



UNIVERSIDAD RICARDO PALMA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

Diseño e implementación de prototipo de red inalámbrica de sensores energizado con paneles solares, para el monitoreo y la automatización de riego en la agricultura

TESIS

Para optar el título profesional de Ingeniero Electrónico

AUTORES

Romero Rodríguez, Alfredo
ORCID: 0000-0002-2495-2415

Rubio Cheon, Carlos Antonio
ORCID: 0000-0002-7729-5017

ASESOR

Huamaní Navarrete, Pedro Freddy
ORCID: 0000-0002-3753-9777

Lima, Perú

2022

Metadatos Complementarios

Datos de los autores

Romero Rodríguez, Alfredo

DNI: 70023562

Rubio Cheon, Carlos Antonio

DNI: 70262239

Datos de asesor

Huamaní Navarrete, Pedro Freddy

DNI: 10032682

JURADO 1

González Prado, Julio Cesar

DNI: 07702235

ORCID: 0000-0003-0384-7015

JURADO 2

Sánchez Bravo, Miguel Angel

DNI: 08443357

ORCID: 0000-0001-9384-1391

JURADO 3

Lopez Cordova, Jorge Luis

DNI: 09638009

ORCID: 0000-0002-3817-6859

Datos de la investigación

Campo del conocimiento OCDE: 2.02.01

Código del Programa: 712026

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a mis padres, esposa e hijo, quienes me brindan su amor y apoyo incondicional en mi día a día.

Alfredo Romero Rodríguez

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a Dios, a mis padres, abuelos, hermanas, compañeros y amigos quienes me brindaron consejos, apoyo y conocimientos a lo largo de mis cinco años de estudio.

Carlos Antonio Rubio Cheon

AGRADECIMIENTO

Nuestro sincero agradecimiento a nuestra alma mater y profesores, por los conocimientos y experiencias compartidas en esta increíble carrera; y a nuestro asesor que nos apoyó y guio durante el desarrollo de esta tesis.

Alfredo Romero Rodríguez

Carlos Antonio Rubio Cheon

ÍNDICE GENERAL

| | |
|---|-----|
| RESUMEN | i |
| ABSTRACT | ii |
| INTRODUCCIÓN | iii |
| CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA | 1 |
| 1.1. Formulación y delimitación del problema | 1 |
| 1.1.1. Problema general | 1 |
| 1.1.2. Problemas específicos | 1 |
| 1.2. Objetivos | 2 |
| 1.2.1. Objetivo general | 2 |
| 1.2.2. Objetivos específicos | 2 |
| 1.3. Importancia y justificación del estudio | 2 |
| 1.3.1. Importancia | 2 |
| 1.3.2. Justificación | 3 |
| 1.4. Limitaciones del estudio | 3 |
| CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO | 4 |
| 2.1. Marco histórico | 4 |
| 2.2. Antecedentes del estudio | 4 |
| 2.2.1. Investigaciones internacionales | 4 |
| 2.2.2. Investigaciones nacionales | 7 |
| 2.3. Base teórica que sustenta el estudio | 9 |
| 2.3.1. Red inalámbrica de sensores | 9 |
| 2.3.2. Sensores | 10 |
| 2.3.3. Automatización de riego | 12 |
| 2.3.4. Electroválvula | 12 |
| 2.3.5. Dimensionamiento del sistema fotovoltaico | 12 |
| 2.4. Definición de términos básicos | 13 |
| CAPÍTULO III: DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL PROYECTO | 14 |
| 3.1. Diseño de hardware | 15 |
| 3.1.1. Diseño del nodo central | 15 |
| 3.1.2. Diseño del nodo de campo | 16 |
| 3.1.3. Dimensionamiento solar | 18 |

| | |
|---|-----------|
| 3.2. Diseño de software | 22 |
| 3.2.1. Configuración de módulos XBEE S2C | 22 |
| 3.2.2. Programación del nodo de campo | 23 |
| 3.2.3. Programación del nodo central..... | 25 |
| 3.2.4. Interfaz LabVIEW | 28 |
| 3.3. Implementación del prototipo..... | 29 |
| 3.3.1. Implementación del nodo coordinador..... | 29 |
| 3.3.2. Implementación del nodo de campo..... | 31 |
| CAPÍTULO IV: PRUEBAS Y RESULTADOS DEL PROTOTIPO..... | 35 |
| 4.1. Pruebas en laboratorio | 35 |
| 4.1.1. Resultados de la primera simulación..... | 35 |
| 4.1.2. Resultados de la segunda simulación..... | 37 |
| 4.2. Pruebas en campo | 38 |
| 4.2.1. Resultados de la primera prueba | 39 |
| 4.2.2. Resultados de la segunda prueba..... | 41 |
| 4.3. Presupuesto del prototipo | 43 |
| CONCLUSIONES | 45 |
| RECOMENDACIONES | 46 |
| REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 47 |
| ANEXOS..... | 51 |
| Anexo 1: Guía de referencia XBEE S2 | 51 |
| Anexo 2: Hoja técnica relay HRS2..... | 52 |
| Anexo 3: Hoja técnica batería..... | 53 |
| Anexo 4: Especificaciones técnicas panel solar | 54 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla N°1: Tabla ASCII | 26 |
| Tabla N°2: Resultados de primera simulación en laboratorio | 36 |
| Tabla N°3: Resultados de segunda simulación en laboratorio | 37 |
| Tabla N°4: Resultados de primera prueba de campo..... | 41 |
| Tabla N°5: Resultados de segunda prueba de campo | 42 |
| Tabla N°6: Costos del nodo central | 43 |
| Tabla N°7: Costos por nodo de campo | 44 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1: Topologías comunes de redes de sensores inalámbricos | 10 |
| Figura 2: Sensor de humedad FC-28 | 11 |
| Figura 3: Sensor de humedad y temperatura DHT22 | 11 |
| Figura 4: Electroválvula..... | 12 |
| Figura 5: Diagrama de bloques del proyecto | 14 |
| Figura 6: Esquemático de la tarjeta del nodo central..... | 15 |
| Figura 7: Diseño de la tarjeta del nodo coordinador..... | 16 |
| Figura 8: Esquemático de la tarjeta del nodo de campo | 17 |
| Figura 9: Diseño de la tarjeta del nodo de campo..... | 18 |
| Figura 10: Irradiación en el departamento de Lima..... | 19 |
| Figura 11: Irradiación en el departamento de Lima en el año 2021 | 19 |
| Figura 12: Circuito de carga de batería..... | 22 |
| Figura 13: Recepción de trama en el Xbee coordinador..... | 23 |
| Figura 14: Lectura de humedad relativa y temperatura del ambiente..... | 24 |
| Figura 15: Lectura de humedad de suelo | 24 |
| Figura 16: Envío de información del Arduino al Xbee | 25 |
| Figura 17: Identificación de trama..... | 25 |
| Figura 18: Identificación de trama..... | 26 |
| Figura 19: Recuperación de las variables iniciales | 27 |
| Figura 20: Envío del nodo a interfaz | 27 |
| Figura 21: Programación para accionamiento de válvula..... | 28 |
| Figura 22: Diagrama de bloques de LabVIEW | 29 |
| Figura 23: Placa impresa del nodo coordinador | 29 |
| Figura 24: Tarjeta del nodo coordinador implementada..... | 30 |
| Figura 25: Tarjeta del nodo coordinador montada en caja de paso | 30 |
| Figura 26: Módulo del nodo coordinador conectado a laptop | 31 |
| Figura 27: Placa impresa del nodo de campo | 32 |
| Figura 28: Tarjeta implementada del nodo de campo..... | 32 |
| Figura 29: Nodo de campo implementado con panel solar | 33 |

| | |
|---|----|
| Figura 30: Nodo de campo implementado..... | 34 |
| Figura 31: Módulo de nodo de campo sensando en maceta | 35 |
| Figura 32: Lectura de sensores en Arduino | 36 |
| Figura 33: Lectura de sensores en Arduino | 37 |
| Figura 34: Paneles solares de los nodos de campo en terreno de prueba | 38 |
| Figura 35: Sensor de humedad de suelo en terreno de prueba..... | 38 |
| Figura 36: Nodo coordinador con válvula de riego | 39 |
| Figura 37: Válvula de riego activada..... | 40 |
| Figura 38: Lectura de sensores en LabVIEW | 40 |
| Figura 39: Válvula de riego desactivada..... | 41 |
| Figura 40: Lectura de sensores en LabVIEW con válvula apagada | 42 |

RESUMEN

Esta tesis titulada “Diseño e implementación de prototipo de red inalámbrica de sensores energizado con paneles solares, para el monitoreo y la automatización de riego en la agricultura” se llevó a cabo en el departamento de Lima, Perú, surge de la problemática de la falta de uso de técnicas de monitoreo y control del riego en la agricultura, manifestándose en la no obtención de un fruto de calidad uniformizado, desperdicio del agua y en la reducción de vida del suelo agrícola. Para el desarrollo de este trabajo se analizó las variables básicas que son necesarias monitorear para la decisión de riego, luego se diseñaron e implementaron los nodos de campo energizado con paneles solares, previamente dimensionados para la zona de pruebas, como también el nodo coordinador encargado de recolectar la información y enviarla a una interfaz de monitoreo configurada en LabVIEW. Para comprobar el funcionamiento del sistema, se realizaron pruebas en laboratorio y campo en un área de terreno de 100m²; concluyendo que el sistema se encuentra operativo, además que es un sistema escalable y adaptable a cualquier tipo de cultivo.

Palabras Claves: Red inalámbrica de sensores, monitoreo, automatización de riego, panel solar, Arduino y LabVIEW.

ABSTRACT

This investigation entitled "Design and implementation of wireless sensor network prototype powered by solar panels, for monitoring and automation of irrigation in agriculture" was carried out in the department of Lima, Peru, because of the problem of the lack of use of irrigation monitoring and control techniques in agriculture, manifesting itself in the failure to obtain a fruit of standardized quality, waste of water and in the reduction of the life of the agricultural soil. For the development of this work, the basic variables that are necessary to monitor for the irrigation decision were analyzed, then the field nodes energized with solar panels were designed and implemented, previously dimensioned for the test area, as well as the coordinating node in charge of collect the information and send it to a monitoring interface configured in LabVIEW. To verify the system's operation, tests were carried out in the laboratory and in the field in an area of land of 100m²; concluding that the system is operative, besides that it is a scalable system and adaptable to any type of crop.

Keywords: Wireless sensor network, monitoring, irrigation automation, solar panel, Arduino and LabVIEW.

INTRODUCCIÓN

Lima es considerada una gran ciudad asentada en un desierto con una población mayor a los 9 millones de habitantes, según el INEI, se considera una tasa anual de crecimiento de 1.2% de la población, lo cual impacta directamente en la demanda del recurso hídrico, energía y alimentos (ANA, 2013).

La agricultura proporciona los alimentos y materia primas para la población, en esta hay principalmente dos maneras de aumentar la producción y son ampliando la superficie cultivada o aumentando el rendimiento de los cultivos; sin embargo, el ampliar la superficie de cultivo también requeriría de aumentar la disponibilidad de agua (UNCTAD, 2013).

Asimismo, en la agricultura, la ausencia de humedad en el suelo afecta negativamente al cultivo y al rendimiento del mismo. El objetivo es mantener la humedad del suelo para que las plantas puedan absorber el agua con mayor facilidad y esta reposición se da mediante distintos métodos de riego, tales como el riego por superficie y el riego presurizado cuya finalidad es minimizar las pérdidas de agua haciendo el uso más eficiente de la misma, acorde al tipo de cultivo (Demin, 2014).

Por ello, el objetivo principal de la presente investigación se centra en el ahorro del recurso hídrico aplicando técnicas de monitoreo de variables climáticas y condición de humedad del suelo, para esto se diseñaron dos tipos de nodos. Por un lado, el nodo de campo es el encargado de recolectar la información de las variables climáticas mediante un módulo Arduino Nano, y posteriormente transmitir las por módulo XBEE. Además, se consideró energizar este nodo por medio de paneles solares. Igualmente, esta información que se transmite por el nodo de campo es recibida por el nodo central o coordinador, el cual a través de un módulo Arduino UNO procesa la información y la envía en forma serial a una computadora para ser monitoreada mediante el software LabVIEW.

Por lo cual, este proyecto de tesis fue desarrollado en cuatro capítulos.

En el Capítulo I, se definió la problemática, objetivos, importancia y limitaciones de la tesis. Luego, en el Capítulo II se estudió e investigaron trabajos similares y la base teórica sobre el tema. Posteriormente, en el Capítulo III, se desarrolló el diseño e implementación de la tesis alcanzando los objetivos propuestos.

Luego, en el Capítulo IV se realizaron las pruebas en laboratorio y en campo comprobando que el diseño e implementación funcionaron correctamente, a su vez monitoreando las variables seleccionadas como temperatura y humedad. Además, se logró automatizar la válvula de riego de acuerdo a los valores asignados.

Finalmente, las conclusiones relacionadas a este trabajo.

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Formulación y delimitación del problema

El ineficiente uso de técnicas de monitoreo en el sector agrario repercute en un inadecuado uso del agua durante el riego de los cultivos que luego se manifiesta en la problemática de no lograr obtener un fruto de calidad uniformizado, desperdiciando un bien escaso como el agua y en la reducción de vida del suelo agrícola.

1.1.1. Problema general

¿Cómo diseñar e implementar el prototipo de red inalámbrica de sensores energizado con paneles solares, para el monitoreo y la automatización de riego en la agricultura?

1.1.2. Problemas específicos

- a) ¿Cuáles serán las variables de medición del prototipo de red inalámbrica de sensores energizado con paneles solares, para el monitoreo y la automatización del riego en la agricultura?
- b) ¿Cómo se realizará el diseño y la implementación de los nodos de campo del prototipo de red inalámbrica de sensores para el monitoreo de riego en la agricultura?
- c) ¿Cómo se realizará el diseño y la implementación de la interfaz del nodo central del prototipo de red inalámbrica de sensores, utilizando el software LabVIEW?
- d) ¿Cómo se automatizará el accionamiento de electroválvulas del prototipo de red inalámbrica de sensores para el riego en la agricultura?
- e) ¿Cómo se realizará el dimensionamiento del panel solar y la implementación del sistema fotovoltaico de los nodos de campo del prototipo de red inalámbrica de sensores para el monitoreo de riego en la agricultura?

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

Diseñar e implementar un prototipo de red inalámbrica de sensores energizado con paneles solares, para el monitoreo y la automatización de riego en la agricultura.

1.2.2. Objetivos específicos

- a) Definir las variables de medición del prototipo de red inalámbrica de sensores energizado con paneles solares para el monitoreo y la automatización de riego en la agricultura.
- b) Diseñar e implementar los nodos de campo para la red inalámbrica de sensores que permitirá el monitoreo de las variables que inciden en el riego en la agricultura.
- c) Diseñar e implementar la interfaz del nodo central del prototipo de red inalámbrica de sensores, utilizando el software LabVIEW.
- d) Automatizar el accionamiento de electroválvulas del prototipo de red inalámbrica de sensores mediante el nodo central, para el riego en la agricultura.
- e) Dimensionar el panel solar e implementar el sistema fotovoltaico para energizar cada nodo de campo que participa en el monitoreo de riego en agricultura.

1.3. Importancia y justificación del estudio

1.3.1. Importancia

En el Perú, la agricultura provee el 70% de los alimentos y constituye la base de la seguridad alimentaria, anualmente este sector crece afectando directamente en el uso del recurso hídrico, por lo que es importante implementar un sistema automatizado de riego eficiente para la distribución adecuada del agua en la agricultura. Una red de sensores inalámbricos distribuidos correctamente a lo largo del área de cultivo permitirá obtener mediciones en tiempo real de factores como la temperatura del ambiente, humedad relativa del ambiente, temperatura del suelo y humedad del suelo;

estas mediciones serán un soporte para la toma de decisiones en el control óptimo del riego permitiendo lograr una mejora continua y uniformización del producto, ahorrar agua, aumentar la rentabilidad y prolongar la vida de los suelos agrícolas.

1.3.2. Justificación

Este proyecto se justifica porque se diseñará e implementará un prototipo de red inalámbrica de sensores energizado con paneles solares, el cual estará dimensionado específicamente para el departamento de Lima, lugar escogido para el desarrollo de este estudio. Asimismo, se utilizará el software LabVIEW para la interfaz presentada en el centro de control o nodo central; la cual facilitará la interacción del usuario con los sensores distribuidos en el campo. Además, se automatizará el accionamiento de electroválvulas que permitirán el adecuado uso del agua en el riego en la agricultura.

