

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



**PONTIFICIA
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DEL PERÚ**

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE MONITOREO INALÁMBRICO Y CONTROL DE
RIEGO AUTOMÁTICO APLICADO PARA EL PIÑÓN BLANCO EN LA
ESTACIÓN EXPERIMENTAL "EL PORVENIR" EN TARAPOTO**

Tesis para optar el Título de Ingeniero Electrónico,
que presenta el bachiller:

Carol Gypsy Cocha Guerra

ASESOR: Ing. Alejandro Carlos Alcócer García

Lima, Diciembre de 2013

RESUMEN

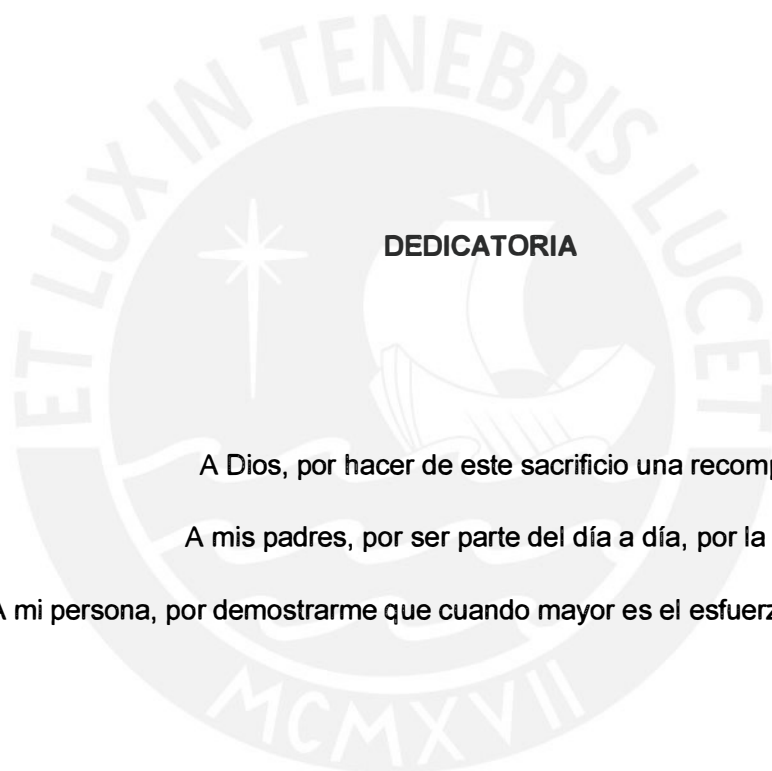
El presente proyecto de tesis consiste en elaborar el diseño de un sistema de monitoreo inalámbrico que suministrará información al agricultor en lo que se refiere a las condiciones en las que se encuentra el piñón blanco en Tarapoto. Esta información permitirá identificar las variables climáticas y de suelo en un servidor y, a su vez, permitirá que se active un sistema de control de riego para mantener la temperatura y humedad de la plantación en los niveles adecuados; con el fin de mejorar la productividad y el rendimiento de la parcela a través de un sistema fiable y autónomo.

El primer capítulo está centrado en realizar un estudio de las actividades que se realizan durante la siembra y cosecha de dicha planta. Este análisis también provee las condiciones óptimas que necesita el piñón blanco para crecer y desarrollarse a fin de entregar semillas de muy buena calidad para el procesamiento y extracción del aceite biodiesel, el cual se extrae del corazón del fruto de esta planta. Además de ello, también se aborda la agricultura y su problemática a nivel nacional.

El segundo capítulo busca informar al lector que, para realizar un diseño como este, deberá conocer los criterios básicos a tener en cuenta para luego hacer una comparativa entre los estándares de comunicación en una red, tales como Wifi, Bluetooth y Zigbee. Como resultado de ello, se procederá a elegir la más adecuada para esta aplicación. Asimismo, se presenta un cuadro de proveedores que tienen mayor demanda en el mercado, cada uno con sus propias características y ventajas. El monitoreo se realiza a través de un programa, el cual también servirá para el control de riego según parámetros indicados por el agricultor.

El tercer capítulo presenta la elaboración del diseño propuesto para la toma de datos y posterior control de riego. Para ello, se indican las medidas del terreno agrícola, los rangos de temperatura y humedad en los que debe mantenerse el piñón y la configuración de los equipos para una correcta comunicación y eficiencia energética.

El cuarto capítulo, por su parte, consiste en comprobar el correcto funcionamiento del diseño en lo que respecta a la comunicación y el control. También se presenta una tabla de costos que muestra la inversión que requiere una aplicación como la presentada en esta tesis.



DEDICATORIA

A Dios, por hacer de este sacrificio una recompensa indescriptible.

A mis padres, por ser parte del día a día, por la constancia y fuerza.

A mi persona, por demostrarme que cuando mayor es el esfuerzo, el resultado lo es también.



AGRADECIMIENTOS

A mis padres, en primer lugar, por el apoyo y la fe puesta en mí, desde el momento en que emprendí este largo camino hacia un futuro profesional, símbolo de esfuerzo y dedicación pero también de goce y alegrías.

A mis amigos, algunos de los cuales, entraron a mi vida en el transcurso de esta tesis y otros que, de alguna u otra forma, estuvieron presente con lo necesario para culminar este proyecto.

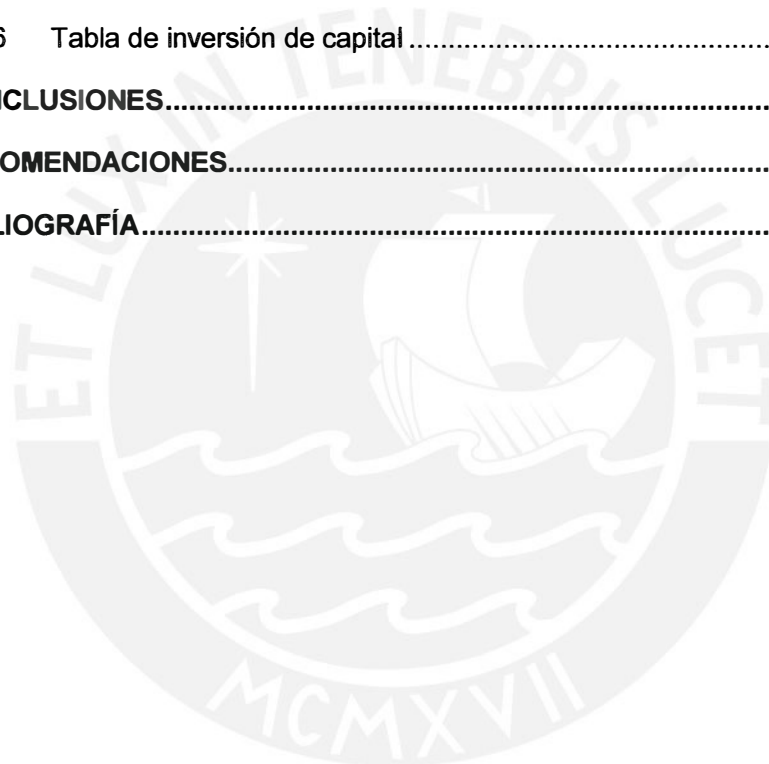
¡Gracias a todos ustedes!

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE FIGURAS	ix
ÍNDICE DE TABLAS	xii
ÍNDICE DE ANEXOS	xiii
INTRODUCCIÓN	1
<u>CAPÍTULO 1</u>	2
<u>DESCRIPCIÓN DEL PIÑÓN BLANCO Y MARCO PROBLEMÁTICO</u>	2
1.1 Características y Aplicaciones del Piñón Blanco.....	2
1.2 Técnicas agrícolas en los cultivos de Piñón Blanco en la región San Martín ...	3
1.3 Memoria Descriptiva de la parcela de Piñón Blanco	5
1.4 Síntesis del Asunto de Estudio	6
<u>CAPITULO 2</u>	7
<u>ESTADO DEL ARTE DE WSN Y CONTROL DE VÁLVULAS</u>	7
2.1 Redes de Sensores Inalámbricas (WSN).....	7
2.1.1 Concepto y Características	7
2.1.2 Criterios de Diseño.....	9
2.1.2.1 Energía.....	9
2.1.2.2 Tolerancia a fallos.....	9
2.1.2.3 Escalabilidad.....	10
2.1.2.4 Topología de la red.....	10
2.1.2.5 Autogestión.....	10
2.1.2.6 Sincronismo.....	10
2.1.2.7 Seguridad.....	11
2.1.3 Arquitectura de la Red WSN	11
2.1.4 Hardware del Nodo	11
2.1.4.1 Sensores.....	12
2.1.4.2 Radio.....	12
2.1.4.3 Microcontrolador.....	12
2.1.4.4 Baterías.....	13
2.1.2.5 Memoria.....	13

2.1.5	Mercado Actual	13
2.1.6	Modos de Operación del nodo	15
2.2	Sistema de control.....	15
2.2.1	Actuadores: Electroválvula.....	15
2.2.2	Software de Control: Labview.....	16
CAPÍTULO 3	17
<u>DISEÑO DE LA RED INALÁMBRICA Y CONTROL DE RIEGO AUTOMATIZADO</u>	...	17
3.1	Visión General del Terreno.....	18
3.2	Elementos del Sistema de Monitoreo y Control	20
3.3	Arquitectura de la Red Propuesta.....	20
3.4	Etapas del Diseño de Red Propuesta	22
3.4.1	Primer Etapa: Nodo Router/sensor y Monitoreo de Red.....	23
3.4.1.1	Misión y Características.....	23
3.4.1.2	Diseño de Hardware del Nodo Router/sensor.....	24
3.4.1.3	Configuración del Módulo Xbee S2.....	25
3.4.1.4	Forma de Captura de Datos de los Sensores	27
3.4.1.5	Diagrama de flujo	28
3.4.2	Segunda Etapa: Nodo Coordinador y Jefe de Red.....	29
3.4.2.1	Misión y Características.....	29
3.4.2.2	Diseño de Hardware de Nodo Coordinador.....	29
3.4.2.3	Configuración del Módulo Xbee S2.....	30
3.4.2.4	Código en Seeeduino	32
3.4.2.5	Diagramas de flujo	34
3.4.3	Tercera Etapa: Nodo Router/actuador y Puesta en Marcha de Riego.....	37
3.4.3.1	Misión y Características.....	37
3.4.3.2	Diseño de Hardware de Nodo Router/actuador.....	37
3.4.3.3	Configuración del Módulo Xbee S2.....	38
3.4.3.4	Diagrama de Flujo.	40
3.5	Sistema de Control	41
3.5.1	Programa en Labview	41
3.5.2	Diagrama de Flujo.....	42

CAPÍTULO 4	44
SIMULACIONES, PRUEBAS Y ANÁLISIS DE COSTOS	44
4.1 Comunicación entre Módulos Xbee	44
4.2 Lectura de Temperatura Ambiental a través del nodo Router/sensor	45
4.3 Lectura de Humedad de Suelo a través del nodo Router/sensor	46
4.5 Simulación de Control en Labview.....	49
4.6 Tabla de inversión de capital	51
CONCLUSIONES	53
RECOMENDACIONES	54
BIBLIOGRAFÍA	55



ÍNDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO 1

Fig. 1.1 Proceso para extracción de aceite de piñón	3
--	---

CAPÍTULO 2

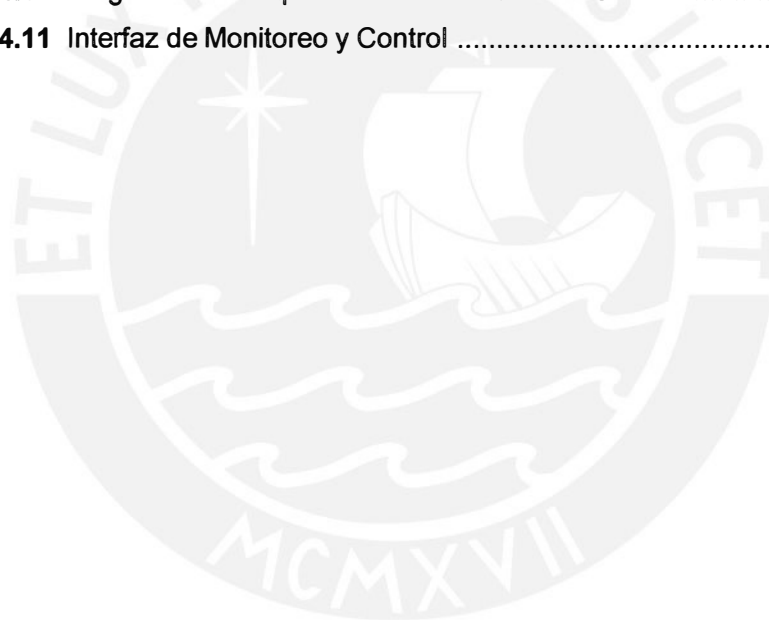
Fig. 2.1 Arquitectura de una red de sensores inalámbrica	11
Fig. 2.2 Elementos de un nodo sensor	12
Fig. 2.3 Corte Transversal de una Electroválvula de 2 vías	16

CAPÍTULO 3

Fig. 3.1 Distribución del terreno (dimensiones y densidad)	19
Fig. 3.2 Distribución de nodo Coordinador y nodos Routers	21
Fig. 3.3 Etapas de diseño de red en terreno agrícola	23
Fig. 3.4 Elementos que conforman al nodo Router/sensor	24
Fig. 3.5 Parámetros configurados en nodo Router/sensor	26
Fig. 3.6 Diagrama de flujo principal de nodo Router/sensor	28
Fig. 3.7 Conexión entre módulo Xbee S2, Seedeuino y computador	30
Fig. 3.8 Conexión del UartSbee al computador para configuración	31
Fig. 3.9 Parámetros configurados en nodo Coordinador	32
Fig. 3.10 Código fuente en software IDE Arduino	33
Fig. 3.11 Diagrama de flujo principal de nodo Coordinador	34
Fig. 3.12 Diagrama de flujo principal de sensor LM35	35
Fig. 3.13 Diagrama de flujo principal de sensor SEN92355P	36
Fig. 3.14 Elementos que conforman el nodo Router/actuador	37
Fig. 3.15 Circuito entre Xbee S2 y electroválvula	38
Fig. 3.16 Parámetros configurados en nodo Router/actuador	39
Fig. 3.17 Diagrama de flujo principal de nodo Router/actuador	40
Fig. 3.18 Interfaz de indicadores y control del diseño en Labview	41
Fig. 3.19 Diagrama de Bloques de Control de Sistema	42
Fig. 3.20 Proceso de control en Labview	43

CAPÍTULO 4

Fig. 4.1 Comunicación entre módulos Xbee S2	44
Fig. 4.2 Características de módulos Xbee S2 conectados	45
Fig. 4.3 Transmisión Inalámbrica de Temperatura en el exterior	45
Fig. 4.4 Lectura de Temperatura Ambiental en Monitor Serial	46
Fig. 4.5 Tipos de tierra y sus mediciones	47
Fig. 4.6 Transmisión Inalámbrica de Humedad en Suelo Húmedo	47
Fig. 4.7 Lectura de Humedad de suelo en Monitor Serial	48
Fig. 4.8 Lectura de Humedad de Suelo en Monitor Serial	48
Fig. 4.9 Monitor Serial que muestra señal que sale del nodo Coordinador	49
Fig. 4.10 Diagrama de Bloques de la Simulación de Control	50
Fig. 4.11 Interfaz de Monitoreo y Control	50



ÍNDICE DE TABLAS

CAPÍTULO 1

Tabla 1.1 Características de la Parcela	5
--	---

CAPÍTULO 2

Tabla 2.1 Comparación entre redes tradicionales y redes WSN	8
--	---

Tabla 2.2 Comparativa entre proveedores de motas para redes WSN	14
--	----

CAPÍTULO 3

Tabla 3.1 Rangos óptimos de las variables físicas	19
--	----

Tabla 3.2 Parámetros de configuración en nodo Router/sensor	27
--	----

Tabla 3.3 Parámetros de configuración en nodo Coordinador	31
--	----

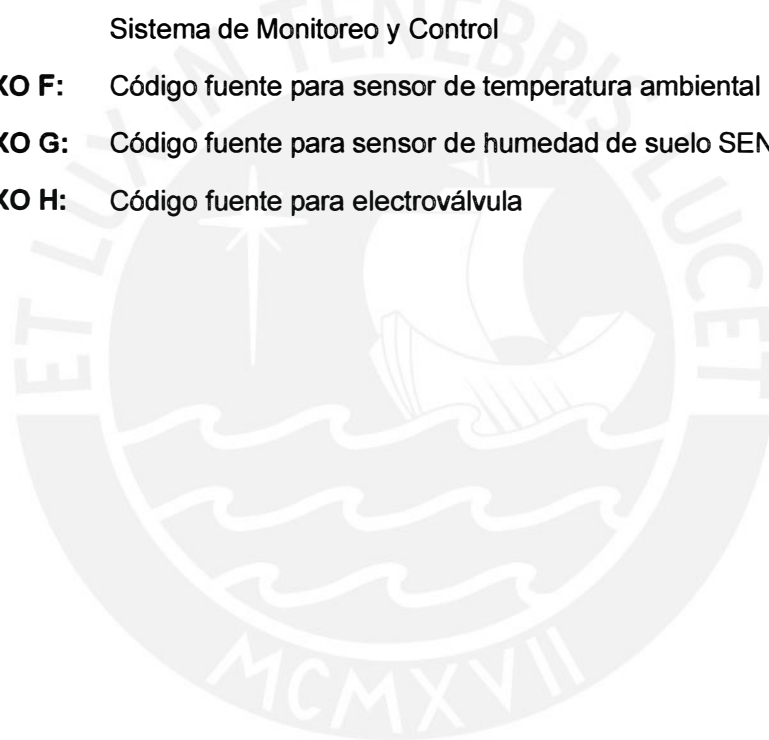
Tabla 3.4 Parámetros de configuración en nodo Router/actuador	39
--	----

CAPÍTULO 4

Tabla 4.1 Costos del proyecto	52
--	----

ÍNDICE DE ANEXOS

- ANEXO A:** Marco Problemático en la Agricultura del Perú
- ANEXO B:** Aplicaciones de las Redes WSN
- ANEXO C:** Estándar IEEE 802.15.4 y Zigbee
- ANEXO D:** Estado del nodo en una Red WSN
- ANEXO E:** Características Generales de los Elementos que conforman el diseño del Sistema de Monitoreo y Control
- ANEXO F:** Código fuente para sensor de temperatura ambiental LM35
- ANEXO G:** Código fuente para sensor de humedad de suelo SEN92355P
- ANEXO H:** Código fuente para electroválvula



INTRODUCCIÓN

La agricultura representa una actividad primordial en la selva de nuestro país, ya que está orientada al cultivo de productos alimenticios e industriales. Sin embargo, su producción está sujeta a deficiencias que impiden un óptimo desarrollo, tales como: las malas prácticas agrarias, el limitado acceso a tecnologías de información, el uso inadecuado de los recursos naturales, la escasez de agua para riego, falta de infraestructura física, entre otros.

En la región San Martín, el Piñón Blanco, cultivo industrial de mayor demanda en la producción de biocombustible, precisa de un adecuado monitoreo para garantizar las condiciones favorables durante la cosecha, preservando la buena calidad del fruto. En la actualidad, se emplean técnicas precarias, las cuales se ven supeditadas por las condiciones climáticas de la zona.

Es esta motivación, la que me lleva a tener en mente, que el presente proyecto de tesis tenga como objetivo diseñar un sistema de monitoreo inalámbrico que suministrará información en tiempo real de las condiciones de la parcela. Esta información permitirá identificar las variables climáticas y de suelo en un servidor y a su vez permitirá que se active un sistema de control de riego para mantener la temperatura y humedad de la plantación en los niveles adecuados; con el fin de mejorar la productividad y el rendimiento de la parcela a través de un sistema fiable y autónomo.

El diseño del sistema propuesto involucra la descripción del proceso de toma de datos a través de sensores distribuidos estratégicamente en la parcela, la identificación de las variables a controlar para el riego, el software que permitirá visualizar los datos sensados y la simulación del mismo; con el fin de mostrar la mejora del diseño propuesto respecto al sistema actual.

CAPÍTULO 1

DESCRIPCIÓN DEL PIÑÓN BLANCO Y MARCO PROBLEMÁTICO

1.1 Características y Aplicaciones del Piñón Blanco

El piñón blanco, conocido también por su nombre científico como "jatropha curcas", es un arbusto que puede llegar a medir hasta 6 metros de altura; sin embargo, para facilidad de los agricultores a la hora de la cosecha, se procura que su altura no sobrepase los 2 metros. Algunos estudios indican que su origen se encuentra en México y América Central. Sin embargo, hoy en día lo encontramos en Sudamérica, Sureste de Asia, India y África. En especial, aquellos países que tienen un clima tropical y un suelo bastante drenado o en pendientes.

