



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA

**CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN TELECOMUNICACIONES
Y REDES**

**“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO DE RED
INALÁMBRICA CON NODOS INTELIGENTES PARA EL
MONITOREO EN CULTIVO AEROPÓNICOS”**

Trabajo de titulación

Tipo: Propuesta Tecnológica

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERA EN ELECTRÓNICA, TELECOMUNICACIONES
Y REDES**

AUTORA: ALEXANDRA MARITZA PARREÑO OCAÑA

DIRECTOR: Ing. EDWIN VINICIO ALTAMIRANO SANTILLÁN

Riobamba – Ecuador

2021

©2021, Alexandra Maritza Parreño Ocaña

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Yo, Alexandra Maritza Parreño Ocaña, declaro que el presente trabajo de titulación es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autora asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 24 de febrero de 2021

A handwritten signature in blue ink that reads "Alexandra Parreño". The signature is enclosed within a hand-drawn blue oval.


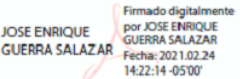
ALEXANDRA MARITZA PARREÑO OCAÑA
C.I: 0605072446

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA

**CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN TELECOMUNICACIONES Y
REDES**

El Tribunal del Trabajo de Titulación certifica que: El trabajo de titulación; tipo: Propuesta Tecnológica, **DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO DE RED INALÁMBRICA CON NODOS INTELIGENTES PARA EL MONITOREO EN CULTIVO AEROPÓNICOS**, realizado por la señorita: **ALEXANDRA MARITZA PARREÑO OCAÑA**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Trabajo de Titulación, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. /PhD. Jefferson Ribadeneira PRESIDENTE DEL TRIBUNAL	 JEFFERSON ALEXANDER RIBADENEIRA RAMIREZ	<u>24-02-2021</u>
Ing. Edwin Vinicio Altamirano Santillán DIRECTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN	 EDWIN VINICIO ALTAMIRANO SANTILLAN	<u>24-02-2021</u>
Ing. José Enrique Guerra Salazar MIEMBRO DEL TRIBUNAL	 JOSE ENRIQUE GUERRA SALAZAR	<u>24-02-2021</u>

DEDICATORIA

El presente trabajo de titulación es dedicado principalmente a Dios por darme la salud y fuerza necesaria para seguir en cada paso de esta carrera universitaria. A mis padres José Matías Parreño y Lourdes Esperanza Ocaña, por ser mi ejemplo de perseverancia diario a seguir, quienes nunca han perdido la fe en mí y ser mi sustento cada día de mi vida, a mis hermanos Geovanny por su ejemplo de superación, Jessica por la compañía, ayuda que me has sabido brindar y Miley mi hermanita pequeña, mi pequeño sobrino David Issac Parreño por sus ternura y cariños, tíos y abuelitos, por ser una familia ejemplar.

Alexandra

AGRADECIMIENTO

A Dios por su infinito amor.

A mis padres por estar junto a mi cada día pese a la distancia o dificultades y los valores que forjan a un verdadero ser humano.

Al Ing. Edwin Altamirano y al Ing. José Guerra por ser grandes guías en la realización de este trabajo de titulación, con su paciencia y tiempo invertido en tutorías en la culminación de mi etapa como estudiante universitario.

A mis amigas Liseth, Gabriela, Evelin, Génova por formar parte de mi segundo hogar fuera de mi hogar por su apoyo su compañía a lo largo de la carrera.

Al Ing. Lindao Víctor, Ing. Andrea Guapi y Ing. Jessica Parreño por su ayuda y gran aporte brindado para la realización del trabajo de titulación.

Alexandra

TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS	x
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xi
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xiii
ÍNDICE DE ANEXOS	xiv
ÍNDICE DE ABREVIATURAS	xv
RESUMEN	xvii
ABSTRACT.....	xviii
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. MARCO TEÓRICO.....	5
2.1. Aeroponía.....	5
2.1.1. <i>pH en aeroponía</i>	5
2.1.2. <i>Conductividad eléctrica (EC) en aeroponía</i>	6
2.1.3. <i>Temperatura en aeroponía</i>	6
2.1.4. <i>Total de salidos disueltas en aeroponía</i>	7
2.1.5. <i>Rangos idóneos en los diferentes cultivos aeropónicos.</i>	7
2.1.6. <i>Tipos de sistemas aeropónicos</i>	7
2.2. La red de sensores inalámbricos (WSN)	8
2.2.1. <i>Topología de una red WSN</i>	8
2.2.2. <i>Componentes de una red WSN</i>	12
2.3. Sensores.....	13
2.4. Tecnologías inalámbricas en redes WSN	16
2.4.1. <i>Bluetooth</i>	16
2.4.2. <i>ZigBee</i>	17
2.4.3. <i>GSM</i>	18
2.4.4. <i>Wi-Fi</i>	19
2.4.5. <i>Comparativa entre las tecnologías inalámbricas entre Bluetooth, ZigBee y Wi-Fi</i>	20
2.5. Las tarjetas de desarrollo.....	20
2.5.1. <i>Arduino</i>	20
2.5.2. <i>Raspberry Pi</i>	21
2.5.3. <i>Waspote</i>	22
2.5.4. <i>Comparativa entre las tarjetas de desarrollo.</i>	22
2.6. Plataforma en la nube	23
2.7. Estado del Arte	25
2.7.1. <i>Sistemas de monitoreo de cultivos aeropónicos</i>	25

2.7.2.	<i>A nivel mundial</i>	25
2.7.3.	<i>A nivel nacional</i>	25
3.	MARCO METODOLÓGICO	27
3.1.	Diseño e implantación del prototipo para el monitoreo en cultivos aeropónicos	27
3.2.	Requerimientos hardware del prototipo MCA.	27
3.2.1.	<i>Esquema general del prototipo MCA</i>	27
3.2.2.	<i>Diagrama de bloque del prototipo MCA</i>	28
3.3.	Selección del hardware para el diseño del prototipo MCA	30
3.3.1.	<i>Tarjetas de desarrollo</i>	30
3.3.2.	<i>Módulo Xbee S2C</i>	32
3.3.3.	<i>Módulo SIM800L</i>	33
3.3.4.	<i>Fuente Step Down LM2596</i>	34
3.3.5.	<i>Fuente 12V 2 A</i>	35
3.3.6.	<i>Pantalla HMI Nextion 5.0"</i>	35
3.3.7.	<i>Lector Micro SD</i>	36
3.3.8.	<i>Sensor TDS</i>	37
3.3.9.	<i>Sensor DS18B20</i>	37
3.3.10.	<i>Sensor pH</i>	38
3.3.11.	<i>Panel Solar</i>	39
3.3.12.	<i>Regulador de voltaje solar Driver PWM 20 A</i>	40
3.3.13.	<i>Batería seca</i>	40
3.4.	Esquema de conexión del prototipo MCA	41
3.4.1.	<i>Esquema de conexión del nodo adquisición para el prototipo MCA</i>	41
3.4.2.	<i>Esquema de conexión del nodo coordinador</i>	42
3.5.	Requerimientos del software del prototipo MCA.	43
3.5.1.	<i>Requerimientos del software del nodo de adquisición</i>	43
3.5.2.	<i>Requerimientos del software del nodo coordinador</i>	44
3.6.	Descripción de las herramientas software utilizadas en el prototipo MCA.	44
3.6.1.	<i>Arduino IDE</i>	44
3.6.2.	<i>XCTU</i>	45
3.6.3.	<i>ThingSpeak</i>	45
3.6.4.	<i>Riverbed Modeler</i>	46
3.7.	Diagramas de flujo del prototipo MCA	46
3.7.1.	<i>Diagrama de flujo del nodo de adquisición para el prototipo MCA</i>	46
3.7.2.	<i>Diagrama de flujo del nodo coordinador</i>	47
3.8.	Diseño de la interface de visualización de los datos	49
3.9.	Visualización de los datos en la página ThingSpeak	49

3.10.	Localización del prototipo MCA implementado	50
3.10.1.	<i>Implementación del prototipo</i>	51
3.10.2.	<i>Desarrollo del cultivo aeropónico de acelga</i>	52
4.	GESTIÓN DEL PROYECTO	53
4.1.	Selección de la topología de red para el prototipo.....	53
4.1.1.	<i>Comparación de las topologías de red tipo estrella y tipo malla</i>	54
4.1.2.	<i>Total de nodos que puede soportar la red de topología tipo malla</i>	56
4.2.	Caracterización de comunicación entre los nodos del prototipo	58
4.2.1.	<i>Pruebas de envío de tramas</i>	59
4.2.2.	<i>Pruebas de alcance de la comunicación</i>	59
4.3.	Caracterización del nodo de adquisición de datos	59
4.3.1.	<i>Validación de las mediciones realizadas por el nodo de adquisición</i>	60
4.3.2.	<i>Repetitividad del nodo de adquisición.</i>	62
4.4.	Caracterización del nodo coordinador.....	63
4.4.1.	<i>Pruebas de almacenamiento en la micro SD</i>	64
4.4.2.	<i>Pruebas de envío de alerta mediante mensaje SMS</i>	65
4.5.	Pruebas de alimentación del prototipo MCA	65
4.6.	Presupuesto de la implementación del prototipo MCA	66
5.	CONCLUSIONES	68
6.	RECOMENDACIONES	69

GLOSARIO

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-2:	Rangos idóneos para algunos cultivos aeropónicos.....	7
Tabla 2-2:	Información de las ventajas y desventajas de las topologías de red	12
Tabla 3-2:	Características principales de los sensores de pH más comunes	14
Tabla 4-2:	Análisis comparativo entre los sensores de TDS.....	15
Tabla 5-2:	Análisis comparativo entre los sensores de temperatura	16
Tabla 6-2:	Comparativa de tecnologías de redes inalámbricas entres Bluetooth, ZigBee, Wi-Fi.....	20
Tabla 7-2:	Comparativa de las tarjetas de desarrollo entre: <i>Arduino Mega, Raspberry pi B,</i> <i>Waspote</i>	23
Tabla 8-2:	Análisis comparativo entre las plataformas IoT	24
Tabla 1-3:	Especificaciones técnicas del Arduino Mega 2560 R3.....	31
Tabla 2-3:	Especificaciones técnicas del NodeMCU ESP8266	32
Tabla 3-3:	Especificaciones técnicas del Módulo Xbee S2C.....	33
Tabla 4-3:	Especificaciones técnicas del Módulo SIM800L	34
Tabla 5-3:	Especificaciones técnicas fuente Step Down LM2596.....	34
Tabla 6-3:	Especificaciones técnicas de la pantalla HMI Nextion 5.0"	36
Tabla 7-3:	Especificaciones técnicas de lector Micro SD.....	36
Tabla 8-3:	Especificaciones técnicas del sensor TDS.....	37
Tabla 9-3:	Especificaciones técnicas del sensor DS18B20.....	38
Tabla 10-3:	Especificaciones técnicas del sensor pH	39
Tabla 11-3:	Especificaciones técnicas del panel solar 60W	40
Tabla 12-3:	Especificaciones técnicas del regulador de voltaje solara PWM.....	40
Tabla 13-3:	Ubicación geográfica del prototipo MCA	50
Tabla 1-4:	Parámetros obtenidos de las topologías de tipo malla y tipo estrella.....	56
Tabla 2-4:	Parámetros de configuración de los módulos Xbee.....	58
Tabla 3-4:	Distancia de funcionamiento del sistema MCA	59
Tabla 4-4:	Error absoluto del pH, conductividad eléctrica	61
Tabla 5-4:	Error absoluto de la conductividad eléctrica	61
Tabla 6-4:	Error absoluto de las temperaturas	62
Tabla 7-4:	Calculo de media, desviación estándar y coeficiente de variancia	63
Tabla 8-4:	Duración de la batería	66
Tabla 9-4:	Presupuesto del prototipo MCA.....	67

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-2:	Sistema aeropónico	5
Figura 2-2:	Tipos de sistemas aeropónicos	8
Figura 3-2:	Topología tipo estrella	9
Figura 4-2:	Topología tipo Malla.....	10
Figura 5-2:	Topología Bus	10
Figura 6-2:	Topología Hibrida	11
Figura 7-2:	Componentes de una red WSN.....	13
Figura 8-2:	Comunicación con tecnología Bluetooth entre dispositivos	17
Figura 9-2:	Aplicaciones ZigBee	18
Figura 10-2:	Arquitectura GSM	19
Figura 11-2:	Alcance de la conexión <i>Wi-Fi</i>	19
Figura 12-2:	Tarjetas Arduino.....	21
Figura 13-2:	Modelos de las tarjetas Raspberry Pi.....	22
Figura 14-2:	Tarjeta Waspote	22
Figura 1-3:	Concepción general del prototipo MCA.....	28
Figura 2-3:	Diagrama de Bloque del nodo de adquisición del prototipo MCA.	29
Figura 3-3:	Diagrama de Bloque del nodo de coordinador y visualización del prototipo.....	30
Figura 4-3:	Arduino Mega 2560 R3.....	31
Figura 5-3:	Módulo NodeMCU ESP8266.....	32
Figura 6-3:	Módulo Xbee S2C.....	33
Figura 7-3:	Módulo SIM800L.....	33
Figura 8-3:	Fuente Step Down LM2596	34
Figura 9-3:	Fuente 12 V a 2 A	35
Figura 10-3:	Pantalla HMI Nextion 5.0"	35
Figura 11-3:	Lector Micro SD.....	36
Figura 12-3:	Sensor TDS	37
Figura 13-3:	Sensor DS18B20.....	38
Figura 14-3:	Sensor pH.....	39
Figura 15-3:	Panel Solar 60W.....	39
Figura 16-3:	Regulador de voltaje solar PWM.....	40
Figura 17-3:	Batería 12V 7.5Ah.....	41
Figura 18-3:	Esquema de conexión del nodo de adquisición.	42
Figura 19-3:	Esquema de conexión de nodo coordinador.	43
Figura 20-3:	Receptor y NodeMCU.....	45

Figura 21-3:	Página inicial Riverbed Modeler	46
Figura 22-3:	Diagrama de flujo del nodo de adquisición modificar el diagrama.....	47
Figura 23-3:	Diagrama de flujo de los nodos coordinador	48
Figura 24-3:	Visualización de los datos	49
Figura 25-3:	Visualización de ThingSpeak y los canales	50
Figura 26-3:	Ubicación geográfica invernadero del área experimental del departamento de Horticultura-ESPOCH.	51
Figura 27-3:	Prototipo Funcionando	51
Figura 28-3:	Etapas de desarrolló del cultivo aeropónico de acelga.....	52
Figura 1-4:	Topología tipo estrella.....	53
Figura 2-4:	Topología tipo malla	54
Figura 3-3:	Topología tipo malla de a) 15 b) 30 c) 45 d)60	56
Figura 4-4:	Configuración de los módulos Xbee.....	58
Figura 5-3:	Tramas enviadas del nodo adquisición al coordinador	59
Figura 6-4:	Nodo de adquisición parte interna del nodo parte externa	60
Figura 7-4:	Tomada de datos con a) pHmetro portátil, b) pH. ISE.....	60
Figura 8-4:	Implementación del nodo coordinador	63
Figura 9-4:	Datos de la memoria Micro SD y en la hoja Excel	64
Figura 10-4:	Reporte gráfico del pH en la página ThingSpeak y descarga de datos en Excel.....	64
Figura 11-4:	Envío de alertas	65

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-4: Retardos de las topologías tipo estrella y tipo malla.	54
Gráfico 2-4: Carga total de las topologías tipo estrella y tipo malla.	55
Gráfico 3-4: Rendimiento de las topologías tipo estrella y tipo malla.	55
Gráfico 4-4: Rendimiento de la topología tipo malla de 15, 30, 45,60 nodos.....	57
Gráfico 5-4: Total de nodos que soporta la topología tipo malla.....	57

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo A: Hoja de especificaciones técnicas de Arduino Mega 2560

Anexo B: Hoja de especificaciones técnicas del sensor pH

Anexo C: Hoja de especificaciones técnicas del sensor TDS

Anexo D: Hoja de especificaciones técnicas del sensor DS18B20

Anexo E: Hoja de especificaciones técnicas Xbee S2C

Anexo F: Hoja de especificaciones técnicas NodeMCU ESP8266

Anexo G: Hoja de especificaciones técnicas pantalla HMI Nextion 5.0"

Anexo H: Hoja de especificaciones técnicas SIM800L

Anexo I: Código del nodo de adquisición

Anexo J: Código del nodo de coordinador

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

AP	Agricultura de Precisión
CA	Corriente Alterna
CC	Corriente Continua
EC	Conductividad eléctrica
ESPOCH	Escuela Superior Politécnica de Chimborazo
GPS	Global Positioning System (Sistema de Posicionamiento Global)
GSM	Global System for Mobile communications (Sistema Global para las Comunicaciones Móviles)
HMI	Interfaz Hombre Máquina
ICSP	In Chip Serial Programmer (Programación Serial En Circuito)
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers (Instituto de Ingeniería Eléctrica y Electrónica)
INIAP	Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias de Ecuador
IoT	Internet of Things (Internet de las cosas)
ISM	Industrial, Científico y Médico
LCD	Liquid Cristal Display (Representación visual por cristal líquido)
LED	Light-Emitting Diode, (Diodo emisor de luz)
pH	Potencia de Hidrogeno

PWM	Pulse Width Modulation (Modulación por Ancho de Pulsos)
SD	Secure Digital
SMS	Servicio de mensajes cortos
SPI	Serial Peripheral Interface
TDS	Total de Sólidos Disueltos
TFT	Thin-film transistor
TIC	Tecnología de la Información y la Comunicación
USB	Universal Serial Bus
WSN	Wireless sensor networks (Red de sensores inalámbricos)

RESUMEN

Se diseñó e implementó un prototipo de red inalámbrica con nodos inteligentes para el monitoreo en cultivos aeropónicos de acelga. A través de la investigación bibliográfica se analizó los requerimientos tanto técnicos, teóricos y prácticos para sustentar el trabajo de titulación, se usó el método inductivo con trabajos de campo y laboratorio para una correcta precisión en los cultivos aeropónicos. El prototipo está compuesto por los siguientes nodos: nodo adquisición y el nodo coordinador. A través de los sensores ubicados en el nodo de adquisición de datos se procesa la información y la envía a través de la tecnología Xbee en una red tipo malla al nodo coordinador. La información recibida es almacenada en una tarjeta micro SD y también es subida a la nube a la página *ThingSpeak* donde se representa la información de manera gráfica y en tiempo real, puede emitir mensajes de alerta cuando se detecte un nivel no permitido en los cultivos aeropónicos de acelga. De las pruebas realizadas con la ayuda de equipos patrones, se obtuvo el error absoluto en mediciones de pH de ± 0.1 , conductividad eléctrica de ± 1 , total de sólidos disueltos de ± 2 , temperatura del agua y ambiente ± 1 , por lo cual, los sensores no presentan errores significativos. A partir del coeficiente de variación y un valor menor al 7% se demostró la estabilidad del prototipo. Las pruebas de comunicación realizadas entre los nodos demostraron que, hasta una distancia de 550 metros con línea de vista y 50 metros sin línea de vista, no presenta pérdida de datos. Se concluye que el prototipo implementado se puede convertir en una herramienta de ayuda para suministrar información relevante para el encargado del cultivo en la toma de decisiones. Se recomienda incorporar un módulo para reportar el nivel de agua y nutrientes para tener un mejor manejo del cultivo aeropónico.

Palabras clave: <TELECOMUNICACIONES>, <AGRICULTURA>, <CULTIVOS AEROPÓNICOS>, <CONTROL DE CULTIVOS>, <PROTOTIPO INALÁMBRICO>, <RED DE SENSORES INALÁMBRICOS (WSN)>, <POTENCIA DE HIDRÓGENO>, <TEMPERATURA>, <SÓLIDOS DISUELTOS >.



Firmado electrónicamente por:
**ELIZABETH
FERNANDA AREVALO
MEDINA**



0530-DBRAI-UPT-2021

ABSTRACT

A wireless network prototype with smart nodes was designed and implemented for monitoring aeroponic chard crops. The technical, theoretical, and practical requirements were analyzed to support this research work through bibliographic study. The inductive method was used with field and laboratory work for correct precision in aeroponic crops. The prototype is made up of an acquisition and a coordinator node. The information is processed and sent through Xbee technology in a mesh-type network to the coordinating node through the data acquisition node's sensors. The received information is stored on a micro SD card and is also uploaded to the cloud to the ThingSpeak page, where the information is represented graphically and in real-time, it can issue alert messages when an unauthorized level is detected in aeroponic chard crops. The absolute error in pH measurements of ± 0.1 , the electrical conductivity of ± 1 , total dissolved solids of ± 2 , water and ambient temperature ± 1 were obtained from the tests carried out by using the standard equipment. Therefore, the sensors do not present significant errors. The prototype's stability was demonstrated from the coefficient of variation and a value lower than 7%. The communication tests carried out between the nodes showed that up to 550 meters with the line of sight and 50 meters without sight, there is no data loss. It is concluded that the implemented prototype can become a helpful tool to provide relevant information for the person who is in charge of decision-making. It is recommended to incorporate a module to report water and nutrients levels to manage the aeroponic crop better.

Keywords: <TELECOMMUNICATIONS>, <AGRICULTURE>, <AEROPONIC CROP>, <CONTROL OF CROPS>, <WIRELESS PROTOTYPE>, <WIRELESS SENSOR NETWORKS (WSN)>, <HYDROGEN POWER>, <TEMPERATURE>, <DISSOLVED SOLIDS>.

1. INTRODUCCIÓN

Antecedentes

En los últimos años, el avance de la tecnología día a día va introduciéndose más en el campo de agricultura, y demostrado que las aplicaciones no se limitan solo al entorno empresarial, cada vez más, la agricultura se ha convertido en escenario para el impulso de tecnología encaminada a optimizar tiempo y recursos.

A partir de la década del '70, se comenzó a delinear un nuevo concepto de agricultura con los estudios sobre automatización de máquinas agrícolas. En forma complementaria, a fines de la década del '80 y comienzos del '90, con la liberación del sistema de posicionamiento global por satélite (GPS) para uso civil, fue posible desarrollar equipos inteligentes que permitieron el manejo localizado de las prácticas agrícolas, con una mayor eficiencia de aplicación de insumos, reduciendo el impacto sobre el medio ambiente y, en consecuencia, disminuyendo los costos de la producción de alimentos. A ese conjunto de procesos y sistemas aplicados se los denomina Agricultura de Precisión (AP) (Ortega, 2015).

Desde hace años la agricultura ha dejado de ser una labor artesanal para convertirse en una actividad global en la que deben convivir la sostenibilidad económica, el medioambiental y la social. Es un sector visto de forma principalmente tradicional, pero que también está descubriendo que gracias a las mejoras tecnológicas es capaz de avanzar de una manera notable (Infaimon, 2015).

El término aeroponía se refiere a un sistema de cultivo en un ambiente aéreo, esta modalidad no necesita el contacto con el suelo. Es una técnica innovadora y responsable con el medio ambiente. En 1942 W. Carter fue el primero que investigó la técnica aeropónica, luego en 1980 el Dr. Franco Massantini creó el primer diseño llamado Columnas de cultivo. Un gran ejemplo es Perú, este país produce semillas de papa utilizando la aeroponía, logran producir de 5 a 10 veces la cantidad de semillas por planta, obteniendo excelentes resultados (Oscar, 2016).

En Medellín en el 2018, por la Universidad Nacional de Colombia- Sede Medellín, Facultad de Ciencias, Escuela de Física. Consiste en la implementar una fuente autónoma de suministro energético y un sistema de control del riego para la producción de alimentos libres de pesticidas utilizando la herramienta Matlab-Simulink-MPLAB, para desarrollar el modelo de control y aplicarlo al cultivo. Además, se programó un dsPIC para los algoritmos de control del ciclo de riego utilizando bloques Matlab-Simulink. La automatización en los sistemas de irrigación y de suministro de potencia, permite lograr un buen crecimiento en el cilantro, lo cual se puede

evidenciar mediante el incremento en los niveles de peso y volumen, registrados en las mediciones de las plantas de prueba (Velasco et al., 2019).

En Ecuador el 2015 INIAP inauguró un invernadero automatizado de producción de semilla básica de papa el cual está ubicado en la Hacienda El Prado (Sangolquí – Ecuador). El invernadero cuenta con las siguientes secciones de: Laboratorio de Biotecnología, donde se encuentran los tubos de ensayos que contienen pequeñas vitro plantas que corresponden a la fase inicial del proceso; Sistema Hidráulico, lugar donde se ubica la parte automatizada desde donde se filtran y distribuyen las soluciones nutritivas que abastecen a todo el invernadero (mundo, 2015).

En la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo en la facultada de Recursos Naturales carrera de Ingeniería Agronómica departamento de Horticultura se encuentra dos invernaderos dedicados a los sistemas de cultivos aeropónicos, el primer invernadero también hay hidroponía, los cuales son utilizados por los estudiante para que desarrollen la siembre de los diferentes cultivos para el control del cultivo hay un instrumento el cual los estudiantes lo hacen de forma manual al ser un cultivo que necesita un control constaten en comparación con los cultivos que se realizan en el suelo.

La aeroponía se ha vuelto una alternativa llamativa porque el espacio y el tiempo de sembrado se reducen notoriamente. Es un proceso amigable con el medio ambiente, pues el uso de fertilizantes y pesticidas es mínimo. Además, se utiliza una mínima cantidad de agua transmitiendo los nutrientes necesarios (Jiménez, 2015).

Formulación del problema

¿Cómo diseñar e implementar un prototipo de red inalámbrica para el monitoreo en cultivos aeropónicos?

Sistematización del problema

- ¿Qué parámetros influyen en el desarrollo del cultivo aeropónico?
- ¿Cuáles son los requerimientos que debe cumplir el prototipo a implementar?
- ¿Qué topología de red y comunicación es la que mejor se adapta al diseño que cumpla con los requerimientos del prototipo electrónico?
- ¿Qué hardware y software es el idóneo para implementar el diseño propuesto?

- ¿El sistema a implementar cumple con las exigencias planteadas al inicio de la investigación?

Justificación teórica

En el Ecuador el sector agrícola contribuye al cambio de la matriz productiva, ya que el país es considerado un laboratorio vivo en el tema agrícola es por ello que el estado trata de generar nuevas propuestas en el campo agrícola con la implementación de tecnología e investigación.

Gracias a la tecnología, la sociedad ha sido capaz de evolucionar y progresar con el paso de los años. Los avances tecnológicos han permitido desarrollar la agricultura de precisión, que es la agricultura que hace uso de las TIC para la gestión de los cultivos obteniendo una gran cantidad de variables agronómicas que permiten un análisis más preciso de la situación del cultivo con el fin de optimizar al máximo los recursos, ahorrar costes, dosificar con gran precisión las aplicaciones de insumos (agua, fertilizantes, etc.). (AGRICULTURERS, 2015)

Los cultivos aeropónicos que son desarrollados en el departamento de horticultura, el pH y la conductividad eléctrica son datos obtenidos mediante un pHmetro digital es obtenida de forma manual una sola vez al día, si no se monitorea de forma constante existen la posibilidad de que la planta no crezca apropiadamente, también se tiene que vigilar la temperatura dentro del invernadero porque igualmente influye en el crecimiento de la planta, el dispositivo que cuentan para el monitoreo no siempre se encuentra a disponibilidad de los estudiantes para realizar las medidas correspondientes para aplicar los nutrientes que la planta necesita.

Por tal motivo es necesario diseñar e implementar un prototipo de red con nodos inteligentes para monitoreo de las variables que influyan un cultivo aeropónico cual está encaminada a ser herramienta de ayuda de toma de decisiones en la Agricultura.

Justificación aplicativa

La presente propuesta de titulación busca desarrollar un prototipo de red de sensores inalámbricos para el monitoreo de cultivos aeropónicos el cual se va a detallar a continuación:

Como primer paso se va a tener que seleccionar las variables a ser supervisadas en función a los parámetros para el correcto desarrollo del cultivo aeropónico.

Nodo de adquisición: este nodo se ubica cerca del tanque de agua el que distribuye el agua y los nutrientes necesarios al cultivo aeropónico, sensores correspondientes a los parámetros requeridos, el módulo de comunicación y una interfaz de conexión entre los dispositivos es una

tarjeta de desarrollo, los sensores se encargan recolectar las variables para luego enviarlos a un a una base de datos donde serán comparados los datos para ver si están en el rango correspondiente de no estar emitir una alerta al agricultor que realice los cambios pertinentes para que su cultivo se desarrolle de forma idónea.

Nodo de control: A través del acceso a la plataforma de desde cualquier tipo de dispositivo el usuario podrá monitorizar las variables del cultivo, y tomar la mejor decisión para el cultivo crezca de forma adecuada.

Nodo de almacenamiento: Está constituido en la nube de servicio público y gratuito, se encarga del almacenamiento datos recolectados del cultivo aeropónico, activación de la alerta para que el agricultor tome las medidas correctivas necesarias.

Objetivos

Objetivo general

Diseñar y construcción un prototipo de red inalámbricos con nodos inteligentes para el monitoreo en cultivos aeropónicos.

Objetivos específicos

- Investigar los parámetros en el desarrollo del cultivo aeropónico.
- Establecer los requerimientos que debe cumplir el prototipo a implementar.
- Elegir la topología de red y comunicación que mejor se adapte a las necesidades del prototipo electrónico.
- Determinar el tipo de software y hardware es el idóneo para el diseño e implementación en el prototipo.
- Evaluar si el sistema a implementar cumple con las exigencias planteadas al inicio de la investigación.

2. MARCO TEÓRICO

En el presente capítulo se va a tratar del estudio aeroponía, los factores como: pH, conductividad eléctrica, total de sales disueltas, temperatura ambiente y del agua, sistemas de monitoreo de cultivos aeropónicos, también redes de sensores inalámbricos, topología, componentes y comparación entre las tecnologías de red de sensores inalámbricos. Se describe también las tarjetas de desarrollo y la plataforma en la nube.

2.1. Aeroponía

Es una técnica de cultivo donde las plantas crecen sin la necesidad del suelo, las plantas se desarrollan en entorno aéreo o de niebla (Agroislas, 2017). El principio básico de la aeroponía es hacer crecer las plantas en un entorno cerrado o semicerrado, pulverizando con nebulizadores o aspersores los nutrientes necesarios para que las raíces colgantes se nutran con una solución alta en minerales. Dentro de la cámara aeropónica se genera un microambiente con alta humedad, lo que produce que las raíces crezcan suspendidas en el aire y generen plantas de alta calidad (Pizarro, 2015). En la figura 1-2 se muestra un sistema aeropónico.

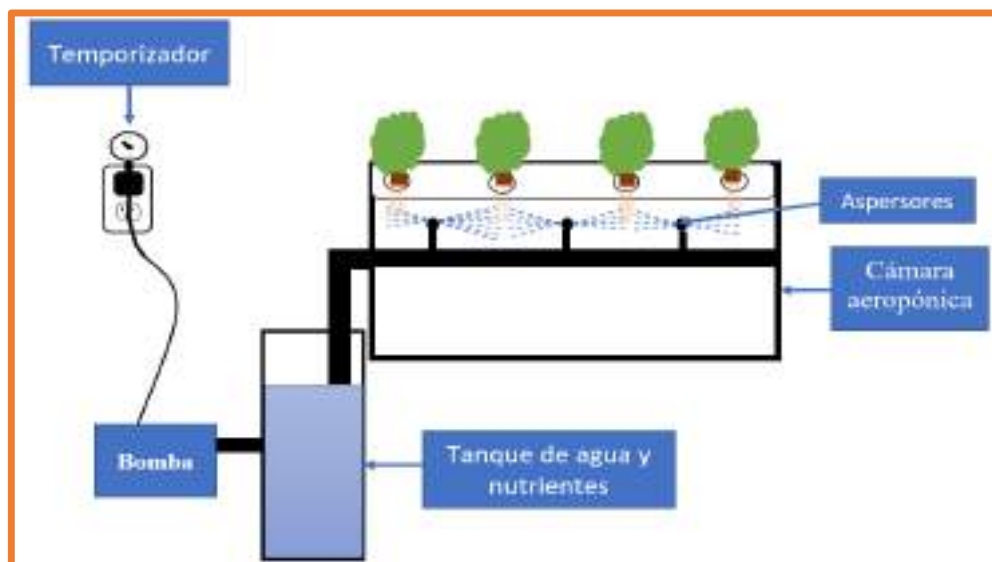


Figura 1-2: Sistema aeropónico
Realizado por: PARREÑO, Alexandra, 2021

2.1.1. pH en aeroponía

Se refiere a la concentración de iones de Hidrogeno (H^+) en el agua los cuales determina el grado de acidez o alcalinidad. Para medir el pH en los cultivos aeropónicos se lo debe realizar en la

solución concentrada de nutrientes. Las técnicas utilizadas para medir son: tiras de pH, líquidos para medir el pH, y pH-metro (Andrade, 2020).

El monitoreo de pH es importante porque determina si una planta o cultivo es de buena o mala calidad, esto se debe al medio que genera dentro de la solución nutritiva siendo ácido o alcalino, sucede por la falta o exceso de algún elemento. pH altos como bajos causan efectos antagónicos, los elementos entran en competencia uno con otro evitando su absorción por las raíces generando un estrés que inhabilita el desarrollo de la planta lo cual es recomendado trabajar en pH de 5.5 - 6.5 ya que en este rango la planta asimila fácilmente y los elementos se encuentran solubles (HidroponiaCasera.net, 2014).

2.1.2. Conductividad eléctrica (EC) en aeroponía

Es un indicador de la concentración de sales disueltas en agua, permitiendo evaluar la capacidad del agua para conducir la corriente eléctrica, se expresa en mS/cm (milisimens sobre centímetro). Es importante para que la solución nutritiva sea soluble para facilitar la asimilación de los fertilizantes en los cultivos aeropónicos, hidropónicos y acuapónicos. Para medir la conductividad eléctrica en cultivos aeropónicos se lo realiza en la solución de nutrientes mediante un medidor de EC (Hydroenv.com, s. f.).

El monitoreo de la conductividad eléctrica o EC en la aeroponía tiene su importancia en la asimilación de los nutrientes en las plantas, el tener lecturas altas de conductividad eléctrica resultan valores fitotóxicos (que presenta toxicidad la planta), pero en el caso de ser bajos se tiene deficiencia de nutrientes, para la disponibilidad de nutrientes es recomendado mantener en los rangos de 1 a 2.5 mS/cm (Chávez, 2019).

2.1.3. Temperatura en aeroponía

Es la intensidad o grados de calor que presenta una solución nutritiva, para retener oxígeno disuelto que disminuye a medida que aumenta la temperatura en la solución. Este ambiente con poco oxígeno reduce la cantidad de oxígeno disponible para la zona de la raíz, lo que resulta en un crecimiento lento y un bajo rendimiento de la planta (Shopkit, 2020).

Las temperaturas de la solución nutritiva dentro del rango óptimo son de 18-24 ° C. Este rango ideal permite que altos niveles de oxígeno disuelto sean accesibles a la zona de la raíz y fortalece la eliminación de enfermedades de las plantas (Shopkit, 2020).

A temperaturas muy baja las raíces se mueren, y a temperaturas muy altas las raíces se queman.

2.1.4. Total de salidos disueltas en aeroponía

Es la cantidad de sales que hay en una disolución concreta. Es decir, la cantidad de nutrientes en la solución nutricional, la unidad para medir el TDS es PPM o Partes Por Millón. El rango apropiado es de 750 a 1500 ppm (HidroponiaCasera.net, 2014).

2.1.5. Rangos idóneos en los diferentes cultivos aeropónicos.

En la tabla 1-2 se observa los rangos que deben tener los cultivos como papa, lechuga, acelga, apio, perejil tanto en: pH, conductividad eléctrica, TDS, temperatura del ambiente y del agua, para que los cultivos crezcan adecuadamente.

