

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE



FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y REDES

DE COMUNICACIÓN

**IPV6 EN UNA RED WSN PARA EL MONITOREO REMOTO DE
CULTIVOS EN LA GRANJA LA PRADERA DE LA UNIVERSIDAD
TÉCNICA DEL NORTE.**

AUTOR: EDISON ORLANDO TAMBACO SUÁREZ

DIRECTOR: MSc. EDGAR ALBERTO MAYA OLALLA

Ibarra, 2015


CERTIFICACIÓN

CERTIFICACIÓN

Barra, 08 de febrero del 2017

Señor:
UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
Presente

Certifico que la Tesis **"IPV6 EN UNA RED WSN PARA EL MONITOREO REMOTO DE CULTIVOS EN LA GRANJA LA PRADERA DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE"** ha sido realizada en su totalidad por el señor: EDISON ORLANDO TAMBACO SUÁREZ portador de la cédula de identidad número: 1002837126.



MSc. Edgar Maya

Director de la Tesis



CERTIFICACIÓN

Ibarra, 06 de febrero del 2015

Señores
UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
Presente

De mis consideraciones.-

Siendo auspiciantes del proyecto de tesis del Egresado EDISON ORLANDO TAMBACO SUÁREZ con CI: 1002837126 quién desarrolló su trabajo con el tema **“IPV6 EN UNA RED WSN PARA EL MONITOREO REMOTO DE CULTIVOS EN LA GRANJA LA PRADERA DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE”**, me es grato informar que se han superado con satisfacción las pruebas técnicas y la revisión de cumplimiento de los requerimientos funcionales, por lo que se recibe el proyecto como culminado y realizado por parte del egresado EDISON ORLANDO TAMBACO SUÁREZ. Una vez que hemos recibido la capacitación y documentación respectiva, se demostró los beneficios brindados por el mencionado aplicativo para nuestra facultad.

El egresado EDISON ORLANDO TAMBACO SUÁREZ puede hacer uso de este documento para los fines pertinentes en la Universidad Técnica del Norte.

Atentamente,

Ing. Fausto Merino
Administrador de la granja “LA PRADERA”
FICAYA





UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

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

Yo, EDISON ORLANDO TAMBACO SUÁREZ, con cédula de identidad Nro. 1002837126, manifiesto mi voluntad de ceder a la Universidad Técnica del Norte los derechos patrimoniales consagrados en la ley de propiedad intelectual del Ecuador, artículo 4, 5 y 6, en calidad de autor del trabajo de grado denominado: **"IPV6 EN UNA RED WSN PARA EL MONITOREO REMOTO DE CULTIVOS EN LA GRANJA LA PRADERA DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE"**, que ha sido desarrollado para optar por el título de **Ingeniería en Electrónica y Redes de Comunicación**, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes mencionada, aclarando que el trabajo aquí descrito es de mi autoría y que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional.

En concordancia suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la biblioteca de la Universidad Técnica del Norte.

.....
Firma

Nombre: EDISON ORLANDO TAMBACO SUÁREZ

Cédula: 1002837126

Ibarra a los 5 días del mes de Febrero del 2015



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

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

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA.

La UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE dentro del proyecto Repositorio Digital Institucional determina la necesidad de disponer los textos completos de forma digital con la finalidad de apoyar los procesos de investigación, docencia y extensión de la Universidad. Por medio del presente documento dejo sentada mi voluntad de participar en este proyecto, para lo cual ponemos a disposición la siguiente investigación:

DATOS DE CONTACTO

| | |
|----------------------------|--|
| CÉDULA DE IDENTIDAD | 1002837126 |
| APELLIDOS Y NOMBRES | EDISON ORLANDO TAMBACO SUÁREZ |
| DIRECCIÓN | Atuntaqui – Imbabura |
| EMAIL | eddy140587@gmail.com |
| TELÉFONO FIJO | (06) 2 909 142 |
| TELÉFONO MÓVIL | 0993521609 |

DATOS DE LA OBRA

| | |
|-------------------------------|--|
| TÍTULO | “IPV6 EN UNA RED WSN PARA EL MONITOREO REMOTO DE CULTIVOS EN LA GRANJA LA PRADERA DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE” |
| AUTOR | EDISON ORLANDO TAMBACO SUÁREZ |
| FECHA | 05 DE FEBRERO DEL 2015 |
| PROGRAMA | PREGRADO |
| TÍTULO POR EL QUE OPTA | INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y REDES DE COMUNICACIÓN |
| DIRECTOR | MSc. EDGAR ALBERTO MAYA OLALLA |

