

Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas
Facultad de Ingeniería Eléctrica
Departamento de Electrónica y Telecomunicaciones



TRABAJO DE DIPLOMA

Sistema de comunicación para la supervisión y control del riego en el Centro de Bioplantitas

Autor: Julio Antonio Hernández Pérez

Tutor: Ing. Jaime Pérez Brooks

Msc. Dayton Hernández Tamayo

Santa Clara

2017

“Año 59 de la Revolución”

Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas

Facultad de Ingeniería Eléctrica

Departamento de Electrónica y Telecomunicaciones



TRABAJO DE DIPLOMA

Sistema de comunicación para la supervisión y control de riego del Centro de Bioplantas.

Autor: Julio Antonio Hernández Pérez

E-mail: julio@bioplantass.cu

Tutor: Ing. Jaime Pérez Brooks

E-mail: brooks@uclv.cu

Msc. Dayton Hernández Tamayo

E-mail: dayton@bioplantass.cu

Santa Clara

2017

“Año 59 de la Revolución”



Hago constar que el presente trabajo de diploma fue realizado en la Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas como parte de la culminación de estudios de la especialidad de Telecomunicaciones, autorizando a que el mismo sea utilizado por la Institución, para los fines que estime conveniente, tanto de forma parcial como total y que además no podrá ser presentado en eventos, ni publicados sin autorización de la Universidad.

Firma del Autor

Los abajo firmantes certificamos que el presente trabajo ha sido realizado según acuerdo de la dirección de nuestro centro y el mismo cumple con los requisitos que debe tener un trabajo de esta envergadura referido a la temática señalada.

Firma del Tutor

Firma del Jefe de
Departamento donde se
defiende el trabajo

Firma del Responsable de
Información Científico-Técnica

PENSAMIENTO

(...) la enseñanza técnica es aquélla que tiene por objeto adiestrar al hombre en el manejo inteligente de los recursos teóricos y materiales que la humanidad ha acumulado para transformar el medio físico y adaptarlo a sus necesidades (...)

Luis Enrique Erro Soler

DEDICATORIA

A mis padres que con amor y orientación me han apoyado en todo momento para el logro de mi formación y superación profesional.

A mi abuela Ada y mis hermanas, por su constante preocupación.

A todos mis amigos que me ha ayudado de una forma u otra.

AGRADECIMIENTOS

A los profesores que contribuyeron a mi formación.

A mis tutores Jaime y Dayton, por la confianza, paciencia y entrega de su tiempo libre dedicado a la realización de este trabajo.

A Samy Brito Barroso, por su ayuda incondicional.

Al colectivo de trabajadores del Centro de Bioplantas de Ciego de Ávila por haberme dado la oportunidad de continuar mi formación profesional.

A mis amigos José Alberto, Ivis Laura, Maribel y a todos los que confiaron en mí para la culminación de mis estudios de pregrado.

RESUMEN

La utilización del paradigma de la agricultura moderna, posibilita lograr mejores y mayores resultados en las zonas cultivadas; permitiendo la regulación del abasto de agua dirigido a lograr su mayor aprovechamiento, en momentos en que se agravan las adversidades del clima y la sequía. El Centro de Bioplantas en Ciego de Ávila dispone de varios sistemas de riego que contribuyen al incremento de la producción agrícola. Sin embargo se ha podido constatar que estos no posibilitan el monitoreo y control para determinar humedad, temperatura, regulación del abasto de agua y situación real de los cultivos y el suelo. Las ITC (del inglés, *Information Technologies and Communication*) se considera que puede contribuir a solucionar esta problemática, por lo que es objetivo de esta tesis, diseñar un sistema de comunicación para el monitoreo y control de los sistemas de riego del Centro de Bioplantas que haga un uso más racional de los recursos. Se utilizan como soporte para la comunicación, la red GSM/GPRS, y medios de comunicación alámbricos, se estudian sus características, ventajas y desventajas. Su importancia estriba en que posibilita el intercambio de información entre distintos dispositivos situados en el campo, lo que contribuye a una mejor toma de decisiones y acciones de los agricultores y directivos ante cualquier circunstancia, así como conocer el historial de los cultivos, los recursos hídricos y naturales de la tierra cultivada. También se realizan pruebas de laboratorio las cuales validan de forma práctica una parte del sistema de comunicación propuesto.

GLOSARIO

ITC: del inglés, *Information Technologies and Communication*

WSN: del inglés, *Wireless System Networks*

GPS: del inglés, *Global Position System*

NIR: del inglés, *Near Infrared Region*

GIS: del inglés, *Geographic Information Systems*

VD: del inglés, *Variable Dose*

OSI: del inglés, *Open System Interconnection*

ISO: del inglés, *International Organization for Standardization*

TED: del inglés, *Terminal Equipments of Data*

ITU: del inglés, *International Telecommunication Union*

TCP/IP: en inglés, *Transmission Control Protocol / Internet Protocol*

SCADA: en inglés, *Supervisory Control And Data Acquisition*

Wi-Fi: del inglés, *Wireless Fidelity*

IEEE: en inglés, *Institute of Electrical and Electronics Engineers*

WLAN: del inglés, *Wireless Local Area Networks*

ISM: del inglés, *Industrial, Scientific and Medical*

VoIP: del inglés, *Voice over Internet Protocol*

GSM: del inglés, *Global System for Mobile Communications*

GPRS: del inglés, *General Packet Radio Service*

ETSI: del inglés, *European Telecommunication Standard Institute*

CLNP: del inglés, *Connectionless Network Protocol*

GSN: del inglés, *Gateway Support Node*

ÍNDICE

ÍNDICE	ii
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 1. Los sistemas de comunicaciones en la agricultura	6
1.1 Antecedentes históricos de la agricultura de precisión	6
1.1.1 Principales características de la agricultura de precisión	7
1.1.2 Tendencias en la agricultura de precisión	8
1.2 Sistemas de riego	9
1.2.1 Modernización de los sistemas de riego	11
1.2.2 Riego inteligente	12
1.3 Sistema de comunicación	13
1.3.1 Medios de comunicacion	14
1.3.2 Comunicaciones inalámbricas	19
1.3.3 Los sistemas de comunicaciones en el riego inteligente a nivel mundial	22
1.3.4 Los sistemas de comunicaciones en el riego inteligente en Cuba	23
1.4 Conclusiones parciales	24
CAPÍTULO 2. Análisis del Centro de Bioplantas	25
2.1 Caracterización del sistema de riego del Centro de Bioplantas	25
2.1.1 Las casas de cultivos	27
2.1.2 La estación experimental	28
2.2 Estructura de comunicación del Centro de Bioplantas	29

Tabla de contenido

2.3	Estructuras de los sistemas de riego inteligente	30
2.3.1	Estructura del hardware de la propuesta	31
2.3.1.1	Nivel1.....	32
2.3.1.2	Nivel 2.....	32
2.3.1.3	Nivel 3.....	33
2.3.2	Estructura del sistema de comunicación propuesto.....	34
2.4	Diseño del sistema de comunicación propuesto	35
2.5	Selección de componentes.....	36
2.6	Conclusiones parciales.....	41
CAPÍTULO 3.	Resultados y discusión	43
3.1	Estructura general de la comunicación.....	43
3.1.1	Estructura de comunicación en la estación experimental.	44
3.1.2	Estructura de comunicación en la casa de cultivos.....	45
3.2	Validación de la comunicación	46
3.3	Análisis económico y de costos	48
3.4	Estudio de viabilidad.	49
3.5	Conclusiones parciales.....	50
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		51
Conclusiones		51
Recomendaciones		52
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		53
Anexos		57

INTRODUCCIÓN

En la actualidad las comunicaciones juegan un papel fundamental en todos los ámbitos de la vida, las que evolucionan a un ritmo acelerado y el hombre las utiliza para lograr mayores y mejores resultados en su trabajo. En particular, las comunicaciones inalámbricas se desarrollan hasta el punto de hacerse indispensables en nuestra vida cotidiana, éstas se utilizan cada vez más y constituyen una eficaz herramienta que permiten la transferencia de información y cuenta con movilidad y flexibilidad del sistema en general.

Según [1-4] las tecnologías de las comunicaciones inalámbricas aplicadas a la agricultura es un tema de estos tiempos, pues constituyen un factor indiscutible en el desarrollo económico de cualquier país.

El desarrollo científico técnico está íntimamente ligado a la supervivencia humana al enfrentar amenazas que se expresan, entre otros, en el deterioro del medio ambiente y en el agotamiento de los recursos naturales y energéticos. Además de la creciente demanda alimentaria que conduce a grandes costos económicos y medioambientales, existiendo una estrecha relación entre la agricultura y la incidencia de ésta en los recursos naturales.

En Cuba, se llevan a cabo tareas e investigaciones [5-8] las cuales ayudan a reducir el impacto negativo del cambio climático sobre los recursos naturales. Existen varios autores que abordan este tema desde la perspectiva de la necesidad de la implementación de una red inalámbrica para el control y monitoreo más eficiente pero realmente se puede aseverar que no es una práctica muy extendida en el contexto nacional. Por ejemplo, en el trabajo [6], se presenta un sistema de

comunicación para el control del sistema de abasto de agua a la ciudad de Santa Clara, lo que posibilita un mayor conocimiento sobre la distribución de dicho recurso. El Centro de Bioplantitas en Ciego de Ávila dispone de varios sistemas de riego que presentan dificultades en su monitoreo y control para determinar la humedad, la temperatura, la regulación del abasto de agua y situación real de los cultivos y el suelo. Dicha situación, constituye una problemática a solucionar tomando en consideración la incidencia e impacto que tiene dicha entidad para el desarrollo del país.

Por lo anteriormente expuesto, se toma como punto de partida de la presente investigación y se elabora la siguiente **Interrogante Científica**:

¿Cómo lograr un sistema de comunicación que posibilite de un modo eficiente de monitorear y controlar los recursos y variables de los sistemas de riego del Centro de Bioplantitas aplicando las tecnologías móviles tomando en consideración las tendencias actuales?

En concordancia con la interrogante planteada se trazan los siguientes objetivos:

Objetivo General:

Diseñar un sistema de comunicación para el monitoreo y control de los sistemas de riego del Centro de Bioplantitas aplicando las tecnologías móviles, que posibilite un uso más racional de los recursos.

Objetivos específicos:

1. Consultar la bibliográfica relacionada con temas de agricultura de precisión con énfasis en los sistemas de riego y las tendencias del uso de las comunicaciones inalámbrica en la agricultura.
2. Describir las tecnologías existentes en el Centro de Bioplantitas.
3. Diseñar un sistema de comunicación que facilite la gestión de datos de los sistemas de riego en la estación experimental y en la casa de cultivos con el centro de Bioplantitas.
4. Validar la propuesta del sistema de comunicación diseñado mediante pruebas de laboratorio.

Interrogantes Científicas:

¿Cuáles son los fundamentos teóricos que sustentan las comunicaciones en la agricultura de precisión?

¿Qué particularidades tiene la infraestructura del Centro de Bioplantitas?

¿Qué características debe tener el diseño de la red de monitoreo y control para garantizar la comunicación entre los sistemas de riego existente?

¿Cuáles son las características necesarias del hardware para lograr la comunicación?

¿Qué resultados se obtienen de la propuesta de comunicación en los sistemas de riego?

Posibles resultados e impactos:

En este trabajo se propone un sistema de comunicación, que interconecta las tecnologías de riegos con un sistema de control y adquisición de datos. La implementación de este sistema de comunicación posibilita a los especialistas e investigadores realizar estudios y análisis comparativos en función de la disponibilidad de los recursos. Se logra ajustar la planificación y control de los recursos naturales para su mejor utilización y así desarrollar nuevas formas de agricultura, teniendo en cuenta los resultados prácticos alcanzados y la confrontación con otros métodos y herramientas.

La ejecución de este sistema de comunicación incrementa el uso racional y mayor aprovechamiento de recursos naturales, así como el de fertilizantes y abonos y conocer el estado actual y en tiempo real de los cultivos, así como las variables agro-meteorológicas que influyen sobre su crecimiento y desarrollo.

Además, contribuye a lograr un incremento de la salud de los agro-sistemas, el aumento de la diversidad biológica, la optimización de los ciclos biológicos y la actividad biológica de los suelos y un mayor aprovechamiento del agua con altos niveles productivos.

Aplicabilidad:

Los resultados de esta investigación tienen una aplicación práctica de trascendencia para especialistas e investigadores que buscan el desarrollo de una agricultura eficiente y sostenible. Tras su implementación en la entidad propuesta, su masificación en diversas instituciones agrícolas de todo el país contribuiría a elevar la calidad de los cultivos. Además de ser útil para investigaciones posteriores, se podría extender su implementación en otras ramas de la producción y la creación de otros sistemas superiores.

Viabilidad:

Se cuenta con el apoyo de los directivos del Centro de Bioplantitas, de la Estación Experimental y de la Universidad de Ciego de Ávila “Máximo Gómez Báez” a los que les resulta muy beneficioso para futuros proyectos en la agricultura.

Esta tesis se enmarca en el proyecto nacional del programa de “Automatización de Procesos Tecnológicos”, P211LH002-015 “Automatización de los Procesos Productivos en las Empresas Agrícolas en busca de la eficiencia, el ahorro y sostenibilidad” el cual garantiza todas las tecnologías necesarias para el desarrollo de la presente investigación.

Metodología de Trabajo:

Se utilizan métodos del nivel teórico como el histórico lógico, analítico sintético, abstracción concreción para que, a partir de la revisión bibliográfica técnico-especializada, llegar a la construcción del marco teórico de referencia general de la pesquisa y la delimitación y caracterización de la comunicación en la agricultura. Luego se procede al diseño del sistema para lo cual se utiliza la modelación, que posibilita a través de la abstracción racional establecer las conexiones pertinentes entre diferentes dispositivos para lograr la comunicación deseada.

Organización del documento de tesis:

En el Capítulo 1 se refleja una revisión bibliográfica sobre la agricultura de precisión, los sistemas de riego y las principales tecnologías de las comunicaciones y sus aplicaciones en la agricultura moderna. En el Capítulo 2, se realiza la

caracterización de los sistemas de riegos y las comunicaciones existentes en el Centro de Bioplasmas en Ciego de Ávila, además se presenta el diseño del sistema de comunicación y se seleccionan los componentes a emplear en la propuesta. En el Capítulo 3, se muestra el esquema general de las comunicaciones que se propone, así como el método de evaluación que se emplea para validar la propuesta. Por último, se presentan las Conclusiones y Recomendaciones del trabajo, las Referencias Bibliográficas y los Anexos.

