

Prototipo de sistema de monitoreo y control para producción de tomate en invernadero

Alejandro Kennedy^{1,2}, David Bertao¹, Jorge Arrúa^{1,2}, Katia Ayala¹

miguel.kennedy@pti.org.py, davidbertao@cmjesu.org, jorge.arrua@pti.org.py, katiaayala@fpune.edu.py

Facultad Politécnica – U.N.E., Paraguay¹
Ciudad del Este – Paraguay
Fundación Parque Tecnológico Itaipu - Paraguay²
Hernandarias – Paraguay

Resumen. La producción de tomate en el Paraguay solo abastece cuatro meses del año al mercado interno, lo que hace necesaria la importación para cubrir el mercado que demanda dicha hortaliza. Según datos de la Federación de Productores Frutihortícolas del Paraguay, la producción de tomate en invernadero llega a triplicar la productividad de lo que puede obtener con otros métodos de producción. La producción en invernaderos brinda múltiples beneficios, pero si a ello se le suma un sistema de automatización y control, los beneficios serán aún mayores. Dentro de un invernadero existen varios métodos tanto de ventilación como de riego. Entre los métodos de riegos más eficientes se presenta el fertirriego, a través del cual es posible suministrar fertilizantes para proporcionar los niveles de nutrientes ideales para cada etapa de producción. En la producción de tomate en invernadero, hay varios factores a ser controlados, tales como: temperatura, humedad, luminosidad, propiedades del suelo, etc. [14]. En función a lo expuesto se ha desarrollado un sistema de monitoreo y control para invernaderos de cultivo de tomates, por medio del mismo los datos son adquiridos mediante sensores administrados por un microcontrolador (Arduino), conectado a un servidor, lo que permite controlar la temperatura, humedad y el nivel de los tanques correspondientes al sistema de fertirriego por goteo. Además, incluye el almacenamiento de los datos para posteriormente ser accedido de manera remota utilizando un aplicativo móvil desarrollado para el sistema operativo Android.

Palabras clave: Automatización y Control, Arduino, IEEE 802.15.4 ZigBee, Invernadero, Producción de tomate, fertirriego.

Abstract. Tomato production in Paraguay supplies only four months of the year the internal market, which makes necessary to import the products in order to provide the whole market demanding such product. According to information provided by the Federación de Productores Frutihortícolas del Paraguay, tomato production in greenhouses can triplicate that productivity, rather than other type of production. The production in greenhouses can render many benefits, but if you add to that a automation and control system, the benefits will increase even more numerous. Inside a greenhouse there can exist varied methods of ventilation and watering. Among the more efficient watering systems there is the fertirriego, by means of which it is possible to provide fertilizers that supply the ideal nutrients level for each stage of production. In the production of tomato in greenhouses, there are many factor to control, such as temperature, humidity, luminosity, soil properties, etc. Regarding what has been said, a monitoring and control system for greenhouses has been developed, by means of which information can be obtained using sensors which are administered by a micro-controller (Arduino) connected to a server, which allows to control the temperature, humidity and the level of water containers used for fertirriego. It also includes "storing information" for later uses which can be done from a cell phone using Android system.

Keywords: Automation and Control, Arduino, IEEE 802.15.4 ZigBee, Greenhouse, Production of tomato, fertirriego.

1 Introducción

Los invernaderos se utilizan para asegurar la producción y calidad de los cultivos, ya que en campo abierto es muy difícil mantener los cultivos de una manera adecuada a lo largo de todo el año. El concepto de cultivos bajo invernadero, representa el paso de producción extensiva de tomate a producción intensiva. Para ello, las plantas han de reunir condiciones óptimas de la raíz a las hojas. El invernadero es una estructura, en la que las partes correspondientes a las paredes y el techo están cubiertos con películas plásticas, con la finalidad de desarrollar cultivos en un ambiente controlado de temperatura y humedad. Se pueden tener construcciones simples, diseñadas por los agricultores a bajo costo y otras más sofisticadas con instalaciones y equipos para un mejor control del ambiente. Los invernaderos generalmente son utilizados para cultivos de porte alto, como tomate,

