



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA ISRAEL

TRABAJO DE TITULACIÓN EN OPCIÓN AL GRADO DE:

**INGENIERO EN ELECTRÓNICA DIGITAL Y
TELECOMUNICACIONES**

**TEMA: RED DE MÓDULOS XBEE PARA EL CONTROL Y MONITOREO DE
TEMPERATURA E INTENSIDAD LUMINOSA PARA CRIADEROS
AVÍCOLAS MEDIANTE MODO API CON VISUALIZACIÓN HMI**

AUTOR: RICARDO DAVID TORRES SÁNCHEZ

TUTOR: Ing. FIDEL DAVID PARRA BALZA (Ph.D)

QUITO - ECUADOR

AÑO: 2019

DECLARACIÓN

Yo, Ricardo David Torres Sánchez, declaro que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento. La Universidad Tecnológica Israel, puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido en su reglamento y por la normatividad institucional vigente.

.....

Ricardo David Torres Sánchez

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA ISRAEL

APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de tutor del trabajo de titulación certifico:

Que el presente trabajo de titulación **“RED DE MÓDULOS XBEE PARA EL CONTROL Y MONITOREO DE TEMPERATURA E INTENSIDAD LUMINOSA PARA CRIADEROS AVÍCOLAS MEDIANTE MODO API CON VISUALIZACIÓN HMI.”**, presentado por Sr. Ricardo David Torres Sánchez, estudiante de la carrera de Electrónica Digital y Telecomunicaciones, reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la evaluación del Tribunal de Grado, que se designe, para su correspondiente estudio y calificación.

Quito D.M. Marzo del 2019

TUTOR

.....

Ing. Fidel David Parra Balza, Ph.D

AGRADECIMIENTO

Agradezco a mi familia por ser la motivación principal para realizarme como profesional. A mi madre por darme la vida y por enseñarme que el amor de la familia y el estudio son los mecanismos para tener éxito en la vida. A Ramiro Rivadeneira que más que un amigo es como un padre por todo su apoyo incondicional en todos los proyectos que hago y por estar conmigo en las buenas y en las malas. A mi novia Olga Benavides por amarme y apoyarme de forma sincera. Además, les doy las gracias a mis mejores amigos de la Universidad Ángel Romero y Carlos Redrován por demostrar que los amigos son hasta la muerte y que siempre cuento con ellos. Finalmente, agradezco a mi mejor amigo de toda la vida Rubén Pulido por esa amistad incondicional en las buenas y las malas. Gracias amigo por tu apoyo con esta tesis.

DEDICATORIA

Dedico este proyecto a mi madre Lourdes Sánchez Cárdenas que ahora está en el cielo cuidándome. El sueño más grande para ti madre querida fue verme graduado y ahora lo estoy logrando gracias a todo tu apoyo y esfuerzo por darme la herencia más grande que es la educación. Este título te lo dedico con todo mi corazón al igual que cada uno de los logros que obtendré en un futuro gracias a tus enseñanzas y tu amor.

TABLA DE CONTENIDO

Antecedentes	1
Planteamiento y justificación del problema	2
Objetivos del trabajo de titulación	3
Objetivo general	3
Objetivos específicos	3
Alcance	4
Descripción de los capítulos.....	5
FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	6
1.1 Crianza de pollos en galpones.	7
1.2 Descripción del procedimiento de crianza de pollos	9
1.3 Luz en Avicultura	10
1.3.1 Fisiología de la luz en las aves.....	11
1.4 Factores ambientales que influyen en la crianza de las aves	12
1.5 Efectos de la temperatura sobre las aves	14
1.6 XBee	17
1.6.1 Arquitectura Básica de una Red XBee	17
1.6.2 Series XBee.....	19
1.6.3 Modo de funcionamiento XBee.....	19
1.6.4 XCTU.....	23
1.7 LabVIEW.....	24
1.8 Componentes electrónicos empleados	25
1.8.1 XBee Pro 60mW Wire Antenna - Series 1 (802.15.4).....	25
1.8.2 XBee Explorer Regulated	26

1.8.3	XBee Explorer USB.....	27
1.8.4	LM35	28
1.8.5	Módulo Sensor Fotorresistencia LDR.....	28
1.8.6	PIC16F877A	29
1.8.7	Circuito Integrado ULN2803.....	30
1.8.8	Módulos LED	31
MARCO METODOLÓGICO.....		33
PROPUESTA.....		37
3.1	Selección de los componentes electrónicos.....	38
3.1.1	Selección de los módulos XBee.....	39
3.1.2	Cálculos de las dimensiones estándar de un galpón de pollos para selección del XBee.	39
3.1.3	Comparación de módulos XBee para la selección del dispositivo.	41
3.1.4	Selección de los sensores.....	43
3.1.5	Selección del Software HMI.....	44
3.1.6	Comparación de sistemas HMI estándar	44
3.1.7	Presupuesto Para el Proyecto.....	46
3.2	Diseño electrónico del circuito en Proteus para el control de temperatura mediante una niquelina.....	47
3.3	Cálculo del amperaje para la selección de la fuente	49
3.4	Cálculos de las resistencias del diodo opto transistor R1	51
3.5	Diseño de la placa electrónica en Ares del sistema	53
3.6	Diagrama de flujo de la red de módulos XBee con visualización HMI .	54
3.7	Módulos de sistema electrónico.....	56
3.7.1	Módulo de comunicación del nodo 1 para el control de temperatura.....	56
3.7.2	Módulo de comunicación del nodo 2 para el proceso de intensidad luminosa.	57

3.8	Diagrama de bloques de control de la red.....	57
3.9	Ventajas del sistema de comunicación XBee aplicado en el control y monitoreo de sensores de temperatura y presión.....	58
IMPLEMENTACIÓN		60
4.1	Desarrollo.....	60
4.1.1	Configuración del nodo coordinador en XCTU.	60
4.1.2	Configuración de los nodos esclavos en XCTU.	63
4.1.3	Conexión de los nodos esclavos con el coordinador.	67
4.2	Configuración del HMI en LabView	69
4.3	Acoplamiento para la comunicación de los módulos XBee con HMI.....	74
4.4	Construcción del hardware.	81
4.4.1	Ensamblaje del circuito acondicionador de señal para el control de la temperatura.	84
4.4.2	Construcción del circuito para acondicionar la señal del sensor para el control de la intensidad luminosa.	85
4.4.3	Conexión de los dispositivos XBee para formar la red.	85
4.4.4	Conexiones y acoplamiento de los dispositivos a los galpones.....	89
4.5	Pruebas de funcionamiento.....	93
4.5.1	Prueba de funcionamiento del control y monitoreo de la variable de temperatura.	93
4.5.2	Prueba de funcionamiento del control y monitoreo de la intensidad luminosa.	97
4.6	Análisis de resultados	98
CONCLUSIONES		99
RECOMENDACIONES.....		101
BIBLIOGRAFÍA		102
ANEXOS		105

ANEXO 1. Programación XCTU.....	105
ANEXO 2. Programación Tramas API para petición.	109
ANEXO 3. Programación del microcontrolador 16F877A.....	112
ANEXO 4. Diagrama del procesamiento y control de la señal de temperatura de la red XBee.....	114
ANEXO 5. Diagrama del procesamiento y control de la señal de intensidad luminosa de la red XBee.....	115
ANEXO 6. Cronograma de actividades	116

LISTA DE FIGURAS

Figura. 1. 1 Tipos de techo	8
Figura. 1. 2 Iluminación en granjas de pollo de engorde.....	10
Figura. 1. 3 Factores de visión de las aves	12
Figura. 1. 4 Temperatura en función a la edad del pollo	13
Figura. 1. 5 Tipos de pérdidas de calor en las aves	16
Figura. 1. 6 Módulo XBEE.....	17
Figura. 1. 7 Red XBee.	18
Figura. 1. 8 Red XBee.	21
Figura. 1. 9 XCTU.....	24
Figura. 1. 10 XBee Pro 60mW Wire Antenna - Series 1 (802.15.4).	26
Figura. 1. 11 SparkFun XBee Explorer Regulated.	27
Figura 1. 12 XBee Explorer USB	27
Figura. 1. 13 LM35.....	28
Figura. 1. 14 módulo sensor fotoresistencia LDR.	29
Figura. 1. 15 Nombres de los pines del PIC16F877A.	30
Figura. 1. 16 PIC16F877A.....	30
Figura. 1. 17 ULN2803.....	31
Figura. 1. 18 Módulos LED.....	32
Figura 3.1 Dimensiones de galpón de pollos estándar	40
Figura 3.2 Diagrama de conexión para la niquelina.	48
Figura 3.3 Circuito de control de la temperatura.....	49
Figura 3.4 Circuito de control de la intensidad luminosa.....	50
Figura 3.5 Circuito de control de temperatura para cálculo de R1	52

Figura 3.6	Circuito de control de temperatura para cálculo de R2	52
Figura 3.7	Placa del circuito de control de temperatura diseñada en Ares	53
Figura 3.8	Placa del circuito de control de la intensidad luminosa diseñada en Ares ...	54
Figura 3.9	Diagrama de flujo de la red XBee	55
Figura 3.10	Comunicación del nodo 1	56
Figura 3.11	Comunicación del nodo 2.....	57
Figura 3.12	Diagrama de bloques de control de la red	57
Figura 4.1	Entorno inicial de software XCTU.....	61
Figura 4.2	Ventana para agregar un módulo XBee	61
Figura 4.3	Módulo Coordinador detectado.....	62
Figura 4.4	Ventana de configuración del módulo coordinador	62
Figura 4.5	Parámetros de configuración del nodo coordinador.....	63
Figura 4.6 (a)	Parámetros de configuración del nodo 1	64
Figura 4.6 (b)	Parámetros de configuración del nodo 1	65
Figura 4.7 (a)	Parámetros de configuración del nodo 2	66
Figura 4.7 (b)	Parámetros de configuración del nodo 2	67
Figura 4.8.	Red XBee visualizada en XCTU.....	68
Figura 4.9	Parámetros del Nodo 1 en XCTU	68
Figura 4.10	Parámetros del Nodo 2 en XCTU	69
Figura 4.11	Tramas de intercambio de la red XBee.	69
Figura 4.12	HMI del proyecto	70
Figura 4.13	Envío de la trama de petición Nodo 1	71
Figura 4.14	Retardo secuencia 1 de 100 ms	71
Figura 4.15	Procesamiento y control de señal de temperatura	72

Figura 4.16	Retardo de la secuencia 3 de 100 ms.....	72
Figura 4.17	Envío de la trama de petición Nodo 2	73
Figura 4.18	Retardo de la secuencia 5 de 100 ms.....	73
Figura 4.19	Procesamiento y control de intensidad luminosa	74
Figura 4.20	Retardo en secuencia 7 de 100 ms	74
Figura 4.21	Trama para petición de datos del nodo 1.....	75
Figura 4.22	Recepción de datos del nodo 1.....	76
Figura 4.23	Trama para petición de datos del nodo 2.....	77
Figura 4.24	Recepción de datos del nodo 2.....	78
Figura 4.25	Interfaz de recepción de datos de los dos nodos.	78
Figura 4.26	Trama para generar señal PWM en el nodo 1.	79
Figura 4.27	Trama para generar señal PWM en el nodo 2.	80
Figura 4.28	Interfaz para la generación de señales PWM de los dos nodos.....	81
Figura 4.29	Módulo LDR	81
Figura 4.30	XBee Explorer Regulado	82
Figura 4.31	XBee Explorer USB	82
Figura 4.32	Proto Board pequeño	82
Figura 4.33	Adaptador de 12 V	82
Figura 4.34	Módulos LED de Alto Brillo.....	83
Figura 4.35	Sensor de temperatura LM 35	83
Figura 4.36	CI ULN 2803.....	83
Figura 4.37	Módulos XBee PRO S1.....	83
Figura 4.38	Control digital de ángulo de fase.....	84
Figura 4.39	Módulo LDR	85

Figura 4.40 Conexión del nodo coordinador	86
Figura 4.41. Conexión del nodo 1	86
Figura 4.42. Conexión del nodo 2	86
Figura 4.43. Pines de alimentación del XBee Explorer regulado.....	87
Figura 4.44. Cortocircuitado de los pines 3.3V y RES.....	87
Figura 4.45 Conexión de la entrada analógica del nodo 1.....	88
Figura 4.46 Conexión de la entrada analógica del nodo 2.....	88
Figura 4.47 Control digital de control de fase instalado.....	89
Figura 4.48 Ubicación de la secadora en galpón	90
Figura 4.49 Instalación de la secadora y sensor de temperatura.....	90
Figura 4.50 Galpón para el control de temperatura.	91
Figura 4.51. Ubicación de los LED y circuitos en el galpón del control de la intensidad luminosa.....	91
Figura 4.52 Ampliación de la conexión del sensor de luminosidad.	92
Figura 4.53. Conexiones de los dispositivos para la maqueta de intensidad luminosa .	92
Figura 4.54 Interfaz HMI.....	93
Figura 4.55 Cambio de setpoint a 30 grados centígrados.....	94
Figura 4.56 Prueba de setpoint en 30 grados centígrados	95
Figura 4.57 Set Point de 33 grados centígrados	95
Figura 4.58 Prueba de setpoint en 33 grados centígrados	96
Figura 4.59 Cambio de setpoint a 37 grados centígrados.....	96
Figura 4.60. Prueba de setpoint en 37 grados centígrados	97
Figura 4.61 Pruebas en el galpón para control de intensidad luminosa.....	97

LISTA DE TABLAS

Tabla 1.1 Temperatura de climas y números de aves.	7
Tabla 1.2 Estadísticas generales de la producción de aves.	14
Tabla 1.3 Temperatura promedio anual del ambiente exterior de un galpón.	16
Tabla 3.1 Comparativa de los módulos XBee	41
Tabla 3.2 Comparativa de precios del HMI.....	44
Tabla 3.3 Presupuesto para el proyecto	46
Tabla 3.4 Consumo de la corriente de los dispositivos a conectar en la red.....	50

RESUMEN

El presente proyecto trata del desarrollo de una red de módulos XBee para el control y monitoreo de temperatura e intensidad luminosa para criaderos avícolas mediante modo de Interfaz de programación de aplicaciones (API) con visualización Interfaz Humano Maquina (HMI), es decir un prototipo electrónico de comunicación inalámbrica para la interconexión y comunicación entre dispositivos, que regulen dichas variables de forma automática. En este caso el tema del proyecto se enfocó en esta industria porque en el Ecuador uno de los animales de mayor consumo tanto en forma directa como de sus derivados son los pollos.

Una persona no puede dar respuesta y control inmediato a factores como temperatura e intensidad luminosa, por la cantidad masiva de aves bajo su cuidado, la automatización permite eficiencia y eficacia junto con una respuesta inmediata para mantener las condiciones adecuadas que requieren dentro de los galpones.

He aquí la importancia de automatizar estos sistemas ya que las empresas avícolas al manejar un volumen más alto de producción tienen la necesidad de tecnificar el proceso de crianza para evitar pérdidas, optimizar recursos y manejar datos en tiempo real de producción manteniendo siempre el confort de las aves lo cual se refleja en mejor producción.

Palabras claves: Proceso, Automatización, Eficiencia, Temperatura, sistema, monitoreo, electrónico, comunicación.

ABSTRACT

The present project deals with the development of a network of XBee modules for the control and monitoring of temperature and luminous intensity for poultry farms through an Application Programming Interface (API) mode with Human Machine Interface (HMI) visualization, that is, an electronic prototype. of wireless communication for the interconnection and communication between devices, which regulate said variables automatically. In this case, the theme of the project focused on this industry because in Ecuador one of the most consumed animals, both directly and its derivatives, are chickens.

A person cannot give immediate response and control factors such as temperature and light intensity, by the massive amount of birds under his care, automation allows efficiency and effectiveness along with an immediate response to maintain the appropriate conditions they require inside the sheds.

Here is the importance of automating these systems since poultry companies, when managing a higher volume of production, have the need to technify the aging process to avoid losses, optimize resources and manage data in real time, always maintaining the comfort of the birds which is reflected in better production.

Keywords: Process, Automation, Efficiency, Temperature, system, monitoring, electronic, communication.

INTRODUCCIÓN

Antecedentes

En el Ecuador los pollos son la proteína de mayor consumo de acuerdo a las estadísticas elaboradas por la Corporación Nacional de Avicultores del Ecuador (CONAVE) y citadas en un artículo de la revista EKOS (EKOS , 2015), indican que en el país existe alrededor de 220 millones de pollos de engorde y 9.5 millones de ponedoras en producción con lo cual se abastece el 100% del mercado nacional pollos, gallinas y huevos están presentes en la mayoría de hogares.

En el país los criaderos de pollos pertenecientes a las grandes industrias o microempresas, utilizan métodos rústicos para desarrollar todos sus procesos los mismos que se realizan ocupando una gran cantidad de recurso humano, lo cual no optimiza los procesos y conlleva a que se desperdicie tiempo y dinero. Este último por el gasto ocasionado de agua, energía eléctrica y alimento.

El control ambiental tiene como objetivo proveer a las aves de un medio eficaz, para que estas estén sanas y se desarrollen adecuadamente. De ellos, los factores más importantes a considerar son la temperatura ambiental, la calidad del aire, la humedad y la luz. Si no se dispone de un ambiente adecuado se obtendrá una clara alteración del crecimiento diario con una peor conversión y un aumento importante de enfermedades que nos afectarán a los animales, que pueden repercutir en mortalidad o decomisos.

Para controlar la temperatura no hay más alternativa que instalar un sistema de calefacción en los galpones. También se debe tener en cuenta que la temperatura siempre se debe referir a la altura de los animales y es muy importante la temperatura de la cama, pues los pollos son muy sensibles al frío por las patas.

De esta forma según estudios del licenciado Nicolás Gómez (Gómez L. N., 2017) del periódico El productor el control y monitoreo de los niveles adecuados de temperatura e intensidad luminosa en el galpón de crianza de pollos disminuye el índice de mortalidad y con ello el porcentaje de pérdida de la empresa, la automatización es el método más

recomendable para corregir estos factores y mantener temperaturas ideales a través de sistemas de calefacción o ventilación dentro del galpón, considerando en el ámbito de producción mayor rentabilidad a menor costo.

Planteamiento y justificación del problema

En Ecuador cada día se encuentra con más frecuencia criaderos de pollos, sean microempresas o industrias establecidas, sin embargo los problemas que presentan dichos criaderos dependen de la magnitud de la empresa.

Los procesos productivos buscan obtener el máximo rendimiento en todos los elementos o aspectos involucrados, así un ambiente controlado minimiza las pérdidas por muerte o enfermedades debido a factores climáticos, por tal motivo al mantener el confort de las aves mejora el proceso de producción de las mismas y maneja parámetros cualitativos y cuantitativos para mantenerlos en favor de la empresa.

Dentro de la agricultura la crianza de pollos se desarrolla en todas las etapas de la historia siendo estas comercializadas y consumidas por la gente. Así se determina el consumo de pollos como parte importante de la alimentación y economía de las naciones, la crianza de estos animales entonces se debe ir tecnificando para minimizar las pérdidas de acuerdo a la inversión realizada.

De acuerdo al autor de la publicación “Informática para la gestión de la industria avícola” Benjamín Ruiz (Ruiz, 2015), un problema recurrente en Latinoamérica es que hay granjas que no tienen acceso a internet por lo tanto no se puede aplicar nuevas tecnologías de adquisición de datos que utilizan internet para automatizar los procesos. De igual manera, son costosos los sistemas de automatización que utilizan dispositivos como PLC (Controlador Lógico Programable), Arduino, microcontroladores, relés y contactores.

Según el proyecto de grado realizado por Diana Garzón Salazar (Salazar, 2015) perteneciente a la Universidad Politécnica Salesiana, se menciona que existen sistemas de automatización para criaderos de pollos a un costo elevado. El precio varía según a las características que poseen los dispositivos, por esta razón los galpones de producción de pollos de medianas y pequeñas empresas no cuentan con sistemas automatizados y controlan los niveles de temperatura de forma manual con calentadores

industriales a diésel que no garantizan una producción óptima. Los galpones que si cuentan con sistemas automatizados tienen que realizar la contratación de un administrador especializado o hacer gastos en mantenimiento constante debido a que la programación de estos sistemas es compleja y toma tiempo de instalación. Adicional, se necesita de apoyo personal técnico para realizar grandes cableados estructurados lo que incurre en gastos de recursos económicos y tiempo.

Por lo antes expuesto, surge la necesidad de desarrollar este proyecto enfocado en automatizar el proceso de crianza de pollos con transmisión de datos de forma inalámbrica, sencilla y a bajo costo. De esta forma se logrará contrarrestar las amenazas de los factores climáticos e iluminación que alteran las condiciones de temperatura e intensidad luminosa dentro del galpón. Se mantendrá los niveles adecuados de estas variables optimizando los recursos involucrados, manteniendo un nivel acertado en cada etapa de la crianza. Se debe desarrollar con una tecnología inalámbrica sin la necesidad de internet, que brinde comunicación sin pérdidas, en tiempo real, de fácil implementación, configuración sencilla y que ahorre recursos económicos a los productores avícolas. Adicional, la operación de este proceso automático debe ser amigable para el operador por lo tanto se debe añadir una interfaz humano máquina que facilite la supervisión y control.

Objetivos del trabajo de titulación

Objetivo general

Desarrollar una red de módulos XBee para el control y monitoreo de temperatura e intensidad luminosa para criaderos avícolas mediante modo API con visualización HMI.

Objetivos específicos

- Definir los parámetros mediante el software XCTU para la configuración de los módulos XBee en modo API.
- Describir la estructura de la Trama API para discriminar las señales de temperatura e intensidad luminosa.
- Diseñar la tarjeta electrónica mediante software de simulación para acondicionar las señales de los sensores que ingresan a los módulos XBee provenientes de los

sensores.

- Implementar la interfaz de visualización para el usuario mediante el software LabView.
- Crear la red de módulos XBee en un galpón a escala con todas las partes que los conforman, según parámetros y diseños establecidos.
- Realizar pruebas de validación y funcionamiento de la red.

Alcance

Este proyecto desarrolla un prototipo de un sistema de control inalámbrico con dispositivos de bajo costo para controlar y monitorear las variables de temperatura y luminosidad en la crianza de pollos. Mejorará de forma significativa el método de comunicación utilizado para el control automatizado de variables importantes para garantizar una producción de proteína y derivados que generan los pollos. Se analizará de investigaciones científicas valores de temperatura para establecer la condición ideal de acuerdo a la edad de las aves y la activación de los sistemas de calefacción o ventilación según sea el requerimiento para la comodidad de dichos animales.

El desarrollo del prototipo de red de módulos XBee estará conformada por 3 dispositivos 1 coordinador y 2 esclavos, cada dispositivo se configurará en modo API con la ayuda del software llamado XCTU, una vez configurados se realizarán pruebas de comunicación para identificar la estructura de la trama API y conocer en que parte de la trama se encuentran los datos de las señales de temperatura e intensidad luminosa.

Como las señales de los sensores se conectarán directamente a los módulos XBee es necesario diseñar circuitos electrónicos que acondicionen las señales dentro del rango de 0 a 3.3 Vcc que es el voltaje máximo que soportan los dispositivos XBee. Los circuitos acondicionadores de señales se diseñarán para que se visualicen las señales sin errores en la interfaz LabView. La interfaz de visualización se diseñará en el software LabView, los datos provenientes de los módulos esclavos en forma de tramas serán recibidos en forma serie, luego con la ayuda de las funciones propias de LabView se extraerán los datos de las señales provenientes de los sensores para su respectiva visualización en tiempo real.

Descripción de los capítulos

El presente proyecto consta básicamente de 4 capítulos, el capítulo 1 aborda los aspectos básicos para la crianza de los pollos en cuanto a factores primordiales como son la temperatura, la ventilación e iluminación que se debe poseer en los sitios de crianza. También contiene las características fundamentales de los dispositivos electrónicos que se ha seleccionado, en este caso los módulos XBee, así como las características principales de la Interfaz Humano Máquina (HMI) utilizada.

El capítulo 2 presenta la metodología de investigación que se empleó para realizar el proyecto, en este caso se dividió al proyecto en 4 etapas de investigación que son de Fundamentación teórica, Marco metodológico, Propuesta e Implementación y en cada una de ella se indica el método investigativo empírico o teórico dependiendo de cada caso con técnicas o herramientas de investigación.

El capítulo 3 muestra la propuesta que se da para la creación del presente proyecto presentando una solución electrónica que permita el control de la temperatura e intensidad luminosa aplicada a los criaderos avícolas, se explica el funcionamiento en general del prototipo de comunicación, de los elementos que se seleccionarían analizando sus costos, características técnicas y funcionamiento individual y como sistema. Se habla de costos o del presupuesto requerido para la realización del proyecto.

Finalmente el capítulo 4 indica el proceso de implementación tanto en hardware como en software de sistema de comunicación y de las pruebas de funcionamiento realizadas así como también los resultados obtenidos con la realización de este proyecto.

CAPÍTULO 1

FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

Para determinar el marco teórico siguiente se debe enfocar en el estudio de los métodos utilizados actualmente en los procesos de la producción avícola, para así llegar a automatizar los mismos, brindando el respectivo apoyo, seguridad y confiabilidad que estos requieren.

La crianza de pollos es una de las practicas más realizadas desde hace mucho tiempo en todos los países ya sea en pequeñas o grandes proporciones, el consumo de carne, huevos, así como el uso de fertilizante natural de estas especies está presente en todos los puntos del planeta por lo mismo se busca nuevas técnicas para reducir las pérdidas y mejorar el proceso de producción, en gran parte se debe a la rentabilidad que representa, facilidad de mercado y la crianza básica. Pero una vez que se inicia la producción industrial se debe concientizar en la tecnificación de procesos para disminuir costos de producción.

Los atributos de luz importantes en la producción avícola son la intensidad y longitud de onda, el fotoperiodo. Los programas de iluminación industrial son altamente variables en intensidad de luz suministrada y en horas de fotoperiodo. Sin embargo, comparten tendencias en común. El fotoperiodo es usado para controlar tasas de crecimiento porque la ingesta de alimento del ave es reducida durante el tiempo de oscuridad.

La importancia de automatizar la temperatura ambiental dentro del criadero avícola radica en generar una mejora en la productividad al evitar mortalidad de los pollos por enfermedades producidas por el cambio violento de temperatura, beneficiando a pequeñas y grandes empresas. A través de este sistema se optimiza las condiciones de temperatura e intensidad luminosa manteniendo el “confort de los pollos” dentro de condiciones determinadas, monitoreando y comparando estas variables con el valor

final y esta diferencia se utiliza para los resultados y cambios dentro del galpón.

1.1 Crianza de pollos en galpones.

Según la investigación de Kevin Martínez (Martínez, 19) se detallan a continuación todos puntos a tomarse en cuenta en la crianza de pollos en galpones.

a) Orientación: En climas cálidos y medios, el galpón será orientado de oriente a occidente, de esta forma el sol no llegará al interior. Esto es importante porque los pollos buscan la sombra y puede generarse aglomeración y la muerte como consecuencia. Si las corrientes de aire en la región son fuertes y cruzan abiertamente por el galpón se debe establecer barreras naturales como sembrar árboles ya que al mismo tiempo proporcionarían sombra.

En la tabla 1.1 se puede ver el tipo de clima y número de aves por metro cuadrado que se recomienda.

Tabla 1.1 Temperatura de climas y números de aves

CLIMA	TEMPERATURA	AVES/m ²
Medio	10 – 16	10
Cálido	25	8

Fuente: (INAMHI, 19)

b) Dimensiones: Cambian según el número de aves que se pretendan alojar y la topografía, ejemplo:

Si se busca fabricar un galpón de 160 pollos en clima medio ($160/10= 16 \text{ m}^2$), se requiere un espacio de 16 m², para esta medida se tomara una superficie de edificación de 4 metros de largo por 4 metros de ancho.

La selección del terreno y galpones deben tener las siguientes características:

- No empozable y con un buen drenaje.
- Tener agua potable.
- Estar aislado de otras granjas.
- Rutas de buena accesibilidad

- Una buena distribución de los galpones que permitan futuras ampliaciones.

c) **Techos:** Debe permitir una ventilación activa, que renueve el oxígeno de forma permanente. En la Figura 1.1 se observan algunos tipos de techos.



Figura. 1. 1 Tipos de techo

Fuente: (Martínez, 19)

- **Techo de un agua:** Es para una construcción de pequeña capacidad, no más de 6 m de luz, donde el lado de menor altura deberá oponerse al viento.
- **Techo de dos aguas cerradas:** Su problema es que no tiene buena ventilación superior, no es recomendable en climas cálidos.
- **Techo de dos aguas simétricas con cumbrera:** Utilizado en edificaciones de gran capacidad, costoso pero con excelentes resultados

Los materiales que se van a utilizar varían según el precio del mercado, los más utilizados son chapa de fibrocemento, zinc, zinc aluminizadas y de aluminio.

Los de aluminio resisten más la corrosión, son más livianos y más costosos, reflejan los rayos del sol, lo que es una ventaja en verano, pero en invierno son fríos y condensan la humedad.

Los de fibrocemento son higiénicas, durables, tienen propiedades aislantes que moderan las variaciones de temperatura, se rompen fácilmente con el granizo.

d) Tipos de pisos:

- **Tierra apisonada:** El costo de construcción es bastante bajo, el mal olor que se genera es absorbido por la tierra, pero posee la negativa de no poder desinfectarse bien a fondo.

- **Cemento alisado:** Es limpio, se puede desinfectar pero condensa la humedad y mantiene el frío.
- **Ladrillos con juntas de cemento:** Es el sugerido debido a que es de fácil higienización y es absorbente.

1.2 Descripción del procedimiento de crianza de pollos

La producción de pollo es una actividad de alta rentabilidad y aceptación en el mercado. El autor Kevin Gonzales (Gonzales, 2019) manifiesta en su publicación “Manual para pollos de engorde” que en las últimas décadas la avicultura ha tenido un desarrollo muy rápido basado fundamentalmente en el enriquecimiento genético de las aves para obtener un mayor peso en menos tiempo.

Este potencial genético para crecer rápidamente ha traído consigo una reducción de la resistencia de los pollos a otros factores como condiciones ambientales o agentes patógenos.

Antes del dimensionamiento de los pollos debe considerarse el número por unidad dependiendo de las condiciones climáticas.

La crianza empieza con la entrada de los pollitos en el galpón. Durante el proceso de desarrollo de los pollos se deben tener en cuenta puntos básicos de control que varían según la edad, así como: temperatura, iluminación, calidad del aire, abastecimiento de agua, prevención de enfermedades y alimento. Una vez finalizada la etapa de engorde, el pollo es comercializado.

- **Conversión alimenticia**

La productividad en la granja de pollos se estima mediante varios parámetros como el peso promedio final obtenido por pollo. Este parámetro es un registro de producción porque no tiene vínculo la manipulación del recurso.

Para obtener una evolución alimenticia eficiente, se deben conciliar factores fundamentales como:

- Baja mortalidad.

- Peso final alto.
- Consumo bajo de balanceado.

La mortalidad, el peor enemigo en una buena evolución alimenticia, cada pollo que fallece implica menos cantidad de kilogramos producidos. Cualquier método que haga el productor avícola para reducir la mortalidad, mejorará su registro de evolución alimenticia y su beneficio económico.

- **Calidad del pollito**

Las incubadoras cumplen un papel fundamental en la producción de los pollos de engorde. Para los pollos, la mudanza desde la incubadora a la granja tiene un gran impacto por lo tanto es necesario realizar esfuerzos para disminuir el estrés en estos animales para conservar una alta calidad de pollo.

1.3 Luz en Avicultura

Según la publicación de Salvador Miranda (Miranda, 2019) la luz es un aspecto de vital importancia en la producción avícola Figura 1.2, estimula el consumo del alimento y la producción hormonal, convirtiéndose en el factor determinante reflejado en los resultados finales.



Figura. 1. 2 Iluminación en granjas de pollo de engorde.

Fuente: (Miranda, 2019)

Para esto es importante conocer cómo perciben la luz las aves, su reacción según el espectro lumínico y la longitud de onda. Además, se debe entender que la tonalidad de la luz posee efectos distintos sobre las mismas y que órganos se afectan y reaccionan a

los estímulos lumínicos.

Definido el modelo de luz adecuado, desde un punto fisiológico del ave, también es relevante determinar el sistema de iluminación que posea mejor eficiencia y económica para las aves y el administrador de la producción.

1.3.1 Fisiología de la luz en las aves

La masa encefálica de las aves posee 7 áreas principales, 2 de ellas poseen una relación estrecha con la vista: cerebro anterior y lóbulo óptico

De los 12 nervios encefálicos que tienen las aves, 4 de ellos están relacionados con la visión:

- Nervio óptico ----- Vista
- Nervio oculomotor----- Movimiento ocular
- Nervio troclear----- Movimiento ocular
- Nervio abducente----- Movimiento ocular

Las aves también tienen receptores sensoriales con los cuales determinan el mundo que las rodea. Los receptores sensoriales son los siguientes:

- Receptor lumínico: Luz
- Receptor osmótico: Presión osmótica
- Receptor químico: Olor y sabor
- Receptor térmico: Frío y Calor
- Receptor mecánico: Presión
- Receptor sensorial: Respuestas mecánicas, dolor, altas temperaturas

Las aves localizan la luz por medio de receptores oculares y de fotorreceptores retíales ubicados en la glándula hipotalámica y pineales. La luz roja se utiliza para la producción de huevo y estimulación sexual. Si se utiliza luz roja de forma constante las gallinas producen un número mayor de huevos que las gallinas que tienen iluminación de otros colores tales como verde, azul o blanca.

Luz roja penetra en el cráneo y cerebro de 4 a 50 veces más que los otros colores como el verde, azul, amarilla o naranja, estimulando fotorreceptores retíales.

(Miranda, 2019). En la Figura 1.3 se observa los factores de visión de las aves.

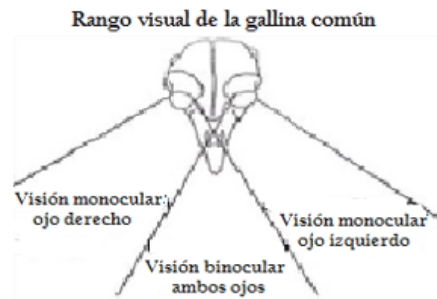


Figura. 1. 3 Factores de visión de las aves

Fuente: (Miranda, 2019)

1.4 Factores ambientales que influyen en la crianza de las aves

De lo expuesto por la Productora Nacional Avícola de Colombia (Productora Nacional Avícola, 2019) acerca del desarrollo de los pollitos manifiesta que es muy importante conservar niveles de temperatura adecuada, principalmente las dos primeras semanas de vida. Los pollitos recién nacidos no están preparados para regular sus procesos metabólicos y controlar adecuadamente la temperatura de su cuerpo, por lo cual dependen de la temperatura del ambiente para conservar su temperatura corporal óptima. Los pollitos durante el periodo inicial de vida desarrollan capacidades para adaptarse a la temperatura durante los 12 a 14 días de edad. La temperatura ambiental es de suma importancia porque si esta varía, la temperatura corporal del pollito puede aumentar o disminuir debido a que se cambia la temperatura interna del criadero.

En la primera semana la vida de las aves comienza a regular su temperatura corporal. Al término de la tercera semana estas están totalmente emplumadas y entran en fase de crecimiento acelerada, aun así el control de temperatura todavía es importante, pero se presentan otros factores como el nivel de la humedad y ventilación.