Tabla 1-2: Rangos idóneos para algunos cultivos aeropónicos

Cultivos	pH	Conductividad eléctrica	Temperatura Ambiente	Temperatura del Agua	TDS
Papa	6.5-6.8	1.5-2.5 mS/cm	18-25 ⁰ C	18-22 ⁰ C	800-1500ppm
Lechuga	6-6.5	1-2.5 mS/cm	17-20 ⁰ C	15-18 ⁰ C	850-1500ppm
Acelga	4-7	0.5-1 mS/cm	25-33 ⁰ C	18-22 ⁰ C	1000-2000ppm
Apio	5.5-6	1.5-2.5 mS/cm	22-30 ⁰ C	20-27 ⁰ C	750-900ppm
Perejil	5.8-6.5	1.3-2.5 mS/cm	23-32 ⁰ C	18-25 ⁰ C	900-1500ppm

Fuente:(Chávez, 2019, p. 25),(Solis, 2017, p. 36),(Otazú, 2010),(Fuentes, 2013, p. 33)

Realizado Por: PARREÑO, Alexandra, 2021

2.1.6. Tipos de sistemas aeropónicos

Existen tres tipos básicos de sistemas aeropónicos:

- 1) Sistemas de baja presión:** Utiliza una bomba de baja precisión, envía la solución de nutrientes a chorros o mediante gotero.
- 2) Sistemas de alta presión:** Utiliza una bomba de alta precisión genera un fina niebla de gotas de agua del tamaño óptimo para fomentar la absorción de los nutrientes.
- 3) Sistemas de nebulizadores:** Utiliza nebulizadores ultrasónicos que son gotas demasiado pequeñas (CultivoHidropónico.info, s. f.). En la figura 2-2 se observa los tipos de sistemas aeropónicos.

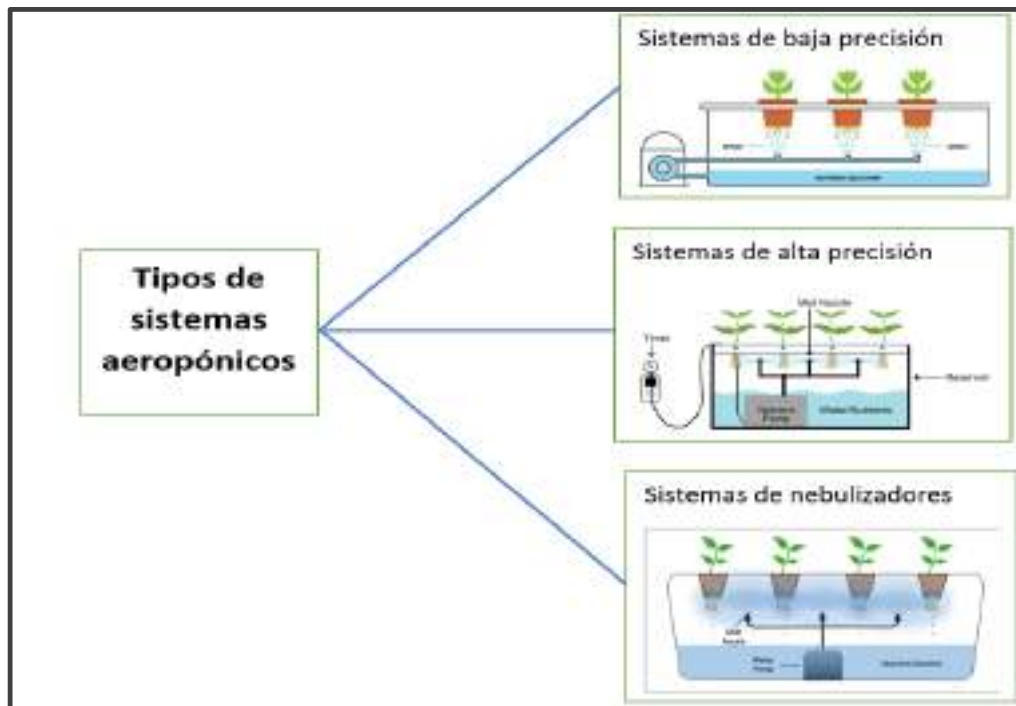


Figura 2-2: Tipos de sistemas aeropónicos

Realizado por: PARRÑO, Alexandra, 2021

2.2. La red de sensores inalámbricos (WSN)

La red de sensores inalámbricos es conjunto de dispositivos distribuidos en puntos determinados, donde los sensores son los encargados de medir o controlar distintas variables entre los cuales se tiene: temperatura, sonido, presión en otros. La red de sensores esta conformados por dispositivos pequeños llamados nodos y sensores para gestionar una labor en común. Una WSN (Wireless sensor networks por sus siglas en inglés) tienes varias ventajas como bajo costo, bajo consumo de energía, y autonomía organizacional (Rodas, 2014, p. 6).

2.2.1. Topología de una red WSN

Es la forma que se utiliza para unir los nodos de una red por medio del uso de enlaces, esta forma puede ser tanto física como lógica de los dispositivos. La topología lógica toma en cuenta el método y flujo de información, en cambio la topología física se refiere a la configuración de todos los dispositivos (SALVETTI, 2011, pp. 21-23).

Al momento de elegir la topología se debe considerar el número de nodos, expansión, detención de fallos y el retardo en la trasmisión (Bravo y Belduma, 2017). A continuación, se describe las topologías de red más utilizadas:

- **Topología estrella**

En la figura 3-2 se muestra la topología tipo estrella, consta de un nodo principal que cumple la tarea de coordinador o sumidero, es el encargado de enviar y recibir los mensajes de los demás nodos, la comunicación solo puede realizar el nodo coordinador entre los demás nodos. Se caracteriza porque sus nodos remotos tienen un bajo consumo de energía y baja latencia. Presenta una desventaja, que dependen del nodo coordinador para controlar la red, si este falla se pierde la conexión (Moyón y Ordóñez, 2019).

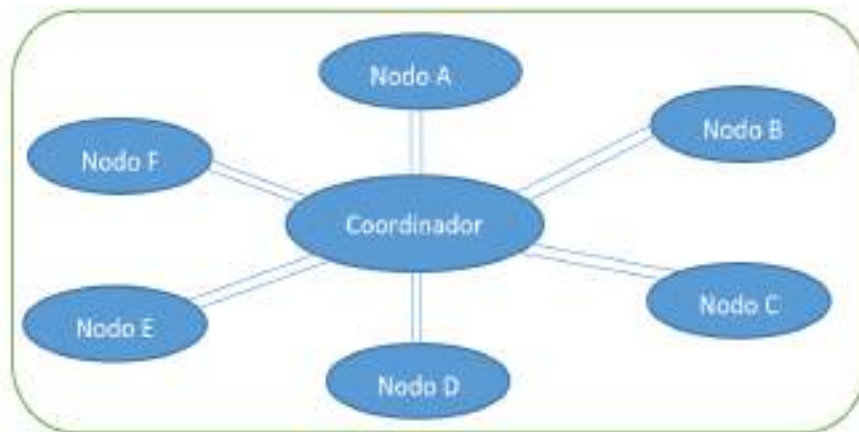


Figura 3-2: Topología tipo estrella
Realizado por: PARREÑO, Alexandra, 2021

- **Topología malla**

En la figura 4-2 se muestra una topología de red tipo malla, la cual consta de nodos de varias trayectorias. Un nodo que este en la red puede transferir información a un nodo que se encuentre dentro del rango establecido de comunicación. Los nodos repetidores son los encargados de retransmitir la información de los nodos sensores hacia el resto de nodos que conforman la red. Para enviar información de un nodo hacia otro nodo fuera del rango establecido de comunicación, se utiliza un nodo intermediario para la retransmisión del mensaje hacia el nodo de destino. Se caracteriza por ser redundante y escalable. Uno de su principal problema es el alto consumo de energía de los nodos debido a sus varias trayectorias que se crean en la red (Bravo y Belduma, 2017).

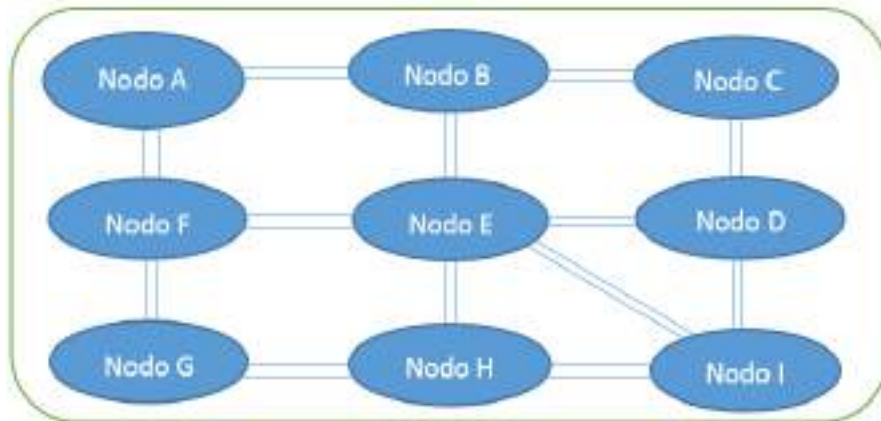


Figura 4-2: Topología tipo Malla

Realizado por: PARREÑO, Alexandra, 2021

- **Topología Bus**

En esta red todos los nodos están interconectados a un medio de comunicación común según la figura 5-2, denominado bus, por lo general es un cable coaxial. Si un nodo no esté funcionando adecuadamente, la red puede trabajar normalmente es una de sus principales ventajas. El inconveniente de esta topología es que toda la información que pasa por la red depende de un enlace de comunicación, si falla o se daña, todos los nodos pierden la comunicación (Rodas, 2014, p. 7).

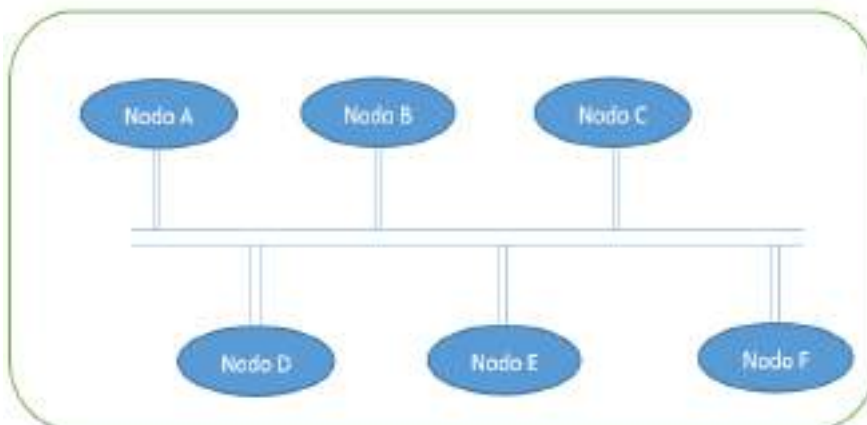


Figura 5-2: Topología Bus

Realizado por: PARREÑO, Alexandra, 2021

- **Topología híbrida**

En la figura 6-2 se muestra la topología híbrida, que es la unión de varios tipos de topologías por lo cual es una de más frecuentes, tienen un bajo consumo de energía debido a que la red puede

ser más variable y resistente. No permite enviar mensajes a los nodos que poseen menor consumo de energía porque dejan de transferir a los nodos multi-trayecto (Bravo y Belduma, 2017).

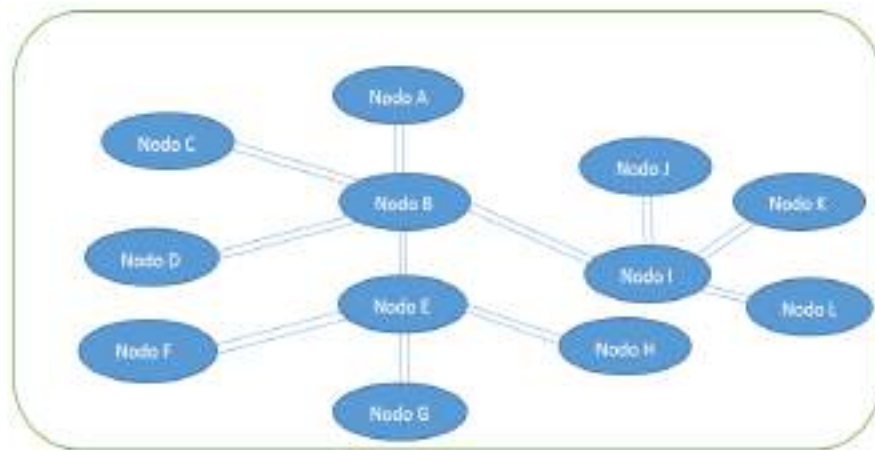


Figura 6-2: Topología Híbrida

Realizado por: PARREÑO, Alexandra, 2021

Comparativa entre las topologías de red

Se realizó un resumen de las ventajas y desventajas de las topologías de red tipo estrella, malla, bus e híbrida, como se muestra en la tabla 2-2. Donde se determinó que la topología tipo malla es la más apropiada para ser implementada, porque es una red que no requiere de un nodo central para su comunicación, además proporciona una comunicación sin interrupciones debido a sus enlaces redundantes.

Tabla 2-2: Información de las ventajas y desventajas de las topologías de red

Topologías	Ventajas	Desventajas
Estrella	Nodos remotos tienen un bajo consumo de energía y baja latencia. Fácil de prevenir daños y/o conflictos. Centralización de la red.	Dependen del nodo coordinador para controlar la red, si esta falla se pierde la conexión. Es costoso porque requiere más cable.
Malla	Nodos de varias trayectorias. No existe interrupción en la comunicación. Redúndate y escalable. No requiere de un nodo central. Estabilidad.	Alto consumo de energía. Elevado costo económico (en caso de cables). La instalación, configuración, y mantenimiento es difícil, debido a que los nodos se encuentran conectados entre sí.
Bus	Fácil de agregar o quitar un nodo a la red. Si un nodo no esté funcionando adecuadamente, la red puede trabajar normalmente.	La red depende de un enlace de comunicación, si falla o se daña, todos los nodos pierden la comunicación.
Híbrida	Bajo consumo de energía. La red puede ser más variable y resistente.	No permite enviar mensajes a los nodos que poseen menor consumo de energía porque dejan de transferir a los nodos multi-trayecto. Muy costosa.

Fuente: (Moyón Rivera & Ordóñez Berrones, 2019, p. 20),(Asadobay y Paca, 2019, p. 15),(Andrade, 2015).

Realizado Por: PARREÑO, Alexandra, 2021

2.2.2. Componentes de una red WSN

Está conformada por elementos básicos para su correcto funcionamiento. La figura 7-2 indica los componentes de una red WSN en la cual consta de:

- **Sensores:** Son los encargados de adquirir la información, dependiendo del medio en donde se encuentren para transformar en señales eléctricas. Como por ejemplo la luz, pH, temperatura, humo, humedad, etc. (Rodas, 2014, p. 18).
- **Nodos sensores:** Se les conoce también como nodos inalámbricos o “motas” debido a su tamaño reducido, las motas son dispositivos electrónicos que recogen información de su entorno para su posterior procesamiento y transmisión.

- **Gateway:** Es la puerta de enlace de la red que permite interconectar la red de sensores a otra infraestructura de red existente.
- **Estación Base:** Recoge la información enviada por los nodos sensores, esta información es almacenada en una base de datos a la cual los usuarios tienen acceso (Fernandez et al., 2009, pp. 18-23).

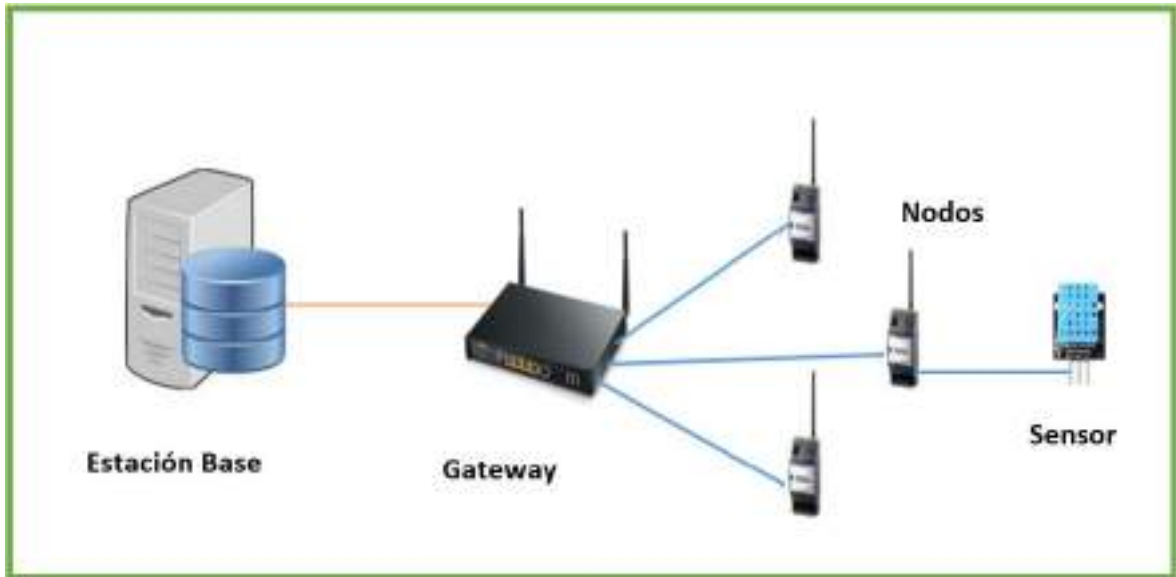


Figura 7-2: Componentes de una red WSN

Realizado por: PARREÑO, Alexandra, 2021

2.3. Sensores

Son elementos de medición para detectar variables químicas o físicas y crear una salida analógica o digital manipulable, caracterizado por ser un mediador entre las variables a medir y el sistema de medición. Se puede realizar medidas tal como como posición lineal, velocidad lineal, posición angular, desplazamiento, presión, aceleración, caudal, fuerza, velocidad angular, temperatura, intensidad lumínica, vibración y distancia (Guimeran, 2018), (Serna et al., 2010, pp. 12-25).

Sensores de pH

Son dispositivos que permiten medir el pH en un rango de 0 a 14, que describe el grado de acidez o alcalinidad de un líquido (Moyón y Ordóñez, 2019, p. 20), (Atlas Scientific, 2020), (Amazon, 2020).

En la tabla 3-2, se presenta las principales características de los sensores: SEN-0043, PH-4502C, PH ATLAS scientific. Donde se seleccionó el sensor analógico PH-4502C por su disponibilidad en el mercado, tiempo de respuesta y las aplicaciones que este proporciona.

Tabla 3-2: Características principales de los sensores de pH más comunes

Características	Sensor analógico SEN-0043	PH-4502C sensor analógico	PH ATLAS scientific
Aplicación	Medir acidez o alcalinidad de líquidos, hidroponía, líquidos, aeroponía, acuaponía.	Medir acidez o alcalinidad de líquidos, hidroponía, líquidos, aeroponía, acuaponía.	Calidad del agua
Voltaje	5 V	5 V	3.3 a 5 V
Rango de medida	0-14 pH	0-14 pH	0-14 pH
Precisión	+/- 0.1pH (25 ⁰ C)	+/- 0.1pH (25 ⁰ C)	+/- 0.02pH (250C)
Inversión	50 USD	60 USD	250 USD
Tiempo de respuesta	≤ 1min	= 5seg	95% en 1seg
Disponibilidad en el mercado	Si	Si	En el extranjero

Fuente: (Moyón y Ordóñez, 2019, p. 20), (Atlas Scientific, 2020),(Amazon, 2020).

Realizado Por: PARREÑO, Alexandra, 2021

Sensores TDS

Son dispositivos que miden la cantidad de solidos disueltos en el agua para saber cuántos miligramos de solidos disueltos hay por litro de agua (Cafago, 2016), (Seed Technology Co.,Ltd, 2020),(Micro Robotics, 2020).

El análisis comparativo se observa en la tabla 4-2 entre los sensores Gravity-TSD Meter V1.0, TDS Meter V1.1 y Grove - TDS Sensor. Se selección el sensor Gravity-TDS Meter V1.0 por la disponibilidad en el mercado y sus aplicaciones.

Tabla 4-2: Análisis comparativo entre los sensores de TDS

Características	Gravity-TSD Meter V1.0	TDS Meter V1.1	Grove - TDS Sensor
Aplicaciones	Piscinas, agua potable, estanques, hidroponía, aeroponía, acuaponía	Piscinas, agua potable, estanques, hidroponía, aeroponía, acuaponía	Piscinas, agua potable, estanques.
Voltaje	3.3 a 5.5 V	3.3 a 5.5 V	3.3 a 5.5 V
Rango de medida	0 a 1000ppm	0 a 1000ppm	0 a 1000ppm
Precisión	+/- 10% F.S. (25°C)	+/- 10% F.S. (25°C)	+/- 10% F.S. (25°C)
Inversión	45 USD	35 USD	30 USD
Disponibilidad en el mercado	Si	En el extranjero	En el extranjero

Fuente: (Cafago, 2016), (Seeed Technology Co.,Ltd, 2020),(Micro Robotics, 2020).

Realizado Por: PARREÑO, Alexandra, 2021

Sensores de temperatura

Son dispositivos que transforman los cambios de temperatura en cambios en señales eléctricas que son procesados por equipos eléctricos o electrónicos (Del Valle, 2018), (Micro Robotics, 2020),(Naylamp Mechatronics SAC., 2020). En la tabla 5-2 se observa un análisis comparativo entre los sensores de temperatura: LM35, Dht11, Ds18b20 donde se determinó el sensor Ds18b20 por sus aplicaciones que este presenta, su rango de medición y su precisión.

Tabla 5-2: Análisis comparativo entre los sensores de temperatura

Características	LM35 analógico	Dht11 digital	Ds18b20 digital
Aplicación	Ambiente	Ambiente, humedad	Ambiente, humedad, líquidos, interperie
Voltaje	4 a 30 V	3 a 5 V	3 a 5.5 V
Rango de medición	-55°C a +150°C	20 -90% Humedad 0-50°C Temperatura	-55°C a +125°C
Precisión	0.5°C (+25°C)	Humedad 5% Temperatura +/-2.0°C	+/-0.5°C (-10°C a +85°C) +/-2°C (-55°C a +125°C)
Inversión	2 USD	2 USD	4 USD
Disponibilidad en el mercado	Si	Si	Si

Fuente: (Del Valle, 2018), (Micro Robotics, 2020),(Naylamp Mechatronics SAC., 2020).

Realizado Por: PARREÑO, Alexandra, 2021

2.4. Tecnologías inalámbricas en redes WSN

Están enfocadas en proveer movilidad, mayor disponibilidad y es ejecutada mediante la propagación de ondas electromagnéticas en el espacio, debido a que no se emplea medios físicos como cables (Richarte, 2018, p. 2). Dentro de estas tecnologías podemos encontrar algunos como:

2.4.1. Bluetooth

Es una red informática ad-hoc puede comunicarse con un máximo de siete dispositivos, aunque no todo dispositivo alcanza este número, es útil para construir redes PAN. Emplea ondas de radio UHF de onda corta en la banda ISM de 2,4 a 2,485 GHz entre dispositivos fijos y móviles, por lo que está destinado para intercambiar datos a distancias cortas (Maycock et al., 2014, pp. 2832-2837). Es una alternativa a los cables de datos RS-232, desarrollado por la empresa Ericsson, bajo el estándar IEEE 802.15 (Peñaloza y Campos, 2018, p. 20). En la figura 8-2 se puede observar la comunicación mediante la tecnología Bluetooth con distintos dispositivos.



Figura 8-2: Comunicación con tecnología Bluetooth entre dispositivos

Realizado por: PARREÑO, Alexandra, 2021

2.4.2. ZigBee

Trabaja sobre la banda ISM para redes máquina a máquina, puede desarrollarse con un bajo consumo de energía, basado en el estándar IEEE 802.15.4 para redes WPAN, permite que un gran número de nodos (dispositivos) se pueden conectar entre ellos para transmitir datos de paquetes pequeños porque posee la capacidad de establecer una topología de red jerárquica. Los componentes principales del sistema *ZigBee* son: el coordinador PAN encargado de controlar la red, router es el responsable de interconectar los nodos y el nodo final quien se conecta al PAN o router, pero no puede enviar información a otros nodos finales, soporta la topología tipo estrella, malla, árbol de grupo y pares (Romero et al., 2017, pp. 1-2).

En la figura 9-2 se observa la aplicación que se tiene con la tecnología ZigBee como es la automatización de los hogares al poder controlar la temperatura, prender o apagar los focos, de igual manera en la industria, en la seguridad y en los edificios.



Figura 9-2: Aplicaciones ZigBee

Realizado por: PARREÑO, Alexandra, 2021

2.4.3. GSM

Es un estándar celular digital accesible utilizado para transferir servicios inalámbricos de datos y voz. Permite realizar transmisión de datos, llamadas de voz y SMS (Servicio de mensajes cortos) («GSMA Board», 2018). Por otro lado, la tecnología satelital GSM (Global System for Mobile Communications por sus siglas en inglés) consta de un extenso servicio que cubren territorios que no cuentan con todo tipo de servicio para comunicarse. La diferencia que presenta GSM con los sistemas inalámbricos de la primera generación es la utilización de múltiples técnicas de transmisión por división de tiempos y tecnología digital. Estas técnicas de transmisión admiten que el envío sea a grandes cantidades de datos. Su frecuencia de operación tanto para el enlace ascendente y descendente es de 900 MHz, la ranura de tiempo es de 22.8 kbps y la tasa transmisión es de 270 kbps (Giraldo et al., 2013, pp. 34-35). Tiene incluido un chip por lo que se refiere a todos los datos originales del dispositivo, como se muestra en la figura 10-2 la arquitectura del sistema GSM.

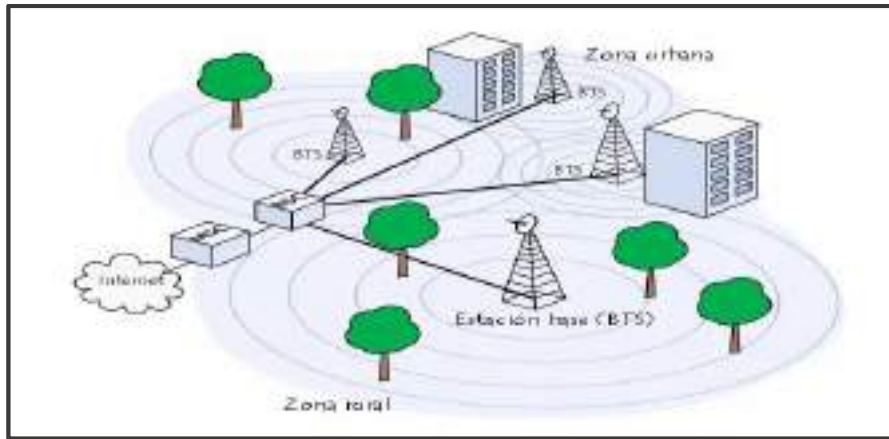


Figura 10-2: Arquitectura GSM

Fuente: (Estándar GSM (Sistema global de comunicaciones móviles), s. f.)

2.4.4. Wi-Fi

Conectividad inalámbrica de Wi-Fi Alliance del estándar 802.11, su alcance es variable y depende principalmente de los siguientes aspectos: la potencia del *Access Point* (router Wi-Fi) para transmitir la señal, la cantidad de objetos interpuestos, la distancia implicada y el dispositivo a conectar como se muestra en la figura 11-2. La velocidad de conexión está basada en la intensidad de la señal y se encuentra en el rango de los 8 a 600 Mbps. Presenta varias versiones entre ellas las más importantes son: 802.11a, 802.11b, 802.11g y 802.11n, esta última versión funciona en las dos bandas de frecuencia 2.4 y 5MHz, mejora su alcance, velocidad de transmisión práctica llega a los 600 Mbps y es compatible con todas las versiones antes indicadas (Richarte, 2018, pp. 2-3).



Figura 11-2: Alcance de la conexión Wi-Fi

Fuente: Parreño, Alexandra, 2021

2.4.5. Comparativa entre las tecnologías inalámbricas entre Bluetooth, ZigBee y Wi-Fi

En la tabla 6-2, presenta las comparativas de las principales características de cada una de las tecnologías de las comunicaciones inalámbricas estudiadas, se seleccionó la tecnología inalámbrica ZigBee por su bajo costos, consumo de potencia y su alcance.

Tabla 6-2: Comparativa de tecnologías de redes inalámbricas entre Bluetooth, ZigBee, Wi-Fi

Consideraciones	Bluetooth	ZigBee	Wi-Fi
Estándar	IEEE 802.15.1	IEEE 802.15.4	IEEE 802.11n
Frecuencia	2.4GHz	2.4GHz	2.4GHz
Tasa de Transferencia	700 Kbps	20 a 250 Kbps	450 Mbps
Nº de dispositivos que pueden interactuar	7 a 8	64535	200
Tipo de datos	Voz, datos	Datos	Video, Voz, Datos
Alcance	<30m	70-100m	100m
Consumo de potencia	40 mA transmitiendo 0.2 mA en reposo	30 mA transmitiendo 3 mA en reposo	400 mA transmitiendo 20 mA en reposo
Ventajas	Bajo costo	Bajo consumo de potencia y bajo costo	Velocidad
Desventajas	Corto alcance	Velocidad	Alto costo

Fuente: (Carignano, 2017, p. 19), (Paredes, 2017, p.19), (Peñaloza, 2018 p.14) (Gusqui, 2017 p. 12)

Realizado Por: PARREÑO, Alexandra, 2021

2.5. Las tarjetas de desarrollo

Son placas de desarrollo *hardware*, cuentan con un sistema operativo y lenguaje de programación propio, útiles al implementar sistemas que realizan funciones específicas, dentro de las cuales tenemos:

2.5.1. Arduino

Se puede definir como un ordenador compuesto por: la Unidad Central de Procesamiento (CPU) como un elemento principal, un chip, circuitos para el control de periféricos, memoria de programa, y memoria de datos. Se describe como una plataforma electrónica de código abierto y *hardware* libre basada en una placa que tiene instalada un microcontrolador. Es una herramienta capacitada para incorporar *hardware* adicional que sirve para la creación de prototipos, entornos y aplicaciones interactivas propuestas a proyectos (Nacho, 2016). En la figura 12-2 se puede observar las distintas tarjetas de desarrollo Arduino como son: Arduino Uno, Arduino Leonardo, Arduino Pro, Arduino Ethernet, Arduino Mega 2560 entre otros.

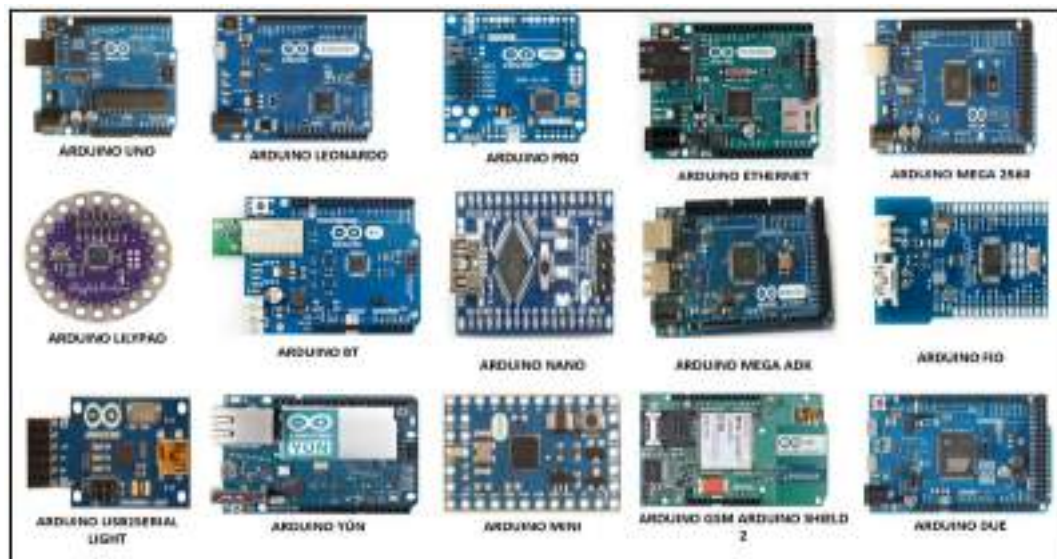


Figura 12-2: Tarjetas Arduino

Realizado Por: PARREÑO, Alexandra, 2021

2.5.2. *Raspberry Pi*

Es una placa única de bajo costo, fue diseñado para ser utilizado en diversos proyectos tecnológicos además es un ordenador. Cuenta con una variedad de accesorios entre los cuales se tiene: cámaras de video que convierten a esta plataforma en cámaras de video vigilancia, pantallas LCD desde 3.5 a 10 pulgadas, también se ha incorporado una tarjeta de comunicación celular GPRS la cual permite la comunicación de voz y el envío de datos utilizando las bandas comerciales de los celulares. Los sistemas operativos utilizados en esta plataforma son versiones aplicadas a Linux, Ubuntu y Debían, puede ser utilizado en Windows 10 para ser usado para IoT sin activar su interfaz gráfica (Jipsion, 2017, pp. 15-16), en la figura 13-2 se muestra las distintas tarjetas Raspberry Pi como son: model B, model A, compute module, model B+, model A+, 2 model B, zero, 3 model B.

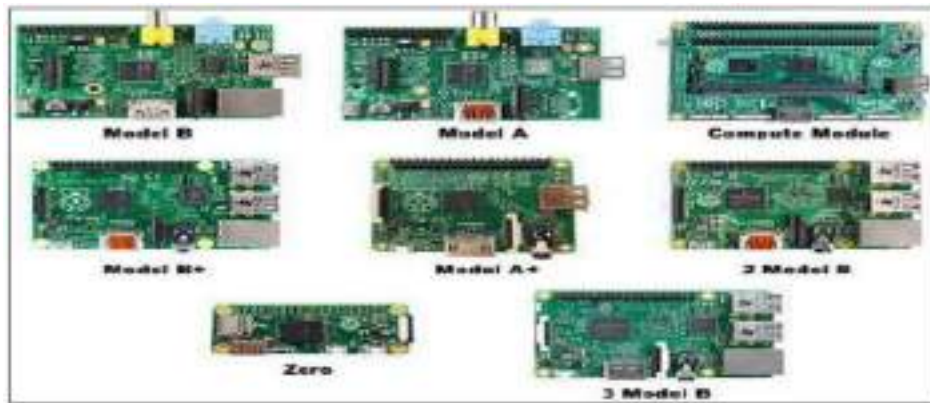


Figura 13-2: Modelos de las tarjetas Raspberry Pi

Fuente: Paredes, 2017

2.5.3. *Waspnote*

Es una plataforma de sensores inalámbricos de código abierto, desarrolla por la empresa Libelium, especialmente enfocada en la implementación de modos de bajo consumo para permitir que los nodos sensores ("motes") sean completamente autónomos y alimentados por batería, ofreciendo una vida útil variable entre 1 y 5 años dependiendo del ciclo de trabajo y el radio utilizado. Tiene diferentes radios de comunicación con el protocolo ZigBee, diversos módulos opcionales de comunicación GPS, GPRS y Bluetooth además tienes un gran variedad de placas de sensores para medir gases, parámetros y eventos físicos para mediciones inteligentes (Libelium, 2020), (Gracia, 2012). En figura 14-2 se observa una tarjeta Waspnote.



Figura 14-2: Tarjeta Waspnote

Fuente:(Libelium, 2020)

2.5.4. *Comparativa entre las tarjetas de desarrollo.*

En la tabla 7-2 se muestra un comparativo de las tarjetas de desarrollo entre Arduino Mega, Raspberry pi B, Waspnote. Se selección la tarjeta de desarrollo Arduino Mega por su bajo costo,

su compatibilidad con diversos sensores, su bajo consumo de corriente y la disponibilidad en el mercado.

Tabla 7-2: Comparativa de las tarjetas de desarrollo entre: *Arduino Mega*, *Raspberry pi B*, *Waspnote*

Características	Arduino Mega	Raspberry pi B	Waspnote
Procesador	ATmega2560	Arm 11	Atmega1281
Velocidad	16 MHz	700 MHz	14.74MHz
RAM	2Kb	512 Mb	512 Kb
Compatibilidad de sensores	Si	Si	Sensores de marca Libelium
I/O Analógicas	16	-	7
I/O Digitales	15	8	8
Consumo de corriente	Bajo 40 mA	Alto 700 mA	Bajo 100mA
Tamaño	18x45mm	85.60x56x21mm	73.5x51x13mm
Costo	9 USD	84 USD	90 USD

Fuente: (Mart, 2014, p.6), (Valverde, 2014, p.8-10), (López y Quiñonez, 2018, p. 25),(Libelium, 2020)

Realizado Por: PARREÑO, Alexandra, 2021

2.6. Plataforma en la nube

El servicio de una plataforma IoT es una aplicación *software* que recibe datos generalmente de sensores conectado a placas del tipo Arduino, Raspberry Pi entre otras más. Es una tecnología de múltiples capas que permite a los usuarios administrar dispositivos conectados. Además, se ocupan de todos los aspectos relacionados con la escalabilidad y la seguridad. Uno de los fines de estas plataformas es la recogida y tratamiento de datos para realizar acciones y ofrecer servicios como envío de SMS, emails entre otros. Por lo tanto, es indispensable como almacenamiento en sistemas de control (Diéguez, 2020).