pepino, pimentón, melón, flores y otras [2]. La producción de tomates en invernaderos ha atraído la atención en los últimos años, en parte debido a la nueva onda de interés en los “cultivos alternativos.” La atracción se basa en la percepción de que los tomates de invernaderos pueden ser más rentables que los cultivos agronómicos o los cultivos hortícolas convencionales. La fama puede ser debida a malos entendidos sobre cuán fácilmente se puede cultivar esta planta.

2 Conceptos fundamentales

2.1. Sistemas de control

Los controles automáticos tienen una intervención cada vez más importante en la vida diaria, desde los simples controles que hacen funcionar un tostador automático hasta los complicados sistemas de control necesarios en vehículos espaciales, en guiado de proyectiles, sistemas

de pilotajes de aviones, etc. Además, el control automático se ha convertido en parte importante e integral de los procesos de manufactura e industriales modernos. Por ejemplo, el control automático resulta esencial en operaciones industriales como el control de presión, temperatura, humedad, viscosidad y flujo en las industrias de procesos, maquinado manejo y armado de piezas mecánicas en las industrias de fabricación, entre muchas otras.

Elementos básicos de un sistema de control

Los elementos básicos que forman parte de un sistema de control y permiten su manipulación son los siguientes:

- **Sensores:** Permiten conocer los valores de las variables medidas del sistema.
- **Controlador:** Utilizando los valores determinados por los sensores y la consigna impuesta, calcula la acción que debe aplicarse para modificar las variables de control en base a cierta estrategia.
- **Actuador:** Es el mecanismo que ejecuta la acción calculada por el controlador y que modifica las variables de control. [3]

Funcionamiento de un sistema de control genérico

En un sistema de control genérico se obtienen las variables a través de los sensores, los cuales son verificados por un controlador que posee una consigna impuesta. El controlador activa el actuador con el fin de modificar las variables a sus valores ideales. En el sistema también pueden existir perturbaciones que son señales que afectan adversamente a las variables de salidas. [4]

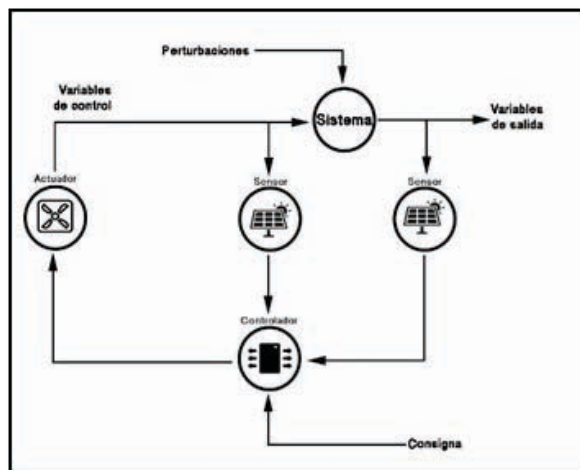


Figura 1 - Esquema general de un sistema de control

2.2. Redes de sensores inalámbricas

Son redes que utilizan sensores y que recolectan datos diseminados en el ambiente, facilitando el monitoreo y control de entornos físicos, por ejemplo lugares remotos o inhóspitos, con una mayor precisión. Sus aplicaciones son variadas y van desde la supervisión ambiental y usos militares hasta las aplicaciones civiles y comerciales [5].

