

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN DISPOSITIVO PORTÁTIL Y
AUTÓNOMO PARA EL CONTROL DE HUMEDAD EN UN CULTIVO DE MAÍZ
FERTIRRIGADO, PARA EL DESARROLLO DE LA AGRICULTURA DE
PRECISIÓN.**

**XIOMARA STEFANNY BECERRA DE LA ROSA
MAURICIO GABRIEL VELASCO MARTINEZ**

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA ELECTRÓNICA
SAN JUAN DE PASTO
2015**

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN DISPOSITIVO PORTÁTIL Y AUTÓNOMO
PARA EL CONTROL DE HUMEDAD EN UN CULTIVO DE MAÍZ
FERTIRRIGADO, PARA EL DESARROLLO DE LA AGRICULTURA DE
PRECISIÓN.**

**XIOMARA STEFANNY BECERRA DE LA ROSA
MAURICIO GABRIEL VELASCO MARTINEZ**

**Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de
Ingeniero Electrónico**

**DIRECTOR
M.SC. DARIO FERNANDO FAJARDO FAJARDO
INGENIERO ELECTRONICO**

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA ELECTRÓNICA
SAN JUAN DE PASTO
2015**

Nota de Responsabilidad

“La Universidad de Nariño no se hace responsable por las opiniones o resultados obtenidos en el presente trabajo y para su publicación priman las normas sobre el derecho de autor”.

Acuerdo 1. Artículo 324. Octubre 11 de 1966. Emanado del honorable Consejo Directivo de la Universidad de Nariño.

Nota de aceptación

Presidente de Tesis

Jurado1

Jurado 2

San Juan de Pasto, 19 de Febrero del 2015

DEDICATORIA

“A Dios por ser mi constante guía, a mis padres por su ejemplo de lucha diaria, por todos sus esfuerzos y a quien debo todo lo que soy, a mi hermana Susan por su constante apoyo, y a mi novio por ser mi más fiel compañero para alcanzar este sueño tan anhelado.”

Xiomara

“Al señor del Tambo por darme la fuerza espiritual necesaria para seguir adelante, a mi madre por su apoyo incondicional en mi formación académica y espiritual, a mis abuelos por sus innumerables consejos, a mi novia por su paciencia y amor”

Mauricio

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus agradecimientos a:

Departamento de Ingeniería Electrónica, por su arduo trabajo en pro de la enseñanza académica y personal de sus estudiantes, a sus Docentes por su compromiso en nuestra formación profesional.

Msc. Darío Fernando Fajardo Fajardo, Ingeniero Electrónico, docente tiempo completo Universidad de Nariño, director del trabajo de grado, por su confianza y apoyo.

Ing. Olger Ferledy Erazo de la Cruz, docente tiempo completo Institución Universitaria CESMAG, quien nos brindó su tiempo y conocimientos en el desarrollo del proyecto.

Ing. José Luis García Parra, Ingeniero de Sistemas Universidad de Nariño, por su apoyo incondicional, su gran amistad y por las asesorías brindadas para el desarrollo del proyecto.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	17
1. JUSTIFICACIÓN	18
2. OBJETIVOS	20
2.1 OBJETIVO GENERAL.....	20
2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	20
3. ESTADO DEL ARTE	21
4. METODOLOGÍA	23
4.1 ETAPA I: REVISIÓN Y ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO	23
4.2 ETAPA II: ACONDICIONAMIENTO Y ESTUDIOS EN EL SITIO DE PRUEBA	23
4.2.1 Acondicionamiento del sitio de prueba	24
4.2.2 Estudio de humedad del suelo.....	26
4.2.3 Estudio de irradiación solar.....	28
4.2.4 Cálculo de humedad volumétrica	30
4.3 ETAPA III: DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA	34
4.4 ETAPA IV: DISEÑO DEL SISTEMA	36
4.4.1 Nodo Central	36
4.4.2 Nodos remotos.....	41
4.4.3 Nodo Coordinador-Actuador	43
4.4.4 Nodos sensores	57
4.5 IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA.....	61
4.5.1 Dimensionamiento del sistema solar fotovoltaico	61
4.5.2 Construcción Nodo Coordinador-Actuador	67
4.5.3 Construcción Nodos sensores.....	72
4.5.4 Construcción del sistema de riego por goteo	75
4.5.5 Instalación del sistema.....	77
5. RESULTADOS	79
5.1 FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA	79
5.2.1 Nodo Coordinador-Actuador	79

5.2.2 Nodos sensores	80
5.2.3 Nodo Central	81
5.2.4 Cálculos con el sistema	81
6. CONCLUSIONES	86
7. RECOMENDACIONES	87
BIBLIOGRAFIA.....	88

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Humedad volumétrica del suelo y voltaje del sensor durante 10 días	33
Tabla 2. Abreviaturas empeladas para realizar el control de riego a distancia	35
Tabla 3. Descripción de los pines de los microcontroladores.....	45
Tabla 4. Datos técnicos Xbee PRO ZB serie 2	46
Tabla 5. Especificaciones antena omnidireccional TL-ANT2405CL	47
Tabla 6. Funciones de los terminales del Modem Quectel M95	48
Tabla 7. Especificaciones sensor de humedad SEN0114	58
Tabla 8. Definición de los elementos que conforman el nodo coordinador-actuador.....	62
Tabla 9. Definición de los elementos que conforman el nodo sensor.....	62
Tabla 10. Cálculo número de paneles nodo coordinador-actuador	63
Tabla 11. Cálculo número de paneles nodo sensor	63
Tabla 12. Cálculo de baterías del nodo coordinador-actuador	63
Tabla 13. Calculo baterías nodo sensor	64
Tabla 14. Configuración básica Modem Configuration del coordinador	69
Tabla 15. Configuración básica Modem Configuration de los Routers.....	73
Tabla 16. Especificaciones maíz Porva	77
Tabla 17. Datos de temperatura de una habitación cerrada.....	80
Tabla 18. Datos de temperatura en el sitio de prueba	80
Tabla 21. Consumo de agua por medio del riego por goteo controlado.....	83
Tabla 22. Consumo de agua por medio de riego manual	83

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Sitio de prueba	25
Figura 2. Abono orgánico	25
Figura 3. Unificación del abono orgánico con la tierra	26
Figura 4. Sitio de prueba listo para realizar el cultivo del maíz	26
Figura 5. Anillos de muestreo en el sitio de prueba	27
Figura 6. Nivelación de la muestra en el anillo de muestreo.....	28
Figura 7. Equipo SOLAR 100-Amprobe	29
Figura 8. Datos obtenidos con el SOLAR 100-Amprobe.....	30
Figura 9. Toma de muestras.....	31
Figura 10. Muestra en el horno	32
Figura 11. Relación de humedad volumétrica con el sensor de humedad.....	33
Figura 12. Esquema del sistema encargado del control de humedad del suelo	35
Figura 13. Esquema "cliente-servidor"	37
Figura 14. Diagrama de Bloques Nodo Central.....	38
Figura 15. Ventana principal del Servidor Web	39
Figura 16. Interfaz de PostgreSQL.....	40
Figura 17. Aplicación desarrollada para los dispositivos móviles	42
Figura 18. Aplicativo desarrollado para ordenadores.....	43
Figura 19. Diagrama de Bloques del Nodo Coordinador-Actuador	44
Figura 20. Módulo XBEE PRO ZB Serie 2	46
Figura 21. Convertidor de nivel lógico bidireccional.....	47
Figura 22. Tarjeta M95ARD con los pines usados por el Shield.....	48
Figura 23. Reloj DS1307	49
Figura 24. Conexión USB-Serial para la configuración del reloj DS1307.....	50
Figura 25. Bus de comunicación 1-Wire	50
Figura 26. Esquema de conexión del DS18B20 con fuente externa	51
Figura 27. Módulo de alimentación nodo coordinador-actuador	52
Figura 28. Opto acoplador EL817.....	52
Figura 29. TIP120.....	53
Figura 30. Electroválvulas del sistema	53
Figura 31. Diseño final del nodo coordinado-actuador en ISIS 7.....	54
Figura 32. Montaje en protoboard del nodo coordinador-actuador.....	55
Figura 33. Módulo de alimentación del nodo coordinador-actuador	55
Figura 34. Módulo de adquisición y control del nodo coordinador-actuador.....	56
Figura 35. Módulo actuador del sistema	56
Figura 36. Diagrama de Bloques del Nodo Sensor.....	57
Figura 37. Sensor de humedad del suelo SEN0114.....	58
Figura 38. Esquema del cargador de baterías de 6V.....	59

Figura 39. Diseño final del nodo sensor en ISIS 7	60
Figura 40. Placa del nodo sensor	61
Figura 41. Módulos contenidos en el programa CenSOL5.....	64
Figura 42. Módulo Base de datos de radiación.....	65
Figura 43. Dimensionamiento realizado por el software del nodo coordinador.....	66
Figura 44. Dimensionamiento realizado por el software del nodo sensor.....	66
Figura 45. Fabricación del circuito impreso nodo coordinador-actuador	67
Figura 46. Software X-CTU	68
Figura 47. Configuración para los módulos Xbee	69
Figura 48. Comunicación correcta X-CTU y el módulo Xbee coordinador.....	70
Figura 49. Módulo de alimentación del nodo coordinador-actuador	70
Figura 50. Módulo de potencia nodo coordinador-actuador	71
Figura 51. Módulo de adquisición y control del nodo coordinador-actuador.....	71
Figura 52. Circuitos impresos de los nodos sensores	72
Figura 53. Modem Configuration para los Módulos Xbee Routers	73
Figura 54. Configuración Modem M95	74
Figura 55. Nodo Sensor	75
Figura 56. Patrón de localización de los laterales en riego por goteo	76
Figura 57. Siembra del maíz en el sitio de prueba	77
Figura 58. Sistema hidráulico en el sitio de prueba	78
Figura 59. Instalación de los nodos en el sitio de prueba	78
Figura 60. DS18B20 Vs. Termo higrómetro HTC-2.....	80
Figura 61. Consumo agua surco 1 en un día	85
Figura 62. Registro de humedad surco 1 en un día de lluvia	85

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO A. Generalidades del maíz	90
ANEXO B. Datos recolectados con el equipo SOLAR 100 – Amprobe.....	93
ANEXO C. Datos recolectados para el cálculo de humedad volumétrica.....	94
ANEXO D. Lista de materiales y presupuesto.....	96
ANEXO E. Manual de Usuario	97

GLOSARIO

CAPACIDAD DE CAMPO: Es una constante característica de cada suelo y depende fundamentalmente de la textura, cantidad de materia orgánica y grado de compactación de éste.

COMANDOS AT: son instrucciones codificadas que conforman un lenguaje de comunicación entre el hombre y un Terminal MODEM. Los comandos AT se denominan así por la abreviatura de attention.

DATAGRAMA: son la agrupación lógica de información que se envía como una unidad de capa de red a través de un medio de transmisión sin establecer con anterioridad un circuito virtual.

EDAFOLÓGICO: estudio de la composición y naturaleza del suelo en su relación con las plantas y el entorno que le rodea

FRAMEWORK: Estructura software compuesta de componentes personalizables e intercambiables para el desarrollo de una aplicación.

HANDOVER: O traspaso al sistema utilizado en comunicaciones móviles celulares con el objetivo de transferir el servicio de una estación base a otra cuando la calidad del enlace es insuficiente en una de las estaciones.

IP: es una etiqueta numérica separada por puntos y números entre 1 y 255 con 4 secciones (234.233.45.3) que nos identifica dentro de la red (Internet).

KERNEL: o núcleo es la parte central o el corazón del sistema operativo de nuestro Android. Funciona como intermediario entre el software y el hardware, puesto que es el que recibe las órdenes de los elementos del sistema operativo para enviárselas a este.

LAYOUT: se asocia a diferentes ventanas o vistas, definen el mapa que permite a Android posicionar cada uno de los elementos en el lugar correspondiente de la pantalla.

MICROCLIMA: El microclima es un conjunto de patrones y procesos atmosféricos que caracterizan un entorno o ámbito reducido. Los factores que lo componen son la topografía, temperatura, humedad, altitud-latitud, luz, la cobertura vegetal y las obras humanas que pueden incidir en las variables atmosféricas.

MODEM: (de las palabras modulador-demodulador), es un elemento de hardware que ejecuta la conversión de señales digitales a una señal análoga, y de modo inverso para la transmisión y recepción de datos.

PUNTO DE MARCHITEZ: se refiere al contenido de agua de un suelo que ha perdido toda su agua a causa del cultivo y, por lo tanto, el agua que permanece en el suelo no está disponible para el mismo.

SATURACIÓN: se refiere al contenido de agua del suelo cuando prácticamente todos los espacios están llenos de agua

SENSOR: Se conoce como sensor cualquier dispositivo que permite convertir una magnitud física en una señal eléctrica que, posteriormente, puede manejarse para suministrar información o para ser tratada directamente por un ordenador.

TRANSCÉPTOR: Es un dispositivo que cuenta con un transmisor y un receptor que comparten parte de la circuitería o se encuentran dentro de la misma caja. Cuando el transmisor y el receptor no tienen en común partes del circuito electrónico se conoce como transmisor-receptor.

TELEMETRÍA: La recolección y envío de información remota a partir de nodos (sensores analógicos y digitales) hacia una estación central para su interpretación y tratamiento se conoce como telemetría. El nodo se encuentra conformado por el sensor y transmisor; el centro de información es el punto en donde llega la información para su tratamiento, este último está compuesto por un transmisor-receptor y un controlador.

TIC: (Tecnologías de la información y la comunicación) Son herramientas computacionales que nos permiten acceder a diversos tipos de información, generando comunicación constante con otros usuarios.

RESUMEN

El uso de tecnología dentro de un cultivo que permita controlar la variable de humedad por medio de dispositivos de distribución de riego, es la clave para obtener un buen desarrollo y posteriores productos de buena calidad, que se verán reflejados en la economía del agricultor nariñense.

Buscado una disminución en el deterioro del medio ambiente, contribuir con el desarrollo integral del Departamento de Nariño y ayudar con las investigaciones de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Nariño, se da a conocer por medio de este documento el diseño e implementación de un dispositivo portátil capaz de medir y controlar los cambios de humedad en un cultivo de maíz en el sitio de prueba, con la capacidad de distribuir la cantidad de agua necesaria según el cultivo lo requiera, evitando así su desperdicio. Es importante resaltar que variables como la humedad en el suelo, la temperatura del ambiente y el estado del sistema, serán visibles por medio de una aplicación basada en la plataforma Android, lo que le permite al agricultor, mantenerse informado sobre las principales variables del cultivo. Además, a través de cualquier dispositivo móvil se podrá controlar la apertura y cierre de electroválvulas encargadas del riego del cultivo.

ABSTRACT

The use of technology within a cultivation that allows variable control moisture through irrigation distribution systems is the key to good development and higher quality products, which will be reflected in the economy of Nariño farmer.

He sought a reduction in the deterioration of the environment, contribute to the development of the Department of Nariño and help with investigations of the Faculty of Engineering of the University of Nariño, disclosed by this document the design and implementation of a portable device capable of measuring and controlling humidity changes in a crop of corn in the test site, with the ability to deliver the required amount of water required by crop, avoiding waste. It is important to note that variables such as soil moisture, ambient temperature and the system status will be visible through an application based on the Android platform, which allows the farmer to stay informed on the main variables of the crop. Furthermore, through any mobile device, you can control the opening and closing of valves responsible for crop irrigation.

INTRODUCCIÓN

Siendo la agricultura una de las principales actividades económicas del departamento de Nariño, se busca realizar un aporte a este sector, que se ha enfrentado a la disminución del recurso hídrico causado por el cambio climático. Por tal motivo, con el presente trabajo se pretende realizar un uso adecuado de este recurso sin afectar la calidad y la cantidad en la producción que realizan los agricultores de este departamento. (GUERRERO RIASCOS, 1998)

El aporte que se busca realizar a los agricultores del Departamento de Nariño, consiste en la implementación del riego por goteo como un método preciso y controlado que permita tener certeza en los datos obtenidos. La confiabilidad de estos datos, permite un mejor aprovechamiento de los recursos naturales y en el desarrollo de los cultivos.

En la actualidad existen un sin número de investigaciones encaminadas al estudio de la agricultura y de las diferentes técnicas de riego que se han implementado por parte de los agricultores del departamento de Nariño. Dichas investigaciones se han realizado en su mayoría por estudiantes y docentes de la Universidad de Nariño. Siendo así, algunas de ellas, una base fundamental para el desarrollo de este trabajo de grado.

El presente trabajo de grado se planteó como un aporte a las investigaciones de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Nariño, diseñando un dispositivo portátil y autónomo para el control de humedad en un cultivo de maíz fertirrigado. El dispositivo cuenta con un sistema de monitoreo y control electrónico de riego. Cabe resaltar que la monitorización del sistema se puede realizar por medio de una aplicación basada en la plataforma Android o de algún computador que tenga acceso a Internet y que posea el aplicativo. Además el usuario tiene la facultad de elegir el momento de la apertura y cierre de las electroválvulas encargadas del riego del cultivo desde cualquier dispositivo móvil por medio de un mensaje de texto. Una de las ventajas del dispositivo es que tiene una alimentación energética más amigable con el medio ambiente.

1. JUSTIFICACIÓN

En Colombia, el sin número de fenómenos climáticos como consecuencia del calentamiento global, ha generado reducción en la precipitación de lluvias lo cual ha provocado pérdidas al Sector agricultor del Departamento de Nariño. Por tal razón no es posible pensar en el incremento de la producción agrícola sin considerar un uso óptimo del recurso hídrico, pues finalmente, el sector agrícola depende de la adecuación de tierras, primordialmente del riego. Para mejorar estas variables se busca trabajar con la agricultura de precisión, cuyo objetivo es poner a disposición del agricultor toda la información necesaria sobre las variaciones que se llevan a cabo dentro del cultivo, para que en cada metro cuadrado de terreno se labore, fertilice, siembre, riegue en la proporción idónea para conseguir la máxima producción posible en cada punto.¹

Se debe tener en cuenta que la creación del dispositivo portátil para controlar la humedad de un cultivo de maíz tiene un impacto a nivel ambiental, productivo, social, y económico. Primeramente, contribuye al medio ambiente porque hace uso de energías alternativas, en este caso de sistemas fotovoltaicos; además de ofrecer ahorro en recursos como el agua y energía, lo cual lo hace un producto llamativo y de gran utilidad para los agricultores de la región.

Se destaca que a la hora de presentar la propuesta, se evidencia la existencia de un prototipo que se toma como base para la presente investigación, en el cual se observa que el grosor de los tallos aumenta y la separación entre hojas disminuye, comparado con un control manual en el riego de las plantas de maíz. Cabe resaltar que el prototipo existente se desarrolló bajo invernadero. Por otro lado con la creación del sistema, se logra un ahorro del 8% de agua en las 8 plantas que forman parte del sistema, logrando así un ahorro considerable de agua por hectárea.

En base en la agricultura de precisión y al microclima característico del sitio de prueba, que en este caso es el “Vivero Las Delicias” ubicado en el kilómetro 23 en sentido Ipiales – Pasto, se diseña e implementa un sistema portable para el control de humedad en un cultivo de maíz en un área de 3 m², la cual se encuentra conformada por dos surcos, cada uno de los cuales contiene cuatro plantas de maíz. Se destaca que el sistema además de realizar el control de humedad del

¹ Agricultura de precisión: conceptos y situación actual. [en línea]. <http://oa.upm.es/6291/1/Valero_36.pdf>. [citado el 20 de febrero del 2014]

suelo, se encarga de monitorear los cambios de temperatura del ambiente y las precipitaciones del sector.

Para el control de humedad, el sistema dispone de dos sensores ubicados en diferentes puntos del cultivo, estos sensores monitorean constantemente la humedad volumétrica del suelo; según los resultados de la medición, el sistema es capaz de determinar cuándo se debe realizar el riego por goteo en las plantas de maíz, manteniendo siempre el nivel programado de humedad para obtener resultados óptimos de crecimiento y desarrollo del maíz. Además, el riego por goteo en el cultivo se puede realizar de tres formas, por control electrónico, mediante un mensaje de texto, o de forma manual si el usuario lo desea. Igualmente el sistema puede ser monitoreado a distancia por un dispositivo móvil basado en la plataforma Android o por una computadora, los cuales deben tener instalado el aplicativo encargado del monitoreo del sistema y una conexión a Internet.

Por otra parte, el sistema contempla que todos los dispositivos que lo conforman funcionan con energía alternativa, ya que su alimentación proviene de paneles solares, siendo está una alimentación energética más limpia.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Diseñar e implementar un dispositivo portátil y autónomo para el control de humedad en un cultivo de maíz fertirrigado.

2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Diseñar el sistema de medición de humedad, temperatura y precipitaciones del ambiente en el sitio de prueba.
- Evaluar y dimensionar el uso de fuentes de energía alternativa, para alimentar los diferentes dispositivos que conforman el sistema.
- Desarrollar el sistema de control e interfaz del usuario para el manejo de datos de humedad suministrados por los sensores y el control de riego, por medio de un dispositivo móvil haciendo uso de la plataforma Android.

3. ESTADO DEL ARTE

Hoy en día, la tecnología se ha colocado a la vanguardia de diferentes procesos en la vida de las personas, por ello se evidencia la existencia de muchos prototipos locales y del exterior, encaminados a la automatización de procesos, favorecer el ahorro del agua, conservación de nutrientes del suelo, entre otros.

Los prototipos que se tomaron como base para la presente investigación tenían como objetivo el riego, empleando diferentes tecnologías.

En la Universidad de Nariño, se ha incentivado la investigación encaminada al desarrollo de la agricultura de precisión; dentro de estas investigaciones se pueden mencionar: “Diseño e implementación de una red de sensores inalámbricos para el control de riegos por goteo”, elaborado por Nesly Castro y Luis Eduardo Chamorro (2012); en esta experiencia se realiza el control de humedad volumétrica en un cultivo de fresas haciendo uso de tecnología Xbee Pro serie 2 para la comunicación inalámbrica de los datos, el sensor 10HS para medición de la humedad volumétrica del suelo, además hicieron uso de un esquema de control de histéresis. El trabajo se llevó a cabo en la finca APROBORCA, en el corregimiento de Cabrera en el municipio de Pasto.

Por otra parte, se realiza el “Diseño e implementación de un dispositivo portátil para el control de humedad en un cultivo de maíz fertirrigado bajo el invernadero de la Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad de Nariño”, elaborado por Romer Orlando Pantoja y Luis Alberto Burbano (2013). Quienes, bajo el Invernadero de la Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad de Nariño, lograron el control de riego por goteo para el cultivo de maíz. En esta experiencia se permitió corroborar el ahorro de agua en cerca del 16%, en un lapso de tres meses en comparación con el método tradicional de riego manual, presentando las plantas de maíz un mayor grosor en los tallos y una menor separación entre hojas. Los sensores fueron desarrollados para la medición de la humedad experimentalmente, encontrándose buenos resultados.

En la Universidad Católica del Perú, se evidencia la existencia de un trabajo de grado titulado “Diseño de un sistema electrónico para riego de césped de jardín empleando un sensor de humedad de suelos y comunicación inalámbrica”, elaborado por Zulema Varas Salazar (2013), el cual plantea una forma de riego automatizado por aspersión en el césped de un jardín, además se evidencia la comparación de diferentes módulos de transmisión inalámbrica, los transceptores “transceiver” Bluetooth en una primera instancia por consumir baja potencia pero

se descartó por tener corto alcance; luego se pensó en el “transceiver” nRF24L01 de Nordic Semiconductor, que también trabaja a 2.4GHz, por ser de bajo costo, baja potencia, pero de igual manera se descartó por su corto alcance; finalmente se escogió el estándar ZigBee porque: brinda confiabilidad en la transmisión de datos, ideal para aplicaciones que no requieren una alta transmisión de datos, tiene un bajo consumo de potencia, un gran alcance y es una Red de Área Personal (PAN).

Otro referente muy importante es el Proyecto Nariño Vive Digital (2014), el cual tiene como objetivo la implementación de un sistema de riego por goteo que permita controlar la humedad de un área específica de cultivo, en 34 instituciones agropecuarias del departamento de Nariño, así como también realizar la medición de variables ambientales por medio de una estación meteorológica. Esta información se monitoreará y manipulará remotamente a través de internet. La granja Betania de la I.E.M. Luis Delfin Insuasty Rodríguez (INEM) se seleccionó como granja modelo para implementar el diseño prototipo. Se identifican entonces las zonas importantes para la implementación de la granja, como lo son el terreno y el aula de informática. En el terreno se ubican dos tipos de estructuras fundamentales, una encargada de captar la información referente a la humedad, que se denomina Nodo Sensor, y otra encargada de activar electroválvulas para el control de riego, que se denomina Nodo Actuador. La cantidad de nodos sensores dependerá del número de surcos que el área del cultivo tenga, siendo cuatro, el número máximo de nodos sensores a implementar. Cada granja dispondrá de un nodo actuador, que podrá tener máximo cuatro electroválvulas a controlar, siendo este número coherente con la cantidad de nodos sensores que se implementen. Un aspecto importante en el diseño, es la implementación de sistemas alternativos renovables de energía, por lo que estos nodos serán autónomos y se alimentarán con Energía Solar; la información de los nodos sensores al nodo actuador se transmitirá inalámbricamente, para conservar la autonomía del sistema.

Como trabajo en desarrollo en la Universidad de Nariño, se encuentra “Diseño e implementación de un sistema de riego por goteo basado en control distribuido”, elaborado por Jennifer Yolanda de la Cruz y Camilo Andrés Martínez (2015), quienes tienen a cargo, el diseño de un sistema de riego por goteo automático con base en estrategias de control distribuido y red de sensores inalámbricos para su implementación en un colegio Agropecuario del municipio de Pasto.

4. METODOLOGÍA

La investigación relacionada con el presente trabajo de grado se desarrolló en cuatro etapas:

- Etapa I: Revisión y análisis bibliográfico.
- Etapa II: Acondicionamiento y estudios en el sitio de prueba
- Etapa III: Descripción del sistema general del proyecto.
- Etapa IV: Diseño e implementación del sistema.

Como resultado de la ejecución de estas etapas se obtiene el cumplimiento de los objetivos planteados.

4.1 ETAPA I: REVISIÓN Y ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO

En esta etapa se realizó una búsqueda en diferentes fuentes de información como revistas, artículos, libros, investigaciones aplicadas, documentos en línea, experiencias y conocimientos de personas expertas en el área de la agricultura y sobre todo en el trabajo de cultivar maíz. Finalmente los temas principales que constituyen la base de la investigación fueron aquellos relacionados con la agricultura de precisión, redes inalámbricas y principalmente tecnologías asociadas en donde se destacan ZigBee y Android.

4.2 ETAPA II: ACONDICIONAMIENTO Y ESTUDIOS EN EL SITIO DE PRUEBA

En esta etapa se describe el proceso seguido para el acondicionamiento del suelo que se empleó en el sitio de prueba, el cual fue utilizado en el desarrollo de diferentes ensayos de respuesta de los sensores de humedad, esto para garantizar que los registros de humedad comunicados fueran confiables para ejecutar acciones de control pertinentes.

Además se realizaron estudios, de la cantidad de irradiación solar que existe en el sitio de prueba para evaluar y dimensionar el uso de fuentes de energía renovables, y un estudio de humedad de suelo para calcular la humedad

volumétrica del sitio y otras variables a tener en cuenta al momento de determinar el riego del cultivo.