En la tabla 8-2 se realiza un análisis comparativo entre las plataformas KAA IoT, ThingSpeak, Thinking Things, en donde se seleccionó a la plataforma ThingSpeak debido a su característica, su compatibilidad con las tarjetas de desarrollo además permite agregar, visualizar y analizar flujos de datos en vivo en la nube.

Tabla 8-2: Análisis comparativo entre las plataformas IoT

Términos	KAA IoT	ThingSpeak	Thinking Things
Características	<p>Conectividad del dispositivo.</p> <p>Gestión de dispositivos.</p> <p>Recopilación de datos.</p> <p>Procesamiento y análisis de datos.</p> <p>Visualización de datos.</p> <p>Ejecución del comando.</p>	<p>Visualización de datos del sensor en tiempo real</p> <p>Agregación de datos de proveedores externos.</p> <p>Programar tareas de análisis de datos.</p> <p>Programación de eventos.</p> <p>Ejecutar acciones de acuerdo con los datos adquiridos.</p> <p>Permite crear aplicaciones de registro de sensores.</p> <p>Seguimiento de sensores.</p>	<p>Compuestos básicamente de una batería, un sensor y un módulo de conectividad GSM.</p> <p>Ofrece una plataforma <i>software</i> con una interfaz muy fácil de usar.</p> <p>La conectividad es a través de la red móvil y con una SIM.</p>
Compatibilidad con las tarjetas de desarrollo	Arduino, Raspberry Pi, ESP, etc.	Arduino, Raspberry Pi, ESP, Particle, etc.	Propietario
Ventajas	El servidor Kaa se diseñó para manejar millones de dispositivos conectados, es, fácilmente personalizable y ampliable, tiene equilibrio de carga en el clúster, no hay un solo punto de falla.	Es un servicio de plataforma analítica que permite agregar, visualizar y analizar flujos de datos en vivo en la nube.	Fácil Configuración. Integración fácil entre <i>hardware</i> plataforma Ideal para prototipos. Ideal para iniciarse
Desventajas	No está disponible en versión gratuita y no ofrece prueba gratis	Documentación limitada a cierto <i>hardware</i> .	Poca variedad Sensores. Solo es posible usar su <i>hardware</i> .

Fuente: (ThingSpeak, 2020), (Kaa, 2020), (Campos y Marin, 2018), (Garrido, 2015)

Realizado Por: PARREÑO, Alexandra, 2021

2.7. Estado del Arte

2.7.1. Sistemas de monitoreo de cultivos aeropónicos

En base al Manual de cultivos aeropónicos y guía para construir un sistema de cultivo aeropónico. Donde se menciona la importancia de monitorear el cultivo aeropónicos en base al pH y la conductividad eléctrica siendo los factores primordiales para el desarrollo del cultivo aeropónico (InfoAgronomo, 2019), (Comercializadora Hydro Environmet S.A. DE C.V., s. f.), (Otaquí, 2010, p. 37).

2.7.2. A nivel mundial

En México en el 2013 el Instituto Politécnico Nacional, diseñó un dispositivo ultrasónico para el uso de aeroponía, para controlar la temperatura y humedad. El dispositivo ultrasónico genera una neblina en el agua y obtiene una nebulización la cual ayuda a la distribución de nutrientes y el agua en el cultivo. Se centra solo en el monitoreo de la temperatura y la humedad del cultivo (Fuentes, 2013).

En Medellín en el año 2018, por la Universidad Nacional de Colombia- Sede Medellín, Facultad de Ciencias, Escuela de Física. Implemento automatización de cultivos aeropónicos de cilantro libres de pesticidas, es una fuentes autónoma de suministro energético y un sistema de control del riego que utilizo la herramienta Matlab-Simulink-MPLAB para el desarrollo de Sistema (Velasco et al., 2019). No realiza un monitoreo de los parámetros de los cultivos aeropónicos.

2.7.3. A nivel nacional

En Sangolquí en el 2015 el INIAP inauguró un invernadero automatizado de producción de semilla básica de papa el cual está ubicado en la Hacienda El Prado. Se filtran y distribuyen las soluciones nutritivas que abastecen a todo el invernadero (mundo, 2015). No realiza un monitoreo constante de los factores que interviene en los sistemas aeropónicos.

En Machala en el año 2017 en la Universidad Técnica de Machala se desarrolló la evaluación del rendimiento en el cultivo de lechuga (nombre científico lactuca sativa), en sistemas hidropónicos y aeropónicos automatizados, en donde se tomaron los datos dos veces por semana de la solución, mediante un medidor portátil (Multiparamétrico) marca Hanna. Y la parte automática de riego durante un intervalo de 15 segundos (Solis, 2017). El sistema de cultivo aeropónico no cuenta con un monitoreo constante de los parámetros que intervienen en el cultivo.

En Ibarra en el año 2020 la Universidad Técnica del Norte desarrolló la Implantación de un sistema automatizado para cultivos aeropónicos de hortalizas en el barrio 11 de Enero, el cual consiste en el monitor de la temperatura, humedad, nivel del agua, pH (Arroyo, 2020). El sistema no cuenta con el monitoreo de la conductividad eléctrica, TDS y emisión de alerta que indique que el pH, temperatura, la conductiva eléctrica están en niveles altos o bajo.

En la ciudad de Riobamba hasta la fecha no se ha desarrollo ningún sistema de monitoreo para cultivos aeropónicos, por lo cual se propone desarrollar un prototipo de monitoreo de pH, TSD, conductividad eléctrica y la temperatura del ambiente y del agua para este tipo de cultivos.

3. MARCO METODOLÓGICO

El presente capítulo trata del diseño e implantación del prototipo de red inalámbrica con nodos inteligentes para el monitoreo en cultivos aeropónicos, denominado (MCA). Se estable los requerimientos tanto a nivel de *software* y *hardware*, el esquema general del prototipo, diagrama de bloques, la selección de los materiales, sus esquemas de conexiones, sus diagramas de flujo a utilizar en el mismo y su implementación.

3.1. Diseño e implantación del prototipo para el monitoreo en cultivos aeropónicos

3.2. Requerimientos hardware del prototipo MCA.

Una vez establecidos los conceptos teóricos relacionados al tema, se concreta los requerimientos para el diseño del prototipo MCA para el monitoreo de cultivos aeropónicos. Los requerimientos del prototipo MCA son los siguientes:

- El prototipo debe tener un diseño supervisar las variables del cultivo aeropónico como pH, conductividad eléctrica, temperatura del ambiente y del agua.
- La información obtenida por el prototipo debe ser almacenados en una MicroSD y en sitio Web.
- Visualizar los valores del pH, temperatura, conductividad eléctrica y el TDS de los cultivos aeropónicos.
- Emitir mensajes de alerta cuando las variables se encuentren fuera del rango específico.

3.2.1. *Esquema general del prototipo MCA*

En base a los requerimientos que debe tener el prototipo, se procedió con el esquema general que se muestra en la figura 1-3 el cual consta de: nodo de adquisición y el nodo coordinador.

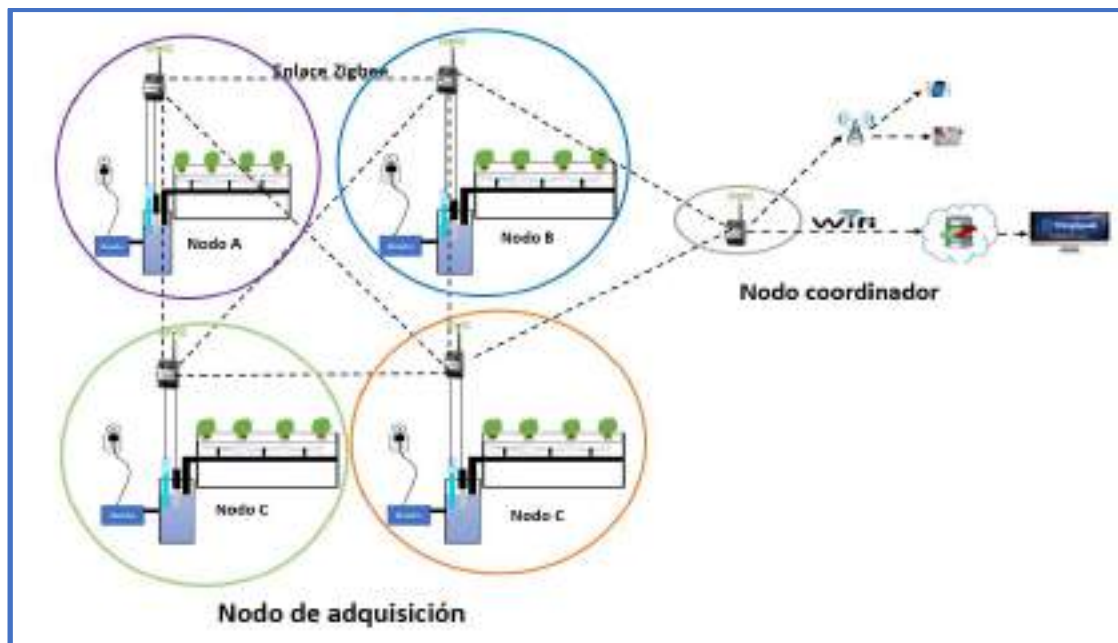


Figura 1-3: Concepción general del prototipo MCA

Realizado por: PARREÑO, Alexandra, 2021

Nodo de adquisición: Es el encargado de registrar la información del pH, la temperatura, la conductividad eléctrica y TDS en los cultivos aeropónicos en tiempo real, luego procesa los datos para ser enviados de forma inalámbrica mediante el módulo Xbee al nodo coordinador.

Nodo coordinador: Es el encargado de procesar la información que ha sido obtenido del nodo de adquisición también es quien enviara alertas al encargado del cultivo cuando el pH, conductividad eléctrica, temperatura estén fuera del rango establecido. Muestra la información de las variables de los cultivos aeropónicos en un sitio Web.

3.2.2. Diagrama de bloque del prototipo MCA

A continuación, se describe el diagrama de bloques del nodo de adquisición y del nodo coordinador.

Diagrama de bloques del nodo de adquisición del prototipo MCA

El diagrama del nodo de adquisición que se muestra en la figura 2-3 consta de seis bloques, el elemento denominado adquisición de datos, se encarga de leer el puerto analógico donde se encuentran conectados los sensores, que permite medir el pH, TDS, conductividad eléctrica, y el puerto digital para leer las temperaturas del ambiente y del agua, una fuente de alimentación independiente que provee energía al nodo de adquisición por medio de un panel solar o batería. Mediante el bloque de transmisión ZigBee, los datos leídos en el bloque de adquisición son

enviados al nodo coordinador por medio de una comunicación inalámbrica. El procesamiento de datos, está compuesto por una tarjeta Arduino Mega toman las entradas analógicas y las con en salidas digitales.

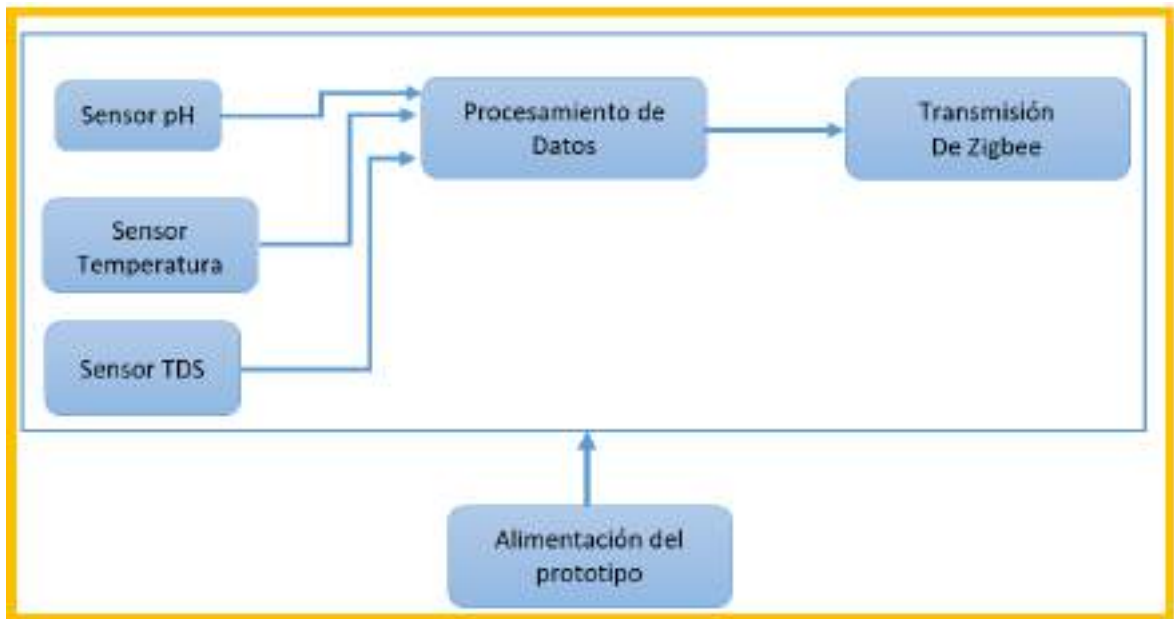


Figura 2-3: Diagrama de Bloque del nodo de adquisición del prototipo MCA.

Realizado por: PARREÑO, Alexandra, 2021

Diagrama de bloques del nodo coordinador

El diagrama del nodo coordinar se muestra en la figura 3-3, consta de siete bloques.

El bloque de recepción ZigBee es el encargado de recibir los datos enviados por el nodo de adquisición mediante transmisión inalámbrica. El bloque de alimentación se encarga de proveer energía al nodo mediante la red de energía eléctrica. El bloque del módulo GSM es el encargado de emitir las alertas mediante un mensaje de texto al responsable del cultivo para que realice las correcciones pertinentes. El bloque de transmisión Wifi mediante NodeMCU es la encargada de enviar los datos que son recibidos del nodo de adquisición al bloque de visualización los cuales se mostrarán en tiempo real en una página Web los datos de: temperatura del agua, temperatura ambiente, pH, TDS y conductividad eléctrica.

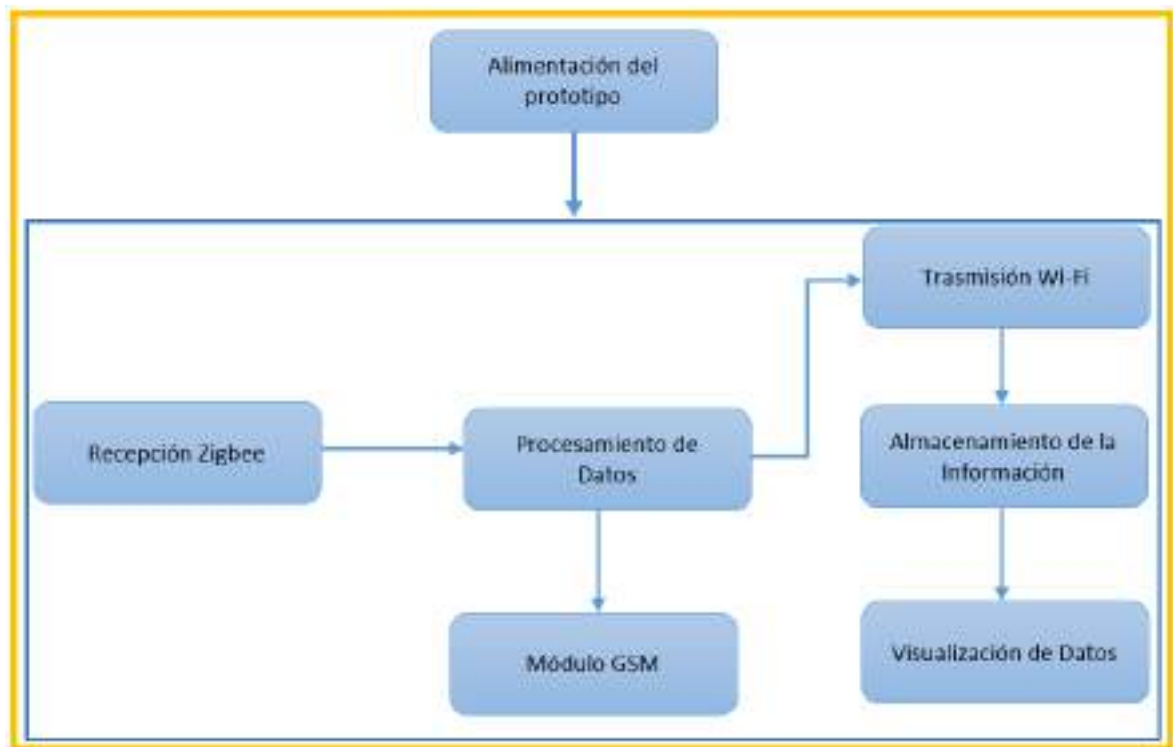


Figura 3-3: Diagrama de Bloque del nodo de coordinador y visualización del prototipo

Realizado por: PARREÑO, Alexandra, 2021

3.3. Selección del *hardware* para el diseño del prototipo MCA

A continuación, se detalla los dispositivos electrónicos utilizados para la implementación del prototipo MCA para el monitoreo en cultivos aeropónicos. Se adjunta la hoja de datos de los componentes en los Anexos A al I.

3.3.1. *Tarjetas de desarrollo*

Se describe las características principales de las tarjetas de desarrollo que interviene en el prototipo MCA.

Arduino Mega 2560 R3

Es una placa de microcontrolador basada en el ATmega2560, como se observa en la figura 4-3. Tiene 54 terminales de entrada / salida digital (de los cuales 15 se pueden usar como salidas PWM), 16 entradas analógicas, 4 UART (puertos serie de hardware), un oscilador de cristal de 16 MHz, una conexión USB, un conector de alimentación, un encabezado ICSP, y un botón de reinicio. Contiene todo lo necesario para soportar el microcontrolador; simplemente conéctelo a una computadora con un cable USB o enciéndalo con un adaptador de CA a CC o una batería. La placa Mega 2560 es compatible con la mayoría de los componentes diseñados para la tarjeta

Arduino Uno y las placas anteriores Duemilanove o Diecimila. El Mega 2560 es una actualización del Arduino Mega (Arduino, 2020a). En la tabla 1-3 se muestra las especificaciones técnicas del Arduino Mega 2560 R3.



Figura 4-3: Arduino Mega 2560 R3

Realizado por: PARREÑO, Alexandra, 2021

Tabla 1-3: Especificaciones técnicas del Arduino Mega 2560 R3

Especificaciones	Arduino Mega 2560 R3
Microcontrolador	ATmega2560
Voltaje de entrada (limites)	6-20 V
Voltaje operativo	5 V
Voltaje de entrada (recomendado)	7-12 V
Terminales digitales de E/S	54
Terminales PWM salida	15
Terminales análogos de entrada	16
Corriente DC por cada Pin E/S	40 mA por pin E/S 50 mA por pin 3.3V
Memoria Flash	256KB
Memoria Bootloader	8KB
SRAM	8KB
Clock Speed	16 MHz
EEPROM	4 MHz

Fuente: (Arduino, 2020c),(Asadobay y Paca, 2019, p. 32)

Realizado por: PARREÑO, Alexandra, 2021

NodeMCU ESP8266

Es una pequeña placa con conexión Wifi lista para usar en los proyectos IoT, es de código abierto (Del Valle Hernández, 2016), se puede programar con LUA o mediante el IDE de Arduino. Además, ofrece más ventajas como la incorporación de un regulador de tensión, así como un puerto USB de programación, es de fácil acceso a los terminales y cuenta con leds para indicar de su estado como se muestra en la figura 5-3 sus aplicaciones son diversas como envío de datos a internet, control de sensores, relés, control industrial y domótica (Martín, 2017). En la tabla 2-3 se describe las características que trabaja la placa NodeMCU ESP8266.



Figura 5-3: Módulo NodeMCU ESP8266

Realizado por: PARREÑO, Alexandra, 2021

Tabla 2-3: Especificaciones técnicas del NodeMCU ESP8266

Especificaciones	NodeMCU ESP8266
Voltaje	3.3 V
Corriente de operación	200 mA
Rangos de frecuencia	2.4 a 2.5 Ghz
RAM	32 KB
Memoria	EEPROM
Memoria flash externa	4 MB

Fuente:(López y Quiñonez, 2018, p. 32),(Asadobay y Paca, 2019, p. 32),(Llamas, 2018)

Realizado por: PARREÑO, Alexandra, 2021

3.3.2. Módulo Xbee S2C

Es un dispositivo de bajo costo y fácil configuración, que permite realizar conexiones inalámbricas entre dispositivos electrónicos. Admite topologías de redes de conexión punto a punto, punto a multipunto y malla. Trabaja en frecuencia de 2.4 GHz, se incorpora la comunicación SPI que permite un intercambio de datos con una alta velocidad entre dispositivos, mejorando la conexión con microcontroladores en la figura 6-3 se observa módulo Xbee S2C, posee un alcance de hasta 60 metros en lugares cerrados y hasta 1200 metros en exteriores con línea de vista (Ijorquera, 2017). En la tabla 3-3 se describe las características del módulo Xbee S2C.



Figura 6-3: Módulo Xbee S2C

Realizado por: PARREÑO, Alexandra, 2021

Tabla 3-3: Especificaciones técnicas del Módulo Xbee S2C

Especificaciones	Módulo Xbee S2C
Rango de voltaje	2.1V a 3.6V
Corriente de operación	33mA (a 3.3V para modo Normal) 45mA (a 3.3V para modo Boost)
Frecuencia de trabajo	2.4 Ghz
Potencia - Recepción	33 a 45mA
Potencia – Transmisión	28 a 31mA
Rango de alcance – lugar cerrado	Más de 60m
Rango de alcance – línea de vista	1200m
Memoria Flash	32Kb
Memoria RAM	2Kb

Fuente: (Llamas, 2018) , (Naylamp Mechatronics, 2020a)

Realizado por: PARREÑO, Alexandra, 2021

3.3.3. Módulo SIM800L

En la figura 7-3 se observa el módulo SIM800L, es un dispositivo que admite las redes GSM/GPRS, permite enviar pequeños paquetes de voz, texto, datos y SMS. Trabaja en las frecuencias GSM850MHz, DSC180MHz, EGSM900MHz y PCS1900MHz, solo trabaja con tecnología 2G (Naylamp Mechatronics, 2020a). En la tabla 4-3 se describe las especificaciones técnicas del módulo SIM800L.



Figura 7-3: Módulo SIM800L

Realizado por: PARREÑO, Alexandra, 2021

Tabla 4-3: Especificaciones técnicas del Módulo SIM800L

Especificaciones	Módulo SIM800L
Voltaje operación	3.4V a 4.4V DC
Consumo de corriente (máx.)	500mA
Consumo de corriente (modo reposo)	0.7mA
Interfaz	Serial UART

Fuente: (Ijorquera, 2017), (Naylamp Mechatronics, 2020a)

Realizado por: PARREÑO, Alexandra, 2021

3.3.4. Fuente Step Down LM2596

Es un circuito integrado que permite obtener voltaje DC/DC a partir de una fuente de alimentación con voltaje mayor, con alta eficiencia de conversión en la figura 8-3 se muestra la fuente Step Down LM2596. Para el uso con microcontroladores, Arduino, PICs, Raspberry Pi, fuentes variables, drivers para LEDs, etc. Es idóneo de manejar corriente hasta 3A (Prometec, 2020). En la tabla 5-3 se describe las especificaciones técnicas de la fuente Step Down LM2596.



Figura 8-3: Fuente Step Down LM2596

Realizado por: PARREÑO, Alexandra, 2021

Tabla 5-3: Especificaciones técnicas fuente Step Down LM2596

Especificaciones	LM2596
Voltaje de entrada	4.5V – 40V DC
Voltaje de salida	1.23V – 37V DC
Frecuencia de operación	+/- 150kHz
Corriente de salida estable	2A
Corriente de salida máxima	3A
Eficiencia de conversión	92%
Regulador de carga	+/- 0.5%
Regulador de voltaje	+/- 0.5%
Potencia de salida	25W
Temperatura de operación	-40°C a 85°C (hasta 10W)

Fuente:(Prometec, 2020), (PatagoniaTec Electronica, 2020)

Realizado por: PARREÑO, Alexandra, 2021

3.3.5. Fuente 12V 2 A

Para la alimentación de nodo coordinador se usa una fuente 12V a 2 A, la mismo se muestra en la figura 9-3 ya que en el invernadero cuenta con red eléctrica disponible.



Figura 9-3: Fuente 12 V a 2 A

Realizado por: PARREÑO, Alexandra, 2021

3.3.6. Pantalla HMI Nextion 5.0"

En la figura 10-3 se muestra la pantalla HMI Nextion 5.0", es una pantalla táctil resistiva TFT 800x480 pixeles de 5.0", se aplica principalmente en el campo de IoT o electrónica de consumo, utiliza un puerto serial para la comunicación, tiene incorporado una tarjeta micro SD para la actualizar el firmware (AV Electronics, 2018). En tabla 6-3 se describe las especificaciones técnicas de la pantalla HMI Nextion 5.0".

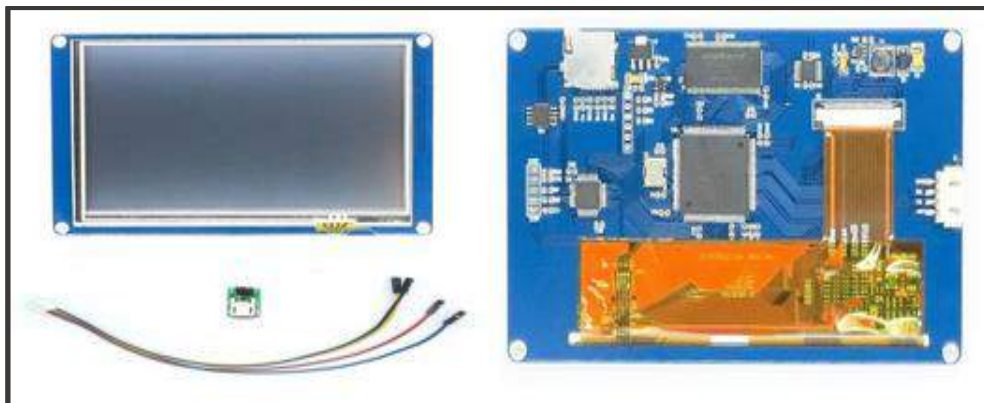


Figura 10-3: Pantalla HMI Nextion 5.0"

Realizado por: PARREÑO, Alexandra, 2021

Tabla 6-3: Especificaciones técnicas de la pantalla HMI Nextion 5.0"

Especificaciones	HMI Nextion 5.0"
Voltaje de alimentación	5V
Corriente operativa	410mA
Tamaño	5.0"
Interface de visualización	Serial
Compatible	Raspberry Pi A + B + y Raspberry Pi 2 Arduino
Resolución	800x480 pixeles
Memoria Flash	16M
RAM	2KBytes
Área de visualización	108mm(L)x64,8mm (An)

Fuente:(ITEAD, 2020), (AV Electronics, 2018)

Realizado por: PARREÑO, Alexandra, 2021

3.3.7. Lector Micro SD

En la figura 11-3 se muestra el lector Micro SD, que es una tarjeta de interfaz está diseñada para acceder a la memoria SD, permite la lectura, escritura y edición de archivos dentro del dispositivo almacenando SD, el modo de comunicación es SPI el cual le permite utilizar con todas las tarjetas de desarrollo Arduino o PIC. Posees una alimentación de 3,3V y 5V (Naylamp Mechatronics, 2020b). En la tabla 7-3 se muestra las especificaciones técnicas de lector Micro SD.

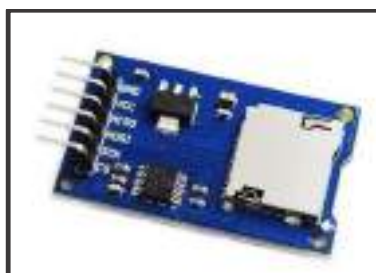


Figura 11-3: Lector Micro SD

Realizado por: PARREÑO, Alexandra, 2021

Tabla 7-3: Especificaciones técnicas de lector Micro SD

Especificaciones	Lector Micro SD
Voltaje de funcionamiento	5 V
Voltaje mínimo de entrada	3.3 V
Comunicación	SPI
Alimentación	80mA
Capacidad de la memoria flash	0 kB

Fuente: (Naylamp Mechatronics, 2020b)

Realizado por: PARREÑO, Alexandra, 2021

3.3.8. Sensor TDS

Es desarrollado por Gravite refleja la limpieza del agua y mide el total sales disueltos, su puede aplicar en la detección de la calidad de agua, doméstica, hidropónica, aeropónica y otros campos más, su longitud total es de 83cm, y su sonda es a prueba de agua como se muestra en la figura 12-3. En general, cuanto mayor es el valor de TDS menos limpia esta. Por lo tanto, el valor de TDS se puede usar como una de las referencias para reflejar la limpieza del agua (Robotshop, 2020). En la tabla 8-3 se describe las especificaciones técnicas del sensor TDS.



Figura 12-3: Sensor TDS

Realizado por: PARREÑO, Alexandra, 2021

Tabla 8-3: Especificaciones técnicas del sensor TDS

Especificaciones	Sensor TDS
Voltaje de entrada	3.3 a 5.5V
Voltaje de salida	0 a 2.3V
Corriente de trabajo	3 a 6mA
Rango de medición	0 a 1000ppm
Precisión de medición	+/- 10% FS (25°C)

Fuente:(Robotshop, 2020), (Micro Robotics, 2020)

Realizado por: PARREÑO, Alexandra, 2021

3.3.9. Sensor DS18B20

Es fabricado por Maxim Integrated, el encapsula de fábrica es tipo TO-92 similar al empleado en transistores pequeños. La presentación comercial más utilizada por conveniencia y robustez es la del sensor dentro de un tubo de acero inoxidable resistente al agua (Del Valle Hernández, 2017) como se muestra en la figura 13-3. Es un sensor digital de temperatura es el más versátil que se puede encontrar en el mercado, utiliza el protocolo de comunicación 1-Wire solo necesita un terminal

de datos para comunicarse y permite conectara más de un sensor en el mismo bus. Es idóneo cuando se requiere medir la temperatura en dentro del agua y en ambientes húmedos. Se puede realizar porque viene en forma de sonda impermeable (Robotshop, 2020). En la tabla 9-3 se describe las características técnicas del sensor DS18b20.



Figura 13-3: Sensor DS18b20

Realizado por: PARREÑO, Alexandra, 2021

Tabla 9-3: Especificaciones técnicas del sensor DS18B20

Especificaciones	DS18B20
Voltaje de alimentación	3 a 5.5 V
Rango de temperatura	-55 a 125 ⁰ C
Error (-10 ⁰ C a 85 ⁰ C)	+/- 2 ⁰ C

Fuente: (Del Valle Hernández, 2017), (Robotshop, 2020)

Realizado por: PARREÑO, Alexandra, 2021

3.3.10. *Sensor pH*

Es desarrollado por Diymore el cual mide la acides o alcalinidad de los líquidos, en la figura 14-3 se muestra el sensor pH el cual permite medir el pH del agua gracias a su placa controladora que ofrece un valor analógico, el controlador tiene un potenciómetro multivuelta que permite la correcta calibración de la sonda, (Bricogeek, 2020) tiene una presión de +/- 0.1 pH en una rango de 0 a 14 unidades de pH, en la tabla 10-3 se describe las especificaciones técnicas de sensor pH.



Figura 14-3: Sensor pH

Realizado por: PARREÑO, Alexandra, 2021

Tabla 10-3: Especificaciones técnicas del sensor pH

Especificaciones	Sensor pH
Voltaje de alimentación	5 V
Rango de medición	0-14pH
Precisión	+/- 0.1pH (25 ⁰ C)
Tiempo de respuesta	≤ 1min

Fuente: (Bricogeeek, 2020),(Atlas Scientific, 2020)

Realizado por: PARREÑO, Alexandra, 2021

3.3.11. *Panel Solar*

Presenta barras colectoras de cinco celdas solares que permite extraer más energía de la misma superficie como se muestra en la figura 15-3. Funciona bien en condiciones de poca luz y produce una buena cantidad de energía simplemente a la luz del día incluso cuando la luz solar directa no está disponible (eBay, 2020). En tabla 11-3 se especifica las características técnicas del panel solar.



Figura 15-3: Panel Solar 60W

Realizado por: PARREÑO, Alexandra, 2021

Tabla 11-3: Especificaciones técnicas del panel solar 60W

Especificaciones	Panel Solar
Potencia	60W
Voltaje	18V
Corriente	3.33 A
Tolerancia	+/- 3%
Temperatura ambiente	25°C

Fuente: (eBay, 2020), (Minieasy, 2020)

Realizado por: PARREÑO, Alexandra, 2021

3.3.12. Regulador de voltaje solar Driver PWM 20 A

Se ocupa de impedir que siga llegando corriente desde los paneles solares hasta la batería cuando está ya se encuentre completamente llena, ya no permite el paso de electricidad en sus elementos, el regulador corta su acceso (Globalsources, 2015). Como se observa en la figura 16-3 en la tabla 12-3 se describe las especificaciones técnicas que tiene el regulador de voltajes solar Drive PWM 20 A.



Figura 16-3: Regulador de voltaje solar PWM

Realizado por: PARREÑO, Alexandra, 2021

Tabla 12-3: Especificaciones técnicas del regulador de voltaje solara PWM

Especificaciones	Regulador de voltaje solara PWM
Voltaje FV	$\leq 50V$
Intensidad	20 A
Voltaje del Sistema	12V /24V auto
Temperatura trabajo	-20 a +50°C

Fuente: (Globalsources)

Realizado por: PARREÑO, Alexandra, 2021

3.3.13. Batería seca

En la figura 17-3 se observa una batería seca es una agrupación de celdas galvánicas con electrolitos pastosos, cuenta con dos terminales positivo y negativo, le permite almacenar carga equivalente a 12V y una corriente 7.5A hora.



Figura 17-3: Batería 12V 7.5Ah

Realizado por: PARREÑO, Alexandra, 2021

3.4. Esquema de conexión del prototipo MCA

A continuación, se detalla los componentes electrónicos y cada conexión de los nodos que conforman el prototipo MCA.

3.4.1. Esquema de conexión del nodo adquisición para el prototipo MCA

Está compuesto por: un Arduino Mega, un módulo Xbee S2C, los sensores de pH, DS18B20, TDS, panel solar de 60W, regulador de voltaje solar PWM, LM2596, batería de 12 V como se indica en la figura 18-3. Sus componentes se conectan de la siguiente manera:

- El terminal positivo del panel solar y el terminal negativo al terminal GND del regulador de voltaje solar PWM.
- El regulador de voltaje solar PWM se conecta a dos LM2596 para tener voltajes de salida 3.3 y 5 V.
- El módulo Xbee S2C tiene una alimentación de 3.3 V y GND, tiene conectado el terminal 2 (RX2) y un terminal 3 a dos resistencias una de 10k Ω y otra 20k Ω (TX2) al Arduino Mega respectivamente.
- El sensor de pH tiene una alimentación de 5 V y GND, se conecta del Po (A2) al Arduino Mega.
- El sensor TDS tiene una alimentación de 5 V y GND, se conecta del A (A0) del Arduino Mega.
- El sensor DS18B20 tiene una alimentación de 5 V y GND, se conecta del terminal 8 (D7), del terminal 9 (D2), del terminal 7 a una resistencia 4.7 k Ω (D8) del Arduino mega respectivamente.
- Dos LED son utilizados como luces indicadoras, el led azul indica que los datos de los sensores están llegando y el rojo indica que los sensores no están leyendo, están conectado al

terminal 1 (D13), el terminal 2 a una resistencia 220 Ω (D12) y los terminales negativos de los leds están conectados al GND.