CAPÍTULO 1. Los sistemas de comunicaciones en la agricultura

En este capítulo se abordan los antecedentes históricos de la Agricultura de Precisión, diferentes conceptos, sus principales características, tendencias, el papel de las comunicaciones en la agricultura de precisión, su importancia para lograr una buena comunicación en el monitoreo y control de los diferentes equipos remotos, las principales tecnologías de comunicación existentes y los diferentes sistemas de riego. Se muestran las características de los principales protocolos de comunicación que se manejan en la industria.

1.1 Antecedentes históricos de la agricultura de precisión

El tema de Agricultura de Precisión se presentó en 1929 por Linsley y Bauer, investigadores de la Estación Experimental Agrícola de la Universidad de Illinois. Con posterioridad, varios autores ofrecen disímiles conceptos que coinciden de forma general, uno de ellos la considera como: “La utilización y aplicación de las nuevas tecnologías, teniendo en cuenta la diversidad del suelo, el entorno ambiental y las necesidades de las plantas con el fin de gestionar y optimizar la aplicación de insumos (semillas, fertilizantes, fitosanitarios, riego y otros) para obtener una producción rentable, de calidad y respetuosa con el medio ambiente” [9].

“La agricultura de precisión es una estrategia de la administración que utiliza tecnologías de la información y las comunicaciones para recolectar datos útiles desde diferentes fuentes con el fin de apoyar decisiones asociadas a la producción de cultivos” [10].

El advenimiento de la biotecnología, ingeniería genética, ciencias de la computación, tecnologías de la información y la reestructuración de la misma agricultura convencional, está generando nuevos enfoques que rebasan la típica división entre agricultura convencional y agricultura alternativa [11].

La agricultura de precisión proporciona la capacidad de recopilar, interpretar y aplicar información específica de las explotaciones, transformando datos e información en conocimiento y rentabilidad. Estos sistemas además permiten aumentar la precisión de las labores y la eficiencia de los equipos.

La Electrónica y las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones ITC (del inglés, *Information Technologies and Communication*) aportan herramientas innovadoras al sector agropecuario, que son fundamentales para mejorar la producción y el manejo diferenciado de áreas agrícolas. Este tipo de tecnología se basa en “hacer lo correcto en el lugar adecuado y en el momento oportuno” [12].

1.1.1 Principales características de la agricultura de precisión

Según los autores [13] [14], la agricultura de precisión se caracteriza por:

- Utilizar la alta tecnología al servicio de la producción de alimentos respetando los límites ecológicos.
- Reducir el impacto medioambiental en la actividad agrícola.
- Poner a disposición del agricultor varias informaciones que pueden constituir una memoria real del campo, ayuda a la toma de decisiones y direcciona las necesidades.
- Optimizar la gestión de la parcela desde el punto de vista agronómico y medio ambiental.
- Es uno de los pilares de la agricultura sostenible, al ser respetuosa con los cultivos, las tierras y los agricultores.
- Aportar la dosis correcta en el lugar idóneo y el momento óptimo, según las necesidades de las plantas para beneficiar el cultivo.
- Contribuir al ahorro en la compra de productos fitosanitario y de los abonos y reduce la aplicación de pesticidas y fertilizantes.

- Orientada a obtener mayores rendimientos agrícolas y garantizar la seguridad alimentaria.
- Se sustenta sobre la base de la telemetría, la localización por satélite y los sistemas de información geográfica.

1.1.2 Tendencias en la agricultura de precisión

Históricamente la humanidad busca una solución a los problemas relacionados con la garantía de la alimentación y el agua y de una manera u otra, se adapta a las condiciones climáticas y territoriales más adversas con el uso de la tecnología o sin ella.

En cambio, la Revolución industrial provoca una evolución rápida en los métodos utilizados para el incremento de la productividad agrícola y algunos autores citan entre otros factores que influyen en este proceso, la introducción de los avances de la tecnología, la mecanización y nuevas formas de drenaje.

La agricultura de precisión consiste en el uso de sistemas de información basados en diversas tecnologías aplicadas al ámbito de la producción agraria. Algunas de las tecnologías aplicables son: Redes de Sensores Inalámbricos WSN (del inglés, *Wireless System Networks*), Sistemas de Posicionamiento Global GPS (del inglés, *Global Position System*), evaluación de espectroscopia en el infrarrojo cercano NIR (del inglés, *Near Infrared Region*), Sistemas de Información Geográfico GIS (del inglés, *Geographic Information Systems*). Sistemas que proporcionan medios de observación, evaluación y control de las prácticas agrícolas [15].

Además de las tecnologías antes mencionadas también podemos señalar el empleo de arquitecturas basadas en nubes, donde toda la información recopilada del campo es almacenada en una nube, creando así un historial del campo, esta información puede ser vista por el agricultor el cual podrá tomar acción en caso de tener algún problema en la plantación [16]

Según [10], referencia lugares en los que se explota esta agricultura moderna:

- León-España. (Diciembre 2009). Sistema de asistencia al viticultor para el seguimiento vitícola y diferenciación de lotes de vendimia.

- Proyecto Commonsense Net, trabajo conjunto entre India y Suiza, se diseña una red de sensores para proveer, a los agricultores en zonas con recursos naturales restringidos en países en vías de desarrollo, con información capaz de dar soporte a decisiones orientadas al mejoramiento de la producción.
- En China se utiliza una red de sensores para mejorar el rendimiento de cultivos en las cuencas del río Huaihe y reducir el desaprovechamiento de un 70% del agua utilizada.
- China. Invernaderos. Esta red recopila los datos de temperatura, humedad ambiental y de suelo en un nodo sumidero, que utiliza luego la red GSM para transmitir datos recopilados a un punto central. Estas aplicaciones utilizan el nodo Micaz de Crossbow.

A nivel mundial se experimenta con la Dosis Variable (DV), que consiste en aplicar cantidades distintas de insumos a cada posición, dependiendo de uno o varios parámetros, tiene poco uso comercial fuera de Estados Unidos y Canadá. En algunos países está limitado por el alto costo de muestreo y análisis de suelo y en otro como Europa Occidental se adopta por la contaminación ambiental y para cumplir normas legales [17].

Existen perspectivas de la agricultura de precisión en labores como la preparación del suelo, aplicación de fertilizantes, labores de siembra y protección de cultivos.

1.2 Sistemas de riego

El riego consiste en el suministro de las necesarias cantidades de agua al suelo y los cultivos para su crecimiento, utilizando diversos métodos artificiales de riego. Este tipo de agricultura requiere inversiones de capital y una infraestructura hídrica, que exige, un desarrollo técnico avanzado [18].

El riego es un componente esencial para el desarrollo agrario, donde la escasez del agua constituye una importante limitación para el desarrollo de la agricultura a nivel mundial. La creciente competencia por el agua debido a su utilización para otros usos, conlleva un incremento de su coste y una creciente limitación de su disponibilidad para su uso en la agricultura. Debido a esto se hace necesario la

incorporación y el aprovechamiento de los avances científicos de ingeniería y tecnológicos a los regadío [19].

Existen tres métodos para aplicar el agua sobre los cultivos.

- Riego localizado
- Riego por superficie
- Riego por aspersión

Riego localizado

El Doctor Luis Santos Pereira, Ingeniero Agrónomo en su libro El riego y sus tecnologías (2010), define el riego localizado como: “Un riego a presión en el que el agua es aplicada a la parte de la parcela cultivada en la que se desarrollan las raíces de la planta” [19].

Este método reduce tanto el consumo de agua como los costes asociados al riego, principalmente los de mano de obra. Los sistemas de riego localizado se agrupan en cuatro categorías (Ver **Figura 1.1**).

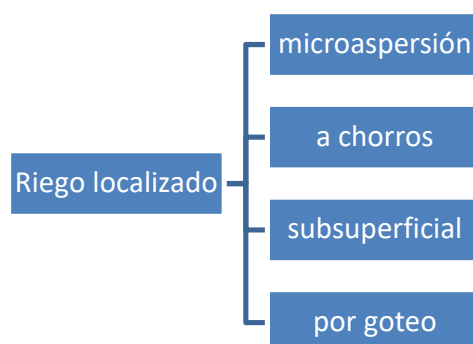


Figura 1.1 Modalidades del riego localizado.

Riego por aspersión

“Cerca del 10 % de las áreas de riego de todo el mundo son por aspersores, siendo este porcentaje más elevado en países desarrollados, con altos costes de manos de obra y bajos costos de energía” [20].

Los sistemas de riego por aspersión se pueden clasificar de dos formas, estacionarios y móviles o autopropulsado.

Dentro de los sistemas de riego por aspersión los más destacados por sus características son los pivotes. Este sistema consiste en una tubería lateral, de acero galvanizado, que gira en torno a un punto fijo en el centro de la parcela regada.

Riego por superficie o de gravedad

“Corresponde aproximadamente con el 80 % de las áreas regadas del mundo, siendo el método más apropiado técnicamente para suelos llanos y pesados” [21] además es económico para muchos cultivos y sistemas de producción.

Los sistemas de riego de gravedad son muchos y varían en dependencia de los procesos de aplicación del agua a las parcelas regadas, este método a su vez presenta diferentes modalidades (Ver *Figura 1.2*).

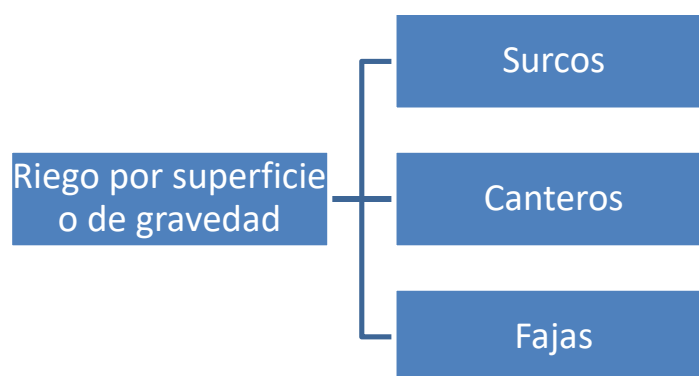


Figura 1.2 Modalidades del riego por superficie o de gravedad.

1.2.1 Modernización de los sistemas de riego

La modernización del manejo del agua en los sistemas de riego puede ser interpretada en diferentes formas dependiendo de las circunstancias locales. Un tipo de modernización es la introducción de tecnologías modernas como la aplicación y distribución de agua por tuberías en sustitución de los canales, el uso por ordenadores de sensores de humedad en el suelo para iniciar el riego [18].

Dado a los beneficios que trae consigo la modernización de los sistemas de riego estos son cada vez más empleados y se considera por lo general como un proyecto de ingeniería, su planificación típica se enfoca en temas de ingeniería y

macroeconómicos con solo algunas suposiciones sobre cómo pueden ser manejados los sistemas de entrega de agua y de riego en el campo [22].

Según resultados obtenidos en varios proyectos de modernización del riego en Argentina, México y Perú se identifican varios elementos:

1. La modernización resulta exitosa si las ideas provienen de los agricultores.
2. Es más aceptable el riego a presión que el riego por gravedad donde este último recibe menor consideración.
3. Es necesario otorgar gran atención a la distribución eficiente del agua; de lo contrario, las altas pérdidas de agua, el robo de agua y el riego no programado continuarán.
4. Proporcionar asistencia técnica adecuada a los agricultores debe ser una tarea hecha con suma atención. A pesar de toda la capacitación realizada todavía hay grandes deficiencias en el conocimiento de los agricultores acerca de las prácticas agrícolas, los requerimientos de agua y los turnos de riego.
5. Cada sistema requiere soluciones específicas: la modernización siempre incluye el mejoramiento físico de la infraestructura pero la forma en que es hecha y otras necesidades, son todas específicas del lugar.

Los estudios de los casos indican que el sistema de entrega de agua para riego tiene que ser eficiente desde el inicio o de lo contrario el sistema no cumple con su objetivo. La modernización es exitosa desde el momento en que los agricultores toman conciencia de la necesidad de introducir cambios. Sin embargo, la tecnología está cambiando tan rápidamente que puede ser necesario modernizar en forma más o menos continua de modo de adaptarse a las circunstancias cambiantes [23].

1.2.2 Riego inteligente

El riego inteligente no es más que los sistemas de riego automatizados capaz de trabajar sin la intervención del hombre, ejemplo de estos sistemas, son los riegos que utilizan la información del medio en que trabajan los cuales son capaces de activar o desactivar de forma automática el sistema de riego y en caso de presentar

algún problema en el sistema de riego, este informa a su operario de la existencia de una falla [24].

Debido a que el sector agrícola es el mayor consumidor de agua (65%), no sólo porque la superficie irrigada en el mundo ha tenido que quintuplicarse, sino porque no se cuenta, en muchas ocasiones, con un sistema de riego eficiente [24], por este motivo se hace necesario la utilización de sistemas eficientes con respecto al uso de los recursos hídricos, fertilizantes, abonos y ahorro del consumo eléctrico [25].

1.3 Sistema de comunicación

La comunicación es la transferencia de información con sentido desde un lugar (transmisor, fuente) a otro lugar (receptor, destino). Por otra parte, información, es un patrón físico al cual se le ha asignado un significado comúnmente acordado. El patrón debe ser único (separado y distinto), capaz de ser enviado por el transmisor y capaz de ser detectado y entendido por el receptor.

Elementos del sistema

En toda comunicación existen tres elementos básicos en un sistema de comunicación: el transmisor, el canal de transmisión y el receptor (ver **Figura 1.3 Elementos de los Sistema de Comunicación**). Cada uno tiene una función característica.

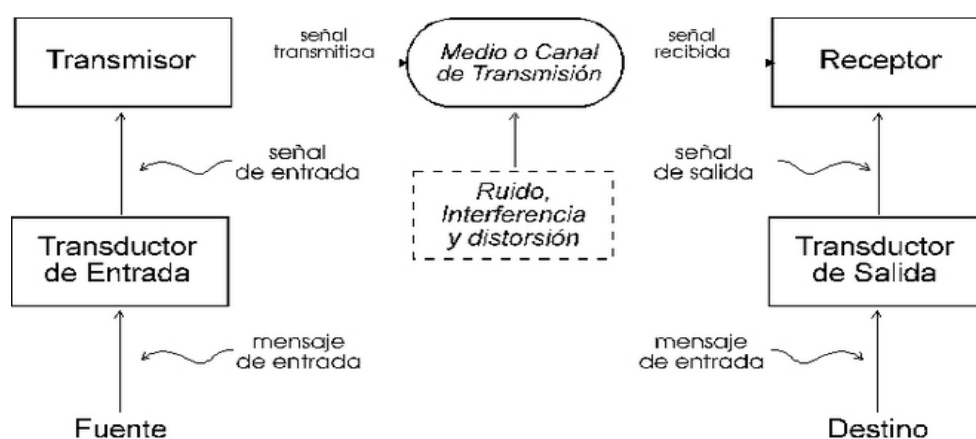


Figura 1.3 Elementos de los Sistema de Comunicación

El **Transmisor** pasa el mensaje al canal en forma de señal. Para lograr una transmisión eficiente y efectiva, se deben desarrollar varias operaciones de procesamiento de la señal. La más común e importante es la modulación, un proceso que se distingue por el acoplamiento de la señal transmitida a las propiedades del canal, por medio de una onda portadora.

