DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.  
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.

Como bloque de procesamiento una tarjeta Arduino Mega R3, elegida por su velocidad de procesamiento de 16 MHz, la capacidad de almacenamiento de su memoria Flash, por el número de terminales de conexión.

Un reloj de tiempo real (DS1307) que es un reloj de código BCD, que trabaja con una pila recargable LIR2032 de 3.6 V (Guerra, 2015).

Un módulo MicroSD que es compatible con tarjetas SD TF comúnmente utilizado en teléfonos móviles. Una pantalla Nextion de 5” que proporciona una interfaz de control y visualización. El *hardware* comprende una serie de placas Thin-film transistor (TFT) y el *software* el editor Nextion. Utiliza un puerto serie para comunicarse y cuenta con un panel táctil resistivo integrado de cuatro hilos 800x480 NX8048T050. El esquema de conexión del nodo se aprecia en la figura 4.

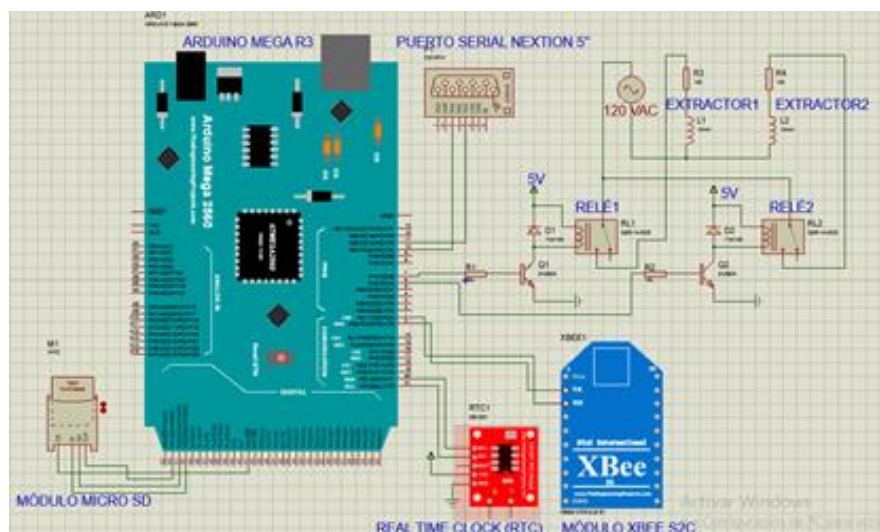


Figura 4. Esquema de conexión del módulo de supervisión-control del SAC-GC

Fuente: Elaboración propia.

**Módulo de aviso.** El diagrama de bloques del módulo de aviso se visualiza en la figura 2, donde el bloque de procesamiento de información corresponde a un Arduino Uno R3, se comunica con el bloque GSM SIM900 utilizado por no tener acceso a redes Ethernet y/o Wi-Fi y debido a que la cobertura móvil en Ecuador es del 96,98% (MINTEL,

Información de contacto  
[convencionuclv@uclv.cu](mailto:convencionuclv@uclv.cu)  
[www.uclv.edu.cu](http://www.uclv.edu.cu)

PLANTILLA OFICIAL PARA LA PRESENTACIÓN DE TRABAJOS  
II CONVENCION CIENTIFICA INTERNACIONAL  
“II CCI UCLV 2019”



DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.  
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.

2016). El esquema de conexión de este módulo se aprecia en la figura 5. El bloque de comunicación inalámbrica Xbee S2c está configurado como Router. El bloque de alimentación del módulo de supervisión se utiliza también en el módulo de aviso. El esquema de conexión del módulo se aprecia en la figura 5.