4.2.1 Acondicionamiento del sitio de prueba

Los agricultores conocen que es necesario tener una tierra sana para lograr una buena cosecha, por lo tanto, enriquecen la tierra con fertilizantes naturales como estiércol (de animales), abono verde (de plantas) y composta. Los fertilizantes naturales son más sanos para la tierra, las plantas, el agua, el aire y la gente, que los fertilizantes químicos y producen todos los nutrientes que las plantas necesitan gratis o a un costo muy bajo.²

Por esta razón se procede a fertilizar el suelo del sitio de prueba haciendo uso de la llamada “gallinaza”, que es uno de los fertilizantes más completos y que mejores nutrientes puede aportar al suelo, por su contenido de nitrógeno, fósforo, potasio y carbono en importantes cantidades.

De hecho, la gallinaza puede ser mejor fertilizante que cualquier otro abono, incluyendo el de vaca o el de borrego, precisamente porque la alimentación de las gallinas suele ser más rica y balanceada que la pastura natural de las vacas o los borregos.³

A continuación se evidencia el procedimiento realizado para el acondicionamiento del sitio de prueba con el abono orgánico seleccionado.

PASO 1: Como primer paso se procede a reconocer el sitio de prueba antes de realizar el abono a la tierra, dicho sitio consiste en un área de 3 m², de textura franca o franco arenosa, rico en materia orgánica.

² Hesperian Health Guides. Mejoramiento de la tierra. [en línea].

<http://es.hesperian.org/hhg/A_Community_Guide_to_Environmental_Health:Mejoramiento_de_la_tierra>. [Citado el 20 de abril de 2014]

³ Gallinaza México. ¿Para qué sirve la gallinaza? [en línea].

<http://www.gallinaza.com/para_que_sirve_la_gallinaza.php>. [citado 20 de Abril del 2014]

Figura 1. Sitio de prueba



PASO 2: Con el tamaño y el tipo de suelo bien definido del sitio de prueba, se procede a realizar su abonamiento. Para ello se tomaron 8 bultos de gallinaza, para abastecer la tierra en su totalidad.

Figura 2. Abono orgánico



PASO 3: Se vierte el contenido de los bultos del abono orgánico (gallinaza) de manera uniforme encima de la tierra a cultivar para su posterior mezcla.

PASO 4: Después de mezclar completamente la tierra con la gallinaza, se procede a humedecer el terreno. Se deja reposar la tierra por 24 horas⁴.

PASO 5: Después de un día de reposo del terreno, se procede a revolver la tierra nuevamente de manera uniforme, se vierte abundante agua para dejar el terreno completamente húmedo.

⁴ PÉREZ, José. Como preparar la tierra, abonado con estiércol. Huerto ecológico. [en línea]. <<https://www.youtube.com/watch?v=D62NZROF2nM>>. [citado el 25 de abril de 2014]. Y conocimientos empíricos del agricultor Olmedo Velasco.

Figura 3. Unificación del abono orgánico con la tierra



PASO 6: Después de realizar los pasos anteriores, se deja descansar la tierra por un mes para que la gallinaza se descomponga completamente y de esta manera mejorar la fertilidad de la tierra para un posterior cultivo.

Figura 4. Sitio de prueba listo para realizar el cultivo del maíz



4.2.2 Estudio de humedad del suelo

Para planear el riego es esencial hacer un reconocimiento edafológico, el cual incluye el análisis de capacidad de campo, punto de marchitez y saturación del suelo. Es la base para determinar si el suelo es óptimo para realizar un riego para que posteriormente el usuario adopte el sistema más adecuado. (Centro regional de ayuda técnica).

La metodología a seguir para obtener las muestras de suelo necesarias para determinar los tres puntos anteriormente mencionados consiste en:

1. Se elige una zona del terreno en donde se va a realizar el riego.
2. En la zona escogida, se realiza una abertura en forma de cuadrado de aproximadamente 20 cm de profundidad.
3. Con ayuda de un anillo de muestreo en suelos se procede a enterrarlo en el terreno seleccionado, de tal manera que dicho anillo queda completamente cubiertos por la tierra

Figura 5. Anillos de muestreo en el sitio de prueba



4. Para extraer la muestra, se utiliza una pala, de tal manera que la tierra no salga del anillo de muestreo.
5. Inmediatamente extraída la muestra se procede a realizar una nivelación de la tierra para poder sellar la muestra, evitando que pierda agua por evaporación. Dicha nivelación se realiza con algún elemento rígido, en este caso un bisturí, el cual se elige por su mínima área de contacto con el suelo, ya que si se realiza con un elemento de mayor área de contacto se tapan de los poros del suelo, lo que llevaría a obtener resultados erróneos del análisis de la muestra.

Figura 6. Nivelación de la muestra en el anillo de muestreo



6. A continuación se procede a sellar la muestra con las tapas y con cinta aisladora para evitar que pierda humedad por evaporación⁵.
7. La muestra obtenida es llevada al Laboratorio de Suelos de la Universidad de Nariño, donde con la ayuda de la mesa de tensión, la membrana de presión y las ollas de Richards se obtiene el análisis de capacidad de campo, punto de marchitez y saturación del suelo, los cuales fueron utilizados para determinar la capacidad que tiene el suelo de retener el agua a diferentes capas de succión.

4.2.3 Estudio de irradiación solar

Con ayuda del equipo SOLAR 100 - Amprobe, el cual mide la energía solar y de transmisión de hasta 2000 W/m^2 o 634 BTU que son unidades térmicas británicas (m^2/h), se procede a realizar mediciones de la irradiación solar en el sitio de prueba.

⁵ PETILLO GARCÍA, M; PUPPO, L.; HAYASHI, R.; MORALES, P. Metodología para determinar los parámetros hídricos de un suelo a campo. [en línea].
<<http://www.fagro.edu.uy/~hidrologia/riego/Metodologia%20para%20determinar%20los%20parametros%20hidricos%20de%20un%20suelo%20a%20campo.pdf>>. [citado el 28 de abril de 2014]

Figura 7. Equipo SOLAR 100-Amprobe



Fuente: <http://www.amazon.com>

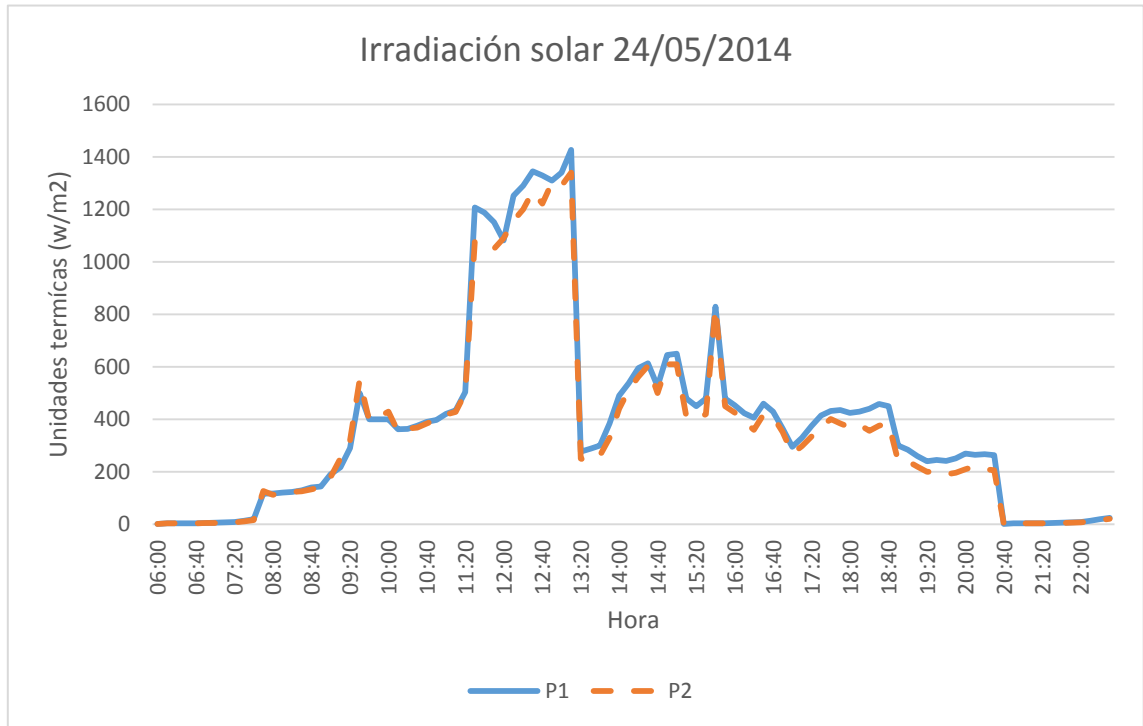
Este estudio permite determinar qué tan ventajoso es el uso de paneles solares para la alimentación del sistema, lo cual se comprueba con la lectura del equipo en una sesión de seguimiento.

Para la presente investigación, la sesión de seguimiento se llevó a cabo el 24 de mayo de 2014 desde las 6:00 am hasta las 22:30 pm, los datos obtenidos en este estudio se muestran detalladamente en el ANEXO B.

Es importante resaltar que se tomaron dos medidas de irradiación. Una medida se tomó aproximadamente con un ángulo de 45° de inclinación del equipo respecto al suelo y la otra con un ángulo de 0° o paralelo al suelo, las unidades empleadas fueron W/m^2 . Los resultados de la sesión de seguimiento se observan en la Figura 8. En esta figura se perciben 2 líneas, la línea no punteada o P1 representa las medidas tomadas a un ángulo de 45° , mientras que la línea punteada o P2 corresponde a las medidas a 0° de inclinación.

Con este estudio además de determinar la factibilidad del uso de un sistema fotovoltaico para alimentar el sistema, se pretendía evaluar la mejor inclinación para la ubicación de los paneles solares. Además, el día que se realizaron las mediciones de irradiación, las condiciones climatológicas no eran las mejores por lo que el cielo estaba completamente nublado, pero aun así, en la Figura 8 se observa que es idóneo el uso de un sistema fotovoltaico en este lugar, ya que el valor máximo que puede medir el instrumento es de $2000 w/m^2$ según lo indica el fabricante del instrumento, y en el sitio de prueba el valor máximo que se obtuvo fue de $1427 w/m^2$, a un ángulo de inclinación de 45° a las 13:10pm, con condiciones climatológicas no idóneas.

Figura 8. Datos obtenidos con el SOLAR 100-Amprobe



4.2.4 Cálculo de humedad volumétrica

a. Toma de muestras de suelo

Para el cálculo de la humedad volumétrica del sitio de prueba, se decidió tomar una sola muestra de suelo, debido a la cercanía de los surcos dentro del área escogida para tal fin.

En este procedimiento se hace uso de un tubo de PVC de 10.160 cm (4 pulgadas) de diámetros y de 25 cm de altura. Para extraer la muestra, el tubo de PVC fue enterrado verticalmente a presión hasta alcanzar una profundidad de 20cm. Se toma esta profundidad después de conocer que las plantas de maíz, tienen una mayor concentración de raíces entre los 20-25cm. Tema que será profundizado en el ANEXO A.

Para determinar el contenido de agua del cultivo, se emplearon los sensores SEN0114, los cuales son dispositivos de baja tecnología, pero fueron elegidos por su bajo costo comparado con otros sensores que existen en el mercado y su bajo consumo de potencia.

b. Recolección de datos

En este procedimiento fue necesario determinar la humedad del suelo a partir del método volumétrico, y relacionar los resultados con aquellos entregados por el sensor SEN0114 al ser insertado en la muestra.

Como primer paso, se procede a saturar la muestra, para ello se hace uso de la propiedad de capilaridad del suelo. Para esto, se introduce la muestra en un balde, en donde se agrega agua, haciendo que su nivel no sea superior a la máxima altura del tubo. Este procedimiento busca que al colocar la muestra en contacto con el agua, penetre en 24 horas los espacios de aire que existen en el suelo, logrando así una completa saturación.

Transcurridas las 24 horas, se saca con cuidado la muestra del balde y se inserta el sensor verticalmente en la parte central del tubo de PVC. El tubo con la muestra y el sensor es trasladado a una zona descubierta para lograr un secado de forma natural con ayuda del aire y el sol. Estas condiciones se mantienen por 10 días, en los cuales se recolectan diariamente datos de la muestra. Así con ayuda de un multímetro digital en la escala de voltaje y una balanza cuya medida es en gramos (con una sensibilidad de 1g), se obtuvieron diferentes datos al paso de los días, en donde el voltaje entregado por el sensor y el peso de la muestra reducían su calor progresivamente. En la Figura 9 se observan algunas imágenes de este procedimiento.

Figura 9. Toma de muestras



Transcurridos los 10 días de recolección de datos, la muestra fue llevada al laboratorio de suelos de la Universidad de Nariño, para su posterior secado en uno de los hornos que disponen para este fin. Por el tamaño de la muestra no se realizará su secado a 105° C durante 48 horas como lo indica el método volumétrico, pero se empleó un horno a 40° C durante 72 horas, como se observa en la Figura 10.

Figura 10. Muestra en el horno



Una vez pasadas las 72 horas, la muestra completamente seca fue pesada, y con los datos obtenidos, se aplican a las ecuaciones encargadas de determinar la humedad volumétrica del suelo en función del tiempo.

En la Tabla 1 se muestran los resultados finales de humedad volumétrica, y la relación con el voltaje arrojado por el sensor a los largo de los 10 días.

$$\theta_v(\%) = \frac{V_W}{V_T} * 100$$

$$V_W = \frac{P_{SH} - P_{SS}}{\rho_w} V_T = \pi * r^2 * L$$

θ_v : Humedad volumétrica

V_W : Volumen de agua en la muestra

V_T : Volumen total de la muestra

P_{SH} : Peso de suelo húmedo

P_{SS} : Peso de suelo seco

ρ_w : Densidad del agua = $\frac{1g}{cm^3}$

$\pi = 3,14159265 \dots$

r : Radio del tubo de PVC

L : altura alcanzada por la muestra en el tubo de PVC

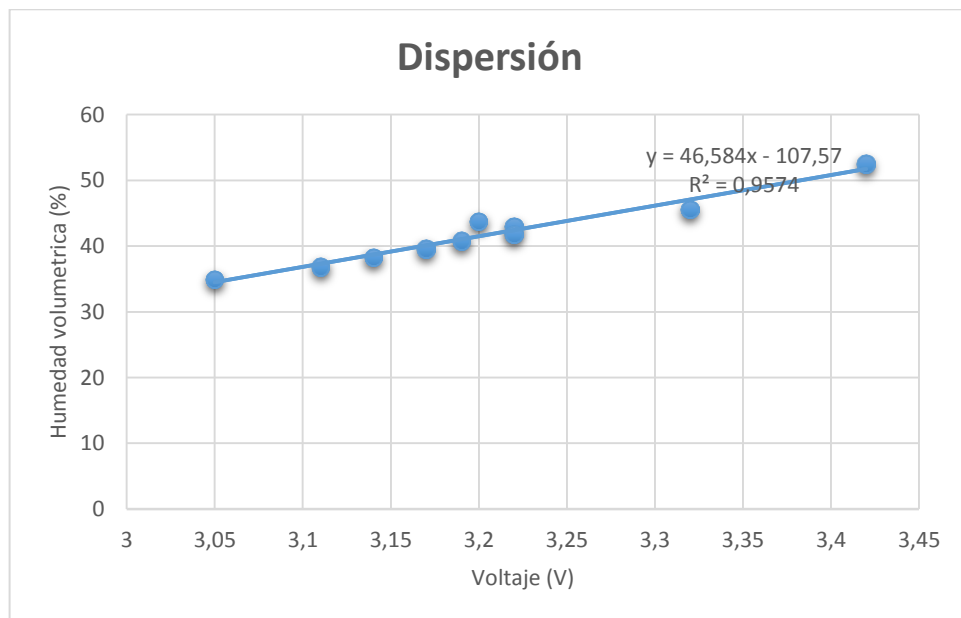
El ANEXO C muestra el procesamiento más detallado de los datos recolectados en la muestra.

Tabla 1. Humedad volumétrica del suelo y voltaje del sensor durante 10 días

	<i>θ_v (%) y Voltaje (V) en el tiempo</i>									
	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7	Día 8	Día 9	Día 10
θ_v	52,48	45,57	43,72	42,98	41,81	40,76	39,53	38,24	36,82	34,97
V	3,42	3,32	3,20	3,22	3,22	3,19	3,17	3,14	3,11	3,05

La gráfica en donde se relacionan estas dos variables se encuentra a continuación. En donde se observa que el sensor de humedad SEN0114 entrega una respuesta lineal de la humedad del suelo con respecto al voltaje de salida del sensor.

Figura 11. Relación de humedad volumétrica con el sensor de humedad



El coeficiente de determinación R^2 indica en qué grado la variabilidad de los datos es explicada o representada por la curva que se ajusta. Este valor está entre 0 y 1 y el mejor ajuste es aquel que más se acerque a la unidad.

4.3 ETAPA III: DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA

El sitio de prueba seleccionado para el desarrollo del sistema fue el “Vivero Las Delicias”, el cual se encuentra ubicado en el kilómetro 23 en la vía Ipiales-Pasto. Este sitio fue elegido por sus características ambientales, las cuales son óptimas para el buen desarrollo de un cultivo de maíz.

El sistema encargado del control de la humedad en un cultivo de maíz fertirrigado, está formado por los siguientes nodos: Nodo central, nodo coordinador-actuador, nodos sensores y nodos remotos.

Es de señalar que el nodo coordinador-actuador está interconectado de forma inalámbrica mediante el protocolo ZigBee por medio de los módulos Xbee Pro S2B con los nodos sensores, que para el caso de este sistema son dos. El nodo coordinador- actuador, está encargado de recibir los datos provenientes de los nodos sensores, y a partir de ellos tomar decisiones de control de riego por goteo en el cultivo de maíz según lo requiera. Este nodo, además, posee un dispositivo encargado de realizar una conexión con el nodo central por medio de Internet, dicha conexión para este sistema la realiza el operador TIGO.

Los nodos sensores están encargados de adquirir los datos provenientes de los sensores de humedad del suelo, y de establecer la comunicación inalámbrica con el nodo coordinador-actuador para enviar los datos adquiridos. Cada nodo, muestra sus variables en una pantalla LCD.

El nodo central consiste en un ordenador o computadora, el cual puede estar ubicado lejos o cerca del sitio de prueba. Este nodo cumple la función de servidor web con una IP pública fija, la cual es asignada en este caso por CLARO TELECOMUNICACIONES. Este nodo está encargado de recibir y almacenar los datos provenientes del cultivo; datos a los cuales el usuario puede acceder por medio de los llamados nodos remotos, en donde se encuentran dispositivos móviles y ordenadores que dispongan de una conexión con Internet y la aplicación diseñada para el monitoreo del sistema. Cabe señalar que los dispositivos móviles para los cuales se diseña la aplicación son aquellos que contienen la plataforma Android.

Por medio de los nodos remotos, el usuario se mantiene informado del estado de humedad en el que se encuentra el cultivo de maíz, y a partir de ello, tiene la disponibilidad de activar o no el riego por goteo, manualmente o desde la distancia a través de un mensaje de texto. El mensaje de texto, debe contener únicamente las abreviaturas establecidas en la tabla 2, para enviar la orden de apertura o cierre de las electroválvulas, encargadas del riego del cultivo. El mensaje de texto es enviado de un nodo remoto al nodo coordinador-actuador, en donde es

interpretado y se ejecuta la acción que el usuario ordena. En este sistema, nunca se establecerá una comunicación directa entre los nodos sensores y el nodo central, ya que los nodos sensores no poseen un dispositivo encargado de dicha conexión.

Se debe tener en cuenta que el usuario al enviar un mensaje de texto, activa el riego manual, por lo cual el sistema deja de controlar la humedad del cultivo, hasta que el usuario vuelva a activar el riego automático, lo cual se logra por medio del envío de otro mensaje de texto. Para comodidad y facilidad del usuario, se dispone de unas abreviaturas, las cuales deben ir en el mensaje de texto para tener un control a distancia del cultivo. En la Tabla 2, se enuncian las siglas y las acciones de control que ejecutan.

Figura 12. Esquema del sistema encargado del control de humedad del suelo en el cultivo

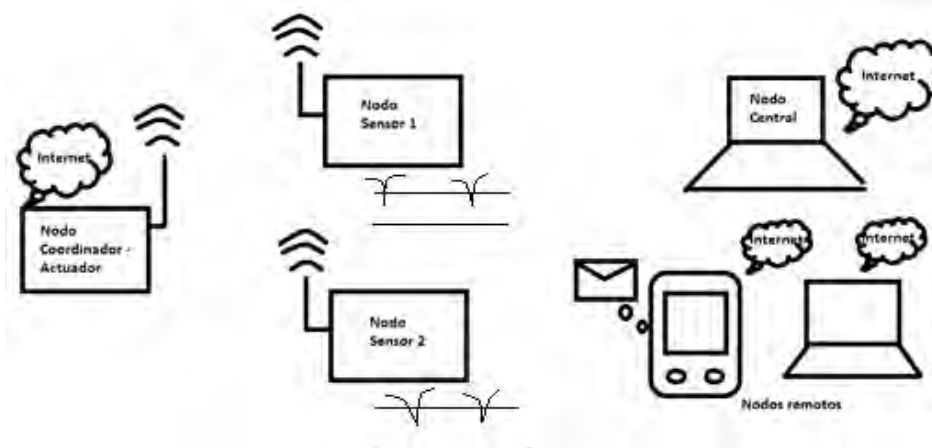


Tabla 2. Abreviaturas empeladas para realizar el control de riego a distancia

Abreviaturas	Orden de control	Repercusiones
ZZ11	Apertura electroválvula 1	Se da apertura únicamente al riego por goteo en el surco 1 del cultivo.
CC11	Cierre electroválvula 1	Es el mensaje necesario para desactivar el riego por goteo en el surco1. Cuando la apertura de la electroválvula se ha realizado por medio de un mensaje de texto, este mensaje de cierre es de vital importancia, de lo contrario el sistema realizaría el riego hasta agotar el agua del tanque dispuesto en el sitio de prueba.

ZZ22	Apertura electroválvula 2	Cumple la misma función de ZZ11, la diferencia radica en que el riego se efectúa en el surco 2.
CC22	Cierre electroválvula 2	Cumple la misma función de CC11, la diferencia radica en que se realiza el cierre del riego en el surco 2.
AATT	Apertura de las electroválvulas 1 y 2	Se realiza el riego por goteo en los dos surcos que conforman el sistema.
CCAA	Cierre de electroválvulas 1 y 2	Con esta abreviatura el sistema suspende el riego en todo el cultivo, además restablece al modo automático al sistema.
CCTT	Cierre de electroválvulas 1 y 2	Con esta abreviatura, se realiza un cierre del riego en los dos surcos y se suspende el control de humedad del cultivo.

Se destaca, que los nodos sensores y el nodo coordinador- actuador que se encuentran en el sitio de prueba, están desarrollados pensando en la portabilidad y en la independencia, puesto que cada nodo cuenta con un panel y un sistema de carga de baterías, lo cual los hace portables y autónomos en energía. Los nodos sensores disponen de baterías de 6v, mientras que el nodo coordinador-actuador tiene baterías de 12v para su alimentación.

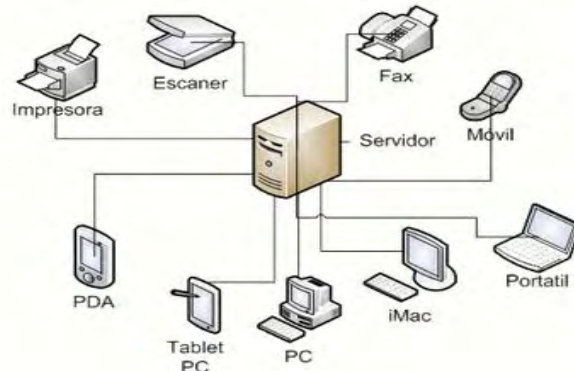
4.4 ETAPA IV: DISEÑO DEL SISTEMA

En esta etapa se explica el diseño de cada nodo que conforma el sistema y las razones para seleccionar los dispositivos que hacen parte de cada módulo.

4.4.1 Nodo Central

El nodo central lo compone un ordenador portátil, con una memoria RAM de 6 GB y un procesador Intel(R) Core(TM) i7-3630QM. El nodo central posee un servidor web y una base de datos. Un servidor es una máquina informática que está al servicio de otras máquinas, ordenadores o personas llamadas “clientes” y que le suministran a estos, todo tipo de información.

Figura 13. Esquema "cliente-servidor"



Fuente: <http://www.aprenderaprogramar.com>

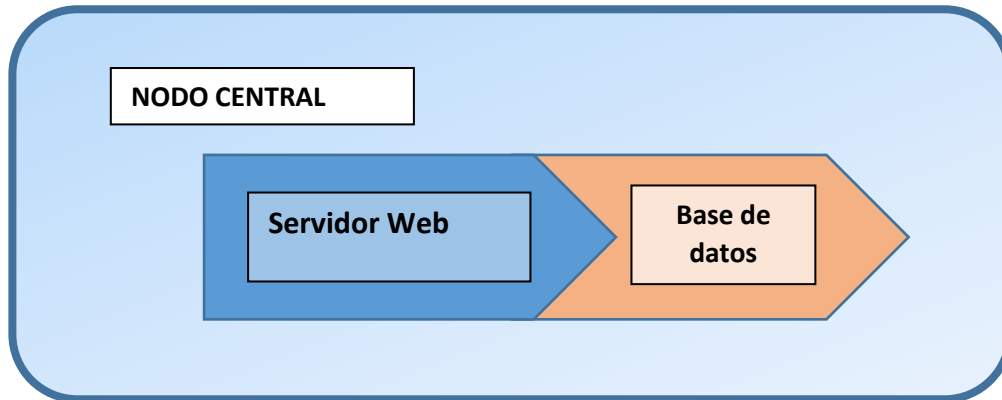
Existen diferentes tipos de servidores, entre los cuales se destacan: servidor de correo, servidor Proxy, Servidor Web, servidor de Base de Datos, Servidor Clúster, servidores dedicados y servidores de imágenes. Para la presente investigación, únicamente se hace uso de un Servidor Web, el cual tiene como función principal enviar páginas web a los usuarios que las solicitan cuando se conectan a Internet. El servidor Web utiliza una IP fija pública. Este tipo de IPs se utilizan para montar servidores web, porque permiten tener servicios dirigidos al dominio de la IP del servidor sin necesidad de estar actualizándolo cada vez que cambie la IP como ocurre con las IPs dinámicas. Por esta razón, una IP fija, también se conoce con el nombre de IP estática, porque tiene la misma estructura, cada vez que se inicia el equipo. La IP fija pública que dispone el servidor es 181.52.246.167, la cual permanece fija hasta que se haga un cambio manual o por medio del proveedor de Internet.

Dentro del nodo central, también encontramos una base de datos, que tiene la función de recopilar toda la información proveniente del sistema en el sitio de prueba, dicha información se encuentra organizada sistemáticamente por registros (formado por todos los campos referidos a una entidad u objeto almacenado) y campos (cada uno de los elementos que componen el registro), para su posterior uso.⁶

En la Figura 14, se observa el diagrama de bloques del nodo central.