2. AUTORIZACIÓN DE USO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD

Yo, EDISON ORLANDO TAMBACO SUÁREZ, con cédula de identidad Nro. 1002837126, en calidad de autor y titular de los derechos patrimoniales de la obra o trabajo de grado descrito anteriormente, hago entrega del ejemplar respectivo en forma digital y autorizo a la Universidad Técnica del Norte, la publicación de la obra en el Repositorio Digital Institucional y el uso del archivo digital en la biblioteca de la universidad con fines académicos, para ampliar la disponibilidad del material y como apoyo a la educación, investigación y extensión, en concordancia con la Ley de Educación Superior Artículo 144.

.....
 Firma

Nombre: EDISON ORLANDO TAMBACO SUÁREZ

Cédula: 1002837126

Ibarra a los 05 días del mes de febrero del 2015



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

CONSTANCIA

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

En la ciudad de Ibarra, Febrero de 2015

A handwritten signature in blue ink, appearing to read "Edison Orlando Tambaco Suárez".

EL AUTOR:

Tambaco Suárez Edison Orlando

C.I.: 1002837126

DEDICATORIA

A Dios, por permitirme llegar hasta este punto y haberme dado salud y sabiduría para lograr mis objetivos, además de su infinita bondad y amor.

El presente trabajo está dedicado a mi familia María Suárez, Manuel Tambaco y Oscar Tambaco, por brindarme su cariño y apoyo incondicional a lo largo de toda mi vida.

A cada uno de mis familiares y amigos que supieron creer en mí y siendo motivación para culminar esta meta propuesta.

AGRADECIMIENTO

La gratitud es un sentimiento de aprecio y agradecimiento por las bendiciones o los beneficios que hemos recibido, por tal razón mi total agradecimiento:

A la Universidad Técnica del Norte por acoger a jóvenes con anhelos de superación y transformarlos en profesionales de calidad.

Al MSc. Edgar Maya por compartir su conocimiento y brindar su apoyo para culminar el presente trabajo de grado, así mismo a todos los maestros con los que he tenido la oportunidad de ser receptor de sus enseñanzas y consejos.

A mi familia, amigos y compañeros, por su paciencia y comprensión en cada una de las etapas que ha conllevado mi crecimiento personal y profesional.

CONTENIDO

ÍNDICE GENERAL

| | |
|--|-------|
| ÍNDICE GENERAL | VIII |
| ÍNDICE DE FIGURAS | XIV |
| ÍNDICE DE TABLAS | XVII |
| RESUMEN | XVIII |
| ABSTRACT..... | XIX |
| PRESENTACIÓN | XX |
| CAPÍTULO I | i |
| ANTECEDENTES | i |
| 1.1. TEMA..... | 1 |
| 1.2. PROBLEMA | 1 |
| 1.3. OBJETIVOS..... | 2 |
| 1.3.1. Objetivo general..... | 2 |
| 1.3.2. Objetivos específicos | 2 |
| 1.4. ALCANCE | 3 |
| 1.5. JUSTIFICACIÓN..... | 5 |
| CAPÍTULO II..... | 8 |
| MARCO TEÓRICO | 8 |
| 2.1. RED DE SENSORES INALÁMBRICOS (WSN) | 8 |
| 2.1.1. Elementos de una WSN | 9 |
| 2.1.1.1. Nodo sensor | 11 |
| 2.1.1.2. Gateway | 17 |
| 2.1.1.3. Estación base | 18 |
| 2.1.1.4. Red inalámbrica | 19 |
| 2.1.2. Topología..... | 19 |