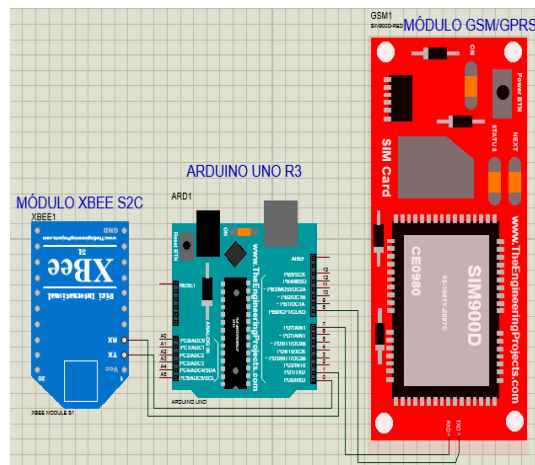


Figura 5. Esquema de conexión del módulo de aviso del SAC-GC  
Fuente: Elaboración propia.

### 2.3. Software del prototipo inalámbrico SAC-GC.

Para el prototipo se desarrollaron dos programas, realizados en el IDE de Arduino versión 1.6.5 con un tipo de programación estructurada y con funciones que facilitan la programación. A continuación se detallan las principales acciones que realiza el software desarrollado:

**Software para el módulo de supervisión.** Se encarga de identificar si existen bytes disponibles para leer desde el buffer serie, determinar si es el inicio de la trama (0x7E) enviada por el nodo sensor. Pregunta si la lectura realiza es correcta para procesar la información y realiza la calibración respectiva o la descartar. Identifica los valores máximos y mínimos leídos. Transmite, visualiza y escribe los datos obtenidos con fecha y hora. Determina alertas, enviando la señal correspondiente o acción de control definida como la cantidad dosificada de energía que afecta al sistema para producir la

Información de contacto  
[convencionuclv@uclv.cu](mailto:convencionuclv@uclv.cu)  
[www.uclv.edu.cu](http://www.uclv.edu.cu)

**PLANTILLA OFICIAL PARA LA PRESENTACIÓN DE TRABAJOS  
II CONVENCION CIENTÍFICA INTERNACIONAL  
“II CCI UCLV 2019”**

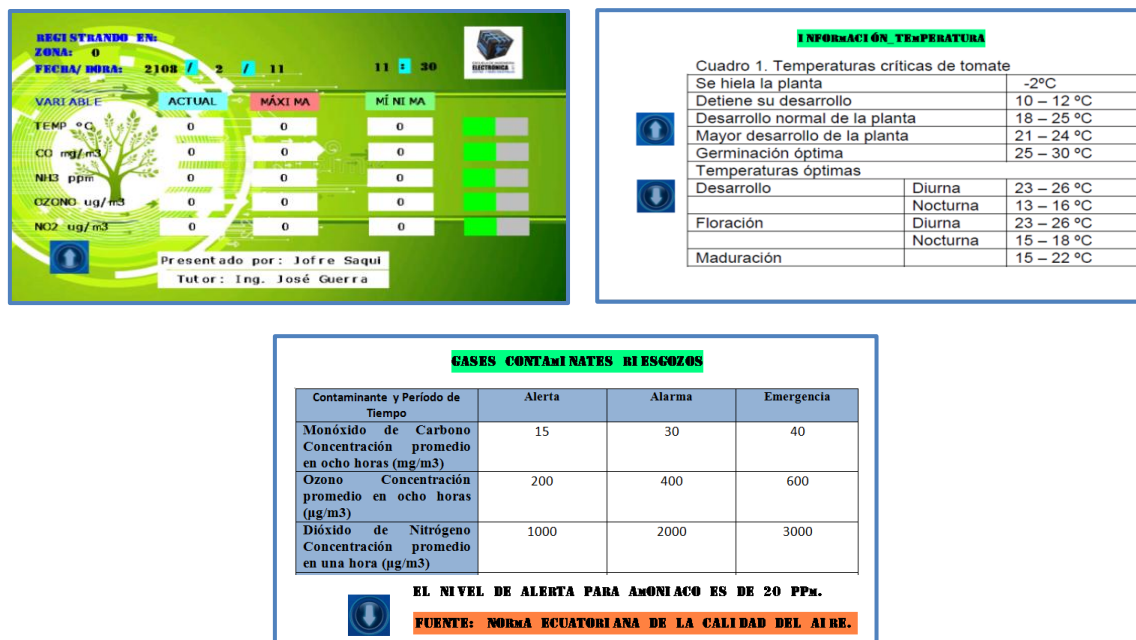


**DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.  
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.**

respuesta o salida deseada (Hernández, 2010) y en consecuencia permitir el encendido de una carga monofásica.