⁶¿Qué es una base de datos?-Definición de Base de Datos. [en línea]. <<http://www.masadelante.com/faqs/base-de-datos>>. [citado el 14 de marzo de 2014]

Figura 14. Diagrama de Bloques Nodo Central



a. Descripción de la interfaz del servidor Web

La interfaz del servidor web se desarrolló mediante el uso del entorno integrado NetBeans IDE 7.4 (Integrated Development Environment), el cual es un medio de desarrollo integrado libre, hecho principalmente para el lenguaje de programación Java. En este programa del servidor, se reciben los datos provenientes de las variables de humedad de cada surco, la temperatura ambiente del sitio de prueba, el estado de las baterías y paneles solares que forman el sistema; y los almacena en la base de datos con la fecha y hora de llegada de cada dato.

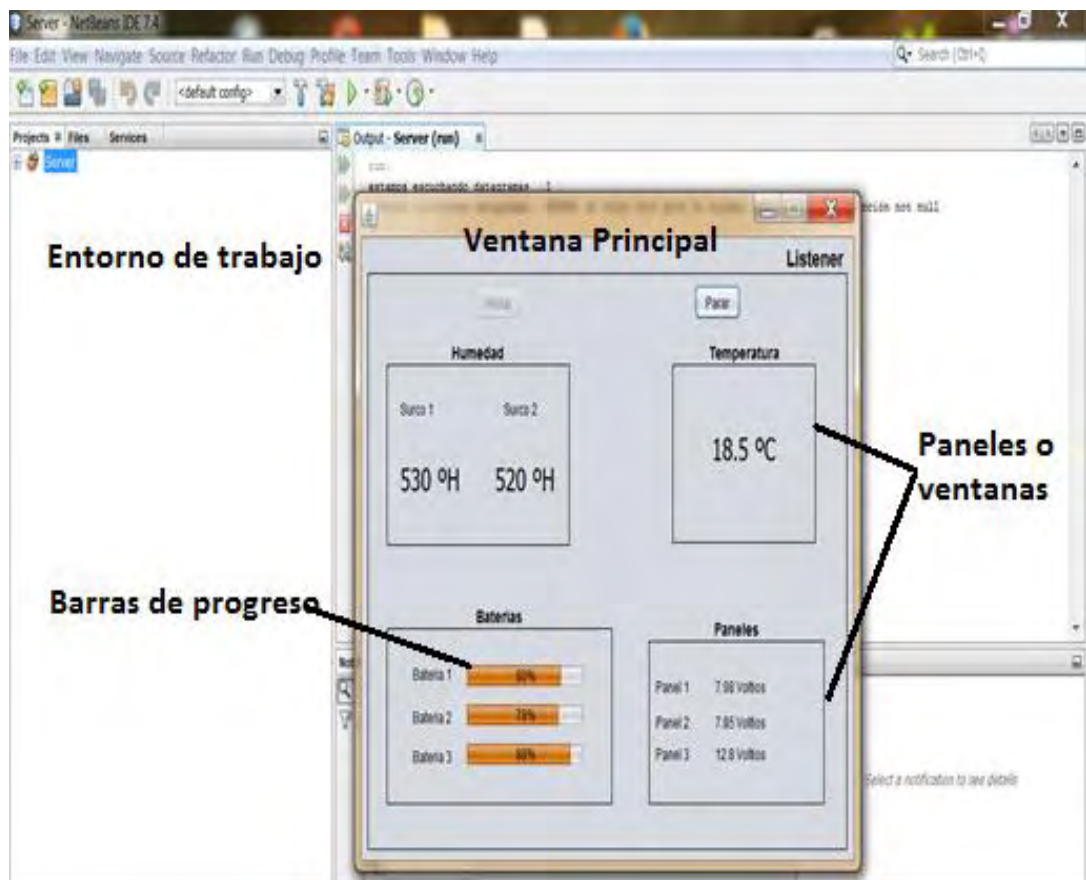
En la interfaz del servidor Web se encuentran dos botones para su funcionamiento, el botón "Iniciar" y el botón "Parar". Al pulsar el botón "Iniciar", el programa ejecuta un hilo o Thread, el cual permite que varios procesos se realicen simultáneamente. El hilo para este programa se llama "escuchador". Al pulsar "Iniciar" el hilo recibe la información proveniente del sistema y la actualiza en la ventana principal, a la cual el usuario tiene acceso. Al pulsar el botón "Parar", el hilo deja de escuchar, por lo cual se detiene la recepción de datos, hasta que de pulse nuevamente "iniciar".

La interfaz del servidor, además de los botones, contiene cuatro paneles o ventanas que agrupan un conjunto de elementos. En estas ventanas se actualiza la información que recibe del sistema. En las ventanas de humedad, temperatura y paneles se observan datos numéricos del estado de estas variables, mientras que en la ventana de baterías se encuentran tres barras de progreso que muestran el estado en porcentaje de las baterías del sistema, dentro de la ventana que se muestra la temperatura se observa un mensaje en el que se informa al usuario si está lloviendo o no en el sitio de prueba.

Es importante enfatizar que fue imposible realizar una medición numérica de la precipitación, por la sensibilidad del sensor, ya que este con tan solo colocarlo en la palma de la mano ya detectaba humedad y arrojaba valores que indican que hay precipitación. Por este motivo, se realiza una conversión de los valores ADC que arroja el sensor a valores lógicos de 0 y 1, siendo 0 el valor que indica que no está lloviendo, de acuerdo a los valores lógicos se envía la notificación al usuario.

En síntesis, el Servidor Web consiste en una ventana principal que ejecuta en un segundo plano la actualización de las variables provenientes del sistema remoto. El segundo plano se encuentra escuchando datagramas permanentemente, los cuales son enviados al servidor por un puerto y dependiendo de unas convenciones determinadas en la programación, el servidor identifica a que variable corresponde el dato que le ingresa y en tiempo real lo actualiza y lo ingresa a la base de datos.

Figura 15. Ventana principal del Servidor Web

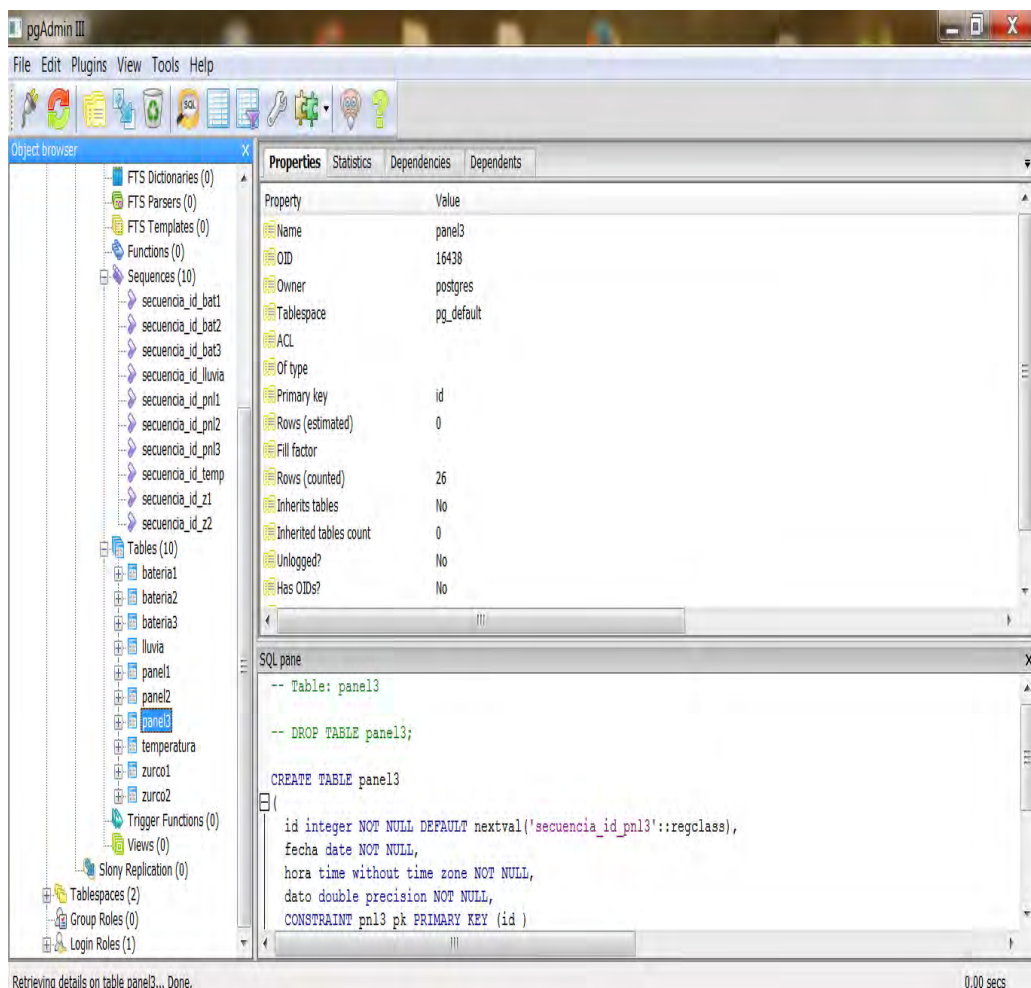


b. Descripción de la interfaz de la Base de Datos

La interfaz de la Base de Datos, se desarrolla mediante el uso del sistema de gestión de base de datos objeto-relacional PostgreSQL. El cual tiene un código fuente disponible libremente. Para conectar PostgreSQL con el servidor, se crea una cadena de conexión, la cual tiene tres parámetros: base de datos, usuario al cual se le conceden permisos para conectarse a la base de datos y la contraseña de usuario.

La Base de datos almacena las diferentes variables provenientes del sistema, con fecha, hora y año. En la Figura 16, se observa la interfaz de PostgreSQL donde se muestran las tablas requeridas para almacenar los datos del sistema.

Figura 16. Interfaz de PostgreSQL



4.4.2 Nodos remotos

Este nodo está formado por diferentes dispositivos móviles que trabajen bajo la plataforma Android y ordenadores o computadoras, estos dispositivos deben contener la aplicación encargada del monitoreo del sistema y una conexión a Internet. Todos estos elementos reciben el nombre de *Clientes*.

Descripción de la interfaz de los nodos remotos

Para los dispositivos que conforman los nodos remotos, se desarrolló una aplicación a la que se denomina Cliente, por medio de la cual el usuario puede realizar la consulta del estado de las variables del sistema. Para el desarrollo de la Aplicación cliente se hizo uso de una plataforma de desarrollo de código basada en Java, Eclipse IDE y un plugin personalizado para Android ADT plugin (Android Development Tools). Este plugin proporciona un potente entorno integrado para desarrollar aplicaciones de Android, extiende las capacidades de Eclipse para que pueda configurar rápidamente nuevos proyectos para Android, construir una interfaz de usuario de aplicación, depurar su aplicación, y la exportación⁷.

El Cliente se encarga de verificar si existe una conexión a Internet para realizar la consulta de datos. Cuando el cliente accede, se abre la ventana principal en donde el JFrame automáticamente abre un hilo de consulta. Un JFrame es una plantilla muy útil cuando se tiene pocos conocimientos de programación de interfaces graficas ya que posee la opción de vista de diseño, en la que se puede diseñar la interfaz que se desee solo con arrastrar los elementos necesarios al Frame, con esto se ahorra tiempo y sobre todo escribir código ya que solo se programa las acciones que realizará cada elemento que se colocó.

El hilo que abre el JFrame tiene establecido internamente el tiempo en el que se actualiza. El hilo en este programa es llamado "h", el cual cumple la misma función que el hilo del servidor que se encarga de actualizar en tiempo real las variables del sistema. El "cliente" posee además, la facultad de obtener graficas por medio de una librería (JFreeChart) que se encarga de ello, de acuerdo con los parámetros que se le envié; la librería consulta a la base de datos y con los datos que se encuentran en ella realiza la gráfica correspondiente.

⁷ Installing the Eclipse Plugin. [en línea]. <<http://developer.android.com/sdk/installing/installing-adt.html>>. [citado el 23 de junio de 2014]

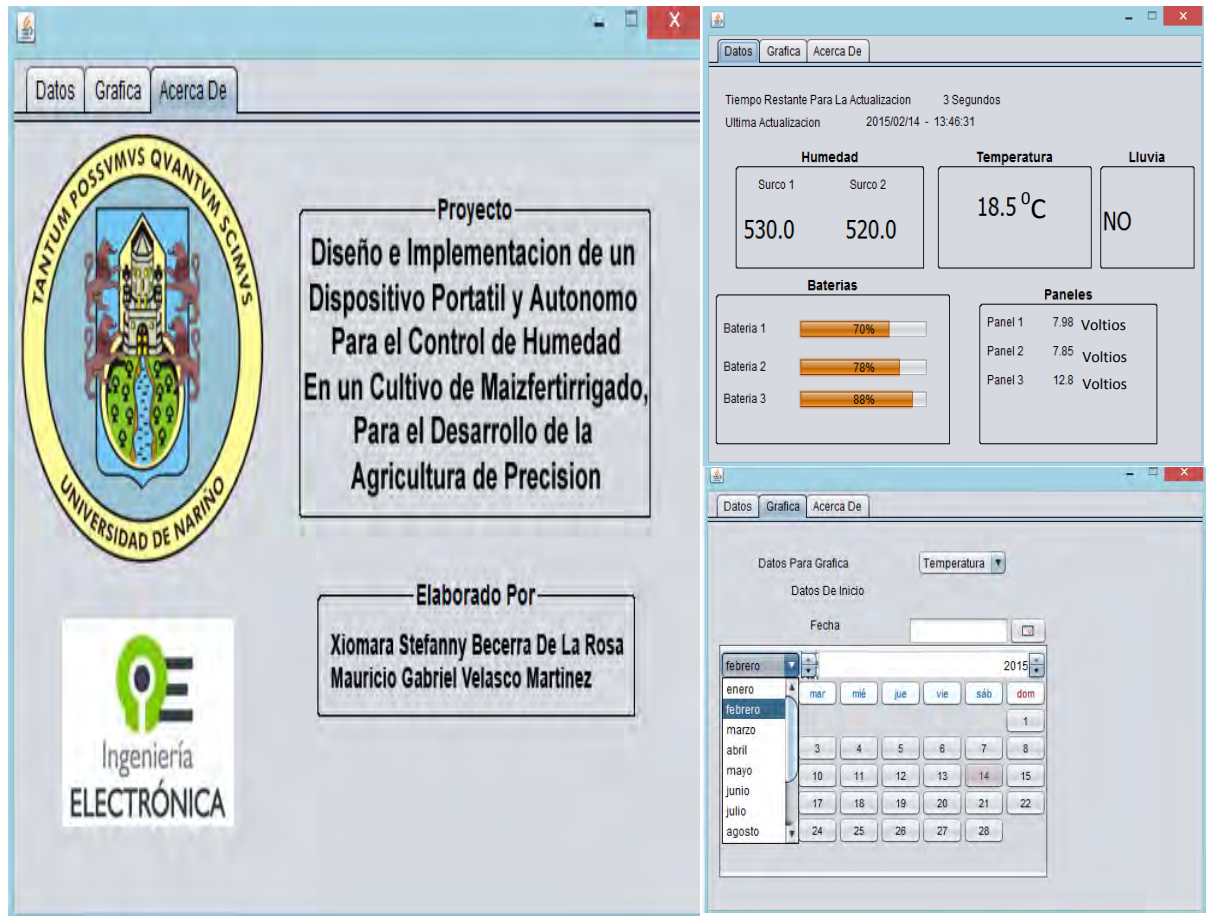
El desarrollo del aplicativo se realizó gracias a unos Layouts, que dispone el programa para ubicar cada uno de los elementos que conforman la aplicación en el lugar deseado. Los Layouts deben definirse teniendo en cuenta el tamaño de los elementos que contienen, tales como: campos de texto, imágenes, botones, ente otros. En las Figuras 17 y 18 se observa las ventanas de las que se compone la aplicación, tanto para los dispositivos móviles como para los ordenadores.

En el ANEXO E se precisa el manejo de cada aplicación en el Manual de Usuario.

Figura 17. Aplicación desarrollada para los dispositivos móviles



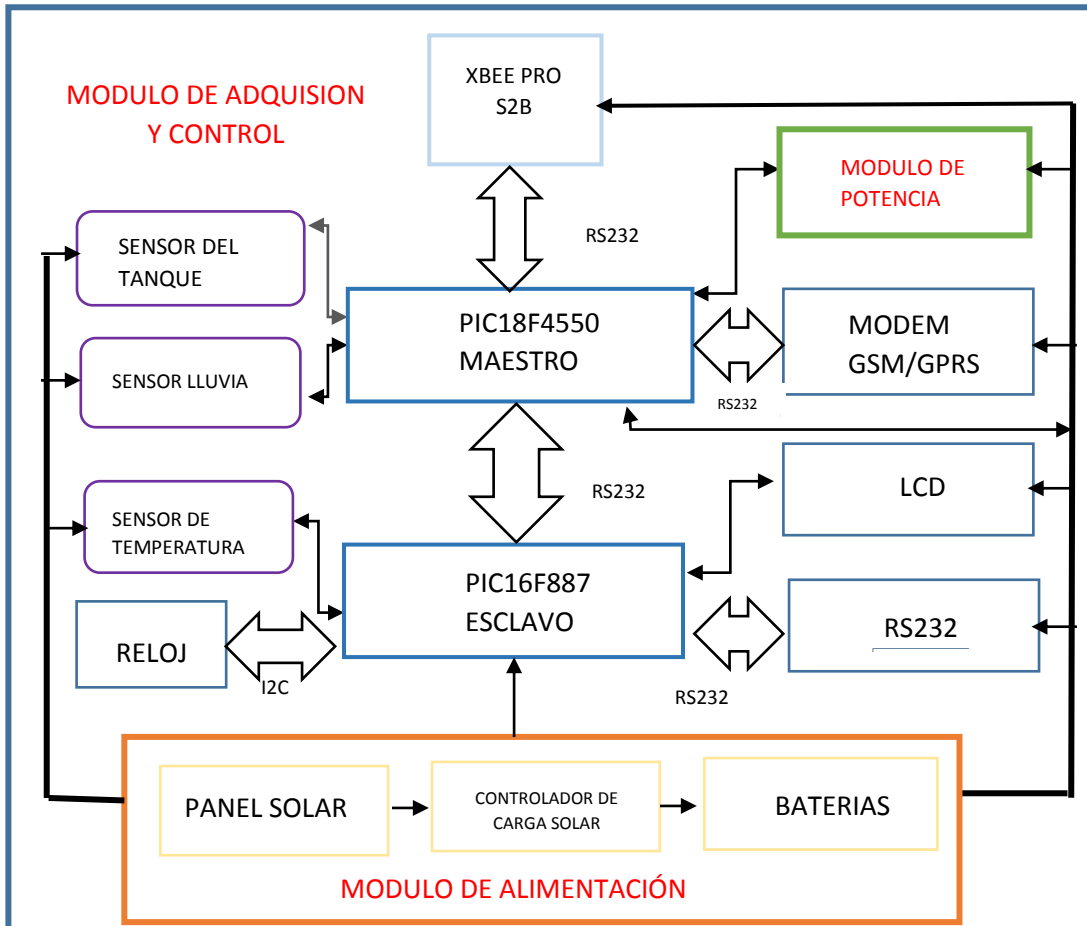
Figura 18. Aplicativo desarrollado para ordenadores



4.4.3 Nodo Coordinador-Actuador

Para el diseño de este nodo, se tuvo en cuenta los requerimientos del sistema. Además la revisión bibliográfica realizada al inicio de la investigación fue una parte fundamental para la elección de los dispositivos que forman el nodo coordinador-actuador. Este nodo está formado por 3 módulos: módulo de adquisición y control, módulo de potencia y módulo de alimentación. En la Figura 19 se observa el diagrama de bloques del nodo Coordinador-Actuador.

Figura 19. Diagrama de bloques Nodo Coordinador-Actuador



a. Módulo de adquisición y control

Para este módulo se mira la necesidad de emplear dos microcontroladores debido a la gran cantidad de pines que requiere para cumplir las funciones que tiene asignadas. Es importante resaltar que se planea trabajar con microcontroladores por economía y facilidad de programación. Para ello se decide hacer uso de un PIC18F4550 como maestro y un PIC16F887 como esclavo. La jerarquía en los microcontroladores se define por las características de cada uno de ellos.

En la realización del proyecto se utiliza el PIC18F4550 porque el microcontrolador reúne las características necesarias actuales y podría ajustarse sin problemas a características futuras. Entre sus características se resalta que el PIC es ideal para bajo consumo de corriente gracias a su tecnología Nano Watt y conectividad de las aplicaciones que se benefician de la disponibilidad de tres puertos serie: FS-USB (12 Mbit/s), I2C y SPI (hasta 10Mbit/s) y uno asíncrono (LIN) de puerto

serial (EUSART). Posee grandes cantidades de memoria RAM, de memoria FLASH y mejora de la memoria del programa lo hacen ideal para el control de aplicaciones de monitoreo periódico. Además de disponer de 13 entradas de conversión analógicas, lo cual es ideal en este caso que necesitar controlar gran cantidad de variables físicas.

El PIC18F4550 y 16F887, se alimentan con 5V DC, los cuales se aplican entre los pines de alimentación V_{DD} (+) y V_{SS} (-). El consumo de corriente del dispositivo depende de las cargas conectadas al microcontrolador y de su frecuencia de trabajo. Estos microcontroladores se comunican entre sí por medio de la interfaz de comunicación RS232.

En los microcontroladores existe un pin de reset para reiniciar el funcionamiento del sistema cuando sea necesario, ya sea por una falla que se presente o porque así se desee.

En la programación de las funciones a realizar por los PICs, se deben definir primero las entradas y las salidas de cada uno de ellos, mediante las cuales los microcontroladores se comunican con los otros dispositivos que hacen parte del nodo coordinador-actuador y definir el protocolo que va a utilizar para comunicarse, como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 3. Descripción de los pines de los microcontroladores

PIC	PIN	DESCRIPCIÓN	PROTOCOLO
18F4550	39	Transmisión con Xbee	RS232
	40	Recepción del Xbee	RS232
	33	Transmisión con modem	RS232
	34	Recepción con modem	RS232
	25	Entrada del Maestro – salida del Esclavo	RS232
	26	Salida del Maestro – Entrada del Esclavo	RS232
16F887	8 y 9	Reloj	I2C
	33	Transmisión con módulo RS232	RS232
	34	Recepción del módulo RS232	RS232

Definida la configuración de los pines se puede describir la adquisición y transmisión de los datos.

➤ Funciones del PIC18F4550

Como se observa en la Tabla 4, el PIC 18F4550, recibe la información de los nodos sensores a través del módulo XBEE utilizando el protocolo de comunicación RS232.

Para la elección del módulo Xbee a usar se han tenido en cuenta varios factores. El primero de ellos es el consumo, al utilizar los dispositivos finales alimentados con baterías se debe escoger un Xbee que cumpla las necesidades pero consuma lo menos posible para alargar la vida de las baterías. El segundo ha sido la topología usada para la red.

Teniendo en cuenta estos aspectos el módulo Xbee elegido es el modelo XBEE PRO ZB serie 2. Este módulo de comunicación ZigBee-Pro ZB, cumple con el estándar IEEE 802.15.4 con un alcance de 90m en interiores y 1600m en exteriores (con línea de vista). Además posee los datos técnicos que se encuentran en la siguiente tabla.

Tabla 4. Datos técnicos Xbee PRO ZB serie 2

Frecuencia:	2.4Ghz
Antena:	RPSMA
Sensibilidad:	-102dBm
Potencia de transmisión:	50mW (+17 dBm)
Voltaje de operación:	3V – 3,4V
Consumo TX	205mA
Consumo RX	47mA

Figura 20. Módulo XBEE PRO ZB Serie 2



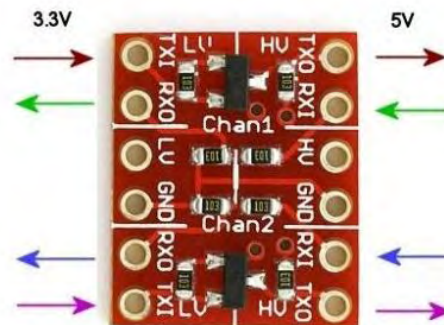
Como se puede apreciar en la tabla 4, el módulo Xbee escogido para el nodo coordinador-actuador posee una conexión para antena RPSMA. Por esta razón se utiliza una antena TL-ANT2405CL, sus especificaciones se muestran en la Tabla 5.

Tabla 5. Especificaciones antena omnidireccional TL-ANT2405CL

Frecuencia	2.4GHz
Impedancia	50 Ohmios
Rendimiento	5dBi
Radiación	Omnidireccional
HPBW/H(°)	360°
HPBW/V(°)	32°
Polarización	- Lineal, Vertical
Temperatura de Operación	-40°C~65°C(-40°F~149°F)
Temperatura de Almacenamiento	-40°C~80°C (-40°F~176°F)
Humedad de Operación	10%~90% sin condensación
Humedad de Almacenamiento	5%~90% sin condensación

Para protección del módulo Xbee se utiliza un convertidor de nivel lógico bidireccional Sparkfun, el cual es un pequeño dispositivo que convierte de forma segura las señales de 5V a 3.3V y de 3.3V a 5V al mismo tiempo, en síntesis se puede establecer con éxito sus altos y bajos voltajes y subir y bajar entre ellos de manera segura en el mismo canal. Cada convertidor de nivel tiene la capacidad de convertir 4 pines en la parte alta y 4 pines en la parte baja, con dos entradas y dos salidas previstas para cada lado.

Figura 21. Convertidor de nivel lógico bidireccional



Otra función que realiza el PIC18F4550 es la de configurar el modem para la transmisión de datos vía GPRS utilizando comandos AT y el protocolo de comunicación RS232. El PIC, además de enviar datos del sistema, recibe y lee los mensajes de texto provenientes del Modem utilizando comandos AT. Para realizar la transmisión de datos, y recepción de mensajes de texto se va a utilizar el Modem Quectel M95, el cual permite integrar conectividad GSM/GPRS.

Figura 22. Tarjeta M95ARD con los pines usados por el Shield



Este modem, exige una alimentación de 5V. Además posee 3 terminales de uso obligatorio, las cuales se resumen en la Tabla 6.

Tabla 6. Funciones de los terminales del Modem Quectel M95

TERMINAL	FUNCIÓN
STATUS	Permite conocer el estado del M95 (ON/OFF) en el software, realizando lectura del pin. Paralelamente, el STATUS del M95 está conectado a un led para visualizar su estado lógico (LED STATUS).
PWRKEY	Se tiene con el fin de controlar el encendido o apagado del M95 a través de software, donde debe estar en “0” constantemente, y en “1” al momento de activarlo. Para prender o apagar el M95, debe accionarse el pin pwrkey, colocando un “1” lógico, hasta que el terminal STATUS cambie a “1”; en ese momento se puede bajar el pwrkey a “0”. El terminal PWRKEY del M95 puede ser operado por el pulsador destinado a esto (“PWR”), de forma paralela al control por software.
EMERG_OFF	Controlar el apagado de emergencia a través de software, donde el pin debe estar en “0” constantemente y en “1” al momento de activarlo. El terminal EMERG_OFF del M95 puede operarse paralelo a esto, a través del pulsador destinado a esto (“E_O”).

