

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE



FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y REDES DE COMUNICACIÓN

TRABAJO DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERA EN ELECTRÓNICA Y REDES DE COMUNICACIÓN

TEMA:

**RED WSN PARA EL CONTROL Y MONITOREO DE UN SISTEMA
DE RIEGO POR GOTEO DE UNA PLANTACIÓN DE FRESAS EN
LA GRANJA EXPERIMENTAL YUYUCOCHA – UTN**

AUTORA: JHOMAIRA LORENA BURBANO GARCÍA

DIRECTOR: ING. EDGAR MAYA

IBARRA – ECUADOR

2014



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

La UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE dentro del proyecto Repositorio Digital Institucional determina la necesidad de disponer de textos completos en formato digital con la finalidad de apoyar los procesos de investigación, docencia y extensión de la universidad.

Por medio del presente documento dejo sentada mi voluntad de participar en este proyecto, para lo cual pongo a disposición la siguiente información.

DATOS DEL CONTACTO	
Cédula de Identidad	0401198361
Apellidos y Nombres	Burbano García Jhomaira Lorena
Dirección	Av. El Retorno. Conjunto El Retorno
Email	jhobg35@hotmail.com
Teléfono Fijo	062610424
Teléfono Móvil	0986564466

DATOS DE LA OBRA	
Título	RED WSN PARA EL CONTROL Y MONITOREO DE UN SISTEMA DE RIEGO POR GOTEO DE UNA PLANTACIÓN DE FRESAS EN LA GRANJA EXPERIMENTAL YUYUCOCHA – UTN
Autor	Burbano García Jhomaira Lorena
Fecha	07/04/2014
Programa	Pregrado
Título por el que se aspira	Ingeniera en Electrónica y Redes de Comunicación
Director	Ing. Edgar Maya

2. AUTORIZACIÓN DE USO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD

Yo, Jhomaira Lorena Burbano García, con cédula de identidad Nro. 0401198361, en calidad de autora y titular de los derechos patrimoniales de la obra o trabajo de grado descrito anteriormente, hago entrega del ejemplar respectivo en forma digital y autorizo a la Universidad Técnica del Norte, la publicación de la obra en el Repositorio Digital Institucional y uso del archivo digital en la Biblioteca de la Universidad con fines académicos, para ampliar la disponibilidad de material y como apoyo a la educación, investigación y extensión, en concordancia con la ley de Educación Superior Artículo 144.



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE GRADO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

Yo, Jhomaira Lorena Burbano García, con cédula de identidad Nro. 0401198361, manifiesto mi voluntad de ceder a la Universidad Técnica del Norte los derechos patrimoniales consagrados en la Ley de Propiedad Intelectual del Ecuador, artículos 4, 5 y 6, en calidad de autora de la obra o trabajo de grado denominado: **"RED WSN PARA EL CONTROL Y MONITOREO DE UN SISTEMA DE RIEGO POR GOTEO DE UNA PLANTACIÓN DE FRESAS EN LA GRANJA EXPERIMENTAL YUYUCOCHA - UTN"**, que ha sido desarrollado para optar por el título de: **Ingeniera en Electrónica y Redes de Comunicación** en la Universidad Técnica del Norte, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Técnica del Norte.

A handwritten signature in blue ink, appearing to be "Jhomaira", written over a horizontal dashed line.

Firma

Nombre: Jhomaira Lorena Burbano García

Cédula: 0401198361

Ibarra a los 7 días del mes de abril de 2014



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

CONSTANCIA

La autora manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto la obra es original y que es la titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros

En la ciudad de Ibarra, abril de 2014

LA AUTORA:
Burbano García Jhomaira Lorena
C.I.: 0401198361



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

DECLARACIÓN

Yo **JHOMAIRA LORENA BURBANO GARCÍA** declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; y que este no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional.

A través de la presente declaración cedo los derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Universidad Técnica del Norte, según lo establecido por las leyes de propiedad intelectual, reglamentos y normatividad vigente de la Universidad Técnica del Norte.

Firma
Nombre: Jhomaira Lorena Burbano García



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

CERTIFICACIÓN

INGENIERO EDGAR MAYA, DIRECTOR DEL PRESENTE TRABAJO DE
TITULACIÓN

CERTIFICA:

Que, el presente Trabajo de Titulación "RED WSN PARA EL CONTROL Y
MONITOREO DE UN SISTEMA DE RIEGO POR GOTEO DE UNA PLANTACIÓN
DE FRESAS EN LA GRANJA EXPERIMENTAL YUYUCOCHA - UTN", ha sido
desarrollado por la señorita Jhomaira Lorena Burbano García bajo mi supervisión.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad.

A handwritten signature in blue ink, appearing to be "Edgar Maya", written over a circular stamp or seal.

Ing. Edgar Maya

DIRECTOR

DEDICATORIA

A ese ser sublime, trascendente y cercano, que es perfección y realidad, y se identifica con la esencia simple de la vida; aquel ser inmutable y dador de vida, DIOS.

A Fanny García y Félix Burbano, por ser más que unos abuelitos, unos padres, a mi mamá Edith por todo su esfuerzo y a todos mis familiares, por creer en mí, por brindarme la fortaleza para culminar un objetivo de mi vida.

A cada uno de mis primos y primas, que son los mejores hermanos que Dios me regaló y que cada día me recuerdan que la voluntad es el único camino para lograr los sueños. La confianza y la fortaleza, conducen al objetivo propuesto. Los grandes esfuerzos siempre rinden frutos, y esta investigación de grado es la meta de algo muy importante, y el comienzo de algo mejor.

Jhomaira Lorena Burbano García

AGRADECIMIENTO

La gratitud es la virtud más elevada del espíritu, por ello, mi especial agradecimiento:

A la Universidad Técnica del Norte, por abrir sus puertas al conocimiento y permitir generar ciencia e investigación. A la Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas, por la fortaleza y la constancia del trabajo que exige de nosotros, sus estudiantes.

Al ingeniero Edgar Maya, por su acertada asesoría para culminar la presente Tesis de Grado.

A mis maestros, permanentes guías durante el transcurso de mi vida estudiantil. Especialmente a los Ingenieros Jaime Michilena y Carlos Vásquez docentes de la materia de Trabajo de Grado. A mis compañeras/os de aula, por su comprensión y apoyo entregado, sin escatimar esfuerzos y tiempo.

A mi madre y a mi familia, por confiar en mí y brindarme todo su apoyo durante mi trayectoria de estudiante y en el desarrollo de esta investigación. A José Torres y su familia, por todo el apoyo brindado día a día. *Nada sería igual, sin ustedes.*

A los amigos, que con su apoyo moral, alentaron al desarrollo de este trabajo.

Jhomaira Lorena Burbano García

CONTENIDO

CONTENIDO	IX
ÍNDICE DE FIGURAS	XIV
ÍNDICE DE TABLAS	XVII
RESUMEN	XVIII
ABSTRACT	XIX
PRESENTACIÓN	XX
CAPÍTULO I	1
1.1. REDES INALÁMBRICAS	1
1.2. REDES INALÁMBRICAS DE SENSORES.....	3
1.3. COMPONENTES DE UNA RED WSN	4
1.3.1. Nodo sensor.....	4
1.3.1.1. Sensores.....	5
1.3.1.2. Conversor análogo digital	6
1.3.1.3. Fuente de alimentación o batería	6
1.3.1.4. Procesador	7
1.3.1.5. Memoria.....	7
1.3.1.6. Comunicación inalámbrica.....	8
1.3.2. Gateway.....	8
1.3.3. Estación base	8
1.3.4. Red inalámbrica	9
1.4. TOPOLOGÍAS DE UNA RED WSN	9
1.4.1. Topología en estrella	9
1.4.2. Topología en malla	10
1.4.3. Topología híbrida estrella – malla.....	11
1.5. DESCRIPCIÓN ESPECIFICACIÓN ZIGBEE	12
1.5.1. Arquitectura básica de ZigBee	13
1.5.2. Estándar IEEE 802.15.4	14
1.5.2.1. Nivel físico	15
1.5.2.2. Nivel de enlace de datos	16
1.5.3. Especificación Zigbee	17

1.5.3.1.	Nivel de red.....	17
1.5.3.2.	Nivel de aplicación.....	18
1.6.	ACCESO AL MEDIO	19
1.7.	ESTRUCTURA DE LAS TRAMAS.....	20
1.7.1.	Unidad de datos del protocolo MAC (MPDU).....	22
1.7.2.	La unidad de datos de protocolo físico (PPDU)	23
1.7.3.	Tipos de tramas	23
1.8.	TIPO DE TRÁFICO	25
1.9.	CANALES DE FRECUENCIA.....	25
1.10.	MICROCONTROLADORES	26
1.10.1.	Microcontroladores PIC	27
1.11.	SENSORES	27
1.11.1.	Sensores utilizados en sistemas de riego.....	28
1.11.1.1.	Sensores de temperatura	28
1.11.1.2.	Sensores de humedad.....	28
1.11.1.3.	Sensores de luminosidad.....	29
1.12.	CULTIVO DE FRESA	30
1.12.1.	Generalidades.....	31
1.12.2.	Descripción taxonómica.....	32
1.12.3.	Descripción botánica.....	32
1.12.3.1.	Raíces.....	32
1.12.3.2.	Tallo.....	33
1.12.3.3.	Hojas	33
1.12.3.4.	Inflorescencias y fruto.....	34
1.12.4.	Métodos de propagación	35
1.12.4.1.	División de coronas	35
1.12.4.2.	Estolones	36
1.12.4.3.	Semillas	36
1.12.5.	Manejo del cultivo	37
1.12.5.1.	Suelo normal.....	37
1.12.5.2.	Sustrato	38
1.12.5.3.	Nivelación	38
1.12.5.4.	Construcción del caballete.....	39
1.12.5.5.	Cobertura del suelo	40

1.12.5.6.	Siembra	40
1.12.5.7.	Riego	42
1.12.6.	Requerimientos climáticos	42
1.12.6.1.	Temperatura	42
1.12.6.2.	Humedad	43
1.13.	SISTEMA DE RIEGO POR GOTEO	43
1.13.1.	Definición	43
1.13.2.	Ventajas.....	44
1.13.3.	Desventajas	45
1.13.4.	Componentes del sistema de riego.....	46
1.13.5.	Fuente de abastecimiento de agua.....	46
1.13.6.	Unidad de bombeo.....	47
1.13.7.	Cabezal.....	47
1.13.7.1.	Equipo de bombeo.....	47
1.13.7.2.	Sistema de filtrado	48
1.13.7.3.	Electroválvulas.....	48
1.13.7.4.	Tuberías.....	48
1.13.8.	Tipos de riego por goteo	49
1.14.	INVERNADERO	49
CAPÍTULO II.....		51
ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL.....		51
2.1.	INTRODUCCIÓN	51
2.2.	UBICACIÓN DEL ÁREA DE TRABAJO.....	52
2.3.	DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE TRABAJO	52
2.3.1.	Invernadero.....	53
2.3.2.	Sistema de almacenamiento y distribución	54
2.4.	DEFICIENCIAS Y MODIFICACIONES.....	56
2.4.1.	Evaluación del proceso de riego	56
2.4.2.	Adecuación del área de trabajo	57
2.4.2.1.	Elección del sustrato.....	57
2.4.2.2.	Cubierta del sustrato.....	59
2.4.2.3.	Proceso de sembrado.....	59
2.4.3.	Instalación sistema de riego por goteo	60

2.4.3.1.	Bomba de extracción	62
2.4.3.2.	Válvula de pie	63
2.4.3.3.	Manguera ciega	64
2.4.3.4.	Filtro Manual de discos	64
2.4.3.5.	Válvula eléctrica.....	65
2.5.	PARÁMETROS A CONSIDERAR EN EL DISEÑO DE LA RED WSN....	67
2.5.1.	Ambiente de trabajo.....	67
2.5.2.	Manipulación.....	67
2.5.3.	Enlace inalámbrico.....	68
2.5.4.	Requerimientos de energía.....	68
2.5.5.	Requerimientos de acuerdo al desempeño de la red.....	68
CAPÍTULO III		70
DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE LA RED WSN		70
3.1.	DESCRIPCIÓN GENERAL	70
3.2.	DISEÑO DEL HARDWARE	73
3.2.1.	Proceso de sensado	75
3.2.1.1.	Sensor de temperatura digital DS18B20 1-WIRE	75
3.2.1.2.	Sensor de humedad Meroduino.....	76
3.2.1.3.	Sensor de humedad relativa HONEYWELL HIH-4000-001	78
3.2.1.4.	Sensor de luminosidad a base de una LDR.....	79
3.2.2.	Proceso de transmisión de datos.....	80
3.2.2.1.	Microcontrolador PIC18F2550	80
3.2.2.1.1.	Características generales	81
3.2.2.1.2.	Diagrama de pines y funciones.....	82
3.2.2.1.3.	Configuración comunicación USART	84
3.2.2.1.4.	Configuración conversor analógico digital	85
3.2.2.2.5.	Uso de interrupciones	85
3.2.2.2.	Módulo XBee PRO S1	87
3.2.2.3.	Pantalla de Cristal Líquido.....	88
3.2.3.	Procesamiento y almacenamiento de información.....	90
3.2.4.	Proceso de respuesta	90
3.2.5.	Proceso de alimentación.....	91
3.3.	DIAGRAMAS ESQUEMÁTICOS	91

3.3.1.	Módulo nodo sensor 1	91
3.3.2.	Módulo nodo sensor 2	93
3.3.3.	Módulo nodo central	94
3.4.	DISEÑO DEL SOFTWARE	95
3.4.1.	Diagramas de flujo	95
3.4.2.	Interfaz gráfica	104
3.4.2.1.	Pantalla de visualización.....	104
3.4.2.2.	Base de datos.....	108
CAPÍTULO IV.....		109
IMPLEMENTACIÓN DE LA RED WSN Y PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO		109
4.1.	INTRODUCCIÓN	109
4.2.	ENSAMBLAJE DE DISPOSITIVOS.....	109
4.2.1.	Ensamblaje módulo central.....	109
4.2.2.	Ensamblaje módulo 1	110
4.2.3.	Ensamblaje módulo 2	111
4.2.4.	Protección para los módulos.....	111
4.3.	INSTALACIÓN MÓDULOS RED WSN.....	112
4.3.1.	Módulos Sensores	113
4.3.2.	Módulo Central.....	115
4.4.	PRUEBAS.....	116
4.4.1.	Sensores de humedad	116
4.4.2.	Sensores de temperatura	118
4.4.3.	Sensor de luminosidad	119
4.4.4.	Sistema instalado.....	119
4.5.	PRUEBAS PREVIAS Y RESULTADOS	122
4.5.1.	Aplicación de agua con regaderas método visual.....	122
4.5.2.	Aplicación de agua con sistema de riego por goteo.....	124
4.5.3.	Aplicación de agua con el proyecto propuesto	125
CAPÍTULO V.....		127
PRESUPUESTO REFERENCIAL.....		127
CAPÍTULO VI.....		129
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		129

6.1. CONCLUSIONES	129
6.2. RECOMENDACIONES	130
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	132
LIBROS, RECURSOS BIBLIOGRÁFICOS EN LÍNEA Y TESIS	132
GLOSARIO DE TÉRMINOS	135
ANEXOS	137

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Clasificación de las redes inalámbricas.....	2
Figura 2. Elementos de una red WSN.....	4
Figura 3. Dispositivos de un nodo inalámbrico.....	5
Figura 4. Topología en estrella.....	10
Figura 5. Topología en malla.....	11
Figura 6. Topología híbrida estrella – malla.....	12
Figura 7. Arquitectura básica ZigBee.....	14
Figura 8. Funciones del nivel PHY	15
Figura 9. Funciones de la Subcapa MAC.....	17
Figura 10. Funciones de la capa de red.....	18
Figura 11. Funciones de la capa soporte de aplicación.....	19
Figura 12. Estructura de una supertrama.....	20
Figura 13. Estructura de la trama IEEE 802.15.4.....	21
Figura 14. Carga útil de la trama beacon.....	24
Figura 15. Tráfico soportado por ZigBee.....	25
Figura 16. Estructura de los canales del estándar IEEE 802.15.4	26
Figura 17. Plántula de fresa trasplantada.....	31
Figura 18. Raíces de plántula de fresa.....	33
Figura 19. Partes de una planta de fresa claramente identificadas.....	34
Figura 20. Tipos de inflorescencia.....	34
Figura 21. Propagación por división de coronas.....	35
Figura 22. Propagación por estolones.....	36
Figura 23. Germinación de semillas de fresa.....	37
Figura 24. Diferentes capas de suelo.....	38

Figura 25. Sustrato compuesto para platabandas.....	38
Figura 26. Distancias de siembra.	41
Figura 27. Colocación de la planta en la siembra.....	41
Figura 28. Área de trabajo Granja Yuyucocha.	53
Figura 29. Vista lateral del invernadero.....	54
Figura 30. Método de riego por inundación Granja Yuyucocha.....	55
Figura 31. Sistema de almacenamiento y distribución.	55
Figura 32. Cantidad de material a mezclar para el nuevo sustrato, relación 2:1..	58
Figura 33. Interior del invernadero: recubrimiento, cambio y cubierta de sustrato.	59
Figura 34. Distancias de siembra para plantas de fresa.	60
Figura 35. Diagrama sistema de riego por goteo.	61
Figura 36. Ambiente de trabajo en el interior del invernadero.....	67
Figura 37. Esquema general red WSN.....	70
Figura 38. Esquema general de comunicación.	72
Figura 39. Diagrama del sistema a ser implementado.	74
Figura 40. Sensor de temperatura digital DS18B20.	75
Figura 41. Sensor de humedad Meroduino.	77
Figura 42. Sensor de Humedad Relativa HIH-400-001.	78
Figura 43. Resistencia LDR.....	79
Figura 44. Circuito divisor de voltaje.	80
Figura 45. Diagrama esquemático conexión eléctrica LDR.....	80
Figura 46. Diagrama pines y funciones microcontrolador PIC18F2550	83
Figura 47. Estructura de registro INTCON.	86
Figura 48. Módulo XBee PRO S1.....	87
Figura 49. Pantalla de cristal líquido.	88
Figura 50. Equipo utilizado para el almacenamiento de información.	90
Figura 51. Diagrama esquemático Nodo 1	92
Figura 52. Módulo nodo sensor 2.....	93
Figura 53. Diagrama módulo central.	94
Figura 54. Trama Nodo 2.	96
Figura 55. Trama de transmisión Nodo 1.	96
Figura 56. Trama de recepción Nodo1.....	96
Figura 57. Trama de transmisión Nodo2.	96

Figura 58. Trama de recepción Nodo 2.....	97
Figura 59. Pantalla de la interfaz gráfica.....	104
Figura 60. Pipe de escritura y lectura.....	105
Figura 61. Búfer de entrada y salida.....	105
Figura 62. Tiempo de conmutación.....	105
Figura 63. Nodo actual.....	106
Figura 64. Control automático.....	106
Figura 65. Control manual.....	106
Figura 66. Gráfica del comportamiento de los datos sensados.....	107
Figura 67. Voltaje suministrado a los nodos sensores.....	107
Figura 68. Estado de los nodos sensores.....	107
Figura 69. Datos almacenados en la base de datos.....	108
Figura 70. Módulo central.....	110
Figura 71. Modulo nodo sensor 1.....	110
Figura 72. Módulo nodo sensor 2.....	111
Figura 73. Caja de almacenamiento placas nodos sensores.....	111
Figura 74. Caja de almacenamiento nodo central.....	112
Figura 75. Protecciones del sistema.....	112
Figura 76. Direccionamiento de antena módulos sensores.....	113
Figura 77. Colocación sensor de temperatura.....	114
Figura 78. Colocación sensor se luminosidad.....	114
Figura 79. Colocación sensor de temperatura ambiental.....	114
Figura 80. Señalización módulos sensores.....	115
Figura 81. Instalación módulo central.....	115
Figura 82. Ubicación del módulo central con respecto a la computadora.....	116
Figura 83. Prueba 1 sensor de humedad del suelo.....	117
Figura 84. Prueba sensores de temperatura.....	118
Figura 85. Modulo sensor 1 instalado.....	119
Figura 86. Módulo sensor 2 instalado.....	120
Figura 87. Estado de los nodos sensores.....	120
Figura 88. Pantalla general de visualización de datos.....	121
Figura 89. Regaderas utilizadas como medida de agua.....	122
Figura 90. Excesivo follaje en la planta de fresa.....	123
Figura 91. Planta con estrés hídrico.....	124

Figura 92. Planta regada mediante sistema de riego por goteo.....	125
Figura 93. Plantas de fresa con un adecuado suministro de agua.....	126

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Bandas y parámetros de operación del estándar IEEE 802.15.4	16
Tabla 2. Frecuencia de los canales IEEE802.15.4.....	26
Tabla 3 Taxonomía de la fresa.....	32
Tabla 4 Beneficiarios directos por cada carrera de la FICAYA.....	52
Tabla 5 Materiales instalación sistema de riego por goteo.....	62
Tabla 6 Características bomba de extracción eléctrica JSW55.....	63
Tabla 7 Válvula de pie con filtro de malla.....	63
Tabla 8 Manguera ciega riego por goteo.....	64
Tabla 9 Filtro manual de discos.....	65
Tabla 10 Características válvula de control eléctrica	66
Tabla 11 Características sensor digital DSB18B20.....	76
Tabla 12. Características sensor de humedad.....	77
Tabla 13 Sensor de humedad relativa HIH-4000-001	78
Tabla 14 Características generales y eléctricas PIC18F2550.....	82
Tabla 15 Pines y funciones del PIC18F2550 del Módulo Nodo Sensor 1	83
Tabla 16 Pines y funciones del PIC18F2550 del Módulo Nodo Sensor 2	84
Tabla 17 Pines y funciones del PIC18F2550 del Módulo Nodo Central	84
Tabla 18 Características Módulo XBee PRO S1	88
Tabla 19 Mensajes LCD Nodo 1	89
Tabla 20 Mensajes LCD Nodo 2	89
Tabla 21. Tabla referencial de precios nodos de la red.....	127
Tabla 22. Tabla referencial de precios sistema de riego por goteo.....	128

RESUMEN

El presente proyecto consiste en la implementación de una red de sensores inalámbricos (WSN), para optimizar el control y monitoreo del sistema de riego por goteo del cultivo de fresas bajo invernadero de la granja experimental Yuyucocha de la Universidad Técnica del Norte, con el objeto de lograr un mejor aprovechamiento del agua de riego utilizada en este sitio específico.

El primer capítulo contiene los fundamentos teóricos útiles para el desarrollo del proyecto, en este se detallan los aspectos más importantes de las Redes de Sensores Inalámbricas y los componentes necesarios para su implementación. Además se explica todo lo referente a un cultivo de fresa bajo invernadero y la técnica de riego por goteo.

En el segundo capítulo se encuentra el análisis de las condiciones actuales del sistema de riego por goteo en el cultivo de fresa, sus deficiencias y modificaciones a realizarse mediante el sistema propuesto.

Posterior al análisis descrito en el capítulo dos se procede con el diseño de la Red WSN tomando en cuenta los requerimientos de hardware y software que necesita previa su implementación para realizar un adecuado control y monitoreo del sistema de riego por goteo. Este proceso consta en el capítulo tres.

En el capítulo cuatro se describe el proceso de implementación de la red WSN, la ubicación los módulos destinados al sensado y el módulo base encargado de recibir las señales para ser procesadas. Además de las pruebas necesarias para lograr un óptimo funcionamiento del sistema.

El quinto capítulo detalla un presupuesto referencial que abarca todos los componentes empleados en el desarrollo de la red. Finalmente en el sexto capítulo se encuentran las conclusiones y recomendaciones obtenidas durante el desarrollo del presente trabajo de titulación.

ABSTRACT

This project entails the implementation of a wireless sensor network (WSN), to optimize the control and monitoring of the irrigation system by dripping during strawberries growing process inside greenhouse, this system will be installed in the experimental farm Yuyucocha which belongs to “Universidad Técnica del Norte”, in order to achieve a better use of the irrigation water used in this specific place.

The first chapter comprises the useful theoretical foundations for the good development of the project; in this chapter the most important aspects in the Wireless Sensor Networks and the necessary components for its implementation are detailed. It is also enlightened all that has to do with strawberry inside greenhouses growing and farming and about the irrigation system by dripping.

In the second chapter we can find the analysis of the existing conditions of the irrigation system by dripping in strawberry growing and farming, their shortages and what modifications are going to be done through the strategic proposed system.

After the analysis described in chapter two the design of the WSN Net is done; taking into account the hardware and software requirements needed previous its implementation; to carry out an appropriate control and monitoring of the irrigation watering system by dripping. This process is entailed in chapter three.

In four chapter the process of WSN network implementation is described, the location, the modules in charge of the sensory and the base module responsible of receipting the signs to be processed. As well as the necessary tests to achieve a good operation of the system.

The fifth chapter details a referential budget that embraces all the components expended in the development of the net. Finally in the sixth chapter the conclusions and recommendations obtained during the development of the present ending of a career work are particularized.

PRESENTACIÓN

En la actualidad a nivel mundial se registra una preocupación sobre la relativa escasez de los recursos hídricos, debido a que existe una mayor demanda y los desabastecimientos de agua se han vuelto más frecuentes. La sociedad está muy consciente sobre este hecho y de la aplicación de nuevas políticas y alternativas para preservarlo. El uso de la tecnología garantiza que pueda existir agua para el consumo y uso de todos, siendo el agua fuente de vida que proporciona alimentos, prosperidad y riqueza. Por tal motivo, es imprescindible el uso de la tecnología para obtener una agricultura de calidad, pero sin perder de vista el principal objetivo que es el de producir más alimentos con menos agua y preservando el medio ambiente.

En los últimos años las tecnologías de redes inalámbricas han presentado un acelerado desarrollo, facilitando la implementación de redes sensoriales inalámbricas (WSN) debido a sus costos accesibles, mantenimiento económico, y bajo consumo de potencia; es por ello, que este tipo de redes se las puede aplicar en el control de procesos industriales, seguridad en centros comerciales, zonas propensas a desastres naturales, control de pacientes en hospitales e incluso en campos de cultivo.

Un riego sostenible es posible si se tiene la información necesaria en tiempo real de factores como la humedad y temperatura del suelo, y si a esto se le agrega un sistema individualizado de irrigación como el de goteo, cada una de las plantas en el interior de un invernadero, puede recibir de manera inmediata solo la cantidad de agua necesaria, en consecuencia se reduce el desperdicio del líquido vital y se mejora la calidad del cultivo. Las WSN pueden ayudar a obtener todo lo planteado ya que pueden controlar de forma inalámbrica los distintos elementos actuadores del sistema de riego, sin la necesidad de tener una infraestructura cableada compleja.

CAPÍTULO I

En el presente capítulo se describe a las redes inalámbricas de sensores (WSN¹), sus principales características, topologías y protocolos. Además, la norma IEEE 802.15.4, que define el nivel físico y el control de acceso al medio de redes inalámbricas de área personal, que constituye la base sobre la que se define la especificación de la tecnología inalámbrica ZigBee; se señalan también, las principales aplicaciones de esta tecnología en la agricultura, específicamente en los sistemas de riego por goteo bajo invernadero, temas necesarios para el desarrollo del proyecto propuesto.

1.1. REDES INALÁMBRICAS

La sociedad actual ha sido denominada como la sociedad de la información debido al continuo incremento en la demanda de elementos que permitan una mayor comunicación; especialmente de los que proporcionen una comunicación inalámbrica, por la movilidad, bajo coste de instalación y mantenimiento que proporcionan.

Las tecnologías inalámbricas de la misma forma que las cableadas han sido agrupadas en familias según su alcance, Carreño (2011) brinda una descripción breve de cada clasificación:

- ✓ **WWAN** (Redes inalámbricas de área extensa): que tienen el alcance más amplio de las redes inalámbricas, permiten a los usuarios establecer conexiones inalámbricas a través de redes remotas públicas o privadas. Dichas conexiones pueden mantenerse a través de áreas geográficas extensas, como ciudades o países, mediante el uso de antenas en varias ubicaciones o sistemas satélite que mantienen los proveedores de servicios inalámbricos. Se basan en el estándar IEEE 802.20.

¹ **WSN**: Wireless Sensor Network

- ✓ **WMAN** (Redes inalámbricas de área metropolitana): una red de área metropolitana es la suma de muchas redes de área local interconectadas. Se basan en el estándar IEEE 802.16.
- ✓ **WLAN** (Redes inalámbricas de área local): son redes que cubren un área equivalente a la red local de una empresa. Permite que las terminales que se encuentran dentro del área de cobertura puedan conectarse entre sí. Se basan en el estándar IEEE 802.11.
- ✓ **WPAN** (Redes inalámbricas de área personal): son redes inalámbricas de corto alcance que abarcan un área de algunas decenas de metros, sus principales características son el bajo consumo y su bajo coste. Las redes inalámbricas de sensores o WSN pertenecen a esta clasificación, se basan en el estándar IEEE 802.15.

En la Figura 1 se muestra la clasificación de las redes inalámbricas de acuerdo a su extensión y el estándar en el cual se basan.

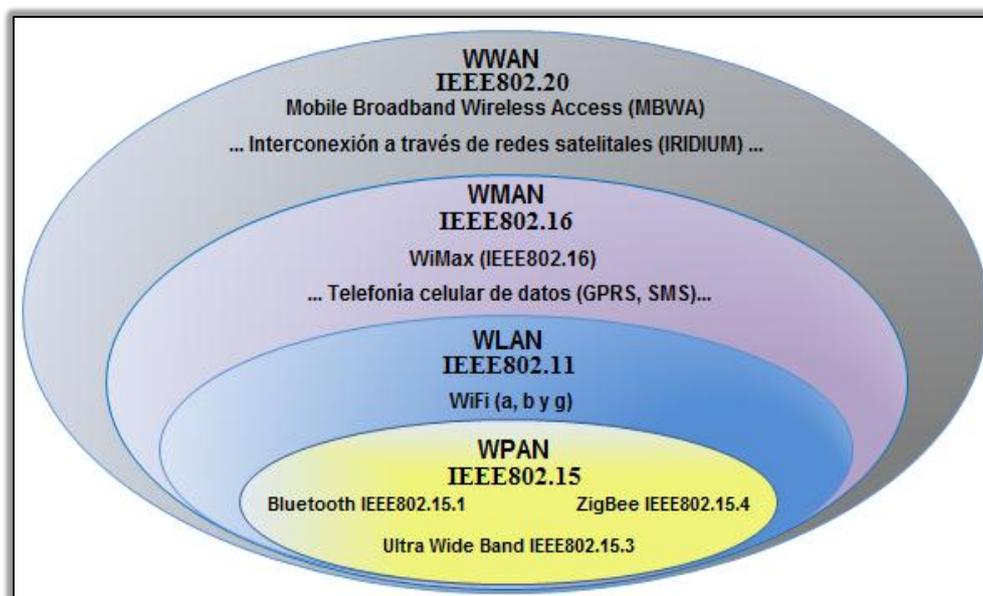


Figura 1. Clasificación de las redes inalámbricas.

1.2. REDES INALÁMBRICAS DE SENSORES

Fernández, et al., 2009 mencionan una breve descripción del concepto de una WSN:

Una red de sensores (del inglés sensor network) es una red de diminutos dispositivos, equipados con sensores, que colaboran en una tarea común. Las redes de sensores están formadas por un grupo de sensores con ciertas capacidades sensitivas y de comunicación inalámbrica que permiten formar redes sin infraestructura física preestablecida ni administración central. (p. 17)

“Una red de sensores inalámbrica (WSN) es una red inalámbrica que consta de dispositivos autónomos distribuidos espacialmente utilizando sensores para supervisar conjuntamente elementos físicos o condiciones ambientales”. (Calvo, 2012)

De acuerdo a las definiciones una red de sensores es un sistema formado por nodos con la capacidad de comunicar las variables físicas sensadas, posteriores a su conversión en un dato digital y enviarlas; ya sea a otro nodo o a un nodo central para procesarlas y convertirlas en información útil.

Una WSN por lo tanto es un conjunto de nodos sensores autónomos que abarcan una región determinada y realizan una tarea específica, como monitorear condiciones físicas o ambientales, presentan la capacidad de almacenar y comunicar datos mediante el intercambio de información utilizando un protocolo de comunicación inalámbrica. Es una tecnología emergente con un futuro prometedor por su aplicabilidad en diversos campos, debido a su fácil instalación y mantenimiento.

A continuación se detallan las principales características:

- Capacidad de auto organización para adaptarse a los cambios de topología no previstos.
- Capacidad de operación bajo ciertas limitaciones de procesamiento, memoria y energía, propias de estas redes.

- Integración con otras áreas de investigación como la agricultura, medicina, biología, minería entre otras.
- Menor uso de recursos para monitorear un fenómeno.

1.3. COMPONENTES DE UNA RED WSN

Los componentes de una red WSN típica son: sensores, nodos, gateway, estación base y red inalámbrica. Pero se pueden anexar memorias externas o routers para mejorar la red.

Cada nodo de la red se comunica de manera inalámbrica a un gateway central, encargado de proporcionar una conexión con el entorno cableado para adquirir, procesar, analizar y presentar los datos tomados de las diferentes medidas, como se indica en la Figura 2.

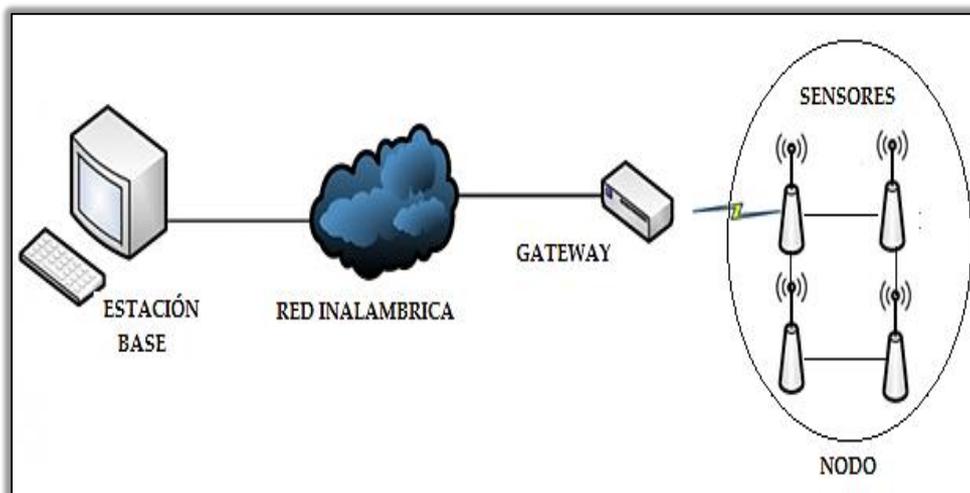


Figura 2. Elementos de una red WSN.

1.3.1. Nodo sensor

“Un nodo sensor o mota, es un elemento computacional con la capacidad de procesamiento, memoria e interfaz de comunicación que puede formar un conjunto o red de sensores”. (Molina & Ruiz, 2010)

Los nodos que forman las WSN, se caracterizan por ser pequeños dispositivos electrónicos que toman los datos del entorno en el que se encuentran mediante sensores, envían la información a una estación base, proporcionan procesamiento, almacenamiento y comunicación al nodo sensor.

Cada una de las motas son diseñadas y programadas para formar parte de una red que cumplirá con un determinado objetivo, una mota individualmente no tiene utilidad por considerarse un elemento aislado.

Un nodo de una WSN integra detección, procesamiento de la señal, recolección y almacenamiento de información, computación, y comunicaciones inalámbricas, con el abastecimiento de energía adjunto en un solo chip. “El hardware básico de un nodo sensor se compone de un procesador, conversor analógico/digital, uno o varios sensores, una batería o fuente de alimentación, si fuera necesario una memoria externa y un subsistema de comunicación”. (Molina & Ruiz, 2010), tal como se muestra en la Figura 3.

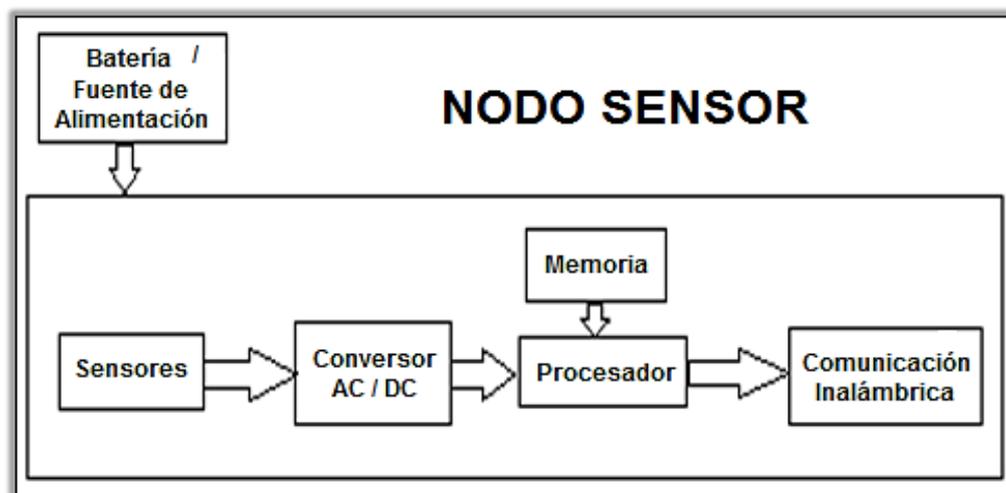


Figura 3. Dispositivos de un nodo inalámbrico.

1.3.1.1. Sensores

Fernández, et al., 2009, indican en su texto que:

Los sensores son dispositivos hardware que producen una respuesta medible ante un cambio en el estado físico, como puede ser temperatura o presión. Los sensores detectan o miden cambios físicos en el área que están monitorizando. La señal analógica continua detectada es digitalizada por un

convertidor analógico digital y enviada a un controlador para ser procesada (p. 22)

Una mota puede incorporar una variedad de sensores dependiendo de la aplicación a la que se destinan para medir diversas magnitudes como temperatura, humedad, aceleración, sonido, magnetismo, entre otras.

Los sensores deben tener ciertas características y requerimientos son de tamaño reducido, consumo de energía bajo, operar en densidades volumétricas altas, autónomos, funcionar desatendidamente y poseer la capacidad de adaptarse al ambiente de trabajo.

1.3.1.2. Conversor análogo digital

El ADC² es el encargado de convertir señales análogas, tomadas por los sensores, a digitales; transformar los valores de voltajes a palabras digitales. La señal analógica, que varía de forma continua en el tiempo, ingresa al dispositivo y es muestreada a una velocidad fija para obtener una señal digital a la salida del conversor.

1.3.1.3. Fuente de alimentación o batería

“Es el elemento que proporciona la energía suficiente para hacer funcionar al resto de sistemas que componen el nodo sensor”. (Molina & Ruiz, 2010)

En ciertos lugares donde no es posible el acceso a la red eléctrica se hace uso de baterías, implicando que el consumo del nodo debe ser el menor posible para lograr una mayor duración de las baterías. Si el sistema dispone de una o más tomas de corriente se usa transformadores con salidas adaptables al nodo.

² **ADC:** Conversor Análogo Digital

1.3.1.4. Procesador

“Es el componente que interpreta y procesa los datos para transmitirlos a otra estación. También gestiona el almacenamiento de datos en la memoria”. (Fernández, et al., 2009)

Un nodo sensor debe cumplir con la comunicación y recolección de datos haciendo uso de sensores, para lo cual debe tener una unidad de procesado, para la gestión de todas las operaciones mencionadas. En el mercado se pueden conseguir varios productos que pueden ser integrados en un nodo tales como: microcontroladores y microprocesadores.

- a) **Microprocesadores:** Fernández, et al., (2009) en su obra menciona que los microprocesadores, “Han sido sustituidos por los microcontroladores, ya que éstos integran dentro de un mismo dispositivo, un microprocesador y memoria”.

- b) **Microcontroladores:** Fernández, et al., (2009) indica que los microcontroladores “Incluyen un microprocesador y memoria, pero además tienen una interface para ADCs, UART³, SPI⁴, USB⁵ temporizadores y contadores. Hay muchos tipos de microcontroladores que van desde los 4 bits hasta 64 bits, con una variación del número de temporizadores, diferentes tipos consumos de energía...”

1.3.1.5. Memoria

Es un dispositivo capaz de almacenar información. Es un elemento del hardware encargado de guardar la información que requiere el sistema para funcionar adecuadamente durante un determinado periodo de tiempo, que puede ser desde pocos segundos a varios años.

³ **UART** Universal Synchronous Receiver Transmitter

⁴ **SPI** Serial Port Interface

⁵ **USB** Universal Serial Bus

También se puede usar otro tipo de memorias como las externas que de acuerdo a Martínez et al. (2010), “Una memoria externa se emplea en aquellos casos en los que la información a tratar es demasiado grande y la memoria del microcontrolador empleado no es suficiente”.

1.3.1.6. Comunicación inalámbrica

Se utiliza un dispositivo vía radio para enviar y recibir datos para comunicarse con otros dispositivos que se encuentren dentro de su rango de cobertura. Los nodos usan la banda ISM⁶. Se puede usar dichas bandas de frecuencias únicamente respetando las regulaciones que limitan los niveles de potencia transmitida, no existe la necesidad de una licencia.

Las WSN usan las frecuencias de comunicación que oscilan entre los 433 MHz y 2.4 GHz. Debido a las consideraciones de ahorro de energía las redes de sensores inalámbricas típicamente se basan en el estándar IEEE 802.15.4 y la tecnología ZigBee. Dependiendo de la aplicación que se desarrolle, se debe seleccionar el protocolo inalámbrico más conveniente para sus requerimientos.

1.3.2. Gateway

Es un elemento empleado para la interconexión entre la red de sensores y una red cableada y una estación base, permite traducir los datos a un formato comprensible para la aplicación desarrollada, informa sobre problemas que puedan generarse en la red de sensores, gestiona hacia la WSN para cambiar la configuración de los nodos o la red, entre otros. El gateway permite acceder a los datos en tiempo real.

1.3.3. Estación base

La estación base es un recolector de datos basado en un ordenador común o sistema embebido. Si se utiliza una estructura común los datos adquiridos se

⁶ **ISM:** Industrial, Scientific and Medical

almacenan en un equipo servidor en una base de datos, permitiendo a los usuarios acceder a la información para analizarla.

El ordenador está conectado a la red de sensores mediante el gateway que es un nodo sensor que no realiza tareas de obtención de datos si no que reencamina la información obtenida a la estación base. De acuerdo a los datos que receipta la estación base ejecuta las acciones respectivas para cumplir con las peticiones de los usuarios.

1.3.4. Red inalámbrica

Existen varias alternativas para la transmisión inalámbrica de los nodos sensores, siendo la IEEE 802.15.4 norma base de Zigbee la más apropiada, debido a su bajo consumo de energía.

1.4. TOPOLOGÍAS DE UNA RED WSN

Fernández, et al., (2009) mencionan que una “Topología se refiere a la configuración de los componentes hardware y como los datos son transmitidos a través de esa configuración. Cada topología es apropiada bajo ciertas circunstancias y puede ser inapropiada en otras”.

Son varias las topologías que pueden ser utilizadas para coordinar el gateway, nodos finales u otros ruteadores de una WSN. Cada topología tiene desafíos, ventajas y desventajas que deben ser analizadas previo el despliegue de la red. Además de la clásica topología de red mallada de WSN, permite también las topologías: estrella, árbol e híbrida y la combinación de estas dos denominada mesh.

1.4.1. Topología en estrella

Fernández, et al. (2009), en su obra describen a la topología en estrella como:

Sistema donde la información enviada sólo da un salto y donde todos los nodos sensores están en comunicación directa con la puerta de enlace, usualmente a una distancia de 30 a 100 metros. Todos los nodos sensores son idénticos, nodos finales, y la puerta de enlace capta la información de todos ellos. La puerta de enlace también es usada para transmitir datos al exterior y permitir la monitorización de la red. Los nodos finales no intercambian información entre ellos, sino que usan la puerta de enlace para ello, si es necesario. (p. 24)

En la Figura 4 se indica un esquema de la topología en estrella de una red WSN.

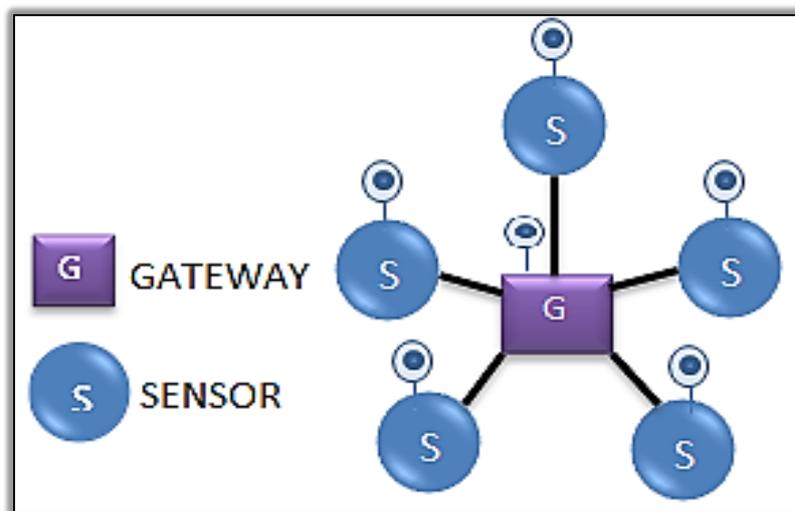


Figura 4. Topología en estrella.

Adaptado de Dialnet Redes Inalámbricas de sensores (2009).
Recuperado de: <http://dialnet.unirioja.es/descarga/libro/377564.pdf>

1.4.2. Topología en malla

De acuerdo al trabajo realizado por Fernández, et al., y su grupo de estudio en el año 2009 la topología en malla es:

Un sistema multisalto, donde todos los nodos son routers y son idénticos. Cada nodo puede enviar y recibir información de otro nodo y de la puerta de enlace. A diferencia de la topología en estrella, donde los nodos solo pueden hablar con la puerta de enlace, en ésta los nodos pueden enviarse mensajes entre ellos. (p. 25)

Esta topología usa trayectorias de comunicación redundantes para aumentar la fiabilidad del sistema, es decir los nodos mantienen múltiples trayectorias de comunicación con el gateway, así en caso de que un nodo falle la red automáticamente enruta los datos a través de una trayectoria diferente.

La topología de malla, a pesar de ser muy confiable, sufre de incremento de latencia que es la suma de retardos temporales dentro de una red, ya que los datos deben dar múltiples saltos antes de llegar al gateway.

La forma de propagación de los datos a través de los nodos hacia la puerta de enlace, propone una red con extensión ilimitada. La tolerancia a fallos es alta debido a que cada nodo tiene diferentes caminos de comunicación con el gateway. Si un nodo falla la red se reconfigura alrededor del nodo dañado de manera automática. El esquema de esta topología se muestra en la Figura 5.

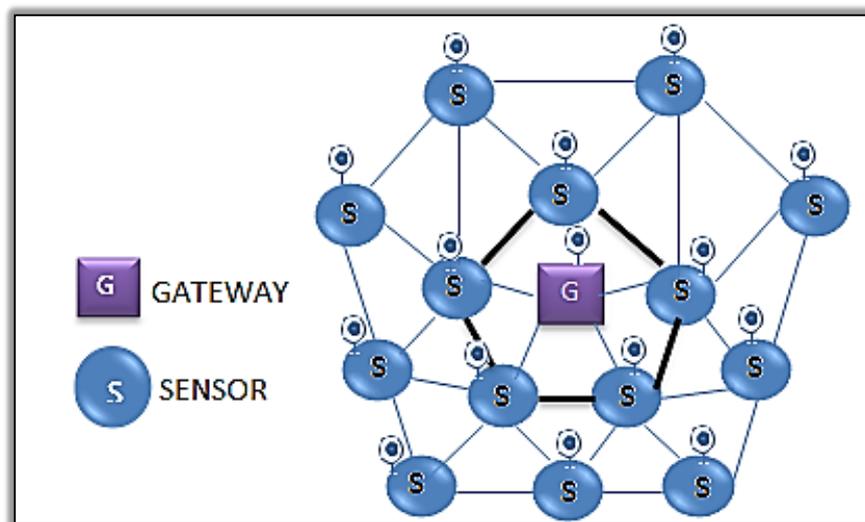


Figura 5. Topología en malla

Adaptado de Dialnet Redes Inalámbricas de sensores (2009).
Recuperado de: <http://dialnet.unirioja.es/download/libro/377564.pdf>

1.4.3. Topología híbrida estrella – malla

Esta topología combina las ventajas de las topologías en malla y estrella como la simplicidad, el bajo consumo, posibilidad de cubrir una amplia área y reorganización ante fallos. Esta topología crea una red en estrella alrededor de routers pertenecientes a una red en malla. La función de los routers es brindar la posibilidad de ampliar la red y de corregir las fallas en estos nodos además ahorra energía al conectar los nodos finales con los routers cercanos. Su esquema se indica en la Figura 6.