Esta planta agroenergética crece dentro de un rango de altitud que va entre 0 y 1200 metros sobre el nivel del mar, no obstante, se desarrolla mejor cuando crece en la primera mitad de este rango. Sus necesidades de riego son reducidas, por ello, su requerimiento de agua y precipitaciones se encuentra entre 800 y 1200 mm anuales. Soporta altas temperaturas y largos períodos de sequía, lo cual hace que esta planta sea resistente y pueda desarrollarse en todo tipo de suelos incluyendo los pobres y erosionados por la extracción minera, por citar un ejemplo. Sin embargo, se recomienda que para una producción de buena calidad se utilicen suelos con acidez superior a 5.2 e inferior a 7, en términos de PH. Una observación importante que debemos destacar sobre esta planta, es su intolerancia a las sombras e inundaciones; entonces, para promover su óptimo desarrollo necesita un suelo bien drenado. Por ello, solo soportaría lluvias fuertes (precipitación mayor a 1500 mm/año) en suelos francos arenosos, con algo de pendiente. [1][2]

El tiempo de vida de esta planta es impactante, ya que se encuentra entre los 30 y 50 años, no obstante, se han reportado cultivos comerciales de hasta 8 años, y esto a pesar de que la producción no sea tan exigente. Para cumplir con esta longevidad

requiere crecer en condiciones óptimas de siembra y desarrollo, en tanto tenga buena iluminación solar (aproximadamente 1500 horas/año), temperatura que bordee los 20°C y 35°C y humedad de suelo que oscile entre 25% y 49%. [1][2][3]

No podemos dejar de hacer mención a las aplicaciones de esta planta, pues el boom que está causando actualmente es gracias a sus semillas, de las cuales se obtiene el aceite para biodiesel (Fig. 1.1). Por otro lado tenemos la cáscara con alto contenido de proteínas y de aminoácidos esenciales, motivo por el cual se usa como material orgánico para la recuperación de tierras que han sido degradadas y maltratadas. Sin embargo, debemos destacar cuán tóxica es, pues contiene dos componentes dañinos, "curcina" y "esteres de forbol", que impiden su ingesta en el consumo humano y/o animal. En contraparte a ello, uno de dichos componentes, el "esteres de forbol", permite que pueda ser usado como bioinsecticida antihelmíntico (que actúa contra los gusanos parásitos). Además, entre sus muchas aplicaciones, interviene en la elaboración de jabones, en la industria de cosméticos y en aplicaciones medicinales. Un ejemplo de esta última, es la fabricación de pomadas destinadas a curar infecciones en la piel. También debemos señalar que a partir de su corteza se pueden aislar colorantes y taninos con el fin de teñir de azul oscuro y en el tratado del cuero, respectivamente.



Fig. 1.1 Proceso para extracción de aceite de piñón [3]

1.2 Técnicas agrícolas en los cultivos de Piñón Blanco en la región San Martín

El proceso por el que esta planta se somete para su posterior cosecha es el siguiente:

- 1) Primero se deben elegir las semillas provenientes de plantas sanas y de buena productividad, para así, asegurar un mayor tiempo de vida (30 a 50 años), en

contraste con las plantas que se desarrollan por estacas, pues son menos resistentes a la sequía.

- 2) A continuación, se prepara el sustrato con una mezcla uniforme que contiene: tres partes de tierra, una de arena y una de compost humus de lombriz, las cuales luego son introducidas en bolsas almacigueras de 1 Kg.
- 3) Se remojan las semillas según la densidad a sembrarse por un intervalo de 24 horas. Luego de esto, se escurren y se dejan secar por otras 24 horas bajo sombra. Con esto se consigue que la germinación suceda más pronto.
- 4) Luego de las 48 horas en total, se eligen las semillas que muestran radícula y se procede a sembrar una por cada bolsa de polietileno, para obtener un buen número de plantas de piñón blanco. Cabe resaltar que el tiempo estimado es de 15 a 20 días en el vivero con los mejores cuidados.
- 5) Dado que los charcos de agua son dañinos para el crecimiento de esta planta, cuando se trabaja en terrenos planos, es recomendable voltear la tierra con un arado y luego pasar la rastra para obtener un terreno mullido.
- 6) Con el terreno listo se procede a trazar y señalar las posiciones de siembra más adecuados. A continuación se recomienda cavar hasta lograr estas dimensiones (0.30 m x 0.30 m x 0.30 m), en el terreno, para luego ser llenado por 1 Kg. De compost o humus y tierra.
- 7) Se trasladan las plantas del vivero con mucho cuidado para evitar daños.
- 8) Al momento de la plantación se recomienda colocarlas con un distanciamiento de 2m x 2m ó 2.5m x 2.5m ó 3m x 3m ó 4m x 4m; para obtener 2500 ó 1600 ó 1089 ó 833 plantas por Ha, respectivamente.
- 9) Se realiza una primera poda cuando la planta mide 50 cm, tomando como referencia una altura de 25 cm del suelo, lo cual sucede de 70 a 120 días después de la siembra. Esto se hace con el fin de obtener más ramas productivas (24 a 36 ramas). La segunda poda se realiza a los dos meses y finalmente, la tercera, dos meses más después de la segunda.

- 10) El control de malezas se realiza de manera manual. Las principales son la hormiga Indanera y el grillo topo.
- 11) Se recomienda establecer la plantación al inicio de lluvias, ya que las plantas se defolian cuando la humedad es baja, reduciendo su crecimiento.
- 12) Cuando los granos presentan un color negro, entonces quiere decir que la planta ya está lista para su cosecha. Se debe tomar en cuenta lo siguiente:
 - Solamente se deben cosechar aquellos frutos que muestren más de la mitad de su coloración entre amarillo y café oscuro.
 - Es necesario que los frutos cosechados se coloquen bajo sombra para ser desgranados. Estos granos deben ser almacenados en sacos de yute a fin de que puedan alcanzar una humedad de 8%, necesario para luego ser llevados a una máquina que extrae aceite o para su distribución.

1.3 Memoria Descriptiva de la parcela de Piñón Blanco

A continuación se muestra, en la Tabla 1.1, los datos de la parcela donde se realizará el presente proyecto de tesis y algunas características de la semilla.

Región	:	San Martín
Cultivo	:	Piñón Blanco
Nivel de tecnología	:	Media / Operaciones Manuales
Distanciamiento	:	3.0 x 3.0 m = 1089 plantas
Ubicación de la		
Plantación	:	INIA – Estación Experimental “El Porvenir”
Distrito	:	Tarapoto
Tamaño módulo	:	1.0 Ha.
Semilla	:	Madre
Procedencia	:	Barranquita y Juan Guerra

Tabla 1.1 Características de la Parcela [3]

1.4 Síntesis del Asunto de Estudio

Actualmente la agricultura de nuestro país presenta varias deficiencias, debido a factores como la falta de agua para riego, escasos recursos económicos, el poco acceso a las tecnologías de información, entre otros. Ello representa el cuello de botella de una actividad que genera ingresos y dividendos a nuestro país. Para mayor información ver Anexo A.

Los agricultores de la zona de San Martín se dedican a la siembra y cosecha del piñón blanco, sin embargo, esto resulta una desventaja; ya que, aún se siguen utilizando técnicas antiguas y poco prácticas que no aseguran una buena producción.

El agricultor debe desempeñar su trabajo junto con profesionales e investigadores, ya que, si bien él posee todo el conocimiento obtenido a través de la práctica diaria, se hace insuficiente a la hora de enfrentar alguna eventualidad en la zona agrícola. Siempre existe un margen de error que no se considera o se deja pasar cuando se trata de efectuar el control respectivo de las tierras. Además, existen otros factores, como el tiempo que se tarda el agricultor en solucionar algún contratiempo o, en el peor de los casos, cuando una planta es desechada completamente debido a que ha sido infectada totalmente por alguna plaga, por nombrar un ejemplo.

Cabe señalar que no solo se trata de solucionar un problema en particular, sino de mejorar el proceso de control mediante un sistema que permita obtener los parámetros más importantes del cultivo, tales como humedad de suelo y temperatura ambiental. Todo ello en pro de una mejor cosecha, en menor tiempo y con una mejor calidad de planta. Luego, esta información será enviada a un servidor central, llámese PC o laptop, el cual permitirá, según sea el caso, controlar a los actuadores que recibirán la señal para activar aspersores a fin de realizar el riego sin contratiempos.

Es claro que esta tecnología no solamente puede ser aplicada a este tipo de producto agrícola, sino, a un sinfín de variedades, tomando en cuenta las características correctas y necesarias para su óptimo desarrollo y posterior cosecha. Es relevante poner en práctica y fomentar este tipo de tecnologías, no solo para la agricultura sino también en otros campos, donde sea necesario su uso, para el control y manejo de distintas variables a distancia.

CAPITULO 2

ESTADO DEL ARTE DE WSN Y CONTROL DE VÁLVULAS

2.1 Redes de Sensores Inalámbricas (WSN)

2.1.1 Concepto y Características

La red de sensores inalámbrica (en inglés: Wireless Sensor Network) se define como un conjunto de dispositivos conocidos como nodos o motas, los cuales se agrupan y se comunican entre sí, a fin de llevar a cabo una tarea específica. Sobresalen por monitorear un medio físico a detalle. A través de los sensores incorporados en los nodos, son capaces de medir condiciones físico-ambientales en cualquier tipo de área geográfica, tales como temperatura, velocidad del viento, intensidad luminosa, humedad, ubicación, presión atmosférica, etc. Es por ello que se utiliza para múltiples aplicaciones, las cuales se pueden ver con más detalle en el Anexo B.

Estas redes son autónomas, pues se encargan de medir ciertos parámetros, almacenarlos, realizar algún tipo de procesamiento y finalmente comunicarse con otros nodos de la red. También son autoconfigurables, es decir, cuando un nodo falla o si se requiere evadir obstáculos, la red automáticamente buscará otros nodos por los cuales retransmitir la información hasta su destino final. Por ello, se dice que estas redes sobresalen, con respecto a las demás, por sus capacidades de autodiagnóstico, auto-configuración, auto-organización, auto-restauración y reparación. [11]

Las redes WSN se plantean como una solución actual e innovadora en distintas áreas de nuestra vida diaria, áreas que se caracterizan por tener un acceso restringido para el hombre y que, a su vez, no cuentan con una infraestructura física preestablecida ni administración central. Razón por la cual se hace necesario que esta red pueda ser dinámica y descentralizada. Debido a ello, cada nodo puede asumir el papel de emisor, receptor o repetidor, ya que todos los nodos están en igualdad de condiciones para lograr que cualquier paquete llegue a su destino, aunque el destinatario no sea

accesible directamente desde el origen. El protocolo de encaminamiento es el responsable de reorganizar las rutas entre nodos para lograr la comunicación y junto con ella la correcta recepción de paquetes de datos. [12][13] Por lo tanto, estamos hablando de las redes ad-hoc. Las redes de sensores se guían bajo técnicas ad-hoc.

Hay algo que resaltar en el agrupamiento de los nodos, ya que si hablamos de uno solo, este posee características limitadas como el rango de medición, la potencia para transmitir datos y un tiempo de vida determinado; sin embargo, si enmarcamos muchos de estos en un área geográfica conseguiremos repotenciar capacidades como precisión, confiabilidad y robustez.

Todo ello no sería posible si implementamos una red tradicional. En la Tabla 2.1 podemos ver la diferencia entre una red tradicional y una red WSN.

Redes Tradicionales	Redes de Sensores Inalámbricos
Diseño de propósito general.	Diseño de propósito específico.
Una misma red sirve para muchas aplicaciones.	Una misma red tiene una sola aplicación
Prioridad de diseño: rendimiento y latencia.	Prioridad de diseño: energía
Son diseñados y fabricados según planificación.	El despliegue, la topología y los recursos se hace sin planificación (redes ad-hoc)
Operan en ambientes controlados y tranquilos.	Operan en ambientes hostiles.
Fácil acceso a la red. Por ello permite mantenimiento y reparación.	Acceso restringido o imposible por condiciones agrestes
Gestión centralizada es posible.	La mayoría de las decisiones son localizadas sin el soporte del servidor central

Tabla 2.1 Comparación entre redes tradicionales y redes WSN [12]

2.1.2 Criterios de Diseño

A pesar de ser una solicitada alternativa por las empresas y usuarios para automatizar actividades que demandan elevados costos a largo plazo y mano de obra en condiciones desfavorables, hay ciertos factores que se deben enfocar por tener un alto impacto en el diseño de la red WSN, haciendo uso de protocolos y algoritmos en este sistema distribuido, los cuales se rigen bajo el estándar de comunicación elegido [Ver Anexo C]. A continuación se explicará brevemente cada uno de ellos:

2.1.2.1 Energía

Los nodos sensores al ser autónomos y multifuncionales requieren una fuente de alimentación incorporada en ellos, ya que por lo general, son ubicados en terrenos agrestes y están expuestos a cambios climáticos variables. Estas fuentes pueden ser recargables, no recargables o regenerativas [22][23]. Sin embargo, por lo general, estos dispositivos se alimentan a través de baterías, lo cual significa que la red WSN cuenta con reservas limitadas de energía, las cuales se deben distribuir entre las principales funciones del nodo: detección, comunicación y procesamiento. Esto, en consecuencia, implica usar esta energía de manera eficiente y óptima a nivel de capa de red, capa de enlace de datos y capa física.

2.1.2.2 Tolerancia a fallos

El principio de la tolerancia a fallos, el cual otorga fiabilidad, consiste en mantener el correcto funcionamiento de la red, no obstante, uno o varios nodos dejen de funcionar. Esto si es que se presenta interferencia, ruido, daño físico, agotamiento de la batería, entre otras causas que pueden dañar el dispositivo e interrumpir la comunicación entre los demás. Por lo tanto, para averiguar la probabilidad de tener un fallo en un intervalo de tiempo $(0,t)$ utilizamos la distribución de Poisson.

$$Rk(t) = e^{-\lambda_k t} \quad (2.1)$$

Donde:

λ_k : tasa de fallo de un sensor k

k: número para asignar al sensor

t: periodo de tiempo

2.1.2.3 Escalabilidad

Una red puede ser diseñada, en un inicio, con un determinado número de sensores para la zona que va a monitorear; sin embargo, debe ser capaz de aceptar más hardware y adaptarse rápidamente a ello aumentando el rendimiento y sin que ello reste calidad de servicio. Entonces para hallar la densidad, en otras palabras, el número de nodos dentro del radio de transmisión de cada nodo en la región A, utilizaremos la siguiente fórmula:

$$\mu(R) = \frac{(N\pi R^2)}{A} \quad (2.2)$$

Donde:

N: número de nodos dentro de la región A

R: alcance de radio de transmisión

2.1.2.4 Topología de la red

Con esto nos referimos a la organización de los nodos y como son transmitidos los datos a través de esa organización, es decir, quién transmite a quién. Las más usadas para este tipo de redes son estrella, malla y árbol [24][25]. Siendo cada una de ellas más apropiada que la otra bajo ciertas circunstancias.

2.1.2.5 Autogestión

Las redes de sensores inalámbricas no poseen una infraestructura física y el acceso de personal a la zona se hace difícil en ciertos casos. Pese a ello, como toda red, estas requieren configuración, adaptación, protección, mantenimiento y reparación. Ante ello, los nodos deben actualizar la información de forma periódica, para estar informados de la ubicación y estado de los nodos más próximos, cuánta energía y eficiencia queda en los enlaces, estar al tanto de la actividad del nodo vecino, entre otros.

2.1.2.6 Sincronismo

Debido a que la información que se transmite, en muchos casos, requiere que sea en tiempo real, es importante que la red esté sincronizada, ya que cada nodo trabaja de forma independiente. Sin embargo, para no crear ambigüedades se deben programar los nodos a fin de que funcionen en equipo, es decir, mientras algunos se mantienen en modo "sleep", otros se activan, y viceversa. Esto con la finalidad de que no haya traslapes y tráfico, así como desgaste de energía.

2.1.2.7 Seguridad

Este tipo de redes es vulnerable a los ataques maliciosos, ya que funcionan de manera remota e inalámbrica. El espía emula el funcionamiento de un nodo y, por consiguiente, puede tener acceso a los paquetes de datos y a las tablas de enrutamiento. Es por esta razón que se utilizan técnicas de encriptación como AES.

2.1.3 Arquitectura de la Red WSN

Las redes de WSN están compuestas por dispositivos compactos, llamados motas o nodos sensores, que integran varias funciones en sí mismas, una de ellas, la de sensar determinados eventos o entornos según el fin para el que han sido programados. Este pasaría a ser el primer elemento. A continuación, la información sensada es convertida de analógico a digital para que pueda ser transmitida fuera de la red de sensores hacia una estación base. Esto se logra gracias a un dispositivo llamado Gateway, el cual interconecta la red WSN a una red de datos (TCP/IP). En dicha estación base, que tiene el aspecto de un ordenador, se puede almacenar la información, procesarla y analizarla (Fig. 2.1).



Fig. 2.1 Arquitectura de una red de sensores inalámbrica [25]

2.1.4 Hardware del Nodo

Los nodos inalámbricos o también conocidos como motas son dispositivos compactos y ligeros fabricados para realizar las siguientes funciones: detección, procesamiento de la señal (conversión analógico/digital), almacenamiento de la información, computación y comunicaciones inalámbricas. Todo esto con una fuente de alimentación incorporada en el mismo chip. [26]

De ello se desprende que los elementos que permiten que se lleven a cabo estas funciones en un mismo dispositivo constituyen los componentes básicos de un nodo: placa de sensores, microcontrolador, memoria, batería y transceptor (transmisor y receptor) tal como indica la Fig. 2.2

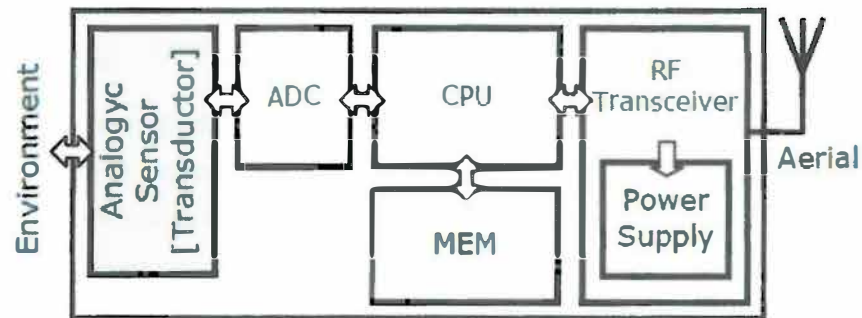


Fig. 2.2 Elementos de un nodo sensor [26]

2.1.4.1 Sensores

Son parte fundamental del nodo, ya que según la aplicación que tendrá la red se eligen uno o varios de ellos. Este componente cuando detecta alguna acción la representa mediante una magnitud física, la cual transformará en señal eléctrica a fin de que pueda ser procesado por el microcontrolador. Actualmente, tenemos una amplia variedad de sensores en el mercado tales como: de proximidad, acústicos, magnéticos, ultrasonidos, luz, infrarrojos, táctiles, temperatura, aceleración, entre muchos otros.

2.1.4.2 Radio

Es el que se encarga de la comunicación entre los dispositivos que conforman la red inalámbrica de sensores. Dependiendo de cada tecnología (proveedor y modelo) las características del transceptor varían en cuanto al consumo de energía, radio de alcance, frecuencia de operación y velocidad. Por ejemplo, nosotros usaremos el estándar Xbee S2, radio transceptor de bajo consumo con alta sensibilidad (-95dBm) y un radio de alcance de unos 120m (con línea de vista). A su vez, este dispositivo opera en la banda libre de radio frecuencia ISM (Industrial-Scientific-Medical) a 2.4 GHz, y su potencia de Tx es de 2mW.

2.1.4.3 Microcontrolador

Este elemento es el gestor de cada nodo, cuya función es procesar la información que obtiene de los sensores y, mediante un programa instalado previamente, transmitir

dicha información a otros nodos. Algunas de sus funciones son: almacenar temporalmente datos en la memoria, modular, cifrar para evitar manipulación de datos por terceros y corregir errores. Si bien existen mucha competitividad entre las distintas casas que proveen soluciones WSN, los de mayor demanda son ARM7 [27], Atmel AVR [28], Intel Xscale [29], Intel 8051 [30], PIC [31], TI MSP430 [32].

2.1.4.4 Baterías

El consumo de energía de los nodos se distribuye entre los sensores, la comunicación y el procesado. El mayor desgaste incide en la comunicación y es por ello que los nodos están configurados para los siguientes estados: sleep, wake-up y active. Sin embargo, el nodo es capaz de estar la mayor parte del tiempo en modo "sleep" y solo despertar si es que sucede lo siguiente: sensa de forma periódica, envía información cuando se cumple cierta condición (por eventos) o cuando se le solicita (por consulta).

En el mercado, las baterías utilizadas para este fin, se diferencian en el material electroquímico del electrodo (níquel-cadmio, níquel-zinc, níquel metal hidruro, litio-ion) y estas pueden ser recargables o no.