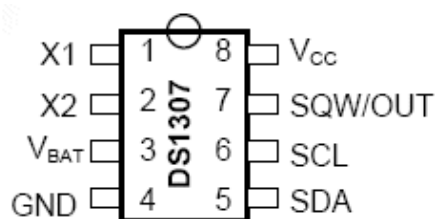
El PIC18F4550 realiza también la lectura de los sensores: de lluvia y el sensor del tanque de abastecimiento de agua, y de la batería del sistema utilizando el convertidor análogo/ digital del PIC. Para realizar la lectura de la batería, se emplea un divisor de voltaje, en donde se establece una resistencia fija y un potenciómetro, permitiendo convertir un máximo de 14V a 5V, la cual es la lectura máxima del microcontrolador. Con la lectura que se obtiene del sensor del tanque de agua, el sistema envía al usuario un mensaje de texto, en el cual se notifica cuando el tanque está próximo a vaciarse.

Para finalizar con las funciones del PIC18F4550, se tiene que este microcontrolador está encargado del módulo actuador del sistema, permitiendo la apertura y cierre de las electroválvulas encargadas del riego del cultivo. Para realizar el riego del cultivo, se dispone de 4 electroválvulas. Tres de ellas se alimentan con una tensión de 3.3V y la otra con 12V DC.

➤ Funciones del PIC16F887

El PIC16F887 se encarga de la configuración y lectura del reloj DS1307 utilizando el protocolo de comunicación I2C. I2C es un bus de comunicaciones en serie. La principal característica de I2C es que utiliza dos líneas para transmitir la información: una para los datos y otra para la señal de reloj⁸. DS1307, es un reloj y calendario de tiempo real que cuenta los segundos, los minutos, las horas, los días de la semana, los días del mes, los meses y los años, funciona con una tensión de 5 Volts.

Figura 23. Reloj DS1307



Fuente: http://www.bristolwatch.com/arduino/arduino_ds1307.htm

Otra función del PIC16F887 es el manejo de la Pantalla LCD. Esta pantalla se utiliza para visualizar las diferentes variables que componen el sistema, su objetivo además es crear un ambiente amigable y entendible para el usuario.

⁸ WIKIPEDIA. I2C. [en línea]. <http://es.wikipedia.org/wiki/I%C2%B2C>>. [citado el 20 de noviembre del 2014]

El PIC16F887, está encargado además de la comunicación externa con el usuario para la configuración del reloj y el fertirriego, utilizando el protocolo de comunicación RS232. Para lograr este fin, el sistema debe disponer de un dispositivo externo que realice la conversión RS-232 a TTL y viceversa. Este dispositivo junto con un cable USB-serial permitirá la comunicación entre un computador y el sistema, como se observa en la siguiente figura.

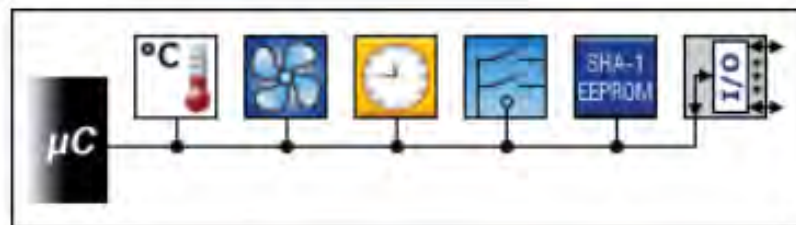
Figura 24. Conexión USB-Serial para la configuración del reloj DS1307



Además de las conexiones anteriores, es necesario el uso de un software llamado X-CTU. En donde al ejecutarlo se encuentra el cable USB-serial asignado a un puerto COM. En este programa se utiliza la pestaña Terminal para configurar el reloj y el día en que se realizará el fertirriego.

Por último, pero no menos importante, el PIC16F887 se encarga de la lectura del sensor de temperatura, DS18B20. Este sensor, solo tiene un pin de comunicación que maneja tecnología 1-Wire⁹, no requiere componentes externos, esta calibrado directamente en grados Celsius y su rango de temperatura es de -55 °C a +125 °C con incrementos de ± 0.5 °C. La temperatura es leída con 9 bits de resolución.

Figura 25. Bus de comunicación 1-Wire



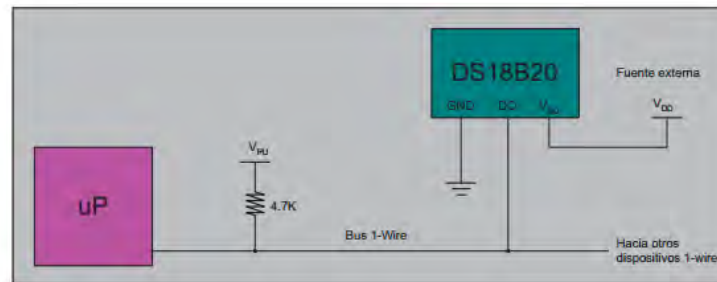
Fuente: <http://www.maxim-ic.com/products/1.wire/flash/overview/index.cfm>

El DS18B20 puede ser alimentado por un suministro externo VDD, o puede funcionar en “modo parásito”. Dicho modo, permite al DS18B20 funcionar sin un

⁹ Tecnología que resume los pines de comunicación a uno solo, y esta basta y sobra para la manipulación de los dispositivos de este tipo.

suministro local externo. Para este sistema, el DS18B20 será alimentado por el método convencional de conectar una fuente de energía externa VDD, como se muestra en la siguiente Figura. La ventaja de este método consiste en que no requiere de un MOSFET pull up, y el bus queda libre de llevar otro tráfico durante el tiempo de conversión de temperaturas.¹⁰

Figura 26. Esquema de conexión del DS18B20 con fuente externa



b. Módulo de alimentación

Este módulo posee un panel solar que se constituye la fuente de energía principal de este nodo, enseguida se encuentra un controlador de carga solar Phocos CA, que es un aparato moderno que incorpora toda una serie de características sobresalientes, como: 3 LEDs para una visualización clara del estado de las baterías, conectores para cables de 16mm², compensación de temperatura y protección electrónica sin fusibles. El controlador de carga solar protege a las baterías contra una posible sobrecarga y evita que sean fuertemente descargadas durante los consumos por el nodo coordinador-actuador. El proceso de recarga ocurre durante múltiples estados los cuales incluyen adaptación automática a la temperatura ambiente para una óptima recarga de la batería.

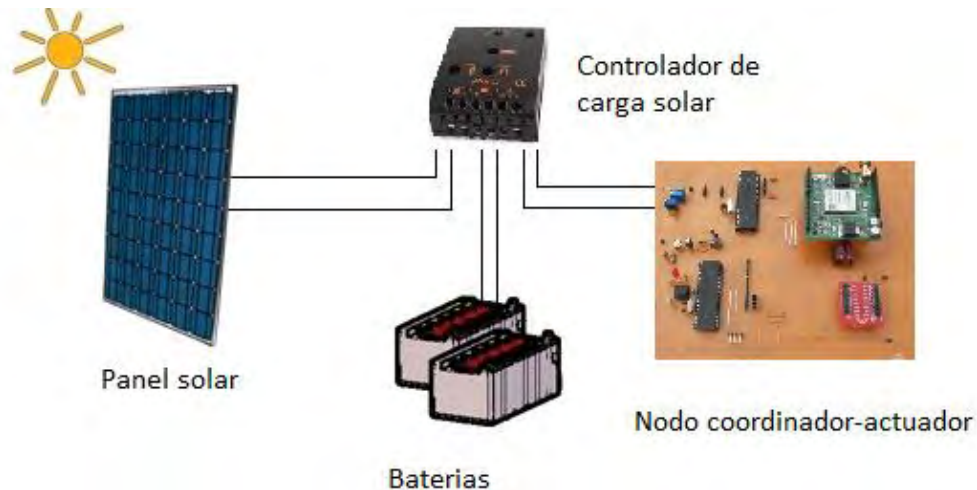
Definidos los elementos que componen el nodo coordinador-actuador, se observa que no tienen un mismo voltaje de alimentación para su funcionamiento, por lo cual se procede a utilizar reguladores de tensión, encargados de reducir el voltaje proveniente del panel solar y de las baterías, a los valores que los dispositivos electrónicos que conforman el nodo necesitan para su correcto funcionamiento.

En este sistema, se emplean siete reguladores de voltaje de diferentes valores de tensión en su salida, de los cuales, cuatro de ellos son de 5V, dos reguladores de 3,3V y un regulador de 12V. El número de reguladores se determinó por la

¹⁰ AVILÉS TAPIA, Pablo y SALTO ÁLVAREZ, Paúl. Diseño, construcción e implementación de un triedro electrónico según la norma INEN para monitoreo de temperatura de la empresa Fibro Acero.2010. pág.30

corriente máxima que los elementos pueden llegar a consumir en su funcionamiento.

Figura 27. Módulo de alimentación nodo coordinador-actuador



c. Módulo de potencia

Este módulo recibe las órdenes de encendido o apagado de electroválvulas, provenientes del módulo de adquisición y control. Este módulo está formado por opto acopladores, transistores TIP120 y las electroválvulas.

Los opto acopladores, también llamados optoaisladores o aislador acoplado ópticamente, es un dispositivo de emisión y recepción que funciona como un interruptor, suelen ser elementos que sustituyen a los relés tradicionales. Se utilizan para aislar dos circuitos, el módulo de adquisición y control del llamado circuito de potencia.

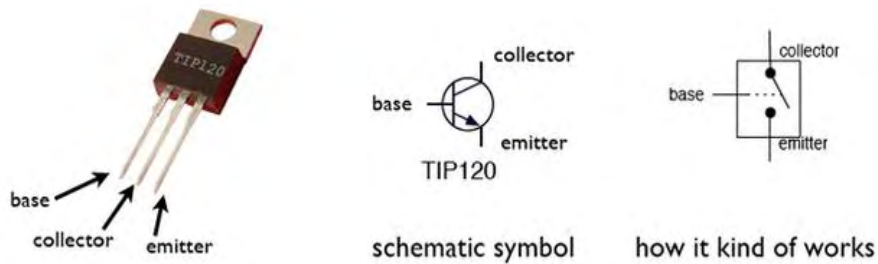
Figura 28. Opto acoplador EL817



Los TIPs 120, son un ejemplo de par Darlington, la ganancia de corriente según las especificaciones del fabricante es de 1000 hrs, y la máxima corriente que

puede circular por el colector es de 5 A. Además de los dos transistores propios del par Darlington, este dispositivo, lleva un diodo adicional y un par de resistencias con fines de protección. Estos componentes se utilizan para conectar componentes de gran consumo como son las electroválvulas.

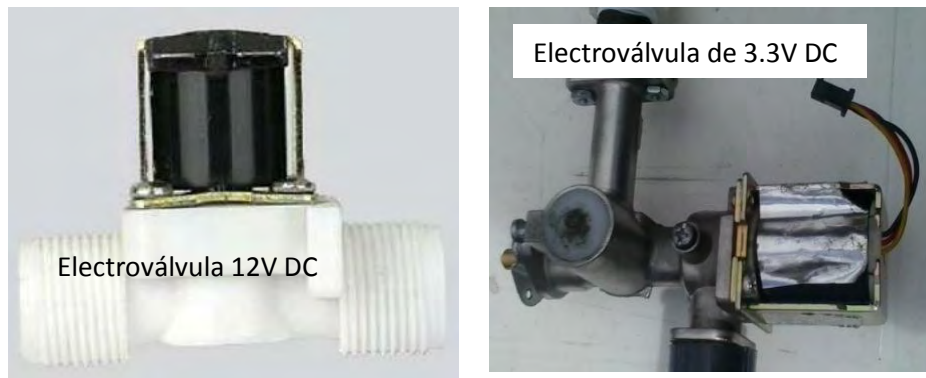
Figura 29. TIP120



Fuente: Hoja de datos TIP120

Finalmente, las electroválvulas que componen el sistema, son dispositivos que responden a pulsos eléctricos. Gracias a la corriente que circula a través del solenoide es posible abrir o cerrar la válvula controlando, de esta forma, el flujo de agua. Al circular corriente por el solenoide genera un campo magnético que atrae el núcleo móvil y al finalizar el efecto del campo magnético, el núcleo vuelve a su posición, en la mayoría de los casos, por efecto de un resorte.¹¹

Figura 30. Electroválvulas del sistema

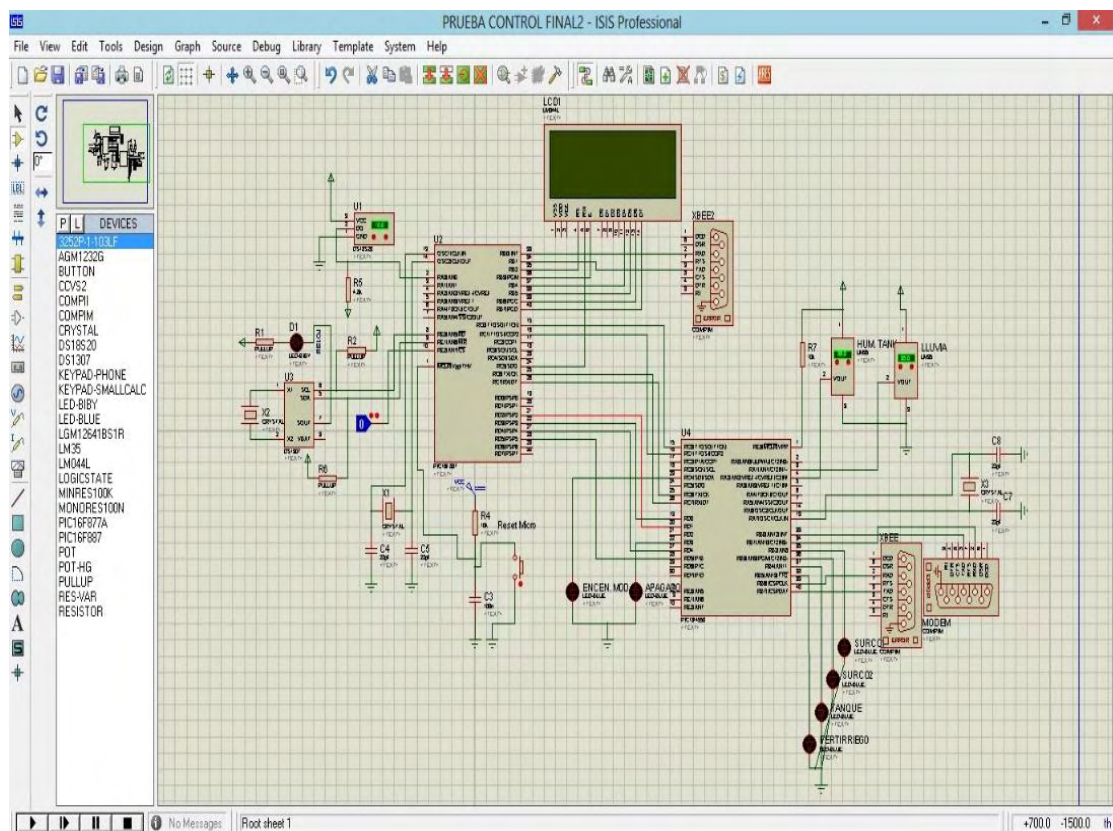


¹¹ DISTRITEC SA. ¿Qué es una electroválvula y para qué sirve? [en línea]. <<http://www.distritec.com.ar/detalleNovedad.php?titulo=%BFQU%C9%20ES%20UNA%20ELECTROV%C1LVULA%20Y%20PARA%20QU%C9%20SIRVE>>.[citado el 10 de enero del 2015]

Posteriormente, para la realización del diseño electrónico y pruebas de funcionamiento se ha utilizado el software Proteus. Proteus es una herramienta software que permite la simulación de circuitos electrónicos con microcontroladores sin necesidad de desarrollar el hardware. Sus reconocidas prestaciones lo han convertido en el más popular simulador software para microcontroladores PIC.¹²

El diseño del nodo coordinador-actuador fue realizado en el programa Isis Professional 7, como se observa en la figura 31.

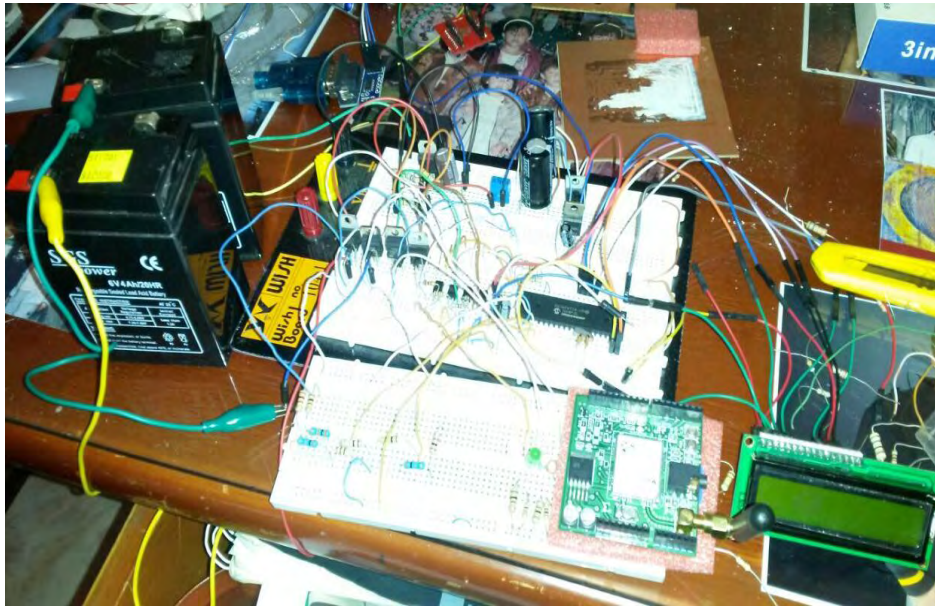
Figura 31. Diseño final del nodo coordinado-actuador en ISIS 7



En base al diseño de la Figura 31, se realiza el montaje del sistema en protoboard para verificar su correcto funcionamiento, y realizar la posterior construcción de la placa del nodo coordinador-actuador con la ayuda de PCB Wizard 3.50.

¹² LARA, Joaquín y NIEVAS, Salustiano. PROTEUS. [en línea]. <<http://www.pic16f84a.org/ique-es-proteus.html>>. [citado el 10 de enero del 2015]

Figura 32. Montaje en protoboard del nodo coordinador-actuador



Para la construcción de la placa del nodo coordinador-actuador, se decide separar el modulo actuador y el módulo de alimentación del módulo de adquisición y control del sistema. Obteniendo de esta manera tres placas individuales, pero que se encuentran juntas dentro del mismo nodo.

Figura 33. Módulo de alimentación del nodo coordinador-actuador

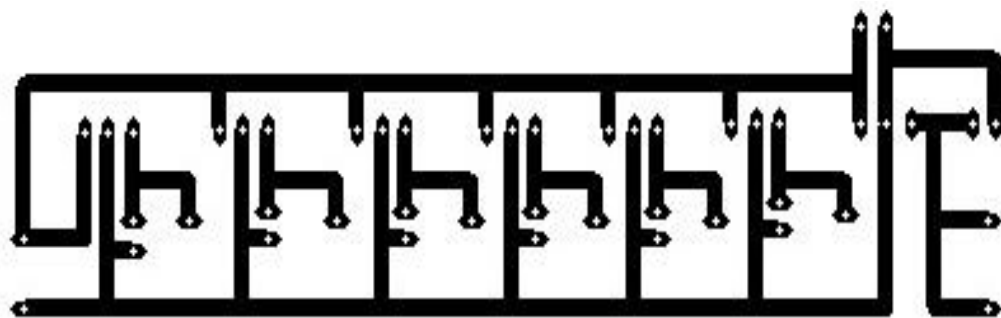


Figura 34. Módulo de adquisición y control del nodo coordinador-actuador

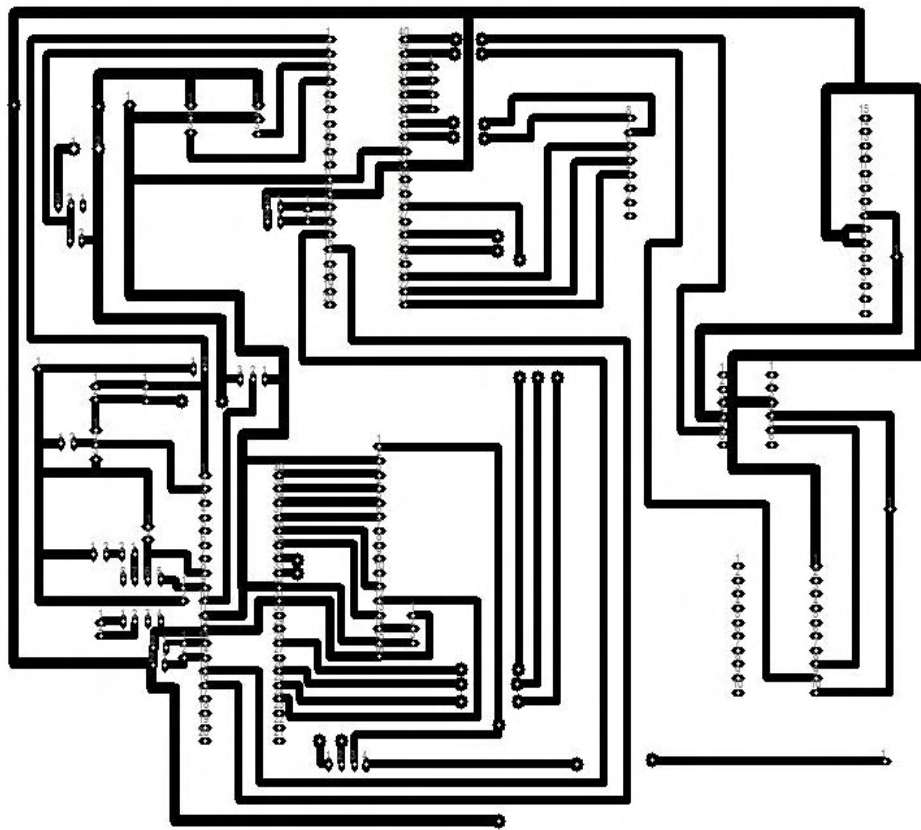
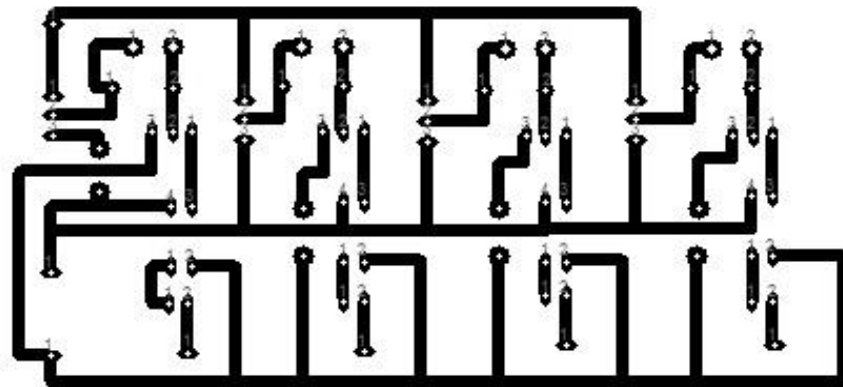


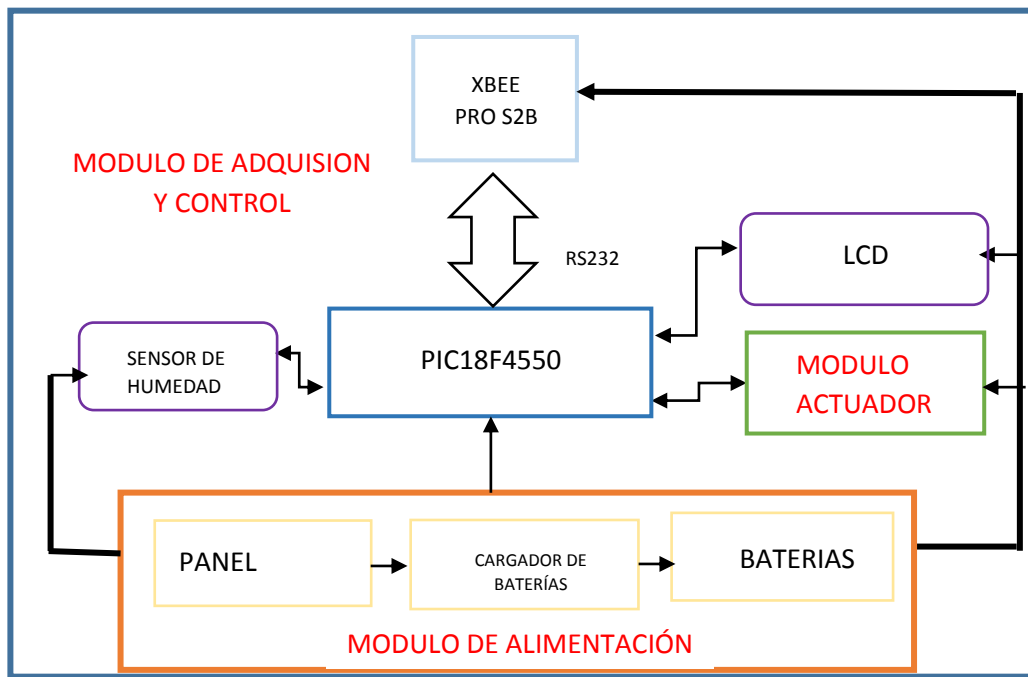
Figura 35. Módulo actuador del sistema



4.4.4 Nodos sensores

Para el diseño de estos nodos, se tuvo en cuenta, que son los encargados de obtener los datos provenientes de la humedad del suelo. A partir de esto, se definen los elementos que forman parte de los nodos sensores. Estos nodos se componen de tres módulos: módulo de adquisición y control, módulo actuador y módulo de alimentación. En la Figura 36 se observa el diagrama de bloques de los nodos sensores.

Figura 36. Diagrama de Bloques Nodo Sensor



a. Módulo de adquisición y control

Este módulo tiene como unidad central el PIC18F4550, cuyas características se mencionaron anteriormente. El PIC se encarga de la adquisición de los datos provenientes del sensor de humedad del suelo. El sensor que se utiliza para este fin es el SEN0114, el cual utiliza dos sondas para pasar corriente a través del suelo. La cantidad de agua determina la corriente que circula, de tal manera que a más agua hace que la corriente en el suelo se conduzca más fácilmente (menos resistencia), mientras que el suelo seco conduce menos corriente (mayor

resistencia). Las Especificaciones de este sensor se observan en la siguiente tabla.