Las cuatro últimas semanas de vida, el control ambiental juega un papel muy importante sobre todo el enfriamiento del galpón, pero a medida que las aves crecen también aportan mucha más humedad al ambiente, debiéndose extraer la humedad del galpón, especialmente en la mañana donde aumenta el calor.

De no existir un proceso de climatización controlado, las aves se enferman o

mueren. La ventilación y calefacción actualmente se realiza de forma manual, en caso de bajas temperaturas se utiliza un calefactor de diesel industrial para aumentar la temperatura y cuando sube la temperatura se abren las cortinas del galpón dejando entrar un flujo de aire frío.

La temperatura apropiada que se debe conservar dentro del galpón va desde los 33 °C cuando el pollito tiene un día de nacido, hasta los 21,20,19°C a los 56 días cuando el pollo es adulto y está listo para la comercialización y el consumo como indica en la Figura 1.4.

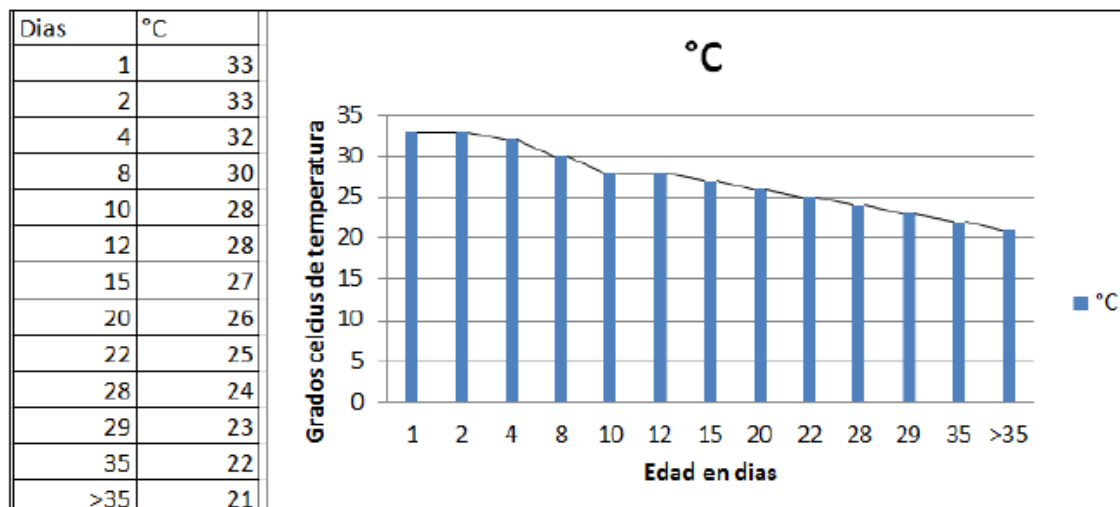


Figura. 1. 4 Temperatura en función a la edad del pollo.

Fuente: (Productora Nacional Avícola, 2019)

Se usan termómetros de mercurio simples para identificar la temperatura interna del galpón y realizar las operaciones de encendido de las criadoras industriales o la apertura o cierre de las cortinas según sea el caso.

Cabe indicar que la temperatura tiene que ser ideal dentro de los galpones y el aire debe circular libremente (no el viento), por lo tanto, la temperatura varía dependiendo a la edad de las aves dentro del galpón. En la Tabla 1.2 se muestran estadísticas generales de la producción de las aves.

Tabla 1.2 Estadísticas generales de la producción de aves.

Producción de Calor por Hora				Iluminación de humedad/100 aves /día								
Peso Promedio		Peso promedio por libra	Peso promedio por kg	Por 100 aves	Eliminación Respiratoria		Eliminación Fecal		Eliminación Total		Eliminación Fecal por día por 100 aves	
Lb.	Kg.	Btu	Btu	Btu	Lb.	Kg.	Lb.	Kg.	Lb.	Kg.	Lb.	Kg.
1	0.5	20.0	44.0	2000	17.0	7.7	7.0	3.2	24.0	10.9	10.8	4.9
2	0.9	29.0	31.9	2900	21.6	9.8	14.4	6.6	36.0	16.4	9.3	4.2
3	1.4	34.5	25.3	3450	24.7	11.2	20.9	9.5	45.6	20.7	12.8	5.8
4	1.8	40.0	22.0	4000	27.0	12.3	26.1	11.9	53.1	24.1	15.8	7.2
5	2.3	45.0	19.8	4500	29.0	13.2	31.0	14.1	60.0	27.3	18.3	8.3
6	2.7	49.2	18.0	4920	31.2	14.2	34.5	15.7	65.7	29.9	20.1	9.1

Fuente: (Aviagen Incorporated, 2009)

1.5 Efectos de la temperatura sobre las aves

De acuerdo con Nicolás Gómez (Gómez L. N., 2017) las aves al igual que cualquier ser vivo generan calor por condiciones corporales internas o por movimiento muscular liberando este calor al ambiente, al existir variación brusca de temperatura sea esta fría o caliente puede ocasionar un impacto dañino sobre el animal e incluso la muerte. Las condiciones térmicas ideales o neutras de los pollos y ponedoras varían entre los 25°C y 15°C en su edad adulta, cuando las aves se encuentren sobre estos niveles o inferior a ellos empiezan a generar problemas dentro de su organismo. Se considera estrés o confort de las aves cuando se maneja valores diferentes a los establecidos lo cual generan estados de tensión y estrés en las aves, impidiendo que se desarrollen correctamente.

Además de la temperatura ambiente hay otros factores que pueden afectar la temperatura de las aves en forma negativa:

- Insuficiente distribución de aire en el galpón
- Falta de precalentamiento del galpón
- Bajo nivel de humedad

Golpe de Calor

Este término se utiliza para describir la muerte de las aves, cuando la temperatura ambiente alcanza de 38 a 40 °C y la humedad relativa esta entre 50 y 55, en los pollos la temperatura corporal puede alcanzar de 45 a 48 °C.

Regulación corporal de la temperatura del ave

Las aves son de sangre caliente lo que les permite mantener su temperatura interna bastante uniforme siempre y cuando los niveles térmicos dentro del galpón estén en los límites indicados. Cuando la temperatura ambiental excede, los pollitos realizan cambios metabólicos para conservar la temperatura corporal.

Radiación.

Se da cuando la temperatura del ave es mayor a la del aire adyacente, por lo que el pollito empieza a irradiar calor mediante la superficie de la piel, incrementando los jadeos y evaporación de agua por medio de la piel.

Conducción.

Cuando la superficie del ave entra en contacto con cualquier objeto, esta dona parte de su calor corporal, para ello el pollito extiende sus alas, pues en la parte ventral existe una zona de arterillas y grandes vasos sanguíneos, lo cual facilita la eliminación de calor al entrar en rose con el piso la mayor superficie corporal posible.

Convección

El aire de la caceta al entrar en rose con el ave, incrementa su temperatura, se expande y asciende, arrastrando calorías. Si se tiene una buena ventilación las perdidas por convección aumentan reduciendo la temperatura del ave.

Evaporación de agua del ave

Sucede cuando la temperatura del aire se va acercando a la temperatura interna del ave, resultando ineficiente los tres anteriores mecanismos, es decir que aumenta su ritmo respiratorio y pierde calor.

Excreción

El ave puede liberar una pequeña cantidad de calor a través de la deposición, el recto transfiere parte del calor interno a las heces.

Refrescamiento

Las gallinas cuando hace calor beben más agua y se remojan sus crestas, barbillas y plumas con el agua con lo que se refrigeran ellas mismas. También se ha señalado que buscan ellas mismas lugares frescos y reducen su actividad durante la parte más calurosa del día.



Figura. 1. 5 Tipos de pérdidas de calor en las aves

Fuente: (Gómez L. N., 2017)

Temperatura.

La Humedad Relativa (HR) y temperatura se deben monitorear frecuentemente para garantizar la uniformidad en el área de crianza.

Sin embargo, el mejor indicador de que las condiciones ambientales son las correctas es la conducta de las aves las mismas que presentan una variación en su conducta de acuerdo con el estrés o comodidad que produzca el ambiente Tabla 1.3.

Tabla 1.3 Temperatura promedio anual del ambiente exterior de un galpón.

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Avg. Alto (°F)	74	74	74	74	74	74	72	72	72	74	74	74
Avg. Bajo (°F)	52	54	54	50	50	50	50	50	50	50	50	52
Precipitaciones	4.7	5.2	5.9	6.8	5.2	1.9	0.8	0.9	1.9	5.1	4.1	4.0

Fuente: (agriNews, 2019)

1.6 XBee

Es la marca asignada para soluciones de conexión inalámbrica fabricados por la compañía DIGI International. Esta diseña este tipo de dispositivos que realizan una comunicación y transmisión de datos sin la necesidad de realizar muchas configuraciones.

Esto hace que los módulos sean los ideales cuando se necesite desarrollar un prototipo rápido de comunicación inalámbrica sin tanto cableado.

Los módulos de radio XBee de la Figura 1.6 pueden ser usados con un número mínimo de conexiones: Power (3.3V), GND, TX/RX y conexiones complementarias como sleep y reset. Casi todos los dispositivos XBee tienen conexiones adicionales como flow control, input/output (I/O), analog-to-digital converter (A/D) and indicator. (Crespo, 2019)

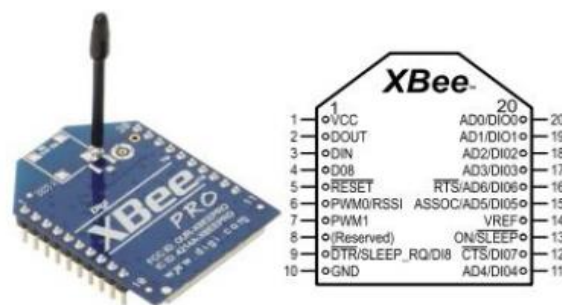


Figura. 1. 6 Módulo XBEE.

Fuente: (Crespo, 2019)

1.6.1 Arquitectura Básica de una Red XBee

Según Enrique Crespo (Crespo, 2019) una red XBee está formada por 3 elementos. Un dispositivo coordinador, los equipos enrutadores (routers) y por equipos terminales (end points). Los módulos XBee son versátiles a la hora de establecer diversas topologías de red, dependiendo la serie de XBee que se elija pueden crearse redes como la Figura 1.7.

Coordinador: Es el nodo en el cual su función es la de formar una red. Se encarga de habilitar y establecer el canal de comunicaciones y del PAN ID el cual es conocido como identificador de red y es usado en toda la red. Después de haber establecido los

parámetros, este dispositivo coordinador puede implementar una red y así poder enlazarse con los dispositivos finales al igual que los routers. Ya con la red formada, este coordinador hace las funciones de enrutador de paquetes y así lograr ser origen y/o destinatario de información.

Routers: Estos routers son nodos que se crean y comparten información de toda la red y de esta forma se determina la mejor ruta para enviar un paquete de información. Por lógica este router debe estar atado a una red Zigbee antes de realizar las funciones de router retransmitiendo los paquetes de los otros routers o de dispositivos finales.

End Device: Los dispositivos finales no tienen capacidad de enrutar paquetes. Ellos trabajan interactuando permanentemente a través de su nodo principal, que puede ser un dispositivo coordinador o router, por lo tanto, no puede transmitir información de forma directa a otro dispositivo final. Frecuentemente estos dispositivos suelen estar alimentados con baterías y el consumo es bajo porque no tiene que realizar acciones de enrutamiento.

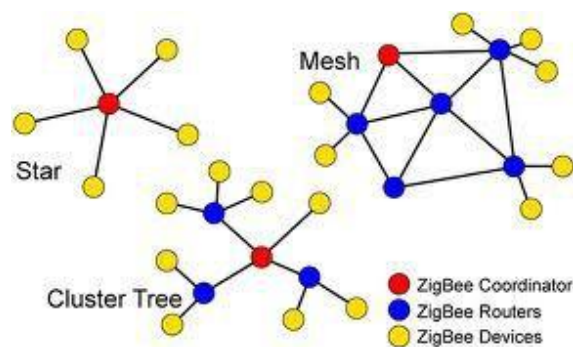


Figura. 1. 7 Red XBee.

Fuente: (Crespo, 2019)

Los módulos XBee son versátiles a la hora de establecer diversas topologías de red, dependiendo la serie de XBee que se escoja se pueden crear redes:

- Punto a punto
- Estrella
- Malla
- Árbol
- Mixtas

1.6.2 Series XBee

Dispositivos XBee Series 1. Son dispositivos de la marca Zigbee más fáciles para utilizar, porque no es necesario realizar acciones de configuración. Por su fácil forma de trabajo estos módulos son los más recomendados principalmente si no se tiene mucho conocimiento en el tema. Para establecer comunicaciones de punto-a-punto, la serie XBee 1 funciona de forma óptima al igual que la serie 2, pero sin todo el trabajo de pre configuración previa.

Dispositivos XBee 2B. Estos son los módulos de la serie 2. Poseen mejoras a nivel del hardware en comparación a los de la Serie 1, esencialmente son los mismos que los anteriores pero con un firmware más actualizado, mejorando el uso de la potencia. (XBee. Cl, 2019)

1.6.3 Modo de funcionamiento XBee

De acuerdo con Mario Gómez (Gómez M. , 2019) los módulos inalámbricos XBee realizan sus funciones en tres modos:

- **Modo transparente:** Este es el modo más común y es el equivalente a un enlace virtual en serie entre dos módulos XBee en función de su configuración.
- **Modos API 1 y 2:** En este modo se permite enviar y recibir información a través del envío de paquetes en estructuras de datos predefinidas.
- **Modo de comandos:** Este modo se utiliza para modificar los parámetros de configuración del dispositivo XBee.

Como se menciona anteriormente el modo transparente es el más sencillo para usar, pero hay algunas funciones que son limitaciones a la hora de configurar y usar como por ejemplo.

- Cambiar remotamente la configuración de un módulo XBee.
- Enviar datos a todos los nodos en la red (broadcast).
- Realizar la obtención de la dirección del módulo que origina del dato recibido.

- Modificar parámetros de la configuración "al vuelo".
- Cambiar los módulos de destino en cada transmisión.

Para entender lo anterior de mejor manera se detalla los distintos modos de funcionamiento a continuación:

Modo Transparente

En este modo el dispositivo XBee trabaja de forma que todo el tráfico recibido por el puerto serie se envía de forma inmediata al aire y todo lo recibido por la radio es enviado al puerto serie.

En el modo transparente para comunicar dos módulos, es de vital importancia configurar la dirección del destino en el módulo que transmite los datos. Esta dirección es programada con los dos parámetros: Destination Address High (DH) y Destination Address Low (DL).

En modo transparente se usa el modo comando que es un estado en que los caracteres que son enviados al módulo XBee son interpretados como comandos en vez de enviarlos vía radio. Al ingresar en modo de comando si pasa un tiempo de 10 segundos sin recibir datos de forma automática se sale del modo comando y vuelve a al modo transparente.

Modo de Comandos

Es la forma en que se puede configurar el módulo XBee desde su puerto serial. Esta configuración se ejecuta en base al envío de los "comandos AT", los cuales son palabras claves contenidas con las letras "AT". (Gómez M. , 2019)

Modo API

El modo API ciertamente es más complicado a nivel de programación pero provee una mayor "flexibilidad" al momento de realizar el envío y recepción de datos.

Se marca una diferencia con el modo transparente, porque en el modo API hace que el módulo inalámbrico espere por una secuencia de bytes específica y con esta le indican el tipo de operación que deberá de realizar. Cada uno de estas secuencias se le

conoce como "frame" o también llamado paquete. Posterior, dependiendo del contenido de cada paquete se podrá llamar a una función u otra de la API.

De la misma forma, un módulo de comunicación XBee realiza la respuesta de las secuencias específicas dependiendo de que lo que se reporta es un cambio del módem en cuanto al estado de la transmisión o si está recibiendo un paquete de datos desde un nodo remoto. Cada paquete presenta la siguiente estructura Figura 1.8:

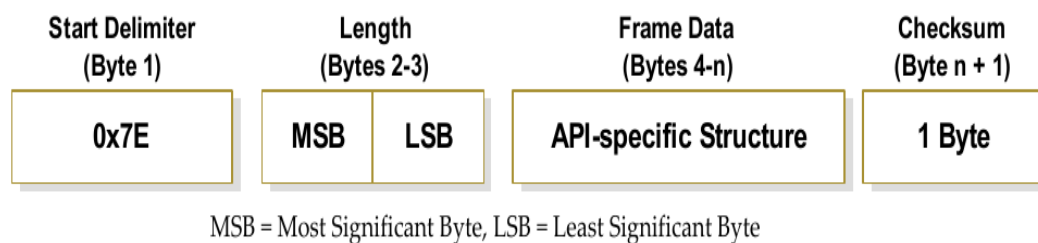


Figura. 1. 8 Red XBee.

Fuente: (Luis Thayer Ojeda , 2010)

Donde cada parte corresponde a:

1. **Byte 1.** El encabezado tiene un valor de 0x7E de forma permanente y este valor se le muestra al módulo que va a iniciar el envío o transmisión de un paquete.
2. **Bytes 2 y 3.** En esta sección se indica cual es el tamaño del paquete y se calcula realizando el conteo de los bits entre el byte menos significativo del tamaño y el byte de la suma de verificación (checksum).
3. **Bytes 4-n.** En esta sección se contiene la estructura API específica, de los contenidos de esta parte del paquete depende la función de la API que se llame.
4. **Byte n+1:** La suma de verificación de todos los bytes contenidos en el paquete. Esto se utiliza para verificar la "integridad" de los datos recibidos, si la suma no coincide el paquete es descartado. (Gómez M. , 2019)

El modo API 1 y API 2

Según la documentación del XBee existen dos modos API, la diferencia entre el modo 1 y el modo 2 es que en el modo 2 las secuencias de bytes van "escapadas".

Esto significa que el módulo inalámbrico tratará de leer el inicio de un paquete siempre que encuentre el byte 0x7E, ¿pero qué sucederá si este valor se está enviando en algún lugar dentro del paquete? Por ejemplo en el tamaño, o en la misma secuencia de datos.

Lo que ocurriría es que el módulo XBee deshace el paquete que estaba procesando y dará comienzo al proceso del nuevo de una forma errónea. Para resolver este incidente se generó el modo API 2, el cual antes de transmitir un dato primero verifica si el byte tiene cualquiera de los valores siguientes:

- 0x7E: Inicio del paquete.
- 0x7D: Carácter de escape.
- 0x11: Señalizador XON
- 0x13: Señalizador XOFF

Para escapar la secuencia se necesita enviar el carácter de escape y datos que son necesarios para realizar una operación XOR con un valor de 0x20. A continuación se ejemplifica esta secuencia.

0x7E 0x00 0x02 0x23 0x11 0xCB

Quedaría escapado de la siguiente manera:

0x7E 0x00 0x02 0x23 0x7D 0x31 0xCB

Entrando al Modo API

Para activar el modo API se debe enviar la secuencia de comandos que se demuestra a continuación.

Modo API 1:

- Envía "+++" y espera "OK".
- Envía "ATAP1" y espera "OK"
- Envía "ATCN" y espera "OK"

Modo API 2:

- Envía "+++" y espera "OK".
- Envía "ATAP2" y espera "OK"
- Envía "ATCN" y espera "OK"

Una vez el XBee se encuentre en modo API, ignorará todos los datos que no muestren la secuencia correspondiente a una estructura de la API. Esto es un proceso bastante importante porque se puede imprimir sobre la misma línea serie en la cual se encuentra conectado el dispositivo XBee. (Gómez M. , 2019)

1.6.4 XCTU

Este es el software de configuración de los dispositivos XBee. Se denomina XBee Configuration and Test Utility (XCTU). Este debe ser descargado para el uso de los XBee. Este programa multiplataforma realiza la interacción con los dispositivos mediante una interfaz gráfica. Las herramientas que entrega esta aplicación de software logran que las configuraciones sean sencillas. Esta aplicación XCTU tiene funcionalidades que permiten inicializar, programar, configurar actualizar parches y testear los módulos XBee, esto lo logran con la comunicación serie del puerto. Una ventaja de este software es que puedes ver rápidamente un resumen de todos los parámetros del módulo y una descripción de ellos Figura 1.9.

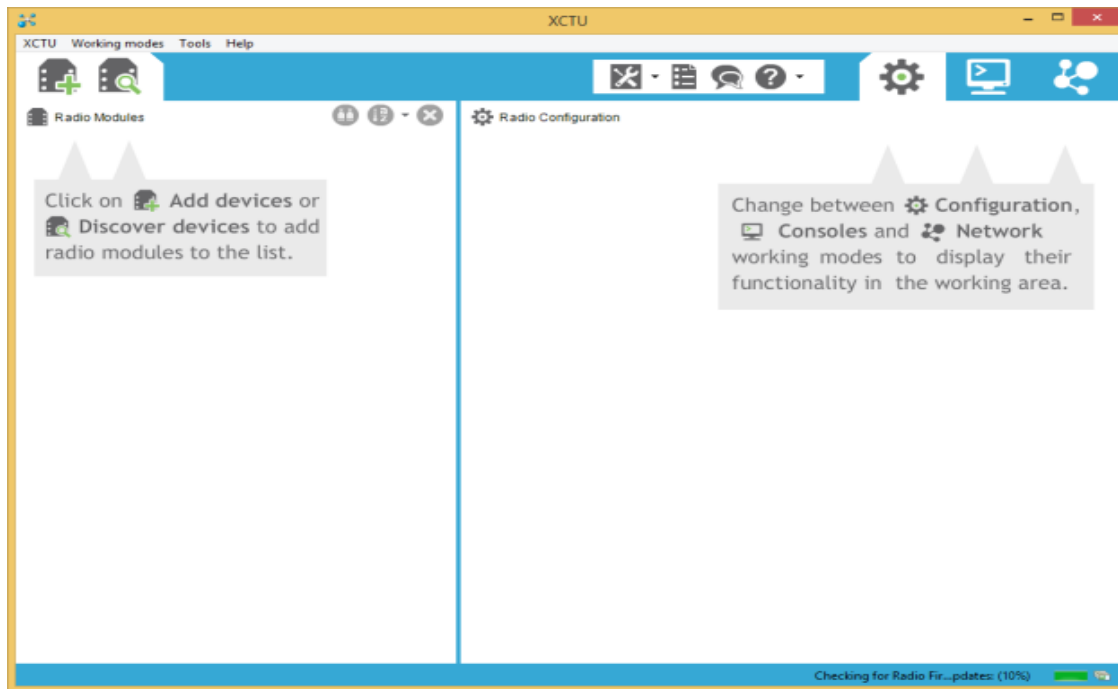


Figura. 1. 9 XCTU.

Fuente: (DIGI, 2019)

Para empezar a usarlo se instala el software XCTU, posterior se debe conectar el módulo RF a la placa de desarrollo, que tiene un módulo FTDI. Después se necesita enchufar el cable USB al computador. (DIGI, 2019)

1.7 LabVIEW

LabVIEW es un programa para el desarrollo de aplicaciones de propósito general que National Instruments (NI) ha creado para facilitar la programación de instrumentos virtuales (VI's). LabVIEW, se encarga de gestionar los recursos del computador a través de un entorno sencillo, rápido y eficiente.

De esta manera el tiempo utilizado en el desarrollo se reduce notablemente a la hora de realizar los programas. El lenguaje de programación es de modo gráfico.

Dentro de sus principales metas están el poder disminuir el tiempo que emplea el desarrollo de aplicaciones de cualquier tipo y así lograr que usuarios o programadores que no son muy expertos puedan interactuar con la aplicación.

Los ingenieros, científicos, estudiantes lo utilizan para desarrollar aplicaciones

como:

- Adquisición de datos.
- Control de instrumentos.
- Automatización industrial o PAC (Controlador de Automatización Programable).
- Domótica.
- Tratamiento de Imágenes.

Las principales características de LabVIEW:

- Entorno de desarrollo gráfico
- Gestión automática en la creación de hilos de ejecución.
- Gestión y diseño de cualquier tipo de interfaz gráfica, utilizando elementos (controles numéricos, gráficas, etc.) prediseñados.
- Programación modular.
- Utiliza los puertos seriales como RS232, RS422, RS485, Puerto Paralelo, Protocolo GPIB, PXI, VXI, TCP/IP, UDP, Data Socket, Irda (Puerto Infrarrojo), Bluetooth, USB, OPC.

Tiene la ventaja de poder interactuar y adaptarse a otros lenguajes y aplicaciones: DLL, Librerías dinámicas de funciones, NET, ActiveX, MultiSim, Matlab (Math Script), AutoCad, SolidWorks. (Universidad de Cantabria, 2019)

1.8 Componentes electrónicos empleados

1.8.1 XBee Pro 60mW Wire Antenna - Series 1 (802.15.4)

De la publicación elaborada por Luis Ojeda (Luis Thayer Ojeda , 2010) se extrae que estos módulos toman el stack 802.15.4 que es el protocolo base y son encapsulados en un pool de comandos seriales. Estos módulos permiten comunicación confiable entre microcontroladores, computadores, sistemas, cualquier dispositivo con un puerto serial, punto a punto y redes multi-punto. Este módulo se muestra en la Figura 1.10.



Figura. 1. 10 XBee Pro 60mW Wire Antenna - Series 1 (802.15.4).

Fuente: (Luis Thayer Ojeda , 2010)

DETALLES TÉCNICOS:

- Corriente máxima de TX: 250mA
- Corriente de RX: 55 mA (@ 3.3 V)
- Corriente de bajada: <math><10 \mu\text{A}</math>
- Dimensiones: 27 mm x 33 mm x 9 mm (1 pulg. X 0.9 pulg. X 0.3 pulg.)
- Frecuencia: 2.4 GHz

1.8.2 XBee Explorer Regulated

El XBee Explorer Regulated se encarga de regular el voltaje a 3.3V, de acondicionar las señales e indicar la actividad básica (alimentación, Diodo Emisor de Luz (LED) de actividad RSSI y DIN/DOOUT). Traduce las señales de serie de 5V a 3.3V para que un circuito de 5V (a 3.3V) pueda ser conectado cualquier módulo XBee

Esta unidad trabaja con todos los módulos XBee incluyendo Series 1 y 2 y versiones tanto estándar como Pro. Conectando un XBee en esta tarjeta se tiene acceso a los pines seriales y de programación en la unidad XBee y permitirá alimentar el XBee con 5V.

Esta tarjeta viene equipada con un regulador de 3.3V (con entrada máxima de 5V), enchufe XBee, cuatro LED de estado y cambio de nivel. (DIGI, 2019). (Figura 1.11).

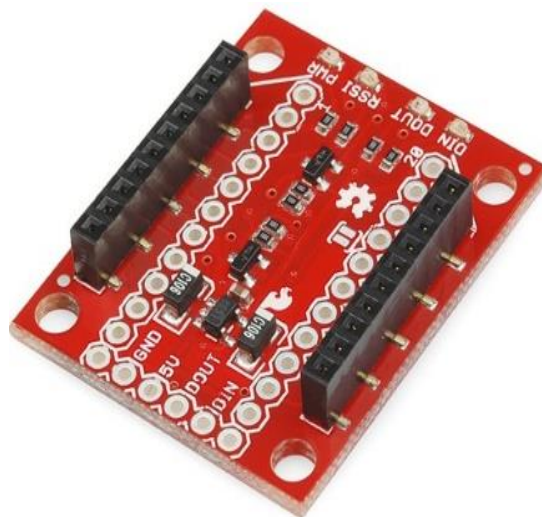


Figura. 1. 11 SparkFun XBee Explorer Regulated.

Fuente: (Teckmake Electronics, 2019)

1.8.3 XBee Explorer USB

La empresa Digi diseño esta unidad USB con base a una comunicación serie para todos los dispositivos XBee. El Explorer USB es funcional con cualquiera de los módulos XBee abarcando las Series 1, Series 2.5, versión estándar y finalmente la versión Pro. Integra la unidad al XBee Explorer, conecta un cable mini USB, para tener acceso directo a los pines de serie y de programación de la unidad XBee. Se lo puede apreciar en la Figura 1.12. (DIGI, 2019)



Figura 1. 12 XBee Explorer USB

Fuente: (Teckmake Electronics, 2019)

1.8.4 LM35

Es un dispositivo tipo sensor diseñado para obtener datos de medición de temperatura. Tiene una salida de tipo analógica, por lo cual genera un voltaje en proporción de la temperatura. Este sensor tiene un rango desde -55°C a 150°C .

Para convertir el voltaje a la temperatura, el LM35 proporciona 10mV por cada grado centígrado. También cabe señalar que ese sensor se puede usar sin offset, es decir que 20mV a la salida equivale a 2°C (Marmolejo, 2019). Se lo puede observar en la Figura 1.13.



Figura. 1. 13 LM35

Fuente: (Marmolejo, 2019)

1.8.5 Módulo Sensor Fotorresistencia LDR

El módulo sensor Light Dependent Resistor (LDR) es un dispositivo de tipo sensor con la capacidad de medir y obtener datos de la intensidad de la luz irradiada sobre la superficie de panel, su característica es que permite medir intensidad luminosa de cualquier elemento como una lámpara, foco, luz solar o inclusive de un Diodo Emisor de Luz (LED). Este elemento de medición es digital y analógico por lo que en base a la cantidad de luz que se expone la resistencia del sensor LDR varía, originando cambios en el voltaje de su salida ajustable siendo ésta análoga o digital según sea requerida.

Permite ajustar la sensibilidad del sensor en la salida digital es el potenciómetro incorporado. El voltaje de salida digital es un "0" lógico cuando la intensidad de luz excede el valor fijado por el potenciómetro y es un "1" lógico cuando sucede lo contrario. El voltaje de salida analógico simplemente se reduce o se incrementa en base

al aumento a la intensidad luminosa respectivamente Figura 1.14.



Figura. 1. 14 Módulo sensor fotoresistencia LDR.

Fuente: (Factory Geek, 2019)

DATOS TÉCNICOS

- Voltaje de alimentación: 3.3 – 5V
- Salida: Digital y Analógica
- Sensibilidad ajustable con potenciómetro
- Número de pines: 3 (Vcc, GND & Signal). (Factory Geek, 2019)

1.8.6 PIC16F877A

Para su funcionamiento se precisa un circuito de alimentación de 5 V, un oscilador de 4 MHz (carece de oscilador interno) y que se mantenga en estado alto el terminal MCLR durante la ejecución del programa (si se encuentra a 0 V se produce un reset). (González, 2017).

En la Figura 1.15 se muestra el diagrama de pines del microcontrolador y en la Figura 1.16 la carcasa.



Figura. 1. 15 Nombres de los pines del PIC16F877A.

Fuente: (González, 2017)



Figura. 1. 16 PIC16F877A.

Fuente: (González, 2017)

1.8.7 Circuito Integrado ULN2803

Según Microkits Electrónica (Microkits Electrónica y Robotica, 2019) este dispositivo está constituido por 8 transistores Darlington de emisor común e incluye diodos de supresión de las cargas inductivas. El control de servos al igual que motores paso a paso es una de sus principales aplicaciones. Cada Darlington cuenta con una capacidad de carga de corriente de pico 600mA (500mA de manera continua). Entradas compatibles TTL y CMOS de 5V (Figura 1.17).



Figura. 1. 17 ULN2803.

Fuente: (Microkits Electrónica y Robotica, 2019)

ESPECIFICACIONES:

- Configuración: Octal
- Polaridad del transistor: NPN
- Voltaje máx. Colector - Emisor: 50 V
- Corriente CC máxima de colector: 0.5 A
- Voltaje de sostenimiento a la salida: -0.5V a 50V
- Potencia máx: 1.47 W
- Estilo de montaje: Through Hole
- Encapsulado: PDIP-18
- Temperatura de trabajo máxima: + 85 C
- Temperatura de trabajo mínima: -20 C

1.8.8 Módulos LED

De acuerdo con el autor corporativo TBL (TBL, 2019) son pequeñas pastillas con LED que pueden colocarse juntos o separados con tornillos sobre superficies dependiendo de la necesidad de intensidad de luz que se quiera implementar. Su diseño se muestra en la Figura 1.18. Son usados en aplicaciones de rótulos que necesitan una amplia iluminación para de esa forma ser llamativos.



Figura. 1. 18 Módulos LED

Fuente: (TBL, 2019)

Además, de acuerdo a la página web TBL (TBL, 2019) estas son las especificaciones técnicas de los módulos LED.

ESPECIFICACIONES:

- Voltaje 12V
- Anchura 19mm
- Certificación CE RoHS +
- Longitud 68mm
- Energía 0.72W / PC
- Tarifa del IP IP65 impermeable (módulo de la inyección)
- Cantidad del LED 3PC SMD5050 Inyección
- Color Blanco
- Tamaño 68 * 19 * 5 mm.

CAPÍTULO 2

MARCO METODOLÓGICO

La metodología que se emplea en la investigación contiene la descripción y argumentación de las decisiones metodológicas adoptadas para el estudio. Para la presente investigación, la metodología parte de la investigación bibliográfica, documental, al igual que, la investigación experimental y de campo; ya que mostrará resultados físicos que han sido empleados en un ambiente creado y representado en maquetas para corroborar los resultados de la investigación, tratándose de la implementación de un sistema automatizado de supervisión y control de las variables de temperatura y luminosidad en la crianza avícola mediante módulos inalámbricos.

De este modo, se detalla cada una de las fases para cumplir todos los objetivos propuestos en este trabajo de titulación.

Considerando el criterio de Natalia Mora (Mora, 2015), la investigación bibliográfica permite iniciar con el proceso de identificación de información y trabajos relacionados, proporcionando información y técnicas que pueden ser utilizadas en el desarrollo de la misma. Esta se considera porque permite tener una idea clara de cómo se puede llevar a cabo el trabajo, permite identificar posibles limitantes y diversos problemas que deberán ser solucionados para cumplir los objetivos trazados. Así también, se puede tener información relevante y útil para el desarrollo del trabajo, por lo que para el inicio de esta investigación se realizó una revisión bibliográfica para recopilar información fundamental y requerida sobre los recursos y factores importantes para la producción de la industria avícola, para conocer las características, tipo de elementos y herramientas que se necesitaran para el desarrollo adecuado del proyecto.

Por otra parte, la investigación documental tal como afirma (Avila, 2018), quien asegura y afirma que es una técnica enfocada en la elección y recopilación de información con enfoque en la lectura con análisis crítico de redacciones, documentos y materiales bibliográficos. Este criterio es una parte esencial en cualquier proyecto, pues

ayuda a entender los antecedentes, espaciales y temporales que rodean el estudio a realizarse. A través de la investigación documental, este trabajo pretende identificar la información relevante y útil para emplear los elementos electrónicos requeridos como sensores de presión e intensidad luminosa, módulos de comunicación inalámbrica y equipos para adquisición de datos para el HMI. Basándose en esta se logra entender características, identificar factores externos que podrían afectar a la implementación de la propuesta, solucionar problemas tecnológicos relacionados al desarrollo de la interfaz, definir limitantes y proyecciones de la propuesta.