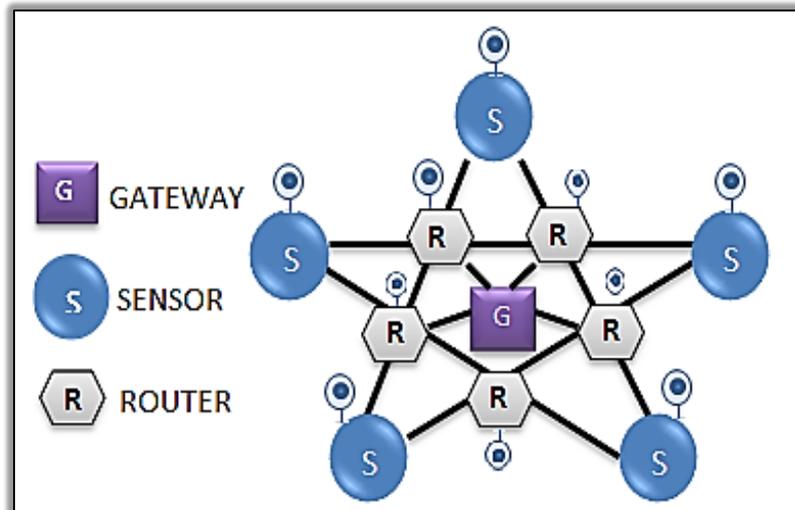


Figura 6. Topología híbrida estrella – malla.

Adaptado de Dialnet Redes Inalámbricas de sensores (2009).
 Recuperado de:
<http://dialnet.unirioja.es/descarga/libro/377564.pdf>

1.5. DESCRIPCIÓN ESPECIFICACIÓN ZIGBEE

ZigBee es una especificación de comunicación inalámbrica de corto alcance y bajo consumo, basado en el estándar IEEE 802.15.4 que fue definido como una solución inalámbrica de baja capacidad para aplicaciones en el hogar como la seguridad y la automatización, pero que debido a sus características y su campo de aplicación se ha ampliado a diferentes áreas del medio como la agricultura, medicina, juegos, domótica entre otras.

Debido al sin número de aplicaciones que surgen de las redes inalámbricas de corto alcance “en el año 2000 dos grupos de especialistas en estándares (ZigBee y el grupo 15 de trabajo IEEE 802) se unieron para desarrollar una nueva norma para redes inalámbricas de bajo consumo y bajo costo para aplicaciones domóticas e industriales” (Casadomo, 2011). De este encuentro resultó un nuevo grupo de trabajo para el desarrollo de un nuevo estándar de baja transmisión en redes inalámbricas para áreas personales con lo que nació el estándar que ahora se conoce como el IEEE 802.15.4.

“IEEE 802.15.4 es un estándar que define el nivel físico y el control de acceso al medio de redes inalámbricas de área personal con tasas bajas de transmisión de datos”. (Ortega, Roque, & Úbeda, 2008)

Este estándar presenta varias características importantes como su flexibilidad de red, bajos costos y bajo consumo de energía; este estándar es ampliamente utilizado en aplicaciones domóticas e industriales que requieren una tasa baja en la transmisión de datos, pero en la actualidad su campo de aplicación se ha extendido especialmente al área agrícola.

Con el uso de la tecnología inalámbrica lo que se busca es la reducción en gastos de instalación, ya que no es necesario un cambio de cableado. Las redes inalámbricas implican un gran intercambio de información con un mínimo de esfuerzo de instalación. Esta tendencia es impulsada por la gran capacidad de integrar componentes inalámbricos de una forma más barata.

Opera en las bandas libres ISM de frecuencia 2.4 GHz en todo el mundo, motivo por el cual la mayoría de empresas optan por diseñar y colocar en el mercado dispositivos que trabajen en dicha frecuencia por ser de uso libre; permitiendo que dichos equipos puedan operar sin ningún inconveniente como interferencias o costos elevados en cualquier lugar del planeta.

1.5.1. Arquitectura básica de ZigBee

La arquitectura del estándar está definida por capas. Cada capa es responsable de los servicios ofrecidos a capas superiores. El esquema de capas se basa en el modelo de referencia para la interconexión de sistemas abiertos OSI⁷.

ZigBee Alliance hizo suya la norma IEEE 802.15.4, que define el protocolo de las capas OSI superiores y desarrolla perfiles de aplicación que pueden compartirse entre los diferentes fabricantes. Las dos primeras capas, la física (PHY) y la de control de acceso al medio (MAC), son definidas por el estándar 802.15.4

⁷ **OSI:** Open Systems Inteconnect

y las capas superiores, Red (NWK) y Aplicación (APL), por la Alianza ZigBee. En la Figura 7 se muestra el esquema del stack ZigBee.

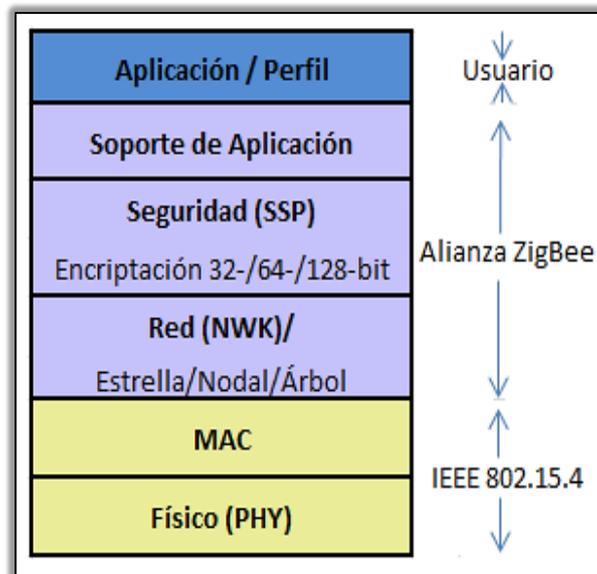


Figura 7. Arquitectura básica ZigBee.

Fuente: Casadomo (2011).
 Recuperado de: <http://www.casadomo.com/noticias/Detalle.aspx?idm=5&id=5299&c=1>

La pila de software consta de tres capas básicas tal como se observa en la Figura 7:

- ✓ Capa Física
- ✓ Capa de Red
- ✓ Capa de Aplicación

1.5.2. Estándar IEEE 802.15.4

Muñoz (2011), en su trabajo menciona que IEEE 802.15 “es un estándar que define el nivel físico y el control de acceso al medio de redes WPAN⁸ con tasas bajas de transmisión de datos, desplegando redes con muy bajo consumo”.

⁸ **WPAN:** Wireless Personal Area Networks

1.5.2.1. Nivel físico

Barneda (2009), en la memoria de su proyecto describe de manera clara el nivel físico del estándar IEEE 802.15.4:

El nivel físico (PHY) proporciona el servicio de transmisión de datos sobre el medio físico propiamente dicho, así como la interfaz con la entidad de gestión del nivel físico, por medio de la cual se puede acceder a todos los servicios de gestión del nivel y que mantiene una base de datos con información de redes de área personal relacionadas. De esta manera PHY controla el transceptor de radiofrecuencia y realiza la selección de canales junto con el control de consumo y de la señal. (p. 15)

Al igual que otros protocolos basados en el modelo OSI, los datos a enviar se generan en las capas superiores y se van empaquetando a medida que van descendiendo por cada una de las capas hasta que finalmente se envía la trama completa, y es función del receptor desempaquetar la trama a medida que va subiendo las tramas hasta llegar a la capa de aplicación donde se extraen los datos enviados. Las funciones del nivel físico se detallan en la Figura 8.



Figura 8. Funciones del nivel PHY

Fuente: IEEE Standards Association (2012). Recuperado de: <http://standards.ieee.org/>

Las bandas y sus respectivos parámetros de operación se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1.

Bandas y parámetros de operación del estándar IEEE 802.15.4

FRECUENCIA	2.4 GHz	915 MHz	868 MHz
RANGO DE FRECUENCIAS	2.4 – 2.4835	902 – 928 MHz	868 – 868.6 MHz
TASA DE BIT	250 kb/s	40 kb/s	20 kb/s
NÚMERO DE CANALES	16	10	1
MODULACIÓN	O-QPSK	BPSK	BPSK
SENSIBILIDAD DEL RECEPTOR	-85dBm	-92dBm	-92dBm

Nota: Parámetros necesarios para el montaje de una red. Fuente: National Instruments (2013). Recuperado de: <http://zone.ni.com/devzone/cda/tut/p/id/7118>.

1.5.2.2. Nivel de enlace de datos

Barneda (2009), especifica que en el nivel de enlace de datos se encuentra el Control de Acceso al Medio (MAC), que se encarga de la transmisión de tramas MAC usando el canal físico. Proporciona una interfaz de control y regula el acceso al canal físico. Se encarga de la validación de tramas y la asociación entre nodos, garantiza slots de tiempo y ofrece puntos de enganche para servicios seguros.

Es decir que la subcapa MAC proporciona una interfaz entre la capa física y la de red, siendo responsable de proporcionar una comunicación fiable entre sus nodos, ayudando a evitar colisiones entre mensajes mejorando la eficiencia en la transmisión.

Dentro de las funciones que realiza la subcapa MAC, se pueden destacar las que se muestran en la Figura 9:



Figura 9. Funciones de la Subcapa MAC.

Fuente: IEEE Standards Association (2012). Recuperado de: <http://standards.ieee.org/>

En el nivel de enlace de datos se localiza el Control de Enlace Lógico (LLC) cuya función es la de permitir la comunicación con los niveles superiores de la pila de protocolos.

1.5.3. Especificación Zigbee

1.5.3.1. Nivel de red

El objetivo primordial del nivel de red (NWK) es permitir el uso correcto del subnivel MAC y ofrecer una interfaz adecuada para su uso por parte de la capa de aplicación. Además ejecuta las tareas de asociación y des-asociación de la red, aplicación de la seguridad y asignación del direccionamiento de dispositivos. Las funciones principales de esta capa se muestran en la Figura 10.



Figura 10. Funciones de la capa de red.

Fuente: IEEE Standards Association (2012). Recuperado de: <http://standards.ieee.org/>

1.5.3.2. Nivel de aplicación

Es una capa definida para el usuario, contiene las aplicaciones que se ejecutan en el nodo de red. Está formada por la subcapa Application Support (APS), la Zigbee Device Object (ZDO) y la Application Object definidas por el fabricante e implementadas en un dispositivo dado.

La APS se encarga de establecer la comunicación entre dos o más dispositivos según sus servicios y necesidades; y enviar mensajes entre ellos.

La subcapa ZDO se encarga de definir el rol del dispositivo dentro de la red, ya sea de coordinador o de dispositivo final, iniciando o respondiendo a las peticiones y estableciendo una conexión segura entre los dispositivos de la red.

La subcapa Application Object brinda soporte a las aplicaciones de los fabricantes que se ejecutan sobre la pila de protocolo Zigbee a través de elementos llamados objetos de aplicación.

En la Figura 11 se indican las funciones de la capa de soporte a la aplicación.



Figura 11. Funciones de la capa soporte de aplicación.

Fuente: IEEE Standards Association (2012). Recuperado de: <http://standards.ieee.org/>

1.6. ACCESO AL MEDIO

El acceso al medio define la forma en la que los usuarios de la red harán uso del canal para transmitir los datos. El estándar estudiado según Domodesk (2010), especifica dos mecanismos de acceso al medio:

- ✓ Con beacons: se utiliza una estructura llamada supertrama, que define los tiempos de acceso al medio mediante contención y reserva espacio a transmisiones dedicadas. Señales enviadas por el coordinador de la red para la sincronización de dispositivos
- ✓ Sin beacons: el acceso al canal se realiza mediante la utilización del protocolo de acceso múltiple con detección de portadora y prevención de colisiones (*CSMA-CA, Carrier Sense Multiple Access-Collision Avoidance*) no ranurado.

En el caso de usar beacons, el coordinador de la red configura los tiempos de acceso del canal de los dispositivos conectados a ella. Esto lo realiza por medio de la cadena llamada supertrama. Una supertrama está delimitada por la transmisión de una trama beacon y puede tener una parte activa y otra de inactividad. El coordinador puede entrar en modo de bajo consumo durante el periodo de inactividad. En la Figura 12 se observa la estructura de la supertrama.

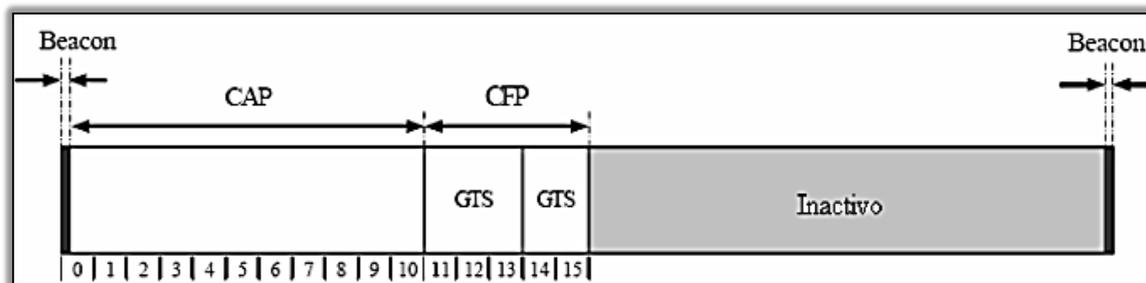


Figura 12. Estructura de una supertrama.

Fuente: Universidad Tecnológica de Mixteca (2008). Recuperado de: http://jupiter.utm.mx/~tesis_dig/10690.pdf

Paz, (2008), en su trabajo de tesis indica que la supertrama está dividida en 16 ranuras de tiempos iguales, puede durar de 15 ms a 245 s. Se forma de las siguientes partes: un beacon, un período de acceso por contención (CAP⁹), un período opcional libre de contención (CFP¹⁰), y una porción opcional de inactividad.

En el CAP los dispositivos que quieran comunicarse compiten por el medio usando el mecanismo CSMA-CA. Si la longitud del CFP es cero, el CAP se termina al final de la parte activa de la supertrama.

El CFP se forma principalmente por las ranuras de tiempo garantizado (GTS¹¹) las cuales ocupan ranuras contiguas. Las ranuras se asignan por el coordinador PAN a los dispositivos que requieran anchos de banda específicos, y ninguna transmisión durante el CFP usa CSMA-CA para acceder al canal. El coordinador puede asignar hasta siete GTS al mismo tiempo, dependiendo de la capacidad de la supertrama. Los datos transmitidos en una GTS usan únicamente direcciones cortas (16 bits).

1.7. ESTRUCTURA DE LAS TRAMAS

“La estructura de la trama IEEE 802.15.4 fue diseñada para tener una complejidad mínima y la robustez suficiente para su transmisión en canales con ruido”. (Paz, 2008). En la Figura 13 se puede observar la estructura mencionada.

⁹ **CAP:** Contention Access Period

¹⁰ **CFP:** Contention Free Period,

¹¹ **GTS:** Guaranteed Time Slot

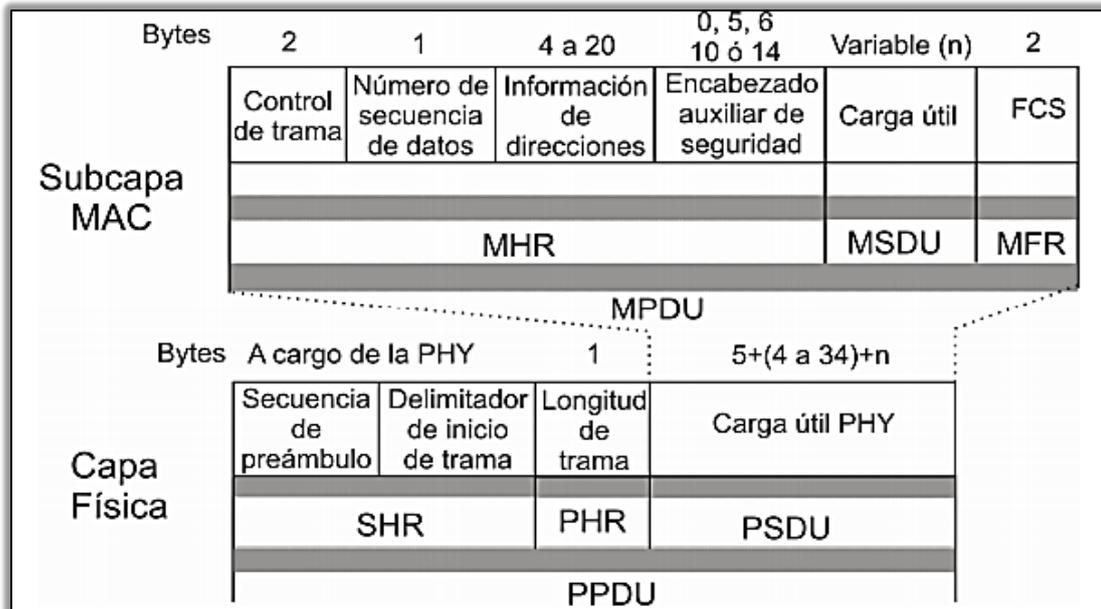


Figura 13. Estructura de la trama IEEE 802.15.4.

Fuente: Universidad Tecnológica de Mixteca (2008). Recuperado de: http://jupiter.utm.mx/~tesis_dig/10690.pdf

Paz (2008), indica que principalmente se distingue entre la subcapa MAC y la Capa Física, la subcapa MAC genera un paquete, formado por: el encabezado MAC (Mac Header, MHR), la unidad de datos de servicio MAC (MAC Service Data Unit, MSDU), además del fin de trama (MAC Footer, MFR). Este paquete, recibe el nombre de Unidad de Datos del Protocolo MAC (MAC Protocol Data Unit, MPDU) y puede tener una longitud máxima de 127 bytes.

La MPDU pasa a la capa física como la unidad de datos de servicio físico (PSDU, PHY Service Data Unit), constituyendo de esta manera la carga útil física (PHY payload). La PSDU junto con el encabezado de sincronización (SHR, Synchronization Header), y el encabezado físico (PHR, Physical Header) forman la unidad de datos del protocolo físico (PPDU, PHY protocol data unit). La PPDU puede tener una longitud máxima de 133 bytes.

A continuación se detallan cada uno de los campos que constituyen la trama IEEE 802.15.4.

1.7.1. Unidad de datos del protocolo MAC (MPDU)

Paz (2008), en sus estudios sobre las redes inalámbricas menciona que la MPDU está formada por el MHR, la MSDU y el MFR. El MHR contiene información de los datos transmitidos o recibidos, está compuesto por cuatro campos que son:

- ✓ El control de trama (Frame control). Tiene una longitud de dos bytes, éste se encarga de indicar el tipo de trama a transmitir, especificar el formato del campo de dirección, y habilitar el procesamiento de la seguridad.
- ✓ Número de secuencia (Data sequence number). Tiene una longitud de un byte y especifica el identificador de secuencia de la trama. Es una secuencia de números que enlaza a las tramas de reconocimiento con las transmisiones anteriores.
- ✓ Información de las direcciones (Address information). Tiene una longitud variable entre cuatro y 20 bytes dependiendo de las banderas de la trama de control. Contiene los datos de la dirección destino y de la dirección de la fuente, así como los identificadores de las redes PAN, tanto la red fuente como la red destino.
- ✓ Encabezado auxiliar de seguridad (Auxiliary Security Header). Contiene la información requerida para el procesamiento de la seguridad. Este campo solo está presente cuando el subcampo de seguridad está habilitado (dentro de Frame Control). Esta información se emplea para saber que llave de seguridad MAC está siendo usada.

La MSDU contiene la carga útil (Data Payload), y tiene una longitud variable tomando en cuenta que la trama MAC puede tener una longitud máxima de 127 bytes. El tipo de información que contiene depende del tipo de trama de que se trate.

El MFR contiene el campo de secuencia de chequeo de trama (FCS, Frame Check Sequency) el cual lleva un código de verificación de errores. Es de tipo de secuencia de redundancia cíclica de 16 bits.

1.7.2. La unidad de datos de protocolo físico (PPDU)

La PPDU es el paquete que se transmite o se recibe a través del medio vía radio frecuencia (RF). La PPDU es lo que se envía por la capa física y está formada por el SHR, el PHR y la PSDU.

El SHR tiene la función de sincronizar y fijar el flujo de bits. A su vez está formado de los siguientes campos:

- ✓ La secuencia de preámbulo (Preamble sequence). Sirve para que el transceptor obtenga la sincronización de símbolos con el mensaje entrante.
- ✓ El delimitador de inicio de trama (Start Frame delimiter). Indica el final del encabezado y el inicio del paquete de datos.

El PHR está formado solo por un campo de información, llamado longitud de la trama (Frame Length), en el que se especifica el número total de bytes contenidos en la carga útil. La PSDU contiene la carga útil obtenida de la subcapa MAC.

1.7.3. Tipos de tramas

En ZigBee se distinguen cuatro tipos diferentes de tramas básicas.

- ✓ Trama ACK: esta trama no contiene el campo de carga útil. Sirve para confirmar la recepción completa de una trama.
- ✓ Trama de comandos: permite el control o configuración de un dispositivo a distancia, contiene dos campos que son:
 - Identificador de la trama de comandos. Es de un byte y contiene el identificador del comando que está siendo usado.

- Carga útil del comando. Es de longitud variable y contiene el comando en sí.
- ✓ Trama de datos: contiene los datos que se desean transmitir, mismos que provienen de las capas superiores.
 - ✓ Trama Beacon: permite la sincronización de los dispositivos en la red, además de informar la existencia de datos a transmitir. La estructura de la trama beacon es como se observa en la Figura 14:

BYTES	2	1	0/1	VARIABLE	1	VARIABLE	VARIABLE
	ESPECIFICACION DE LA SUPERTRAMA	ESPECIFICACIÓN GTS	DIRECCIONES GTS	LISTA GTS	ESPECIFICACION DE DIRECCIÓN PENDIENTE	LISTA DE DIRECCIONES	CARGA ÚTIL BEACON

Figura 14. Carga útil de la trama beacon.

A continuación se menciona una descripción de los campos que la conforman:

- ✓ Especificación de la supertrama: especifica parámetros importantes como: el intervalo de transmisión de los beacons, intervalo de supertrama,
- ✓ Especificación GTS: indica si el coordinador de la PAN acepta o no solicitudes de GTS.
- ✓ Direcciones GTS: contiene una máscara que identifica las direcciones GTS de la supertrama.
- ✓ Lista GTS: posee la lista de los descriptores GTS, que representa a los GTS que se encuentran en la red.
- ✓ Especificación de dirección pendiente: indica el número de direcciones cortas y extendidas para la transmisión de datos al dispositivo.
- ✓ Lista de direcciones: contiene la lista de direcciones de los dispositivos que actualmente tienen mensajes pendientes con el coordinador de la red.
- ✓ Carga útil beacon: contiene una secuencia opcional para ser transmitida en la trama por la capa próxima más alta.

1.8. TIPO DE TRÁFICO

En el estándar IEEE 802.15.4 se especifican tres tipos de tráfico de datos, que pueden utilizarse de acuerdo a la aplicación desarrollada. Paz (2008), (Figura 15)

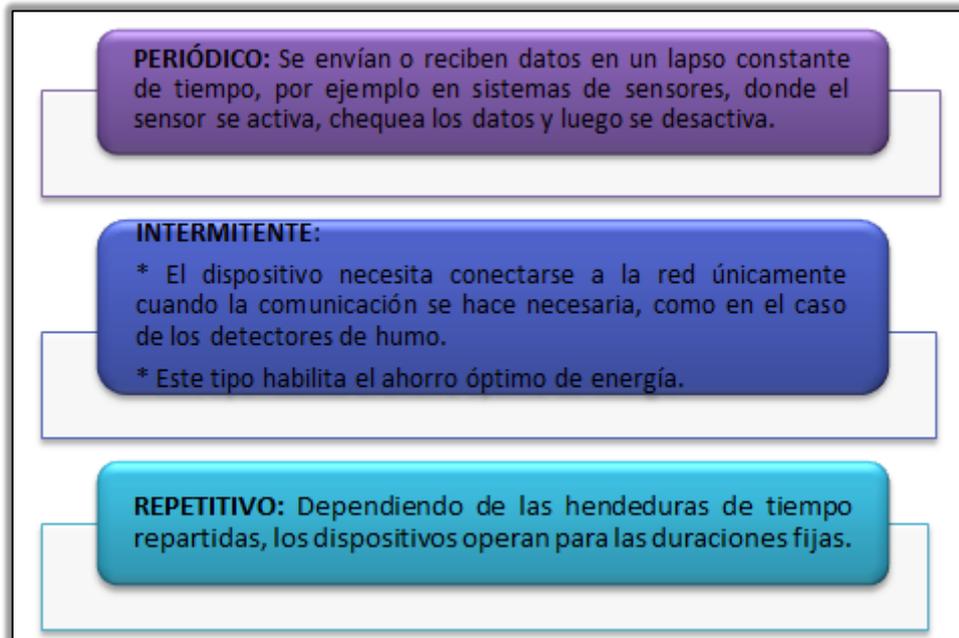


Figura 15. Tráfico soportado por ZigBee.

Fuente: IEEE Standards Association (2012). Recuperado de: <http://standards.ieee.org/>

1.9. CANALES DE FRECUENCIA

En la Figura 16 se muestra la distribución de los canales en el espectro de frecuencias, además de la separación que existe entre las frecuencias centrales de cada canal.

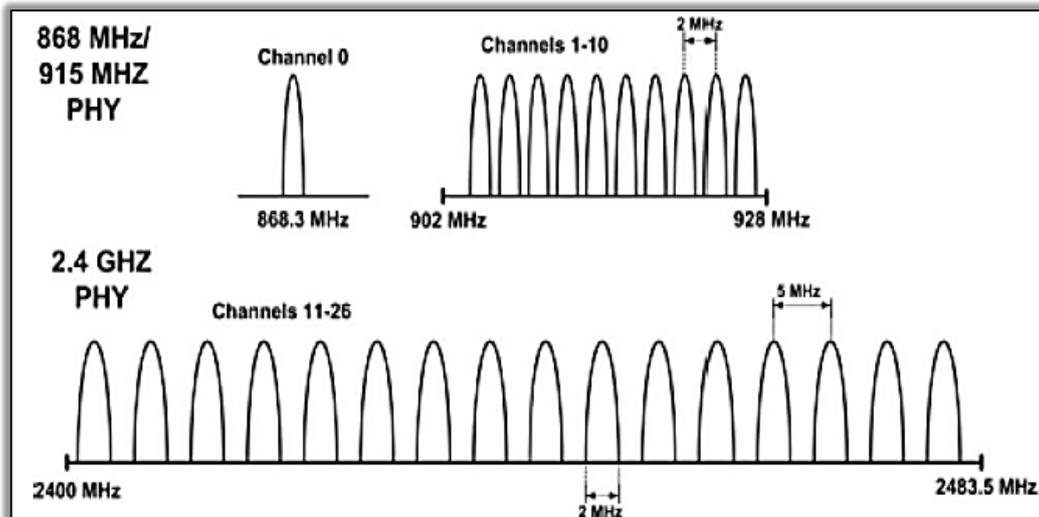


Figura 16. Estructura de los canales del estándar IEEE 802.15.4

Fuente: BaresRobotics. Recuperado de: http://www.baresrobotics.com.ar/data/ieee_zigbee_silica.pdf

Para el rango de frecuencias 902 a 928 MHz se dispone de 10 canales con una separación de 2 MHz. En la Tabla 2 se resume la fórmula para calcular la frecuencia central de cada canal.

Tabla 2.

Frecuencia de los canales IEEE802.15.4

Frecuencia central (Fc) (MHz)	Número de canal (k)
$F_c = 868.3 \text{ c}$	$K = 0$
$F_c = 906 + 2(k-1) \text{ c}$	$K = 1, 2, \dots, 10$
$F_c = 2405 + 5(k-1) \text{ c}$	$K = 11, 12, \dots, 26$

Recuperado de: http://www.baresrobotics.com.ar/data/ieee_zi

1.10. MICROCONTROLADORES

“Se denomina microcontrolador a un dispositivo programable capaz de realizar diferentes actividades que requieran del procesamiento de datos digitales y del control y comunicación digital de diferentes dispositivos” (Barneda, 2008).

1.10.1. Microcontroladores PIC

Los PIC son una familia de microcontroladores tipo RISC¹² fabricados por Microchip Technology Inc. y derivados del PIC1650, originalmente desarrollado por la división de microelectrónica de General Instrument.

El nombre actual no es un acrónimo. En realidad, el nombre completo es PICmicro, aunque generalmente se utiliza como Peripheral Interface Controller (controlador de interfaz periférico).

Los microcontroladores poseen una memoria interna que almacena dos tipos de datos; las instrucciones, que corresponden al programa que se ejecuta, y los registros, es decir, los datos que el usuario maneja, así como registros especiales para el control de las diferentes funciones del microcontrolador.

Poseen principalmente una unidad aritmético lógica (ALU), memoria del programa, memoria de registros, y pines I/O (entrada y/o salida). La ALU es la encargada de procesar los datos dependiendo de las instrucciones que se ejecuten (ADD, OR, AND), mientras que los pines son los que se encargan de comunicar al microcontrolador con el medio externo; la función de los pines puede ser de transmisión de datos, alimentación de corriente para el funcionamiento de este o pines de control específico.

1.11. SENSORES

“Los sensores son dispositivos electrónicos con la capacidad de detectar la variación de una magnitud física, como temperatura, iluminación, movimiento y presión; y de convertir el valor de ésta, en una señal eléctrica ya sea analógica o digital”. (Bits de ingenio, 2011)

¹² **RISC:** Reduced Instruction Set Computer

Un sensor es un elemento idóneo para tomar, percibir o sentir una señal física proveniente del medio ambiente y convertirla en una señal de magnitud eléctrica o magnética.

Los sensores se pueden definir como amplificadores de los sentidos comunes ya que permiten identificar magnitudes físicas que por naturaleza el ser humano no puede percibir.

1.11.1. Sensores utilizados en sistemas de riego

1.11.1.1. Sensores de temperatura

Recursostic (2011), La temperatura tiene una importancia fundamental en numerosos cultivos. Por ello, es imprescindible disponer de una medición precisa. Las temperaturas inexactas pueden tener graves consecuencias, como la reducción de la vida útil de la planta, disminución de la producción, entre otras.

Con el sensor de temperatura de planta se puede medir con precisión la temperatura del cultivo. El sensor debe medir la temperatura de un número representativo de plantas dentro de una determinada superficie. Ya que la temperatura del cultivo puede ser muy diferente a la temperatura del ambiente que miden los sensores convencionales, el sensor de temperatura de planta es una herramienta útil para controlar el desarrollo del cultivo. La gran ventaja de esta medición es que no es necesario un contacto directo con la planta y por lo tanto evita daños en ésta.

1.11.1.2. Sensores de humedad

De acuerdo a Recursostic (2011), los sensores de humedad, “Se basan en que el agua no es un material aislante como el aire sino que tiene una conductividad eléctrica”.

Por lo tanto un par de láminas semejantes a cables eléctricos desnudos (sin cinta aislante recubriéndolos) van a conducir una pequeña cantidad de corriente si el ambiente es húmedo.

Existen varias aplicaciones para este tipo de sensores como la detección del nivel de líquido en un depósito, o en sistemas de riego para detectar cuándo las plantas necesitan riego y cuándo no.

Otra aplicabilidad es la detección de la humedad relativa que es la cantidad de agua contenida en el aire. Es un factor climático que puede modificar el rendimiento final de los cultivos. Cada especie tiene una humedad ambiental idónea para vegetar en perfectas condiciones.

Existe una relación inversa de la temperatura con la humedad por lo que a elevadas temperaturas, aumenta la capacidad de contener vapor de agua y por lo tanto disminuye la humedad relativa. Con temperaturas bajas la humedad relativa baja.

Se debe tomar en cuenta que la humedad alta favorece a la transmisión de plagas, enfermedades y abortos florales. La humedad baja podría secar las plantas.

1.11.1.3. Sensores de luminosidad

Un sensor de luz detecta la iluminancia. Miden la cantidad de luz que llega a una célula foto-eléctrica (básicamente una resistencia). La resistencia es baja con luz y alta con oscuridad (sensor de oscuridad). Se pueden usar de diversas formas: pueden medir intensidad, pueden orientarse, enfocarse, protegerse. Un sensor fotoeléctrico es un dispositivo electrónico que responde al cambio en la intensidad de la luz.

Estos sensores requieren de un componente emisor que genera la luz, y un componente receptor que ve la luz generada por el emisor. Todos los diferentes modos de sensado se basan en este principio de funcionamiento. Están diseñados especialmente para la detección, clasificación y posicionado de objetos; la

detección de formas, colores y diferencias de superficie, incluso bajo condiciones ambientales extremas.

1.12. CULTIVO DE FRESA

La agricultura en el Ecuador es una riqueza que posee el país, debido a la diversidad de suelos ricos y una variedad de climas que permiten el cultivo de productos denominados tradicionales y la incursión en la producción de cultivos no tradicionales que se adaptan perfectamente en las diferentes regiones del país.

De acuerdo a las investigaciones de Agronegocios Ecuador (2012), un mercado de bienes y servicios en línea para profesionales agrícolas y agroindustriales, la apariencia de la fresa y su precio en el mercado influyó en la decisión de los agricultores de la Sierra: al norte de Pichincha, Imbabura, Tungurahua y parte del Azuay, de transformar sus campos en los reductos de esta fruta gruesa, brillante y de apariencia fresca. La mayor producción se concentra en Pichincha y se distribuye a los mercados de Quito, Guayaquil y otras provincias de la Costa.

De acuerdo a las investigaciones realizadas por Agronegocios Ecuador (2012) e INIAP (2012), en los últimos años la superficie plantada se ha incrementado, pasando de 125 hectáreas (año 2003) a 250 hectáreas (año 2007), lo que implica una tendencia de crecimiento anual de entre el 20 y el 30%.

La fresa es un fruto no tradicional que se cultiva en diferentes zonas del país, según los datos mencionados, este cultivo tiene una de las frutas más apetecidas a nivel nacional por su utilidad en diferentes platillos y postres. Al ser una planta que no es endémica del Ecuador para que esta se adapte al lugar donde va a ser cultivada debe seguir un proceso desde la elección de la planta hasta su producción y cosecha

1.12.1. Generalidades

Santoyo & Martínez (2009), hacen una clara descripción de la fresa mencionando:

La fresa pertenece a la familia de las Rosáceas y al género *Fragaria*. La familia Rosáceas incluye más de 2 mil especies de plantas herbáceas, arbustos y árboles distribuidos por las regiones templadas de todo el mundo. Se tienen documentadas más de mil variedades de fresa. Es una planta de tallos rastreros, nudosos y con estolones; hojas grandes, trifoliadas, pecioladas y blancas por el envés. El fruto que conocemos como fresa, es en realidad un engrosamiento de receptáculo floral, siendo los puntitos que hay sobre ella el auténtico fruto, es de forma cónica a casi redonda, de color rojo brillante o rojo anaranjado; presenta una carne perfumada, jugosa y mantecosa que se deshace en la boca a la mínima presión, con un sabor que varía: de ácido a muy dulce. Lo que más caracteriza a esta fruta es su intenso aroma (p. 8).



Figura 17. Plántula de fresa trasplantada.

1.12.2. Descripción taxonómica

INFOAGRO (2011), clasifica a la planta de fresa como se indica en la Tabla 3.

Tabla 3

Taxonomía de la fresa

CLASIFICACIÓN	
Reino:	Plantae
División:	Magnoliophyta
Clase:	Magnoliopsida
Orden:	Rosales
Familia:	Rosácea
Género:	Fragaria
Especie:	Vesca
Nombre Científico:	Fragaria vesca
Nombre Vulgar:	Fresa

Nota: Organización de la fresa de acuerdo a diferentes categorías botánicas de la planta.

1.12.3. Descripción botánica

1.12.3.1. Raíces

CONAFRESA (2010), hace referencia a las principales características botánicas de la fresa indicando que posee un sistema radicular fasciculado (conjunto de haces o terminaciones), compuesto de raíces y raicillas; la mayor parte de las raíces se encuentran localizadas superficialmente y están constituidas por un cambium vascular y suberoso; las raicillas no poseen cambium vascular, son de color claro y tienen un periodo de vida corto debido al proceso de renovación fisiológica, mientras que las raíces son perennes.



Figura 18. Raíces de plántula de fresa.

En la Figura 18 se puede observar las raíces y coronas de las plántulas de fresas luego del proceso de desinfección previo a la siembra en sustrato para evitar la proliferación de plagas, muerte de la planta y pérdidas económicas.

1.12.3.2. Tallo

El tallo está constituido por un eje corto con forma cónica denominado corona, donde se encuentran numerosas escamas foliares; desde la corona se desprenden las yemas axilares, ramificaciones laterales, que llevan el nombre de estolones cuya característica es la presencia de entrenudos distanciados entre sí, que están compuestos de rosetas de hojas y raicillas adventicias. (CONAFRESA, 2010)

1.12.3.3. Hojas

“Las hojas se agrupan en roseta y se insertan en la corona. Largamente pecioladas y provistas por lo general de dos estipulas rojizas. El limbo se divide en tres foliolos pediculados, de bordes aserrados, poseen un número elevado de estomas, lo que puede ocasionar la pérdida de agua en gran cantidad por transpiración”(INFOAGRO, 2011).



Figura 19. Partes de una planta de fresa claramente identificadas.

1.12.3.4. Inflorescencias y fruto

INFOAGRO (2011), describe que las flores o inflorescencias se desarrollan a partir de una yema terminal de la corona, o de yemas axilares de las hojas. La ramificación de la inflorescencia puede ser basal, donde nacen varias flores de porte similar; o distal donde nace una flor terminal o primaria y varias secundarias de menor tamaño. Cada flor está compuesta de cinco a seis pétalos, 20 a 35 estambres y cientos de pistilos todos sobre un receptáculo carnoso, dando origen a que cada óvulo fecundado forme un fruto tipo aquenio.



Figura 20. Tipos de inflorescencia.

En la Figura 20 se observa dos tipos de inflorescencia, basal y distal, las flores que dan origen a frutos basales proveen un elemento de buen grosor, tamaño, color y aroma intenso puesto que se encuentran directamente unidos a la corona de la planta; mientras que los frutos producto de una inflorescencia distal son de menor tamaño porque se desprenden de una sola guía en forma de racimo.

1.12.4. Métodos de propagación

1.12.4.1. División de coronas

De acuerdo a Baraona & Sancho (2008), la propagación por división de corona no es muy utilizada en plantaciones comerciales, consiste en cortar una planta a ras del suelo y dividir su corona principal en varias secundarias dependiendo del tamaño de la cepa. Este sistema se puede practicar directamente en la plantación y se limita a ser utilizada en huertos o jardines para consumo familiar.



Figura 21. Propagación por división de coronas.

En la Figura 21 se observa claramente que en la propagación por división de coronas cada segmento contiene una cantidad determinada de raíces y hojas para que la nueva plántula se adapte. Este es un método costoso y laborioso.

1.12.4.2. Estolones

La propagación por estolones es el método más utilizado para la reproducción de la fresa de acuerdo a las especificaciones dadas por Baraona & Sancho (2008). Consiste en utilizar las yemas terminales que brotan alrededor de la planta madre, para obtener una nueva planta.



Figura 22. Propagación por estolones.

La obtención de plantas mediante estolones es un método de propagación asexual, es el más práctico y rentable debido a que cada planta produce varias protuberancias de color verde rosáceo que terminan en cúmulos de hojas pequeñas dando origen a una nueva planta tal como se muestra en la Figura 22.

1.12.4.3. Semillas

La fresa también se propaga por semillas, INFOAGRO (2011). La plántula originada por una semilla inicia con una fina raíz principal muy delgada y blanca, que en poco tiempo se ramifica, después de formarse las primeras hojas y la corona primaria, se inicia la formación de raíces adventicias en los dos costados de la base de las hojas, al crecer y desarrollarse la corona primaria o formarse coronas secundarias, se forman nuevas raíces adventicias, siempre que las zonas radicales estén en contacto con el suelo húmedo; cuando el nudo fértil de los estolones toca éste rápidamente emite raíces adventicias en la base de las escamas y de las hojas originando la formación de una nueva planta.



Figura 23. Germinación de semillas de fresa.

Proceso de germinación visible después de cinco semanas.

Fuente: Agrochic. Recuperado de: <http://www.agrochic.com/2011/07/germinacion-de-fresas-por-semillas.html>.

1.12.5. Manejo del cultivo

La empresa VIANSA (2008), provee una guía para el establecimiento de una plantación de fresa en donde especifica que para la implementación del cultivo se debe iniciar con la preparación ya sea del suelo o del sustrato a utilizarse, cumpliendo con dos características principales:

- Crear un buen drenaje en el suelo y alrededor de la planta.
- Aflojar la tierra o sustrato para reducir la compactación a una profundidad de 60 cm.

Con este proceso, esencial para el desarrollo del fruto de las plantas, se logra una mejor infiltración del agua y nutrientes, además del desarrollo y crecimiento máximo de las raíces debido al buen drenaje en la zona de penetración radical.

1.12.5.1. Suelo normal

Para cultivos al aire libre se utilizan equipos que permitan hacerlo de forma mecánica, mediante la utilización de una rastra o arado, no es recomendable la

aplicación de herbicidas. Como limpieza del suelo consta la eliminación de maleza, la eliminación de piedras y todo tipo de basuras o desechos presentes en el lugar destinado al cultivo; de tal manera que quede libre de impurezas que a largo tiempo causen deterioros en el desarrollo de las plantas. (Figura 24)

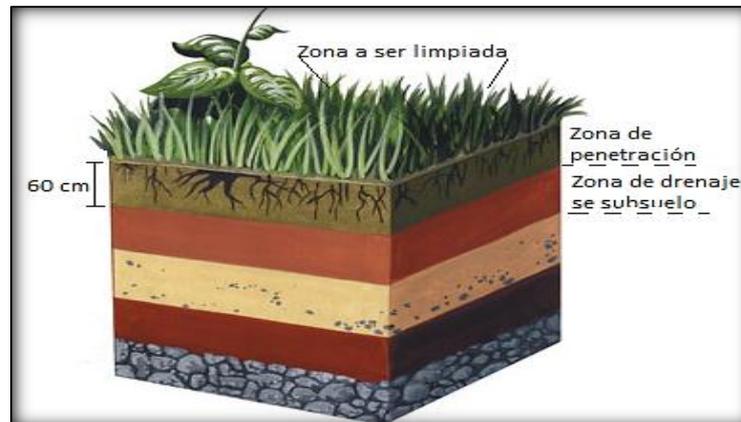


Figura 24. Diferentes capas de suelo.

1.12.5.2. Sustrato

“El término sustrato se aplica a todo material sólido distinto del suelo, cuyo origen puede ser natural, de síntesis o residual, mineral u orgánico que permite el anclaje del sistema radicular, desempeñando por lo tanto, un papel de soporte para la planta” (Gallardo, 2009).



Figura 25. Sustrato compuesto para platabandas.

1.12.5.3. Nivelación

De acuerdo a VIANSA (2008), nivelar la tierra o establecer la plantación en curvas a nivel tiene las siguientes metas.

- Eliminar zonas bajas donde el agua puede estancarse.

- Asegurar que el desagüe de la parcela sea total y parejo.
- Establecer la distribución del agua de riego en una forma pareja y uniforme.
- Reducir el costo de mano de obra y el tiempo necesario para regar la plantación.

La nivelación o la construcción de las curvas a nivel debe tener un declive para permitir que el agua penetre bien en la zona de las raíces pero no corra tanto como para crear problemas de erosión, en el caso de ser riego por surco. Cuando se utiliza el riego por goteo, el declive debe ser mayor para crear un óptimo y completo drenaje de la plantación.

El desnivel adecuado establece el buen drenaje de la plantación y evita la pudrición de las raíces por agua estancada.

1.12.5.4. Construcción del caballete

El caballete alto (montículo de tierra), actúa en tres formas para aumentar la productividad de la plantación, de acuerdo a los estudios realizados por VIANSA (2008):

- Establece una zona profunda de tierra suelta y removida que promueve el desarrollo y la penetración máxima de las raíces.
- Asegura el buen drenaje del sistema radical y ayuda a evitar problemas de pudrición de las raíces.
- Coloca el fruto por encima del alcance del agua de riego, reduciendo problemas de pudrición y ayuda en la ventilación de la planta y fruto.

En el momento en que el caballete esté bien formado se deben sembrar las plántulas tratando de obtener la mayor densidad por espacio de cultivo, respetando una distancia prudencial entre las plantas. Para determinar la densidad de la siembra se debe tomar en cuenta: el tamaño de la planta, capacidad del suelo y el sistema de riego para lograr una óptima plantación.

Se debe evitar una densidad excesiva, debido a que una competencia por obtener nutrientes entre las plantas reduce la producción. Si las plantas están demasiado juntas su follaje cubrirá la fruta incrementando los niveles de pudrición reduciendo el rendimiento.

1.12.5.5. Cobertura del suelo

Ingeniería Agrícola (2008) menciona que recubrir el suelo consiste en cubrir los caballetes con polietileno negro, de 0.2 a 0.4 mm de grosor, con el propósito de impedir que la fruta tenga contacto directo con el suelo y disminuir los problemas fitosanitarios. La cobertura a su vez, cumple otras funciones importantes como:

- Evitar crecimiento de malezas.
- Aumentar la retención de humedad y la temperatura del suelo.

El polietileno se coloca sobre el caballete, una vez que éste se ha preparado totalmente, inclusive con la aplicación de fertilizantes e insecticidas del suelo. Se tensa bien y se prensa a ambos lados de la era con la misma tierra. Una vez colocado, se marca la distancia de siembra y se abren huecos de unos 10 cm de diámetro en cada punto, donde van las plantas.

1.12.5.6. Siembra

VIANSA (2008), brinda las especificaciones básicas para la siembra de las plantas de fresa, que generalmente se realiza mediante trasplante. Debido a la técnica más conocida que se aplica al cultivo, utilización de coberturas y riego, lo más utilizado son camas (caballetes) de 70 a 80 cm de ancho y de 20 a 30 cm de altura. En cada cama se colocan dos hileras, separadas 40 cm entre sí y las plantas a 30 cm, medidas que pueden ser modificadas de acuerdo a las necesidades del agricultor.

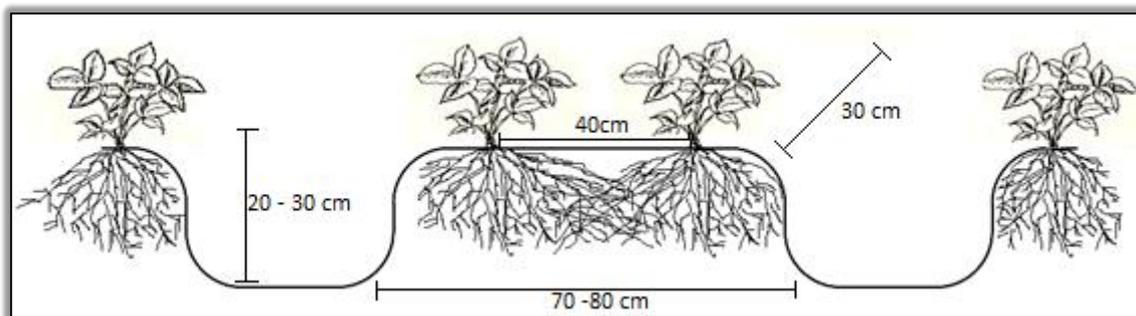


Figura 26. Distancias de siembra.