Tabla 7. Especificaciones sensor de humedad SEN0114

Fuente de alimentación:	3,3 V o 5 V
señal de tensión de salida:	0 ~ 4.2v
corriente:	35mA
Pin definición:	1 salida analógica 2-GND 3-Power
Tamaño:	60x20x5mm
Rango de valores:	0 ~ 300: suelo seco 300 ~ 700: suelo húmedo 700 ~ 950: en el agua

Figura 37. Sensor de humedad del suelo SEN0114



Una vez el sensor suministra al PIC el valor de humedad presente en el suelo que lo rodea, este dato es enviado al nodo coordinador-actuador gracias al módulo Xbee PRO ZB serie 2. El PIC y el módulo Xbee se comunican por medio del protocolo RS232. Además del valor de humedad del suelo, son enviados los datos del voltaje de baterías y panel solar que forman el nodo. Estas variables se las puede visualizar en tiempo real en cada nodo por medio de las pantallas LCD que disponen.

b. Módulo actuador

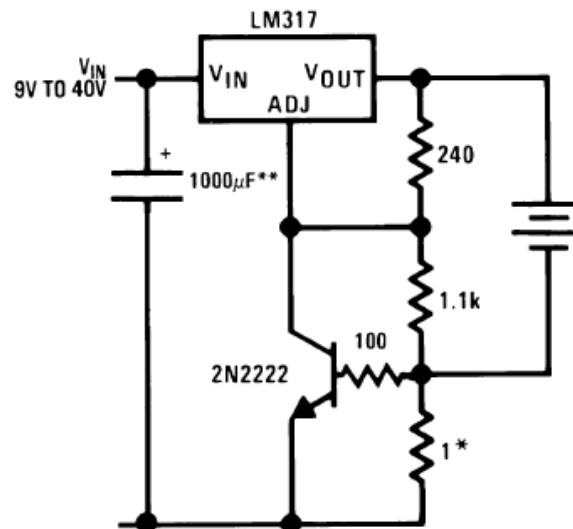
Este módulo está formado por optoacopladores y relés. El relé es un dispositivo electromecánico que hace la función de un interruptor controlado mediante un circuito eléctrico, que por medio de una bobina y un electroimán acciona uno o varios contactos que permiten cerrar o abrir circuitos eléctricos independientes.

Para estos nodos, se utilizan cuatro relés, los cuales son controlados por medio del PIC18F4550, quien les envía a través de los optoacopladores un 1 lógico para encenderlos o un 0 lógico para apagarlos, según el sistema lo requiera. Cada relé tiene una función especial. El primero de ellos se encarga de activar el control de carga para la batería 1, el segundo controla la carga de la batería 2 del sistema, el tercer relé habilita la alimentación del circuito con la batería 1 mientras que el cuarto relé habilita la alimentación del circuito con la batería 2.

c. Módulo de alimentación

Este módulo se compone de un panel solar, un cargador de baterías y las baterías. El Circuito cargador es alimentado por el panel solar y está basado en el regulador ajustable LM317. El esquema de cargador para baterías de 6v fue tomado de las aplicaciones de datasheet de National semiconductor, en donde establece una corriente pico de 0.6A.¹³ Los reguladores LM317 tienen apagado térmico interno para proteger el dispositivo contra el recalentamiento. Un disipador de calor puede ser requerido en función de la disipación de potencia máxima y temperatura ambiente máxima de la aplicación.

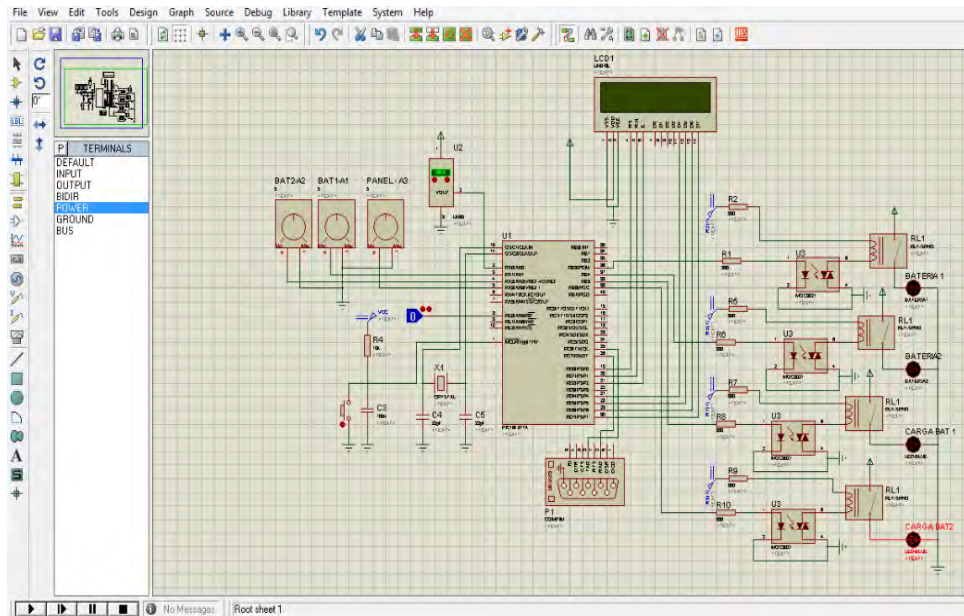
Figura 38. Esquema del cargador de baterías de 6V



¹³ TEXAS INSTRUMENTS. [en línea]. <<http://www.national.com/>>. [citado el 11 de abril de 2014]

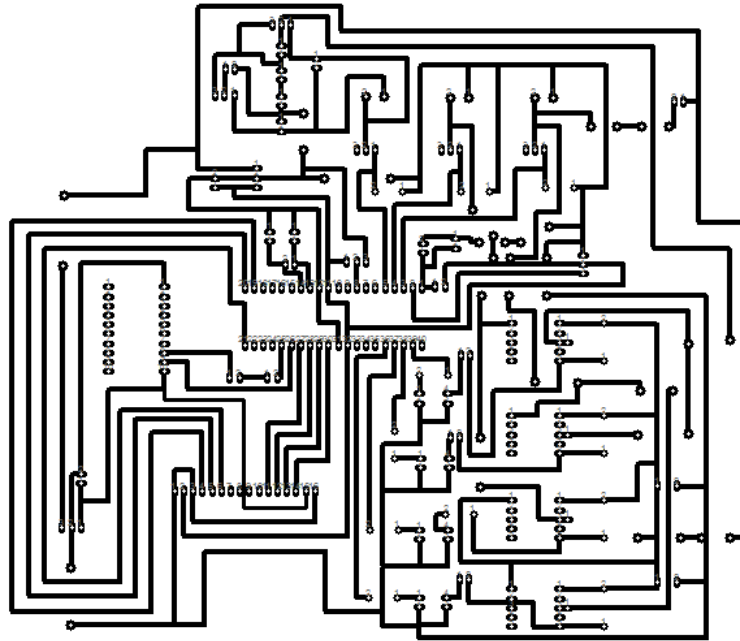
El diseño de los nodos sensores fue realizado en el programa Isis Professional 7, como se observa en la figura 39.

Figura 39. Diseño final del nodo sensor en ISIS 7



En base al diseño de la Figura 39, se realiza el montaje del sistema en protoboard para verificar su correcto funcionamiento, y realizar la posterior construcción de la placa del nodo coordinador-actuador con la ayuda de PCB Wizard 3.50.

Figura 40. Placa del nodo sensor



4.5 IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA

Antes de realizar la implementación del sistema, se procede a realizar un dimensionamiento del sistema solar fotovoltaico en el sitio de prueba, para conocer por medio de este, el número de paneles y baterías que componen cada nodo.

4.5.1 Dimensionamiento del sistema solar fotovoltaico

El propósito del dimensionamiento del sistema fotovoltaico (FV) es el cálculo del número de paneles y baterías, necesarias para suministrar de modo fiable un determinado consumo de voltaje durante un año típico. El dimensionamiento de los sistemas fotovoltaicos ha sido objeto de amplios estudios teóricos, dando como resultado, métodos simples, hasta complejos modelos matemáticos.¹⁴

¹⁴ TECNOLÓGICO DE ESTUDIOS SUPERIORES ECATEPEC. Libro de ciencia y tecnología No. 2. 2009. Primera Edición.

Para evaluar el dimensionamiento del sistema fotovoltaico, se analizaron dos métodos, el primero, es un método sencillo que se puede realizar con cálculos simples “a mano”, el segundo requiere un software especializado para realizar el dimensionamiento de un sistema solar fotovoltaico. Los métodos analizados fueron:

- Método Directo
- Software Censol 5.0

A. *El método Directo*¹⁵ de dimensionamiento sólo toma los valores definidos por el consumo y el tipo de sistemas de captación y acumulación que se utilizara, no toma en consideración parámetros geográficos, por lo cual este no es el más adecuado si se requiere el dimensionado de sistemas de gran envergadura, pero si nos puede dar una primera aproximación del tamaño del sistema que debemos instalar.

Tabla 8. Definición de los elementos que conforman el nodo coordinador-actuador

Artefacto	Numero de Artefactos A	Potencia del artefacto (W) B	Horas de uso diario C	Potencia total (W) (AxBxC)
Xbee Pro ZB serie 2	1	0.6765	10	6.765
Convertidor nivel lógico	1	0.11	10	1.1
Modem M95	1	3.75	10	37.5
Electroválvula 12V	1	3.996	1	3.996
Electroválvulas 3.3V	3	0.66	1	1.98
Sensor de lluvia	1	0.175	10	1.75
Sensor del tanque	1	0.175	10	1.75
Sensor de temperatura	1	0.075	10	0.075
Reloj	1	0.02	24	0.48
Microcontroladores	2	0.19	24	9.12
LCD	1	0.0075	24	0,18
Suma de potencias				64.696

Tabla 9. Definición de los elementos que conforman el nodo sensor

Artefacto	Numero de Artefactos	Potencia del artefacto	Horas de uso diario	Potencia total (AxBxC)
-----------	----------------------	------------------------	---------------------	------------------------

¹⁵ METODO DIRECTO. [en línea]. < <http://antusol.webcindario.com/dimensionamiento.html>>. [citado el 15 de marzo de 2015]

	A	(W) B	C	(W)
Xbee Pro ZB serie 2	1	0.6765	10	6.765
Convertidor de nivel lógico	1	0.11	10	1.1
LCD	1	0.0075	24	0,18
Sensor de humedad	1	0.175	10	1.75
Relé	4	0.3472	2	2.778
Microcontrolador	1	0.19	24	4.56
Suma de potencias (D)				17,133

A continuación se procede a calcular el número de paneles necesarios para el funcionamiento del sistema.

Tabla 10. Cálculo número de paneles nodo coordinador-actuador

(E) Tensión del sistema	12V
(F=D/E) Corriente del sistema por hora	5.4 Ah
(G) Promedio horas de sol por día	8
(H=F/G) Corriente que debe suministrar el sistema por día	0.67 A
(I) Corriente del panel seleccionado	0,61 A
(J=H/I) Número de paneles	1,1

Tabla 11. Cálculo número de paneles nodo sensor

(E) Tensión del sistema	6V
(F=D/E) Corriente del sistema por hora	2,85 Ah
(G) Promedio horas de son por día	8
(H=F/G) Corriente que debe suministrar el sistema por día	0.36
(I) Corriente del panel seleccionado	0.5 A
(J=H/I) Número de paneles	0.71

En seguida se calculara el número de baterías en donde es necesario incluir el número de días sin sol que el sistema deberá funcionar, lo cual debe ser preciso ya que un sobredimensionamiento de esto aumentará el costo del proyecto.

Tabla 12. Cálculo de baterías del nodo coordinador-actuador

(F) Corriente del sistema por hora (Ah)	5.4 Ah
(K) Número de días sin sol	2
Capacidad necesaria de las baterías (L=F x K)	10.8
(M) Capacidad de las baterías según especificaciones del fabricante (Ah)	7 Ah
(N=L/M) Número de baterías	1.5

Tabla 13. Calculo baterías nodo sensor

(F) Corriente del sistema por hora (Ah)	2.85 Ah
(K) Número de días sin sol	2
Capacidad necesaria de las baterías (L=F x K)	5.7
(M) Capacidad de las baterías según especificaciones del fabricante (Ah)	7 Ah
(N=L/M) Número de baterías	0.8

B. El software CENSOL5¹⁶ (© PROGENSA, 2006), se presenta, como una herramienta de indudable valor e interés didáctico y profesional. Aprender, comprender, analizar y calcular el dimensionamiento de un sistema fotovoltaico es su función. En este sentido, CENSOL5 es un firme candidato a convertirse en un referente de software de utilidad para abordar el estudio de los sistemas de aprovechamiento de la energía solar, comprender sus fundamentos, analizar su comportamiento y realizar el dimensionado básico de instalaciones. Más que un programa, CENSOL5 es un completo paquete informático que incluye hasta 12 módulos específicos.

Figura 41. Módulos contenidos en el programa CenSOL5



Para esta investigación, se analizará la pestaña “Solar fotovoltaica”, el cual muestra una serie de parámetros que debemos tener en consideración para el dimensionado, uno de los datos más importantes que se debe considerar es la radiación diaria media, la cual es bastante fácil de obtener mediante este software en el módulo Base de datos de radiación. Esta base de datos es mundial, al seleccionar el país permite escoger la ciudad, al seleccionar

¹⁶ Información sobre el programa Censolar, 2005-2014

la ciudad muestra la radiación en MJ /m2 y en Kwh/m2, de aquí se obtienen los datos para traspasarlos al módulo solar fotovoltaica.

Figura 42. Módulo Base de datos de radiación

ALEMANIA	FINLANDIA	MOZAMBIQUE	H. MONTENEGRO (+05.7°)										
ANGOLA	FRANCIA	NAMIBIA	H. PANCIO (+02.9°)										
ANTÁRTIDA	GHANA	NICARAGUA	H. PIUNTI (+06.7°)										
ARGELIA	GRAN CAIMÁN	NIGERIA	HONDA (+05.2°)										
ARGENTINA	GRANADA	NUOVA ZELANDA	IAUARETE (+00.6°)										
ÁRTICO	GRECIA	PAKISTÁN	IBAGUE (+04.4°)										
AUSTRALIA	GUATEMALA	PANAMÁ	IBARRA (+00.3°)										
AUSTRIA	GUINEA	PARAGUAY	ICACAL (+09.2°)										
AZORES	GUINEA PORTUGUESA	PERÚ	ICA-EL CARMEN (+09.7°)										
BARBADOS	GUYANA	PORTUGAL	IPIALES (+00.8°)										
BÉLGICA	HAITI	REPÚBLICA DOMINICANA	IQUITOS (-03.7°)										
BELIZE	HONDURAS	REUNIÓN	ISLA EL SANTUARIO (+05.4°)										
BIRMANIA	HUNGRÍA	RUMANÍA	ISTMINA (+04.7°)										
BOLIVIA	INDIA	RUSIA	ITUANGO (+07.2°)										
BOTSWANA	IRAK	SANTA LUCÍA	JAQUE (+07.5°)										
BRASIL	IRÁN	SANTO TOMÉ Y PRÍNCIPE	JARDIN (+05.5°)										
BULGARIA	IRLANDA	SENEGAL	LA CAMELIA (+05.0°)										
CABO VERDE. ISLAS	ISLANDIA	SINGAPUR	LA COLONIA ITA (+05.6°)										
CANADÁ	ISRAEL	SOMOA AMERICANA	LA DOCTRINA (+09.3°)										
CHAD	ITALIA	SRI LANKA	LA ESPERANZA (+07.0°)										
CHEQUIA / ESLOVAQUIA	JAMAICA	SUDÁFRICA	LA LIBERTAD (+04.0°)										
CHILE	JAPÓN	SUDÁN	LA MACARENA (+02.0°)										
CHINA	JORDANIA	SURINAM	LA NEGRITA (+11.3°)										
COLOMBIA	KENIA	TAILANDIA	LA PLATA (+02.4°)										
CONGO	KUWAIT	TAIWÁN	LA SELVA (+06.1°)										
COREA	LÍBANO	TANZANIA	LA SIERRA (+02.2°)										
COSTA RICA	MACAO	TRINIDAD-TOBAGO	LA TAGUA (+00.0°)										
CUBA	MADAGASCAR	TÚNEZ	LA UNION (+04.5°)										
DOMINICA	MADEIRA. ISLAS	TURQUÍA	LA YE (+11.0°)										
ECUADOR	MALASIA	UGANDA	LAS GAVIOTAS (+04.5°)										
EGIPTO	MALTA	URUGUAY	LEBRIDA (+07.1°)										
EL SALVADOR	MALVINAS. ISLAS	VENEZUELA	LETICIA (-04.1°)										
ESPAÑA	MARRUECOS	VÍRGENES. ISLAS	LORICA (+09.3°)										
ESTADOS UNIDOS	MARTINICA	ZAIRE	LOS SANTOS (+07.9°)										
ETIOPÍA	MAURITANIA	ZAMBIA	MAGANGUE (+09.3°)										
FIJI. ISLAS	MÉXICO	ZIMBAWE	MAICAO (+11.3°)										
FILIPINAS	MONGOLIA		MANATI (+10.4°)										
© CEISOLAR													
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	MEDIA
MJ/m²:	15.9	15.0	14.7	14.5	14.8	14.1	14.3	15.1	15.5	15.3	14.9	15.1	14.9
kW-h/m²:	4.4	4.2	4.1	4.0	4.1	3.9	4.0	4.2	4.3	4.2	4.1	4.2	4.1

Otro elemento que es necesario tomar en cuenta es el consumo diario de energía que debemos satisfacer, para ello se deben considerar y definir los artefactos eléctricos que se van a utilizar.

Figura 43. Dimensionamiento realizado por el software del nodo coordinador

Ubicación: (particular) Nombre del proyecto: Nodo coordinador

«H»: radiación diaria media sobre horizontal (MJ/m²) Latitud: +00°

«H.S.P.»: número corregido de horas de sol pico -90° +90°

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
H	15.90	15.00	14.70	14.50	14.80	14.10	14.30	15.10	15.50	15.30	14.90	15.10
H correg.	15.90	15.00	14.70	14.50	14.80	14.10	14.30	15.10	15.50	15.30	14.90	15.10
H.S.P.	4.63	4.29	4.12	3.94	3.89	3.67	3.76	4.06	4.34	4.41	4.38	4.44

Inclinación: 10° Desviación N-S: 01° Corrección de H: x1.00

Generación FV anual en sistemas de conexión a red (kW-h/kW instalado) (supuesto el rendimiento global indicado en la casilla correspondiente): 1199

«P»: Potencia FV (W) necesaria para satisfacer el consumo diario «F»: Energía FV diaria disponible (kW-h) Consumo diario (kW-h)

Consumo diario (W-h): 66.3 Potencia FV a instalar (W) (la del mes peor, por defecto): 25

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	MEDIA
P	20	22	23	24	24	25	25	23	21	21	21	21	
F	1.24	1.15	1.10	1.06	1.04	0.98	1.01	1.09	1.16	1.18	1.17	1.19	1.12

Potencia FV (W) para el cálculo del factor F: 25

Nº de paneles: 3 Nº instalado: 3 A-h necesarios: 14 Serie: 1

Serie: 1 Paralelo: 3 W instalados: 30 A-h instalados: 14 Paralelo: 2

Leer datos Guardar datos Archivo de datos: C:\Censol50\coord3.fot Menú

© CENSOLAR

Rendimiento (%): 79

kb: 0.05

ka: 0.0050

pd: 0.50

kc: 0.00

kv: 0.15

Autonomía (días): 1

Panel FV

Potencia pico (W): 10

Tensión nominal (V): 18

Elemento acumulador

Tensión nominal (V): 12

Capacidad (A-h): 7

Temperatura (°C): 20

Circuito de c.c.

Tensión nominal (V): 12

Figura 44. Dimensionamiento realizado por el software del nodo sensor

Ubicación: (particular) Nombre del proyecto: Nodo coordinador

«H»: radiación diaria media sobre horizontal (MJ/m²) Latitud: +00°

«H.S.P.»: número corregido de horas de sol pico -90° +90°

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
H	15.90	15.00	14.70	14.50	14.80	14.10	14.30	15.10	15.50	15.30	14.90	15.10
H correg.	15.90	15.00	14.70	14.50	14.80	14.10	14.30	15.10	15.50	15.30	14.90	15.10
H.S.P.	4.63	4.29	4.12	3.94	3.89	3.67	3.76	4.06	4.34	4.41	4.38	4.44

Inclinación: 10° Desviación N-S: 01° Corrección de H: x1.00

Generación FV anual en sistemas de conexión a red (kW-h/kW instalado) (supuesto el rendimiento global indicado en la casilla correspondiente): 1199

«P»: Potencia FV (W) necesaria para satisfacer el consumo diario «F»: Energía FV diaria disponible (kW-h) Consumo diario (kW-h)

Consumo diario (W-h): 14.4 Potencia FV a instalar (W) (la del mes peor, por defecto): 5

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	MEDIA
P	4	5	5	5	5	5	5	5	4	4	4	4	
F	1.14	1.06	1.02	0.97	0.96	0.91	0.93	1.00	1.07	1.09	1.08	1.10	1.03

Potencia FV (W) para el cálculo del factor F: 5

Nº de paneles: 1 Nº instalado: 1 A-h necesarios: 6 Serie: 1

Serie: 1 Paralelo: 1 W instalados: 6 A-h instalados: 7 Paralelo: 1

Leer datos Guardar datos Archivo de datos: C:\Censol50\coord3.fot Menú

© CENSOLAR

Rendimiento (%): 79

kb: 0.05

ka: 0.0050

pd: 0.50

kc: 0.00

kv: 0.15

Autonomía (días): 1

Panel FV

Potencia pico (W): 6

Tensión nominal (V): 12

Elemento acumulador

Tensión nominal (V): 6

Capacidad (A-h): 7

Temperatura (°C): 20

Circuito de c.c.

Tensión nominal (V): 6

Como resultado del dimensionamiento del sistema fotovoltaico del nodo coordinador-actuador, se obtiene que son necesarias dos baterías de 12V 7Ah para la alimentación del nodo y un panel solar de 18V. Con estos elementos se busca proporcionar el voltaje suficiente a cada elemento que

compone el nodo. Mientras que para el nodo sensor se hace necesario el uso de 2 baterías de 6V 7Ah y un panel solar de 12V.

4.5.2 Construcción Nodo Coordinador-Actuador

Para la construcción del nodo Coordinador-Actuador se realizó los siguientes pasos:

1. Adquirir la lista de Materiales del ANEXO D
2. Fabricar el Circuito Impreso haciendo uso del método de transferencia térmica
3. Montaje de los elementos electrónicos

Figura 45. Fabricación del circuito impreso nodo coordinador-actuador



Circuito impreso

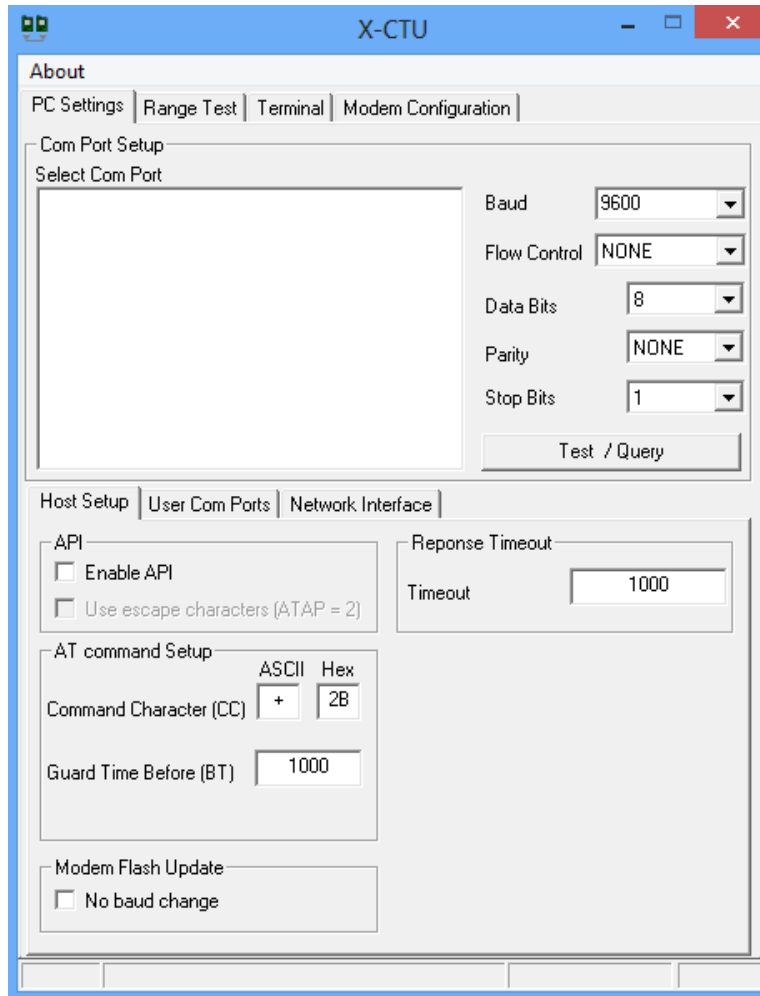
Montaje de los elementos

4. Programación de los PICs 16F887 y 18F4550.
Para programarlos se utilizó el compilador CCS. El Compilador C de CCS dispone de una amplia librería de funciones predefinidas, comandos de pre-procesado y ejemplos. Además, suministra los controladores (drivers) para diversos dispositivos. El compilador CCS C utiliza lenguaje de programación C estándar y además de las directivas estándar (`#include`, etc.), suministra unas directivas específicas para PIC (`#device`, etc.); además tiene un editor que permite controlar la sintaxis del programa¹⁷
5. Configuración del Xbee como Coordinador.

¹⁷ GARCÍA BREIJO Eduardo. Compilador C CCS y Simulador PROTEUS para MICROCONTROLADORES PIC. Barcelona, España, Alfaomega, p. 23.

El hardware coordinador es el encargado de conseguir que exista comunicación entre el nodo coordinador-actuador y los nodos sensores. El programa utilizado para configurar los XBee es el X-CTU.

Figura 46. Software X-CTU



Para programar los módulos XBee solamente es necesario utilizar las pestañas de PC settings y la de Modem Configuration. Las pestañas Range Test y Terminal son para poder verificar y comprobar el correcto funcionamiento de los módulos.

La configuración que se observa en la siguiente figura, es la misma para el módulo Xbee colocado como coordinador y para los módulos conectados como Routers.

Figura 47. Configuración para los módulos Xbee

Baud	9600
Flow Control	NONE
Data Bits	8
Parity	NONE
Stop Bits	1

En la pestaña Modem Configuration es donde se indica cual se quiere que sea el funcionamiento del módulo XBee y la configuración del mismo como por ejemplo el canal de comunicación, el PAN ID, etc.

En la Tabla 14 se puede ver la configuración necesaria para el correcto funcionamiento del coordinador.

Tabla 14. Configuración básica Modem Configuration del coordinador

Channel	11
PAN ID	2222
Destination Address High	0
Destination Address Low	FFFF
Serial Number High	13A200
Serial Number Low	40BE4403

- Channel 11 es el canal que se ha asignado al módulo XBee para realizar la comunicación.
- El parámetro PAN ID es el identificador de la red, en este caso se ha indicado que usen el identificador 2222.
- Los parámetros de Destination Address High y Destination Address Low están configurados con el valor cero, esto le indica al módulo XBee del coordinador que la información se envía a todos los módulos de los dispositivos finales que estén en el mismo canal y que contengan la misma PAN ID.
- Los parámetros Serial Number High y Serial Number Low son los datos identificativos del módulo XBee colocados en el coordinador (No son modificables por el usuario).

Una vez configurado el módulo Xbee, se procede a comprobar su correcto funcionamiento dando click en el botón Test/Query. Si la configuración es correcta aparecerá la siguiente ventana.