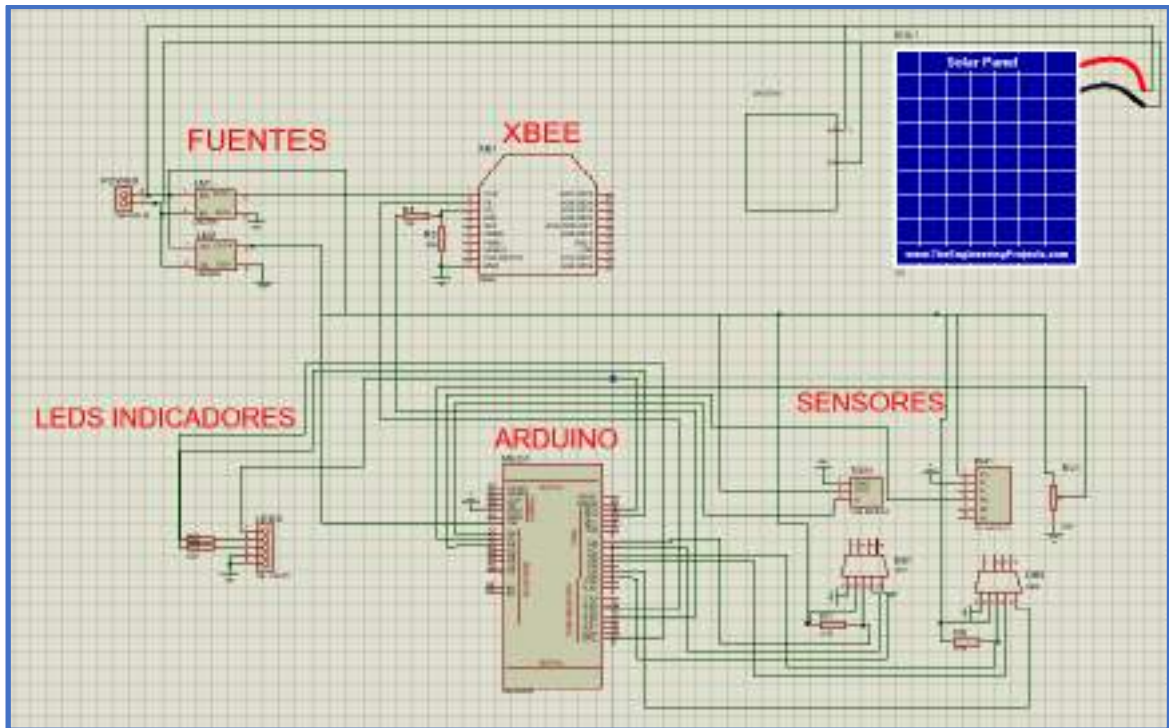


Figura 18-3: Esquema de conexión del nodo de adquisición.

Realizado por: PARREÑO, Alexandra, 2020

3.4.2. Esquema de conexión del nodo coordinador

El esquema de conexión del nodo de coordinador, están compuestos por: Arduino Mega, un módulo Xbee S2C, memoria Micro SD, LM2596, resistencias, NodeMCU ESP8266, fuente 12 V 6 A, HMI Nextion y leds como se observa en la figura 19-3. Sus componentes se conectan de la siguiente manera:

- La fuente está conectada a dos LM2596 los cuales permiten obtener voltaje de salida de 5 y 3.3 V.
- El módulo Xbee S2C tiene una alimentación de 3.3 V y GND, tiene conectado el terminal 2 (D10) y un terminal 3 a dos resistencias una de 10k Ω y otra de 20k Ω (D11) al Arduino Mega respectivamente.
- El NodeMCU ESP8266 tiene una alimentación de 5 V y GND, tiene conectado el terminal RX (D8) y el terminal TX (D7) del Arduino.

- La memoria Micro SD tiene una alimentación de 5 V y GND, el terminal MISO (D7), el terminal MOSI (D6), el terminal SCK (D5), el terminal CS (D2).
- La tarjeta SIM tiene una alimentación de 5 V y GND, el terminal RXD (D5), el terminal TXD (D6) del Arduino Mega respectivamente.
- HMI Nextion tiene una alimentación de 5 V y un GND, el terminal 1(RX2), el terminal 2 (TX2) del Arduino Mega.
- Los los indicadores son de color rojo y azul el cual permite ver si los datos se están guardado en le memoria Micro SD.

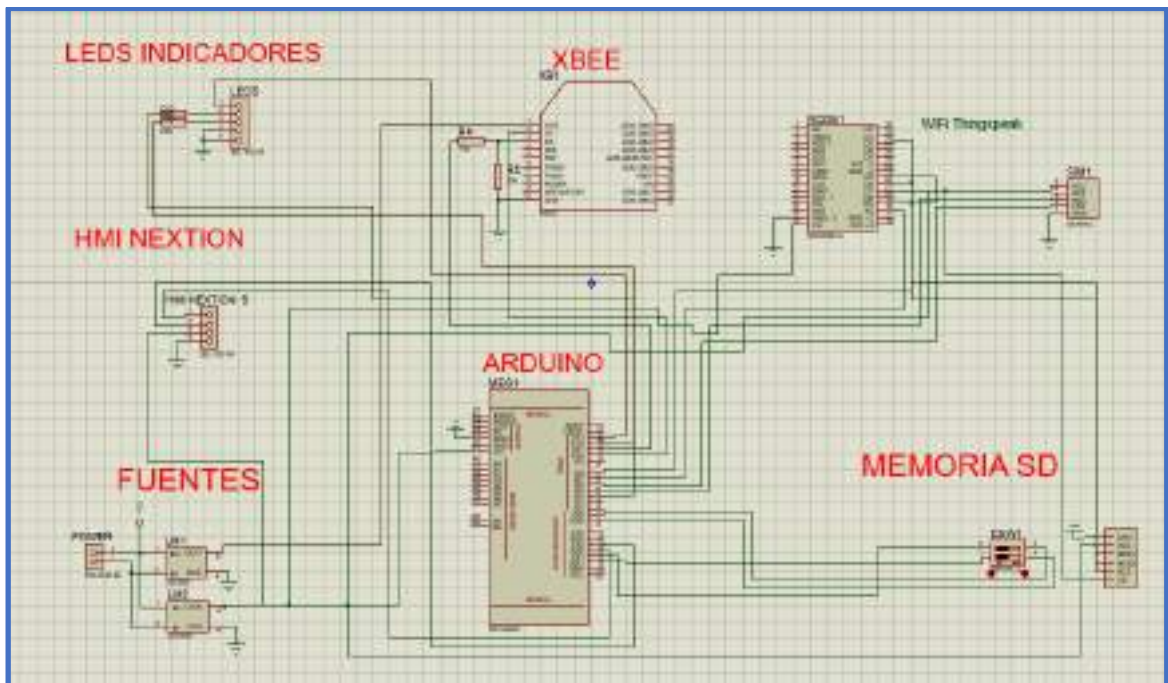


Figura 19-2: Esquema de conexión de nodo coordinador.

Realizado por: PARREÑO, Alexandra, 2021

3.5. Requerimientos del *software* del prototipo MCA.

Se describe los requerimientos de cada nodo debe considerar para el desarrollo del prototipo de monitoreo en cultivos aeropónicos detallan a continuación.

3.5.1. *Requerimientos del software del nodo de adquisición*

- Adquirir las mediciones de los sensores analógicos en tiempo real, convirtiéndolas en mediciones digitales en un rango de 0 a 1023 convertirlas en pH para indicar la acidez o alcalinidad, partícula por millón (ppm) de total de solidos disueltos, EC para la conductividad eléctrica.

- Enviar los datos a través de la comunicación ZigBee, hacia el nodo coordinador.

3.5.2. *Requerimientos del software del nodo coordinador*

- Receptar tramas ZigBee que son enviadas del nodo de adquisición mediante la comunicación inalámbrica ZigBee.
- Visualizar los datos de TDS, temperaturas, pH, conductividad eléctrica, en la pantalla HMI Nextion.
- Acumular la trama de datos en la memoria interna de la tarje de desarrollo para luego ser almacenada en una Micro SD.
- Enviar la información de la lectura de los sensores a la página de *ThingSpeak* con la ayuda del módulo ESP8266.
- Enviar alerta a través de mensajes de texto utilizando la red GSM, estas alertas serán enviadas cuando el nodo de adquisición emita lectura de los sensores y estos estén fuera del rango establecido para el pH, conductividad eléctrica y las temperaturas.
- Proveer información a la salida del módulo Micro SD a través de un documento de texto donde se identifica la fecha, pH, conductividad eléctrica, total de sales disueltas, temperatura ambiente y del agua.

3.6. Descripción de las herramientas *software* utilizadas en el prototipo MCA.

Para el desarrollo del prototipo referente a la programación, se requiere implementar el *software* que controle el *hardware* para que el prototipo funcione correctamente, los cuales se detallan a continuación:

3.6.1. *Arduino IDE*

La herramienta para la programación de los nodos adquisición y coordinador se utilizó la versión Arduino 1.8.13, es un *software* de código abierto Arduino IDE, se ejecuta en varios sistemas operativos con Windows, Linux y Mac OS X, (Arduino, 2020c) está basado en el lenguaje de programación C++, (Machado, 2017) el entorno de Arduino está escrito en Java por lo que se puede utilizar en cualquier placa Arduino. Los archivos que se crean en este entorno se los denomina sketches tiene la extensión. Ino. En la figura 20-3 se muestra parte del código desarrollado en herramienta Arduino 1.8.13.



Figura 20-3: Receptor y NodeMCU.

Realizado por: PARREÑO, Alexandra, 2021

3.6.2. XCTU

Es una aplicación gratuita desarrollada por Digi, diseñada para la configuración de módulos radio frecuencia mediante una interfaz gráfica fácil de usar. Es compatible con Windows, Linux y MacOs, permite configurar dispositivos conectados y testear la comunicación entre los dispositivos Xbee que conforman la red (Paredes, 2017, p. 52). Además, admite la vista de red gráfica para una configuración y arquitectura de red inalámbrica más sencilla y el generador de cuadros API Xbee, que ayuda intuitivamente a construir e interpretar cuadros API para Xbee que usan modo API (Digi, 2020). No requieren de programación, los módulos Xbee son conectados vía USB al computador donde se configuran los campos necesarios para su correcto funcionamiento.

3.6.3. ThingSpeak

Es plataforma abierta de análisis de Internet de las Cosas (IoT) que permite agregar, seleccionar, comparar, almacenar, visualizar y analizar flujos de datos en vivo en la nube (ThingSpeak, 2020). Actúa sobre la información adquirida de los sensores, aplicaciones móviles, redes sociales, también de *hardware* de código abierto como Arduino, Raspberry Pi y BeagleBone (BBVAOpen4U, 2016). Utiliza canales los cuales se crean de acuerdo a la necesidad del usuario, estos canales contienen los campos de datos, ubicación y estado en el canal creado se almacena la información enviada por los sensores donde posteriormente puede ser analizada y visualizada en gráficos, los datos obtenidos se almacenan en un archivo .xlsx que está disponible para descargar a un ordenador o dispositivo móvil (jecrespom, 2018).

3.6.4. *Riverbed Modeler*

Es un *software* de simulación de red, se utilizó para la selección de la topología de red más idónea para el prototipo MCA. Puede realizar el diseño de varias redes utilizando varios protocolos y tecnologías en un entorno sofisticado, compara y analiza el flujo de tráfico, cantidad de paquetes que llegan, la pérdida de un enlace entre otros más. Contiene varios modelos de tipos de red como: LTE, IPv6, UMTS, conmutación de etiquetas multiprotocolo y WiMAX (*SteelCentral Riverbed Modeler*, 2020). En la figura 21-3 se muestra página inicial de *software* Riverbed Modeler.

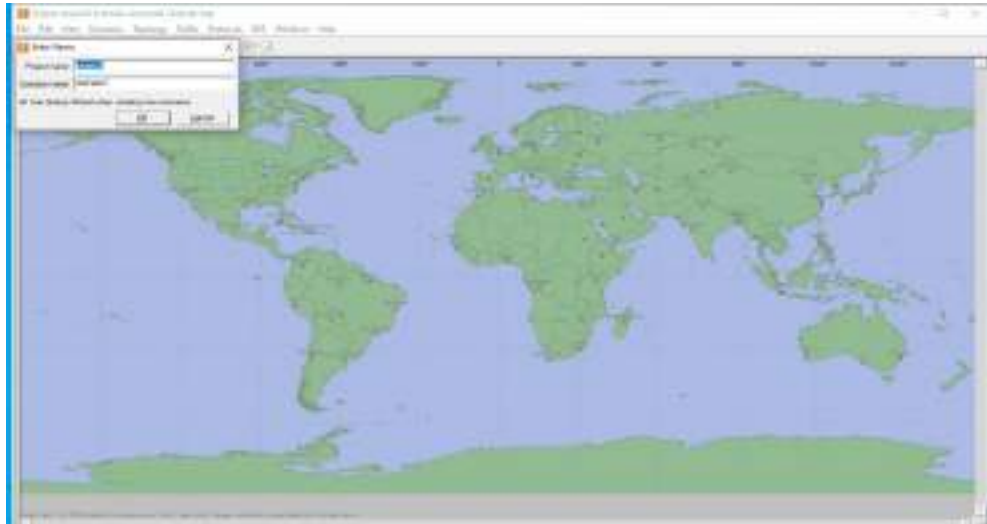


Figura 21-3: Página inicial Riverbed Modeler

Realizado por: PARREÑO, Alexandra, 2021

3.7. Diagramas de flujo del prototipo MCA

A continuación, se detalla los diagramas de flujo del prototipo para los nodos de adquisición, coordinación y visualización para el monitoreo en cultivos aeropónicos.

3.7.1. *Diagrama de flujo del nodo de adquisición para el prototipo MCA*

En la figura 22-3 se muestra el diagrama de flujo del nodo de adquisición, permite la obtención de datos mediante los sensores de pH, TDS, DS18B20 para su envío al nodo coordinador mediante enlace ZigBee.

Se declara las librerías

SoftwareSerial.h permite la comunicación serial con los terminales analógicos y digitales de del Arduino.

LiquidCrystal.h permite a Arduino controlar la pantalla LED.

Xbee.h permite la comunicación inalámbrica entre Arduino y ZigBee modo API.

OneWire.h permite la comunicación con dispositivos 12C/TWI.

Dallas Temperature.h permite obtener los datos de la temperatura mediante el sensor DS18B20.

Bucle repetitivo

Para la lectura de los sensores utiliza las funciones **sensortds()** para los datos de TDS, **sensorph()** para pH, **sensorec()** para la conductividad eléctrica y **termpereturas ()** para las temperaturas del agua y ambiente.

Visualiza los datos mediante la función **lcd.print()**.

La lectura de los sensores se crea un trama de datos que se transmite mediante comunicación ZigBee con la función **xbee.send()**

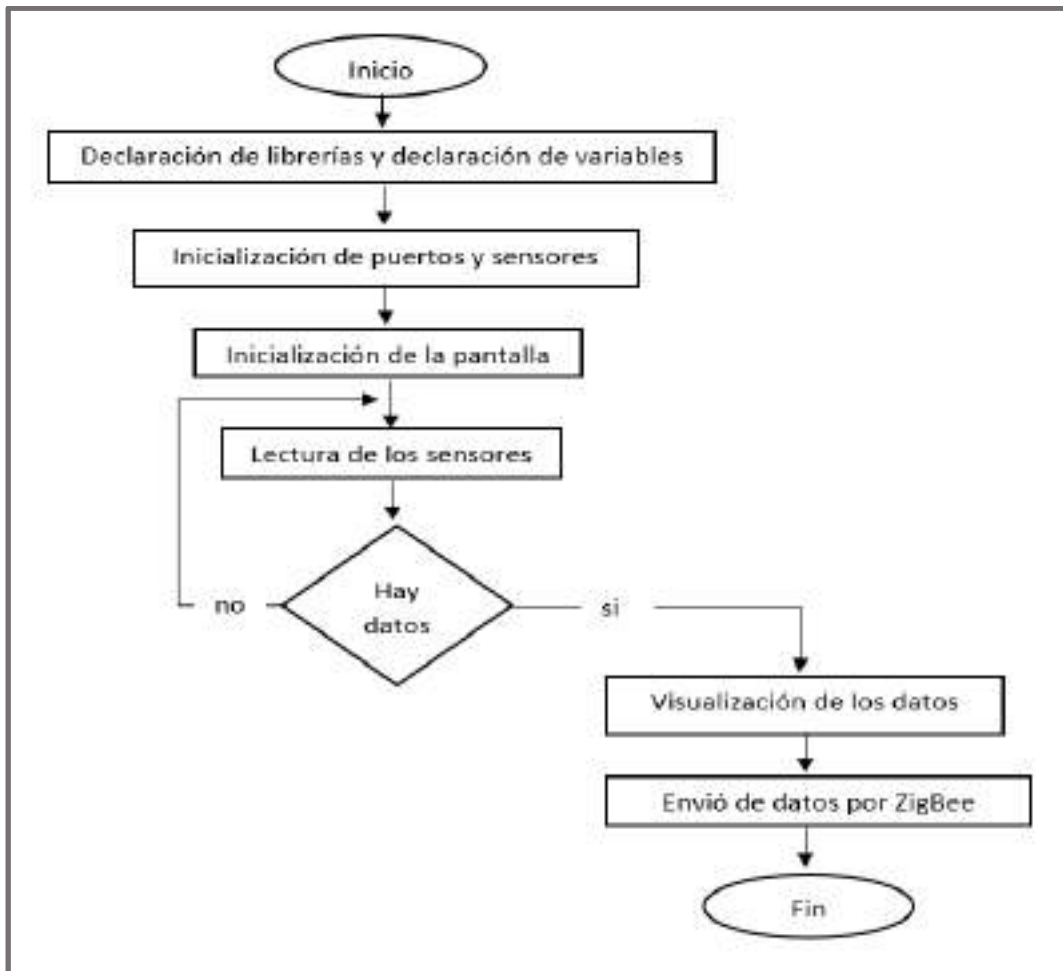


Figura 22-3: Diagrama de flujo del nodo de adquisición

Realizado por: PARREÑO, Alexandra, 2021

3.7.2. Diagrama de flujo del nodo coordinador

En la figura 23-3 se muestra el diagrama de flujo del nodo coordinador.

Declara las librerías

SD.h permite leer y escribir en la tarjeta MicroSD.

Nextion.h permite la comunicación con la pantalla HMI Nextion.

ESP8266WiFi.h permite la comunicación entre NodeMCU y la red Wifi.

SoftwareSerial.h descrita en el nodo anterior.

Bucle repetitivo

Serial.begin() permite habilitar el puerto serial (9600)

SIM800L.begin() permite habilitar el puerto serial

XBEE.begin() permite habilitar el puerto serial para el envío de datos.

Declarar las variables PH [], TDS[], T1[], T2[], EC [] para almacenar los datos recibidos de los puertos seriales.

La función nexInt() inicializa la comunicación con la pantalla HMI Nexion para la visualización de los datos.

Las funciones const char*ssid ingresar el nombre de la red, const char*pass ingresar la contraseña de la red, const char*server se ingresa el servidor de ThingSpeak para poder subir los datos a la plataforma.

Se realizó un mapeo mediante la función map() para el rango ya previamente establecido para las variables pH, conductividad eléctrica, temperatura ambiente, temperatura del agua, TDS.

Se envió un mensaje de texto de alerta cuando los variables están fuera del rango establecido.

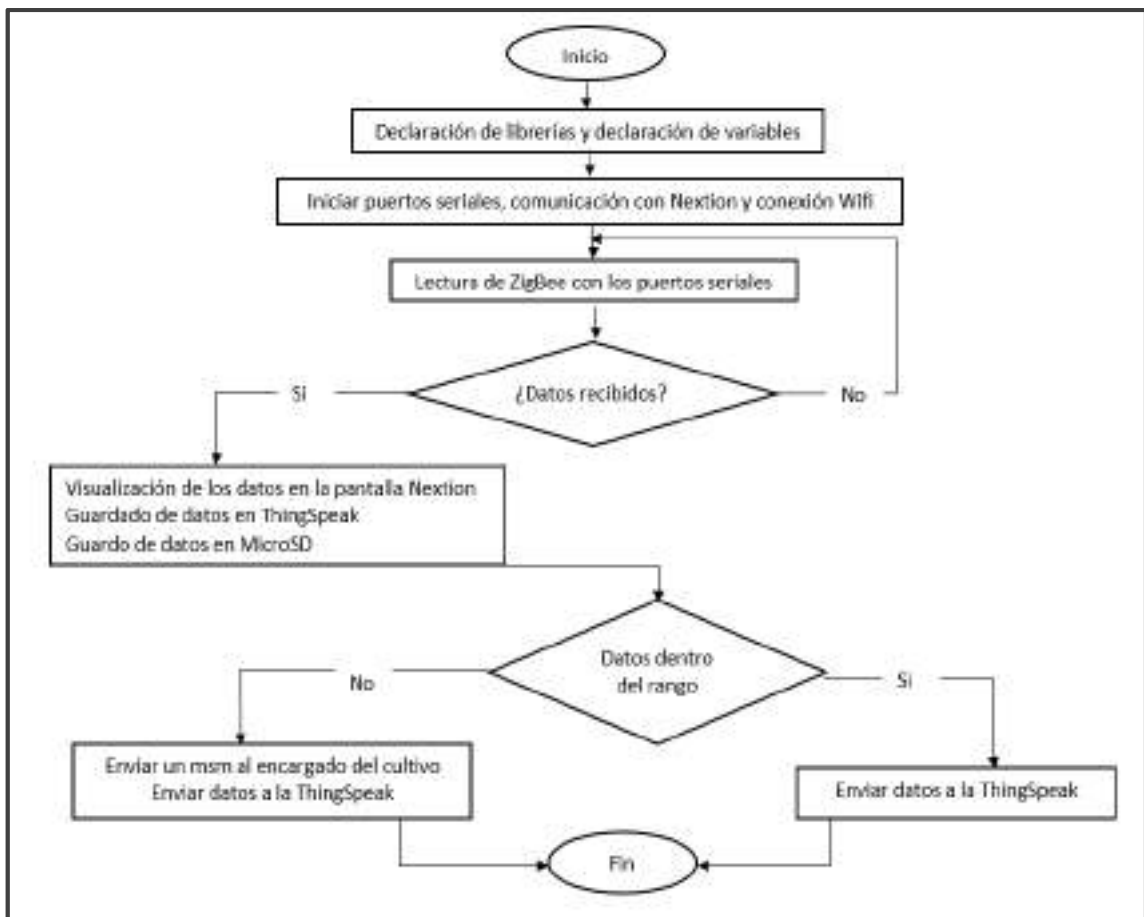


Figura 23-3: Diagrama de flujo de los nodos coordinador

Realizado por: PARREÑO, Alexandra, 2021

3.8. Diseño de la interface de visualización de los datos

Para visualizar los datos se realizó mediante el *Software* Nextion Editor versión 1.61.1 para mostrar los datos obtenidos en tiempo real en la pantalla HMI Nextion del prototipo MCA. En la figura 24-3 se puede apreciar cómo se visualiza los datos, el encargado del cultivo pueden conocer la temperatura del ambiente, temperatura del agua, pH, conductividad eléctrica y TDS en el cultivo aeropónico.



Figura 24-3: Visualización de los datos

Realizado por: PARREÑO, Alexandra, 2021

3.9. Visualización de los datos en la página *ThingSpeak*

Los datos obtenidos de los sensores se muestra en la página *ThingSpeak* que es una herramienta de *software* libre que permite crear canales (ThingSpeak, 2020). Además, genera una ID del canal el cual se le asigna al módulo EPS8266 para tener una comunicación única, esta plataforma recibe tramas de datos enviados mediante el módulo EPS8266, para el monitoreo se crearon cuatro canales: Temperatura del agua, pH, TDS, Temperatura ambiente los cuales se visualiza de forma gráfica en el canal correspondiente como se muestra en la figura 25-3, también se tiene la opción de exportar los datos almacenados en cada canal.

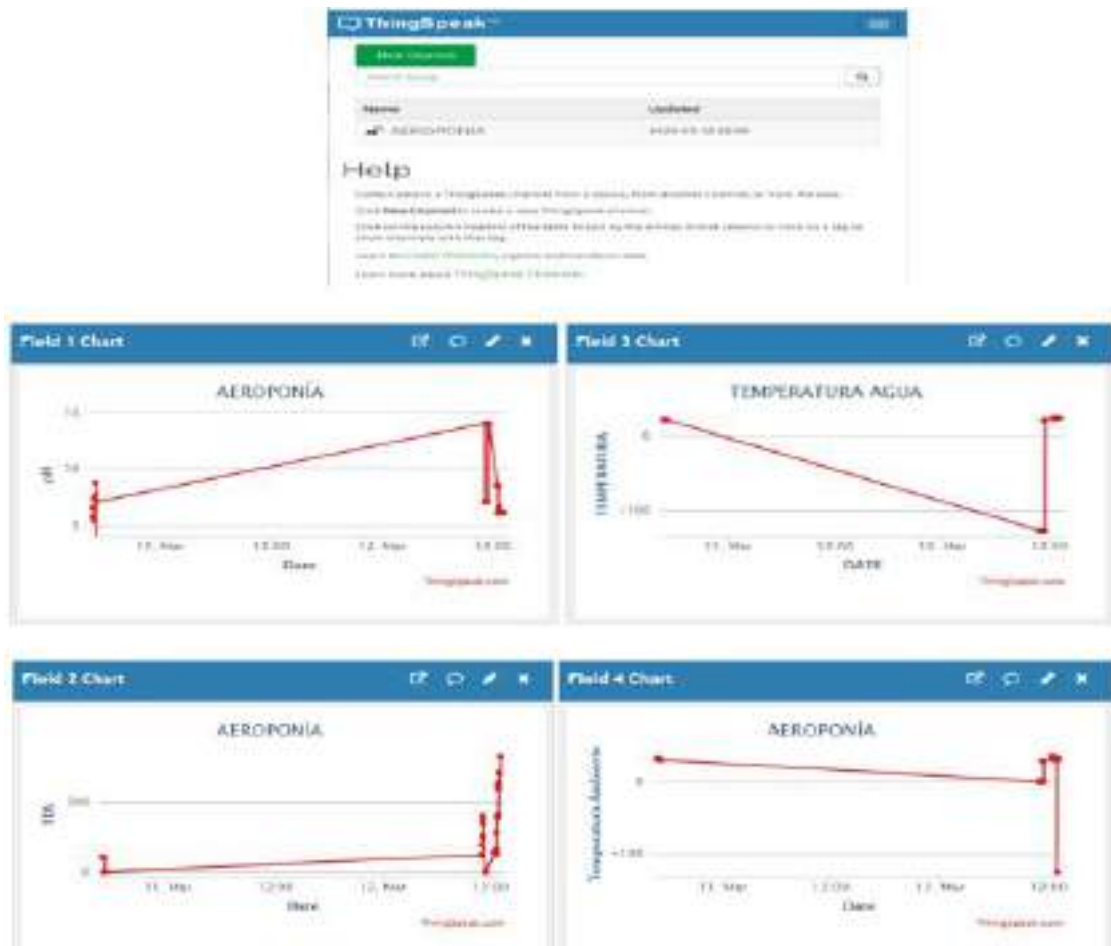


Figura 25-3: Visualización de ThingSpeak y los canales

Realizado por: PARREÑO, Alexandra, 2021

3.10. Localización del prototipo MCA implementado

La implementación del prototipo se realizó en el invernadero del área experimental del departamento de Horticultura, de la facultad de Recursos Naturales de la ESPOCH, ubicado en la parroquia Lizarzaburo, cantón Riobamba, provincia de Chimborazo. En la tabla 13-3 se muestra la ubicación geográfica para la implementación del proyecto. En la figura 26-3 se puede apreciar el lugar donde se ubicó el proyecto para la adquisición de dato.

Las condiciones climáticas dentro del invernadero:

Temperatura: 11-37°C

Humedad relativa: 21-81% (Ocaña, 2018, p. 19).

Tabla 13-2: Ubicación geográfica del prototipo MCA

Ubicación geográfica	
Longitud	78°40'58''O
Altitud	2838 msnm

Realizado por: PARREÑO, Alexandra, 2021



Figura 26-3: Ubicación geográfica invernadero del área experimental del departamento de Horticultura-ESPOCH.

Realizado por: PARREÑO, Alexandra, 2021

3.10.1. Implementación del prototipo

Se instaló en el invernadero del área experimental del departamento de Horticultura, de la facultad de Recursos Naturales de la ESPOCH. En la figura 27-3 puede observar el prototipo implementado, donde el nodo de adquisición es el encargado obtener los datos del cultivo de la acelga. También se visualiza los datos proporcionados por el nodo coordinador.



Figura 27-3: Prototipo Funcionando

Realizado por: PARREÑO, Alexandra, 2021

3.10.2. Desarrollo del cultivo aeropónico de acelga

En la figura 28-3 se observa el desarrollo del cultivo aeropónico de acelga en la etapa inicial, intermedia y final del cultivo.



Figura 28-3: Etapas de desarrolló del cultivo aeropónico de acelga

Realizado por: PARREÑO, Alexandra, 2021

4. GESTIÓN DEL PROYECTO

En el presente capítulo se describe los resultados obtenidos de las pruebas realizadas con los dispositivos que conforman el prototipo MCA. Para encontrar los errores del prototipo se comparó los datos obtenidos mediante los sensores y los datos mediante un pHmetro digital. Por último, se realizó un presupuesto de la implementación del prototipo MCA.

4.1. Selección de la topología de red para el prototipo

Se escogió dos tipos de topologías a simular las cuales son: tipo estrella y tipo malla durante 70 minutos con doce nodos finales, ya que para medir el rendimiento de una red los parámetros a analizar dependieron del diseño y su naturaleza de la topología de red. Se analizó el retardo, carga total y rendimiento para poder determinar que topología de red se adapta mejor para el prototipo. La figura 1-4 se muestra la topología tipo estrella que consta de un nodo coordinador y 15 nodos finales el tiempo que dura la simulación es de 70 minutos.

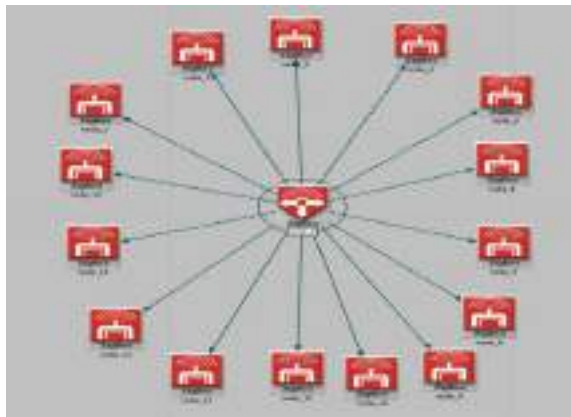


Figura 1-4: Topología tipo estrella

Realizado por: PARREÑO, Alexandra, 2021

En la figura 2-4 se muestra la topología tipo malla la cual consta de un nodo coordinador y 5 nodo *router* y 15 dispositivos finales con un periodo de tiempo de 70 minutos.

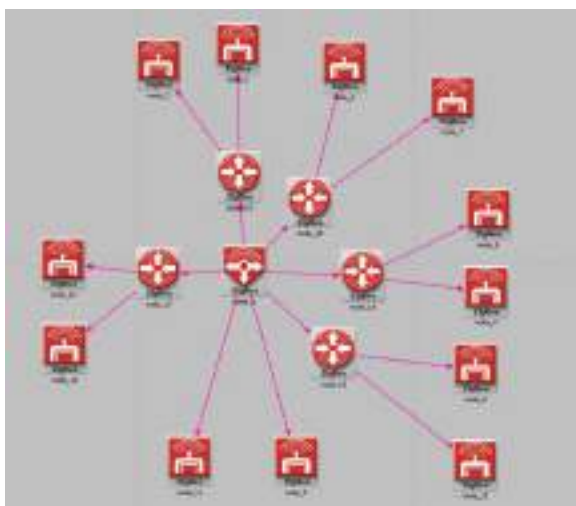


Figura 2-4: Topología tipo malla

Realizado por: PARREÑO, Alexandra, 2021

4.1.1. Comparación de las topologías de red tipo estrella y tipo malla

Los parámetros escogidos para la selección de la topología de red son el retardo, carga total, rendimiento con la ayuda del *software* Riverbed Modeler versión 17.5.

Los retardos: El retardo de la topología de red tipo estrella se encuentra 0.0068seg y el retado tipo malla se encuentra 0.0067seg los cuales se puede apreciar en el gráfico 1-4.



Gráfico 1-4: Retardos de las topologías tipo estrella y tipo malla.

Realizado por: PARREÑO, Alexandra, 2021

De la topología tipo estrella y tipo malla, la carga de la topología tipo malla es aproximadamente 46,000 bits/seg y la carga total de la topología tipo estrella es de 34,000 bits/seg, como se muestra en el gráfico 2-4.



Gráfico 2-4: Carga total de las topologías tipo estrella y tipo malla.

Realizado por: PARREÑO, Alexandra, 2021

En el gráfico 3-4 se muestra el rendimiento de las topologías de red tipo estrella que es 34,000 bits/seg y tipo malla es de 45,000 bits/seg.

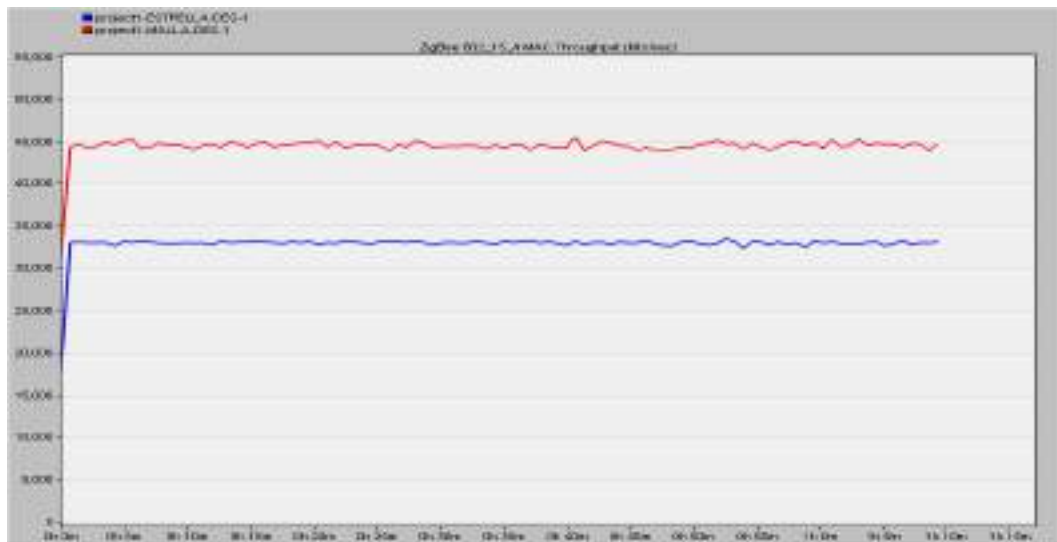


Gráfico 3-4: Rendimiento de las topologías tipo estrella y tipo malla.

Realizado por: PARREÑO, Alexandra, 2021

En la tabla 1-4 se puede apreciar los parámetros de la topología de red tipo malla y tipo estrella de acuerdo a los datos obtenidos de la simulación, se puede decir que la topología de red tipo malla tiene menor retardo, pero mayor carga total y rendimiento que la topología tipo estrella por lo tanto la topología que mejor se adapta para el prototipo es la topología tipo malla.

Tabla 1-4: Parámetros obtenidos de las topologías de tipo malla y tipo estrella

Parámetros	Retardo	Carga total	Rendimiento
Malla	0.0068seg	46.000 bits/seg	45.000 bits/seg
Estrella	0.0067seg	34.000 bits/seg	34.000 bits/seg

Realizado por: PARREÑO, Alexandra, 2021

4.1.2. Total de nodos que puede soportar la red de topología tipo malla

La topología de tipo malla con varios nodos utilizada para simular se lo realizado para cuatro constantes de 15, 30, 45 y 60 nodos finales conectados respectivamente como se muestra en la figura 3-4 con un tiempo de 30 minutos, para poder calcular el número de nodos que soporte la topología tipo malla con tecnología ZigBee. En base a los retos que presenten cada red simulada.

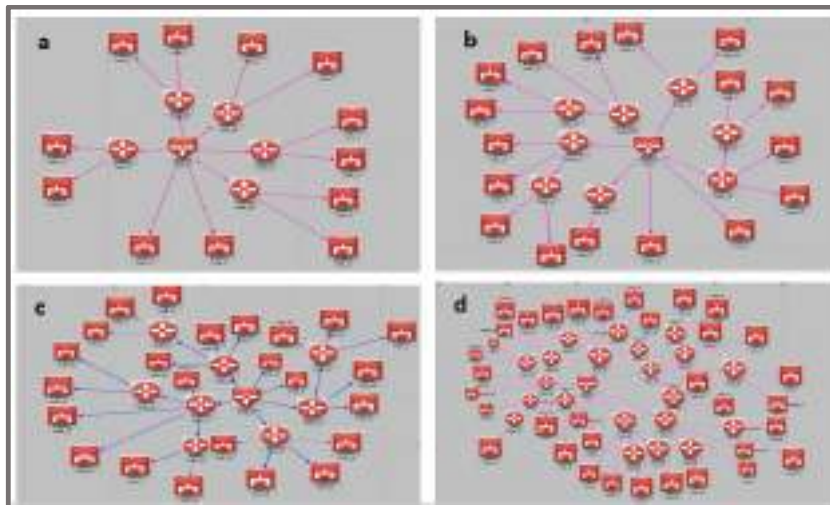


Figura 3-4: Topología tipo malla de a) 15 b) 30 c) 45 d)60

Realizado por: PARREÑO, Alexandra, 2021

En el gráfico 4-4 se muestra el rendimiento de topología tipo malla de 15,30,45 y 60 nodo con un retador de 0.00065, 0.0073,0.0075 y 0.0080 seg respectivamente para poder obtener un promedio de los retardos.