| | | |
|----------|---|----|
| 2.1.2.1. | Topología en estrella..... | 19 |
| 2.1.2.2. | Topología en malla | 20 |
| 2.1.2.3. | Topología híbrida malla-estrella..... | 22 |
| 2.1.3. | Aplicaciones | 23 |
| 2.2. | PROTOCOLO DE INTERNET VERSIÓN 6 (IPv6) | 24 |
| 2.2.1. | Cabecera | 27 |
| 2.2.1.1. | Cabecera fija | 27 |
| 2.2.1.2. | Cabeceras extendidas..... | 29 |
| 2.2.2. | Direccionamiento..... | 31 |
| 2.2.2.1. | Direcciones Unicast IPv6 | 32 |
| 2.2.2.2. | Direcciones Anycast IPv6..... | 36 |
| 2.2.2.3. | Direcciones Multicast IPv6..... | 37 |
| 2.2.3. | Métodos de transición IPv6/IPv4..... | 38 |
| 2.3. | IPV6 SOBRE REDES INALÁMBRICAS DE ÁREA PERSONAL DE BAJA POTENCIA (6LoWPAN)..... | 39 |
| 2.3.1. | Fragmentación y compresión..... | 41 |
| 2.3.2. | Protocolos de enrutamiento | 42 |
| 2.3.2.1. | RPL | 43 |
| 2.4. | SISTEMAS EMBEBIDOS O EMPOTRADOS | 44 |
| 2.4.1. | Hardware embebido..... | 46 |
| 2.4.2. | Sistemas Operativos embebidos | 47 |
| 2.5. | LA NUBE..... | 48 |
| 2.5.1. | Tipos de nubes | 49 |
| 2.5.2. | Modelos de servicio | 50 |
| 2.6. | SENSORES | 52 |
| 2.6.1. | Sensores utilizados en la agricultura..... | 52 |
| 2.7. | CULTIVOS DE CICLO CORTO | 53 |

| | | |
|---------------------------|---|----|
| 2.7.1. | Granja "La Pradera" | 54 |
| CAPÍTULO III..... | | 56 |
| DISEÑO DEL HARDWARE..... | | 56 |
| 3.1 | ARQUITECTURA..... | 56 |
| 3.1.1. | Descripción | 58 |
| 3.2 | DISEÑO DE LA WSN..... | 59 |
| 3.2.1. | Fuente de energía..... | 61 |
| 3.2.1.1. | Fuente DC | 61 |
| 3.2.1.2. | Fuente AC | 62 |
| 3.2.2. | Nodos sensores | 63 |
| 3.2.2.1. | Nodos sensores clientes | 67 |
| 3.2.2.2. | Nodo servidor | 76 |
| 3.2.3. | Gateway | 79 |
| 3.3 | UBICACIÓN DE LOS ELEMENTOS | 80 |
| 3.3.1. | Simulación con Radio Mobile | 81 |
| 3.4 | DIRECCIONAMIENTO..... | 86 |
| 3.4.1. | Direccionamiento de la WSN | 86 |
| 3.4.2. | Direccionamiento de la red La Pradera..... | 89 |
| CAPÍTULO IV | | 90 |
| DISEÑO DEL SOFTWARE | | 90 |
| 4.1. | SISTEMAS E INGENIERÍA DE SOFTWARE-ESPECIFICACIONES DE REQUERIMIENTOS DEL SOFTWARE BASADO EN EL ESTÁNDAR ISO/IEC/IEEE 29148-2011 | 91 |
| 4.1.1. | Introducción..... | 91 |
| 4.1.1.1. | Propósito | 91 |
| 4.1.1.2. | Alcance del producto | 91 |
| 4.1.1.3. | Visión general del producto..... | 92 |

| | | |
|----------|--|------------|
| 4.1.1.4. | Definiciones | 93 |
| 4.1.2. | Referencias | 93 |
| 4.1.3. | Requerimientos específicos | 94 |
| 4.1.3.1. | Interfaces externas | 94 |
| 4.1.3.2. | Funciones | 94 |
| 4.1.3.3. | Requerimientos de usabilidad..... | 98 |
| 4.1.3.4. | Requerimientos de rendimiento | 99 |
| 4.1.3.5. | Requerimientos de requisitos de base de datos lógica..... | 99 |
| 4.1.3.6. | Restricciones de diseño..... | 99 |
| 4.1.3.7. | Atributos del sistema de software..... | 99 |
| 4.1.3.8. | Información de apoyo | 99 |
| 4.1.4. | Verificación | 99 |
| 4.1.5. | Apéndices | 100 |
| 4.1.5.1. | Suposiciones y dependencias..... | 100 |
| 4.1.5.2. | Acrónimos y abreviaturas | 100 |
| 4.2. | SISTEMAS E INGENIERÍA DE SOFTWARE - DESCRIPCIÓN DE LA ARQUITECTURA DEL SOFTWARE BASADO EN EL ESTÁNDAR ISO/IEC/IEEE 42010-2011 | 101 |
| 4.2.1. | Introducción | 101 |
| 4.2.1.1. | Propósito | 101 |
| 4.2.1.2. | Alcance | 101 |
| 4.2.1.3. | Usuarios interesados | 101 |
| 4.2.1.4. | Recomendaciones de conformidad con esta práctica | 101 |
| 4.2.2. | Referencias | 101 |
| 4.2.3. | Abreviaturas, definiciones | 102 |
| 4.2.4. | Framework conceptual..... | 103 |
| 4.2.4.1. | Descripción de la arquitectura en concepto | 103 |