Figura 48. Comunicación correcta X-CTU y el módulo Xbee coordinador

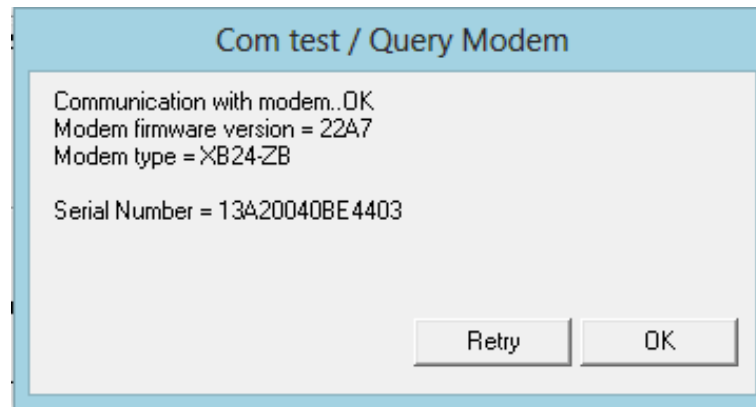


Figura 49. Módulo de alimentación del nodo coordinador-actuador

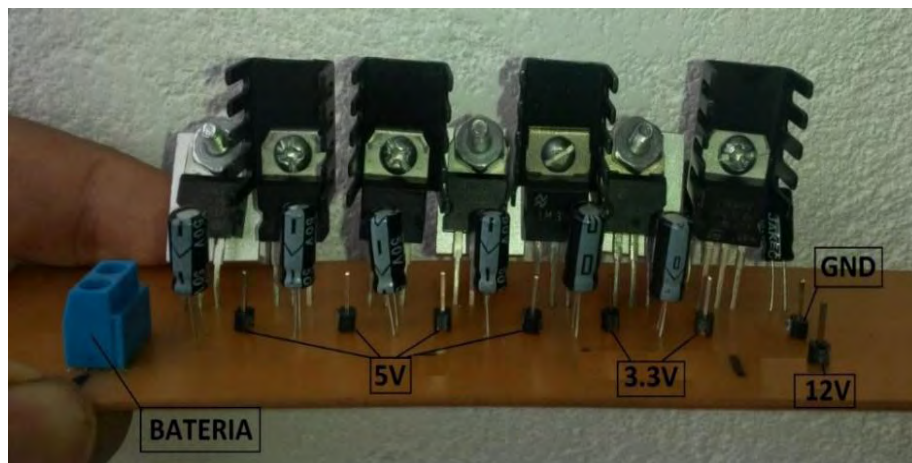


Figura 50. Módulo de potencia nodo coordinador-actuador

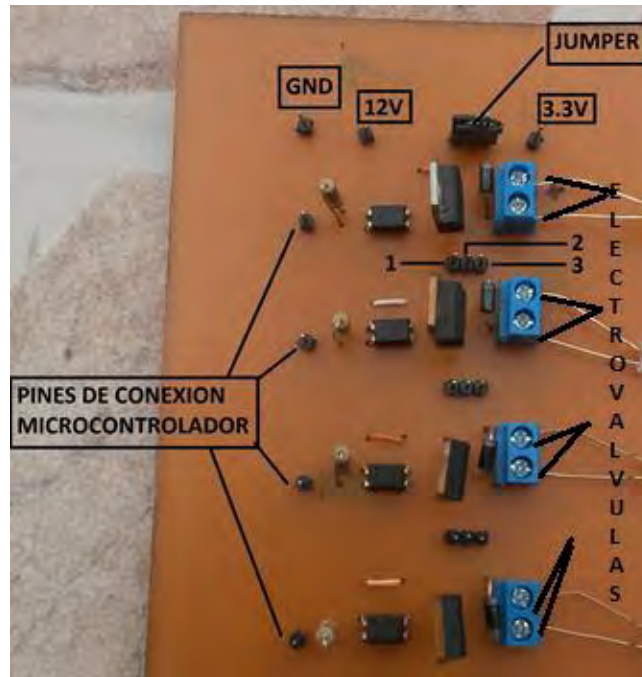
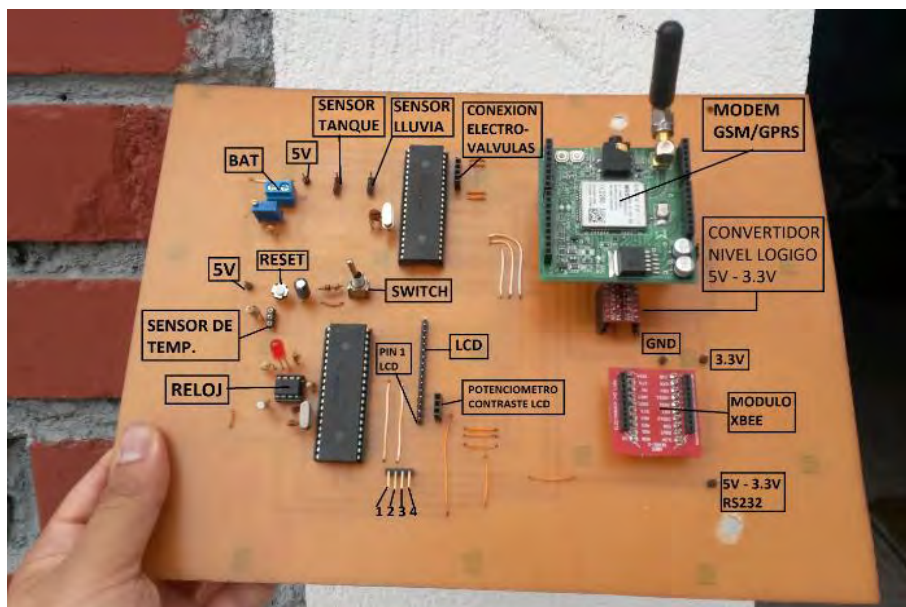


Figura 51. Módulo de adquisición y control del nodo coordinador-actuador

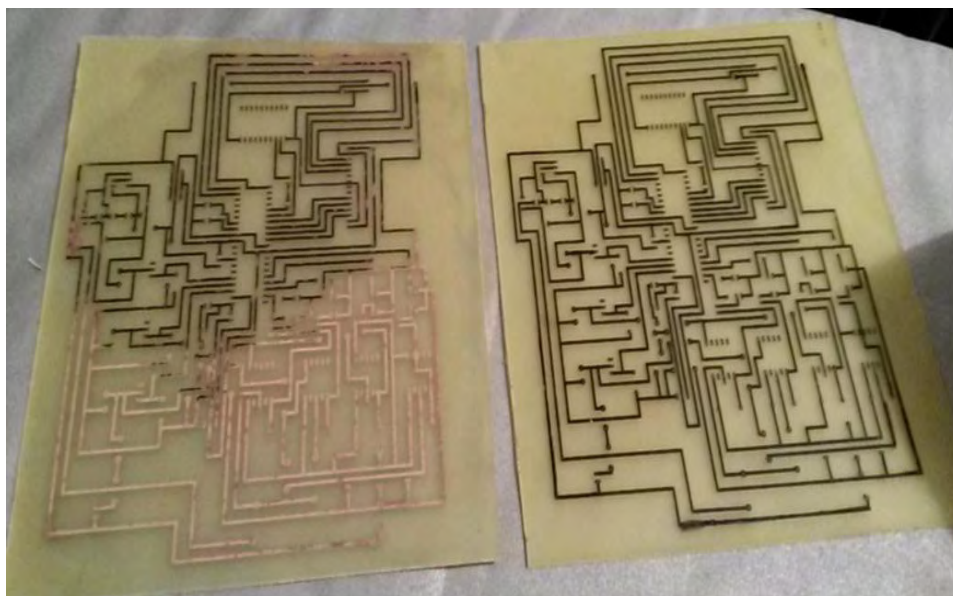


4.5.3 Construcción Nodos sensores

Para la construcción de los nodos sensores se realizó los siguientes pasos:

1. Adquirir la lista de materiales del ANEXO D
2. Fabricar el Circuito Impreso haciendo uso del método de transferencia térmica

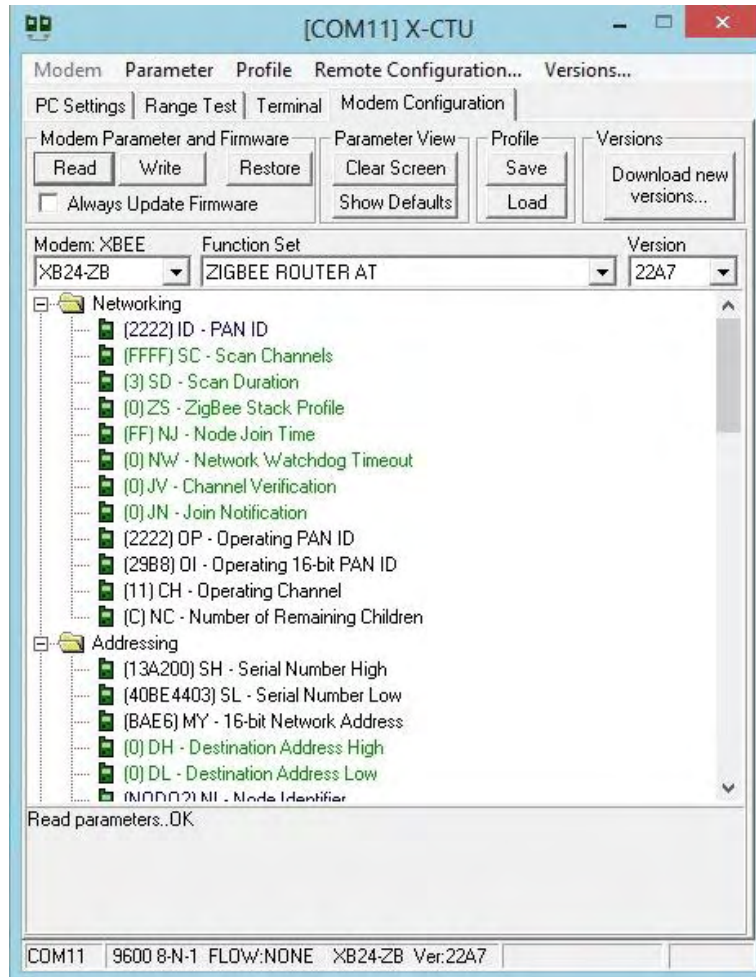
Figura 52. Circuitos impresos de los nodos sensores



3. Montaje de los elementos electrónicos
4. Programación de los PICs 18F4550 con ayuda del compilador CCS
5. Configuración de los Xbee como Routers.

En la figura 53, se observa la pestaña Modem Configuration con la configuración necesaria para el correcto funcionamiento de los módulos Xbee ubicados como Routers.

Figura 53. Modem Configuration para los Módulos Xbee Routers



En la Tabla 15 se puede ver la configuración necesaria para el correcto funcionamiento de los Routers.

Tabla 15. Configuración básica Modem Configuration de los Routers

Channel	11
PAN ID	2222
Destination Address High	0
Destination Address Low	0
Serial Number High	13A200
Serial Number Low	40BE4403

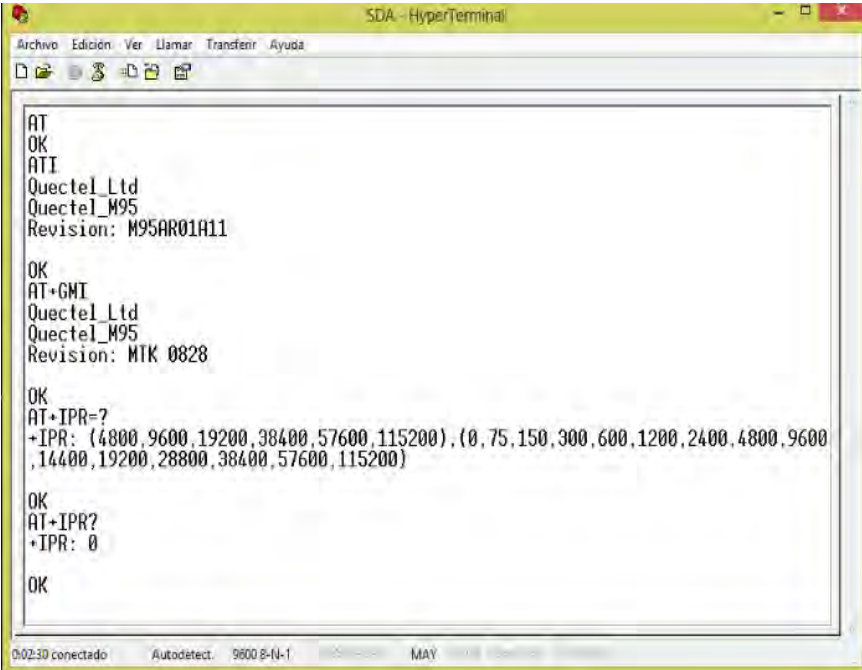
6. Configuración modem

El modem M95 se configuró utilizando comandos AT. Los comandos AT son instrucciones codificadas que conforman un lenguaje de comunicación entre el hombre y un Terminal MODEM.

Para configurar el modem, se ejecuta Hyperterminal a una velocidad de 9600 baudios. Lo primero que se hace es dar el comando AT y el modulo debe responder.

- Con el comando ATI, se obtienen las características principales del módulo.
- AT+GMI me retorna los requerimientos y datos técnicos.
- AT+IPR=? Indica las velocidades a la que puede trabajar el modem.
- AT+IPR? me indica a la velocidad que se encuentra el modem
- AT+IPR=9600 sirve para establecer la velocidad a la que va a trabajar el modulo.
- AT+COPS? me verifica a la empresa que pertenece la SIM que se encuentra en el modem.

Figura 54. Configuración Modem M95



```
SDA - HyperTerminal
Archivo Edición Ver Llamar Transferir Ayuda
AT
OK
ATI
Quectel_Ltd
Quectel_M95
Revision: M95AR01A11

OK
AT+GMI
Quectel_Ltd
Quectel_M95
Revision: MTK 0828

OK
AT+IPR=?
+IPR: (4800,9600,19200,38400,57600,115200),(0,75,150,300,600,1200,2400,4800,9600,14400,19200,28800,38400,57600,115200)

OK
AT+IPR?
+IPR: 0

OK
0:02:30 conectado Autodetect. 9600 8-N-1 MAY
```

- AT+quiopen="udp", " 181.52.246.167", 80. Este comando me permite configurar el puerto y la IP del servidor al que se conectara.
- AT+qisend(enter), después se digita lo que se va a enviar y finalmente se da Ctrl+Z. Este comando sirve para enviar datos al servidor.
- AT+CMGF, configura el tipo de mensaje, si se envía 1 es texto y si es 0 es PDU.
- AT+CMGD, sirve para borrar un mensaje de texto.
- AT+CMGS, me envía el mensaje de texto

Figura 55. Nodo Sensor



4.5.4 Construcción del sistema de riego por goteo

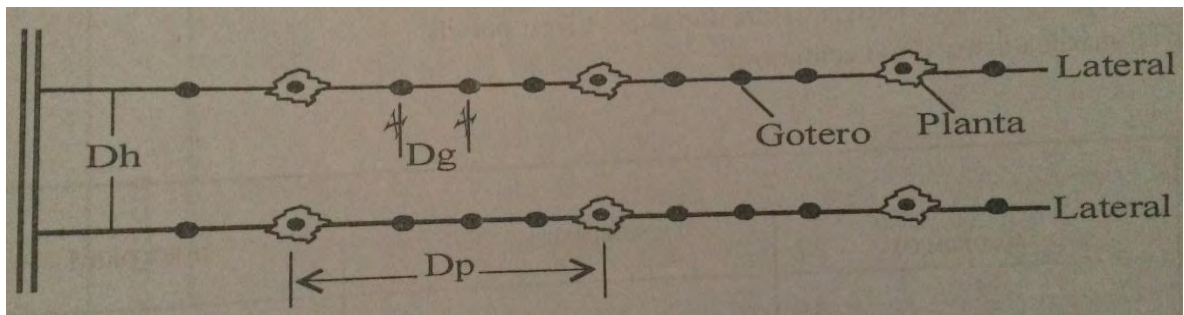
Para construir el sistema de riego por goteo, se debe tener en cuenta que un sistema de riego por goteo es un sistema de humedecimiento limitado del suelo, en el cual se aplica el agua únicamente a una parte del volumen del suelo ocupado por una planta, dirigido a la zona radicular de la misma, por lo tanto, el sistema de riego por goteo es un sistema de riego localizado de alta frecuencia (RLAF).

Las partes de instalación de un sistema de riego por goteo son:

- **Estación de riego:** conjunto formado por el sistema de bombeo, el tratamiento primario y secundario, el filtrado conformado por filtro de arena y filtro de malla y el control de presión de agua de riego mediante manómetros, llaves de paso, válvulas hidráulicas, reguladores de caudal, reguladores de presión. También se incluye el sistema de fertilización o fertirrigación.
- **Goteros o emisores:** el gotero es el elemento que entrega agua a la planta por lo tanto, la parte más importante de la instalación, y debe reunir los siguientes criterios:
 - Bajo caudal, implica utilizar diámetros pequeños
 - Alta presión.
 - Diámetro de entrega máxima, el diámetro de entrega debe ser lo mayor posible para evitar obstrucciones del gotero, causados por partículas que no se filtraron.
- **Mangueras:** son tuberías provistas de emisores de tipo goteros espaciados entre 30 cm y 1m. (LEGARDA BURBANO, GARCÍA CRIOLLO, & RUIZ, 2002)

Teniendo en cuenta los aspectos para el diseño de un sistema de riego por goteo, se determina que se adoptaran los patrones de localización de los laterales en riego por goteo.

Figura 56. Patrón de localización de los laterales en riego por goteo



Fuente: (LEGARDA BURBANO, GARCÍA CRIOLLO, & RUIZ, 2002)

Donde:

D_h = distancia entre laterales

D_g = distancia entre goteros

Dp= distancia entre plantas

4.5.5 Instalación del sistema

Con las placas lista de los nodos, se procede a realizar la instalación del sistema en el sitio de prueba.

1. Se procede a sembrar el maíz en los surcos. Para poder realizar comparaciones con el crecimiento de las plantas que serán monitoreadas con el sistema, se siembra junto al sistema dos surcos más donde las plantas de maíz serán regadas manualmente. Se empleó un maíz Porva certificado para la presente investigación, sus especificaciones se observan en la siguiente tabla.

Tabla 16. Especificaciones maíz Porva

Germinación %	95
Pureza %	99
Lote No.	001-14
Comprado en	impulse semillas

Figura 57. Siembra del maíz en el sitio de prueba



2. Se realiza la instalación del sistema hidráulico, el cual está formado por un tanque de agua de 500 litros, tubería en PVC de ½", cintas, goteros de precisión, llaves de agua para el riego manual y las electroválvulas.

Figura 58. Sistema hidráulico en el sitio de prueba



3. Se instalan los nodos en el sitio de prueba

Figura 59. Instalación de los nodos en el sitio de prueba



5. RESULTADOS

5.1 FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA

Se corrobora la correcta conexión de los componentes electrónicos en cada una de las placas, para posteriormente poder conectarlas sin ningún inconveniente a la alimentación que cada una requiere.

Como paso siguiente se prueba la comunicación de la red, enviando tramas de prueba y de descubrimiento de nodos

Por otra parte, con el funcionamiento del sistema se observa que el cultivo presenta uniformidad y la separación entre hojas es menor a un cultivo regado manualmente.

5.2.1 Nodo Coordinador-Actuador

Este nodo es el más importante, ya que es el encargado del control de todo el sistema, se comprueba su correcto funcionamiento etapa por etapa, siendo exitosas cada una de ellas.

Entre las pruebas realizadas se resaltan las realizadas con el sensor de temperatura, para asegurar una fiabilidad en los datos arrojados por este. Para esto primeramente se busca comparar este sensor con un termo higrómetro digital calibrado. En donde se encontró que el sensor presentaba un error de 0.2 grados Celsius respecto al Termo higrómetro. Pero se evidencia que el sensor DS18B20 responde más rápidamente a cambios de temperatura en el ambiente que el termo higrómetro.

Figura 60. DS18B20 Vs. Termo higrómetro HTC-2



Otra prueba que se realizó al sensor de temperatura, consistió en tomar medidas de temperatura cada diez minutos durante una hora en una habitación cerrada obteniendo los siguientes datos en grados centígrados.

Tabla 17. Datos de temperatura de una habitación cerrada

DATO 1	DATO 2	DATO 3	DATO 4	DATO 5	DATO 6	PROMEDIO	DESVIACION ESTANDAR
18	18	18	18	17.5	17.5	17.8333333	0.3333333

La tercera prueba consistió en hacer medidas con el sensor cada 10 minutos durante una hora en el sitio de prueba para obtener los siguientes datos en grados centígrados:

Tabla 18. Datos de temperatura en el sitio de prueba

DATO 1	DATO 2	DATO 3	DATO 4	DATO 5	DATO 6	PROMEDIO	DESVIACION ESTANDAR
27.5	26	26.5	25	24.5	23	25.4166667	12.7083333

5.2.2 Nodos sensores

Se implementaron dos nodos sensores, para un monitoreo más preciso del cultivo. Cada nodo fue probado individualmente y en conjunto.

La forma de probarlos fue la de realizar la lectura de los sensores de humedad, con el sistema y con ayuda de un Arduino Mega, obteniendo que las medidas eran las mismas. Además se realizó la lectura del estado de las baterías y el voltaje proveniente del panel solar; datos que serían visualizados en la pantalla LCD que

dispone cada nodo y comprobados con la ayuda de un multímetro digital. Para la prueba en conjunto de los nodos sensores, se realiza el envío de los datos recogidos por cada nodo sensor al nodo coordinador-actuador.

5.2.3 Nodo Central

Al cargar el servidor Web se debe pulsar el botón iniciar, inmediatamente se empieza la visualización en tiempo real de las diferentes variables que componen el sistema, como: humedad del suelo en cada surco, temperatura del ambiente, estado de las baterías y paneles que componen cada nodo.

5.2.4 Cálculos con el sistema

Con el sistema en funcionamiento, se realiza el cálculo de:

- AHORRO DE AGUA: Partiendo de que el cultivo tiene una separación entre surcos de 40cm y una separación entre plantas de 50cm se estima que para una hectárea de $10.000m^2$ el número de plantas es aproximadamente de 33.333.

Para calcular la humedad aprovechable del suelo, en términos de lámina de altura de agua, se utilizó la siguiente expresión, con la cual se permite estimar el volumen que se aplicará a cada planta diariamente.

$$LAA = C_a * \left(\frac{CC - PMP}{100\%} \right) * \frac{d_a}{d_w} * Pre$$

Donde:

C_a = Coeficiente de agotamiento o reposición para cultivos sensibles
0.3 para cultivos sensibles
0.6 para cultivos resistentes a la sequía

CC = Capacidad de campo con base en peso, en %

PMP = Punto de marchitez con base en peso, en %

d_a = Densidad aparente del suelo, en gr/cm^3

d_w = Densidad del agua, en gr/cm^3

Pre = Profundidad representativa de la muestra de suelo analizada (mm)

Para el cálculo de la densidad aparente del suelo se utiliza la siguiente expresión:

$$da = \frac{W_{ss}}{V_s} = 1.35$$

W_{ss} = peso suelo secado hasta peso constante = 2060gr

V_s = Volumen original de la muestra = 1560cm³

Con los datos obtenidos del estudio de suelos realizado en el laboratorio de suelos de la Universidad de Nariño, se realizó el cálculo de la lámina de agua aprovechable LAA.

$$LAA = 0.6 * \left(\frac{44,90\% - 20,79\%}{100\%} \right) * \frac{1,35gr}{1 \frac{gr}{cm^3}} * 25mm$$

$$LAA = 4,88mm$$

En riego por goteo solo un porcentaje del área del suelo es humedecida, por tanto, es necesario corregir el valor de la lámina por un porcentaje de área húmeda (%Pw), con ayuda de la siguiente expresión.

$$LAAC = LAA * \%Pw$$

El área humedecida por los goteros es aproximadamente:

$$A_{Hp} = 0,3m * 0,3m = 0,09m^2$$

Pero ahora debemos multiplicar este valor por las 10 plantas del sistema, dando un área total de:

$$A_T = 0,09m^2 * 10 = 0,9m^2$$

Ahora para calcular el porcentaje de suelo humedecido se hace uso de una regla de 3 simple, partiendo de que el área del cultivo es de 3 m², se tiene:

$$\%P_w = \frac{0,9 \text{ m}^2 * 100}{3} = 30\%$$

Con él % de área húmeda, se estima el valor corregido de la lámina de agua aprovechable LAAC

$$LAAC = 4.88\text{mm} * 30\%$$

$$LAAC = 1,464\text{mm} = 1,464\text{Litros por planta}$$

Un milímetro de altura corresponde a un litro por metro cuadrado de terreno.

Para estimar el ahorro de agua del sistema se parte del consumo de agua por cada apertura de electroválvulas, en donde se evidencia que con tan solo accionarlas una vez al día es suficiente para la alimentación de la planta en ese día, los resultados se presenta en la tabla 19, además se evidencia que existe una relación entre la estimación teórica y la estimación en la práctica del ahorro de agua con el sistema.

Tabla 19. Consumo de agua por medio del riego por goteo controlado

No. De Plantas	Consumo de agua en (Litros)
1	1.558
10	15.58
33.333	51.932,814

Estos datos fueron obtenidos con ayuda de un vaso de precipitados o Beaker de 2000 mL de capacidad, el cual fue ubicado en los goteros de una de las planta para recoger el agua suministrada por ellos y así obtener los datos consignados en la tabla 21.

El consumo de agua utilizando el riego manual se presenta en la siguiente tabla:

Tabla 20. Consumo de agua por medio de riego manual

No. De Plantas	Consumo de agua en (Litros)
1	1,7
10	17
33.333	56.666,1

Finalmente se estima el ahorro de agua con una regla de 3 simple:

$$\%Consumo\ sistema = \frac{51.932,814 * 100\%}{56.666,1} = 91,64\%$$

Por lo tanto el ahorro del sistema es de:

$$100\% - 91,64\% = \mathbf{8,3529\%}$$

- **CANTIDAD DE FERTILIZANTE A UTILIZAR:** Para realizar el cálculo de la cantidad de fertilizante a utilizar, se parte sabiendo que los goteros son de precisión, los cuales riegan 4 litros de cualquier líquido por hora. Se realiza el cálculo para 10 mL este procedimiento es mostrado a continuación.

$$X = \frac{3600segundos * 10mL}{4000mL}$$

$$X = \mathbf{9\ segundos}$$

X= Tiempo de activación de los actuadores para efectuar el fertirriego

- **CONSUMO DE POTENCIA:** Otro cálculo realizado fue el consumo de potencia del sistema.
 - **Nodo coordinador – Actuador:** Todo el nodo en funcionamiento incluidas las electroválvulas tiene un consumo de 17W, cabe resaltar que el mayor consumo de potencia se concentra en el modem y en las electroválvulas que en total son 4: una para el fertirriego, dos para riego por goteo y una para apertura del agua del tanque principal.
 - **Nodo sensor:** Todo el nodo en funcionamiento incluido la luz de fondo de la LCD tiene un consumo de 0.9W
- **CONSUMO DE AGUA:** Con ayuda del aplicativo cliente ubicado en los nodos remotos, se obtiene la siguiente figura que revela el consumo de agua de un surco del sistema en un mes.

6. CONCLUSIONES

Las redes inalámbricas de sensores son excelentes para llegar a lugares donde se dificulta la instalación de dispositivos y su tasa de transmisión de datos es pequeña.

El Sistema Operativo Android se perfila a futuro, como la plataforma a dominar el mercado de los dispositivos móviles, debido a su carácter libre y su desarrollo abierto. Además porque Android ofrece un entorno de desarrollo que facilita la implementación de aplicaciones de manera fácil.

Con el dimensionamiento del sistema fotovoltaico, se tiene que para la energización del nodo coordinador-actuador son necesarias dos baterías de 12V 7Ah y un panel solar de 18V, mientras que para el nodo sensor se hace necesario el uso de 2 baterías de 6V 7Ah y un panel solar de 12V.