Gráfico 4-4: Rendimiento de la topología tipo malla de 15, 30, 45,60 nodos.

Realizado por: PARREÑO, Alexandra, 2021

En bases a los datos anterior se procedió a calcular el número de nodos que soporta la red, para que trabaje en condiciones aceptables. El tiempo empleado no debe ser mayor a los 15ms en establecer la comunicación. En el gráfico 5-4 se muestra el total de los nodos que soporta la red que es de 90 nodos con un tiempo de 0.01546 seg. Al tener la red 105 nodos el retardo es de 0.01616 seg por lo que se demuestra que la red no funciona óptimamente.

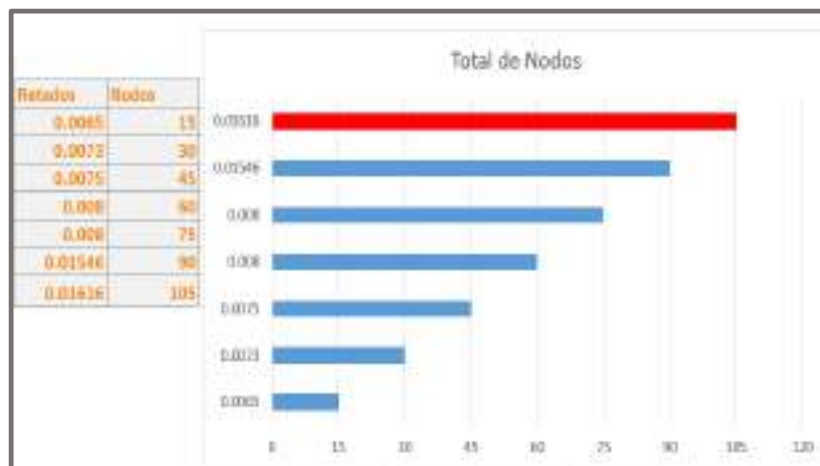


Gráfico 5-4: Total de nodos que soporta la topología tipo malla

Realizado por: PARREÑO, Alexandra, 2021

4.2. Caracterización de comunicación entre los nodos del prototipo

Uno de los pilares esenciales de prototipo MCA es la comunicación inalámbrica, ya que de esta depende la adquisición de datos sean íntegros, en la figura 4-4 se observa las configuraciones que se realizaron en los módulos Xbee S2C, en la tabla 2-4 se observa los parámetros de configuración de los módulos mediante el *software* XCTU versión 6.5.1. Para comprobar su correcto funcionamiento se realizó las siguientes pruebas:

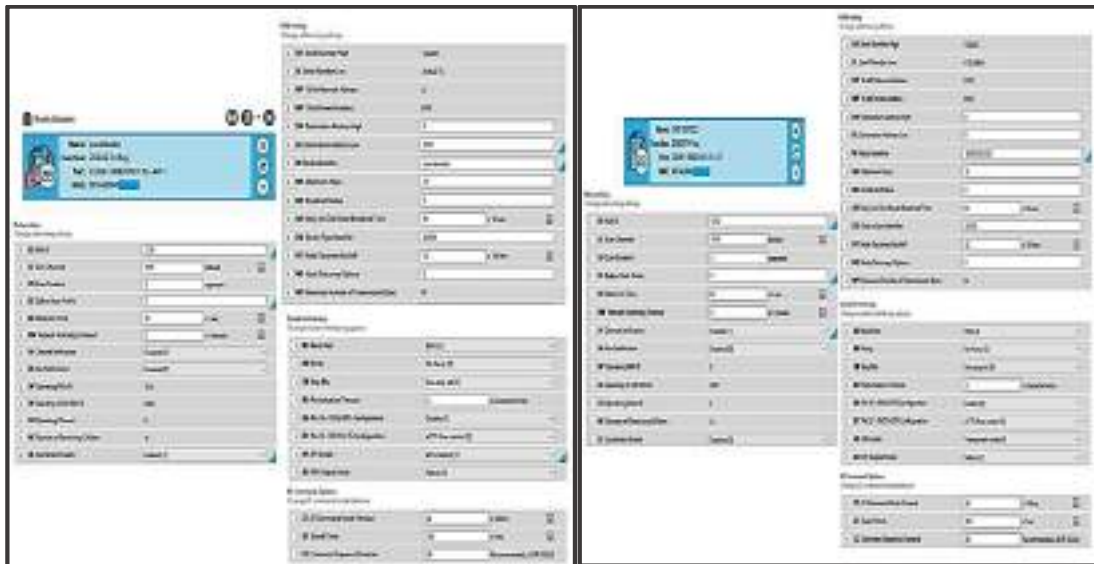


Figura 4-4: Configuración de los módulos Xbee
Realizado por: PARREÑO, Alexandra, 2021

Tabla 2-4: Parámetros de configuración de los módulos Xbee

Parámetros	Nodo adquisición	Nodo coordinador y visualización
ID	1234	1234
CE	Enable [1]	Disable[0]
SH	13A200	13A200
SL	4106AF74	4106AF72
DH	0000	0000
DL	FFFF	0000
JV	Disable[0]	Enable[1]

Realizado por: PARREÑO, Alexandra, 2021

4.2.1. Pruebas de envío de tramas

Con esta prueba se demuestra la integridad de los datos, en la figura 5-3 se muestran las 10 tramas enviadas del nodo de adquisición al nodo coordinador durante 5 minutos donde no hubo pérdidas de paquetes.

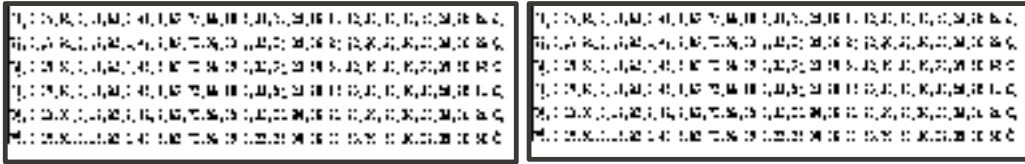


Figura 5-3: Tramas enviadas del nodo adquisición al coordinador

Realizado por: PARREÑO, Alexandra, 2021

4.2.2. Pruebas de alcance de la comunicación

De las pruebas realizadas sobre el alcance de la comunicación que tiene el prototipo electrónico MCA, tanto con línea de vista y sin línea de vista, se obtuvieron los siguientes datos como se muestra en la tabla 3-4.

Tabla 3-4: Distancia de funcionamiento del prototipo MCA

Sin obstáculos (línea de vista directo)		Con obstáculos (sin línea de vista)	
Distancia(m)	Valoración	Distancia(m)	Valoración
0-150	Excelente	0-10	Excelente
150-300	Alto	10-20	Alto
300-420	Medio	20-30	Alto
420-550	Bajo	30-40	Medio
>550	Sin señal	40-50	Bajo
		>50	Sin señal

Realizado por: PARREÑO, Alexandra, 2021

4.3. Caracterización del nodo de adquisición de datos

Para la comprobación del correcto funcionamiento de nodo de adquisición de datos se realizó pruebas de lectura de los sensores hacia el nodo coordinador y la visualización de los datos como se puede apreciar en la figura 6-4.



Figura 6-4: Nodo de adquisición parte interna del nodo parte externa

Realizado por: PARREÑO, Alexandra, 2021

4.3.1. Validación de las mediciones realizadas por el nodo de adquisición

El propósito de la validación de mediciones es que el prototipo no incorpore error al sensor, para la validación de los datos obtenidos se lo realizó mediante una pHmetro digital portátil de la marca Oakton que dispone el departamento de horticultura de la ESPOCH, con el se midió el pH, conductividad eléctrica, temperatura del agua, TDS y para la medición de la temperatura ambiente mediante un termómetro de mercurio. Se realizaron otras mediciones del pH y temperatura de agua con un equipo de la marca Hanna, para una mejor comprobación. En la figura 7-4 se observa la toma de los datos mediante los equipos antes mencionados.

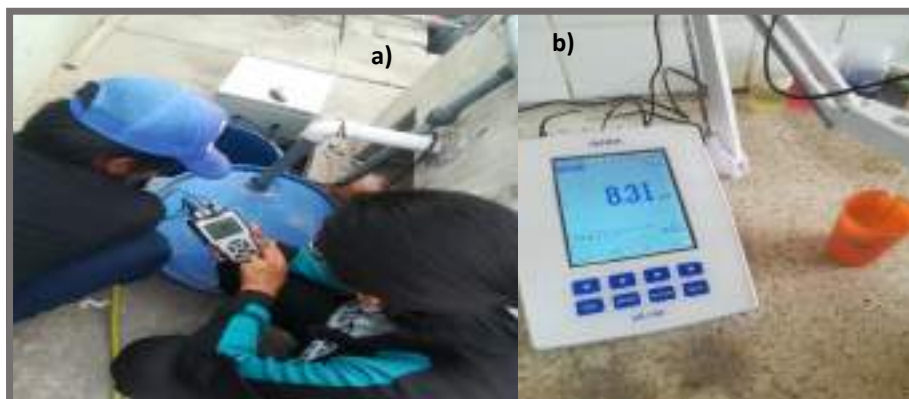


Figura 7-4: Tomada de datos con a) pHmetro portátil, b) pH. ISE

Realizado por: PARREÑO, Alexandra, 2021

En la tabla 4-4 se puede observar los datos obtenidos del pH, TDS mediante el prototipo MCA y el pHmetro donde se concluye que el error absoluto de pH es de ± 0.1 y el error absoluto TDS es de ± 2 , por lo cual se puede decir que no se incorporó errores.

Tabla 4-4: Error absoluto del pH, conductividad eléctrica

N° Muestras	pH (pH)		Erro absoluto	TDS (ppm)		Error absoluto
	Nodo de adquisición	pHmetro		Nodo de adquisición	pHmetro	
1	6.00	6.00	0	700	702.00	-2
2	5.59	5.69	-0.10	800	800	0
3	7.65	7.65	0	900	900	0
4	8.30	8.30	0	500	502	-2
5	6.32	6.43	-0.10	642	644	-2
6	6.01	6.01	0	789	787	2
7	5.33	5.33	0	1200	1200	0
8	3.45	3.34	0.11	852	850	2
9	6.44	6.35	-0.11	1000	1002	-2
10	4.85	4.75	0.10	950	950	0
11	6.85	6.91	-0.06	995	997	-2
12	6.88	6.93	-0.05	1500	1502	-2
13	7.35	7.35	0	200	202	-2
14	5.4	5.4	0	398	396	2
15	4	4	0	998	1000	-2

Realizado por: PARREÑO, Alexandra, 2021

El error absoluto de la conductividad eléctrica se visualiza en tabla 5-4, se observa que el error absoluto no sobrepasa +/-1 mS/cm por lo cual se determina que el prototipo implementado no incorpora errores al sensor.

Tabla 5-4: Error absoluto de la conductividad eléctrica

N° muestras	Conductividad eléctrica (mS/cm)		Erro absoluto
	Nodo de adquisición	pHmetro	
1	1.88	2.88	-1
2	1.88	2.88	-1
3	1.44	1.89	-0.46
4	0.34	0.34	0
5	1	2	-1
6	1	1	0
7	2	1	1
8	1	1	0
9	0.5	0.5	0
10	1.5	0.5	1
11	1	0.78	0.22
12	1	0.46	0.54
13	1	1.15	-0.15
14	0.5	0.5	0
15	0.98	0.98	0

Realizado por: PARREÑO, Alexandra, 2021

En la tabla 6-4 se puede observar el error absoluto de las temperaturas del agua es de +/-1 y el error de la temperatura ambiente es de +/-1, por lo que se puede decir que no se incorporó errores.

Tabla 6-4: Error absoluto de las temperaturas

N° Muestras	Temperaturas (°C)					
	Agua del nodo adquisición	pHmetro	Erro absoluto	Ambiente del nodo de adquisición	Termómetro	Error absoluto
1	25.3	24.3	1	32	32	0
2	24	23	1	35	36	-1
3	22	21	1	31	31	0
4	22	22	0	31.81	31.8	0.01
5	24.3	23.3	1	30	31	-0.1
6	25	26	-1	29	30	-1
7	22	21	1	33	32	1
8	24.3	24.33	-0.03	29	30	-1
9	20	21	-1	30	30	0
10	21.5	20.5	1	28.5	28.5	0
11	22	21	1	32.5	31.5	1
12	24.3	24.3	0	29	30	-1
13	25	25.2	-0.2	34.31	34.31	0
14	20.3	20.2	0.1	35	34	1
15	23.34	23.34	0	28.5	28.5	0

Realizado por: PARREÑO, Alexandra, 2021

4.3.2. Repetitividad del nodo de adquisición.

El propósito es determinar la estabilidad del prototipo, ya que es la capacidad que tiene un dispositivo para censar con una precisión dada. Esta prueba se realizó con la toma de 15 muestras de pH, conductividad eléctrica, TDS, temperatura del agua y la temperatura ambiente durante un intervalo de tiempo de 15 minutos los datos obtenidos fueron almacenados en la memoria Micro SD y con la ayuda de la hoja electrónica de cálculo Excel se obtuvo los valores de la media, desviación estándar y el coeficiente de variancia como se puede observar en la tabla 7-4.

De los datos de los sensores se obtuvo una variancia del 0% para el pH, conductividad eléctrica y TDS se obtuvo un valor del 1% y las temperaturas del agua y ambiente se obtuvo un valor de 3%, por lo cual se puede decir que el prototipo MCA es estable porque no presenta una variabilidad mayor al 7% reportado por (Dane, 2008, p. 5).

Tabla 7-4: Calculo de media, desviación estándar y coeficiente de variancia

Nº Muestras	Hora	pH	TDS	Conductividad eléctrica	Temperatura agua	Temperatura ambiente
1	13:00	6.5	500	1.8	24	30
2	13:15	6.5	500	1.8	24	30
3	13:30	6.49	501	1.81	24	30
4	13:45	6.5	501	1.81	24	32
5	14:00	6.5	505	1.82	24	32
6	14:15	6.5	505	1.82	23	32
7	14:30	6.5	505	1.87	23	32
8	14:45	6.5	505	1.87	23.5	32
9	15:00	6.49	505	1.87	23.7	32
10	15:15	6.49	505	1.87	23.2	32.5
11	15:30	6.49	505	1.87	22.5	32.3
12	15:45	6.5	504	1.86	22.3	32.5
13	16:00	6.5	504	1.86	22.4	32
14	16:15	6.49	504	1.86	22.44	32
15	16:30	6.53	510	7.95	22.44	32.5
Media		6.50	503.93	7.86	23.23	31.72
Desviación estándar		0.01	2.58	0.04	0.69	0.91
Coeficiente de variación		0%	1%	1%	3%	3%

Realizado por: PARREÑO, Alexandra, 2021

4.4. Caracterización del nodo coordinador

En la figura 8-4 se muestra la implementación del nodo coordinador el cual se encarga de recibir los datos del nodo de adquisición, para poder organizarlos y de esa forma visualizarlos en una pantalla LCD y en la página *ThingSpeak*.

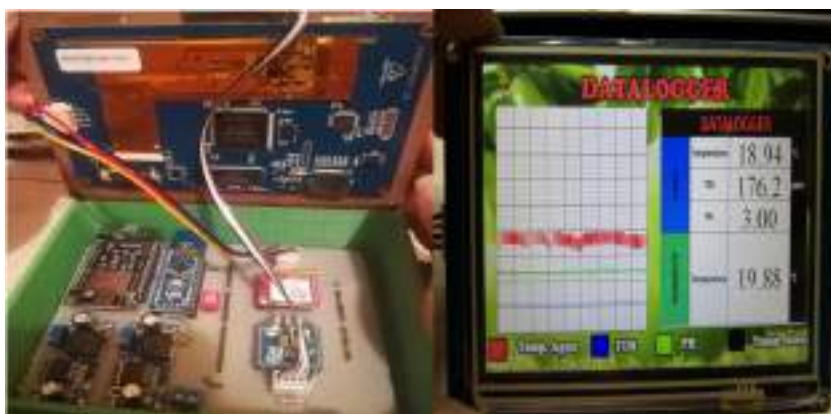


Figura 8-4: Implementación del nodo coordinador

Realizado por: PARREÑO, Alexandra, 2021

4.4.1. Pruebas de almacenamiento en la micro SD

El objetivo de estas pruebas es verificar la información que los sensores leen es almacenado en la memoria micro SD y también en la página *ThingSpeak*. En la figura 9-4 se puede observar los datos almacenados en la memoria micro SD en un block de notas y los mismos datos adquiridos vistos en la en Excel.

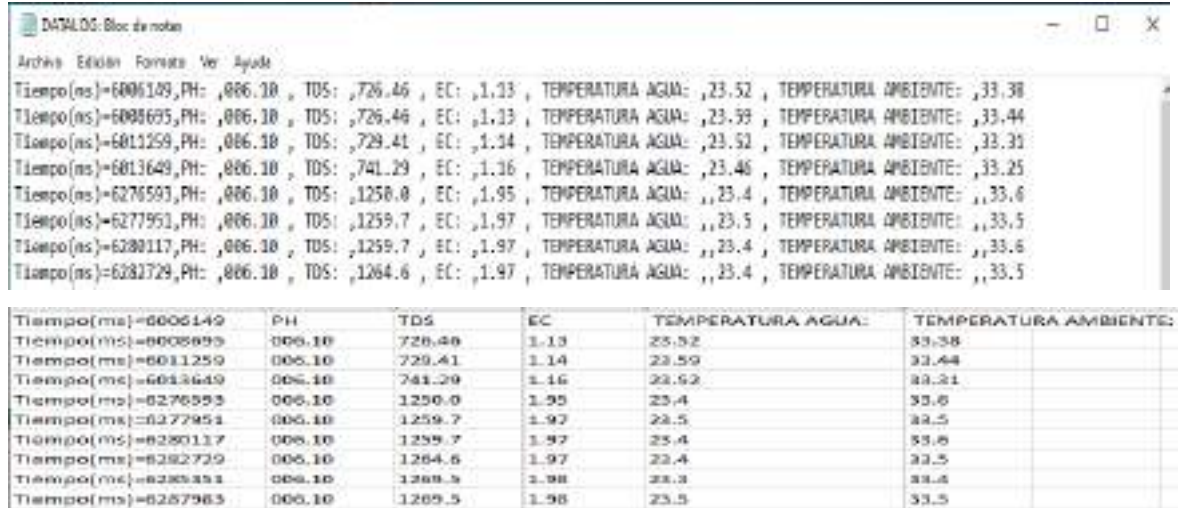


Figura 9-4: Datos de la memoria Micro SD y en la hoja Excel
Realizado por: PARREÑO, Alexandra, 2021

En la figura 10-4 se puede observar en la parte izquierda el reporte gráfico del pH y en la parte derecha los datos descargados en Excel. Se lo realizó mediante comunicación inalámbrica por el NodeMCU ESP8266 Wi-Fi que es el encargado de enviar los datos recibidos del nodo de adquisición al servido en la nube *ThingSpeak*.

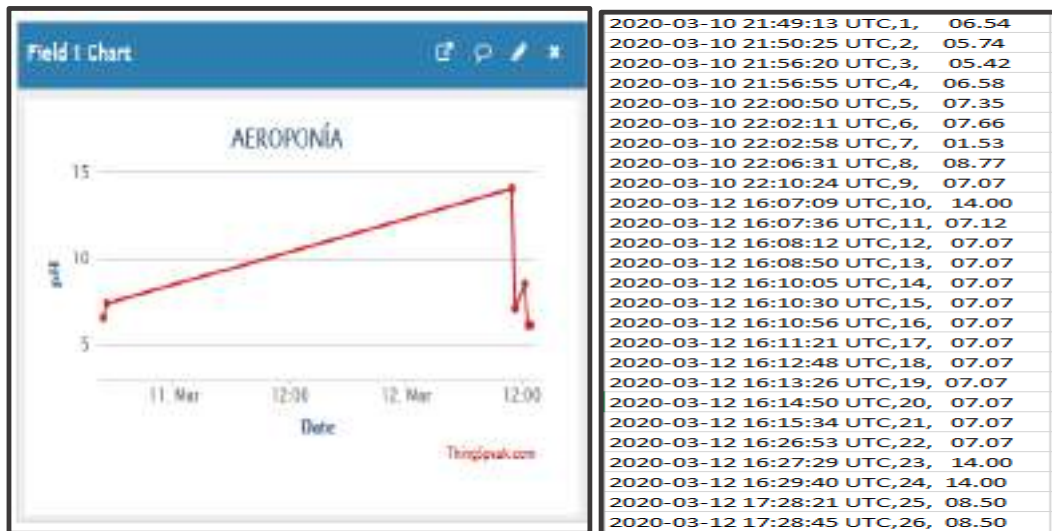


Figura 10-4: Reporte gráfico del pH en la página ThingSpeak y descarga de datos en Excel

Realizado por: PARREÑO, Alexandra, 2021

4.4.2. Pruebas de envío de alerta mediante mensaje SMS

El propósito de esta prueba consiste en emitir un mensaje de alerta a un número establecido a través de un SMS de texto, los datos del pH en un rango de 4-7, conductividad eléctrica en un rango de 0.5-1, TDS en un rango de 1000-2000pmm, temperatura del agua en un rango de 18-22°C y temperatura de ambiente de 25-33°C. En la figura 11-4 se muestra el MSM de texto.



Figura 11-4: Envió de alertas

Realizado por: PARREÑO, Alexandra, 2021

4.5. Pruebas de alimentación del prototipo MCA

El nodo de adquisición tiene un funcionamiento de 24 horas al día sin interrupción para medir las variables de los cultivos aeropónicos, en la tabla 8-4 se detalla el consumo de los dispositivos del prototipo MCA. Tiene una duración de 33 horas continuas sin la presencia de luz solar.

Tabla 8-4: Duración de la batería

Dispositivos	Corriente de operación (mA)
Arduino Mega	100mA
Sensor de pH	5mA
Sensor TDS	3mA
Sensor DS18b20	3mA
Xbee	151mA
Consumo del sistema	212mA
Capacidad de la batería	10000mA/h
Duración de horas	(Capacidad de la batería / consumo del dispositivo) *0,7 (10000mA/h/212mA) *0,7=33.02horas

Realizado por: PARREÑO, Alexandra, 2021

4.6. Presupuesto de la implementación del prototipo MCA

En la tabla 9-4 se muestra el presupuesto de los materiales electrónicos utilizados para la implementación del prototipo MCA.

Tabla 9-4: Presupuesto del prototipo MCA

Nodos	Dispositivo	Cantidad	Costo unitario USD	Costo total USD
Adquisición	Arduino Mega 2560R3	1	9	9
	Fuente Step Down LM2596	2	3,5	7
	Xbee S2C	1	45	45
	Diodos Led	2	0,1	0,2
	Sensor TDS	1	65	65
	Sensor pH	1	50	50
	Sensor DS18b20	2	5	10
	Panel solar 60W	1	70	70
	Batería 12V 7A	1	28	28
	Driver PWM 20A	1	25	25
	Cable concéntrico	5m	1,5	7,5
	Gabinete 30x30	1	40	40
	LCD 20x4	1	18	18
	Total del nodo adquisición			
Coordinador	Arduino Mega 2560R3	1	9	9
	Fuente Step Down LM2596	2	3,5	7
	HMI Nextion 5"	1	100	100
	Nodo MCU	1	15	15
	Xbee S2C	1	45	45
	Lector Micro SD	1	6	6
	Memoria SD	1	7	7
	Diodos Led	2	0,1	0,2
	Módulo Sim800	1	15	15
	Fuente 12v 2A	1	6	6
	Gabinete de resguardo	1	15	15
	Total del nodo coordinador			
Costo total del prototipo MCA				599,90

Realizado por: PARREÑO, Alexandra, 2020

Se obtiene un costo total de 599,90 dólares el nodo de adquisición se obtuvo un valor de 374,70 dólares lo cual equivale a una 62,46% de la inversión total siendo el nodo más costoso. El nodo coordinador tiene un valor de 225,20 dólares representando el 37,54%.

5. CONCLUSIONES

Se implementó un prototipo inalámbrico MCA con nodos inteligentes para el monitoreo de cultivo aeropónico de acelga, conformada por un nodo de adquisición y un nodo coordinador comunicados mediante tecnología inalámbrica ZigBee, Wi-fi y GSM y la información procesada se muestra en la página web *ThingSpeak* donde se emiten alertas al encargado del cultivo.

Se determinó que la topología tipo malla es la más idónea para ser empleada en el prototipo MCA debido a su mayor carga total de 46,000 bits/seg, mayor rendimiento de 45,000 bits/seg y bajo retador de 0.0068seg también se determinó que puede integrar 90 nodos con este tipo de topología.

Al validar el prototipo mediante la comparación de lectura de datos, el sensor de pH posee un error absoluto de ± 0.1 , la conductividad eléctrica un error absoluto de ± 1 , la temperatura del agua un error absoluto de $\pm 2^{\circ}\text{C}$ y la temperatura ambiente un error absoluto de $\pm 2^{\circ}\text{C}$. El diseño no incorpora error a los sensores y de esta forma el prototipo MCA entrega mediciones confiables respecto a equipos comerciales.

Se determinó mediante resultados los coeficientes de variación del pH, conductividad eléctrica, TDS, temperatura ambiente y agua están en un rango de 0 a 3% lo cual no supera el 7%, por lo que se demuestra que el prototipo implementado es estable.

De las pruebas de comunicación de radiofrecuencia del prototipo MCA se determinó que la distancia alcanzada entre nodos es de 50 metros sin línea de vista directa y de 550 metros con línea de vista con una fuente de alimentación de 5 V.

6. RECOMENDACIONES

Se recomienda a futuro la implementación de un sistema de paneles solares para la alimentación del nodo coordinador del prototipo MCA para una mejor autonomía.

La incorporación de un módulo que permita reportar al encargado del cultivo el nivel del agua y cantidad de nutrientes que necesita este tipo de cultivo aeropónico.

Estudiar la posibilidad de adaptar sensores que midan los niveles de luminosidad, CO₂ del agua y del ambiente, el oxígeno del agua y del ambiente, para tener un mayor control en el desarrollo y crecimiento en el cultivo aeropónico.

Se recomienda el diseño de una página Web específica que permita registrar y supervisar los parámetros en este tipo de cultivo.

Para disponer de más canales de visualización de información en la página *ThingSpeak* se recomienda pagar la membresía debido a que solo ofrece cuatro canales de forma gratuita.

GLOSARIO

Access Point: Son dispositivos para establecer una conexión inalámbrica entre equipos y pueden formar una red inalámbrica externa (local o internet) con la que interconectar dispositivos móviles o tarjetas de red inalámbricas.

Acidez: Exceso de iones de hidrógeno en una solución acuosa.

Acuapónico: Es el cultivo de animales acuáticos y plantas de manera conjunta y simbiótica.

Ad-hoc: Es la elimina el punto central y se comunican entre sí directamente.

Alcalinidad: Una medida de su capacidad para neutralizar ácidos.

Autónomos: Es independiente y trabaja por cuenta propia sin necesidad de ayuda secundaria para realizar su trabajo.

Calibración: Es el proceso de comparar los valores obtenidos por un instrumento de medición con la medida correspondiente de un patrón de referencia.

Celdas solares: Son dispositivos capaces de convertir la radiación solar en energía eléctrica cuando la luz del sol incide sobre ellos.

Chip: Circuito electrónico de material semiconductor, especialmente silicio, en forma de cubo minúsculo, que, combinado con otros componentes, forma un sistema integrado más complejo y realiza una función electrónica específica.

Domótica: Son sistemas capaces de automatizar una vivienda o edificación de cualquier tipo, aportando servicios de gestión energética, seguridad, bienestar y comunicación, y que pueden estar integrados por medio de redes interiores y exteriores de comunicación.

Hidropónicos: Se dice del método de cultivo industrial de plantas que en lugar de tierra utiliza únicamente soluciones acuosas con nutrientes químicos disueltos, y sustratos estériles (arena, grava, vidrio molido...), como soporte de la raíz de las plantas.

Pulverizando: Echar gotas muy pequeñas de un líquido, reducir una cosa a polvo o a partículas muy finas.

Router: Es un dispositivo que permite interconectar computadoras que funcionan en el marco de una red.

Topología: Es el mapa físico o lógico de una red para intercambiar datos.

Ultrasónico: Es una onda acústica o sonora cuya frecuencia está por encima del umbral de audición del oído humano.

BIBLIOGRAFÍA

AGROISLAS. *¿Qué es la Aeroponía?* [blog], 2017, [Consultado: 20 mayo 2020]. Disponible en: <https://agroislas.com>

AMAZON. *Generic Ph Electrode Ph Electrode Probe Bnc Connector for Aquarium Ph Controller Meter Sensor Gib Best Promotion: Amazon.in: Industrial & Scientific* [en línea], 2020, [Consultado: 20 mayo 2020]. Disponible en: <https://www.amazon.in/Generic-Ph-Electrode-Connector-Controller/dp/B01M6ZKTTG>

ANDRADE LÓPEZ, P. C. *Perfeccionando el pH de su Solución de Nutrientes Hidropónicos* [en línea], 2020, [Consultado: 13 mayo 2020]. Disponible en: <https://cultivohidroponico.info>

ANDRADE RAMÍREZ, José Luis. *Cuadro comparativo de las topologías de red.* [blog], 2015, [Consultado: 19 mayo 2020]. Disponible en: <http://redesmacp436.blogspot.com/2015/06/cuadro-comparativo-de-las-topologias-de.html>

ARDUINO. *Arduino Mega 2560 Rev3 | Arduino Oficial Store* [en línea], 2020a, [Consultado: 25 mayo 2020]. Disponible en: <https://store.arduino.cc/usa/mega-2560-r3>

ARDUINO. *Arduino Nano | Arduino Oficial Store* [en línea], 2020b, [Consultado: 25 mayo 2020]. Disponible en: <https://store.arduino.cc/usa/arduino-nano>

ARDUINO. *Arduino—Software* [en línea], 2020c, [Consultado: 27 mayo 2020]. Disponible en: <https://www.arduino.cc/en/main/software>

ARROYO LUCERO, Tarqui Lenynno. *Implementación de un sistema automatizado para cultivo aeropónico de hortalizas en el barrio 19 de Enero, Ibarra* [En línea] (Trabajo de titulación) (Pregrado) UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE, Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicada, Carrera de Ingeniería en Mantenimiento Eléctrico, Ibarra-Ecuador .2020. [Consultado: 2020-07-14]. Disponible en: <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/10169>

ASADOBAY SINALUISA, María Isabel & PACA AUCANCELA, Adriana Estefanía. *Propuesta de un prototipo de nodos inteligentes integrables a una red inalámbrica para supervisión en línea de contaminantes del aire* [En línea] (Trabajo de titulación) (Pregrado) ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO, Facultad de Informática y Electrónica, Escuela de Ingeniería en Electrónica, Telecomunicaciones y Redes, Riobamba-Ecuador. 2019. [Consultado: 2020-06-14]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/10963>

ATLAS SCIENTIFIC. *Gravity™ Analog pH Sensor / Meter.* Atlas Scientific [en línea], 2020, [Consultado: 15 mayo 2020]. Disponible en: <https://atlas-scientific.com/embedded-solutions/gravity-analog-ph-sensor-meter/>

AV ELECTRONICS. *Pantalla Nextion 5". AV Electronics.* [en línea], 2020, [Consultado: 17 mayo 2020]. Disponible en: <https://avelectronics.cc/producto/pantalla-nextion-5/>

BBVAOpen4U. *APIs para el Internet de las Cosas: ThingSpeak, Pachube y Fitbit.* BBVAOpen4U [en línea], 2020, [Consultado: 21 mayo 2020]. Disponible en: <https://bbvaopen4u.com/es/actualidad/apis-para-el-internet-de-las-cosas-thingspeak-pachube-y-fitbit>

BRICOGEEK. *Sensor analógico de pH DFRobot | BricoGeek.com.* [en línea], 2020, [Consultado: 10 mayo 2020]. Disponible en: <https://tienda.bricogeek.com/home/581-sensor-analogico-de-ph.html>

CAFAGO. *Online Einkaufen für Cool Gadegets, RC Drohnen—Cafago.com.* [en línea], 2020, [Consultado: 13 mayo 2020]. Disponible en: https://www.cafago.com/?utm_source=admitad&admitad_uid=dee05078ae0fe24afbf75fc49ce452a7&tagtag_uid=dee05078ae0fe24afbf75fc49ce452a7

CHÁVEZ VILLACRÉS, Iván Héctor. *Evaluación de tres soluciones nutritivas en la producción de acelga (Beta vulgaris L.) Var Fordhook Giant, en hidroponía a raíz flotante en invernadero* [En línea] (Trabajo de titulación) (Pregrado) ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO, Facultad de Recursos Naturales, Escuela Agronomía, Riobamba-Ecuador.2019. [Consultado: 2020-06-4]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/10733>

COMERCIALIZADORA HYDRO ENVIRONMET S.A. DE C.V. *Guía: La importancia de monitorear y regular el pH :. : Hydro Environment .: Hidroponia en Mexico.* [en línea], (s. f.), [Consultado: 9 mayo 2020]. Disponible en: https://www.hydroenv.com.mx/catalogo/index.php?main_page=page&id=34

CULTIVO HIDROPÓNICO.INFO. *Aeroponía—El Arte de Cultivar en el Aire Características Principales! Cultivo Hidropónico.* [en línea], (s. f.), [Consultado: 9 mayo 2020]. Disponible en: <https://cultivohidroponico.info/sistemas/aeroponia/>

CCM. *Estándar GSM (Sistema global de comunicaciones móviles)* [en línea], (s. f.), [Consultado: 9 mayo 2020]. Disponible en: <https://es.ccm.net/contents/681-estandar-gsm-sistema-global-de-comunicaciones-moviles>

DANE. *Estimación e interpretación del coeficiente de variación de la encuesta censal censo general 2005—cgral* [en línea], 2008, [Consultado: 9 mayo 2020]. Disponible en: https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/boletines/censo/est_interp_coefvariacion.pdf

DEL VALLE HERNÁNDEZ, L. *ESP8266 todo lo que necesitas saber del módulo WiFi para Arduino* [en línea], 2016, [Consultado: 19 junio 2020]. Disponible en: <https://programarfacil.com/podcast/esp8266-wifi-coste-arduino/>

DEL VALLE HERNÁNDEZ, L. *DS18B20 sensor de temperatura para líquidos con Arduino* [en línea], 2017, [Consultado: 19 junio 2020]. Disponible en: <https://programarfacil.com/blog/arduino-blog/ds18b20-sensor-temperatura-arduino/>

DEL VALLE, L. *DS18B20 sensor de temperatura para líquidos con Arduino* [en línea], 2018, [Consultado: 19 junio 2020]. Disponible en: <https://programarfacil.com/blog/arduino-blog/ds18b20-sensor-temperatura-arduino/>

EBAY. *60W Solar PV Panel para autocaravana, caravana, barco, Off-Grid, sistema de iluminación solar* [en línea], (2020), [Consultado: 9 mayo 2020]. Disponible en: <https://www.ebay.es/itm/60W-solar-pv-panel-for-motorhome-caravan-boat-off-grid-solar-lighting-system-/112493845866>

EI TELÉGRAFO. "Moderno invernadero permitirá a agricultores aumentar calidad y producción de la papa". *El Telégrafo - Noticias del Ecuador y del mundo*. [en línea], 2015, (Quito-Ecuador), [Consultado: 10 abril 2020]. Disponible en: <https://www.eltelegrafo.com.ec/noticias/economia/4/moderno-invernadero-permitira-a-agricultores-aumentar-calidad-y-produccion-de-la-papa>

FERNÁNDEZ MARTÍNEZ, Roberto; et al. *Redes Inalámbricas de sensores: Teoría y aplicación práctica*. Madrid-España: Universidad de La Rioja, 2009, pp.18-25.