2.1.4.5 Memoria

Los requerimientos de memoria dependen mucho de la capacidad que necesite nuestra aplicación. Por ello las clasificamos según el fin que tendrá la información en ellas:

- Memoria usada para almacenar los datos recogidos por la aplicación.
- Memoria usada para almacenar el programa del dispositivo.

En nuestro caso, la memoria volátil y no volátil viene incorporada en el microcontrolador. La memoria EEPROM, es decir no volátil, funciona a grandes velocidades, por lo tanto a mayor memoria mayor velocidad en la operación.

2.1.5 Mercado Actual

Encontramos motas o nodos que van dejando obsoletos a los anteriores, pues, integran más funciones a un precio accesible. Esto es lo que busca el cliente a través del tiempo. Por ello en la Tabla 2.2, se muestran las motas más destacadas y sus respectivos proveedores.

PROVEEDOR	CARACTERÍSTICAS	MOTAS
CROSSBOW	Es una de las casas de tecnología más antiguas, fundada en 1995. Fue uno de los primeros proveedores de motas MICA estilo Berkeley, para los que fabricó un software llamado MoteWorks. En el 2008 lanza un nuevo producto dedicado a la agricultura y al medio ambiente llamado eKoSystem Pro Series, el cual monitorea humedad y temperatura del suelo y del ambiente. En paralelo, ese mismo año, lanza en Japón, otro producto para optimizar el uso de energía en un edificio y lo llamó Sistema NeoMote.	MICA2 (686/916 MHz), MICAZ (2.4 GHz) y IMOTE2
SENTILLA	Antes llamado mote IV. Reconocida por sus motas Java, ya que gran parte del código para javaMe funciona en ellas. Dispone de una máquina virtual que corre en microcontroladores de 8 y 16 bits.	Tmote Sky Tmote Invent
SHOCKFISH	La mayoría está en EEUU, pero esta es la excepción, pues tiene sede en Suiza. Su principal objetivo es servir tanto para proyectos académicos como industriales en una misma mota.	TinyNode
BTNODES	Actualmente es parte de dos proyectos de investigación: NCCR-MICS y Smart-Its Project. Su producto es un sistema de comunicación inalámbrico basado en Bluetooth. Sirve como plataforma para investigaciones en móviles y redes ad-hoc.	BTNode rev. 3 EyesIFXv2.1
EMBER	Es uno de los promotores de la Zigbee Alliance y las soluciones propuestas por esta empresa cumplen la capa física según estándar IEEE 802.15.4	EM250
SUN MICROSYSTEMS	Su principal producto de solución es un sistema WSN cuyos componentes son bastante pequeños. Está construido sobre el estándar IEEE 802.15.4. Su diferencia de los demás radica en la máquina virtual de Java diseñada para este dispositivo.	SunSPOT
NANO-RK	Lanzó al mercado una plataforma de bajo consumo y bajo costo. Asimismo, es compatible con varios periféricos externos.	FireFly
LIBELIUM	Es una empresa líder en el mercado creado por dos ingenieros de Zagoza, que fabrica hardware para redes WSN. El Waspote es una plataforma que trabaja con diferentes protocolos (Zigbee, Bluetooth, 3G/GPRS). Se caracteriza por su capacidad para comunicarse a largas distancias (hasta 12Km) sin sacrificar el consumo de energía de la mota a la vez que puede conectar a más de 50 sensores diferentes)	Waspote
ARDUINO	Arduino es una plataforma de electrónica abierta para la creación de prototipos basada en software y hardware flexibles y fáciles de usar. Se programa en C++ a través del software libre IDE Arduino y es bastante barato. Se tiene acceso a diagramas, esquemáticos, etc para conseguir un mejor diseño.	Arduino Uno, ArduinoDiecimila, ArduinoShield, Arduino Mega, Arduino Mini

Tabla 2.2 Comparativa entre proveedores de motas para redes WSN [Elaboración propia]

2.1.6 Modos de Operación del nodo

La interfaz serial del módulo de radio se configura para que funcione de dos formas:

- Modo transparente
- Modo API

Para nuestro caso utilizaremos el modo API, ya que en este modo se agrega una cabecera que contiene mayor información, la que se utiliza para identificar el origen y destino de un paquete de datos. Esto se refleja en nuestro diseño que maneja información de varios nodos.

La cabecera adicional nos ayuda también a fragmentar y direccionar paquetes y comprobar el orden de estos. Y es así, cuando se trata de mandar datos a varios nodos remotos, con este modo es más rápido, solo se trata de cambiar la dirección de destino. Al contrario sucede con el modo transparente que requiere más pasos. La única ventaja de este último es su sencilla implementación y que envía menos datos. Esto no nos afecta ya que el software nos viene con un conjunto de librerías para programar más fácilmente. Para conocer los estados en los que alterna el nodo para ahorrar energía ver Anexo D.

2.2 Sistema de control

2.2.1 Actuadores: Electroválvula

La electroválvula es un actuador, el cual controla el flujo de agua a través de la tubería hacia la plantación. Por lo general el terreno se divide en sectores y cada sector es controlado por una electroválvula.

El solenoide constituye parte importante de este dispositivo, pues permite convertir la energía eléctrica en energía mecánica. Por lo tanto, cuando se energiza el solenoide, se forma un campo magnético que ejerce una fuerza sobre el émbolo y lo atrae hacia arriba para que de esta manera pueda pasar el flujo de agua y disminuir la presión en la entrada. Con ello estamos diciendo que en estado de reposo, el agua no pasa, porque la presión que hay en la cámara es la misma que ejerce el agua en la entrada. El principio de funcionamiento se puede ver en la Fig. 2.3.

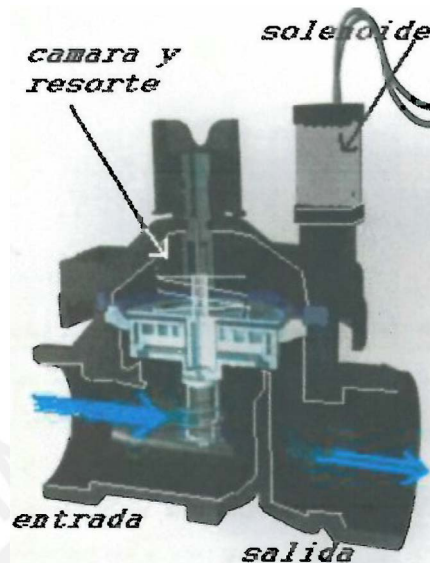


Fig. 2.3 Corte Transversal de una Electroválvula de 2 vías [39]

2.2.2 Software de Control: Labview

Cuando realizamos un programa en este entorno, éste lleva consigo el nombre de "Instrumento Virtuales (VI's)". La razón está en que al tratarse de una codificación gráfica imita muy bien el funcionamiento y la apariencia del sistema que estamos programando y queremos controlar. Los VI's se dividen en dos paneles:

➤ Panel frontal

Es una interfaz bastante interactiva para el usuario. Nos permite representar las entradas y salidas mediante botones, potenciómetros, pulsadores, gráficos, entre otros. Estos elementos se clasifican en controladores o indicadores según la función que cumplan en el programa.

➤ Diagrama de bloques

Aquí realizamos el código fuente en sí. Para ello, las entradas y salidas que agregamos en el panel frontal, aparecen automáticamente en este diagrama; y nosotros, las cableamos a otros elementos que adicionaremos a fin de realizar el control total del sistema. Aquí se puede agregar subrutinas.

CAPÍTULO 3

DISEÑO DE LA RED INALÁMBRICA Y CONTROL DE RIEGO AUTOMATIZADO

El presente proyecto de tesis pretende ofrecer una solución de automatización al sistema de riego actual que utilizan los pobladores del distrito Juan Guerra, cuyo objetivo es optimizar el desarrollo y la producción del piñón blanco. Además de un monitoreo continuo de humedad de suelo y temperatura ambiental. Todo ello a través de un diseño confiable, eficaz y barato de una red inalámbrica de sensores y control.

Se ha considerado dividir el contenido de este capítulo de la siguiente manera:

- Análisis general del terreno e identificación de las variables físicas que permiten realizar un seguimiento más cauteloso al desarrollo de este cultivo. Dichas variables serán clasificadas en rangos de temperatura y humedad para determinar el comportamiento del sistema de control.
- Selección y descripción de los elementos (hardware y software), tomando en cuenta los criterios de diseño expuestos en el apartado 2.1.3.
- Bosquejo de la topología a emplear para la comunicación entre nodos.
- Diseño de red inalámbrica de sensores tipo cluster o árbol. Esta topología es elegida para que la red tenga mayor alcance trabajando con los módulos Xbee S2. Los cuales se basan en el estándar Zigbee.
- Diseño de un sistema de control de riego, a través del uso de unas electroválvulas (actuadores). El usuario interactúa con el sistema a través del software LabView, el cual tiene una interfaz con indicadores y controladores para ver el nivel de temperatura y humedad en el que se encuentra el piñón.

3.1 Visión General del Terreno

Las áreas agrícolas destinadas al cultivo de piñón blanco se encuentran separadas por hectáreas. La diferencia entre ellas radica en la densidad de plantación que tiene cada una. Esto implica una determinada separación entre arbustos, lo cual determinará la producción de semillas en cada uno de ellos. Sin embargo, como sabemos, estas extensiones de terreno son bastante grandes, lo cual representa un importante inconveniente, ya que el terreno no es del todo uniforme. Si por un lado hay exceso de agua, por el otro, hay escasez del mismo. Con este diseño se propone la eliminación de este inconveniente. Por lo tanto, para que este diseño sea eficaz, debemos conocer las dimensiones de la parcela (Fig. 3.1) y así, utilizar la topología y el número de nodos correctos. A partir de ello lograr un riego automatizado que sea uniforme y óptimo.

Para realizar el sistema de adquisición de datos y control de riego se debe tener conocimiento de algunos detalles, como estos:

- El riego debe ser realizado durante los meses de junio, julio, agosto y setiembre (2 veces al mes), ya que durante este tiempo se presentan sequías por ser época de verano. En esta época las temperaturas llegan hasta los 35°C.
- Tomando como referencia el área de la parcela (1 Ha.), y con una densidad de 3 x 3 metros., se obtienen 1,089 plantas y 4 Kg de semillas por planta.
- En época de lluvias, lo cual sucede durante el invierno, se utilizan canaletas, a través de las cuales el agua empozada es dirigida y vaciada en una quebrada.
- Se lleva a cabo el riego por gravedad utilizando la quebrada como fuente de agua, la cual se encuentra a 1 Km del terreno. A través de una pendiente, se canaliza el agua por tuberías. Este método no distribuye el agua correctamente.
- Para conocer los rangos de temperatura ambiental y humedad de suelo, se presenta un análisis en la Tabla 3.1.
- Estos valores son importantes, pues más adelante serán usados para mantener nuestro sistema de control dentro de los valores óptimos para el desarrollo correcto de la planta, a través de condiciones dadas por el software Labview.

VARIABLE	MÍNIMO	MÁXIMO	UNIDAD	ESTADO
HUMEDAD DE SUELO	≤ 24		%	BAJO
	25	49		CORRECTO
	≥ 50			ALTO
TEMPERATURA AMBIENTAL	≤ 20		°C	BAJO
	20	35		CORRECTO
	≥ 36			ALTO

Tabla 3.1 Rangos óptimos de las variables físicas [1]

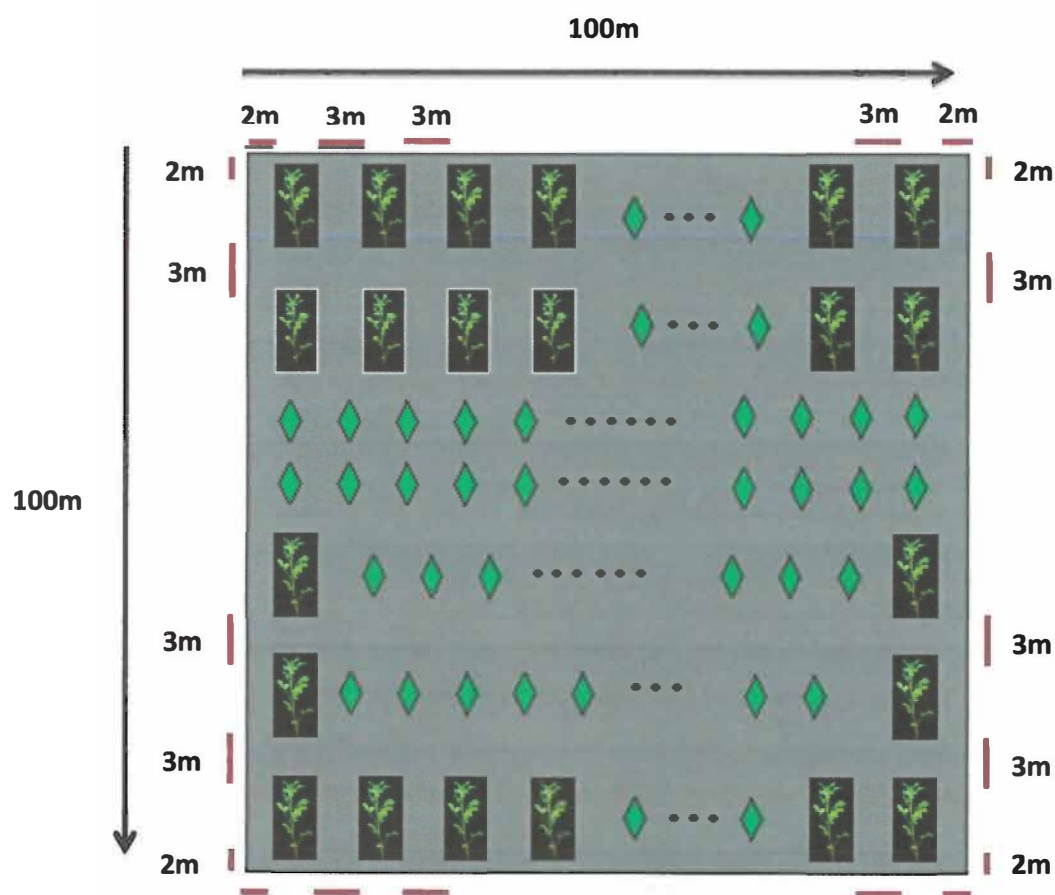


Fig. 3.1 Distribución del terreno (dimensiones y densidad) [Elaboración propia]

3.2 Elementos del Sistema de Monitoreo y Control

Los elementos que se utilizaron para el presente diseño propuesto para monitoreo y control serán nombrados a continuación; sin embargo no se incluirán sus características en este documento debido a que se quiere profundizar en la configuración y en el funcionamiento de ellos como conjunto para llegar al fin. No obstante, estos pueden ser ubicados con mayor detalle en el Anexo E.

Entonces dichos elementos son:

- Placa Seeeduno Stalker v2.3
- Sensor de Temperatura ambiental LM35
- Sensor de Humedad de suelo SEN92355P
- Radin Xbee S2
- Xbee Explorador Regulado
- Electroválvula
- Software X-CTU
- Programa IDE Arduino

3.3 Arquitectura de la Red Propuesta

Para el siguiente diseño de red de sensores inalámbrico desplegado en el terreno agrícola de piñón blanco, hemos considerado ubicar los nodos formando una topología clúster o árbol. Las razones de esta elección son el bajo coste de implementación (por requerir poca electrónica en su desarrollo) sin perder las ventajas que ofrece, como, por ejemplo, extender las distancias entre nodos finales y el coordinador. Descartamos la topología malla porque ésta complicaría el desarrollo del proyecto innecesariamente, además de hacerlo muy costoso para después no llegar a aprovechar todas sus funciones. Adicional a esto, el área en el que estamos trabajando no es muy amplia y por ello se acomoda mejor con el tipo de red propuesta.

La red cuenta con un dispositivo coordinador conectado a un computador fijo o laptop por una interfaz USB/Serial y con dispositivos finales que para nosotros serán configurados como Router/sensor y Router/actuador. Esto para poder extender la red más adelante.

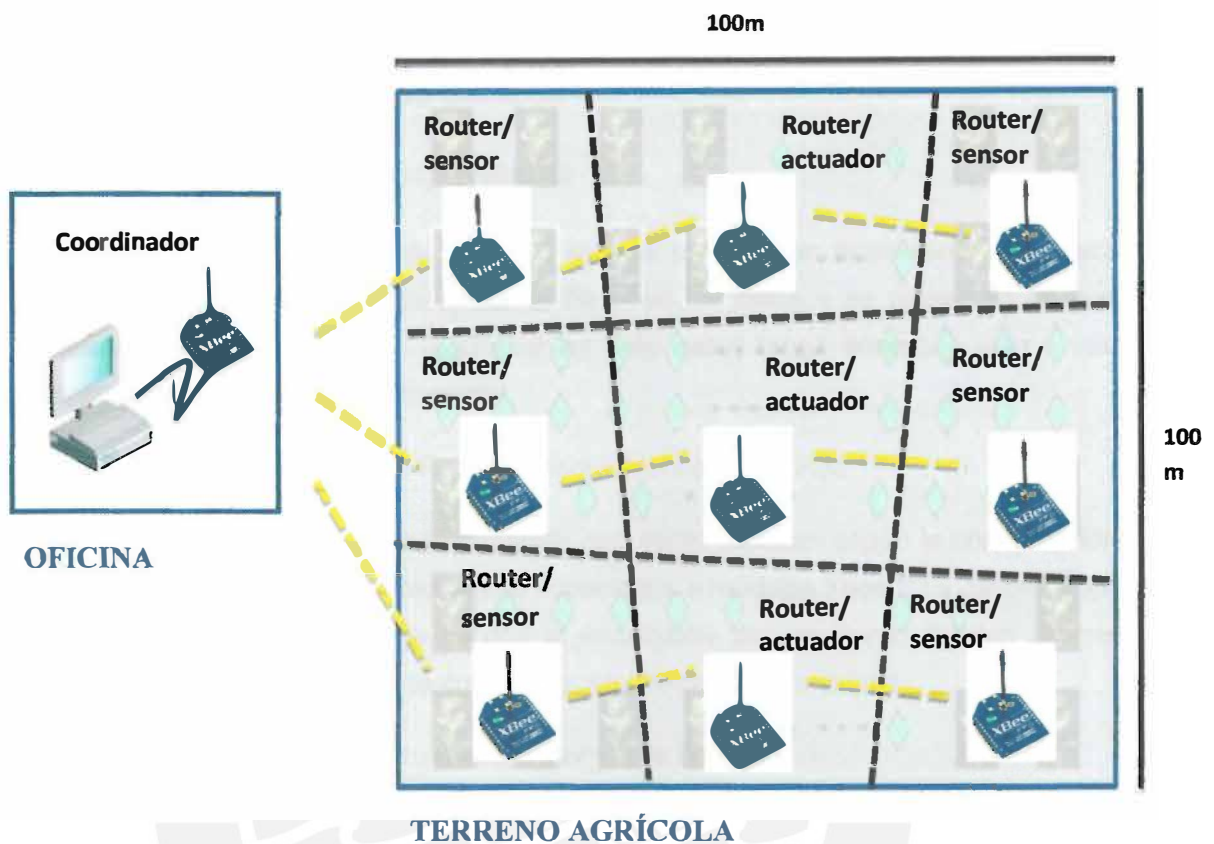


Fig. 3.2 Distribución de nodo Coordinador y nodos Routers [Elaboración propia]

Tal como se puede ver en la Fig. 3.2, el diseño que se propone consiste en ubicar en el terreno agrícola seis nodos configurados como Router/sensor y tres nodos configurados como Router/actuador. Se ha elegido esta cantidad para poder abarcar todo el terreno con mayor precisión. Asimismo se debe señalar que cada nodo Router/actuador activará una electroválvula la cual se encarga de permitir el riego en toda una línea a través de aspersores. Por ello es que el terreno se divide en tres partes y cada una estará controlada por un nodo actuador. Lo que vamos a explicar en el apartado 3.4 es como configurar cada uno de estos tres elementos: nodo Coordinador, nodo Router/sensor y nodo Router/actuador.

Nuestra parcela, como se mencionó antes, tiene 1 Ha, es decir, 100m x 100m, por lo tanto, el módulo que usaremos que pertenece a la serie 2, nos permite sensor hasta 40 metros de distancia sin línea de vista. En este caso consideramos este valor, ya que los árboles son una obstrucción suficientemente alta para bloquear la vista de un punto

a otro. La antena que vamos a utilizar es de 5 dBi, la cual permite otorgarle mayor alcance a la comunicación entre los nodos.

3.4 Etapas del Diseño de Red Propuesta

Vamos a clasificar por etapas el diseño que se propone en la presente tesis para ubicarnos mejor en la manera como se obtienen los datos y se presentan en una pantalla para que el usuario (agricultor en este caso) tenga acceso a este y sea participe del funcionamiento de su red.