Los pasos a seguir para la siembra son importantes para tener éxito en el trasplante:

- Sembrar las plántulas inmediatamente después de recibirlas para reducir pérdidas por hongos o pudrición.
- Mojar los caballotes en gran cantidad antes de empezar la siembra.
- Tener listo el sistema de riego para evitar demoras en la aplicación del agua.
- Lavar las plántulas en un baño de fungicidas inmediatamente antes de sembrarlos.
- Revisar cuidadosamente el trabajo de la siembra; la profundidad a la cual se ponen las plántulas es crítica. Las plántulas deben colocarse a una profundidad de modo que el cuello de la raíz quede a nivel del suelo, para que las raíces no queden expuestas ni la corona enterrada.
- Aplicar el riego lo antes posible después del trasplante.
- Regar ligeramente una o dos veces al día durante las primeras dos semanas para mantener húmeda la superficie del caballote

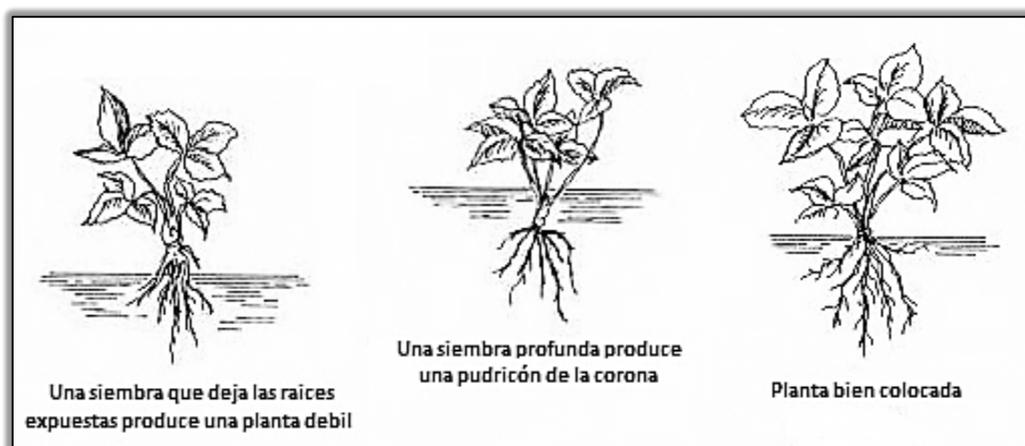


Figura 27. Colocación de la planta en la siembra.

Fuente: VIANSA. Recuperado de: http://www.viansa.com.ar/pdf/Viansa_esp.pdf

1.12.5.7. Riego

El riego es un factor fundamental en la producción de fresas, debido a que las plantas necesitan del agua siempre, durante su crecimiento y producción. Es indispensable que las plantaciones cuenten con un adecuado sistema de riego, que puede ser por aspersión o por goteo en el caso de la producción de fresa.

Si el riego es por goteo se denomina riego localizado y es el que genera mejores resultados, este sistema distribuye el agua y los fertilizantes directamente en la zona de influencia radicular.

1.12.6. Requerimientos climáticos

El desarrollo de los cultivos, en sus diferentes fases de crecimiento, está condicionado por factores ambientales como: temperatura, humedad y luz; INFOAGRO (2011).

1.12.6.1. Temperatura

Según Infojardín (2011), la fresa es un cultivo que se adapta muy bien a muchos tipos de climas. Su parte vegetativa es altamente resistente a heladas, llegando a soportar temperaturas de hasta -20°C , aunque los órganos florales quedan destruidos con valores algo inferiores a 0°C . Al mismo tiempo son capaces de sobrevivir a temperaturas estivales de 55°C . Los valores óptimos para una fructificación adecuada se sitúan en torno de los 15°C a 20°C de media anual. La fresa es un cultivo que se adapta muy bien a muchos tipos de climas:

- Temperatura mínima biológica, 6°C .
- Temperatura mínima letal -12°C (fase vegetativa, -6°C y fase floración, $0-2^{\circ}\text{C}$).
- Temperatura óptima, $10-13^{\circ}\text{C}$ nocturna y $18-22^{\circ}\text{C}$ diurna.

1.12.6.2. Humedad

La revista electrónica El Agro (2011) menciona que: “La humedad relativa adecuada es de 60 y 75%, cuando es excesiva permite la presencia de enfermedades causadas por hongos, por el contrario, cuando es deficiente, las plantas sufren daños fisiológicos que repercuten en la producción; se considera que un fresal tiene un consumo hídrico de 400-600 mm anuales”.

1.13. SISTEMA DE RIEGO POR GOTEO

1.13.1. Definición

Palomino (2009) hace una descripción detallada del riego por goteo mencionando que consiste en:

Un sistema de riego que entrega el agua gota a gota. Según las necesidades del cultivo, humedeciendo solo una parte del suelo, donde se concentran las raíces, por ello también se llama riego localizado, o de alta frecuencia pues se aplica el agua casi a diario o varias veces al día. Entre las principales ventajas que proporciona está la disminución significativa del volumen de agua usado (p. 97).

De lo citado se establece que al utilizar un sistema de riego por goteo el agua se suministra a una planta mediante gotas cada determinado periodo de tiempo. El uso de este sistema permite emplear el agua de manera adecuada minimizando su desperdicio. El líquido utilizado en esta forma de riego se infiltra directamente hasta las raíces de las plantas utilizando tuberías o mangueras plásticas, emisores o goteros; que se distribuyen en toda la parcela, a lo largo de cada surco. La distribución del agua se regula mediante válvulas y presión.

Uno de los principales requerimientos del riego por goteo es que cada una de las plantas reciba una cantidad igual de agua por unidad de tiempo. Para que este suministro sea exacto se utiliza la tecnología actual, procesadores o válvulas de paso. Este sistema de riego utiliza caudales pequeños de líquido y se riega agua con mucha frecuencia, dependiendo del cultivo implementado, suponiendo un

mejor aprovechamiento del agua y un mayor rendimiento del cultivo, ya que al aumentar la transpiración aumenta la fotosíntesis.

1.13.2. Ventajas

El riego por goteo es un sistema de suministro de agua de manera eficiente y eficaz a la planta, que puede ser aplicado en diferentes tipos de cultivos ya sean hortícolas, frutales, bajo invernadero o en plantas aisladas. Palomino (2009) señala que este sistema presenta diversas ventajas como:

- ✓ **Ahorro de agua**, debido al alto control que se tiene sobre el sistema, el agua puede ser aplicada muy eficientemente, solamente a aquella porción del suelo con actividad radicular reduciendo las pérdidas por evaporación al mínimo.
- ✓ **Respuesta del cultivo**, con este sistema se puede mantener un alto promedio temporal de nivel de humedad junto a una adecuada aireación del suelo. Esto crea en ciertos cultivos una respuesta favorable aumentando su rendimiento y calidad de frutos.
- ✓ **Ahorro de mano de obra**, en su mayor parte los sistemas de riego son permanentes o semipermanentes teniendo así muy bajos requerimientos de mano de obra. Además estos sistemas pueden ser automatizados y se reduciría aún más la mano de obra.
- ✓ **Menor crecimiento de hierbas**, debido a que solo una fracción de la superficie del suelo es mojada con este sistema, se reduce el área disponible para el crecimiento de hierbas y plantas no benéficas.
- ✓ **Una rápida maduración**, experimentos en tomates, uvas, remolachas, fresas para citar algunos cultivos han demostrado una temprana maduración obtenida con otros sistemas de riego.

- ✓ **Minimiza la formación de costras en la superficie del suelo**, al mantener una humedad constante en el cultivo, la formación de costras disminuye. Evitando la emersión del cultivo.
- ✓ **Mejora la penetración de raíces**, el alto promedio de humedad que se mantiene con un riego por goteo puede aliviar el problema de algunos suelos cuya penetración es mínima o imposible con un bajo contenido de humedad.
- ✓ **Elimina las pérdidas por conducción**, ya que el agua es transportada por tuberías hasta la planta y se reducen las pérdidas por infiltración profunda y de escurrimiento.

1.13.3. Desventajas

Palomino (2009), especifica las desventajas del riego por goteo:

- ✓ **Sensibilidad al taparse**, las pequeñas aperturas de los emisores o goteros los hacen extremadamente sensibles a taparse.
- ✓ **Utilización de material no adecuado**, si no se utiliza materiales apropiados la vida útil del sistema de riego puede ser corta, de dos años o menos.
- ✓ **Peligros de salinidad**
 - El costo inicial de adquisición es elevado dependiendo del cultivo, topografía y el grado de automatización del equipo requerido.
 - Los hoyos de las mangueras se tapan si hay basura en el agua.
 - El costo de instalación podría ser alto, principalmente en grandes extensiones.
 - Puede darse el taponamiento de los emisores debido a que su área de salida es bastante reducida.
 - Requiere un conocimiento adecuado del manejo del equipo instalado por parte del usuario.

1.13.4. Componentes del sistema de riego

Palomino (2009) menciona que: “Un sistema de riego por goteo consiste en un sistema de carga y una red de tuberías de distribución. Al sistema de carga generalmente lo constituyen la bomba, filtro, inyector de fertilizante, válvula de control, regulador de presión y unidad de control automático”

Un equipo de riego por goteo básicamente consiste en:

- Fuente de abastecimiento de agua.
- Cabezal principal.
- Tuberías de conducción principales.
- Tuberías terciarias.
- Cabezales de campo.
- Laterales de riego por emisores.

1.13.5. Fuente de abastecimiento de agua

Palomino (2009), indica que el agua para el riego por goteo puede tener cualquier origen (río, acequia, estanque, pozo escavado o pozo profundo). Lo importante es que el agua esté libre de sólidos en suspensión y que tenga los requerimientos básicos de nutrientes para la plantación. Cuando el agua tiene sólidos en suspensión, resulta necesario eliminarlos por medio de filtros.

El agua para el sistema puede depender de la adjudicación de agua que tenga la zona, del derecho de riego. El líquido por lo general se almacena en reservorios para poderlo extraer en forma permanente. Las dimensiones de la fuente de almacenamiento de agua dependen de la extensión del área a regar.

1.13.6. Unidad de bombeo

La unidad de bombeo es un sistema que impulsa el agua desde la fuente hasta la plantación, es recomendable aprovechar las diferencias de nivel entre dos puntos sobre el terreno.

“Está constituido de una o más bombas cuyo tamaño y potencia depende de la superficie a regar” (Palomino, 2009). Se encargan de succionar agua de uno u otro tanque y la envían a la red exterior e interior de la superficie de riego.

1.13.7. Cabezal

“Es un conjunto de accesorios que permiten suministrar agua al sistema con un nivel adecuado de limpieza, caudal y presión, además de que permite incorporar fertilizantes” (Cadena, 2012)

Cadena (2012), en su trabajo indica que del cabezal depende en su mayor parte, el éxito del riego, debido a que desde él se regula el suministro de agua y otras actividades como la fertilización y aplicación de pesticidas. Existe una gran variedad de cabezales pero los elementos básicos son:

- Equipo de bombeo.
- Sistema de filtración.
- Regulador de presión.
- Válvulas de distribución y de corte.

1.13.7.1. Equipo de bombeo

“Imprescindible, salvo que el agua llegue con la presión necesaria para el funcionamiento de la instalación; se componen de bomba y motor. Las bombas pueden estar accionadas por motores eléctricos” (Cadena, 2012)

1.13.7.2. Sistema de filtrado

El equipo de filtrado es necesario para evitar posibles obstrucciones en el pequeño diámetro del conducto del gotero o cinta de riego. Es una parte clave del sistema de riego ya que evita que se corte el suministro del líquido en la parcela produciendo daños en el cultivo.

1.13.7.3. Electroválvulas

Cada sector de riego lleva una electroválvula que se abre y se cierra según le ordena el programador. Para simplificar el proceso la mayoría de usuarios optan por regar de igual manera todos los cultivos. Se puede optar por este método pero no es lo más óptimo ya que cada cultivo debe recibir una cantidad de agua específica para su desarrollo.

En caso de que el cultivo sea múltiple, es decir que contenga diferentes tipos de plantas se lo debe sectorizar cada uno con su electroválvula permitiendo así que cada planta reciba la cantidad de agua adecuada.

1.13.7.4. Tuberías

La red de tuberías y sus accesorios es prácticamente la estructura del sistema de riego por goteo. El material principal utilizado para la elaboración de las tuberías es el PVC¹³ y otros derivados del petróleo, facilitando su difusión debido a las ventajas que posee como transporte, resistencia y adaptación a los cambios de temperatura.

La tubería principal se conecta de manera directa al cabezal formando una red en el espacio designado para el cultivo, de esta tubería se desprenden las manguera o cintas de riego que llevan el agua hasta los goteros para que distribuirla a cada planta.

¹³ **PVC:** Policloruro de Vinilo que es una combinación química de carbono, hidrógeno y cloro.

La tubería debe estar acompañada de ciertos complementos para facilitar el transporte del agua por la red de riego, cada elemento es importante para entregar a la planta la cantidad de agua necesaria para su buen desarrollo y producción.

- Reductor o regulador de presión, los emisores de riego por goteo necesitan muy poca presión de agua para funcionar.
- Filtro, se debe instalar al principio del sector de riego por goteo es junto al reductor de presión, para evitar obstrucciones de los goteros.
- Tes, codos, enlaces, llaves, empalmes, tapones.

1.13.8. Tipos de riego por goteo

En su obra Sánchez (2005) clasifica al riego por goteo de acuerdo al espacio en donde estará localizado:

- **Subterráneo:** Este sistema es ampliamente utilizado en áreas donde la raíz de la planta sea de gran extensión como en la caña de azúcar. Permite hacer uso de aguas residuales evitando así el desperdicio del líquido. Se elimina la pérdida de agua por causa de la evaporación, nebulización, escurrimiento superficial o interferencia del viento.
- **Superficial:** Los sistemas superficiales con usualmente fijos, por lo cual se los llama también sólidos. Este tipo de riego se adapta mejor a suelos profundos y con alta capacidad de retención de agua.
- **Aéreo:** Especial para el uso bajo invernaderos, el agua cae por gravedad al pie de la planta.

1.14. INVERNADERO

“Un invernadero es toda aquella estructura cerrada cubierta por materiales transparentes, dentro del cual es posible obtener ambientes artificiales de

climatización del producto y con ello cultivar plantas fuera de estación en condiciones óptimas”(Mantilla, 2008)

Las ventajas del empleo de invernaderos son:

- Producciones tempranas.
- Aumento de calidad y del rendimiento del producto.
- Ahorro de agua y fertilizantes.
- Mejora del control de insectos y enfermedades.
- Posibilidad de obtener más de un ciclo de cultivo al año.
- Mejora en la calidad de las variedades de las especies cultivadas.
- Cultivo de variedades de plantas en zonas donde es prácticamente imposible cultivarlas al aire libre.

Los invernaderos también presentan ciertas desventajas:

- Alta inversión inicial.
- Alto costo de operación.
- Requiere personal especializado, con experiencia práctica y conocimientos teóricos.

CAPÍTULO II

ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL

2.1. INTRODUCCIÓN

La Universidad Técnica del Norte (UTN) es una entidad de Educación Superior que realiza una labor académica e investigativa con el fin de formar profesionales críticos, capaces de contribuir al desarrollo regional y nacional. Su sede se encuentra en la provincia de Imbabura, ciudad de Ibarra, sector El Olivo.

La UTN cuenta con cinco facultades, entre éstas, la Facultad de Ingeniería en Ciencias Agropecuarias y Ambientales (FICAYA) encargada de formar entes preocupados del desarrollo sustentable de los recursos naturales, la producción limpia y la seguridad alimentaria; éticos y gestores de emprendimiento.

El proceso de enseñanza aprendizaje de los estudiantes se desarrolla en las diferentes instalaciones y áreas que dispone dicha unidad académica. Dentro del campus posee un edificio donde funcionan seis de sus siete carreras, mientras que la de Ingeniería Agropecuaria ejecuta sus actividades en las granjas experimentales de Yuyucocha y La Pradera. Sin embargo, como parte de su formación profesional, los estudiantes de las demás facultades en determinado momento, hacen uso de estos espacios físicos para realizar demostraciones o proyectos de tesis. Los beneficiados directos de esta unidad académica se detallan en la Tabla 4.

Tabla 4

Beneficiarios directos por cada carrera de la FICAYA

ESPECIALIDAD	MODALIDAD	MUJERES	HOMBRES	TOTAL
Ingeniería agroindustrial	Presencial	130	134	264
Ingeniería agropecuaria	Presencial	60	116	176
Ingeniería en recursos naturales	Presencial	118	119	237
Ingeniería forestal	Presencial	43	99	142
Ingeniería agronegocios, avalúos y catastros	Semipresencial	52	84	136
Ingeniería en biotecnología ambiental	Presencial	18	19	37
Ingeniería en energías renovables	Presencial	8	13	21
TOTAL ESTUDIANTES		429	584	1013

Nota: Datos proporcionados por el Departamento de Informática a la FICAYA, para propósitos de proyectos, trabajos de grado, estudios, entre otros.

La granja de Yuyucocha dispone de instalaciones físicas para el desarrollo enseñanza aprendizaje tanto teórico como práctico. Respecto al proceso de prácticas los estudiantes bajo la guía del docente ejecutan cultivos agrícolas de ciclo corto y perenne, cuyo objetivo principal es la investigación, el emprendimiento y la vinculación.

2.2. UBICACIÓN DEL ÁREA DE TRABAJO

El área de trabajo está ubicada en la Granja Experimental Yuyucocha de la Universidad Técnica del Norte, provincia de Imbabura, cantón Ibarra, parroquia Caranqui. Tiene una extensión de 6.5 ha, distribuidas en parcelas, destinadas a las prácticas que desarrollan los estudiantes en el sector.

2.3. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE TRABAJO

La granja experimental Yuyucocha cuenta con dos invernaderos destinados al proceso investigativo en el área agrícola. El invernadero consignado al presente proyecto está ubicado en la parte posterior de las oficinas administrativas aproximadamente a 23 m, en la sección compuesta por camas de cemento

destinadas al ensayo de cultivos y el desarrollo de proyectos de pregrado. En la Figura 28 se identifica el área donde se desarrollará el trabajo práctico.



Figura 28. Área de trabajo Granja Yuyucocha.

2.3.1. Invernadero

El invernadero es de estructura metálica del tipo denominado asimétrico, con cubiertas superiores y laterales. Se caracteriza por tener un aumento en una de sus superficies superiores para desarrollar la capacidad de absorción de iluminación, indispensable para el desarrollo y crecimiento de las plantas.

Al ser del tipo mencionado le permite que durante la época donde el sol se encuentre muy bajo puedan penetrar sus rayos al invernadero de una forma perpendicular directa, brindando la posibilidad de aprovechar ese calor del sol del mediodía, sin tener que desperdiciarlo. Tiene ciertas ventajas:

- Buen aprovechamiento de luz en la época invernal.
- Económico.
- Es estanco a la lluvia y al aire.
- Buena ventilación.
- Permite la instalación de ventilación artificial.

Tiene una extensión de ocho metros de largo, tres de ancho y cuatro de altura. Las partes superior y posterior están cubiertas en su totalidad por plástico, los laterales se dividen en dos secciones cubiertas por sarán y plástico cada uno

equivalente al 50%, la parte frontal está cubierta de plástico y la zona de la puerta por sarán. El invernadero se puede observar en la Figura 29.



Figura 29. Vista lateral del invernadero.

Dimensiones y materiales de la cubierta del invernadero.

El invernadero abarca dos camas de cemento, denominadas platabandas, de un metro de ancho por ocho de largo, cada una está limitada por dos mínimos muros para evitar que la tierra o sustrato utilizado en el cultivo se desborde; el área sobrante se encuentra entre estas dos sirviendo de sendero para transitar dentro del espacio de trabajo. Además cuenta con energía eléctrica, existen dos tomas en el interior una a cada lado.

2.3.2. Sistema de almacenamiento y distribución

La mayoría de las áreas de cultivo de la granja Yuyucocha se riegan manualmente o por inundación como se muestra en la Figura 30, utilizando el método visual para determinar si las plantas necesitan agua, la aplicación de mayor o menor cantidad de líquido depende de la apreciación de la persona que se asigne para realizar dicha labor, provocando en varias ocasiones que no se suministre la cantidad ideal para el desarrollo del cultivo.



Figura 30. Método de riego por inundación Granja Yuyucocha.

La granja cuenta con un reservorio para el almacenamiento y posterior distribución de agua a las diferentes zonas de producción; además, de un equipo de bombeo para la extracción del líquido como se indica en la Figura 31.



Figura 31. Sistema de almacenamiento y distribución.

Para el funcionamiento de la bomba de extracción de agua la caseta cuenta con el suministro de energía eléctrica. Cabe mencionar además que el invernadero destinado al proyecto no cuenta con la instalación de un sistema de riego, este se instalará conjuntamente con el desarrollo del sistema de monitoreo y control.

2.4. DEFICIENCIAS Y MODIFICACIONES

En la actualidad los agricultores buscan soluciones para obtener una mayor producción pero que al mismo tiempo les permita ahorrar agua por ser un recurso no renovable y más importante que el oro o el petróleo.

2.4.1. Evaluación del proceso de riego

A partir del análisis de las condiciones en las que se encuentra el área destinada al desarrollo del proyecto se puede establecer que:

- ✓ Los métodos de riego utilizados demandan de una gran cantidad de agua, pero la aprovechada por las plantas es mínima observándose un desperdicio del líquido.
- ✓ El método visual utilizado no es muy confiable, debido a que se necesita que el encargado de esta tarea tenga experiencia para que pueda estimar con cierto grado de precisión la cantidad de agua contenida en el suelo. El principal inconveniente radica en que la apreciación siempre varía de persona a persona.
- ✓ Independientemente del método de riego empleado es imprescindible la presencia de una o más personas para vigilar el proceso.
- ✓ Las plantas son regadas cuando el encargado de su cuidado lo decide y no cuando verdaderamente lo necesitan.
- ✓ Debido a que no solo se riega el área que ocupa la planta se incentiva además el crecimiento de plantas no deseadas conocidas como mala hierba.
- ✓ El riego con excesiva agua produce erosión y lavado del terreno, es decir, el agua atraviesa las diferentes capas del suelo y este pierde sus nutrientes.

Al utilizar métodos rudimentarios de riego es evidente que existe un desperdicio de agua que tiene varios efectos debido a que es considerado como un recurso no renovable y en ciertos sectores un recurso escaso, si no se lo proporciona adecuadamente a los cultivos se registran pérdidas económicas y en la mayoría de los casos se daña los suelos convirtiéndolos en infértiles a causa de la erosión por el lavado de sus nutrientes.

Por los motivos mencionados y en especial el de contribuir a preservar el líquido vital conocido como agua mediante la optimización de su uso en un cultivo de fresa en la Granja Yuyucocha, es necesaria la implementación de un sistema que sirva como referente para la implementación en otros sectores de este lugar de estudio.

2.4.2. Adecuación del área de trabajo

Existen ciertas adecuaciones que se deben considerar previo el desarrollo técnico del proyecto, como la instalación del sistema de riego por goteo y la siembra del cultivo en el interior del invernadero.

Al ser un área de prácticas en la granja Yuyucocha se cambia de manera constante los cultivos, siendo uno de ellos el de fresa que ha sido el seleccionado para colocarlo en el invernadero.

2.4.2.1. Elección del sustrato

Según los datos obtenidos por Limaico (2012), el suelo de la Granja Yuyucocha tiene una estructura franco – arenoso, adecuada para la agricultura. Este tipo de suelos están compuestos de arcilla, materia orgánica y arena en mayor cantidad; de acuerdo a esta referencia, el suelo del lugar tiene baja capacidad de retención de agua, alta velocidad de infiltración y drenaje.

La fresa para su desarrollo necesita de “un suelo catalogado como arenoso o franco-arenoso, homogéneamente profundo. Las fresas prefieren crecer en suelos arenosos ricos en humus y bien drenados”. (INFOAGRO, 2011)

De lo indicado anteriormente, se determina que el suelo del sector es apto para la producción de fresa; sin embargo, para conseguir una mejor adaptación de ésta y sobre todo un aprovechamiento eficiente de agua, se adecuó el sustrato, mezclando la tierra de las platabandas y humus. La tierra fue cernida para lograr una textura suelta de modo que el humus se mezcle de manera homogénea, las raíces de la planta no se pudran y que el sustrato permita una filtración homogénea del agua. Las proporciones en las que se realizó la mezcla se indican en la Figura 32.

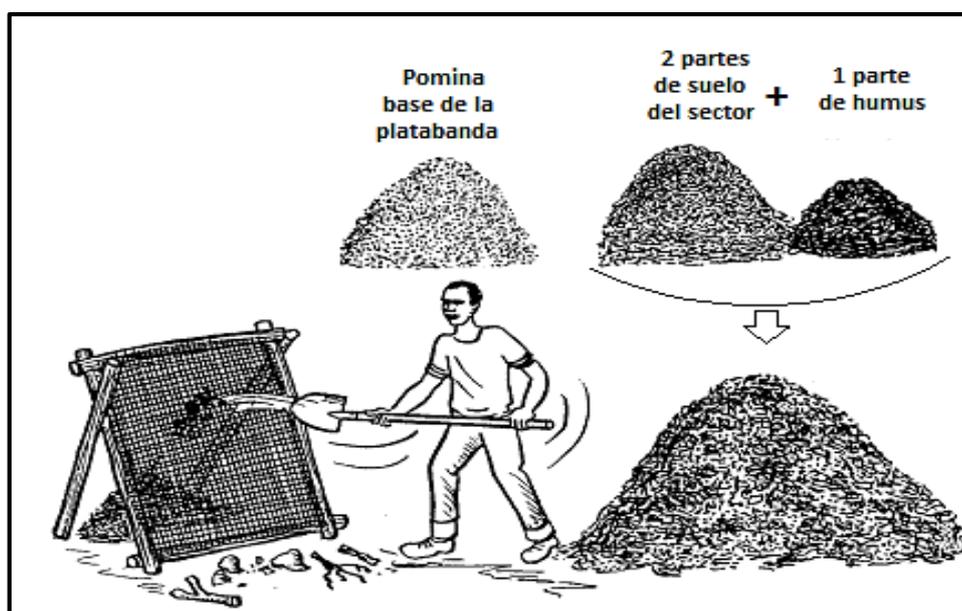


Figura 32. Cantidad de material a mezclar para el nuevo sustrato, relación 2:1.

El sustrato se colocó en las dos platabandas tomando en cuenta la sugerencia de los expertos, que señala que para cultivar fresa es necesario establecer camas a unos 30 cm del nivel del suelo y que el ancho puede variar según el manejo que se pretenda realizar, otros especialistas establecen un rango de 30 a 50 cm que puede variar de acuerdo a las necesidades del cultivo. En el caso del proyecto las camas también conocidas como caballetes fueron hechas con las siguientes medidas 30 cm de alto y 60 cm de ancho que se ajustan a los parámetros sugeridos.

Previa la colocación del sustrato en las platabandas, se situó una capa base de pomina (piedra pomes granulada) para lograr una mejor retención y disminuir la filtración acelerada de agua.

2.4.2.2. Cubierta del sustrato

El recubrimiento de las camas es conocido con el nombre de mulch o acolchado, INFOAGRO (2011), establece que consiste en cubrir el suelo generalmente con una película de polietileno negro, con objeto de: aumentar la temperatura del suelo, disminuir la evaporación de agua, impedir la emergencia de malas hierbas y aumentar la calidad del fruto al eludir el contacto directo del fruto con la humedad del suelo.

Una vez terminadas las camas y ya ubicado el sistema de riego, las platabandas fueron humedecidas con abundante líquido antes de cubrirlas, para que todo el sustrato sea una masa homogénea apta para sembrar.

El proceso de recubrimiento se lo realizó como se muestra en la Figura 33, siguiendo todos los pasos indicados en los textos de consulta y las indicaciones dadas por el administrador de la granja.

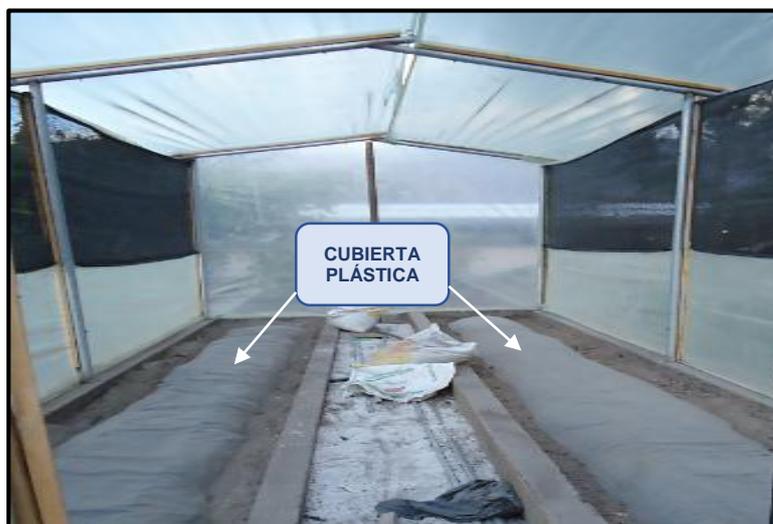


Figura 33. Interior del invernadero: recubrimiento, cambio y cubierta de sustrato.

2.4.2.3. Proceso de sembrado

La planta de fresa utilizada es de dos variedades, oso y festival debido a los diversos estudios que realizan los estudiantes en cada elemento que crece en el invernadero. La fresa necesita para su desarrollo de un suelo rico en alimento, el sustrato provee de una cantidad de energía necesaria para que la planta se adapte

al lugar. Mediante el acolchamiento del sustrato se reducen los niveles de oxígeno alrededor de la planta evitando el crecimiento de hierba mala, reduce el riesgo de enfermedades por nematodos y evita la evaporación rápida del agua.

Al momento de sembrar la planta se realizaron perforaciones de 10 cm de diámetro sobre la superficie del plástico, con una distribución en forma alternada y separación de 30 cm entre cada agujero. En las perforaciones se escavó y colocó la planta con una extensión de sus raíces de aproximadamente 10 cm. Figura 34.

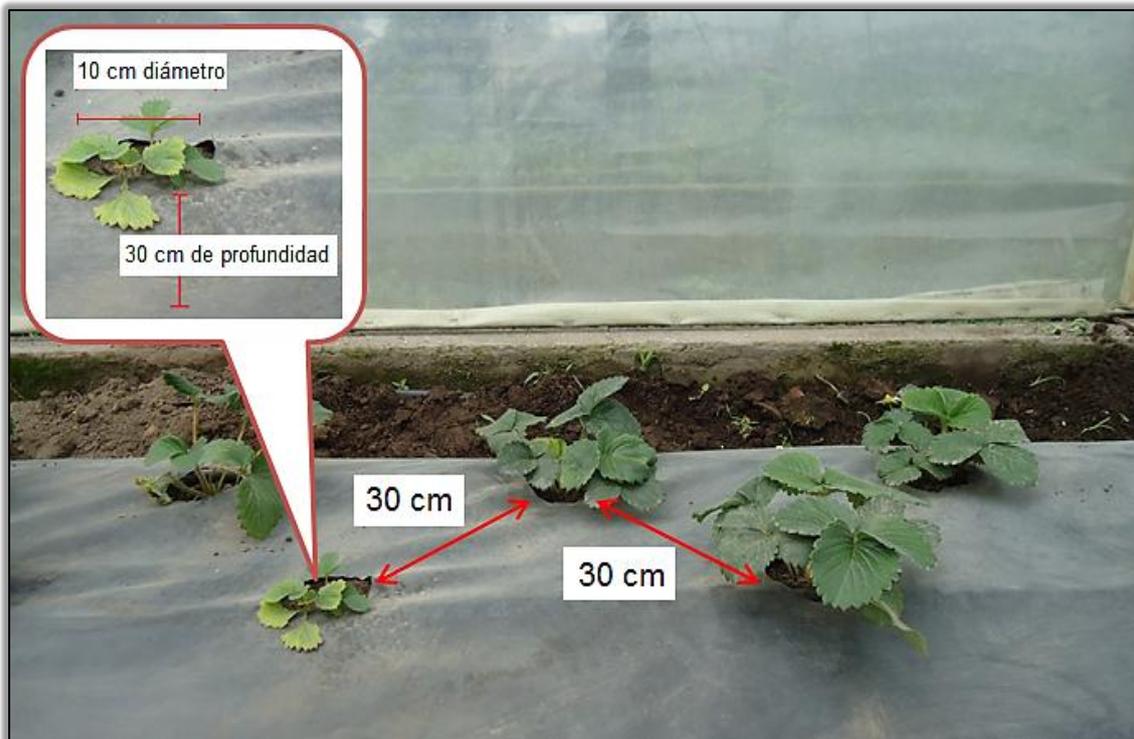


Figura 34. Distancias de siembra para plantas de fresa.

2.4.3. Instalación sistema de riego por goteo

Para el desarrollo del proyecto propuesto se instaló un sistema de riego localizado, el mismo que fue colocado por un técnico especializado en el tema. Siguiendo el esquema de la Figura 35.

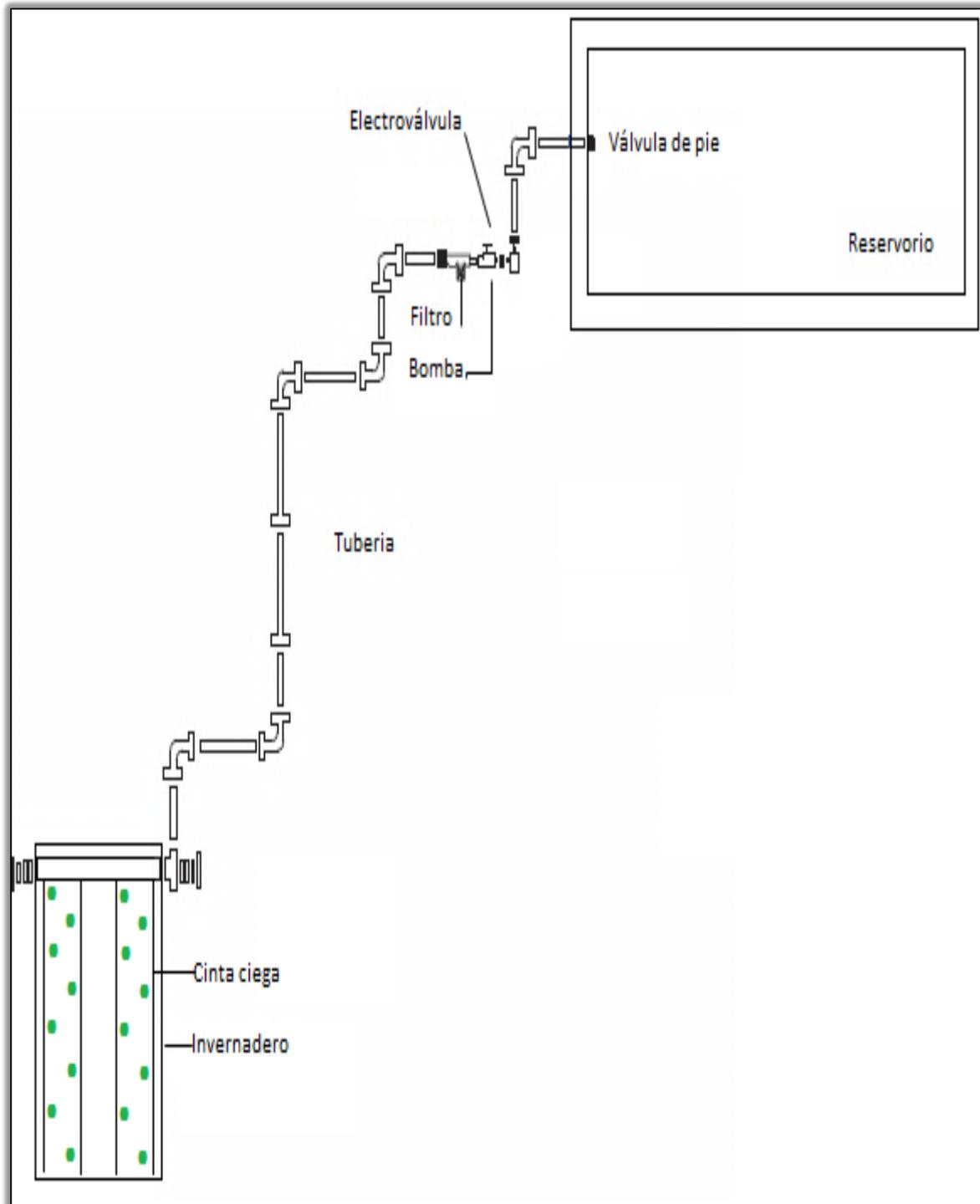


Figura 35. Diagrama sistema de riego por goteo.

Los materiales utilizados se indican en la Tabla 5, separando los más importantes que se describen de manera individual señalando sus características más importantes.

Tabla 5

Materiales instalación sistema de riego por goteo.

MATERIALES EN GENERAL	
ELEMENTO	CANTIDAD
Tramo de manguera 16mm x 3,5cm:	4
Tubo PVC E/C 32 mm x1.25 MPA x 6MTS:	5
Adaptador PVC 32mm x 1" macho:	4
Codo 32 x 90 Gr.	4
Teflón:	5
Limpiador (Galón):	1
Pega PVC (Galón):	1
Uniones GOL 2 agujeros:	40
Codo adaptador 32mm x1" hembra:	1
Niple doble plástico 1" hembra:	4
Tee 1" Plástica:	1
Tapón 1" Macho:	1
Tapón final 32 mm:	1
Unión 1" hembra roscada:	1
Conector inicial 16 mm:	4
Final de línea 16 mm:	4
Unión Fler –Flex de 16mm:	4
Acople Omen Macho 1" rosca:	2
Acople Omen Hembra 1" rosca:	2

2.4.3.1. Bomba de extracción

Se utilizó para dotar de mayor velocidad al líquido y este pueda trasladarse por la tubería. Las características de operación más relevantes de la bomba utilizada se indican en la Tabla 6.

Tabla 6

Características bomba de extracción eléctrica JSW55.

 BOMBA JET ELÉCTRICA JSW55	
Succión y Descarga:	1" x 1"
Potencia (HP):	1,0
Etapas:	1
Voltaje (V):	110/220
Amperaje(A):	10 / 5,5
Altura Máxima (m):	47
Suct. H max (m):	8
Q max (l/min):	50
Hz:	60
Kw:	0,75
Capacitancia (µF):	40



Nota: Adaptado de hoja técnica bombas Jet SW55. Recuperado de: http://www.barnes.com.co/index.php?option=com_virtuemart&Itemid=89&lang=es

2.4.3.2. Válvula de pie

Esta válvula que contiene un filtro de malla para succión se instaló para evitar el paso de sólidos flotantes que puedan encontrarse en el reservorio y provoquen taponamiento de la tubería, debido a que en este sector se crían tilapias. El otro propósito de su instalación es impedir que el agua en el interior de la tubería descienda a la zona de almacenaje. (Véase Tabla 7)

Tabla 7

Válvula de pie con filtro de malla

VÁLVULA DE PIE	
<ul style="list-style-type: none"> • Cuerpo de bronce y filtro de acero inoxidable. • Uso en pozos y estanques colocada en puestos bajo el nivel de agua, • Función impedir que el agua contenida baje o se devuelva al pozo. • Cuerpo de latón. • Presión máxima: 16 bar. • Temperatura máxima: 90° C. • Flujo vertical • Medida: 1" 	

Nota: Adaptado de la descripción en línea de válvulas de pie. Recuperado de: <http://www.masterriego.es/docs/Tarifa%20riego%20Fluidra%20-%202013.pdf>

2.4.3.3. Manguera ciega

La manguera ciega o cinta de goteo se instaló sobre los caballetes dos líneas por cada una para lograr una mejor distribución y conservación del agua.

Cabe mencionar que las cintas de riego fueron colocadas antes de cubrir las camas con la lámina de plástico para facilitar su ubicación y manejo. Las características de este elemento se pueden observar en la Tabla 8.

Tabla 8

Manguera ciega riego por goteo.

MANGUERA CIEGA	
Material: Polietileno	
Color: negro con filtro UV	
Diámetro: 12 mm	
Caudal (Q): 1 l/h (por gotero)	
Larga duración a la intemperie.	
Ahorra agua, fertilizantes, mano de obra y energía.	

Nota: Adaptado de la descripción en línea de manguera ciega. Recuperado de: <http://www.abraqui.com/kamur/Images/lista%20de%20precios.pdf>

2.4.3.4. Filtro Manual de discos

Este filtro fue instalado para limpiar el agua de materia orgánica e inorgánica y evitar que se tapen los goteros. Sus características se pueden leer en la Tabla 9.

Tabla 9

Filtro manual de discos.

AZUD FILTRO MANUAL DE DISCOS AZUD MODULAR 100

- Amplio grado de rangos de filtración en discos y mallas.
- Máxima superficie filtrante y menor mantenimiento.
- Robustez, cuerpo y tapa fabricados en termoplástico térmico.
- Sistema de cierre roscado efectivo a alta y baja presión.
- Equipado con conexiones auxiliares.
- Fácil manipulación.
- Resistencia a productos químicos en caso de fertirrigación.
- Conexión: 1"
- Caudal máximo: 6m³/h (26 gpm)
- Superficie filtrante (Discos): 180 cm²
- Superficie filtrante malla: 160 cm²



Nota: Adaptado de hoja técnica filtros Azud modular 100. Recuperado de: http://www.azud.com/imagenes/modelos/20091124114052AZUD%20MODULAR%20100_ESP.pdf

2.4.3.5. Válvula eléctrica

La válvula eléctrica o más conocida como electroválvula se usa para regular el paso del agua a través de la canalización. Sus características están descritas en la Tabla 10.

Tabla 10

Características válvula de control eléctrica.

 VÁLVULA DE CONTROL ELÉCTRICA	
Serie:	2000
Modelo:	210
Tamaño:	1"
Rango de Presión:	0,7 -10 bar
Rango de Temperatura:	Agua hasta 80°C (180°F)
Voltaje:	24 V AC (50-60-Hz)
Corriente de operación:	0.20 A
sostenida:	0.40 A
Corriente de arranque:	Nylon reforzado
Cuerpo y tapa:	Acero Inoxidable
Partes Metálicas:	Goma Natural
Diafragma:	Plásticos de alta tecnología,
Material:	resistentes a la corrosión y a la radiación U. V.
Válvula:	Con solenoide de dos vías con llave de apertura manual que permite regular la apertura de la válvula de acuerdo al flujo requerido



Nota: Adaptado de hoja técnica válvulas plásticas de control hidráulico/eléctrico serie 200 Bermad (2012). Recuperado de: <http://riegointegralweb.com.ar/wp-content/uploads/2012/09/Irrigation-Catalog-Spanish.pdf>

2.5. PARÁMETROS A CONSIDERAR EN EL DISEÑO DE LA RED WSN

2.5.1. Ambiente de trabajo

El sistema debe operar en condiciones no ideales, es decir que existe la presencia de agentes externos que pueden influir en el desempeño de éste. Los nodos sensores deben ubicarse en el interior del invernadero donde se encuentran: calor, partículas de polvo, partículas de agua, entre otros; que pueden causar daños en los componentes electrónicos de los módulos por este motivo deben estar adecuadamente aislados y protegidos. En la Figura 36 se puede observar el interior del invernadero.



Figura 36. Ambiente de trabajo en el interior del invernadero.

2.5.2. Manipulación

El sistema debe permitir la manipulación por parte del administrador de la granja y docentes que estén realizando un estudio donde esté involucrado el cultivo de fresas, debido a que los datos que suministra el sistema son de suma importancia para impartir conocimientos a los estudiantes que hacen uso de las instalaciones de la granja Yuyucocha.

2.5.3. Enlace inalámbrico

El enlace inalámbrico debe realizarse tomando en cuenta que los módulos sensores deben estar en el interior del invernadero teniendo como obstáculo el plástico del mismo.

Además la distancia entre el invernadero y la caseta del sistema de riego donde se colocará el módulo central es de 30 metros en línea recta. En este espacio existe un invernadero de dimensiones reducidas dedicado a albergar un trabajo de pregrado, además de tres platabandas para la producción de plantas, cubiertas con sarán sostenido por maderos.

En el lugar donde se desarrolla el proyecto no existe ningún sistema del mismo tipo implementado que puede interferir en el enlace de los módulos.

2.5.4. Requerimientos de energía

Tal como se indicó en la descripción del área de trabajo tanto el invernadero como la caseta del sistema de riego cuentan con el suministro de energía eléctrica, debido a las prácticas que los estudiantes desarrollan con diferentes equipos.

2.5.5. Requerimientos de acuerdo al desempeño de la red

La red WSN debe cumplir con ciertos parámetros:

- ✓ La red debe permitir adquirir, transmitir, procesar y registrar los datos de las variables agrícolas: temperatura, humedad del suelo y del ambiente, luminosidad y el estado de alimentación de los módulos.
- ✓ Mediante una interfaz gráfica se debe visualizar el proceso de adquisición de los datos y estado de los elementos de la red.
- ✓ Posibilidad de adaptación a cualquier cultivo objeto de estudio que se desee colocar en el invernadero.

- ✓ Tanto el software como el hardware deben cambiarse con facilidad si se desea monitorear otras variables.
- ✓ El mantenimiento es una práctica indispensable para la buena operación de la red pero debe ser el mínimo posible.
- ✓ Debe posibilitar el cambio de cualquier elemento que resulte dañado para tener una vida útil larga.

CAPÍTULO III

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE LA RED WSN

3.1. DESCRIPCIÓN GENERAL

En este capítulo se describe lo relacionado tanto al diseño como la construcción del hardware y software de la red WSN, las especificaciones y descripciones técnicas de los componentes a utilizarse.

La red WSN se compone básicamente de dos nodos sensores y un nodo central o gateway que hace de puente entre los primeros y la estación base mediante una comunicación USB, el esquema general se muestra en la Figura 37.

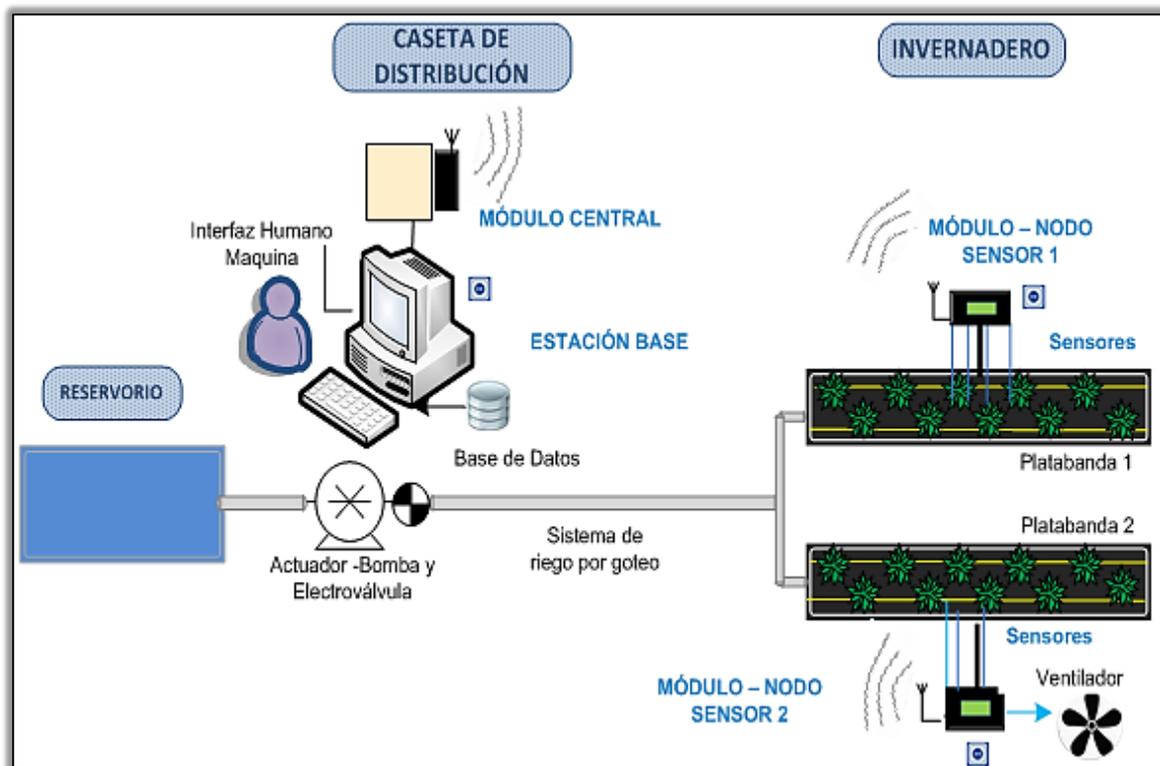


Figura 37. Esquema general red WSN.