| | | |
|--|---|-----|
| 4.2.4.2. | Stakeholders y sus roles..... | 105 |
| 4.2.4.3. | Actividad de arquitectura en el ciclo de vida..... | 105 |
| 4.2.4.4. | Uso de las descripciones de arquitectura..... | 105 |
| 4.2.5. | Descripciones prácticas de arquitectura..... | 105 |
| 4.2.5.1. | Documentación de la arquitectura..... | 105 |
| 4.2.5.2. | Identificación de los Stakeholders y sus responsabilidades..... | 106 |
| 4.2.5.3. | Selección de los puntos de vista de la arquitectura..... | 106 |
| 4.2.5.4. | Vistas de arquitectura..... | 107 |
| 4.2.5.5. | Consistencia en la cantidad de vistas de la arquitectura..... | 112 |
| 4.2.5.6. | Arquitectura lógica..... | 113 |
| 4.2.5.7. | Ejemplo de uso..... | 114 |
| 4.2.5.8. | Detalle de la implementación..... | 114 |
| CAPÍTULO V..... | | 115 |
| PRUEBAS DE RESPALDO DEL DISEÑO Y ANÁLISIS COSTO-BENEFICIO..... | | 115 |
| 5.1. | PRUEBAS Y RESULTADOS..... | 115 |
| 5.1.1. | Nodos Sensores..... | 115 |
| 5.1.1.1. | Sensor de temperatura..... | 117 |
| 5.1.1.2. | Sensor de luminosidad..... | 118 |
| 5.1.1.3. | Sensor de humedad..... | 119 |
| 5.1.2. | Nodo Servidor..... | 120 |
| 5.1.3. | Gateway..... | 123 |
| 5.1.4. | Sistema de monitoreo..... | 124 |
| 5.1.4.1. | Acceso al sistema de monitoreo..... | 124 |
| 5.1.4.2. | Autenticación..... | 125 |
| 5.1.4.3. | Interfaz de monitoreo..... | 126 |
| 5.1.4.4. | Consulta historial..... | 127 |
| 5.1.4.1. | Alarmas..... | 128 |

| | | |
|---|-----------------------------------|-----|
| 5.2. | ANÁLISIS COSTO-BENEFICIO | 129 |
| 5.2.1. | Costo | 129 |
| 5.2.1.1. | Costo de equipos | 129 |
| 5.2.1.2. | Costo de infraestructura | 130 |
| 5.2.1.3. | Costo de ingeniería | 130 |
| 5.2.1.4. | Resumen | 131 |
| 5.2.2. | Beneficio | 131 |
| 5.2.3. | Calculo del Costo-Beneficio | 132 |
| CAPÍTULO VI | | 134 |
| CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | | 134 |
| 6.1. | CONCLUSIONES | 134 |
| 6.2. | RECOMENDACIONES | 136 |
| REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS | | 137 |
| LIBROS, RECURSOS BIBLIOGRÁFICOS EN LÍNEA Y TESIS..... | | 137 |
| GLOSARIO DE TÉRMINOS | | 142 |
| ANEXOS | | 145 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1. Elementos de una WSN..... | 10 |
| Figura 2. Arquitectura de un nodo sensor..... | 12 |
| Figura 3. Topología en estrella | 20 |
| Figura 4. Topología en mall..... | 21 |
| Figura 5. Topología híbrida estrella-malla | 22 |
| Figura 6. Cabecera IPv6..... | 27 |
| Figura 7. Cabeceras de extensión IPv6 | 29 |
| Figura 8. Estructura de las direcciones unicast globales | 33 |
| Figura 9. Estructura de las direcciones locales de enlace | 34 |
| Figura 10. Estructura de las direcciones locales de sitio | 35 |
| Figura 11. Formato direcciones multicast..... | 37 |
| Figura 12. Pila de protocolos IP y 6LoWPAN | 40 |
| Figura 13. Router de borde IPv6 con soporte 6LoWPAN..... | 41 |
| Figura 14. Ejemplo de un DODAG en RPL | 44 |
| Figura 15. Arquitectura de un sistema embebido | 45 |
| Figura 16. Mapa base de la granja La Granja La Pradera..... | 55 |
| Figura 17. Arquitectura del sistema..... | 57 |
| Figura 18. Topología de red tipo Mesh..... | 60 |
| Figura 19. Esquema de conexión de la fuente de energía DC al nodo sensor | 62 |
| Figura 20. Esquema de conexión de la fuente de energía AC al gateway | 63 |
| Figura 21. Nodo sensor o mote TelosB CM5000 | 66 |
| Figura 22. Funciones de los nodos sensores clientes..... | 67 |
| Figura 23. Sensores de luz Hamamatsu S1087/01, y de temperatura y humedad relativa Sensirion SHT11 | 68 |
| Figura 24. Modulo Sensor de Humedad del Suelo | 70 |