1.4. Limitaciones del estudio

- Teórica: Delimitado a usar el software LabVIEW, los módulos Arduino y XBEE, y dos sensores de temperatura y humedad.
- Temporal: El estudio está determinado para realizarse entre los meses de mayo y noviembre del 2022.
- Económica: Debido al alto costo de sensores de alta precisión solo se realizará un laboratorio de prueba con dos nodos de campo y uno central.
- Espacial: El estudio estará orientado para una aplicación en el departamento de Lima, Perú. Teniendo en cuenta las condiciones climáticas del departamento, en un sector con un área de terreno de 100m².

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Marco histórico

El riego por superficie fue la base de las civilizaciones desarrollándose principalmente junto a los ríos. Las zonas para regar se encontraban en puntos donde se podía llevar el agua sin complicaciones, fluyendo por el terreno por gravedad hasta cubrir toda el área de cultivo. Este método fue el único disponible hasta que a mediados del siglo XX se comenzaron a desarrollar los sistemas de riego presurizado (Faci González & Playán Jubillar, 1994).

El inicio del desarrollo del riego es difícil de documentar, aunque posiblemente las primeras prácticas consistían en desviar el agua desde el curso de un río hacia las zonas de cultivo adyacentes (Pascual España & Pascual Seva, 2010).

Posteriormente, en pleno siglo XX, la tecnología estuvo suficientemente desarrollada para introducir el concepto de control y automatización: utilización de sistemas y elementos que controlan el funcionamiento de un equipo y sus procesos sustituyendo a las personas, logrando así un funcionamiento predeterminado, reduciendo fallas y alcanzando óptimos resultados. Siendo así que se manifiesta la necesidad de controlar y posteriormente automatizar los sistemas de riego logrando de esta manera producir con éxito los productos agrícolas (Ruiz Canales & Molina Martinez, 2010).

2.2. Antecedentes del estudio

2.2.1. Investigaciones internacionales

Ramírez, D. (2020) en su investigación denominada “Automatización de sistema de riego para granjas verticales modulares” presentado para optar por el título de Ingeniero Mecatrónico en la Universidad Autónoma de Occidente, Colombia, donde su objetivo fue diseñar un módulo para el crecimiento y mantenimiento de granjas verticales por medio de un control de riego, concluye que el sistema es capaz de medir las variables ambientales, comunicándose entre módulos y permitiendo estimar las necesidades hídricas de la planta para así realizar la acción de riego.

(Ramírez Contreras, 2020) Se observa en la investigación los criterios utilizados para la elección de los sensores para determinar la ET (evapotranspiración), esta variable fue utilizada para determinar la cantidad de humedad perdida en el suelo por acción de la evaporación. Asimismo, realizó seguimiento al crecimiento de un cultivo dando como resultado el correcto crecimiento de una planta por acción de mantener la humedad del suelo en los valores adecuados (ni saturada ni deshidratado).

Serrano, J. (2018) en su investigación titulada “Red inalámbrica de sensores para la optimización del riego en plantaciones agrónomas”, presentado como trabajo de fin de grado en Ingeniería Electrónica Industrial y Automática, España, cuyo objetivo fue diseñar e implementar un sistema de control de riego mediante una red inalámbrica de sensores que favorezca el ahorro y optimización de recursos hídricos destinados a la agricultura, concluye que las WSN (Wireless Sensor Networks) son cada día más influyentes en nuestros entornos, con multitud de aplicaciones en diversos campos y en la mayoría de casos más beneficiosos, baratos y eficientes que las actuales tecnologías cableadas.

(Serrano Ramos, 2018) De la investigación se rescata el uso de WSN o red inalámbrica de sensores, la cual se compone de elementos de bajo consumo energético, son económicamente más accesibles y con una mayor facilidad en la instalación ya que se evita el cableado.

Macías, M. (2019) en su tesis titulada “Automatización de riego y fertilización mediante una red inalámbrica de sensores en la ESPAM MFL”, para obtener el título de Magíster en tecnologías de la información con mención en redes y sistemas distribuidos en la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López, Ecuador; cuyo objetivo es analizar equipos y materiales existentes en el mercado para la automatización de riego, en su investigación concluye que se analizaron los equipos que existen en el mercado eligiendo los micro controladores Arduino y los transmisores XBEE, dados su disponibilidad y prestaciones.

(Macías Ramírez, 2019) De la investigación mencionada se toma en cuenta la elección de componentes por su disponibilidad en el mercado y prestaciones para el proyecto como lo es el bajo consumo de energía y tamaño compacto de los módulos Arduino y XBEE, lo cual facilita el diseño de los nodos y reduce los componentes de diseño.

Flores, D. (2020) en su trabajo de investigación titulado “Desarrollo de una aplicación web para el monitoreo y control de riego de cultivos mediante el uso de una red de sensores inalámbricos” presentado para obtener el título de Ingeniero en Informática en la Universidad Politécnica Estatal del Carchi, Ecuador, cuyo objetivo fue desarrollar una aplicación web para el monitoreo y control de riego de cultivos mediante el uso de una red de sensores inalámbricos, y de esta manera contribuir a la optimización del agua y al desarrollo de cultivos en el Centro Experimental San Francisco de la Universidad Politécnica Estatal del Carchi; concluye que la implementación del sistema permitió un ahorro de 64.8 litros de agua que se distribuyó uniformemente en las plantas de lechuga del huerto donde se realizaron las pruebas.

(Flores Ayala, 2020) De esta investigación se considera la configuración de diferentes tipos de nodos en la red de sensores inalámbricos; un nodo de campo, un nodo actuador que se encarga de accionar la válvula de riego y un nodo coordinador donde se almacenan y muestran los datos a través de una interfaz web.

Carvajal, G. (2019) en su trabajo de investigación titulado “Diseño e implementación de un sistema de control de riego para prototipo automatizado de cultivos aeropónicos de cilantro” presentado para obtener el título de Ingeniero Electrónico en la Universidad Nacional Abierta y a Distancia - UNAD, Colombia, cuyo objetivo es diseñar e implementar un sistema de control de riego, humedad relativa y temperatura, con interfaz gráfica que permita la interacción con el usuario y la supervisión del PH en un prototipo automatizado de cultivo aeropónico de cilantro; concluye que el sistema se adecúa a diferentes circunstancias climáticas, tener un registro de datos permite

la mejora continua del sistema disminuyendo costos, la interfaz de usuario se puede supervisar y controlar de manera remota en cualquier dispositivo y que el uso de Raspberry pi garantiza que la programación y almacenamiento sea escalable.

(Carvajal Ruiz, 2019) De esta investigación se toma en cuenta que un sistema de estas características debe ser adaptable y escalable a cualquier dimensión de cultivo y siempre optando por la mejora continua del mismo.

2.2.2. Investigaciones nacionales

Mora, H. y Rosas, J. (2019) en su investigación titulada “Diseño, Desarrollo e Implementación de una Red de Sensores Inalámbricos (WSN) para el control, monitoreo y toma de decisiones aplicado en la agricultura de precisión basado en Internet de las cosas (IoT). – Caso de estudio Cultivo de Frijol”, para obtener el título de Ingeniero Electrónico en la Universidad Ricardo Palma, Perú; cuyo objetivo fue proponer, diseñar e implementar un dispositivo electrónico para controlar, monitorear y tomar decisiones en la agricultura de precisión, en sus conclusiones más importantes manifiestan que: a) los sensores evaluaron 5 factores ambientales que proporcionaron información que fue enviado a internet y fue almacenado en una base de datos en la nube. Dicha información fue vital para la mejora en la toma de decisiones frente al cultivo del frijol. b) el dispositivo electrónico fue capaz de generar su propia autonomía ya que uso baterías de Ion de Litio y obtuvo la energía mediante paneles solares.

(Mora Magallanes & Rosas Pari, 2019) De la investigación se tomaron en cuenta las variables ambientales monitoreadas y el funcionamiento autónomo del sistema haciendo el uso de energía solar a través de paneles solares.

Zegarra, K. (2020) en su investigación denominada “Diseño de una red inalámbrica de sensado remoto con aplicación en un escenario de selva baja”, para obtener el título de Ingeniero de las Telecomunicaciones en la Pontificia Universidad Católica del Perú, Perú; cuyo objetivo fue realizar un análisis del tiempo de autonomía de la red inalámbrica de sensado remoto dependiendo de los componentes de los nodos, además, se espera contar con un estimado del costo de todo el equipamiento necesario para desplegar la red inalámbrica,

concluye en cuanto al consumo energético, al hacer uso de LoRa se consume menor energía que al hacer uso del ZigBee, tomando en cuenta los componentes transceptores para Arduino; a su vez se puede asumir que son más ahorrativas que hacer uso de 5G NB-IoT o Sigfox, que implica hacer uso de estaciones base de la red móvil o propias. Esto se debe a que cada una de las tecnologías es adecuada para diferentes escenarios.

(Zegarra Chávez, 2020) En esta investigación se revisó el análisis de consumo energético de los nodos, comparando los módulos de transmisión, para tener una idea más precisa sobre que tecnología/módulo utilizar.

Julca, A. y Martell, M. (2021) en su tesis “Sistema de automatización con Arduino para el control de riego en los terrenos de cultivo del centro poblado de Santa Clara, distrito de Pítipo”, para obtener el título de Ingeniero Teleinformático en la Universidad Privada Juan Mejía Baca, Perú; teniendo como objetivo analizar la situación actual de los sistemas de riego en los terrenos de cultivo del centro poblado de Santa Clara, llegando a la conclusión que un 72.5% de los encuestados utiliza el sistema de riego superficial en sus cultivos por su fácil implementación y tradición, un 87.5% manifiestan que tienen poco control del agua al momento de la irrigación, dando como resultado una irrigación no homogénea ya que partes del terreno de cultivo es sobrecargado de agua y en otras partes escasea agua, ocasionando un uso ineficiente del recurso hídrico.

(Julca Landacay & Martell León, 2021) Verificándose en la presente investigación que el riego no es controlado y en su mayoría se da por el método de riego por superficie por su facilidad de implementación ocasionando pérdidas de agua, se utilizan módulos Arduino para este diseño de control de riego.

Acero, C. y Lanchipa, E (2021) en su investigación titulada “Implementación de un sistema de internet de las cosas para optimizar la gestión del agua en la agricultura de la región Tacna” cuyo objetivo es demostrar la efectividad de la implementación de un sistema de Internet de las Cosas en la optimización de la gestión del agua en la agricultura en la región de Tacna, concluye que un

sistema de Internet de las Cosas optimiza la gestión del riego reduciendo en un 21.25% el tiempo de riego efectivo del cultivo.

(Acero Catacora & Lanchipa Valencia, 2021) De esta investigación se considera la importancia que hay en la aplicación de la tecnología en la gestión del agua, reduciendo de manera significativa el tiempo de riego y con ello el ahorro del agua.

Mercado, J (2020) en su tesis titulada “Sistema de riego autónomo de bajo costo para expansión de área agrícola en laderas de los valles del sur del Perú basado en IoT” presentada para obtener el título de Ingeniero Electrónico en la Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, cuyo objetivo es desarrollar un prototipo de sistema de riego por goteo autónomo de bajo costo para la expansión del área agrícola en el valle de Moquegua, en el fundo de Omo, basado en internet de las cosas (IoT) concluye que su sistema de bombeo requiere de una batería de 12VDC a 98Ah junto a un panel solar de 50W, además, que es posible utilizar módulos XBEE S2C con routers configurados como Access Point y así enviar la información a través de internet.

(Mercado Garcia, 2020) De esta tesis se considera el dimensionamiento de panel solar como también el uso de los módulos XBEE para realizar una aplicación de internet de las cosas (IoT).

2.3. Base teórica que sustenta el estudio

2.3.1. Red inalámbrica de sensores

Es una red que mediante sensores distribuidos en distintos puntos pueden medir diversas variables, cada nodo viene a ser autónomo contando con una fuente de alimentación, un controlador, un transmisor y al menos un sensor. Además, debido a las limitaciones de la autonomía de las baterías, se diseñan los nodos de bajo consumo energético y generalmente están configurados en modos de ahorro de energía. Así mismo, las redes tienen la capacidad de restaurarse a sí mismas, por lo que, si se daña un nodo, esta encontrará nuevas rutas para los paquetes de datos. De esta manera, la red seguirá funcionando, aunque haya nodos que se dañen (Aakvaag & Frey, 2006).

En estas redes se generan cadenas de comunicación entre los nodos conocidas como topología de red, esta determina la configuración de conexión entre los nodos como se muestra en la Figura 1:

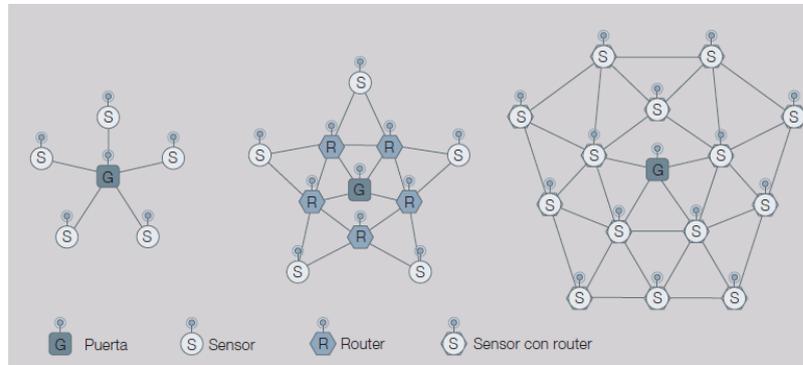


Figura 1: Topologías comunes de redes de sensores inalámbricos

Fuente: Revista ABB -Redes de sensores inalámbricos – Nuevas soluciones de interconexión para la automatización industrial (Aakvaag & Frey, 2006)

2.3.2. Sensores

Dispositivo de entrada que provee una salida manipulable de la variable física medida, las características que diferencian a los sensores son de carácter dinámico o estático, las características estáticas hacen referencia a aquellos rasgos que no cambian con el tiempo (sensibilidad, rango precisión, exactitud, linealidad estática, offset, resolución y error estático) y las características dinámicas aquellas que describen el sensor en función del tiempo (tiempo de respuesta, histéresis, linealidad dinámica y error dinámico) (Corona Ramírez, Abarca Jiménez, & Mares Carreño, 2014).

a) Sensor de humedad de suelo FC – 28

En estos sensores se utiliza la conductividad del suelo, mientras mayor sea la humedad en el suelo, mayor será su conductividad. Los electrodos ingresan al suelo y luego se someten a una diferencia potencial constante dando como resultado una corriente proporcional a la humedad presente (Glaría & Kouro, 2001).

A continuación, el sensor utilizado se muestra en la Figura 2, el cual tiene un voltaje de alimentación de 3.3 – 5 VDC y cuenta con dos señales de salida (analógica y digital).

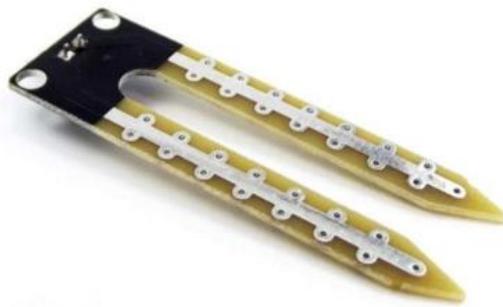


Figura 2: Sensor de humedad FC-28

Fuente: UNIT Electronics (UNIT Electronics, 2022)

b) Sensor de humedad y temperatura DHT22

El sensor DHT22 también conocido como AM2302 es un sensor de salida digital y alimentación de 3.3 – 6 VDC, este mide con precisión la temperatura y humedad relativa, en el que los elementos de sensado están conectados a un chip de 8-bit. Además, su tamaño pequeño, bajo consumo de energía y la distancia de transmisión hacen que sea útil para múltiples aplicaciones (Liu, 2013). Ver la figura 3.

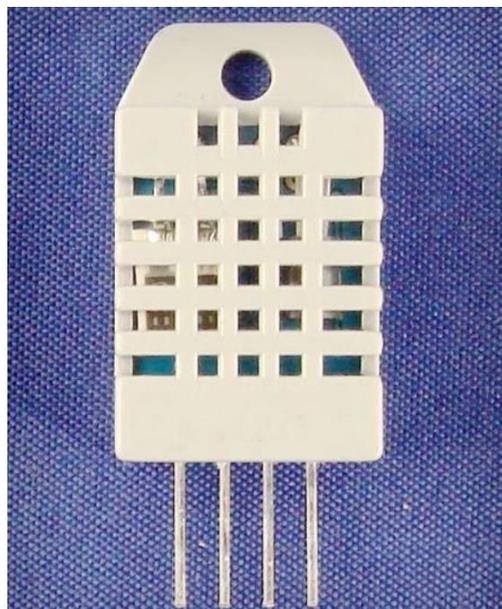


Figura 3: Sensor de humedad y temperatura DHT22

Fuente: Aosong Electronics Co. (Aosong Electronics, 2013)

2.3.3. Automatización de riego

Es un sistema que tiene como objetivo determinar el momento más adecuado del riego y la cantidad de agua que se va a aplicar en función de factores como la humedad del suelo o de la planta y la uniformidad en el reparto de agua, este sistema consta de un programador, una serie de sensores y un conjunto de válvulas (Ruiz Canales & Molina Martinez, 2010).