El objetivo de controlar el sistema de riego es mantener ciertas magnitudes dentro de un rango establecido, sin importar la presencia de influencias externas que alteren el proceso. Al mantener las magnitudes en un rango adecuado el

suministro de agua será solo el necesario para que las plantas se desarrollen en el invernadero.

La red está formada de cinco procesos bien diferenciados: sensado, transmisión de datos, almacenamiento y procesamiento de información, respuesta y alimentación; cada uno aporta para el adecuado funcionamiento de la red.

En el sistema propuesto las magnitudes a medir son: temperatura, humedad y luminosidad, que deben monitorearse para ser controladas igualándolas a un valor apto para el desarrollo del cultivo, el usuario puede comunicarse con este mediante una interfaz hombre-máquina.

Los sensores miden la temperatura ambiental, temperatura del suelo, humedad relativa, humedad del suelo y luminosidad, los datos pueden ser visualizados en los módulos sensores mediante una pantalla LCD¹⁴ o en la interfaz gráfica.

Existen dos variables básicas, humedad del suelo y temperatura del ambiente, que influyen directamente en el funcionamiento del sistema, mismas que luego de ser sensadas se transmiten al nodo central para analizarse y de acuerdo a sus valores enviar una señal de respuesta para activar o no a los actuadores (bomba y ventilador). El valor de referencia de estas dos variables se ingresa desde la interfaz gráfica.

El registro de las demás variables sirve de apoyo para los diversos estudios sobre el comportamiento del cultivo que realizan los estudiantes y docentes de la carrera de agropecuaria. Los datos adquiridos se guardan en una base de datos para la generación de reportes.

Cabe mencionar que de acuerdo al valor obtenido por el sensor de luminosidad se encenderá la luz de fondo de la LCD para facilitar que el usuario observe los datos sin dificultad en la pantalla del nodo.

¹⁴ **LCD:** Liquid Crystal Display - Pantalla de Cristal Líquido

- ✓ **Módulo nodo sensor 1:** está compuesto de dos sensores de humedad del suelo, un sensor de humedad relativa, un sensor de temperatura del ambiente, un sensor de temperatura del suelo y un sensor de luminosidad. Las señales de los sensores ingresan a un microcontrolador PIC18F2550 y por medio de comunicación UART los datos de los sensores ingresan al módulo de radio frecuencia (Zigbee), que a su vez transmite los datos de manera inalámbrica al módulo central.
- ✓ **Módulo nodo sensor 2:** está compuesto por dos sensores de humedad del suelo y un actuador (ventilador), el proceso de adquisición y transmisión es similar al del nodo 1.
- ✓ **Módulo central (Gateway):** Este nodo es considerado como el coordinador de la red, mediante una comunicación USB se ingresan los datos de los nodos sensores a la estación base en donde se lleva a cabo el monitoreo y control de las variables.

Para realizar el control, los datos de referencia tanto de la temperatura ambiental como de la humedad del suelo son seleccionados mediante el software implementado, estos datos se transmiten hacia el PIC18F2550 para activar los actuadores como se puede ver en la Figura 38.

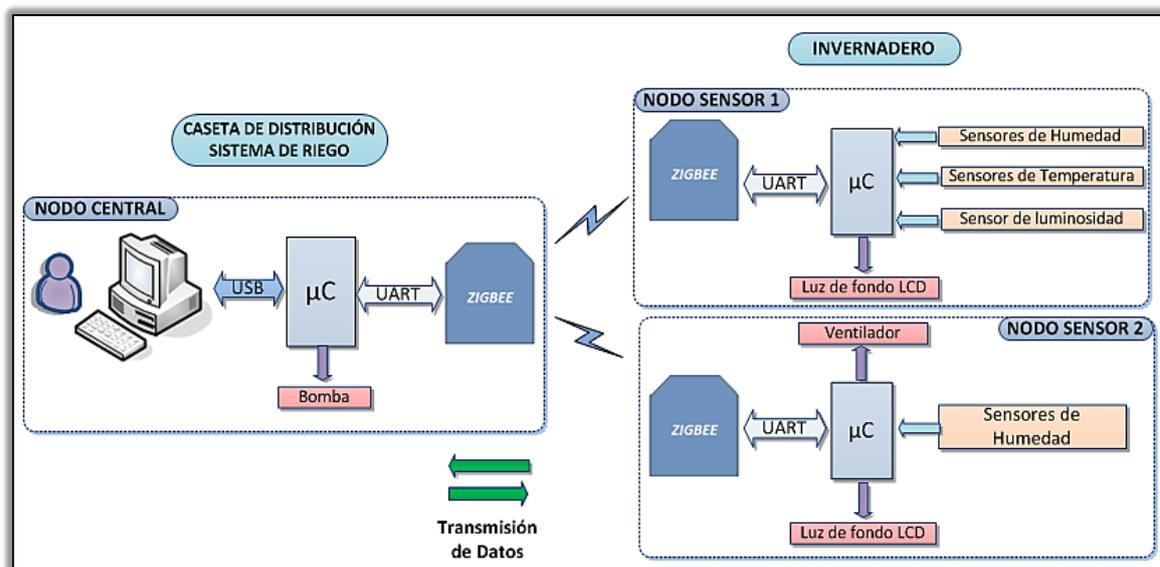


Figura 38. Esquema general de comunicación.

El ventilador se activa o apaga dependiendo del valor de referencia de temperatura y de los datos de los sensores de temperatura del ambiente. La bomba conjuntamente con la electroválvula se activa o apaga dependiendo del valor de referencia de humedad y de los datos adquiridos por los sensores de humedad del suelo.

Se debe mencionar que el sistema consta de un control manual debido a las prácticas y análisis que los estudiantes efectúan en el área de trabajo.

La topología de la red es estrella debido a que está formado de un par de nodos sensores que se comunican cada uno directamente con el nodo central. La comunicación entre los nodos es bidireccional.

3.2. DISEÑO DEL HARDWARE

En el diagrama de bloques de la Figura 39 se muestra los componentes y la configuración general de la comunicación entre los nodos sensores y el nodo central, diferenciando cada proceso.

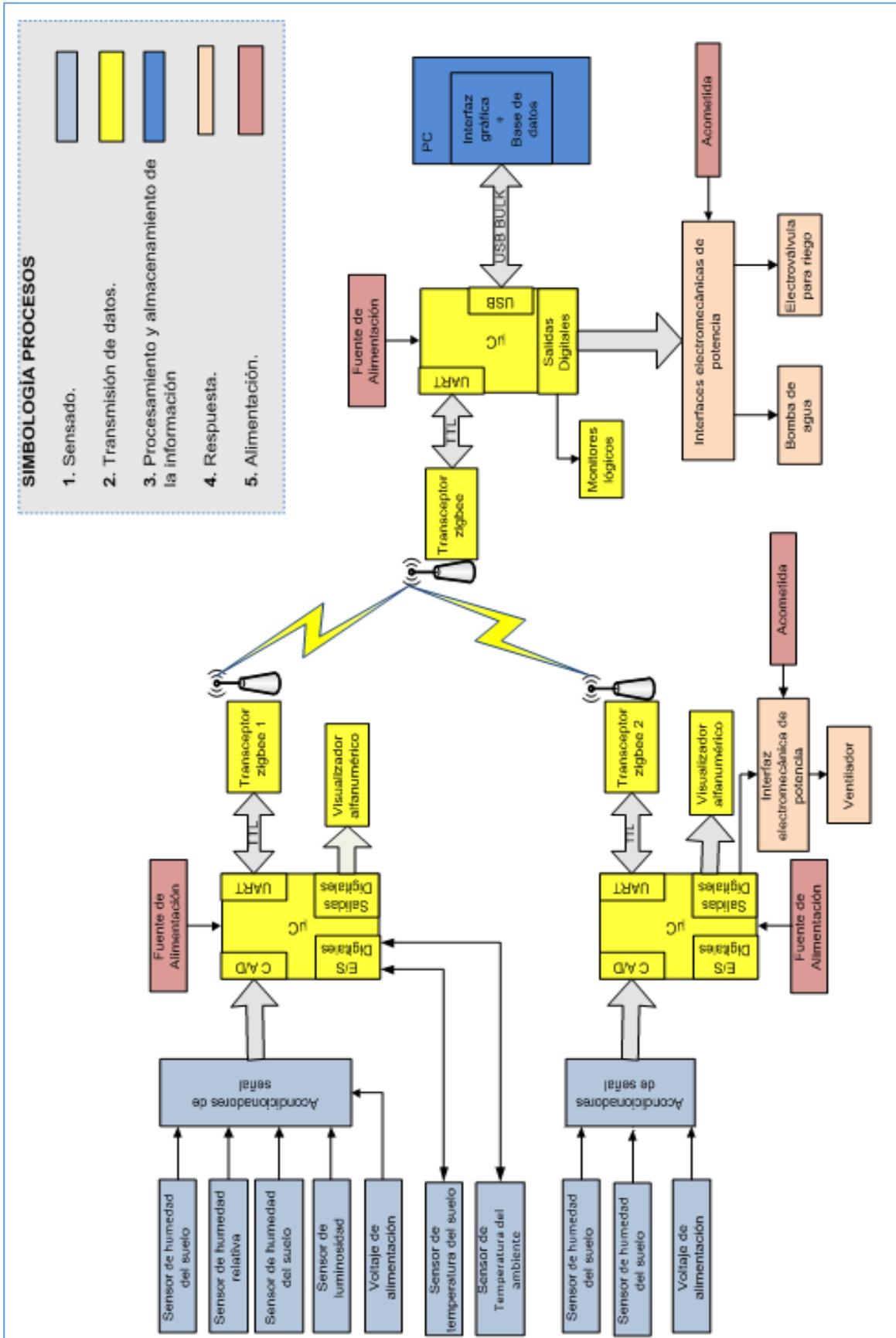


Figura 39. Diagrama del sistema a ser implementado.

En esta sección se detallan los principales elementos que conformarán los nodos sensores y el nodo base, además de sus funciones primordiales y los parámetros y configuraciones necesarias que sirven específicamente para el desarrollo de este proyecto.

3.2.1. Proceso de sensado

3.2.1.1. Sensor de temperatura digital DS18B20 1-WIRE

Este sensor tiene dos presentaciones, descubierto e impermeabilizado. En el caso del proyecto se ha escogido el segundo, por ser útil para medir en sitios lejanos o en condiciones húmedas. (Véase Figura 40)



Figura 40. Sensor de temperatura digital DS18B20.

El sensor es apto para medir hasta los 125 °C, pero hay que tomar en cuenta que el cable tiene una cubierta de PVC por lo que es aconsejable mantenerlo debajo de 100 °C. Como es digital, no hay ninguna degradación de la señal incluso a largas distancias.

El DS18B20 proporciona lecturas de la temperatura de 9 a 12 bits (configurable) sobre una interfaz "1-Wire", con sólo un cable de señal y tierra si está conectado a un microprocesador central. Las características más importantes se detallan en la Tabla 11.

Tabla 11

Características sensor digital DS18B20

DS18B20 Sensor de temperatura digital impermeabilizado

- Interfaz 1-Wire[®] que requiere un solo pin del puerto para la comunicación.
- Dispositivo con código único de 64-bit almacenado en una ROM.
- No requiere componentes externos.
- Rango de alimentación es de 3,0 V a 5,5 V.
- Rango de temperaturas de -55 ° C a +125 ° C (-67 ° F a + 257 ° F).
- $\pm 0,5$ ° C exactitud de -10 ° C a +85 ° C.
- Resolución del termómetro seleccionable de 9 a 12 bits.
- Tiempo de consulta 750 ms (máx.)
- Conexionado con 3 hilos: cable rojo VCC, cable negro GND, cable amarillo Datos.
- Diámetro: 6 mm, tubo de acero inoxidable de 35 mm de largo
- Diámetro del cable: 4 mm
- Longitud total con cable: 90 cm
- Las aplicaciones incluyen termostatos, sistemas industriales, productos de consumo, termómetros, o cualquier otro sistema termosensible

Nota: Características principales extraídas de la hoja de datos del sensor DS18B20. Recuperado de: <http://dlnmh9ip6v2uc.cloudfront.net/datasheets/Sensors/Temp/DS18B20.pdf>

3.2.1.2. Sensor de humedad Meroduino

Este sensor de puede leer la cantidad de humedad presente en el suelo que lo rodea. Es ideal para el seguimiento del nivel de agua en las planta de un cultivo. El sensor utiliza dos sondas de prueba para pasar corriente a través del suelo y obtiene la resistencia que determina el nivel de la humedad. Más agua hace que la conductividad del suelo sea mayor (menos resistencia), mientras que el suelo seco es un mal conductor de electricidad (más resistencia). El sensor adquirido se puede observar en la Figura 41 y sus características principales en la Tabla 12.

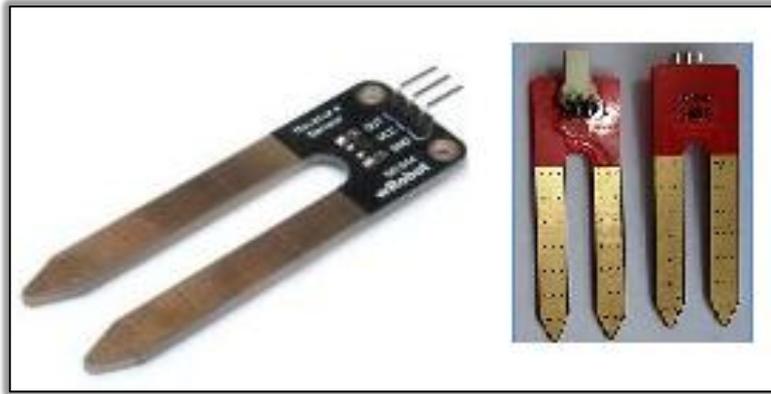


Figura 41. Sensor de humedad Merduino.

La imagen muestra un sensor tal como es entregado posterior a la compra, para evitar daños o corrosión en el elemento se aplicó una capa de pintura en esmalte roja.

Tabla 12.

Características sensor de humedad

Sensor de humedad Merduino

- Fuente de alimentación: 3,3 V o 5 V
 - Señal de voltaje de salida: 0 ~ 4.2v
 - Corriente: 35 mA
 - Pin definición:
 - Salida analógica
 - GND
 - Alimentación
 - Tamaño: 60x20x5mm
 - Final superficial: Oro de la inmersión
 - Rango de valores:
 - 0 ~ 300: suelo seco
 - 300 ~ 700: tierra húmeda
 - 700 ~ 950: en el agua
-

Nota: Características principales extraídas de la hoja de datos del sensor de humedad. Recuperado de: [http://www.dfrobot.com/wiki/index.php?title=Moisture_Sensor_\(SKU:SEN0114\)](http://www.dfrobot.com/wiki/index.php?title=Moisture_Sensor_(SKU:SEN0114))

3.2.1.3. Sensor de humedad relativa HONEYWELL HIH-4000-001

El sensor de humedad relativa HIH-4000-001 tiene buenas prestaciones como tamaño reducido y fácil uso. Este pequeño elemento proporciona una salida de tensión analógica que se puede conectar directamente a la entrada del ADC de cualquier microcontrolador. Figura 42.

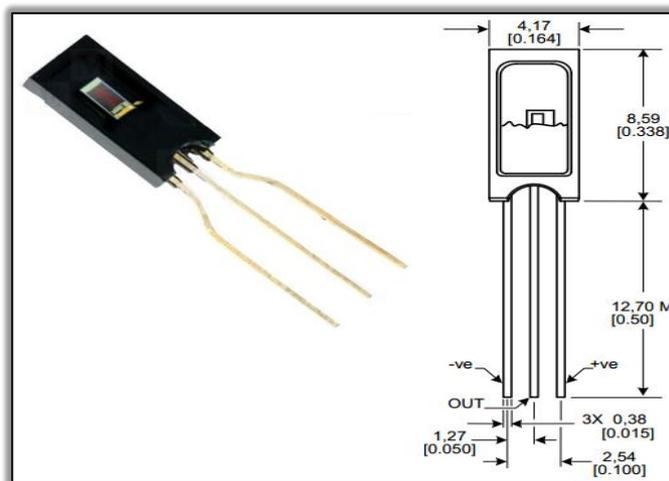


Figura 42. Sensor de Humedad Relativa HIH-400-001.

Recuperado de: <http://www.tme.eu/es/Document/e6db3bab38139fc9aad882160ef7c62e/HIH-4000.pdf>

Sus principales características se detallan en la Tabla 13.

Tabla 13

Sensor de humedad relativa HIH-4000-001

Sensor de humedad relativa HONEYWELL HIH-4000-001

- Tensión de alimentación de 4 a 5.8 VDC
 - Encapsulado SIP de 3 pines de 2.5mm de separación
 - Rango de medición de 0 a 100% de HR (Humedad relativa)
 - Temperatura de operación de -40 a 85°C
 - Linealidad de $\pm 0.5\%$ de HR.
 - 0.8 - 3.9VDC (0-100% HR) a $V_{cc}=5VDC$
-

Nota: Características principales extraídas de la hoja de datos del sensor de humedad relativa. Recuperado de: <http://www.tme.eu/es/Document/e6db3bab38139fc9aad882160ef7c62e/HIH-4000.pdf>

3.2.1.4. Sensor de luminosidad a base de una LDR¹⁵

La LDR es un pequeño elemento capaz de detectar el grado de luminosidad que incide sobre su superficie. Es económico y muy fácil de instalar. Su comportamiento es el de una resistencia que varía su valor de manera inversamente proporcional a la cantidad de luz que incide sobre su superficie sensible. Con la máxima luminosidad apenas hay resistencia eléctrica entre sus dos terminales, elevándose a muchos millones de ohmios en la oscuridad. La variación es puramente resistiva y carece de polaridad. (Véase Figura 43)

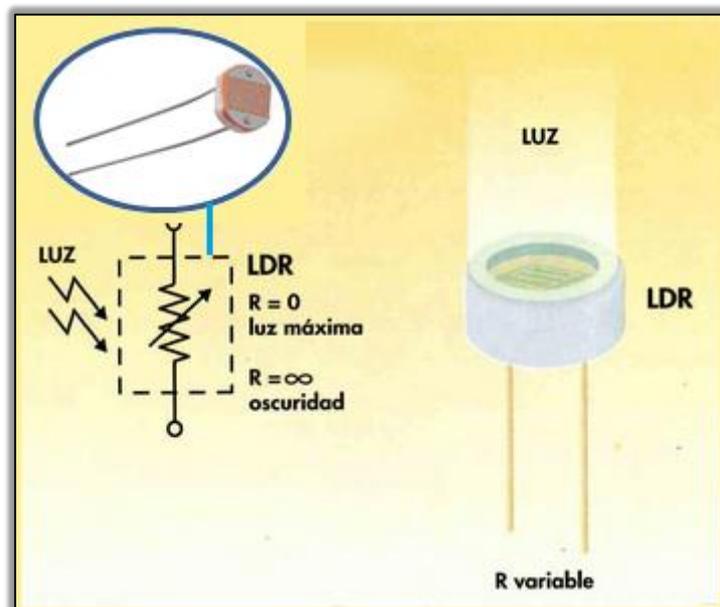


Figura 43. Resistencia LDR.

El circuito de adaptación eléctrica de una LDR es muy sencillo, consiste en un divisor de tensión. Se debe colocar una resistencia en serie para obtener una tensión de salida analógica proporcional a la luminosidad que incide sobre esta. (Véase Figura 44)

¹⁵ **LDR:** Light Dependent Resistor, o Resistor Dependiente de la Luz

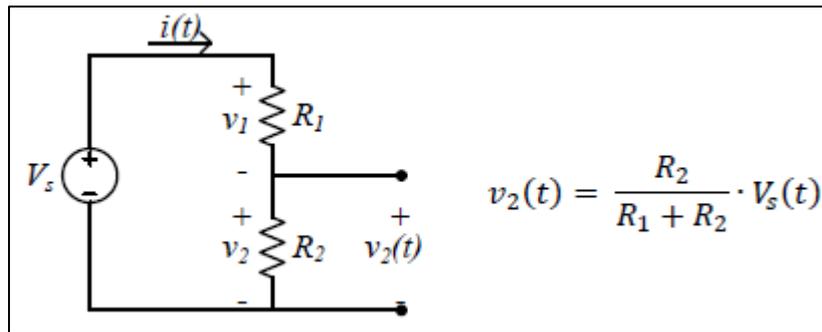


Figura 44. Circuito divisor de voltaje.

En la Figura 45 se muestra la configuración realizada para el sensor de luminosidad, en donde se observa la utilización de una LDR, una resistencia variable o trimer (10K) y las conexiones eléctricas básicas. Donde el voltaje de salida se entrega a un conversor análogo digital del microprocesador para su digitalización.

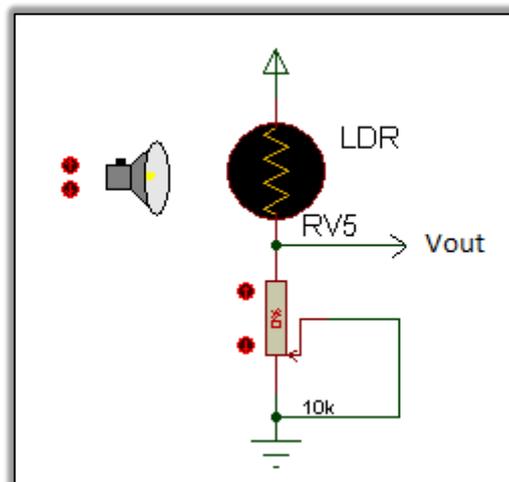


Figura 45. Diagrama esquemático conexión eléctrica LDR.

3.2.2. Proceso de transmisión de datos

3.2.2.1. Microcontrolador PIC18F2550

Para el desarrollo de la presente aplicación se ha seleccionado el microcontrolador PIC18F2550 tanto para los nodos sensores como para el nodo central. Posee las siguientes características:

- ✓ UART (Universal Asynchronous Receiver Transmitter), permite establecer la comunicación serial asincrónica entre: el microcontrolador y los módulos ZigBee.
- ✓ Módulo de conversión análoga/ digital (A/D), utilizado para procesar los datos analógicos obtenidos en el proceso.
- ✓ Módulos de entrada/salida digital, se usan para la lectura y escritura de estados digitales.

La familia de microcontroladores 18F de Microchip es de alto rendimiento, permite manejar comunicación USB por lo que presenta una estructura de osciladores flexible con alta precisión para la mencionada comunicación.

Soporta hasta 100.000 ciclos de Escritura/Borrado de la memoria Flash de programa, y 1.000.000 de ciclos de Escritura/Borrado para la memoria EEPROM con una retención de datos mayor a 40 años.

Este microcontrolador permite el manejo por niveles de prioridades de diversos tipos de interrupciones, permitiendo que las aplicaciones desarrolladas sobre este sean lo más óptimas posible.

3.2.2.1.1. Características generales

Las características generales de este microcontrolador se detallan en la Tabla 14.

Tabla 14
Características generales eléctricas PIC18F2550

Características PIC18F2550	
Nº de pines de encapsulamiento PDIP:	28
Puertos de entrada / salida:	A, B, C
No de entradas / salidas:	24
Memoria flash:	32Kbytes
Máximo número de instrucciones simples:	16384
Memoria SRAM:	2048 bytes
Memoria EEPROM:	256 bytes
Comunicación SPI, I2C :	SI
Compatible con USB v2.0:	SI
Número de temporizadores de 8 bits:	1
Número de temporizadores de 16 bits:	3
Característica Eléctricas	
Temperatura ambiente de trabajo:	-40°C a +85°C
Temperatura de almacenamiento:	-65°C a +150°C
Vdd:	4.2V a 5.5V
Corriente de entrada/salida a un pin:	± 20 mA
Corriente máx. de salida algún pin:	25 mA
Corriente máx. de salida de todos los puertos:	200 mA
Nota: <i>Características principales extraídas de la hoja de datos del PIC18F2550. Recuperado de: http://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/39632c.pdf</i>	

3.2.2.1.2. Diagrama de pines y funciones

El diagrama del microcontrolador muestra los pines con cada una de las funciones configurables, las cuales se configuran al inicio del programa. Figura 46.

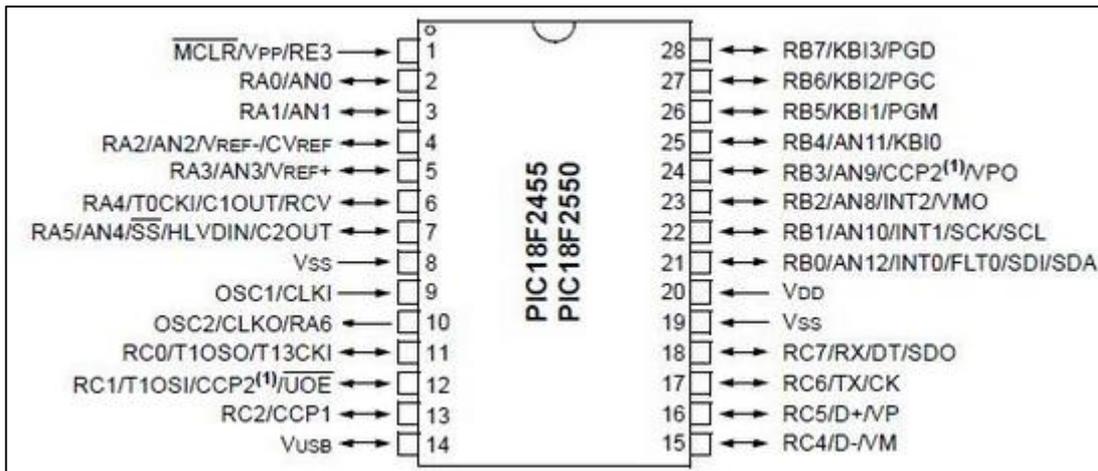


Figura 46. Diagrama pines y funciones microcontrolador PIC18F2550

Recuperado de: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/39632c.pdf>

A continuación en la Tablas 15, 16 y 17, se muestra la utilización de pines de los dispositivos de comunicación para la detección y transmisión de datos de cada uno de los nodos sensores.

Tabla 15

Pines y funciones del PIC18F2550 del Módulo Nodo Sensor 1

MÓDULO NODO SENSOR 1

PUERTO	FUNCIÓN		ESPECIFICACIÓN
	I/O	TIPO DE DATO	
RA0	INPUT	ANALÓGICO	Entrada del dato del voltaje suministrado.
RA1	INPUT	ANALÓGICO	Humedad relativa.
RA2	INPUT	ANALÓGICO	Humedad suelo 1.
RA3	INPUT	ANALÓGICO	Humedad suelo 2.
RA4	INPUT	ANALÓGICO	Luminosidad.
RC0	INPUT	DIGITAL	Sensor de temperatura 1Wire.
RC1	INPUT	DIGITAL	Sensor de temperatura 1Wire.
RC2	OUTPUT	DIGITAL	Encendido o apagado backlight.
RC6	OUTPUT	DIGITAL	Transmisión Modulo Zigbee.
RC7	INPUT	DIGITAL	Recepción Modulo Zigbee.

PUERTO B destinado a la conexión de los pines de la LCD

Tabla 16

Pines y funciones del PIC18F2550 del Módulo Nodo Sensor 2

MÓDULO NODO SENSOR 2			
PUERTO	FUNCIÓN		ESPECIFICACIÓN
	I/O	TIPO DE DATO	
RA0	INPUT	ANALÓGICO	Entrada dato del voltaje suministrado.
RA2	INPUT	ANALÓGICO	Humedad suelo 1.
RA3	INPUT	ANALÓGICO	Humedad suelo 2.
RC1	OUTPUT	DIGITAL	Encendido / apagado ventilador.
RC2	OUTPUT	DIGITAL	Encendido / apagado backlight.
RC6	OUTPUT	DIGITAL	Transmisión Modulo Zigbee.
RC7	INPUT	DIGITAL	Recepción Modulo Zigbee.

PUERTO B destinado a la conexión de los pines de la LCD

Tabla 17

Pines y funciones del PIC18F2550 del Módulo Nodo Central

MÓDULO NODO CENTRAL			
PUERTO	FUNCIÓN		ESPECIFICACIÓN
	I/O	TIPO DE DATO	
RA0	OUTPUT	DIGITAL	Visualizador led 1.
RA1	OUTPUT	DIGITAL	Visualizador led 2.
RA2	OUTPUT	DIGITAL	Salida bomba
RA3	OUTPUT	DIGITAL	Salida válvula.
RC6	INPUT	DIGITAL	Transmisión Modulo Zigbee.
RC7	OUTPUT	DIGITAL	Recepción Modulo Zigbee.
RC4	OUTPUT	DIGITAL	Transmisión USB
RC5	INPUT	DIGITAL	Transmisión USB

3.2.2.1.3. Configuración comunicación USART

El módulo USART puede ser configurado de dos maneras: asíncrona (bidireccional) y síncrona (direccional) en el caso específico de la presente aplicación se utiliza la primera.

Los bits de información en el modo síncrono se transmiten en ambos sentidos por la línea de datos DT a la frecuencia de los impulsos que genere el maestro por la línea de reloj CK.

En el modo asíncrono, se usa la norma RS232C, donde cada palabra de información o dato se envía independientemente de los demás, dicha palabra es de 8 o 9 bits y va precedida por un bit de START (inicio) y detrás de ellos se coloca un bit de STOP (parada). Los bits se transfieren a una frecuencia fija y normalizada. La USART transmite y recibe primero el bit menos significativo.

El USART se puede configurar en los siguientes modos:

- ✓ Asíncrono (full duplex)
- ✓ Síncrono – master (half duplex)
- ✓ Síncrono – slave (half duplex)

3.2.2.1.4. Configuración conversor analógico digital

El microcontrolador PIC18F2550 posee 10 pines configurables para este fin, la resolución es de 10 bits; para la operación requerida la señal analógica se aplica a un condensador de captura y retención (sample and hold) que luego se introduce en el conversor analógico / digital, este genera mediante aproximaciones sucesivas una palabra de 10 bits.

Los registros que se manejan para la conversión analógica / digital en el microcontrolador son:

- ✓ ADRESH/ADRESL: Parte alta y baja del resultado de la conversión.
- ✓ ADCON0: Registro de Control 0, que configura el funcionamiento del conversor.
- ✓ ADCON1, Registro de Control 1, que configura los pines del puerto A (o E) como entradas analógicas o E/S digitales.

3.2.2.2.5. Uso de interrupciones

El manejo de interrupciones se considera como una de las características más importante de los microcontroladores, tomando en cuenta que son un salto asincrónico en función a eventos que se realizan en tiempo real en el

microcontrolador; permitiendo que cesen las actividades que realiza y de paso a un suceso que se suscitó hasta encontrar la instrucción que permita abandonar la interrupción y volver al programa principal donde estaba y continuar ejecutándolo antes de producirse la interrupción.

Los microcontroladores 18F2550 tienen múltiples fuentes de interrupción y niveles de prioridad que cada una de estas puede asignar ya sea un nivel alto o bajo de ejecución. Las fuentes son las siguientes:

- ✓ Interrupción externa en el pin RB0/INT
- ✓ Cambio de nivel (estado) en los pines RB4 a RB7
- ✓ Finalización del temporizador/contador TMR0, TMR1 y TMR2
- ✓ Finalización de escritura en la EEPROM de datos
- ✓ Interrupción del módulo de capture/compare 1 y 2.
- ✓ Transmisión o recepción de un carácter por la interface serie sincrónica/asincrónica.
- ✓ Fin de conversión A/D.
- ✓ Lectura/escritura del puerto paralelo de comunicación con otros microcontroladores.

La configuración de las interrupciones se realiza en el registro INTCON¹⁶, mediante la escritura de los valores 1 o 0 en los bits respectivos del registro dependiendo de la interrupción.

REGISTRO INTCON							
GIE	PEIE	TOIE	INTE	RBIE	TOIF	INTF	RBIF

Figura 47. Estructura de registro INTCON.

Recuperado de: Fuente:
<http://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/39632c.pdf>

- ✓ GIE: Bit que habilita las interrupciones globales, con el valor de un 1.
- ✓ INTE: Habilita la interrupción por RB0/INT. con el valor de un 1.
- ✓ INTF: Bandera de la interrupción, se coloca automáticamente en 1 cuando se activa la interrupción y en 0 una vez que ha sido atendida.

¹⁶ **INTCON**: Interrupt Control Register

- ✓ RBIF: se genera por activarse la interrupción por cambio de estado en los pines RB4 a RB7.
- ✓ TOIE: Bit de habilitación de la interrupción por timer0.
- ✓ TOIF: indica si el Timer0 se ha desbordado.

La interrupción por recepción de un carácter por la interface serie asincrónica se produce cuando se ha recibido un carácter por la interfaz serie asincrónica y es empleada en el dispositivo transmisor/receptor de datos ya que la comunicación entre el microcontrolador y el módulo ZigBee es de tipo USART; de ésta manera nos aseguramos de que la información que se recibe inalámbricamente mediante los módulos ZigBee es prioritaria en el microcontrolador.

3.2.2.2. Módulo XBee PRO S1



Figura 48. Módulo XBee PRO S1.

El módulo radiofrecuencia empleado en los tres nodos de la red es el XBee PRO S1, puede verse en la Figura 48, es fabricado por MaxStream, trabaja en la banda de 2.4 GHz, 250 Kbps, cumple con el estándar IEE 802.15.4 (Zigbee) con un alcance de 90m en interiores (edificios de oficinas) y 1500m en exteriores (con línea de vista).

Esta es la versión Pro (de mayor potencia) del XBee. Este módulo es la serie # 1 posee un módulo inalámbrico de 60mW. Estos son mucho más poderosos que los módulos XBee normales y muy fáciles de ponerse en marcha.

Este módulo XBee PRO S1 es el medio de comunicación entre los nodos sensores y el nodo central, se conecta directamente a los pines Rx (recepción) y Tx (Transmisión) del microcontrolador e inmediatamente busca más dispositivos que se encuentren en su misma red para asociarse a ellos; el tiempo que tarda en realizar el proceso de asociación va entre 8 a 10 segundos. Tabla 18

Tabla 18

Características Módulo XBee PRO S1

Características Módulo XBee PRO S1
<ul style="list-style-type: none"> • Antena incorporada. • 3.3V a 215mA • 250kbps Max velocidad de datos • Salida de 60mW (+18 dBm) • Rango de 1 milla (1.500 metros) • Antena incorporada • 6 a 10-bit ADC pines de entrada • 128-bit de encriptación • Configuración local o por aire • AT o conjunto de API de comandos

Nota: Características principales extraídas de la hoja de datos del sensor del módulo ZigBee PRO S1. Recuperado de: <https://www.sparkfun.com/datasheets/Wireless/Zigbee/XBee-Datasheet.pdf>

3.2.2.3. Pantalla de Cristal Líquido

La pantalla de cristal líquido tiene la capacidad de mostrar cualquier caracter alfa-numérico. Figura 49.



Figura 49. Pantalla de cristal líquido.

Los módulos de los nodos sensores cuentan con una pantalla LCD de 2x8 (2 filas y 8), para la visualización de los datos captados por los sensores, además del voltaje que se le suministra a dicho nodo.

Se maneja a 4 bits, la información que recibe es de un largo de 8bits por lo que el microcontrolador divide la información y la envía de 4bits en 4 bits. Su ventaja radica en que se utilizan menos pines del microcontrolador.

Los datos que se visualizan en la LCD dependen de los sensores o actuadores conectados en los módulos. En las Tablas 19 y 20 se puede ver los mensajes presentados de acuerdo a cada nodo

Tabla 19

Mensajes LCD Nodo 1

Mensajes LCD Nodo 1	
Mensaje de Inicio:	Modulo 1
Voltaje:	VOLT
Luminosidad:	LUM
Humedad del suelo sensor 1:	HS1
Humedad del suelo sensor 2:	HS2
Humedad Relativa:	HR
Temperatura Ambiente:	TA
Temperatura del suelo1:	TS1

Tabla 20

Mensajes LCD Nodo 2

Mensajes LCD Nodo 2	
Mensaje de Inicio:	Modulo 2
Voltaje:	VOLT
Humedad del suelo sensor 3:	HS3
Humedad del suelo sensor 4:	HS4
Estado del ventilador:	OFF VENTILADOR ONN VENTILADOR

3.2.3. Procesamiento y almacenamiento de información

Para el procesamiento y almacenamiento de la información adquirida se usa una máquina de escritorio con las siguientes características relevantes: un procesador Pentium Dual- Core, memoria RAM de 2 GB, sistema operativo Windows de 32 bits. Figura 50.



Figura 50. Equipo utilizado para el almacenamiento de información.

En la computadora se encuentra la interfaz humano – maquina realizada en LABVIEW, además de la base de datos.

3.2.4. Proceso de respuesta

El proceso de respuesta abarca a los actuadores bomba, electroválvula y ventilador encargados de mantener las variables básicas (humedad del suelo y temperatura ambiental), dentro del parámetro de referencia establecido desde la interfaz de usuario.

3.2.5. Proceso de alimentación

Tanto la bomba y la electroválvula para su funcionamiento cuenta con las respectivas interfaces electromecánicas de potencia, que acondicionan el voltaje para suministrar solo el adecuado respecto a las condiciones de trabajo de dichos elementos, evitan que exista daños en estos por una subida o bajada de la tensión de ingreso.

Como ya se mencionó la caseta que alberga la bomba de riego y el invernadero cuentan con el suministro de energía eléctrica, permitiendo que los actuadores funcionen sin inconvenientes.

Para el funcionamiento de los nodos sensores estos deben tener una fuente de alimentación, de acuerdo al análisis del área de trabajo y tomando en cuenta el fundamento teórico recopilado de las redes WSN, estos pueden alimentarse por baterías en casos donde no haya acceso a una red de energía eléctrica; pero en el caso específico del presente proyecto al ser una red desarrollada para el invernadero de la granja Yuyucocha y tomando en cuenta que este tiene el servicio, se hace uso de las tomas de energía para suministrar a los nodos la alimentación adecuada mediante un regulador de voltaje.

3.3. DIAGRAMAS ESQUEMÁTICOS

3.3.1. Módulo nodo sensor 1

En el diagrama esquemático se muestran solo las conexiones de los principales elementos del nodo 1, este no usa reloj externo (oscilador) su configuración se realiza internamente. (Véase figura 51)

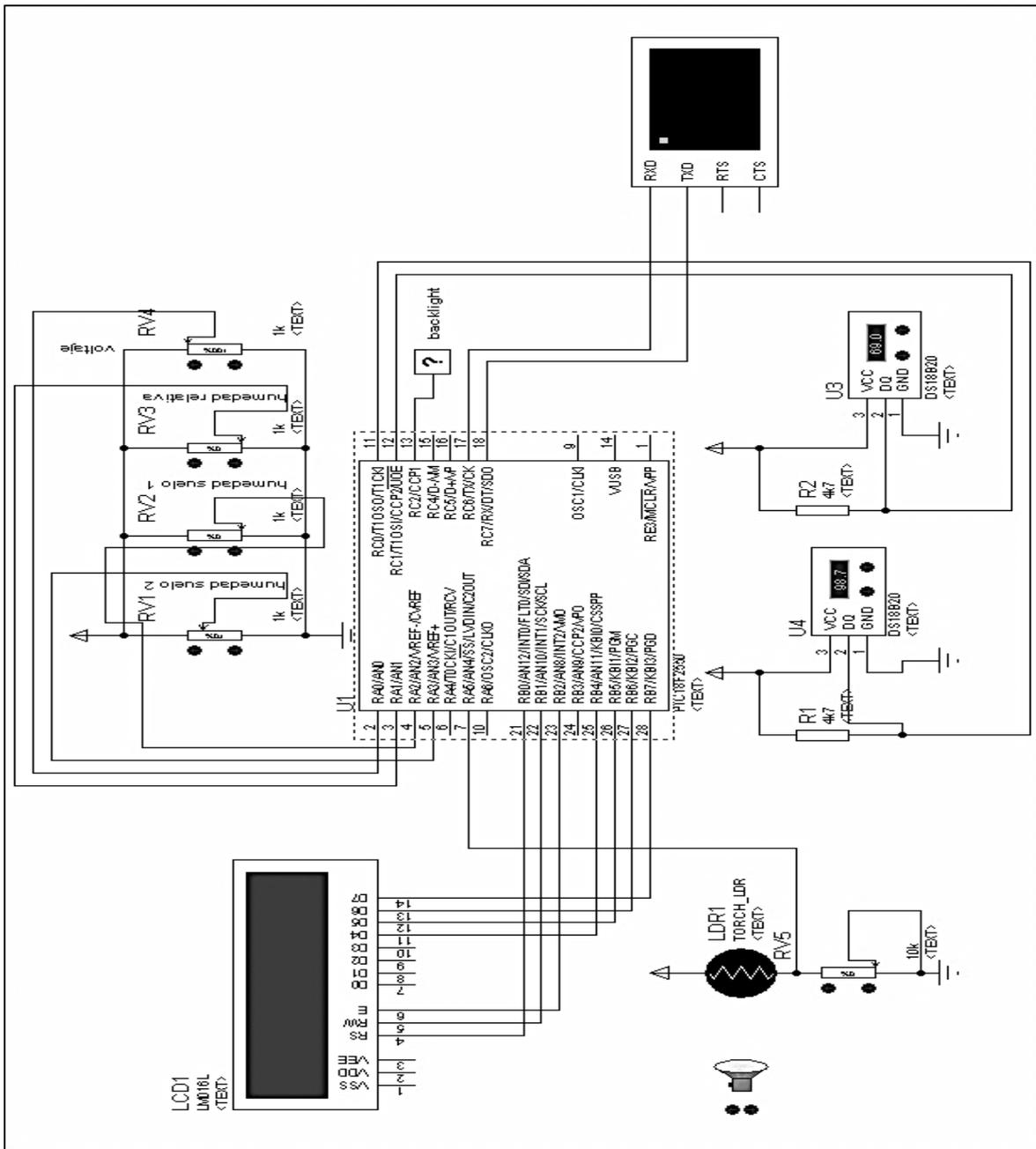


Figura 51. Diagrama esquemático Nodo 1

3.3.3. Módulo nodo central

En el diagrama del módulo central se indica la conexión USB y la conexión hacia el módulo ZigBee los demás elementos se detallan en el diseño de las placas de cada módulo. Figura 53.

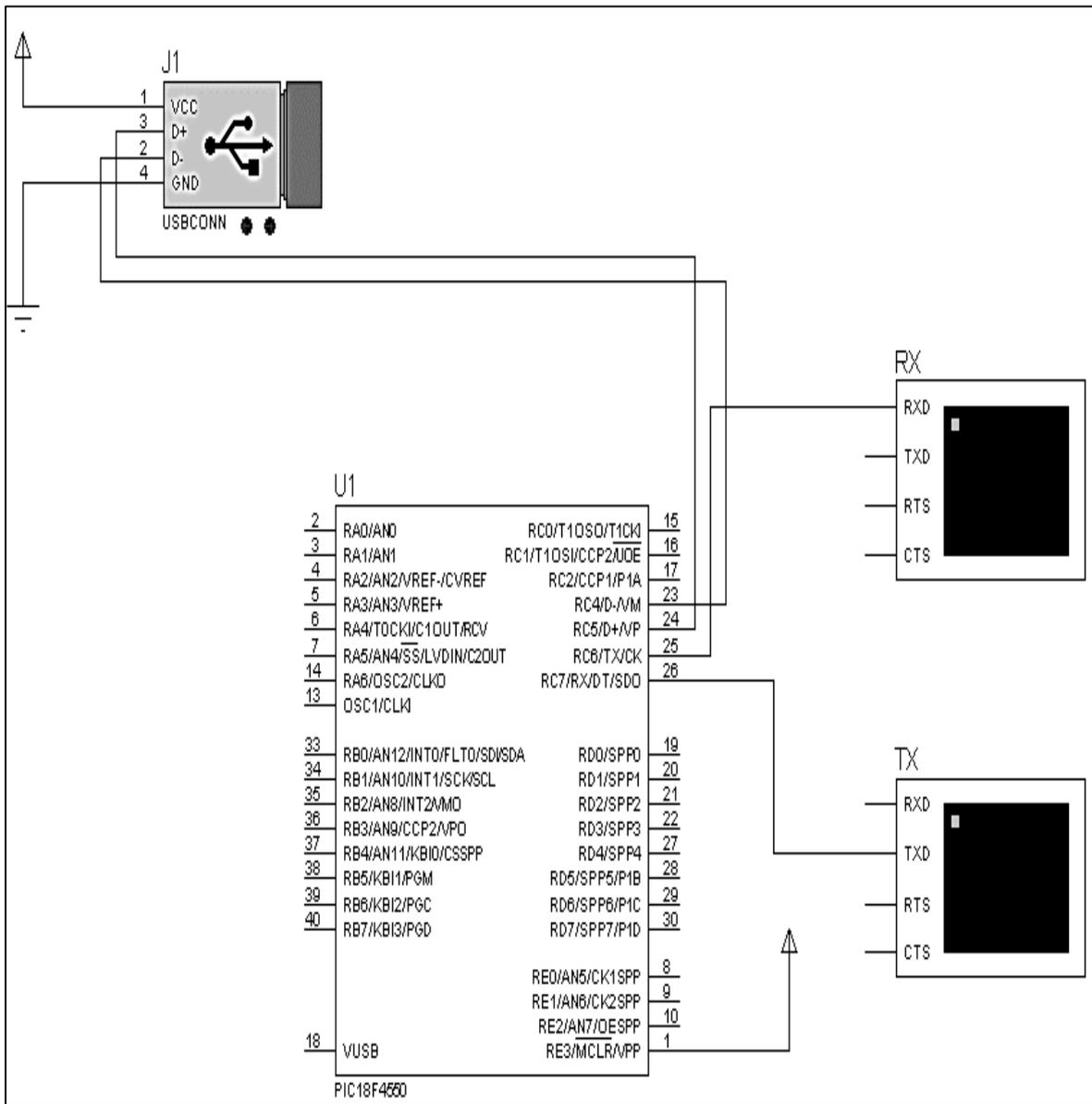


Figura 53. Diagrama módulo central.

3.4. DISEÑO DEL SOFTWARE

El software del microcontrolador se desarrolla en Lenguaje C, utilizando el compilador CCS, por ser práctico al poseer librerías y rutinas establecidas que permiten el manejo de módulos UART, interrupciones, Conversor Análogo Digital (CAD), LCD, USB Bulk, sensor DS18B20, One-Wire.

En los anexos se detallan las rutinas y librerías utilizadas para la implementación del programa.

3.4.1. Diagramas de flujo

La función principal radica en la transmisión y recepción de los datos generados por los nodos sensores 1 y 2, los que realizan la lectura de los sensores análogos y digitales, para el posterior envío de los datos en el formato adecuado. De la misma manera se queda en espera de los datos que envíe el nodo central mediante la interrupción serial. Así mismo se encuentra en espera de la recepción de los datos enviados por el otro dispositivo mediante una interrupción serial.

Cada uno de los módulos sensores (sus módulos zigbee), poseen una dirección preestablecida para permitir la comunicación entre estos y el nodo central que se les proporciona en el momento de la configuración inicial y queda preestablecida para su trabajo.

- ✓ **Módulo Zigbee NODO 1:** 0013A2004091AF63
- ✓ **Módulo Zigbee NODO 2:** 0013A2004091AF80
- ✓ **Módulo Zigbee Central (Bridge):** 0013A2004091AF608E

Para la comunicación cada nodo tiene una identificación establecida para conocer el estado de encendido o apagado de los elementos el Nodo 1 será conocido como "A" y el Nodo 2 será "B", la trama asignada tendrá cuatro bits en estado cero para apagado y uno para encendido:

0	0	0	0
backligh	ventilador	bomba	válvula

Figura 54. Trama Nodo 2.

Para el manejo de los datos generados en el proceso se desarrolla una trama de información, en la que cada dato se envía con un caracter identificador de inicio, seguido del dato y luego el caracter que identifica el final, a continuación se observa un ejemplo de la transmisión y recepción del Nodo 1:

NODO 1 TRANSMISIÓN

A	0	9	5	B	0	9	8	5	C	0	9	9	D	1	0	0	E	0	2	5	3	F	0	6	5	3	G	0	9	9	H	0	\$
Alimentación : 9,5 V				Humedad Relattiva: 98,5%				Humedad suelo 1: 99%				Humedad suelo 2: 100%				Temperatura ambiente: 25,3°C				Temperatura del suelo: 65,3 °C				Luminosidad: 99%				Backligh	Fin trama				

Figura 55. Trama de transmisión Nodo 1.