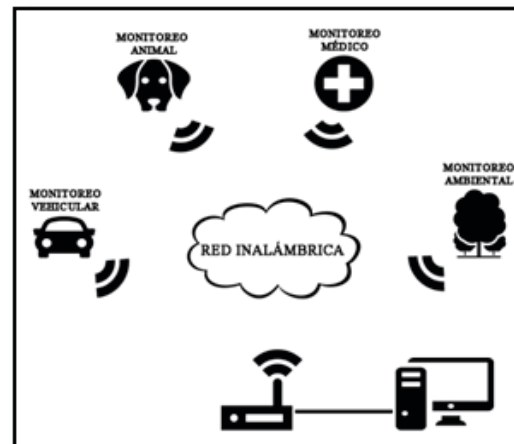


Figura 2. – Red inalámbrica de sensores.

Elementos que conforman una red de sensores

- Sensores.
- Nodo sensores.
- Puerta de acceso.
- Estación base.

2.3. Estándar ZigBee

El estándar IEEE 802.15.4, define la capa física y MAC para redes inalámbricas de área personal (WPAN) de baja tasa de transmisión.

Los tipos de aplicación a los que está orientado el estándar comprenden las redes inalámbricas de sensores, la domótica, las redes hogareñas, la conexión de dispositivos a una computadora personal, seguridad, etc. La mayoría de estas aplicaciones requieren tasas de transmisión bajas a medias, retardos de transmisión moderados con requerimientos no muy estrictos, y es muy deseable la reducción al mínimo del consumo de energía en los nodos.

Entre las necesidades que satisface el estándar ZigBee se encuentran [6]:

- Bajo costo.
- Ultra-bajo consumo de potencia.
- Uso de bandas de radio libres y sin necesidad de licencias.
- Instalación barata y simple.
- Redes flexibles y extensibles.

2.4. Arduino

Arduino es una plataforma de electrónica abierta para la creación de prototipos basada en software y hardware flexibles y fáciles de usar. Se creó para artistas, diseñadores, aficionados y cualquiera interesado en crear entornos u objetos interactivos.

Arduino puede tomar información del entorno a través de sus pines de entrada de toda una gama de sensores y puede afectar aquello que le rodea controlando luces, motores y otros actuadores. [7]

3 Descripción del sistema

El sistema está compuesto por dos partes principales: el software, y el hardware compuesto por sensores y actuadores, los cuales interactúan con el fin de medir variables climáticas del invernadero (temperatura y humedad), y a partir de las cuales se determina un evento (por ejemplo: temperatura elevada) y se ejecuta determinadas funciones de forma automática. También se cuenta con dos tanques de agua, y componentes para el sistema de riego.

El tipo de riego utilizado en el sistema es el fertirriego, el cual consiste en realizar una mezcla de fertilizantes con el agua para luego suministrar a las plantas a través del sistema de riego por goteo.

El software desarrollado está compuesto por un sistema de monitoreo y control que es el encargado de monitorear las variables y controlar los actuadores, por otra parte, se cuenta con un aplicativo móvil que proporciona al usuario una herramienta de consultas de las notificaciones generadas por el sistema.

3.1. Estructura del sistema

La estructura del sistema consta de dos partes, primero un nodo Arduino en el cual es conectado los sensores y actuadores. Este es el encargado de gestionar los datos obtenidos de los sensores y controlar a los actuadores. Por otra parte, se cuenta con un servidor, que es una computadora en el cual se ejecuta el sistema de monitoreo y control, encargado de procesar los datos obtenidos del nodo Arduino, gestionar todas las funciones del sistema y gestionar el estado de los actuadores mediante el nodo Arduino.

Estos nodos se comunican de forma inalámbrica a través de módulos XBee, que utilizan el estándar IEEE 802.15.4 Zigbee.

3.2. Funcionamiento del sistema

El sistema obtiene los datos del sensor de temperatura y humedad, dichos datos son comparados con los rangos seguros, establecidos por expertos del área. Si la temperatura y/o la humedad no se encuentran dentro de estos rangos, el sistema notifica visualmente al usuario, y ejecuta una función de control de un actuador determinado.

El sistema permite activar de forma manual o automática tanto del sistema de ventilación como del sistema de riego. El proceso de activación automática se realiza a través de una función que se ejecuta en segundo plano, el cual se encarga de verificar el momento en que debe ser activado el riego y/o la ventilación.