2.3.4. Electroválvula

Es una válvula electromagnética accionada por un solenoide de apertura/cierre controlada por una señal eléctrica discreta emitida por un sistema de control (Emerson Automation Solutions, 2019).

Las electroválvulas pueden ser normalmente abiertas (NO) o normalmente cerradas (NC), y tienen distintas características de voltaje de alimentación y conexión. En la figura 4 se muestra una electroválvula NC con alimentación de 12VDC y con conector roscado $\frac{3}{4}$ " NPT.



Figura 4: Electroválvula

Fuente: Electrónica Electronilab (Electronilab, 2022)

2.3.5. Dimensionamiento del sistema fotovoltaico

El dimensionado es el cálculo de los elementos del sistema (capacidad de batería, cableado asociado, panel solar y cargador) para suministrar de manera confiable un determinado consumo eléctrico, estos se dimensionan teniendo en

cuenta el escenario más desfavorable en relación a la radiación solar y carga (Abella, 2005).

2.4. Definición de términos básicos

- Zigbee: Es una tecnología inalámbrica desarrollada en dispositivos económicos, de bajo consumo de energía, fáciles de utilizar y caracterizada por arquitecturas de red inalámbricas seguras y fiables que operan en bandas de radio sin licencia (2.4GHz, 900 MHz y 868 MHz).
- Arduino: Placa electrónica de desarrollo que cuenta con hardware y software libre, cuenta con un microcontrolador programable y pines que facilitan la conexión con distintos dispositivos electrónicos.
- Software LabVIEW: Es una plataforma gráfica usada en sistemas de ingeniería para monitorear y obtener datos de sistemas en tiempo real o sistemas simulados.
- Topología malla: Esta topología se caracteriza por la interconexión entre todos los nodos que conforman la red, esto hace posible transmitir la información a través de distintos caminos dándole una fiabilidad superior.
- Nodo central: Es el encargado de establecer el PAN ID (identificador de red) y el canal de comunicación para la red. Este nodo recibe, procesa, almacena y envía datos a otros nodos.
- Nodo de campo: Dispositivo cuya función es adquirir información y determinar la mejor ruta de transmisión de datos hacia el nodo central.

CAPÍTULO III: DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL PROYECTO

En este capítulo se muestra el proceso de la investigación, diseño e implementación del proyecto cuya finalidad es cumplir con los objetivos propuestos. Para esto se dividió el capítulo en tres secciones, en la primera sección se hace referencia al diseño de hardware donde se desarrollan los PCBs del nodo central y el nodo de campo, así como la energización solar del nodo de campo y los cálculos respectivos para el dimensionamiento; seguidamente, en la segunda sección correspondiente al diseño de software, se desarrolla la programación de los módulos Arduino, la configuración de los módulos XBEE y la interfaz del nodo central en el software LabVIEW, y finalmente en la tercera sección se muestra el proceso de implementación del proyecto.

Para el desarrollo de este capítulo, primero se definen cuáles son las variables que inciden en la decisión de riego y para ello se debe tomar en cuenta que el factor principal para saber el momento del riego es la evapotranspiración también llamada o conocida en el mundo agrícola como ET. Considerando la ET, las variables fundamentales para este proyecto son: temperatura ambiente, humedad relativa del ambiente y humedad de suelo. A continuación, en la figura 5, se muestra el diagrama de bloques del proyecto, inicialmente en el área agrícola se instalaron los nodos de campo, estos nodos cuentan con sensores para el monitoreo de las variables establecidas; luego, la información recolectada se envió inalámbricamente al nodo central para procesar la información y determinar cuándo apertura una válvula para el riego del área. Asimismo, el nodo central tiene comunicación con una PC donde se visualizan las variables en una interfaz diseñada en el software LabVIEW.

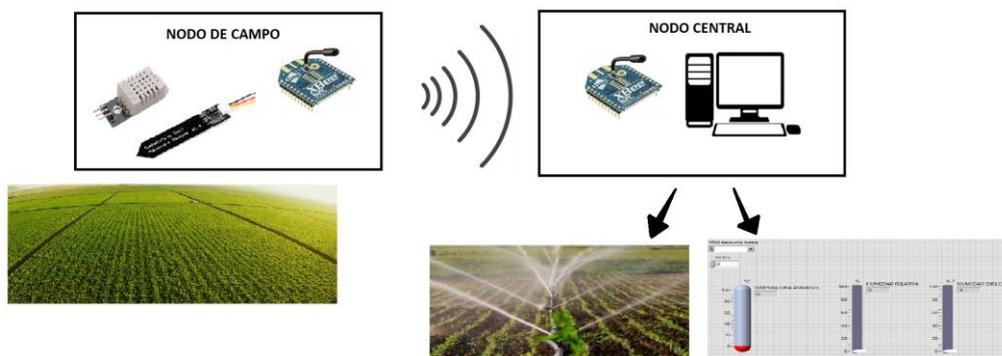


Figura 5: Diagrama de bloques del proyecto

Fuente: Elaboración propia

3.1. Diseño de hardware

3.1.1. Diseño del nodo central

El nodo central es el encargado de recibir la información de los nodos de campo, filtrar la información recibida, comunicar por el puerto serial hacia una computadora para que se visualice en el software LabVIEW y realizar la activación/desactivación de la válvula solenoide. Para esto se utilizó un Arduino UNO con una tarjeta tipo modular diseñada en el software Eagle como se puede ver en la figura 6, donde se utilizan los pines de alimentación de 3.3VDC/GND para energizar el módulo XBEE S2C considerando la hoja técnica del Anexo 1 y los pines de TX/RX de ambos dispositivos para la comunicación respectiva. Además, se consideró el uso de 3 salidas digitales del módulo Arduino donde una de ellas realiza la activación de la bobina del relay (bobina de 5VDC y el uso del contacto normalmente abierto, información técnica se encuentra en el Anexo 2) que es el encargado de energizar la válvula solenoide conmutando los 12VDC, esta alimentación ingresa por dos borneras doubles “VALVULA” y “12V” consideradas en el diseño del nodo, las otras 2 salidas digitales indican mediante LEDs el correcto funcionamiento del nodo y dan aviso de que se está ejecutando el riego, es decir, si la válvula solenoide está activada o desactivada.

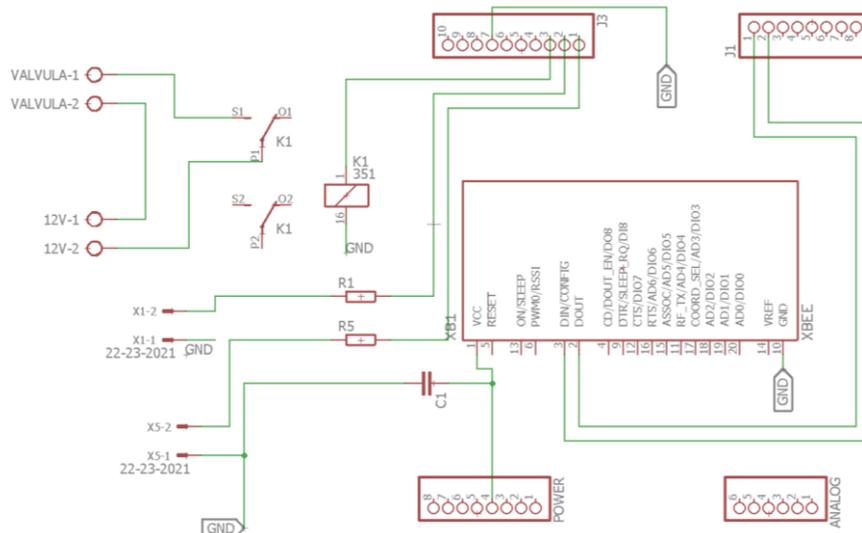


Figura 6: Esquema de la tarjeta del nodo central

Fuente: Elaboración propia

digital (D2) para la lectura del DHT22 como se puede observar en la figura 8. La información de los sensores se interpreta por el Arduino Nano y se envía mediante el pin TX hacia el módulo XBEE S2C, el cual se alimenta mediante los pines 3.3VDC/GND, para que esta información sea enviada al nodo central.

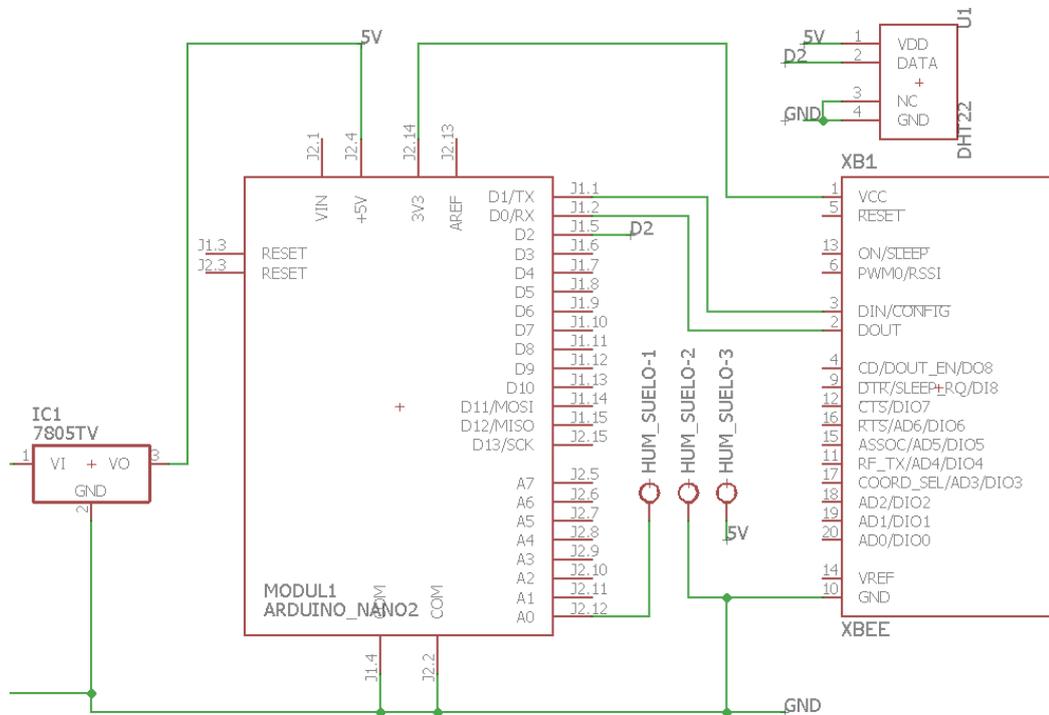


Figura 8: Esquemático de la tarjeta del nodo de campo

Fuente: Elaboración propia

Posteriormente, mediante el software Eagle se procedió al diseño del circuito impreso como se observa en la figura 9, para esto, se tuvo en cuenta los criterios correspondientes considerados también en el diseño del nodo central. Seguidamente, se consideró el circuito de carga regulable de la batería (mostrado más adelante en la figura 12) por lo que se colocó una bornera doble “PANEL” para el ingreso del voltaje suministrados por el panel solar, una bornera doble “BATERIA” para la carga de la batería y energización del nodo de campo y una bornera triple “HUM_SUELO” para la alimentación y lectura del sensor de humedad de suelo.

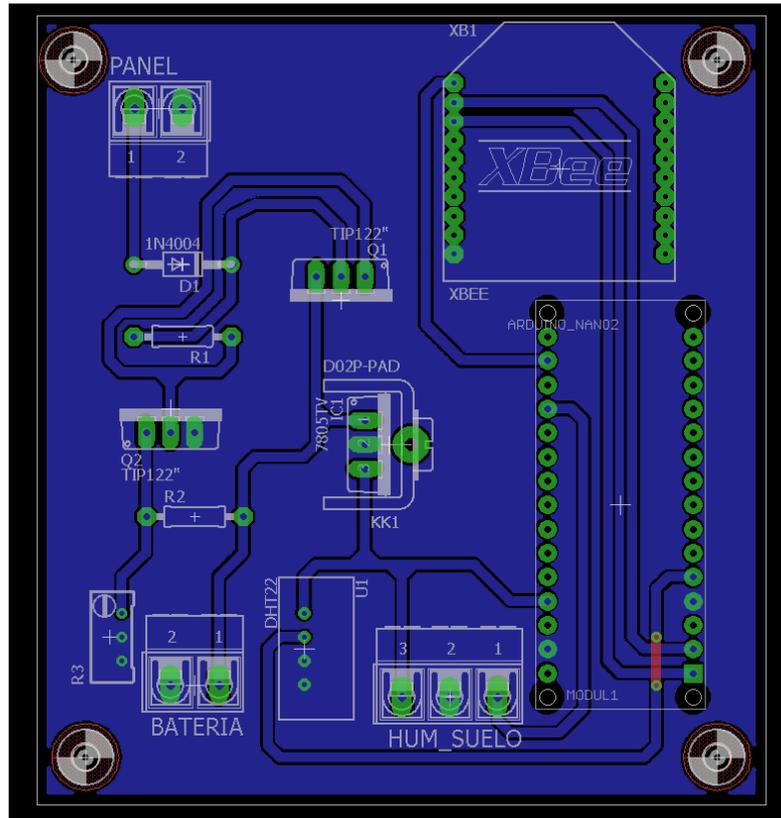


Figura 9: Diseño de la tarjeta del nodo de campo

Fuente: Elaboración propia

3.1.3. Dimensionamiento solar

Para el dimensionamiento solar se tomó como referencia el departamento de Lima tanto para el desarrollo y la prueba del prototipo. Asimismo, el cálculo de los componentes del sistema se hizo teniendo en cuenta el peor escenario posible de irradiación promedio, con la finalidad de garantizar que el sistema tenga la capacidad de funcionar y cargar las baterías aún en esas condiciones climáticas. En la figura 10, se muestra un fragmento del mapa de irradiación del departamento de Lima, donde se considera que los meses donde la irradiación solar fue más baja corresponde a los meses de mayo y agosto, considerando un valor aproximado de 4 – 4.5 kW h /m²; sin embargo, esta información proporcionada por SENAMHI tiene como fecha de publicación el año 2003 por lo que se buscó información más actualizada.

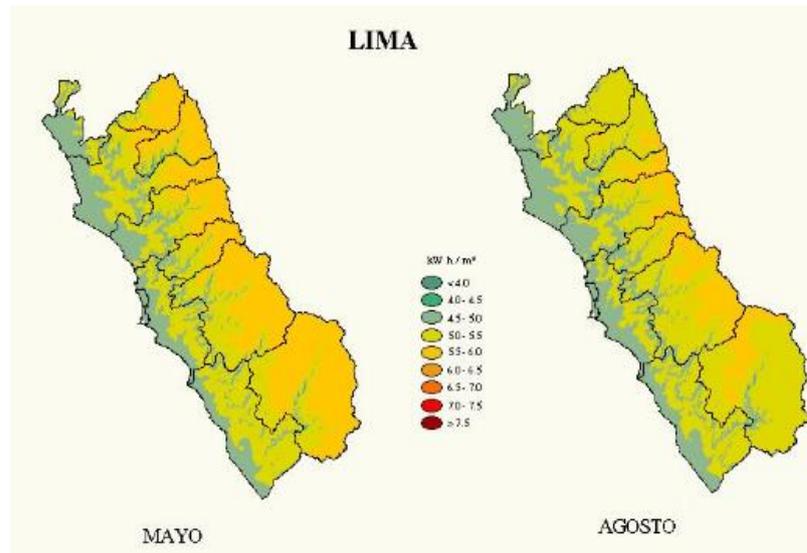


Figura 10: Irradiación en el departamento de Lima

Fuente: Atlas de energía solar en Perú (Senamhi, 2003)

Por otro lado, la NASA en su proyecto POWER provee información meteorológica y solar a través de una herramienta web. En la figura 11 se puede observar la irradiación en el departamento de Lima para el año 2021, donde se observa que el 15 de enero fue el día donde este valor fue el más bajo por lo que se consideró para los cálculos correspondientes.