- Primera Etapa ⇨ Nodo Router/sensor y Monitoreo de Red

Empieza por los sensores y la información que estos capturan según la configuración que se le aplique. A su vez, estos están conectados a módulos Xbee S2 y desplegados en el terreno. Aquí, la ventaja es que al encargarse del monitoreo pueden ahorrar energía, ya que no es necesario que entreguen información inmediata.

- Segunda Etapa ⇨ Nodo Coordinador y Jefe de Red

Constituye la recepción de la data sensada por parte del nodo Coordinador, quien puede recibir la información de forma directa o a través de saltos. Esto depende de que tan lejos se encuentre el nodo Router/sensor del nodo Coordinador. Luego de recibir la información, la transmitirá al computador por cable USB, para que pueda ser leída en la interfaz amigable de Labview mediante indicadores.

- Tercera Etapa ⇨ Nodo Router/actuador y Puesta en Marcha de Riego

Consiste en la señal de control que enviará el nodo/Coordinador al nodo/Actuador, para que se activen las electroválvulas y estas, a su vez, manden la señal a los aspersores para el riego inmediato. El tiempo de actividad o inactividad de las electroválvulas es controlado por el programa Labview y depende de la data sensada.

Se puede observar las tres etapas en la Fig. 3.3.

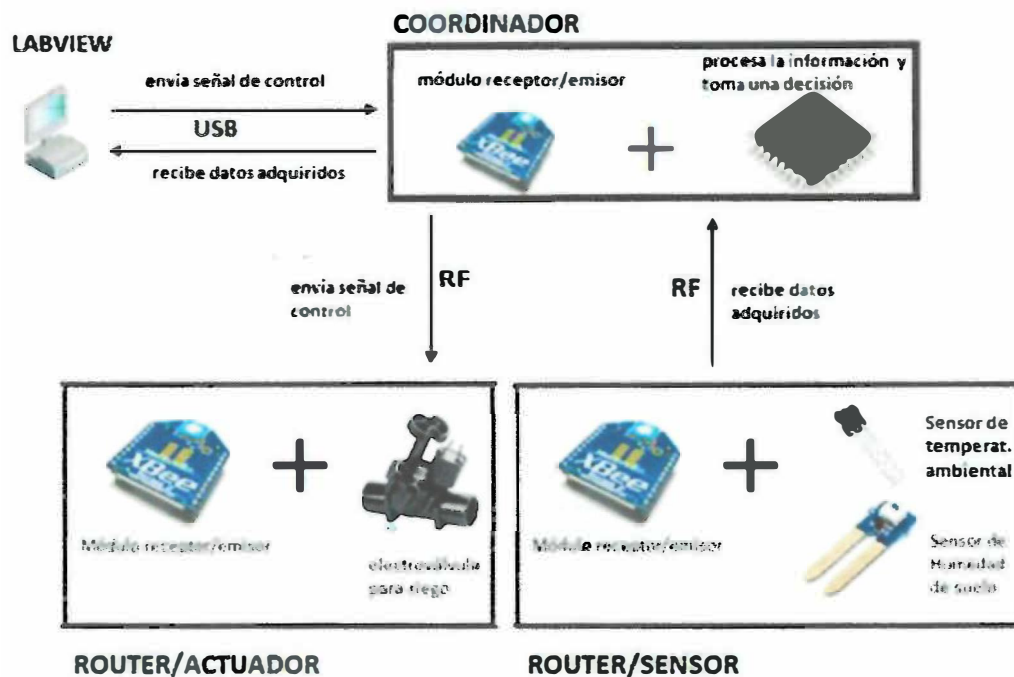


Fig. 3.3 Etapas de diseño de red en terreno agrícola [Elaboración propia]

Nuestra red de sensores estará compuesta por tres tipos de nodos. En cada uno de ellos debemos configurar el módulo Xbee S2, el cual se encargará de la comunicación con los otros nodos, y luego, cargar el programa en el microcontrolador de la tarjeta Seedduino, según sea el caso. A continuación se explica con más detalle:

3.4.1 Primer Etapa: Nodo Router/sensor y Monitoreo de Red

3.4.1.1 Misión y Características

Este nodo antes que nada debe unirse a la red, mismo ID (Identificador de red PAN) y CH (canal de comunicación) para que sea capaz de retransmitir la información de otros nodos o enviar la propia información sensada. Permite, por medio de saltos, que la información pueda viajar varios metros más desde un punto lejano hasta el computador. Luego, este mostrará los valores sensados en pantalla a través del X-CTU como simulador o en Labview. La ventaja de este nodo es que podemos mandarlo a dormir para que ahorremos energía y tenga más tiempo de vida.

3.4.1.2 Diseño de Hardware del Nodo Router/sensor

El nodo Router que describimos tiene dos sensores conectados como entradas en el radio Xbee S2 y esto es configurado a través del software X-CTU (Fig. 3.4). En la configuración elegiremos el pin D0 para sensor de Temperatura ambiental LM35 y el pin D1 para sensor de Humedad de Suelo SEN92355P. Asimismo, conectamos el módulo Xbee S2 en un protoboard y para ello utilizamos una pequeña placa llamada "Xbee Explorador Regulado" que se encarga de regular la tensión a 3.3V y con la cual trabajan los sensores. Para conectar al protoboard, soldamos a la placa unos accesorios denominadas "pin headers".

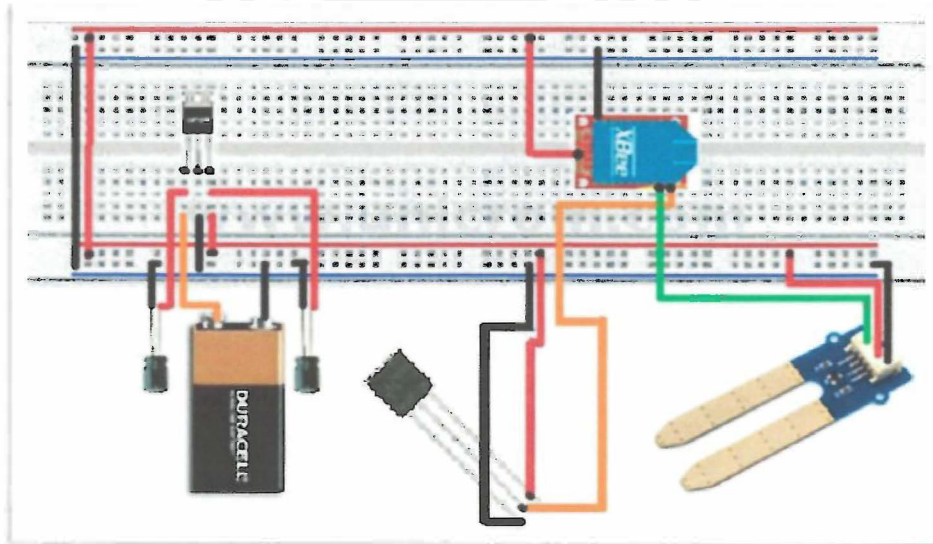


Fig. 3.4 Elementos que conforman al nodo Router/sensor [Elaboración propia]

Los elementos que se están usando para este diseño son:

- Un regulador de voltaje LM7805
- Un condensador electrolítico de 0.33uF a la entrada y uno de 0.1uF a la salida.
- Una batería de 9V
- Un Xbee Explorador Regulado que regula a 3,3V para alimentación del radio.
- Un radio Xbee S2
- Un sensor de Temperatura LM35
- Un sensor de humedad de suelo SEN92355P

3.4.1.3 Configuración del Módulo Xbee S2

Este módulo será configurado en modo AT ya que solo necesitamos configurar sus parámetros y los pines de entrada donde irán los dos sensores mencionados.

El procedimiento para la configuración de este módulo se realiza luego de haber insertado la radio Xbee S2 en la placa UartSbee y, esta última, conectada por USB al computador. Este procedimiento se repetirá para los otros nodos también, excepto por alguna configuración adicional que será explicada en su momento. Entonces, el procedimiento a seguir sería el siguiente:

- a. Ingresamos al programa X-CTU y en la primera pestaña "PC Settings" verificamos que aparezca el puerto COM que corresponde al módulo que vamos a configurar. Seleccionamos dicho puerto.
- b. Luego nos vamos a "Test/Query" y con ello se ratifica la correcta conexión de nuestro dispositivo, a través de unas líneas que indican, entre otras cosas, el número serie de 64 bits de este nodo. Lo demás ya fue explicado líneas arriba.
- c. Nos vamos a la pestaña "Modem Configuration" y le damos click a "Download new versions..." para actualizar el programa. Esto es importante y necesario antes de ser más específicos con la configuración.
- d. A continuación, elegimos el modelo de la radio que usaremos en "Modem" (en nuestro caso XB24-ZB que corresponde a Xbee S2) y en "Function Set" elegimos "Zigbee Router AT". Al término de esto, le damos click al botón "Read" para que refresque la información seleccionada.
- e. Ahora nos dedicaremos a buscar las variables de la tabla adjunta líneas abajo y colocaremos los valores asignados para, posterior a ello, darle click a "Write" y grabar la configuración en el dispositivo.
- f. Al momento de configurar los puertos I/O, asignamos el primero (pin D0) para el sensor LM35 y como éste entrega una señal analógica, entonces, seleccionamos la opción "ADC". El segundo (pin D1) será para el sensor SEN92355P y seleccionamos lo mismo que el anterior, con el fin de que entregue una señal analógica, y pueda ser leída como tal.

- g. Lo que debemos resaltar es la configuración de comandos de sueño, lo cual aplica para este elemento y su ahorro de energía. Por lo tanto, para la configuración de ahorro de energía, hemos seguido los siguientes pasos:

SM = 4, significa que el módulo estará apto para el modo de ciclos de sueño.

ST = 0x3E8, se configura en 1 seg. Tiempo que aún está activo.

SP = 0x5DC, se configura en 15 seg. Tiempo de bajo consumo

SO = 0, indica que el módulo está configurado para un sueño corto.

IR = 0x3E8, garantiza que solo nos envíe una muestra en el tiempo ST.

SN = 1, indica número de ciclos para reposar.

Por lo tanto:

$ST + SP = 16 \text{ seg.}$ \Rightarrow es el tiempo que tardará el dispositivo en enviar cada trama para que se visualice en la interfaz gráfica a través del Coordinador.

$SP * SN = 15 \text{ seg.}$ \Rightarrow es el tiempo de ahorro de energía del dispositivo.

- h. En la Tabla 3.2 se muestran los parámetros que vamos a ingresar en el nodo Router/sensor y en la Fig. 3.5 se muestra esa configuración en el software XCTU con el módulo conectado al computador por USB.

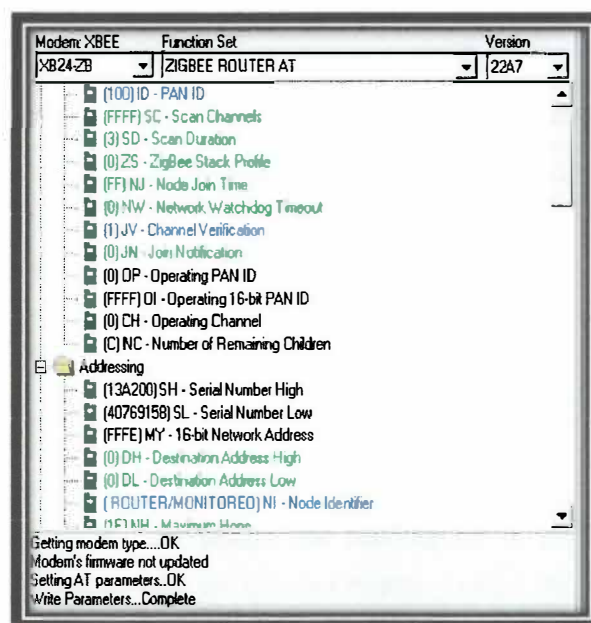


Fig. 3.5 Parámetros configurados en nodo Router/sensor [Elaboración propia]

MODULO AT		
Variable	Descripción	Valor (0x)
ID	Identificador de red PAN	100
SD	Tiempo de escaneo	3
CH	Canal libre elegido	13
JV	Aviso de unión a la red	1
SH	Dirección de serie (64 bits) – parte alta	0013A200
SL	Dirección de serie (64 bits) – parte baja	40769158
DH	Dirección destino (64 bits) – parte alta	0
DL	Dirección destino (64 bits) – parte baja	0
NI	Nombre del módulo	ROUTER/MONITOREO
IR	Tiempo de muestreo	3E8 (1seg)
D0	Configuración AD0/DIO0	2
D1	Configuración AD1/DIO1	2
SM	Modo reposo	4
SN	Número de Periodos de reposo	1
SP	Periodo de reposo	5DC (15seg)
ST	Tiempo antes de reposo	3E8 (1seg)

Tabla 3.2 Parámetros de configuración en nodo Router/sensor [Elaboración propia]

3.4.1.4 Forma de Captura de Datos de los Sensores

A. Sensor LM35

Este sensor entrega una señal analógica que debe ser convertida a tensión según una operación matemática, y la cual puede ser medida en el pin del Xbee que tiene conectado el sensor, con el uso de un multímetro. Luego de ello, esta tensión es convertida a temperatura mediante una fórmula que se puede encontrar en el

datasheet y la cual nos entrega la temperatura en °C. Según ello, se muestra si el sensor recibe temperatura alta, media o baja.

B. Sensor SEN92355P

El sensor que se propone para medir la humedad de suelo tiene salida analógica, entonces dado ello, el código que usaremos nos devolverá números entre 0 y 1023, pero nosotros lo vamos a modificar para que entregue estos valores en porcentaje y según ello se determine en qué tipo de suelo se encuentra el sensor.

3.4.1.5 Diagrama de flujo

En la Fig. 3.6 se explica cómo es que el nodo Router/sensor recibe señales de los sensores de humedad y temperatura y las transmite en trama API hacia el coordinador para que luego este las procese y muestre en la PC.

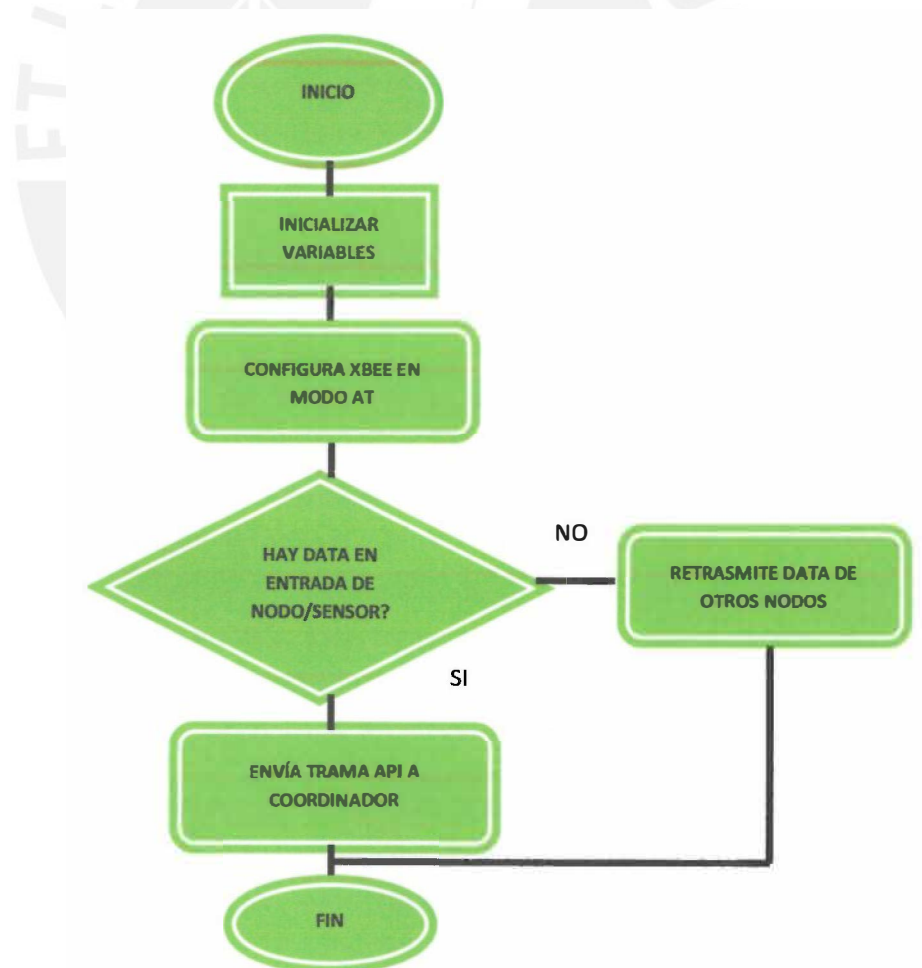


Fig. 3.6 Diagrama de flujo principal de nodo Router/sensor [Elaboración propia]

3.4.2 Segunda Etapa: Nodo Coordinador y Jefe de Red

3.4.2.1 Misión y Características

Es el nodo central y cerebro de nuestra red. Sin la presencia de este nodo es imposible obtener una red. Lo que hace este nodo, al momento de configurarlo, es fijar un identificador (PAN ID) e indicar cuál va a ser el canal de funcionamiento (CH) para la comunicación. Una vez que hemos configurado este nodo como tal, habilitaremos la unión de los demás nodos a la red.

Al término de su misión principal, se comporta como router, es decir que permite el direccionamiento de los paquetes de datos y también puede ser fuente de partida y llegada de los mismos. Debido a su importancia debe estar siempre energizado.

3.4.2.2 Diseño de Hardware de Nodo Coordinador

El Coordinador es el encargado de conseguir que exista comunicación entre el computador y los nodos router. En la Fig. 3.7 podemos observar de una forma más clara los tres elementos involucrados (módulo Xbee S2, Seeeduino y computador) y la conexión entre ellos.

El reconocimiento del módulo coordinador cuando lo conectamos al puerto USB del computador se realiza mediante la descarga de drivers específicos. En nuestro caso, debemos descargar los drivers FTDI (Future Technology Devices International). Estas siglas representan a una empresa que provee controladores de software para la conversión de serial a USB para, así, permitir la compatibilidad entre dispositivos con el computador. Dichos drivers permiten, entonces, que el computador reconozca el puerto COM al que se está conectando el módulo Xbee S2 y se proceda a realizar la configuración del mismo en el programa X-CTU, cuyas características se encuentran en el Anexo E. Por otro lado, para cargar el programa a través del IDE Arduino, no es necesario instalar drivers, pero sí, elegir el modelo de placa que hace referencia al microcontrolador correspondiente. En nuestro caso será "Arduino Fio".

Haremos uso del Labview para visualizar mediante indicadores y gráficos los datos que recogen los sensores de Temperatura y de Humedad. A partir de ello, podremos realizar el control para la apertura y cierre de las electroválvulas.

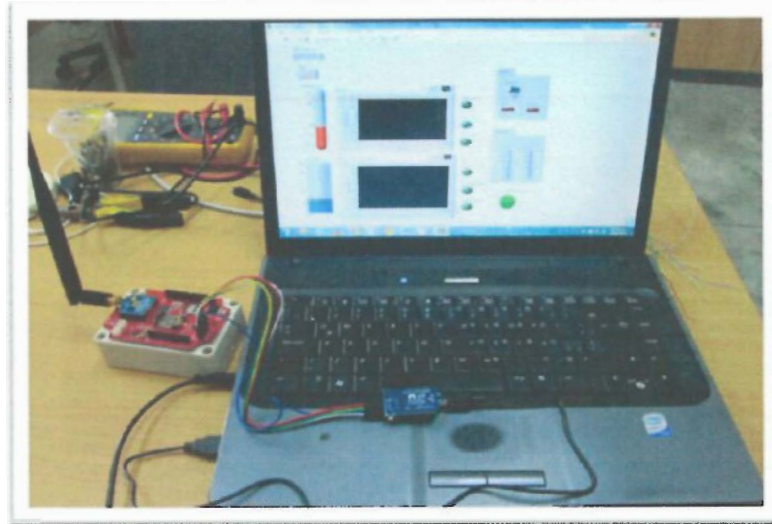


Fig. 3.7 Conexión entre módulo Xbee S2, Seedeuino y computador

3.4.2.3 Configuración del Módulo Xbee S2

Este módulo será configurado en modo API para que de esta forma pueda transmitir una trama (cabecera + datos + checksum) a los múltiples nodos e identificar a qué nodo le corresponde la data recibida. Utilizaremos este modo de comunicación, para no estar entrando y saliendo del modo AT (configuración) y ajustando los parámetros para cada caso, lo cual nos haría perder tiempo.

El procedimiento para la configuración de este módulo se realiza luego de haber insertado el módulo Xbee S2 en la placa UartSbee y, esta última, conectada por USB al computador, tal y como se muestra en la Fig. 3.8. Después de conectarlo, se siguen los pasos explicados en el apartado 3.4.1.3 (a-c) y luego se continúa con los siguientes:

- a. Elegimos el modelo de la radio que usaremos en "Modem" (en nuestro caso XB24-ZB que corresponde a Xbee S2) y en "Function Set" elegimos "Zigbee Coordinator API". Al término de esto, le damos click al botón "Read" para que refresque la información seleccionada.
- b. Ahora nos dedicaremos a buscar las variables de la Tabla 3.3 y colocaremos los valores asignados para, posterior a ello, darle click a "Write" y grabar la configuración en el dispositivo (Fig. 3.9).