El **Canal de Transmisión** o medio es el enlace eléctrico entre el transmisor y el receptor, siendo el puente de unión entre la fuente y el destino. Este medio puede ser un par de alambres, un cable coaxial, el aire, etc. Pero sin importar el tipo, todos los medios de transmisión se caracterizan por la atenuación, la disminución progresiva de la potencia de la señal conforme aumenta la distancia.

La función del **Receptor** es extraer del canal la señal deseada y entregarla al transductor de salida. Como las señales son frecuentemente muy débiles, como resultado de la atenuación, el receptor debe tener varias etapas de amplificación. En todo caso, la operación clave que ejecuta el receptor es la demodulación, el caso inverso del proceso de modulación del transmisor, con lo cual vuelve la señal a su forma original.

1.3.1 Medios de comunicación

Las comunicaciones, “ésta se puede realizar de dos formas en dependencia del medio de transmisión (vías por las cuales se comunican los datos), medios de transmisión **guiados** o **alámbricos** y medios de transmisión **no guiados** o **inalámbricos** [26].

- **Medios de transmisión guiados o alámbricos**

Los medios de transmisión guiados están constituidos por cables que se encargan de la conducción (o guiado) de las señales desde un extremo al otro. Las principales características de los medios guiados son el tipo de conductor utilizado, la velocidad máxima de transmisión, la inmunidad frente a interferencias electromagnéticas, la facilidad de instalación y la capacidad de soportar diferentes tecnologías de nivel de enlace. La velocidad de transmisión depende directamente de la distancia entre los

terminales, y de si el medio se utiliza para realizar un enlace punto a punto o un enlace multipunto [26].

Dentro de los medios de transmisión guiados, los más utilizados en el campo de las telecomunicaciones son:

- **Cable de par trenzado**

El cable de par trenzado consiste en un conjunto de pares de hilos de cobre, conductores cruzados entre sí, con el objetivo de reducir el ruido de diafonía. A mayor número de cruces por unidad de longitud, mejor comportamiento ante el problema de diafonía [27].

- **Cable coaxial**

El cable coaxial consiste en un conductor central rodeado por una capa conductora cilíndrica. Se emplea en sistemas troncales o de largo alcance que portan señales múltiples con gran número de canales [28].

- **Fibra óptica**

La fibra óptica es un enlace hecho con un filamento de material dieléctrico, como el vidrio o los polímeros acrílicos, capaz de conducir y transmitir impulsos luminosos de uno a otro de sus extremos [29]; esta permite la transmisión de comunicaciones telefónicas, de televisión u otros, a gran velocidad y distancia, sin necesidad de utilizar señales eléctricas.

- **Medios de transmisión no guiados o inalámbricos**

En este tipo de medios, la transmisión y la recepción de información se lleva a cabo mediante antenas. A la hora de transmitir, la antena irradia energía electromagnética en el medio. Por el contrario, en la recepción la antena capta las ondas electromagnéticas del medio que la rodea.

Para las transmisiones no guiadas, la configuración puede ser:

- direccional, en la que la antena transmisora emite la energía electromagnética concentrándola en un haz, por lo que las antenas emisora y receptora deben estar alineadas.
- omnidireccional, en la que la radiación se hace de manera dispersa, emitiendo en todas direcciones, pudiendo la señal ser recibida por varias antenas.

La transmisión de datos a través de medios no guiados añade problemas adicionales, provocados por la reflexión que sufre la señal en los distintos obstáculos existentes en el medio. Resultando más importante el espectro de frecuencias de la señal transmitida que el propio medio de transmisión en sí mismo [26].

Protocolos o estándares de comunicación

Un protocolo de comunicación es un sistema de reglas que permiten que dos o más entidades de un sistema de comunicación se comuniquen entre ellas para transmitir información por medio de cualquier tipo de variación de una magnitud física. Se trata de las reglas o el estándar que define la sintaxis, semántica y sincronización de la comunicación, así como también los posibles métodos de recuperación de errores. Los protocolos pueden ser implementados por hardware, por software, o por una combinación de ambos [30].

En el campo de las redes informáticas, los protocolos se pueden dividir en varias categorías. Una de las clasificaciones más estudiadas es la del modelo OSI (del inglés, *Open System Interconnection*), creado en el año 1980 por la Organización Internacional de Normalización ISO (del inglés, *International Organization for Standardization*) [31]. “Se ha publicado desde 1983 por la ITU (del inglés, *International Telecommunication Union*) y, desde 1984, la Organización Internacional de Normalización (ISO) también lo publicó con estándar” [32]. “Su desarrollo comenzó en 1977” [33].

Según la clasificación OSI, la comunicación de varios TED (del inglés, Terminal Equipments of Data) se puede estudiar dividiéndola en 7 niveles, que son expuestos desde su nivel más alto hasta el más bajo [32] (ver *Tabla 1.1*):

Tabla 1.1 Niveles del modelo OSI

Capas	Niveles	Categorías	
Capa 7	nivel de aplicación		Aplicación
Capa 6	nivel de presentación		
Capa 5	nivel de sesión		
Capa 4	nivel de transporte		
Capa 3	nivel de red	Transporte	
Capa 2	nivel de enlace de datos	de datos	
Capa 1	nivel físico		

Otra clasificación, más práctica y la apropiada para TCP/IP (ver *Tabla 1.2*), es la siguiente:

Tabla 1.2 Capas de TCP/IP

Capas
capa de aplicación
capa de transporte
capa de red
capa de enlace de datos
capa física

Los protocolos de cada capa tienen una interfaz bien definida. Generalmente, una capa se comunica con la capa inmediata inferior, la inmediata superior, y la capa del mismo nivel en otros computadores de la red. Esta división de los protocolos ofrece abstracción en la comunicación [34].

El cual es un modelo de referencia para los protocolos de la red de arquitectura en capas,

Protocolo Modbus

Modbus es un protocolo de comunicaciones situado en el nivel 7 del Modelo OSI (del inglés, *Open System Interconnection*), basado en la arquitectura maestro/esclavo (RTU) o cliente/servidor TCP/IP (en inglés, *Transmission Control*

Protocol / Internet Protocol), diseñado en 1979 por Modicon para su gama de controladores lógicos programables PLC (en inglés, *Programmable Logic Controller*). Convertido en un protocolo de comunicaciones estándar de facto en la industria, es el que goza de mayor disponibilidad para la conexión de dispositivos electrónicos industriales [35].

El uso de Modbus es superior a otros protocolos de comunicaciones porque:

- Es público.
- Su implementación es fácil y requiere poco desarrollo.
- Maneja bloques de datos sin suponer restricciones.

Modbus permite el control de una red de dispositivos, por ejemplo un sistema de medida de temperatura y humedad, y comunicar los resultados a un ordenador. Modbus también se usa para la conexión de un ordenador de supervisión con una unidad remota (RTU) en sistemas de supervisión adquisición de datos SCADA (en inglés, *Supervisory Control And Data Acquisition*). Existen versiones del protocolo Modbus para puerto serie y Ethernet (Modbus/TCP) [35].

Cada dispositivo de la red Modbus posee una dirección única. Cualquier dispositivo puede enviar órdenes Modbus, aunque lo habitual es permitirlo sólo a un dispositivo maestro. Cada comando Modbus contiene la dirección del dispositivo destinatario de la orden. Todos los dispositivos reciben la trama pero sólo el destinatario la ejecuta (salvo un modo especial denominado "*Broadcast*". Cada uno de los mensajes incluye información redundante que asegura su integridad en la recepción. Los comandos básicos Modbus permiten controlar un dispositivo RTU para modificar el valor de alguno de sus registros o bien solicitar el contenido de dichos registros [36].

Protocolo HART

Durante muchos años, el estándar de comunicación de señales de los buses de campo utilizada por los equipos de automatización de procesos ha sido la transmisión analógica convencional en corriente 4-20mA. Conviviendo con este sistema de transmisión nos podemos encontrar aún en la actualidad otros sistemas de transmisión analógicos como transmisión en tensión de 0-10V o 0-5V y

transmisión en corriente 0-20mA, dentro de sistemas de adquisición de datos de variables físicas típicas como: presión, nivel, caudal, temperatura, entre otros [44].

1.3.2 Comunicaciones inalámbricas

Hoy día las comunicaciones inalámbricas tienen una amplia gama de aplicaciones dado que facilitan la comunicación e intercambio de información entre dos o más dispositivos los cuales utilizan como medio de comunicación el espacio radioeléctrico. Sus principales ventajas están dadas porque permiten facilidad de emplazamiento, reubicación y rapidez en la instalación.

Tomando en consideración las tendencias actuales de hacer uso de las comunicaciones inalámbricas y la aplicación de las RF (Radio Frecuencia) en la agricultura, nos vamos a centrar únicamente en las listadas a continuación.

WI-FI

La tecnología Wi-Fi (del inglés, *Wireless Fidelity*), basada en el estándar IEEE (del inglés, *Institute of Electrical and Electronics Engineers*) 802.11, se ha hecho muy popular en los últimos años. Se trata de una tecnología de acceso inalámbrico a redes de comunicaciones de área local, o WLAN (del inglés, *Wireless Local Area Networks*). Sus velocidades de transmisión permiten que Wi-Fi (del inglés, *Wireless Fidelity*) se establezca como la tecnología predominante en el acceso inalámbrico de banda ancha a Internet, desbordando el ámbito de las aplicaciones y servicios para los que fue inicialmente concebida [37]. Se resaltan los siguientes aspectos técnicos, regulatorios y funcionales de Wi-Fi:

- Se trata de una tecnología madura, con un amplio abanico de productos y sistemas fiables y asequibles en el mercado y con un grado de implantación elevado y en aumento.
- Supone una conexión sin hilos en banda ancha (pocas complicaciones y bajo coste de instalación) que permite la movilidad.
- Múltiples aplicaciones como por ejemplo: uso privado, público, Hot-Spots, hoteles, uso comunitario, entre otros.
- Urge ordenar su actual forma de despliegue, debido al uso de la banda ISM (del inglés, *Industrial, Scientific and Medical*).

- Tiene una enorme potencialidad. Al ser el primer protocolo estándar de conexión vía radio para WLAN (del inglés, *Wireless Local Area Network*), es un “estándar de facto” para estas aplicaciones, demostrando además su capacidad para ofrecer acceso a banda ancha en múltiples entornos (empresariales, privados y públicos) a precios asequibles.
- Su viabilidad para soportar comunicaciones avanzadas VoIP (del inglés, *Voice over Internet Protocol*), datos e imagen) posibilita el soporte a servicios como telefonía, gestión integrada de sistemas, sistemas de información multimedia, transmisión de video para seguridad.

Bluetooth

Bluetooth es un sistema de radioenlace de corto alcance (apto para implementar pequeñas redes inalámbricas de área local cuya finalidad es eliminar las conexiones alámbricas de dispositivos portables y fijos).

Esta tecnología opera en la banda 2.4 GHz-ISM en el rango de frecuencias de 2.400 hasta 2483.5 MHz (dependiendo del país y/o región). Bluetooth hace uso de la técnica de espectro ensanchado con saltos de frecuencia (*Spread Spectrum Frequency Hopping*), con 79 canales de radio-frecuencia con un ancho de banda de 1 MHz cada uno y una tasa máxima de símbolos de hasta 1 Mbps en el modo de transferencia básica y de 2 a 3 Mbps en el modo de transferencia de datos mejorada, en la cual, cada vez que un paquete se envía a una determinada frecuencia, ésta salta a otra de las 79 posibles frecuencias (la tasa de saltos estándar es de 1,600 saltos/s). Su radio típico de operación es menor a 10 m, aunque se pueden alcanzar distancias mayores (hasta 100 m según la B-SIG) usando amplificadores [38].

ZigBee

Iniciado por Philips, Honeywell, Invensys y seguido por Motorola, Mitsubishi y hasta 25 empresas para crear un sistema estándar de comunicaciones inalámbricas y bidireccional, para usarlo dentro de dispositivos de domótica, control industrial, periféricos de PC y sensores médicos. Este puede transmitir con un simple protocolo de 20kB/s hasta 250Kbps trabajando a una frecuencia de 2,4GHz con la tecnología

GSSS, bajo consumo y rangos entre 10 y 75 metros, aunque las condiciones físicas ambientales son las que determinan las distancias de trabajo [39].

IEEE (en inglés, *Institute of Electrical and Electronics Engineers*) 802.15.4 es un simple protocolo de paquetes de datos para redes inalámbricas ligeras. ZigBee, se conoce con otros nombres como "*Home RF Lite*", también puede usar las bandas libres ISM (del inglés, *Industrial, Scientific and Medical*) de 2,4 GHz, 868 MHz (Europa) y 915 MHz (EEUU). Una red ZigBee puede estar formada por hasta 255 nodos, los cuales tienen dormido el "*transceiver*" ZigBee la mayor parte del tiempo, para mantener un bajo consumo [39].

GSM/GPRS

Con GSM (del inglés, *Global System for Mobile Communications*) la telefonía móvil ha ido desarrollándose hasta convertirse en una verdadera revolución tecnológica que ha cambiado la percepción de la telefonía y las comunicaciones del consumidor, llegando a ser, para muchos, un elemento imprescindible de su vida cotidiana, tanto personal como profesionalmente. Además de las altas prestaciones que ofrece GSM (del inglés, *Global System for Mobile Communications*), la incorporación de los sistemas digitales redujo el coste de las redes, puesto que las estaciones base y las centrales de conmutación digitales son más económicas que las analógicas.

Red GPRS

La red GSM (del inglés, *Global System for Mobile Communications*) prevé unos servicios de transmisión de datos desde la fase inicial. Sin embargo, se trata de servicios con modalidad de transferencia por conmutación del circuito, es decir, donde la red, una vez establecida la conexión física entre dos usuarios, dedica los recursos propios hasta que no es solicitado expresamente el establecimiento de la conexión, independientemente del hecho de que los dos usuarios se intercambien datos durante todo el tiempo de conexión.