Backlight:

- ✓ 0 : backlight OFF
- ✓ 1: backlight ON

NODO 1 RECEPCIÓN

0	&	1	&
Apagar backlight		Encender backlight	

Figura 56. Trama de recepción Nodo1.

NODO 2 TRANSMISIÓN

I	1	2	3	J	0	9	8	K	0	5	3	L	0	M	0	\$
Alimentación: 12,3 V				Humedad suelo3: 98%				Humedad suelo 4: 53%				Ventilador: 0/1		Backlight: 0/1		Fin trama

Figura 57. Trama de transmisión Nodo2.

NODO 2 RECEPCIÓN

0	0	&
Backlight	Ventilador	Fin trama

Figura 58. Trama de recepción Nodo 2.

La separación de los datos de cada trama se realiza en un orden alfabético empezando por la A desde el nodo 1 y terminando en la M con los datos del nodo dos.

A continuación se presentan los diagramas de flujo de los programas de los módulos sensor 1 y 2; y, módulo central que se implementan en los microcontroladores.

✚ DIAGRAMA DE FLUJO NODOS SENSORES

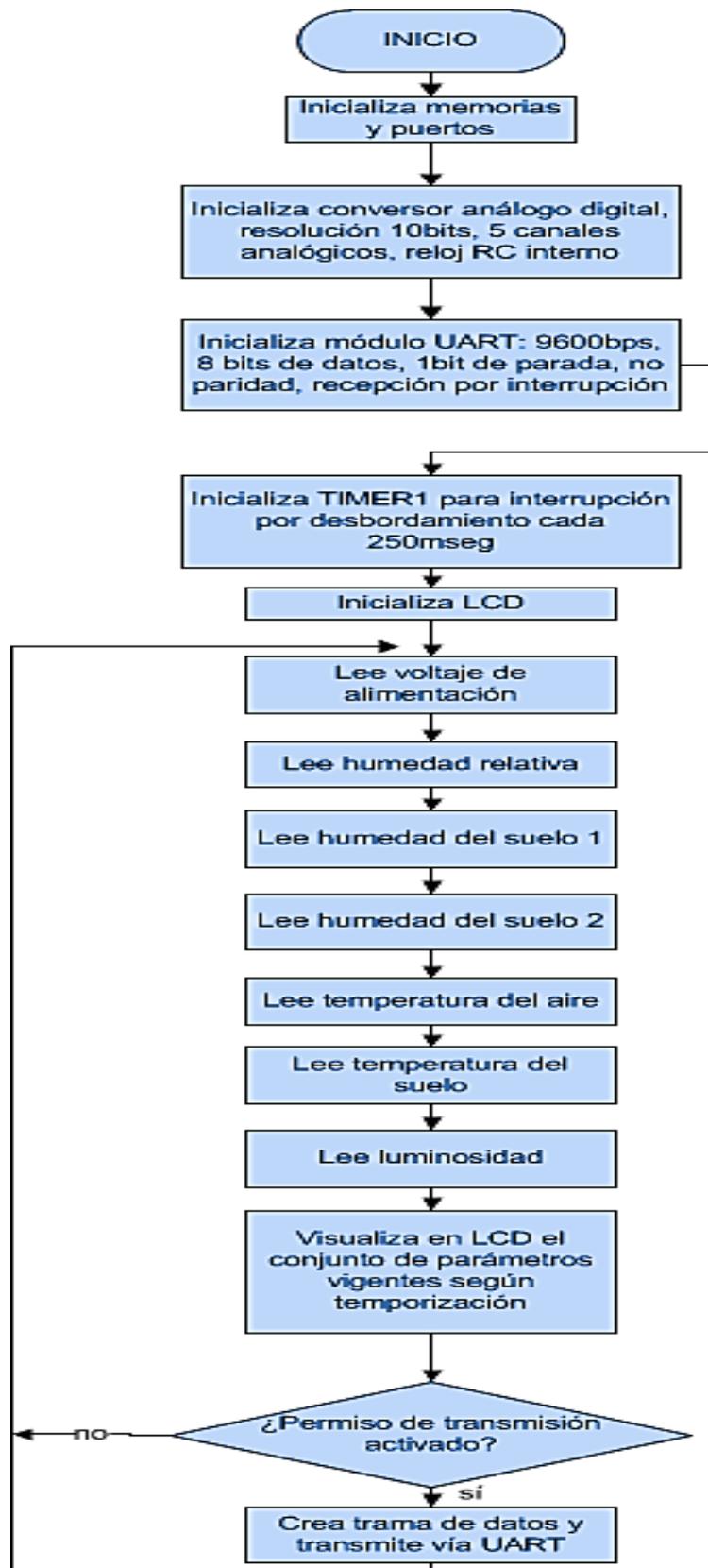
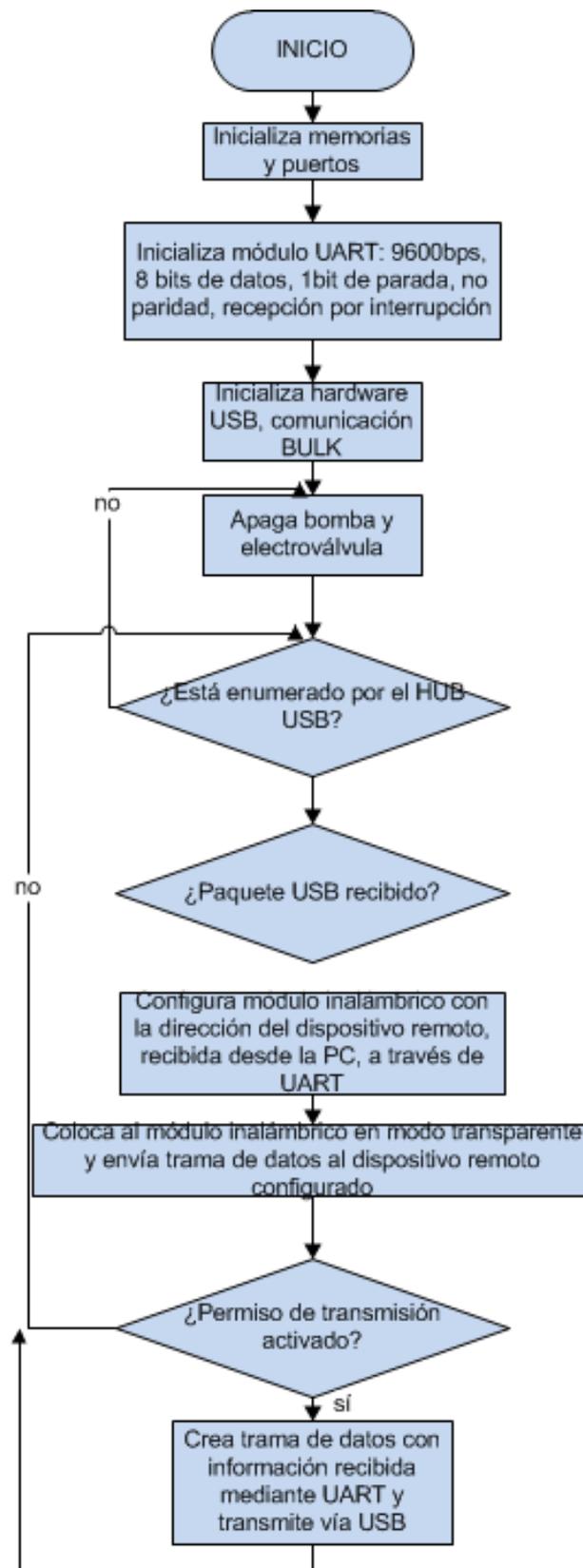
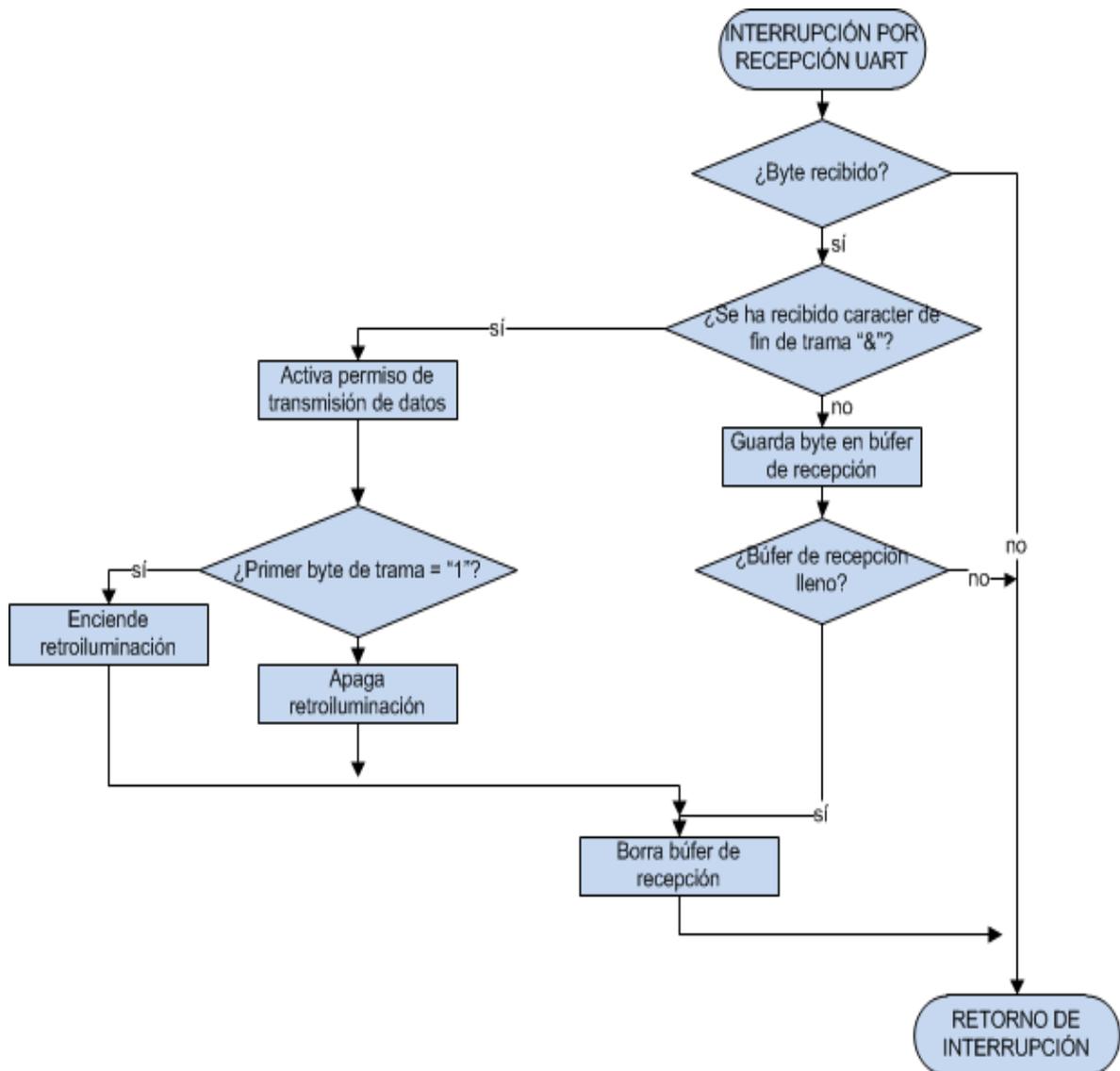


DIAGRAMA DE FLUJO NODO CENTRAL



✚ DIAGRAMA DE FLUJO INTERRUPCIÓN UART NODO 1

✚ DIAGRAMA DE FLUJO INTERRUPCIÓN UART NODO 2

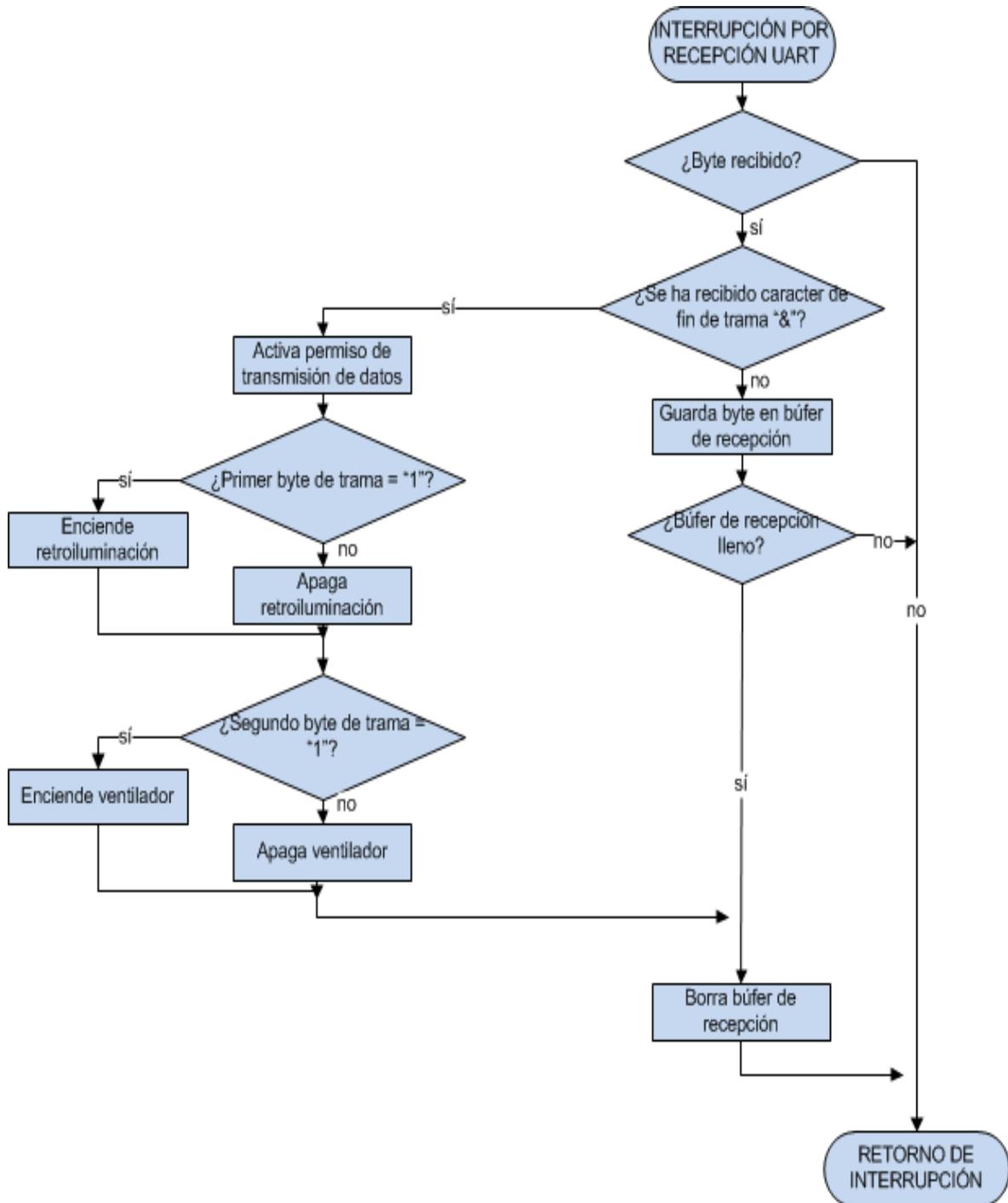


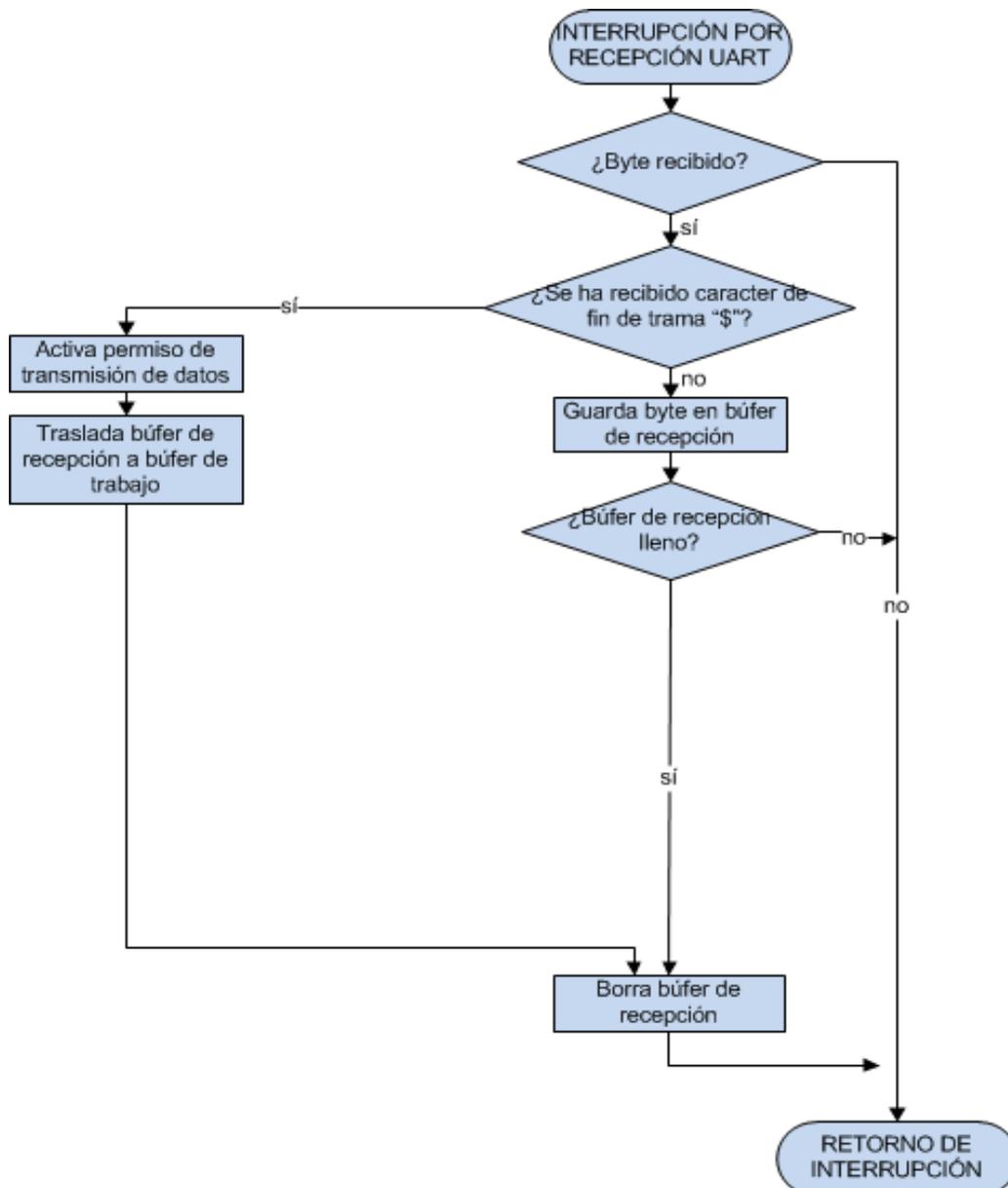
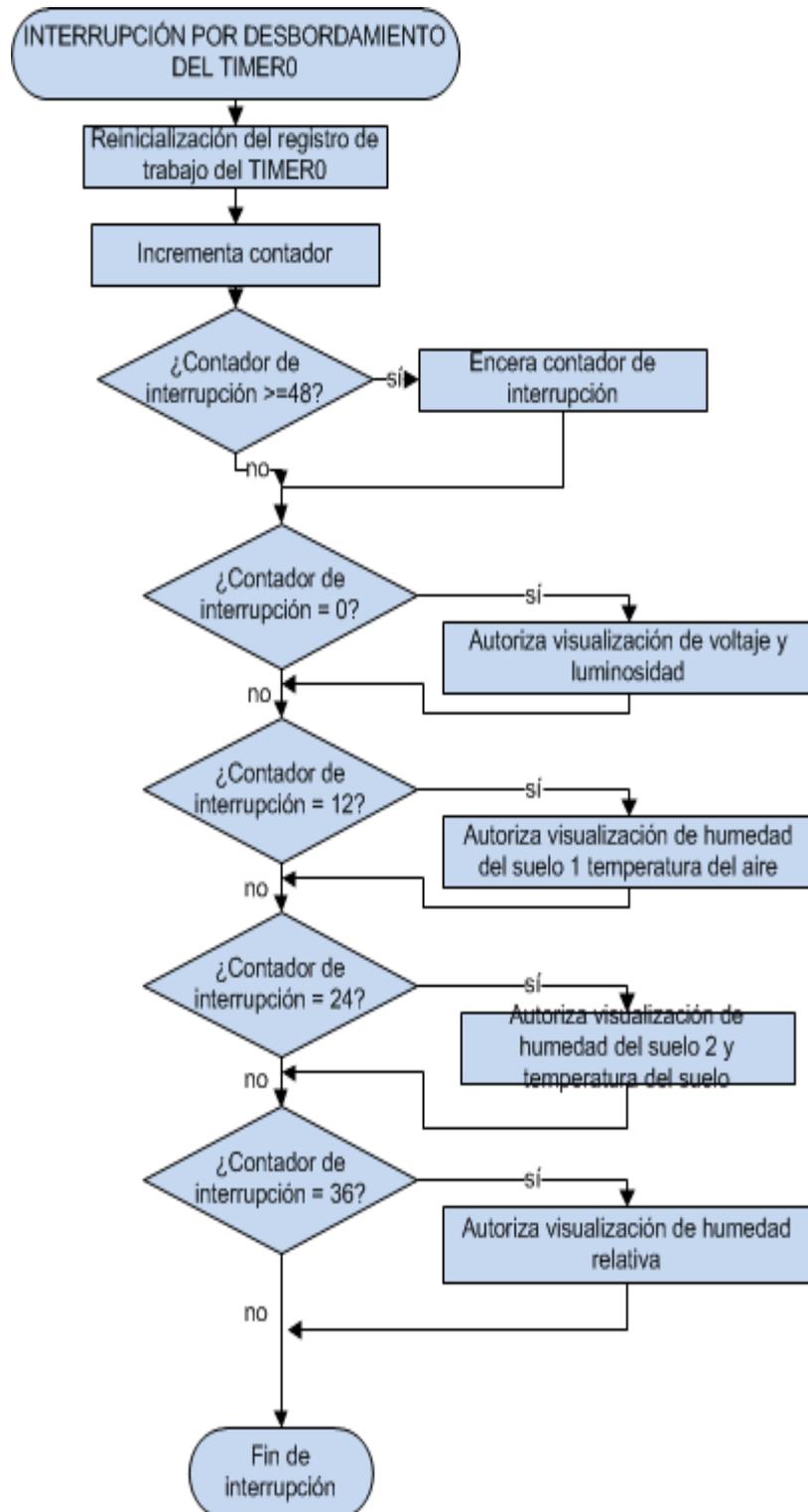
DIAGRAMA DE FLUJO INTERRUPCIÓN UART

DIAGRAMA DE FLUJO INTERRUPCIÓN POR DESBORDAMIENTO TIMER 0



3.4.2. Interfaz gráfica

La interfaz gráfica se desarrolló utilizando LABVIEW, tomando en cuenta los parámetros esenciales a ser visualizados, tratando de que sea amigable con el usuario y fácil de manejar. En los anexos se indican la programación de la interfaz. Figura 59.

3.4.2.1. Pantalla de visualización

La interfaz permite que el usuario observe los datos que son enviados desde los nodos sensores, además visualiza mediante gráficas cual es el comportamiento a través del tiempo de cada uno de ellos.

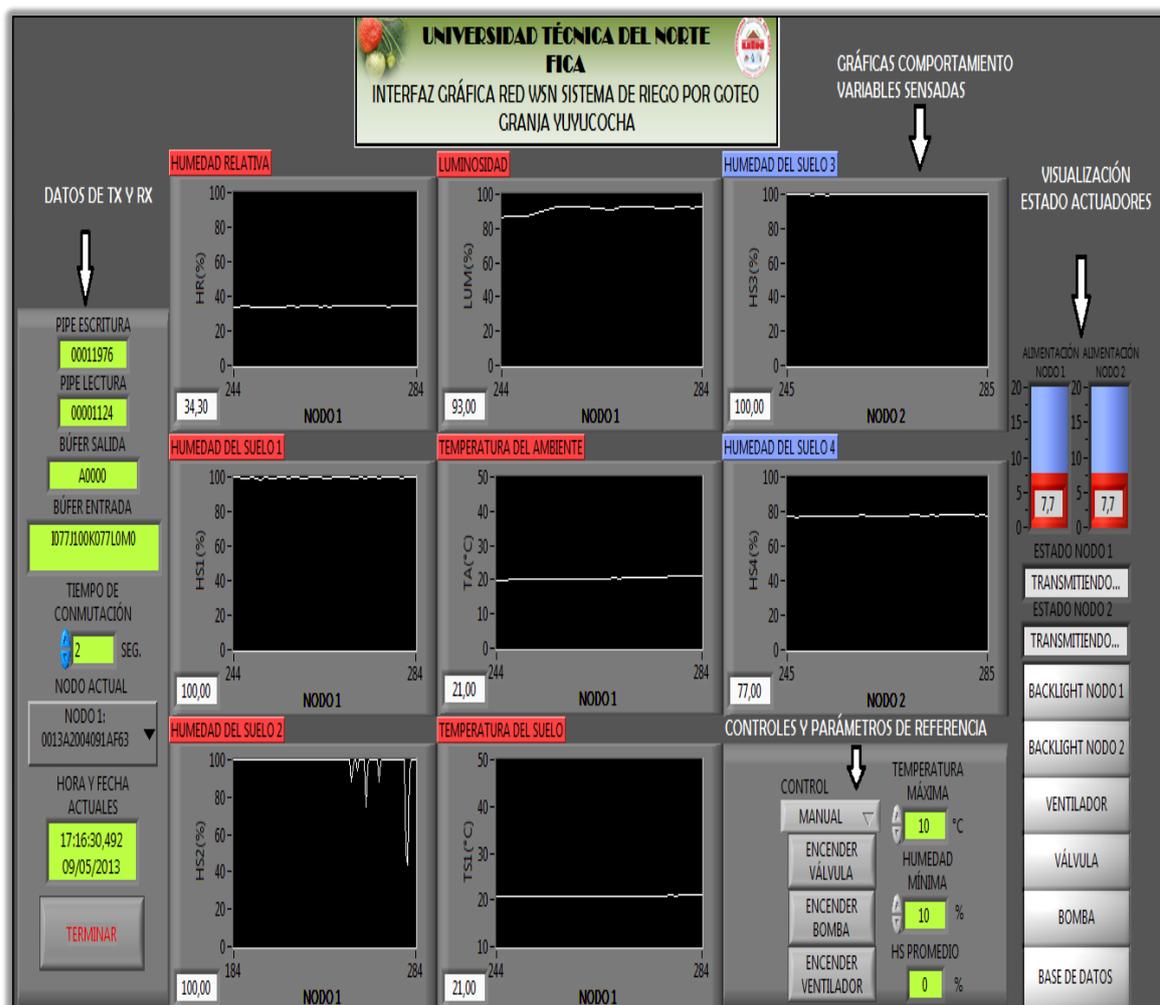


Figura 59. Pantalla de la interfaz gráfica.

- ❖ **Pipes:** Los Pipe de escritura y lectura indican los canales virtuales de comunicación de USB Bulk mediante los que se escribe o se lee un dato. Figura 60.

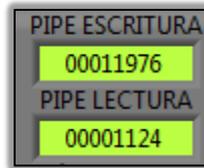


Figura 60. Pipe de escritura y lectura.

- ❖ **Buffers:** Los búfer de entrada y salida indican los datos que envían los nodos sensores al módulo central y viceversa. Como se indica en la Figura 61.

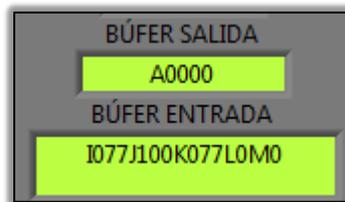


Figura 61. Búfer de entrada y salida.

- ❖ **Tiempo de conmutación:** El tiempo de conmutación especifica el tiempo de enlace del nodo central con cada nodo sensor. El tiempo en el que se basa la interfaz es el tiempo de la computadora, por lo cual se debe verificar que tanto la fecha como la hora sean las adecuadas para no tener problemas e la grabación en la base de datos. Figura 62.

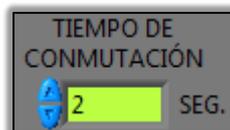


Figura 62. Tiempo de conmutación.

- ❖ **Indicador de nodo:** El visualizado nodo actual indica cual es el módulo que está transmitiendo, ya sea nodo sensor 1 o nodo sensor 2. La Figura 63 muestra al Nodo 1.

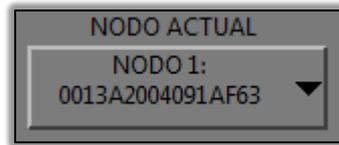


Figura 63. Nodo actual

- ❖ **Control automático:** La interfaz está provista de dos controles uno es automático y funciona de acuerdo a los valores de temperatura máxima y humedad mínima ingresados por el usuario los que se comparan con los datos sensados. Cuando se está en este modo de control no podemos encender por nuestra cuenta la válvula, la bomba o el ventilador por que se desactivan los botones de dichas acciones tal como se muestra en la Figura 64.

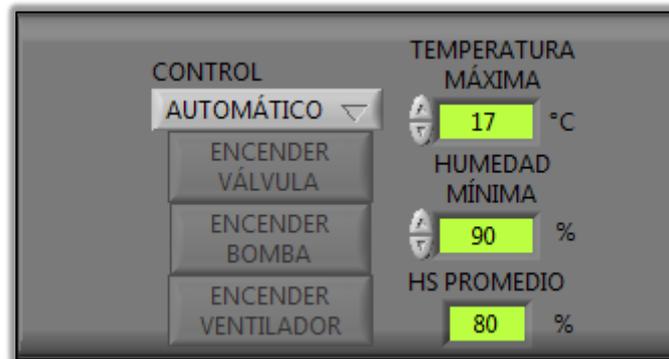


Figura 64. Control automático.

- ❖ **Control manual:** En el caso del control manual independientemente de los datos sensados el usuario puede encender la válvula, la bomba o el ventilador en el momento que él lo decida. Los botones de los actuadores siempre están activos como se indica en la Figura 65.

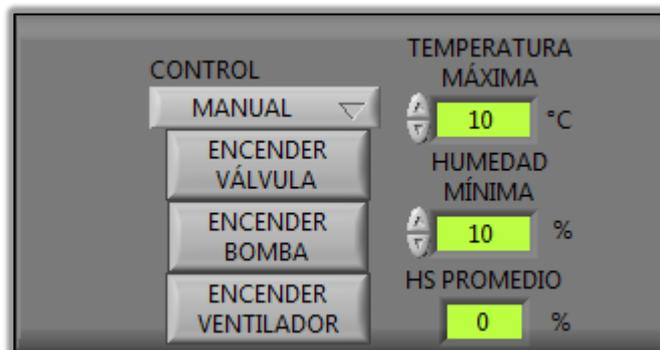


Figura 65. Control manual.

- ❖ **Pantallas de graficación:** Los datos adquiridos de los nodos sensores se grafican mediante pantallas en donde se indica su comportamiento de acuerdo al paso del tiempo. En la Figura 66 se indica el comportamiento de luminosidad conforme al paso del tiempo.

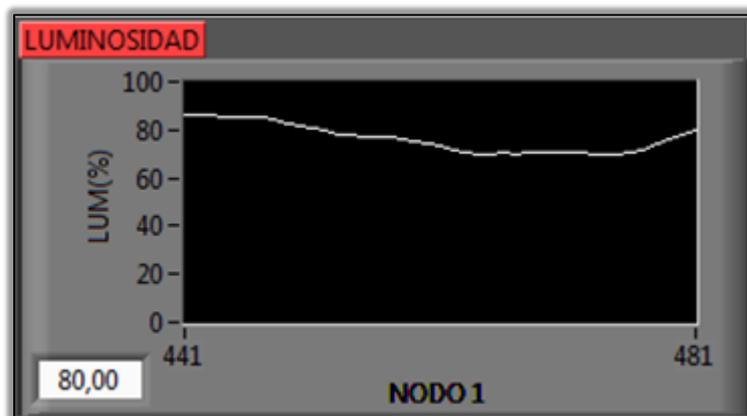


Figura 66. Gráfica del comportamiento de los datos sensados.

- ❖ **Alimentación nodos sensores:** El estado de alimentación de los nodos, voltaje suministrado, se puede observar tal como se muestra en la Figura 67.

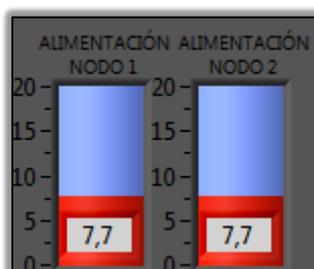


Figura 67. Voltaje suministrado a los nodos sensores.

- ❖ **Estado de transmisión:** También mediante la interfaz se puede observar si los nodos sensores están transmitiendo o no los datos sensados permitiendo así realizar una acción para corregir el daño. Figura 68.

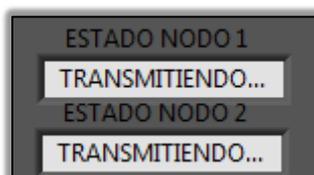


Figura 68. Estado de los nodos sensores.

3.4.2.2. Base de datos

La base de datos está realizada en Microsoft Access 2010 debido a que los encargados de operar el sistema tienen los conocimientos necesarios acerca de este programa.

Los datos de la base se graban a partir de los obtenidos por la interfaz gráfica los mismos que sirven de gran ayuda en el desarrollo estadístico del comportamiento del cultivo a los estudiantes de la carrera de agropecuaria. Figura 69.

HISTORICO_SENSORES							
FECHA	HORA	ALIMENTAC	ALIMENTAC	HUMEDAD_I	LUMINOSID	TEMPERATU	
16/05/2013	15:59:59	7,7	7,7	13	100	33,3	
16/05/2013	16:14:59	7,7	7,7	14,4	100	30,6	
16/05/2013	16:29:59	7,7	7,7	14,5	100	31,4	
16/05/2013	16:44:59	7,7	7,7	14,8	100	30,4	
16/05/2013	16:59:59	7,7	7,7	16,6	83	27,7	
16/05/2013	17:14:59	7,7	7,7	18	96	26,3	

Figura 69. Datos almacenados en la base de datos.

CAPÍTULO IV

IMPLEMENTACIÓN DE LA RED WSN Y PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO

4.1. INTRODUCCIÓN

En este capítulo se detallan todos los pasos seguidos para el ensamblaje, instalación y pruebas de la red WSN. Proceso necesario para comprobar el adecuado funcionamiento del proyecto planteado.

4.2. ENSAMBLAJE DE DISPOSITIVOS

4.2.1. Ensamblaje módulo central

El primer módulo, nodo central, consta de una sola placa mostrada en la Figura 70. Está alimentada mediante un transformador, colocado en la caseta de distribución con sus respectivas protecciones.

Este módulo permite la recepción y envío de datos, desde y hacia los nodos sensores. Además transmite los datos receptados a la interfaz gráfica y a la base de datos para ser procesados y almacenados. Los elementos esenciales de esta placa son el módulo Zigbee y el PIC18F2550. El ensamblaje de los elementos se realizó como se indica en los Anexos G y H, siguiendo la distribución de las placas diseñadas.

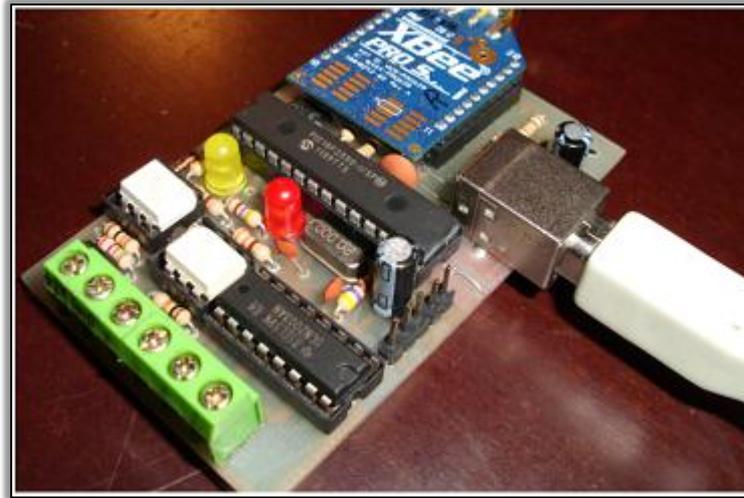


Figura 70. Módulo central.

4.2.2. Ensamblaje módulo 1

El módulo sensor 1 consta de una placa, mostrada en la Figura 71, que tiene las salidas necesarias para conectar los sensores previstos de: humedad del suelo, temperatura del suelo, temperatura ambiental, luminosidad y humedad relativa, la placa tiene un adaptador para conectar ya sea un es alimentada por un acondicionador de señales eléctricas o una batería dependiendo de las necesidades de los usuarios. Además contiene los sócalos respectivos para colocar el módulo XBee y el PIC18F2550. A este módulo se le ha añadido una pantalla LCD para visualizar los datos locales.

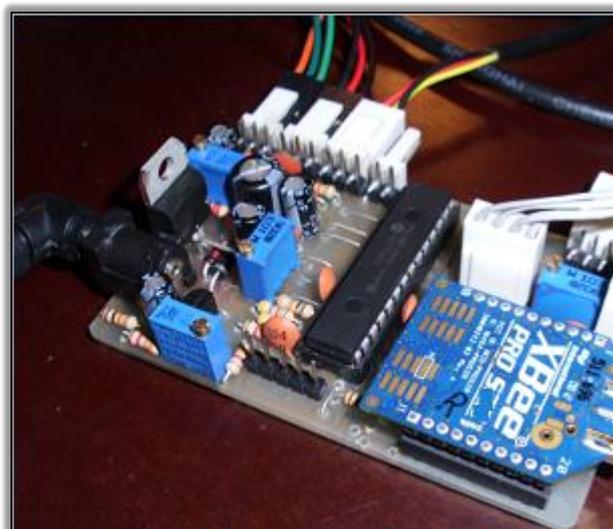


Figura 71. Modulo nodo sensor 1.

4.2.3. Ensamblaje módulo 2

El módulo dos al igual que el uno, se alimenta mediante un transformador o batería, está provisto de una pantalla LCD para visualizar los datos sensados. Además tiene adaptados conectores para dos sensores de humedad del suelo y para conectar un relé para la activación del ventilador. Figura 72.

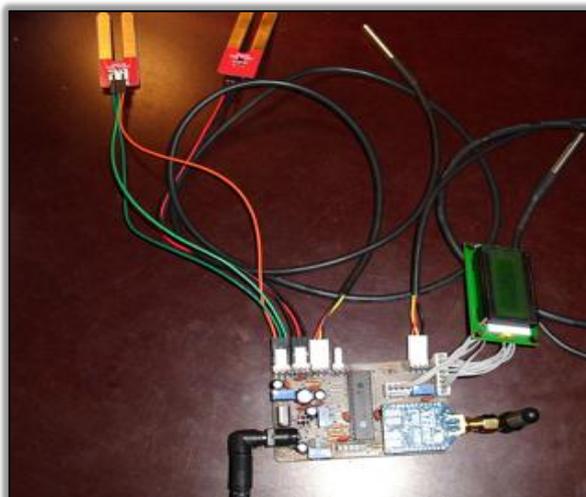


Figura 72. Módulo nodo sensor 2.

4.2.4. Protección para los módulos

Para evitar posibles daños en los elementos de las placas por el ambiente en el que debe permanecer los módulos, se adaptaron cajas para cubrirlos, dejando todos los orificios necesarios para poder conectar los sensores, fuente de alimentación, salida de la antena del módulo ZigBee y visualización de la pantalla LCD. El diseño de la caja protectora se observa en la Figura 73.



Figura 73. Caja de almacenamiento placas nodos sensores.

En el nodo central se dejó cuatro orificios uno para la conexión del cable USB, salida de la antena del módulo ZigBee, fuente de alimentación y otro para visualizar un monitor lógico. El diseño de la caja se lo observa en la Figura 74.

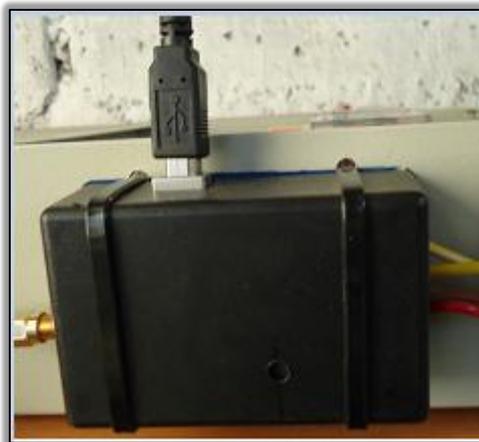


Figura 74. Caja de almacenamiento nodo central.

4.3. INSTALACIÓN MÓDULOS RED WSN

Una vez realizado el ensamblaje de cada módulo se debe instalar todo el sistema con sus respectivas protecciones, como fusibles y breakers, además de los transformadores para la válvula, electroválvula y nodo central. Como se indica en la Figura 75.



Figura 75. Protecciones del sistema.

4.3.1. Módulos Sensores

Los módulos uno y dos se instalaron uno en cada platabanda, ubicando los sensores en las partes más adecuadas para lograr un correcto sensado. Estos fueron sobrepuestos en bases metálicas a 60 cm del suelo para evitar el contacto directo con la humedad y evitar daños en sus componentes.

Los nodos sensores se encuentran ubicados cada uno a 4 m con respecto al nivel de la puerta de ingreso, para facilitar la distribución de los sensores con cada una de sus sondas.

- ✓ Las antenas de los módulos se colocaron en dirección al nodo central para evitar pérdidas de la señal. Figura 76.



Figura 76. Dirección de antena módulos sensores.

- ✓ Los sensores de humedad del suelo se ubicaron a 30 cm de la superficie tomando en cuenta que es el área sugerida para la toma de datos en una planta de fresa. En la Figura 77 se puede observar el momento previo a introducir totalmente el sensor en el sustrato.



Figura 77. Colocación sensor de temperatura.

- ✓ El sensor de luminosidad se ubicó en una zona alta del invernadero para que capte el cambio de luminosidad en el interior del mismo. Figura 78.

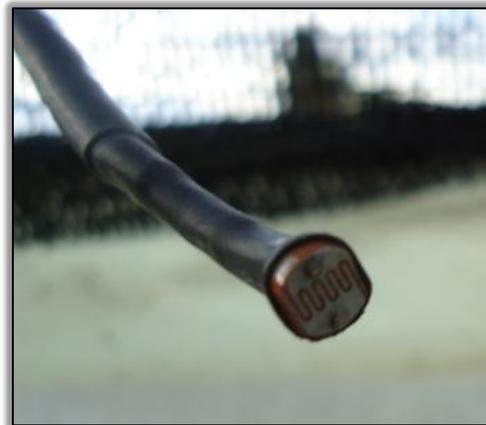


Figura 78. Colocación sensor se luminosidad.

- ✓ El sensor de temperatura ambiental se ubicó en una zona central para lograr captar de mejor manera los datos. Figura 79.



Figura 79. Colocación sensor de temperatura ambiental.

- ✓ El sensor de temperatura del suelo se colocó en el sustrato de las platabandas bajo el recubrimiento de plástico.
- ✓ Cada nodo sensor cuenta con su respectiva señalización señalando su nombre como se indica en la Figura 80.



Figura 80. Señalización módulos sensores.

4.3.2. Módulo Central

El módulo central se instaló en la caseta de distribución del sistema de riego, está sujeto a la caja de protección del sistema como se indica en la Figura 81.



Figura 81. Instalación módulo central.

El módulo se encuentra sobre la computadora que alberga la interfaz gráfica y la base de datos. La disposición de los equipos se muestra en la Figura 82.



Figura 82. Ubicación del módulo central con respecto a la computadora.

El software para el manejo de la interfaz gráfica se lo desarrolló directamente en la computadora.

4.4. PRUEBAS

Las pruebas realizadas en el presente proyecto fueron establecidas de acuerdo a los alcances planteados. Se centra en verificar que es posible optimizar el uso del agua en el cultivo de fresas.

Los sensores fueron sometidos a ciertas pruebas de manera individual para lograr su correcto funcionamiento.

4.4.1. Sensores de humedad

Para lograr el adecuado funcionamiento de este tipo de sensores se calibraron antes de iniciar su trabajo. Se tomó como referencia un vaso de agua que para este caso representa el 100% de humedad y un vaso de tierra totalmente seca para indicar un valor de 0 % de humedad. Se tomó como referencia el porcentaje debido

a que es la unidad mayormente manejada en el medio para indicar la cantidad de agua contenida en un área de suelo.

Para la ubicación de los sensores se tomó en cuenta la sugerencia de los expertos citados en el marco teórico de que las raíces de la fresa absorben 30cm bajo la superficie del suelo por lo que los sensores deben ubicarse en esa área para lograr una buena lectura de la humedad.

- ❖ La primera prueba del sensor se realizó colocándolo de manera superficial en la capa del sustrato de la platabanda, el área previa a sensar, fue regada con una mínima cantidad de agua que aparenta que el sector está completamente húmedo (método visual) como se muestra en la Figura 83.



Figura 83. Prueba 1 sensor de humedad del suelo.

De antemano se conoce que el lugar está seco por tal motivo el sensor solo capta la parte superficial del sustrato evitando que el cultivo reciba una mayor cantidad de agua necesaria para su crecimiento, debido a los datos erróneos captados.

- ❖ La segunda prueba se realizó posterior a humedecer de manera total el área de trabajo y esperar a que por efecto de la temperatura y la incidencia del

sol seque una primera capa del suelo en la que se colocó el sensor este arrojó datos verdaderos pero que no concuerdan con la realidad ya que sensó solo el área donde fue colocado.

Estos problemas son los que se producen debido a la utilización de métodos visuales para el suministro de agua.

Posterior a las pruebas se determinó que es adecuado colocar los sensores a 30 cm para cumplir con las necesidades de la planta.

4.4.2. Sensores de temperatura

Para determinar si los sensores de temperatura ambiental y temperatura del suelo se compararon con un termómetro utilizado en los cultivos florícolas como se muestra en la Figura 84. Determinando una variación 0.2 grados.

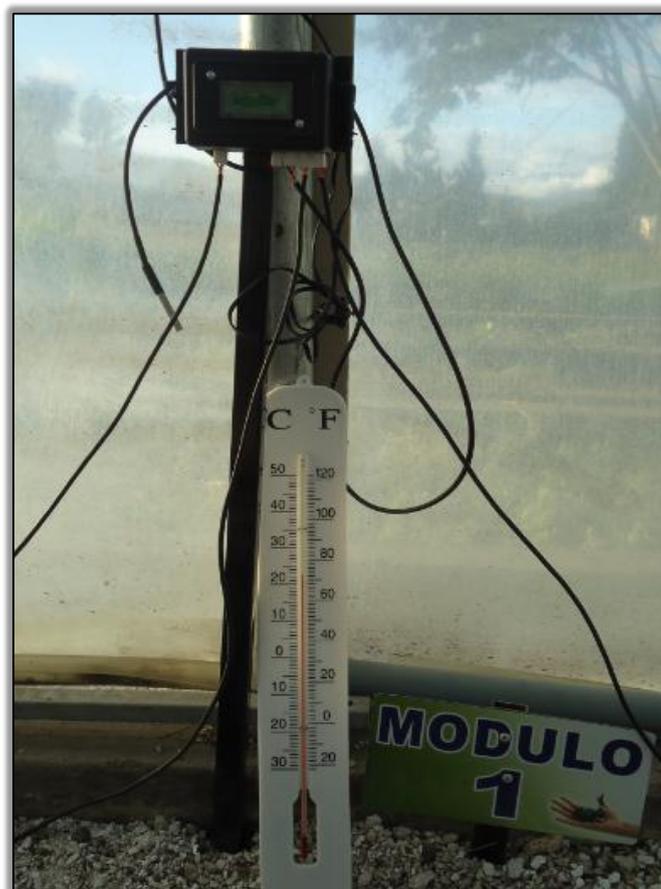


Figura 84. Prueba sensores de temperatura.