Según Fidias Arias (Arias, 2006), la investigación de campo permite recolectar información del lugar donde ocurren hechos, sin influir directamente en las variables que controlar algún proceso. Es de gran importancia mencionar que en la presente investigación se verificará la temperatura ideal de acuerdo a la edad de las aves y la activación de los sistemas de calefacción o ventilación según la necesidad, ayudando así mantener el proceso de producción de crianza de pollos para de esa manera mantener o disminuir el índice de mortalidad y los varios tipos de enfermedades de estas aves producidas por el cambio de temperatura dentro del galpón. En este caso, la presente investigación ayuda a recabar la información directamente del objeto de estudio, convirtiendo información de campo en experiencia para aplicarlo en el presente proyecto.

Asimismo, hay que tomar en cuenta que para este trabajo se ha tomado un enfoque cuantitativo ya que tiene una innegable potencia para el tratamiento de los datos más concretos y válidos para el estudio, verificando muestras para llegar a la temperatura ideal dentro del galpón al igual que aseverar que el módulo utilizado es el más adecuado.

La investigación experimental comprende el desglose y posterior análisis de la variable independiente para determinar cómo influye en el entorno que es supervisado por la persona a cargo de realizar el análisis y estudio. El objetivo del manejo de variables es validar cambios en la variable dependiente en un entorno o contexto controlado de forma estricta para verificar los resultados de la misma y con esto satisfacer el alcance al igual que los objetivos trazados al inicio del proyecto. Esta investigación posee un enfoque diferente en relación a los otros tipos debido a que la finalidad de estudio y su método dependen del investigador y de las decisiones que tome para desarrollar un proceso experimental o un invento para de esta forma alcanzar

resultados claros.

En este trabajo se manipula el nivel de temperatura y la cantidad de luminosidad para ver el grado de influencia que tienen en las aves, de manera que se puedan obtener resultados visibles para poderlos aplicar en la industria. Los resultados experimentales de este trabajo podrán adicionalmente, servir de base a otras investigaciones con el propósito de optimizar las técnicas usadas actualmente para incrementar el desarrollo y la productividad de una empresa, evitando el desperdicio de recursos utilizando un método controlado teniendo estabilidad en el cambio de temperatura y la iluminación que se requiere en los galpones de crianza de aves.

Metodología del desarrollo

De igual manera es importante mencionar que se ha tomado como base para el desarrollo del trabajo de investigación la adaptación de German Castellano (Ocando, 2012) sobre la metodología de Clint Smith donde este autor se refiere a 5 etapas las cuales son: 1. Análisis de la situación actual de las tecnologías; 2. Determinación de los requerimientos del sistema; 3. Selección de los equipos para la red; 4. Propuesta de diseño; 5. Evaluación de las características y técnicas del sistema propuesto. Las etapas mencionadas con anterioridad ayudan a la presente investigación para el desarrollo adecuado de la misma tomando en cuenta las características de las herramientas utilizadas al igual que elegir el mejor material para la misma.

Primera Etapa

En la etapa inicial se da un enfoque general de las herramientas y tecnologías a ser utilizadas y se determinan las características técnicas, funcionales y operacionales que cada una posee, se realizó la investigación iniciando por la visita técnica a un galpón y a las pequeñas empresas necesarias para la adquisición de los materiales y herramientas necesarias para el desenlace de la investigación.

Segunda Etapa

Se especificaron los requerimientos que se necesitan y que deben tomar en cuenta sobre el diseño y medidas adecuadas para el galpón. Con esto se realiza el dimensionamiento y la elección del módulo inalámbrico para las medidas estándar. Por esta razón, se concluye que el dispositivo XBee S1 PRO es suficiente para obtener

mejores resultados sabiendo que el costo no es tan elevado con el cual las empresas pueden trabajar adecuadamente por lo que la elección de los materiales se adecuan para conseguir la integración de tecnologías como Clint Smith menciona.

Tercera Etapa

En esta etapa se desarrolla la interfaz humana máquina a través del software LabVIEW pensando en la satisfacción de los usuarios al operar el sistema de forma automática logrando optimizar el tiempo que se usa para calentar o alumbrar dentro de los galpones y de esta forma optimizar el proceso de producción de la crianza de pollos.

Cuarta Etapa

En esta fase se finaliza el desarrollo del sistema aplicado como un prototipo, de esta manera se verifica el cumplimiento de la propuesta demostrando su viabilidad y correcto funcionamiento.

Quinta etapa

En la última etapa se desenvuelve y pone a prueba la metodología iniciada por Clint Smith, permitiendo la integración del sistema propuesto, donde se consideran los resultados obtenidos a partir de la metodología y métodos de extracción de datos para dar cumplimiento con los objetivos propuestos para lograr el desarrollo de la presente investigación.

CAPÍTULO 3

PROPUESTA

En análisis a los métodos que existen actualmente para la supervisión y control de sensores para la ambientación adecuada en los criaderos avícolas se pretende implementar un prototipo de red de forma inalámbrica que permita de manera interactiva manipular las variables y adecuarlas a los requerimientos del usuario que son las personas encargadas de producción y crianza de los pollos en los galpones. Mediante un computador se pretende realizar los ajustes necesarios a estas variables y todos los datos que arrojen los sensores se los pueda visualizar en tiempo real en una consola virtual desarrollada según las exigencias del usuario final, la misma que tendrá una interfaz intuitiva y amigable.

El propósito es diseñar la red teniendo como principal medio la comunicación de los módulos XBee los cuales transmitirán toda la información extraída de los circuitos de los sensores y los datos obtenidos serán enviados a la computadora mediante la interfaz humano máquina (HMI) sin la necesidad de cableado.

Lo primero que se realizó fue el análisis de los tipos de sistemas electrónicos de control automático que utilizan estos productores avícolas para mantener una crianza de pollos con los parámetros establecidos. Lo que se pudo determinar es que lo más apropiado para estos ambientes son métodos automatizados mediante PLC, microcontroladores, Arduino, relés y contactores pero todos estos métodos tiene algo en común que es el costo elevado, necesidad de un gran cableado para conectar el sensor con el centro de control, además de la poca movilidad.

A través de la observación se determinó cierta tendencia a incluir computadoras para las comunicaciones y la supervisión. Se entendía que los usuarios finales necesitaban visualizar las variables de control en una oficina cercana, el hogar o incluso en un dispositivo móvil por lo tanto un sistema HMI era fundamental para asegurar la visualización de datos, monitorización, manipulación y alarmas al usuario final encargado de velar por el bienestar del proceso de crianza.

Entonces se determinaron las siguientes características que debe tener este modelo de red inalámbrica para asegurar un control automatizado de nivel industrial garantizando la producción avícola.

- Sistema de comunicación inalámbrico que permita la transmisión de datos en tiempo real.
- Que transmita datos de forma inalámbrica para disminuir el cableado permitiendo un fácil acoplamiento a cualquier galpón.
- De rápida implementación abaratando costos y reduciendo tiempos.
- Que regule de forma automática la cantidad de temperatura aumentando o disminuyendo la variable de acuerdo a la temperatura ambiente logrando mantener una temperatura óptima.
- Que administre de forma automática la cantidad de intensidad luminosa dentro de los galpones modificando la que proporcione el día o la noche garantizando confort para las aves.
- Presente de forma gráfica los datos de las variables de los sensores en una consola configurada y administrada en una computadora a cualquier hora.
- Que la consola de administración y control cuente con una interfaz amigable para que toda persona que opere pueda hacerlo incluso sin tener conocimientos de electrónica.

Una vez plantada las características del sistema se procede la selección de los dispositivos para el diseño de la red.

3.1 Selección de los componentes electrónicos.

La selección de los dispositivos a utilizar es un proceso donde se debe analizar varios aspectos como las tablas de especificaciones técnicas, escalabilidad, fiabilidad, características físicas del sistema, además de los costos.

3.1.1 Selección de los módulos XBee.

Para seleccionar el dispositivo XBee correcto es necesario establecer un análisis de todos los componentes que serán controlados por estos módulos de comunicación inalámbrica. Al ser módulos inalámbricos es fundamental analizar la distancia a la que se ejercerá las comunicaciones. Adicional, es importante conocer el tipo de sensores que serán conectados a la red. En este caso se efectuará dos controles tanto de la temperatura mediante un sensor LM35 y de intensidad luminosa usando un sensor LDR.

3.1.2 Cálculos de las dimensiones estándar de un galpón de pollos para selección del XBee.

De acuerdo al autor del artículo “Manual para pollos de engorde” Kevin Martínez (Martínez, 19) las dimensiones para la construcción de un galpón varían según la capacidad de aves que se quiere producir dentro de este. Pero se toma como referencia la producción de 1000 pollos lo que debería contar con un área de 126 m² donde se maneje el pollo hasta 42 días de edad manejando una cantidad de 10 pollos por m².

Estos cálculos se logran con la fórmula: $\text{Área} = \text{base} * \text{altura}$

Además, el autor Martínez afirma que el área requerida por cada pollo para vivir son en promedio 10 cm, en este espacio se logra una adaptación del ave evitando la aglomeración y por ende la generación de calor interno que pueda dañar el crecimiento en un periodo de 42 días considerado como su tiempo promedio de crecimiento. Para determinar esta área de 126 m² se determina una base y la altura en referencia a las medidas estándar las cuales son:

Ancho:

Lo determina el clima de la zona, el ancho debe implementarse en el rango comprendido entre 10 a 12 metros y además dependería de una buena iluminación y aire.

- Clima Frio: No menores a 10 m
- Clima Cálido: No mayores de 12 m

La temperatura de algunas zonas es muy alta durante el día (sube hasta 35°C); es

decir el calor es muy fuerte y si se considera el poco espacio que se da a los pollos, se tiene una amenaza constante de enfermedades, mal desarrollo y muerte del ave.

Largo:

Está determinado por el área y el ancho del galpón. Desde 25m hasta no más de 100m porque el manejo se hace más difícil. Por lo tanto analizando estos datos se obtiene las siguientes medidas.

Base=7m

Altura=18m



Figura 3.1 Dimensiones de galpón de pollos estándar

Fuente: (Martínez, 19)

$$A = \text{base} * \text{altura}$$

$$A = 7m * 18m$$

$$A=126 \text{ m}^2$$

Con estos datos haciendo una comparativa que se aprecia en la Tabla 3.1 se puede concluir que el módulo XBee S1 Pro que es un modelo estándar de bajo costo y con un alcance de 1600m suficiente para establecer el enlace en el área de 108m2.

3.1.3 Comparación de módulos XBee para la selección del dispositivo.

La fábrica DIGI cuenta con más de 70 tipos de módulos XBee con diferentes antenas, potencia y capacidades. A continuación, se presenta la Tabla 3.1 donde se realiza la comparación de la variedad de módulos XBee detallando las especificaciones técnicas:

Tabla 3.1 Comparativa de los módulos XBee

XBee	Max data rate	Frequency band	Transmit power	Antenna	IO pins digital	Range
 Xbee 1mW PCB Antenna	115.2 kbP	2.4 GHz	1 mW (+0 dBm)	Built-in	8	300ft (100m)
 Xbee 1mW Wire Antenna	250kbps	2.4 GHz	1mW output (+0dBm)	Built-in	8	300ft (100m)
 Xbee 2mW Chip Antenna – Series 2	250kbps	2.4 GHz	2mW output (+3dBm)	Built-in	8	400ft (120m)
 Xbee 2mW PCB Antenna – Series 2 (ZigBee Mesh)	250kbps	2.4 GHz	2mW output (+3dBm).	Built-in	8	400ft (120m)

XBee	Max data rate	Frequency band	Transmit power	Antenna	IO pins digital	Range
 <p>XBee 2mW RPSMA – Series 2</p>	250kbps	2.4 GHz	2mW output (+3dBm)	RPSMA	8	400ft (120m)
 <p>XBee 2mW Wire Antenna – Series 2 (Mesh)</p>	250kbps	2.4 GHz	2mW output (+3dBm)	Built-in	8	400ft (120m)
 <p>XBee Pro 50mW RPSMA – Series 2 (Mesh)</p>	250kbps	2.4 GHz	50mW output (+17dBm).	RPSMA	8	1 mile (1600m)
 <p>XBee Pro 50mW Serie 2.5 Wire Antena</p>	250kbps	2.4 GHz	50mW output (+17dBm).	Built-in	8	1 mile (1600m)
 <p>XBee Pro 60mW serie 1 PCB Antena</p>	250kbps	2.4 GHz	60mW output (+18dBm).	Built-in	8	1 mile (1600m)

XBee	Max data rate	Frequency band	Transmit power	Antenna	IO pins digital	Range
 Xbee Pro 60mW Wire Antenna	250kbps	2.4 GHz	60mW output (+18dBm)	Built-in	8	1 mile (1600m)
 Xbee Pro 900 RPSMA	156 Kbps	ISM de 900MHz	50 mW (+17 dBm)	RPSMA	10	6 miles (10 km)
 Xbee Pro 900 XSC RPSMA	9.6kbps	ISM de 900MHz	100 mW power output	RPSMA	none	15 mile

Fuente: (XBee. CI, 2019)

Después del análisis de las características de los módulos y con los resultados de la fórmula aplicada en la sección 3.1.2 se determina que uno de gama baja será óptimo para esta implementación. Por lo tanto se escogió el módulo XBee S1 PRO el cual es escalable, tiene un alcance de 100 metros y una frecuencia de 2,4 GHz. Este módulo se caracteriza por su costo de adquisición bajo y por ser una herramienta usada en pequeñas implementaciones de laboratorio.

3.1.4 Selección de los sensores

Para la correcta selección de sensores se debía validar el intervalo de medición, conectividad, tamaño y costo del dispositivo. Se eligió el sensor de temperatura LM35 debido a que es un sensor estándar de dimensiones adecuadas, tiene un rango de medición desde los -55° C hasta los 150° C. Este es un sensor analógico que entrega

voltaje a la salida, 10mv por grado centígrado por lo tanto es muy fácil de acoplar a cualquier sistema HMI y hacer la transformación para la lectura de temperatura. Además, posee un bajo costo y alta durabilidad. Para el proceso de la supervisión y control de la intensidad luminosa se toma en cuenta los mismos parámetros que la temperatura por tal motivo el módulo sensor fotorresistencia LDR es una opción óptima por sus buenas prestaciones.

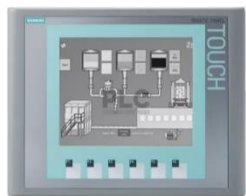
3.1.5 Selección del Software HMI






Para la selección del HMI se analizan las prestaciones que tiene la herramienta como lo son las interfaces para la comunicación, procesado de señal, aplicación y configuraciones del sistema. Por estas razones se determinó que la mejor opción es la herramienta NI LabView por lenguaje de programación gráfico el cual facilita la creación de proyectos y optimiza el tiempo del programador. Cuenta con una gran variedad de bloques prediseñados que ayuda a invertir menos tiempo en programación y enfocarse más en del desarrollo de la interfaz gráfica del HMI y con las pruebas e interacción con el usuario final del proyecto. Además, la ventaja principal es el costo de la licencia anual el cual no es elevado y tiene mayores funcionalidades que otras marcas.

3.1.6 Comparación de sistemas HMI estándar

En la Tabla 3.2 se presenta un análisis comparativo de las Interfaz Humano Máquina de distintas marcas que existen el mercado. A continuación, se especifica la marca, modelo, características y precio.

Tabla 3.2 Comparativa de precios del HMI

Marca HMI	Modelo	Características básicas	Precio
Siemens	Panel Touch Siemens Ktp600 Basic Mono Pn 	Panel básico, operación de tecla / toque, pantalla STN de 6 ", 4 niveles de gris, interfaz PROFINET, configurable desde WinCC flexible 2008 SP2 Compact / WinCC Basic V10.5 / STEP 7 Basic V10.5, contiene Software de código abierto, que se proporciona de forma gratuita.	\$720

Delta	<p>Delta DOP-B07S410</p> 	<p>La pantalla táctil TFT-LCD con 65,536 colores, resolución 800 x 480 píxeles. Con protección IP65. La memoria ROM de 4 Mb, la línea DOP-B07S411 es de 128 Mb. No admite USB en caliente. Hay 1 puerto de puerto compatible RS232, RS485 / RS 422. Soporta visualización vertical u horizontal</p>	\$520
Allen Bradley	<p>PanelView Plus 7</p> 	<p>Utiliza las funciones estándar de Windows CE 6.0, posee pantalla LCD con 18 bits de graficas a color. Tiene compatibilidad VNC para monitoreo de aplicaciones que utilizan conectividad de tipo remota.</p>	\$560
National Instruments	<p>LabView Base</p> 	<p>Recomendado para aplicaciones de medidas de escritorio, Incluye controladores y acoplamiento para otros dispositivos de National Instruments, Incluye programación de funciones matemáticas básicas y procesamiento digital de señales.</p>	\$440
Advantech	<p>WOP-3070T-C4BE</p> 	<p>El WebOP-3070T es una panel de operación, que proporciona estándares estrictos requeridos en el mercado de la automatización, admite una variedad de tamaños de LCD de 4.3 "a 15" para diferentes aplicaciones que implican el uso de PLC.</p>	\$783
Renu Electronics	<p>FP4057T-E</p> 	<p>Pantalla Táctil 5.7" TFT Color ,5 ranuras, Extensión para entradas y salidas, Soporte para de configuraciones del producto, Velocidad variada, Asistencia para la salida PWM. Programación bajo estándar IEC61131-3, Programación en escalera.</p>	\$963

Después de analizar las características de soluciones HMI de bajo costo se determina que LabView es la mejor opción por sus características que se acoplan a la red y su precio, además de la compatibilidad con XBee. Este ofrece un software compatible con Microsoft y de fácil programación. Cuenta con soporte ilimitado durante el año de

vigencia de la licencia.

3.1.7 Presupuesto Para el Proyecto

En esta tabla se especifica los costos de todos los dispositivos y elementos necesarios para el desarrollo de la red. Se evidencia cual es el costo total de todos los elementos para tener en cuenta en el presupuesto.

Tabla 3.3 Presupuesto para el proyecto

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	V.UNITARIO \$	SUBTOTAL \$
Dispositivos electrónicos			
Xbee S1 Pro	2	55.50	111
Xbee Xplorer Regulated	1	42	42
Xbee explorer USB	1	31	31
PIC16F877A	1	9.40	9.40
LM35	1	1.75	1.75
Potenciómetro	1	0.50	0.50
Transformador de 110Vac/12vAc	1	12	12
Triac	1	3	3
Optotriac	1	2.50	2.50
Módulo de foto resistencia	1	6.50	6.50
CI ULN 2803	1	3.5	3.5
Adaptador de 12 vcc a 3 amperios	1	10	10
Módulos LED luz blanca de 12V	4	0.50	2
Cables flexibles	2m	0.50	1
Conectores	15	0,3	4,5
Regletas	10	0,25	2,5
Materiales para las placas			
Baquelita fibra de vidrio 20x30cm 2 cara	2	2,50	5
Cloruro férrico	100mg	0.90	0.90
Papel termotransferible	4	0,8	3,2
Cautín de lápiz	1	15	15
Rollo de suelda	1	6	6
Pasta para soldar	1	4.8	3,7
Lija de metal fina	1	0,7	0,7
Rotulador permanente	1	1,5	1,5
Diseño de maqueta			
Elaboración de maquetas tipo gallineros	2	70	140

Tiempos de desarrollo del proyecto			
Tiempo de investigación en internet	500 min	1	12
Tiempo de horas laborables	40 horas	1	40
Llamadas telefónicas de coordinación	6 horas	1	6
Movilización			
Visitas a criaderos Avícolas	5	5	25
Transporte utilizado para la compra de materiales	2	5	10
Transporte para la elaboración de la maqueta	3	5	15
Transporte para investigación en bibliotecas	2	5	10
Impresión, borradores y encuadernación tesis			
Impresión de borradores y anillados	4	15	60
Encuadernación de la tesis	1	22	22
Varios e imprevistos 5% del total			
TOTAL			\$ 619.15

3.2 Diseño electrónico del circuito en Proteus para el control de temperatura mediante una niquelina.

El diseño que se ilustra en la Figura 3.2 detalla todos los componentes electrónicos que han sido seleccionados y tomados en cuenta de acuerdo con sus características técnicas y funcionales. Según el circuito diseñado en Proteus mediante el microcontrolador 16F877A se recibe el detector de cruce por cero. Este detector sirve para determinar en qué tiempo disparar y se encuentra diseñado entre opto transistor y el puente rectificador. El microcontrolador recibe los pulsos del transformador cuando pasa la onda del semi-ciclo positivo al negativo, estas señales ingresan al microcontrolador para que en base a la señal PWM que llega del XBee configurado como nodo 1 varíe el ancho de pulso del ángulo de disparo. Cuando el ángulo de disparo es mínimo o cercano a cero la potencia máxima es enviada a la niquelina y cuando el ángulo de disparo es máximo la potencia mínima es enviada a la niquelina. Esta señal de disparo primero ingresa a la compuerta del Triac para poder controlar la potencia que envía a la niquelina. De esta manera se va modificando la potencia y la intensidad calórica. Para analizar la programación del microcontrolador 16F877A se recomienda revisar el ANEXO 3.

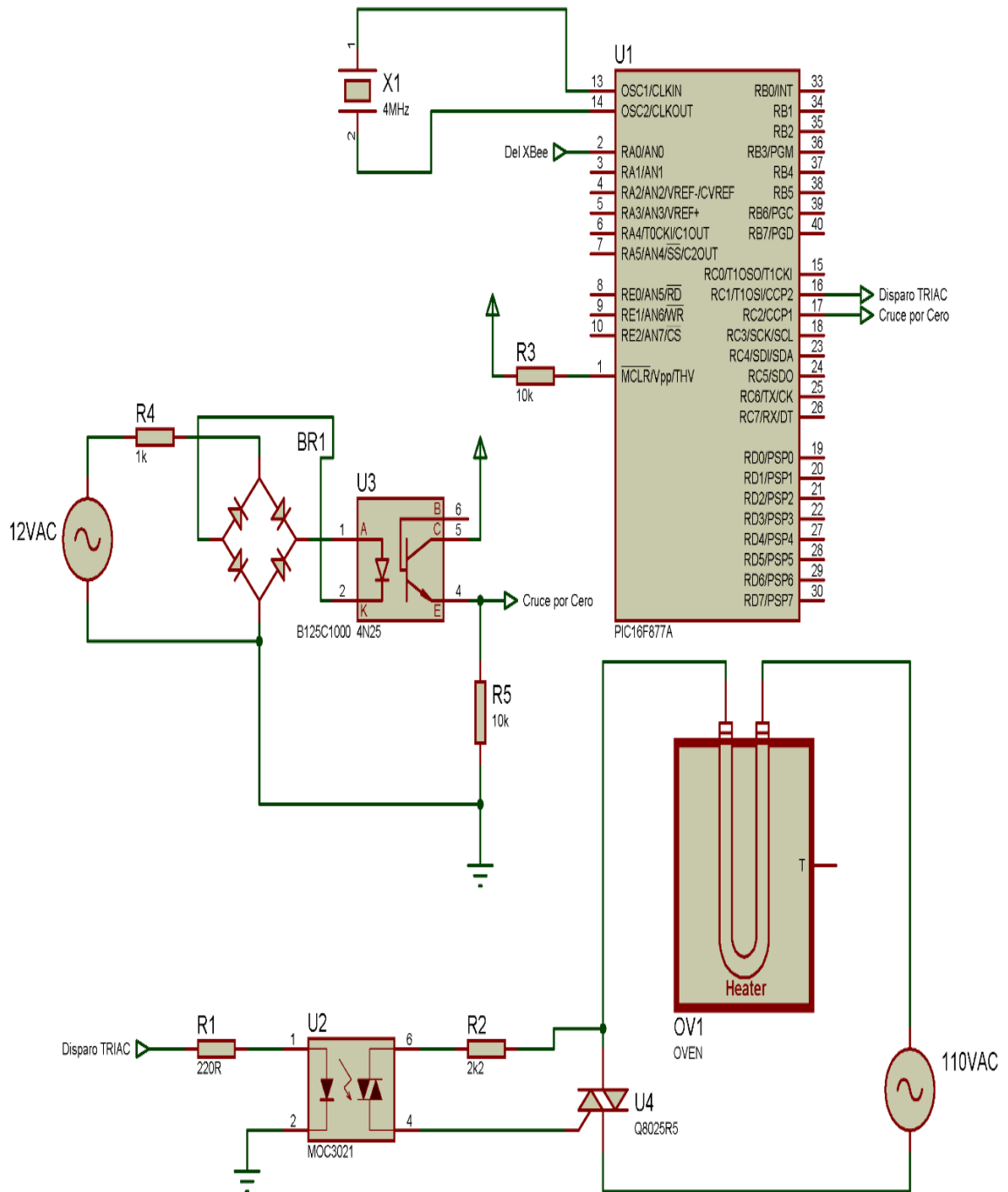


Figura 3.2 Diagrama de conexión para la niquelina.

3.3 Cálculo del amperaje para la selección de la fuente

Una parte fundamental del diseño e implementación del circuito es el cálculo del amperaje para la fuente debido a que por medio de esta se distribuye la corriente para todos los dispositivos conectados para su correcto funcionamiento y un mal cálculo del amperaje podría ocasionar falla en el sistema o incluso se podrían quemar los componentes.

Para el cálculo del amperaje total se debe realizar la suma de la corriente de consumo del Circuito del control de temperatura, el circuito de control de la intensidad luminosa mas todos los componentes que se conectaras a estos circuitos que son alimentados por la misma fuente.

En circuito 1 correspondiente al control de la temperatura se conecta dos amperímetros en el nodo 1 y nodo 2 del circuito tal como se muestra en la Figura 3.3.

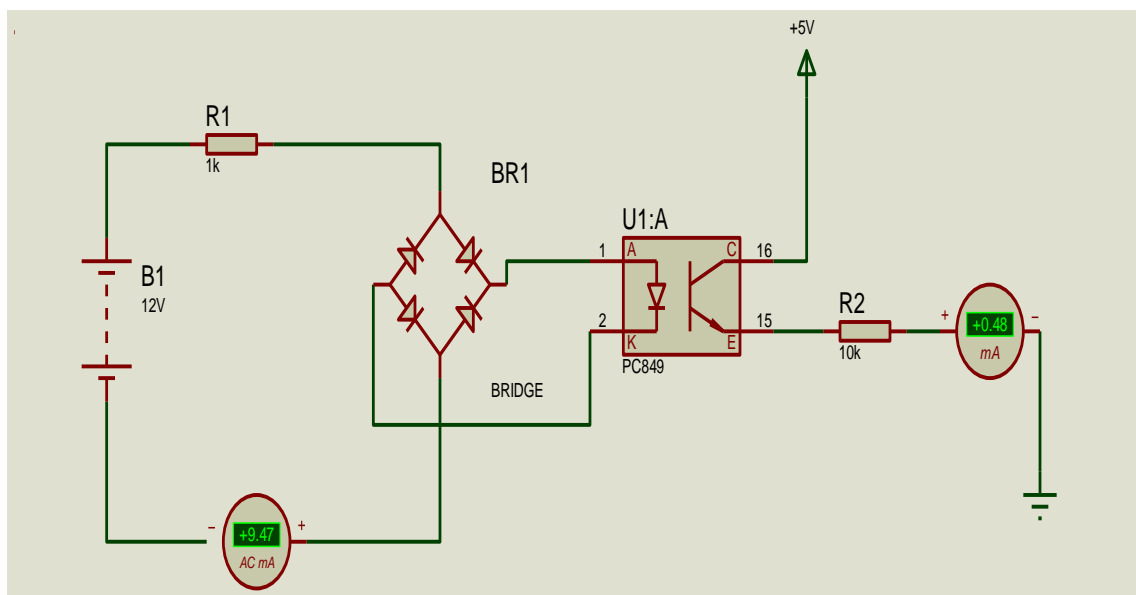


Figura 3.3 Circuito de control de la temperatura

Se realiza la suma de los dos amperajes de los nodos y se obtiene el valor total.

$$A1 = \text{Amp 1} + \text{Amp 2}$$

$$A1 = 9.47 \text{ mA} + 0.48 \text{ mA}$$

$$A1 = 9.95 \text{ mA}$$

Para el cálculo del amperaje del segundo circuito del control de intensidad luminosa se toma el valor solo del primer amperímetro el cual es el que se conecta a la fuente.

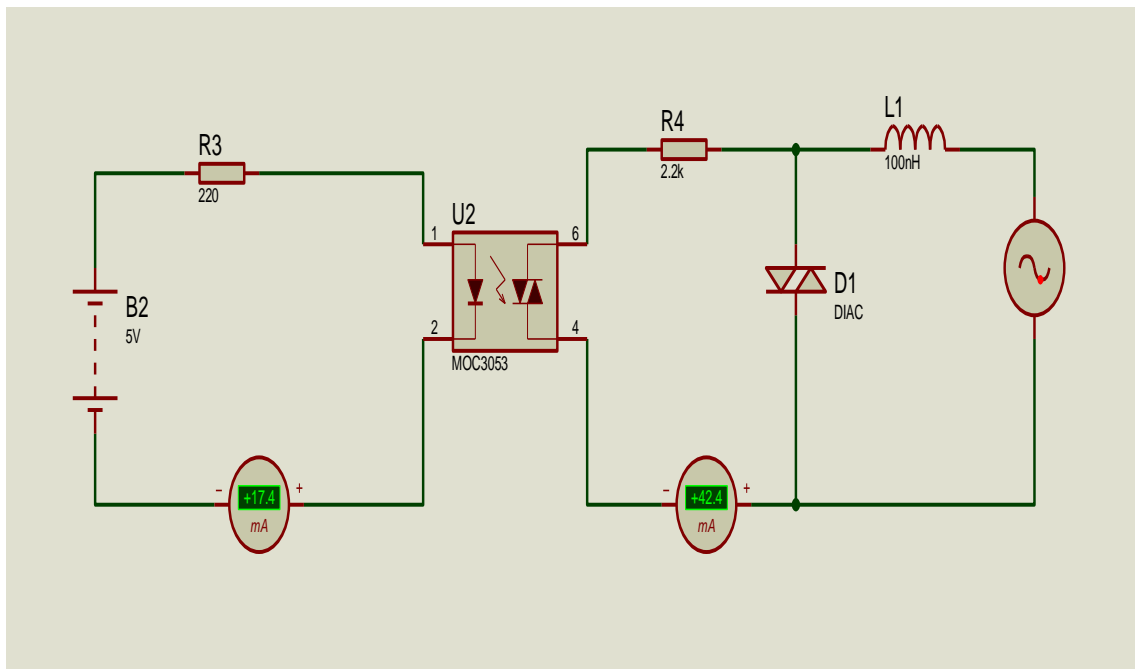


Figura 3.4 Circuito de control de la intensidad luminosa

$$A_2 = 17.4 \text{ mA}$$

Posterior de acuerdo al datasheet se verifica la corriente de consumo de cada dispositivo que se muestra en la Tabla 3.4

Tabla 3.4 Consumo de la corriente de los dispositivos a conectar en la red

Nombre del dispositivo	Valor de la corriente
Sensor de temperatura LM35	0.06 mA
PIC16F877A	15 mA
ULN2803	1.85 mA
Módulo LDR	60 mA
LED luz blanca a 12V	240 mA
XBee Pro S1 60mw	250 mA
Suma total	566.91 mA

Finalmente se realiza la suma total de los dispositivos de la red más los dos circuitos para obtener el consumo total de la corriente del circuito y con este valor adquirir la fuente correcta.

Datos:

- Valor circuito de control de temperatura = 9.95 mA =Valor 1
- Valor circuito de control de la intensidad luminosa = 17.4 mA =Valor 2
- Valor de la suma total de dispositivos de la red =566.91 mA =Valor 3

$$\text{Amperaje total} = \text{Valor 1} + \text{Valor 2} + \text{Valor 3}$$

$$\text{Amperaje total} = 9.95 \text{ mA} + 17.4 \text{ mA} + 566.91 \text{ mA}$$

$$\text{Amperaje total} = 594.26 \text{ mA}$$

$$\text{Amperaje total} = 0.6 \text{ A}$$

Con el resultado del cálculo de la corriente total del circuito de aproximadamente 0.6 Amperios se determina que la fuente ideal y la que se usará en el circuito es una fuente de 12 V a 3 A la cual es suficiente para distribuir la corriente a todo el circuito permitiendo que todos los dispositivos conectados a la fuente trabajen de forma eficaz.

3.4 Cálculos de las resistencias del diodo opto transistor R1

En el circuito de control de la niquelina se realizaron cálculos para la resistencias del diodo opto los cuales ayudan a limitar la corriente. Con esto se asegura que el circuito no sobrepase el máximo permitido, afectando al desempeño del dispositivo porque puede llegar a quemarse.

Datos:

$$I_D = 15 \text{ mA}$$

$$V_D = 1.5 \text{ V}$$

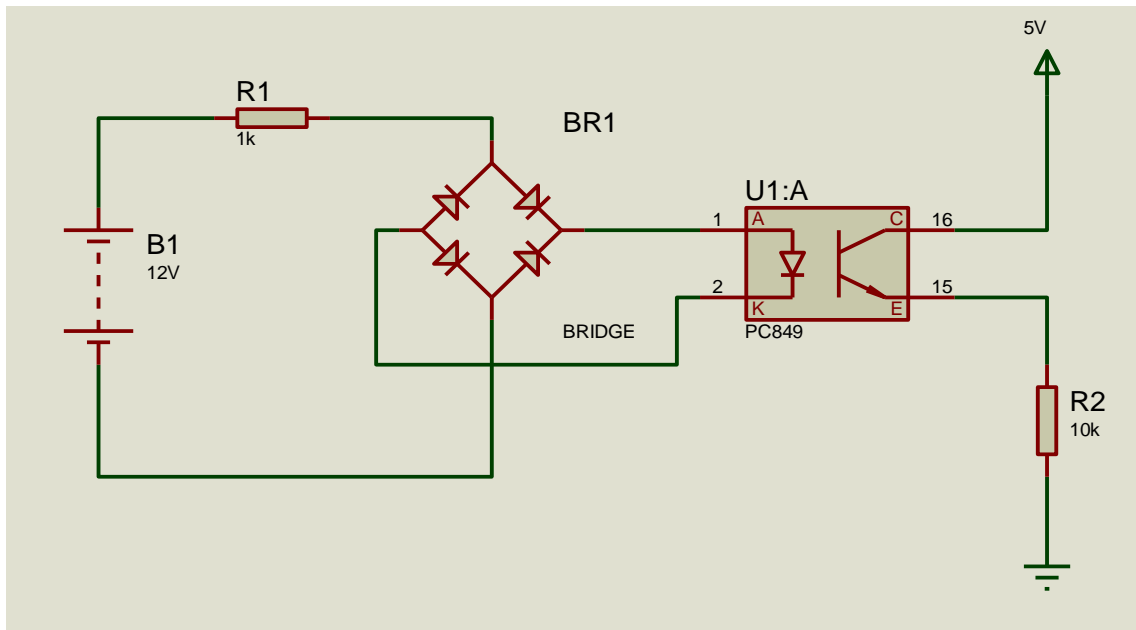


Figura 3.5 Circuito de control de temperatura para cálculo de R1

$$VR1 \frac{12\sqrt{2} - 1,5}{15mA} = 1.031 K\Omega$$

$$R1 = 1 k\Omega$$

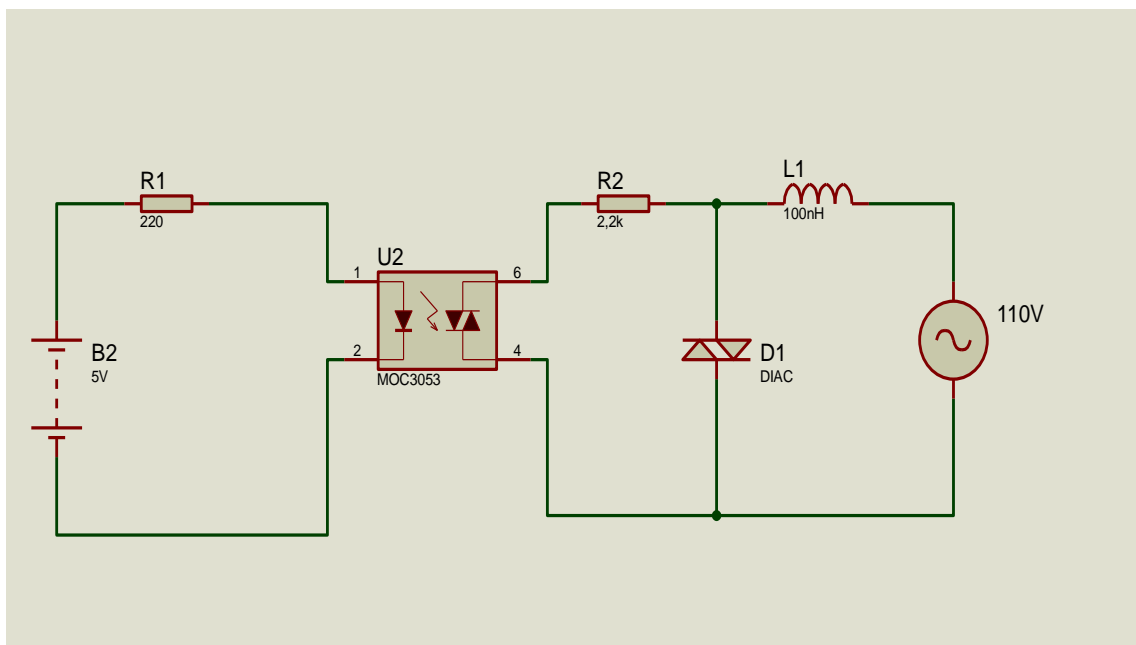


Figura 3.6 Circuito de control de temperatura para cálculo de R2

$$R1 \frac{5V - 1,5V}{15mA} = 233.3\Omega$$

$$R1=220\Omega \text{ y } R2= 2.2 \text{ K}\Omega$$

3.5 Diseño de la placa electrónica en Ares del sistema

Para garantizar la comunicación de los sensores con los módulos XBee mediante la adquisición de datos se necesita un circuito acondicionamiento de señal para convertir un tipo de señal de entrada que puede ser de origen eléctrico o mecánica en una señal de salida. Con esto se logra obtener medidas precisas, capaces de efectuar funciones adicionales como el acoplamiento a un sistema HMI. Por lo tanto se diseñó la placa electrónica en el programa Ares.