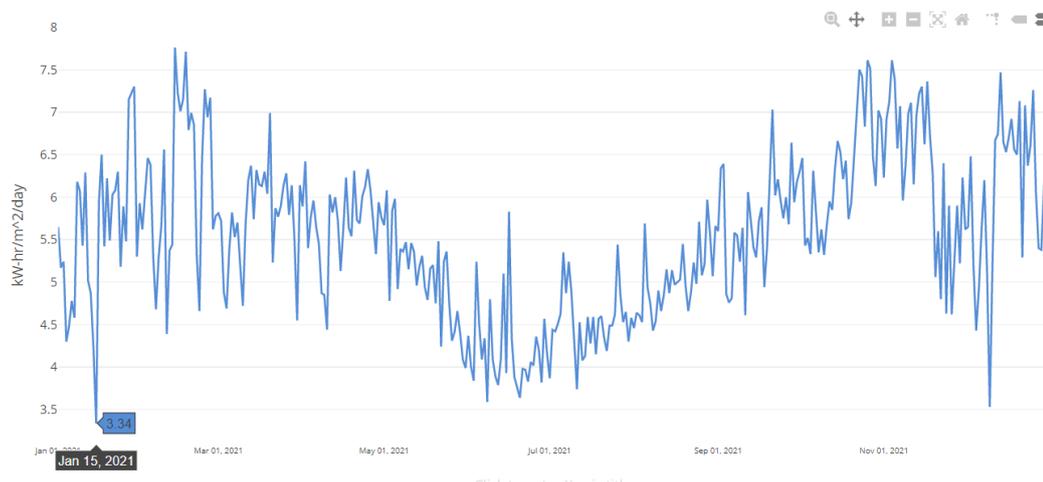


Figura 11: Irradiación en el departamento de Lima en el año 2021

Fuente: Data Access Viewer (NASA, 2021)

Luego, para calcular los componentes del sistema fotovoltaico propuesto, primero se debió conocer el consumo total de los componentes del nodo de campo. Este consta básicamente de cuatro elementos donde se considera el

consumo máximo de cada elemento según hoja de datos. Luego, para el caso del módulo Arduino nano su consumo corresponde a 19mA, para el sensor de humedad de suelo capacitivo se considera un consumo de 5mA, para el DTH22 un consumo de 2.5mA, y finalmente para el módulo XBEE S2C se considera un consumo como transmisor de 35mA, haciendo un total de 61.5mA.

Posteriormente, mediante el método de “Amperios-hora” se halló la energía real por día necesaria L, considerando las eficiencias y pérdidas de todos los subsistemas. Ver la ecuación (1).

$$L = \frac{L_{cc}}{\eta_g} + \frac{L_{ca}}{\eta_g \eta_{inv}} \quad (1)$$

Dónde:

L_{cc}: Carga diaria en corriente continua.

L_{ca}: Carga diaria en corriente alterna.

η_g: Eficiencia carga/descarga de la batería.

η_{inv}: Eficiencia media diaria del inversor.

Asimismo, al no tener consumo en corriente alterna y considerando el uso de baterías de ácido-plomo de 12VDC, cuya eficiencia de carga/descarga es de 85% y el funcionamiento continuo del sistema por un día (24 horas), la ecuación (1) quedó de la siguiente manera:

$$L = \frac{L_{cc}}{\eta_g} = \frac{(0.0615 \text{ A} * 12\text{V}) * 24\text{horas}}{0.85} = 20.8 \text{ Wh /día}$$

Luego, se procedió a calcular la capacidad de la batería en función a la autonomía requerida en base a L, de acuerdo a la siguiente ecuación (2).

$$CB = \frac{L.N}{V_{bat}.DOD.\eta_c} \quad (2)$$

Dónde:

CB: Capacidad de la batería

N: Número de días de autonomía

DOD: Máxima profundidad de descarga de la batería

η_c : Pérdidas por cables

V_{bat} : Voltaje de la batería

Además, considerando que la autonomía es para el funcionamiento del día a día, la batería de ácido-plomo de 12VDC, cuya profundidad de descarga es de 20% y que no hay pérdidas por cables, quedaría representada de la siguiente manera:

$$CB = \frac{L \cdot N}{V_{bat} \cdot DOD \cdot \eta_c} = \frac{20.8 \text{ Wh} * 1}{12 \text{ V} * 0.8 * 1} = 2.1 \text{ Ah}$$

Por ello, se necesita de una batería de al menos 12VDC @ 2.1Ah. Seguidamente, para determinar la potencia del panel solar (W_p) a utilizar se empleó la siguiente expresión:

$$W_p = \frac{L}{N_{\text{ModulosFV}} * HSP * (1 - \eta_d)} \quad (3)$$

Dónde:

HSP: Hora de sol pico equivalente a la energía total diaria incidente sobre la superficie horizontal.

η_d : factor global de pérdidas en el sistema fotovoltaico.

$N_{\text{ModulosFV}}$: Número de paneles solares a utilizar.

Entonces, considerando el HSP de la figura 11, el factor global de pérdidas del sistema es de 25% y solamente un panel solar fue utilizado debido a que el consumo del sistema es bajo:

$$W_p = \frac{20.8 \text{ Wh}}{1 * 3.34 \text{ h} * (1 - 0.25)} = 8.3 \text{ W}$$

Por lo tanto, se requiere de un panel solar de 12V con una potencia de al menos 8.3W. Finalmente, para el cargador solar se considera el circuito de la figura 12 el cual es una fuente de corriente en la que el voltaje de carga se regula mediante el potenciómetro R3 a 13.8 VDC. Luego, cuando la batería se encuentre cargada, la corriente por la resistencia R1 será baja haciendo que Q1 entre en corte y deje de cargar la batería.

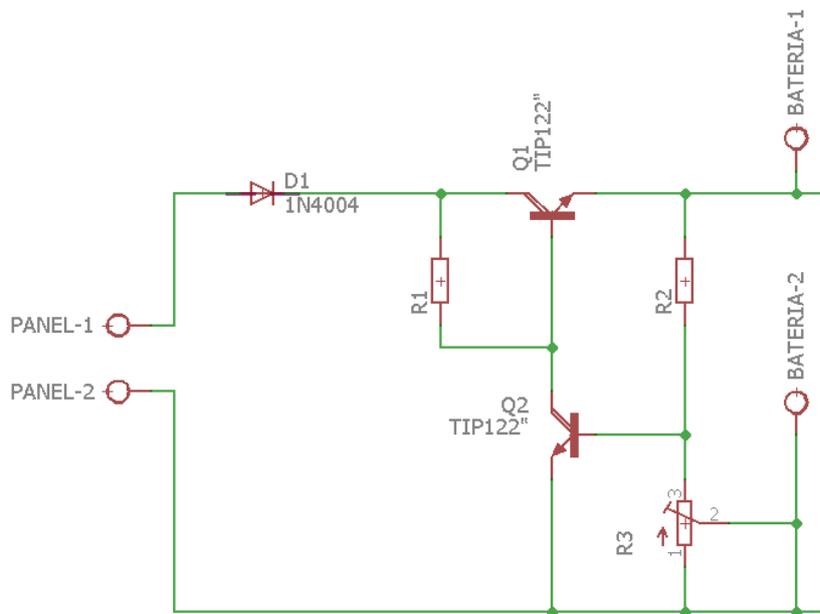


Figura 12: Circuito de carga de batería

Fuente: Elaboración propia

3.2. Diseño de software

3.2.1. Configuración de módulos XBEE S2C

Los módulos XBEE S2C se configuraron mediante el software XCTU como coordinador (nodo central) y router (nodos de campo), todos los nodos que conforman esta red tienen que tener el PAN ID: 2022 definido para el proyecto; además, se configuró el router en modo transparente AT y el coordinador en modo API.

A continuación, en la figura 13 se ve la simulación de la comunicación en el software XCTU desde la perspectiva del nodo coordinador con solo un nodo de campo, donde se ve la recepción de las tramas de información cada 1 segundo tal como está configurado. Además, se observa que la trama cumple con el formato correspondiente al ser enviado por un router en modo

transparente AT, iniciando con el byte “7E”, seguido de bytes dedicados al tamaño de la trama, tipo de trama, MAC ID del XBEE, información enviada (puertos digitales/analógicos o datos seriales) y finalmente el checksum.

The screenshot shows a serial monitor interface with two main sections: 'Frames log' and 'Frame details'.

Frames log:

| ID | Time | Length | Frame |
|----|--------------|--------|----------------|
| 13 | 19:08:46.470 | 21 | Receive Packet |
| 14 | 19:08:47.525 | 21 | Receive Packet |
| 15 | 19:08:48.536 | 21 | Receive Packet |
| 16 | 19:08:49.511 | 21 | Receive Packet |
| 17 | 19:08:50.503 | 21 | Receive Packet |
| 18 | 19:08:51.501 | 21 | Receive Packet |
| 19 | 19:08:52.508 | 21 | Receive Packet |
| 20 | 19:08:53.551 | 21 | Receive Packet |
| 21 | 19:08:54.518 | 21 | Receive Packet |
| 22 | 19:08:55.541 | 21 | Receive Packet |
| 23 | 19:08:56.558 | 21 | Receive Packet |

Frame details:

Receive Packet (API 1)
 7E 00 15 90 00 13 A2 00 41 8F 1A 00 C2 28 01 31 33 32 30 31 39 39 0D 0A 65

Start delimiter: 7E

Length: 00 15 (21)

Frame type: 90 (Receive Packet)

64-bit source address: 00 13 12 00 41 0F 1A 00

Figura 13: Recepción de trama en el Xbee coordinador

Fuente: Escenario propio

3.2.2. Programación del nodo de campo

En el nodo de campo los sensores están conectados directamente al Arduino Nano (entrada digital y entrada analógica), para el sensor de humedad relativa y temperatura del ambiente DHT22 se utilizó la librería DHT.h y la entrada digital en el pin 2 del Arduino Nano. La librería está diseñada para este sensor específico y nos proporciona la lectura de las variables, estas se almacenan en las variables declaradas “humi” y “tempC”. En la figura 14, se logra observar la programación que consta de un bucle para hacer una medición cada 100 milisegundos durante 1 segundo; luego, se obtiene finalmente el promedio de estas lecturas y se almacenan en las variables “TempProm_Ambiente” y “HumProm_Ambiente”, esto se hace con la finalidad de evitar lecturas erróneas.

```

for(int i=0; i<10 ;i++){
float humi = dht.readHumidity();
float tempC = dht.readTemperature();
Temp_Ambiente[i]=tempC;
Hum_Ambiente[i]=humi;
TempProm_Ambiente=Temp_Ambiente[i]+TempProm_Ambiente;
HumProm_Ambiente=Hum_Ambiente[i]+HumProm_Ambiente;
delay(100); //cada 100ms tomo muestra y 10 muestras hacen 1 dato promedio
if(i==9){
TempProm_Ambiente=TempProm_Ambiente/10;
HumProm_Ambiente=HumProm_Ambiente/10;
}

```

Figura 14: Lectura de humedad relativa y temperatura del ambiente

Fuente: Elaboración propia

El sensor de humedad del suelo da como respuesta una lectura analógica; por lo cual, esta señal ingresa al Arduino Nano por una entrada ADC interna, la entrada analógica se escala de 0VDC a 5 VDC con una resolución de 10 bits dando como respuesta valores enteros de 0 a 1023, a la vez este sensor se calibra conectando al Arduino Nano y leyendo la entrada analógica A0 configurada con el sensor de humedad de suelo totalmente seco (asignando este valor a la variable “Seco”), y con el sensor de humedad de suelo sumergido en agua (asignando este valor a la variable “Mojado”), estos valores obtenidos como respuesta corresponden al 0% y 100% de humedad respectivamente. La figura 15, corresponde a un fragmento del programa que permite obtener la lectura analógica obtenida por el Arduino Nano, posteriormente este dato se escala mediante la función map de 0 a 100% entre los valores “Mojado” y “Seco”, producto de la calibración realizada; finalmente, se almacena el resultado en la variable “HumProm_Suelo”.

```

SensorA0=analogRead(A0);
HumProm_Suelo=map(SensorA0,Mojado,Seco,100,0);

```

Figura 15: Lectura de humedad de suelo

Fuente: Elaboración propia

Finalmente, y ya contando con todas las variables se decidió almacenar estos tres datos numéricos en un solo número el cual fue enviado, tal como se ve en la figura 16. Para esto, se usó una variable tipo Long declarada como “Dato”,

el valor de “HumProm_Suelo” se mantiene y la “HumProm_Ambiente” se multiplica por 256 para tener un corrimiento hacia la izquierda de 2 bytes en ese valor, y “TempProm_Ambiente” se multiplica por 65536 para tener un corrimiento hacia la izquierda de 4 bytes, finalmente con el operador OR se suman los valores dando como resultado el valor de “Dato” el cual se envía serialmente al XBEE S2C para su envío al nodo central.

```
Dato=(TempProm_Ambiente*65536)|(HumProm_Ambiente*256)|(HumProm_Suelo);  
Serial.println(Dato);  
TempProm_Ambiente=0;  
HumProm_Ambiente=0;
```

Figura 16: Envío de información del Arduino al Xbee

Fuente: Elaboración propia

3.2.3. Programación del nodo central

En el nodo central, el módulo XBEE S2C es el encargado de recibir la información de los nodos de campo, esta información es enviada al Arduino UNO para procesarla y enviarla serialmente por el puerto USB para que se pueda visualizar en el software LabVIEW.

Para esto, se consideró la trama serial de la figura 11 que consta de 21 bytes siendo inicio de trama el dato hexadecimal 0x7E; esta información la reconoce el Arduino y almacena el valor en una variable x[i] tal como se puede ver en la figura 17.

```
if (Serial.available() > 21) {  
    if(Serial.read()== 0x7E){  
        for(int i=0; i<21;i++) {  
            x[i]=Serial.read();  
        }  
    }  
}
```

Figura 17: Identificación de trama

Fuente: Elaboración propia

Luego, al haber identificado la trama, se extraen los valores de x[i] desde i=14 hasta i=20 donde se encuentra la variable “Dato”, estos valores se envían según la tabla n°1, donde cada valor numérico es tomado como un carácter y enviado en forma de unidad, cada carácter se recibe en su ubicación en la trama y con

su valor correspondiente hexadecimal y para poder obtener cada unidad del dato recibido se multiplica cada valor por 0x0F.

Tabla N° 1

Tabla ASCII

| Decimal | Hexadecimal | Char |
|---------|-------------|------|
| 48 | 30 | 0 |
| 49 | 31 | 1 |
| 50 | 32 | 2 |
| 51 | 33 | 3 |
| 52 | 34 | 4 |
| 53 | 35 | 5 |
| 54 | 36 | 6 |
| 55 | 37 | 7 |
| 56 | 38 | 8 |
| 57 | 39 | 9 |

Fuente: Tabla de códigos ASCII (Códigos ASCII, 2022)

Teniendo todos los valores unitarios del “Dato”, el Arduino se encarga de volverlo nuevamente a un solo dato numérico multiplicando por 10 cada valor y, sumándole el siguiente valor recibido, tal como se ve en la figura 18. De esta manera, se obtiene el valor que envió el nodo de campo.

```
if (i>13 && i<21){
  y=x[i]&(15);
  if(i==14){
    Dato=y*10;
    if(Dato>0 && i>14){
      Dato=Dato+y;
      Dato=Dato*10;
    }
    if(i==20){
      Dato=Dato/10;
    }
  }
}
```

Figura 18: Identificación de trama

Fuente: Elaboración propia

A continuación, como se ve en la figura 19, teniendo el valor de “Dato” se hace una multiplicación con el operador AND del valor por 16711680 (en binario 1111 1111 0000 0000 0000 0000), luego se divide entre 65536 el resultado para tener un desplazamiento hacia la derecha de 2 bytes obteniendo así la

variable “Temp_Ambiente”; luego, al valor de “Dato” inicial se le multiplica con el operador AND por 65280 (en binario 1111 1111 0000 0000) y se le divide entre 256 para desplazar hacia la derecha 1 byte el resultado, resultando de esa manera la variable “Hum_Ambiente”; y, finalmente el valor inicial de “Dato” se multiplica con el operador AND por 255 (en binario 1111 1111) para así tener como resultado la variable “Hum_Suelo”.

```
Temp_Ambiente=Dato&(16711680);  
Temp_Ambiente=Temp_Ambiente/65536;  
Hum_Ambiente=Dato&(65280);  
Hum_Ambiente=Hum_Ambiente/256;  
Hum_Suelo=Dato&(255);
```

Figura 19: Recuperación de las variables iniciales

Fuente: Elaboración propia

Luego, obtenidos estos valores se procede a enviarlos mediante el comando Serial.write tal como se ve en la figura 20; adicionalmente, se envía la variable “Estado_Valvula”.

```
Serial.write(Temp_Ambiente);  
Serial.write(Hum_Ambiente);  
Serial.write(Hum_Suelo);  
Serial.write(Estado_Valvula);
```

Figura 20: Envío del nodo a interfaz

Fuente: Elaboración propia

Para la activación de la válvula se consideró un temporizador horario que bloquea la activación de riego en un determinado horario (dando estado HIGH/LOW a la variable “Act_Riego”), siendo estas horas las de mayor temperatura ambiente para evitar pérdidas de agua por evaporación. Esto se realiza mediante la librería Time.h y el comando setTime que otorga valores a las variables de tiempo. Asimismo, otro factor determinante para el riego fue la humedad del suelo, para ella se consideró la variable “HumLow” que activa el riego si es que el valor de la humedad de suelo es menor a esta y la variable “Act_Riego” se encuentra habilitada; por otro lado, se desactiva el riego si la

humedad del suelo es mayor a “HumHigh” o la variable “Act_Riego” no lo permite, tal como se ve en la figura 21. Además, se consideró asignarle un valor numérico igual a 88 a la variable “Estado_Valvula”, siempre y cuando se encuentre activa para poder comunicarle a la interfaz gráfica LabVIEW el estado de la válvula.

```
if(hour())>11 && hour()<16){
Act_Riego=LOW;
}else{
Act_Riego=HIGH;
}
if(Hum_Suelo<HumLow && Act_Riego==HIGH){
digitalWrite(9, HIGH);
digitalWrite(10, HIGH);
Estado_Valvula=88;
}
if(Hum_Suelo>HumHigh && Act_Riego==HIGH){
digitalWrite(9, LOW);
digitalWrite(10, LOW);
Estado_Valvula=0;
}
```

Figura 21: Programación para accionamiento de válvula

Fuente: Elaboración propia

3.2.4. Interfaz LabVIEW

En el software LabVIEW se programó la interfaz de monitoreo para el usuario a través de una programación en bloques, tal como se puede observar en la figura 22. Además se hizo una distribución en diferentes carpetas de acuerdo a los requerimientos. Para esta tesis se utilizó la librería del puerto serial VISA correspondiente a la apertura, lectura y clausura del programa, las cuales se encargaron de recibir la data del nodo coordinador. Además, dentro de un lazo cerrado se programó un conversor de data serial a un arreglo de bytes para filtrar el dato que se requiere según el orden del byte; cada orden de byte es el dato de cada sensor (sensor de temperatura ambiente, sensor de humedad relativa, sensor de humedad de suelo y válvula). Por último, para tener un

monitoreo del encendido/apagado de la válvula se agregó una comparación lógica con el valor asignado de acuerdo a la programación en Arduino.