4.4.3. Sensor de luminosidad

La calibración del sensor de luminosidad fue realizada tomando como parámetro de referencia la obscuridad total para representar un 0% de luminosidad y la incidencia directa de luz como el 100% de luminosidad. El sensor fue probado directamente en el interior del invernadero logrando excelentes resultados comprobados al momento del encendido de la backlight (luz de fondo) en la pantalla LCD, cuando disminuye la luminosidad, permitiendo al usuario visualizar los datos en las horas de la noche.

4.4.4. Sistema instalado

Ya instalado el sistema se debe verificar su correcto funcionamiento con todos los sensores en conjunto, la transmisión y recepción de datos, la interfaz gráfica, actuadores y el almacenamiento de datos. Las Figuras 85 y 86 muestran los módulos instalados.



Figura 85. Módulo sensor 1 instalado.



Figura 86. Módulo sensor 2 instalado.

Los sensores instalados muestran los datos adquiridos en la pantalla LCD pudiendo así comprobar si los datos receptados en los módulos sensores son los mismos que los visualizados mediante la interfaz gráfica, además se puede comprobar que las acciones de los actuadores se realizan conforme a los parámetros establecidos.

Al iniciar la interfaz gráfica o el momento de energizar los nodos sensores se debe verificar que se realice la conexión necesaria como se indica en la Figura 87.



Figura 87. Estado de los nodos sensores.

Para lograr una adecuada conexión de los nodos fue necesario adecuar una antena que salga del nodo central y se la coloque en el exterior de la caseta para eludir los obstáculos que se encuentran entre esta y el invernadero.

Con el paso anterior se logró una conectividad excelente donde los datos se transmiten de manera idónea.

La pantalla principal de la interfaz se indica en la Figura 88.

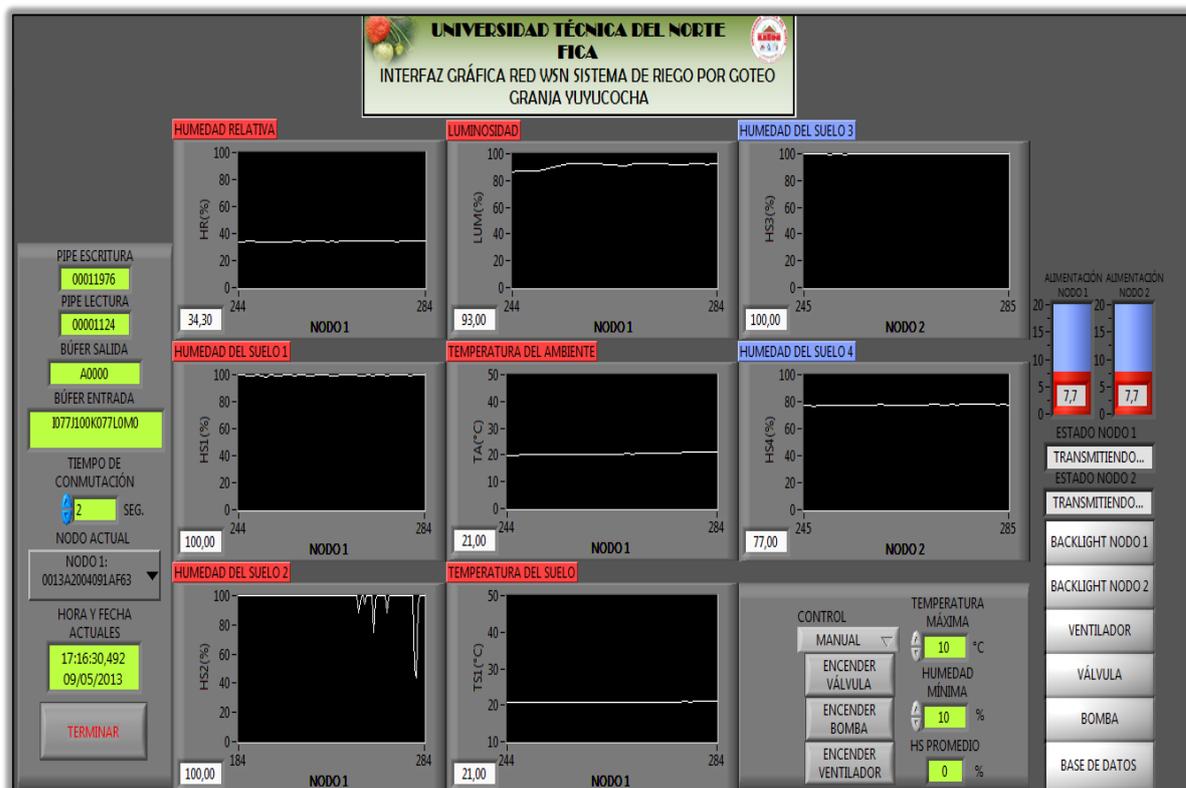


Figura 88. Pantalla general de visualización de datos.

Considerando que el sistema posee dos modos de operación uno automático y otro manual, se comprobó que la bomba se encienda o se apague de acuerdo al deseo del usuario, la electroválvula debe permitir o impedir el paso del agua a pesar de que la bomba esté encendida, esto se comprobó dejando la tubería totalmente vacía posteriormente se encendió la bomba pero se apagó la válvula (cerrarla), verificando así que no existe paso de agua observando que no llega a los puntos de distribución (goteros de la cinta ciega) y a la manguera de desfogue.

Se debe aclarar que se colocó la electroválvula debido a que se pretende en un futuro anclar otro sistema de riego a la bomba utilizada por parte de los estudiantes de la granja.

Al utilizar el control automático se fue variando los datos de la temperatura máxima y la humedad mínima en la interfaz gráfica para determinar si los actuadores funcionaban o no.

4.5. PRUEBAS PREVIAS Y RESULTADOS

Para evaluar si el sistema cumplió con el principal objetivo de optimizar el uso de agua en el cultivo de fresas bajo invernadero específicamente del ubicado en la Granja Yuyucocha se realizaron ciertas pruebas, previa la instalación de la red WSN.

4.5.1. Aplicación de agua con regaderas método visual

La primera prueba de riego se la realizó utilizando regaderas de ocho litros y aplicándolas mediante el método visual hasta lograr de manera aparente que el cultivo reciba la humedad adecuada. La Figura 89 muestra las regaderas utilizadas como medida de aplicación.



Figura 89. Regaderas utilizadas como medida de agua.

Utilizando este método se realizaron dos aplicaciones:

- ✓ Aplicación de seis regaderas por cama dando un total de 96 litros.
- ✓ Aplicación de dos regaderas por cama dando un total de 16 litros.

Los beneficios de proporcionar solo la cantidad de agua necesaria a un cultivo son varios no solo el de optimizar el agua, con el primer método de aplicación las plantas tuvieron una producción excesiva de follaje, no floración y sobre todo que el agua contenida en el sustrato se terminaba pronto, como se muestra en la Figura 90.



Figura 90. Excesivo follaje en la planta de fresa.

Con la segunda dosis de aplicación de agua el cultivo dejó de desarrollar follaje y cayó en el denominado estrés hídrico que se produce por la falta de agua para sobrevivir y producir follaje y frutos. Al disminuir el follaje no se realiza el proceso de fotosíntesis, existe una proliferación de insectos en toda el área de la planta, secamiento de la raíz, entre otros. En la Figura 91 se puede observar una planta dañada por el estrés hídrico.



Figura 91. Planta con estrés hídrico.

4.5.2. Aplicación de agua con sistema de riego por goteo

La segunda prueba se realizó con la activación manual del sistema de riego por goteo instalado, se utilizó de igual manera el método visual, para determinar cuántos litros se consumían. En el ingreso de agua del sistema de riego se colocó una caneca de 10 litros y se consumieron 5 de estas en la prueba, en un tiempo de una hora.

El consumo se redujo ya que se consumieron 40 litros menos que con la primera forma de aplicación.

Con esta manera de aplicación se logró que el cultivo mejore pero no de la manera esperada, fructificación tardía, frutos son de menor tamaño, producción reducida, proliferación de insectos en la zona de la raíz, como se indica en la Figura 92.



Figura 92. Planta regada mediante sistema de riego por goteo.

4.5.3. Aplicación de agua con el proyecto propuesto

La tercera forma de la aplicación de agua fue mediante el control y monitoreo del cultivo de fresas usando la red WSN. Para comprobar que existe una optimización del consumo de agua se dejó el sustrato en las mismas condiciones de las anteriores pruebas, es decir, sustrato totalmente seco y saturado por agua.

- ❖ **Con sustrato seco**, la aplicación del líquido se realizó por media hora hasta lograr que solo los 30 primeros centímetros del suelo estén húmedos con un total de litros consumidos igual a 30.

Este proceso da un excelente resultado porque los sensores de humedad están colocados a una profundidad de 30cm, que es la distancia que ocupan las raíces de una planta de fresa, logrando así que el líquido sea absorbido solo por la planta sin desperdicio.

- ❖ **Con sustrato saturado de agua:** En este caso el sistema automático no se activa debido a que se registra una excesiva humedad impidiendo así que tanto la válvula y la electroválvula inicien su funcionamiento. El sistema no se activa hasta que la humedad registrada en la interfaz gráfica como apropiada para el cultivo baje de su nivel de referencia.

Posterior a la realización de las pruebas se determinó que las plantas muestran que solo se les debe aplicar el líquido necesario sin desperdiciarlo. Como se muestra en la Figura 93, las plantas con un adecuado suministro de agua tienen un follaje normal no abundante, de coloración verdosa brillante y una excelente producción de frutos y floración.

El sistema permite cumplir con la optimización del agua destinada al cultivo, brinda la posibilidad de utilizar el agua economizada en otros cultivos de la Granja Yuyucocha y ayudó a mejorar la producción del cultivo.



Figura 93. Plantas de fresa con un adecuado suministro de agua.

CAPÍTULO V

PRESUPUESTO REFERENCIAL

En la Tabla 21 se indica un presupuesto referencial de los componentes empleados en el desarrollo de la red WSN, específicamente los materiales utilizados en los nodos de la red.

Tabla 21.

Tabla referencial de precios nodos de la red

ELEMENTOS	CANTIDAD	PRECIO (USD)
Baterías (2)	2	20
Sensores de Humedad (4)	4	36
Sensor de Humedad Relativa (1)	1	13
Sensores de temperatura (2)	2	16
Sensor de luminosidad (1)	1	4
Módulos ZigBee (3)	3	120
Fuentes conmutadas 12 V (2)	2	16
PIC18F2550 (3)	3	21
LCD (2)	2	10
Relés 24V (2)	2	16
Fuente conmutada 24 V (1)	1	30
Cajas (3)	3	6
Elementos electrónicos en general	-----	25
Regulador de voltaje (2)	2	1.60
Placas y manufactura de las placas	-----	15
Cable USB (1)	1	3
Relé 12 V automotriz (1)	1	2.50
TOTAL:		355.10

Tabla 22.

Tabla referencial de precios sistema de riego por goteo.

CANTIDAD	ELEMENTOS	P.V.P.	VALOR T. (USD)
5	Manguera PE CIEGA 32 - 4 bar 100	1,04	5,20
4	Tramo manguera 16 mm X,35 CM	0,12	0,48
5	Tuvo PVC E/C 32mm x 1.25 MPA x 6MTS	6,91	34,55
4	Adaptador PVC 32mm x 1" macho:	1,21	4,84
4	Codo 32 x 90 Gr.	1,01	4,04
5	Teflón:	0,60	3,00
1	Limpiador (Galón):	3,99	3,99
1	Pega PVC (Galón):	5,07	5,07
40	Uniones GOL 2 agujeros:	0,32	12,80
1	Codo adaptador 32mm x1" hembra:	6,91	6,91
4	Niple doble plástico 1" hembra:	1,08	4,31
1	Tee 1" Plástica:	4,24	4,24
1	Tapón 1" Macho:	1,30	1,30
1	Tapón final 32 mm:	6,45	6,45
1	Unión 1" hembra roscada:	2,07	2,07
4	Conector inicial 16 mm:	0,34	1,36
4	Final de línea 16 mm:	0,16	0,64
4	Unión Fler –Flex de 16mm:	0,46	1,84
1	Filtro corto 1", negro sencillo	41,20	41,20
1	Electroválvula 210 1"BPS GLOBO 2W 24VAC	41,11	41,11
2	Acople Omen Macho 1" rosca:	12,00	24,00
2	Acople Omen Hembra 1" rosca:	12,50	25,00
1	Bomba BARNES 1HP Monofásica 11/2"x 11/2	285,00	285,00
1	Válvula de pie 1"	17,00	17,00
		TOTAL:	536,41

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. CONCLUSIONES

- Al culminar el desarrollo del proyecto se puede realizar el control y monitoreo del sistema de riego por goteo del invernadero donde se desarrolla un cultivo de fresas de la Granja Yuyucocha, mediante el uso de una red WSN, que no necesita la presencia de un administrador que vigile el proceso de riego, beneficiando a todos los relacionados con esta área de estudio.
- De acuerdo a la investigación teórica realizada previo el desarrollo del proyecto se determinó que las redes WSN no son muy conocidas en el país y que apenas se han desarrollado un número reducido de proyectos con esta tecnología, los principales obstáculos son el costo inicial y la falta de experiencia en esta área.
- A pesar de que el Ecuador es un país eminentemente agrícola los métodos de cultivo y riego son rústicos, y pocos son los sectores que han apostado por modernizarse utilizando nuevas tecnologías. Al desarrollar el proyecto en un granja agrícola se pudo comprobar que la tecnología no está desligada de este campo y que puede contribuir de manera significativa a su desarrollo.
- La implementación de nuevas tecnologías en la optimización del desarrollo de cualquier tipo de operación es un avance importante tal como se puede observar en el presente trabajo, especialmente si con esto se contribuye a preservar recursos no renovables como el agua mediante la monitorización y el control de un sistema de riego por goteo.

- La red WSN está desarrollada tomando en cuenta cada una de las necesidades de los usuarios del sistema de riego por goteo, brindando así datos importantes a partir de las variables sensadas para el progreso del cultivo en el interior del invernadero.
- La implementación de esta nueva tecnología en la Granja Experimental Yuyucocha representa un adelanto significativo en tecnificación de los sistemas de riego del sector, ya que la monitorización de las variables críticas es sumamente importante en el desarrollo de cualquier cultivo permitiendo al usuario del sistema obtener mejores productos pero principalmente aprender de la influencia de estas en todas las etapas de su desarrollo.
- La tecnología Zigbee es la más utilizada para el desarrollo de las redes WSN por su valor y fácil utilización.
- Al finalizar todo el proceso se logró transmitir al usuario de forma clara y amigable la información sobre el comportamiento de las variables sensadas a través de la interfaz gráfica y el aporte del almacenamiento de los datos mediante la base de datos.
- La implementación de una red WSN para el control y monitoreo de un sistema de riego permitió afianzar los conocimientos adquiridos en las aulas de clase debido a que el sistema abarca conceptos tanto de redes como electrónica.

6.2. RECOMENDACIONES

- Es de suma importancia tomar en cuenta las condiciones ambientales donde operarán los módulos zigbee, para reducir al mínimo influencias externas que alteren su correcto funcionamiento, por tal motivo el despeje de elementos innecesarios en el área entre el invernadero y la caseta permitiría un mayor alcance y mejor operación de la red.

- Es conveniente que se instale un mástil para lograr inmovilizar la antena del nodo central, debido a que en el sector en ciertas épocas del año se presentan fuertes vientos provocando caídas de la señal que impiden que los datos fluyan de manera continua entre los nodos sensores y el central.
- Se deben realizar las respectivas puestas a tierra de todos los elementos presentes tanto en la caseta de distribución como en el invernadero para precautelar la seguridad de los usuarios, mejorar la operación de los equipos, reducir la posibilidad de daños debido a rayos o corrientes de fallo. Tomando en cuenta que si los equipos sufren algún daño por las causas mencionadas las pérdidas serán económicas y de tiempo reduciendo la productividad del sistema.
- Además de las variables sensadas se pueden realizar otras con la debida adaptación de los módulos permitiendo el control de mayores parámetros del desarrollo del cultivo minimizando aún más el consumo de agua.
- Los datos almacenados en la base de datos pueden ser migrados a una aplicación en línea para que puedan ser utilizados desde lugares remotos.
- Los usuarios de la red WSN implementada sugieren que se instale esta tecnología en otras áreas de la granja Yuyucocha debido a los excelentes resultados que han sido palpados durante el desarrollo del proyecto.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

LIBROS, RECURSOS BIBLIOGRÁFICOS EN LÍNEA Y TESIS

- Agronegocios Ecuador . (2012). *Fresas: Su producción y crecimiento*. Obtenido de Sitio web de Agronegocios Ecuador: <http://agronegocioecuador.ning.com/page/fresas-su-produccion-y>
- Baraona Cockrell, M., & Sancho Barrantes, E. (2008). *Manzana, Melocotón, Fresa y Mora. Fruticultura Especial*. San José, Costa Rica: Univeersidad Estatal a Distancia.
- Barneda Faudot , I. (2008). *Zigbee aplicado a la trasnmisión de datos de sensores biomédicos*. Obtenido de Tesis de pregrado, Universidad autónoma de Barcelona: <http://www.recercat.net/bitstream/handle/2072/13081/PFC%20Ivan%20Barneda.pdf?sequence=1>
- Bits de Ingenio. (2011). *Instrumentación electrónica, ¿que son los sensores?: Bits de Ingenio*. Obtenido de Bits de Ingenio, Ciencia y Tecnología: <http://www.bitsingenio.com/%C2%BFque-son-los-sensores/>
- Cadena, V. (2012). *Hablemos De Riego*. Ibarra: Creadores Gráficos.
- Calvo Astrain, J. M. (2012). *Gestion y monitorización de contenedores*. Obtenido de Tesis de Pregrado, Universidad de Navarra - España: <http://academica-e.unavarra.es/bitstream/handle/2454/5604/577782.pdf?sequence=1>
- Carreño, I. J. (2011). *Redes Inalambricas Tesci Isc*. Obtenido de <http://redesinalambricasisc.blogspot.com/>
- CASADOMO (Todo sobre Edificios Inteligentes). (2011). *ZigBee, el hermano de Bluetooth, otro estándar para la comunicación inalámbrica entre dispositivos*. Obtenido de Stio Web de CASADOMO: <http://www.casadomo.com/noticias/zigbee-el-hermano-de-bluetooth-otro-estandar-para-5299>
- CONAFRESA. (2010). *Sistema Producto Fresa, Manual Técnico del Cultivo de la Fresa*. Obtenido de Sitio web de CONAFRESA: <http://conafresa.com/fresa/>

- El Agro. (2011). *Manejo Integrado del Cultivo de Frutillas*. Obtenido de Revista electrónica EL Agro: <http://www.revistaelagro.com/2012/01/18/manejo-integrado-del-cultivo-de-frutillas/>
- Fernández Martínez, R., Martínez de Pisón Ascacíbar, F. J., Ordieres Meré, J., González Marcos, A., Alba Elías, F., Lostado Lorza, R., & Pernía Espinoza, A. V. (2009). *Redes inalámbricas de sensores: teoría y aplicación práctica*. La Rioja: Universidad de La Rioja. Servicio de Publicaciones.
- Gallardo, C. (2009). *Sustratos para plantas, tipos y principales características*. Obtenido de Contenidos Educativos en Internet: http://www.oni.escuelas.edu.ar/2003/ENTRE_RIOS/58/macronutrientes%20en%20sustratos%20para%20plantas.pdf
- INFOAGRO. (2011). *Infojardín Fresa: Toda la Agricultura en Internet*. Obtenido de sitio web de infoAgro: <http://fichas.infojardin.com/hortalizas-verduras/fresa-fresas-freson-fresones-frutillas-fresales.htm>
- Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias (INIAP). (2012). *Estadísticas*. Obtenido de Sitio web INIAP: <http://www.iniap.gob.ec/?s=fresa>
- Instituto Nacional de Tecnologías Educativas y de Formación del Profesorado. (2011). *Sensores. Recursos Didácticos*. Obtenido de Recursos tic: http://recursostic.educacion.es/secundaria/edad/4esotecnologia/quincena11/4quincena11_contenidos_3e.htm
- Mantilla , P. (2008). *Monitoreo y control de temperatura ambiental y humedad del suelo en un invernadero de tomate riñón, utilizando comunicación inalámbrica*. Obtenido de Tesis de pregrado, Politécnica Nacional del Ecuador: <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/700/1/CD-1648%282008-08-05-09-47-33%29.pdf>
- Molina Martínez, J. M., & Ruiz Canales, A. (2010). *Automatización y telecontrol de sistemas de riego*. Barcelona: MARCOBO, S.A.
- Ortega Huembes, C. A., Roque, D., & Úbeda Sequeira, L. E. (28 de Julio de 2008). *Trabajo de Técnicas de Alta Frecuencia: ZigBee*. Obtenido de <http://www.monografias.com/trabajos-pdf/zigbee/zigbee.pdf>
- Palomino Velásquez , K. (2009). *Riego por Goteo*. Lima: Empresa Editora Macro.
- Paz, J. S. (2008). *Diseño y construcción de un módulo transmisor*. Obtenido de Tesis de pregrado, Universidad Tecnológica de Mixteca: http://jupiter.utm.mx/~tesis_dig/10690.pdf

- Sánchez Reyes, C. (2005). *Sistemas de Riego: Uso, Manejo e Instalación*. Lima: Ediciones Ripalme.
- Santoyo Juárez , J. A., & Martínez Alvarado, C. Ó. (2009). *Paquete tecnológico para la producción de fresa*. Obtenido de Fundación Produce: <http://www.fps.org.mx/divulgacion/attachments/article/814/Paquete%20tecnologico%20para%20la%20producci%C3%B3n%20de%20fresa.pdf>
- VIANSA. (2008). *Guía para el establecimiento de una plantación de frutilla*. Obtenido de Empresa Productora de Plantines de Frutilla : http://www.viansa.com.ar/pdf/Viansa_esp.pdf?visita_viansa=4a49b02fbcaba47b836dabea6de19df8

GLOSARIO DE TÉRMINOS

ADC: Por sus siglas en inglés Analog to Digital Converter (Convertidor Análogo Digital). Es un dispositivo electrónico capaz de convertir una señal analógica de voltaje en una señal digital con un valor binario.

INTCONT: El significado de sus siglas es Interrupt Control Register (Registro de control de interrupciones). Es un registro de la familia de microcontroladores PIC que sirve para definir las interrupciones a realizarse en la ejecución de un programa.

ISM: Estas siglas corresponden a Industrial, Scientific and Medical. Una serie de bandas de frecuencia, establecidas para aplicaciones industriales, científicas y médicas a nivel mundial.

LCD: Siglas que corresponden a Liquid Crystal Display o en español Pantalla de Cristal Líquido, elemento electrónico alfanumérico de pantalla plana de ciertos colores utilizado para visualizar datos.

LDR: Su significado es Light Dependent Resistor, o Resistor Dependiente de la Luz. Es un componente electrónico cuya resistencia disminuye con el aumento de intensidad de luz incidente.

OSI: Por sus siglas en inglés es Open Systems Interconnect (Interconexión de Sistemas Abiertos), es el modelo de red descriptivo, que fue creado por la Organización Internacional para la Estandarización (ISO) en el año 1980. Es un marco de referencia para la definición de arquitecturas en la interconexión de los sistemas de comunicaciones.

PVC: Policloruro de Vinilo que es una combinación química de carbono, hidrógeno y cloro. Utilizado principalmente en la fabricación de tuberías.

RISC: Significa Reduced Instruction Set Computer. Es un tipo de microprocesador con las siguientes características fundamentales: número de instrucciones de tamaño fijo, presentadas en un reducido número de formatos.

SPI: Serial Port Interface: Es un sistema electrónico de interfaz que proporciona una serie de intercambio de datos entre dos dispositivos, uno llamado un maestro y el otro esclavo.

UART: Significa Universal Synchronous Receiver Transmitter (Transmisor-receptor asíncrono universal). Este Controla Los Puertos y Dispositivos serie. Se encuentra integrado en la placa de base o en la tarjeta adaptadora del dispositivo.

USB: Siglas que corresponden a Universal Serial Bus (Bus Universal en Serie). Es un puerto que sirve para conectar periféricos a un ordenador.

WPAN: Wireless Personal Area Networks, Red Inalámbrica de Área Personal o Red de área personal, es una red de elementos para la comunicación entre distintos dispositivos (tanto computadoras, puntos de acceso a internet, teléfonos celulares, dispositivos de audio, entre otros).

WSN: Wireless Sensor Network (Red Inalámbrica de Sensores). Es una red de ordenadores pequeños (nodos), equipados con sensores, que colaboran en una tarea común.

ANEXOS

ANEXO A: CÓDIGO DE PROGRAMACIÓN

COMPLEMENTO MÓDULO 1

```
#include <18f2550.h>

#device high_ints=true
#device adc=10

#FUSES NOWDT           //No Watch Dog Timer
#FUSES WDT128         //Watch Dog Timer uses 1:128 Postscale
#FUSES INTRC_IO       //Internal RC Osc, no CLKOUT
#FUSES NOPROTECT      //Code not protected from reading
#FUSES NOBROWNOUT     //No brownout reset
#FUSES BORV20         //Brownout reset at 2.0V
#FUSES PUT            //Power Up Timer
#FUSES NOCPD          //No EE protection
#FUSES NOSTVREN       //Stack full/underflow will not cause reset

#FUSES NODEBUG        //No Debug mode for ICD
#FUSES NOLVP          //No low voltage prgming, B3(PIC16) or B5(PIC18) used for I/O
#FUSES NOWRT          //Program memory not write protected
#FUSES NOWRTD         //Data EEPROM not write protected
#FUSES NOIESO         //Internal External Switch Over mode disabled
#FUSES NOFCMEN        //Fail-safe clock monitor disabled
#FUSES NOPBADEN       //PORTB pins are configured as digital I/O on RESET
#FUSES NOWRTC         //configuration not registers write protected
#FUSES NOWRTB         //Boot block not write protected
#FUSES NOEBTR         //Memory not protected from table reads
#FUSES NOEBTRB        //Boot block not protected from table reads
#FUSES NOCPB          //No Boot Block code protection
#FUSES NOMCLR         //Master Clear pin used for I/O
#FUSES NOLPT1OSC      //Timer1 configured for higher power operation
#FUSES NOXINST        //Extended set extension and Indexed Addressing mode disabled
(Legacy mode)
#FUSES PLL1           //No PLL PreScaler
#FUSES CPUDIV1        //No System Clock Postscaler
#FUSES NOUSBDIV       //USB clock source comes from primary oscillator
#FUSES NOVREGEN       //USB voltage regulator disabled

#use delay(clock=8m,restart_wdt)
#use rs232(baud=9600,parity=N,xmit=pin_c6,rcv=pin_c7,bits=8)

#priority rda,timer1

#define use_portb_lcd TRUE
#define ds18b20_pin1 PIN_C0
#define ds18b20_pin2 PIN_C1

#include <.\lcd_nodo.c>
#include <one_wire.c>
#include <.\ds18b20.c>

#include <stdlib.h>
#include <math.h>

#byte porta=0xf80 //portx
```

```

#byte portb=0xf81
#byte portc=0xf82
#byte lata=0xf89 //latx
#byte latb=0xf8a
#byte latc=0xf8b
#byte trisa=0xf92 //trisx
#byte trisb=0xf93
#byte trisc=0xf94

#bit backlight=latc.2

#define tamaño_buffer 1

unsigned int16 valor_ad;
int1 autoriza_envio=0;
float voltaje_ant=0,voltaje=0,voltaje_imp=0;
float hr_ant=0,hr=0,hr_imp=0;
float hum_suelo1_ant=0,hum_suelo1=0,hum_suelo1_imp=0;
float hum_suelo2_ant=0,hum_suelo2=0,hum_suelo2_imp=0;
float temp_aire=0,temp_aire_imp=0;
float temp_suelo=0,temp_suelo_imp=0;
float lum_ant=0,lum=0,lum_imp=0;

unsigned int16 contador_int=0;
unsigned char muestra_lcd=0;
int1 muestra_mascara=1;
unsigned char contador_rx=0;
unsigned char dato_recibe[tamaño_buffer];

#int_rda //interrupción por recepción de byte en uart

void inter_rx()
{
    unsigned char dato_rx,i;

    if(kbhit())//si ha recibido un caracter con kbhit()
    {
        dato_rx=getc();

        if(dato_rx=='&')
        {
            if(dato_recibe[0]=='0')
                backlight=0;
            else if(dato_recibe[0]=='1')
                backlight=1;

            for(i=0;i<tamaño_buffer;i++)//borra localidades de buffer de recepción
            {
                dato_recibe[i]=' ';
            }
            contador_rx=0;
            autoriza_envio=1;
        }
        else if(dato_rx==0x0a)
        {
        }
        else if(dato_rx==0x0d)
        {

```

```

    }
    else
    {
        dato_recibe[contador_rx]=dato_rx;

        contador_rx++;

        if(contador_rx>tamano_buffer)
        {
            for(i=0;i<tamano_buffer;i++)//borra localidades de dato_recibe
            {
                dato_recibe[i]=' ';
            }
            contador_rx=0;
        }
    }
}
clear_interrupt(int_rda);//limpia bandera de interrupción
}

#int_timer1 //rutina especial de interrupción por desbordamiento del timer1
void mux(void)
{
    set_timer1(0);

    if(++contador_int>48)//valida
    {
        contador_int=0;
    }

    switch(contador_int)
    {
        case 0:
            muestra_lcd=0;
            muestra_mascara=1;
            break;

        case 12:
            muestra_lcd=1;
            muestra_mascara=1;
            break;

        case 24:
            muestra_lcd=2;
            muestra_mascara=1;
            break;

        case 36:
            muestra_lcd=3;
            muestra_mascara=1;
            break;

        default:
            break;
    }
}

void lee_voltaje()
{

```

```

float voltaje_actual;

set_adc_channel(0);
delay_us(10);
valor_ad=read_adc();
voltaje_actual=valor_ad*0.01955;//factor=(vref/resolución)*divisor voltaje
//factor=(5.00/1023)*4=0.01955
voltaje=(voltaje_actual-voltaje_ant)/2;//aquí se aplica filtro iir (50/100)=1/2-->lag factor
voltaje+=voltaje_ant;

voltaje_ant=voltaje;
}

void configura_puertos()
{
    set_tris_a(0b00111111);//primeros 6 bits como entradas
        //an0 entrada voltaje
        //an1 entrada humedad relativa
        //an2 entrada humedad suelo 1
        //an3 entrada humedad suelo 2
        //an4 entrada luminosidad

    setup_adc_ports(AN0_TO_AN4|vss_vdd);//funciones digitales seleccionadas
    setup_adc(ADC_CLOCK_INTERNAL);

    port_b_pullups(true);//apaga pullups
    set_tris_c(0b10000000);
        //rc<1:0>, e/s sensores temperatura one wire1
        //rc2 salida backlight
        //rc3 no implementado físicamente
        //rc4 salida
        //rc5 salida
        //rc6 salida tx
        //rc7 entrada rx

    porta=0;//encera puertos
    portc=0;
}

void lee_humedad_relativa()
{
    float hr_actual;

    set_adc_channel(1);
    delay_us(10);
    valor_ad=read_adc();
        //factor_voltaje=valor_ad*(vref/resolución)
        //factor_voltaje=(5.00/1023)=0.00488
    hr_actual=(valor_ad*0.00488-(0.9237-0.0041*temp_aire+0.000040*temp_aire*temp_aire))
        /(0.0305+0.000044*temp_aire-0.000011*temp_aire*temp_aire);

    if(hr_actual>100)
        hr_actual=100;
    else if(hr_actual<0)
        hr_actual=0;

    hr=(hr_actual-hr_ant)/6;//aquí se aplica filtro iir 1/6-->lag factor
    hr+=hr_ant;
}

```

```

    hr_ant=hr;
}

void lee_humedad_suelo_1()
{
    float hum_suelo1_actual;

    set_adc_channel(2);
    delay_us(10);
    valor_ad=read_adc();
    hum_suelo1_actual=valor_ad*0.13965;//factor=(vref/resolución)*100%/3.5V
        //factor=(5.00/1023)*(100/3.5)=0.13965

    if(hum_suelo1_actual>100)
        hum_suelo1_actual=100;
    else if(hum_suelo1_actual<0)
        hum_suelo1_actual=0;

    hum_suelo1=(hum_suelo1_actual-hum_suelo1_ant)/2;//aquí se aplica filtro iir (50/100)=1/2-->lag
factor
    hum_suelo1+=hum_suelo1_ant;

    hum_suelo1_ant=hum_suelo1;
}

void lee_humedad_suelo_2()
{
    float hum_suelo2_actual;

    set_adc_channel(3);
    delay_us(10);
    valor_ad=read_adc();
    hum_suelo2_actual=valor_ad*0.13965;//factor=(vref/resolución)*100%/3.5V
        //factor=(5.00/1023)*(100/3.5)=0.13965

    if(hum_suelo2_actual>100)
        hum_suelo2_actual=100;
    else if(hum_suelo2_actual<0)
        hum_suelo2_actual=0;

    hum_suelo2=(hum_suelo2_actual-hum_suelo2_ant)/2;//aquí se aplica filtro iir (50/100)=1/2-->lag
factor
    hum_suelo2+=hum_suelo2_ant;

    hum_suelo2_ant=hum_suelo2;
}

void lee_luminosidad()
{
    float lum_actual;

    set_adc_channel(4);
    delay_us(10);
    valor_ad=read_adc();
    lum_actual=valor_ad*0.1286;//factor=(vref/resolución)*100%/3.8V
        //factor=(5.00/1023)*(100/5)=0.1286

    if(lum_actual>100)
        lum_actual=100;
}

```

```

lum=(lum_actual-lum_ant)/2;//aquí se aplica filtro iir (50/100)=1/2-->lag factor
lum+=lum_ant;

lum_ant=lum;
}

void lee_temperatura_aire()
{
temp_aire=ds1820_read1();//pin_c0

if(temp_aire<0)
temp_aire=0;

}

void lee_temperatura_suelo()
{
temp_suelo=ds1820_read2();//pin_c1

if(temp_suelo<0)
temp_suelo=0;

}

void envia_datos()
{
printf("A%03.0g",voltaje*10);//voltaje
printf("B%04.0g",hr*10);//humedad relativa
printf("C%03.0g",hum_suelo1);//humedad del suelo 1
printf("D%03.0g",hum_suelo2);//humedad del suelo 2
printf("E%04.0g",temp_aire*10);//temperatura del aire
printf("F%04.0g",temp_suelo*10);//temperatura del suelo
printf("G%03.0g",lum);//luminosidad

if(backlight==0)
printf("H0");
else
printf("H1");

printf("$");//fin de trama
}

void mensajes_lcd()
{
switch(muestra_lcd)
{
case 0:

if(muestra_mascara==1)
{
muestra_mascara=0;
printf lcd_putc,"\f00.0 000");//borra pantalla
lcd_gotoxy(1,2);
lcd_putc("VOLT LUM");
voltaje_imp=0;
lum_imp=0;
}

if(voltaje!=voltaje_imp)
{
lcd_gotoxy(1,1);

```

```

    printf(lcd_putc,"%04.1g",voltaje);
    voltaje_imp=voltaje;
}

if(lum!=lum_imp)
{
    lcd_gotoxy(6,1);
    printf(lcd_putc,"%03.0g",lum);
    lum_imp=lum;
}

break;

case 1:

if(muestra_mascara==1)
{
    muestra_mascara=0;
    printf(lcd_putc,"\f000 00.0");//borra pantalla
    lcd_gotoxy(1,2);
    lcd_putc("HS1 TA");
    hum_suelo1_imp=0;
    temp_aire_imp=0;
}

if(hum_suelo1!=hum_suelo1_imp)
{
    lcd_gotoxy(1,1);
    printf(lcd_putc,"%03.0g",hum_suelo1);
    hum_suelo1_imp=hum_suelo1;
}

if(temp_aire!=temp_aire_imp)
{
    lcd_gotoxy(5,1);
    if(temp_aire<99.9)
    {
        printf(lcd_putc,"%04.1g",temp_aire);
    }
    else
    {
        printf(lcd_putc,"%04.0g",temp_aire);
    }
    temp_aire_imp=temp_aire;
}
break;

case 2:

if(muestra_mascara==1)
{
    muestra_mascara=0;
    printf(lcd_putc,"\f000 00.0");//borra pantalla
    lcd_gotoxy(1,2);
    lcd_putc("HS2 TS1");
    hum_suelo2_imp=0;
    temp_suelo_imp=0;
}

if(hum_suelo2!=hum_suelo2_imp)

```

```

    {
        lcd_gotoxy(1,1);
        printf(lcd_putc,"%03.0g",hum_suelo2);
        hum_suelo2_imp=hum_suelo2;
    }

    if(temp_suelo!=temp_suelo_imp)
    {
        lcd_gotoxy(5,1);
        if(temp_suelo<99.9)
        {
            printf(lcd_putc,"%04.1g",temp_suelo);
        }
        else
        {
            printf(lcd_putc,"%04.0g",temp_suelo);
        }
        temp_suelo_imp=temp_suelo;
    }
    break;
case 3:

    if(muestra_mascara==1)
    {
        muestra_mascara=0;
        printf(lcd_putc,"\f0000");//borra pantalla
        lcd_gotoxy(2,2);
        lcd_putc("HR");
        hr_imp=0;
    }

    if(hr!=hr_imp)
    {
        lcd_gotoxy(1,1);

        if(hr<99.9)
        {
            printf(lcd_putc,"%04.1g",hr);
        }
        else
        {
            printf(lcd_putc,"%04.0g",hr);
        }
        hr_imp=hr;
    }
    break;

default:
break;
}
}

```

ANEXO B CÓDIGO DE PROGRAMACIÓN LIBRERÍA

SENSOR DS1820

```
float ds1820_read1()
{
  int8 busy=0,temp1,temp2;
  signed int16 temp3;
  float result;

  onewire_reset1();
  onewire_write1(0xCC);
  onewire_write1(0x44);

  while(busy==0)
  busy=onewire_read1();

  onewire_reset1();
  onewire_write1(0xCC);
  onewire_write1(0xBE);
  temp1=onewire_read1();
  temp2=onewire_read1();
  temp3=make16(temp2,temp1);

  result=(float)temp3/16.0;//Calculation for DS18B20 with 0.1 deg C resolution
  return(result);
}
```

```
float ds1820_read2()
{
  int8 busy=0,temp1,temp2;
  signed int16 temp3;
  float result;

  onewire_reset2();
  onewire_write2(0xCC);
  onewire_write2(0x44);

  while(busy==0)
  busy=onewire_read2();

  onewire_reset2();
  onewire_write2(0xCC);
  onewire_write2(0xBE);
  temp1=onewire_read2();
  temp2=onewire_read2();
  temp3=make16(temp2,temp1);

  result=(float)temp3/16.0;//Calculation for DS18B20 with 0.1 deg C resolution
  return(result);
}
```

ANEXO C: CÓDIGO DE PROGRAMACIÓN LIBRERÍA LCD

A 4 BITS

```
typedef struct
{
    // This structure is overlaid
    BOOLEAN rs;        // on to an I/O port to gain
    BOOLEAN rw;        // access to the LCD pins.
    BOOLEAN enable;    // The bits are allocated from
    BOOLEAN unused;    // low order up. ENABLE will
    int  data : 4;     // be LSB pin of that port.
    #if defined(__PCD__) // The port used will be LCD_DATA_PORT.
    int  reserved: 8;
    #endif
} LCD_PIN_MAP;

// this is to improve compatability with previous LCD drivers that accepted
// a define labeled 'use_portb_lcd' that configured the LCD onto port B.
#if ((defined(use_portb_lcd)) && (use_portb_lcd==TRUE))
#define LCD_DATA_PORT getenv("SFR:PORTB")
#endif

#if defined(__PCB__)
// these definitions only need to be modified for baseline PICs.
// all other PICs use LCD_PIN_MAP or individual LCD_xxx pin definitions.
/*          EN, RS, RW, UNUSED, DATA */
const LCD_PIN_MAP LCD_OUTPUT_MAP = {0, 0, 0, 0, 0};
const LCD_PIN_MAP LCD_INPUT_MAP = {0, 0, 0, 0, 0xF};
#endif

////////////////////// END CONFIGURATION ////////////////////////

#ifndef LCD_ENABLE_PIN
#define lcd_output_enable(x) lcdlat.enable=x
#define lcd_enable_tris()  lcdtris.enable=0
#else
#define lcd_output_enable(x) output_bit(LCD_ENABLE_PIN, x)
#define lcd_enable_tris()  output_drive(LCD_ENABLE_PIN)
#endif

#ifndef LCD_RS_PIN
#define lcd_output_rs(x) lcdlat.rs=x
#define lcd_rs_tris()  lcdtris.rs=0
#else
#define lcd_output_rs(x) output_bit(LCD_RS_PIN, x)
#define lcd_rs_tris()  output_drive(LCD_RS_PIN)
#endif

#ifndef LCD_RW_PIN
#define lcd_output_rw(x) lcdlat.rw=x
#define lcd_rw_tris()  lcdtris.rw=0
#else
#define lcd_output_rw(x) output_bit(LCD_RW_PIN, x)
#define lcd_rw_tris()  output_drive(LCD_RW_PIN)
#endif

// original version of this library incorrectly labeled LCD_DATA0 as LCD_DATA4,
// LCD_DATA1 as LCD_DATA5, and so on.  this block of code makes the driver
```

```

// compatible with any code written for the original library
#if (defined(LCD_DATA0) && defined(LCD_DATA1) && defined(LCD_DATA2) &&
defined(LCD_DATA3) && !defined(LCD_DATA4) && !defined(LCD_DATA5) &&
!defined(LCD_DATA6) && !defined(LCD_DATA7))
#define LCD_DATA4 LCD_DATA0
#define LCD_DATA5 LCD_DATA1
#define LCD_DATA6 LCD_DATA2
#define LCD_DATA7 LCD_DATA3
#endif

#ifndef LCD_DATA4
#ifndef LCD_DATA_PORT
#if defined(__PCB__)
#define LCD_DATA_PORT 0x06 //portb
#define set_tris_lcd(x) set_tris_b(x)
#else
#if defined(PIN_D0)
#define LCD_DATA_PORT getenv("SFR:PORTD") //portd
#else
#define LCD_DATA_PORT getenv("SFR:PORTB") //portb
#endif
#endif
#endif
#endif

#if defined(__PCB__)
LCD_PIN_MAP lcd, lcdlat;
#byte lcd = LCD_DATA_PORT
#byte lcdlat = LCD_DATA_PORT
#elif defined(__PCM__)
LCD_PIN_MAP lcd, lcdlat, lcdtris;
#byte lcd = LCD_DATA_PORT
#byte lcdlat = LCD_DATA_PORT
#byte lcdtris = LCD_DATA_PORT+0x80
#elif defined(__PCH__)
LCD_PIN_MAP lcd, lcdlat, lcdtris;
#byte lcd = LCD_DATA_PORT
#byte lcdlat = LCD_DATA_PORT+9
#byte lcdtris = LCD_DATA_PORT+0x12
#elif defined(__PCD__)
LCD_PIN_MAP lcd, lcdlat, lcdtris;
#word lcd = LCD_DATA_PORT
#word lcdlat = LCD_DATA_PORT+2
#word lcdtris = LCD_DATA_PORT-0x02
#endif
#endif //LCD_DATA4 not defined

#ifndef LCD_TYPE
#define LCD_TYPE 2 // 0=5x7, 1=5x10, 2=2 lines
#endif

#ifndef LCD_LINE_TWO
#define LCD_LINE_TWO 0x40 // LCD RAM address for the second line
#endif

BYTE const LCD_INIT_STRING[4] = {0x20 | (LCD_TYPE << 2), 0xc, 1, 6};
// These bytes need to be sent to the LCD
// to start it up.

BYTE lcd_read_nibble(void);

```

```

BYTE lcd_read_byte(void)
{
    BYTE low,high;

    #if defined(__PCB__)
        set_tris_lcd(LCD_INPUT_MAP);
    #else
        #if (defined(LCD_DATA4) && defined(LCD_DATA5) && defined(LCD_DATA6) &&
defined(LCD_DATA7))
            output_float(LCD_DATA4);
            output_float(LCD_DATA5);
            output_float(LCD_DATA6);
            output_float(LCD_DATA7);
        #else
            lcdtris.data = 0xF;
        #endif
    #endif

    lcd_output_rw(1);
    delay_cycles(1);
    lcd_output_enable(1);
    delay_cycles(1);
    high = lcd_read_nibble();

    lcd_output_enable(0);
    delay_cycles(1);
    lcd_output_enable(1);
    delay_us(1);
    low = lcd_read_nibble();

    lcd_output_enable(0);

    #if defined(__PCB__)
        set_tris_lcd(LCD_INPUT_MAP);
    #else
        #if (defined(LCD_DATA4) && defined(LCD_DATA5) && defined(LCD_DATA6) &&
defined(LCD_DATA7))
            output_drive(LCD_DATA4);
            output_drive(LCD_DATA5);
            output_drive(LCD_DATA6);
            output_drive(LCD_DATA7);
        #else
            lcdtris.data = 0x0;
        #endif
    #endif

    return( (high<<4) | low);
}

BYTE lcd_read_nibble(void)
{
    #if (defined(LCD_DATA4) && defined(LCD_DATA5) && defined(LCD_DATA6) &&
defined(LCD_DATA7))
        BYTE n = 0x00;

        /* Read the data port */
        n |= input(LCD_DATA4);
        n |= input(LCD_DATA5) << 1;
        n |= input(LCD_DATA6) << 2;
        n |= input(LCD_DATA7) << 3;
    #endif
}

```

```

    return(n);
#else
    return(lcd.data);
#endif
}

void lcd_send_nibble(BYTE n)
{
    #if (defined(LCD_DATA4) && defined(LCD_DATA5) && defined(LCD_DATA6) &&
defined(LCD_DATA7))
        /* Write to the data port */
        output_bit(LCD_DATA4, bit_test(n, 0));
        output_bit(LCD_DATA5, bit_test(n, 1));
        output_bit(LCD_DATA6, bit_test(n, 2));
        output_bit(LCD_DATA7, bit_test(n, 3));
    #else
        lcdlat.data = n;
    #endif

    delay_cycles(1);
    lcd_output_enable(1);
    delay_us(2);
    lcd_output_enable(0);
}

void lcd_send_byte(BYTE address, BYTE n)
{
    lcd_output_rs(0);
    while ( bit_test(lcd_read_byte(),7) );
    lcd_output_rs(address);
    delay_cycles(1);
    lcd_output_rw(0);
    delay_cycles(1);
    lcd_output_enable(0);
    lcd_send_nibble(n >> 4);
    lcd_send_nibble(n & 0xf);
}

void lcd_init(void)
{
    BYTE i;

    #if defined(__PCB__)
        set_tris_lcd(LCD_OUTPUT_MAP);
    #else
        #if (defined(LCD_DATA4) && defined(LCD_DATA5) && defined(LCD_DATA6) &&
defined(LCD_DATA7))
            output_drive(LCD_DATA4);
            output_drive(LCD_DATA5);
            output_drive(LCD_DATA6);
            output_drive(LCD_DATA7);
        #else
            lcdtris.data = 0x0;
        #endif
        lcd_enable_tris();
        lcd_rs_tris();
        lcd_rw_tris();
    #endif

    lcd_output_rs(0);
}

```

```

lcd_output_rw(0);
lcd_output_enable(0);

delay_ms(15);
for(i=1;i<=3;++i)
{
    lcd_send_nibble(3);
    delay_ms(5);
}

lcd_send_nibble(2);
for(i=0;i<=3;++i)
    lcd_send_byte(0,LCD_INIT_STRING[i]);
}
void lcd_gotoxy(BYTE x, BYTE y)
{
    BYTE address;

    if(y!=1)
        address=LCD_LINE_TWO;
    else
        address=0;

    address+=x-1;
    lcd_send_byte(0,0x80|address);
}

void lcd_putc(char c)
{
    switch (c)
    {
        case '\f' : lcd_send_byte(0,1);
                    delay_ms(2);
                    break;
        case '\n' : lcd_gotoxy(1,2);    break;

        case '\b' : lcd_send_byte(0,0x10); break;

        default  : lcd_send_byte(1,c);  break;
    }
}
char lcd_getc(BYTE x, BYTE y)
{
    char value;
    lcd_gotoxy(x,y);
    while ( bit_test(lcd_read_byte(),7) ); // wait until busy flag is low
    lcd_output_rs(1);
    value = lcd_read_byte();
    lcd_output_rs(0);

    return(value);
}