El sistema de riego está compuesto por dos tanques, nombrados como Tanque de Fertilizante (TF) y Tanque Mezclador (TM), para su suministro de agua y/o fertilizante son utilizadas válvulas de solenoides (V1, V2 y V3).

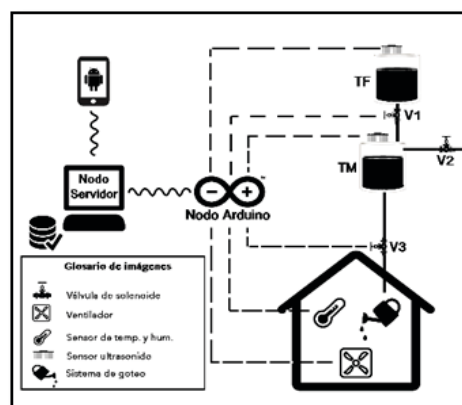


Figura 3- Esquema del sistema de monitoreo y control.

4 Implementación y pruebas del sistema

Se presenta los resultados de las pruebas de la implementación del sistema. Con la integración exitosa de todos los componentes del sistema, se procedió a la realización de pruebas en puntos específicos críticos, previamente analizados como posibles situaciones críticas para el correcto funcionamiento del sistema.

4.1. Posibles casos de inconvenientes con los dispositivos

Caso 1: Pérdida de conexión con sensor de temperatura y humedad

Este podría suceder si el sensor sufre alguna avería, pérdida de energía o transmisión de datos pudiendo imposibilitar la lectura de la temperatura y humedad, provocando la falta de actualización de los registros y por ende deshabilitando la opción de control automático, debido a que la lectura de dichos factores.

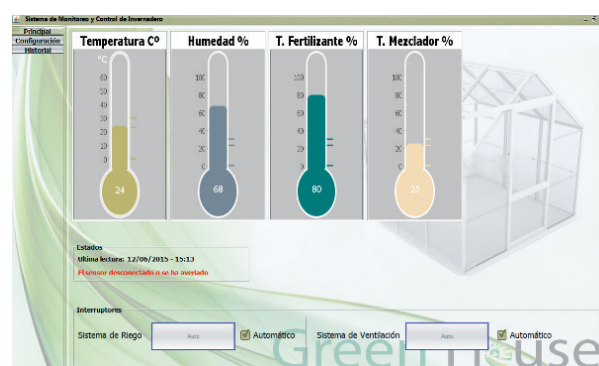


Figura 4 - Fallo de dispositivos – Caso 1.

Caso 2: Pérdida de conexión entre el servidor y el Arduino

Si el nodo Arduino por falta de energía, por falla en la conexión inalámbrica o por algún otro factor, deja de comunicarse con el servidor, imposibilita el correcto funcionamiento del sistema debido a que el nodo Arduino es un componente indispensable en la estructura del sistema ya que es el dispositivo encargado de gestionar la lectura de datos y la acción de los actuadores.

Para esto el sistema posee un mecanismo que avisa del error de conexión del nodo Arduino con el servidor al usuario, a través de un cuadro de estados y un listado de notificación que queda almacenado en la base de datos (Figura 5).