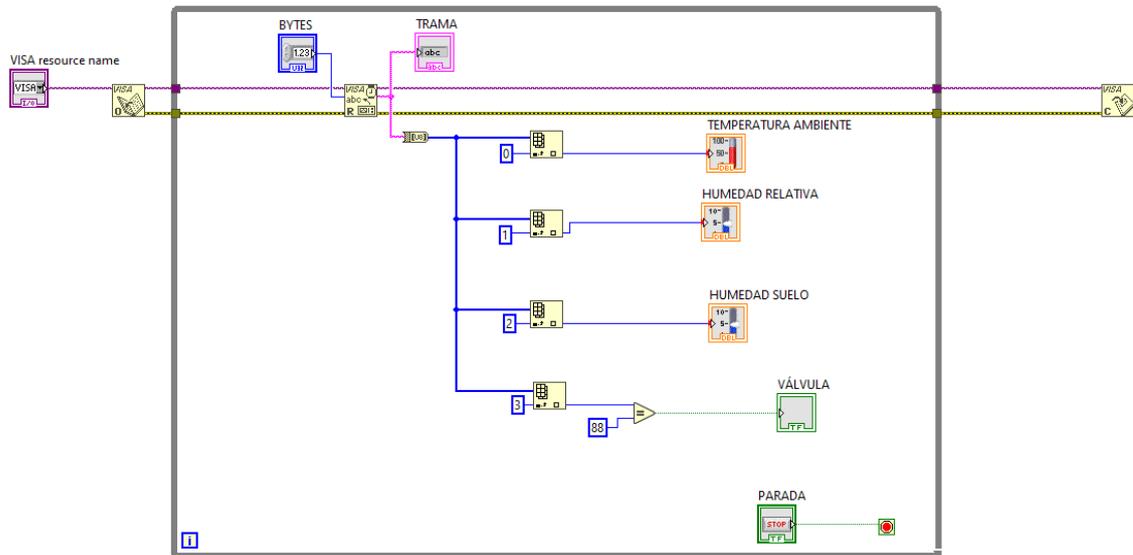


Figura 22: Diagrama de bloques de LabVIEW

Fuente: Elaboración propia

3.3. Implementación del prototipo

3.3.1. Implementación del nodo coordinador

De acuerdo al diseño en Eagle de la figura 7 del nodo coordinador, se procedió con la impresión serigráfica en una placa de baquelita con cobre y el decapado de la misma haciendo el uso de ácido férrico obteniendo como resultado la placa de la figura 23.

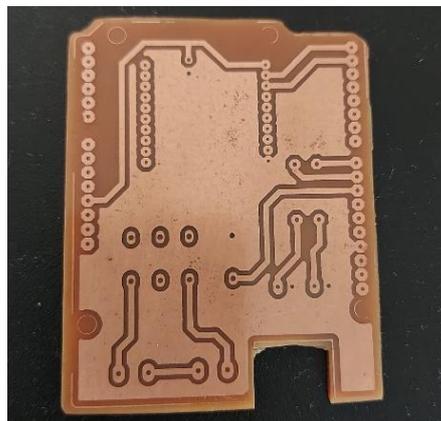


Figura 23: Placa impresa del nodo coordinador

Fuente: Elaboración propia

Luego, se procedió a realizar los huecos donde se colocaron los componentes con una broca de 1mm, se colocaron y soldaron los componentes obteniendo la placa mostrada en la figura 24.

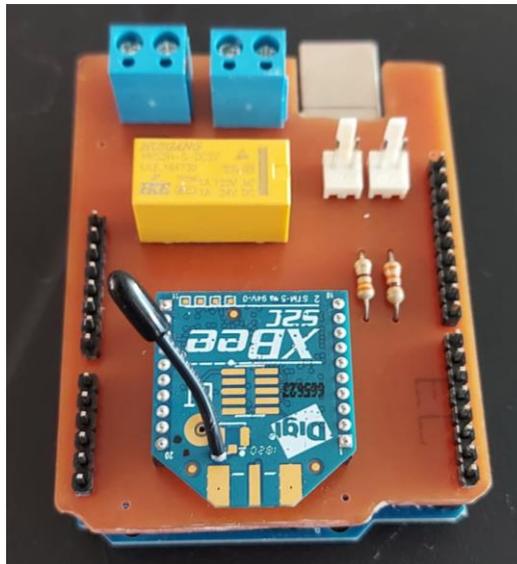


Figura 24: Tarjeta del nodo coordinador implementada

Fuente: Elaboración propia

Seguidamente, para una mejor presentación y protección de la placa, se procedió a montarla dentro de una caja de paso de 8cm x 8cm x 4cm, tal como se puede ver en las figuras 25 y 26, se consideraron dos prensaestopas en la parte inferior para el ingreso de la alimentación de 12VDC y para alimentar la válvula solenoide. Finalmente, se acondicionó un ingreso al cable serial para la comunicación del módulo Arduino UNO con la computadora.

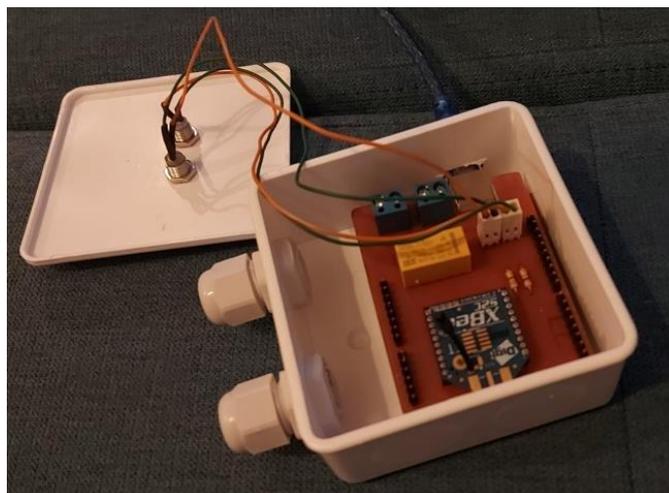


Figura 25: Tarjeta del nodo coordinador montada en caja de paso

Fuente: Elaboración propia

Además, en la figura 25 se observa ambos LEDs con su conector, cableado y portaled correspondiente y en la figura 26 se observan los LEDs en la tapa de la caja del nodo central ya funcionando e indicando que el equipo está encendido y la válvula solenoide está desactivada.



Figura 26: Módulo del nodo coordinador conectado a laptop
Fuente: Elaboración propia

3.3.2. Implementación del nodo de campo

De acuerdo al diseño en Eagle de la figura 9 correspondiente al nodo de campo, se procedió con la impresión serigráfica del diseño, huecos correspondientes, colocación y soldado de componentes obteniendo como resultado la placa de la figura 27.

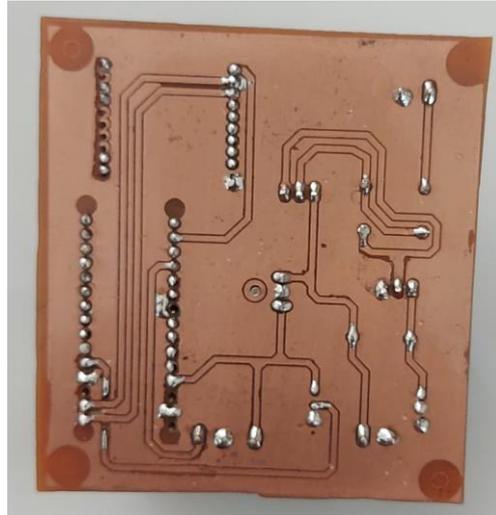


Figura 27: Placa impresa del nodo de campo

Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar en la figura 28, el sensor DTH22 se cambió por un socket de 3 pines para poder trasladar el sensor mediante cables hacia el exterior de la caja correspondiente al nodo de campo por motivos de espacio y lecturas adecuadas.

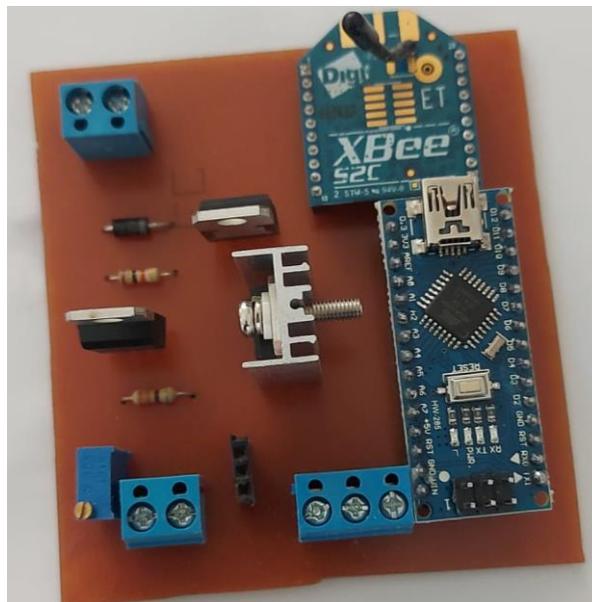


Figura 28: Tarjeta implementada del nodo de campo

Fuente: Elaboración propia

Según los cálculos realizados en la Sección 3.1.3, para los componentes que energizarán el nodo de campo, se tomaron los valores comerciales más

cercanos para el panel solar siendo este de 12VDC -10W considerando las especificaciones técnicas del Anexo 4 y para las baterías se consideraron dos de 6VDC@4Ah teniendo en cuenta las especificaciones técnicas que se pueden encontrar en el Anexo 3, en serie como se puede apreciar en la figuras 29 y 30.

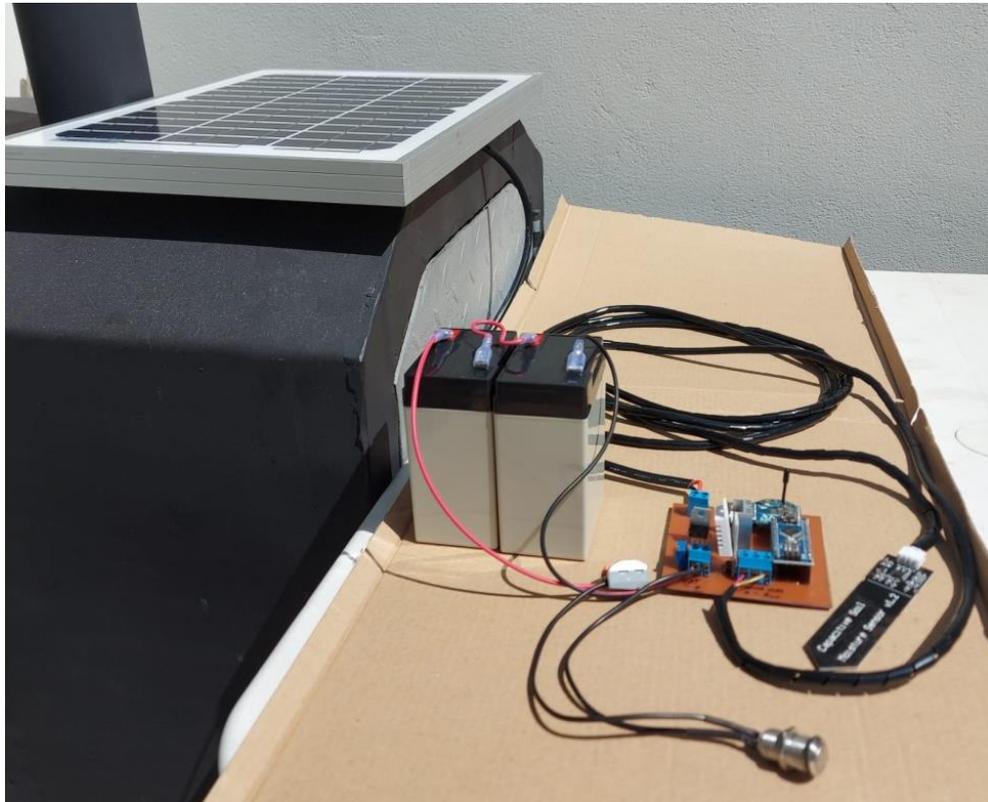


Figura 29: Nodo de campo implementado con panel solar

Fuente: Elaboración propia

Asimismo, en la figura 30 se observa que el cableado asociado al sensor de humedad de suelo se alargó para tomar las mediciones y se protegió con un espiral protector plástico. Además, para esta prueba se colocó un switch conectado en serie con la batería para activar y desactivar el nodo de campo según las pruebas que se realizaron.

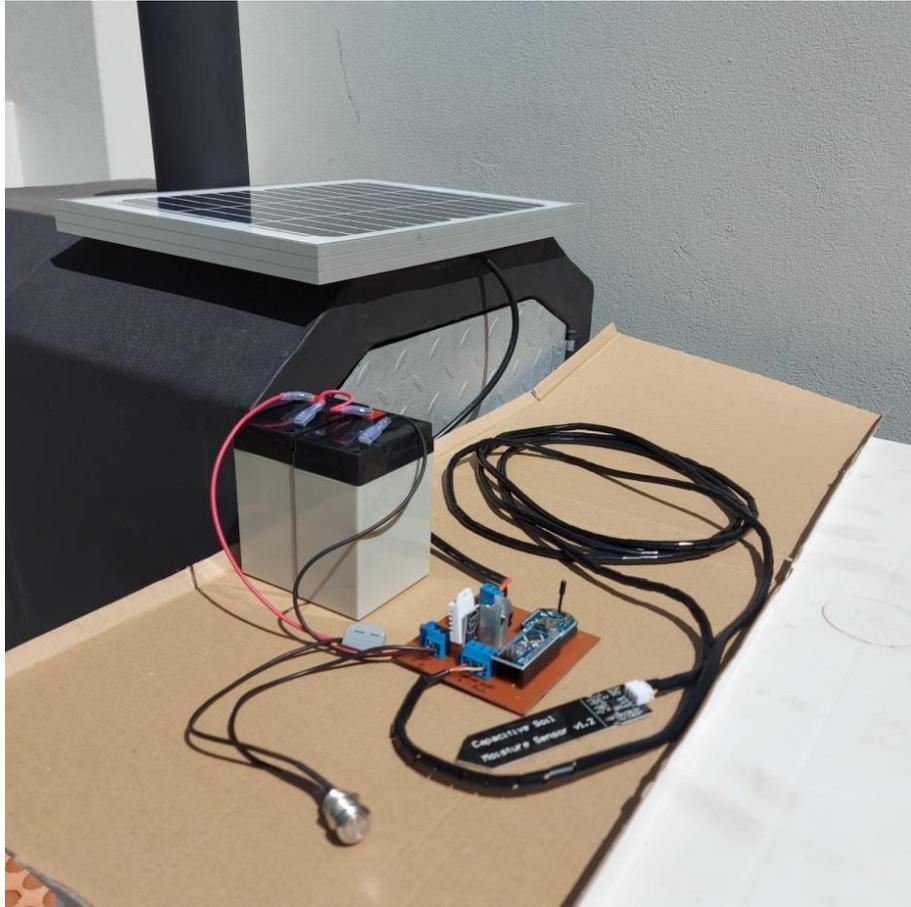


Figura 30: Nodo de campo implementado

Fuente: Elaboración propia

Esta secuencia se repite para implementar el segundo nodo de campo.