**Software para el módulo de supervisión.** Se encarga de Identificar si existen bytes disponibles para leer, determinar si es el inicio de la trama (0x7E) enviada por el módulo Xbee del nodo, identificar la zona y los bytes correspondientes a cada entrada analógica del nodo y verificar si la lectura está fuera del rango permitido y si es así generar y enviar el mensaje.

**Interfaz HMI en el software Nextion Editor.** Consta de tres ventanas como se muestra en la figura 6. 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 óptimas y críticas tanto para los periodos de desarrollo, floración y maduración del cultivo de tomate riñón. La tercera ventana muestra los niveles de alerta, alarma y emergencia de los gases contaminantes sujetos a la Norma Ecuatoriana de la Calidad del Aire.



**Figura 6.** Ventanas Interfaz HMI: principal (izquierda), información temperatura (derecha), información niveles de contaminación (centro).

Información de contacto  
[convencionuclv@uclv.cu](mailto:convencionuclv@uclv.cu)  
[www.uclv.edu.cu](http://www.uclv.edu.cu)

PLANTILLA OFICIAL PARA LA PRESENTACIÓN DE TRABAJOS  
II CONVENCION CIENTÍFICA INTERNACIONAL  
“II CCI UCLV 2019”



DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.  
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.

Fuente: Elaboración propia.

### 3. Pruebas aplicadas al prototipo

En la figura 6 se puede observar los prototipos de los módulos del sistema inalámbrico implementado, los mismos que fueron evaluados por medio de cuatro tipos de pruebas, las cuales se detallan a continuación:



Figura 6. Fotografías de los prototipos de los módulos del sistema inalámbrico: nodo sensor (izquierda), módulo de supervisión-control (centro), módulo de aviso (derecha).

Fuente: Elaboración propia.

#### 3.1. Pruebas para la determinación de errores en las mediciones.

Fueron aplicadas para la caracterización de los sensores de temperatura ambiente y el ozono, por la dificultad de acceso a equipos que permitan valorar los errores en los demás gases. El objetivo de la prueba fue verificar que el prototipo no introduce más error que el generado por los sensores.

Para el sensor de temperatura 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 adquirió un total de 20 muestras a diferentes horas para su análisis. Como resultado se obtuvo que los errores absolutos en las mediciones no el error de  $\pm 1^{\circ}\text{C}$ .

Información de contacto  
[convencionuclv@uclv.cu](mailto:convencionuclv@uclv.cu)  
[www.uclv.edu.cu](http://www.uclv.edu.cu)

**PLANTILLA OFICIAL PARA LA PRESENTACIÓN DE TRABAJOS  
II CONVENCION CIENTÍFICA INTERNACIONAL  
“II CCI UCLV 2019”**

**DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.  
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.**



Para el sensor de Ozono, se tomó como referencia el analizador de gases del Gobierno autónomo descentralizado Municipal de Ambato (GADMA), se obtuvo 25 muestras para su análisis a intervalos de 5 minutos. Aplicando estadística descriptiva se obtuvo un error medio de 11.53 ug/m<sup>3</sup>. Considerando que las concentraciones de Ozono que define los niveles de alerta, de alarma y de emergencia en la calidad del aire son 200 ug/m<sup>3</sup>, 400 ug/m<sup>3</sup> y 600 ug/m<sup>3</sup> respectivamente. A partir del error medio obtenido y el nivel de alerta, el error en la medición de la variable conseguida con el prototipo es aceptable.