| | |
|--|-----|
| Figura 25. Área de cobertura de un nodo sensor multi-salto (color verde) | 75 |
| Figura 26. Funciones del nodo servidor..... | 76 |
| Figura 27. Tunel entre la WSN y la red TCP/IP | 77 |
| Figura 28. pcDuino Lite y sus partes | 78 |
| Figura 29. Representación gráfica de la Zona de Fresnel..... | 80 |
| Figura 30. Ingreso de las coordenadas de la granja La Pradera..... | 81 |
| Figura 31. Creación de los nodos..... | 81 |
| Figura 32. Creación de la red..... | 82 |
| Figura 33. Configuración de parámetros de los nodos | 83 |
| Figura 34. WSN simulada..... | 83 |
| Figura 35. Estado del enlace entre el Nodo Servidor y el Nodo Sensor 1 | 84 |
| Figura 36. Exportación de la WSN a Google Earth..... | 85 |
| Figura 37. Formato básico de las direcciones IPv6 | 86 |
| Figura 38. Asignación de direcciones IPv6 | 87 |
| Figura 39. Asignación de direcciones IPv6 en los nodos | 88 |
| Figura 40. Direccionamiento y segmentación IPv4..... | 89 |
| Figura 41. Flujograma de inicio de sesión..... | 94 |
| Figura 42. Flujograma de Visualización de datos..... | 95 |
| Figura 43. Flujograma de Adquisición del historial de datos | 96 |
| Figura 44. Flujograma de Generación de alarmas | 97 |
| Figura 45. Arquitectura del sistema de monitoreo..... | 105 |
| Figura 46. Diagrama clases..... | 108 |
| Figura 47. Diagrama monitoreo local | 109 |
| Figura 48. Diagrama monitoreo remoto | 109 |
| Figura 49. Diagrama componentes | 110 |
| Figura 50. Diagrama despliegue | 111 |
| Figura 51. Diagrama acceso al sistema..... | 112 |

| | |
|---|-----|
| Figura 52. Diagrama sistema de monitoreo local | 112 |
| Figura 53. Diagrama sistema de monitoreo remoto..... | 113 |
| Figura 54. Componentes de un nodo sensor debidamente conectados..... | 117 |
| Figura 55. Instalación del nodo sensor | 118 |
| Figura 56. Identificación del sensor de temperatura en un nodo sensor instalado | 119 |
| Figura 57. Identificación de los sensores de radiación solar en un nodo sensor | 119 |
| Figura 58. Identificación del sensor de humedad relativa en un nodo sensor | 120 |
| Figura 59. Sensor externo de humedad en un nodo sensor instalado | 121 |
| Figura 60. Nodo servidor instalado..... | 122 |
| Figura 61. Captura de datos enviados por la WSN/6LoWPAN al nodo servidor | 122 |
| Figura 62. Sniffer de paquetes IEEE 802.15.4/6LoWPAN | 123 |
| Figura 63. Paquetes capturados por el sniffer..... | 125 |
| Figura 64. Gateway instalado | 126 |
| Figura 65. Almacenamiento de los datos en la BDD..... | 126 |
| Figura 66. Interfaz de autenticación | 128 |
| Figura 67. Interfaz de monitoreo | 129 |
| Figura 68. Consulta de historial..... | 130 |
| Figura 69. Alarmas | 131 |