CAPÍTULO IV: PRUEBAS Y RESULTADOS DEL PROTOTIPO

4.1. Pruebas en laboratorio

La placa del nodo de campo es colocada en la caja del sistema sobre ambas baterías de 6V@4Ah, el sensor de humedad ingresa por la prensaestopa inferior y se conecta en su bornera triple correspondiente, el panel solar ingresa por la prensaestopa superior y se conecta a la bornera doble “PANEL” como se puede observar en la figura 31. Además, se conecta la batería y se procede a simular el sistema midiendo la humedad de suelo de una maceta y la temperatura del ambiente/humedad relativa del área de prueba de laboratorio.

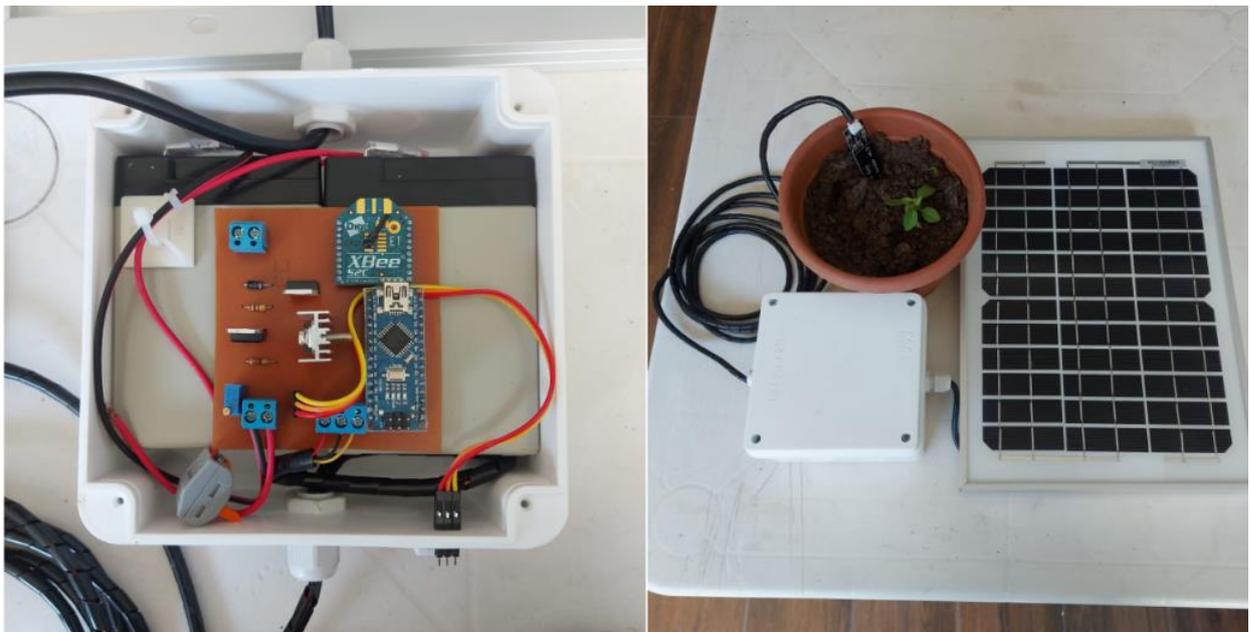


Figura 31: Módulo de nodo de campo sensando en maceta

Fuente: Elaboración propia

4.1.1. Resultados de la primera simulación

Para la simulación en laboratorio se realizó una modificación a la programación en el módulo Arduino mediante la cual los datos se enviaron con el comando `Serial.print`, en lugar de `Serial.write` para poder ser visualizados en el monitor serial del mismo software como se ve en la figura 32, donde se observa el valor de las variables y el estado del pin digital correspondiente a la

válvula activa (LED de válvula encendido) debido a que la humedad de la tierra de la maceta es muy baja y se requiere activar el riego.

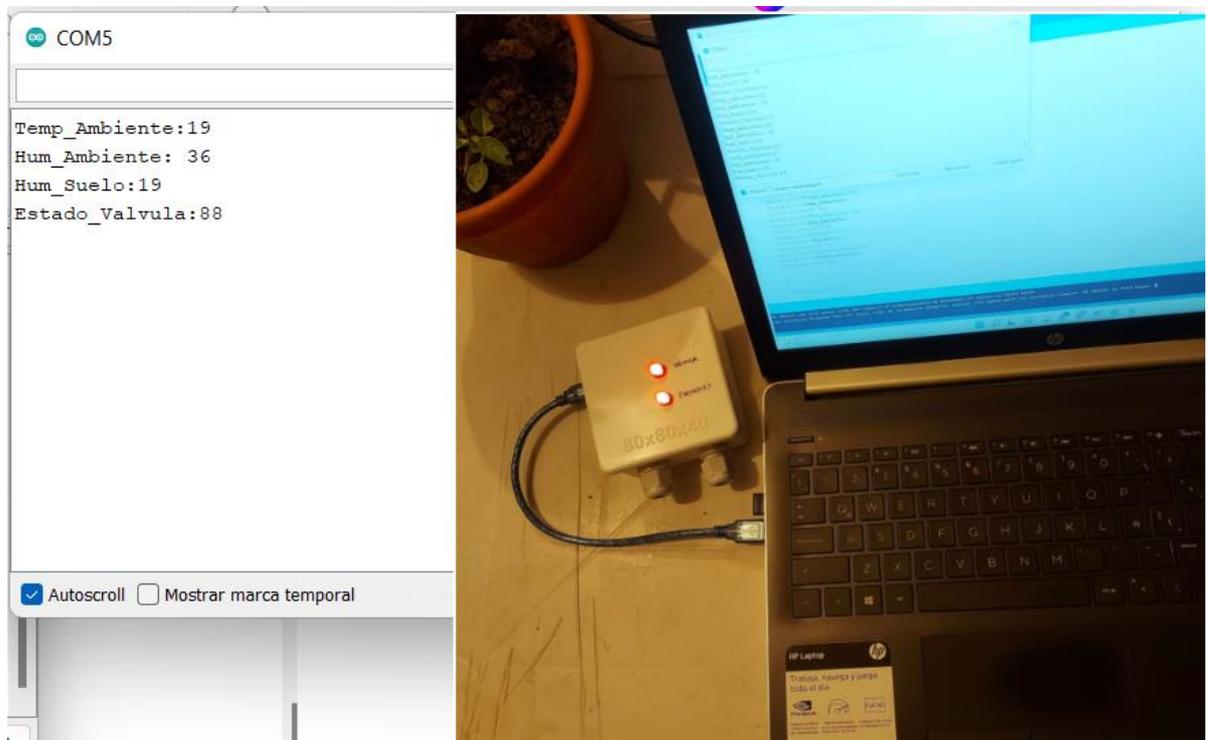


Figura 32: Lectura de sensores en Arduino

Fuente: Elaboración propia

Los resultados de esta primera simulación se muestran en la tabla n°2.

Tabla N°2

Resultados de primera simulación en laboratorio

| Variable | Valor |
|-------------------------------|-----------|
| Temperatura ambiente | 19 °C |
| Humedad relativa del ambiente | 36% |
| Humedad de suelo | 19% |
| Estado de válvula | Encendido |

Fuente: Elaboración propia

4.1.2. Resultados de la segunda simulación

En la segunda simulación se realizó el escenario donde la humedad de suelo alcanza un valor alto, es decir, que la tierra de la maceta se encuentra mojada para esta simulación, y se observa que el pin digital correspondiente a la válvula se desactiva (LED de válvula apagado) como se puede visualizar en la figura 33.

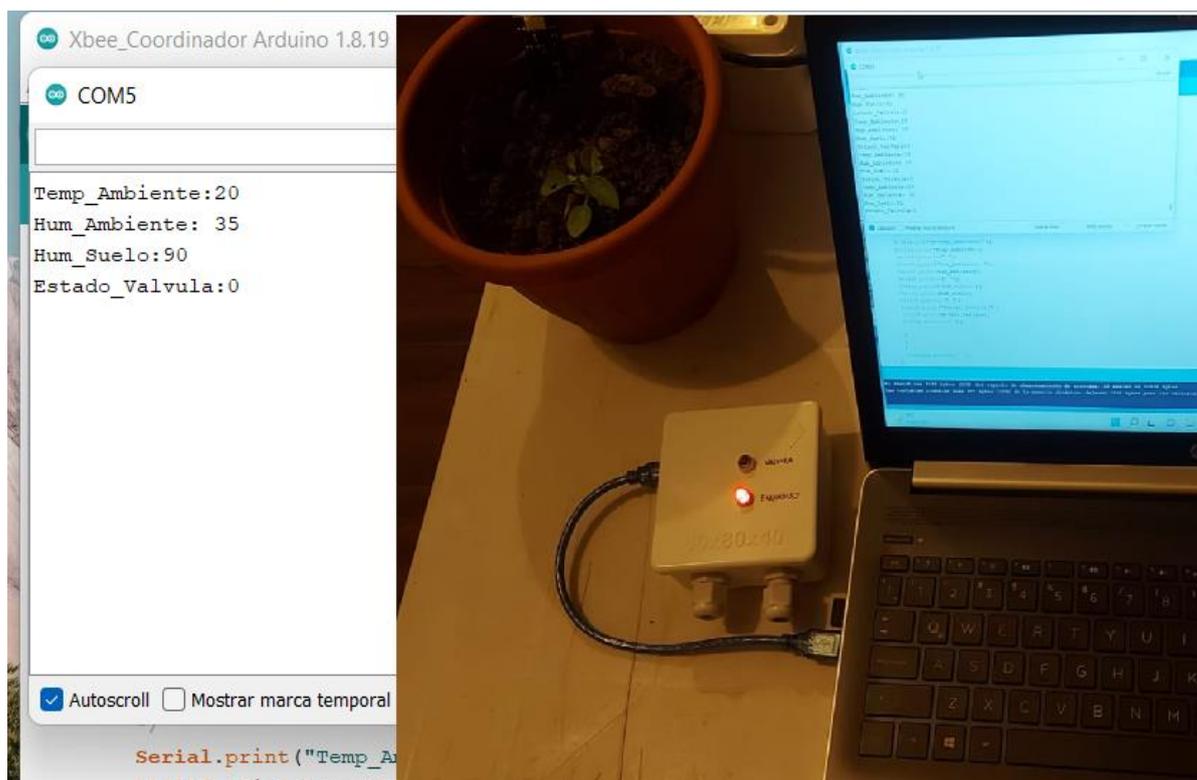


Figura 33: Lectura de sensores en Arduino

Fuente: Elaboración propia

Los resultados de esta segunda simulación se muestran en la tabla n°3:

Tabla N°3

Resultados de segunda simulación en laboratorio

| Variable | Valor |
|-------------------------------|-------|
| Temperatura ambiente | 20 °C |
| Humedad relativa del ambiente | 35% |

| | |
|-------------------|---------|
| Humedad de suelo | 90% |
| Estado de válvula | Apagado |

Fuente: Elaboración propia

4.2. Pruebas en campo

Los módulos de los nodos de campo se instalaron en el área del terreno de prueba como se visualiza en la figura 34, lo cual permitió monitorear las variables necesarias en este trabajo de tesis.



Figura 34: Paneles solares de los nodos de campo en terreno de prueba

Fuente: Elaboración propia

Asimismo, los sensores de humedad de suelo se colocaron dentro de la tierra, tal como se ve en la figura 35.



Figura 35: Sensor de humedad de suelo en terreno de prueba

Fuente: Elaboración propia

A continuación, se instaló el módulo del nodo coordinador conectando a la computadora y energizando con una fuente externa de 12VDC, por una de sus borneras. Además, se conectó la válvula de riego a la bornera adyacente (salida NO del Relay), tal como se ve en la figura 36; posteriormente, se procedió a realizar la prueba de campo.



Figura 36: Nodo coordinador con válvula de riego

Fuente: Elaboración propia

4.2.1. Resultados de la primera prueba

En la primera prueba de campo, el área del terreno se encuentra seco por lo que el sistema detecta que existe una muy baja humedad en el suelo, y por lo cual se habilitó la válvula de riego como se ve en la figura 37.



Figura 37: Válvula de riego activada

Fuente: Elaboración propia

En el sistema de monitoreo en LabVIEW, también se observa que la válvula se encuentra activa (indicador en verde), tal como se visualiza en la figura 38.

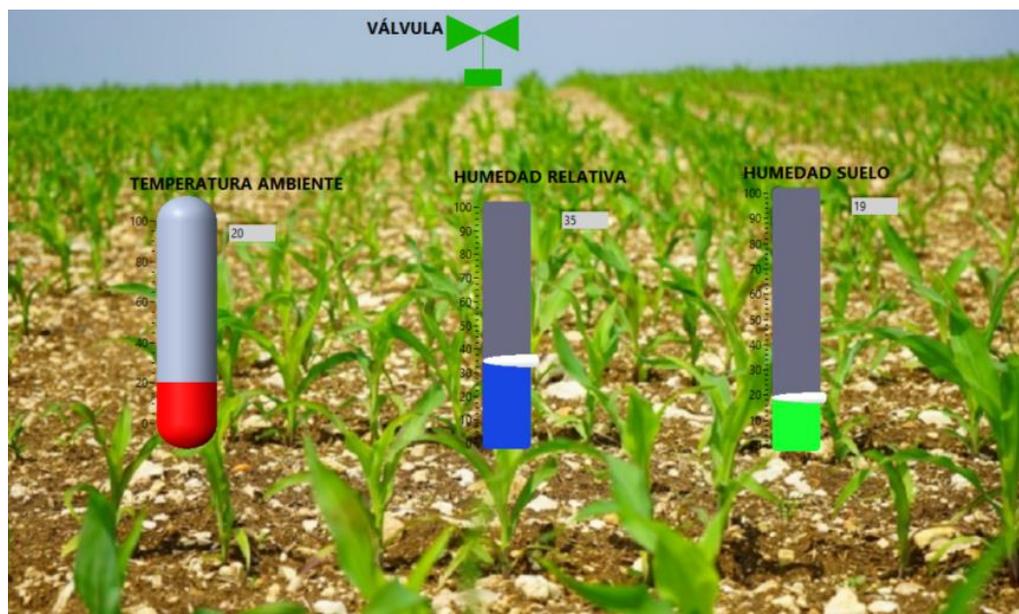


Figura 38: Lectura de sensores en LabVIEW

Fuente: Elaboración propia

Además en la tabla n°4, se comparten las mediciones realizadas por los sensores.

Tabla N°4

Resultados de primera prueba de campo

| Variable | Valor |
|-------------------------------|-----------|
| Temperatura ambiente | 20 °C |
| Humedad relativa del ambiente | 35% |
| Humedad de suelo | 19% |
| Estado de válvula | Encendido |

Fuente: Elaboración propia

4.2.2. Resultados de la segunda prueba

En la segunda prueba de campo, el área del terreno ya se encontraba húmeda, debido al riego realizado en la primera prueba; por lo cual, el sistema desactivó la válvula tal como se observa en la figura 39. Esto debido a que la humedad del suelo supera los valores programados.



Figura 39: Válvula de riego desactivada

Fuente: Elaboración propia

Asimismo, en el sistema de monitoreo en el LabVIEW también se observa que la válvula se encuentra desactivada (indicador en rojo), tal como se visualiza en la figura 40.