### **3.2. Pruebas para la estabilidad del prototipo.**

Se refiere a la cercanía entre los resultados de las mediciones sucesivas sobre una misma magnitud por medir, efectuadas en las mismas condiciones de medición. La repetitividad se puede expresar de manera cuantitativa mediante las características de dispersión de los resultados (Llamosa, 2007). Aplicando estadística descriptiva a cada una de las muestras de las variables y se obtuvo los coeficientes de variación CV definido en la ecuación 1:

$$C.V = (\sigma / \bar{X}) * 100\% \quad (1)$$

Siendo el mayor obtenido el C.V de la variable de NO<sub>x</sub> de 3.06%, que al ser menor al 10%, se determina que el sistema de medición es aceptable, por su muy buena estabilidad.

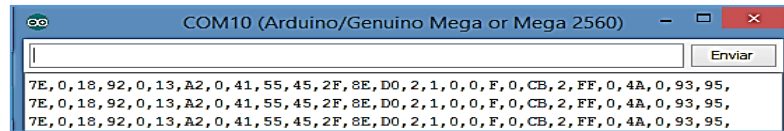
### **3.3. Resultados experimentales del prototipo inalámbrico SAC-GC.**

Las pruebas se centraron en determinar si existe integridad en la transmisión de la información desde el nodo hacia los módulos restantes, así como en determinar la máxima distancia de comunicación RF entre el Xbee que trabaja router y el Xbee coordinador. En la figura 8 se muestra en la ventana del monitor serial, la comunicación RF establecida entre el nodo con el módulo de supervisión y control, comprobando así la integridad de los datos transmitidos.

Información de contacto  
[convencionuclv@uclv.cu](mailto:convencionuclv@uclv.cu)  
[www.uclv.edu.cu](http://www.uclv.edu.cu)

PLANTILLA OFICIAL PARA LA PRESENTACIÓN DE TRABAJOS  
II CONVENCION CIENTIFICA INTERNACIONAL  
“II CCI UCLV 2019”

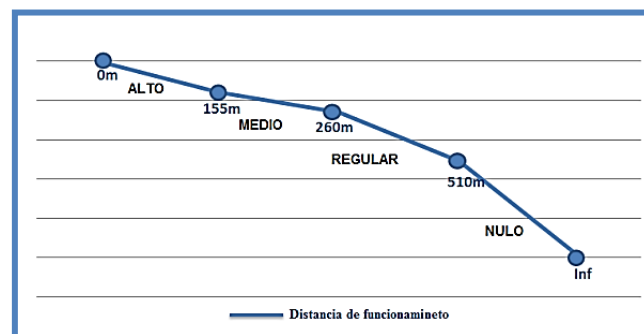
DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.  
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.



**Figura 8.** Lectura de datos analógicos de un Xbee remoto en modo API.

**Fuente:** Elaboración propia.

En la figura 9 se aprecia 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 y regular de 260 a 510 m ciertos datos se alteran durante la transmisión. Los retardos son mayores y nulo cuando sobrepasa los 510m donde no se establece conexión alguna entre el nodo y el módulo receptor.



**Figura 9.** Rangos de funcionamiento de módulos Xbee S2c.

**Fuente:** Elaboración propia.

Para caracterizar la comunicación RF del módulo de Aviso, se procedió a establecer comunicación en el monitor serie para ambos módulos. Se comprobó que los datos recibidos son iguales. La caracterización de la comunicación entre el módulo de aviso y la red GSM consistió en realizar llamadas para verificar que el módulo se comunica con el dispositivo móvil, en la figura 10 se observa el mensaje recibido. De la pruebas se concluye que la estructuración y envío del mensaje a través de la red GSM se realiza sin errores y en tiempos aproximado de 9 segundos.

PLANTILLA OFICIAL PARA LA PRESENTACIÓN DE TRABAJOS  
II CONVENCIÓN CIENTÍFICA INTERNACIONAL  
“II CCI UCLV 2019”



DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.  
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.