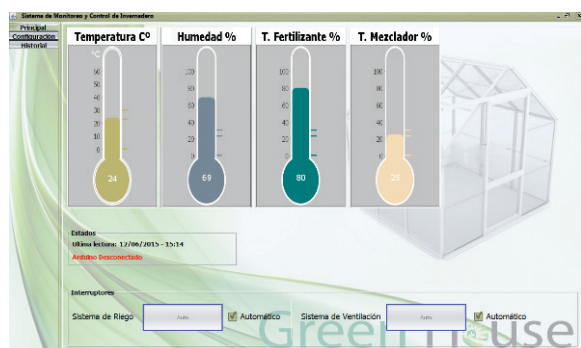


Figura 5 - Fallo de dispositivos – Caso 2

Caso 3: Volumen de agua del tanque mezclador por encima del nivel crítico

En caso de que el agua del tanque mezclador, esté por encima del nivel crítico (90%), para evitar el desbordamiento del agua y así evitar desperdicio. Esto puede suceder en caso que la válvula encargada de suministrar agua al tanque esté averiada y permita el paso del agua, o por otros factores que se preste a este caso. El sistema cuenta con una función que monitorea constantemente el nivel de agua en el tanque y emite un aviso a través de un cuadro de diálogo y una notificación que se almacena en la base de datos (Figura 6).

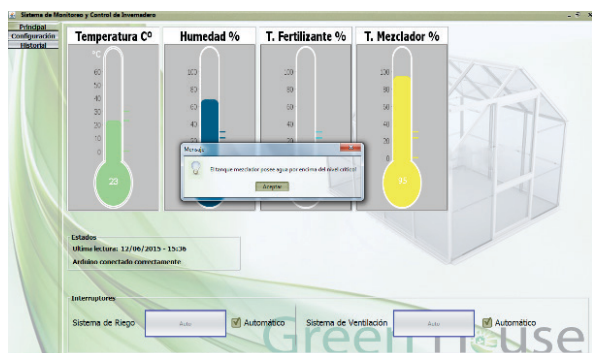


Figura 6 - Fallo de dispositivos – Caso 3

Caso 4: Desconexión del módulo Xbee conectado al servidor

Esto puede suceder por diversos motivos como avería del Xbee, del puerto usb del servidor, o la simple desconexión, causando la pérdida total de la conexión entre el servidor y el nodo Arduino, que imposibilita totalmente el funcionamiento del sistema.

Para esto el sistema posee un método que avisa al usuario el error de conexión del coordinador con el sistema a través de un cuadro de diálogo. Este problema solo se puede solucionar volviendo a conectar correctamente en coordinador y reiniciando el sistema (Figura 7).

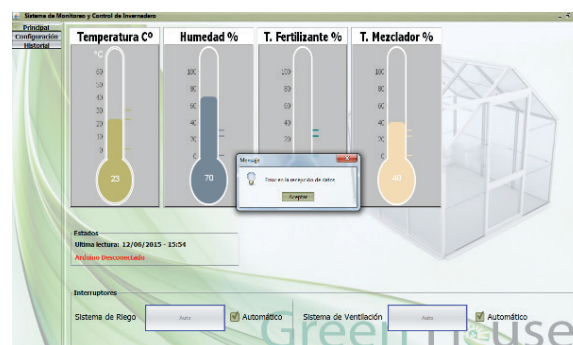


Figura 7 - Fallo de dispositivos – Caso 4.

4.2. Sistema de Riego

Existen cuatro diferentes casos que se pueden dar al activar el sistema de riego. Se han hecho rigurosas pruebas para cada uno de los cuatro casos que se presentan a continuación.

Caso 1: Si el tanque de fertilizante está lleno y el tanque Mezclador está por debajo del 50% de su capacidad.

En este caso se activó el sistema de riego y cada válvula cumplió su función en el momento preciso logrando así una prueba exitosa según se observe en la figura 8.

Donde el botón interruptor está resaltado en color verde lo que indica que el riego se ha activado. También se observan que los niveles de los tanques se encuentran dentro de los niveles ideales para que se efectúe el fértil riego.

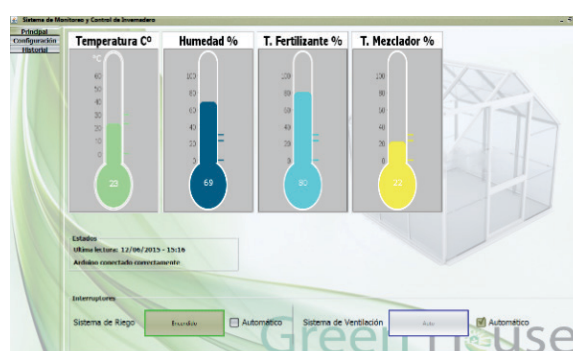


Figura 8 - Prueba del sistema de riego – Caso 1.