```

ANEXO D CÓDIGO DE PROGRAMACIÓN SENSOR ONE - WIRE

```
#define ONE_WIRE_PIN1 PIN_C0
#define ONE_WIRE_PIN2 PIN_C1

void onewire_reset1()// OK if just using a single permanently connected device
{
    output_low(ONE_WIRE_PIN1);
    delay_us(500);// pull 1-wire low for reset pulse
    output_float(ONE_WIRE_PIN1); // float 1-wire high
    delay_us(500);// wait-out remaining initialisation window.
    output_float(ONE_WIRE_PIN1);
}

void onewire_write1(int data)
{
    int count;

    for(count=0;count<8;++count)
    {
        output_low(ONE_WIRE_PIN1);
        delay_us(2);//pull 1-wire low to initiate write time-slot.
        output_bit(ONE_WIRE_PIN1,shift_right(&data,1,0)); // set output bit on 1-wire
        delay_us(60);//wait until end of write slot.
        output_float(ONE_WIRE_PIN1); // set 1-wire high again,
        delay_us(2);//for more than 1us minimum.
    }
}

QZint onewire_read1()
{
    int count,data;

    for(count=0;count<8;++count)
    {
        output_low(ONE_WIRE_PIN1);
        delay_us(2);//pull 1-wire low to initiate read time-slot.
        output_float(ONE_WIRE_PIN1); // now let 1-wire float high,
        delay_us(8);//let device state stabilise,
        shift_right(&data,1,input(ONE_WIRE_PIN1)); // and load result.
        delay_us(120);//wait until end of read slot.
    }
    return(data);
}

void onewire_reset2()// OK if just using a single permanently connected device
{
    output_low(ONE_WIRE_PIN2);
    delay_us(500);// pull 1-wire low for reset pulse
    output_float(ONE_WIRE_PIN2); // float 1-wire high
    delay_us(500);// wait-out remaining initialisation window.
    output_float(ONE_WIRE_PIN2);
}
```

```

void onewire_write2(int data)
{
    int count;

    for(count=0;count<8;++count)
    {
        output_low(ONE_WIRE_PIN2);
        delay_us(2);//pull 1-wire low to initiate write time-slot.
        output_bit(ONE_WIRE_PIN2,shift_right(&data,1,0)); // set output bit on 1-wire
        delay_us(60);//wait until end of write slot.
        output_float(ONE_WIRE_PIN2); // set 1-wire high again,
        delay_us(2);//for more than 1us minimum.
    }
}

```

```

int onewire_read2()
{
    int count,data;

    for(count=0;count<8;++count)
    {
        output_low(ONE_WIRE_PIN2);
        delay_us(2);//pull 1-wire low to initiate read time-slot.
        output_float(ONE_WIRE_PIN2); // now let 1-wire float high,
        delay_us(8);//let device state stabilise,
        shift_right(&data,1,input(ONE_WIRE_PIN2)); // and load result.
        delay_us(120);//wait until end of read slot.
    }
    return(data);
}

```

ANEXO E: CÓDIGO DE PROGRAMACIÓN MÓDULO CENTRAL

```
#include <18F2550.h>
#fuses HSPLL,NOWDT,NOPROTECT,NOLVP,NODEBUG,USBDIV,PLL5,CPUDIV1,VREGEN

#use delay(clock=48000000)
#use rs232(baud=9600,parity=N,xmit=PIN_C6,rcv=PIN_C7,bits=8)
//Definiciones dinámicas de las librerías de CCS
#define USB_HID_DEVICE FALSE
#define USB_EP1_TX_ENABLE USB_ENABLE_BULK//turn on EP1 for IN bulk/interrupt transfers
#define USB_EP1_RX_ENABLE USB_ENABLE_BULK//turn on EP1 for OUT bulk/interrupt
transfers
#define USB_EP1_TX_SIZE 40//tamaño de buffer para transmisión usb
#define USB_EP1_RX_SIZE 32//tamaño de buffer para recepción usb

////////////////////////////////////
#define USB_CON_SENSE_PIN PIN_B2
#include <pic18_usb.h>
#include <.\usb_monitor_bulk.h> //USB Configuration and Device descriptors for this USB device
#include <usb.c>//handles usb setup tokens and get descriptor reports
////////////////////////////////////
//#byte porta=0xf80
//#byte portb=0xf81
//#byte portc=0xf82
//#byte portd=0xf83

#define led1 pin_a0
#define led2 pin_a1
#define bomba pin_a2
#define valvula pin_a3

#define tamaño_buffer 40
#define config 1 //modo de configuración de módulo zigbee
#define transp 0 //modo transparente de módulo zigbee

unsigned char dato_recibe_zb[tamaño_buffer],contador_rx=0;
unsigned char dato_envia_zb[tamaño_buffer];
unsigned char dato_recibe_lv[tamaño_buffer];
unsigned char dato_envia_lv[tamaño_buffer];
unsigned char modo_zb=transp;
int1 autoriza_envio=0;

unsigned char atdh[13]={"ATDH0013A200"};
unsigned char nodo_1[13]={"ATDL4091AF63"};
unsigned char nodo_2[13]={"ATDL4091AF80"};
unsigned char atcn[5]={"ATCN"};

#int_rda //interrupción
void interrupt()
{
    unsigned char i,dato_rx;

    if(kbhit())//si ha recibido un caracter con kbhit()
    {
        dato_rx=getc();//lee el buffer y almacena en dato

        if(modo_zb==transp)
```

```

{
  if(dato_rx<=0x7f)//sólo acepta caracteres ascii
  {
    if(dato_rx=='$')
    {
      output_high(led1);
      for(i=0;i<contador_rx;i++)//borra localidades de buffer de recepción
      {
        dato_envia_lv[i]=dato_recibe_zb[i];
        dato_recibe_zb[i]=' ';
      }
      contador_rx=0;
      autoriza_envio=1;
    }
    else
    {
      dato_recibe_zb[contador_rx]=dato_rx;
      contador_rx++;
      if(contador_rx>=tamanio_buffer)
      {
        for(i=0;i<tamanio_buffer;i++)//borra localidades de dato_recibe
        {
          dato_recibe_zb[i]=' ';
        }
        contador_rx=0;
      }
    }
  }
}
else if(modos_zb==config)
{
}
}
}

```

```

void enter()
{
  putchar(0x0d);//carriage return
  putchar(0x0a);//line feed
}

```

```

void borra_buffer()
{
  unsigned char i;

  for(i=0;i<tamanio_buffer;i++)//borra todas las localidades
  {
    dato_envia_zb[i]=' ';
    dato_recibe_zb[i]=' ';
    dato_envia_lv[i]=' ';
    dato_recibe_lv[i]=' ';
  }
  contador_rx=0;
}

```

```

void lee_nodo_1(unsigned char backlight)
{
  unsigned char i;

```

```

output_high(led2);

borra_buffer();
modo_zb=config;

delay_ms(80);
putchar('+');
delay_ms(30);
putchar('+');
delay_ms(30);
putchar('+');
delay_ms(200);

for(i=0;i<12;i++)
{
    putchar(atdh[i]);
}

enter();
delay_ms(10);

for(i=0;i<12;i++)
{
    putchar(nodo_1[i]);
}

enter();
delay_ms(10);

for(i=0;i<4;i++)
{
    putchar(atcn[i]);
}

enter();
delay_ms(30);

modo_zb=transp;
borra_buffer();

putchar(backlight);
putchar('&');
output_low(led2);
}

void lee_nodo_2(unsigned char backlight,unsigned char ventilador)
{
    unsigned char i;

    output_high(led2);

    borra_buffer();
    modo_zb=config;

    delay_ms(80);
    putchar('+');
    delay_ms(30);
    putchar('+');
    delay_ms(30);
    putchar('+');
}

```

```
delay_ms(200);

for(i=0;i<12;i++)
{
    putchar(atdh[i]);
}

enter();
delay_ms(10);

for(i=0;i<12;i++)
{
    putchar(nodo_2[i]);
}

enter();
delay_ms(10);

for(i=0;i<4;i++)
{
    putchar(atcn[i]);
}

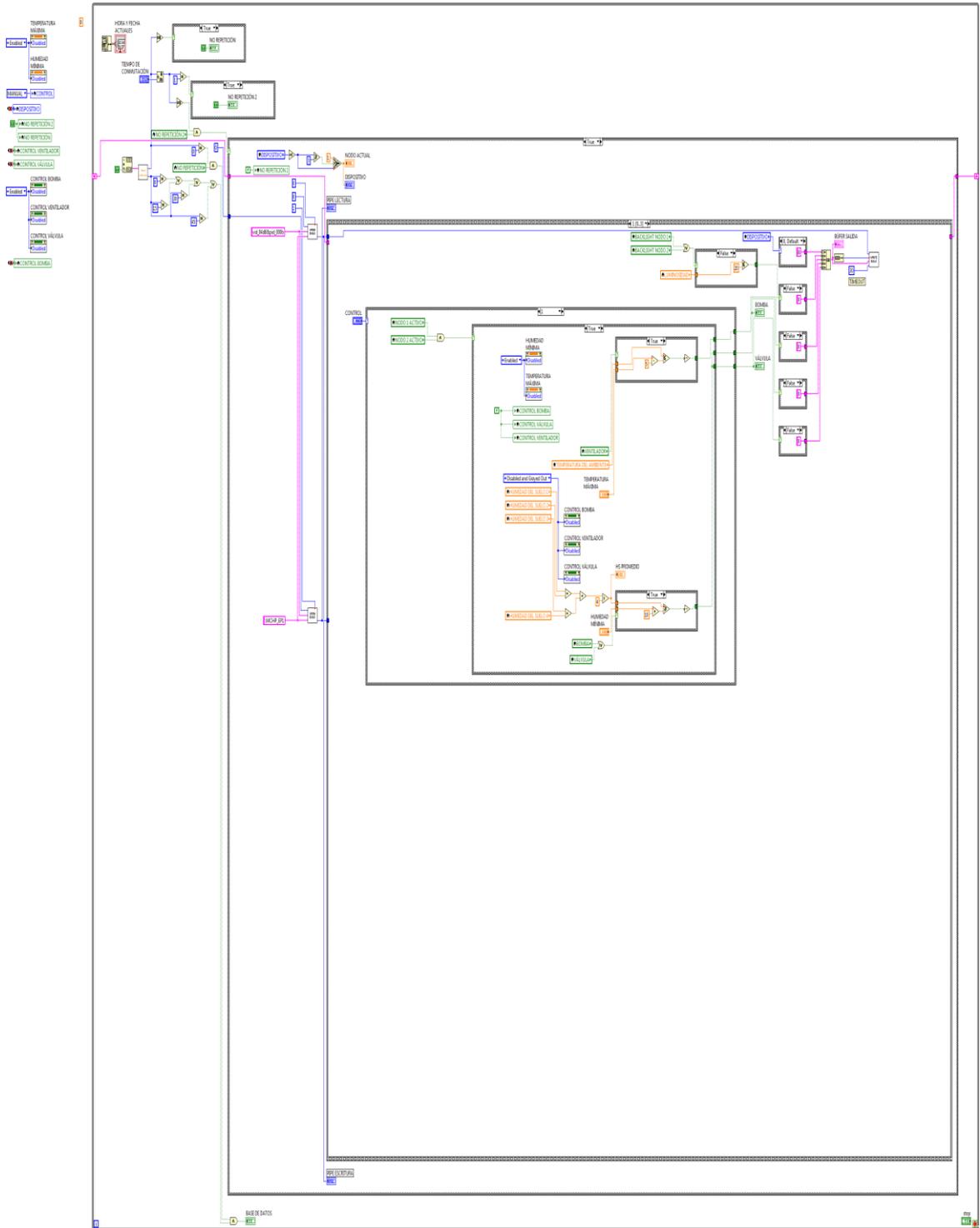
enter();
delay_ms(30);

modo_zb=transp;
borra_buffer();

putchar(backlight);
putchar(ventilador);
putchar('&');
output_low(led2);

}
```

ANEXO F: PROGRAMACION EN LABVIEW



ANEXO G: DISEÑO DE PLACAS VISTA INFERIOR

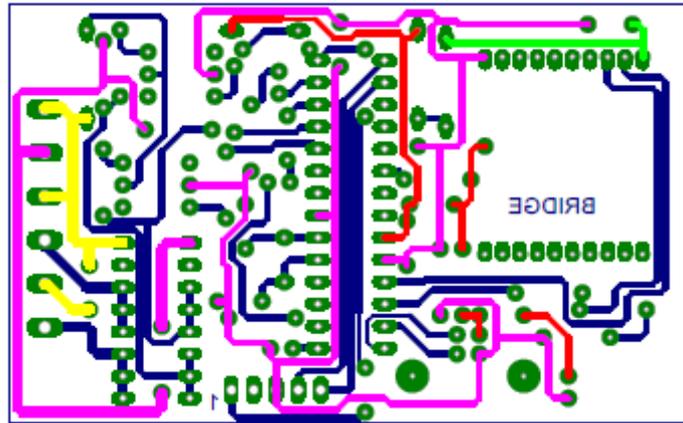


Figura 1. Módulo Central

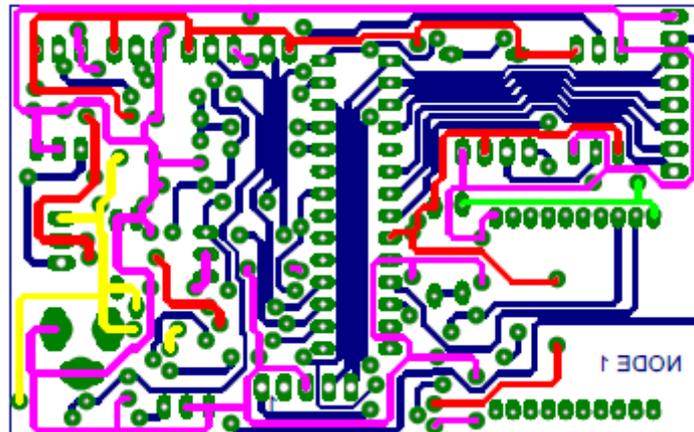


Figura 2. Módulo Nodo 1.

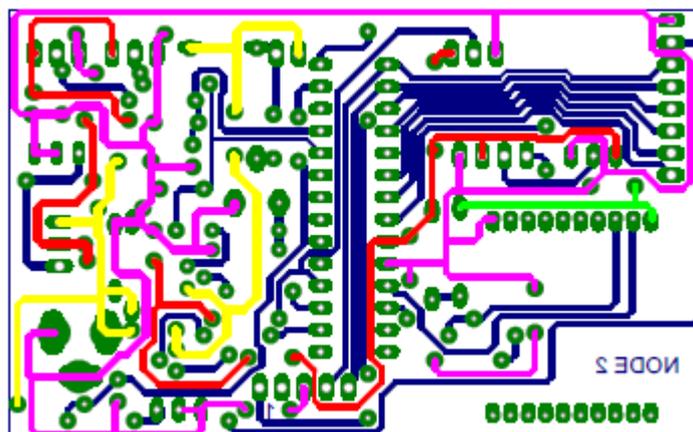


Figura 3. Módulo Nodo 2.

ANEXO H: DISEÑO DE PLACAS VISTA SUPERIOR

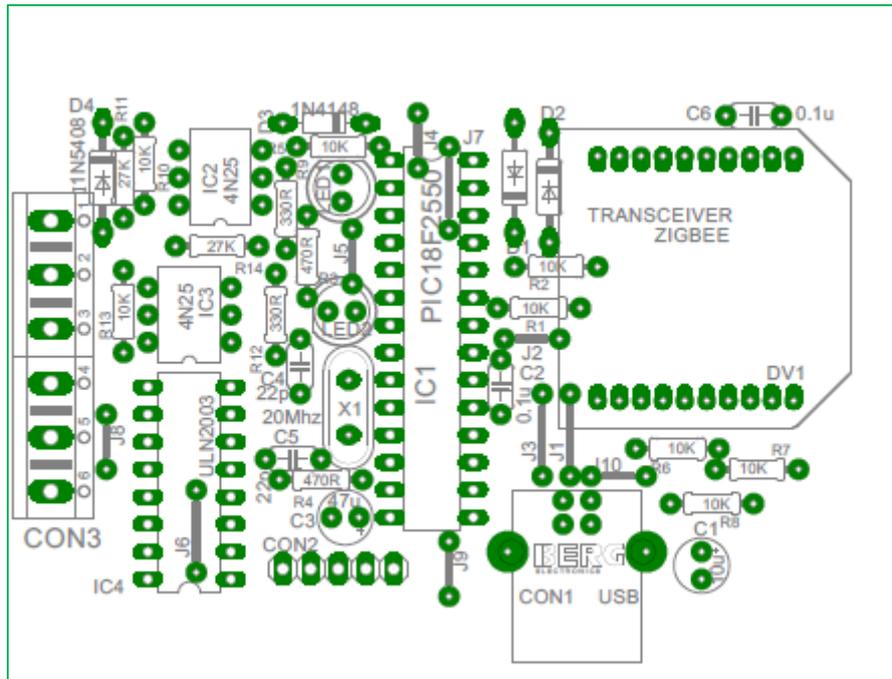


Figura 1. Módulo Central

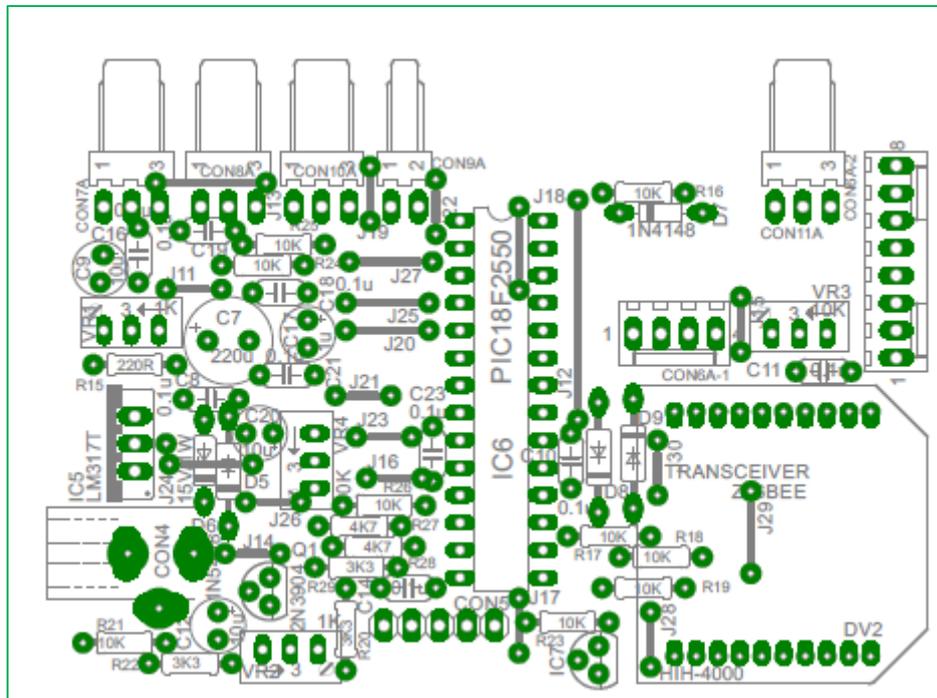


Figura 2. Módulo Nodo 1.

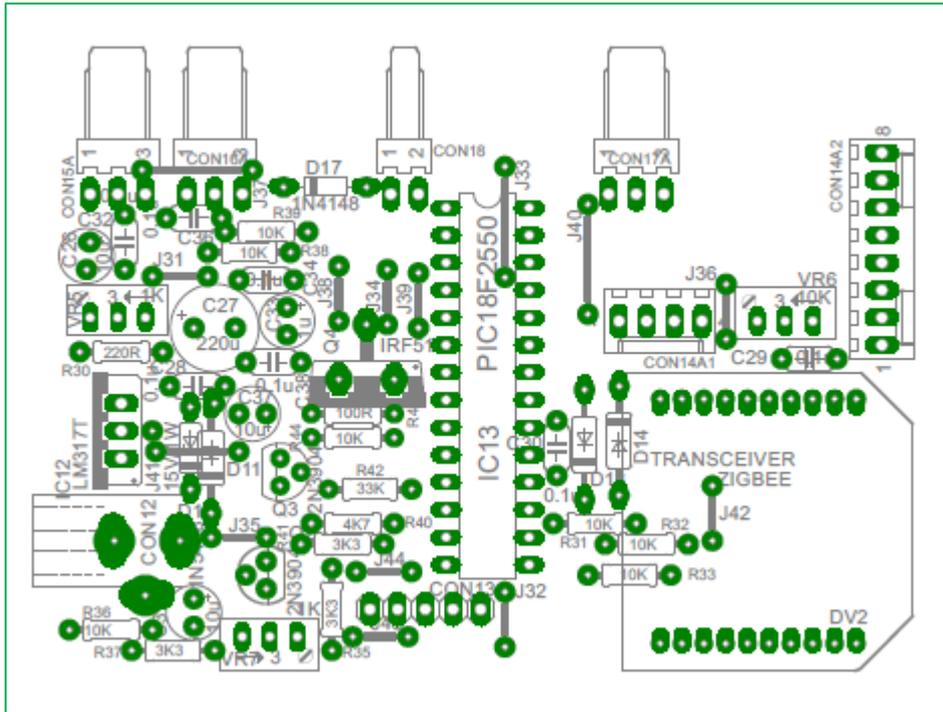
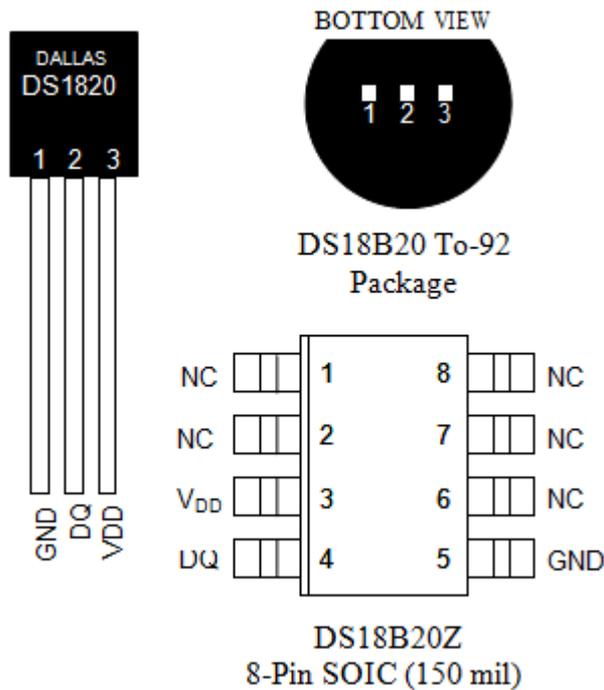


Figura 3. Módulo Nodo 2.

**ANEXO I: HOJAS TÉCNICAS DE ELEMENTOS
ELECTRÓNICOS**

1. Wire Digital Thermometer DS18B20

PIN ASSIGNMENT



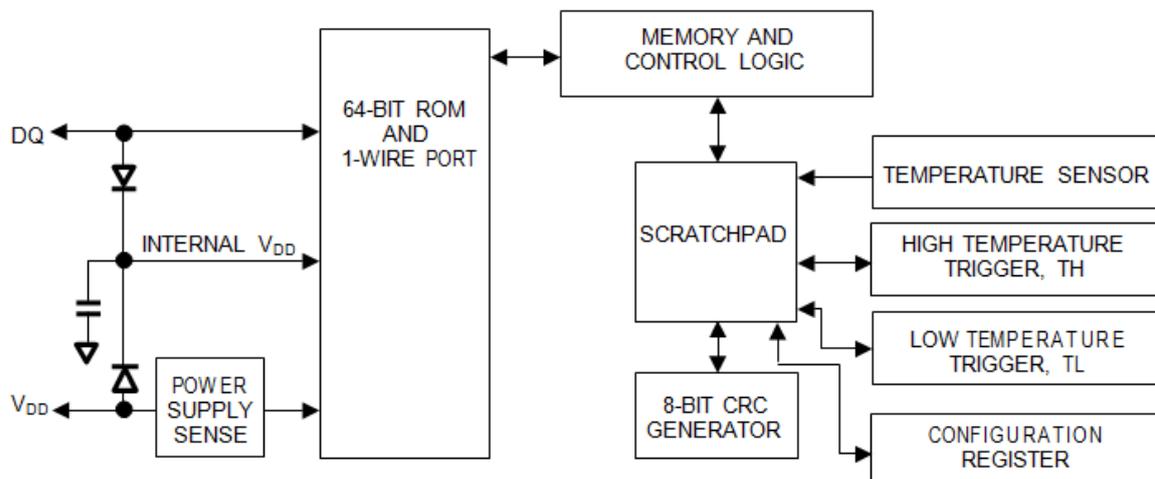
PIN DESCRIPTION

- GND - Ground
- DQ - Data In/Out
- V_{DD} - Power Supply Voltage
- NC - No Connect

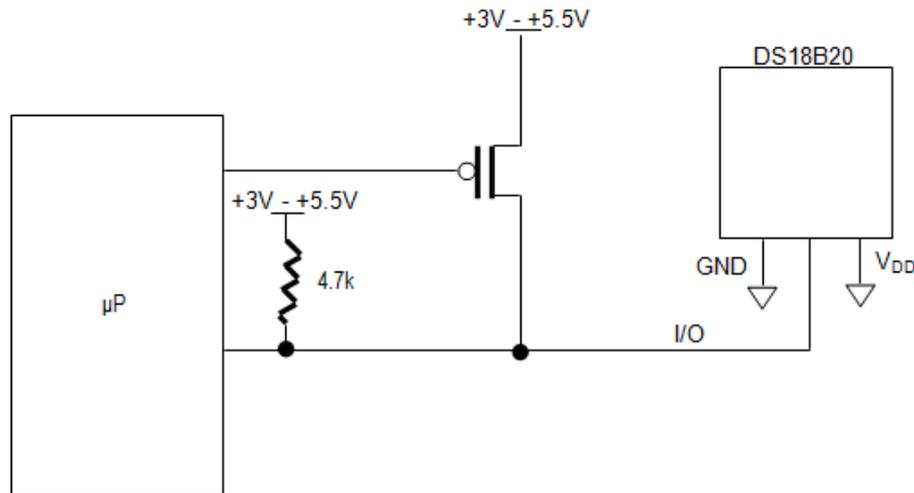
PIN SPIN SOIC	PIN TO92	SYMBOL	DESCRIPTION
5	1	GND	Ground.
4	2	DQ	Data Input/Output pin. For 1-Wire operation: Open drain. (See "Parasite Power" section.)
3	3	V _{DD}	Optional V_{DD} pin. See "Parasite Power" section for details of connection. V _{DD} must be grounded for operation in parasite power mode.

DS18B20Z (8-pin SOIC): All pins not specified in this table are not to be connected.

DS18B20 BLOCK DIAGRAM



STRONG PULLUP FOR SUPPLYING DS18B20 DURING TEMPERATURE CONVERSION



OPERATION - MEASURING TEMPERATURE

Temperature/Data Relationships

2^3	2^2	2^1	2^0	2^{-1}	2^{-2}	2^{-3}	2^{-4}	LSB
MSb				(unit = °C)				LSb
S	S	S	S	S	2^6	2^5	2^4	MSB

TEMPERATURE	DIGITAL OUTPUT (Binary)	DIGITAL OUTPUT (Hex)
+125°C	0000 0111 1101 0000	07D0h
+85°C	0000 0101 0101 0000	0550h*
+25.0625°C	0000 0001 1001 0001	0191h
+10.125°C	0000 0000 1010 0010	00A2h
+0.5°C	0000 0000 0000 1000	0008h
0°C	0000 0000 0000 0000	0000h
-0.5°C	1111 1111 1111 1000	FFF8h
-10.125°C	1111 1111 0101 1110	FF5Eh
-25.0625°C	1111 1110 0110 1111	FF6Fh
-55°C	1111 1100 1001 0000	FC90h

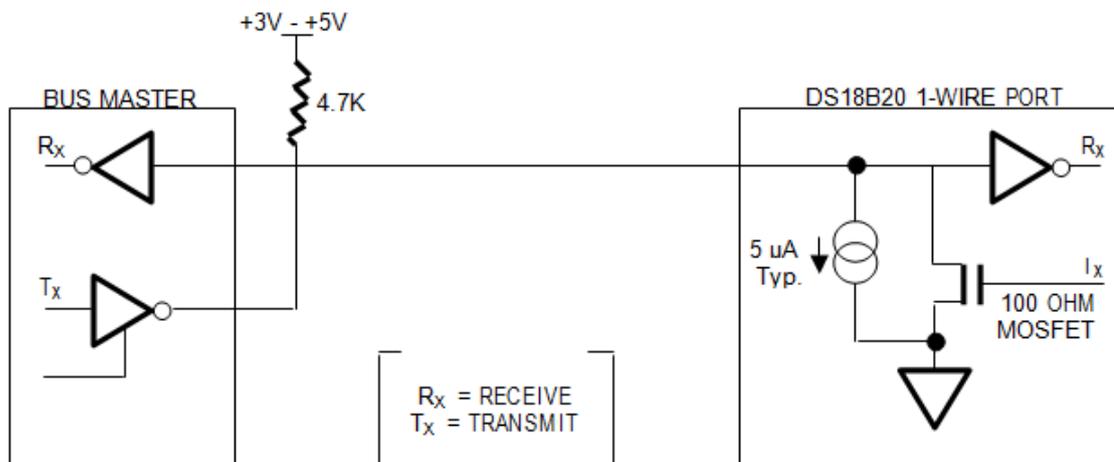
*The power on reset register value is +85°C.

DS18B20 CONFIGURATION REGISTER

0	R1	R0	1	1	1	1	1
MSb			LSb				

Bits 0-4 are don't cares on a write but will always read out "1".
Bit 7 is a don't care on a write but will always read out "0". **R0**,
R1: Thermometer resolution bits. Table 3 below defines the resolution of the digital thermometer, based on the settings of these 2 bits. There is a direct tradeoff between resolution and conversion time, as depicted in the AC Electrical Characteristics. The factory default of these EEPROM bits is R0=1 and R1=1 (12-bit conversions).

HARDWARE CONFIGURATION



2. HONEYWELL HIH-4000-001



Features

- Molded thermoset plastic housing with cover
- Linear voltage output vs %RH
- Laser trimmed interchangeability
- Low power design
- High accuracy
- Fast response time
- Stable, low drift performance
- Chemically resistant

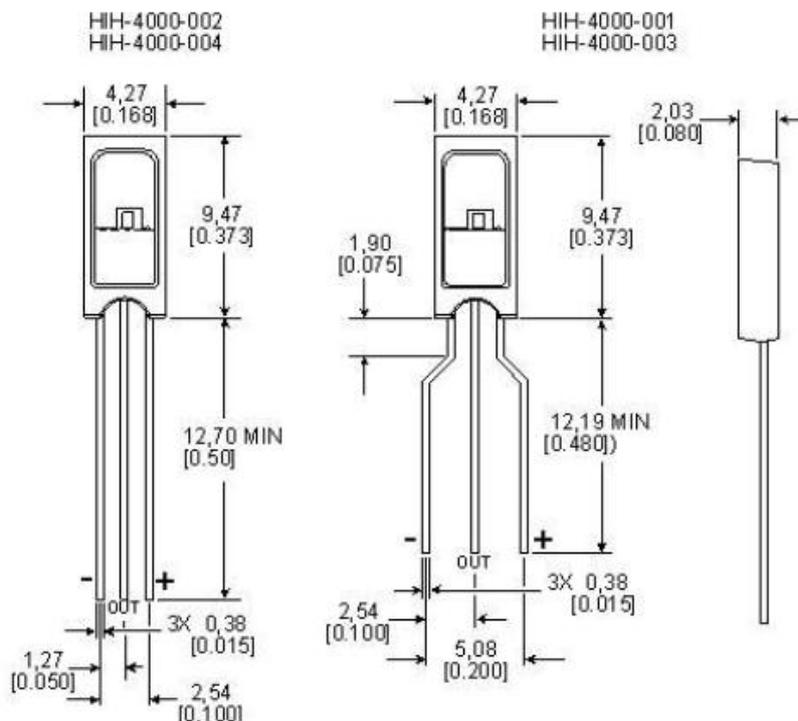
Typical Applications

- Refrigeration
- Drying
- Meteorology
- Battery-powered systems
- OEM assemblies

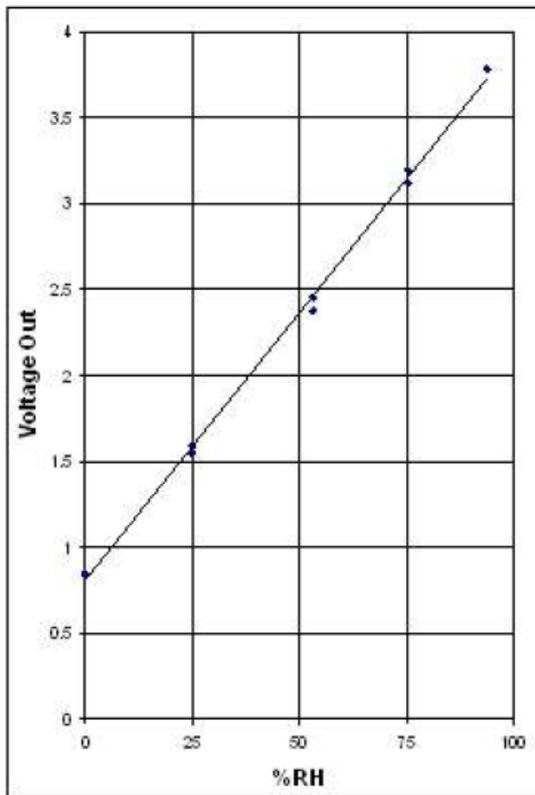
HIH-4000 Series Integrated Circuitry Humidity Sensor, 2,54 mm (0.100 in) Lead Pitch SIP

Product Specifications	
Package Style	Solderable SIP
Termination Details	2,54 mm [0.100 in] Lead Pitch
Series Name	HIH-4000 Series
RH Accuracy	± 3.5% RH, 0-100 % RH non-condensing, 25 °C, 5 Vdc supply
RH Interchangeability	± 5% RH, 0-60% RH; ± 8% @ 60-100% RH Typical
RH Hysteresis	± 3% of RH Span Maximum
RH Repeatability	± 0.5% RH
RH response time, 1/e	15 s in slowly moving air @ 25 °C
RH Stability	± 0.2% RH Typical at 50% RH in 1 Year
Supply Voltage	4.0 Vdc to 5.8 Vdc
Supply Current	500 µA Max.
Operating Humidity Range	0 to 100% RH, non-condensing
Operating Temperature Range	-40 °C to 85 °C (-40 °F to 185 °F)
Temperature Compensation	True RH = Sensor RH/(1.0305+0.000044T-0.0000011T ²) T in °C (True RH = Sensor RH/(0.9237-0.0041T+0.000040T ²) T in °C)
Availability	Global
Comment	Light sensitive, shield from bright light.
UNSPSC Code	411121
UNSPSC Commodity	411121 Transducers

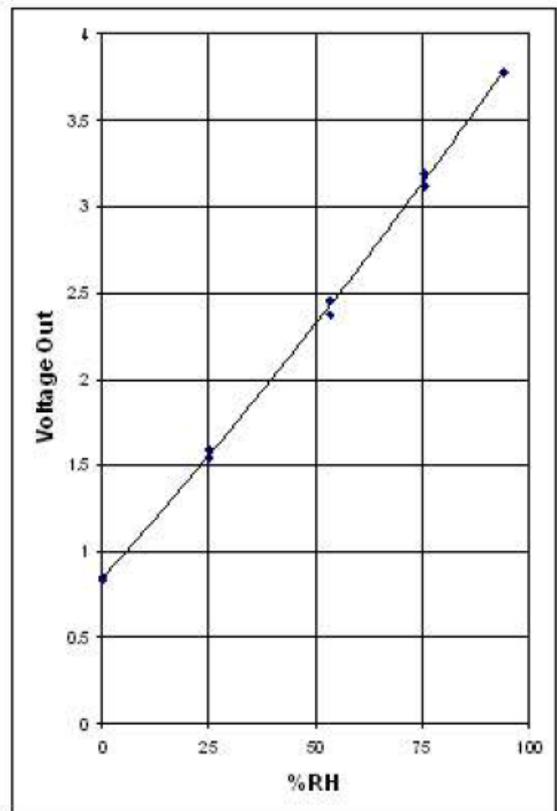
Mounting Dimensions For Reference Only [mm/in]



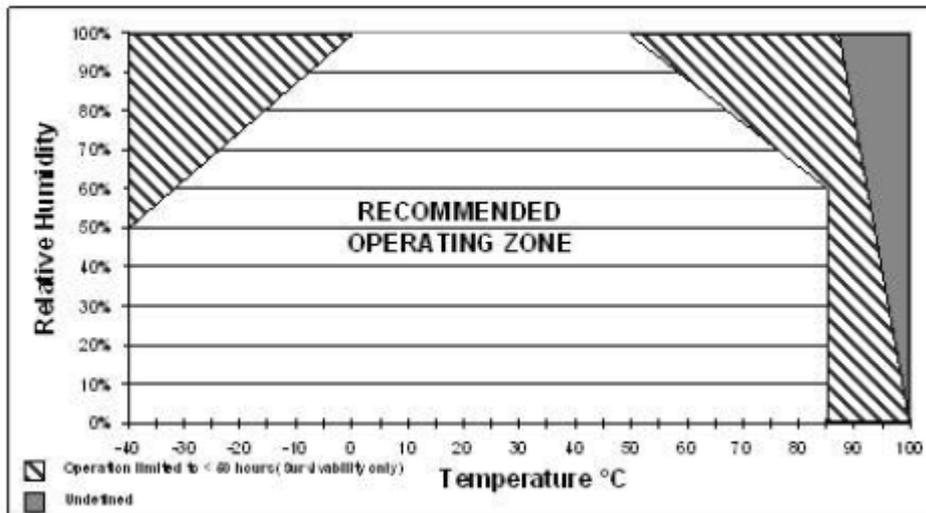
TYPICAL BEST FIT STRAIGHT LINE



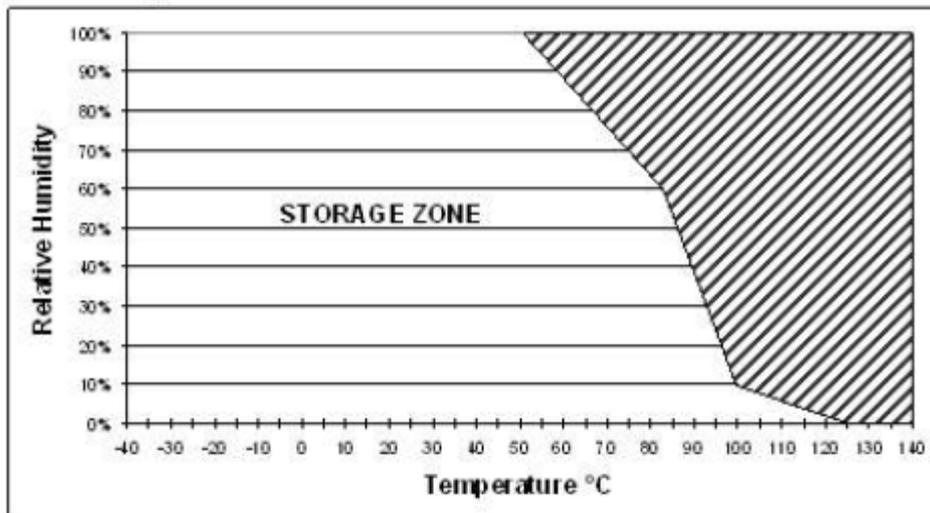
TYPICAL 2nd ORDER CURVE FIT



Recommended Operating Conditions



Storage Environment



3. MOISTURE SENSOR MERODUINO

The new soil moisture sensor uses Immersion Gold which protects the nickel from oxidation. Electroless nickel immersion gold (ENIG) has several advantages over more conventional (and cheaper) surface platings such as HASL (solder), including excellent surface planarity (particularly helpful for PCB's with large BGA packages), good oxidation resistance, and usability for untreated contact surfaces such as membrane switches and contact points.

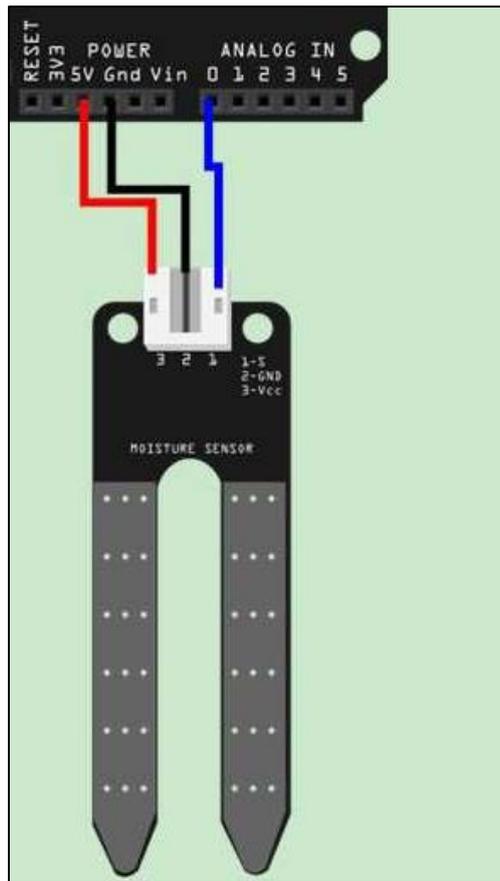
A soil moisture sensor can read the amount of moisture present in the soil surrounding it. It's a low tech sensor, but ideal for monitoring an urban garden, or your pet plant's water level. This is a must have tool for a connected garden!

This sensor uses the two probes to pass current through the soil, and then it reads that resistance to get the moisture level. More water makes the soil conduct electricity more easily (less resistance), while dry soil conducts electricity poorly (more resistance).

It will be helpful to remind you to water your indoor plants or to monitor the soil moisture in your garden. The [IO Expansion Shield](#) is the perfect shield to connect this sensor to Arduino.

Specification

- Power supply: 3.3v or 5v
- Output voltage signal: 0~4.2v
- Current: 35mA
- Pin definition:
 - Analog output(Blue wire)
 - GND(Black wire)
 - Power(Red wire)
- Size: 60x20x5mm
- Surface finish:Immersion Gold



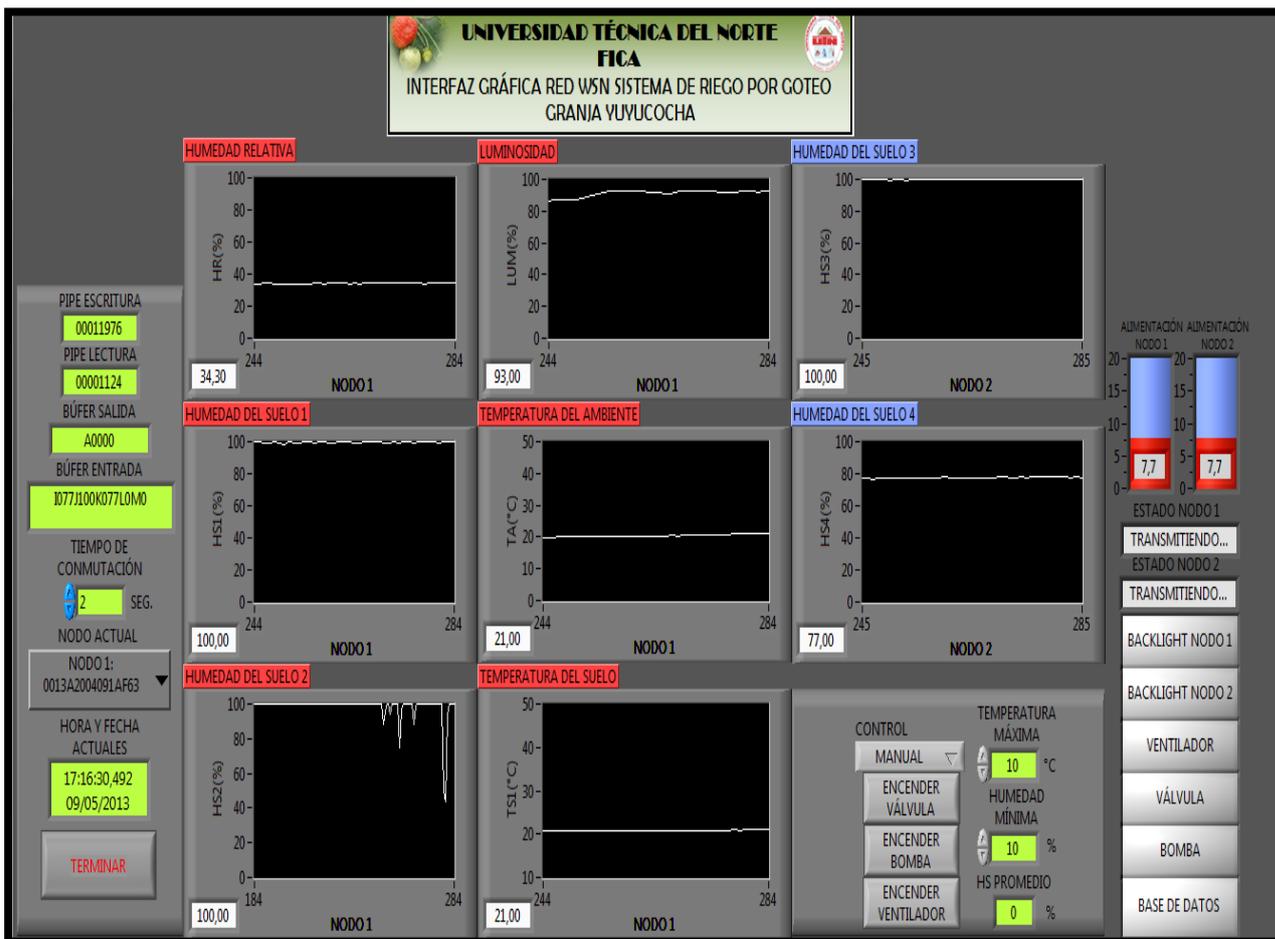
Connection



ANEXO J: MANUAL DE USUARIO

MANUAL DE USUARIO

RED WSN SISTEMA DE RIEGO POR GOTEO



CONTENIDO

ÍNDICE GENERAL

CONTENIDO.....	1
ÍNDICE DE FIGURAS	2
1. INTRODUCCIÓN.....	3
2. ACCESO INTERFAZ GRÁFICA.....	3
3. FUNCIONAMIENTO INTERFAZ GRÁFICA.....	4
3.1. VERIFICACIÓN DE COMUNICACIÓN.....	4
3.2. DE ALIMENTACIÓN DE LOS NODOS.....	4
3.3. TIEMPO DE CONMUTACIÓN.....	5
3.4. PIPES DE LECTURA Y ESCRITURA.....	5
3.5. BUFER DE ENTRADA Y SALIDA.....	5
3.6. GRÁFICAS DE LOS DATOS LEIDOS.....	6
4. CONTROL MANUAL.....	7
5. CONTROL AUTOMÁTICO.....	8
6. ESTADO DE LOS ACTUADORES.....	9
7. GRÁFICAS DEL HISTORIAL DEL SISTEMA.....	10



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Programa de inicio.	3
Figura 2. Pantalla de visualización de la Interfaz Gráfica.	3
Figura 3. Comunicación establecida entre los nodos.	4
Figura 4. Comunicación no establecida entre los nodos.	4
Figura 5. Suministro de voltaje a los nodos.	4
Figura 6. Tiempo de conmutación.	5
Figura 7. Pipe de escritura y lectura.	5
Figura 8. Búfer de entrada y salida.	5
Figura 9. Gráficas nodo sensor 1.	6
Figura 10. Gráficas nodo sensor 2.	7
Figura 11. Panel de control manual del sistema.	7
Figura 12. Panel de control automático del sistema.	8
Figura 13. Panel de ingreso de temperatura máxima y humedad mínima.	8
Figura 14. Actuadores apagados.	9
Figura 15. Actuadores encendidos.	9
Figura 16. Pantalla de las gráficas del historial del sistema.	10
Figura 17. Ingreso de fecha.	11
Figura 18. Botón para graficar reporte.	11



1. INTRODUCCIÓN

Este manual de usuario brinda la información necesaria para el monitoreo y control del sistema de riego por goteo de la plantación de fresas en el interior de un invernadero de la Granja Yuyucocha. Mediante esta guía, se exponen las funcionalidades que posee el sistema.