ÍNDICE TABLAS

| | |
|---|-----|
| Tabla 1. Comparación de las características IPv4 e IPv6 | 26 |
| Tabla 2. Tabla comparativa de nodos inalámbricos | 64 |
| Tabla 3. Características de los sensores Hamamatsu S1087/01 y Sensirion SHT11 | 70 |
| Tabla 4. Características de los componentes de la unidad de procesamiento del nodo sensor | 72 |
| Tabla 5. Características módulo wireless IEEE 802.15.4..... | 73 |
| Tabla 6. Coordenadas geográficas de los nodos | 86 |
| Tabla 7. Tabla de direccionamiento de la WSN | 89 |
| Tabla 8. Tabla de direccionamiento de la red La Pradera | 90 |
| Tabla 9. Tabla de características y limitaciones de usuario..... | 93 |
| Tabla 10. Tabla de caso de uso - Iniciar sesión | 94 |
| Tabla 11. Tabla de caso de uso – Visualización de datos..... | 95 |
| Tabla 12. Tabla de caso de uso – Adquisición del historial de datos | 96 |
| Tabla 13. Tabla de caso de uso – Generación de alarmas | 98 |
| Tabla 14. Tabla vista de arquitectura..... | 108 |
| Tabla 15. Tabla de componentes | 115 |
| Tabla 16. Costo de equipos..... | 133 |
| Tabla 17. Costo de infraestructura | 134 |
| Tabla 18. Costo de ingeniería | 135 |
| Tabla 19. Costo de inversión | 135 |
| Tabla 20. Beneficios estimados | 136 |
| Tabla 21. Cálculo del VAN, TIR, B/C y PRI | 137 |

RESUMEN

El presente proyecto consiste en aplicar el Protocolo de Internet versión 6 (IPv6) en una red de sensores inalámbricos (WSN), para el monitoreo remoto de cultivos de ciclo corto en la granja “La Pradera” de la Universidad Técnica del Norte, con el propósito de tener un monitoreo de los factores ambientales que afectan al cultivo.

El primer capítulo contiene la base teórica que establece los objetivos a alcanzar y delimita el alcance del proyecto.

El segundo capítulo contiene los fundamentos teóricos necesarios para el desarrollo del proyecto, se detallan los aspectos más importantes de las WSN, el estándar 6LoWPAN y un breve análisis de los cultivos de ciclo corto.

En el tercer capítulo se inicia con el diseño del hardware de la WSN, tomando en cuenta los requerimientos necesarios para lograr una correcta lectura de los factores ambientales establecidos con anterioridad, envío de los datos a través de la red 6LoWPAN y comunicación entre la WSN y el Gateway que procesará los datos recolectados.

En el cuarto capítulo se describe el proceso de diseño del software bajo especificaciones de requerimientos solicitados por el estándar ISO/IEC/IEEE 29148-2011, y la arquitectura de software basado en el estándar ISO/IEC/IEEE 42010-2011.

En el quinto capítulo se realiza las pruebas necesarias para respaldar el adecuado funcionamiento del hardware y software del proyecto, además de un breve análisis del costo beneficio y más parámetros que intervienen para determinar la factibilidad y viabilidad del proyecto. Finalmente en el sexto capítulo se detallan las conclusiones y recomendaciones obtenidas durante el diseño del presente trabajo de titulación.

ABSTRACT

This project involves the implement the Internet Protocol version 6 (IPv6) in a wireless sensor network (WSN), for remote monitoring of crops short-cycle on the farm “La Pradera” of the University Technical of the North, with the purpose of have a monitoring environmental factors that affect the crop.

The first chapter called history contains the base theoretical that sets the objectives to be achieved and defines the scope of the project.

The second chapter contains the fundamentals theoretical necessary for the development of the project, detailing the aspects most important of the WSN, the standard 6LoWPAN and a brief analysis of short-cycle crops.

The third chapter starts with the design of hardware of the WSN, establishing requirements necessary for a correct reading of factors environmental previously established, sending data through of the network 6LoWPAN and communication between the WSN and the Gateway that process the data collected.

In the fourth chapter described the design of software with specifications of requirements requested by the Standard ISO/IEC/IEEE 29148-2011, and software architecture based in the Standard ISO/IEC/IEEE 42010-2011.

In the fifth chapter is performed the test necessary for support the proper functioning of the hardware and software of the project, also a brief analysis of the cost benefit and more parameters involved for determine the feasibility and viability of the project. Finally, in the sixth chapter described the conclusions and recommendations obtained during the design of this study of titulation.

PRESENTACIÓN

En la actualidad el uso de direcciones IPv4 en nuevos proyectos es algo que se está delimitando, puesto que el desarrollo tecnológico nos facilita un nuevo estándar llamado IPv6. Una de las características principales de este nuevo estándar es el inmenso número de direcciones a disposición, por tal motivo, ahora se habla del internet de las cosas (IoT), que consiste en asignar direcciones a dispositivos electrónicos y establecer una comunicación entre ellos y el usuario.

Con el propósito de aprovechar el uso de IPv6 y el concepto de IoT sea diseñada una red inalámbrica de sensores (WSN) que se comunica bajo el estándar 6LoWPAN y tiene como función monitorear a través de nodos sensores ciertos factores ambientales como temperatura, humedad y luminosidad.