Caso 4: Si el tanque de fertilizante está lleno y el tanque mezclador está por encima del 50% de su capacidad

Se realizó esta prueba sin activar la opción del riego sin fertilizante. El sistema no permitió iniciar el riego, emitió un mensaje (figura 9) y una notificación que se almacenó en la base de datos.

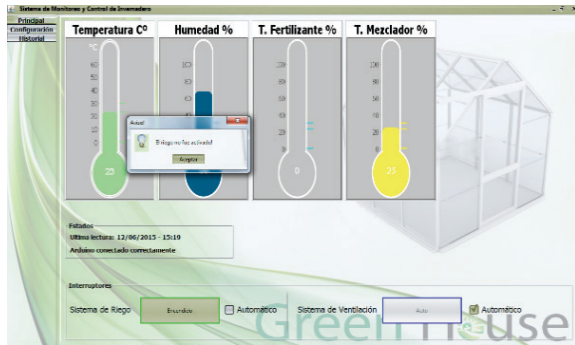


Figura 9 - Prueba del sistema de riego – Caso 2

Caso 3: Si el tanque de fertilizante está vacío y el tanque mezclador está por encima del 50% de su capacidad

Así como en el caso anterior, para realizar esta prueba no se activó la opción del riego sin fertilizante. Entonces el sistema no permitió que se inicie el proceso de riego y se emitió un mensaje (figura 10) y una notificación que se almacenó en la base de datos.

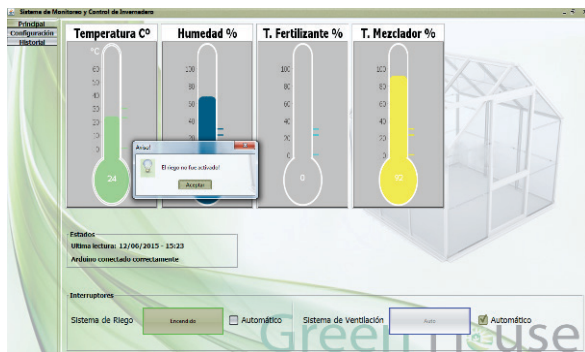


Figura 10 - Prueba del sistema de riego – Caso 3

Caso 4: Si el tanque de fertilizante está lleno y el tanque mezclador está por encima del 50% de su capacidad

Se realizó esta prueba sin activar la opción del riego sin fertilizante. El sistema no permitió iniciar el riego, emitió un mensaje (figura 11) y una notificación que se almacenó en la base de datos.

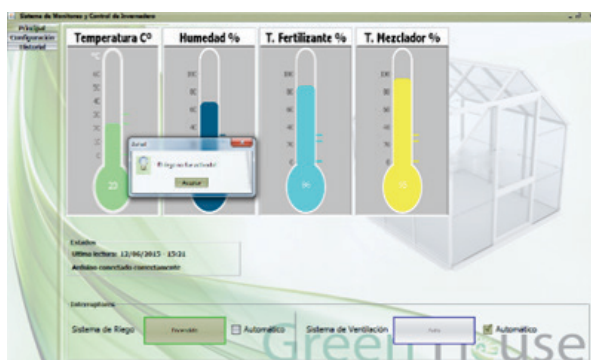


Figura 11 - Prueba del sistema de riego – Caso 4.

4.3. Activación del sistema de ventilación

Se realizaron pruebas de activación del sistema de ventilación de forma manual y automática. La activación automática se realiza cuando la temperatura del invernadero supera el valor máximo establecido por el

usuario y se desactiva cuando la temperatura esté tres grados por debajo del máximo establecido por el usuario. En ambas pruebas se obtuvieron resultados positivos (Figura 12).