Esta modalidad de transferencia es óptima sólo en el caso en que los dos usuarios tengan que intercambiarse una cantidad significativa de datos (transferencia de ficheros o archivos), resulta ineficiente en cuanto los datos a intercambiarse son de pequeña entidad o bien, en el caso más frecuente, el tráfico de datos es de tipo

interactivo o transitorio, es decir, el tiempo de uso efectivo de los recursos de la red supone sólo una parte con respecto al tiempo total de conexión.

Con el sistema GPRS (del inglés, *General Packet Radio Service*), introducido por ETSI (del inglés, *European Telecommunication Standard Institute*) para la fase 2+ del sistema GSM, el acceso a la red de paquetes se lleva al nivel del usuario del móvil a través de protocolos como los, X.25, y CLNP (del inglés, *Connectionless Network Protocol*), sin ninguna otra necesidad de utilizar conexiones intermedias por conmutación del circuito [39].

Al contrario que el servicio de transferencia de datos con modalidad de conmutación de circuito, en el que cada conexión establecida se dedica sólo al usuario que la ha solicitado, el servicio GPRS (del inglés, *General Packet Radio Service*) permite la transmisión de paquetes en modalidad *link by link*, es decir, los paquetes de información se encaminan en fases separadas a través de los diversos nodos de soporte del servicio, denominados GSN (del inglés, *Gateway Support Node*) [39].

Después de haber analizado algunas de las tecnologías inalámbricas empleadas a nivel mundial, se decide emplear como soporte para la comunicación, la red GSM/GPRS (del inglés, *Global System for Mobile Communications / General Packet Radio Service*), el par trenzado.

1.3.3 Los sistemas de comunicaciones en el riego inteligente a nivel mundial

La Agricultura de Precisión hace uso de herramientas informáticas como GPS (del inglés, *Global Position System*), sensores, satélites, modelos de simulación, imágenes aéreas, SIG (del inglés, *Geographic Information Systems*); los cuales sirven para estimar y evaluar las variables más representativas de un cultivo en tiempo real, con el fin de evaluar con mayor precisión la densidad óptima de siembra, estimar fertilizantes y otras variables clave en el rendimiento de una zona cultivada; permitiéndole así al agricultor predecir con más exactitud la producción agraria [40].

En el mundo de hoy, la aplicación de las tecnologías de las comunicaciones a la agricultura va en ascenso, se emplean sensores inteligentes, drones, imágenes satelitales, el uso de nubes para almacenar información y después acceder, el

empleo del internet de las cosas y otros. En los siguientes artículos se puede observar el amplio uso de las comunicaciones inalámbricas así como los avances actuales y en los diferentes campos que se emplea, ya sea en la agricultura, como para la radiolocalización o con fines médicos entre otros [3, 16, 25, 41-45].

1.3.4 Los sistemas de comunicaciones en el riego inteligente en Cuba

En el año 2016 de manera experimental se introdujo en la empresa agroindustrial de granos Los Palacios, el uso de la tecnología GPS (del inglés, *Global Position System*) que arroja resultados muy positivos en el levantamiento topográfico y la nivelación de los campos arroceros. En las áreas donde se han realizados ambas acciones los rendimientos han sobrepasado en dos toneladas por hectárea los que se lograba antes de los trabajos unidos a que se disminuyó notablemente el consumo de agua [7].

Hasta el momento mediante la tecnología, acoplada a una computadora portátil y un tractor, se ha completado el levantamiento topográfico y el diseño de campo de más de 2600 hectáreas. Se trata de una labor de un alto grado de precisión, que habría demorado varios años en caso de utilizarse métodos tradicionales [7].

La precisión de la dosis y frecuencia de riego es de suma importancia para satisfacer de la forma más eficiente posible las necesidades hídricas del cultivo en cada etapa de su desarrollo.

Ante esta situación el Ministerio de Agricultura, el Instituto de Recursos Hidráulicos y otros organismos del país están trabajando intensamente en un programa para el enfrentamiento y mitigación de los efectos de la sequía en el sistema productivo del Ministerio de Agricultura a corto, mediano y largo plazo, introduciendo tecnologías de riego con alta eficiencia en el uso del agua como son: el riego localizado tanto superficial como subterráneo, las máquinas de pivote central eléctricas, así como el uso de tecnologías de riego por aspersión y mejora en los sistemas de riego superficiales que conlleven al menor uso del agua y la energía, electrificando paulatinamente los sistemas de bombeo para el ahorro de los componentes energéticos [8].

Es por ello que Cuba se ha trazado la política de incrementar la producción de vegetales en ambientes controlados (casas de cultivo), así como en sistemas de organopónicos a lo largo del país, haciendo un uso racional del agua, fertilizantes, materiales orgánicos y controles biológicos, utilizando al mínimo los pesticidas químicos y con ello, producir alimentos bajo el principio de la conservación de los recursos naturales y la preservación del medio ambiente.

1.4 Conclusiones parciales

En la actualidad, el empleo de las ITC (del inglés, Information Technologies and Communications) en la agricultura juega un papel muy importante por lo que se estudia más a fondo sus beneficios y posible empleo en este trabajo.

Se realiza una minuciosa revisión bibliográfica acerca del tema de la agricultura de precisión y el análisis de los diferentes tipos y formas de riego que existen, e incluso los sistemas de riego inteligente y sus principales elementos, los que evolucionan constantemente a los efectos de satisfacer las necesidades de la humanidad.

Se estudian las tecnologías alámbricas e inalámbricas existentes en la actualidad y sus características así como los protocolos de comunicación y su aplicación en la agricultura moderna, lo que revela las posibilidades de su uso para el perfeccionamiento de los sistemas de riego, a los efectos de lograr un mayor rendimiento de los cultivos y aprovechamiento del agua.

CAPÍTULO 2. Análisis del Centro de Bioplantas

En este capítulo se hace una breve caracterización de los sistemas de riego del Centro de Bioplantas, su estación experimental y sus casas de cultivos. Se describen los principales dispositivos de instrumentación y control que conforman la estructura del hardware a utilizar en la propuesta del Sistema de comunicación para la supervisión y control de riego del Centro de Bioplantas. Se realiza la selección de los componentes a utilizar en dicha propuesta y se visualizan los mismos.

2.1 Caracterización del sistema de riego del Centro de Bioplantas

El Centro de Bioplantas, fundado en 1991, es una institución científica adscrita a la Universidad de Ciego de Ávila y al servicio de la sociedad, que tiene la misión de desarrollar, aplicar y ofrecer tecnologías de avanzadas, productos biotecnológicos de alta calidad y asistencia técnica en el marco de la biotecnología vegetal.

La automatización de procesos tecnológicos en este centro comenzó a finales de la década de los 90, con la introducción de sistemas de riego automatizados para las casas de cultivo, en especial para las primeras fases de climatización o adaptación de vitroplantas a las condiciones naturales.

En la actualidad el Centro de Bioplantas posee un sistema de riego que está conformado principalmente por riego de micro-aspersión, los cuales carecen de un control automatizado de los recursos hídricos, abonos, fertilizantes, variables como la humedad relativa y la temperatura a que están sometidos los cultivos; sin embargo, no es el único sistema de riego que emplea, también cuenta con riego por goteo y riego aéreo, en las casas de cultivo tapado.

En el Anexo I, se muestra un esquema que representa la disposición de los equipos de riego en el área de escalado del Centro de Bioplantas. Como se puede observar, la distribución del riego incluye diferentes tecnologías y áreas de riego. En algunos casos, estas áreas se encuentran muy distantes de la cobertura de comunicaciones inalámbricas Wi-Fi (del inglés, *Wireless Fidelity*) que brinda el Centro, o presentan obstáculos de interés como calles transitables, tendido de alta tensión, entre otros.

Las áreas marcadas con el número 1 a la 4 pertenecen a la “casa gallega”, en las áreas 1 y 2 el riego se realiza por sistema aéreo, mientras que en las áreas 3 y 4 por micro-aspersión. Las áreas 5 y 8 son canteros al aire libre, que emplean riego por goteo. El área 6, es un túnel, el cual cuenta con un sistema de riego por nebulización; éste, es muy específico, dado que requiere de una columna de agua de más de 4 atmósferas. Lo cual compite con el riego en el resto de las áreas.

Por otra parte, se encuentran las áreas 7 y 10, ambas son casas de cultivo tapado con riego por micro-aspersión. El área 9, se corresponde con un cantero de germoplasma, el cual emplea riego por goteo, con intervalos más espaciados en el tiempo. Por último, queda el área 12, la cual es la casa de riesgos biológicos. Esta casa tiene requerimientos de manipulación muy específicos para garantizar el control biológico del Centro de Bioplantas, lo que exige el empleo de diversas técnicas de riego a la vez.

El Centro de Bioplantas también cuenta con una estación experimental, la “Tomás Roy”, ubicada en la parte posterior de la Universidad, a unos 1,110 metros de distancia del centro, lo cual impide la comunicación alámbrica o inalámbrica. Allí se emplea el riego por aspersión y cuenta con una máquina de pivote central, para el riego de grandes extensiones de cultivos (ver **Figura 2.1**).

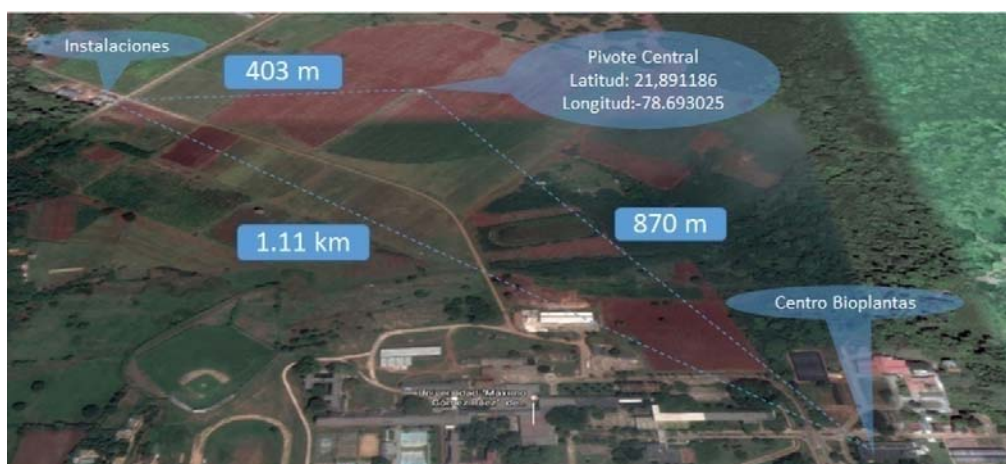


Figura 2.1 Esquema de localización del sistema de riego de pivote central de la estación experimental “Tomás Roy” del Centro de Bioplantas.

Como se puede observar entre el Centro y la estación de riego de pivote central media una distancia lineal de 870 metros aproximadamente. Sin embargo, el empleo de la comunicación cableada se ve afectada por obstáculos como calles transitables, laguna de oxidación, sembrados que son atendidos de forma mecanizada y la propia máquina de pivote central que tiene un movimiento circular y alcanza los cables de comunicaciones.

Además, el puesto de dirección de la estación experimental, se encuentra a poco más de 1,110 metros de distancia del Centro de Bioplantas y a 403 metros la máquina de pivote central.

2.1.1 Las casas de cultivos

Las casas de cultivos del Centro de Bioplantas tienen como objetivo proteger a las plantas de la incidencia de la alta radiación solar y de las fuertes lluvias, proporcionando una máxima aireación al cultivo, las que cuentan con un sistema de riego por micro aspersión el cual actualmente se activa de forma manual, no cuenta con un sistema de monitoreo para conocer la situación actual de los cultivos, la temperatura existente en el interior de las casas, el nivel de humedad relativa y no existe un control de los recursos hídricos que actúan sobre los cultivos (ver **Figura 2.2**).



Figura 2.2 Casa de cultivos del Centro de Bioplantas. En esta imagen, a la izquierda, se puede apreciar un sistema de riego por micro-aspersión aéreo.

2.1.2 La estación experimental

Como se dijo anteriormente, la estación experimental cuenta con un sistema de riego por pivote central el cual tiene como objetivo la producción de semillas básicas de frijol y maíz. También se riegan diferentes cultivos de interés, para la venta a los trabajadores del centro y otras empresas de la provincia. El sistema de riego por pivote central que está conformado por una estación de bombeo para el abastecimiento del agua, tiene tres tramos de 53.4 metros de largo cada uno para una longitud total de 180.36 metros, con un área de riego de 10.23 hectáreas y una velocidad máxima de 3.51m/min. Este sistema se activa de forma manual, no presenta un control de los recursos hídricos que se emplean sobre los cultivos, lo cual representa en gran medida problemas para la eficiencia y el ahorro de los recursos económicos y medioambientales (ver **Figura 2.3**).

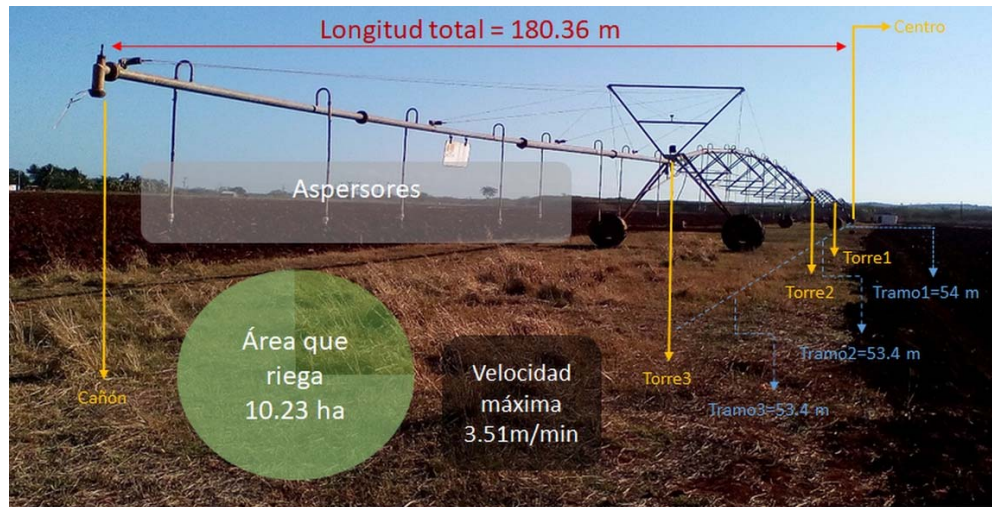


Figura 2.3 Sistema de riego de pivote central en la estación experimental.