2. ACCESO INTERFAZ GRÁFICA

1. Para acceder a la Interfaz Gráfica se debe ejecutar el programa instalado en la PC denominado MONITOREO. Tal como se indica en la Figura 1.

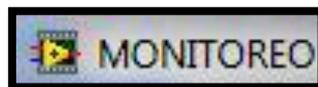


Figura 1. Programa de inicio.

2. Una vez ejecutado se despliega la pantalla de comunicación entre el usuario y el sistema. Véase Figura 2.

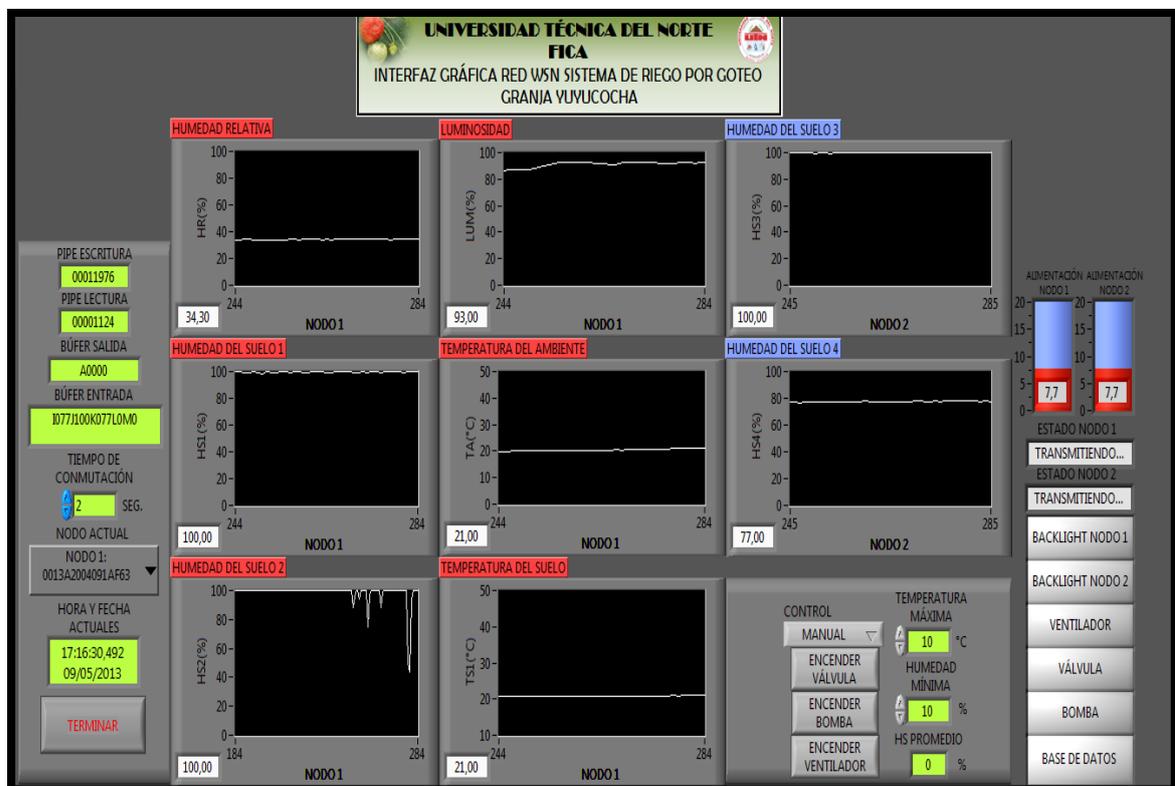


Figura 2. Pantalla de visualización de la Interfaz Gráfica.



3. FUNCIONAMIENTO INTERFAZ GRÁFICA

3.1. VERIFICACIÓN DE COMUNICACIÓN

Antes de realizar cualquier proceso mediante la interfaz gráfica se debe observar que exista una comunicación entre los nodos, en el caso de existir transmisión de información se visualiza el mensaje: TRANSMITIENDO..., como se indica en las Figura 3, caso contrario el mensaje visible es: NO DISPONIBLE..., que se puede observar en la Figura 4. Los visualizadores se encuentran en la parte derecha de la Interfaz Gráfica.

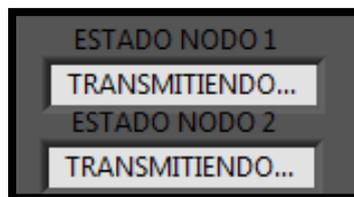


Figura 3. Comunicación establecida entre los nodos.

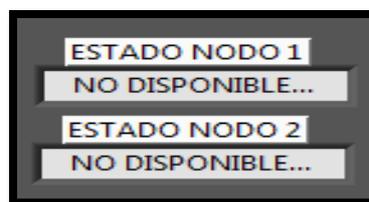


Figura 4. Comunicación no establecida entre los nodos.

3.2. DE ALIMENTACIÓN DE LOS NODOS

La alimentación de los nodos se puede visualizar en el panel mostrado en la Figura 5.



Figura 5. Suministro de voltaje a los nodos.



3.3. TIEMPO DE CONMUTACIÓN

El tiempo de conmutación se puede variar de dos hasta cinco segundos, que será el tiempo de enlace del nodo central con cada nodo sensor como se indica en la Figura 6.

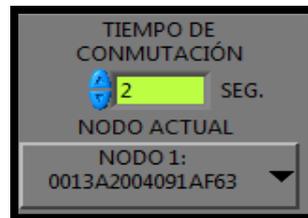


Figura 6. Tiempo de conmutación.

3.4. PIPES DE LECTURA Y ESCRITURA

Estos visualizadores muestran el número del canal virtual de la comunicación USB Bulk mediante los que se escribe o se lee un dato. Figura 7.

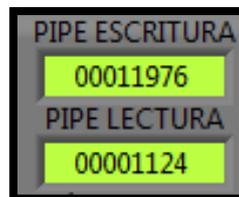


Figura 7. Pipe de escritura y lectura.

3.5. BÚFER DE ENTRADA Y SALIDA

Los búfer de entrada y salida indican los datos que envían los nodos sensores al módulo central y viceversa. Como se muestra en la Figura 8.

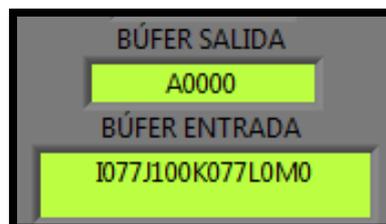


Figura 8. Búfer de entrada y salida.



3.6. GRÁFICAS DE LOS DATOS LEÍDOS

Las gráficas varían de acuerdo a los datos leídos por el sistema, indican el comportamiento que cada variable sufre al transcurrir el tiempo. Las gráficas con etiquetas rojas pertenecen a las variables del Nodo Sensor 1 como se muestra en la Figura 9, y las de etiqueta azul al Nodo Sensor 2 como se muestra en la Figura 10.

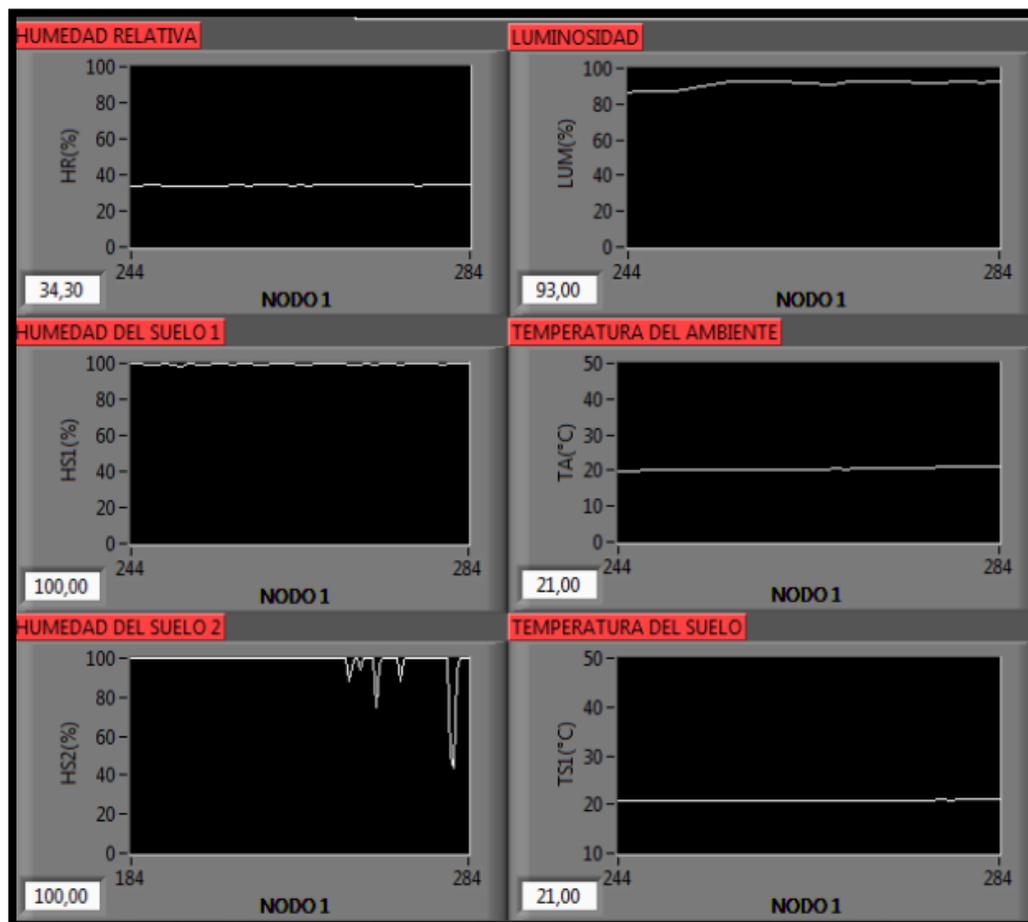


Figura 9. Gráficas nodo sensor 1.



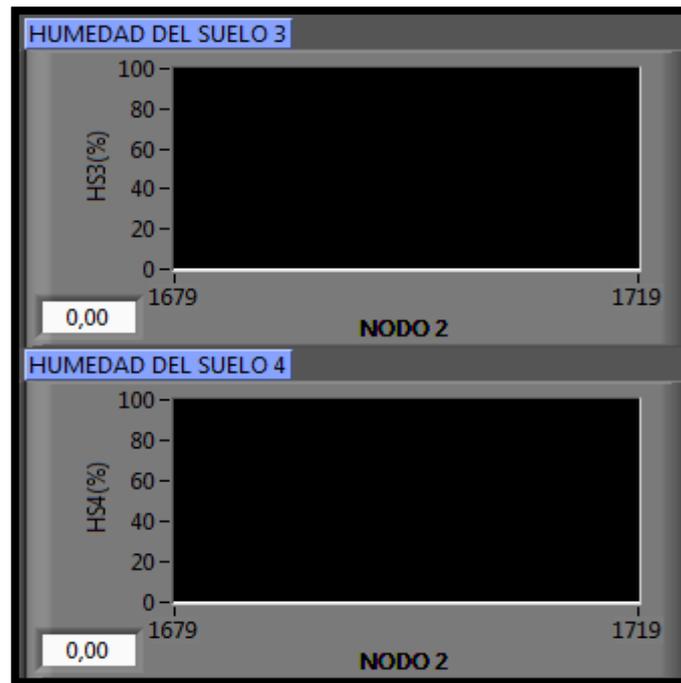


Figura 10. Gráficas nodo sensor 2.

4. CONTROL MANUAL

La interfaz está provista de dos controles: manual y automático. En el caso del control manual se debe:

1. Ir al panel mostrado en la Figura 11, desplegar la flecha y escoger control manual.

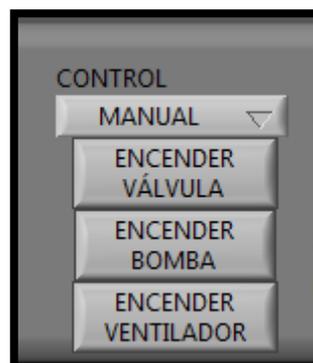


Figura 11. Panel de control manual del sistema.

2. Escoger que acción llevará a cabo tomando en cuenta que el sistema no basará sus acciones en los datos sensados. Entre las opciones están:

- Encender la válvula
- Encender la bomba
- Encender ventilador.

5. CONTROL AUTOMÁTICO

1. Verificar que esté seleccionado automático del panel indicado en la Figura 12, inmediatamente de realizar esta acción se bloquearan los botones de encendido de la válvula, de la bomba y el ventilador.

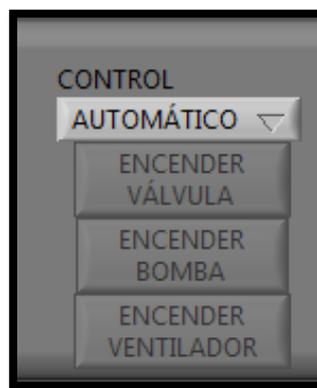


Figura 12. Panel de control automático del sistema.

2. Ingresar los valores de la temperatura máxima y humedad mínima necesarias para el cultivo en el panel de control, tal como se muestra en la Figura 13. Es importante que el usuario tome en cuenta que en este modo de operación se desactivan los botones de encendido de la válvula, la bomba y el ventilador ya que el trabajo lo realiza el sistema solo, sin la supervisión de personas.

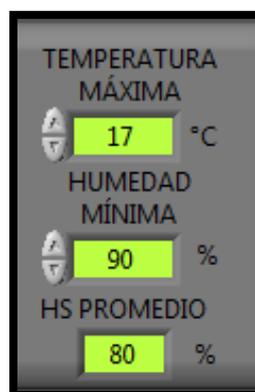


Figura 13. Panel de ingreso de temperatura máxima y humedad mínima.

El visualizador HS Promedio (Humedad del suelo promedio) muestra el promedio de los valores adquiridos por los cuatro sensores de humedad utilizados. El valor mencionado sirve para compararlo con la humedad mínima ingresada y encender o apagar la bomba.

6. ESTADO DE LOS ACTUADORES

Los actuadores son los elementos que de acuerdo a los valores sensados se encienden o se apagan dependiendo de los valores procesados.

A continuación, en las Figuras 14 y 15 se muestran el color de apagado y el de encendido respectivamente, que toman los visualizadores gráficos de cada uno de los actuadores.



Figura 14. Actuadores apagados.



Figura 15. Actuadores encendidos.



La luz de fondo (backlight) de las pantallas LCD de los Módulos 1 y 2 no poseen control manual trabajan de manera automática dependiendo de la variación de luminosidad captada en el interior del invernadero, es decir que cuando se sense un valor igual o menor a veinte lúmenes se encenderá el actuador.

7. GRÁFICAS DEL HISTORIAL DEL SISTEMA

Esta pantalla permite observar un reporte del comportamiento de las variables sensadas: humedad relativa, humedad del suelo, luminosidad, temperatura del suelo y temperatura del ambiente, datos que están almacenados en la base de datos. (Véase Figura 16).

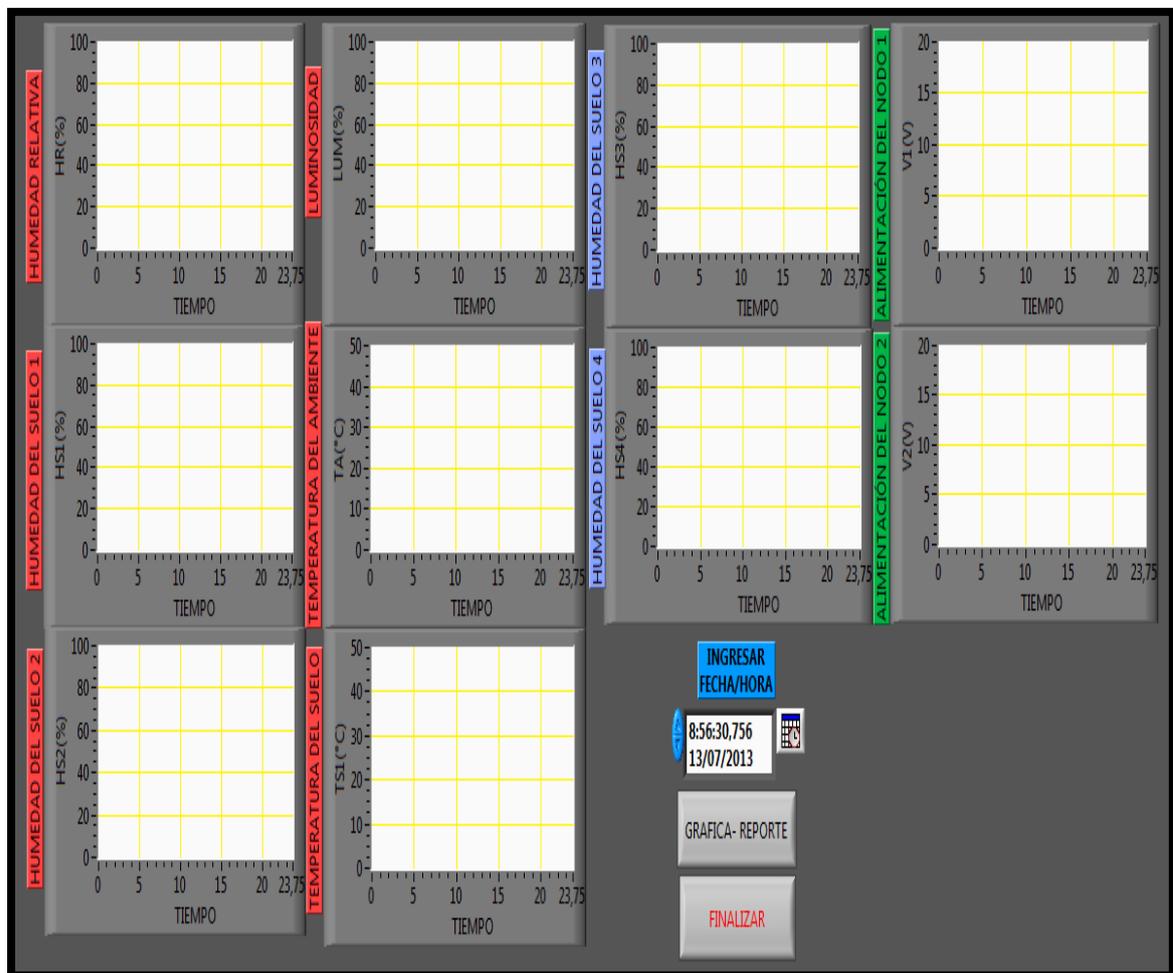


Figura 16. Pantalla de las gráficas del historial del sistema.



1. Ingrese la fecha de la cual necesita el reporte gráfico. Figura 17.



Figura 17. Ingreso de fecha

2. Presione el botón GRÁFICA – REPORTE.

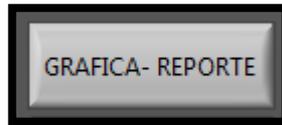


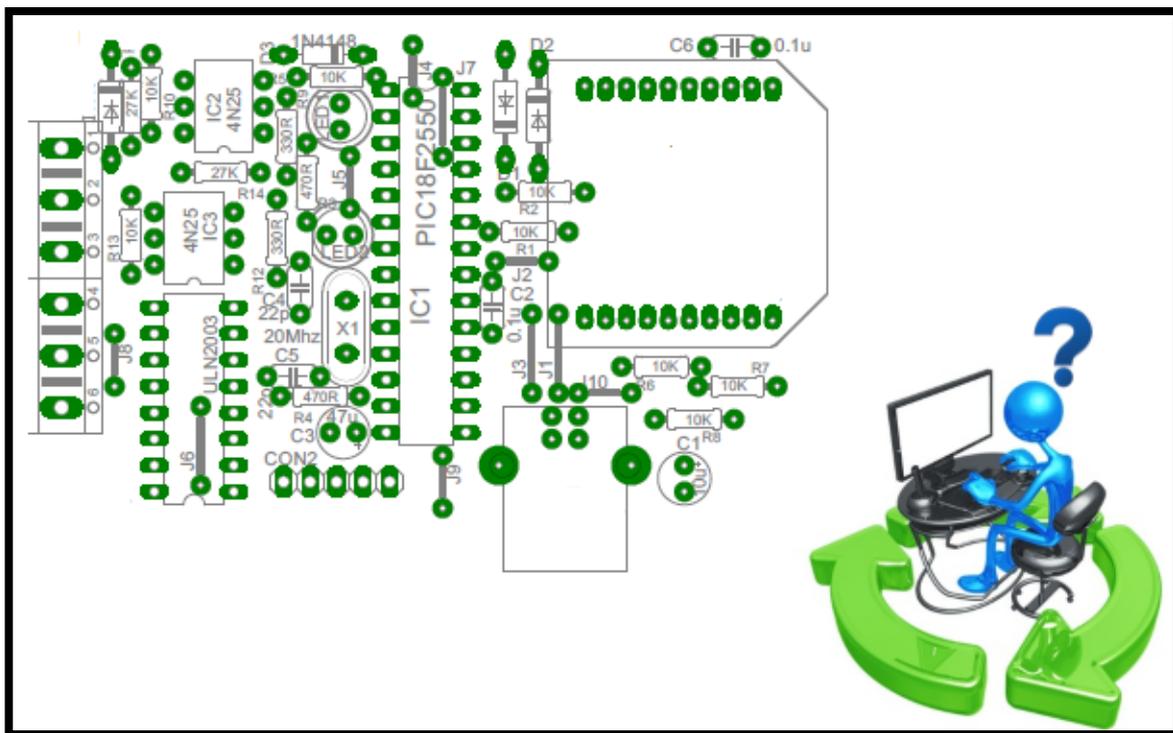
Figura 18. Botón para graficar reporte.



ANEXO K: MANUAL DE ADMINISTRADOR

MANUAL DE ADMINISTRADOR

RED WSN SISTEMA DE RIEGO POR GOTEO



CONTENIDO

CONTENIDO	I
ÍNDICE DE FIGURAS	II
ÍNDICE DE TABLAS	II
1. INTRODUCCIÓN	1
2. ESQUEMA DE UBICACIÓN / COMPONENTES NODO CENTRAL	1
2.1. DESCRIPCIÓN DE COMPONENTES NODO CENTRAL.....	1
3. ESQUEMA DE UBICACIÓN / COMPONENTES NODO SENSOR 1	2
3.1. DESCRIPCIÓN DE COMPONENTES NODO1.....	2
4. ESQUEMA DE UBICACIÓN / COMPONENTES NODO SENSOR 2	3
4.1. DESCRIPCIÓN DE COMPONENTES NODO2.....	3
5. DIAGNÓSTICO Y DETECCIÓN DE FALLAS	4
5.1. NODOS SENSORES.....	4
5.2. NODO CENTRAL.....	5
5.3. INTERFAZ GRÁFICA.....	6
5.4. RED WSN.....	7
5.5. FUENTE DE ALIMENTACIÓN.....	8



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Esquema de ubicación de los componentes del nodo central.....	1
Figura 2. Esquema de ubicación de los componentes del nodo sensor 1.....	2
Figura 3. Esquema de ubicación de los componentes del nodo sensor 2.....	3
Figura 4. Pantalla Interfaz Gráfica.....	6
Figura 5. Gráfica esquemática red WSN.....	7

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Descripción componentes Nodo Central.	1
Tabla 2. Descripción componentes Nodo Sensor 1.	2
Tabla 3. Descripción componentes Nodo Sensor 2.	3
Tabla 4. Guía para resolver problemas nodos sensores.....	4
Tabla 5. Guía para resolver problemas nodo central.	5
Tabla 6. Guía para resolver problemas interfaz gráfica.....	6
Tabla 7. Guía para resolver problemas red inalámbrica.....	8
Tabla 8. Guía para resolver problemas fuente de alimentación.....	8



1. INTRODUCCIÓN

Este manual de administrador brinda la información necesaria para la instalación, detección y corrección de fallas del sistema de monitoreo y control del sistema de riego por goteo mediante una red WSN.

2. ESQUEMA DE UBICACIÓN / COMPONENTES NODO CENTRAL

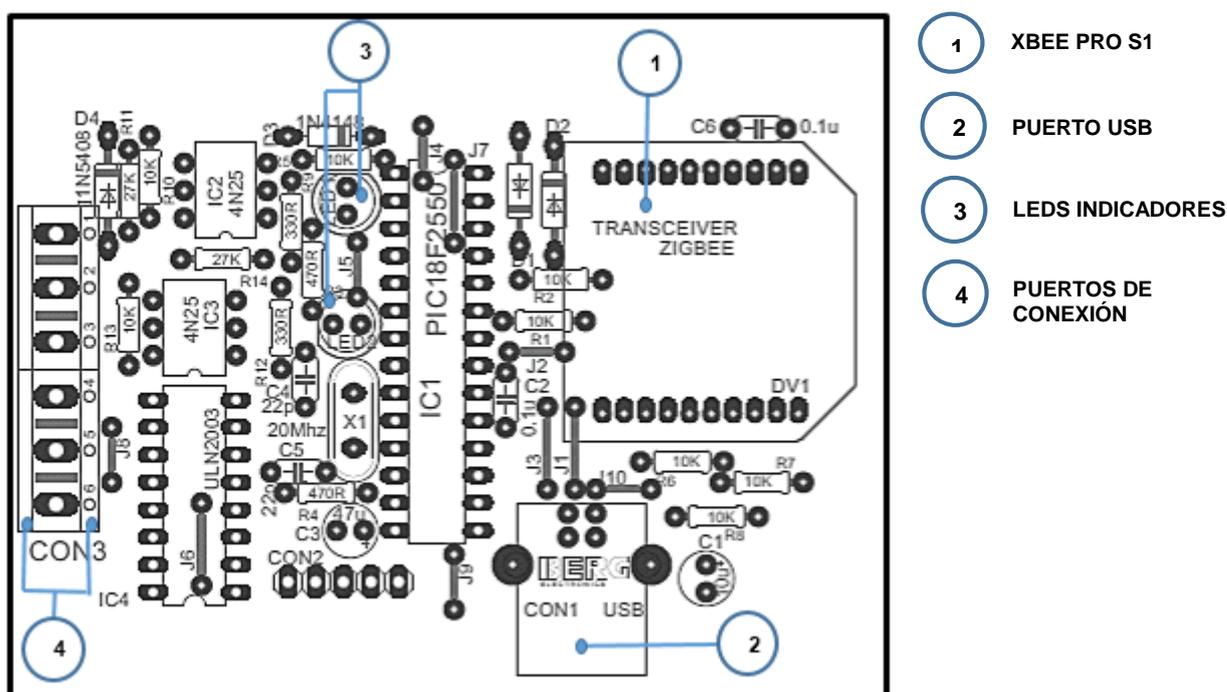


Figura 1. Esquema de ubicación de los componentes del nodo central.

2.1. DESCRIPCIÓN DE COMPONENTES NODO CENTRAL

En la Figura 1 se observa la disposición de los componentes principales en la placa diseñada para el Nodo Central de la red WSN.

Tabla 1. Descripción componentes Nodo Central.

COMPONENTES PRINCIPALES NODO CENTRAL	
1 XBEE PRO S1	Módulo inalámbrico (ZigBee), utilizado para recibir las variables enviadas por los Nodos Sensores y transmitir las acciones necesarias para el funcionamiento del sistema de riego por goteo.
2 Puerto usb	Conector para comunicar el nodo central con la PC.
3 Leds indicadores	Uno de ellos indica el encendido / apagado del módulo, el otro indica el estado de transmisión y recepción de datos.
4 Puertos de conexión	Utilizados para la conexión con los elementos actuadores del sistema como: electroválvulas y bomba de succión.



3. ESQUEMA DE UBICACIÓN / COMPONENTES NODO SENSOR 1

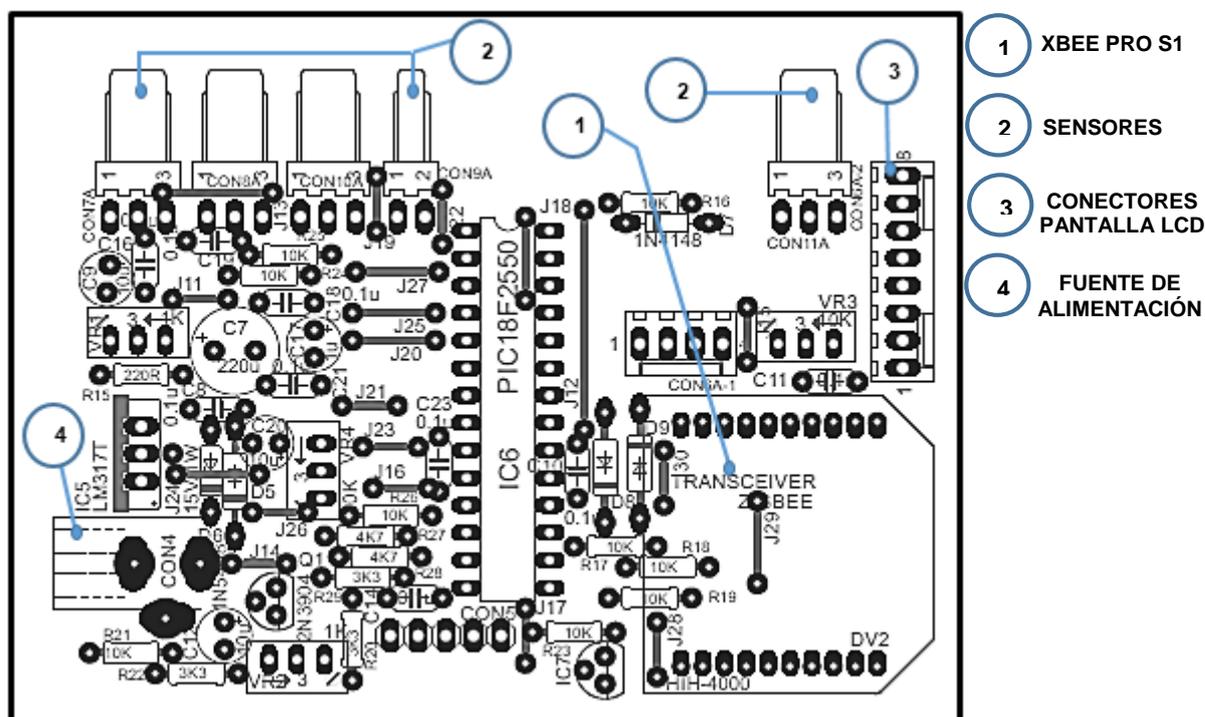


Figura 2. Esquema de ubicación de los componentes del nodo sensor 1.

3.1. DESCRIPCIÓN DE COMPONENTES NODO 1

La Figura 2 muestra la disposición en la que han sido colocados los componentes principales en la placa diseñada para el Nodo Sensor 1.

Tabla 2. Descripción componentes Nodo Sensor 1.

COMPONENTES PRINCIPALES NODO SENSOR 1

1	XBEE PRO S1	Módulo inalámbrico (ZigBee), utilizado para recibir las variables captadas por los sensores y enviar las mismas al nodo central para su procesamiento y toma de decisiones.
2	Sensores	Encargados de captar los valores de las variables de temperatura, humedad del suelo y del ambiente, luminosidad y el estado de alimentación de los módulos sensores.
3	Conectores pantalla LCD	Permite conectar una pantalla LCD al módulo para mostrar de manera local los datos sensados.
4	Fuente de alimentación	Puerto adaptado (bornera) para suministrar el voltaje necesario para el funcionamiento del módulo, ya sea con una batería o un adaptador de voltaje.



4. ESQUEMA DE UBICACIÓN / COMPONENTES NODO SENSOR 2

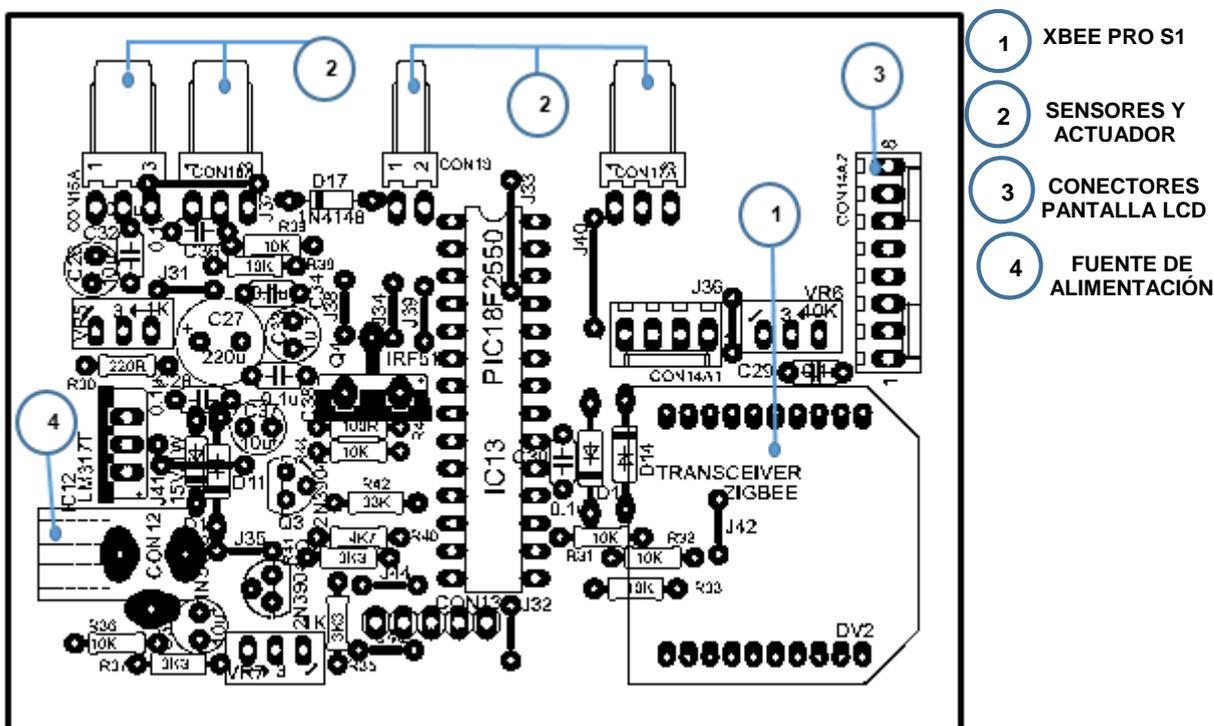


Figura 3. Esquema de ubicación de los componentes del nodo sensor 2.

4.1. DESCRIPCIÓN DE COMPONENTES NODO 2

La Figura 3 muestra la disposición de los elementos principales del nodo sensor 2.

Tabla 3. Descripción componentes Nodo Sensor 2.

COMPONENTES PRINCIPALES NODO SENSOR 2

1 XBEE PRO S1	Módulo inalámbrico (ZigBee), utilizado para recibir las variables captadas por los sensores y enviar las mismas al nodo central para su procesamiento y toma de decisiones.
2 Sensores y actuador	Los sensores son los encargados de captar los valores de las variables de temperatura, humedad del suelo y del ambiente, luminosidad y el estado de alimentación de los módulos sensores. El actuador actúa dependiendo de las señales enviadas desde el nodo central.
3 Conectores pantalla LCD	Permite conectar una pantalla LCD al módulo para mostrar de manera local los datos sensados.
4 Fuente de alimentación	Puerto adaptado (bornera) para suministrar el voltaje necesario para el funcionamiento del módulo, ya sea con una batería o un adaptador de voltaje.



5. DIAGNÓSTICO Y DETECCIÓN DE FALLAS

Esta guía proporciona los pasos y acciones que deben realizarse cuando el sistema no esté funcionando de manera adecuada.

- Inicialmente se debe observar la operación del sistema de manera global e individual de sus partes y comparar con la operación correcta esperada.
- El siguiente paso es el aislamiento de la falla, para lo cual se realizan las pruebas necesarias y se llevan a cabo mediciones para aislarla.
- El último paso es la corrección de la falla, realizando un reemplazo del o los componentes defectuosos, corrección de la conexión, entre otros.

El sistema ha sido probado minuciosamente. Si surge un problema menor los procedimientos detallados a continuación ayudarán a identificar y solucionar el problema.

5.1. NODOS SENSORES

Los datos obtenidos por los sensores del Nodo 1 y Nodo 2 se muestran de manera local en la pantalla LCD de cada uno de ellos, para que la información pueda ser tratada de la manera más eficiente en el caso de producirse un daño.

Tabla 4. Guía para resolver problemas nodos sensores.

FALLA	CAUSA	SOLUCIÓN
Los módulos sensores no encienden.	No están adecuadamente energizados.	Verifique que el dispositivo esté energizado correctamente ya sea que esté conectado a la red de energía eléctrica mediante un adaptador de voltaje o alimentado por una batería. (Revise FUENTE DE ALIMENTACIÓN)
Los datos mostrados en la pantalla LCD no son caracteres legibles.	No se está suministrando el voltaje adecuado al módulo.	Asegúrese de que el adaptado de voltaje o la batería estén suministrando solo el voltaje requerido por cada módulo. (7 V)



FALLA	CAUSA	SOLUCIÓN
Los sensores no están captando los datos correctos dentro del invernadero, (humedad del suelo, humedad del ambiente, temperatura y luminosidad)	<ul style="list-style-type: none"> - Incorrecta ubicación en el área de sensado. - Están mal conectados a los adaptadores del módulo. - Tienen daños en su circuitería. - Han sufrido daños en los cables de adaptación. 	<ul style="list-style-type: none"> - Constate que los sensores estén en una posición adecuada para su funcionamiento. - Revise que la sonda de los sensores esté correctamente conectadas a los módulos. - Analice las conexiones y guías de los sensores que no presenten roturas o daños, de ser posible corrija el daño de manera manual o cambie el elemento.
El actuador no responde a las señales enviadas por el nodo central.	<ul style="list-style-type: none"> - No está correctamente energizado. - La conexión entre el actuador y el módulo está desconectada. - El módulo sensor no recepta las señales del módulo central. 	<ul style="list-style-type: none"> - Asegúrese de que el actuador esté conectado a la red de energía eléctrica o a una batería. - Verifique la conexión entre el actuador y el módulo sensor. - Revise que el módulo ZigBee esté conectado en la placa. - Asegúrese de que la transmisión y recepción de la red WSN esté funcionando. (Revise en RED WSN)

5.2. NODO CENTRAL

El nodo central es el encargado de recibir las señales enviadas desde los nodos sensores, en caso de existir un daño en este elemento las acciones que debe realizar el sistema de riego no se efectuarán debido a que no existe la recepción de los datos captados por los sensores.

Tabla 5. Guía para resolver problemas nodo central.

FALLA	CAUSA	SOLUCIÓN
El módulo central no enciende.	El módulo no está energizado.	Verifique que el dispositivo esté correctamente energizado. (Revise FUENTE DE ALIMENTACIÓN)
El led indicador está apagado.		
No se observan las gráficas de ninguna de las variables sensadas en la interfaz humano - máquina.	<ul style="list-style-type: none"> - Nodo central desconectado. - Nodos sensores desconectados o apagados. - Falla en la red inalámbrica. 	<p>Constate que los nodos sensores estén funcionando correctamente. (Revise NODOS SENSORES / INTERFAZ GRÁFICA)</p>



5.3. INTERFAZ GRÁFICA

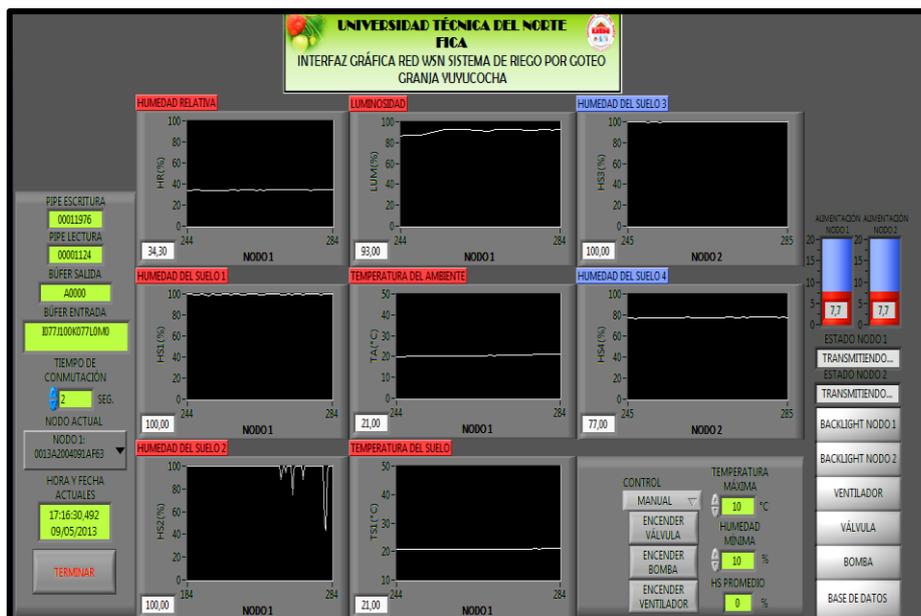


Figura 4. Pantalla Interfaz Gráfica.

Es de suma importancia para el manejo del cultivo conocer el estado de las variables sensadas porque de ello depende el funcionamiento del sistema de riego por goteo. Para fines de estudio y de fácil manejo se presenta una interfaz gráfica amigable con el usuario y su administrador.

Tabla 6. Guía para resolver problemas interfaz gráfica.

FALLA	CAUSA	SOLUCIÓN
Las pantallas de las variables sensadas no muestran ninguna gráfica.	<ul style="list-style-type: none"> - Sensores desconectados. - Nodos sensores o nodo central desconectados. - La transmisión entre los nodos no se efectúa debido a fallas en la WSN. 	<ul style="list-style-type: none"> - Constate que los nodos estén conectados y colocados en su posición adecuada. - Verifique que los dispositivos estén correctamente energizados. (Revise FUENTE DE ALIMENTACIÓN) - Revise que la transmisión entre los nodos de la red se realiza de manera correcta. (RED WSN)
La gráfica utilizada para representar el estado de alimentación de los nodos marca cero.	<ul style="list-style-type: none"> - Nodos sensores desconectados, sin alimentación. - Red inalámbrica no transmite adecuadamente. 	<p>Conecte los nodos sensores a una fuente de alimentación, ya sea a una red de energía eléctrica o a una batería.</p> <p>Revise RED WSN</p>



FALLA	CAUSA	SOLUCIÓN
La fecha y hora actuales no coinciden con los datos reales.	La pila de la PC ya ha terminado su vida útil.	Realice un cambio del elemento defectuoso. (Pila)
La interfaz gráfica no permite cambiar el tipo de control que se desea aplicar al sistema de riego. (Manual/ Automático o viceversa)	El software ha detectado un error en la aplicación debido al uso inadecuado del sistema.	Apague todos los elementos de la red WSN y reinicie su funcionamiento.

5.4. RED WSN

Para la transmisión de datos se utiliza una red inalámbrica basada en la tecnología ZigBee, en la Figura 5 se muestra un esquema de la red WSN implementada.

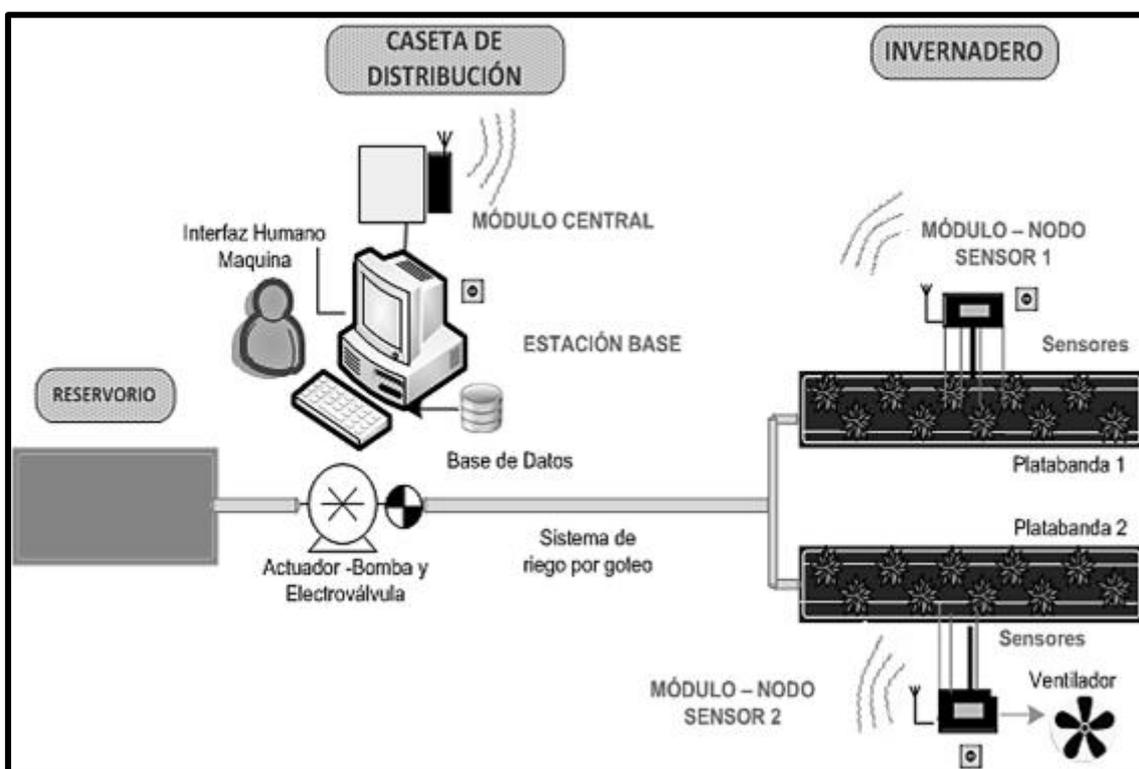


Figura 5. Gráfica esquemática red WSN.



Tabla 7. Guía para resolver problemas red inalámbrica.

FALLA	CAUSA	SOLUCIÓN
<p>Control Manual y Automático</p> <ul style="list-style-type: none"> - Las pantallas de las variables sensadas no muestran ninguna gráfica. - El estado de alimentación de los nodos 1 y 2 marca cero. - El Búfer de entrada está vacío, no muestra la trama enviada por los nodos 1 y 2. - En el estado de los nodos 1 y 2 se indica: NO DISPONIBLE. - El sistema se paraliza de manera repentina. - Se muestran picos demasiado drásticos (caídas a cero), en las pantallas gráficas de sensado de la interfaz. 	<ul style="list-style-type: none"> - La antena de los módulos sensores y central no están colocadas tomando en cuenta que exista línea de vista entre la caseta de distribución y el invernadero. - Configuración errónea de los módulos XBEE PRO S1. - Desactualización del software empleado en los módulos ZigBee. - Pérdida de la señal captada por el nodo central. - Antena no fija, se mueve de su lugar provocando pérdidas de señal. - Los módulos sensores son apagados sin previo aviso. 	<ul style="list-style-type: none"> - Coloque la antena del módulo central en una posición adecuada permitiendo que exista línea de vista entre este y los módulos sensores. - Despeje el área de maleza, árboles u obstáculos que interrumpen la transmisión de las señales. - Verifique los parámetros de configuración de los módulos XBee Pro S1 de acuerdo a su hoja de datos. - Actualice la configuración de los dispositivos mediante la página del fabricante. www.digi.com - Verifique que la antena esté fija en la posición más adecuada para permitir captar la señal. - Solo permita que personal instruido maneje el sistema para evitar riesgos de daño en el mismo.

5.5. FUENTE DE ALIMENTACIÓN

Tabla 8. Guía para resolver problemas fuente de alimentación.

FALLA	CAUSA	SOLUCIÓN
<p>Los nodos sensores no transmiten. La interfaz gráfica no permite cambiar el tipo de control que se desea aplicar al sistema de riego. (Manual/ Automático o viceversa)</p>	<p>El software ha detectado un error en la aplicación debido al uso inadecuado del sistema.</p>	<p>Realice un cambio del elemento defectuoso. (Pila) Apague todos los elementos de la red WSN y reinicie su funcionamiento.</p>