En la Figura 3.7 se muestra el diseño de la placa del circuito de control de ángulo de fase para el control de temperatura.

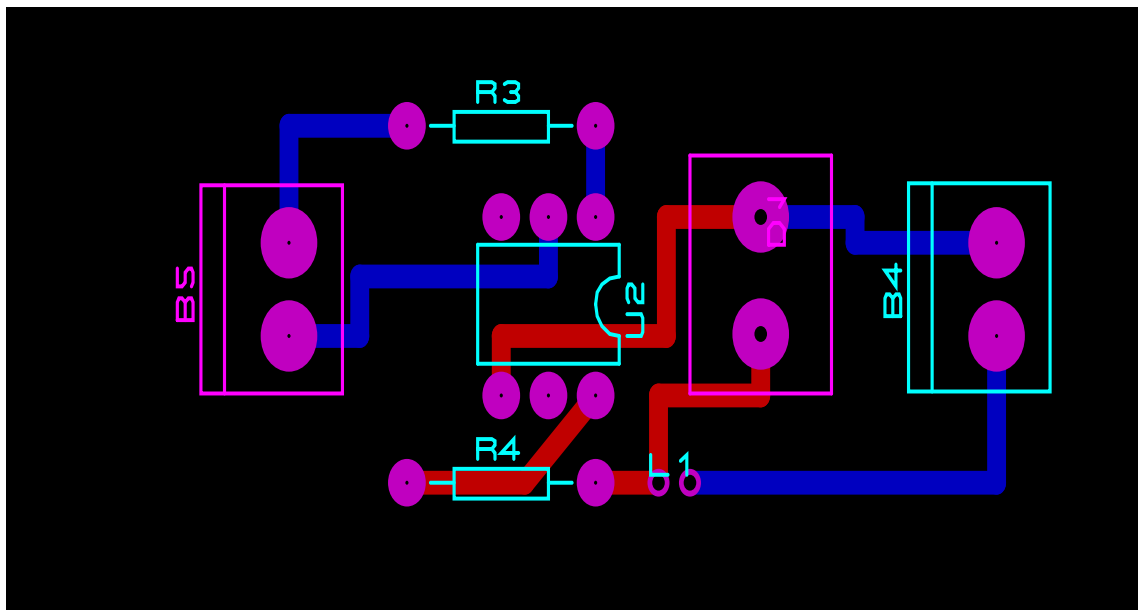


Figura 3.7 Placa del circuito de control de temperatura diseñada en Ares

En la Figura 3.8 se visualiza como se diseña la placa del circuito de control de la intensidad luminosa en el software Ares.

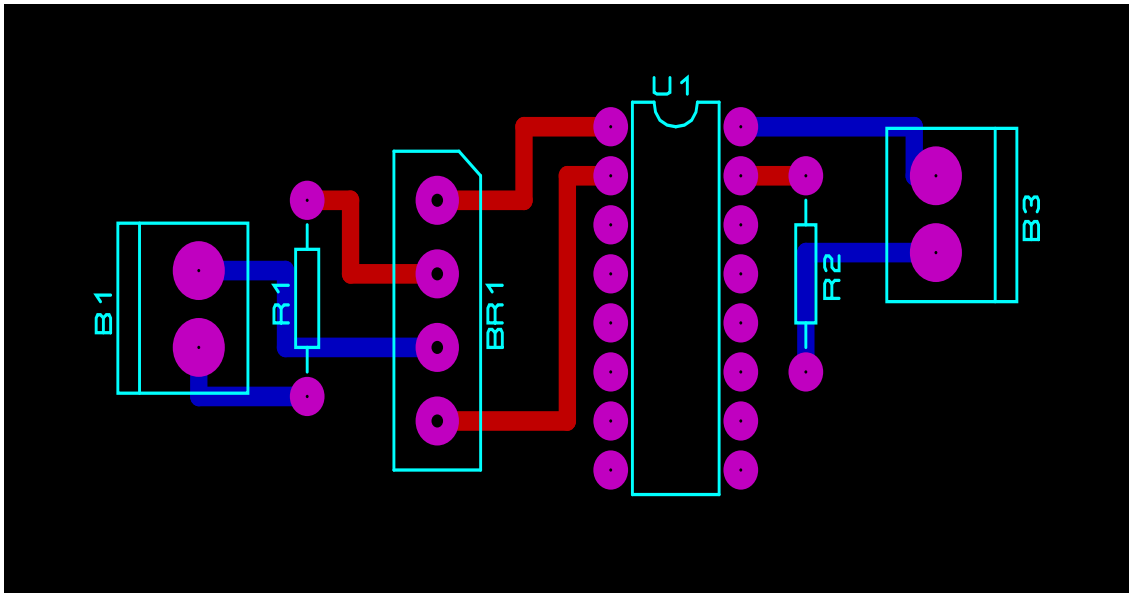


Figura 3.8 Placa del circuito de control de la intensidad luminosa diseñada en Ares

3.6 Diagrama de flujo de la red de módulos XBee con visualización HMI

La Figura 3.9 muestra el diagrama de funcionamiento de la red de forma general. Presenta el sistema de comunicación inalámbrica enfocado a la parte de software el cual divide en dos procesos, el control de la temperatura y de la intensidad luminosa.

Inicia con la consola interfaz humana máquina que a través del dispositivo coordinador hace una petición al nodo 1 de información del sensor de temperatura, después de una espera máxima de 100 ms un tiempo relativamente imperceptible se recibe la señal del sensor LM35 y se visualiza los datos de forma gráfica en la interfaz de LabView. Por medio de la HMI se realiza el control y envía la señal al nodo1 en un tiempo aproximado de 100 ms.

De la misma forma el segundo proceso de la red abarca el control de intensidad luminosa en donde inicia la interfaz humano máquina, mediante el coordinador realiza la petición al nodo 2 y en un tiempo de 100 ms recibe la información del sensor fotorresistencia LDR y visualiza los datos en la consola HMI. Después, realiza el control de intensidad de luz y envía la señal de control al nodo 2, en el mismo tiempo de 100 ms logrando así la comunicación total de los módulos.

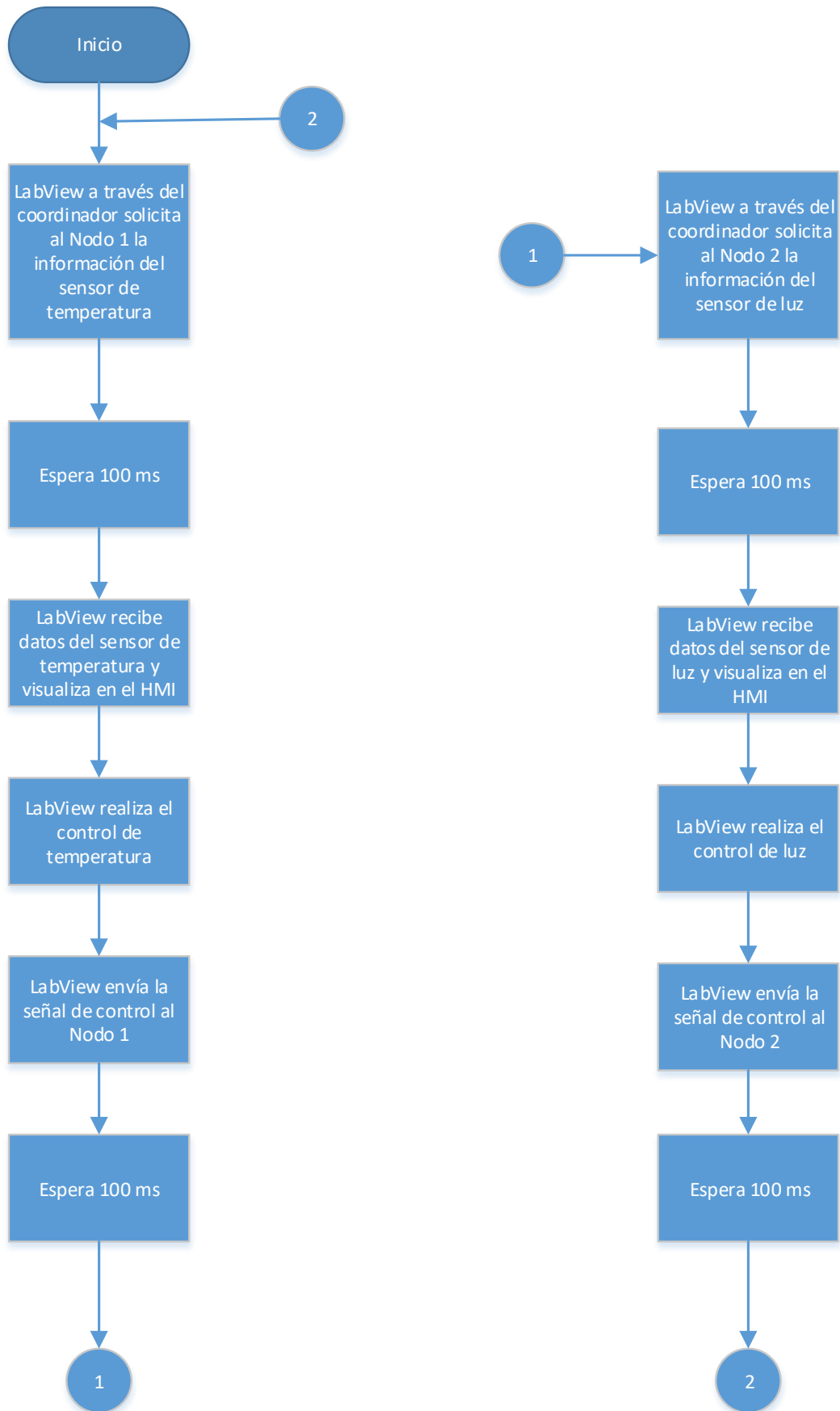


Figura 3.9 Diagrama de flujo de la red XBee

3.7 Módulos de sistema electrónico

En la sección 3.7 se detalla cómo están estructurados los dos módulos que componen la red. Se describirá como realiza su función cada segmento tomando en cuenta las gráficas generadas en Proteus que se detallan a continuación.

3.7.1 Módulo de comunicación del nodo 1 para el control de temperatura.

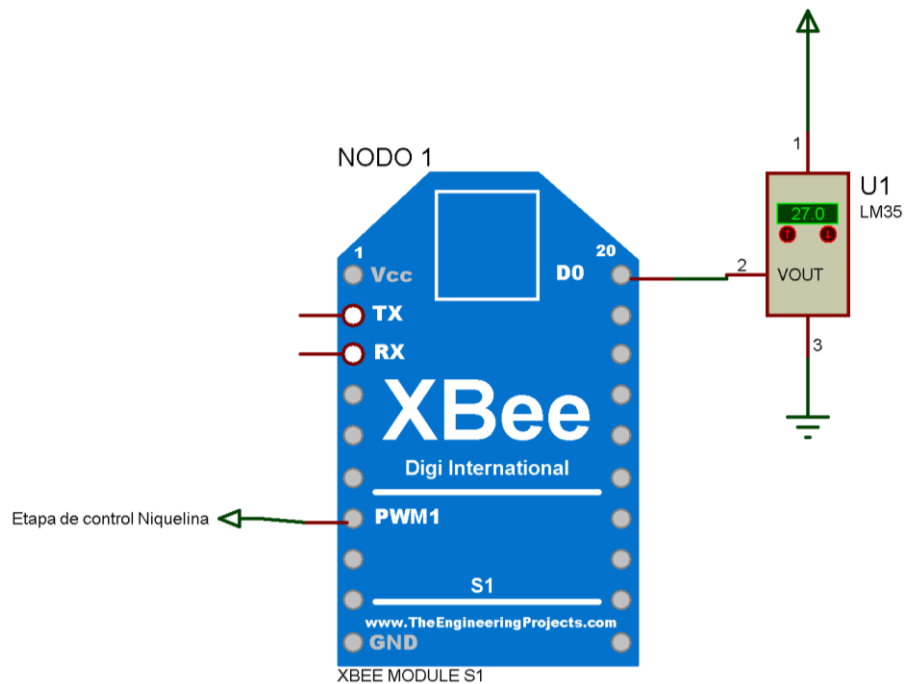


Figura 3.10 Comunicación del nodo 1

El módulo de comunicación del nodo 1 es diseñado para el control y monitoreo de la temperatura. La conexión consiste en el acoplamiento del circuito de control de la niquelina al módulo XBee S1 pro mediante la salida PWM1 que trasmite los datos del sensor LM35. Para la adquisición de la señal del sensor se le conecta directamente a la entrada analógica D0 donde se adquiere los valores de la señal en forma de voltaje permitiendo que la niquelina pueda ser encendida o apagada de acuerdo a las necesidades del usuario.

3.7.2 Módulo de comunicación del nodo 2 para el proceso de intensidad luminosa.

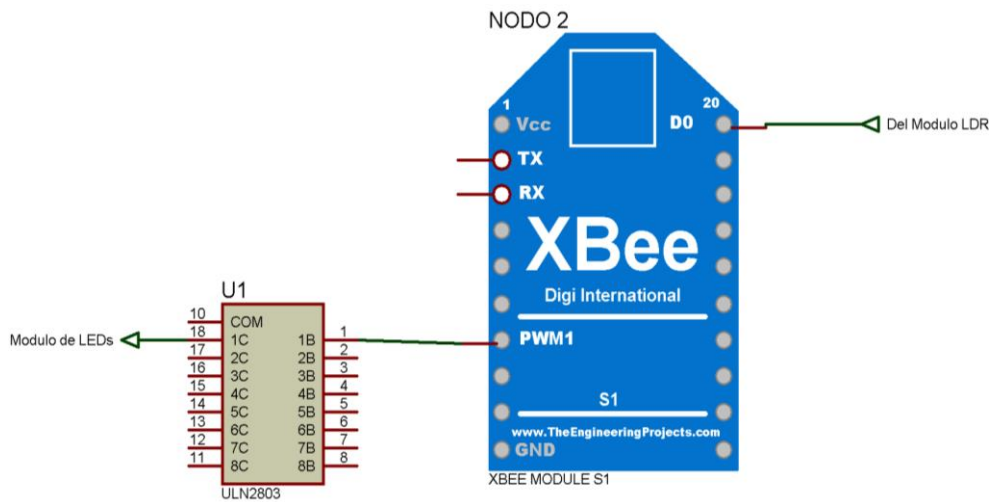


Figura 3.11 Comunicación del nodo 2

El módulo del nodo 2 se configura para el proceso de supervisión y monitoreo de la intensidad luminosa. Para la comunicación se realiza una conexión directa de la señal acondicionada del módulo de sensor LDR a la entrada analógica D0 del módulo inalámbrico XBee S1 pro. A la salida se realiza una conexión del PWM1 con el circuito integrado ULN2803 el cual es la vía de comunicación hacia el módulo de LED. Este módulo se enciende o apaga durante el proceso de control automatizado y de esta forma se controla la intensidad luminosa.

3.8 Diagrama de bloques de control de la red.

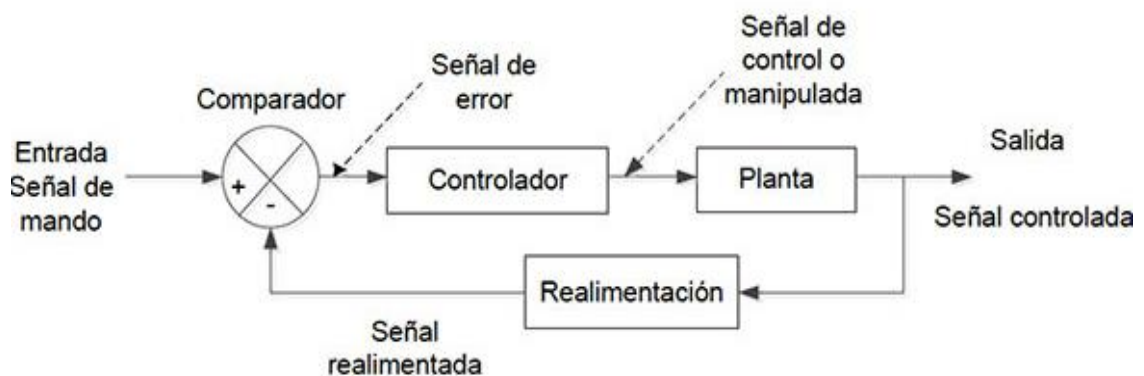


Figura 3.12 Diagrama de bloques de control de la red

El diseño del diagrama de bloques muestra como quedo estructurado el sistema de control que utiliza la red de módulos XBee para controlar las variables de temperatura e intensidad luminosa. Se realizó el control basado en sistema de control de lazo cerrado el cual cumple la función de modificar las variables de control de acuerdo a las necesidades del operador. Este control de lazo cerrado opera basado en la señal de salida (señal de los sensores) que va a ser controlada la cual debe compararse con una señal de referencia (setpoint) que es ingresada por medio de la HMI, la diferencia con la señal de referencia conocida como señal de error es la que pasa al controlador y actuador es decir a los circuitos acondicionadores de señal que procesan estas señales y a la salida de estos circuitos se tiene la señal controlada que es enviada a la planta del sistema en este caso la niquelina en el caso del control de temperatura o los módulos LED en caso del control de la intensidad luminosa. De esta forma se produce el control de forma retroalimentada porque la salida o señal controlada siempre se estará comparando con la señal de referencia para disminuir el margen de error hasta cero.

3.9 Ventajas del sistema de comunicación XBee aplicado en el control y monitoreo de sensores de temperatura y presión.

Posterior al análisis y la investigación de los sistemas usados para el cuidado de los animales en criaderos avícolas y proyectos propuestos relacionados con este tema se trata de lograr que el usuario que administra los criaderos de pollos pueda tener un mejor desempeño en la labor de la crianza y producción de este tipo de aves. A continuación, se detalla las ventajas de implementar este innovador sistema:

- Presentar datos en tiempo real de la medición de los sensores.
- Posibilidad de ser escalable y adaptable a otro tipo de serie del módulo para mejor el alcance.
- Fácil manejo del HMI por lo que no es necesario poseer conocimientos técnicos para la correcta administración de la misma.
- Facilidad en la implementación y reducción del espacio físico debido a que la red es inalámbrica y no necesita de cableado.
- Rapidez en la configuración e implementación de la red.

- Movilidad al ser implementada en cualquier sitio debido a su fácil al tamaño de los dispositivos.
- Ahorro de recursos económicos debido al bajo costo de adquisición e instalación de los dispositivos.

CAPÍTULO 4

IMPLEMENTACIÓN

Para el desarrollo este modelo de comunicación inalámbrica para control y monitoreo de sensores de temperatura e intensidad luminosa aplicada a los criaderos de pollos se aplicó todos los parámetros y cálculos descritos en el capítulo 3 de la propuesta. Se toma en cuenta los diseños de hardware que son los circuitos acondicionares de señal de los sensores de temperatura (LM35) e intensidad luminosa (LDR), además de las conexiones de los módulos XBee y fuente de alimentación eléctrica de estos. De la misma manera, se hace uso de las herramientas de software que después del análisis de las características y precios se determinaron como las de mejores prestaciones y óptimas para el correcto desempeño y funcionamiento de este prototipo de red inalámbrica. Por lo tanto se hace el uso del software Proteus para el diseño de circuitos y placas, XCTU para la configuración de los dispositivos XBee y LabView para el desarrollo y diseño de la interfaz humana máquina (HMI).

4.1 Desarrollo

La red de módulos XBee está conformado por un nodo coordinador y dos nodos esclavos. Por lo tanto se usaron 3 módulos XBee los cuales fueron configurados de forma independiente en el programa XCTU. Posterior se realizó la configuración y diseño de una consola de supervisión y control de las variables de los sensores, definida como la HMI. Finalmente se hizo el acoplamiento con el hardware y la implementación en los galpones. Todo este sistema al ser un prototipo se lo implementó en dos galpones a escala para su demostración y pruebas de funcionamiento.

4.1.1 Configuración del nodo coordinador en XCTU.

Para configurar los módulos se emplea el software de DIGI llamado XCTU. Una vez instalado el software, se ejecuta el programa y aparece la pantalla inicial de la Figura 4.1 en donde se podrá realizar las configuraciones respectivas del nodo coordinador y los esclavos.

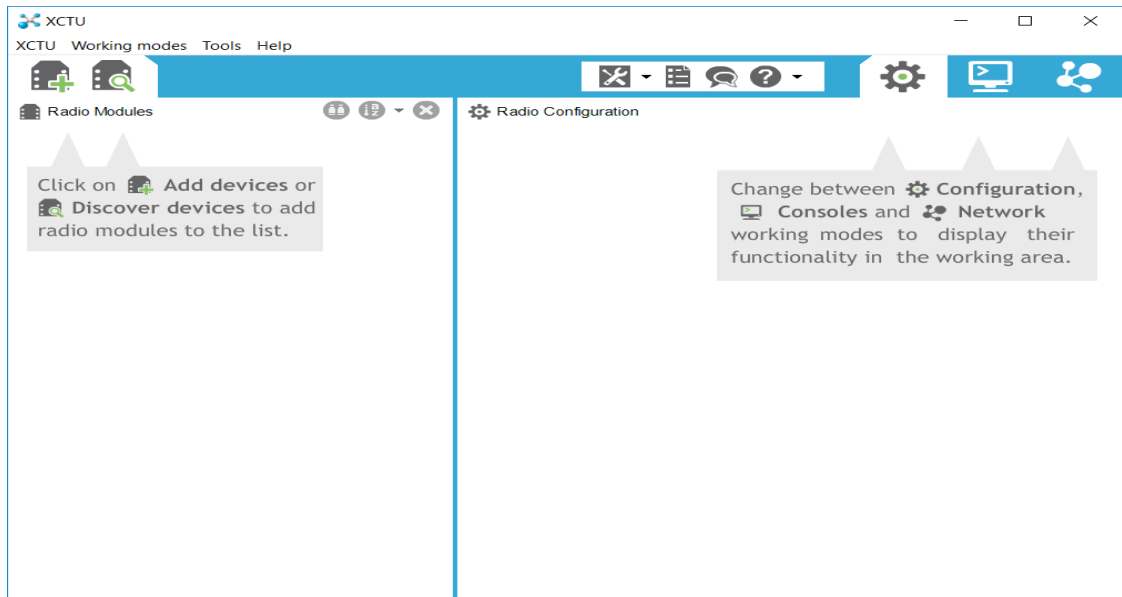


Figura 4.1 Entorno inicial de software XCTU.

Con la visualización de la pantalla en el ordenador se conecta el dispositivo XBee Explorer con USB al computador, este artefacto es la vía de comunicación para la configuración del módulo XBee con su software de programación. Posterior, se da un clic sobre el icono Add Devices, aparece la pantalla de la Figura 4.2.

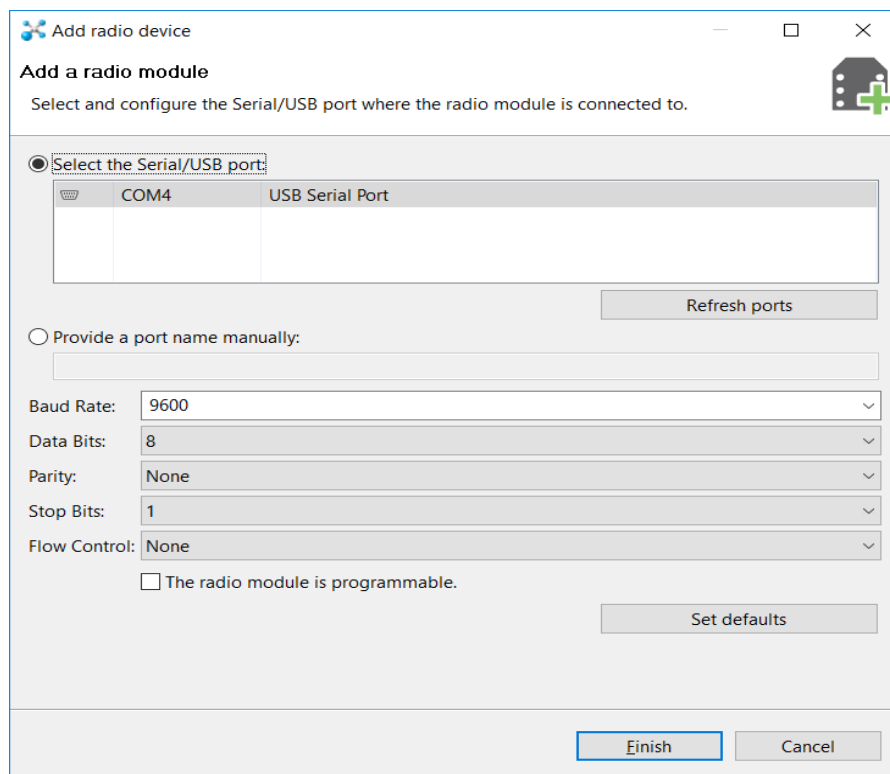


Figura 4.2 Ventana para agregar un módulo XBee

Seleccione el puerto COM que corresponde al XBee Explorer USB (COM4), pulse en el botón Finish, aparece la pantalla mostrada en la Figura 4.3.

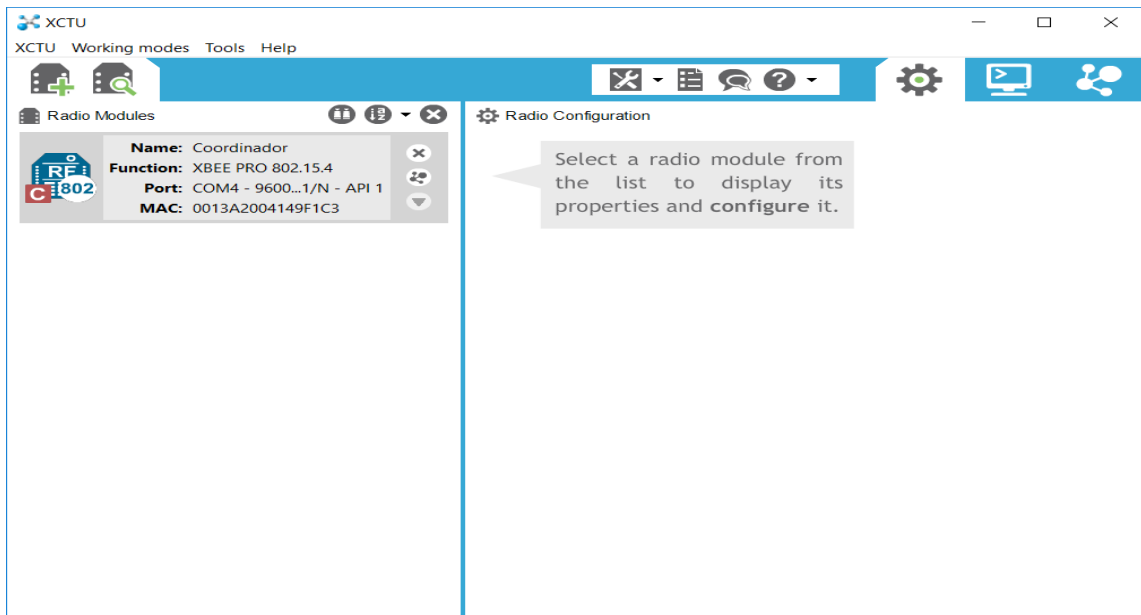


Figura 4.3 Módulo Coordinador detectado

Sobre el modulo detectado se debe dar un clic para configurar los parámetros del mismo. Ver Figura 4.4

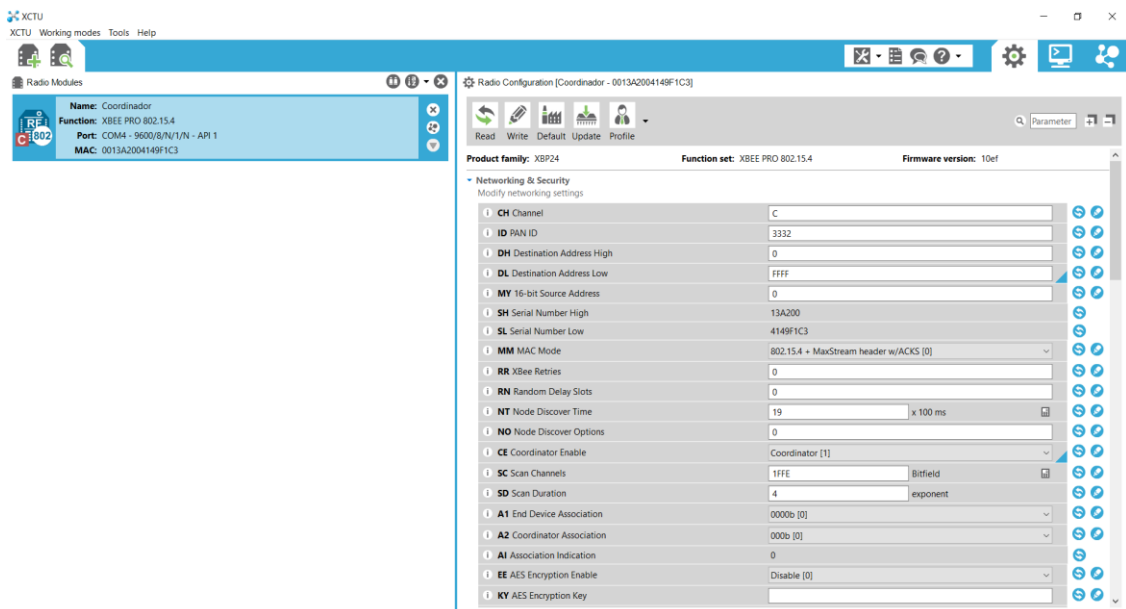


Figura 4.4 Ventana de configuración del módulo coordinador

Los parámetros que se configuró en el nodo coordinador de muestra en la Figura 4.5.