2.2 Estructura de comunicación del Centro de Bioplasmas

El Centro de Bioplasmas cuenta con una red LAN (del inglés, *Local Area Network*) empresarial. La cual emplea un diseño de cableado estructurado, que sigue “la norma del EIA/TIA 568^a” [46]; la que define el cableado horizontal de la siguiente forma: “el sistema de cableado horizontal, es la porción del sistema de cableado de telecomunicaciones que se extiende del área de trabajo al local de los servidores o viceversa” [46].

La LAN del Centro de Bioplasmas, también cuenta con una red WLAN (del inglés, *Wireless Local Area Network*), sobre el estándar IEEE (del inglés, Institute of Electrical and Electronics Engineers) 802.11. La cual soporta los siguientes estándares: “IEEE 802.11b, IEEE 802.11g e IEEE 802.11n con velocidades de 11 Mbit/s, 54 Mbit/s y 300 Mbit/s, respectivamente” [37]. Esta red brinda una amplia cobertura en ambos pisos de la institución y en zonas aledañas a la misma. Pero no se extiende mucho más del área que ocupa el edificio, por lo que resulta insuficiente para garantizar las comunicaciones con los sistemas de riego.

Además del servicio de telefonía fija (par de cobre) y buena cobertura de la red móvil GSM/GPRS (del inglés, *Global System for Mobile Communications* y *General Packet Radio Service*) en todo el perímetro de sus alrededores lo que hace viable utilizar cualquiera de estas redes como medio de comunicación para la supervisión

y control de los sistemas automáticos necesarios para la implementación del sistema de riego inteligente.

La Estación Experimental se encuentra distante del Centro de Bioplantas lo que dificulta la conexión cableada Ethernet. Para la realización del bombeo el pivote está alimentado de la red electro-energética nacional. Dado que en esta zona se presenta buena cobertura de la red de telefonía celular, se propone realizar la comunicación mediante el empleo de la red móvil GSM/GPRS (del inglés, *Global System for Mobile Communications y General Packet Radio Service*).

Por otra parte, las casas de cultivos se encuentran relativamente próximas al Centro de Bioplantas donde se puede realizar la conexión cableada, pero debido a la existencia de calles, aceras, registros hidráulicos y tuberías de gas entre el edificio principal y dichas casas de cultivo, los costes de canalización, mano de obra y equipamiento serían elevados, por lo cual se decide emplear la red de telefonía móvil GSM/GPRS (del inglés, *Global System for Mobile Communications y General Packet Radio Service*) como una alternativa menos costosa y factible.

2.3 Estructuras de los sistemas de riego inteligente

Los sistemas de riego inteligentes están formados por sensores que son capaces de captar los cambios ocurridos cerca de las plantas y de responder casi instantáneamente ante estos cambios manteniendo a la planta en las mejores condiciones y ahorrando agua [24].

Un sistema de riego inteligente recogerá, en el momento de regar, los datos necesarios del terreno y tomará una decisión del tiempo de riego acorde con ello. De esta forma se tendrá una estimación de las necesidades hídricas muy realista (dependiendo, por supuesto, de la calidad del sistema). Además como el sistema normalmente revisará su decisión durante el riego, se podrá modificar el tiempo determinado de forma dinámica con las ventajas obvias que esto supone, cosa que cualquier otro sistema no puede conseguir, ya que una vez decidido el tiempo se riega hasta completarlo [24].

2.3.1 Estructura del hardware de la propuesta

El *hardware* se conforma por los sensores, que son los encargados de captar las variaciones existentes en el campo y los actuadores de activar o desactivar las electroválvulas del riego, en el caso de la Estación Experimental esta cuenta con un módulo guarda motor el cual apaga o enciende el motor del pivote en dependencia de las órdenes recibidas, además tiene presente una estación meteorológica. Todos estos componentes anteriormente mencionados envían constantemente información a los autómatas, que estos presentan conectado un módulo de comunicación GSM/GPRS (del inglés, *Global System for Mobile Communications and General Packet Radio Service*) (en este caso es un modem), que envía dicha información hasta el Centro de Bioplantas donde se encuentra una PC (del inglés, *Personal Computer*) con un sistema de supervisión SCADA (del inglés, *Supervisory Control And Data Acquisition*) donde se guardan todos los datos recogidos, lo que propicia tomar decisiones en tiempo y más eficientes. La siguiente estructura se representa por niveles definidos por el autor (ver **Figura 2.4**), donde:

- **Nivel 1:** se corresponde con los sensores, actuadores y dispositivos de medición.
- **Nivel 2:** aquí se encuentran los PLC y los Modem.
- **Nivel 3:** se encuentra el sistema SCADA y las aplicaciones que interactúan con el sistema de riego.

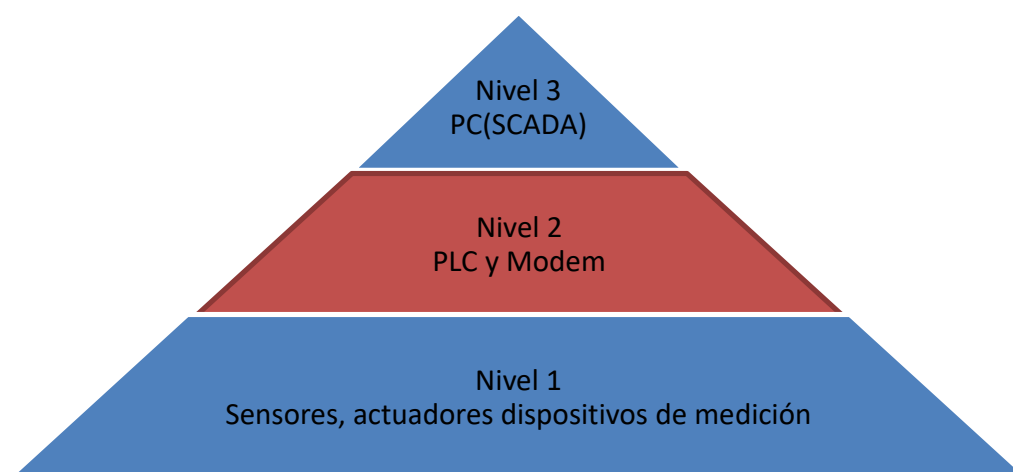


Figura 2.4 Estructura por niveles del hardware propuesto.

2.3.1.1 Nivel 1

Un **sensor** es un dispositivo que está capacitado para detectar acciones o estímulos externos y responder en consecuencia. Estos aparatos pueden transformar las magnitudes físicas o químicas en magnitudes eléctricas.

Existen diferentes tipos de sensores como por ejemplo:

- Los sensores de humedad se aplican para detectar el nivel de líquido en un depósito, o en sistemas de riego de jardines para detectar cuándo las plantas necesitan riego y cuándo no.
- El sensor de temperatura, típicamente suele estar formado por el elemento sensor, de cualquiera de los tipos existentes, la cubierta que lo envuelve y que está rellena de un material muy conductor de la temperatura, para que los cambios se transmitan rápidamente al elemento sensor y del cable al que se conecta el equipo electrónico.
- Los sensores de presión o transductores de presión son elementos que transforman la magnitud física de presión o fuerza por unidad de superficie en otra magnitud eléctrica que será la que se emplea en los equipos de automatización o adquisición estándar.
- Los sensores de flujo, también conocidos como "detector de flujo" o "interruptor de caudal" son equipos para monitoreo de fluidos en tuberías y funcionan con el desplazamiento de un pistón magnético que indica el aumento o disminución del flujo de líquido.

Una **estación meteorológica** es una instalación destinada a medir y registrar regularmente diversas variables meteorológicas. Estos datos se utilizan tanto para la elaboración de predicciones meteorológicas a partir de modelos numéricos como para estudios climáticos.

2.3.1.2 Nivel 2

Un **PLC**(del inglés, *Programmable Logic Controller*) es una forma especial de control basado en un microprocesador que utiliza memoria programable para almacenar instrucciones y ejecutar funciones tales como lógica, secuenciación, contar y

aritmética con el fin de controlar las máquinas y procesos [47]. Los PLC (del inglés, *Programmable Logic Controller*) son similares a las computadoras, pero mientras que los ordenadores están optimizados para tareas de cálculo y visualización, estos están optimizados para tareas de control y para el medio ambiente industrial, son resistentes y diseñados para soportar vibraciones, variaciones de temperatura, humedad y ruido.

Un **módem** GSM/GPRS (del inglés, *Global System for Mobile Communications and General Packet Radio Service*), es un dispositivo inalámbrico que funciona con redes GSM. Este envía y recibe datos a través de ondas de radio, puede ser una unidad externa o una tarjeta PCMCIA (del inglés, *Personal Computer Memory Card International Association*) (también llamada tarjeta de PC). Un módem GSM externo está conectado a una PC mediante un cable serie, un cable USB (en inglés: *Universal Serial Bus*), Bluetooth o infrarrojos. Al igual que un teléfono móvil GSM, un módem GSM requiere una tarjeta SIM de un operador de telefonía móvil con el fin de operar [48].

Este dispositivo se basa en una tecnología de conmutación de paquetes. Una de las ventajas de GPRS a través de GSM /GPRS es que tiene una velocidad de transmisión de datos mucho más alta. Si se utiliza SMS sobre GPRS, se puede lograr una velocidad de transmisión de SMS de alrededor de 30 mensajes SMS (del inglés, *Short Message Service*) por minuto. Esto es mucho más rápido que el SMS (del inglés, *Short Message Service*) a través de GSM. Se requiere un módem GPRS para enviar y recibir SMS (del inglés, *Short Message Service*) a través de GPRS. Algunos proveedores de servicios inalámbricos no soportan el envío y recepción de SMS (del inglés, *Short Message Service*) a través de GPRS [48].

2.3.1.3 Nivel 3

Personal Computer son máquinas capaces de efectuar una secuencia de operaciones mediante un programa, de tal manera, que se realice un procesamiento sobre un conjunto de datos de entrada, obteniéndose otro conjunto de datos de salida.

En el nivel 3 se utilizan ordenadores personales los cuales presentan un software supervisor SCADA.

Un sistema **SCADA** (del inglés, *Control Supervisor y Adquisición de Datos*) es una aplicación o conjunto de aplicaciones de software especialmente diseñadas para funcionar sobre ordenadores de control de producción, con acceso a la planta mediante la comunicación digital con instrumentos y actuadores, e interfaz gráfica de alto nivel para el operador [49].

Este sistema permite comunicarse con los dispositivos de campo controladores autónomos, autómatas programables, sistemas de dosificación y otros. Para controlar el proceso en forma automática desde la pantalla del ordenador, que es configurada por el usuario y puede ser modificada con facilidad. Además, provee a diversos usuarios de toda la información que se genera en el proceso productivo [49].

2.3.2 Estructura del sistema de comunicación propuesto.

Partiendo de las arquitecturas descritas en el epígrafe 2.1.1 y el epígrafe 2.1.2 el sistema de comunicación propuesto está conformado por: sensores y actuadores que se conectan a los autómatas mediante cable, no siendo así para la estación meteorológica que se conecta mediante un cable Ethernet. Los autómatas los cuales poseen incorporado un módem GSM/GPRS logran la comunicación con el nodo central a través de la red de ETECSA y viceversa (ver **Figura 2.5**).

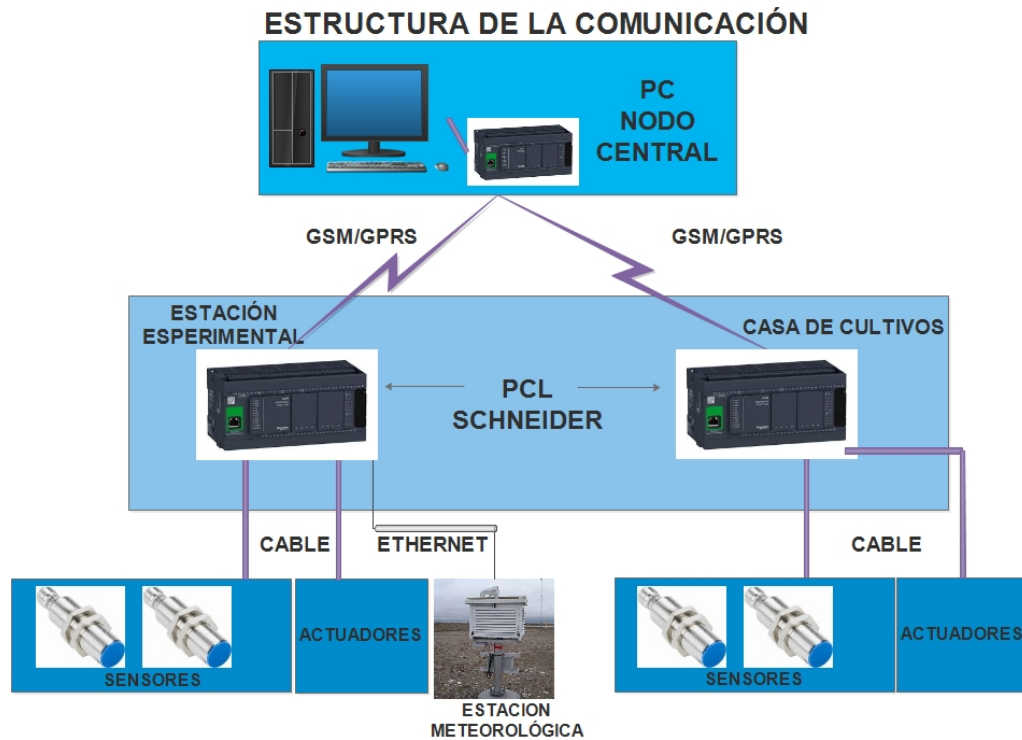


Figura 2.5 Estructura del sistema de comunicación propuesto.

2.4 Diseño del sistema de comunicación propuesto

Para el diseño del sistema de comunicación, se cuenta con una red heterogénea. Lo cual significa que existe una amplia variedad de tecnologías que hacen que en una misma red se puedan encontrar elementos de gran cantidad de fabricantes que deben operar entre sí. El uso de diferentes tecnologías permite aumentar los servicios ofrecidos por la red y que sus explotadores puedan maximizar el rendimiento de sus inversiones. El desarrollo de las redes heterogéneas ha provocado la existencia de sistemas de gestión de red de muy diversa naturaleza, o sea han llevado a la gestión heterogénea.

La gestión integrada o normalizada surge como respuesta de los organismos internacionales de normalización a los problemas de la gestión heterogénea. Teóricamente la gestión heterogénea permite la interconexión, de una manera abierta, de los elementos de la red y las aplicaciones de gestión. Un ejemplo destacado de gestión heterogénea lo constituye la norma RGT que fue introducida por la UIT-T () para facilitar el desarrollo de entornos de gestión distribuidos y

heterogéneos. RGT define una serie de funciones de gestión y áreas funcionales lo cual permite un desarrollo modular de las herramientas de gestión dando opciones para que se puedan elegir las funciones de gestión que se necesiten en cada momento.