El ahorro de agua del sistema por medio del riego controlado es del 8%, en comparación con el riego manual realizado.

En la presente investigación, se evidencia la aplicación de cinco de las herramientas de la Agricultura de Precisión: Muestreo del suelo, percepción remota, dispositivos electrónicos, redes de comunicaciones y software. Las cuales permitieron el cumplimiento de los objetivos planteados.

El sensor de humedad de suelo SEN0114, empleado en el sistema maneja el principio de continuidad. . Dicho sensor debe ser acondicionado a cada suelo, porque no todos los suelos son iguales, su salinidad puede ser mayor o menor.

El manejo de una Base de Datos además de almacenar datos, permite analizar cómo está el sistema por hora, día, mes, año.

Con el estudio de irradiación solar con el equipo Solar 100 – Amprobe, se evidencia que el sitio de prueba es apto para la instalación de paneles solares.

7. RECOMENDACIONES

Es importante proteger adecuadamente los circuitos electrónicos, puesto que la humedad los puede dañar.

Se recomienda una carga promedio de una hora de las baterías de los nodos sensores antes de realizar las mediciones.

Para hacer uso de los Módulos XBEE es necesario proteger los módulos de cambios bruscos en su alimentación pues los dispositivos ZigBee son sensibles a fallas de voltaje y pueden resultar averiados de forma permanente, lo aconsejable es el uso regulador de 3.3V para asegurar un voltaje constante y un convertidor de niveles lógicos.

Es recomendable mantener la línea de vista entre los dispositivos Xbee de tal manera que la comunicación sea lo más eficiente posible.

Se recomienda impermeabilizar los pines de los sensores de humedad, temperatura y lluvia con silicona líquida y esperar que endurezca totalmente en un periodo de 1 día y medio a 2 días para poder utilizarlo.

Para un trabajo futuro, se recomienda la incorporación de algún tipo de almacenamiento en el sitio de prueba, por ejemplo una memoria SD.

Se recomienda el uso de módulos Xbee que utilicen una antena RSPA, la cual puede ser manipulada fácilmente para mejorar la eficiencia en la comunicación inalámbrica.

BIBLIOGRAFIA

CASTRO CASTRO, Nelsy y CHAMORRO FERNÁNDEZ, Luis F. *Diseño e implementación de una red de sensores inalámbricos para el control de riegos por goteo*. San Juan de Pasto, 2012, 124 p. Trabajo de grado (Ingeniero Electrónico). Universidad de Nariño. Facultad de Ingeniería. Departamento de Ingeniería Electrónica

Centro regional de ayuda técnica. (s.f.). *Planeamiento de sistemas de riego para granjas*. México: Editorial Diana.

GÓMEZ OLIVER, S. (Noviembre 2011). *Curso programación Android*. Obtenido de sgoliver.net: www.SGOLIVER.NET

GUERRERO RIASCOS, R. (1998). *Fertilización de cultivos en clima frío* (Vol. Segunda edición). monómeros colombo venezolanos s.a. (E.M.A).

Kramer P. (s.f.). *Las TICs en la agricultura de precisión, ceditec (cenro de difusión de tecnologías ETSIT-UPM)*.

LEGARDA BURBANO, L., GARCÍA CRIOLLO, R., & RUIZ, H. (2002). *Técnicas y aplicación del riego agrícola*. Universidad de Nariño editorial universitaria.

P., R. (s.f.). *Curso de programación en Android para principiantes*. bemoob.

PANTOJA CUAQUEN, Romer y BURBANO PANTOJA, Luis. *Diseño e implementación de un dispositivo portátil para el control de humedad en cultivo de maíz fertirrigado bajo el invernadero de la facultad de ciencias agrícolas de la universidad de Nariño*. San Juan de Pasto, 2013, 159 p. Trabajo de grado (Ingeniero Electrónico). Universidad de Nariño. Facultad de Ingeniería. Departamento de Ingeniería Electrónica

SÓLORZANO VEGA, E. (2007). *Guías fenológicas para cultivos básicos*. México: Editorial Trillas, S.A. de C. V.

ANEXOS

ANEXO A. Generalidades del maíz

A. Características generales del maíz

El maíz es un cultivo de régimen anual, su ciclo vegetativo oscila entre 120 y 140 días, desde la siembra hasta la cosecha, dependiendo del material genético, el medio ambiente y las plagas y/o enfermedades.

Con la temperatura (20-25 ° C), humedad y aireación apropiadas, el maíz germina dentro de los seis días posteriores a la siembra. Para una buena producción de maíz, la temperatura debe oscilar entre 20 y 30° C.

B. Requisitos del suelo

La condición ideal de humedad del suelo, para el desarrollo de maíz, es el estado de capacidad de campo, la cantidad de agua durante la temporada de crecimiento no debe ser menor de 300mm, y la óptima entre 600 y 1000mm.

Se requiere un terreno suelto, preferiblemente de 20-25cm. De profundidad y una cama de siembra de 8-10 cm, para asegurar una buena germinación.

C. Etapas de desarrollo

Schutte y meir (1981) analizaron el crecimiento de la planta de maíz (zea mays L.) desde el momento en que se produce la germinación de la semilla, pasando por la etapa de establecimiento, hasta su espigamiento. En su estudio centran la atención en describir las principales estructuras de la planta, aunque también abordan el tema de la influencia que ejercen los factores ambientales sobre la fisiología y el desarrollo de dichas estructuras en sus diferentes etapas.

Tabla. Etapas de desarrollo del trigo

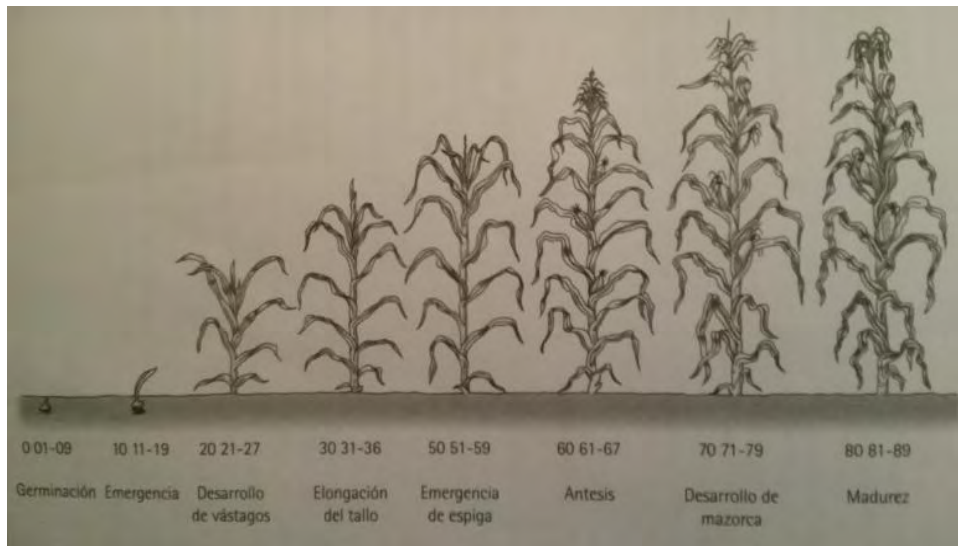
clave	Descripción
0	Germinación
01	Semilla seca
03	Inicio de imbibición
05	Emergencia de la radícula del cariósido
07	Emerge el coleóptilo del cariósido
09	Coleóptilo de aproximadamente 2.5 cm de longitud
10	Emergencia
11	el coleóptilo arriba del suelo, primera hoja plegada
13	El coleóptilo inicia su despliegue

15	Cotiledón desplegado: primera hoja visible
17	Primera hoja desplegada: extremo de segunda hoja visible
19	Segunda hoja desplegada
20	Desarrollo de vástagos
21	tercera hoja desplegada
22	Cuarta hoja desplegada
23	Quinta hoja desplegada
24	Sexta hoja desplegada
25	Séptima hoja desplegada
26	Octava hoja desplegada
27	12 o más hojas desplegadas
30	Elongación del tallo
31	Primer nudo detectable
32	Primer nudo visible
33	Segundo nudo detectable
34	Segundo nudo visible
35	Tercer nudo visible
36	Cuarto nudo visible
50	Emergencia de la inflorescencia(espiga)
51	Inicio de emergencia de espiga
53	Domo de la espiga visible
55	Emergencia de la espiga
59	Fin de emergencia de la espiga
60	Floración (antesis)
61	Inicio de floración
65	Mitad de floración
67	Floración completa
70	Desarrollo de mazorca
71	Mazorca detectable
73	Tope de estigma visible
75	Todos los estigmas visibles
77	Inicio de secado de estigmas
79	Estigmas completamente secos
80	Madurez
81	--
82	Granos en estado lechoso
83	Granos en estado masoso
85	Granos en madurez fisiológica
87	Granos en etapa de trillado
89	Paja seca

En tanto que todas las plantas de maíz siguen el mismo patrón general de desarrollo, el número de hojas e intervalos de tiempo en tres etapas de crecimiento varían mucho dependiendo del híbrido, de la fecha de siembra y de la localidad. Por ejemplo, híbridos de madurez precoz pueden desarrollar pocas hojas o progresar con mayor rapidez a través de sus etapas. Otro caso es el de

aquellos híbridos en cuya localidad la temperatura es más fresca, hay déficit de humedad o deficiencia de nutrientes; debido a ello puede alargarse el tiempo entre etapas vegetativas. (SÓLORZANO VEGA, 2007)

Etapas de desarrollo del maíz



Fuente: (SÓLORZANO VEGA, 2007)

ANEXO B. Datos recolectados con el equipo SOLAR 100 – Amprobe

Hora	P1 (w/m2)	P2 (w/m2)	Hora	P1 (w/m2)	P2 (w/m2)	Hora	P1 (w/m2)	P2 (w/m2)	Hora	P1 (w/m2)	P2 (w/m2)
6:00	1,8	2,2	8:30	130	126	11:00	421	419	13:30	288	240
6:10	4	3,9	8:40	140	133	11:10	435	428	13:40	300	263
6:20	4,1	3,9	8:50	144	142	11:20	504	500	13:50	385	330
6:30	4,2	4	9:00	190	180	11:30	1207	1080	14:00	490	440
6:40	4,4	4,4	9:10	218	251	11:40	1188	1062	14:10	538	513
6:50	5,6	4,9	9:20	290	320	11:50	1152	1050	14:20	595	562
7:00	6,7	5,6	9:30	500	550	12:00	1082	1090	14:30	614	604
7:10	7,9	6,4	9:40	400	396	12:10	1252	1158	14:40	526	500
7:20	9,5	7,6	9:50	400	410	12:20	1290	1200	14:50	645	610
7:30	13,9	11,6	10:00	400	430	12:30	1345	1268	15:00	650	610
7:40	20,3	15,9	10:10	362	353	12:40	1330	1222	15:10	480	410
7:50	118	127	10:20	364	365	12:50	1310	1303	15:20	450	400
8:00	118	113	10:30	376	368	13:00	1340	1290	15:30	480	420
8:10	121	120	10:40	390	385	13:10	1427	1340	15:40	830	826
8:20	124	123	10:50	398	400	13:20	277	250	15:50	480	450
16:00	454	426	17:40	432	402	19:20	240	200	21:00	4,1	3,9
16:10	424	392	17:50	436	384	19:30	246	200	21:10	4,2	4
16:20	406	360	18:00	425	370	19:40	242	190	21:20	4,4	4,4
16:30	460	418	18:10	430	380	19:50	252	197	21:30	5,6	4,9
16:40	430	410	18:20	440	356	20:00	270	210	21:40	6,7	5,6
16:50	365	352	18:30	459	376	20:10	265	221	21:50	7,9	6,4
17:00	296	270	18:40	450	384	20:20	267	210	22:00	9,5	7,6
17:10	330	298	18:50	300	240	20:30	264	207	22:10	13,9	11,6
17:20	375	335	19:00	285	240	20:40	1,8	2,2	22:20	20,3	15,9
17:30	415	370	19:10	260	220	20:50	4	3,9	22:30	24,3	20,8

ANEXO C. Datos recolectados para el cálculo de humedad volumétrica

Los datos recolectados de la muestra obtenida en el sitio de prueba durante 10 días contienen los siguientes parámetros.

- P_M : Es el peso en gramos de la muestra húmeda incluyendo el peso adicional P_A .
- P_A : Es el peso adicional en gramos que acompaña a la muestra (peso del sensor, peso del contenedor o tubo de PVC, peso del recipiente utilizado para mantener fija la muestra).
- P_{SH} : Es el peso neto en gramos de la muestra húmeda de suelo
- P_{SS} : Es el peso neto en gramos de la muestra completamente seca
- ρ_W : Es la densidad del agua
- V_W : Es el volumen de agua contenido en la muestra de suelo.
- r : Es el radio en centímetros del contenedor de la muestra (tubo de PVC)
- V_T : Es el volumen en cm^3 del tubo de PVC
- θ_v : Humedad volumétrica porcentual de la muestra
- V : Voltaje del sensor de humedad de suelo insertado en la muestra.

Para determinar cada valor, fueron promediadas tres mediciones para lograr mayor precisión.

Datos recolectados para el cálculo de humedad volumétrica

Día	P_M (g)	P_A (g)	$P_{SH} = P_M - P_A$ (g)	P_{SS} (g)	ρ_w (g/cm ³)	V_W (cm ³)	r (cm)	L (cm)	V_T (cm ³)	θ_v (%)	V (v)
1	3322	411	2911	2060	1	851	5.08	20	1621.5	52.48	3.42
2	3210		2799			739				45.57	3.32
3	3180		2769			709				43.72	3.20
4	3168		2757			697				42.98	3.22
5	3149		2738			678				41.81	3.22
6	3132		2721			661				40.76	3.19
7	3112		2701			641				39.53	3.17
8	3091		2680			620				38.24	3.14
9	3068		2657			597				36.82	3.11
10	3038		2627			567				34.97	3.05

ANEXO D. Lista de materiales y presupuesto

Material	Cantidad	Precio
Xbee Pro ZB serie 2	3	115.000
Antena RSPA	1	15.000
Convertidor nivel lógico	3	3.600
Modem M95	1	90.000
Electroválvula 12V	1	40.000
Electroválvulas 3.3V	3	30.000
Sensor de lluvia	1	13.000
Sensor del tanque	1	14.000
Sensores de humedad	3	13.000
Reloj	1	9.000
Microcontroladores	4	25.000
LCD	3	13.000
Relé	8	1.200
Panel 18V	1	100.000
Panel 12V	2	45.000
Váquelas	3	7.000
Baterías 12V	2	40.000
Baterías 6V	4	25.000
Estructuras metálicas	3	150.000
Tanque de agua 500litros	1	60.000
Tubería, PVC, llaves		50.000
Fertilizante Raizal	1	30.000
Otros		50.000
Total		1.875.400

ANEXO E. Manual de Usuario



Ingeniería ELECTRÓNICA

**DISEÑO E IMPLEMENTACION DE UN DISPOSITIVO
PORTATIL Y AUTONOMO PARA EL CONTROL DE
HUMEDAD EN UN CULTIVO DE MAIZ
FERTIRRIGADO, PARA EL DESARROLLO DE LA
AGRICULTURA DE PRECISION**

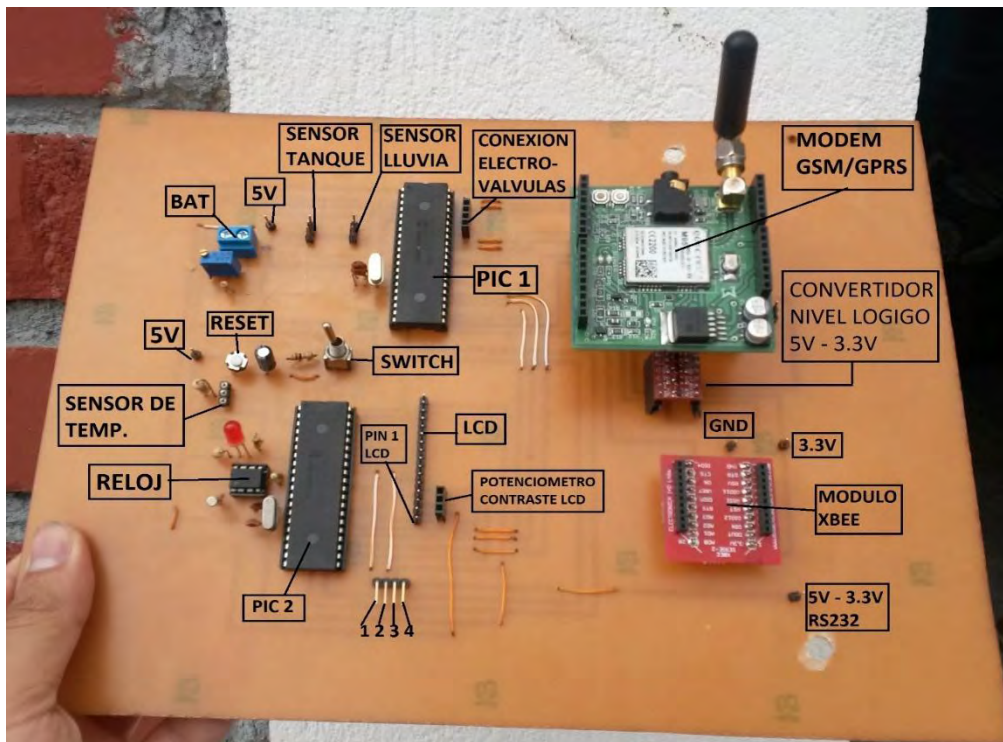
MANUAL DE USUARIO



- **NODO COORDINADOR – ACTUADOR:**

Es el encargado de recibir la información proveniente de los nodos sensores y mandarla a un computador remoto que tiene la función de servidor, a través de una conexión GPRS (Modem). Además dicha información le permite al sistema ejecutar acciones de control en la apertura y cierre de los dispositivos encargados del paso de agua hacia el cultivo, las llamadas electroválvulas. Las partes del nodo coordinador – actuador son:

a. Placa Madre:



1→ TX Placa madre (Pin de transmisión)

2→ RX Placa madre (Pin de recepción)

3→ GND Placa madre (Puesta a tierra)

4→ 5V – 3.3V Placa madre (Alimentación)

SWITCH → Activa la comunicación rs232 con un equipo externo.

Las funciones del PIC 1 son:

- Recibir la información de los nodos sensores a través del módulo de comunicación inalámbrica, XBEE, utilizando el protocolo de comunicación rs232 entre el módulo XBEE y el PIC.
- Configurar el modem para la transmisión de datos vía GPRS utilizando comandos AT y el protocolo de comunicación rs232.
- Recepción y lectura de mensajes de texto provenientes del Modem utilizando comandos AT.
- Lectura de los sensores de lluvia y del tanque de abastecimiento de agua, además de la lectura del estado de la batería del sistema utilizando el convertidor análogo/digital del PIC.

Las funciones del PIC 2 son:

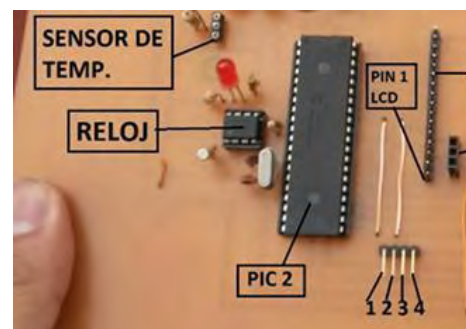
- Configuración y lectura del reloj DS1307 utilizando el protocolo de comunicación I2C.
- Manejo de la Pantalla LCD
- Comunicación del sistema con un computador para la configuración del reloj y fertirriego utilizando el protocolo de comunicación rs232. Puede comunicarse a través de:

- Cable USB-SERIAL: La comunicación se logra conectando:
-

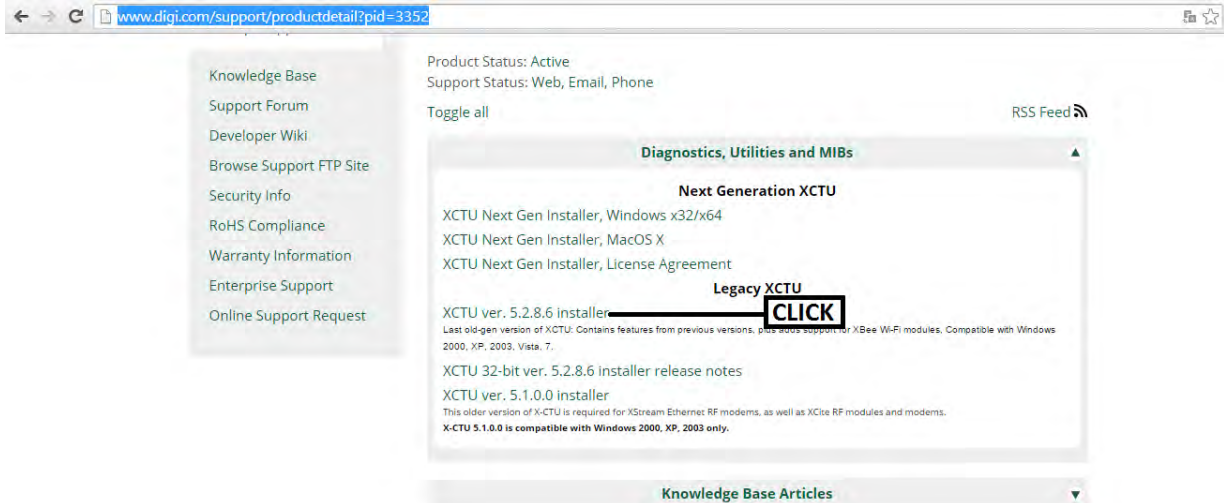


De **1** :

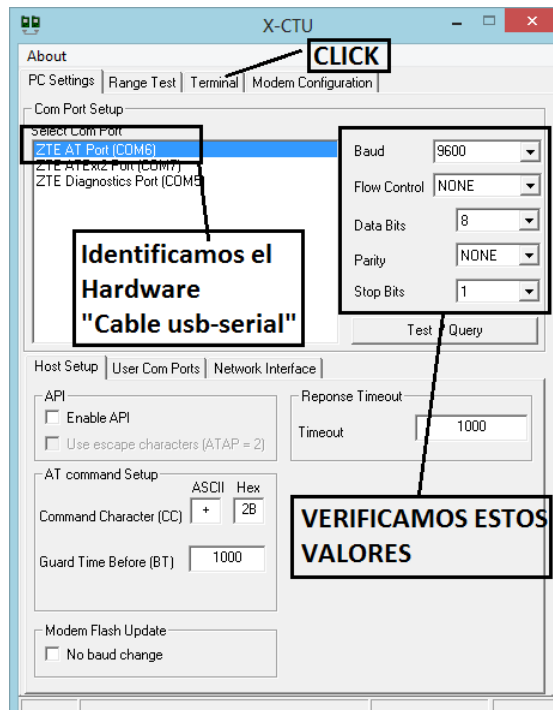
- VCC → 5V Placa madre (pin 4).
- TX → TX Placa madre (pin 1).
- RX → RX Placa madre (pin 2).
- GND → GND Placa madre (pin 3).



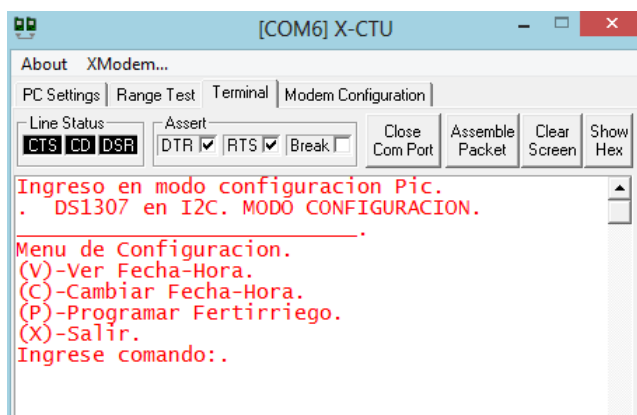
Antes de las conexiones anteriores, es necesario el uso de un software llamado X-CTU versión 5.2.8.6, este se puede descargar ingresando en el navegador web del computador el siguiente link: <http://www.digi.com/support/productdetail?pid=3352> como se ve en la siguiente figura:



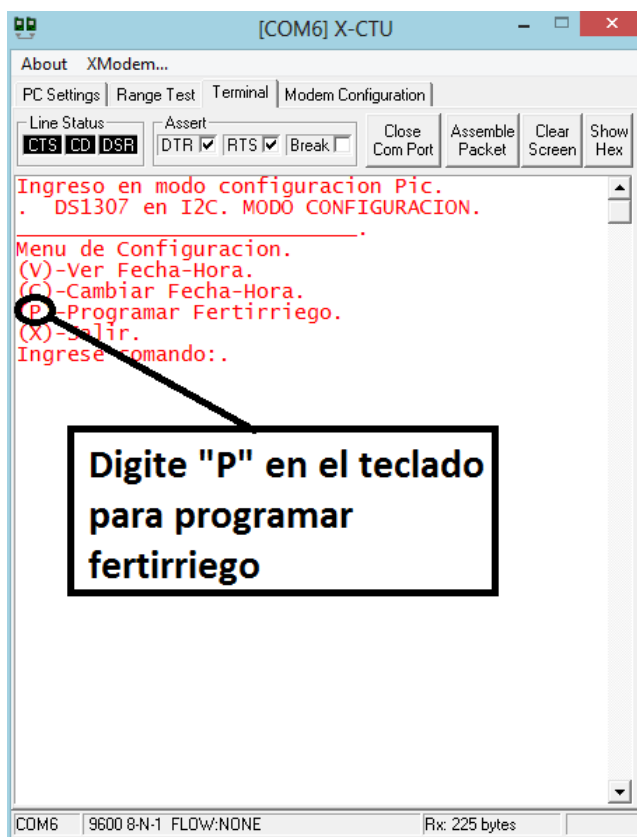
Una vez descargado e instalado el software se procede a abrir el programa y encontraremos el cable USB-serial asignado a un puerto COM, damos click en el y posteriormente damos click en la pestaña terminal, como se muestra en la siguiente figura:



Para poder configurar el reloj y el día en que se realizará el fertirriego se debe accionar el SWITCH de la placa madre y el sistema inmediatamente desplegará un menú de configuración de la siguiente forma:

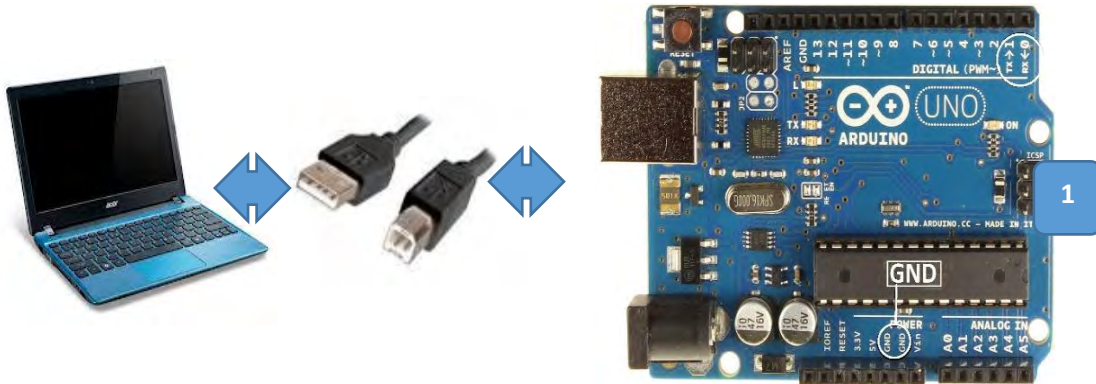


Para acceder a las opciones se debe teclear la letra de la opción deseada como se lo muestra en la siguiente figura seguido de la tecla ENTER:



Para salir del modo configuración se debe devolver el SWITCH a la posición inicial y después se debe teclear la tecla “X” seguido de la tecla ENTER para terminar la comunicación con el sistema.