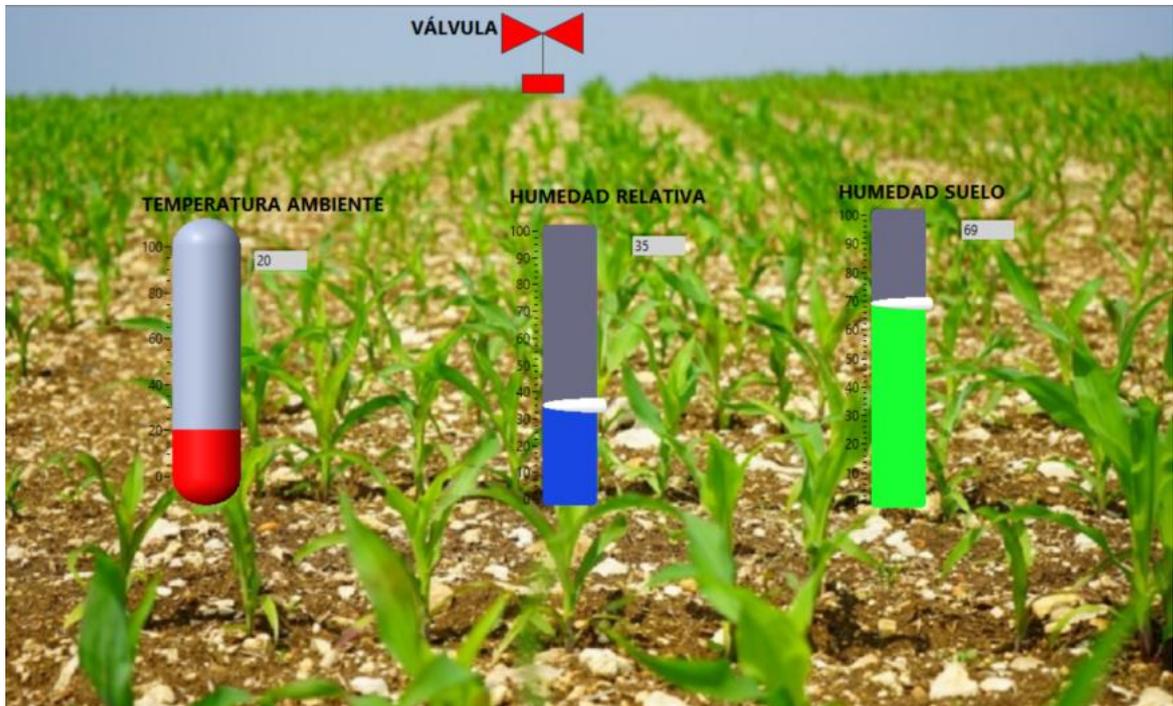


Figura 40: Lectura de sensores en LabVIEW con válvula apagada

Fuente: Elaboración propia

Además, se observan las mediciones de los sensores que se muestran en la tabla n°5.

Tabla N°5

Resultados de segunda prueba de campo

| Variable | Valor |
|-------------------------------|---------|
| Temperatura ambiente | 20 °C |
| Humedad relativa del ambiente | 35% |
| Humedad de suelo | 69% |
| Estado de válvula | Apagado |

Fuente: Elaboración propia

4.3. Presupuesto del prototipo

El presupuesto del prototipo se ha dividido en los costos del nodo central y de los nodos de campo, que a continuación se pueden visualizar en las tablas n°6 y n°7, respectivamente.

Tabla N°6

Costos del nodo central

| NODO CENTRAL | | |
|-----------------------------|-----------------|------------------|
| DESCRIPCIÓN | CANTIDAD | COSTO |
| Módulo Arduino UNO | 1 | S/ 79.00 |
| Módulo XBEE S2C | 1 | S/ 119.00 |
| Socket 2mm XBEE | 2 | S/ 5.00 |
| Electroválvula 12VDC | 1 | S/ 50.00 |
| Led | 2 | S/ 0.20 |
| Portaled | 2 | S/ 4.00 |
| Relay 5VDC | 1 | S/ 4.00 |
| Cables vulcanizado (3mts) | 1 | S/ 6.00 |
| Caja del nodo (8cmx8cmx4cm) | 1 | S/ 10.00 |
| Resistencias | 5 | S/ 1.00 |
| Espadines | 1 | S/ 2.00 |
| Baquelita | 1 | S/ 3.00 |
| Bornera 2 pines | 2 | S/ 3.00 |
| Prensaestopa | 2 | S/ 2.00 |
| Niples y espiga de manguera | 1 | S/ 20.00 |
| TOTAL | | S/ 308.20 |

Fuente: Elaboración propia

Tabla N°7

Costos por nodo de campo

| NODO DE CAMPO | | |
|--------------------------------|-----------------|------------------|
| DESCRIPCIÓN | CANTIDAD | COSTO |
| Módulo XBEE S2C | 1 | S/ 119.00 |
| Socket 2mm XBEE | 2 | S/ 5.00 |
| Modulo Arduino Nano | 1 | S/ 79.00 |
| Batería 6 4Ah | 2 | S/ 48.00 |
| Panel Solar 10W | 1 | S/ 58.00 |
| Bornera 3 pines | 1 | S/ 1.50 |
| Bornera 2 pines | 2 | S/ 3.00 |
| TIP122 | 2 | S/ 4.00 |
| Disipador TO220 | 1 | S/ 1.00 |
| Diodo 1n4004 | 1 | S/ 0.10 |
| Potenciómetro 5K | 1 | S/ 1.00 |
| Resistencias | 2 | S/ 0.40 |
| Baquelita | 1 | S/ 4.00 |
| 7805 | 1 | S/ 1.00 |
| Espadines | 1 | S/ 1.00 |
| Protector de cables de espiral | 1 | S/ 3.00 |
| Prensaestopa | 2 | S/ 2.00 |
| Cables | 1 | S/ 4.00 |
| Terminales de batería | 4 | S/ 1.00 |
| Precintos | 5 | S/ 1.00 |
| Caja del nodo (15cmx15cmx8cm) | 1 | S/ 10.00 |
| Sensor DHT22 | 1 | S/ 40.00 |
| Sensor de humedad | 1 | S/ 20.00 |
| Base Porta precinto | 1 | S/ 0.50 |
| TOTAL | | S/ 407.50 |

Fuente: Elaboración propia

CONCLUSIONES

1. La definición de variables a utilizar se basó en el factor llamado evapotranspiración (ET) que es la variable que define el momento en que se habilita el riego como se indica en la introducción del capítulo 3. Además, esto se basó en la revisión de diferentes investigaciones así como el trabajo de investigación de Ramírez Contreras (2020).
2. Se logró diseñar e implementar los nodos de campo con componentes de bajo consumo, los cuales adquirieron la información de los sensores de temperatura de ambiente, humedad relativa y humedad de suelo en tiempo real, transmitiéndose a través de módulos XBEE como se demostró en las pruebas de laboratorio en las secciones 4.1.1 y 4.1.2, así como también en las pruebas de campo en las secciones 4.2.1 y 4.2.2 . Para el diseño se utilizaron los diagramas de la sección 3.1.2.
3. El diseño e implementación de la interfaz de monitoreo en LabVIEW se realizó a través de los puertos seriales VISA, realizando una conversión de trama a un arreglo de bytes asignando un orden de byte a cada variable como se observa en la figura 22. En las secciones 4.2.1 y 4.2.2 se observa la interfaz de monitoreo en funcionamiento.
4. Se logró diseñar e implementar el nodo central o coordinador como se observa en la secciones 3.1.1 y 3.3.1, el cual mediante un módulo XBEE receptiona la señal transmitida desde el nodo de campo. Esta información la recibe un módulo Arduino UNO, procesa la información y determina el momento de accionar la válvula como se demostró en las pruebas de campo de las secciones 4.2.1 y 4.2.2.
5. Se realizó el dimensionamiento de los componentes del sistema fotovoltaico, teniendo en cuenta el consumo del nodo de campo y la irradiación mínima del departamento de Lima como se puede observar en los cálculos realizados en la sección 3.1.3, dando como resultados el requerimiento de una batería de 12Vdc@2.1Ah y un panel solar de 8.3W, al no ser comerciales estos valores se utilizó 2 baterías 6Vdc@4Ah en serie y un panel de solar de 10W. Por lo que el sistema fotovoltaico queda sobredimensionado para la capacidad del consumo del sistema.

RECOMENDACIONES

1. Para la producción a gran escala de este sistema se recomienda el uso de baterías con una capacidad cercana mayor a la calculada, con lo cual se hace el nodo más compacto y de menor costo.
2. También se recomienda sectorizar los nodos de campo por áreas y asignarle a cada sector una válvula de riego para optimizar costos, y así tener un mejor manejo del recurso hídrico.
3. Se recomienda que este tipo de sistema sólo sea empleado en sistemas de riego presurizados.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aakvaag, N., & Frey, J.-E. (2006). Redes de sensores inalámbricas. *Revista ABB*. Recuperado el 13 de Junio de 2022
- Abella, M. (2005). *Dimensionado de sistemas fotovoltaicos autónomos*. Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas, Departamento de Energías Renovables, Madrid. Recuperado el 18 de Junio de 2022
- Acero Catacora, C. C., & Lanchipa Valencia, E. (2021). *Implementación de un sistema de internet de las cosas para optimizar la gestión del agua en la agricultura de la región Tacna*. Universidad Privada de Tacna, Escuela de Ingeniería de Sistemas, Tacna. Recuperado el 27 de Setiembre de 2022
- ANA. (2013). *Gestión del conocimiento*. Recuperado el 22 de Julio de 2022, de ANA Portal: <https://www.ana.gob.pe/portal/gestion-del-conocimiento-girh/agua-y-poblacion-0>
- Aosong Electronics. (2013). *Digital-output relative humidity & temperature sensor/module DHT22*. Ficha técnica, Cantón. Recuperado el 22 de Junio de 2022
- Carvajal Ruiz, G. A. (2019). *Diseño e implementación de un sistema de control de riego para prototipo automatizado de cultivos aeropónicos de cilantro*. Tesis de grado, Universidad nacional abierta y a distancia – UNAD, Escuela de ciencias básicas, tecnologías e ingenierías, Ibagué. Recuperado el 28 de Setiembre de 2022
- Códigos ASCII. (2022). *Tabla de códigos ASCII*. Recuperado el 10 de Agosto de 2022, de <https://ascii.cl/es/>
- Corona Ramírez, L., Abarca Jiménez, G. S., & Mares Carreño, J. (2014). *Sensores y actuadores: Aplicaciones con Arduino* (Primera ed.). México D.F., México: Editorial Patria. Recuperado el 14 de Junio de 2022
- Demin, P. E. (2014). *Aportes para el mejoramiento del manejo de los sistemas de riego*. Informe técnico, Instituto Nacional de Ingeniería Agropecuaria, Catamarca. Recuperado el 20 de Junio de 2022

- Electronilab. (2022). *Electronilab*. Recuperado el 21 de Junio de 2022, de Sensores:
<https://electronilab.co/tienda/electrovalvula-valvula-selenoide-agua-12-vdc-3-4/>
- Emerson Automation Solutions. (2019). *Guía de válvulas de control* (Quinta ed.). Iowa, EEUU: Fisher. Recuperado el 18 de Junio de 2022
- Faci González, J. M., & Playán Jubillar, E. (1994). *Riego por superficie*. (P. y. Ministerio de Agricultura, Ed.) España. Recuperado el 28 de Junio de 2022
- Flores Ayala, D. A. (2020). *Desarrollo de una aplicación web para el monitoreo y control de riego de cultivos mediante el uso de una red de sensores inalámbricos*. Tesis de grado, Universidad Politécnica Estatal del Carchi, Facultad de Ciencias Agropecuarias y Ciencias Ambientales, Tulcán, Ecuador. Recuperado el 20 de Mayo de 2022
- Gammie, G., & De Bievre, B. (2014). *Evaluando intervenciones verdes para abastecer de agua a Lima, Perú*. Informe técnico, Lima. Recuperado el 22 de Junio de 2022
- Glaría, J., & Kouro, S. (2001). *Automatización Industrial: Sensores de Humedad*. Universidad Técnica Federico Santa María, Departamento de Electrónica, Valparaíso. Recuperado el 17 de Junio de 2022
- Julca Landacay, A., & Martell León, M. (2021). *Sistema de automatización con Arduino para el control de riego en los terrenos de cultivo del centro poblado de Santa Clara, distrito de Pítipo*. Tesis de grado, Universidad Privada Juan Mejía Baca, Chiclayo. Recuperado el 20 de Mayo de 2022
- Liu, T. (2013). *Digital Digital Digital Digital relative relative relative relative humidity humidity humidity & temperature emperature emperature emperature sensor AM2302/DHT22*. Ficha técnica. Recuperado el 22 de Junio de 2022
- Lladó Cobo, C. (2019). *La escasez de agua como amenaza global*. Tesis de grado, Universidad Autónoma de Barcelona, Facultad de Ciencias Políticas y Sociología, Barcelona. Recuperado el 20 de Junio de 2022
- Macías Ramírez, M. (2019). *Automatización de riego y fertilización mediante una red inalámbrica de sensores en la ESPAM MFL*. Escuela Superior Politécnica

Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López. Calceta: Calceta: ESPAM MFL.
Recuperado el 20 de Mayo de 2022

Mercado Garcia, J. C. (2020). *Sistema de riego autónomo de bajo costo para expansión de área agrícola en laderas de los valles del sur del Perú basado en IoT*. Tesis de grado, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica, Arequipa. Recuperado el 28 de Setiembre de 2022

Mora Magallanes, H., & Rosas Pari, J. (2019). *Diseño, desarrollo e implementación de una red de sensores inalámbricos (WSN) para el control, monitoreo y toma de decisiones aplicado en la agricultura de precisión basado en internet de las cosas (IoT) - Caso de estudio de cultivo de frijol*. Tesis de grado, Universidad Ricardo Palma, Facultad de Ingeniería, Lima, Perú. Recuperado el 20 de Mayo de 2022

NASA. (08 de Mayo de 2021). *Data Access*. Recuperado el 03 de Setiembre de 2022, de The Power Project: <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>

Pascual España, B., & Pascual Seva, N. (2010). *Riegos de gravedad y a presión*. Valencia, España: Editorial Universitat Politècnica de València. Recuperado el 28 de Junio de 2022, de <http://hdl.handle.net/10251/152215>

Ramírez Contreras, D. A. (2020). *Automatización de sistema de riego para granjas verticales modulares*. Tesis de grado, Universidad Autónoma de Occidente, Cali. Recuperado el 03 de Julio de 2022

Ruiz Canales, A., & Molina Martinez, J. (2010). *Automatización y telecontrol de riego* (Primera ed.). Barcelona, España: Marcombo Ediciones. Recuperado el 15 de Junio de 2022

Senamhi. (2003). *Atlas de energía solar en Perú*. Lima. Recuperado el 22 de Julio de 2022

Serrano Ramos, J. (2018). *Red inalámbrica de sensores para la optimización del riego de plantaciones agrónomas*. Tesis de grado, Universidad Politécnica de Madrid, Escuela Superior de Ingeniería y Diseño Industrial, Madrid, España. Recuperado el 20 de Mayo de 2022

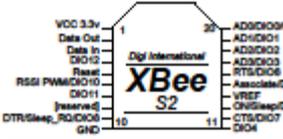
UNCTAD. (2013). *Informe sobre el comercio y el desarrollo, 2013*. Naciones Unidas, Nueva York y Ginebra. Recuperado el 15 de Julio de 2022

UNIT Electronics. (2022). *Unit Electronics*. Recuperado el 17 de Junio de 2022, de Sensores: <https://uelectronics.com/producto/sensor-de-humedad-del-suelo-higrometro/>

Zegarra Chávez, K. (2020). *Diseño de una red inalámbrica de sensado remoto con aplicación en un escenario de selva baja*. Tesis de grado, Pontificia Universidad Católica del Perú, Facultad de Ciencias e Ingeniería, Lima, Perú. Recuperado el 29 de Mayo de 2022

ANEXOS

Anexo 1: Guía de referencia XBEE S2



XBee S2
Pinout: 1-VCC 3.3V, 2-Data Out, 3-Data In, 4-RST, 5-RSSI, 6-PWM, 7-DIO, 8-DIO1, 9-Interrupt, 10-RDIOCB, 11-GND, 12-ADDIO0CB, 13-ADIO0, 14-ADIO1, 15-ADIO2, 16-RTSDIO8, 17-ANALOGIO0, 18-VREF, 19-CH1StepDIO8, 20-CTSIO7, 21-DIO4

XBee S2 Quick Reference Guide

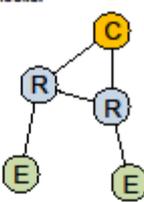
IEEE 802.15.4 - Zigbee Protocol. XBee is a microcontroller made by digi which uses the Zigbee protocol. The XBee uses 3.3V and has a smaller pin spacing than most breadboards/proto boards. Because of this, it is often useful to purchase a kit to interface the XBee with a breadboard.