En el plano de usuario u operador de red, multiplicidad de interfaces de usuario implica la necesidad de conocer perfectamente todos y cada uno de los sistemas de gestión que se deben utilizar. Desde el punto de vista de la integración de sistemas, la incompatibilidad entre datos de gestión, protocolos, etc., hace que se tenga dificultad en el cumplimiento del supuesto de que la gestión de redes sea efectiva en costo.

La gestión integrada o normalizada se basa en el uso de diferentes modelos y arquitecturas desarrollados por diferentes organismos de estandarización internacionales. La misma, permite la interconexión, de una manera abierta, de los elementos de la red y las aplicaciones de gestión [48].

El objetivo de los modelos normalizados de gestión integrada es posibilitar el acceso uniforme a los recursos gestionados. Se trata de normalizar como los gestores se refieren a las propiedades de gestión de los recursos y como estos transmiten información de gestión a los gestores. Se normalizan:

- Las comunicaciones.
- La información de gestión.

Son la base de la gestión integrada o normalizada. Los sistemas gestores deben conocer las propiedades de gestión de los elementos gestionados: su nombre, sus propiedades visibles, y formato de las respuestas.

Para el diseño del sistema de comunicaciones propuesto, se tomó como referencia el modelo **OSI** (del inglés, *Open System Interconnection*).

2.5 Selección de componentes

A partir de las características de cada lugar y teniendo en cuenta el tipo de sistema de riego se determina utilizar los siguientes componentes, Se esclarece que los

componentes de este sistema pueden variar en dependencia de las necesidades, de los autómatas disponibles, así como de la exactitud de las mediciones que se necesiten en el lugar donde se vaya implementar la propuesta.

Autómata o PLC

El autómata que se utiliza en los diferentes lugares, es el PLC M241CE24R de Schneider Electric (ver **Figura 2.6**). Se escoge este autómata debido a que Schneider Electric es una prestigiosa compañía Europea que opera a nivel mundial la cual se especializa en el control de la energía y automatizaciones industriales (www.schneider-electric.com). Esta compañía tiene una oficina comercial situada en La Habana la cual opera exitosamente en nuestro país.



Figura 2.6 Controlador Lógico Programable M241CE24R

Módem GSM/GPRS

Se selecciona el módem SR2 MOD02 el cual es fabricado por Schneider Electric, este trabaja en las bandas de 850/900/1800/1900 MHz, lo que significa que ser utilizado en nuestro país, presenta un alimentación de +5.5 a +32 VDC, (ver

Figura 2.7), más datos del módem (ver Anexo III).



Figura 2.7 Módem SR2MOD02

Medición de temperatura y humedad

El sensor de temperatura / humedad lleva un transductor 0-10V incorporado y puede ser conectado a cualquier dispositivo que pueda manejar una señal estándar de 0-10V. Presenta una carcasa robusta que lo hace perfecto para exteriores (ver **Figura 2.8**). Este sensor tiene como características:

- Rango de humedad 0 a 100% humedad relativa.
- Precisión: +/-2% humedad relativa.
- Tiempo de respuesta aproximadamente de 8 sec.
- Rango temperatura de -30 a +70°C
- Precisión: 0,3°K
- Tensión de alimentación: 15-36V DC / 24V AC



Figura 2.8 Sensor de temperatura y humedad

Estación meteorológica

La estación que se adquirió fue la Davis Vantage Pro2™. Es una estación profesional que ofrece a los observadores meteorológicos profesionales y

aficionados a la meteorología, funcionalidad robusta y una extensa gama de opciones y sensores. Genera un pronóstico local, máximos y mínimos, totales o promedios y gráficos para casi todas las variables meteorológicas, durante los últimos 24 días, meses o años, sin necesidad de una computadora.

Vantage Pro2 utiliza una radio Spread Spectrum con salto de frecuencia para transmitir y recibir datos a distancias de hasta 1000 pies (300 m) de línea visual directa (ver Figura 2.9).



Figura 2.9 Estación meteorológica Davis Vantage Pro2™

Davis Vantage Pro2 puede personalizarse con una extensa gama de opciones adicionales, como sensores de radiación solar y ultravioleta, estaciones de humedad del suelo y repetidores de corto y largo alcance.

Características:

- Pantalla LCD retroiluminada de gran tamaño, de 3½" × 6" (9 × 15 cm)
- Opciones disponibles para humedad del suelo, repetidores de corto y largo alcance, y muchas funciones más.
- Actualizaciones rápidas, cada 2.5 segundos (10 veces más rápido que los productos de la competencia).
- La opción de software y registrador de datos Weather Link permite realizar gran variedad de análisis adicionales.
- Transmisión inalámbrica entre la estación y la consola, a distancias de hasta 1000 pies (300 m) (tres veces más lejos que otros productos comerciales).

Informes que brinda:

- Más datos meteorológicos, ve la información meteorológica que no está disponible en la consola, como los grados-día de calentamiento, los grados-día de enfriamiento y el consumo de combustible.
- Informes de sensores opcionales. Si cuenta con sensores opcionales de radiación ultravioleta y solar, obtiene detalles de riesgos de quemaduras solares y energía solar.
- Fase lunar. Con Vantage Pro2 y Vantage Vue, puede verse la fase de la luna en la consola. Ahora, los propietarios de Perception y Weather Wizard III también pueden ver las fases lunares con Weather Link.

Almacenamiento y transferencia de datos

- Intervalo de almacenamiento seleccionado por el usuario. Selecciona intervalos de 1, 5, 10, 15, 30, 60 ó 120 minutos. Almacena hasta seis meses de datos, según el intervalo de almacenamiento. (Hasta cuatro meses para Percepción o WeatherWizard III.)
- Modelos de registradores de datos estándar. Registra y almacena datos incluso cuando el registrador no esté conectado a la computadora. Transfiere datos con la frecuencia que quiera o deje el software funcionando para que se transfieran automáticamente todos los días.
- Modelo de protocolo de Internet. El modelo más reciente permite ver sus datos meteorológicos en Internet en cuestión de minutos. No se requieren habilidades de creación de páginas web ni complicados pasos de configuración.
- Modelos de salidas de alarma y control de riego. Incluye registrador de datos estándar y un bloque conector que le permite establecer una conexión con un sistema de riego o con un calentador, ventilador u otro aparato.
- Modelos de registradores de datos de transmisión continua. Envía un flujo constante de datos a una computadora o a una radio a través de un módem TNC.

Transmisor de presión S-10

Este transmisor es adecuado para la mayoría de las aplicaciones de instrumentación de presión industrial. Los modelos se destacan por su alta precisión, su construcción robusta y compacta y su flexibilidad para su adaptación a variadas tareas de medición. La gran variedad de conexiones mecánicas y eléctricas permiten ofertar una amplia gama de variantes. Los instrumentos se alimentan con una fuente de tensión continua no estabilizada de 10 - 30 V y proporcionan las señales de salida habituales en la instrumentación (ver **Figura 2.10 Sensor de presión S-10**).

Presenta como características:

- Rangos de medición desde 0... 0,1 bar a 0... 1.000 bar.
- Varios tipos de señalización habituales en la industria.
- Conexión con conector o salida de cable.
- Amplia gama desde almacén con entrega inmediata.
- Resistente al vacío.



Figura 2.10 Sensor de presión S-10

2.6 Conclusiones parciales

Se realiza una caracterización de los sistemas de riego existentes en las casas de cultivos y Estación Experimental del Centro de Bioplasmas en Ciego de Ávila, que está conformado principalmente por riego de micro-aspersión, riego por goteo y riego aéreo en las casas de cultivo tapado.

Los sistemas de riego existentes en el centro de Bioplantas carecen de un sistema de comunicación, los medios de adquisición de datos, sensores y autómatas, que permita conocer el estado real de los cultivos y mantener una regulación adecuada en la aplicación del agua y otros productos.

Las áreas donde se encuentran ubicadas la Estación Experimental y las Casas de Cultivos están distantes del Centro y existen obstáculos entre los mismos lo que dificulta la cobertura de la comunicación Wifi y el empleo de la comunicación cableada.

Por todo ello, se estudia la propuesta de un sistema de comunicación y la estructura del hardware que facilite estas acciones y de acuerdo a las condiciones reales de la zona se selecciona como medio de comunicación inalámbrica la red de telefonía celular GSM-GPRS.

CAPÍTULO 3. Resultados y discusión

En el presente capítulo se muestra el esquema general del sistema de comunicaciones, así como un análisis económico de los materiales necesarios para la automatización del proyecto. También se realizan pruebas para la validación de la comunicación mediante una simulación en el laboratorio.

3.1 Estructura general de la comunicación

Después de haber analizado la estructura del hardware, la estructura de la comunicación y de haber seleccionado los componentes a utilizar, la estructura general del sistema de comunicación queda de la siguiente forma (ver **Figura 3.1**):

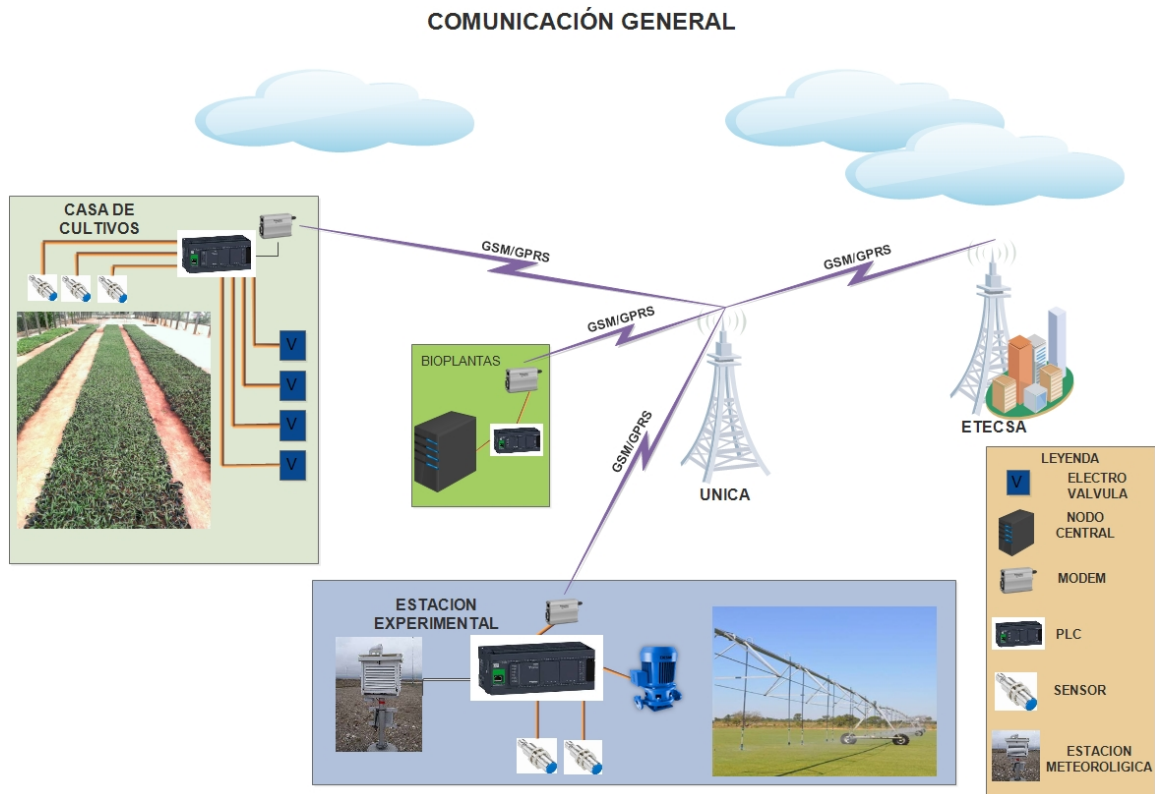


Figura 3.1 Estructura general de la comunicación

3.1.1 Estructura de comunicación en la estación experimental.

En la estación experimental se utiliza un autómata de tipo m241 (ver **Figura 2.6**) el cual va a contar con un módulo analógico para conectar los sensores de presión, un módulo motor, guarda motor para el motor del pivote, presenta un módulo Ethernet para la conexión de la magelis (Pantalla táctil para interactuar con el PLC) y la estación meteorológica, un módem GSM/GPRS para la transmisión de los datos recogidos (ver **Figura 3.2**).

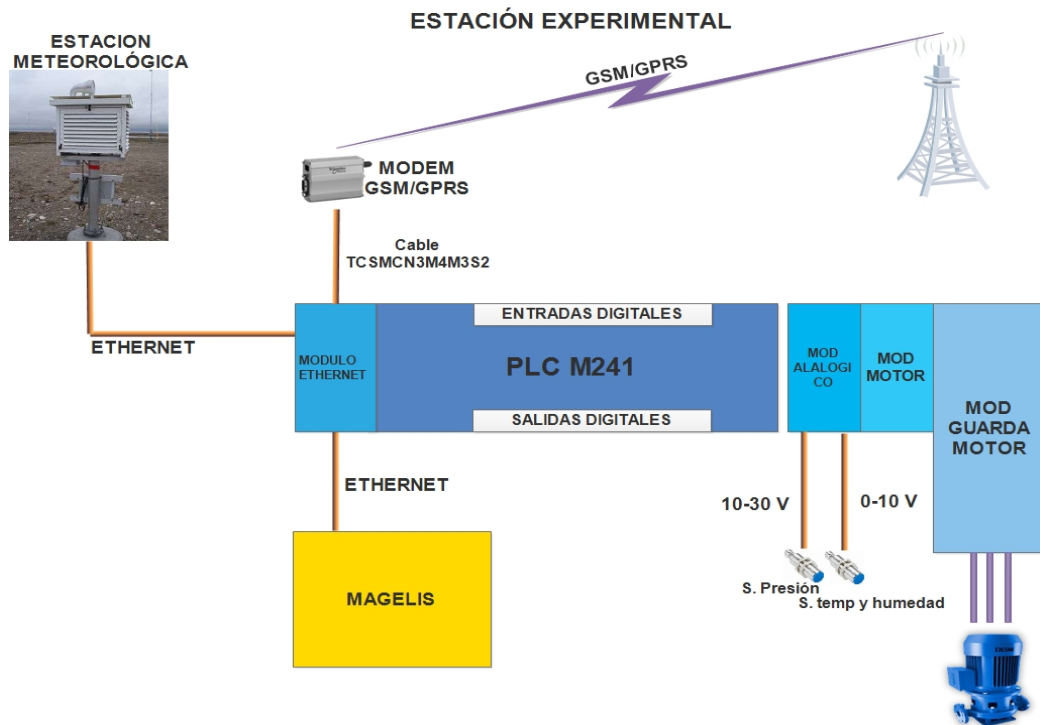


Figura 3.2 Estructura de comunicación en la estación experimental

3.1.2 Estructura de comunicación en la casa de cultivos

En la casa de cultivos se utiliza un autómata de tipo m241ce24r, que posee módulo analógico donde se conectan los sensores de humedad, temperatura y presión, presenta un módulo de red Ethernet para la conexión de la magelis y un módem GSP/GPSR para la transmisión de los datos recogidos (ver **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.3**).