- Arduino: La comunicación entre un computador y el sistema se logra conectando:



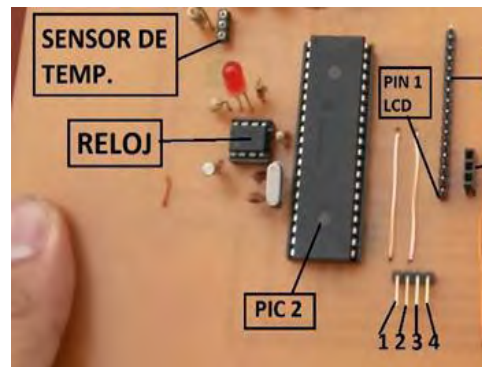
De **1**, las conexiones a realizar son las siguientes

PIN1 ARDUINO=TX → RX Placa madre (pin 2).

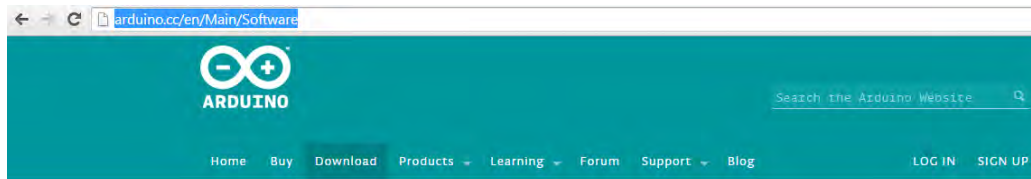
PIN2 ARDUINO=RX → TX Placa madre (pin 1).

GND ARDUINO → GND Placa madre (pin 3).

VIN ARDUINO → 5V Placa madre (pin 4).



Antes de realizar las conexiones anteriores se debe instalar el programa Arduino en el computador que se desea hacer la comunicación con el sistema, este se puede descargar ingresando en el navegador web del computador el siguiente link: <http://arduino.cc/en/Main/Software> como se muestra en la siguiente figura:



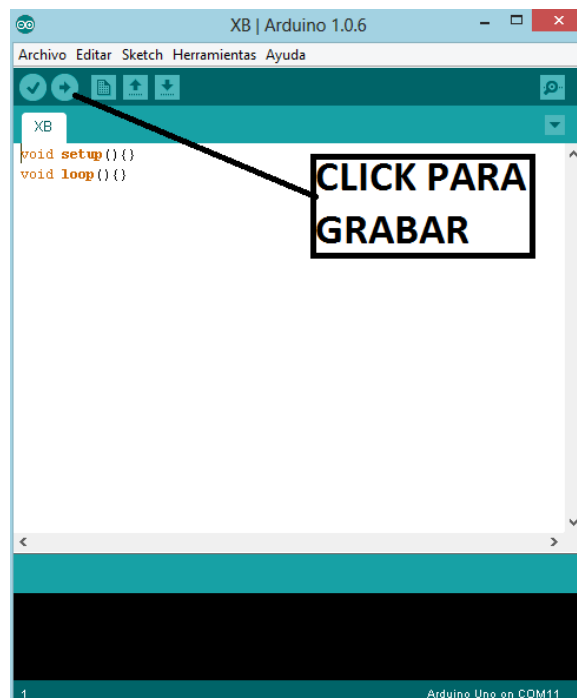
Download the Arduino Software

CLICK

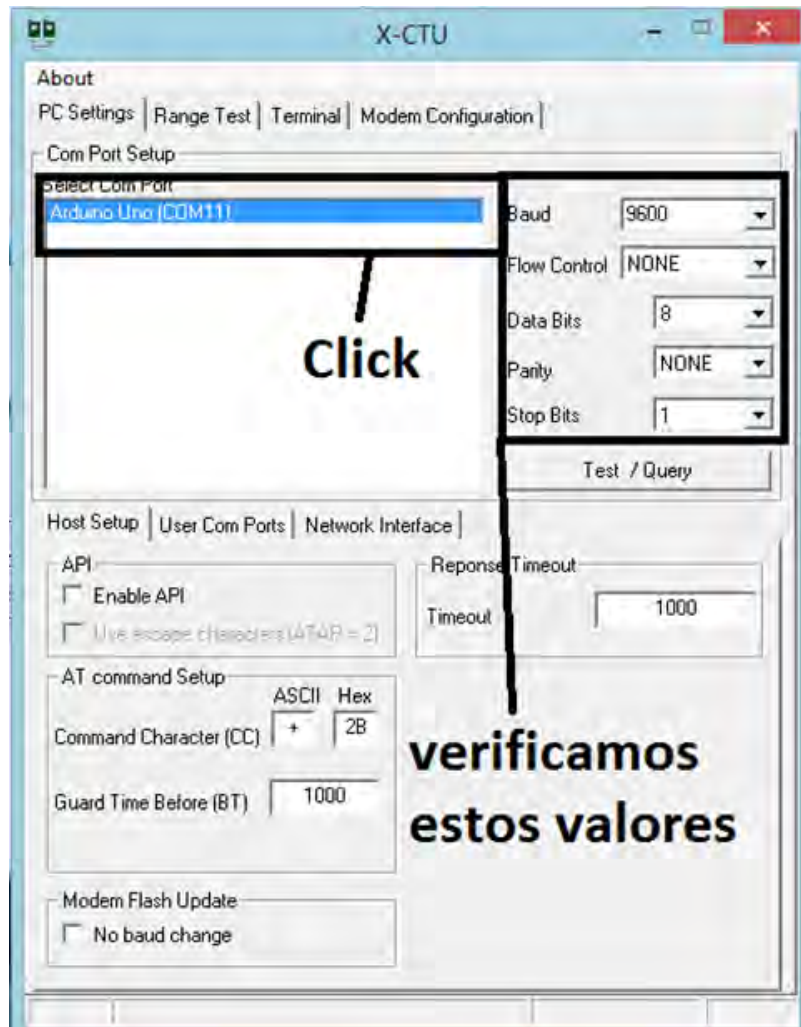
A screenshot of the Arduino 1.6.0 download page. On the left is the Arduino logo. The main text reads: 'ARDUINO 1.6.0. The open-source Arduino Software (IDE) makes it easy to write code and upload it to the board. It runs on Windows, Mac OS X, and Linux. The environment is written in Java and based on Processing and other open-source software. This software can be used with any Arduino board. Refer to the Getting Started page for installation instructions.' On the right, there is a teal callout box with the following text: 'Windows installer', 'Windows ZIP file for non admin install', 'Mac OS X for Java 6 (recommended)', 'Mac OS X for Java 7 (experimental)', 'Linux 32 bits', 'Linux 64 bits', and 'Release Notes Source Code'. A line connects the 'CLICK' text to the callout box.

Una vez descargado e instalado el programa Arduino, se procede a conectar la placa Arduino al computador mediante su cable USB, se debe esperar unos minutos mientras el computador reconoce e instala el controlador de la placa automáticamente, hasta que aparezca un mensaje de confirmación de la instalación.

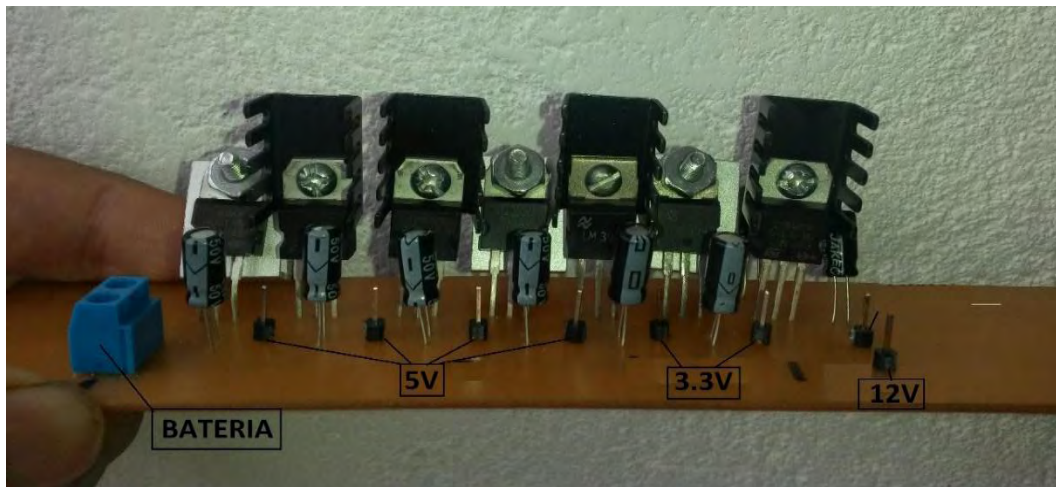
Luego se procede a abrir el programa Arduino y se deberá escribir el siguiente código para luego grabarlo en la placa como se muestra en la siguiente figura:



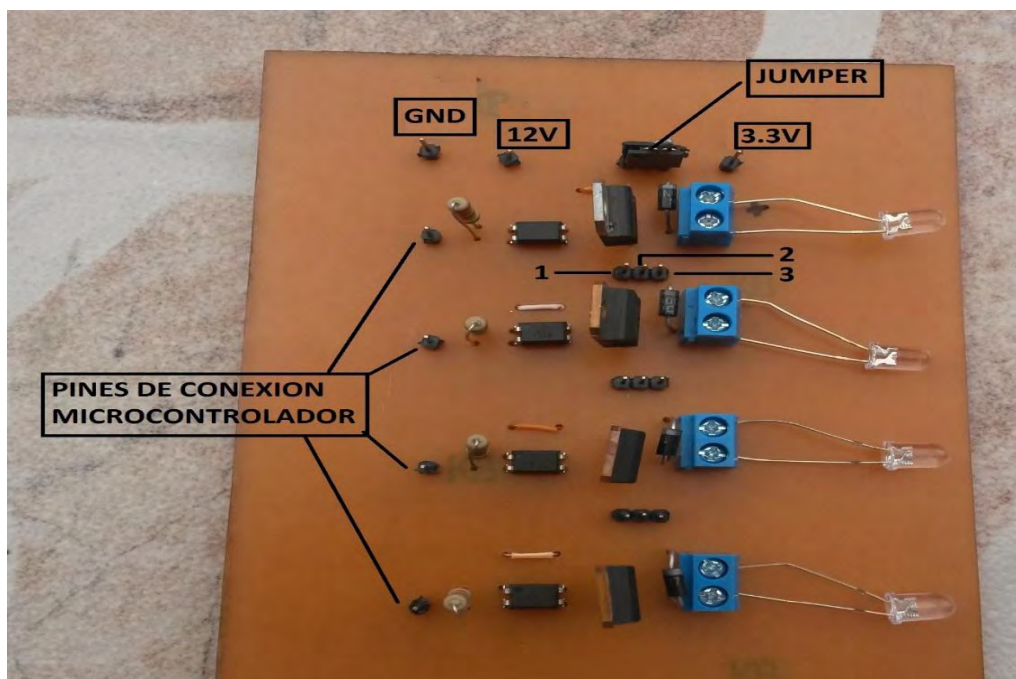
Para interactuar con el sistema, programar la fecha de fertirriego y configurar el reloj del sistema, se procederá de la misma forma que con el cable USB-serial, excepto que en vez de buscar el cable USB-Serial en los puertos COM de la ventana del programa X-CTU se busca el Arduino y le damos click. Tal como lo muestra la siguiente figura:



b. Placa de Alimentación:



c. Placa de Potencia:

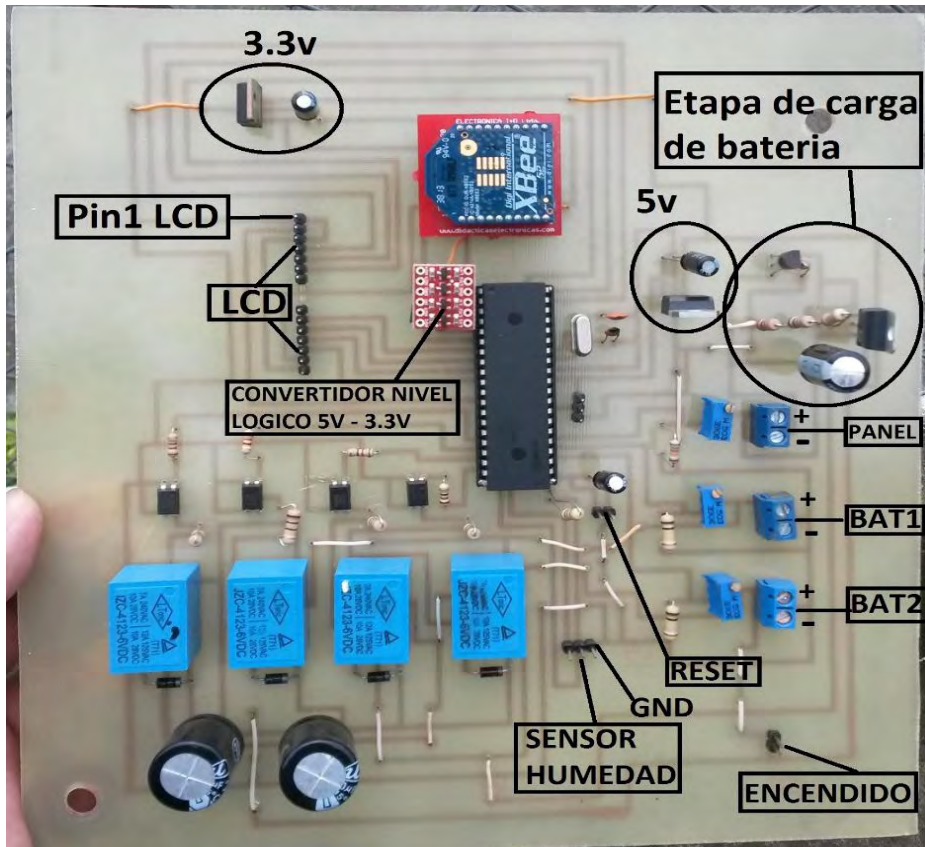


El uso de los jumpers o puentes son de vital importancia para el funcionamiento de las electroválvulas, ya que permite elegir la alimentación de la electroválvula entre 12v y 3.3v. La unión de los pines 1 y 2 alimentará la electroválvula con 3.3v y la unión de los pines 2 y 3 alimentará la electroválvula con 12v. Los leds simulan la conexión de las electroválvulas.

- NODO SENSOR

Es el encargado de medir la humedad de la tierra y enviar los datos al Nodo coordinador - actuador. Las partes del nodo sensor son:

- a. Placa Madre:



Las funciones del PIC son:

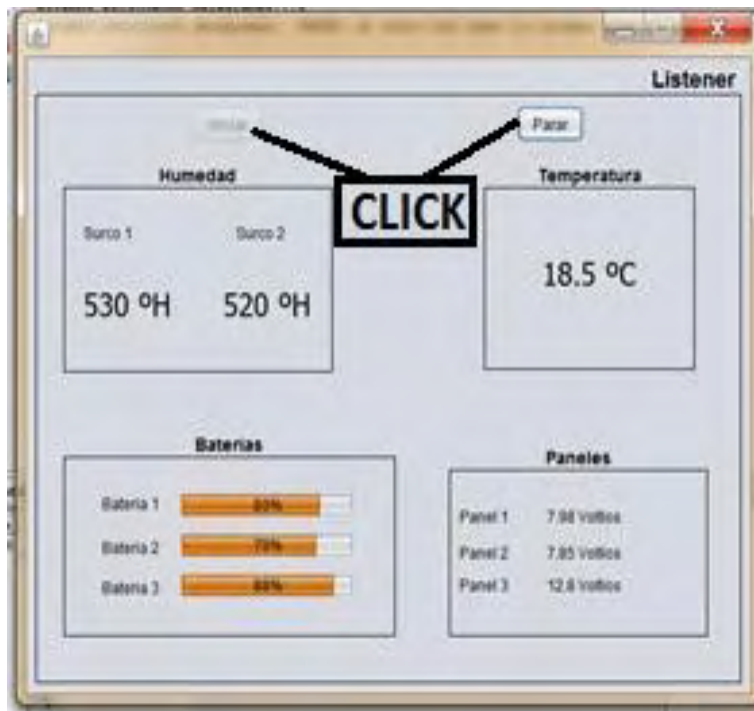
- Controlar la carga de las baterías
- Lectura del sensor de humedad, voltaje de batería y de panel a través de un conversor análogo/digital del PIC.
- Envío de las variables de humedad, voltaje de batería y voltaje de panel hacia el nodo Coordinador-actuador a través del módulo Xbee. Utilizando el protocolo de comunicación rs232 entre el Pic y el Xbee, el protocolo Zigbee entre el Xbee del nodo sensor y el Xbee del nodo Coordinador.

- NODO CENTRAL

Este nodo es el servidor del sistema encargado de guardar y mostrar la información de las variables del sistema. Los requisitos del sistema son:

- Java última versión
- PostgreSQL

Para comenzar a recibir los datos del nodo coordinador-actuador se deberá ejecutar la aplicación y darle click en el botón inicio.

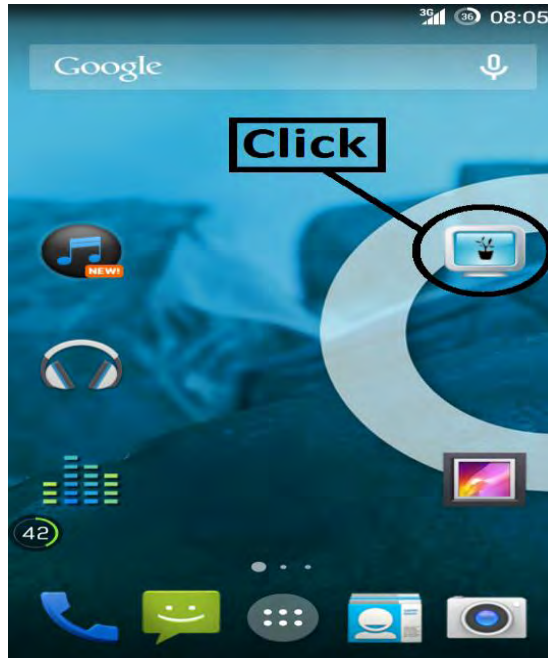


En cualquier momento podemos parar la recepción de datos dando click en el botón parar.

- NODOS REMOTOS

Estos nodos pueden ser un computador o un celular basado en la plataforma Android, en los cuales se deberá tener instalado el aplicativo desarrollado y una conexión a internet para su correcto funcionamiento. Empezaremos por mencionar el manejo del aplicativo del celular.

Primero debemos identificar y ejecutar el aplicativo como se muestra en la siguiente figura:



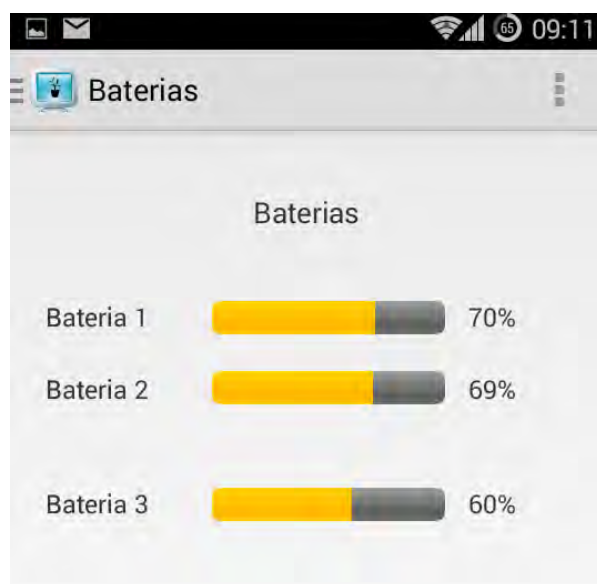
Al iniciar el aplicativo aparecerá la siguiente figura:



A continuación se desplegará un menú de opciones como se lo muestra en la siguiente figura:

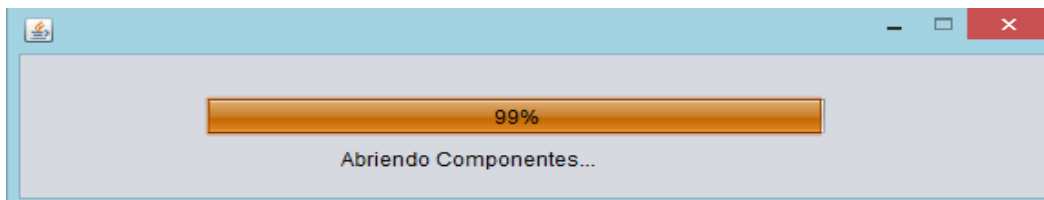


Esto nos desplegará una nueva pantalla mostrando los últimos datos recibidos del estado de las baterías del sistema, en donde la batería 1 corresponderá a la batería del nodo sensor 1, la batería 2 al nodo sensor 2 y la batería 3 corresponde al nodo coordinador-actuador como se muestra en la siguiente figura:



Se realizara el mismo procedimiento anterior para visualizar el resto de variables del sistema mostradas en el menú desplegable.

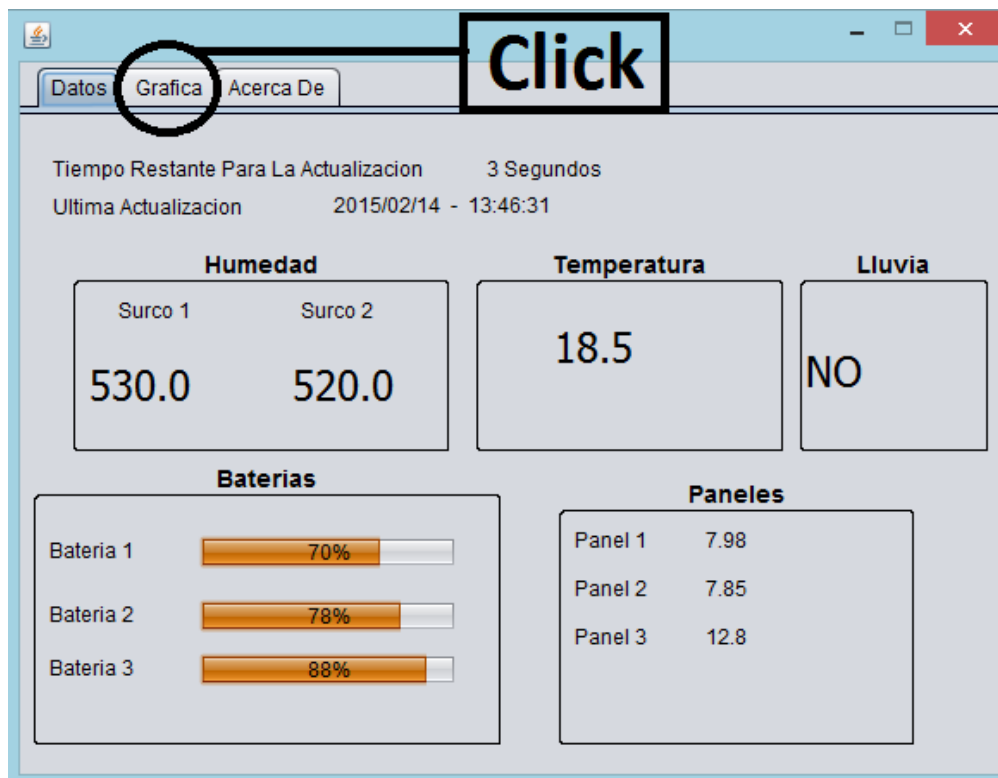
Ahora se hablará del manejo del aplicativo del computador, después de iniciarlo comenzará a conectarse al servidor mostrando una barra de progreso como se lo muestra en la siguiente figura:



Si la barra de progreso no llega al 100% significa que no pudo establecer una conexión exitosa con el servidor y se deberá evaluar los siguientes parámetros:

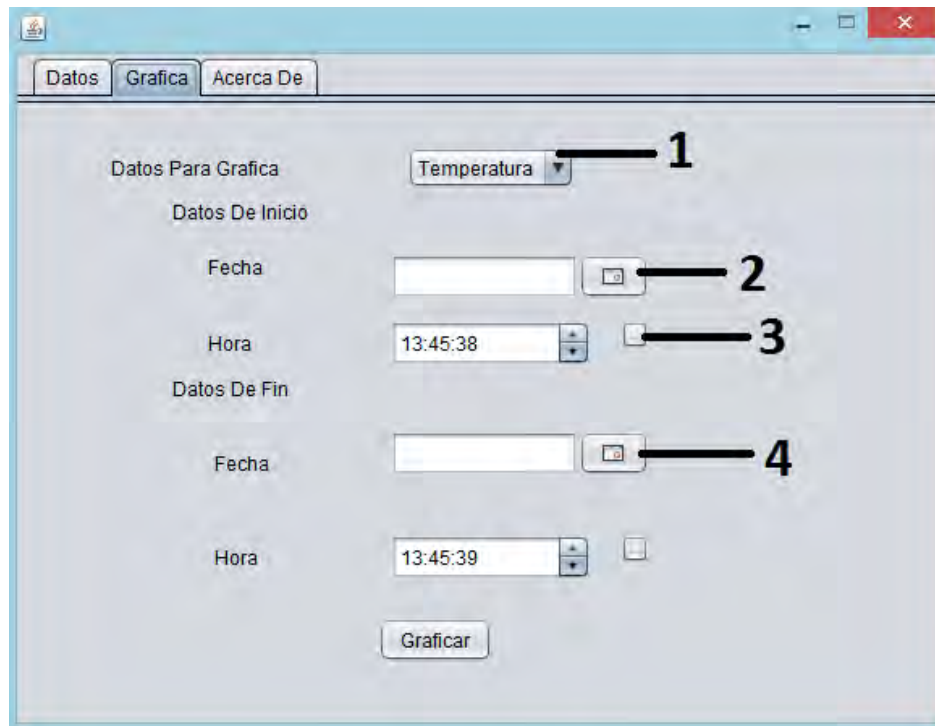
- Verificar si se dispone de una conexión a internet.
- Verificar que el firewall del nodo central este deshabilitado y disponga de una conexión a internet.

Si la conexión fue exitosa se desplegará una ventana como la siguiente:



En la ventana podemos ver en la parte superior 3 pestañas a las que podemos acceder en cualquier momento, además la ventana muestra la fecha y hora de la última actualización de datos del sistema por si la conexión a internet falla y la aplicación no puede seguir actualizando los datos. Cabe resaltar que la aplicación muestra el último dato recibido en el nodo central.

Si se desea observar el seguimiento de una variable del sistema a través del tiempo, basta con dar Click en la pestaña gráfica de la ventana y nos desplegará la siguiente nueva ventana:



Al dar Click en 1 se despliega un menú para escoger la variable a graficar, al dar click en 2 se elige la fecha desde la cual se desea comenzar a graficar, al dar click en 3 se omite la elección de la hora, al dar click en 4 se elige la fecha hasta la cual se desea graficar