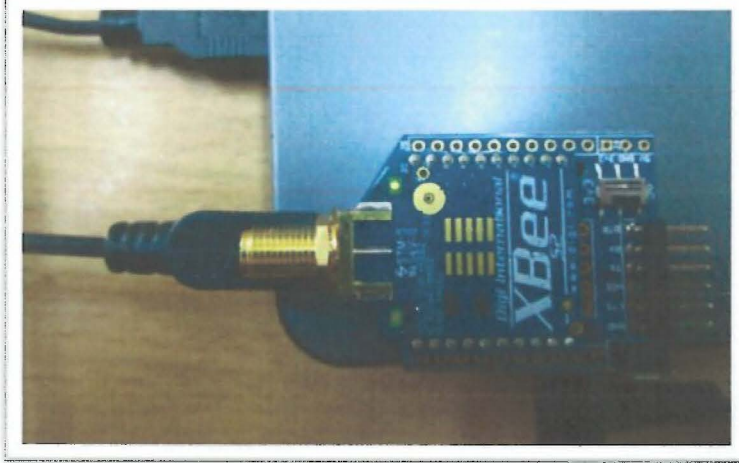


Fig. 3.8 Conexión del UartSbee al computador para configuración [Elaboración propia]

MODO API		
Variable	Descripción	Valor (0x)
ID	Identificador de red PAN	100
CH	Canal libre elegido	13
SD	Tiempo de escaneo	3
SH	Dirección de serie (64 bits) – parte alta	0013A200
SL	Dirección de serie (64 bits) – parte baja	40769155
DH	Dirección destino (64 bits) – parte alta	0
DL	Dirección destino (64 bits) – parte baja	FFFF
NI	Nombre del módulo	JEFE
API	Modo API	1

Tabla 3.3 Parámetros de configuración en nodo Coordinador [Elaboración propia]

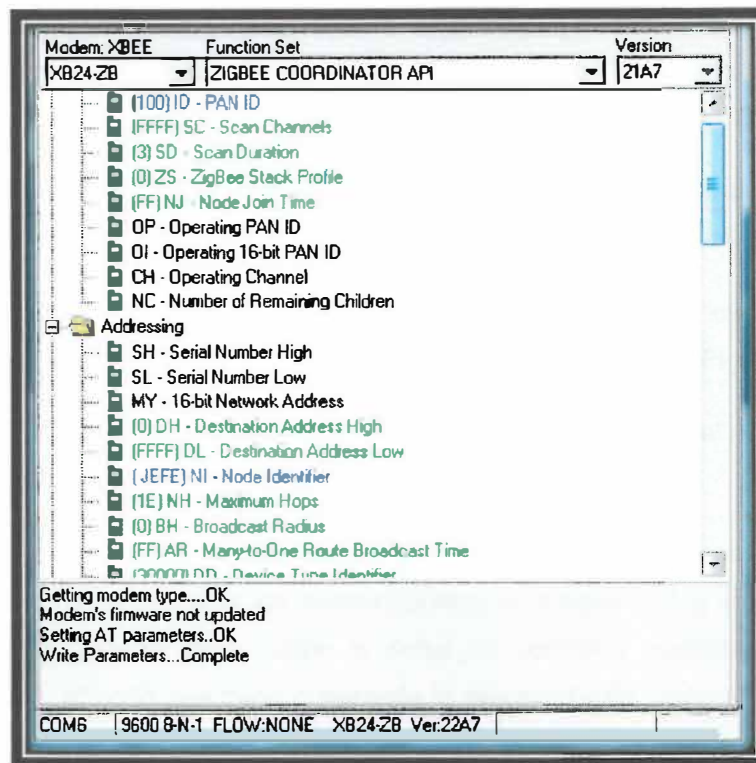


Fig. 3.9 Parámetros configurados en nodo Coordinador [Elaboración propia]

3.4.2.4 Código en Seeeduino

Luego de configurar el radio Xbee S2 del nodo coordinador, nos enfocamos en cargar el código en el microcontrolador de la placa que usaremos. Para ello seguimos los siguientes pasos:

- a. Primero debemos conectar la placa Seeeduino a la tarjeta UartSbee (el cual no debe contener al radio Xbee S2) y esta última, a su vez, al computador. Para ello, en el kit, encontramos un cable de 6 pines, donde el cable blanco va en el pin DTR y, el rojo en GND (en ambas placas). Debemos tener cuidado con ello, ya que una mala conexión puede dañar al microcontrolador.
- b. Luego, abrimos la aplicación IDE Arduino y creamos el código fuente que se encargará de procesar los datos que reciba de los sensores y enviar datos a la salida hacia las electroválvulas a fin de mantener un riego automático.

- c. Una vez que hemos terminado de realizar el código fuente, nos vamos al menú “Herramientas” y seleccionamos la tarjeta “Arduino Fio” que cumple para este caso porque tiene las mismas características que nuestra placa Seeeduino.
- d. En ese mismo menú de “Herramientas”, también fijamos el puerto serial COM en el que se cargará el código y que corresponde al nodo coordinador.
- e. Damos click a “verificar” y si todo está OK, damos click a “cargar”. Debemos verificar en la barra de estado el mensaje “carga terminada” (Fig. 3.10).
- f. Una vez hecho esto, nuestro programa está en la memoria del microcontrolador Atmega 328P listo para la aplicación.
- g. Al único que le estamos asignando un microcontrolador es a este nodo, ya que se encarga de procesar los datos recibidos en tramas API, y luego enviarlos al software Labview para recibir la señal de control y enviarla en trama API también, al nodo que tiene conectada la electroválvula. Este nodo maneja una tabla con múltiples direcciones dinámicas para recibir y enviar la data.

```

sketch_nov29a_SENSORHUMEDADSUERO | Arduino 1.0.5
Archivo Editar Sketch Herramientas Ayuda

sketch_nov29a_SENSORHUMEDADSUERO

Sensor Humedad de suelo conectado a AD1/DI01(pin19) del Xbee2

float tens;
double percent;
Void setup() {
  Serial.begin(9600); // inicia comunicacion ser
};

void loop() {
  if (Serial.available() >=21) { // devuelve el num
    if (Serial.read() == 0x7E) { // verifica s
      for (int i = 1; i < 19; i++) { //
        byte discardByte = Serial.read()
      }

      int analogMSB = Serial.read(); // lee par
      int analogLSB = Serial.read(); // lee par
      int analogReading = analogLSB + (analogMS
  }
}

```

Fig. 3.10 Código fuente en software IDE Arduino [Elaboración propia]

3.4.2.5 Diagramas de Flujo

En la Fig. 3.11 se muestra el proceso que realiza el nodo Coordinador para manejar sus entradas y salidas y la forma en que se comunica con los otros nodos y con el computador.

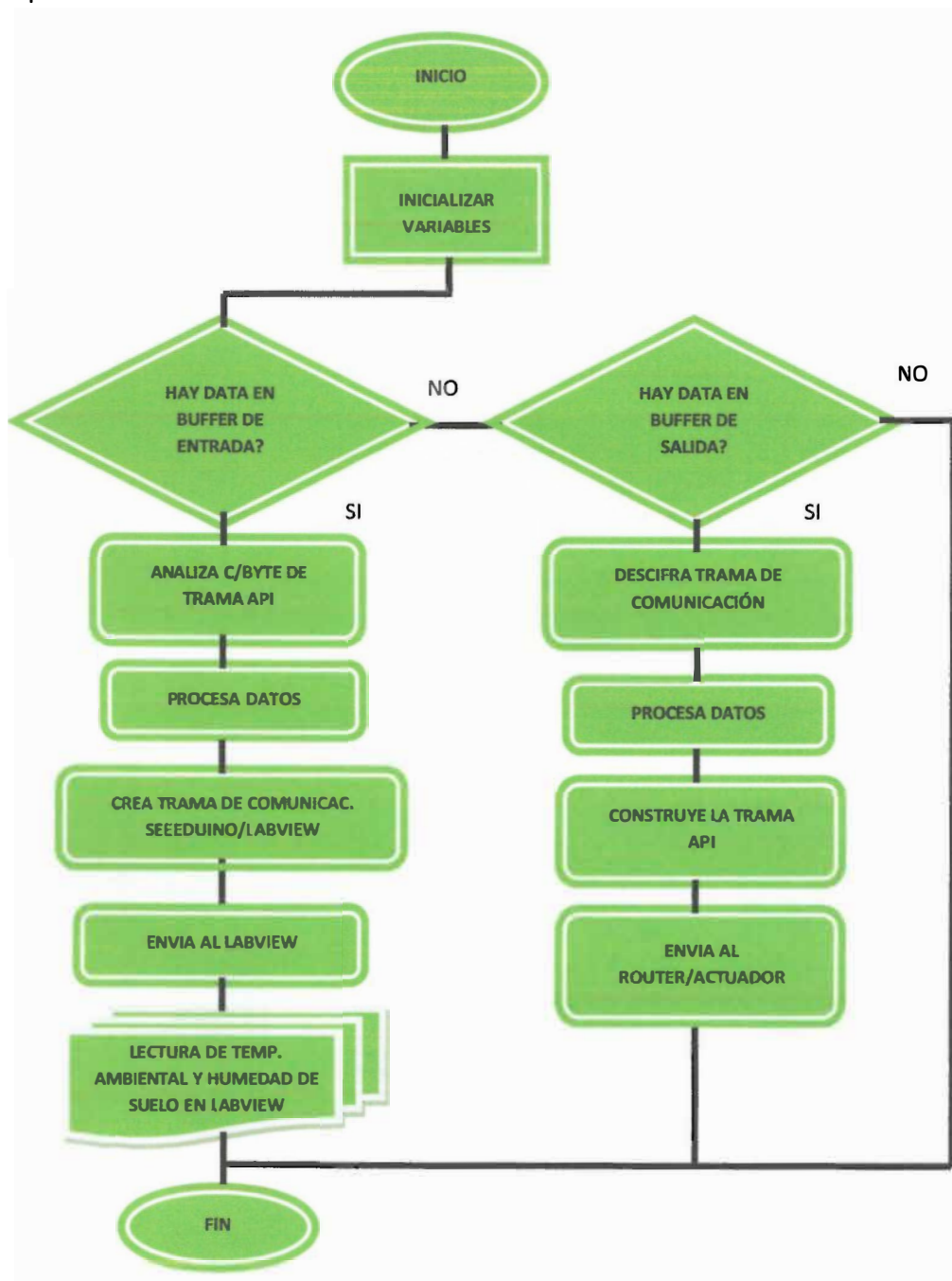


Fig. 3.11 Diagrama de flujo principal de nodo Coordinador [Elaboración propia]

En la Fig. 3.12 se muestra el proceso principal de captura de datos del sensor LM35 y el camino que sigue desde la toma de datos hasta la transmisión inalámbrica e impresión en pantalla del computador, a través del nodo Coordinador.

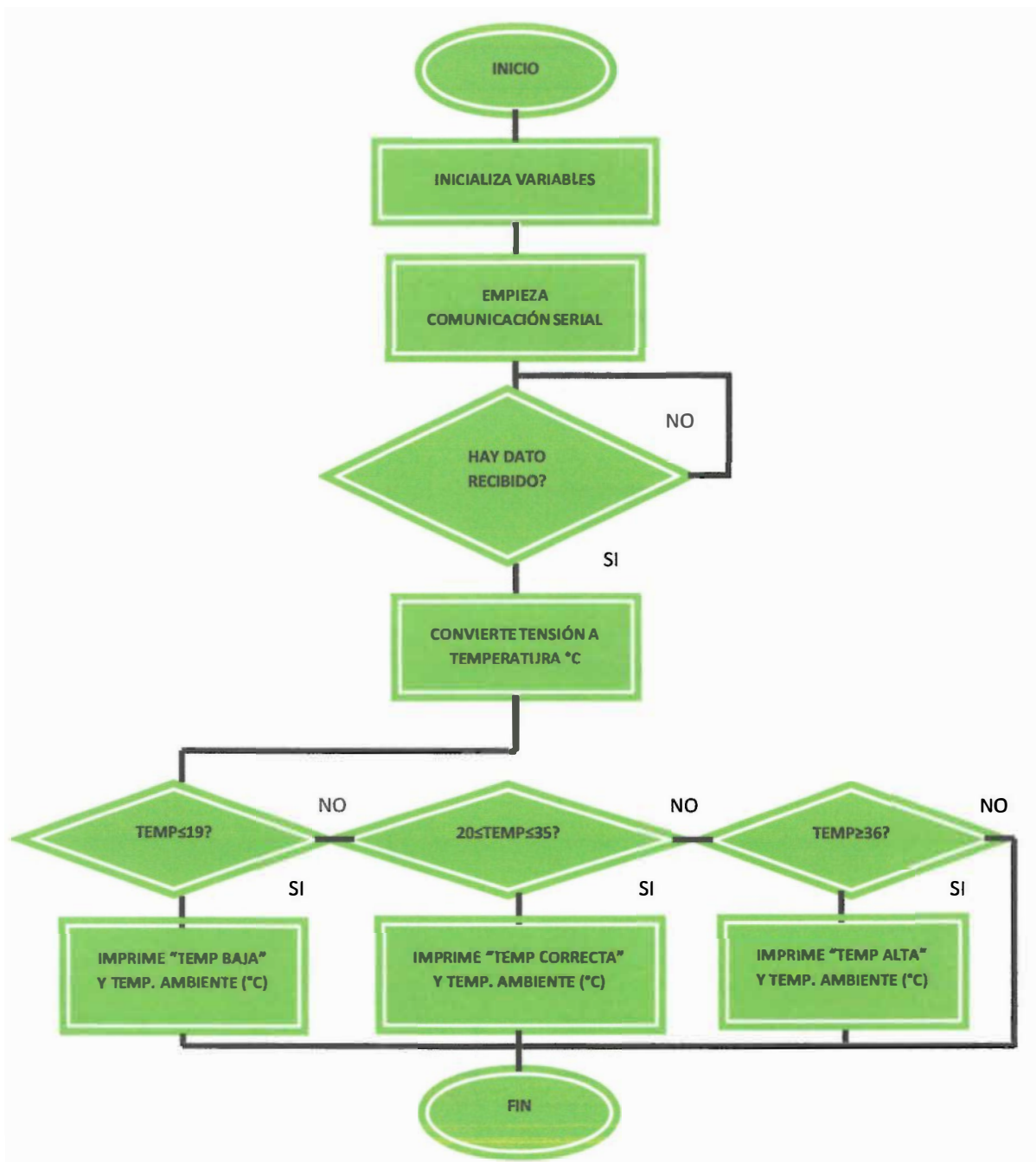


Fig. 3.12 Diagrama de flujo principal de sensor LM35 [Elaboración propia]

En la Fig. 3.13 se muestra el proceso principal de captura de datos del sensor SEN92355P y cómo es que toma los datos para luego transmitirlos de manera inalámbrica al nodo Coordinador, quien se encarga de mostrarlos en el computador.

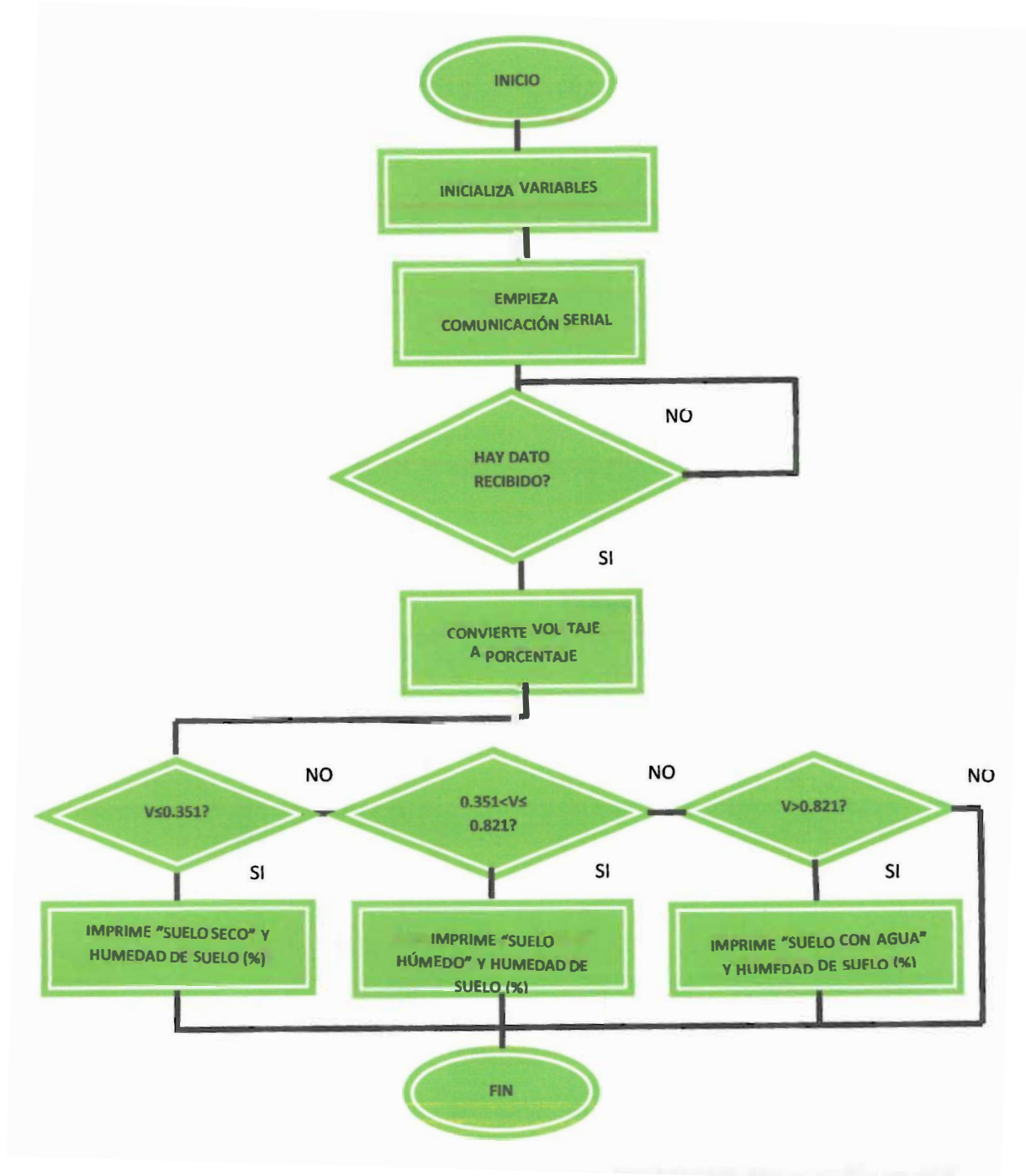


Fig. 3.13 Diagrama de flujo principal de sensor SEN92355P [Elaboración propia]

3.4.3 Tercera Etapa: Nodo Router/actuador y Puesta en Marcha de Riego

3.4.3.1 Misión y Características

Este nodo, también debe estar unido a la red con el mismo ID (identificador de red PAN) y CH (canal de comunicación), para que sea capaz de retransmitir la información de otros nodos o poner en marcha las electroválvulas e iniciar el riego. Como es enrutador deja que la información pueda viajar desde el computador hacia un punto lejano, para que llegue la señal de control al nodo correspondiente.

3.4.3.2 Diseño de Hardware de Nodo Router/actuador

El nodo que se propone a continuación, está conformado por un módulo Xbee para la comunicación inalámbrica con los demás nodos. Además de ello, a la salida de este, en el pin P0, irá conectado un actuador, en este caso la electroválvula propuesta, la cual funciona con 120VAC. Por otro lado, el módulo está conectado a una batería 9VDC, razón por la cual tenemos que hacer un pequeño circuito que separe la parte de control y potencia, a través de un optoacoplador (Fig. 3.14). En este caso colocamos un led para observar cuando llegue la señal de control.