El trabajar con redes inalámbricas de sensores es beneficioso debido a sus costos accesibles, mantenimiento económico y bajo consumo de potencia, siendo este último la característica que permite tener una red escalable, dado que los nodos sensores pueden ser alimentados con energías verdes (paneles solares) y así monitorear mayores áreas.

Contar con un monitoreo en tiempo real de los factores ambientales permite al administrador de los cultivos tener información real y confiable como base para toma de decisiones, posiblemente para programar un riego controlado, prever una aparición de una plaga o simplemente para entender el comportamiento del medio ambiente que lo rodea; el beneficio crece aún más si se aprovecha la existencia de plataformas PAAS que permite visualizar estos datos recolectados desde cualquier dispositivo inteligente con acceso a Internet mediante un navegador web.

CAPÍTULO I

ANTECEDENTES

1.1 TEMA

IPv6 en una red WSN para el monitoreo remoto de cultivos en la granja la Pradera de la Universidad Técnica del Norte.

1.2 PROBLEMA

En la granja La Pradera de la Universidad Técnica del Norte se alberga la carrera de Ingeniería Agropecuaria la cual entre sus competencias se encarga del desarrollo agrícola de la granja y para lograr esto es necesario mantener un monitoreo de factores ambientales que intervienen en el proceso de madurez de los cultivos, el cual se lo ha venido realizando de forma manual, escasa y poco exacta, ya que se maneja solamente antecedentes anuales (basado en los meses de invierno, verano y ciclos de la luna), esto los conlleva a trabajar en base a datos poco correctos, puesto que en los últimos años el cambio climático en el país y nuestra región ha dejado impactos considerables, dejando casi obsoleto el trabajar en base a antecedentes anuales; por otra parte, este proceso al ser realizado de forma eventual y manual, permite que se creen registros con información errónea, ya sea por no contar con instrumentos de medición necesarios, cambios climáticos repentinos o simplemente no haya quien realice estos registros.

Actualmente la granja La Pradera no cuenta con algún método o sistema de monitoreo remoto que permita conocer datos referentes a la humedad, temperatura, luminosidad u otros factores ambientales y que cree registros de forma automática y exacta, es decir, obtener registros que sean creados las 24 horas del día y con datos reales tomados por sensores de última generación.

Al contar con un sistema de monitoreo que usa una red inalámbrica de sensores (WSN) nos permitirá observar datos en tiempo real de las mediciones de humedad, temperatura y luminosidad de cada nodo (punto donde está ubicado uno o más sensores) mediante un navegador WEB ya sea de forma local o desde cualquier sitio con acceso a internet, además de llevar un ordenado y real registro de datos obtenidos por el nodo en forma continua y con intervalos de tiempo administrables.

Al ser limitado y referencial el monitoreo de los cultivos de la granja, conlleva a depender de la información entregada por el encargado de recolectar estos datos, que en muchos casos no es completamente real, es por ello que la granja La Pradera debe optar por alguna solución como la de un sistema de monitoreo remoto que usa una red de sensores inalámbricos y nos permitirá conocer los niveles y cambios de la humedad, temperatura y luminosidad que experimenta el área agrícola de la granja en tiempo real, además, optimizar el proceso de registro en una base de datos para inmediatas o futuras toma de decisiones estratégicas para mantener un nivel óptimo de cultivos.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 OBJETIVO GENERAL

Diseñar un sistema de monitoreo remoto de cultivos mediante una WSN con IPv6, que obtendrán información de parámetros ambientales predefinidos del área de cultivos de la granja La Pradera de la Universidad Técnica del Norte.

1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Recopilar datos necesarios que nos permitan familiarizarnos con el entorno de trabajo en el que desarrollará nuestro diseño, datos como sitios óptimos para la ubicación de los nodos basado en las condiciones del terreno y distribución de los cultivos ubicados dentro del área de monitoreo preestablecida.
- Establecer fundamentos sobre las redes de sensores inalámbricos, protocolos, hardware, software y más aspectos necesarios e involucrados en el monitoreo.
- Diseñar el hardware del sistema de monitoreo remoto de cultivos usando una red de sensores inalámbricos basados en IPv6.

- Diseñar el software del sistema de monitoreo remoto con herramientas web adecuadas para la visualización de los datos obtenidos por la red de sensores inalámbricos.
- Realizar pruebas de funcionamiento, tanto del software como del hardware involucrado en el desarrollo del diseño.