Networking & Security

Modify networking settings

i	CH Channel	C
i	ID PAN ID	3332
i	DH Destination Address High	0
i	DL Destination Address Low	FFFF
i	MY 16-bit Source Address	0
i	SH Serial Number High	13A200
i	SL Serial Number Low	4149F1C3
i	MM MAC Mode	802.15.4 + MaxStream header w/ACKS [0]
i	RR XBee Retries	0
i	RN Random Delay Slots	0
i	NT Node Discover Time	19 x 100 ms
i	NO Node Discover Options	0
i	CE Coordinator Enable	Coordinator [1]
i	SC Scan Channels	1FFE Bitfield
i	SD Scan Duration	4 exponent
i	A1 End Device Association	0000b [0]
i	A2 Coordinator Association	000b [0]
i	AI Association Indication	0
i	EE AES Encryption Enable	Disable [0]
i	KY AES Encryption Key	
i	NI Node Identifier	Coordinador

Serial Interfacing

Modify modem interfacing options

i	BD Interface Data Rate	9600 [3]
i	NB Parity	No Parity [0]
i	RO Packetization Timeout	3 x character times
i	AP API Enable	API enabled [1]

Figura 4.5 Parámetros de configuración del nodo coordinador**4.1.2 Configuración de los nodos esclavos en XCTU.**

De la misma manera se configuraron de forma individual los parámetros para el nodo 1 y nodo 2. Figuras 4.6 (a), 4.6 (b) y Figuras 4.7 (a), 4.7 (b) respectivamente.

networking & security

Modify networking settings

CH Channel	C
ID PAN ID	3332
DH Destination Address High	13A200
DL Destination Address Low	4149F1C3
MY 16-bit Source Address	1
SH Serial Number High	13A200
SL Serial Number Low	41754CBE
MM MAC Mode	802.15.4 + MaxStream header w/ACKS [0]
RR XBee Retries	0
RN Random Delay Slots	0
NT Node Discover Time	19 x 100 ms
NO Node Discover Options	0
CE Coordinator Enable	End Device [0]
SC Scan Channels	1FFE Bitfield
SD Scan Duration	4 exponent
A1 End Device Association	0000b [0]
A2 Coordinator Association	000b [0]
AI Association Indication	0
EE AES Encryption Enable	Disable [0]
KY AES Encryption Key	
NI Node Identifier	Nodo1

Serial Interfacing

Modify modem interfacing options

BD Interface Data Rate	9600 [3]
NB Parity	No Parity [0]
RO Packetization Timeout	3 x character times
AP API Enable	API enabled [1]

Figura 4.6 (a) Parámetros de configuración del nodo 1

I/O Settings

Modify DIO and ADC options




D8 DIO8 Configuration	Disabled [0]	▼
D7 DIO7 Configuration	CTS flow control [1]	▼
D6 DIO6 Configuration	Disabled [0]	▼
D5 DIO5 Configuration	Associated indicator [1]	▼
D4 DIO4 Configuration	Disabled [0]	▼
D3 DIO3 Configuration	Disabled [0]	▼
D2 DIO2 Configuration	Disabled [0]	▼
D1 DIO1 Configuration	Disabled [0]	▼
D0 DIO0 Configuration	ADC [2]	▼
PR Pull-up Resistor Enable	FF	
IU I/O Output Enable	Enabled [1]	▼
IT Samples before TX	1	
IC DIO Change Detect	0	
IR Sample Rate	0	X 1 ms 
P0 PWM0 Configuration	RSSI [1]	▼
P1 PWM1 Configuration	PWM Output [2]	▼
PT PWM Output Timeout	FF	x 100 ms 
RP RSSI PWM Timer	28	x 100 ms 

Figura 4.6 (b) Parámetros de configuración del nodo 1

Networking & Security

Modify networking settings

CH Channel	C
ID PAN ID	3332
DH Destination Address High	13A200
DL Destination Address Low	4149F1C3
MY 16-bit Source Address	2
SH Serial Number High	13A200
SL Serial Number Low	416C26A1
MM MAC Mode	802.15.4 + MaxStream header w/ACKS [0]
RR XBee Retries	0
RN Random Delay Slots	0
NT Node Discover Time	19 x 100 ms
NO Node Discover Options	0
CE Coordinator Enable	End Device [0]
SC Scan Channels	1FFE Bitfield
SD Scan Duration	4 exponent
A1 End Device Association	0000b [0]
A2 Coordinator Association	000b [0]
AI Association Indication	0
EE AES Encryption Enable	Disable [0]
KY AES Encryption Key	
NI Node Identifier	Nodo 2

Serial Interfacing

Modify modem interfacing options

BD Interface Data Rate	9600 [3]
NB Parity	No Parity [0]
RO Packetization Timeout	3 x character times
AP API Enable	API enabled [1]

Figura 4.7 (a) Parámetros de configuración del nodo 2

I/O Settings
Modify DIO and ADC options

D8 DIO8 Configuration	Disabled [0]
D7 DIO7 Configuration	CTS flow control [1]
D6 DIO6 Configuration	Disabled [0]
D5 DIO5 Configuration	Associated indicator [1]
D4 DIO4 Configuration	Disabled [0]
D3 DIO3 Configuration	Disabled [0]
D2 DIO2 Configuration	Disabled [0]
D1 DIO1 Configuration	Disabled [0]
D0 DIO0 Configuration	ADC [2]
PR Pull-up Resistor Enable	FF
IU I/O Output Enable	Enabled [1]
IT Samples before TX	1
IC DIO Change Detect	0
IR Sample Rate	0 x 1 ms
P0 PWM0 Configuration	RSSI [1]
P1 PWM1 Configuration	PWM Output [2]
PT PWM Output Timeout	FF x 100 ms
RP RSSI PWM Timer	28 x 100 ms

Figura 4.7 (b) Parámetros de configuración del nodo 2

4.1.3 Conexión de los nodos esclavos con el coordinador.

Luego de la configuración de cada nodo, se conectó los tres módulos XBee en sus respectivas tarjetas electrónicas acondicionadas, el nodo Coordinador se conectar al computador mediante el XBee Explorer USB y los dos nodos cada uno a un XBee Explorer regulado. Se abrió de nuevo el software XCTU, se agregó el nodo Coordinador, luego pulse la combinación de teclas Alt+V, esto selecciona la ventana de trabajo de la red (Network Working Mode), en esta ventana, pulse el icono Scan, en ese instante empieza el escaneo de los dispositivos conectados en la red XBee. Ver esta configuración en la Figura 4.8.

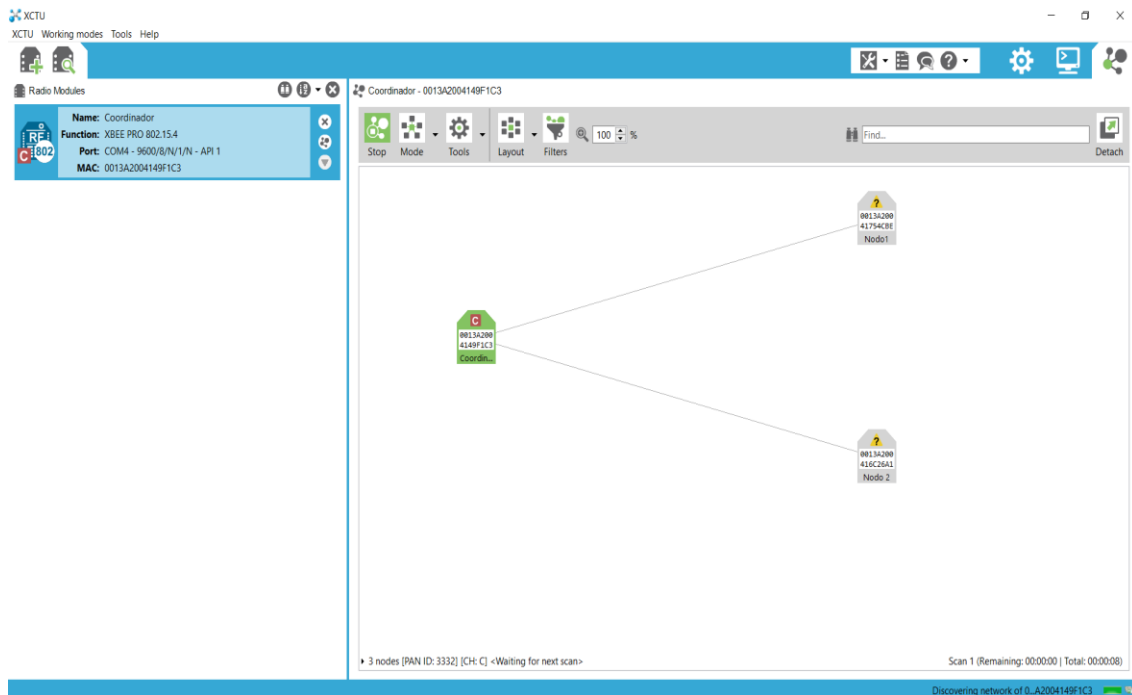


Figura 4.8. Red XBee visualizada en XCTU

Al dar doble clic sobre el nodo 1, se mostró los parámetros configurados de este, Figura 4.9

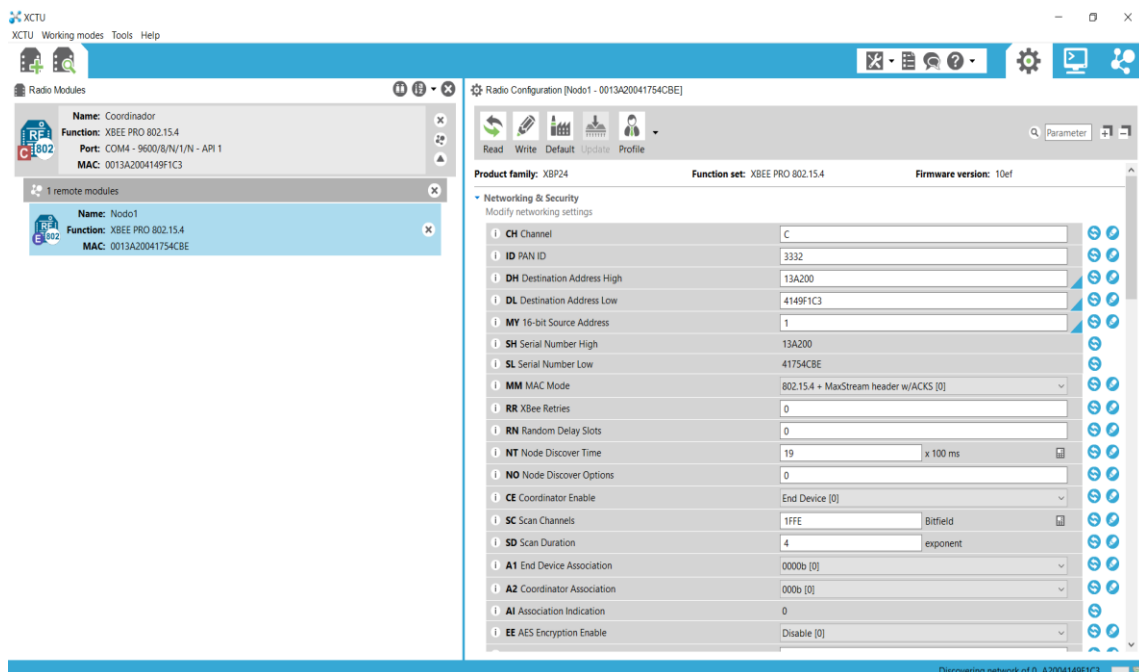


Figura 4.9 Parámetros del Nodo 1 en XCTU

De nuevo pulse la combinación de teclas Alt+V, ahora de doble clic sobre el nodo 2. Figura 4.10.

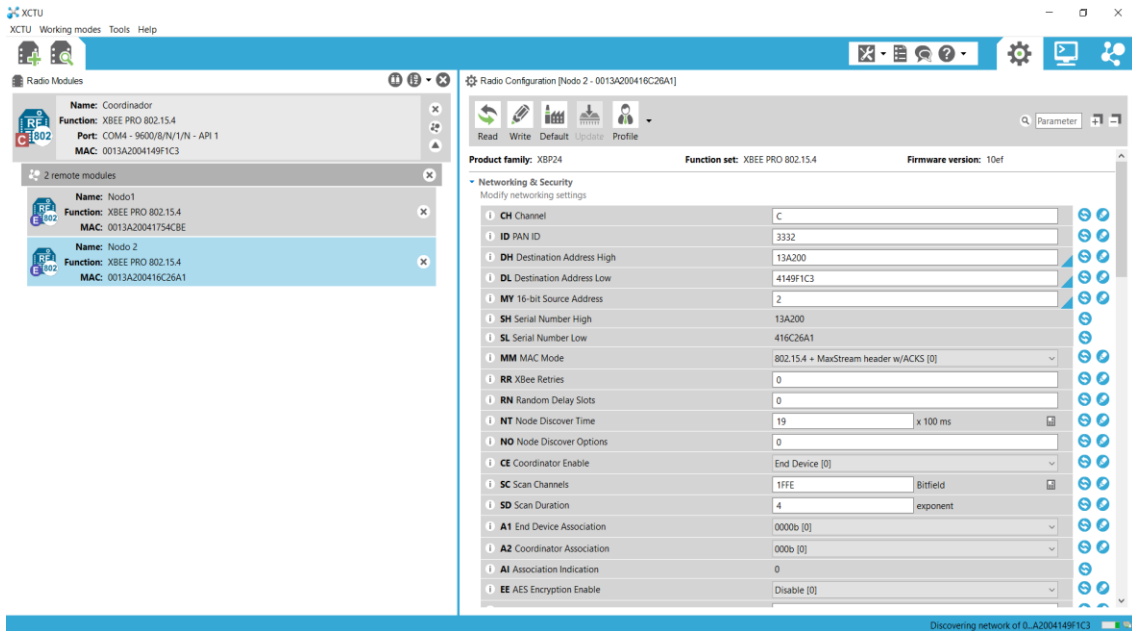


Figura 4.10 Parámetros del Nodo 2 en XCTU

Una vez verificado los parámetros de los tres nodos pulsó la combinación de teclas Alt+C, esto muestra la ventana la ventana de consola de trabajo (Consoles Working Mode), aquí se visualizan las tramas o frames que se intercambian en la red. Figura 4.11

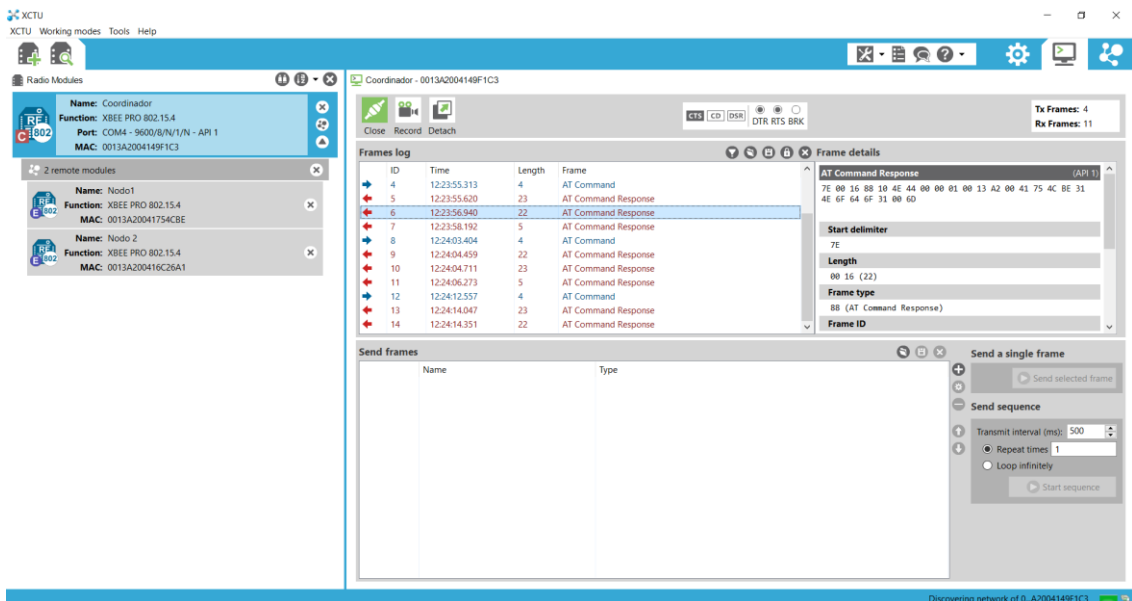


Figura 4.11 Tramas de intercambio de la red XBee.

4.2 Configuración del HMI en LabView

La Interfaz Humano Maquina se realizó en el software LabView, donde se visualiza la intensidad luminosa en un indicador con escala de franja de colores, el color negro

representa oscuridad y el amarillo que se encuentra en la escala más baja, representan claridad total. Estos datos se adquieren del Nodo 2.

El valor de la temperatura se visualiza en un indicador numérico y en un graficador tipo chart, además permite ingresar el valor del set point, es decir; al valor al cual se desea permanezca la temperatura en el interior del criadero de pollo.

En el centro de la interfaz se colocó un control para seleccionar el puerto serial (COM), mediante el cual se recibirán y se enviarán los datos a los nodos mediante el coordinador.

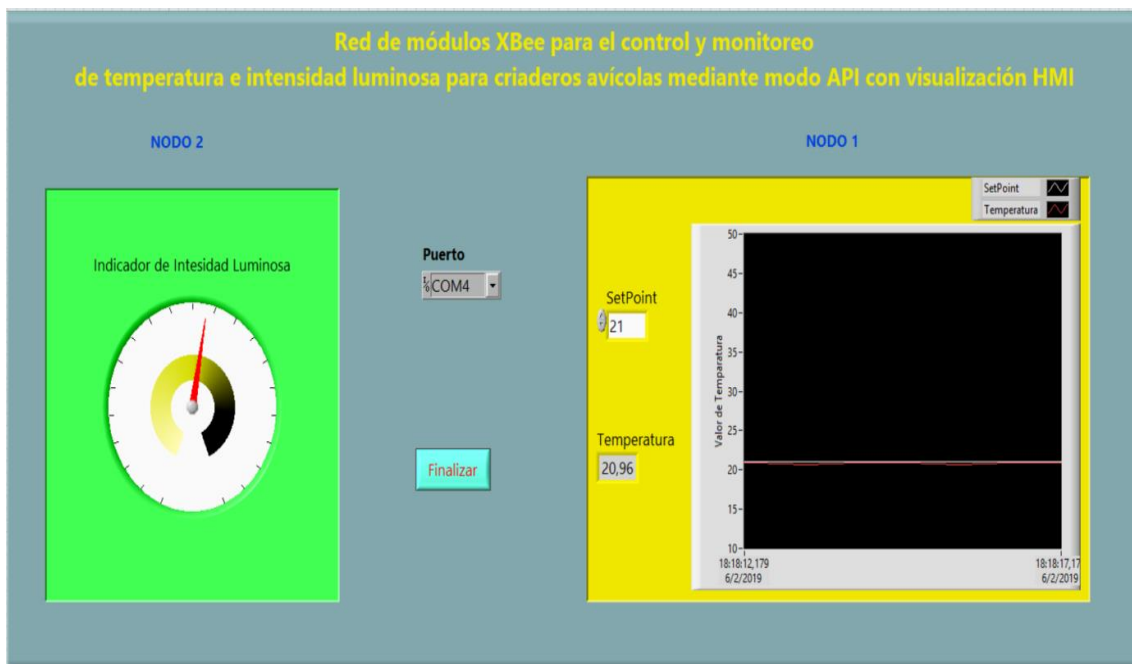


Figura 4.12 HMI del proyecto

Para llegar a la visualización de esta consola interactiva se realizó una serie de configuraciones en una programación tipo gráfica.

Para la petición y lectura de las tramas API de cada nodo sensor mediante el coordinador, se utilizó la estructura secuencia.

En la secuencia 0 se envía la trama de petición para el nodo 1

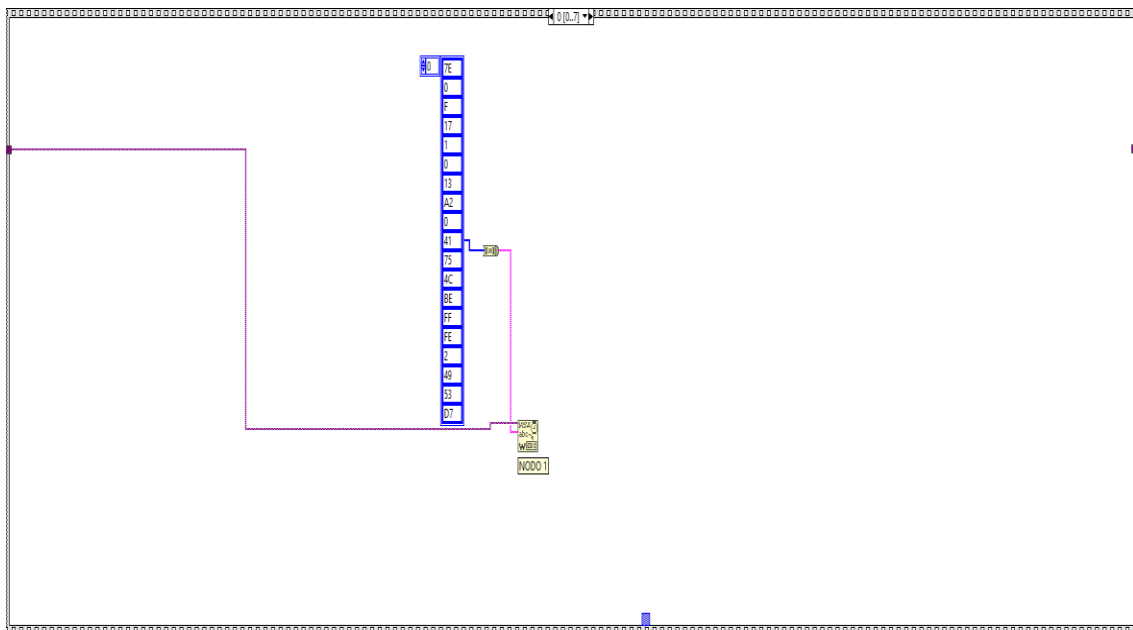


Figura 4.13 Envío de la trama de petición Nodo 1

En la secuencia 1 se coloca una función de retardo de 100 milisegundos, este tiempo es necesaria para que la información llegue al nodo receptor.

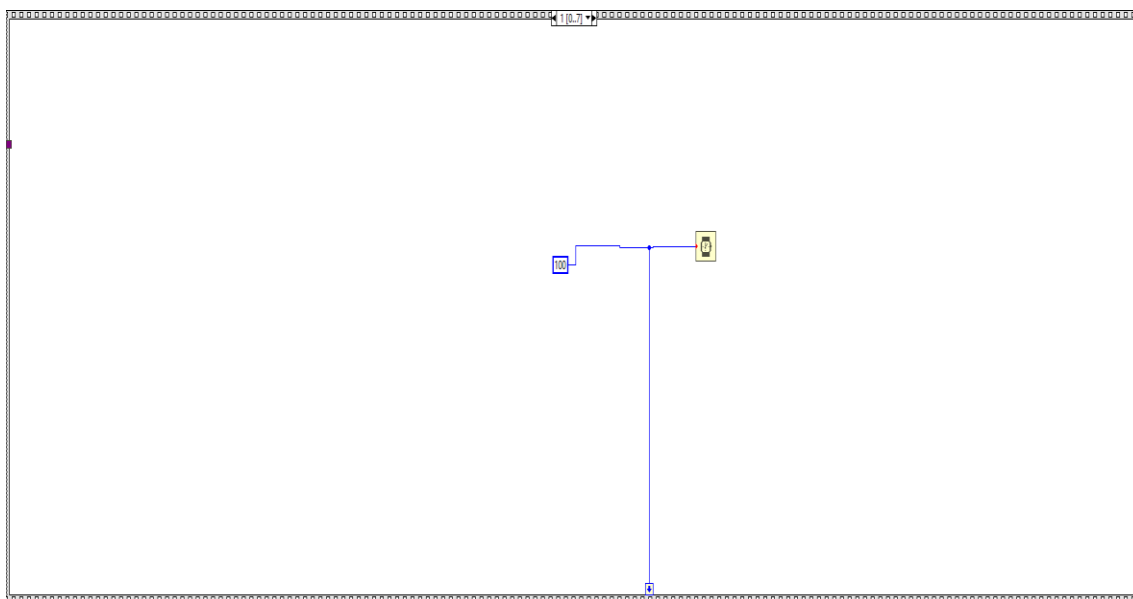


Figura 4.14 Retardo secuencia 1 de 100 ms

En la secuencia 2 se recibe la trama de respuesta del nodo 1, esta contiene la información del valor de temperatura que envía el sensor LM35, este valor una vez procesado ingresa a una función de control PID, la cual realiza el cálculo de la salida de control para la secadora. Ver la Figura 4.15 o para ampliar la imagen ver el ANEXO 4.

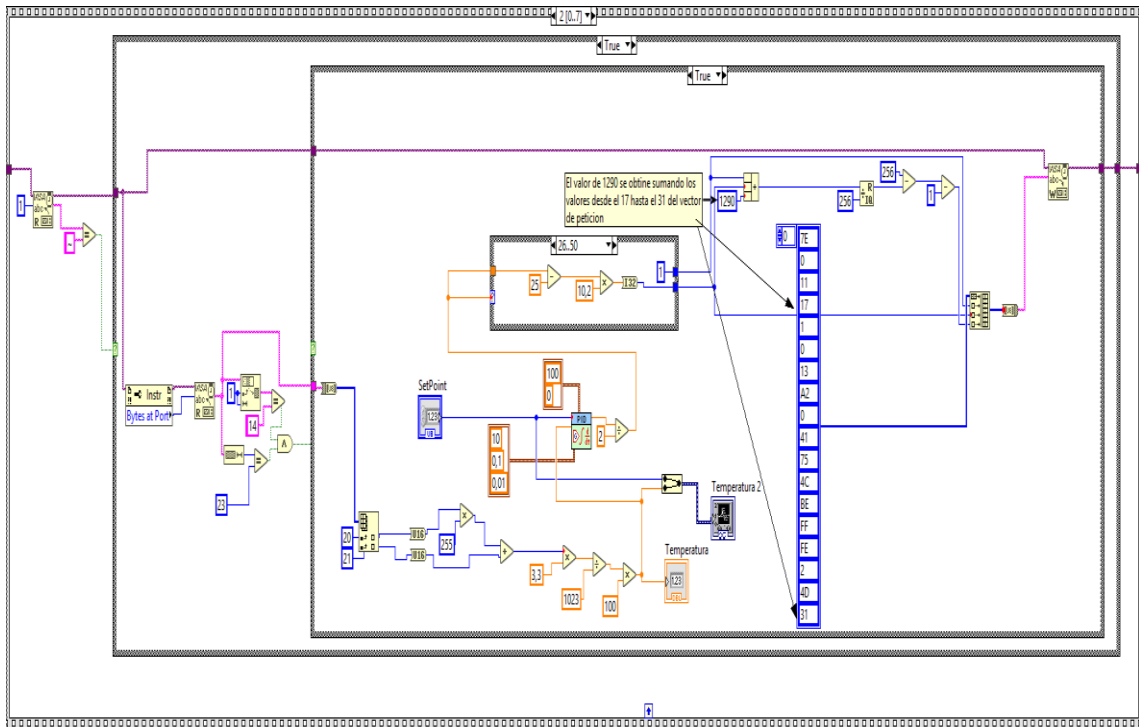


Figura 4.15 Procesamiento y control de señal de temperatura

Con este valor se crea otra trama que se envía al nodo 1 para que varíe la salida PWM y esta señal mediante la tarjeta de control digital de ángulo de fase logra el control de la salida de calor de la niquelina.

En la secuencia 3 se colocó un retardo de 100 milisegundos

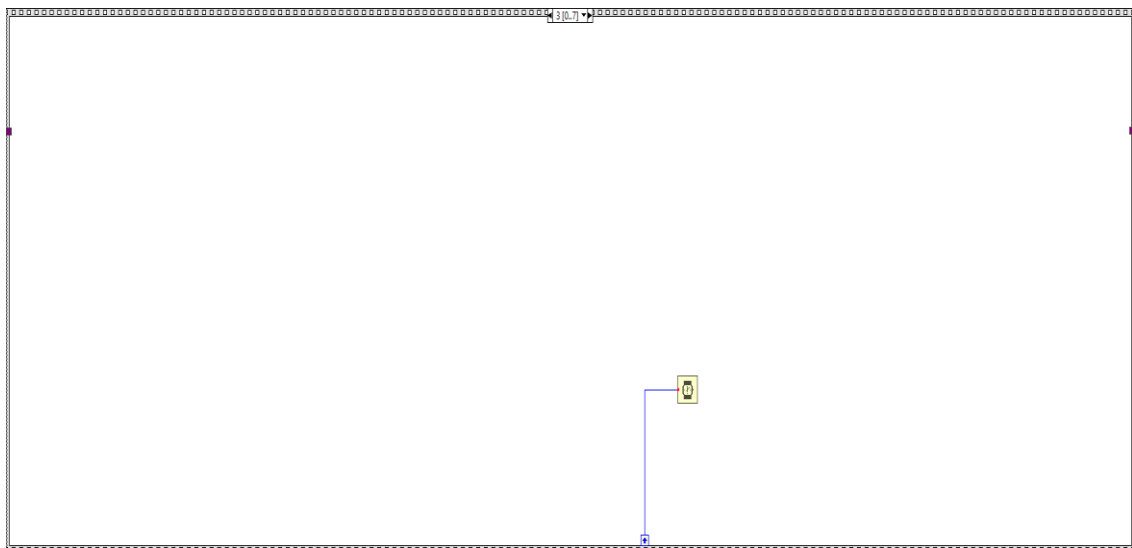


Figura 4.16 Retardo de la secuencia 3 de 100 ms

La secuencia 4 envía la trama de petición para el nodo 2.

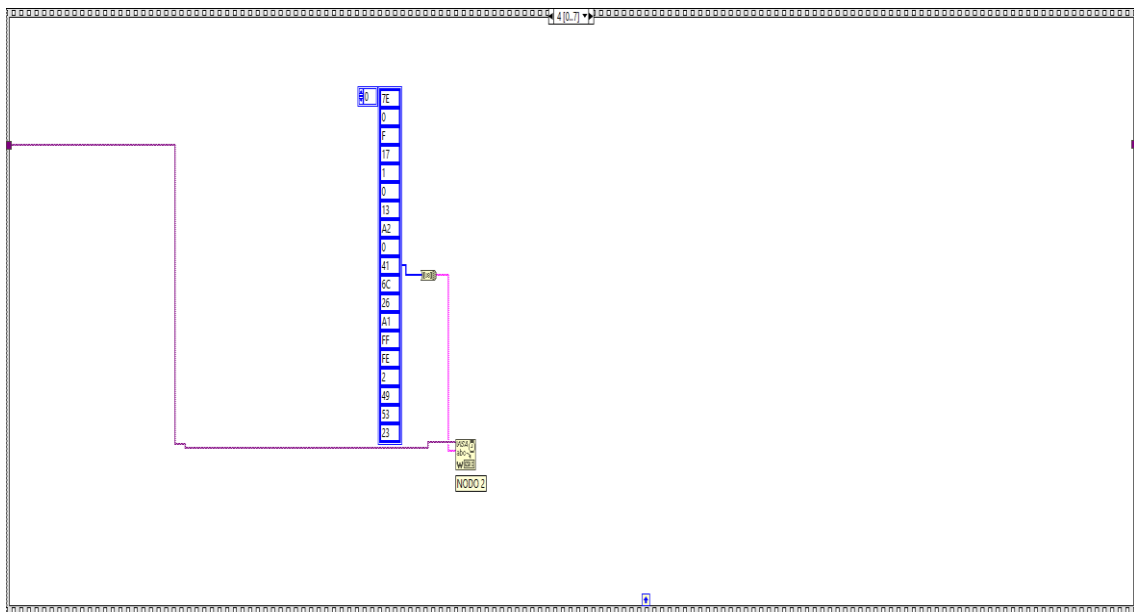


Figura 4.17 Envío de la trama de petición Nodo 2

En la secuencia 5 se colocó un retardo de 100 milisegundos

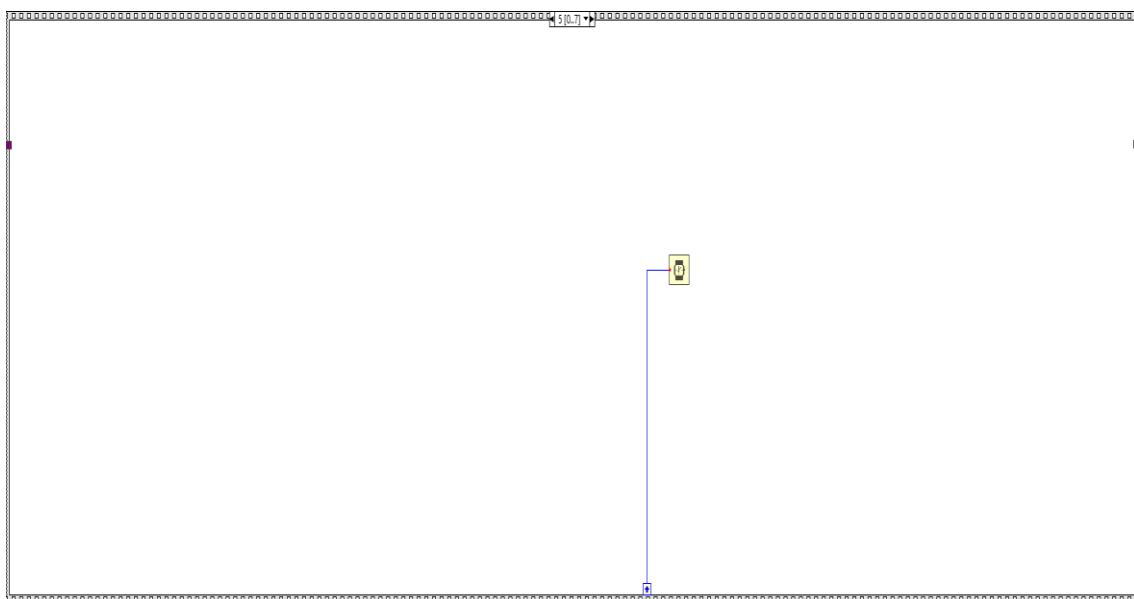


Figura 4.18 Retardo de la secuencia 5 de 100 ms

La secuencia 6 recibe la trama de respuesta del nodo 2, esta contiene el valor de la salida de voltaje que envía el módulo LDR, el rango del voltaje recibido es de 0 a 1,5 Vcc, este valor se escala de 0 a 100 para visualizar en el indicador con escala de franja de colores. 1,5 V representa oscuridad y 0 V claridad. Con el valor escalado se crea otra trama que se enviara al nodo 2 para que varíe la salida PWM. Ver la Figura 4.19 o para ampliar la imagen ver el ANEXO 5.

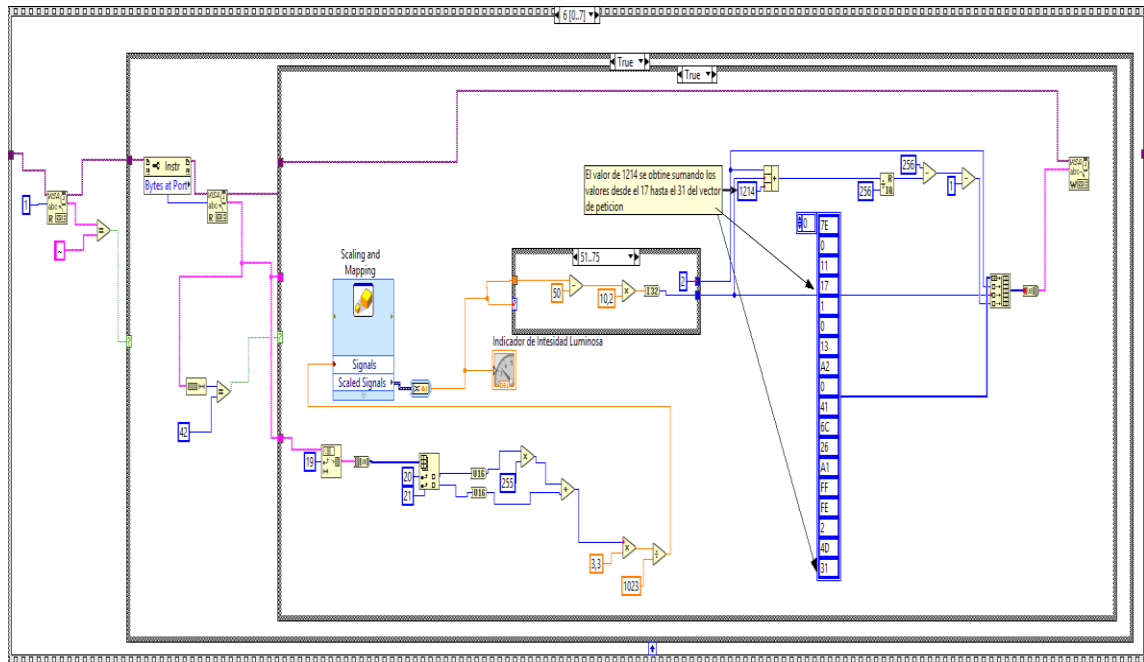


Figura 4.19 Procesamiento y control de intensidad luminosa

El control para la intensidad luminosa del interior del galpón se produce cuando existe oscuridad porque los módulos LED están encendidos al 100% y cuando hay claridad los módulos se apagan.

En la secuencia 7 se colocó un retardo de 100 milisegundos.