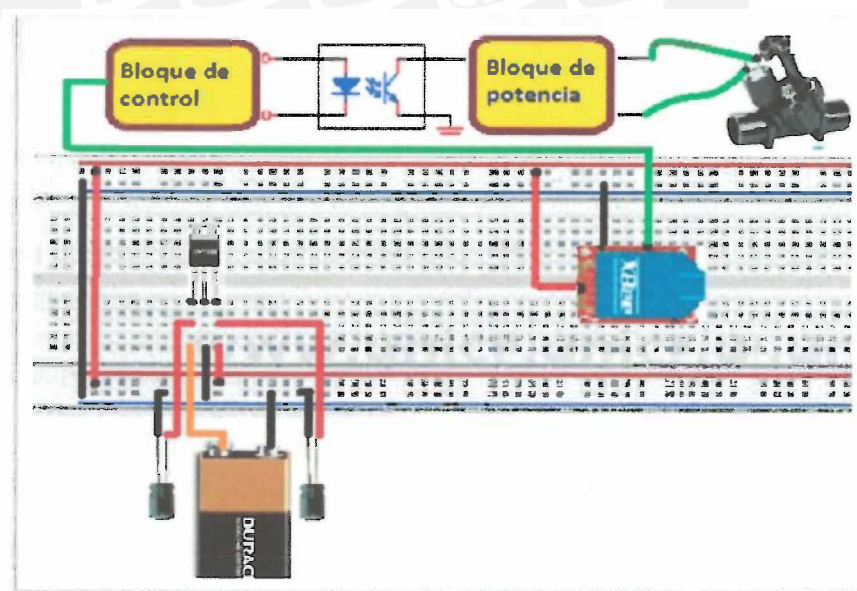


Fig. 3.14 Elementos que conforman el nodo Router/actuador
[Elaboración propia]

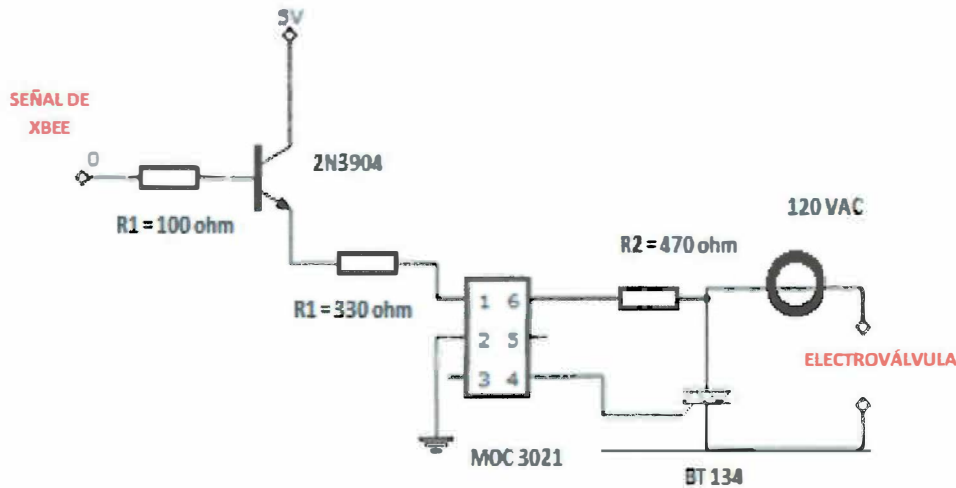


Fig. 3.15 Circuito entre Xbee S2 y electroválvula [Elaboración propia]

Los elementos utilizados para el circuito (Fig. 3.15) son:

- Un optoacoplador MOC3021 para aislar la parte de control de la de potencia.
- Un transistor 2N3904 conectado a la fuente de 5V
- Una resistencia de 100 ohm en la entrada del transistor y la salida del pin P0
- Una resistencia de 330 ohm para calibrar la corriente que pasa por el led.
- Una resistencia de 470 ohm
- Un triac: BT134
- Una electroválvula que funciona a 120 VAC
- Una fuente de tensión alterna AC para energizar la electroválvula (no considerada en la tesis)

3.4.3.3 Configuración del Módulo Xbee S2

Este modulo sera configurado en modo AI y, al igual que los otros, primero se conecta al computador y luego se siguen los pasos explicados en el apartado 3.4.1.3 (a-c).

Luego de ello buscamos las variables de la Tabla 3.4 y colocamos los valores asignados para luego dar un click en "Write" y grabar la configuración en el dispositivo. Se debe tener en cuenta que al momento de configurar los puertos I/O (entrada/salida), le asignamos el P0 (pin 6) como salida y señal que irá a la electroválvula.

En la Fig. 3.16 se muestra esa configuración en el software X-CTU.

MODO AT		
Variable	Descripción	Valor (0x)
ID	Identificador de red PAN	100
SD	Tiempo de escaneo	3
CH	Canal libre elegido	13
JV	Aviso de unión a la red	1
SH	Dirección de serie (64 bits) – parte alta	0013A200
SL	Dirección de serie (64 bits) – parte baja	40769179
DH	Dirección destino (64 bits) – parte alta	0
DL	Dirección destino (64 bits) – parte baja	0
NI	Nombre del módulo	ROUTER/RIEGO
P0	Configuración DIO10/PWM0	4 (Digital output)

Tabla 3.4 Parámetros de configuración en nodo Router/actuador [Elaboración propia]

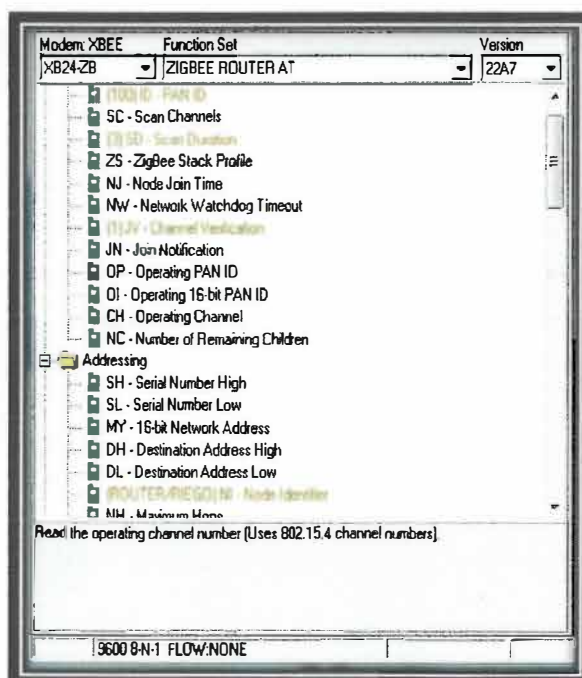


Fig. 3.16 Parámetros configurados en nodo Router/actuador [Elaboración propia]

3.4.3.4 Diagrama de Flujo

En la Fig. 3.17 se explica el proceso de este nodo, cómo es que recibe la señal del coordinador y acciona la electroválvula para que a partir de esta se enciendan los aspersores a los cuales controla. El objetivo es el de poder distribuir correctamente los aspersores en el terreno y realizar un riego óptimo donde se utilice la cantidad de agua correcta sin filtraciones ni charcos

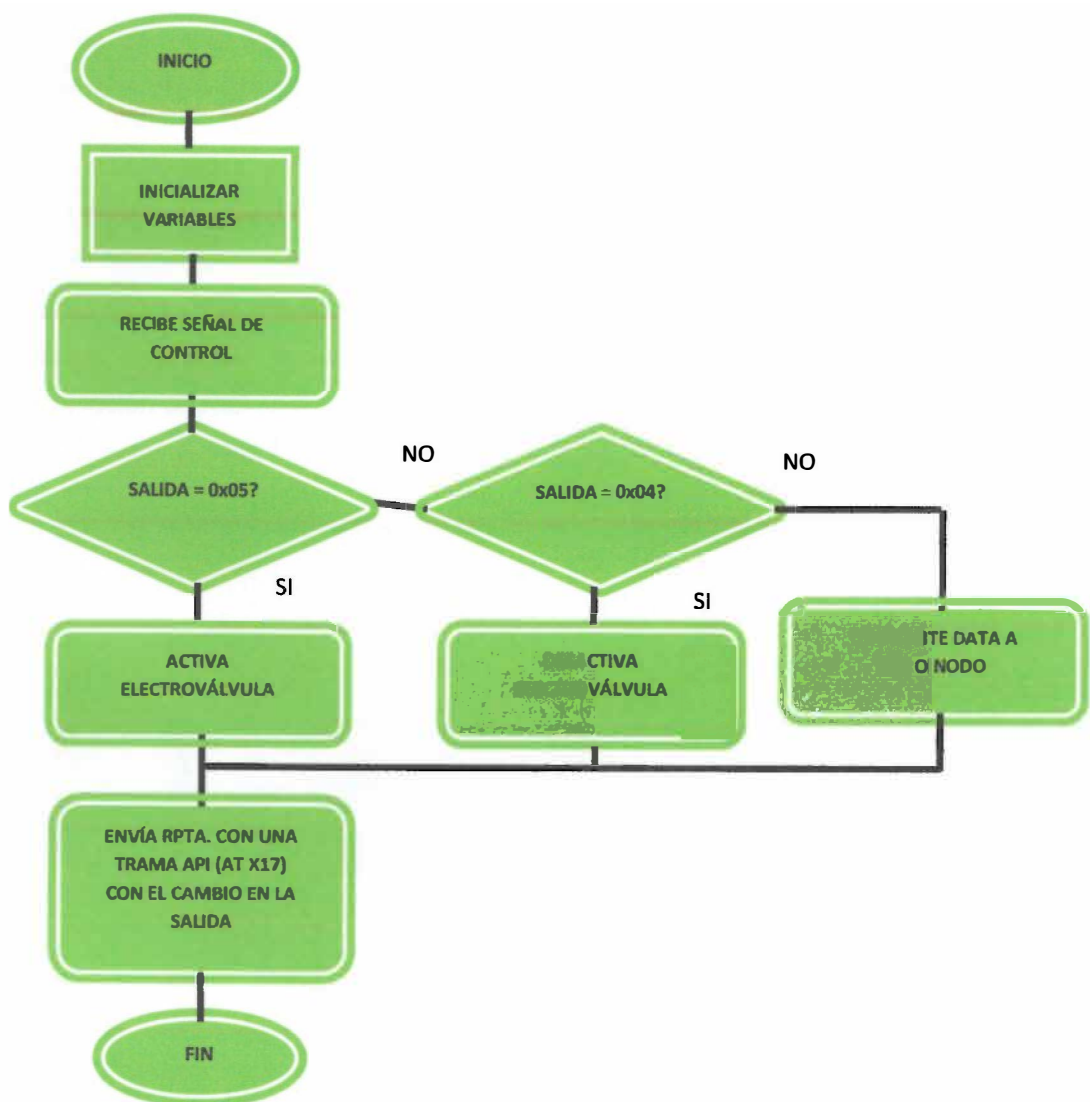


Fig. 3.17 Diagrama de flujo principal de nodo Router/actuador [Elaboración propia]

3.5 Sistema de Control

3.5.1 Programa en Labview

Primero que nada, se debe cargar a la placa Seeeduino, el firmware Labview a través del sketch que lo encontramos en el siguiente link (cuando ya se descargó el toolkit de Labview): "C:\Program Files\National Instruments\LabVIEW 2012\vi.lib\LabVIEW Interface forArduino\Firmware\LIFA Base". Esto permite interactuar a la placa con el programa de control. El archivo que vamos a cargar en el microcontrolador se denomina "LVIFA BASE". Posterior a esto, pasamos al diseño en Labview.

Para la visualización del encendido y apagado de las electroválvulas, dispone de la interfaz mostrada en la Fig. 3.18, que será la encargada de mostrar cuando es que se activa el riego, así como de proporcionar los mandos para poder manipular de forma manual o automática. En ella, también se encuentran los indicadores de los parámetros sensados, es decir humedad de suelo y temperatura ambiental. Toda esta comunicación se realiza a través del puerto serie hacia el XBee Coordinador. Además, esta aplicación guarda en una base de datos los registros de todas las tramas.

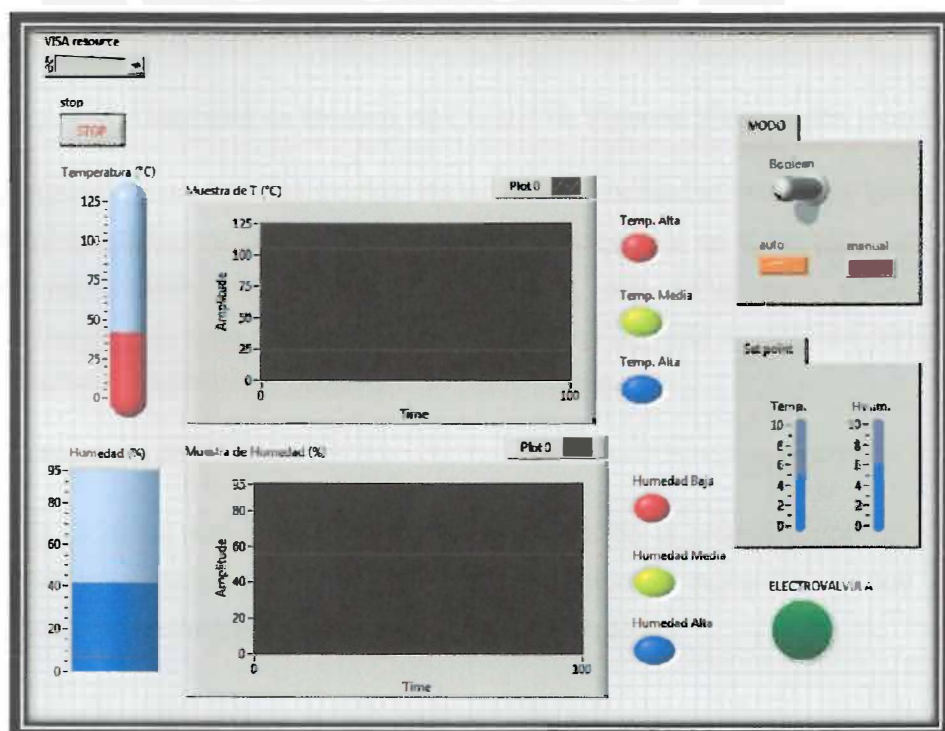


Fig. 3.18 Interfaz de indicadores y control del diseño en Labview [Elaboración propia]

En este apartado se describe la parte software encargada del control de la aplicación. Dispone de controles manuales que puede manejar el usuario, así como de un modo automático, en el que la aplicación intenta mantener la consigna indicada mediante su algoritmo de control. A continuación se muestra el diagrama de bloques (Fig. 3.19).

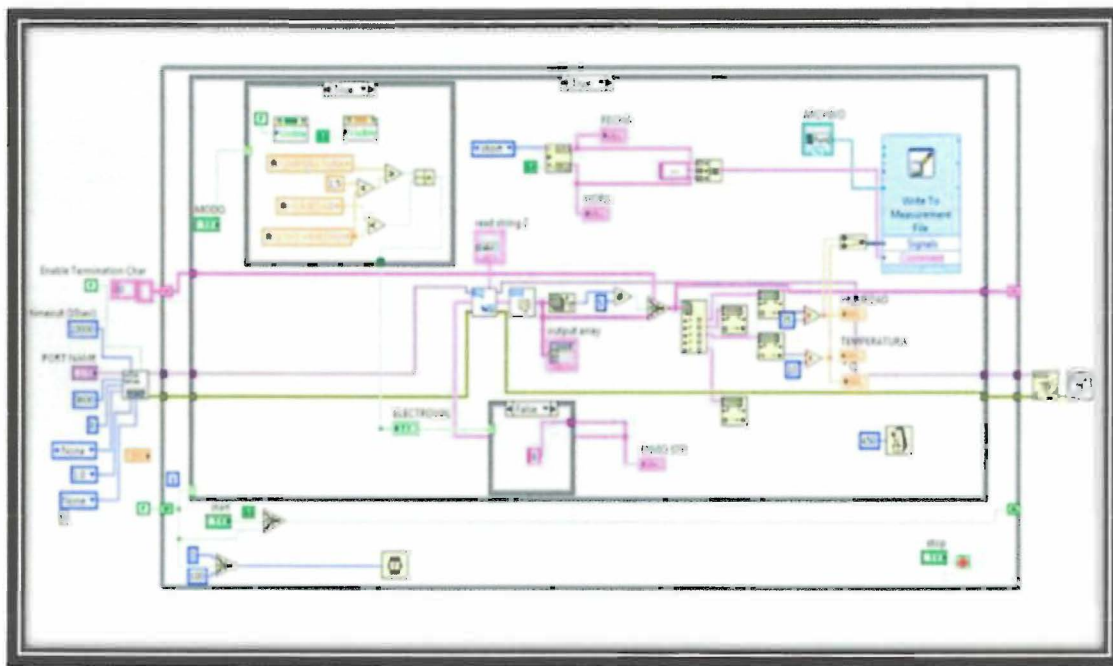


Fig. 3.19 Diagrama de Bloques de Control de Sistema [Elaboración propia]

Este programa lo que hace es mostrar las lecturas de humedad de suelo y temperatura ambiental que recoge a través de los sensores desplegados en el terreno. Cuando los valores están fuera del rango correcto, envía una señal para encender las electroválvulas y de esta manera mantener el terreno agrícola en óptimas condiciones para el óptimo crecimiento y desarrollo de piñón blanco.

3.5.2 Diagrama de Flujo

En la Fig. 3.20 se muestra el diagrama de bloques de la programación gráfica que sigue nuestro sistema para mantener la temperatura y humedad en los rangos requeridos y cuyos valores se encuentran en el apartado 3.1

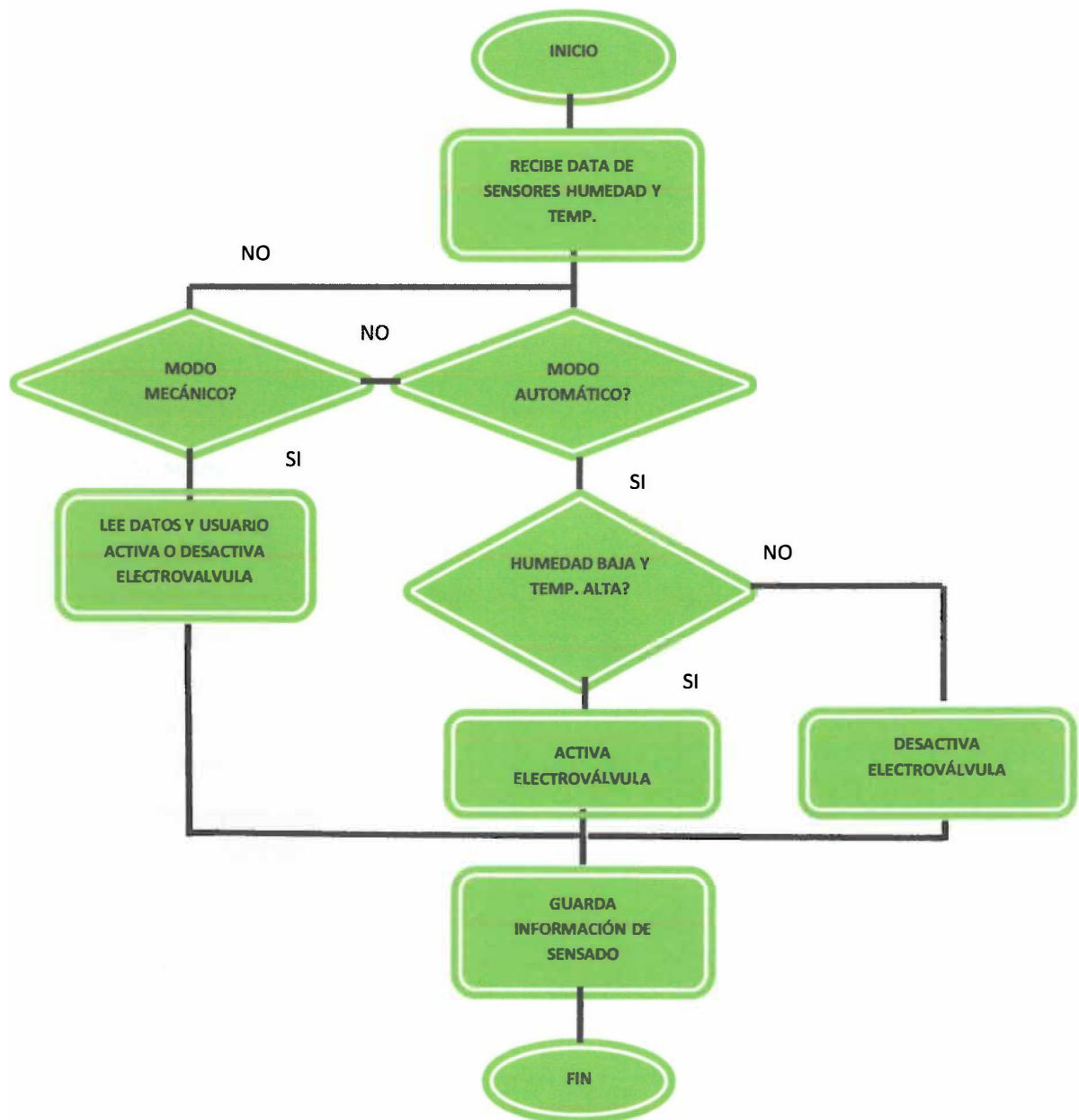


Fig. 3.20 Proceso de control en Labview [Elaboración propia]

CAPÍTULO 4

SIMULACIONES, PRUEBAS Y ANÁLISIS DE COSTOS

4.1 Comunicación entre Módulos Xbee

Con la siguiente imagen (Fig. 4.1) se comprueba que nuestros módulos Xbee S2 se pueden comunicar sin inconvenientes. Para ello, se conectó el nodo Coordinador al computador, reconociéndolo este por el puerto COM 4. Lo mismo hicimos con el nodo Router/sensor, el cual se reconoció en el puerto COM 6. Luego de ello, repetimos el mismo procedimiento pero reemplazando el nodo Router/sensor por el nodo Router/actuador. De esta manera se verificó que los nodos se podían comunicar entre ellos, previa configuración a cada uno según su función. Las letras azules indican quien es el transmisor y las letras rojas, el receptor.