FUENTES GUERRA, Marco Polo. *Diseño de un dispositivo ultrasónico para el uso de aeroponía* [En línea] (Tesis) (Pregrado). INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL, Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Electrónica, Ingeniería en Comunicaciones y Electrónica. México D.F.2013. [Consultado: 2020-05-05]. Disponible en: <http://tesis.ipn.mx:8080/xmlui/handle/123456789/11511>

GARRIDO, Loureiro Ruben. *Estudio plataformas IoT* [en línea], 2015, [Consultado: 9 junio 2020]. Disponible en: [http://openaccess.uoc.edu/webapps/o2/bitstream/10609/42812/6/rloureiroTFC0615 memoria.pdf](http://openaccess.uoc.edu/webapps/o2/bitstream/10609/42812/6/rloureiroTFC0615%20memoria.pdf)

GIRALDO, Yeferson Bedoya, GIRALDO SALAZAR, Cristian Felipe, & LOZANO MUÑOZ, Jhon Fredy. *Implementación, control y monitoreo de un sistema de seguridad vehicular por redes gsm/gprs* [En línea] (Tesis) (Pregrado). UNIVERSIDAD TÉCNICA DE PEREIRA, Facultad de Tecnología, Ingeniería en Mecatrónica. Pereira-Colombia.2013. [Consultado: 2020-05-10]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/11059/4350>.

GLOBALSOURCES. *Regulador solar de la carga de TTN 2015 PWM 10A* [en línea], 2015, [Consultado: 9 junio 2020]. Disponible en: <https://spanish.globalsources.com/gsol/I/Solar-charge/p/sm/1132782201.htm>

GRACIA, Luis. *¿Qué es Waspmote?* [blog]. [Consultado: 1 marzo 2020]. Disponible en: <https://unpocodejava.com/2012/08/21/que-es-waspmote/>

GROHO ESPAÑA. *Sistemas de control de temperatura | Hidroponía España I Cultivos Hidropónicos—Tienda Oficial*. [en línea], 2020, [Consultado: 15 junio 2020]. Disponible en: <https://www.groho.es/post/sistemas-de-control-de-temperatura>

GSMA Board. *About Us* [en línea], 2018, [Consultado: 19 junio 2020]. Disponible en: <https://www.gsma.com/aboutus/leadership/gsma-board>

GUIMERAN, Paola. *¿Qué es un sensor? Tipos y diferencias – PrototipadoLAB*. [en línea].2018, [Consulta: 10 mayo 2020]. Disponible en: <http://paolaguimerans.com/openeart/2018/05/05/que-son-los-sensores/>

HIDROPNIACASERA.NET. *PH en Hidroponía y calidad del agua. Hidroponía Casera* [en línea], (2014), [Consultado: 5 mayo 2020]. Disponible en: <https://www.hidroponiacasera.net/calidad-del-agua-y-ph-en-hidroponia-guia-basica/>

HIDROPNIACASERA.NET. *TDS, EC y PPM ¿Cual es la diferencia? Hidroponía Casera* [en línea], (2014), [Consultado: 5 mayo 2020]. Disponible en: <https://www.hidroponiacasera.net/tds-ec-ppm/>

HYDROENV.COM. *Guía: ¿Qué es la electroconductividad?:: Hydro Environment :: Hidroponia en México* [blog]. [Consulta: 15 mayo 2020]. Disponible en: https://hydroenv.com.mx/catalogo/index.php?main_page=page&id=35&chapter=2

IJORQUERA. *XBee ZB S2C TH. XBee.cl - Comunicación Inalámbrica para Tus Proyectos* [en línea], (2017), [Consultado: 5 mayo 2020]. Disponible en: <https://xbee.cl/xbee-zb-s2c-th/>

INFAIMON. *Infaimon* [blog]. [Consulta: 11 mayo 2020]. Disponible en: <https://blog.infaimon.com/la-tecnologia-en-la-evolucion-de-la-agricultura-4-0/>

INFOAGRONOMO. *Guía para instalar un Sistema de Cultivo Aeropónico* [blog]. [Consulta: 1 mayo 2020]. Disponible en: <https://infoagronomo.net/guia-para-instalar-un-sistema-de-cultivo-aeroponico/>

ITEAD. *Nextion NX8048T050 5" HMI TFT Lcd Display* [en línea], 2020, [Consultado: 9 mayo 2020]. Disponible en: <https://www.itead.cc/nextion-nx8048t050.html>

JECRESPOM. *Thingspeak. Aprendiendo Arduino* [en línea], 2018, [Consultado: 18 junio 2020]. Disponible en: <https://aprendiendoarduino.wordpress.com/2018/11/23/thingspeak/>

JIMÉNEZ, J. *Invernadero Automatizado para producción de semilla de papa bajo tres sistemas: Aeroponía, Hidroponía y Plantas madres - esquejes* [en línea], 2015, (Quito-Ecuador), pp.5-20. [Consultado: 2 abril 2020]. Disponible en: <http://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/4516>

JIPSION, A. "Raspberry PI". *El Tecnológico* [en línea], 2017, 27(1), pp. 15-20. [Consultado: 18 junio 2020]. ISSN 1819-9623. Disponible en: <https://revistas.utp.ac.pa/index.php/el-tecnologico/article/view/1288>

KAA. *Enterprise IoT Platform with Free Plan | Kaa*. Kaa IoT [en línea], 2020, [Consultado: 19 mayo 2020]. Disponible en: <https://www.kaaproject.org>

LIBELIUM. *Waspnote* [en línea], 2020, [Consultado: 29 junio 2020]. Disponible en: <https://www.libelium.com/iot-products/waspnote/>

LLAMAS, L. *NodeMCU, la popular placa de desarrollo con ESP8266* [en línea], 2018, [Consultado: 29 junio 2020]. Disponible en: <https://www.luisllamas.es/esp8266-nodemcu/>

LÓPEZ LÓPEZ, Magaly Nataly, & QUIÑONEZ SINISTERRA, José Antonio. *Diseño e implementación de un prototipo de una red inalámbrica con nodos inteligentes como ayuda para el manejo y selección de cultivos en cielo abierto* [En línea] (Trabajo de titulación) (Pregrado) ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO, Facultad de Informática y Electrónica, Escuela de Ingeniería en Electrónica, Telecomunicaciones y Redes, Riobamba-Ecuador.2018. [Consultado: 2020-05-14]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/9152>.

MACHADO GUSQUI, Pamela Sheila. *Implementación de un prototipo de red inalámbrica para la identificación, supervisión y localización en tiempo real de personas con padecimiento de Alzheimer* [En línea] (Trabajo de titulación) (Pregrado) ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO, Facultad de Informática y Electrónica, Escuela de Ingeniería en Electrónica, Telecomunicaciones y Redes, Riobamba-Ecuador.2017. [Consultado: 2020-08-24]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/7953>

MANOTAS CAMPOS, Jessica Julieth, & MARTÍNEZ MARÍN, Nicolás. *Exploración de las plataformas IoT en el mercado para fomentar el conocimiento, buen uso y efectividad de los dispositivos IoT creados en la facultad de ingeniería y ciencias básicas de la institución universitaria politécnico grancolombiano* [En línea] (Trabajo de titulación) (Pregrado) INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA POLITÉCNICA GRANCOLOMBIANO, Facultad de Ingeniería y Ciencias Básicas, Departamento de Ingeniería de Sistemas y Telecomunicaciones, Bogotá-Colombia. 2018. pp. 53-62 [Consultado: 2020-05-14]. Disponible en: <http://alejandria.poligran.edu.co:80/handle/10823/1215>

MARTÍN Germán. *Programarfacil* [blog]. 2017. [Consulta: 1 junio 2020]. Disponible en: <https://programarfacil.com/esp8266/proyectos-con-esp8266-iot/>

MAYCOCK, A. L., ABELES, R. H., SALACH, J. I., & SINGER, T. P. (2014). "*The structure of the covalent adduct formed by the interaction of 3-dimethylamino-1-propyne and the flavine of mitochondrial amine oxidase*". *Biochemistry* [en línea], 2014, (United State of America) *15*(1), pp.114-125. Disponible en <https://doi.org/10.1021/bi00646a018>

MICRO ROBOTICS. *Analog TDS Sensor—Micro Robotics* [en línea], 2020, [Consultado: 25 junio 2020]. Disponible en: <https://www.robotics.org.za/SEN0244>

MINIEASY. Panel Solar 60w. *Minieasy* [en línea], 2020, [Consultado: 11 julio 2020]. Disponible en: <https://minieasy.co/productos/energia-solar/paneles-solares/panel-solar-60w/>

MOYÓN RIVERA, Cristian William, & ORDÓÑEZ BERRONES, Dayana Karina. *Construcción de un prototipo de red de nodos inteligentes para supervisar la calidad y niveles del agua potable en los tanques de reserva de EP-EMAPAR* [En línea] (Trabajo de titulación) (Pregrado) ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO, Facultad de Informática y Electrónica, Escuela de Ingeniería en Electrónica, Telecomunicaciones y Redes, Riobamba-Ecuador. 2019. [Consultado: 2020-05-24]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/13488>

NAYLAMP MECHATRONICS-PERÚ. *Módulo GSM SIM800L* [en línea], 2020a, [Consultado: 2 julio 2020]. Disponible en: <https://naylampmechatronics.com/inalambrico/115-modulo-gsm-sim800l-2g.html>

NAYLAMP MECHATRONICS-PERÚ. *Módulo SD Card* [en línea], 2020b, [Consultado: 28 junio 2020]. Disponible en: <https://naylampmechatronics.com/modulos/35-modulo-sd-card.html>

NAYLAMP MECHATRONICS SAC. *Sensor de Temperatura analógico LM35.* [en línea], 2020, [Consultado: 29 junio 2020]. Disponible en: <https://naylampmechatronics.com/sensores-temperatura-y-humedad/234-sensor-de-temperatura-analogico-lm35.html>

OCAÑA MANZANO, Juan Carlos. *Evaluación de tres dosis de potasio en la producción de lechuga (Lactuca sativa L.) var. Crispa bajo el sistema hidropónico en invernadero* [En línea] (Trabajo de titulación) (Pregrado) ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO, Facultad de Recursos Naturales, Escuela Agronomía, Riobamba- Ecuador. 2018. [Consultado: 2020-06-4]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/8176>

ORTEGA, Ramiro. *Agricultura de Precisión* [blog].2015. [Consulta: 11 mayo 2020]. Disponible en: [http://www.ipni.net/publication/ialacs.nsf/0/42C40288498C96B78525799C0058ED51/\\$FILE/AgricPrecisionOrtega.pdf](http://www.ipni.net/publication/ialacs.nsf/0/42C40288498C96B78525799C0058ED51/$FILE/AgricPrecisionOrtega.pdf)

OTAZÚ, Víctor. *Manual de producción de semilla de papa de calidad usando aeroponía* [en línea], 2010, [Consultado: 21 mayo 2020]. Disponible en: <http://cipotato.org/wp-content/uploads/2014/08/005566.pdf>

PAREDES VINUEZA, Nataly Marjorie. *Implementación de un prototipo de WSN con nodos inteligentes para el sistema de riego aplicado a la agricultura de precisión para el CER – ESPOCH* [En línea] (Trabajo de titulación) (Pregrado) ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO, Facultad de Informática y Electrónica, Escuela de Ingeniería en Electrónica, Telecomunicaciones y Redes, Riobamba-Ecuador. 2017. [Consultado: 2020-06-4]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/7956>.

PATAGONIATEC ELECTRONICA. *Lm2596 Fuente Switching Step Down Dc Dc* [en línea],2020, [Consultado: 2 mayo 2020]. Disponible en: <https://tienda.patagoniatec.com/productos/lm2596fuente-switching-step-down-dc-dc/>

PEÑALOZA GARCIA, Yadyn María, & CAMPOS ARGUDA, Karina Pamela. *Diseño e implementación de un sistema prototipo digitalizador de señales sísmicas, empujando tecnología ZigBee para la Red Sísmica del Austro* [En línea] (Trabajo de titulación) (Pregrado) UNIVERSIDAD DE CUENCA, Facultad de Ingeniería, Ingeniería en Electrónica y Telecomunicaciones, Cuenca- Ecuador. 2018. [Consultado: 2020-07-15]. Disponible en: <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/30329>

PIZARRO, Jorge. *¿Que es la Aeroponía? Agriculturers.com | Red de Especialistas en Agricultura* [en línea], 2015, [Consultado: 9 mayo 2020]. Disponible en: <https://agriculturers.com/que-es-la-aeroponia/>

PROMETEC. *Fuentes de alimentación Step Down | Tienda y Tutoriales Arduino* [en línea],2020, [Consultado: 2 junio 2020]. Disponible en: <https://www.prometec.net/fuentes-step-down/>

RICHARTE, Javier. *Servicio Técnico 20: Redes Wi-Fi: Curso visual y práctico: PCS • NOTEBOOKS• REDES • MOBILE • Y MÁS.* Argentina: RedUsers, 2018, p.15

ROBOTSHOP. *Sensor/Medidor Analógico de TDS para Arduino de Gravity* [en línea],2020, [Consultado: 12 mayo 2020]. Disponible en: <https://www.robotshop.com/us/es/sensor-medidor-analogico-tds-para-arduino-gravity.html>

RODAS VÁSQUEZ, Urpi. *Diseño de una red inalámbrica de sensores para el monitoreo de un almacén de una empresa de Lima-Perú* [En línea] (Trabajo de titulación) (Pregrado). PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ, Facultad de Ciencias e Ingeniería, Ingeniería Electrónica. Lima-Perú. 2014. [Consultado: 2020-07-18]. Disponible en: <http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/5425>

SALVETTI, D. *Redes Wireless.* Buenos Aires- Argentina: Fox Andina; Dalaga,2011 pp.85-150.

SEED TECHNOLOGY CO., LTD. *Grove—TDS Sensor/Meter For Water Quality (Total Dissolved Solids)* [en línea], 20220, [Consultado: 20 junio 2020]. Disponible en: <https://www.seeedstudio.com/Grove-TDS-Sensor-p-4400.html>

SERNA RUÍZ, Antonio, ROS GARCÍA, Francisco Antonio, & RICO NOGUERA, Juan Carlos. *Guía práctica de sensores.* España: Copyright, 2010.ISBN 978-84-92779-49-9, pp. 44-50

SOLIS GONZALEZ, Francisco Javier. *Evaluación del rendimiento en el cultivo de lechuga lactuca sativa en sistemas hidropónicos y aeropónicos automatizados* [En línea] (Trabajo de titulación) (Pregrado). UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MACHALA, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Ingeniería Agronómica, Machala-Ecuador.2017. [Consultado: 2020-05-18]. Disponible en: <http://repositorio.utmachala.edu.ec/handle/48000/10532>

RIVERBED. *SteelCentral Riverbed Modeler*. [en línea], 2020, [Consultado: 25 junio 2020]. Disponible en: <https://www.riverbed.com/mx/products/steelcentral/steelcentral-riverbed-modeler.html>

THINGSPEAK. *IoT Analytics—ThingSpeak Internet of Things* [en línea], 2020, [Consultado: 20 julio 2020]. Disponible: <https://thingspeak.com/>


VELASCO HOYOS, Freddy Edimer, BECERRA CANDELO, John Edwin, & CHAVARRIA, Hector J. "Automation of pesticide-free cilantro aeroponic crops" [en línea], 2019, (Medellín- Colombia) [Consultado: 20 mayo 2020]. Disponible en: <https://core.ac.uk/display/232918071>

VERA ROMERO, C. A., BARBOSA JAIMES, J., & PABÓN GONZÁLEZ, D. C. "La Tecnología ZigBee estudio de las características de la capa física". *Scientia et technica* [en línea], 2017, (Pereira-Colombia) 22(3), pp. 238-245. [Consultado:20 julio 2020]. ISSN 2344-7214. Disponible en: <https://doi.org/10.22517/23447214.9831>

ANEXOS

Anexo A: Hoja de especificaciones técnicas de Arduino Mega 2560

Arduino MEGA 2560



PRODUCT OVERVIEW

The Arduino Mega 2560 is a microcontroller board based on the ATmega2560 (datasheet). It has 54 digital input/output pins (of which 14 can be used as PWM outputs), 16 analog inputs, 4 UARTs (serial ports), a 16 MHz crystal oscillator, a USB connector, a power jack, an ICSP header, and a reset button. It contains everything needed to support the microcontroller: a USB connection to a computer with a USB cable or power it with a 5V-DC power supply or battery to get started. The Mega is compatible with most shields designed for the Arduino Development or Arduino.

Technical Specifications

How to Use Arduino
Proprietary Protocols, Basic Tutorial

Terms & Conditions




Environmental Policies
Self audit of green use (RoHS/REACH)

Page 2

Page 6

Page 7

Page 7


Technical Specification




URL: <http://arduino.cc/en/Reference/Mega>

Summary

Microcontroller	ATmega2560
Operating Voltage	5V
Input Voltage (recommended)	7-12V
Input Voltage (limits)	0-20V
Digital I/O Pins	54 (of which 14 provide PWM output)
Analog Input Pins	16
DC Current per I/O Pin	40 mA
DC Current for 3.3V Pin	50 mA
Flash Memory	256 KB of which 64 KB used by bootloader
SRAM	8 KB
EEPROM	4 KB
Clock Speed	16 MHz

The board



Power

The Arduino Mega2560 can be powered via the USB connector or with an external power supply. The power source is selected automatically. External (not-USB) power can come either from an AC-to-DC adapter (wall-wart) or battery. The adapter can be considered as plugging a 2.1mm center-positive plug into the external power jack. Leads from a battery can be inserted in the GND and VCC pins headers of the ICSP/DIP connector.

The board can operate on an external supply of 0.5-20V, or supplied via USB. However, the VCC pin may supply less than 500mA and the board may be unstable. It may draw more than 100mA. The voltage regulator may overheat and damage the board. The recommended range is 7-12V DC.

The ATmega2560 differs from all preceding boards in that it does not use an ATmega2560-USB-Driver board chip. Instead, it includes the ATmega2560 programmed as a USB-to-U2F converter.

The power pins are as follows:

- VCC: The input voltage to the Arduino board when it's using an external power source. It is connected to a 5V pin from the USB connector in other regulated power sources. You can supply voltage through this pin, or, if supplying voltage via the power jack, attach through this pin.
- 5V: The regulated 5V supply used to power the microcontroller and other components on the board. The cap comes either from VCC, or an onboard regulator, or is supplied by USB or another regulated through.
- GND: A 0.1-µF electrolytic capacitor is connected to this pin. Maximum output current is 500mA.
- GND: Ground pin.

Communication

The Arduino Mega2560 has a number of facilities for communicating with a computer, another Arduino, or other microcontrollers. The ATmega2560 provides four hardware UARTs for TTL (5V) serial communication. An ATmega48G on the board channels one of these over USB and provides a virtual com port to software on the computer. Windows machines will need a .inf file, but OSX and Linux machines will recognize the board as a COM port automatically. The Arduino software includes a serial monitor which allows simple textual data to be sent to and from the board. The RX and TX LEDs on the board will flash when data is being transmitted via the ATmega48G chip and USB connection to the computer (but not for serial communication on pins 0 and 1).

A [SoftwareSerial library](#) allows for serial communication on any of the Mega's digital pins.

The ATmega2560 also supports I2C (TWI) and SPI communication. The Arduino software includes a Wire library to simplify use of the I2C bus; see the [documentation on the Wiring website](#) for details. To use the SPI communication, please see the ATmega2560 datasheet.

Memory

The ATmega2560 has 256-KB of flash memory for storing code (of which 16-KB is used for the bootloader), 8-KB of SRAM and 4-KB of EEPROM (programmable read-only memory) with the [EEPROM library](#).

Input and Output

Each of the 54 digital pins on the Mega can be configured as an input or output, using [pinMode\(\)](#), [digitalWrite\(\)](#), and [digitalRead\(\)](#) functions. They operate at 5V, 500K Ohm pull-up resistor (internal or external), a maximum of 40 mA sink for an individual pin (recommended by default), or 200mA current in aggregate. Some pins have specialized functions:

- Digital I/O pins 0 to 13, 24 to 29, and 51 to 54: These pins support 8-bit shift registers, which, although programmed by the underlying hardware, are not currently supported in the Arduino language. The SPI pins are also broken out on the ICSP header, which is physically compatible with the Duemilanove and Arduino.
- LED: 13. There is a status LED connected to digital pin 13. When the pin is HIGH state, the LED is on; when the pin is LOW, it's off.
- TX: 23 (RX) and 24 (TX) support 1200bps communication using the [SoftwareSerial](#) (communication on the Wiring shield). Note that these pins are not on the same custom as the I/O pins on the Duemilanove.

The Mega2560 has 16 analog inputs, each of which provides 10-bit resolution (i.e., 1024 different values), by default they measure from ground to 5 volts, though it is possible to change the upper end of the range using the [ADC pin and analogReference\(\)](#) function.

There are a couple of other pins on the board:

- AREF: Reference voltage for the analog inputs. Used with [analogReference\(\)](#).
- RESET: Bring this pin LOW to reset the microcontroller. Typically used to add a reset button to breadboards. Good for use on the board.






Programming

The Arduino Mega2560 can be programmed with the Arduino software ([download](#)). For details, see the [reference and tutorials](#).

The ATmega2560 on the Arduino Mega comes preprogrammed with a [bootloader](#) that allows you to upload new code to it without the use of an external hardware programmer. It communicates using the original 16550 baud-rate ([reference 1 header file](#)).

You can also bypass the bootloader and program the microcontroller through the ICSP (In-Circuit Serial Programming) header; see [these instructions](#) for details.








Anexo B: Hoja de especificaciones técnicas del sensor pH



Need to measure water quality and other parameters but haven't got any low cost pH meter? Find it difficult to use with Arduino? Here comes an analog pH meter, specially designed for Arduino controllers and has built-in simple, convenient and practical connection and features. It has an LED which works as the Power Indicator, a BNC connector and PH2.0 sensor interface. To use it, just connect the pH sensor with BNC connector, and plug the PH2.0 interface into the analog input port of any Arduino controllers. If pre-programmed, you will get the pH value easily. Comes in compact plastic box with foams for better mobile storage. Attention: in order to ensure the accuracy of the pH probe, you need to use the standard solution to calibrate it regularly. Generally, the period is about half a year. If you measure the dirty aqueous solution, you need to increase the frequency of calibration.

Applications

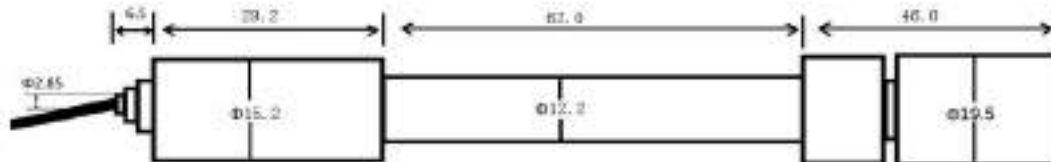
- Water quality testing
- Aquaculture

Specification

- Module Power : 5.00V
- Module Size : 43mm×32mm
- Measuring Range:0-14PH
- Measuring Temperature :0-60 °C
- Accuracy : ± 0.1pH (25 °C)
- Response Time : ≤ 1min
- pH Sensor with BNC Connector
- PH2.0 interface (3 foot patch)
- Gain Adjustment Potentiometer
- Power Indicator LED
- Cable Length from sensor to BNC connector:60mm

Board Overview

pH Electrode Size



pH Electrode Characteristics

The output of pH electrode is Millivolts, and the pH value of the relationship is shown as follows (25 °C):

VOLTAGE (mV)	pH value	VOLTAGE (mV)	pH value
414.12	0.00	-414.12	14.00
354.96	1.00	-354.96	13.00
295.80	2.00	-295.80	12.00
236.64	3.00	-236.64	11.00
177.48	4.00	-177.48	10.00
118.32	5.00	-118.32	9.00
59.16	6.00	-59.16	8.00
0.00	7.00	0.00	7.00

Anexo C: Hoja de especificaciones técnicas del sensor TDS



Introduction

TDS (Total Dissolved Solids) indicates how many milligrams of inorganic solids are dissolved from liter of water in general. The higher the TDS value, the more inorganic solids are dissolved in water and the less pure the water is. Therefore, the TDS sensor can act as an effective unit to effectively the cleanliness of water.

A TDS sensor is a widely used probe equipment to measure TDS value. The probe is affordable and it is easy to use. However, accuracy is not able to transmit data to a computer for online monitoring of water quality. In general, professional instruments have high accuracy and can send data to the control system, but the price is expensive for the ordinary people. To this end, we have launched an analog TDS sensor which is compatible with Arduino, PLC, and easy to use. Withing with Arduino controller, you can build a TDS detector easily to measure the TDS value of food without needing to purchase expensive equipment.

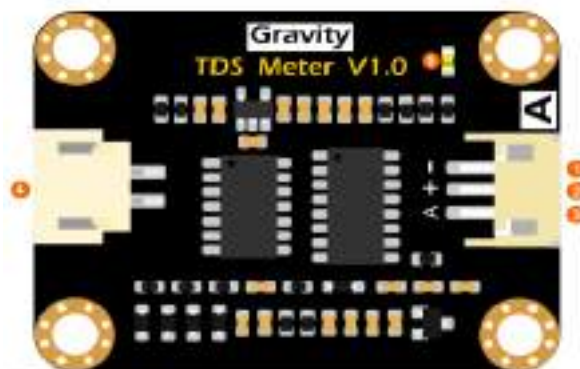
This product supports 3.3V ~ 5.5V wide voltage input and 0 ~ 2.3V analog voltage output, which makes it compatible with 5V or 3.3V microcontroller kit boards. The excitation source is AC signal, which can effectively prevent the probe from polarization and prolong the life of the probe. Meanwhile, our help increase the stability of the output signal. The TDS probe is waterproof, ideal for measuring water for long time measurement.

This product can be used in water quality application such as domestic water supply and hydroponics. With this product, you can easily build a TDS detector to detect the cleanliness of water to protect your health.

Specification

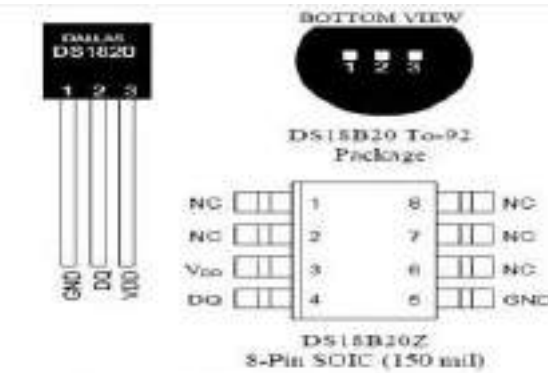
- Signal Transmitter Board
 - Input Voltage: 3.3 ~ 5.5V
 - Output Voltage: 0 ~ 2.3V
 - Working Current: 3 ~ 6mA
 - TDS Measurement Range: 0 ~ 1000ppm
 - TDS Measurement Accuracy: $\pm 10\%$ F.S. (25 °C)
 - Module Size: 42 * 32mm
 - Module Interface: PH2.0-3P
 - Electrode Interface: XH2.54-2P
- TDS probe
 - Number of Needle: 2
 - Total Length: 83cm
 - Connection Interface: XH2.54-2P
 - Colour: Black
 - Other: Waterproof Probe

Board Overview



Num	Label	Description
1	-	Power GND(0V)
2	+	Power VCC(3.3 ~ 5.5V)
3	A	Analog Signal Output(0 ~ 2.3V)
4	TDS	TDS Probe Connector
5	LED	Power Indicator

Anexo D: Hoja de especificaciones técnicas del sensor DS18B20



PIN DESCRIPTION

GND - Ground
 DQ - Data In/Out
 VDD - Power Supply Voltage
 NC - No Contact



FEATURES

- Unique 1-Wire™ interface requires only one port pin for communication
- Each device has a unique 64-bit serial code stored in an onboard ROM
- Multidrop capability simplifies distributed temperature sensing applications
- Requires no external components
- Can be powered from data line. Power supply range is 3.0V to 5.5V
- Measures temperatures from -55°C to $+125^{\circ}\text{C}$ (-67°F to $+257^{\circ}\text{F}$)
- $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ accuracy from -10°C to $+85^{\circ}\text{C}$
- Thermometer resolution is user-selectable from 9 to 12 bits
- Converts temperature to 12-bit digital word in 750ms (max.)
- User-definable nonvolatile (NV) alarm settings
- Alarm search command identifies and addresses devices whose temperature is outside of programmed limits (temperature alarm condition)
- Available in 8-pin SO (150mil), 8-pin μSOP , and 3-pin TO-92 packages
- Software compatible with the DS1822
- Applications include thermostatic controls, industrial systems, consumer products, thermometers, or any thermally sensitive system

ORDER INFORMATION

ORDERING NUMBER	PACKAGE MARKING	DESCRIPTION
DS18B20	18B20	DS18B20 in 3-pin TO92
DS18B20-TAR	18B20	DS18B20 in Lead-Free 3-pin TO92, 1800 Piece Tape-and-Reel
DS18B20Z	18B20 (See Note)	DS18B20 in Lead-Free 3-pin TO92
DS18B20Z-TAR	18B20 (See Note)	DS18B20 in Lead-Free 3-pin TO92, 3000 Piece Tape-and-Reel
DS18B20ZT	18B20	DS18B20 in 8-pin μSOP
DS18B20ZT-TAR	18B20	DS18B20 in 8-pin μSOP , 3000 Piece Tape-and-Reel
DS18B20ZT2	18B20 (See Note)	DS18B20 in Lead-Free 8-pin μSOP
DS18B20ZT2-TAR	18B20 (See Note)	DS18B20 in Lead-Free 8-pin μSOP , 1800 Piece Tape-and-Reel
DS18B20ZT3	DS18B20	DS18B20 in 150 mil 8-pin SO
DS18B20ZT3-TAR	DS18B20	DS18B20 in 150 mil 8-pin SO, 2100 Piece Tape-and-Reel
DS18B20ZT4	DS18B20 (See Note)	DS18B20 in Lead-Free 150 mil 8-pin SO
DS18B20ZT4-TAR	DS18B20 (See Note)	DS18B20 in Lead-Free 150 mil 8-pin SO, 2100 Piece Tape-and-Reel

Note: A "Z" symbol will also be marked on the package.

DETAILED PIN DESCRIPTIONS Table 1

SO*	μSOP *	TO-92	SYMBOL	DESCRIPTION
5	4	1	GND	Ground
4	1	2	DQ	Data Input/Output pin. Open-drain 1-Wire interface pin. Also provides power to the device when used in parasite power mode (see "Parasite Power" section).
3	3	3	VDD	Optional Vcc pin. Vcc must be provided for operation in parasite power mode.

*All pins not specified in this table are "No Connect" pins.

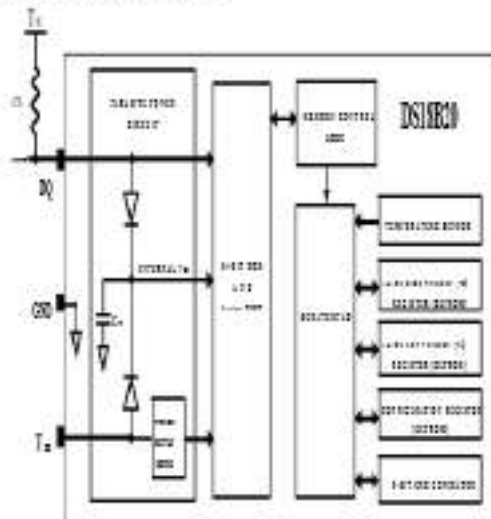
OVERVIEW

Figure 1 shows a block diagram of the DS18B20, and pin descriptions are given in Table 1. The 64-bit ROM stores the device's unique serial code. The scratchpad memory contains the 2-byte temperature register that stores the digital output from the temperature sensor. In addition, the scratchpad provides access to the 1-byte sensor and lower alarm trigger registers (T1 and T2), and the 1-byte configuration register. The configuration register allows the user to set the resolution of the temperature-to-digital conversion to 9, 10, 11, or 12 bits. The T1, T2, and configuration registers are nonvolatile (NVRAM), so they will retain data when the device is powered down. The DS18B20 uses Dallas' exclusive 1-Wire bus protocol that implements bus communication using one control signal. The control line requires a weak-pull-up resistor since all devices are linked to the bus via a 3-state or open-drain port (the DQ pin) in the case of the DS18B20. In this bus system, the microprocessor (the master device) identifies and addresses devices on the bus using each device's unique 64-bit code. Because each device has a unique code, the number of devices that can be addressed on one bus is virtually unlimited. The 1-Wire bus protocol, including detailed explanations of the commands and "bus sleep," is covered in the 1-WIRE BUS SYSTEMS section of this datasheet.

Another feature of the DS18B20 is the ability to operate without an external power supply. Power is instead supplied through the 1-Wire pull-up resistor via the DQ pin when the bus is high. The high bus signal also charges an internal capacitor (C_{int}) which then supplies power to the device when the bus is low. This method of deriving power from the 1-Wire bus is referred to as "parasite power." As an

alternative to this DS18B20, the DS18B20Z can be powered in a similar way to DS18B20.

DS18B20 BLOCK DIAGRAM Figure 1



OPERATION — MEASURING TEMPERATURE

The core functionality of the DS18B20 is its direct-to-digital temperature sensor. The resolution of the temperature register is user-configurable to 0.5, 1, or 12 bits, corresponding to increments of 0.5, 1, 0.25, 0.125, and 0.0625 °C, respectively. The default resolution of power-up is 12-bit. The DS18B20

power-up in a low-power idle state, to initiate a temperature measurement and 4-to-0 conversion, the master must issue a Convert T (44h) command. Following the conversion, the resulting thermal data is stored in the 2-byte temperature register in the scratchpad memory and the DS18B20 returns to its idle state. If the DS18B20 is powered by an external supply, the master can issue "read time slot" (see the 3-WIRE BUS SYSTEM section) after the Convert T command and the DS18B20 will respond by transmitting 0 while the temperature conversion is in progress and 1 when the conversion is done. If the DS18B20 is powered with parasite power, this notification technique cannot be used since the bus must be pulled high by a strong pullup during the entire temperature conversion. The bus requirements for parasite power are explained in detail in the POWERING THE DS18B20 section of this datasheet.

The DS18B20 output temperature data is calibrated in degrees centigrade. For Fahrenheit applications, a lookup table or conversion routine must be used. The temperature data is stored as a 16-bit signed-extended two's complement number in the temperature register (see Figure 2). The sign bit (D) indicates if the temperature is positive or negative. For positive numbers 0–0 and for negative numbers 0–1. If the DS18B20 is configured for 12-bit resolution, all bits in the temperature register will contain valid data. For 11-bit resolution, bit 0 is undefined. For 10-bit resolution, bits 1 and 0 are undefined, and for 9-bit resolution bits 2, 1 and 0 are undefined. Table 2 gives examples of digital output data and the corresponding temperature reading for 12-bit resolution conversions.

TEMPERATURE REGISTER FORMAT Figure 2

LS Byte	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0
	1	0	1	1	1	1	1	1
MS Byte	Bit 15	Bit 14	Bit 13	Bit 12	Bit 11	Bit 10	Bit 9	Bit 8
	0	0	0	0	0	0	0	0

TEMPERATURE DATA RELATIONSHIP Table 2

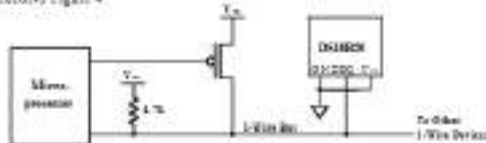
TEMPERATURE	DIGITAL OUTPUT (Hex)	DIGITAL OUTPUT (Hex)
+125.00°C	0000 0111 1101 0000	0020
+87.50°C	0000 0101 1101 0000	0010
+50.00°C	0000 0011 1101 0000	0000
+12.50°C	0000 0000 1101 0000	0000
-12.50°C	0000 0000 0001 1000	0000
-50.00°C	0000 0000 0001 1000	0000
-87.50°C	0000 0000 0001 1000	0000
-125.00°C	1111 1100 1001 0000	F020

*The positive limit value of the temperature register is +125°C.

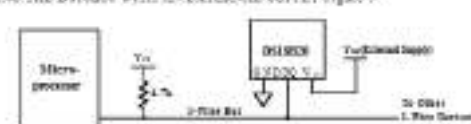
The use of parasite power is not recommended for temperatures above +130 °C since the DS18B20 may not be able to sustain conversions due to its higher leakage currents that can exist at these temperatures. For applications in which such temperatures are likely, it is strongly recommended that the DS18B20 be powered by an external power supply.

In some situations the bus master may not know whether the DS18B20 on the bus has parasite power or is powered by external supplies. The master needs this information to determine if the strong bus pullup should be used during temperature conversions. To get this information, the master can issue a Chip Reset (55h) command followed by a Read Power Supply (54h) command followed by a "read time slot". During the read time slot, parasite-powered DS18B20s will pull the bus low, and externally powered DS18B20s will be bus remain high. If the bus is pulled low, the master knows that it must supply the strong pullup on the 1-Wire bus during temperature conversions.