**Figura 10.** Mensaje recibido por el dispositivo móvil y enviado por el módulo de aviso.

**Fuente:** Elaboración propia.

Para comprobar la transmisión de información vía serial entre el módulo de supervisión y el *display Nextion* se verificó la información entre los mismos y se confirmó que las lecturas sean en tiempo real y sin errores.

### **3.4. Resultados experimentales de mediciones de contaminación.**

El objetivo de esta prueba fue determinar las mediciones efectuadas por el prototipo si identifican cuando se realiza procesos de fumigación en el cultivo de tomate. En la figura 11 (izquierda) se observa que las barras de progreso correspondientes a las mediciones de las variables CO, NH<sub>3</sub>, OZONO y NO<sub>2</sub> presentan valores bajos antes de la fumigación y En la figura 11 (derecha) los valores obtenidos en horas de la tarde después de aplicados insumos químicos o plaguicidas, observándose que las barras presentan valores superiores a la prueba anterior.

Información de contacto  
[convencionuclv@uclv.cu](mailto:convencionuclv@uclv.cu)  
[www.uclv.edu.cu](http://www.uclv.edu.cu)

PLANTILLA OFICIAL PARA LA PRESENTACIÓN DE TRABAJOS  
II CONVENCION CIENTIFICA INTERNACIONAL  
“II CCI UCLV 2019”



DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.  
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.



**Figura 11.** Mediciones obtenidas por el prototipo: ambiente natural (izquierda), ambiente donde se ha aplicado insumos químicos (derecha).

**Fuente:** Elaboración propia.

Se determinó que con el aumento de temperatura los niveles de contaminación se elevaron, esto debido a que la luz ultravioleta del sol contribuye a la formación de ozono troposférico. Por lo que los niveles de ozono en la noche tienden a ser menores.

### 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<sup>3</sup> 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.

Información de contacto  
[convencionuclv@uclv.cu](mailto:convencionuclv@uclv.cu)  
[www.uclv.edu.cu](http://www.uclv.edu.cu)



PLANTILLA OFICIAL PARA LA PRESENTACIÓN DE TRABAJOS  
II CONVENCIÓN CIENTÍFICA INTERNACIONAL  
“II CCI UCLV 2019”



DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.  
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.

- 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.
- Las mediciones de las variables de ozono y óxidos de nitrógeno obtenido con el prototipo se elevan durante las pruebas con aplicación de plaguicidas y con presencia de la radiación solar.
- 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

#### 4. Referencias

1. Agudelo A., e. a. (2011). Modulación DSSS para transmisión de información a través de líneas eléctricas de potencia. *Scientia et technica*.
2. RECUPERADOALLDATASHEET. (2018). *ALLDATASHEET/LM35*. Recuperado de <http://html.alldatasheet.com/html-pdf/517588/TI1/LM35/108/2/LM35.html>
3. Brunelli D, P. R. (2016). *Self-Powered WSN for Distributed Data Center Monitoring. Sensors*. Recuperado de NCBI: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4078577/>
4. Capella J, C. J. (2016). A Reference Model for Monitoring IoT WSN-Based Applications. *Sensors*.
5. Chaiwatpongsakorn, C. e. (2014). The deployment of carbon monoxide wireless sensor network (CO-WSN) for ambient air monitoring. *Int J Environ Res Public Health*.
6. Cotrino, J. (2017). *Recupera2020*. Recuperado de <http://www.recupera2020.csic.es/es/hito/purificacion-aire-invernaderos-centros-tratamiento-alimentos>

Información de contacto  
[convencionuclv@uclv.cu](mailto:convencionuclv@uclv.cu)  
[www.uclv.edu.cu](http://www.uclv.edu.cu)

PLANTILLA OFICIAL PARA LA PRESENTACIÓN DE TRABAJOS  
II CONVENCION CIENTÍFICA INTERNACIONAL  
“II CCI UCLV 2019”



DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.  
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.