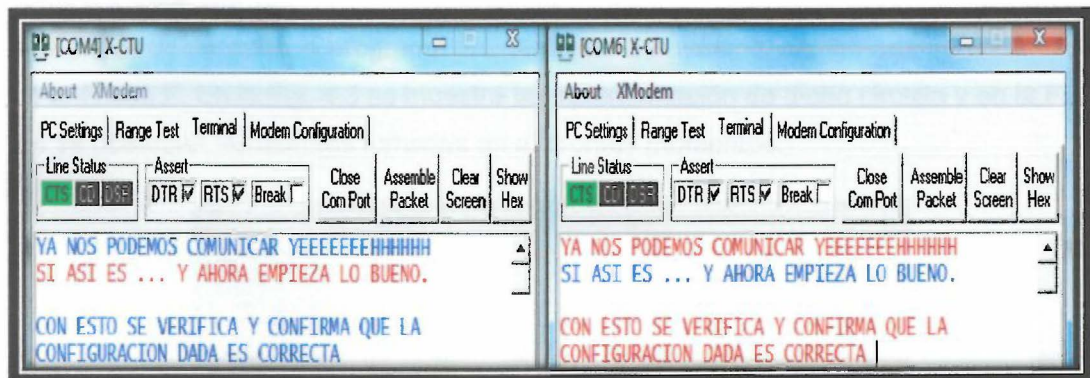


Fig. 4.1 Comunicación entre módulos Xbee S2 [Elaboración propia]

Por otro lado, haciendo uso de los parámetros AT, los cuales se incluyen por defecto en todos los módulos Xbee, comprobamos cuales son los nodos conectados a cada uno de ellos. Esto se logró de la siguiente manera: la ventana izquierda nos permite escribir en formato ASCII y al costado derecho se muestran sus equivalentes en hexadecimal. Al escribir +++, entramos al modo comando y con el comando "ATND" observamos que ambos nodos estaban conectados. Cada uno muestra la información

del nodo con el que se conectó, mediante dirección de fábrica (64 bits), dirección dinámica (16 bits) y nombre del dispositivo (Fig. 4.2).

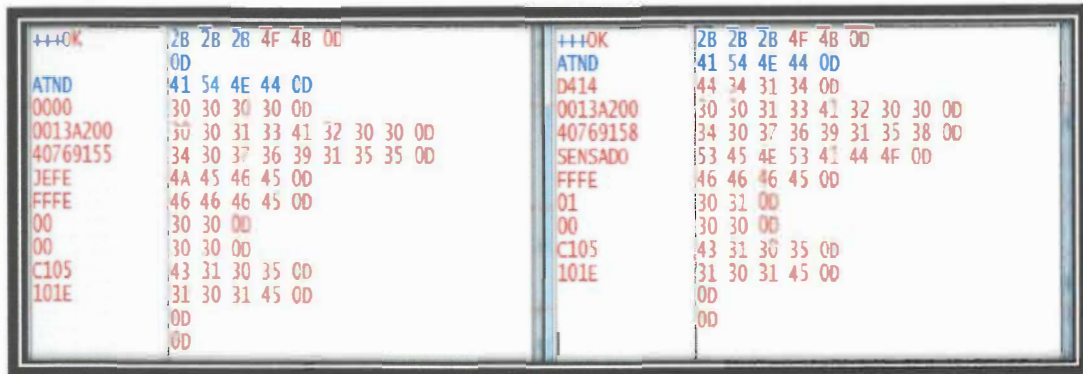


Fig. 4.2 Características de módulos Xbee S2 conectados [Elaboración propia]

4.2 Lectura de Temperatura Ambiental a través del nodo Router/sensor

Luego de comprobar la conectividad entre el nodo Router/sensor y el nodo Coordinador, se conectó el sensor LM35 al pin D0 del primero para que, a través de este, ingrese la temperatura medida en el ambiente y luego sea registrada por el segundo. Una vez que el nodo Coordinador recibe la data, esta es mostrada en el monitor serial de nuestro programa IDE Arduino, a través del código que se encuentra en el Anexo F. En la Fig. 4.3 se muestra la implementación de dicho circuito y en la Fig. 4.4 se observan las lecturas tomadas en diferentes momentos.

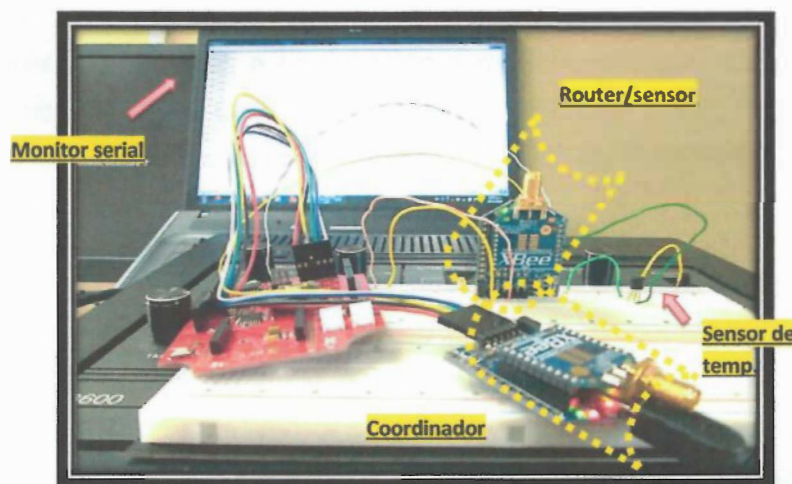


Fig. 4.3 Transmisión Inalámbrica de Temperatura en el exterior [Elaboración propia]

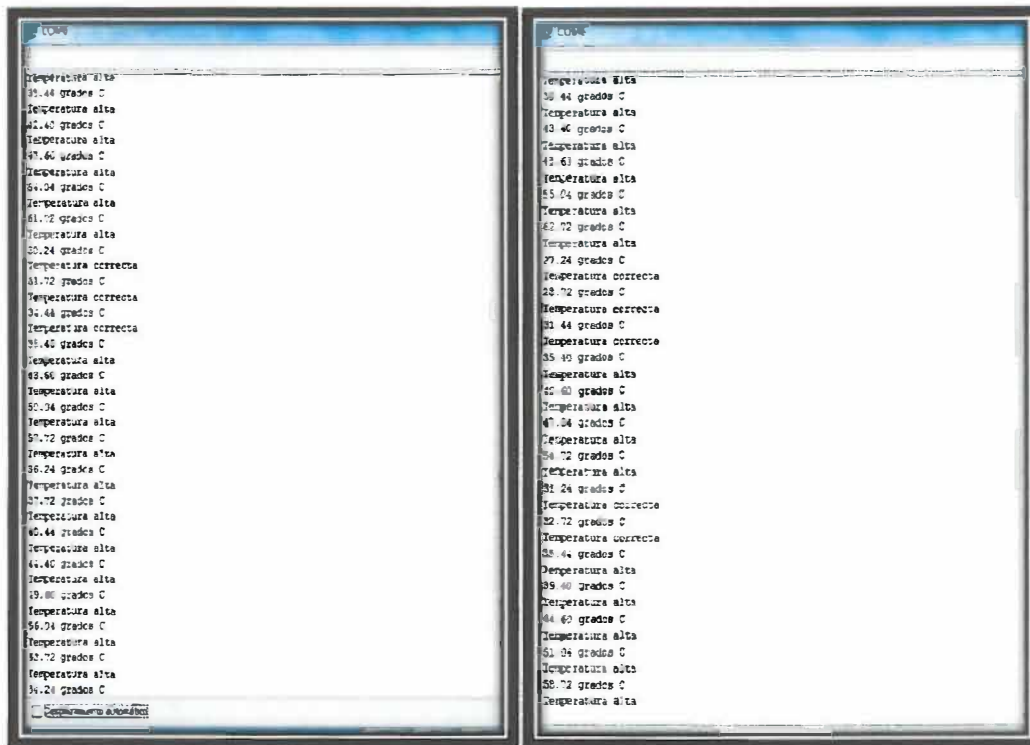


Fig. 4.4 Lectura de Temperatura Ambiental en Monitor Serial [Elaboración propia]

4.3 Lectura de Humedad de Suelo a través del nodo Router/sensor

Para medir la humedad de suelo, primero se verifica la correcta conexión entre el nodo Router/sensor y el nodo Coordinador. Luego se conecta el sensor SEN92355P al pin D1 del primer nodo, el cual, a continuación, toma muestras para luego enviarlas de forma inalámbrica al nodo Coordinador en tramas API. Este último, ni bien las recibe, las muestra en el monitor serial del programa IDE Arduino, a través del código que se encuentra en el Anexo G.

En la Fig. 4.5, se observa los tres tipos de suelo (seco, húmedo o con agua) en los que se tomaron lecturas diferentes para observar el valor el comportamiento del sensor en cada caso. Por otro lado, en la Fig. 4.6, se ve cómo es que el nodo Coordinador se comunica con el nodo Router/sensor a través de una luz que enciende y parpadea al mismo tiempo en ambos indicando la transmisión de data, la cual se presenta en la pantalla del computador, tal como lo indica la Fig. 4.7

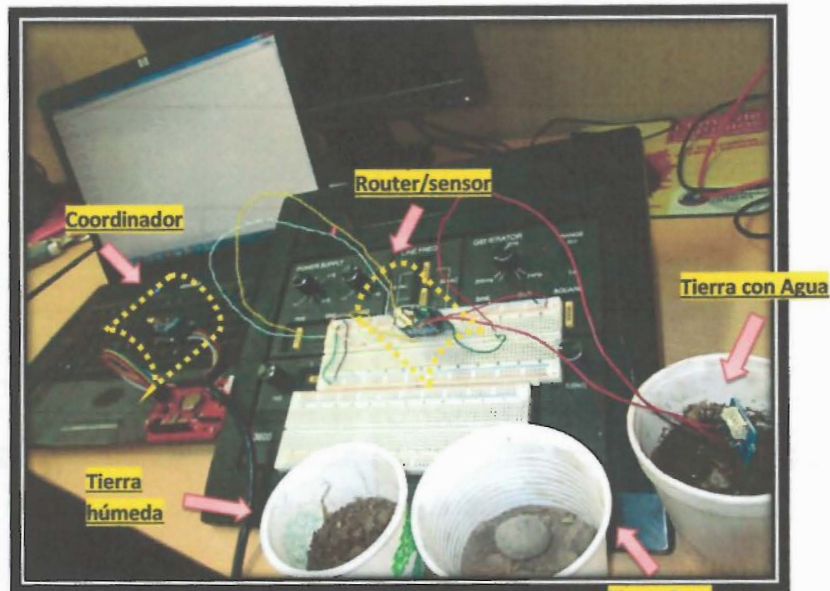


Fig. 4.5 Tipos de tierra y sus mediciones [Elaboración propia]

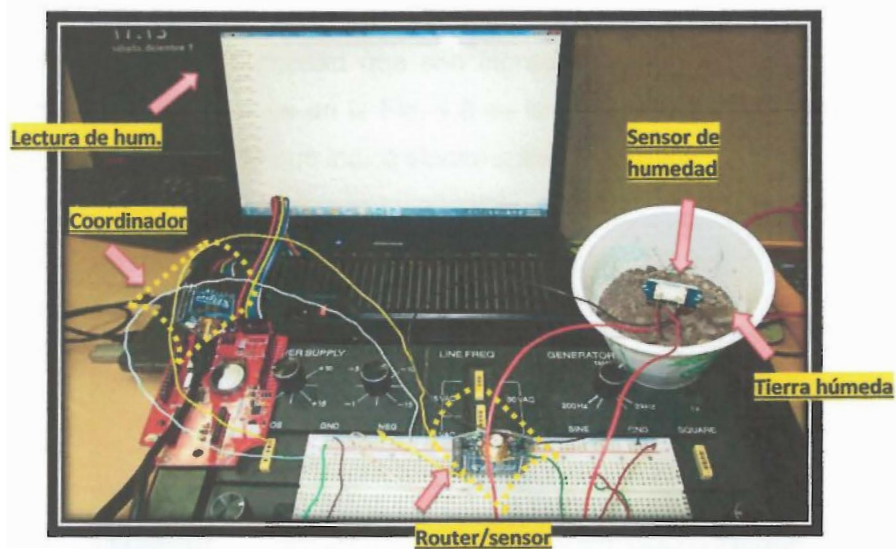


Fig. 4.6 Transmisión Inalámbrica de Humedad en Suelo Húmedo [Elaboración propia]

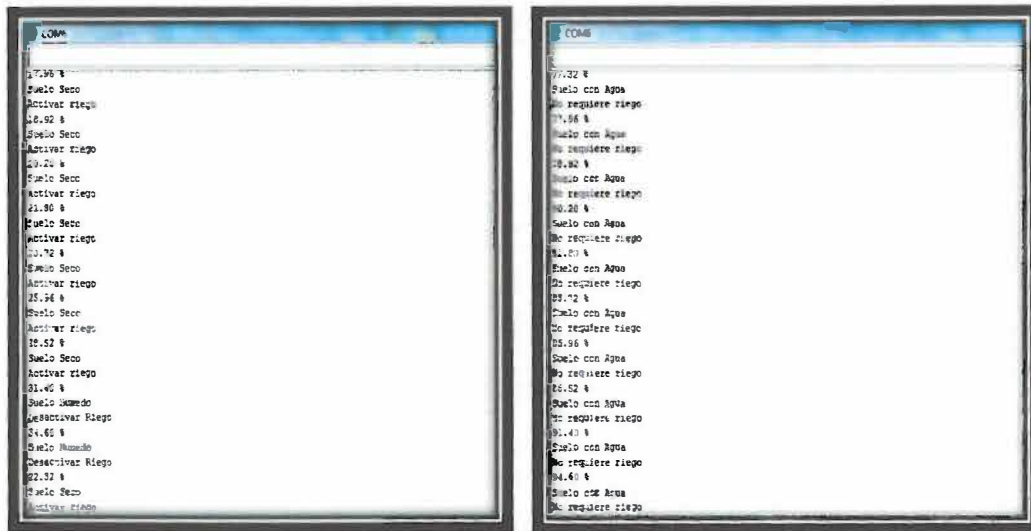


Fig. 4.7 Lectura de Humedad de suelo en Monitor Serial [Elaboración propia]

4.4 Activación/Desactivación de Electroválvula

Se realizaron pruebas entre el nodo Coordinador y el nodo Router/actuador para verificar que efectivamente el primero envía una trama API al segundo, en la cual le indica si la salida de este último debe activar la electroválvula o desactivarla, según los valores de temperatura y humedad que son ingresados y procesados a través del Labview. Ante ello, lo que se ve en la Fig. 4.8 es la transmisión y recepción digital, a través de un led en cada nodo que indica sincronización entre los mismos.

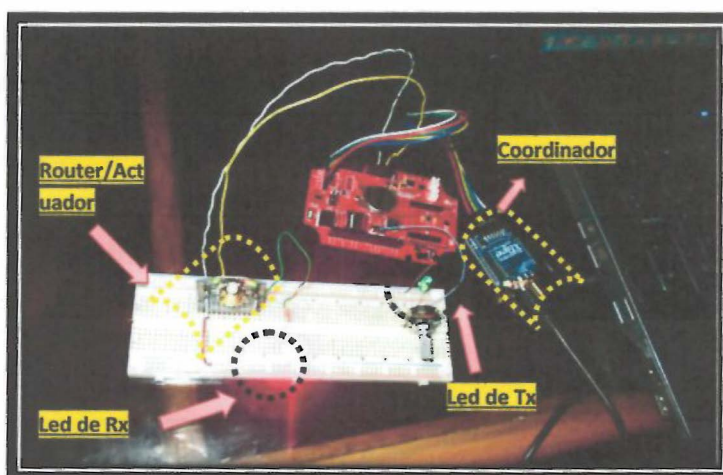


Fig. 4.8 Lectura de Humedad de Suelo en Monitor Serial [Elaboración propia]

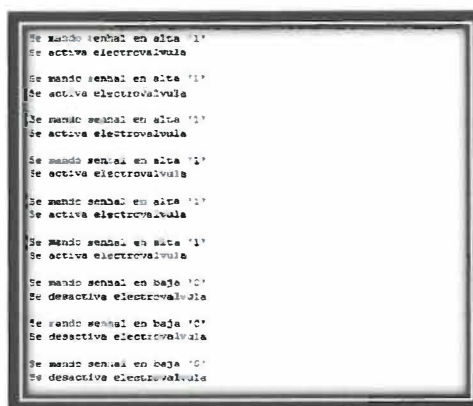


Fig. 4.9 Monitor Serial que muestra señal que sale del nodo Coordinador
[Elaboración propia]

La señal que sale del nodo Router/actuador es un '0' o un '1', según lo que muestra el monitor serial en la Fig. 4.9. Entonces esta señal entra al circuito de potencia y es lo que permite activar o desactivar la electroválvula. Previamente esta señal es enviada como una trama API desde el nodo Coordinador al nodo Router/actuador como se indica en el Anexo H.

4.5 Simulación de Control en Labview

Se utilizó un programa en Labview que simula la parte de control de la siguiente manera: cuando el nodo Coordinador recibe la data de Temperatura ambiental y Humedad de suelo, esta se procesa (Fig. 4.10) y se muestra en la interfaz de la Fig. 4.11, y según ello, se activa o desactiva una electroválvula, es decir se envía una señal al nodo Coordinador, la cual se puede mostrar mediante el led verde de la interfaz. Este color fue elegido para representar el led de la Fig. 4.8

Entonces, la lógica a seguir fue la siguiente: "La electroválvula solo se encenderá cuando la Temperatura es alta y la Humedad es baja ($T \geq 36$ y $H \leq 24$)". En cualquiera de los otros casos se desactivará. Además de ello se proporciona un switch para elegir el modo de operación (manual o automático) según la necesidad en ese momento.

Por ejemplo, en la Fig. 4.11, se observa unas gráficas que representan la temperatura y humedad e indican, para este caso, lo siguiente: en un inicio la electroválvula esta desactivada, pero cuando la temperatura aumenta más de 35°C y la humedad permanece baja ($< 25\%$), entonces, el led que representa a la electroválvula se enciende simulando la necesidad de riego, el cual puede hacerse de forma manual o

automática, a través del switch que se encuentra en la interfaz y a gusto del usuario. Luego, la humedad aumenta más de 49%, ello indica que hay humedad alta y la temperatura permanece alta ($>35^{\circ}\text{C}$), lo cual hará que el led que representa a la electroválvula se apague, indicando que ya no se necesita riego.