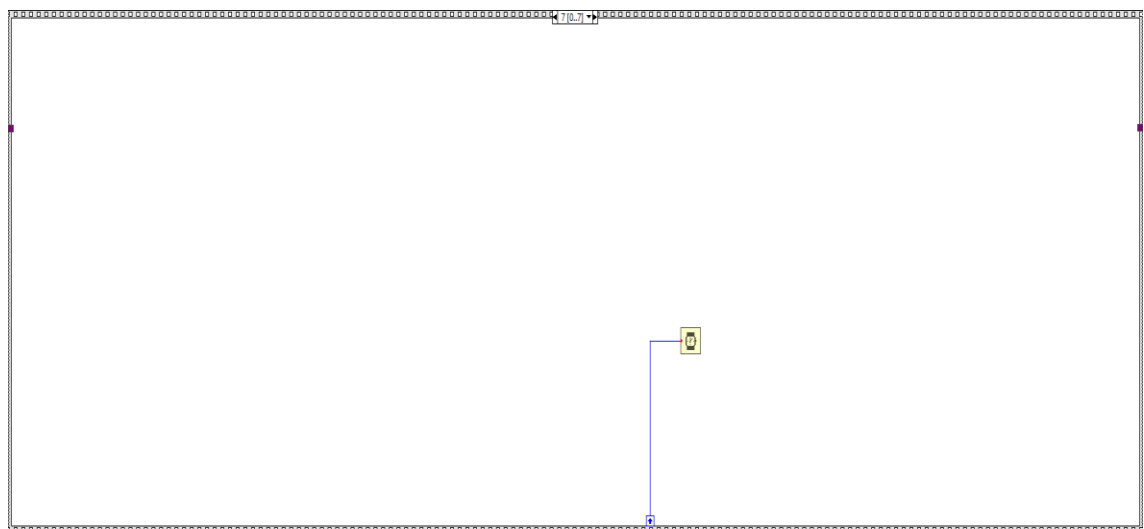


Figura 4.20 Retardo en secuencia 7 de 100 ms

4.3 Acoplamiento para la comunicación de los módulos XBee con HMI.

Verificado el intercambio de tramas en el software XCTU, se realizó dos programas

para para comprobar la recepción y el envío de datos desde LabView.

Los datos del Nodo 1 corresponden al control de temperatura y los del Nodo 2 al control de intensidad luminosa. LabView envía tramas de petición a los nodos mediante el coordinador para que respondan con los datos de las señales extraídas de los sensores.

La trama de petición de datos para el nodo 1 es:

7E 00 0F 17 01 00 13 A2 00 41 75 4C BE FF FE 02 49 53 D7

Start delimiter: 7E

Length: 00 0F (15)

Frame type: 17 (Remote AT Command Request)

Frame ID: 01 (1)

64-bit dest. address: 00 13 A2 00 41 75 4C BE

16-bit dest. address: FF FE

Command options: 02

AT Command: 49 53 (IS) **(Fuerza al módulo a leer todos sus pines I/O)**

Checksum: D7

En LabView se realiza como se muestra en la Figura 4.21.

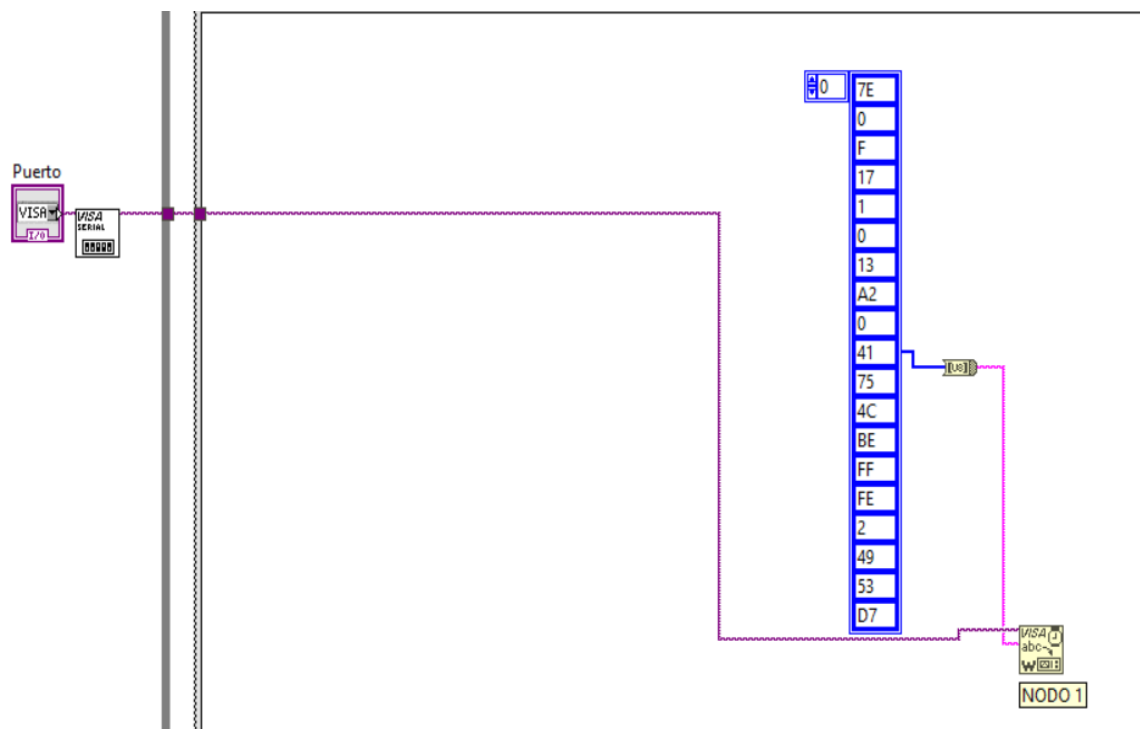


Figura 4.21 Trama para petición de datos del nodo 1.

El nodo 1 responde:

7E 00 14 97 01 00 13 A2 00 41 75 4C BE 00 01 49 53 00 01 02 00 00 00 52

Start delimiter: 7E

Length: 00 14 (20)

Frame type: 97 (Remote Command Response)

Frame ID: 01 (1)

64-bit source address: 00 13 A2 00 41 75 4C BE (Dirección del nodo 1)

16-bit source address: 00 01

AT Command: 49 53 (IS)

Status: 00 (Status OK)

Response: 01 02 00 00 00 (Número de muestras, Mascara de canal, Valor ADC)

Checksum: 52

En LabView se recibe la trama de la siguiente manera. (Figura 4.22).

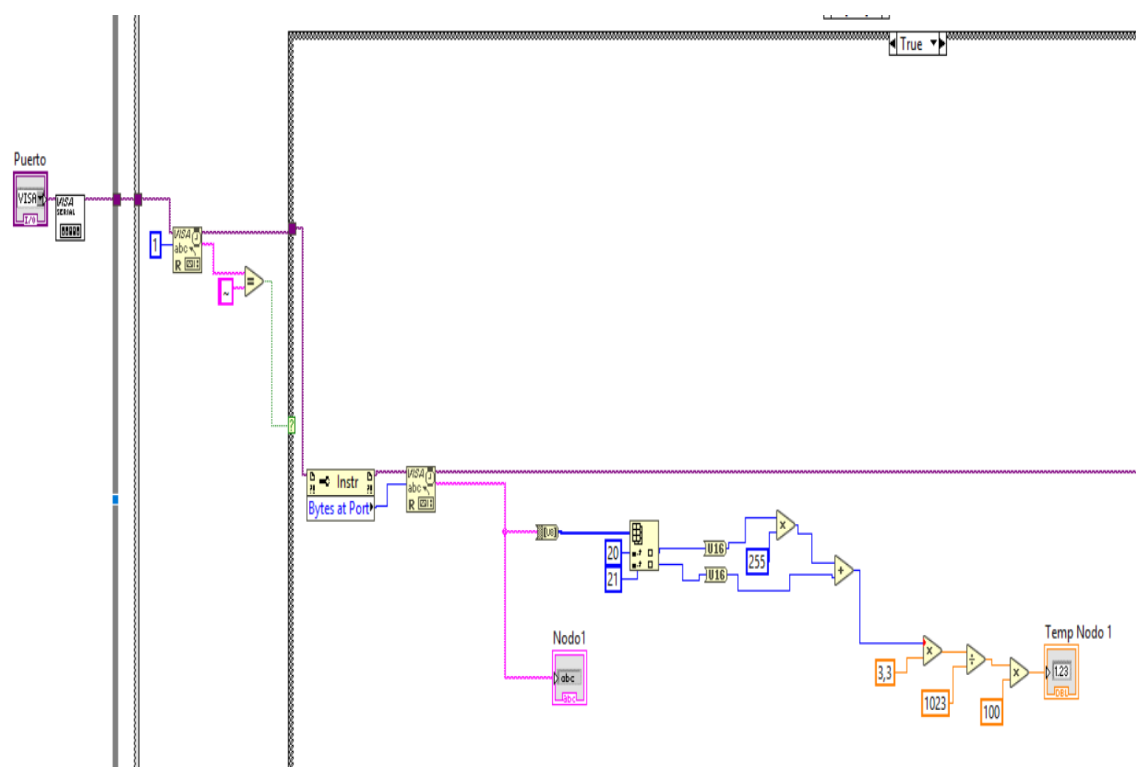


Figura 4.22 Recepción de datos del nodo 1.

La trama de petición de datos para el nodo 2 es:

7E 00 0F 17 01 00 13 A2 00 41 6C 26 A1 FF FE 02 49 53 23

Start delimiter: 7E

Length: 00 0F (15)
 Frame type: 17 (Remote AT Command Request)
 Frame ID: 01 (1)
 64-bit dest. address: 00 13 A2 00 41 6C 26 A1
 16-bit dest. address: FF FE
 Command options: 02
 AT Command: 49 53 (IS)
 Checksum: 23

En LabView se realiza como se muestra en la Figura 4.23.

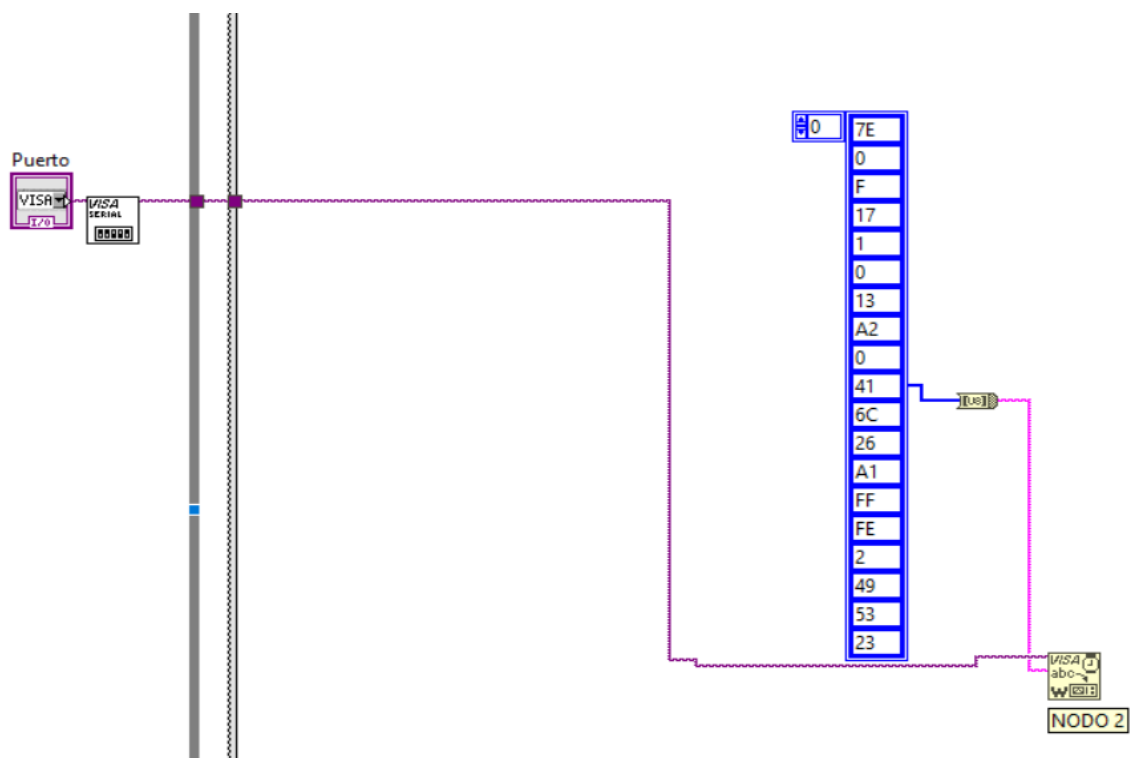


Figura 4.23 Trama para petición de datos del nodo 2

El nodo 2 responde:

7E 00 14 97 01 00 13 A2 00 41 6C 26 A1 00 02 49 53 00 01 02 00 01 E8 B4
 Start delimiter: 7E
 Length: 00 14 (20)
 Frame type: 97 (Remote Command Response)
 Frame ID: 01 (1)
 64-bit source address: 00 13 A2 00 41 6C 26 A1

16-bit source address: 00 02

AT Command: 49 53 (IS)

Status: 00 (Status OK)

Response: 01 02 00 01 E8

Checksum: B4

En LabView se recibe la trama de la siguiente manera, Figura 4.24.

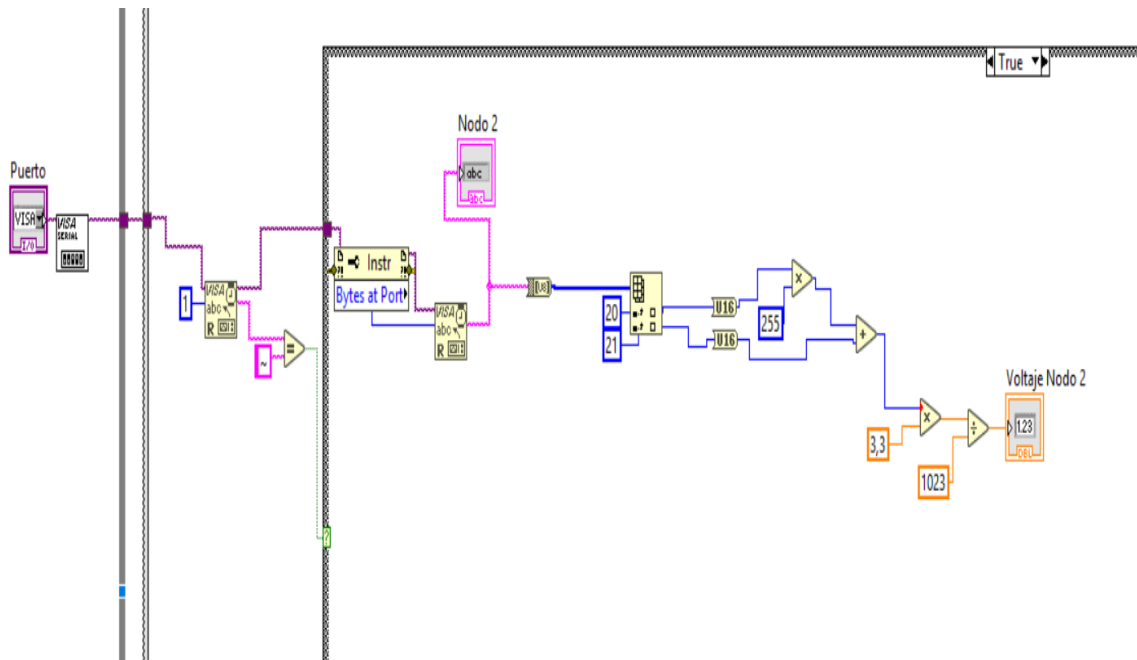


Figura 4.24 Recepción de datos del nodo 2.

La interfaz en LabView de la recepción de datos de los dos nodos se muestra en la Figura 4.25.

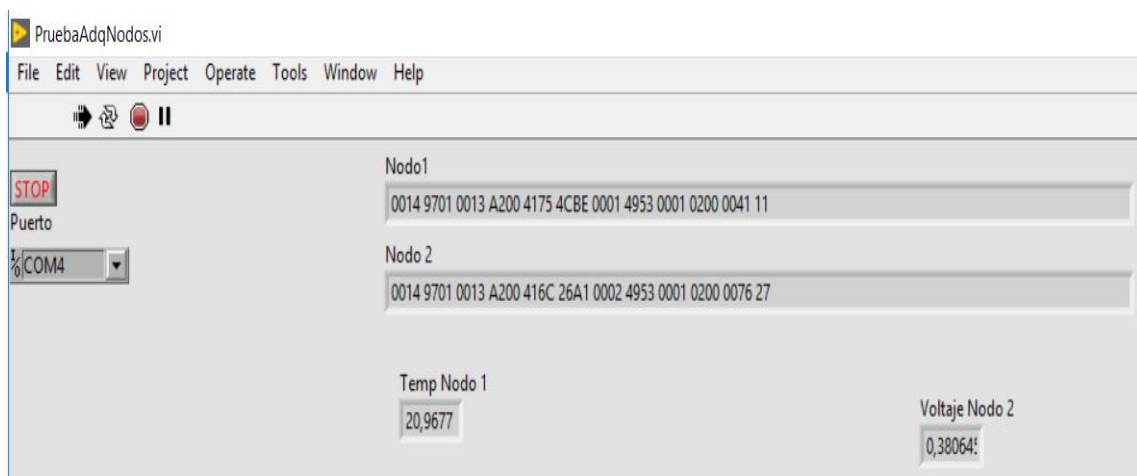


Figura 4.25 Interfaz de recepción de datos de los dos nodos.

Para generar las señales PWM en los XBee es necesario enviar tramas para escritura de datos.

La trama para el nodo 1 es:

7E 00 11 17 01 00 13 A2 00 41 75 4C BE FF FE 02 4D 31 03 FF F3

Start delimiter: 7E

Length: 00 11 (17)

Frame type: 17 (Remote AT Command Request)

Frame ID: 01 (1)

64-bit dest. address: 00 13 A2 00 41 75 4C BE

16-bit dest. address: FF FE

Command options: 02

AT Command: 4D 31 (M1) (Selecciona PWM1)

Parameter: 03 FF (Valor de Mn)

Checksum: F3

En LabView se realiza como se muestra en la Figura 4.26.

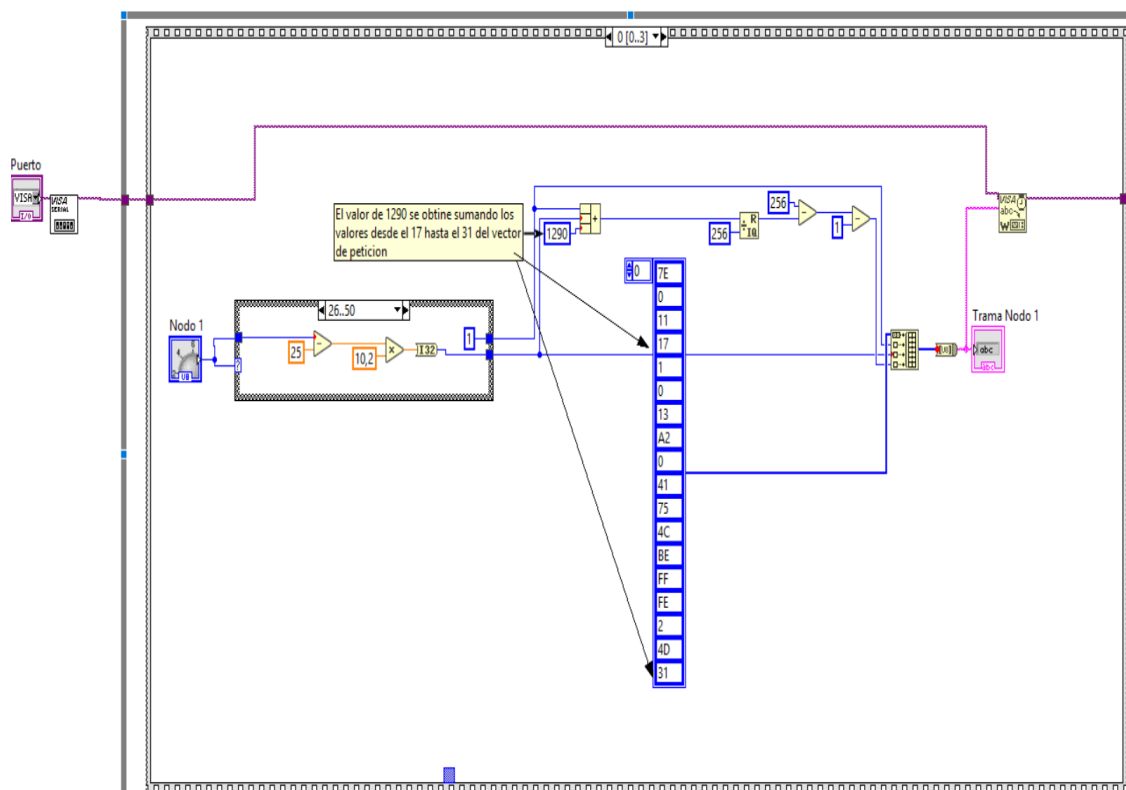


Figura 4.26 Trama para generar señal PWM en el nodo 1.

La trama para el nodo 2 es:

7E 00 11 17 01 00 13 A2 00 41 6C 26 A1 FF FE 02 4D 31 01 FF 41

Start delimiter: 7E

Length: 00 11 (17)

Frame type: 17 (Remote AT Command Request)

Frame ID: 01 (1)

64-bit dest. address: 00 13 A2 00 41 6C 26 A1

16-bit dest. address: FF FE

Command options: 02

AT Command: 4D 31 (M1)

Parameter: 01 FF

Checksum: 41

En LabView se realiza como se muestra en la Figura 4.27.

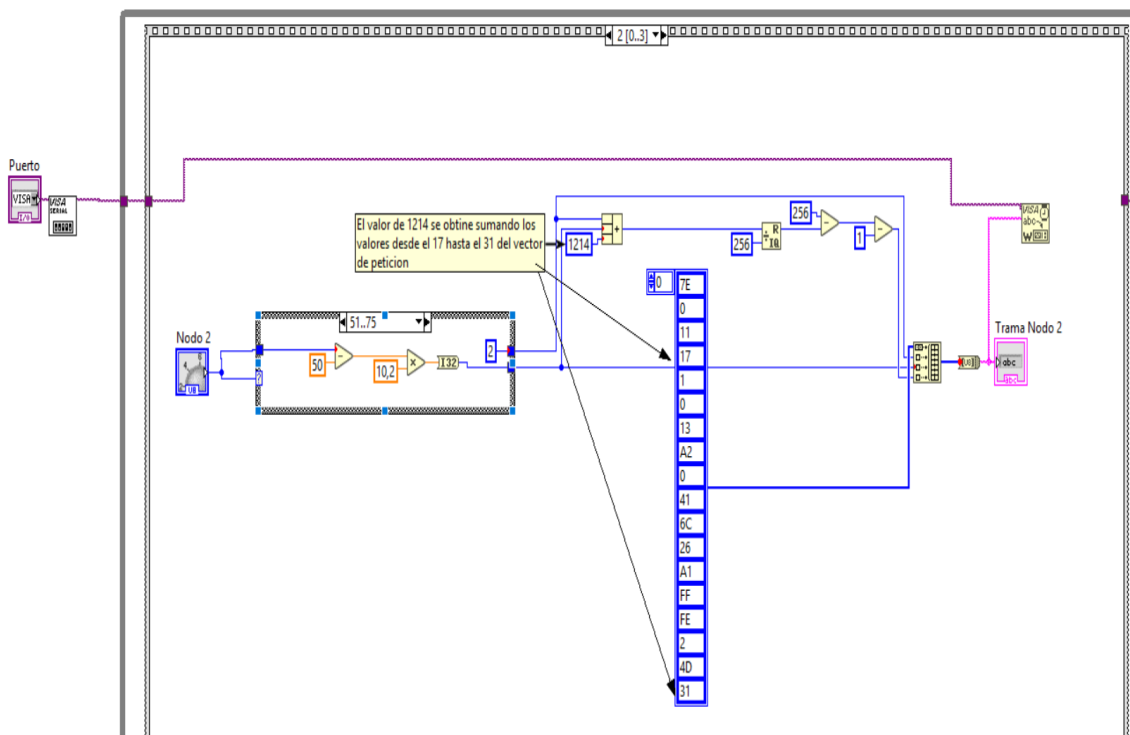


Figura 4.27 Trama para generar señal PWM en el nodo 2.

La generación de señales PWM en LabView de los dos nodos se muestra en la Figura 4.28.

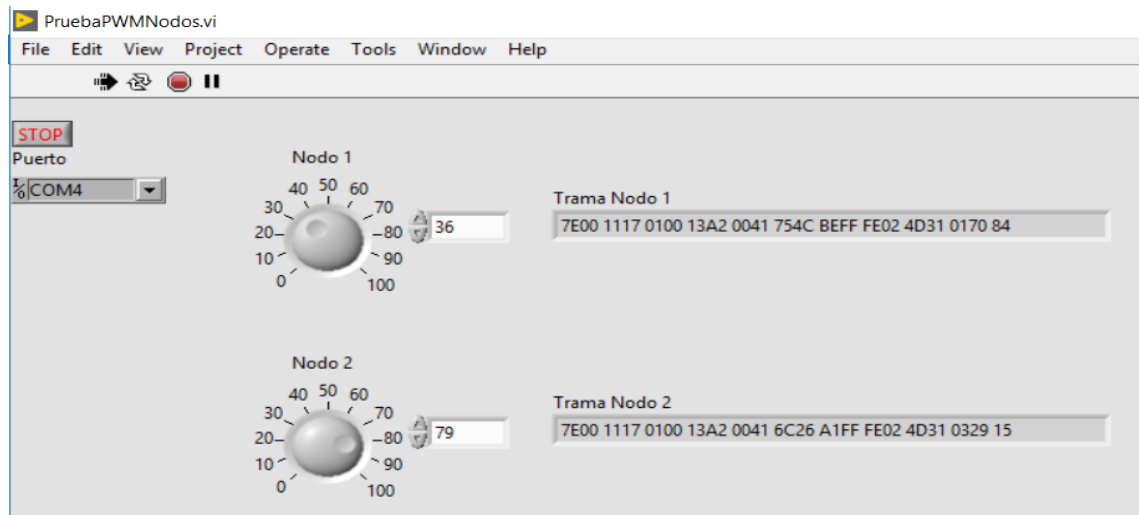


Figura 4.28 Interfaz para la generación de señales PWM de los dos nodos

4.4 Construcción del hardware.

Para el desarrollo de la red XBee se utilizaron los siguientes dispositivos:

- 1 Modulo LDR
- XBee Explorer Regulados
- 1 XBee Explorer USB
- 1 Proto Board pequeño
- 1 Regulador de 12 Vcc
- Módulos LED de alto brillo
- 1 Sensor de temperatura LM35
- 1 CI ULN2803
- 1 Tarjeta electrónica de control de fase digital (Con PIC)
- Módulos XBee Pro S1



Figura 4.29 Módulo LDR

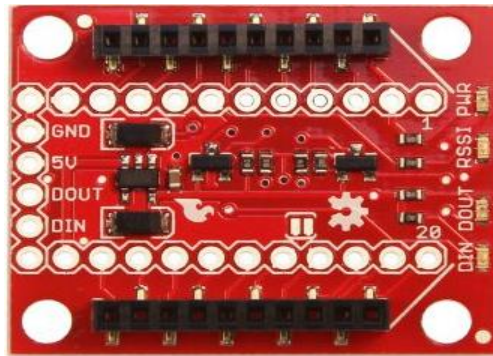


Figura 4.30 Xbee Explorer Regulado

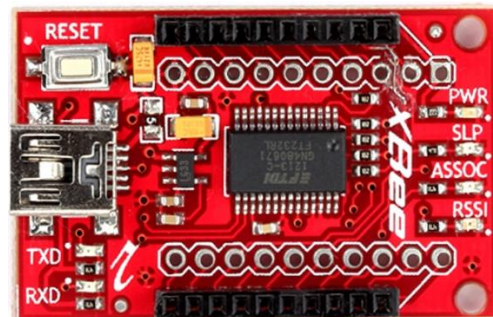


Figura 4.31 Xbee Explorer USB

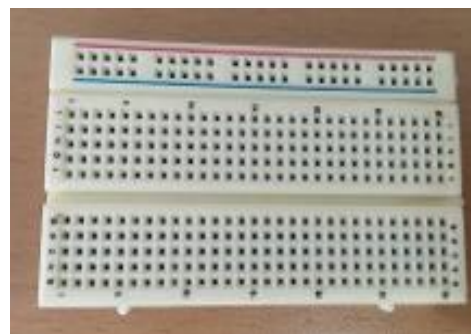


Figura 4.32 Proto Board pequeño



Figura 4.33 Adaptador de 12 V



Figura 4.34 Módulos LED de Alto Brillo

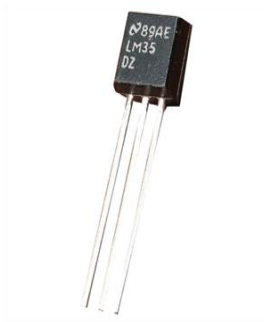


Figura 4.35 Sensor de temperatura LM 35



Figura 4.36 CI ULN 2803



Figura 4.37 Módulos XBee PRO S1

4.4.1 Ensamblaje del circuito acondicionador de señal para el control de la temperatura.

El primer paso para el desarrollo del circuito acondicionador de señal fue imprimir el diseño realizado en Ares descrito en el capítulo 3. La impresión se realizó en un papel termotransferible del tamaño que iba a tener la placa, luego se señaló sobre la placa de fibra de vidrio las áreas que posteriormente serían recortadas con una sierra para obtener la placa independiente.

Se cortó la placa y se limpió la superficie de la misma utilizando la lija de metal fina y agua para eliminar todas las impurezas que puedan impedir que el pistado se adhiera a la placa. Posteriormente, se repitió el proceso varias veces hasta que la placa quede totalmente limpia y seca para poder realizar la soldadura de los elementos.

Finalmente, se añadieron todos los dispositivos electrónicos que comprenden el circuito de control de ángulo de fase diseñado para acondicionar la señal del sensor de temperatura y poder realizar un control centralizado de lazo cerrado. En la placa se procedió mediante un cautín y estaño a soldar todos los elementos para posteriormente realizar pruebas de conectividad. La placa ensamblada se indica en la Figura 4.38.

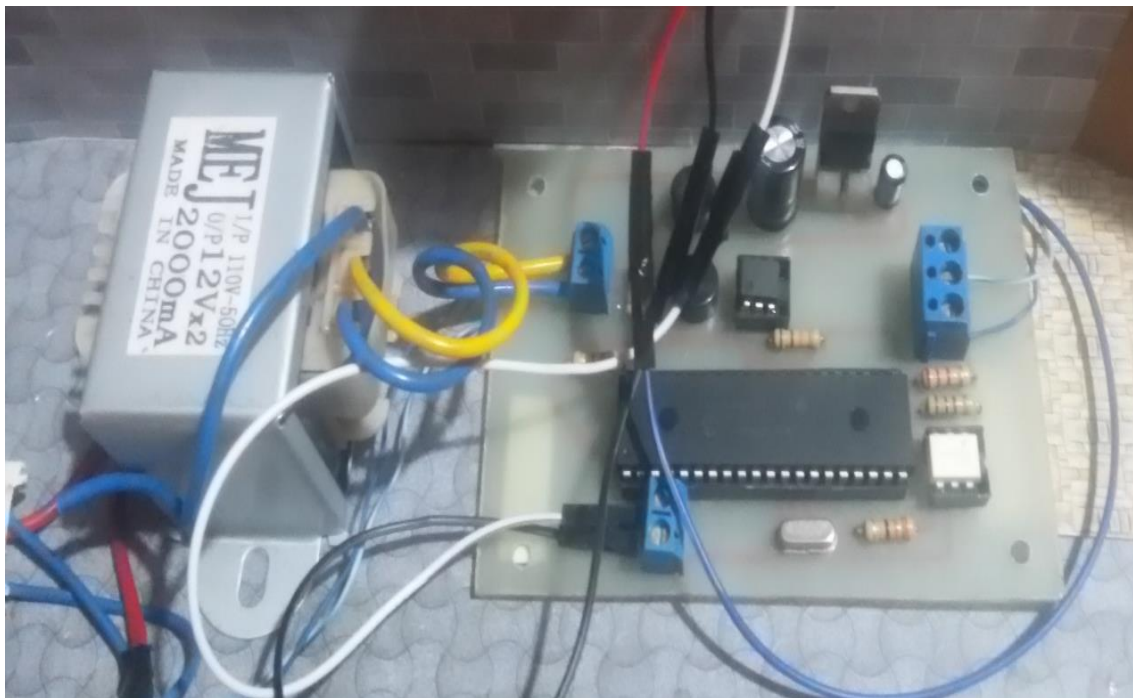


Figura 4.38 Control digital de ángulo de fase.

4.4.2 Construcción del circuito para acondicionar la señal del sensor para el control de la intensidad luminosa.

Para el diseño del circuito acondicionador de señal del sensor de intensidad luminosa se realizó un diseño de un circuito sencillo porque se adquirió el módulo de fotorresistencia en el cual ya viene implementado el circuito acondicionador. Lo único que se realizó es la conexión de este módulo acondicionado con el circuito integrado ULN2803 que cumple la función tomar la señal eléctrica generada por los el módulo LDR y aumentar su tensión y corriente por medio de transistores de potencia para que esta señal pueda ser leída por el módulo XBee. Posterior, esta señal será enviada del nodo 2 al nodo coordinador para visualizarla en la HMI. (Figura 4.39)

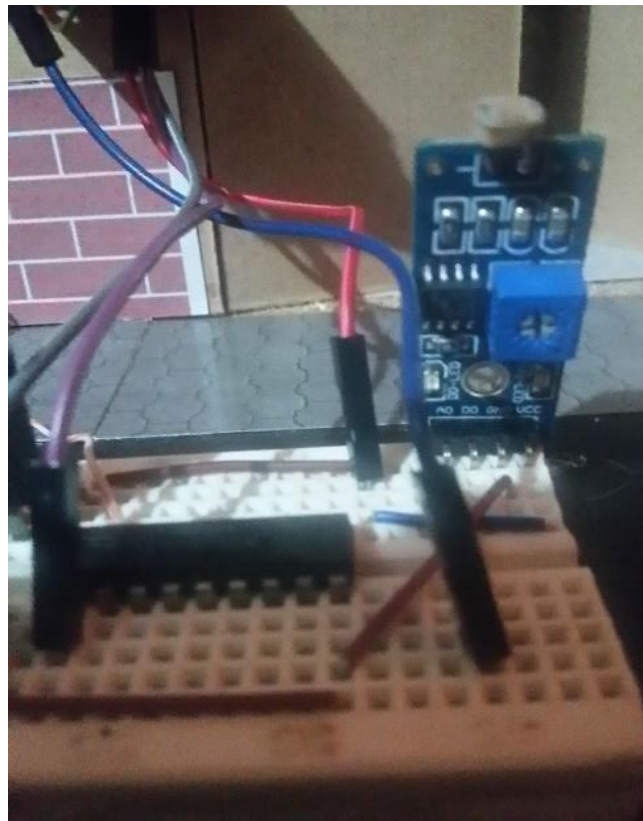


Figura 4.39 Módulo LDR

4.4.3 Conexión de los dispositivos XBee para formar la red.

El nodo coordinador se conectó al computador mediante el XBee Explorer USB. Figura 4.40.