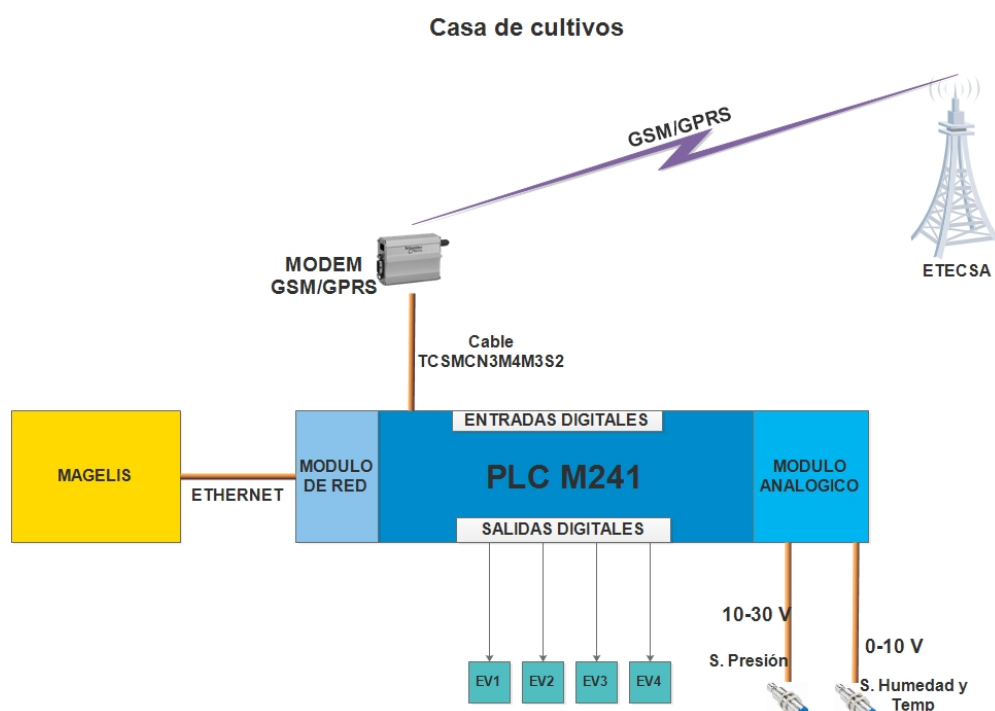


Figura 3.3 Estructura de comunicación en la casa de cultivos

3.2 Validación de la comunicación

Para realizar la validación de la propuesta de comunicación, se emplea un autómata M241 de Shneider Electric, el cual posee incorporado un módulo Ethernet, un módulo de entrada y salida analógicas para la conexión de los sensores u otros dispositivos, una barra de conmutadores los cuales simulan entradas digitales, además tiene incorporado un módulo guarda motor para el control del motor presente en la Estación Experimental. Se cuenta con un sensor de temperatura PT100 el cual tiene su transmisor y entrega una corriente de 4-20 mA, también se cuenta con una fuente de voltaje para la simulación de la temperatura y humedad (ver **Figura 3.5**), estos sensores entregan un voltaje de 0-10Volt y para simular la conexión inalámbrica GSM/GPRS se utiliza un módulo de conexión wifi puesto que no se cuenta con el modem GSM/GPRS (ver **Figura 3.4**). También se cuenta con una PC portátil (ver **Figura 3.6**) y un *smartphone* para visualizar de forma inalámbrica la página web con los cambios tomados por los sensores.

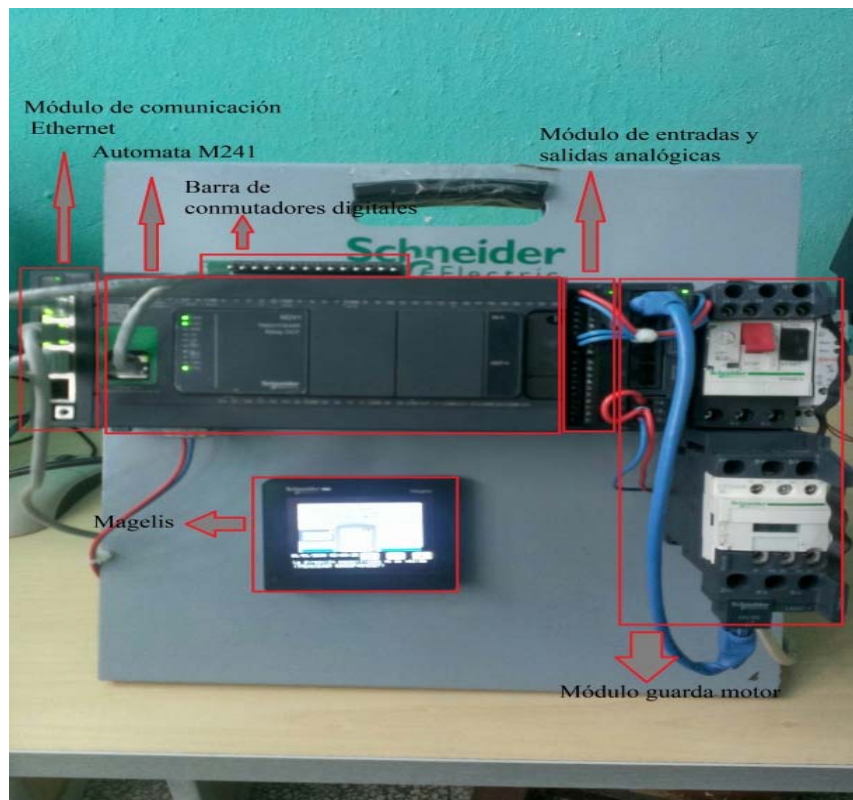


Figura 3.4 Maqueta de Schneider Electric con PLC M241 y sus componentes



Figura 3.5 Fuente de alimentación que se emplea en la prueba de comunicación

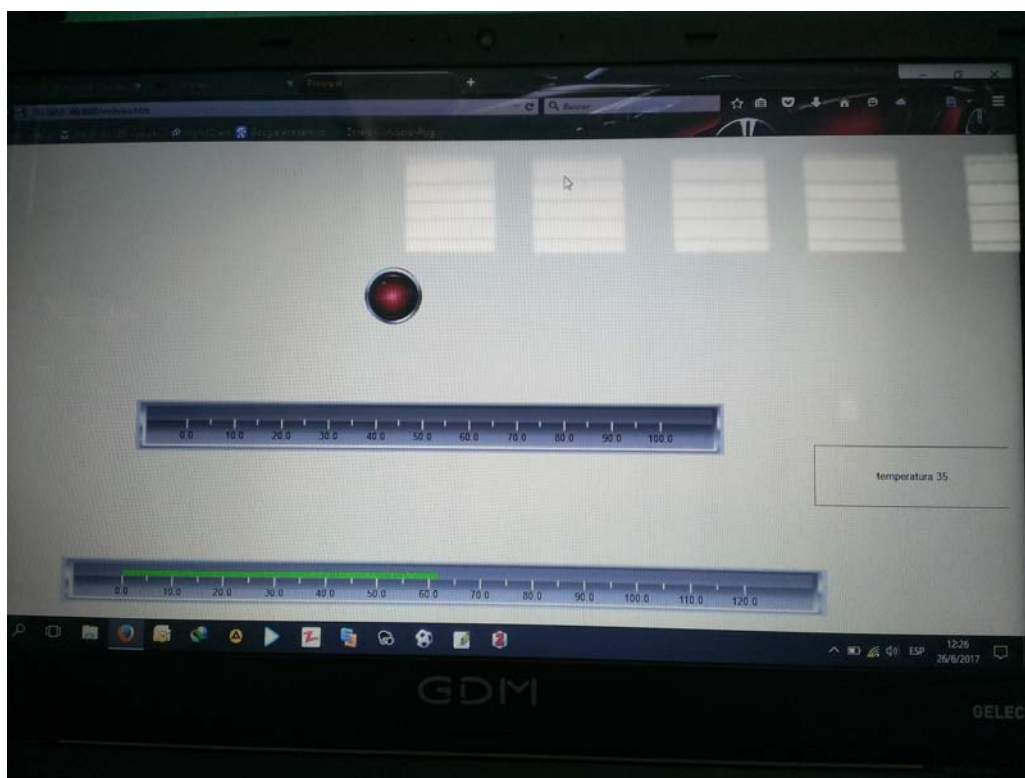


Figura 3.6 Pantalla de la PC con los datos obtenidos por los sensores

3.3 Análisis económico y de costos

En la comunicación entre la PC y los Automatas se emplea la red GSM/GPRS. El servicio de transmisión de datos GPRS es a través del proveedor de servicios, en este caso ETECSA, donde el cliente (Centro de Bioplasmas de Ciego de Ávila) debe pagar una cuota mensual según el tráfico de datos (el cual se estima que oscile alrededor de 15 MB pagando como renta mensual 15 CUC) a dicho proveedor de servicios (ver Tabla 3.1).

Tabla 3.1 Tarifa de GPRS según el tráfico de datos

Acceso a redes corporativas	Cuota de activación	Renta mensual	Volumen incluidos	Volumen adicional
Datos 3	Libre de costo	5.00 USD	3 MB	1.50 USD/MB
Datos 15		15.00 USD	15 MB	1.00 USD/MB
Datos 50		30.00 USD	50 MB	0.50 USD/MB
Datos 200		60.00 USD	200 MB	0.50 USD/MB

En el siguiente cuadro se hace una revisión de los precios de los componentes necesarios para el proyecto (ver Tabla 3.2; **Error! No se encuentra el origen de la referencia.**).

Tabla 3.2 Precios de los componentes

Componente	Cantidad	Precio(euros)
HMI Magelis tipo S5T	2	414
PLC M241CE24R	3	864
Módulo TM3TI8T	2	340
Cable módem-plcTCSMCN3M4M3S2	2	141.82
Cable módem-pc-SR1CBL03	1	31.25
MódemSR2MOD03	3	1279.08
Fuente de 24V	2	290
Breaker	2	298
Cables y accesorios	-	200
Sensor de humedad y temperatura	2	350
Transmisor de presión S-10	1	390
Estación meteorológica	1	1612.21
Total	-	6210.36

3.4 Estudio de viabilidad.

El análisis de viabilidad del proyecto es indispensable, aquí se define si el sistema a implementar es o no rentable, evitando así la pérdida de tiempo y gastos de recursos innecesarios.

En la fase inicial, se realizan toda una serie de pasos con vista a establecer un criterio de viabilidad del proyecto, lo cual es esencial para poder asumirlo o no:

- Se identifican y eliminan los riesgos críticos para la elaboración del sistema.
- Se analiza y diseña una arquitectura candidata, a partir del desarrollo de un subconjunto clave de requerimientos.
- Se realiza una estimación inicial de coste, esfuerzo, calendario y calidad del producto con amplios límites.

La viabilidad y el análisis de riesgos están relacionados, dado que, si el riesgo del proyecto es alto, la viabilidad de producir software de calidad se reduce, para lo cual se tuvo en cuenta la esfera:

Económica: El producto desarrollado posee un balance económico favorable basado en su relación costos-beneficios y teniendo en cuenta el impacto en su función final. La ejecución de este producto no requiere la realización de inversiones iniciales. Los recursos necesarios para la implementación del mismo existen en las manos del ejecutor y de los usuarios.

Técnica: Tanto desarrolladores como usuarios finales del sistema propuesto cuentan con tecnologías necesarias para su confección y posterior ejecución. Además, por la importancia del proyecto atribuida principalmente, a la mejora del intercambio de información entre los diferentes dispositivos que integran la red de riego del Centro de Bioplantas, se considera el mismo técnicamente factible.

3.5 Conclusiones parciales

Después de seleccionar todos los componentes necesarios para lograr la comunicación deseada y de haber realizado las pruebas competentes a nivel de laboratorio para su validación, se presenta de forma general la propuesta del sistema de comunicación, para su implementación en las áreas de la estación experimental y las casas de cultivos del Centro de Bioplantas en Ciego de Ávila.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

Con el estudio diagnóstico de los sistemas de riego del Centro de Bioplantitas en Ciego de Ávila, se logra conocer la situación actual de éstos, en cuanto a su tipo, características, ubicación geográfica y modo de explotación, estos datos nos dan la posibilidad de seleccionar la base técnica necesaria y la instrumentación a emplear en el sistema de comunicaciones propuesto.

Dado que la Estación Experimental y las Casas de Cultivos están distantes del Centro de Bioplantitas se emplea como solución para garantizar la comunicación entre estas la red GSM/GPRS de ETECSA.

Por ello se diseña un sistema de comunicación para la supervisión y control de riego que se basa en el empleo de la red de dato GSM/GPRS, proporcionado por la empresa telefónica ETECSA.

A modo de validación del sistema de comunicaciones propuesto, se realiza un análisis económico del mismo, en cuanto a los costos de inversión y mantenimiento en funcionamiento del sistema. El estudio de viabilidad tanto económica como técnica y la prueba de laboratorio realizada, demuestra que el sistema propuesto puede ser implementado.