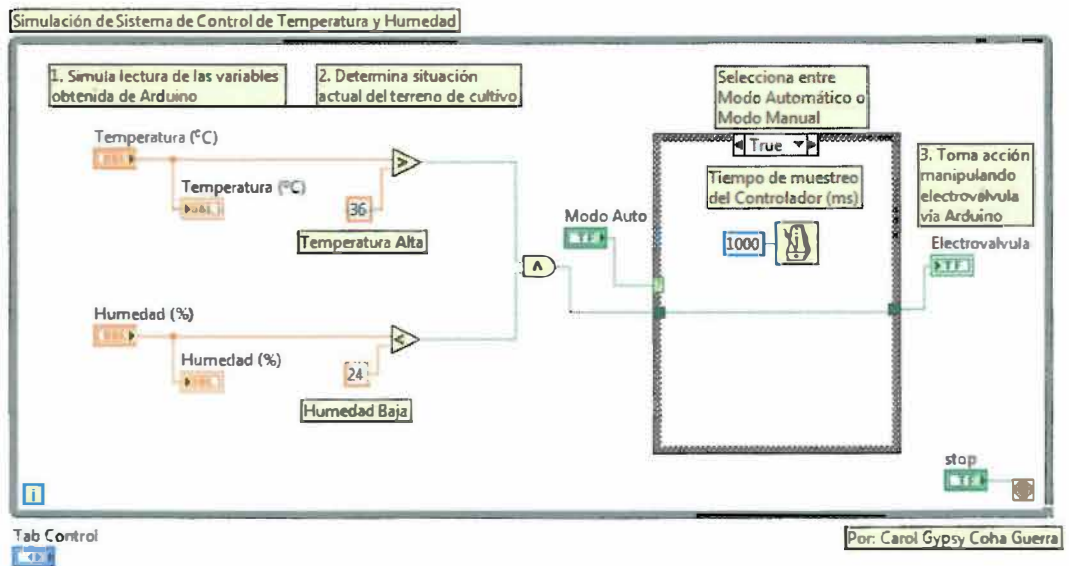


Fig. 4.10 Diagrama de Bloques de la Simulación de Control [Elaboración propia]

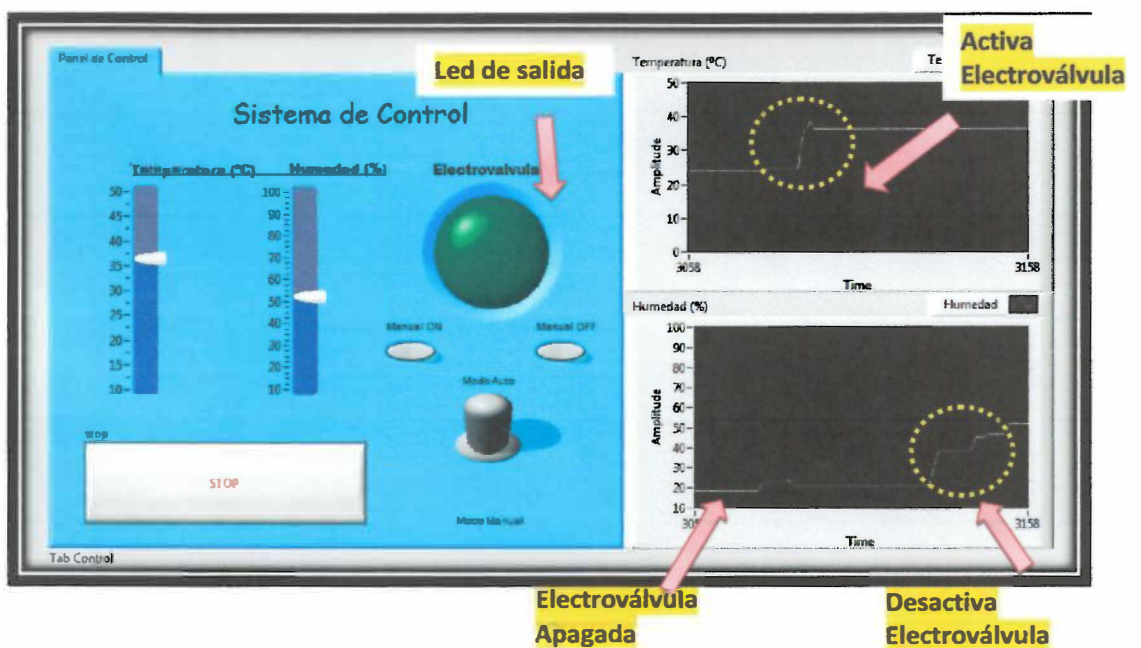


Fig. 4.11 Interfaz de Monitoreo y Control [Elaboración propia]

4.6 Tabla de inversión de capital

Se presenta, a continuación, una tabla con los costos que demanda un diseño como el presentado en este proyecto de tesis. De esta manera la persona encargada de implementarlo podrá evaluar el capital que se necesita incluyendo el coste de materiales, mano de obra, equipos y materiales adicionales. Sin embargo, cabe resaltar que no se incluye el coste de electroválvula ni fuente de energía alterna AC.

Cabe señalar que los precios están actualizados al mes de diciembre del 2013 y se considera un 10% adicional por temas de variabilidad de precios en el tiempo. Además de ello, también se prevee una reserva del 10% para gastos adicionales que puedan surgir en el momento de la realización de este proyecto.



ITEM	EQUIPO	MARCA	MODELO	PRECIO UNITARIO (US\$)	CANT.	PRECIO TOTAL (US\$)
1	Kit Seeeduino Stalker incluye: Placa Seeeduino Stalker V2.3 Batería de Litio 980mAh Memoria microSD de 2GB Cable mini USB Cable de 6 pines Caja que protege al circuito Panel solar 0.5W Pila botón CR2032	Seeed Studio	V2.3	59.5	1	59.5
				39	1	39
				3.9	1	3.9
				4.2	1	4.2
				1	1	1
				1.5	1	1.5
				4.9	1	4.9
				3.7	1	3.7
			1.3	1	1.3	
2	Adaptador USB a Serial	Seeed Studio	Uartsbee	15.5	5	77.5
3	Xbee Explorador Regulado	Digi	-	11.9	9	107.1
4	Antena 5dBi 2.4GHz	Digi	RPSMA hembra	10	10	100
5	Módulo Xbee	Digi	S2	28.5	10	285
6	Sensor de humedad	Grove	SEN92355P	4.9	9	44.1
7	Sensor de temperatura	-	LM35	1.6	9	14.4
8	Batería de 9V250mAh	Camelion	Camelion	7.2	9	64.8
9	Cargador de baterías de 9V	Miyako U.S.A.	Miyako U.S.A.	12.1	9	108.9
10	Regulador de tensión a 5V	-	LM7805	1	9	9
11	Condensador de 0.33 uF	-	electrolítico	0.2	9	1.8
12	Condensador de 0.1 uF	-	electrolítico	0.2	9	1.8
13	Pines Header	-	-	0.5	10	5
14	Optoacoplador	-	MOC3021	1	3	3
15	Transistor	-	2N3904	0.5	3	1.5
16	Resistencia 100 ohm	-	-	0.2	3	0.6
17	Resistencia 330 ohm	-	-	0.2	3	0.6
18	Resistencia 479 ohm	-	-	0.2	3	0.6
Total Materiales (US\$)						885.2
Mano de Obra (US\$)						80
Ingeniería (Planos, MMDD, etc)						170
Total del Proyecto						1135.2
Adicionales e Imprevistos (10%)						113.52
Total del Proyecto y Adicionales						1248.72
Variabilidad de precios (10%)						124.87
Costo Total proyectado (US\$)						1373.59

Tabla 4.1 Costos de Proyecto [Elaboración propia]

CONCLUSIONES

1. Se diseñó un prototipo de red inalámbrica tipo árbol basada en el estándar Zigbee, para el monitoreo de humedad de suelo y temperatura ambiental, las cuales determinaron el encendido y apagado de la electroválvula. Este sistema fue diseñado para un tipo de cultivo, en este caso, piñón blanco; sin embargo, podrá ser utilizado en múltiples productos agrícolas.
2. Se logró elegir el estándar Zigbee, como base para la comunicación inalámbrica de nuestra red. Esto debido a las ventajas que otorga sobre las otras tecnologías, tales como mayor tiempo de vida, uso de saltos, escalabilidad, bajo costo y menos hardware.
3. El sistema de monitoreo se complementó con un programa realizado en Labview, el cual se encargó, a través de la descarga de las librerías correctas, el reconocimiento de la placa Seeeduino conectado a este. De esta manera, la entrada de los datos sensados (humedad y temperatura) permitió determinar el control de riego.
4. Se determinó que la topología utilizada (árbol o cluster) brinda una ventaja en comparación a las demás, ya que permite a otros nodos unirse a la red y transmitir/recibir data aunque se encuentren lejos del computador. Esto se logró a través de nodos Router que retransmiten la información hasta su destino. Por otro lado, se descartó la topología tipo malla, ya que la parcela es pequeña y no requiere de tantos elementos, por lo que estaríamos dejando de aprovechar los recursos que ofrece esta arquitectura.
5. Se determinó que los nodos pueden ahorrar energía y por lo tanto, tener mayor tiempo de vida si es que se los configura en “modo sleep” para que se mantengan en bajo consumo y cada cierto tiempo despierten para enviar o recibir data únicamente.
6. Se propuso un sistema de monitoreo inalámbrico de sensores como solución a la problemática del piñón blanco; no obstante los objetivos de este proyecto de tesis no abarcan el diseño de riego, por ejemplo la alimentación de electroválvula, que escapan al contenido de este documento.

RECOMENDACIONES

1. Para la comunicación inalámbrica, se pueden utilizar varios modelos de módulos Xbee. Razón por la cual, si vamos a trabajar a grandes distancias se puede optar por conseguir el modelo Xbee PRO S2, el cual tiene una mayor cobertura con y sin línea de vista y, como consecuencia de ello, se necesitarían un menor número de módulos. Además de ello, mediante una topología malla se podría aprovechar los recursos que ofrece este módulo, además de garantizar el buen funcionamiento de la red, aun cuando algún módulo deje de funcionar. Al estar toda la red conectada, automáticamente siempre habrá algún camino por donde pueda viajar la información. Esto es recomendable en terrenos de muy poco acceso para el hombre.
2. Se debe elegir una antena que permita una comunicación inalámbrica a mayor distancia para aprovechar mejor la cobertura.
3. Se deben ubicar los módulos Xbee procurando que tengan la mejor línea de vista posible, para garantizar que las comunicaciones sean eficientes. Además de ello, se debe colocar cada nodo en una caja según norma IP/NEMA para evitar la corrosión con protección, tal como IP66, la cual protege de las lluvias y el polvo.
4. Para una proyección a futuro se pueden utilizar otro tipo de sensores que complementen con mayor exactitud la data que se quiere leer y de esta manera activar o desactivar más actuadores. Tomando en cuenta las necesidades del área donde se realizaría la implementación.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] GUÍA TÉCNICA-AMBIENTAL PARA EL CULTIVO DE LA JATROPHA CURCAS (PIÑÓN BLANCO)
Oyuela Sandino, D.; Hernández, E.; Samayoa, S.; Bueso, C.; Ponce, O. Agosto, 2012.
URL:http://www.snvworld.org/sites/www.snvworld.org/files/publications/guia_bp_pinon_web.pdf
- [2] PROMOCIÓN DE JATROPHA EN SISTEMAS AGROFORESTALES EN SAN MARTÍN, PERÚ
Veen, Martijn. Informe de evaluación. Noviembre, 2011.
URL:http://www.snvworld.org/sites/www.snvworld.org/files/publications/informe_de_evaluacion_jatropha_san_martin.pdf
- [3] INTRODUCCIÓN AL CULTIVO DEL PIÑÓN
Oyuela Sandino, D. Manual Cultivo de Jatropha Curcas. Junio, 2012
URL:http://www.snvworld.org/sites/www.snvworld.org/files/publications/hn_introduccion_cultivo_pinon_manual_modulo_i.pdf
- [4] DIARIO VOCES EN TARAPOTO
URL:http://www.jatrophacurcasweb.com.ar/docs/ficha_tecnica_200807.pdf
- [5] MINISTERIO DE AGRICULTURA
URL:www.minag.gob.pe
- [6] DIARIO GESTIÓN
URL:<http://gestion.pe/economia/sector-agrario-representa-6-pbi-emplea-mas-25-pea-2061757>
- [7] DESENVOLVIMIENTO DEL COMERCIO EXTERIOR AGROEXPORTADOR
URL:<http://media.peru.info/siicex/resources/sectoresproductivos/679273806radEF13D.pdf>
- [8] DIAGNÓSTICO DE AGRICULTURA EN EL PERÚ
URL:http://www.peruopportunity.org/uploads/posts/34/Diagnostico_de_la_Agricultura_en_el_Peru_-_web.pdf
- [9] RESULTADOS DEFINITIVOS – IV CENSO NACIONAL AGROPECUARIO 2012
URL:<http://proyectos.inei.gob.pe/web/DocumentosPublicos/ResultadosFinalesIVCENAGRO.pdf>
- [10] RED MAYA DE ORGANIZACIONES ORGÁNICAS
URL:<http://www.redmayacasfa.org/retos/>
- [11] FUNDAMENTALS OF WIRELESS SENSOR NETWORK: THEORY AND PRACTICE (2010)
Dargie, W.; Poellabauer, Ch.

[12] WIRELESS SENSOR NETWORKS (2005)

Nirupama, B.; Jha, S.

[13] WIRELESS SENSOR AND HOC NETWORKS UNDER DIVERSIFIED NETWORK (2012)

Sarkar, S.

[14] DOMÓTICA, ENGADGET EN ESPAÑOL

[URL:http://es.engadget.com/tag/domotica/](http://es.engadget.com/tag/domotica/)

[15] HARVARD SENSOR NETWORK LAB

[URL:http://fiji.eecs.harvard.edu/CodeBlue](http://fiji.eecs.harvard.edu/CodeBlue)

[16] WIRELESS SENSOR NETWORKS AND ECOLOGICAL MONITORING

Mukhopadhyay, S.; Jiang, J. 2013, Springer-Verlag Berlin Heidelberg.Pag. 180-185

[17] DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA RED DE SENSORES PARA LA ADQUISICIÓN DE VARIABLES RELACIONADAS CON LA VIGILANCIA ESTRUCTURAL DE PUENTES

Magín, D.; Rubio, F.; Otárola Sánchez C.; Páez-Rueda, C. Colombia 2009. Universidad de Bogotá,

[URL:dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/3176211.pdf](http://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/3176211.pdf)

[18] HEALTH MONITORING OF CIVIL INFRASTRUCTURES USING WIRELESS

Sukun Kim; Pakzad, S.; Culler, D.; Demmel, J; Fenves, G.; Glaser, S.; Turon, M. Information Processing in Sensor Network, 2007. IPSN 2007.6th International Symposium on. Digital Object Identifier: 10.1109/IPSIN.2007.4379685. Pag. 254-263

[19] TRACKSS

[URL:http://www.trackss.net/technologies.html](http://www.trackss.net/technologies.html)

[20] CARING CARS

[URL:http://www.tid.es/netvehiculos/caringcars/portal/home.htm](http://www.tid.es/netvehiculos/caringcars/portal/home.htm)

[21] CONTROL AUTOMÁTICO DE CASA POR VOZ A TRAVÉS DE ANDROID

[URL:http://www.youtube.com/watch?v=RjTj0ymhbBw#t=93](http://www.youtube.com/watch?v=RjTj0ymhbBw#t=93)

[22] DESARROLLO DE APLICACIONES BASADAS EN WSN

Maroto S. 2010. Universidad Politécnica de Valencia.

[URL:http://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/8592/PFC%20-%20DESARROLLO%20DE%20APLICACIONES%20BASADAS%20EN%20WSN.pdf](http://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/8592/PFC%20-%20DESARROLLO%20DE%20APLICACIONES%20BASADAS%20EN%20WSN.pdf)

[23] IMPLEMENTACIÓN DE REDES INALÁMBRICAS DE SENSORES WSN PARA EL MONITOREO ESTRUCTURAL

Buelvas Contreras, D.; Hincapié Reyes, R. Universidad Pontificia Bolivariana, Medellín, Colombia

[URL:http://kosmos.upb.edu.co/web/uploads/articulos/%28A%29_Implementacion_de_redes_inalambricas_de_sensores_WSN_para_el_monitoreo_estructural_fNGGw.pdf](http://kosmos.upb.edu.co/web/uploads/articulos/%28A%29_Implementacion_de_redes_inalambricas_de_sensores_WSN_para_el_monitoreo_estructural_fNGGw.pdf)

- [24] POSICIONAMIENTO CON UNA RED DE SENSORES INALÁMBRICOS (WSN): IMPLEMENTACIÓN PARA UNA APLICACIÓN REAL
Egea Roca, D. Julio, 2009. UniversitatAutonoma de Barcelona
URL:http://www.recercat.net/bitstream/handle/2072/97337/PFC_DanielEgeaRoca.pdf?sequence=1
- [25] LOCALIZACIÓN DE NODOS DENTRO DE UNA RED INALÁMBRICA DE SENSORES
Herrero García, A. Junio, 2009. Universidad Politécnica de Catalunya.
URL:<http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/7805/1/memoria.pdf>
- [26] ESTUDIO DE INTEGRACIÓN ENTRE WSN Y REDES TCP/IP
Iacono, L.; Godoy, P.; Marianetti, O.; García Garino, C.; Párrag, C. Julio, 2012. Memoria de Trabajo de Difusión Científica y Técnica, N° 10
URL:http://itic.uncu.edu.ar/lapic/files/publications/5_estudio_de_la_integracion_entre_WSN_redes_TCP_IP.pdf
- [27] THE ARCHITECTURE FOR THE DIGITAL WORLD
URL:<http://www.arm.com/>
- [28] ATMEL
URL:<http://www.atmel.com/products/avr/>
- [29] MARVELL TECHNOLOGY GROUP LTD.
URL:<http://www.marvell.com/>
- [30] INTEL HARDWARE DEVELOPER CENTER
URL:<http://www.intel.com/design/mcs51/>
- [31] MICROCHIP TECHNOLOGY INC.
URL:<http://www.microchip.com/>
- [32] TEXAS INSTRUMENTS
URL:<http://www.ti.com/msp430>
- [33] INTECH
URL:<http://www.isa.org/InTechTemplate.cfm?template=/ContentManagement/ContentDisplay.cfm&ContentID=90824>
- [34] SIMULACIÓN DE UN ALGORITMO DE ENRUTAMIENTO PARA REDES DE SENSORES INALÁMBRICOS
González Gutierrez, M. Febrero, 2012. Universidad de Colima
URL:http://digeset.uco.mx/tesis_posgrado/Pdf/Maythe_Gonzalez_Gutierrez.pdf
- [35] REDES DE SENSORES INALÁMBRICAS APLICADO A LA MEDICINA
Flores, E. Octubre, 2012. Trabajo de Fin de Máster

URL:<http://repositorio.unican.es/xmlui/bitstream/handle/10902/1288/349251.pdf?sequence=1>

[36] DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA RED DE SENSORES ZIGBEE MEDIANTE EL DISPOSITIVO XBEE DE DIGI

Fortuño, A.; Mayo, 2012. Escuela Técnica Superior Ingeniería.

URL:<http://deeea.urv.cat/public/PROPOSTES/pub/pdf/1957pub.pdf>

[37] ZIGBEE Y EL ESTÁNDAR IEEE 802.15.4

URL:http://www.dea.ica.upco.es/sadot/Comunicaciones/avanzadas/Alberto_Gasc%C3%B3n_Zigbee%20y%20el%20Est%C3%A1ndar%20IEEE%20802.15.4.pdf

[38] 802.15.4 VS. ZIGBEE

URL:<http://www.cika.com/newsletter/archives/201-203.pdf>

[39] DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA RED ZIGBEE MEDIANTE MÓDULOS XBEE-Z PARA EL MONITOREO DE SENSORES DE TEMPERATURA

Becerra, E. 2010. Universidad Pontificia Bolivariana.

URL:<http://repository.upb.edu.co:8080/jspui/handle/123456789/1171?mode=simple>

[40] SEEDSTUDIO WIKI – SEEDUINO STALKER V2.3

URL:http://www.seeedstudio.com/wiki/Seeeduino_Stalker_v2.3

[41] DATASHEET ATMEGA328P

URL:<http://www.atmel.com/Images/doc8161.pdf>

[42] DATASHEET DS3231

URL:<http://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS3231.pdf>

[43] DATASHEET CR2032

URL:http://www.adafruit.com/datasheets/maxell_cr2032_datasheet.pdf

[44] WIKIPEDIA - PROTOCOLO SPI

URL:http://es.wikipedia.org/wiki/Serial_Peripheral_Interface

[45] SEEDSTUDIO – COMPARISON BETWEEN VARIOUS VERSIONS OF SEEDUINO STALKER

URL:http://www.seeedstudio.com/wiki/Seeeduino_Stalker

[46] DATASHEET CN3063

URL:<http://www.consonance-elec.com/pdf/datasheet/DSE-CN3063.pdf>

[47] ALI EXPRESS – COMPONENTES EN EL MERCADO

URL:<http://es.aliexpress.com/wholesale?SearchText=lm35&catId=0&manual=y>

[48] DATASHEET DE SENSOR DELM35

URL:<http://pdf.datasheetcatalog.net/datasheet/nationalsemiconductor/DS005516.PDF>

[49] TIENDA ROBOTSHOP – PRECIO Y CARACTERÍSTICAS DE SENSOR DE HUMEDAD DE SUELO

URL:<http://www.robotshop.com/en/seeedstudio-grove-moisture-sensor.html>

[50] DATASHEET DE SENSOR DE HUMEDAD DE SUELO

URL:<http://www.robotshop.com/media/files/pdf/grove-moisture-sensor-sen92355p.pdf>

[51] DIGI – DIFERENCIAS ENTRE XBEE ZB, XBEE PRO Y PROGRAMMABLE XBEE PRO

URL:<http://www.digi.com/products/wireless-wired-embedded-solutions/zigbee-rf-modules/zigbee-mesh-module/xbee-zb-module#specs>

[52] HOJA DE DATOS DE XBEE

URL:http://ftp1.digi.com/support/documentation/90000976_G.pdf

[53] ARDUINO – PLACA ARDUINO ETHERNET SHIELD R3

URL:<http://arduino.cc/en/Main/ArduinoEthernetShield>

[54] ARDUINO – PLACA ARDUINO WIRELESS SD SHIELD

URL:<http://arduino.cc/en/Main/ArduinoWirelessShield>

[55] SOFTWARE X-CTU

URL:<http://www.digi.com/support/productdetail?pid=3352&osvid=57&type=utilities>

[56] DRIVERS FTDI

URL:<http://www.ftdichip.com/FTDrivers.htm>

[57] RIEGOBIT (La ELECTRÓNICA DEL RIEGO)

URL:<http://www.riegobit.cl>