Figura 4.40 Conexión del nodo coordinador

Los nodos 1 y 2 se instalaron a cada galpón a escala mediante los XBee Explorer regulados. (Figura 4.41) y (Figura 4.42)

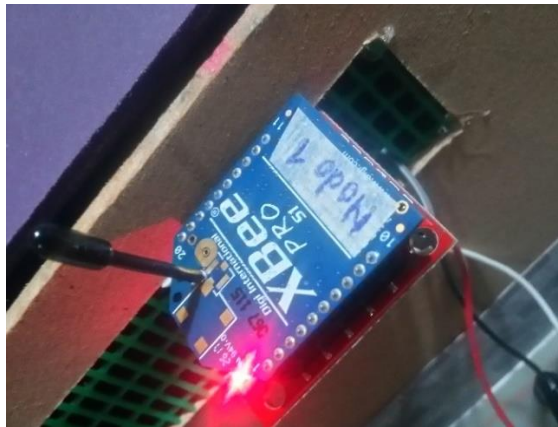


Figura 4.41. Conexión del nodo 1

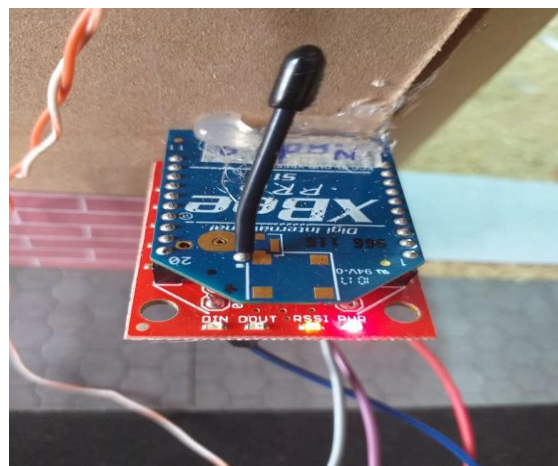


Figura 4.42. Conexión del nodo 2

Se soldaron cables en los pines etiquetados como GND y 5V del XBee Explorer

regulado, estos se conectan a una fuente de 5Vcc para energizarlo. (Figura 4.43).

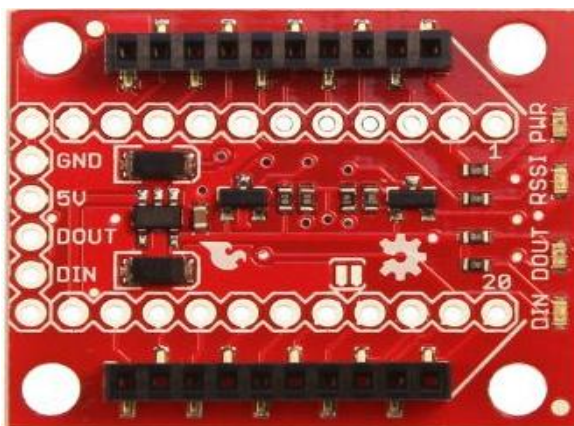


Figura 4.43. Pines de alimentación del XBee Explorer regulado

Al terminal etiquetado como DIO0 de la placa del XBee Explorer regulado, se conectan las señales de salida del sensor de temperatura LM 35 y del módulo LDR. Para la adquisición de estas señales analógicas es necesario cortocircuitar los pines etiquetados como 3.3V con el RES. (Figura 4.44)

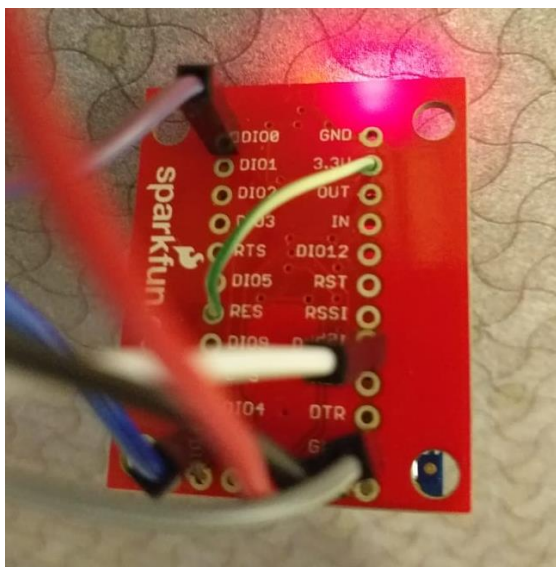


Figura 4.44. Cortocircuitado de los pines 3.3V y RES

Las salidas PWM corresponden a los terminales etiquetados como DIO11. En el nodo 1 esta salida se conecta a la entrada analógica 0 del PIC16F877A que es parte del módulo de control de fase digital (Figura 4.45).

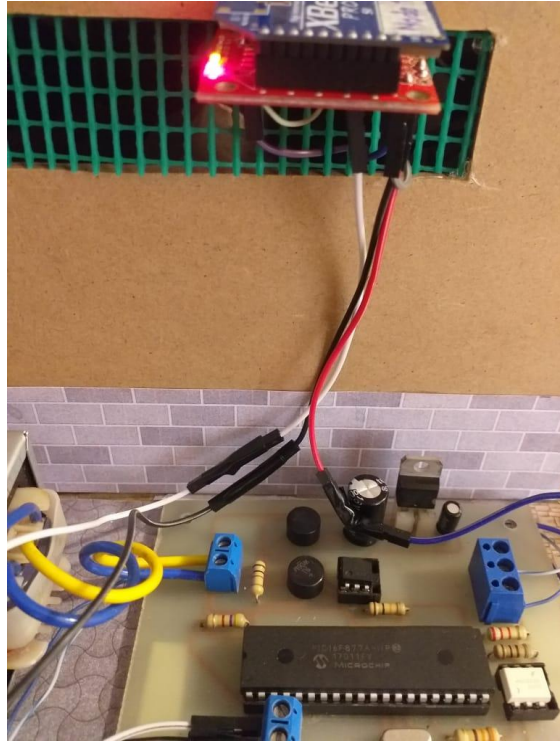


Figura 4.45 Conexión de la entrada analógica del nodo 1

En el nodo 2 al pin 1 del CI ULN 2803 se conectó al terminal DI011 (Figura 4.46).

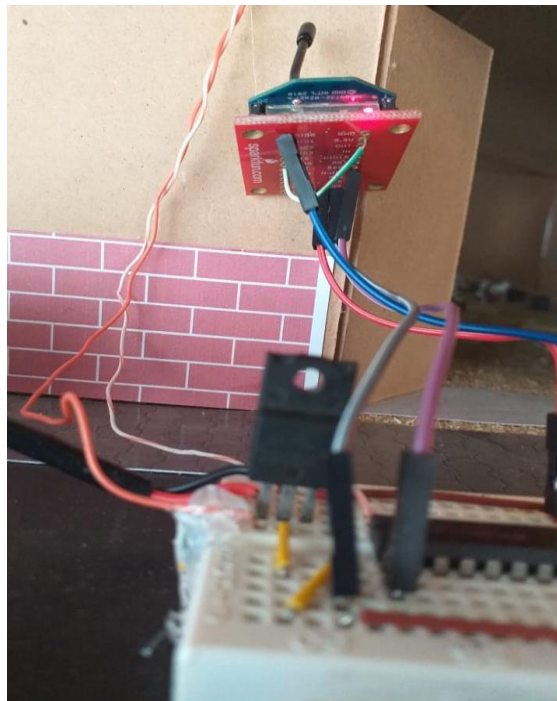


Figura 4.46 Conexión de la entrada analógica del nodo 2

4.4.4 Conexiones y acoplamiento de los dispositivos y circuitos a los galpones.

Conexiones en el galpón para control y monitoreo de la temperatura.

Para el galpón del control de la temperatura se colocó en la parte externa el circuito terminado que comprende el circuito digital de control de fase, conexión del módulo XBee (Nodo 1) y la alimentación. Todo este circuito se alimenta a 110V gracias al transformador que entrega 12 V a la entrada del circuito. (Figura 4.47)

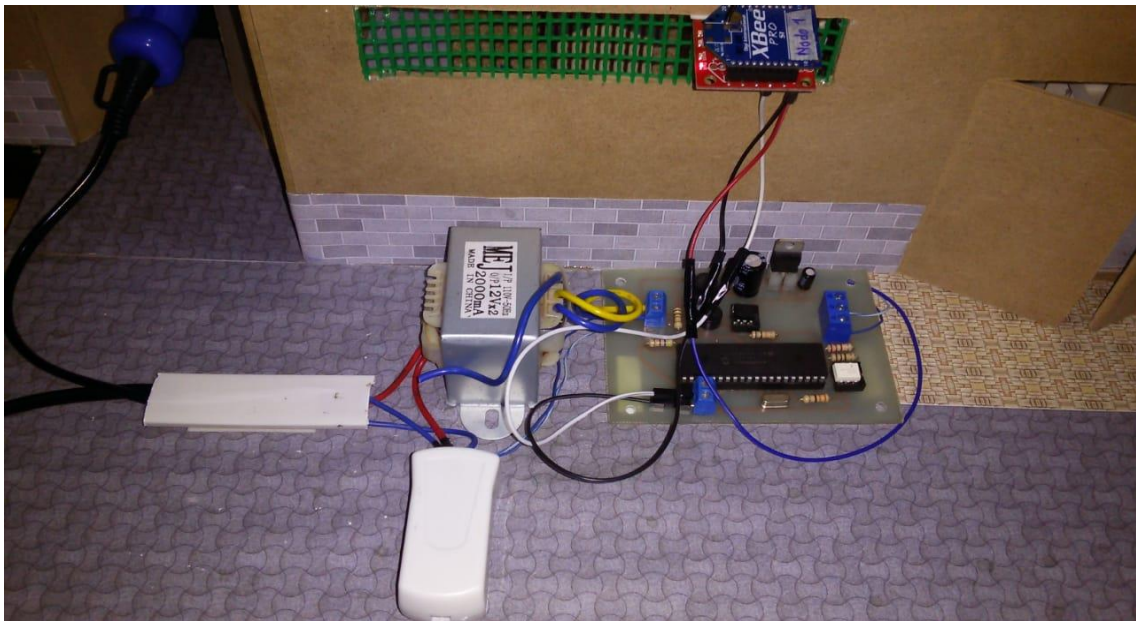


Figura 4.47 Control digital de control de fase instalado

Para la instalación de la secadora se realizó un orificio en el galpón con un apuntamiento central para que el aire se distribuya uniformemente. (Figura 4.48)

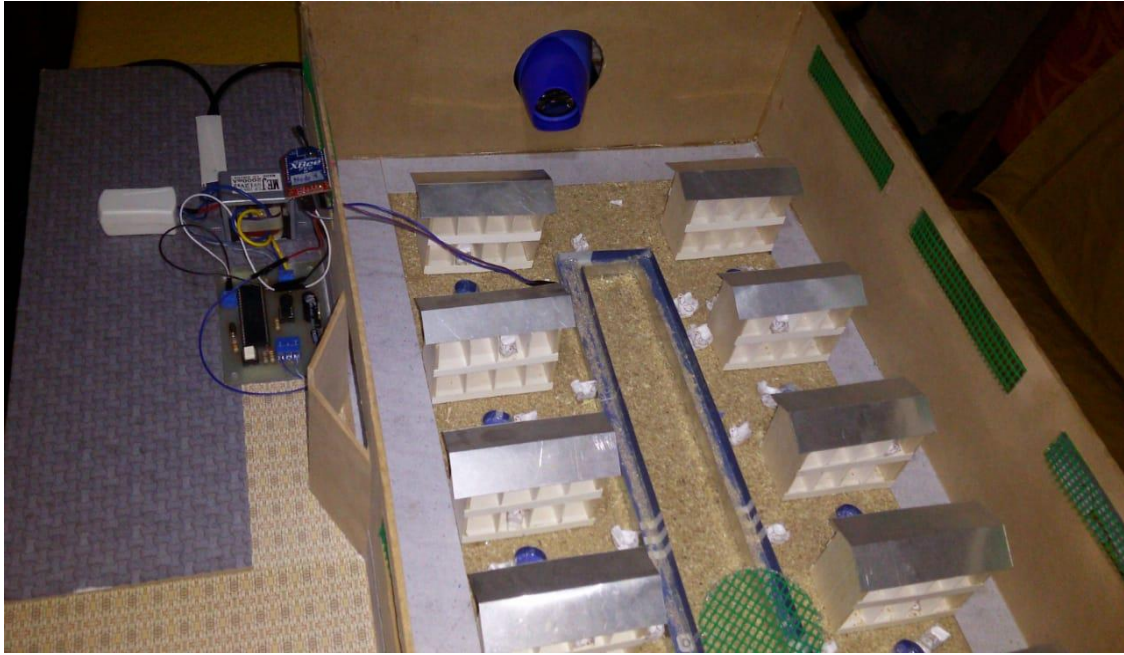


Figura 4.48 Ubicación de la secadora en galpón

Los dispositivos instalados en el galpón para el control de temperatura se muestran en la siguiente Figura 4.49.

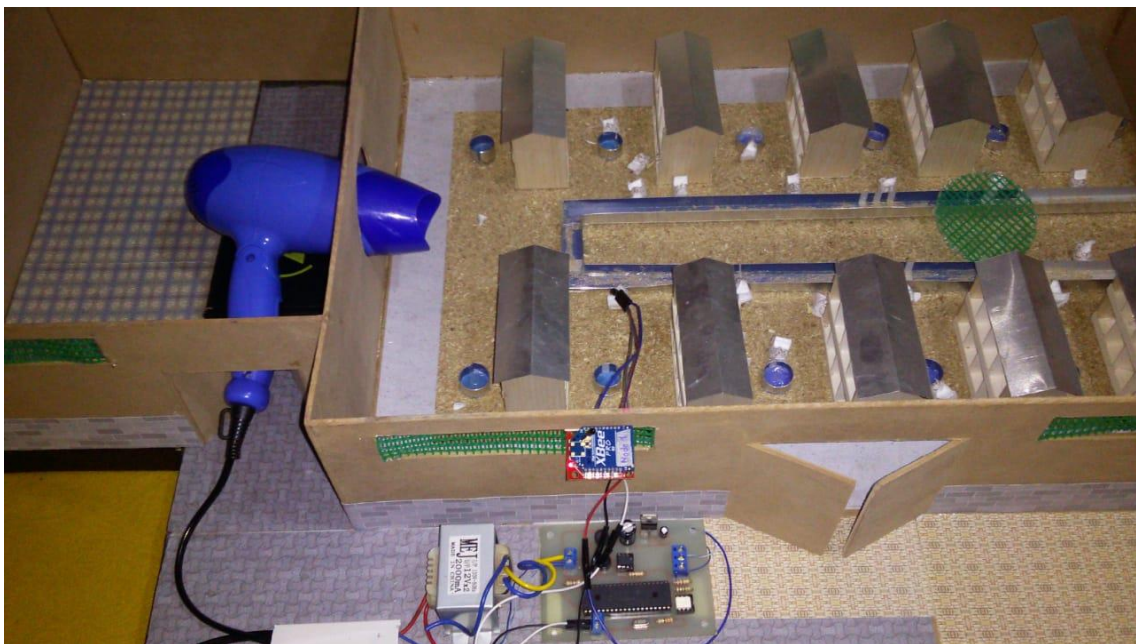


Figura 4.49 Instalación de la secadora y sensor de temperatura

En la Figura 4.50 se demuestra la instalación terminada de los elementos y dispositivos en el galpón para el control y monitoreo de la temperatura.

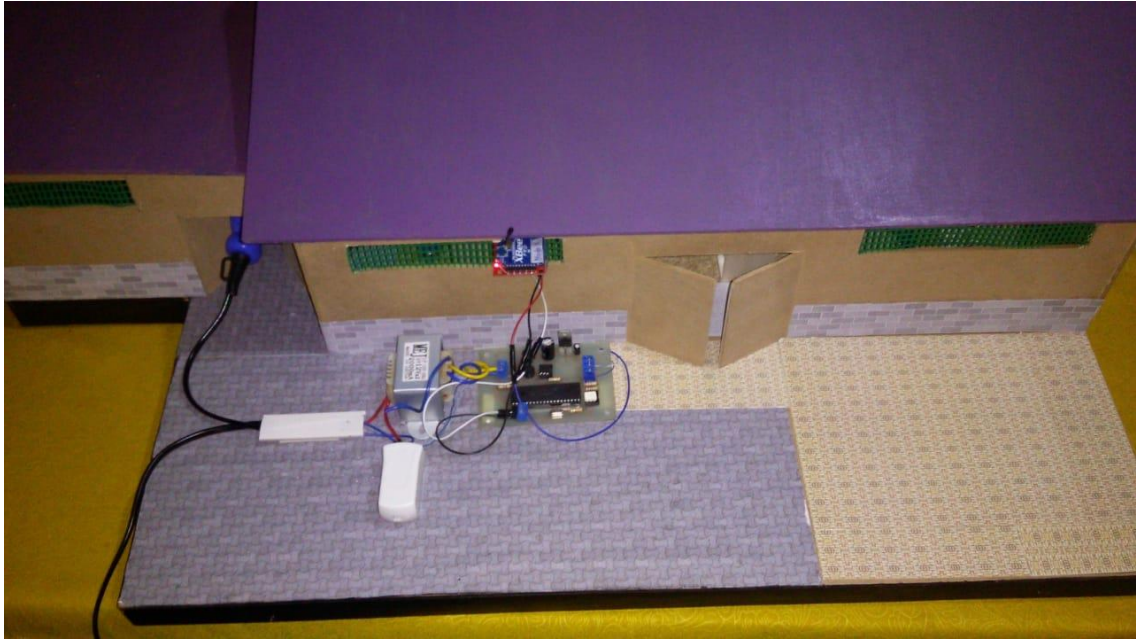


Figura 4.50 Galpón para el control de temperatura.

Conexiones en el galpón para control y monitoreo de la intensidad luminosa.

En el galpón de control y monitoreo de intensidad luminosa los módulos de LED se colocaron en la parte interior el techo del galpón para un alumbrado óptimo. (Figura 4.51)



Figura 4.51. Ubicación de los LED y circuitos en el galpón del control de la intensidad luminosa

Los 4 módulos LED están conectados en paralelo, el terminal positivo se conecta al

positivo del adaptador de 12V y el terminal negativo al pin 18 del circuito integrado ULN2803. (Figura 4.52)

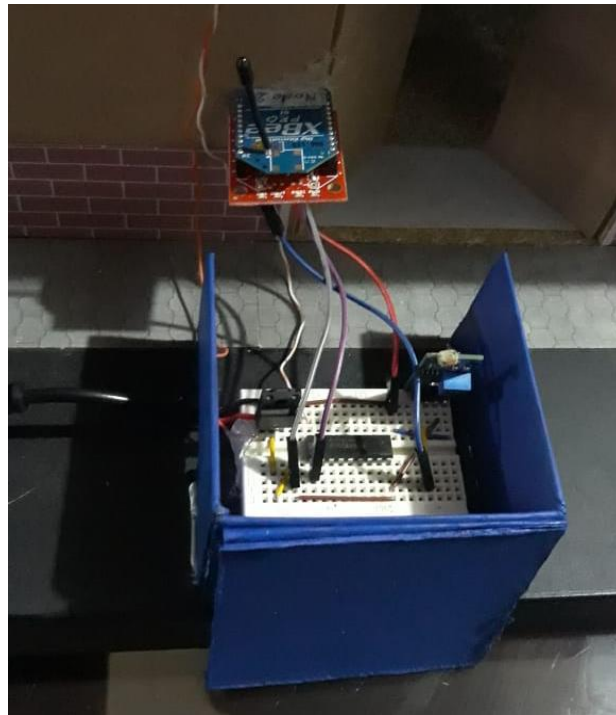


Figura 4.52 Ampliación de la conexión del sensor de luminosidad.

En la Figura 4.53 se demuestra la instalación terminada de los elementos y dispositivos en el galpón para el control y monitoreo de la intensidad luminosa.



Figura 4.53. Conexiones de los dispositivos para la maqueta de intensidad luminosa

4.5 Pruebas de funcionamiento

Para determinar el correcto funcionamiento del control y monitoreo de las variables en la red se realiza pruebas de forma individual en cada maqueta para operar las variables por separado.

4.5.1 Prueba de funcionamiento del control y monitoreo de la variable de temperatura.

1. Se conectó los enchufes de cada una de las maquetas a una toma corriente de 110VAC.
2. Se observó que los LED SMD de color rojo de los XBee Explorer regulados se enciendan
3. Se realizó la conexión el XBee Explorer USB insertado el nodo coordinador al computador.
4. Se abrió la consola HMI realizado en LabView.
5. Se realizó la selección del puerto COM (Ejemplo COM4) que corresponde al XBee Explorer USB.
6. Se ejecutó programa del HMI.

En ese instante se muestra los datos de temperatura e intensidad luminosa. (Figura 4.54).

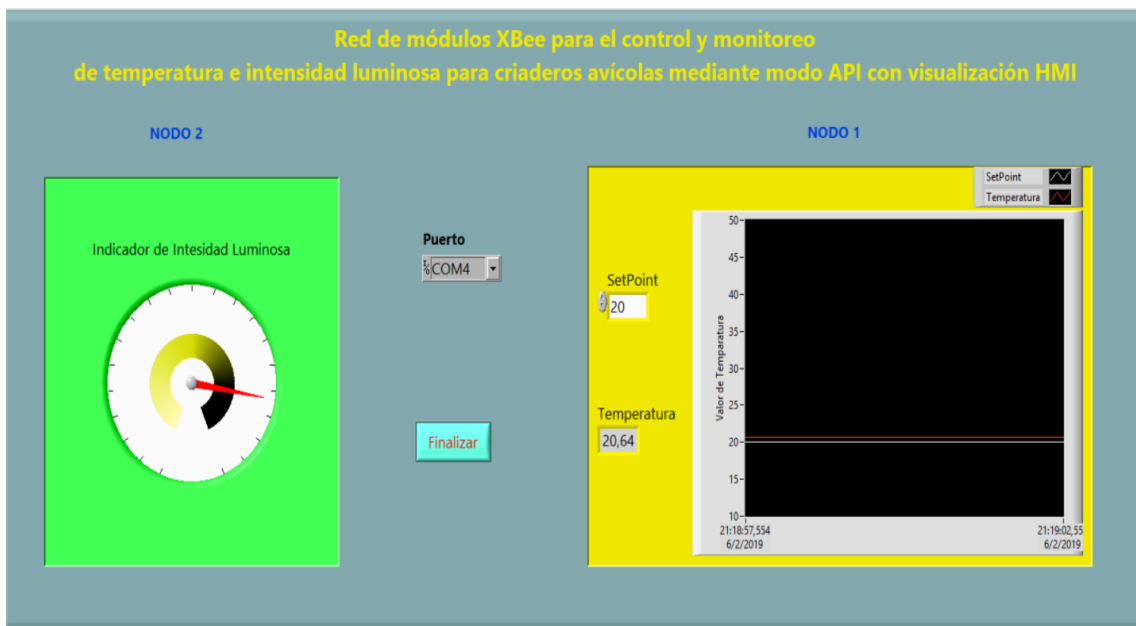


Figura 4.54 Interfaz HMI

En la Figura 4.55 se observa el indicador de intensidad luminosa que representa un nivel intermedio de la escala de color negro (oscuro), el control etiquetado como Puerto esta seleccionado el COM4, el control numérico de setpoint tiene un valor de 20 y la temperatura dentro de la maqueta está en 20,64 grados centígrados, en la gráfica la línea de color rojo representa la temperatura y la de color blanco el setpoint.

Posterior, se encendió la secadora con el selector que se encuentra en la misma a una velocidad lenta. Se cambió el valor de setpoint a 30 grados centígrados, en este instante empezará a subir la temperatura en el interior de la maqueta.

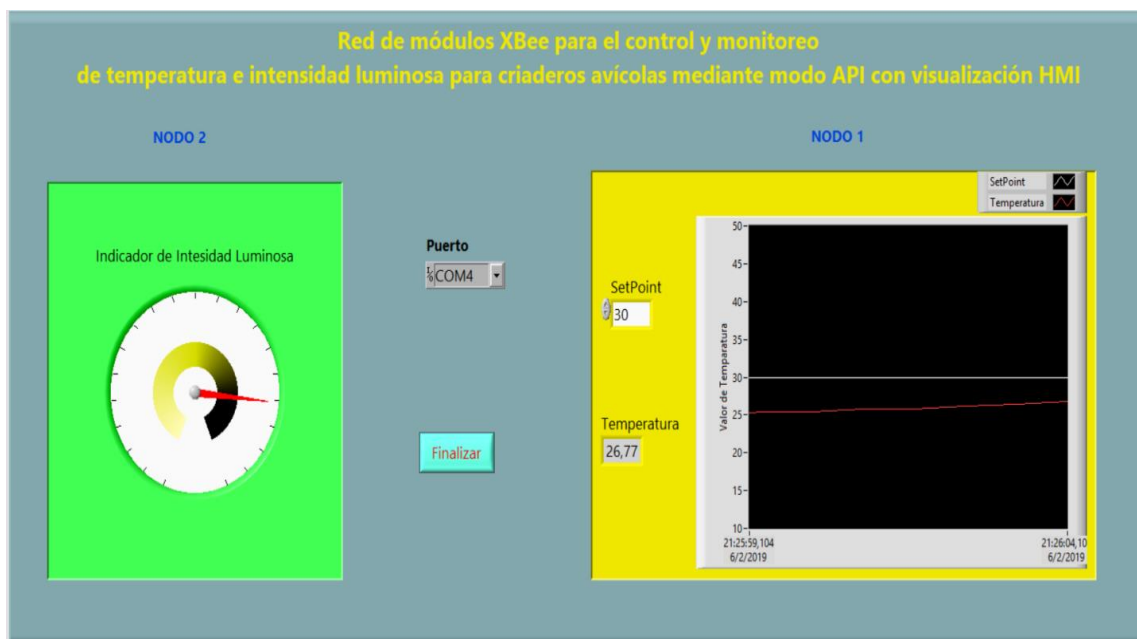


Figura 4.55 Cambio de setpoint a 30 grados centígrados.

Luego de 2 minutos la temperatura se estabiliza cerca del valor de setpoint, en este caso 30 grados centígrados. (Figura 4.56)

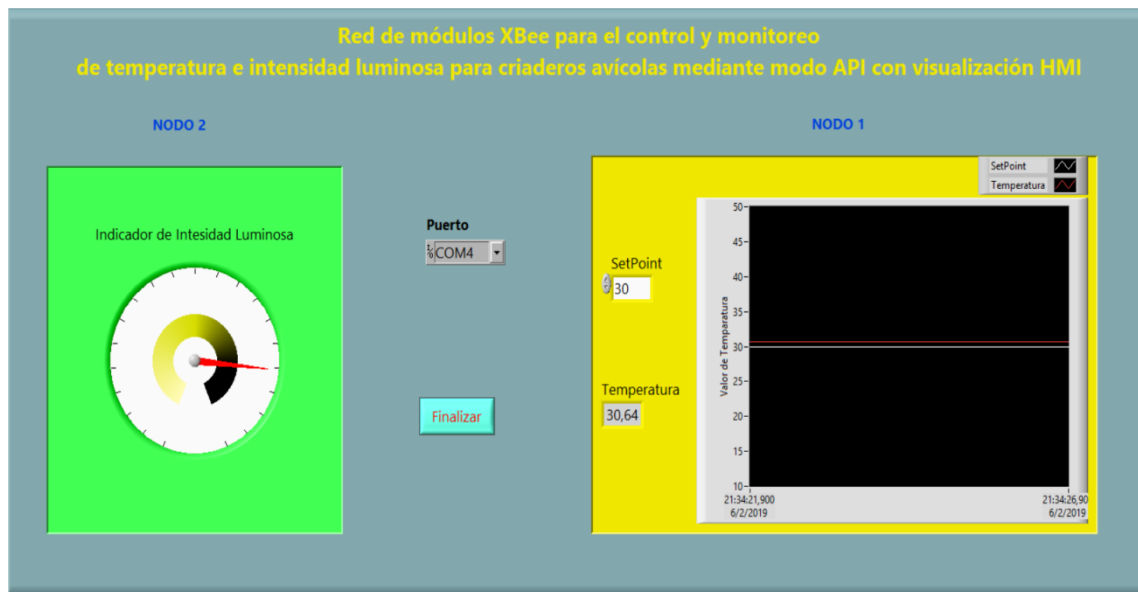


Figura 4.56 Prueba de setpoint en 30 grados centígrados

Se cambió el valor del setpoint a 33 grados centígrados, empezó a subir la temperatura para tratar de alcanzar el valor del setpoint. (Figura 4.57).

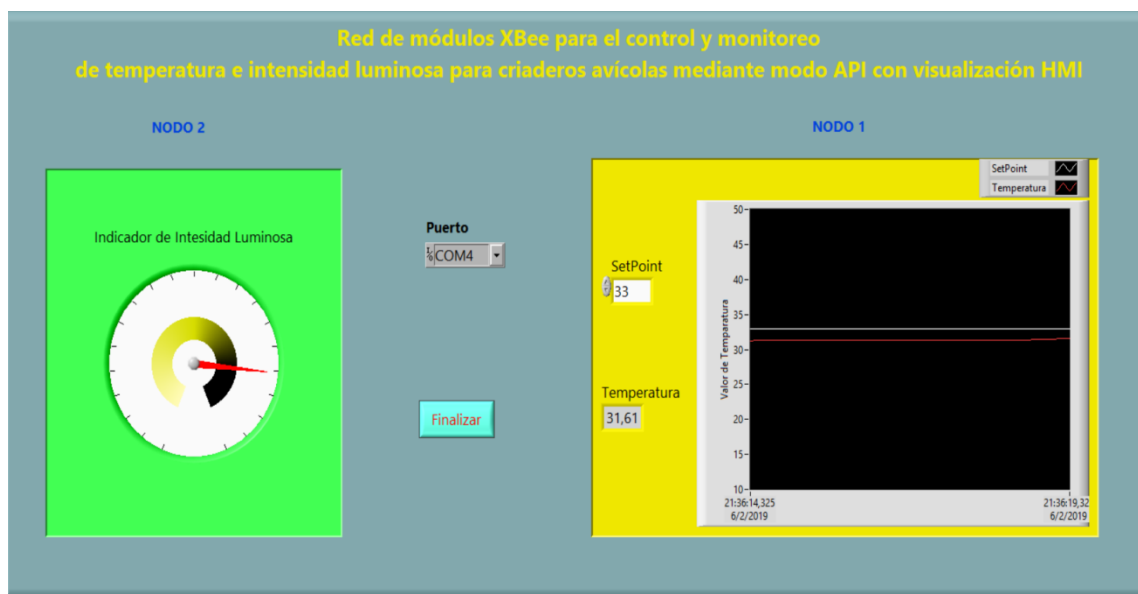


Figura 4.57 Set Point de 33 grados centígrados

Transcurridos 3 minutos se estabilizó la temperatura en 33,22 grados centígrados. (Figura 4.58).

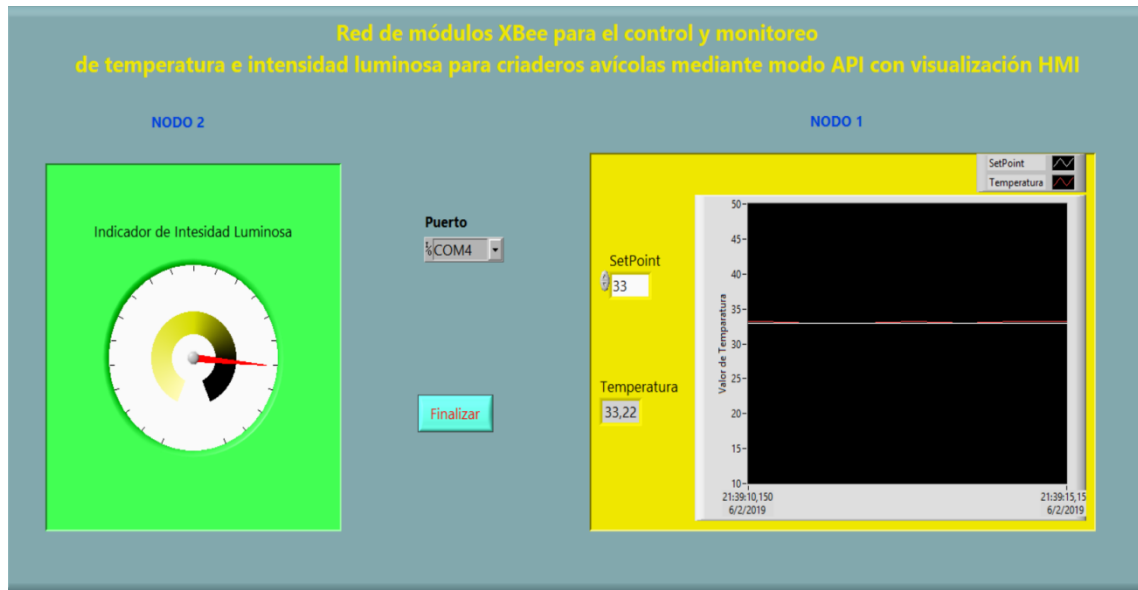


Figura 4.58 Prueba de setpoint en 33 grados centígrados

Finalmente se colocó el setpoint en 37 grados centígrados. (Figura 4.59).

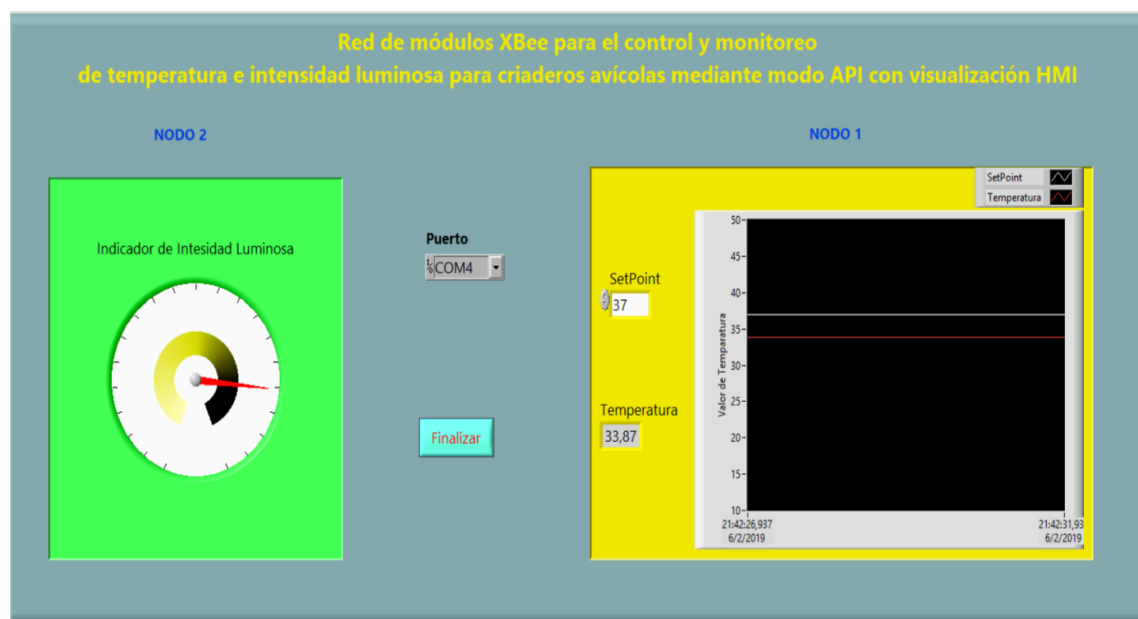


Figura 4.59 Cambio de setpoint a 37 grados centígrados.

Transcurridos 3 minutos se estabilizó la temperatura en 36,77 grados centígrados. (Figura 4.60).