Recomendaciones

- ✓ Implementar esta propuesta en el Centro de Bioplasmas de Ciego de Ávila.
- ✓ Extender este proyecto a otras empresas agrícolas de la provincia o el país.
- ✓ Explorar la aplicación de la comunicación GSM/GPRS en otros campos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] M. A. Muñoz-García, J. L. García Fernández, and L. Luna Sánchez, "Agricultura y telefonía móvil, mucho campo que explotar," *Vida rural*, 2006.
- [2] M. Alonso de la Varga, D. Bartolomé Rodríguez, J. García García, S. Olmedo de la Cruz, A. Tovar, and V. Gaudioso Lacasa, "Aplicación de las Nuevas Tecnologías GPS-GPRS para el estudio del comportamiento y mejora de la producción de la raza de lidia," *Jornadas Ibéricas de razas autóctonas y sus productos tradicionales: ganadería ecológica (4ª. 2007. Sevilla)(2007)*, p 101-106, pp. 101-106, 2007.
- [3] F. Wang and P. Feng, "Design of Intelligent Irrigation Monitoring System Based on GPRS and Zigbee," *Asian Agricultural Research*, vol. 7, p. 97, 2015.
- [4] A. D. d. I. O. Sergio Ricardo-Desdín, Yanelis Acebo Guerrero, Narovis Rives Rodríguez, Michel Almaguer Chávez y Annia Hernández Rodríguez, "Empleo del sistema de posicionamiento global (GPS) en el manejo de ecosistemas agrícolas sostenibles," *Ciencias de la Tierra y el Espacio*, vol. 11, pp. 69-75, 2010.
- [5] L. F. Fernández, "Propuesta de diseño de red de sensores inalámbricos para la programación del riego en la caña de azúcar," pp. 1-95, 2016.
- [6] O. d. A. Chao, "Propuesta de red de comunicación para las infraestructuras hidráulicas en la ciudad de Santa Clara ", Departamento de Telecomunicaciones y Electrónica, Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas, Villa Clara, 2013.
- [7] R. S. Rivas, "Tecnología GPS agiliza el levantamiento topográfico y nivel de los suelos aroceros," *Granma*, p. 3, 2017.
- [8] L. E. Camejo, L. S. Duarte, J. L. Companioni, and P. Paneque, "Tecnología de riego y fertirrigación en ambientes controlados," *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, vol. 19, pp. 95-97, 2010.
- [9] J. Pérez de Ciriza Gainza, "Agricultura de precisión," ed: ITGA. Navarra Agraria. Pág, 2001.
- [10] A. L. Fidalgo, L. L. González, J. S. Brandariz, and X. C. González, "Redes de Sensores sin Cables para Agricultura de Precisión en Regiones Minifundistas," ed: Conama, 2010.
- [11] P. Kreimer, "Las Tic en la Agricultura de Precisión," *Centro de Difusión de Tecnologías. CEDITEC-UPM. España*, 2003.
- [12] J. Huidobro, "Tecnologías de información y comunicación," *Universidad Politécnica de Madrid*, p. 2, 2007.
- [13] E. García and F. Flego, "Agricultura de precisión," *Revista Ciencia y Tecnología. Recuperado de [http://www.palermo.edu/ingenieria/Ciencia_y_tecnologia/ciencia_y_tecnologia/tecnologia_8.html](http://www.palermo.edu/ingenieria/Ciencia_y_tecnologia/ciencia_y_tecnologia/tecnologia/tecnologia_8.html)*, 2008.
- [14] I. J. Ezcaray Borda, "Agricultura de precisión: elaboración de mapas de consumo y resbalamiento," 2012.

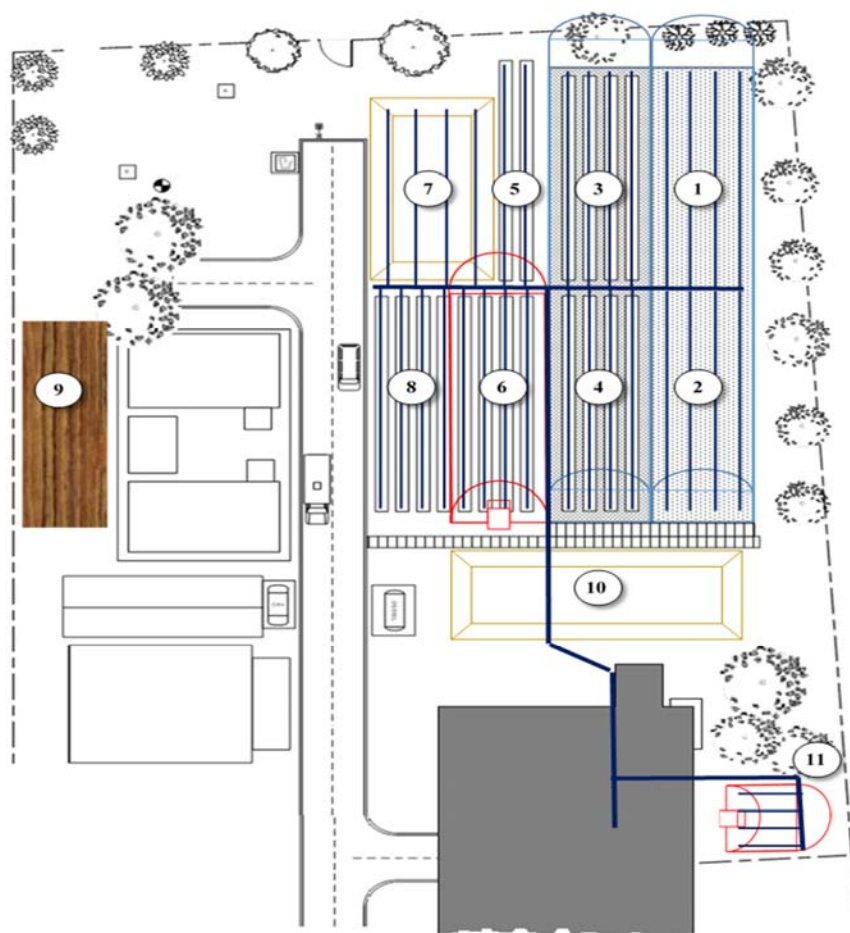
- [15] G. Mercado, R. Borgo, F. Gonzalez Antivilo, G. Ortiz Uriburu, A. Diedrichs, P. Farreras, *et al.*, "RED SIPIA: Red de Sensores Inalámbricos para Investigación Agronómica," in *XIII Workshop de Investigadores en Ciencias de la Computación*, 2011.
- [16] M. Mocanu, V. Cristea, C. Negru, F. Pop, V. Ciobanu, and C. Dobre, "Cloud-based architecture for farm management," in *Control Systems and Computer Science (CSCS), 2015 20th International Conference on*, 2015, pp. 814-819.
- [17] R. Ortega, L. Flores, C. Q. INIA, D. de Recursos Naturales, and M. Ambiente, "Agricultura de Precisión: Introducción al manejo sitio-específico," *Ministerio de Agricultura, Instituto de investigaciones agropecuarias. CRI Quilamapu.(Chile)*, pp. 13-46, 1999.
- [18] V. M. Álvarez and M. S. García, "2. Sistemas de automatización y control en la modernización de regadíos," *Automatización y telecontrol de sistemas de riego*, p. 17, 2010.
- [19] L. S. Pereira, J. d. J. VALERO, M. R. P. Buendía, and J. MARTÍN-BENITO, "El riego y sus tecnologías," *Albacete: CREA-UCLM*. 296p, 2010.
- [20] P. Gómez Pompa, "Riegos a presión, aspersión y goteo," 2015.
- [21] H. Flores-Gallardo, E. Sifuentes-Ibarra, H. Flores-Magdaleno, W. Ojeda-Bustamante, and C. R. Ramos-García, "Técnicas de conservación del agua en riego por gravedad a nivel parcelario," *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, vol. 5, pp. 241-252, 2014.
- [22] FAO, "Descubrir el potencial del agua para la agricultura," pp. 49-54, 2003.
- [23] C. GARCÉS-RESTREPO, "International E-mail Conference on Irrigation Management Transfer," in *Irrigation Management Devolution in Mexico. International E-mail Conference on Irrigation Management Transfer. FAO and INPIM*, 2001.
- [24] L. G. Salvador, M. MATA-GARCÍA, E. AGUDO, and F. RIVAS, "Sistema de Riego Inteligente Borroso," ed: Uiversidad Complutense de Madrid, 2007.
- [25] R. Sivakumar and N. L. ME, "Optimization of Water Use for Agriculture Using a Wireless Sensor Network and GPRS Module," *Optimization*, vol. 2, 2015.
- [26] M. Fernández Barcell, "Medios de transmisión," 2014.
- [27] D. Ojeda, "Diseño de una herramienta para monitoreo y análisis de eficiencia de los enlaces ADSL," *Revista de la Facultad de Ingeniería*, vol. 28, 2016.
- [28] S. Zubiarte and J. Luis, "Propuesta de diseño de una red via microonda para aplicaciones de seguridad y comunicación entre la Municipalidad y Agencias de servicio municipal en el distrito de Villa el Salvador," 2015.
- [29] C. Calderón-Ramón, J. Gómez-Aguilar, J. Escalante-Martínez, J. Laguna-Camacho, M. Cruz-Orduña, L. Morales-Mendoza, *et al.*, "Simulación computacional de una fibra óptica con índice escalonado y propagación multimodal," *Revista Mexicana de Física*, vol. 62, 2016.

- [30] L. J. R. Aragón, "Internet y Teleinformatica," abril 2013.
- [31] H. Zimmerman, "OSI Reference Model - The ISO Model of Architecture for Open Systems Interconnection," pp. 425-432, 1980.
- [32] A. M. A. T. Bharti, "OSI Reference Model," *International Journal*, vol. 4, 2014.
- [33] K. T. Hallstrom, "Organizing international standardization: ISO and the IASC in quest of authority," 2004.
- [34] G. Tolosa, "Protocolos y Modelo OSI," ed: Recuperado de <http://www.tyr.unlu.edu.ar/TYR-publica/02-Protocolosy-OSI.pdf>, 2014.
- [35] A. F. R. Olaya, A. B. López, and F. G. G. Moreno, "Implementación de una Red MODBUS/TCP," *Ingeniería y Competitividad*, vol. 6, pp. 35-44, 2011.
- [36] F. A. Candelas-Herías, "Comunicación con RS-485 y MODBUS," *Automatización Avanzada*, 2011.
- [37] P. J. Werchau and P. Nazar, "Estándar IEEE 802.11 X De Las WLAN," ed: Editorial de la Universidad Tecnológica Nacional–edUTecNe, http://www.edutecne.utn.edu.ar/monografias/standard_802_11.pdf, Fecha de consulta Marzo de, 2013.
- [38] G. L. Sparacino, "Tecnología inalámbrica bluetooth sobre los servicios de comunicaciones en los ámbitos social y empresarial," *TELEMATIQUE*, vol. 2, pp. 34-46, 2010.
- [39] J. Mayné, "Estado actual de las comunicaciones por radio frecuencia," *SILICA An Avnet Division Rev*, vol. 4, 2009.
- [40] J. W. Kijne, *Descubrir el potencial del agua para la agricultura*: Food & Agriculture Org., 2003.
- [41] I. Lita, I. B. Cioc, and D. A. Visan, "A new approach of automobile localization system using GPS and GSM/GPRS transmission," in *Electronics Technology, 2006. ISSE'06. 29th International Spring Seminar on*, 2006, pp. 115-119.
- [42] C. Valero Ubierna, B. Diezma Iglesias, L. M. Navas Gracia, G. Ruiz Ruiz, J. Llerena Ruiz, and D. Andújar Sánchez, "La agricultura de precisión y las TIGs en la recolección mecanizada de tomate," *Vida rural*, pp. 44-48, 2010.
- [43] J. A. L. Riquelme, "Contribución a las redes de sensores inalámbricas: estudio e implementación de soluciones hardware para agricultura de precisión," Universidad Politécnica de Cartagena, 2012.
- [44] E. E. Flores Carbajal, "Redes de Sensores Inalámbricas Aplicado a la Medicina," 2012.
- [45] J. R. Giordano, J. S. Swayze, and F. E. Shelton IV, "Surgical instrument with wireless communication between a control unit of a robotic system and remote sensor," ed: Google Patents, 2014.
- [46] M. Meyers, *Network+ Certification All-in-One Exam Guide*: McGraw-Hill, Inc., 2004.

- [47] W. Bolton, "Programmable Logic Controllers, Elsevier Newnes," ed: Burlington, 2006.
- [48] J. A. S. Wevar, "Análisis y Estudio de redes GPRS," *Trabajo para la titulación de IngenieroEelectronico*.(Cited on pages xv, 10, and 11.).
- [49] E. Pérez-López, "Los sistemas SCADA en la automatización industrial," *Revista Tecnología en Marcha*, vol. 28, pp. 3-14, 2015.

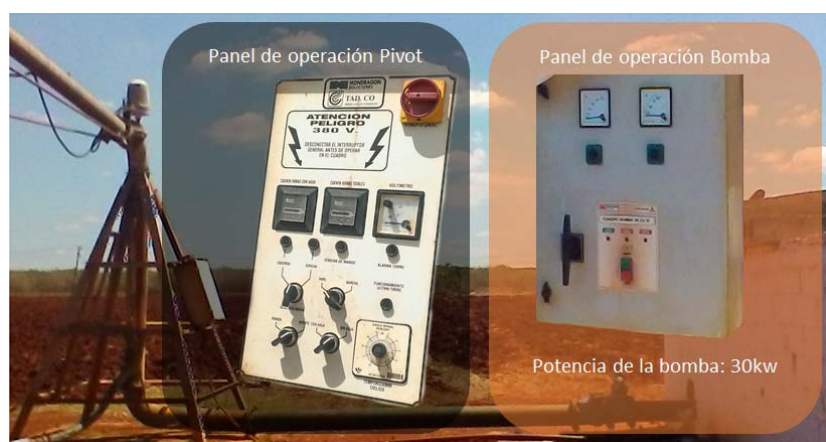
Anexos

Anexo I



Vista esquemática de las áreas de escalado y de la distribución de los sistemas de riego.

Anexo II



sensor

Panel de control del pivote actual.

Anexo III

Modem
Functions GSM
- Quad-Bands 900/1800 and 850/1900 MHz
- ETSI GSM Phase 2+ Class 4 (2 W @ 850 / 900 MHz) Class 1 (1 W @ 1800 / 1900 MHz)
- SIM Toolkit Release 99
DATA Features
- GPRS Class 10 (up to 4Rx / 2Tx)
- Supports PBCCH, Coding schemes: CS1 à CS4
- TCP/IP Library (PPPRFC, TCP Socket, UDP Socket, SMTP, POP3, FTP)
- Asynchronous data circuit, transparent and non-transparent, 9600 bps (standard) up to 14400 bps (depending on network)
- Compatible Fax Group 3
- SMS point to point MT/MO and SMS CB
Memory Type
- Flash 32 Mbits and SRAM 4 Mbits (32/4)
Interfaces
- Antenna GSM: SMA-F connector
- Power Supply: +5.5 to +32 VDC (micro-FIT connector)
- RS232 + Audio via female 9-pin Sub-D connector
- AT Commands: GSM 07.05 and 07.07
- SIM reader (SIM 3 V – 1.8 V)
- DIN (35 mm) Rail mounting Clip
Supplied Accessories
- Mounting brackets (x2)
- Power Supply cable - 2-wire Micro FIT
- GSM magnetic Antenna (SMA-M)

Datos del módem SR2MOD03.