SUPPLYING THE PARASITIC-POWERED DS18B20 DURING TEMPERATURE CONVERSIONS Figure 4



POWERING THE DS18B20 WITH AN EXTERNAL SUPPLY Figure 5



64-BIT LASERED ROM CODE

Each DS18B20 contains a unique 64-bit code (see Figure 6) stored in ROM. The least significant 8 bits of the ROM code contain the DS18B20's 1-Wire family code, 28h. The next 48 bits contain a unique serial number. The most significant 8 bits contain a cyclic redundancy check (CRC) byte that is calculated from the first 56 bits of the ROM code. A detailed explanation of the CRC byte is provided in the CRC GENERATION section. The 64-bit ROM code and associated ROM function control logic allow the DS18B20 to operate as a 1-Wire device using the protocol detailed in the 1-WIRE BUS SYSTEM section of this datasheet.

64-BIT LASERED ROM CODE Figure 6

6-BIT CRC	48-BIT SERIAL NUMBER	8-BIT FAMILY CODE (28h)
1200	1208 1216	1216 1224

OPERATION — ALARM SIGNALING

Like the DS18B20 performs a temperature conversion, the temperature value is compared to the user-defined two's complement alarm trigger value stored in the 1-byte T and T registers (see Figure 1). The user bit (B) indicates if the value is positive or negative. For positive numbers, B = 0 and for negative numbers B = 1. The T and T registers are available (EEPROM) in the 1-Wire data stream when the device is powered down. T and T can be accessed through bits 2 and 7 of the scratchpad as explained in the MEMORY section of this datasheet.

TRAND T REGISTER FORMAT Figure 3

Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0
1	1	1	1	1	1	1	1

Only bits 1 through 7 of the temperature register are used in the T and T comparisons since T and T.

For example, if the temperature of the register is 100 higher than it used to be.

in alarm condition exists and no alarm flag is set and in the DS18B20. This flag is updated after every temperature measurement. Therefore, if the alarm condition goes away, the flag will be cleared after the next temperature conversion.

The master device can check the alarm flag status of all DS18B20s on the bus by issuing an Alarm Search (1Ch) command. Any DS18B20 with a set alarm flag will respond to the command, or the master can determine exactly which DS18B20s have experienced an alarm condition. If an alarm condition exists and the T or T settings have changed, master temperature conversions should be done to validate the alarm condition.

POWERING THE DS18B20

The DS18B20 can be powered by an external supply on the Vcc pin, or it can operate in "parasitic power" mode, which allows the DS18B20 to function without a local external supply. Parasitic power is very useful for applications that require remote temperature sensing in that no wires are required. Figure 3 shows the DS18B20's parasite power circuit topology, which "reads" power from the 1-Wire bus via the DQ pin when the bus is high. The reader draws power from the DS18B20 while the bus is high, and once the change is stored in the parasite power register (C7) no further power is drawn from the bus. When the DS18B20 is read in parasite power mode, the Vcc pin must be connected to ground.

In parasite-power mode, the 1-Wire bus and GND provide sufficient current to the DS18B20 to meet operation as long as the specified timing and voltage requirements are met (refer to the DC

ELECTRICAL CHARACTERISTICS and the AC ELECTRICAL CHARACTERISTICS sections of this sheet). However, when the DS18B20 is performing temperature conversions or copying data from the scratchpad memory to EEPROM, the operating current can be as high as 1.5mA. This current can cause an unacceptable voltage drop across the weak 1-Wire pullup resistor and a more current than can be supplied by C. To insure that the DS18B20 has sufficient supply current, it is necessary to provide a strong pullup on the 1-Wire bus whenever temperature conversions are taking place or data is being copied from the scratchpad to EEPROM. This can be accomplished by using a MOSFET to pull the bus directly to the rail as shown in Figure 4. The 1-Wire bus must be connected to the strong pullup within 1µs (max) after a Convert T (44h) or Copy Scratchpad (4Bh) command is issued, and the bus must be held high by the pullup for the duration of the conversion (i.e., for data transfer). → Read To other circuitry can take place on the 1-Wire bus while the pullup is enabled.

The DS18B20 can also be powered by the conventional method of connecting an external power supply to the Vcc pin, as shown in Figure 5. The advantage of this method is that the MOSFET pullup is not required, and the 1-Wire bus is free to carry other traffic during the temperature conversion time.

MEMORY

The DS18B20's memory is organized as shown in Figure 7. The memory consists of an SRAM (in the data stream scratchpad memory) for use with the data stream (commands 4 and T) and configuration register. Note that if the DS18B20 alarm function is not used, the T and T registers can serve as general-purpose memory. All memory commands are described in detail in the DS18B20 FUNCTION COMMANDS section.

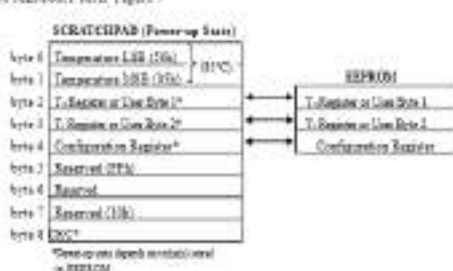
Byte 0 and bits 1 of the scratchpad contain the LSB and the MSB of the temperature register, respectively. These bytes are read-only. Bytes 2 and 3 provide access to T and T registers. Byte 4 contains the configuration register data, which is explained in detail in the CONFIGURATION REGISTER section of this datasheet. Bytes 5, 6, and 7 are reserved for optional use by the device and cannot be overwritten.

Byte 8 of the scratchpad is read-only and contains the cyclic redundancy check (CRC) code for bytes 0 through 7 of the scratchpad. The DS18B20 generates the CRC using the method described in the CRC GENERATION section.

Data is written to bytes 1, 2, 3, and 4 of the scratchpad using the Write Scratchpad (4Eh) command. The data must be transmitted to the DS18B20 starting with the least significant bit of byte 1. In parity data integrity, the scratchpad can be read (using the Read Scratchpad (4Fh) command) after the data is written. When reading the scratchpad, data is transferred over the 1-Wire bus starting with the least significant bit of byte 0. To transfer the T, T, and configuration data from the scratchpad to EEPROM, the master must issue the Copy Scratchpad (4Bh) command.

Data in the EEPROM registers is retained when the device is powered down, or power-up the EEPROM data is relocated into the corresponding scratchpad locations. Data can also be relocated from EEPROM to the scratchpad at any time using the Recall E² (49h) command. The master can issue read time slots following the Recall E² command and the DS18B20 will return the state of the recall by transmitting 0 while the recall is in progress and 1 when the recall is done.

DS18B20 MEMORY MAP Figure 7



*Temperature depends on operational conditions.

CONFIGURATION REGISTER

Byte 4 of the scratchpad memory contains the configuration register, which is organized as illustrated in Figure 5. The user can set the conversion resolution of the DS18B20 using the R0 and R1 bits in this register as shown in Table 1. The power-up default of these bits is R0 = 1 and R1 = 1 (11-bit resolution). Note that there is a direct tradeoff between resolution and conversion time. Bits 7 and bits 6-4 in the configuration register are reserved for internal use by the device and cannot be overwritten.

CONFIGURATION REGISTER Figure 5

MSB	MSB	MSB	MSB	MSB	MSB	MSB	MSB
0	R1	R0	1	1	1	1	1

THERMOMETER RESOLUTION CONFIGURATION TABLE 1

R1	R0	Resolution	Max. Conversion Time
0	0	9-bit	93.75 μs (max)
0	1	10-bit	187.5 μs (max)
1	0	11-bit	271 μs (max)
1	1	12-bit	354 μs (max)

CRC GENERATION

CRC bytes are provided as part of the DS18B20's 64-bit ROM code and in the 9-bit byte of the scratchpad memory. The ROM code CRC is calculated from the first 18 bits of the ROM code and is contained in the most significant byte of the ROM. The scratchpad CRC is calculated from the data stored in the scratchpad, and therefore it changes when the data in the scratchpad changes. The DS18B20 provides the bus master with a method of data validation when data is read from the DS18B20. To verify that data has been read correctly, the bus master must re-calculate the CRC from the received data and then compare the value to either the ROM code CRC (for ROM reads) or to the scratchpad CRC (for scratchpad reads). If the calculated CRC matches the read CRC, the data has been received error free. The comparison of CRC values and the device to compare with an operation are determined entirely by the bus master. There is no circuitry inside the DS18B20 that generates a command response from proceeding if the DS18B20 CRC (ROM or scratchpad) does not match the value generated by the bus master.

The equivalent polynomial function of the CRC (ROM or scratchpad) is:

$$CRC = x^8 - x + 1 = 1$$

The bus master can re-calculate the CRC and compare it to the CRC values from the DS18B20 using the polynomial generator shown in Figure 9. This circuit consists of a shift register and XOR gates, and the shift register bits are initialized to 0. Starting with the least significant bit of the ROM code or the least significant bit of byte 0 in the scratchpad, one bit at a time should be shifted into the shift register. After shifting in the 16th bit from the ROM or the most significant bit of byte 7 from the scratchpad, the polynomial generator will contain the re-calculated CRC. Next, the 8-bit ROM code or scratchpad CRC from the DS18B20 must be shifted into the circuit. At this point, if the re-calculated CRC was correct, the shift register will contain all 0s. Additional information about the Dallas 1-Wire cyclic redundancy check

TRANSACTION SEQUENCE

The transaction sequence for accessing the DS18B20 is as follows:

Step 1: Initialization

Step 2: ROM Command (followed by any required data exchange)

Step 3: DS18B20 Function Command (followed by any required data exchange)

It is very important to follow this sequence every time the DS18B20 is accessed, as the DS18B20 will not respond if any steps in the sequence are missing or out of order. Exceptions to this rule are the Search ROM (F04) and Alarm Search (E04) commands. After issuing either of these ROM commands, the master must return to Step 1 in the sequence.

INITIALIZATION

All transactions on the 1-Wire bus begin with an initialization sequence. The initialization sequence consists of a reset pulse transmitted by the bus master (followed by presence pulse(s) transmitted by the slave(s)). The presence pulse lets the bus master know that slave device(s) (such as the DS18B20) are on the bus and are ready to operate. Timing for the reset and presence pulses is detailed in the 1-WIRE SIGNALING section.

ROM COMMANDS

After the bus master has detected a presence pulse, it can issue a ROM command. These commands operate on the unique 64-bit ROM codes of each slave device and allow the master to single out a specific device if more are present on the 1-Wire bus. These commands also allow the master to determine how many and what types of devices are present on the bus or if any device has experienced an alarm condition. There are five ROM commands, and each command is 1 bit long. The master device must issue an appropriate ROM command before issuing a DS18B20 function command. A flowchart for operation of the ROM commands is shown in Figure 11.

SEARCH ROM (F04)

When a system is initially powered up, the master must identify the ROM codes of all slave devices on the bus, which allows the master to determine the number of slaves and their device types. The master issues the ROM code through a process of elimination that requires the master to perform a Search ROM cycle (i.e., Search ROM command followed by data exchange) on many buses, as necessary to identify all of the slave devices. If there is only one slave on the bus, the simpler Read ROM command (see below) can be used in place of the Search ROM process. For a detailed explanation of the Search ROM procedure, refer to the document www.dallas.com/topics/1-wire/1-wire_rom_commands.pdf. After every Search ROM cycle, the bus master must return to Step 1 (Initialization) on the transaction sequence.

READ ROM (F06)

This command can only be used when there is one slave on the bus. It allows the bus master to read the slave's 64-bit ROM code without using the Search ROM procedure. If this command is used when there is more than one slave present on the bus, a data collision will occur when all the slaves attempt to respond at the same time.

MATCH ROM (F07)

The Match ROM command followed by a 64-bit ROM code sequence allows the bus master to address a specific slave device on a multi-drop or single-drop bus. Only the slave that exactly matches the 64-bit ROM code sequence will respond to the function command issued by the master; all other slaves on the bus will not react to a reset pulse.

is available in Application Note 27: Understanding and Using Cyclic Redundancy Check with Dallas Semiconductor's 1-Wire Products.

CRC GENERATOR Figure 9



1-WIRE BUS SYSTEM

The 1-Wire bus system uses a single bus master to control one or more slave devices. The DS18B20 is always a slave. When there is only one slave on the bus, the system is referred to as a "single-drop" system; the system is "multi-drop" if there are multiple slaves on the bus.

All data and commands are transmitted least significant bit first over the 1-Wire bus.

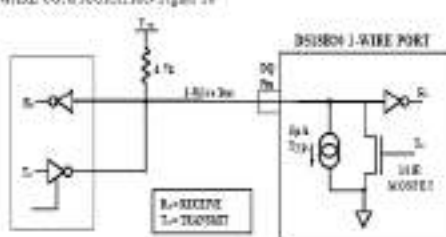
The following discussion of the 1-Wire bus system is broken down into three topics: hardware configuration, transaction sequence, and 1-Wire signaling (signal types and timing).

HARDWARE CONFIGURATION

The 1-Wire bus has by definition only a single data line. Each device (master or slave) interfaces to the data line via an open-drain or 3-state port. This allows each device to "release" the data line when the device is not transmitting data so the line is available for use by another device. The 1-Wire port of the DS18B20 (the DQ pin) is open drain with an internal current equivalent to that shown in Figure 10.

The 1-Wire bus requires an external pull-up resistor of approximately 1k Ω . If this, the idle state to the 1-Wire bus is high. If for any reason a transaction needs to be suspended, the bus MUST be left in the idle state of the transaction to resume. Infinite recovery time can occur between bits as long as the 1-Wire bus is in the inactive (high) state during the recovery period. If the bus is held low for more than 400 ns, all components on the bus will be reset.

HARDWARE CONFIGURATION Figure 10



SKIP ROM (CC)

The master can use this command to address all devices on the bus simultaneously without reading out any ROM code information. For example, the master can make all DS18B20s on the bus perform simultaneous temperature conversions by issuing a Skip ROM command followed by a Convert T (44) command.

Note that the Read Scratchpad (EE) command can follow the Skip ROM command only if there is a single slave device on the bus. In this case time is saved by allowing the master to read from the slave without reading the device's 64-bit ROM code. A Skip ROM command followed by a Read Scratchpad command will cause a data collision on the bus if there is more than one slave since multiple devices will attempt to transmit data simultaneously.

ALARM SEARCH (E04)

The operation of this command is identical to the operation of the Search ROM command except that only slaves with a set alarm flag will respond. This command allows the master device to determine if any DS18B20 has experienced an alarm condition during the most recent temperature conversion. After every Alarm Search cycle (i.e., Alarm Search command followed by data exchange), the bus master must return to Step 1 (Initialization) in the transaction sequence. Refer to the OPERATING — ALARM SIGNALING section for an explanation of alarm flag operation.

DS18B20 FUNCTION COMMANDS

After the bus master has used a ROM command to address the DS18B20 with which it wishes to communicate, the master can issue one of the DS18B20 function commands. These commands allow the master to write to and read from the DS18B20's scratchpad memory, initiate temperature conversions and determine the power supply mode. The DS18B20 function commands, which are described below, are summarized in Table 4 and illustrated by the flowchart in Figure 12.

CONVERT T (44)

This command initiates a single temperature conversion. Following the conversion, the resulting thermal data is stored in the 7-bit temperature register in the scratchpad memory, and the DS18B20 returns to its low-power idle state. If the device is being used in parasite power mode, notice (1) in (444) after the command is issued the master must enable a strong pull-up on the 1-Wire bus for the duration of the conversion (1) as described in the POWERING THE DS18B20 section. If the DS18B20 is powered by an external supply, the master can issue read time slots after the Convert T command and the DS18B20 will respond by transmitting a 0 while the temperature conversion is in progress and a 1 when the conversion is done. In parasite power mode this verification technique cannot be used since the bus is pulled high by the strong pull-up during the conversion.

WRITE SCRATCHPAD (5E)

This command allows the master to write 3 bytes of data to the DS18B20's scratchpad. The first data byte is written to register byte 1 of the scratchpad, the second byte is written into the 0 register (byte 2), and the third byte is written into the configuration register (byte 4). Data must be transmitted least significant bit first. All three bytes MUST be written before the master issues a read, or the data may be corrupted.

READ SCRATCHPAD (6E)

This command allows the master to read the contents of the scratchpad. The data transfer starts with the least significant bit of byte 0 and continues through the scratchpad until the 9-bit byte 0 — CRC is read. The master may issue a read to terminate reading at any time if only part of the scratchpad data is needed.

COPY SCRATCHPAD (46h)

This command copies the contents of the scratchpad (bits 1, 3 and 4) to EEPROM. If the device is being read in parallel power mode, status 10 (read) after the command is issued the master must enable a strong pullup on the I-Wire bus for at least 10ns as described in the **POWERING THE DS18B20** section.

RECALL E (00h)

This command recalls the alarm trigger values (T₁ and T₂) and configuration data from EEPROM and places the data in bits 2, 3, and 4, respectively, in the scratchpad memory. The master device can issue read time slots following the Recall E² command and the DS18B20 will indicate the status of the recall by transmitting 0 while the recall is in progress and 1 when the recall is done. The recall operation happens automatically at power-up, so valid data is available in the scratchpad as soon as power is applied to the device.

READ POWER SUPPLY (04h)

The master device issues this command followed by a read time slot to determine if any DS18B20s on the bus are using parasite power. During the read time slot, parasite powered DS18B20s will pull the bus low, and externally powered DS18B20s will let the bus remain high. Refer to the **POWERING THE DS18B20** section for usage information for this command.

DS18B20 FUNCTION COMMAND SET Table 1

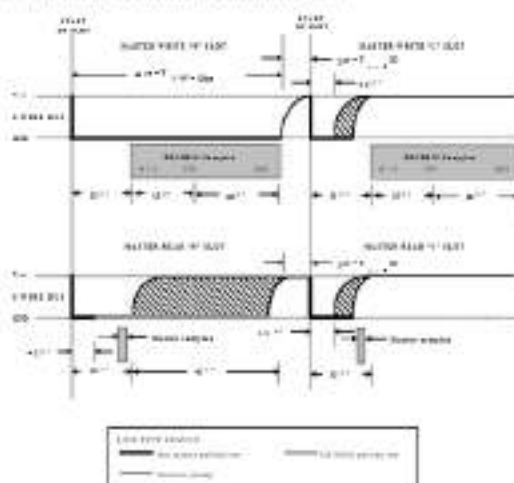
Command	Description	Device	I-Wire Bus Activity After Command is Issued	Time
TEMPERATURE CONVERSION COMMANDS				
Convert T	Initiates temperature conversion	46h	DS18B20 transmits conversion status to master (not applicable for parasite powered DS18B20)	1
MEMORY COMMANDS				
Read Scratchpad	Reads the entire scratchpad including the CRC byte	00h	DS18B20 transmits up to 9 data bytes to master	2
Write Scratchpad	Writes data into scratchpad (bits 1, 3, and 4, and configuration registers)	05h	Master transmits 5 data bytes to DS18B20	3
Copy Scratchpad	Copies T ₁ , T ₂ , and configuration register data from the scratchpad to EEPROM	46h	None	1
Recall E	Recalls T ₁ , T ₂ , and configuration register data from EEPROM to the scratchpad	00h	DS18B20 transmits recall status to master	
Read Power Supply	Signals DS18B20 power supply mode to the master	04h	DS18B20 transmits supply status to master	

NOTES:

- For parasite powered DS18B20s, the master must enable a strong pullup on the I-Wire bus during temperature conversions and copies from the scratchpad to EEPROM. No other bus activity may take place during this time.
- The master can interrupt the transmission of data at any time by issuing a write.
- All three bytes must be written before a read is started.

The DS18B20 samples the I-Wire bus during a window that lasts from 15 ns to 60ns after the master initiates the write time slot. If the bus is high during the sampling window, a 1 is written to the DS18B20. If the bus is low, a 0 is written to the DS18B20.

READ-WRITE TIME SLOT TIMING DIAGRAM Figure 14



READ TIME SLOTS

The DS18B20 can only transmit data to the master when the master issues read time slots. Therefore, the master must generate read time slots immediately after issuing a Read Scratchpad (00h) or Read Power Supply (04h) command, so that the DS18B20 can provide the requested data. In addition, the master can generate read time slots after issuing Convert T (46h) or Recall E (00h) commands to find out the status of the operation as explained in the **DS18B20 FUNCTION COMMAND** section.

All read time slots must be a minimum of 60 ns in duration with a minimum of 1µs recovery time between slots. A read time slot is initiated by the master device pulling the I-Wire bus low for a minimum of 100 ns and then releasing the bus (see Figure 14). After the master initiates the read time slot, the DS18B20 will begin transmitting a 0 or 1 on the bus. The DS18B20 transmits a 1 by leaving the bus high and transmitting a 0 by pulling the bus low. When transmitting a 0, the DS18B20 will release the bus by the end of the time slot, and the bus will be pulled back to its high idle state by the pullup resistor. Output

I-WIRE SIGNALING

The DS18B20 uses a strict 1-Wire communication protocol to receive data (output device) and types are defined by the protocol: start pulse, presence pulse, write 0, write 1, read 0, and read 1. The bus master initiates all of these signals with the exception of the presence pulse.

INITIALIZATION PROCEDURE: RESET AND PRESENCE PULSES

All communication with the DS18B20 begins with an initialization sequence that consists of a read pulse from the master followed by a presence pulse from the DS18B20. This is illustrated in Figure 13. When the DS18B20 sends the presence pulse in response to the read, it is indicating to the master that it is on the bus and ready to operate.

During the initialization sequence the bus master transmits (T₁) the start pulse by pulling the I-Wire bus low for a minimum of 400 ns. The bus master then releases the bus and goes into receive mode (R). When the bus is released, the 1k pullup resistor pulls the I-Wire bus high. When the DS18B20 detects the rising edge, it waits 15 ns to float and then transmits a presence pulse by pulling the I-Wire bus low for 40µs to 200ns.

INITIALIZATION TIMING Figure 13



READ/WRITE TIME SLOTS

The bus master writes data to the DS18B20 during write time slots and reads data from the DS18B20 during read time slots. One bit of data is transmitted over the I-Wire bus per time slot.

WRITE TIME SLOTS

There are two types of write time slots: "Write 1" time slots and "Write 0" time slots. The bus master uses a Write 1 time slot to write a logic 1 to the DS18B20 and a Write 0 time slot to write a logic 0 to the DS18B20. All write time slots must be a minimum of 10 ns in duration with a minimum of 1µs recovery time between individual write slots. Both types of write time slots are initiated by the master pulling the I-Wire bus low (see Figure 14).

To generate a Write 1 time slot, after pulling the I-Wire bus low, the bus master must release the I-Wire bus within 15 ns. When the bus is released, the 1k pullup resistor will pull the bus high. To generate a Write 0 time slot, after pulling the I-Wire bus low, the bus master must continue to hold the bus low for the duration of the time slot (at least 60ns).

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS*

Voltage on Any Pin Relative to Ground	-0.5V to +6.0V
Operating Temperature Range	-55°C to +125°C
Storage Temperature Range	-55°C to +125°C
Solder Temperature	See IPC/JEDEC J-STD-020A

*These are thermal ratings only and functional operation of the device at these or any other conditions above those indicated in the operating section of this specification is not implied. Exceeding an absolute maximum rating condition, for extended periods of time may affect reliability.

DC ELECTRICAL CHARACTERISTICS

PARAMETER	SYMBOL	CONDITION	MIN	TYP	MAX	UNITS	NOTES
Supply Voltage	V _{CC}	Local Power	-0.50		+6.1	V	1
Pullup from V _{CC}	V _I	Parasite Power	-0.50		+1.5	V	1,2
		Local Power	-0.50		V _{CC}		
Transmission Error	Err	-55°C to +85°C			±1	%	3
			-55°C to +125°C		±2		
			+125°C to +150°C		±2		
Input Logic Low	V _{IL}	Local Power	-0.5		+0.8	V	1,4,7
Input Logic High	V _{IH}	Local Power	+1.2		The lower of 1.5 or V _{CC} -0.5	V	1,4
		Parasite Power	-0.50				
Sink Current	I _{OL}	-0.50V	4.0		mA	1	
Steady Current	I _{CC}		750	1000	µA	7,8	
Active Current	I _{CC(ACT)}	+0.50V	0	1.1	mA	9	
DQ Input Current	I _{CC(DQ)}		5		µA	10	
Drift	Drift		±1.2		%	11	

NOTES:

- All voltages are referenced to ground.
- The Pullup Supply Voltage specification assumes that the pullup device is ideal, and therefore the high level of the pullup is equal to V_{CC}. In order to meet the V_{IH} spec of the DS18B20, the actual supply rail for the strong pullup transistor must include margin for the voltage drop across the transistor. $V_{IHI} = V_{CC} - I_{OL} \times R_{DS(on)}$ or $V_{IHI} = V_{CC} - I_{OL} \times R_{DS(on)}$.
- See typical performance curves in Figure 17.
- Logic low voltages are specified at a sink current of 4mA.
- To guarantee a presence pulse under low voltage parasite power conditions, V_{CC} may have to be reduced to as low as 0.5V.
- Logic high voltages are specified at a source current of 1mA.
- Steady current specified up to 75°C. Steady current typically is 1µA at 125°C.
- DQ should be within the following range: $QSD \leq DQ \leq QSD + 3.0V$ or $V_{CC} - 0.07V \leq DQ \leq V_{CC}$.
- Active current refers to supply current during active temperature conversion or EEPROM writes.
- DQ low is high (1b-2) state.
- Drift data is based on a 1000 hour stress test at 125°C with V_{CC} = 1.5V.

AC ELECTRICAL CHARACTERISTICS: NV MEMORY

(-55°C to +100°C, V_{DD} = 3.0V to 5.5V)

PARAMETER	SYMBOL	CONDITION	MIN	TYP	MAX	UNITS
NV Write Cycle Time	t _{WC}			2	11	ms
EEPROM Write	t _{EW}	-55°C to +55°C	50k			cycles
EEPROM Data Retention	t _{DR}	-55°C to +55°C	10			years

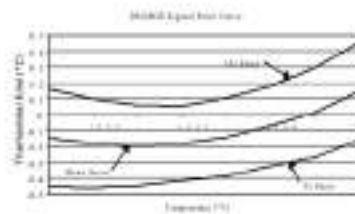
AC ELECTRICAL CHARACTERISTICS (-55°C to +125°C, V_{DD} = 3.0V to 5.5V)

PARAMETER	SYMBOL	CONDITION	MIN	TYP	MAX	UNITS	NOTES
Temperature Conversion Time	t _{CONV}	3-bit resolution		81.75	90	ms	1
		10-bit resolution		387.5	400	ms	1
		11-bit resolution		371	400	ms	1
		12-bit resolution		750	800	ms	1
Time to Erasing Pulley On	t _{ERASE}	Start Command T Command Issued		10	ms		
Trise Slot	t _{TRISE}		60	100	ms	1	
Recovery Time	t _{REC}		1		ms	1	
Write 0 Low Time	t _{W0L}		60	100	ms	1	
Write 1 Low Time	t _{W1L}		1	15	ms	1	
Read Data Valid	t _{RDV}			15	ms	1	
Reset Time High	t _{RSTH}		400		ms	1	
Reset Time Low	t _{RSTL}		400		ms	1,2	
Presence Detect High	t _{PDH}		14	60	ms	1	
Presence Detect Low	t _{PDL}		60	360	ms	1	
Capacitance	C _{IN}			14	pF		

NOTES:

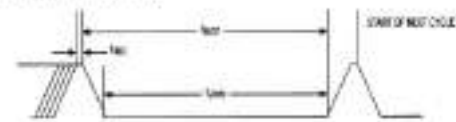
- 1) Refer to timing diagrams in Figure 16.
- 2) These parameters are for 125°C. A power-on reset may occur.

TYPICAL PERFORMANCE CURVE Figure 17

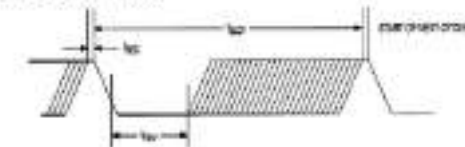


TIMING DIAGRAM Figure 16

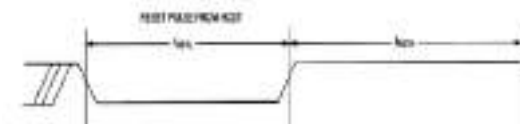
1-WIRE WRITE ZERO TIME SLOT



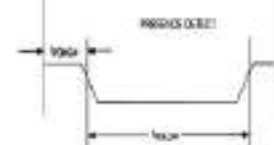
1-WIRE READ ZERO TIME SLOT



1-WIRE RESET PULSE



1-WIRE PRESENCE DETECT



Anexo F: Hoja de especificaciones técnicas NodeMCU ESP8266

ESPRESSIF SMART CONNECTIVITY PLATFORM: ESP8266

Disclaimer and Copyright Notice

Information in this document, including UIC references, is subject to change without notice. THIS DOCUMENT IS PROVIDED "AS IS" WITHOUT WARRANTIES WHATSOEVER, INCLUDING ANY WARRANTY OF MERCHANTABILITY, NON-INFRINGEMENT, FITNESS FOR ANY PARTICULAR PURPOSE, OR ANY WARRANTY OTHERWISE ARISING OUT OF ANY PROPOSAL, SPECIFICATION OR SAMPLE. All liability, including liability for infringement of any proprietary rights, relating to use of information in this document is disclaimed, to the maximum extent or applied, by outgaged or otherwise, to any individual or organization who is granted access.

The UIC is a Member Logo as a trademark of the UIC Alliance.

All trade names, trademarks and registered trademarks mentioned in this document are property of their respective owners, and are hereby acknowledged.

Copyright © 2013 Espressif Systems Inc. All rights reserved.

Table of Contents

1	INTRODUCTION	4
2	TECHNOLOGY OVERVIEW	6
3	FEATURES	6
4	APPLICATION DIAGRAM	7
5	ULTRA LOW POWER TECHNOLOGY	8
5.1	Power Levels or Introduction	8
6	ESP8266 APPLICATIONS	8
7	SPECIFICATIONS	8
7.1	Current Consumption	8
7.2	RF PERFORMANCE	8
8	CPU, MEMORY AND INTERFACES	12
8.1	CPU	12
8.2	Memory Controller	12
8.3	AMB AND AHB BUSES	12
8.4	Interfaces	12
8.4.1	Motor (I2C) SPI Control (I2C)	13
8.4.2	General Purpose I2C	14
8.4.3	Digital I/O Pad	24
9	FIRMWARE & SOFTWARE DEVELOPMENT KIT	16
9.1	Features	16
10	POWER MANAGEMENT	18
11	CLOCK MANAGEMENT	18
11.1	High Frequency Clock	19
11.2	EXTERNAL PERIPHERAL REQUIREMENTS	20
12	RADIO	20
12.1	CHANNEL TECHNOLOGY	20
12.2	TX OUTPUT POWER	20
12.3	2.4GHz TRANSMITTER	22
12.4	CLOCK GENERATOR	22
APP.	QFN32 PACKAGE DRAWING	23

1 Introduction

Espressif Systems' Smart Connectivity Platform (SCP) of high performance wireless SoCs, for mobile platform designers, provides unparalleled ability to embed Wi-Fi capabilities within other systems, at the lowest cost with the greatest flexibility.

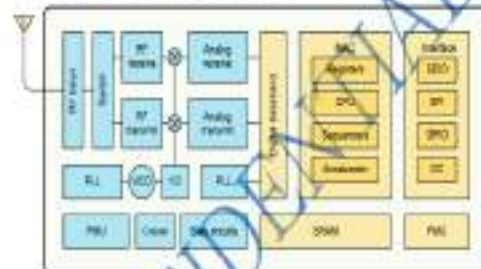


Figure 1: ESP8266 Block Diagram

5 Ultra Low Power Technology

ESP8266 has been designed for mobile, wearable electronics and Internet of Things applications with the aim of achieving the lowest power consumption with a combination of several proprietary techniques. The power saving architecture operates in 3 modes: active mode, sleep mode and deep sleep mode.

By using advance power management techniques and logic to power down functional blocks required and to control switching between sleep and active modes, ESP8266 consumes less than 12nA in sleep mode and less than 1.5nW (DTIM=3) or less than 1.5nW (DTIM=16) to stay connected to the access point.

When in sleep mode, only the calibrated real-time clock and tracking oscillator active. The real-time clock can be programmed to wake up the ESP8266 at the required interval.

The ESP8266 can be programmed to wake up when a specified condition is detected. This minimal wake-up time feature of the ESP8266 can be utilized by mobile device SOCs, allowing them to remain in the low-power state for as long as Wi-Fi is needed.

In order to satisfy the power demand of mobile and wearable electronics, ESP8266 can be programmed to reduce the output power of the PA in various application profiles, by tailoring off-ramps for power consumption.

5.1 Highest Level of Integration

By integrating the essential components such as power management unit, TX switch, RF balun, high power PA capable of delivering +25dBm (peak), ESP8266 ensures that the BOM cost is the lowest possible, and ease of integration into any system.

With ESP8266, the only external BOM are resistors, capacitors, and crystal.

7 Specifications

7.1 Current Consumption

The following current consumption is based on 3.3V supply, and 25°C ambient, using internal regulator. Measurements are done at antenna port without SAW filter. All the transmitter's measurements are based on 50% duty cycle, continuous transmit mode.

Mode	Min	Typ	Max	Unit
Transmit 802.11b, CCK 1Mbps, $P_{out} = 10\text{dBm}$	110			mA
Transmit 802.11b, CCK 1Mbps, $P_{out} = 15\text{dBm}$	97			mA
Transmit 802.11g, OFDM 54Mbps, $P_{out} = 10\text{dBm}$	90			mA
Transmit 802.11n, MIMO, $P_{out} = 10\text{dBm}$	110			mA
Receive 802.11b, packet length=300 bytes, -60dBm	40			mA
Receive 802.11g, packet length=300 bytes, -60dBm	40			mA
Receive 802.11n, packet length=300 bytes, -60dBm	40			mA
Standby	20			mA
Deep Sleep	10			mA
Power-on delay DTIM1	1.2			ms
Power-on delay DTIM3	0.98			ms
Fast Wake-up	50			mA

6 ESP8266 Applications

- Smart power plug
- Home automation
- Mesh network
- Industrial machine control
- Entry monitor
- IP Camera
- Sensor network
- Wearable electronics
- Wi-Fi location services
- Security ID tags
- Wi-Fi position system beacons

7.2 RF Performance

The following are measured under room temperature conditions with 3.3V and 1.1V power supplies.

Description	Min	Typical	Max	Unit
Input frequency	3412		2484	MHz
Input impedance		50		Ω
Input reflection			10	dB
Output power of TX for 72.2dBm	14		14	dBm
Output power of TX for 13dB mode	17.5		17.5	dBm
Linearity				
CCF, 50bps		-80		dBm
CCF, 100bps		-80		dBm
80bps 11.25PSK		-70		dBm
400bps 3.44-QAM		-70		dBm
ETX/MCS7 @1Mbps, 71.1dBm		-75		dBm
Adjacent Channel Rejection				
OTDM, 80bps		37		dB
OTDM, 54Mbps		31		dB
OTDM, 54Mbps		37		dB
WLAN, 80Mbps		30		dB

8 CPU, Memory and Interfaces

8.1 CPU

This chip embeds an ultra low power Micro 32-bit CPU, with 18-bit flash mode. The CPU can be interfaced using:

- code FLASHROM (interface) that goes to the memory controller. This can also be used to access external flash memory;
- data RAM interface (dRAM), that also goes to the memory controller;
- AHB interface, for register access, and
- JTAG interface for debugging.

8.2 Memory Controller

The memory controller contains ROM, and SRAM. It is accessed by the CPU using the dBus, dBus and AHB interface. Any of these interfaces can request access to the ROM or RAM modules, and the memory controller arbitrates across these 3 interfaces on a first-come-first-serve basis.

8.3 AHB and AHB Blocks

The AHB blocks perform the function of an arbiter, control the AHB interfaces from the MAC, SIMO (host) and CPU. Depending on the address, the AHB data requests can go into one of the two devices:

- APB block, or
- flash controller (usually for standalone applications).

Data requests to the memory controller are usually high speed requests, and requests to the APB block are usually register access.

The APB block acts as a decoder. It is meant only for access to programmable registers within ESP8266's main blocks. Depending on the address, the APB request can go to the radio, SIMO, SIMO (host), GPIO, UART, and timer clock (RTC), MAC or digital hardware.

8.4 Interfaces

The ESP8266 contains several analog and digital interfaces described in the following sections.