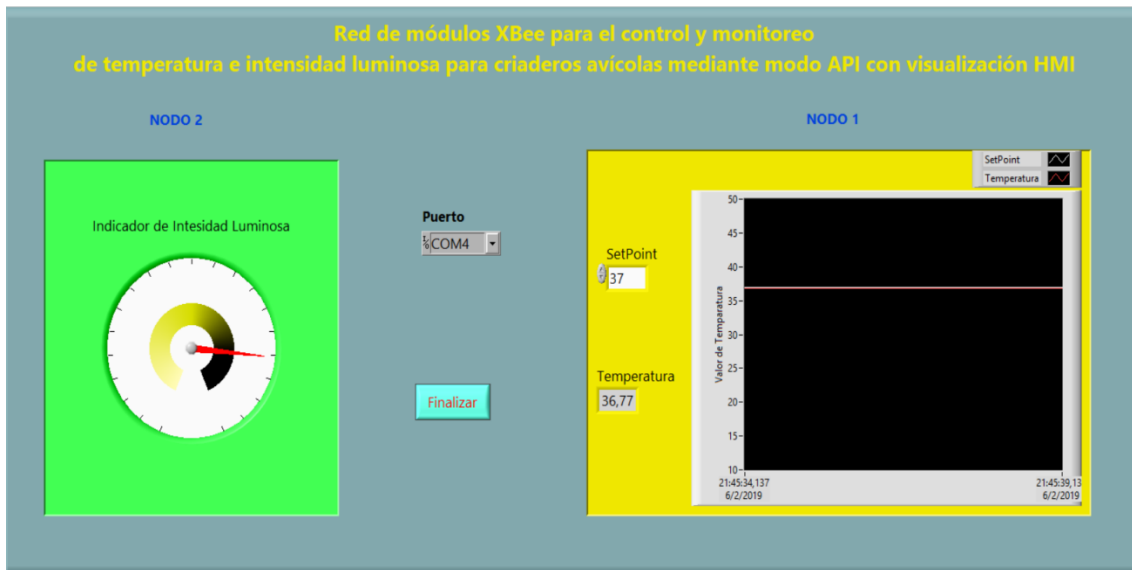


Figura 4.60. Prueba de setpoint en 37 grados centígrados

4.5.2 Prueba de funcionamiento del control y monitoreo de la intensidad luminosa.

Para comprobar el funcionamiento del control de intensidad luminosa se varió la cantidad de luz en el módulo LDR, cuando este está expuesto a la oscuridad los módulos LED se encenderán al máximo, cuando está expuesto a la claridad los módulos se apagarán en su totalidad.

De acuerdo a la exposición de la luz en el módulo LDR variará la intensidad luminosa de los módulos LED. (Figura 4.61).



Figura 4.61 Pruebas en el galpón para control de intensidad luminosa

4.6 Análisis de resultados

La Interfaz Humano Maquina actualiza los datos cada 500 ms, esto se debe a la forma secuencial en que se adquiere los datos.

Al emplear la comunicación de la red XBee mediante tramas API, se asemeja a la comunicación maestro/esclavo; es decir, que el nodo coordinador se convierte en el maestro y los nodos 1 y 2 en los esclavos, esto resulta más eficiente comparado con los otros modos de comunicación que disponen los XBee, debido a que no se perdieron datos al implementar la red, esto se logra enviando las tramas de petición con la ayuda de la estructura secuencia de LabView.

Esta red permitió realizar el control y monitoreo inalámbrico de señales de temperatura e intensidad luminosa, dentro de un área semejante a un laboratorio de capacidad para 30 estudiantes, sin pérdida de la señal.

Se obtuvo un error menor cuando se fijó valores de set point de 33 y 37 grados centígrados comparados con el valor de 30 grados centígrados. Estos resultados se lograron al seleccionar la velocidad baja de la secadora empleada como fuente de calor.

Se colocó el módulo LDR para medir y controlar la intensidad luminosa de acuerdo a la cantidad de luz que este sensor recibe y se obtuvo resultados satisfactorios.

CONCLUSIONES

- Mediante el análisis e investigación de este proyecto, se desarrolló un prototipo de red de módulos XBee para la demostración de la supervisión y control de niveles adecuados de las variables de temperatura e intensidad luminosa enfocado a los criaderos de pollos, el cual efectuó una comunicación inalámbrica sin pérdidas y en tiempo real mediante modo API. Se realizó el control y monitoreo mediante una consola HMI manteniendo las variables de los sensores de temperatura y la luminosidad en los niveles óptimos de acuerdo con los estudios realizados para mantener el confort de los pollos.
- Para establecer la comunicación de los módulos inalámbricos XBee con LabView se necesitó de una serie de configuraciones descritas en el capítulo del desarrollo del proyecto donde se establecieron los parámetros para transición y lectura de datos entre el usuario y la red. Esto comprendió en realizar la discriminación de las tramas de datos enviados por los módulos XBee hacia la HMI. Gracias a este procedimiento se logró una trasmisión de datos eficaz y constante, visualizando los datos de temperatura y luminosidad sin perdidas de señal y efectuando el control sin demoras.
- Para lograr la diseñar los circuitos acondicionadores de señal de forma sencilla se lo hizo mediante el software Proteus donde se estableció conexiones para ambos procesos de control. Durante el proceso del control de temperatura se utilizó el sensor de temperatura LM35, cuyo rango de medición fue -50 a 150 grados centígrados, la salida analógica de este sensor se conectó en forma directa al módulo XBee, debido que el valor máximo de voltaje es 1.5Vcc cuando la temperatura llegue a 150 grados centígrados. Se diseñó con un control de fase digital que varió la potencia de la niquelina mediante la señal PWM. Por otra parte, para el proceso de la intensidad luminosa se adaptó el módulo LDR acondicionado facultando el diseño del circuito.
- Para el desarrollo del proceso automatizado se necesitó de la HMI para la optimización del control y monitoreo de las señales de los sensores. Se visualizó los parámetros de las variables de temperatura e intensidad luminosa en una

consola virtual elaborada en LabView. La HMI permitió la manipulación de las dos variables de la red en una sola interfaz gráfica permitiendo al usuario una operación fácil y sencilla de la red. Esta interfaz se la elaboró en una pantalla donde se visualiza los niveles de temperatura debiendo solo seleccionar un setpoint del nivel de la temperatura deseado, mientras que para la variable de intensidad luminosa se configuró una perilla para visualizar la intensidad de la luz. De esta forma se logró la correcta supervisión y manipulación de las variables por parte del operador.

- Después de analizar, definir y configurar los parámetros de la red se estableció el diseño del prototipo. Por lo tanto, se implementó el modelo de red en dos galpones a escala adecuados con las características físicas que estos poseen en la vida real. Un galpón fue destinado para adecuar el circuito del nodo 1 para el control y supervisión de la temperatura y el segundo se utilizó para el circuito del nodo 2 que comprende el control y monitoreo de la intensidad luminosa. De esta manera se hizo la demostración didáctica del acoplamiento y funcionamiento de la red la cual mantuvo los parámetros de comunicación deseados entre los dispositivos que la conforman.
- Finalmente, del ambiente de pruebas realizado se estableció el proceso mediante varias secuencias, se inició con la trama de petición de datos al nodo 1, este respondió con otra trama que inicia con el delimitador 7E, este delimitador es necesario para discriminar la información de la trama y seleccionar el dato que corresponde al valor de temperatura, este valor se procesó y se envió al mismo nodo para variar la salida PWM. El mismo procedimiento fue acoplado para el proceso del nodo 2 para verificar el control y monitoreo de la intensidad de la luz.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda reemplazar los módulos XBee S1 Pro por los modelos más robustos como el XBee S2 porque estos módulos poseen ventajas como mayor alcance para transmisión de datos. Esto ayudaría a mejorar el envío de las tramas sin pérdidas. Esta red al ser escalable permite el acoplamiento de otros dispositivos XBee para realizar las mismas funciones de comunicación, pero con mayor alcance en distancia y mejores prestaciones.
- Es importante que para optimizar esta red y lograr un mejor diagnóstico en cuanto a la crianza de los pollos, se implemente otra variable de control como la humedad, porque el exceso de la misma puede generar estragos en la salud del ave por lo tanto conocer datos esta variable dentro del galpón sería útil para mantener una ventilación adecuada dependiendo de la estación del año.
- Se recomienda utilizar otro tipo de HMI como pantallas táctiles si no se desea pagar un licenciamiento anual por el uso de estas aplicaciones de software como LabView. Se necesita de un mayor presupuesto pero estos sistemas serían útiles para evitar el uso de la computadora como interfaz gráfica.
- Es recomendable implementar sistemas de alertas y contingencias en caso de fallos del sistema o cuando exista cambios bruscos de las condiciones climáticas que afecten a los galpones para garantizar los procesos de crianza de pollos.
- Se recomienda implementar planes de mantenimiento preventivo basados en las especificaciones de los dispositivos para asegurar el correcto funcionamiento de la red y alargar la vida útil de los componentes.
- Es recomendable que para futuras investigaciones de este tema o implementaciones de esta red se adhiera un sistema de enfriamiento en el mismo nodo de control o en un nuevo nodo para complementar el control de esta variable manteniendo los niveles de temperatura adecuados en caso de que existan temperaturas demasiado elevadas. Este procedimiento estaría basado en el mismo principio solo que en vez de mandar aire caliente se enviaría aire frío cuando la temperatura sobrepase los niveles fijados en el setpoint.

BIBLIOGRAFÍA

- agriNews. (15 de 01 de 2019). *La temperatura, esencial para el rendimiento de granjas avícolas*. Obtenido de <https://agrinews.es/2014/01/14/temperatura-esencial-rendimiento-avicola/>
- Alvaro, J. (2008). *UPS*. Obtenido de <http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/154/1/Indice.pdf>
- Antonio, Q. J. (2019). *Avitecnia*. Mexico: Trillas.
- Arias, F. (2006). *Introducción a la Metodología Científica*. Caracas: Episteme .
- Aviagen Incorporated. (2009). *Guía de Manejo del Pollo de Engorde*. Huntsville: Cummings Research Park.
- Avila, H. (12 de Diciembre de 2018). *Eumed*. Obtenido de <http://www.eumed.net/libros-gratis/2006c/203/index.htm>
- Castellano Ocando, G. J. (01 de 11 de 2012). Integracion de los servicios de VoIP y datos a un sistema de comunicaciones DVB-S en tecnologia Flyaway. *Trabajo de Grado*. Maracaibo, Venezuela: Universidad Privada DR. Rafael Belloso Chacin.
- Castelló, J. A. (2013). Instalaciones de Iluminación en los criaderos de Pollos. *Producción de Carne*, 7-14.
- Coronado, E. (04 de 06 de 2013). *Tutorial Xbee parte 1*. Obtenido de <https://mecatronicauaslp.wordpress.com/2013/07/04/xbee-parte-1-que-es-un-xbee-y-que-es-necesario/>
- Crespo, E. (26 de 01 de 2019). *Aprendiendo Arduino*. Obtenido de Aprendiendo a manejar Arduino en profundidad: <https://aprendiendoarduino.wordpress.com/2016/11/16/zigbeexbee/>
- DIGI. (17 de 01 de 2019). *Introducción a los modulos XBee*. Obtenido de https://www.digi.com/resources/documentation/Digidocs/90001456-13/Default.htm#concepts/c_introduction_to_xbee_modules.htm%3FTocPath%3D_____3
- DIGI. (17 de 01 de 2019). *XCTU*. Obtenido de Next Generation Configuration Platform for XBee/RF Solutions: <https://www.digi.com/products/iot->

platform/xctu#productsupport-utilities

- EKOS Revista. (14 de 08 de 2015). El sector avícola en Ecuador, en crecimiento. Quito, Pichincha, Ecuador.
- Factory Geek. (26 de 01 de 2019). *Módulo Sensor Fotorresistencia LDR*. Obtenido de <https://www.geekfactory.mx/tienda/sensores/modulo-sensor-fotorresistencia-ldr/>
- Fuertes, I. D. (15 de 01 de 2019). *Control ambiental en Galpones de Pollos*. Obtenido de <https://www.engormix.com/avicultura/articulos/control-ambiental-galpones-pollos-t25959.htm>
- Gómez, L. N. (10 de 05 de 2017). Producción Avícola: Recomendaciones para aumentar la rentabilidad. *El Productor*, pág. 10.
- Gómez, M. (29 de 01 de 2019). *Arduino y el XBee Series 1 - (Modo API)*. Obtenido de <http://fuenteabierta.teubi.co/2014/03/arduino-y-el-xbee-series-1-modo-api.html>
- Gonzales, K. (01 de 02 de 2019). *Galpón para pollos de engorde*. Obtenido de <https://zoovetesmpasion.com/avicultura/pollos/estructura-del-galpon-pollos-engorde/>
- González, J. J. (2017). *Proyectos electrónicos con microcontrolador PIC16F877A*. Pamplona: Universidad Publica de Navarra.
- INAMHI. (28 de 01 de 19). *Temperaturas de climas y numeros de aves*. Obtenido de http://www.inamhi.gov.ec/eclimaticos_caracteristicas.html
- Jurado, Y. (2011). *Clea edu*. Obtenido de <https://clea.edu.mx/biblioteca/Jurado%20Yolanda%20-%20Tecnicas%20De%20Investigacion%20Documental.pdf>
- Luis Thayer Ojeda . (01 de 06 de 2010). *Guia del usuario Xbee Series 1*. Obtenido de http://www.hmangas.com/Electronica/Datasheets/Shield%20XBee%20Arduino/XBee-Guia_Usuario.pdf
- Maglioni, O. R. (15 de 01 de 2019). *MANUAL PRÁCTICO DEL POLLO DE ENGORDE*. Obtenido de http://www.inta.gov.ar/saenzpe/info/documentos/extension/pollos_parrilleros.pdf
- Marmolejo, D. R. (26 de 01 de 2019). *HETPRO*. Obtenido de LM35 – El sensor de temperatura más popular: <https://hetpro-store.com/TUTORIALES/lm35/>
- Martínez, K. G. (28 de 01 de 19). *Galpón para pollos de engorde*. Obtenido de Zootecnia y veterinaria: <https://zoovetesmpasion.com/avicultura/pollos/estructura-del-galpon-pollos->

- engorde/#dimensiones_del_galpon_para_pollos_de_engorde
 Microkits Electronica y Robotica. (27 de 01 de 2019). *CIRCUITO INTEGRADO ULN2803*. Obtenido de <https://www.microkitselectronica.com/circuito-integrado-uln2803.html>
- Miranda, I. (15 de 01 de 2019). *Avicultura*. Obtenido de Luz en Avicultura Comercial: <https://www.engormix.com/avicultura/articulos/luz-avicultura-comercial-t32935.htm>
- Mora, N. (2015). *Palermo Edu*. Obtenido de https://fido.palermo.edu/servicios_dyc/blog/docentes/trabajos/17306_55962.pdf
- Productora Nacional Avicola. (26 de 01 de 2019). Portal Tecnico. Guadalajara de Buga, Cuidad de Cauca, Colombia.
- Ruiz, B. (2015). Informática para la gestión de la industria avicola. *Industria avícola*, 6-15.
- TBL. (27 de 01 de 2019). *MÓDULOS LED*. Obtenido de <https://www.tirasdeledbaratas.com/69-m%C3%B3dulos-led>
- Teckmake Electronics. (26 de 01 de 2019). *XBee Explorer Regulated*. Obtenido de <http://www.techmake.com/00165.html>
- Universidad de Cantabria. (17 de 01 de 2019). *Servicio de Informatica*. Obtenido de Software Labview: <https://sdei.unican.es/Paginas/servicios/software/Labview.aspx>
- XBee. Cl. (27 de 01 de 2019). *Comparativa*. Obtenido de <https://xbee.cl/comparativa/>

ANEXOS

ANEXO 1. Programación XCTU

Parámetros del Coordinador

Networking & Security

Modify networking settings

CH Channel	C
ID PAN ID	3332
DH Destination Address High	0
DL Destination Address Low	FFFF
MY 16-bit Source Address	0
SH Serial Number High	13A200
SL Serial Number Low	4149F1C3
MM MAC Mode	802.15.4 + MaxStream header w/ACKS [0]
RR XBee Retries	0
RN Random Delay Slots	0
NT Node Discover Time	19 x 100 ms
NO Node Discover Options	0
CE Coordinator Enable	Coordinator [1]
SC Scan Channels	1FFE Bitfield
SD Scan Duration	4 exponent
A1 End Device Association	0000b [0]
A2 Coordinator Association	000b [0]
AI Association Indication	0
EE AES Encryption Enable	Disable [0]
KY AES Encryption Key	
NI Node Identifier	Coordinador

Serial Interfacing

Modify modem interfacing options

BD Interface Data Rate	9600 [3]
NB Parity	No Parity [0]
RO Packetization Timeout	3 x character times
AP API Enable	API enabled [1]

Parámetros del Nodo 1

networking & security

Modify networking settings

CH Channel	C
ID PAN ID	3332
DH Destination Address High	13A200
DL Destination Address Low	4149F1C3
MY 16-bit Source Address	1
SH Serial Number High	13A200
SL Serial Number Low	41754CBE
MM MAC Mode	802.15.4 + MaxStream header w/ACKS [0]
RR XBee Retries	0
RN Random Delay Slots	0
NT Node Discover Time	19 x 100 ms
NO Node Discover Options	0
CE Coordinator Enable	End Device [0]
SC Scan Channels	1FFE Bitfield
SD Scan Duration	4 exponent
A1 End Device Association	0000b [0]
A2 Coordinator Association	000b [0]
AI Association Indication	0
EE AES Encryption Enable	Disable [0]
KY AES Encryption Key	
NI Node Identifier	Nodo1

Serial Interfacing

Modify modem interfacing options

BD Interface Data Rate	9600 [3]
NB Parity	No Parity [0]
RO Packetization Timeout	3 x character times
AP API Enable	API enabled [1]

I/O Settings

Modify DIO and ADC options

D8 DIO8 Configuration	Disabled [0]	
D7 DIO7 Configuration	CTS flow control [1]	
D6 DIO6 Configuration	Disabled [0]	
D5 DIO5 Configuration	Associated indicator [1]	
D4 DIO4 Configuration	Disabled [0]	
D3 DIO3 Configuration	Disabled [0]	
D2 DIO2 Configuration	Disabled [0]	
D1 DIO1 Configuration	Disabled [0]	
D0 DIO0 Configuration	ADC [2]	
PR Pull-up Resistor Enable	FF	
IU I/O Output Enable	Enabled [1]	
IT Samples before TX	1	
IC DIO Change Detect	0	
IR Sample Rate	0	X 1 ms
P0 PWM0 Configuration	RSSI [1]	
P1 PWM1 Configuration	PWM Output [2]	
PT PWM Output Timeout	FF	x 100 ms
RP RSSI PWM Timer	28	x 100 ms

Parámetros del Nodo 2**I/O Settings**

Modify DIO and ADC options

D8 DIO8 Configuration	Disabled [0]	
D7 DIO7 Configuration	CTS flow control [1]	
D6 DIO6 Configuration	Disabled [0]	
D5 DIO5 Configuration	Associated indicator [1]	
D4 DIO4 Configuration	Disabled [0]	
D3 DIO3 Configuration	Disabled [0]	
D2 DIO2 Configuration	Disabled [0]	
D1 DIO1 Configuration	Disabled [0]	
D0 DIO0 Configuration	ADC [2]	
PR Pull-up Resistor Enable	FF	
IU I/O Output Enable	Enabled [1]	
IT Samples before TX	1	
IC DIO Change Detect	0	
IR Sample Rate	0	X 1 ms
P0 PWM0 Configuration	RSSI [1]	
P1 PWM1 Configuration	PWM Output [2]	
PT PWM Output Timeout	FF	x 100 ms
RP RSSI PWM Timer	28	x 100 ms

Networking & Security

Modify networking settings

CH Channel	C
ID PAN ID	3332
DH Destination Address High	13A200
DL Destination Address Low	4149F1C3
MY 16-bit Source Address	2
SH Serial Number High	13A200
SL Serial Number Low	416C26A1
MM MAC Mode	802.15.4 + MaxStream header w/ACKS [0]
RR XBee Retries	0
RN Random Delay Slots	0
NT Node Discover Time	19 x 100 ms
NO Node Discover Options	0
CE Coordinator Enable	End Device [0]
SC Scan Channels	1FFE Bitfield
SD Scan Duration	4 exponent
A1 End Device Association	0000b [0]
A2 Coordinator Association	000b [0]
AI Association Indication	0
EE AES Encryption Enable	Disable [0]
KY AES Encryption Key	
NI Node Identifier	Nodo 2

Serial Interfacing

Modify modem interfacing options

BD Interface Data Rate	9600 [3]
NB Parity	No Parity [0]
RO Packetization Timeout	3 x character times
AP API Enable	API enabled [1]

ANEXO 2. Programación Tramas API para petición.

Petición para nodo 1

Remote AT Command Request (API 1)

7E 00 0F 17 01 00 13 A2 00 41 75 4C BE FF FE 02 49 53 D7

Start delimiter: 7E

Length: 00 0F (15)

Frame type: 17 (Remote AT Command Request)

Frame ID: 01 (1)

64-bit dest. address: 00 13 A2 00 41 75 4C BE

16-bit dest. address: FF FE

Command options: 02

AT Command: 49 53 (IS) (Fuerza al módulo a leer todos sus pines I/O)

Checksum: D7

Remote Command Response (API 1)

7E 00 14 97 01 00 13 A2 00 41 75 4C BE 00 01 49 53 00 01 02 00 00 00 52

Start delimiter: 7E

Length: 00 14 (20)

Frame type: 97 (Remote Command Response)

Frame ID: 01 (1)

64-bit source address: 00 13 A2 00 41 75 4C BE (Dirección del nodo 1)

16-bit source address: 00 01

AT Command: 49 53 (IS)

Status: 00 (Status OK)

Response: 01 02 00 00 00 (Número de muestras, Mascara de canal, Valor ADC)

Checksum: 52

Escritura PWM Nod01

Ajusta el ciclo de trabajo de la salida PWM0 y PWM1. Si Mn=0 (0% PWM), Mn=0x01FF (50% PWM) y si Mn=0x03FF (100% PWM). Defecto=0

Remote AT Command Request (API 1)

7E 00 11 17 01 00 13 A2 00 41 75 4C BE FF FE 02 4D 31 03 FF F3

Start delimiter: 7E

Length: 00 11 (17)

Frame type: 17 (Remote AT Command Request)

64-bit dest. address: 00 13 A2 00 41 75 4C BE

16-bit dest. address: FF FE

Command options: 02

AT Command: 4D 31 (M1) (Selecciona PWM1)

Parameter: 03 FF (Valor de Mn)

Checksum: F3

Remote Command Response (API 1)

7E 00 0F 97 01 00 13 A2 00 41 75 4C BE 00 01 4D 31 00 73

Start delimiter: 7E

Length: 00 0F (15)

Frame type: 97 (Remote Command Response)

Frame ID: 01 (1)

64-bit source address: 00 13 A2 00 41 75 4C BE

16-bit source address: 00 01

AT Command: 4D 31 (M1)

Status: 00 (Status OK)

Checksum: 73

Petición para nodo2

Remote AT Command Request (API 1)

7E 00 0F 17 01 00 13 A2 00 41 6C 26 A1 FF FE 02 49 53 23

Start delimiter: 7E

Length: 00 0F (15)

Frame type: 17 (Remote AT Command Request)

Frame ID: 01 (1)

64-bit dest. address: 00 13 A2 00 41 6C 26 A1

16-bit dest. address: FF FE

Command options: 02

AT Command: 49 53 (IS)

Checksum: 23

Remote Command Response (API 1)

7E 00 14 97 01 00 13 A2 00 41 6C 26 A1 00 02 49 53 00 01 02 00 01 E8 B4

Start delimiter: 7E

Length: 00 14 (20)
 Frame type: 97 (Remote Command Response)
 Frame ID: 01 (1)
 64-bit source address: 00 13 A2 00 41 6C 26 A1
 16-bit source address: 00 02
 AT Command: 49 53 (IS)
 Status: 00 (Status OK)
 Response: 01 02 00 01 E8
 Checksum: B4

Escritura PWM Nodo2

Remote AT Command Request (API 1)

7E 00 11 17 01 00 13 A2 00 41 6C 26 A1 FF FE 02 4D 31 01 FF 41
 Start delimiter: 7E
 Length: 00 11 (17)
 Frame type: 17 (Remote AT Command Request)
 Frame ID: 01 (1)
 64-bit dest. address: 00 13 A2 00 41 6C 26 A1
 16-bit dest. address: FF FE
 Command options: 02
 AT Command: 4D 31 (M1)
 Parameter: 01 FF
 Checksum: 41

Remote Command Response (API 1)

7E 00 0F 97 01 00 13 A2 00 41 6C 26 A1 00 02 4D 31 00 BE
 Start delimiter: 7E
 Length: 00 0F (15)
 Frame type: 97 (Remote Command Response)
 Frame ID: 01 (1)
 64-bit source address: 00 13 A2 00 41 6C 26 A1
 16-bit source address: 00 02
 AT Command: 4D 31 (M1)
 Status: 00 (Status OK)
 Checksum: BE

ANEXO 3. Programación del microcontrolador 16F877A.

```

#include <16F877A.h>
#define adc=8
#define fuses XT, NOWDT,PUT,NOBROWNOUTC
#define use delay(clock=4M)

#define on      output_high
#define off     output_low
#define zero_cross  pin_c0
#define trigger_triac pin_c1
#define subida    0
#define bajada    1

int1 flanco=0;
int8 ints_t0=0, value=0;

#int_CCPI
void ZeroCross_isr(void)
{
    if(flanco=subida)
    {
        enable_interrupts(INT_TIMER0);
        setup_ccp1(CCP_CAPTURE_FE);
        flanco = bajada;
    }
    else
    {
        off(trigger_triac);//off
        setup_ccp1(CCP_CAPTURE_RE);
        flanco = subida;
    }
}

```

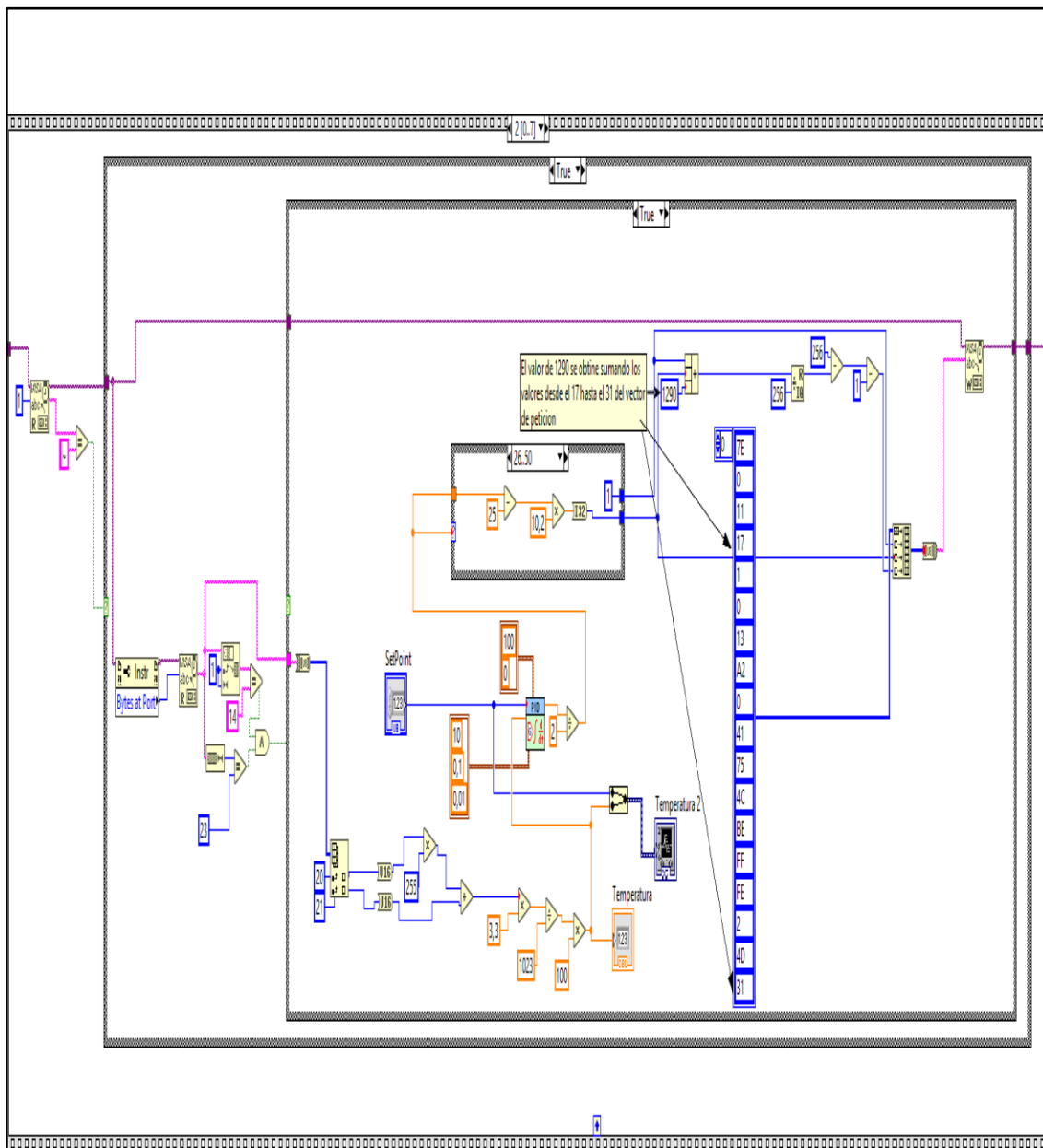


```


#int_TIMER0          //T_base = 256uS
void pulse_isr(void) //T_flagg = T_base x RTCC_DIV_1 = 256uS
{
    ints_t0++;
    if(ints_t0>value)
    {
        on(trigger_triac);//on
        ints_t0 = 0;
        disable_interrups(INT_TIMER0);
    }
}
void main(void)
{
    int16 dato;
    setup_port_a(ALL_ANALOG);
    setup_adc(ADC_CLOCK_INTERNAL);
    setup_ccp1(CCP_CAPTURE_RE);
    setup_timer_0(RTCC_INTERNAL | RTCC_DIV_1);
    disable_interrups(INT_TIMER0);
    flanco=subida;
    enable_interrups(INT_CCP1);
    enable_interrups(GLOBAL);
    while(true)
    {
        set_adc_channel(0);
        delay_us(20);
        dato=read_adc();
        value =(170-dato)/10;
        //delay_ms(100);
    }
}

```

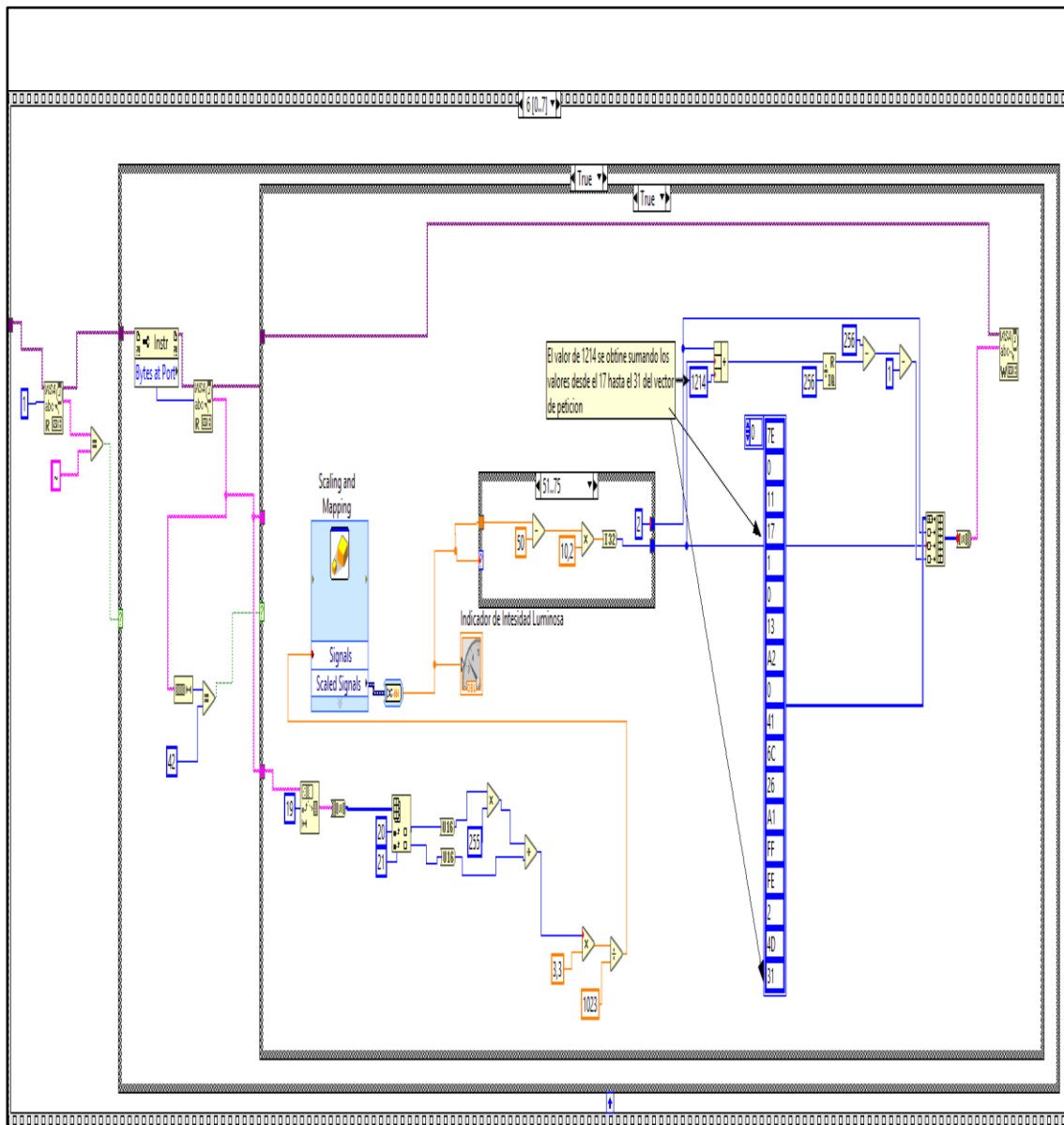
ANEXO 4. Diagrama del procesamiento y control de la señal de temperatura de la red XBee.




Universidad Tecnológica Israel

Esc. 1:1	Observación: Diseñado en Proteus	Fecha: 04-03-19	Cuadro de referencia: Diagrama Esquemático
	Autor: Ricardo Torres S.		Tutor: Ing. Fidel Parra.
	Diagrama esquemático del procesamiento y control de la señal de temperatura de la red XBee.		

ANEXO 5. Diagrama del procesamiento y control de la señal de intensidad luminosa de la red XBee.



Universidad Tecnológica Israel

Esc. 1:1	Observación:	Fecha:	Cuadro de referencia: Diagrama Esquemático
	Diseñado en Proteus	04-03-19	
	Autor: Ricardo Torres S.		Tutor: Ing. Fidel Parra.
	Diagrama esquemático del procesamiento y control de la señal de intensidad luminosa de la red XBee.		

ANEXO 6. Cronograma de actividades