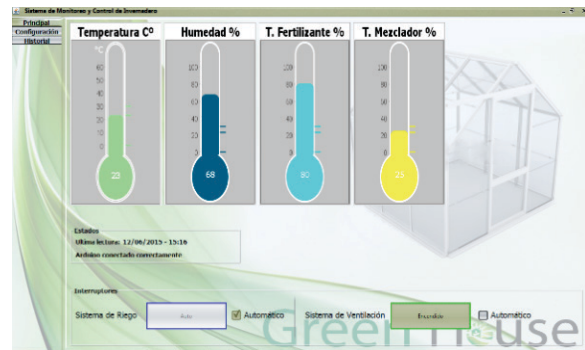


Figura 12- Prueba del sistema de ventilación.

4.4. Pruebas de la aplicación móvil

Las pruebas se realizaron en tres diferentes versiones de Android. La versión 4.1.2 Jelly Bean, la 4.4.4 KitKat y la 5.0 Lollipop. En todas las versiones se pudieron acceder a los datos sin ningún inconveniente. La prueba fue realizada en una red LAN ya que no se cuenta con una IP pública para acceder desde una red externa.



Figura 13- Interfaz del Aplicativo móvil.

5 Conclusiones

Tras culminar este trabajo se puede decir que:

- La utilización de hardware y software libre son ideales para el desarrollo de un sistema orientado a uso doméstico, brindando una solución de bajo costo para implementar un sistema de monitoreo y control en un invernadero para la producción de tomate, sin perder la calidad y eficiencia del sistema en general.
- Con la automatización en los procesos de producción se consigue la ejecución de los procesos en el momento adecuado, lo cual influye directamente en la calidad del producto y también se consigue disminuir la cantidad de horas hombre empleadas en la producción.
- Con la opción de que los parámetros de temperatura, humedad y riego puedan ser establecidos por el usuario, brinda una flexibilidad ya que no todas las variedades de tomates siguen un mismo parámetro.

- Con la implementación de un sistema automático de fertirriego, se obtienen múltiples beneficios debido a la precisión en la dosificación del fertilizante, con respecto a la cantidad de agua a suministrar a las plantas.
- La aplicación de la conexión inalámbrica permite la escalabilidad del sistema, ahorrar costos de instalación y mayor flexibilidad en cuando a la distribución de los nodos. La comunicación entre el nodo sensor y en nodo servidor es bidireccional que posee un protocolo de comunicación que garantiza que las cadenas de caracteres recibidas por ambos nodos sean correctas.

Referencias bibliográficas

- [1] Espí, E. Materiales de cubierta para invernaderos [en línea] [Diciembre de 2014].
- [2] Jaramillo J. Rodríguez V. Guzmán M. Zapata M. El cultivo de tomate bajo invernadero [en línea] <http://www.academia.edu/8591625/El_cultivo_de_tomate_bajo_invernadero_1_Bolet%C3%ADn_T%C3%A9cnico_21> [Septiembre de 2014].
- [3] Reyes, L. Control - Sistemas - Variables [en línea] [Noviembre de 2014].
- [4] Quirasco, H. Redes de sensores inalámbricas [en línea] [Noviembre de 2014].
- [5] Abad, G. Sensores en robótica [en línea] <<http://www.alcabot.com/alcabot/seminario2006/Trabajos/GuillermoAbadCarton.pdf>> [Noviembre de 2014].
- [6] Ojeda Ramos, Jorge Aníbal. Red inalámbrica de sensores. Detección de plazas libres en estacionamiento vehicular. (Trabajo Final de Grado de la Carrera de Ingeniería de Sistemas). Ciudad del Este, Paraguay. Universidad Nacional del Este. Facultad Politécnica. 2013.
- [7] Arduino [en línea] [Noviembre de 2014].
- [8] Snyder, R. Guía del cultivo del tomate en invernaderos [en línea] [Febrero de 2015].