7. Ghayvat H, M. S. (2015). WSN- and IOT-Based Smart Homes and Their Extension to Smart Buildings. *Sensors*.
8. Guerra, J. (2015). Sistema inalámbrico de registro climático para invernaderos artesanales. *TELEM@ATICA*, 14(2), 58- 72.
9. Hernández, R. (2010). *Introducción a los sistemas de control: Conceptos, aplicaciones y simulación con MATLAB* (Vol. Primera edición). México: PEARSON EDUCACIÓN.
10. Hesperian. (2017). *Hesperian Health Guides*. Recuperado de [http://es.hesperian.org/hhg/A\\_Community\\_Guide\\_to\\_Environmental\\_Health:Efectos\\_a\\_largo\\_plazo\\_de\\_los\\_plaguicidas\\_sobre\\_la\\_salud](http://es.hesperian.org/hhg/A_Community_Guide_to_Environmental_Health:Efectos_a_largo_plazo_de_los_plaguicidas_sobre_la_salud)
11. Hesperian health guides. (2017). *Hesperian health guides*. Recuperado de [http://es.hesperian.org/hhg/A\\_Community\\_Guide\\_to\\_Environmental\\_Health:Efectos\\_a\\_largo\\_plazo\\_de\\_los\\_plaguicidas\\_sobre\\_la\\_salud](http://es.hesperian.org/hhg/A_Community_Guide_to_Environmental_Health:Efectos_a_largo_plazo_de_los_plaguicidas_sobre_la_salud)
12. INEC. (2018). *Instituto Nacional de Estadística y Censos*. Recuperado de [http://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Encuestas\\_Ambientales/Informacion\\_ambiental\\_en\\_la\\_agricultura/2016/PRESENTACION\\_AGRO\\_AMBIENTE\\_2016.pdf](http://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Encuestas_Ambientales/Informacion_ambiental_en_la_agricultura/2016/PRESENTACION_AGRO_AMBIENTE_2016.pdf)
13. Lazarescu, M. (2015). Design and Field Test of a WSN Platform Prototype for Long-Term Environmental Monitoring. *Sensors*.
14. Llamosa, L. (2007). 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. *Scientia et technica*, 1(35).

Información de contacto  
[convencionuclv@uclv.cu](mailto:convencionuclv@uclv.cu)  
[www.uclv.edu.cu](http://www.uclv.edu.cu)

PLANTILLA OFICIAL PARA LA PRESENTACIÓN DE TRABAJOS  
II CONVENCIÓN CIENTÍFICA INTERNACIONAL  
“II CCI UCLV 2019”



DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.  
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.

15. MAGAP. (2016). *Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuicultura y Pesca*. Recuperado de <http://servicios.agricultura.gob.ec/politicas/La%20Pol%C3%ADticas%20Agropecuarias%20al%202025%20I%20parte.pdf>
16. Martín-Tardío, M., & Felicísimo, Á. (2014). Design of a WSN for the Sampling of Environmental Variability in Complex Terrain. *Sensors*, 14.
17. MINTEL. (2016). *Ministerio de Telecomunicaciones y de la Sociedad de la Información*. Recuperado de <https://www.telecomunicaciones.gob.ec/trabajamos-para-llevar-mas-y-mejores-servicios-moviles-al-pais/>.
18. Morales, J. (2016). 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. *Publicando*, 23-32.
19. Torrellas et al, M. (23 de 01 de 2011). *Interempresas*. Recuperado el 14 de 01 de 2018, de <http://www.interempresas.net/Horticola/Articulos/47367-Estudio-del-impacto-ambiental-del-cultivo-de-tomate-en-un-invernadero-multitunel.html>
20. Wei, X. e. (2017). A Constrained Learning Approach to the Prediction of Reliability Ranking for WSN Services. *International Journal of Web Services Research*.

Información de contacto  
[convencionuclv@uclv.cu](mailto:convencionuclv@uclv.cu)  
[www.uclv.edu.cu](http://www.uclv.edu.cu)