8.4.1 Master SPI Control (Optional)

The master serial interface (SPI) can operate in 1-, 2-, 3- or 4-wire mode, and can be used to control the EEPROM or other I/O SPI devices. Multiple I/O devices with different device addresses are supported by sharing the 3-wire bus.

Multiple SPI devices are supported by sharing the CSB pin. Each device's unique hardware software controlled GPIO pins are also select.

The SPI can be used for controlling external devices such as serial flash memories, motor controllers, or other slave devices. It is designed as a standard master SPI device with 3 different enable pins:

- SP_L230;
- SP_L231;
- SP_L232;

Each SPI master and SPI slave are supported with the latter being used as a level shifter.

SPI_CS0 is used as a hardware signal to an external serial flash memory for downloading patch code or for SPI data to the hardware in an embedded application. In a host-based application, patch code or SPI data can alternatively be downloaded via the host interface. This pin is active low and should be left open if not used.

SP_L231 is used for a user application, e.g. to control an external audio codec or sensor. CS0, in an embedded application. This pin is active low and should be left open if not used.

SPI_ENU usually controls an EEPROM to store individual data, such as WEB information, MAC address, and calibration data, or for password use. This pin is active low and should be left open if not used.

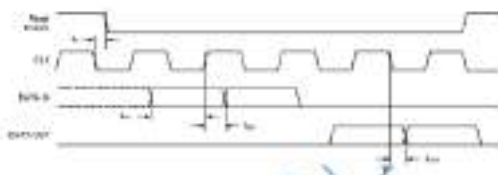


Figure 3. SPI master control

8.4.2 General Purpose IO

There are up to 16 GPIO pins. They can be configured to various functions by the firmware. Each GPIO can be configured with internal pull-up/down, input available for sampling by a software register, input triggering an edge or level CPU interrupt, input triggering a level wakeup interrupt, open-drain or push-pull output driver, or output source from a software register, or a signal-delta PWM DAC.

These pins are configurable for other functions such as host interface, UART, I2C, Bluetooth, communication, etc.

8.4.3 Outputting pins

The output IO pins are bidirectional, non-inverting and tri-state. It includes input and an output buffer with system control inputs. Besides this, for low power operations, the IO can also be set to hold. For instance, when we power down the chip, all output enable signals can be set to hold low.

Optional hold functionality can be built into the IO if requested. When the IO is not driven by the internal or external circuits, the hold functionality can be used to hold the state to the last used state.

The hold functionality introduces some positive feedback into the pad. Hence, the external driver that drives the pad must be stronger than the positive feedback. The required driver strength is however small – in the range of 5uA.

Parameter	Symbol	Min	Max	Unit
Input low voltage	V_{IL}	0.2	$0.25 \times V_{DD}$	V
Input high voltage	V_{IH}	$0.75 \times V_{DD}$	1.5	V
Input leakage current	I_{IL}		10	nA
Output low voltage	V_{OL}		$0.1 \times V_{DD}$	V
Output high voltage	V_{OH}	$0.9 \times V_{DD}$		V
Input pin capacitance	C_{in}		2	pF
VDDIO	V_{DD}	1.7	3.0	V
Maximum drive capability	I_{OH}/I_{OL}		21	mA
Temperature	T_{amb}	-40	100	°C

All digital IO pins are protected from over-voltage with a snap-back circuit connected between the pad and ground. The snap-back voltage is typically about 6V, and the holding voltage is 3.0V. This provides protection from over-voltage and ESD. The output devices are also protected from reversed voltage with diodes.

9 Firmware & Software Development Kit

The application and firmware is executed in on-chip ROM and SRAM, which loads the instructions during wake-up, through the SPI0 interface, from the external Flash.

The firmware implements TCP/IP, the full 802.11 (b/g/n) WLAN MAC protocol and IEEE 802.11 Direct specification. It supports not only basic services set (BSS) operations, also the full-featured control function (DCF) but also SDP group operation compliant with the IEEE 802.11-P1 SDP protocol. Low-level protocol functions are handled automatically by ESP326.

- RFD CTS,
- acknowledgment,
- fragmentation and defragmentation,
- aggregation,
- frame encapsulation (802.11n, QoS),
- automatic beacon monitoring, scanning, and
- SDP Wi-Fi direct.

Passive or active scanning, as well as SDP discovery procedure is performed automatically once initiated by the appropriate hardware. Power management is handled with minimum host interaction to optimize the battery period.

9.1 Features

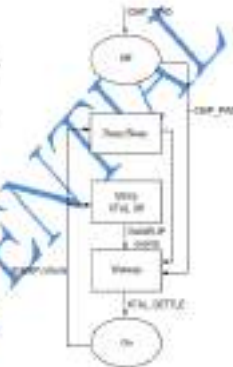
The SDK includes the following library functions:

- 802.11 IEEE 802.11n support;
- Virtual Inet (VIF) support;
- SDP Discovery, SDP Group Drive mode, SDP Power Management;
- Infrastructure BSS Station mode / P2P mode / meshP mode support;
- Hardware accelerators for IEEE 802.11 MAC, security module, DCF (DCF, RFD), WLAN (WMM), SDP (QoS), CRC.

10 Power Management

The chip can be put into the following states:

- **OFF:** CHIP_PD pin is low. The RTC is disabled. All registers are cleared.
- **DEEP_SLEEP:** Only RTC is powered on – the rest of the chip is powered off. Recovery memory of RTC can keep basic Wi-Fi coexisting information.
- **SLEEP:** Only the RTC is operating. The crystal oscillator is disabled. Any wakeup event (I2C, I2S, RTC timer, external interrupt) will put the chip into the WAKEUP state.
- **WAKEUP:** In this state, the system goes from the deep state to the PVA mode. The crystal oscillator and PLL are enabled.
- **ON state:** the high-speed clock is operational and the main clock enabled by the clock control register. Lower level clock gating is implemented at the block level, including the CPU, which can be gated off when the WAIT instruction, while the system is on.



- WPA/WPA2 PSK, and WPA3 (suite)
- Additional IEEE 802.11 security features such as pre-authentication, and TSM;
- Open Interface for various upper layer authentication schemes over EAP such as TLS, PEAP, LEAP, RADIUS AAA, or customer specific;
- IEEE 802.11e support (2+5GHz / 5GHz);
- Supports IEEE 802.11n and 2+5, 5GHz, A-MPDU and A-MSDU aggregation and QoS, guard interval;
- Wi-Fi power save U-APSD;
- Multiple queue management to fully utilize traffic prioritization defined by IEEE 802.11n standard;
- TDMA compliant and certified;
- IEEE 802.11n HT frame encapsulation;
- Enhanced QoS for optional CPU off-load on user priority data transfer operations;
- Adaptive transmit and receive (adaptive multi-rate/delay);
- Clock/power gating combined with MAC/PHY dependent power management framework adapted to current connection conditions to prolong minimal power consumption;
- Adaptive rate fallback according to the optimum transmission rate and Tx power based on actual SNR and channel conditions;
- Automatic retransmission control response on NACK to avoid packet discarding on slow host environment;
- Scalable throughput support;
- Configurable packet traffic admission (PTA) with dedicated slave processor based design provides flexible and smart timing Bluetooth co-existence support for a wide range of Bluetooth Chip vendors;
- Different single antenna Bluetooth co-existence support with optional simultaneous receive (VFI) Bluetooth capability.

11 Clock Management

11.1 High Frequency Clock

The high frequency clock on ESP326 is used to drive both the Tx and Rx clocks. This clock is generated from the internal crystal oscillator and an external crystal. The crystal frequency can range from 26MHz to 50MHz.

While internal calibration of the crystal oscillator ensures that a wide range of crystals can be used, in general, the quality of the crystal is still a factor to consider, to obtain reasonable phase noise. When the crystal selected is sub-optimal due to high frequency drift or poor Q-factor, the maximum throughput and sensitivity of the Wi-Fi system is degraded. Please refer to the application notes on how the frequency offset can be managed.

Parameter	Symbol	Min	Max	Unit
Frequency		26	50	MHz
Loading capacitance		—	32	pF
Maximal capacitance	C_{max}	2	3	pF
Initial accuracy	Δf_{init}	±	±5	ppm
Frequency tolerance	Δf_{tol}	-11	15	ppm
Frequency stability (1°C ~ 14°C)	Δf_{temp}	-11	15	ppm

11.2 External Reference Requirements

For an externally generated clock, the frequency can range from 300.0MHz to 520.0MHz can be used. For good performance of the radio, the following characteristics are expected of the clock:

Parameter	Symbol	Min	Max	Unit
Clock amplitude	V_{clk}	0.2	5	V _{pp}
External clock accuracy	Δf_{clock}	-15	15	ppm
Phase noise @10kHz offset, 400kHz clock		-120	-100	dBc/Hz
Phase noise @10kHz offset, 400kHz clock		-120	-100	dBc/Hz
Phase noise @100kHz offset, 400kHz clock		-120	-100	dBc/Hz

12 Radio

The ESP8266 radio consists of the following main blocks:

- 2.4GHz receiver
- 2.4GHz transmitter
- High speed clock generator and crystal oscillator
- Real time clock
- Bias and regulation
- Power management

12.1 Channel Frequencies

The RF transmitter supports the following channels according to the IEEE802.11g/n standards.

Channel No.	Frequency (MHz)	Channel No.	Frequency (MHz)
1	2412	9	2448
2	2418	10	2454
3	2424	11	2460
4	2430	12	2466
5	2436	13	2472
6	2442	14	2478

12.2 2.4GHz Receiver

The 2.4GHz receiver downconverts the RF signal to quadrature baseband signals and converts them to the digital domain with 3 high resolution high speed ADCs. To adapt to varying signal channel conditions, RF filters, automatic gain control, DC offset cancellation circuits and baseband filters are integrated within the radio.

12.3 2.4GHz Transmitter

The 2.4GHz transmitter upconverts the quadrature baseband signals to 2.4GHz and drives the antenna with a high powered CMOS power amplifier. The use of digital calibration further improves the linearity of the power amplifier, making a rate of an performance of delivering +16dBm average power for 802.11n transmission and +14dBm for 802.11g transmission.

Additional calibrations are integrated to cancel any imperfections of the calibration as:

- carrier leakage
- IQ phase matching and
- baseband nonlinearity

This reduces the amount of heat required and test equipment required for production testing.

12.4 Clock Generator

The clock generator generates quadrature 2.4GHz clock signals for the receiver and transmitter. All components of the clock generator are integrated on-chip, including:

- Inductor
- varactor, and
- loop filter.

The clock generator includes DC calibration and self-test circuits. Quadrature clock phases and phase noise are optimized on-chip with patented calibration algorithms to ensure the best possible transmission performance.

App. QFN32 Package Drawing



Anexo H: Hoja de especificaciones técnicas SIM800L



SIM800L_Hardware_Design_V1.00



Doc ID: SIM800L-HW-Design_V1.00

Document Title	SIM800L Hardware Design
Version	1.00
Date	2015.03.30
Status	Release
Document Control ID	SIM800L_Hardware_Design_V1.00

General Note

SIMCom offers the introduction of a solution to its customers, to support applications and engineering efforts that use the products designed by SIMCom. The information provided in these pages represents information specifically provided to SIMCom by the customer. SIMCom has not undertaken any independent work for additional product verification, including any additional features to be included, provided, implemented, or other validation of this product designed by SIMCom within a larger electronic system under the responsibility of the customer or the customer's system integrator. All specific device applications are subject to change.

Copyright

The document contains proprietary or confidential information which is the property of SIMCom Limited, copying of this document and giving it to others and the using or dissemination of the contents thereof, are prohibited without a express written by SIMCom or its subsidiaries. All rights reserved. In the event of a dispute all systems or the reproduction of a single model or design. All specifications supplied herein are subject to change without notice in any time.

Copyright © 2015 SIMCom Wireless Solutions Ltd. All rights reserved.



Doc ID: SIM800L-HW-Design_V1.00

1. Introduction

The document describes SIM800L hardware features in general. The document contains and is quality controlled SIM800L hardware specifications, electrical and mechanical data. SIMCom help of this document and other SIM800L application notes, user guide, you can use SIM800L to design your applications.

2. SIM800L Overview

SIM800L is a quad-band GSM/GPRS module, that works in frequency GSM850MHz, GSM900MHz, GSM1800MHz and GSM1900MHz. SIM800L features GPRS class 12.2K, GPRS class 11.2K and support for GPRS coding scheme CS-1, CS-2, CS-4 and CS-8.

With a very compact size of 12.5x17.5x4mm, SIM800L is the smallest of the quad-band modules in this application, such as most phones, PDA and other mobile devices.

SIM800L has three pairs of U.S.B connectors, and provides all hardware features between the module and customer boards.

- Support 2V/0.5mA
- On-chip real-time clock, can be set when the user is powered
- On-chip U.S.B interface controller, standard interface
- Auto-thermal shutdown to help the application using a customer board and regulator output
- Programmable general-purpose input and output
- A SIM card interface
- Support SIM
- Support non-PIN

SIM800L is designed with power management circuit to reduce current consumption and low self-heating during work.

3. SIM800L Key Features

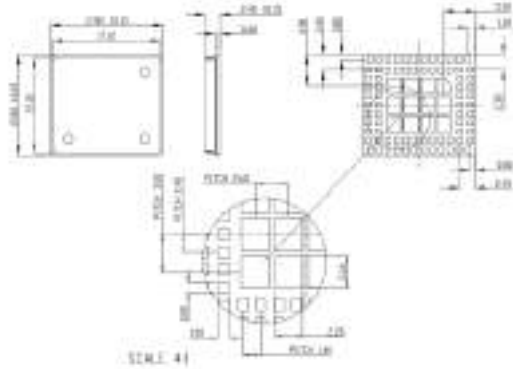
Table 1. SIM800L Key Features

Feature	Specification
Power supply	2V/0.5mA
Power output	Support dynamic compensation to support maximum 1W (class 1/2+DRCM)
Memory bank	<ul style="list-style-type: none"> Support bank 0/1/2/3/4/5/6/7/8/9/10/11/12/13/14/15/16/17/18/19/20/21/22/23/24/25/26/27/28/29/30/31/32/33/34/35/36/37/38/39/40/41/42/43/44/45/46/47/48/49/50/51/52/53/54/55/56/57/58/59/60/61/62/63/64/65/66/67/68/69/70/71/72/73/74/75/76/77/78/79/80/81/82/83/84/85/86/87/88/89/90/91/92/93/94/95/96/97/98/99/100/101/102/103/104/105/106/107/108/109/110/111/112/113/114/115/116/117/118/119/120/121/122/123/124/125/126/127/128/129/130/131/132/133/134/135/136/137/138/139/140/141/142/143/144/145/146/147/148/149/150/151/152/153/154/155/156/157/158/159/160/161/162/163/164/165/166/167/168/169/170/171/172/173/174/175/176/177/178/179/180/181/182/183/184/185/186/187/188/189/190/191/192/193/194/195/196/197/198/199/200/201/202/203/204/205/206/207/208/209/210/211/212/213/214/215/216/217/218/219/220/221/222/223/224/225/226/227/228/229/230/231/232/233/234/235/236/237/238/239/240/241/242/243/244/245/246/247/248/249/250/251/252/253/254/255/256/257/258/259/260/261/262/263/264/265/266/267/268/269/270/271/272/273/274/275/276/277/278/279/280/281/282/283/284/285/286/287/288/289/290/291/292/293/294/295/296/297/298/299/300/301/302/303/304/305/306/307/308/309/310/311/312/313/314/315/316/317/318/319/320/321/322/323/324/325/326/327/328/329/330/331/332/333/334/335/336/337/338/339/340/341/342/343/344/345/346/347/348/349/350/351/352/353/354/355/356/357/358/359/360/361/362/363/364/365/366/367/368/369/370/371/372/373/374/375/376/377/378/379/380/381/382/383/384/385/386/387/388/389/390/391/392/393/394/395/396/397/398/399/400/401/402/403/404/405/406/407/408/409/410/411/412/413/414/415/416/417/418/419/420/421/422/423/424/425/426/427/428/429/430/431/432/433/434/435/436/437/438/439/440/441/442/443/444/445/446/447/448/449/450/451/452/453/454/455/456/457/458/459/460/461/462/463/464/465/466/467/468/469/470/471/472/473/474/475/476/477/478/479/480/481/482/483/484/485/486/487/488/489/490/491/492/493/494/495/496/497/498/499/500/501/502/503/504/505/506/507/508/509/510/511/512/513/514/515/516/517/518/519/520/521/522/523/524/525/526/527/528/529/530/531/532/533/534/535/536/537/538/539/540/541/542/543/544/545/546/547/548/549/550/551/552/553/554/555/556/557/558/559/560/561/562/563/564/565/566/567/568/569/570/571/572/573/574/575/576/577/578/579/580/581/582/583/584/585/586/587/588/589/590/591/592/593/594/595/596/597/598/599/600/601/602/603/604/605/606/607/608/609/610/611/612/613/614/615/616/617/618/619/620/621/622/623/624/625/626/627/628/629/630/631/632/633/634/635/636/637/638/639/640/641/642/643/644/645/646/647/648/649/650/651/652/653/654/655/656/657/658/659/660/661/662/663/664/665/666/667/668/669/670/671/672/673/674/675/676/677/678/679/680/681/682/683/684/685/686/687/688/689/690/691/692/693/694/695/696/697/698/699/700/701/702/703/704/705/706/707/708/709/710/711/712/713/714/715/716/717/718/719/720/721/722/723/724/725/726/727/728/729/730/731/732/733/734/735/736/737/738/739/740/741/742/743/744/745/746/747/748/749/750/751/752/753/754/755/756/757/758/759/760/761/762/763/764/765/766/767/768/769/770/771/772/773/774/775/776/777/778/779/780/781/782/783/784/785/786/787/788/789/790/791/792/793/794/795/796/797/798/799/800/801/802/803/804/805/806/807/808/809/810/811/812/813/814/815/816/817/818/819/820/821/822/823/824/825/826/827/828/829/830/831/832/833/834/835/836/837/838/839/840/841/842/843/844/845/846/847/848/849/850/851/852/853/854/855/856/857/858/859/860/861/862/863/864/865/866/867/868/869/870/871/872/873/874/875/876/877/878/879/880/881/882/883/884/885/886/887/888/889/890/891/892/893/894/895/896/897/898/899/900/901/902/903/904/905/906/907/908/909/910/911/912/913/914/915/916/917/918/919/920/921/922/923/924/925/926/927/928/929/930/931/932/933/934/935/936/937/938/939/940/941/942/943/944/945/946/947/948/949/950/951/952/953/954/955/956/957/958/959/960/961/962/963/964/965/966/967/968/969/970/971/972/973/974/975/976/977/978/979/980/981/982/983/984/985/986/987/988/989/990/991/992/993/994/995/996/997/998/999/1000/1001/1002/1003/1004/1005/1006/1007/1008/1009/1010/1011/1012/1013/1014/1015/1016/1017/1018/1019/1020/1021/1022/1023/1024/1025/1026/1027/1028/1029/1030/1031/1032/1033/1034/1035/1036/1037/1038/1039/1040/1041/1042/1043/1044/1045/1046/1047/1048/1049/1050/1051/1052/1053/1054/1055/1056/1057/1058/1059/1060/1061/1062/1063/1064/1065/1066/1067/1068/1069/1070/1071/1072/1073/1074/1075/1076/1077/1078/1079/1080/1081/1082/1083/1084/1085/1086/1087/1088/1089/1090/1091/1092/1093/1094/1095/1096/1097/1098/1099/1100/1101/1102/1103/1104/1105/1106/1107/1108/1109/1110/1111/1112/1113/1114/1115/1116/1117/1118/1119/1120/1121/1122/1123/1124/1125/1126/1127/1128/1129/1130/1131/1132/1133/1134/1135/1136/1137/1138/1139/1140/1141/1142/1143/1144/1145/1146/1147/1148/1149/1150/1151/1152/1153/1154/1155/1156/1157/1158/1159/1160/1161/1162/1163/1164/1165/1166/1167/1168/1169/1170/1171/1172/1173/1174/1175/1176/1177/1178/1179/1180/1181/1182/1183/1184/1185/1186/1187/1188/1189/1190/1191/1192/1193/1194/1195/1196/1197/1198/1199/1200/1201/1202/1203/1204/1205/1206/1207/1208/1209/1210/1211/1212/1213/1214/1215/1216/1217/1218/1219/1220/1221/1222/1223/1224/1225/1226/1227/1228/1229/1230/1231/1232/1233/1234/1235/1236/1237/1238/1239/1240/1241/1242/1243/1244/1245/1246/1247/1248/1249/1250/1251/1252/1253/1254/1255/1256/1257/1258/1259/1260/1261/1262/1263/1264/1265/1266/1267/1268/1269/1270/1271/1272/1273/1274/1275/1276/1277/1278/1279/1280/1281/1282/1283/1284/1285/1286/1287/1288/1289/1290/1291/1292/1293/1294/1295/1296/1297/1298/1299/1300/1301/1302/1303/1304/1305/1306/1307/1308/1309/1310/1311/1312/1313/1314/1315/1316/1317/1318/1319/1320/1321/1322/1323/1324/1325/1326/1327/1328/1329/1330/1331/1332/1333/1334/1335/1336/1337/1338/1339/1340/1341/1342/1343/1344/1345/1346/1347/1348/1349/1350/1351/1352/1353/1354/1355/1356/1357/1358/1359/1360/1361/1362/1363/1364/1365/1366/1367/1368/1369/1370/1371/1372/1373/1374/1375/1376/1377/1378/1379/1380/1381/1382/1383/1384/1385/1386/1387/1388/1389/1390/1391/1392/1393/1394/1395/1396/1397/1398/1399/1400/1401/1402/1403/1404/1405/1406/1407/1408/1409/1410/1411/1412/1413/1414/1415/1416/1417/1418/1419/1420/1421/1422/1423/1424/1425/1426/1427/1428/1429/1430/1431/1432/1433/1434/1435/1436/1437/1438/1439/1440/1441/1442/1443/1444/1445/1446/1447/1448/1449/1450/1451/1452/1453/1454/1455/1456/1457/1458/1459/1460/1461/1462/1463/1464/1465/1466/1467/1468/1469/1470/1471/1472/1473/1474/1475/1476/1477/1478/1479/1480/1481/1482/1483/1484/1485/1486/1487/1488/1489/1490/1491/1492/1493/1494/1495/1496/1497/1498/1499/1500/1501/1502/1503/1504/1505/1506/1507/1508/1509/1510/1511/1512/1513/1514/1515/1516/1517/1518/1519/1520/1521/1522/1523/1524/1525/1526/1527/1528/1529/1530/1531/1532/1533/1534/1535/1536/1537/1538/1539/1540/1541/1542/1543/1544/1545/1546/1547/1548/1549/1550/1551/1552/1553/1554/1555/1556/1557/1558/1559/1560/1561/1562/1563/1564/1565/1566/1567/1568/1569/1570/1571/1572/1573/1574/1575/1576/1577/1578/1579/1580/1581/1582/1583/1584/1585/1586/1587/1588/1589/1590/1591/1592/1593/1594/1595/1596/1597/1598/1599/1600/1601/1602/1603/1604/1605/1606/1607/1608/1609/1610/1611/1612/1613/1614/1615/1616/1617/1618/1619/1620/1621/1622/1623/1624/1625/1626/1627/1628/1629/1630/1631/1632/1633/1634/1635/1636/1637/1638/1639/1640/1641/1642/1643/1644/1645/1646/1647/1648/1649/1650/1651/1652/1653/1654/1655/1656/1657/1658/1659/1660/1661/1662/1663/1664/1665/1666/1667/1668/1669/1670/1671/1672/1673/1674/1675/1676/1677/1678/1679/1680/1681/1682/1683/1684/1685/1686/1687/1688/1689/1690/1691/1692/1693/1694/1695/1696/1697/1698/1699/1700/1701/1702/1703/1704/1705/1706/1707/1708/1709/1710/1711/1712/1713/1714/1715/1716/1717/1718/1719/1720/1721/1722/1723/1724/1725/1726/1727/1728/1729/1730/1731/1732/1733/1734/1735/1736/1737/1738/1739/1740/1741/1742/1743/1744/1745/1746/1747/1748/1749/1750/1751/1752/1753/1754/1755/1756/1757/1758/1759/1760/1761/1762/1763/1764/1765/1766/1767/1768/1769/1770/1771/1772/1773/1774/1775/1776/1777/1778/1779/1780/1781/1782/1783/1784/1785/1786/1787/1788/1789/1790/1791/1792/1793/1794/1795/1796/1797/1798/1799/1800/1801/1802/1803/1804/1805/1806/1807/1808/1809/1810/1811/1812/1813/1814/1815/1816/1817/1818/1819/1820/1821/1822/1823/1824/1825/1826/1827/1828/1829/1830/1831/1832/1833/1834/1835/1836/1837/1838/1839/1840/1841/1842/1843/1844/1845/1846/1847/1848/1849/1850/1851/1852/1853/1854/1855/1856/1857/1858/1859/1860/1861/1862/1863/1864/1865/1866/1867/1868/1869/1870/1871/1872/1873/1874/1875/1876/1877/1878/1879/1880/1881/1882/1883/1884/1885/1886/1887/1888/1889/1890/1891/1892/1893/1894/1895/1896/1897/1898/1899/1900/1901/1902/1903/1904/1905/1906/1907/1908/1909/1910/1911/1912/1913/1914/1915/1916/1917/1918/1919/1920/1921/1922/1923/1924/1925/1926/1927/1928/1929/1930/1931/1932/1933/1934/1935/1936/1937/1938/1939/1940/1941/1942/1943/1944/1945/1946/1947/1948/1949/1950/1951/1952/1953/1954/1955/1956/1957/1958/1959/1960/1961/1962/1963/1964/1965/1966/1967/1968/1969/1970/1971/1972/1973/1974/1975/1976/1977/1978/1979/1980/1981/1982/1983/1984/1985/1986/1987/1988/1989/1990/1991/1992/1993/1994/1995/1996/1997/1998/1999/2000/2001/2002/2003/2004/2005/2006/2007/2008/2009/2010/2011/2012/2013/2014/2015/2016/2017/2018/2019/2020/2021/2022/2023/2024/2025/2026/2027/2028/2029/2030/2031/2032/2033/2034/2035/2036/2037/2038/2039/2040/2041/2042/2043/2044/2045/2046/2047/2048/2049/2050/2051/2052/2053/2054/2055/2056/2057/2058/2059/2060/2061/2062/2063/2064/2065/2066/2067/2068/2069/2070/2071/2072/2073/2074/2075/2076/2077/2078/2079/2080/2081/2082/2083/2084/2085/2086/2087/2088/2089/2090/2091/2092/2093/2094/2095/2096/2097/2098/2099/2100/2101/2102/2103/2104/2105/2106/2107/2108/2109/2110/2111/2112/2113/2114/2115/2116/2117/2118/2119/2120/2121/2122/2123/2124/2125/2126/2127/2128/2129/2130/2131/2132/2133/2134/2135/2136/2137/2138/2139/2140/2141/2142/2143/2144/2145/2146/2147/2148/2149/2150/2151/2152/2153/2154/2155/2156/2157/2158/2159/2160/2161/2162/2163/2164/2165/2166/2167/2168/2169/2170/2171/2172/2173/2174/2175/2176/2177/2178/2179/2180/2181/2182/2183/2184/2185/2186/2187/2188/2189/2190/2191/2192/2193/2194/2195/2196/2197/2198/2199/2200/2201/2202/2203/2204/2205/2206/2207/2208/2209/2210/2211/2212/2213/2214/2215/2216/2217/2218/2219/2220/2221/2222/2223/2224/2225/2226/2227/2228/2229/2230/2231/2232/2233/2234/2235/2236/2237/2238/2239/2240/2241/2242/2243/2244/2245/2246/2247/2248/2249/2250/2251/2252/2253/2254/2255/2256/2257/2258/2259/2260/2261/2262/2263/2264/2265/2266/2267/2268/2269/2270/2271/2272/2273/2274/2275/2276/2277/2278/2279/2280/2281/2282/2283/2284/2285/2286/2287/2288/2289/2290/2291/2292/2293/2294/2295/2296/2297/2298/2299/2300/2301/2302

RD00	81	0		
RD01	80	0		
RD02	82	0		
GPIO				
GPIO1	3	10	High-impedance general purpose I/O port and output	
GPIO2	27	10		
GPIO3	29	10		
GPIO4	84	0	Memory strobe	
GPIO5	8	0	Memory strobe	
Serial port				
TART_TX	69	1	Data transmit enable	
TART_RX	85	0	Receiver enable	
TART_CD	70	0	Data carrier detect	
CTS	34	0	Request to send	If these pins are tri-stated, keep open.
RTS	35	1	Clear to send	
DTR	32	0	Data terminal ready	
RXD	31	1	Receive data	
Relay/Relay driver				
YR01	7	1		If these pins are tri-stated, keep open.
YR02	28	10	Relay and driver enable	
YR03	29	10		
ADC				
ADC	20	1	ADC general enable to digital converter	If these pins are tri-stated, keep open.
PWM				
PWM	24	0	Enable PWM controller	If these pins are tri-stated, keep open.
IC				
IC1	25	10	IC controller clock	Must connect to GND
IC2	24	0	IC controller clock	
ICM controller				
ICM	30	0	Always enable for ICM control. Support 1.2V or 3V ICM clock	All signals of ICM must be driven by ground system IC2 with a 75-ohm strap.
ICM_DATA	34	10	ICM data strobe/output	
ICM_CLK	35	0	ICM clock	
ICM_RST	32	0	ICM reset	
ICM_IRQ	31	1	ICM interrupt	Use external interrupt.
External interface				
EXT	40	10	External ICM control	
EXT_AIC_F	37	1	External ICM control for FM	
EXT_AIC_H	37	1	External ICM control for FM	

RF_BUS1	5	0	Synchronizing signal of RF	
Other				
RESET	49	1	Reset input (Active low)	
ISINK1	46	1	Drive keypad backlight	
ISINK2	47	1	Drive LCD backlight	
NC				
NC	36			

3.3. Package Dimensions



SCALE: 4X

Figure 3: Dimensions of STM32F030R8T6 (Unit: mm)

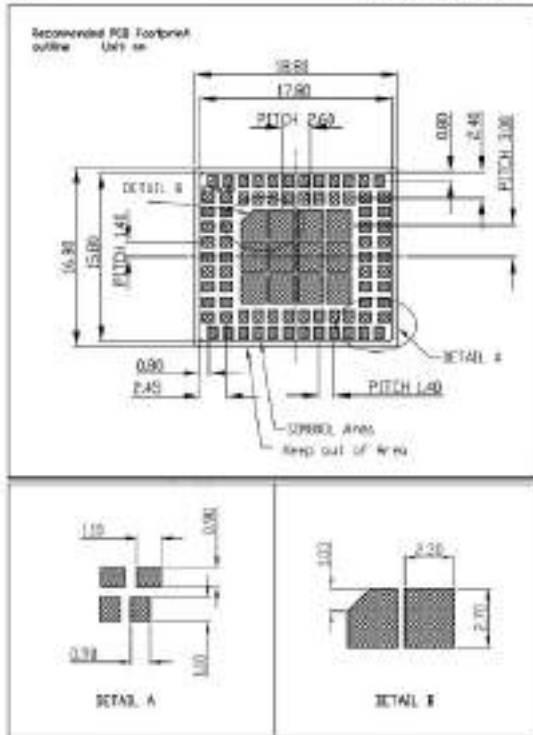


Figure 4: Recommended PCB footprint outline (Unit: mm)

Anexo I: Código del nodo de adquisición

```

#include <Wire.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
#include <OneWire.h>
#include <DallasTemperature.h>
#define I2C_ADDR 0x27
LiquidCrystal_I2C lcd(I2C_ADDR, 2, 1, 0, 4, 2, 4, 7);
OneWire oneWire(5);
String INFO[10], DATOS[20];
float tempagua, temperatur;
int ledon=13, ledtx=13, 1;
int ph_pin = A2;
int a_4 = A3;
int a_7 = A5;
float PH, EC;
float voltage;
#define DS18B20Pin B0
#define VREF 5.0
#define SCOUNT 30
int analogBuffer[SCOUNT];
int analogBufferIndex = 0, copyIndex = 0;
float averageVoltage = 0, tdsValue = 1, temperature = 25;
DallasTemperature sensors(oneWire);
DeviceAddress address1 = {0x18, 0x50, 0x7A, 0x77, 0x41, 0x00, 0x02, 0x00};
DeviceAddress address2 = {0x18, 0x50, 0x7A, 0x77, 0x41, 0x01, 0x02, 0x00};
void setup() {
  Serial.begin(115200);
  Serial1.begin(9600);
  pinMode(DS18B20Pin, INPUT);
  pinMode(ledon, OUTPUT);
  pinMode(ledtx, OUTPUT);
  sensors.begin();
  lcd.begin(20, 4);
  lcd.setCursor(0, 1);
  lcd.setBacklight(HIGH);
  lcd.setCursor(4, 2);
  lcd.print(tempagua, 2);
  lcd.setCursor(10, 2);
  lcd.print("AMB: ");
  lcd.setCursor(14, 2);
  lcd.print(temperature, 2);
  lcd.setCursor(0, 3);
  lcd.print("EC: ");
  lcd.setCursor(4, 3);
  lcd.print(EC, 3);
  lcd.setCursor(10, 2);
  lcd.print("V: ");
  lcd.setCursor(13, 3);
  lcd.print(voltage);
  delay(100);
}

void DATOS[4] {
  digitalWrite(ledtx, LOW);
  INFO[0] = "a";
  INFO[0] += PH;
  if (INFO[0].length() == 4)
  {
    INFO[0] = "a";
    INFO[0] += PH;
  }

  if (INFO[0].length() == 3)
  {
    INFO[0] = "a";
    INFO[0] += PH;
  }

  if (INFO[0].length() == 4)
  {
}

void loop() {
  digitalWrite(ledon, HIGH);
  digitalWrite(ledtx, HIGH);
  int sensorValue = analogRead(A1);
  voltage = sensorValue * (18.5 / 1023.0);
  Serial.println(voltage);
  sensorTds();
  sensorph();
  temperatur();
  pantalla();
  DATOS();
}

void pantalla()
{
  lcd.clear();
  lcd.setCursor(5, 0);
  lcd.print("AEROPONIA");
  lcd.setCursor(0, 1);
  lcd.print("PH:");
  lcd.setCursor(3, 1);
  lcd.print(PH, 2);
  lcd.setCursor(10, 1);
  lcd.print("IDS:");
  lcd.setCursor(14, 1);
  lcd.print(tdsValue, 2);
  lcd.setCursor(0, 2);
  lcd.print("AG:");
  lcd.setCursor(4, 2);
  lcd.print(tempagua, 2);
  lcd.setCursor(10, 2);
  INFO[0] = "a";
  INFO[0] += PH;
  if (INFO[0].length() == 4)
  {
    INFO[1] = "a";
    INFO[1] += tdsValue;
    if (INFO[1].length() == 4)
    {
      INFO[2] = "a";
      INFO[2] += tempagua;
      lcd.setCursor(14, 2);
      lcd.print("a");
      delay(100);
      INFO[3] = "a";
      INFO[3] += temperatur;
      INFO[3] += "a";
      INFO[3] += "a";
      INFO[3] += "a";
      INFO[3] += "a";
      INFO[3] += "a";
      INFO[3] += "a";
      INFO[3] += "a";
      INFO[3] += "a";
      INFO[3] += "a";
      INFO[3] += "a";
      INFO[3] += "a";
      INFO[3] += "a";
      Serial.println(INFO[3]);
      Serial1.println(INFO[3]);
      INFO[3] = "a";
      delay(100);
    }
  }
}

void serial()
{
  Serial.print("PH: ");
  Serial.print(PH);
  Serial.print(" IDS: ");
  Serial.print(tdsValue);
  Serial.print(" Temp Agua: ");
  Serial.print(tempagua);
  Serial.print(" Temp Ambiente: ");
  Serial.print(temperature);
}

```





**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE
CHIMBORAZO**



**DIRECCIÓN DE BIBLIOTECAS Y RECURSOS
PARA EL APRENDIZAJE Y LA INVESTIGACIÓN**

UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS
REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 01 / 02 / 2021

INFORMACIÓN DE LA AUTORA	
Nombres – Apellidos: ALEXANDRA MARITZA PARREÑO OCAÑA	
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL	
Facultad: INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA	
Carrera: INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN TELECOMUNICACIONES Y REDES	
Título a optar: INGENIERA EN ELECTRÓNICA, TELECOMUNICACIONES Y REDES	
f. Analista de Biblioteca responsable:	 TÍTULO ELECTRÓNICO DEL: ELIZABETH FERNANDA AREVALO MEDINA