Sept/2012 <http://tunnelsup.com>

| | | | |
|--------------|---|--|---|
| Specs | Operating Voltage: 2.1 – 3.6V Operating Current: 40mA@3.3V Indoor range: 40 Meters Line of sight range: 120 Meters Max Analog Pin Reading: 1.2V | Digital I/O pins: 11 Analog Input pins: 4 Mesh routable Self Healing network Firmware: ZB ZigBee | RF Data Rate: 250kbps Throughput speed: 35kbps Frequency: ISM 2.4GHz OK Temp: -40 to 85C |
|--------------|---|--|---|

XBee Roles

- Coordinator** – 1 required in every network. In charge of setting up the network. Can never sleep.
- Router** – multiple may exist. Can relay signals from other routers/EPs. Can never sleep.
- End Point** – multiple may exist. Cannot relay signals. Can sleep to save power.



| | | |
|-----------------------|---|---|
| XBee Modes | Transparent – Communication through the XBee. If data is not generated from the XBee itself then both XBees should be set to AT. Command – Communication to the XBee. If one XBee is sensing data, that XBee should be in AT mode while the receiving one should be in API mode. | Arduino Connectivity: Arduino TX connects to XBee RX (Data In) Arduino RX connects to XBee TX (Data out) |
| XBee Setup | Connect the XBee to a TTL Serial FTDI adapter – OR – Arduino hack: Connect RX to RX, TX to TX, RESET to ground to bypass the Arduino entirely and get serial to XBee. Use the free X-CTU software to configure the XBee. Baud: 9600 – FC: Hardware – Data Bits: 8 – Parity: None – Stop Bits: 1 | Arduino Integration: Data sent to Serial.print() will go out TX port of Arduino which is then connected to the RX port of XBee. If XBee is in AT mode it will transmit it wirelessly. Data received from XBee will be sent to the Serial. |
| Basic Settings | PAN ID – The network to communicate over. If 0, the XBee will join any. DH/DL – Destination Serial number. Used to send to a specific XBee's Serial. Set to 0 to send to just the Coordinator. Set to 0x0000000000FFFF to broadcast. JV – Router/EP should be set to 1 so it rejoins the network on startup | Arduino Example: Read an analog value using API // Remote XBee: AT, Base XBee: API if (Serial.available() >= 21) { // Make sure the frame is all there if (Serial.read() == 0x7E) { // 7E is the start byte for (int i = 1; i < 19; i++) { // Skip ahead to the analog data byte discardByte = Serial.read(); } int analogMSB = Serial.read(); // Read the first analog byte data int analogLSB = Serial.read(); // Read the second byte int analogReading = analogLSB + (analogMSB * 256); } } |
| Pin Settings | For pin settings to work, receiver XBee must be in API mode D0 – Set pin 0 to start sensing IR – Collect data on sensing pins every XX millisecs | Arduino Example: Change the pin setting on a remote Xbee // Remote XBee: AT, Base XBee: API Serial.write(0x7E); // Sync up the start byte Serial.write((byte)0x0); // Length MSB (always 0) Serial.write(0x10); // Length LSB Serial.write(0x17); // 0x17 is the frame ID for sending an AT command Serial.write((byte)0x0); // Frame ID (no reply needed) Serial.write((byte)00); // Send the 64 bit destination address Serial.write((byte)00); // (Sending 0x000000000000FFFF (broadcast)) Serial.write((byte)00); Serial.write((byte)00); Serial.write((byte)00); Serial.write(0xFF); Serial.write(0xFF); Serial.write(0xFF); // Destination Network Serial.write(0xFE); // (Set to 0xFFFF if unknown) Serial.write(0x02); // Set to 0x02 to apply these changes Serial.write('D'); // AT Command: D1 Serial.write('1'); Serial.write(0x05); // Set D1 to be 5 (Digital Out HIGH) long checksum = 0x17 + 0xFF + 0xFF + 0xFF + 0xFE + 0x02 + 'D' + '1' + 0x05; Serial.write(0xFF - (checksum & 0xFF)); // Checksum |

| Byte | Example | Description |
|------|----------|---|
| 0 | 0x7e | Start byte – Indicates beginning of data frame |
| 1 | 0x00 | Length – Number of bytes (ChecksumByte# – 1 – 2) |
| 2 | 0x10 | |
| 3 | 0x17 | Frame type - 0x17 means this is a AT command Request |
| 4 | 0x52 | Frame ID – Command sequence number |
| 5 | 0x00 | 64-bit Destination Address (Serial Number) |
| 6 | 0x13 | MSB is byte 5, LSB is byte 12 |
| 7 | 0xA2 | |
| 8 | 0x00 | 0x0000000000000000 – Coordinator |
| 9 | 0x40 | 0x000000000000FFFF – Broadcast |
| 10 | 0x77 | |
| 11 | 0x9C | |
| 12 | 0x49 | |
| 13 | 0xFF | Destination Network Address |
| 14 | 0xFE | (Set to 0xFFFE to send a broadcast) |
| 15 | 0x02 | Remote command options (set to 0x02 to apply changes) |
| 16 | 0x44 (D) | AT Command Name (Two ASCII characters) |
| 17 | 0x02 (2) | |
| 18 | 0xD4 | Command Parameter (queries if not present) |
| 19 | 0xFF | Checksum |

| Byte | Example | Description |
|------|---------|--|
| 0 | 0x7e | Start byte – Indicates beginning of data frame |
| 1 | 0x00 | Length – Number of bytes (ChecksumByte# – 1 – 2) |
| 2 | 0x14 | |
| 3 | 0x92 | Frame type - 0x92 indicates this will be a data sample |
| 4 | 0x00 | 64-bit Source Address (Serial Number) |
| 5 | 0x13 | MSB is byte 4, LSB is byte 11 |
| 6 | 0xA2 | |
| 7 | 0x00 | |
| 8 | 0x40 | |
| 9 | 0x77 | |
| 10 | 0x9C | |
| 11 | 0x49 | |
| 12 | 0x36 | Source Network Address – 16 Bit |
| 13 | 0x6A | |
| 14 | 0x01 | Receive Opts. 01=Packet Acknowledged. 02=Broadcast packet |
| 15 | 0x01 | Number of sample sets. Always set to 1 due to XBEE limitations |
| 16 | 0x00 | Digital Channel Mask – Indicates which pins are set to DIO |
| 17 | 0x20 | |
| 18 | 0x01 | Analog Channel Mask – Indicates which pins are set to ADC |
| 19 | 0x00 | Digital Sample Data (if any) – Reads the same as Digital Mask |
| 20 | 0x14 | |
| 21 | 0x04 | Analog Sample data (if any) |
| 22 | 0x25 | There will be two bytes here for every pin set for ADC |
| 23 | 0xF5 | Checksum(0xFF - the 8 bit sum of the bytes from byte 3 to this byte) |

| | | | |
|-------------------|---|------------------------|---|
| Sleep Mode | Endpoints can sleep to save power. An endpoint that only wakes up every 5 minutes to send data may only be awake for 5 seconds a day. SM – 4 = Cyclic sleep SP – Sleep time (up to 28 secs) SN – Number of sleep cycles ST – Time awake | Pin I/O Options | 0 – Disabled 1 – N/A 2 – ADC 3 – Digital IN 4 – Digital OUT, LOW 5 – Digital OUT, HIGH |
|-------------------|---|------------------------|---|

| | | | |
|------------------------|--|-----------------------|--|
| Digital Ch Mask | First Byte n/a n/a n/a D12 D11 D10 n/a n/a Second Byte D7 D6 D5 D4 D3 D2 D1 D0 Example: 0x00 0x13 = 0000 0000 0000 1101 Pins D3, D2 and D0 | Analog Ch Mask | (volt) n/a n/a n/a A3 A2 A1 A0 Example: 0x05 = 0000 0101 = Pin A2 and A0 |
|------------------------|--|-----------------------|--|

Anexo 2: Hoja técnica relay HRS2

HRS2(H) Relay - kinds of single relays , power relays , automotive relays , telecom relays , pc-board relays , plug-in relays , P... Page 1 of 5

HRS2(H) Relay

1.COIL DATA

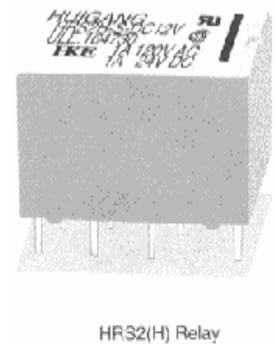
| | |
|-------------------------------|------------------|
| 1-1.Nominal Voltage | 3 VDC to 24 VDC |
| 1-2.Coil Resistance | Refer to Table 1 |
| 1-3.Operate Voltage | Refer to Table 1 |
| 1-4.Release Voltage | Refer to Table 1 |
| 1-5.Nominal Power Consumption | 150 to 360 mW |

2.CONTACT DATA

| | |
|------------------------------------|---|
| 2-1.Contact Arrangement | 2 Form C |
| 2-2.Contact Material | AuAg |
| 2-3.Contact Rating | 1A 24 VDC / 120VAC |
| 2-4.Max. Switching Voltage | 60 VDC / 120 VAC |
| 2-5.Max. Switching Current | 2A |
| 2-6.Max. Switching Power | 60 VA , 24W |
| 2-7.Contact Resistance (Initial) | 100 m Ω , at 6 VDC 1A |
| 2-8.Life Expectancy | Electrical 100,000 operations at nominal load Mechanical 10,000,000 operations |

3.GENERAL DATA

| | |
|---------------------------|--|
| 3-1.Insulation Resistance | Min. 100M Ω , at 500 VDC |
| 3-2.Dielectric Strength | 1,000VAC , 1min between open contact 1,500VAC , 1min between contact and coil |
| 3-3.Surge Strength | 2,000 VAC (20 μ s) |
| 3-4.Operate Time | Max. 6ms |
| 3-5.Release Time | Max. 4ms |
| 3-6.Temperature Range | -30 to +80 μ e |
| 3-7.Shock Resistance | 15G |
| 3-8.Vibration Resistance | 10 - 55 Hz , Amplitude 1.5mm |
| 3-9.Weight | 5 gr. |
| | UL NO. E164730 |



[http://www.hkrelays.com/HRS2\(H\).html](http://www.hkrelays.com/HRS2(H).html)

18/11/04

Anexo 3: Hoja técnica batería

BATERIA SELLADA 6V-4AH REF. FL640GS



Especificaciones



Aplicaciones

- De uso múltiple.
- Fuente de alimentación. Ininterrumpida (UPS).
- Sistema de potencia Eléctrica (EPS).
- Alimentación de reserva de emergencia.
- Luz de emergencia.
- Señal ferroviaria.
- Señal de aeronaves.
- Alarma y sistema de seguridad.
- Aparatos y equipos electrónicos.
- Fuente de alimentación comunicación.
- Fuente de alimentación DC.
- Sistema de control automático.

| | |
|---------------------------------------|--|
| Voltaje Nominal | 6V |
| Capacidad Nominal (20 Hr) | 4.0Ah |
| Dimensiones | Longitud 70±1mm (2.76 ") Ancho 47±1mm (1.85 ") Altura 101±2mm (3.98 ") Altura Total 105±2mm (4.13 ") |
| Peso Aproximado | Aprox. 0.71 kg (1.57lbs) |
| Terminal | T1/T2-F1/F2 |
| Material del Envase | ABS UL 94-HB (retardante de llama UL94V-0) |
| Rango de Operación | 4.00 AH/0.200A (20hr, 1.80V/Celda,25° C/77°F) 3.80 AH/0.380A (10hr, 1.80V/Celda,25° C/77°F) 3.40 AH/0.680A (5hr, 1.75V/Celda,25° C/77°F) 2.130 AH/4.00A (1C, 1.60V/Celda,25° C/77°F) 1.400 AH/12.0A (3C, 1.60V/Celda,25° C/77°F) |
| Máxima Corriente de Descarga | 135A(5s) |
| Resistencia Interna | Aprox. 20mΩ |
| Rango de Temperatura de Operación | Descarga -15-50°C (5-122°F) Carga -15-40°C (5-104°F) Almacenamiento -15-40°C (5-104°F) |
| Rango Nominal de Temp. de Operación | 25±3°C (77±5°F) |
| Ciclo de Uso | Corriente de carga inicial de menos de 1.2A.Voltage. 7.2V ~ 7.5V a 25° C (77° F) de temperatura. Coeficiente -15mV/°C |
| Modo Espera | No hay limite en la carga inicial de tensión actual. 6.75V ~ 6.9V a 25°C (77° F) Temp. Coeficiente -10mV /°0C |
| Capacidad Afectada por la temperatura | 40°C (104°F) 103% 25°C (77°F) 100% 0°C (32°F) 86% |
| Auto- descarga | Las Baterías de la serie Fullbattery GS se pueden almacenar durante un máximo de 6 meses a 25°C (77°F) y luego se requiere una carga de reposición.Para temperaturas más altas del intervalo de tiempo será más corto. |

Corriente Constante de Descarga (Amperios) a 25 °C (77 °F)

| W/Tiempo | 5min | 10min | 15min | 20min | 30min | 45min | 1h | 2h | 3h | 4h | 5h | 6h | 8h | 10h | 20h |
|------------|------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1.85WCelda | 7.68 | 5.35 | 4.42 | 3.83 | 3.07 | 2.36 | 1.93 | 1.18 | 0.899 | 0.739 | 0.635 | 0.543 | 0.432 | 0.359 | 0.198 |
| 1.80WCelda | 9.44 | 6.39 | 5.12 | 4.33 | 3.40 | 2.58 | 2.08 | 1.25 | 0.945 | 0.777 | 0.662 | 0.567 | 0.448 | 0.380 | 0.200 |
| 1.75WCelda | 11.2 | 7.22 | 5.65 | 4.72 | 3.63 | 2.74 | 2.19 | 1.31 | 0.979 | 0.801 | 0.680 | 0.581 | 0.460 | 0.387 | 0.202 |
| 1.70WCelda | 12.7 | 7.97 | 6.11 | 5.06 | 3.82 | 2.84 | 2.28 | 1.36 | 1.01 | 0.821 | 0.697 | 0.595 | 0.467 | 0.394 | 0.206 |
| 1.65WCelda | 14.0 | 8.57 | 6.46 | 5.32 | 3.98 | 2.95 | 2.38 | 1.40 | 1.04 | 0.838 | 0.712 | 0.607 | 0.475 | 0.399 | 0.208 |
| 1.60WCelda | 14.7 | 8.93 | 6.74 | 5.48 | 4.09 | 3.02 | 2.43 | 1.45 | 1.06 | 0.859 | 0.726 | 0.619 | 0.485 | 0.406 | 0.210 |

Potencia Constante de Descarga (Wattios/celda) a 25 °C (77°F)

| W/Tiempo | 5min | 10min | 15min | 20min | 30min | 45min | 1h | 2h | 3h | 4h | 5h | 6h | 8h | 10h | 20h |
|------------|------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|
| 1.85WCelda | 14.5 | 10.2 | 8.49 | 7.42 | 5.99 | 4.63 | 3.81 | 2.34 | 1.79 | 1.47 | 1.26 | 1.09 | 0.869 | 0.724 | 0.400 |
| 1.80WCelda | 17.6 | 12.0 | 9.76 | 8.33 | 6.59 | 5.02 | 4.07 | 2.47 | 1.87 | 1.54 | 1.30 | 1.13 | 0.896 | 0.745 | 0.402 |
| 1.75WCelda | 20.6 | 13.5 | 10.7 | 9.00 | 6.99 | 5.30 | 4.26 | 2.56 | 1.92 | 1.58 | 1.33 | 1.15 | 0.914 | 0.755 | 0.403 |
| 1.70WCelda | 23.1 | 14.7 | 11.4 | 9.59 | 7.29 | 5.47 | 4.42 | 2.65 | 1.97 | 1.61 | 1.35 | 1.17 | 0.922 | 0.763 | 0.408 |
| 1.65WCelda | 25.1 | 15.6 | 12.0 | 9.96 | 7.53 | 5.65 | 4.57 | 2.73 | 2.01 | 1.63 | 1.38 | 1.19 | 0.933 | 0.770 | 0.412 |
| 1.60WCelda | 26.0 | 16.1 | 12.3 | 10.2 | 7.67 | 5.72 | 4.64 | 2.78 | 2.05 | 1.66 | 1.40 | 1.21 | 0.947 | 0.779 | 0.412 |

www.fullbattery.co

Anexo 4: Especificaciones técnicas panel solar

<http://www.wholesalesolar.com/solar-panels.html>

Specification for 10W Monocrystalline PV Module

1. Technical Data

Table 1: Main Technical and Configuration Data

| | | |
|-------------------------------|----------|---------------------------------------|
| Peak Power(W) | | 10 |
| Open Circuit Voltage (V) | | 21.60 V |
| Short Circuit Current (A) | | 0.59 A |
| Max. Power Voltage (V) | | 18.00 V |
| Max. Power Current (A) | | 0.51 A |
| Max. Rated System Voltage (V) | | 1000 V |
| Working Temperature | | -20℃—60℃ |
| Dimension | | 415x 268×22mm 16.34 x 10.55 x .87 in. |
| Installations Hole | D1 (mm) | ----- |
| | D2 (mm) | ----- |
| | D3 (mm) | ----- |
| | Diameter | ----- |
| Net Weight (kg) | | 1.5 kg 3.3 lbs. |

2. Product Drawing:

