

Índice

1. Introducción General	1
1.1. Introducción	1
1.2. Objetivos	3
1.2.1. Objetivo general	3
1.2.2. Objetivos específicos	3
1.3. Alcances del proyecto	4
1.4. Metodología	5
1.5. Revisión bibliográfica	7
2. Sistemas de Comunicaciones Inalámbricas	11
2.1. Clasificación de las comunicaciones inalámbricas	11
2.2. Zigbee	12
2.3. XBee Pro 63mW RPSMA - Series 2B	17
2.4. Configuración red inalámbrica XBee Pro S2B	18
3. Microcontrolador	24
3.1. Arduino	24
3.1.1. Arduino Uno	25
3.2. ATmega328-PU	27
3.3. Bootloader de Arduino Uno para ATmega328-PU	28
3.4. Placa circuito impreso nodos remotos	32
3.5. XBee shield	34
4. Sensores	35
4.1. Sensor de temperatura y humedad relativa, DHT22	35
4.2. Esquema de conexión DHT22	36
4.3. Programación DHT22	37
4.4. Sensor de temperatura infrarroja, MLX90614	38
4.5. Esquema de conexión MLX90614	39
4.6. Placa circuito impreso sensor MLX90614	40
4.7. Programación MLX90614	41
5. Data Logger	42
5.1. Logger Shield micro SD + RTC	42
5.2. Memoria micro SD	43
5.3. Reloj en tiempo real	44
5.4. Programación micro SD y RTC	44

6. Sistema de Alimentación y Carga Solar	47
6.1. Descripción sistema de alimentación	47
6.2. Panel solar fotovoltaico	48
6.3. Circuito regulador de voltaje 5V	49
6.4. LiPo power shield para Arduino	50
6.4.1. Controlador de carga	51
6.4.2. Convertidor boost DC-DC	52
6.5. Batería de iones de litio	54
7. Prototipado	55
7.1. Impresora 3D Prusa I3 Hephestos	55
7.2. Software Cura	57
7.2.1. Configuración Prusa I3 Hephestos	58
7.3. Prototipado módulos	61
7.4. Prototipado sensor DHT22	63
7.5. Prototipado sensor MLX90614	66
8. Resultados	70
8.1. Prototipos finales	70
8.1.1. Prototipo final nodo central	71
8.1.2. Prototipo final nodos remotos	74
8.1.3. Prototipo final sensores	76
8.2. Pruebas del sistema inalámbrico de sensores	78
8.2.1. Consumo de corriente	78
8.2.2. Rango de alcance	80
8.2.3. Calidad de transferencia de datos	81
8.3. Presentación de datos	82
8.4. Manuales de instalación y operación	83
8.4.1. Manual de instalación	83
8.4.2. Manual de operación	85
9. Conclusiones y Trabajos Futuros	86
9.1. Conclusiones	86
9.2. Trabajos futuros	87
10. Anexos	88
10.1. Código nodo central	88
10.2. Código nodo remoto	92
10.3. Esquemático Arduino Uno	94

10.4. Esquemático placa de circuito impreso nodos remotos	95
10.5. Esquemático XBee shield	96
10.6. Esquemático sensor DHT22	97
10.7. Esquemático sensor MLX90614	98
10.8. Esquemático logger shield micro SD + RTC	99
10.9. Esquemático LiPo power shield para Arduino	100
10.10. Esquemático circuito regulador de voltaje 5V	101

Índice de Figuras

1.	Logo Zigbee Alliance.	12
2.	Tipos de antenas dispositivos XBee.	14
3.	Topologías básicas redes Zigbee.	16
4.	XBee Pro 63mW RPSMA - Series 2B.	17
5.	Esquema distribución red inalámbrica de sensores.	18
6.	XBee Explorer USB.	19
7.	Cable USB a mini USB.	19
8.	Ventana principal software XCTU.	20
9.	Com test / Query Modem.	21
10.	Configuración parámetros Zigbee Coordinator AT.	23
11.	Logo Arduino.	24
12.	Arduino Uno.	25
13.	ATmega328-PU.	27
14.	Pines ATmega328-PU.	27
15.	Bootloader ArduinoISP.	29
16.	Esquema conexión bootloader.	30
17.	Quemado bootloader.	31
18.	Diseño board nodos remotos.	32
19.	Placa circuito impreso nodos remotos.	33
20.	XBee shield.	34
21.	Sensor DHT22.	35
22.	Esquema conexión DHT22 y Arduino.	36
23.	Sensor MLX90614.	38
24.	Esquema conexión MLX90614 y Arduino.	39
25.	Diseño board MLX90614.	40
26.	Placa circuito impreso MLX90614.	40
27.	Logger shield micro SD + RTC.	42
28.	Memoria micro SD.	43
29.	Batería CR1225.	44
30.	Diagrama sistema de alimentación.	47
31.	Panel solar 5WP 9V.	48
32.	Diseño board regulador de voltaje 5V.	49
33.	Placa circuito impreso regulador de voltaje 5V.	49
34.	LiPo power shield.	50
35.	Circuito controlador de carga.	51
36.	Circuito convertidor boost DC-DC.	53

37.	Batería de iones de litio - 2300mAh.	54
38.	Impresora 3D Prusa I3 Hephestos.	55
39.	Driver RAMPS.	56
40.	Ventana principal software Cura.	57
41.	Selección modelo impresora.	58
42.	Parámetros impresora Prusa I3 Hephestos.	59
43.	Parámetros calidad de impresión.	59
44.	Dimensionado de piezas 3D.	60
45.	Caja módulos.	61
46.	Tapa caja módulos.	62
47.	Espaciadores placa circuito impreso nodos remotos.	62
48.	Brazo montaje DHT22.	63
49.	Base montaje DHT22.	64
50.	Plato interior.	64
51.	Plato superior.	65
52.	Caja sensor MLX90614.	66
53.	Soporte tubo.	66
54.	Brazo montaje caja.	67
55.	Brazo montaje tubo.	68
56.	Tuerca.	68
57.	Tornillo.	69
58.	Esquema funcionamiento red inalámbrica.	70
59.	Prototipo final nodo central.	72
60.	Prototipo final nodos remotos.	74
61.	Prototipo final sensor DHT22.	76
62.	Prototipo final sensor MLX90614.	77
63.	Prueba Range Test.	81
64.	Datos archivo de texto.	82
65.	Módulo instalado en terreno.	84
66.	Esquemático Arduino Uno.	94
67.	Esquemático tarjeta nodo remoto.	95
68.	Esquemático XBee Shield.	96
69.	Esquemático sensor DHT22.	97
70.	Esquemático sensor MLX90614.	98
71.	Esquemático logger shield micro SD + RTC.	99
72.	Esquemático LiPo power shield para Arduino.	100
73.	Esquemático circuito regulador de voltaje 5V.	101

Índice de Tablas

1.	Características técnicas XBee Pro 63mW RPSMA - Series 2B.	17
2.	Datos parámetros red inalámbrica Zigbee.	22
3.	Características técnicas Arduino Uno.	26
4.	Características técnicas ATmega328-PU.	28
6.	Características técnicas sensor DHT22.	35
7.	Características técnicas sensor MLX90614.	38
8.	Especificaciones técnicas panel solar.	48
9.	Características batería de iones de litio.	54
10.	Dimensiones impresora 3D Prusa I3 Hephestos.	56
11.	Resoluciones de impresión.	56
12.	Velocidades de impresión.	56
13.	Características de impresión caja módulos.	61
14.	Características de impresión tapa caja módulos.	62
15.	Características de impresión espaciadores.	63
16.	Características de impresión brazo montaje DHT22.	63
17.	Características de impresión base montaje DHT22.	64
18.	Características de impresión plato interior.	65
19.	Características de impresión plato superior.	65
20.	Características de impresión caja sensor MLX90614.	66
21.	Características de impresión soporte tubo.	67
22.	Características de impresión brazo montaje caja.	67
23.	Características de impresión brazo montaje tubo.	68
24.	Características de impresión tuerca.	68
25.	Características de impresión tornillo.	69
26.	Componentes y precios NC.	73
27.	Componentes y precios NR.	75
28.	Costo total del proyecto.	75
29.	Consumo de corriente nodo central.	78
30.	Consumo de corriente nodo remoto.	78
31.	Prueba de alcance.	80

Nomenclatura

- C_B : Capacidad de la batería.
- CH : Número de canal.
- F_C : Frecuencia central.
- H_{NC} : Horas de autonomía nodo central.
- H_{NR} : Horas de autonomía nodo remoto
- I_P : Corriente promedio del nodo.
- I_{REG} : Corriente máxima de carga.
- R_{PROG} : Resistencia de programación.
- V_{FB} : Voltaje generado por el pin FB.
- V_O : Voltaje de salida del convertidor boost DC-DC.

Abreviaciones

- CITRA: Centro de Investigación y Transferencia en Riego y Agroclimatología.
- DECT: Telecomunicaciones Digitales Inalámbricas Mejoradas (Digital Enhanced Cordless Telecommunications).
- FFD: Dispositivo de Función Completa (Full Function Device).
- IrDa: Asociación de Datos por Infrarrojo (Infrared Data Association).
- NC: Nodo Central.
- NFC: Comunicación de Campo Cercano (Near Field Communication).
- NR: Nodo Remoto.
- PAN: Red de Área Personal (Personal Area Network).
- PCB: Placa de Circuito Impreso (Printed Circuit Board).
- RAMPS: RepRap Arduino Mega Pololu Shield.
- RFD: Dispositivo de Función Reducida (Reduced Function Device).
- RISC: Computador con Conjunto de Instrucciones Reducidas (Reduced Instruction Set Computer).
- RTC: Reloj de Tiempo Real (Real Time Clock).
- SCL: Línea Serial de Reloj (Serial Clock Line).
- SDA: Línea Serial de Datos (Serial Data Line).
- SPI: Interfaz Periférica Serial (Serial Peripheral Interface).
- STL: Estereolitografía (STereo Lithography).
- UART: Transmisor-Receptor Asíncrono Universal (Universal Asynchronous Receiver-Transmitter).
- WSN: Redes Inalámbricas de Sensores (Wireless Sensor Networks).
- WPAN: Redes Inalámbricas de Área Personal (Wireless Personal Area Networks).
- WLAN: Redes Inalámbricas de Área Local (Wireless Local Area Networks).
- WWAN: Redes Inalámbricas de Área Amplia (Wireless Wide Area Networks).
- ZS: Pila de Perfil ZigBee (ZigBee Stack Profile).