1.4 ALCANCE

En el desarrollo de la WSN para el monitoreo remoto de cultivos para la granja La Pradera de la Universidad Técnica del Norte se establecerán dos etapas principales; la primera es el monitoreo local y remoto de la humedad, temperatura y luminosidad de los terrenos con cultivos de ciclo corto mediante el uso de una red de sensores inalámbricos que interactúan con un servidor web montado en cada uno de los nodos para permitir su visualización desde cualquier sitio con acceso a internet, y la segunda es el registro y almacenamiento automático de los datos recolectados por cada uno de los nodos de forma continua en una base de datos.

El proyecto se realizará usando un nodo coordinador FFD (Full Function Device) y dos nodos recolectores RFD (Reduced Function Device) para crear una WSN (Wireless Sensor Network) basada en el protocolo 6LoWPAN del estándar IEEE 802.15.4, los cuales se comunicarán durante intervalos de tiempos administrables y cada uno de los nodos RFD recolectará información proveniente de los sensores instalados en el terreno (Los nodos RFD contarán con baterías y una fuente de alimentación basada en un panel solar), esta información será replicada al nodo FFD vía radio frecuencia a 2.4Ghz en la banda ISM

(Industry Scientific Medic) con una tasa de transferencia aproximada de 20Kbps a 250Kbps, esta información recibida por el nodo FDD será procesada y transferida a un equipo terminal permitiéndole interactuar con un servidor web y una base de datos.

Cada uno de los nodos RFD contendrán configuraciones necesarias que les permitirá extraer los datos de humedad, temperatura y luminosidad de cada uno de los sensores; estos nodos al trabajar bajo el estándar IEEE 802.15.4 permitirán la implementación del stack IPv6 sobre las capas PHY y subcapa MAC, para que cualquier dispositivo que lo utilice pueda ser accedido localmente o desde Internet, siendo esto posible gracias a el protocolo 6lowPAN que utiliza técnicas de compresión para disminuir el tamaño de la cabecera y agregar una capa de adaptación que permite que trabajen de forma conjunta 802.15.4 y las comunicaciones de IPv6. Todo el proceso descrito anteriormente permitirá el intercambio de información de los nodos RFD hacia el nodo FFD, este último nodo contendrá una configuración distinta por tratarse de un router de borde, siendo quien nos permitirá una comunicación entre la WSN (IPv6) y el equipo terminal (Gateway) para poder interactuar con la internet (IPv4) mediante una herramienta de adaptación como son los túneles (Encapsulamiento de paquetes IPv6 dentro de paquetes IPv4 para enviar estos paquetes encapsulados sobre una red IPv4), las configuraciones contenidas en los nodos se las realizará mediante el software más adecuado y compatible con el hardware de los nodos.

El equipo terminal se conectará al nodo FFD vía USB para receptar la información recolectada por la WSN, este equipo a la vez funcionará como gateway y proxy para poder interactuar con herramientas de desarrollo alojadas en la nube (Servicios remotos accedidos a través de la Internet), donde podremos albergar nuestro servidor web y base

de datos con el fin de desarrollar un aplicativo que permita acceder desde cualquier lugar con acceso a internet mediante el uso de un navegador web y una previa autenticación de usuario.

Una vez terminado el diseño se realizará un plan de direccionamiento y un plan de monitoreo, además de pruebas de funcionamiento de todo el hardware y software involucrado en el mismo, el área de cultivos que cubrirá nuestro diseño en el monitoreo será de aproximadamente 75m², ubicados en el sector sur-central de la granja y donde se practica la siembra de distintos cultivos de ciclo corto, de los resultados obtenidos se hará un análisis de funcionamiento para respaldar el correcto cumplimiento del alcance planteado; finalmente se desarrollarán políticas de uso de la red de monitoreo y adecuación necesaria del enlace a internet que posee la granja, a fin de garantizar que el proyecto funcionará sin inconvenientes.

1.5 JUSTIFICACIÓN

El monitoreo remoto de cultivos permite visualizar y conocer de manera exacta, en tiempo real y en cualquier momento los niveles de humedad, temperatura y luminosidad que afecta al área monitoreada, independientemente de si nos encontramos en la granja, el campus principal de la UTN o cualquier otro lugar que tenga acceso a internet, por tal motivo, se facilita llevar un registro automático, digital y continuo de los factores ya antes mencionados, y ante eventos ambientales inesperados poder tomar acciones oportunas para evitar que afecten de mayor manera a los cultivos.

Se optó por realizar el monitoreo usando una red de sensores inalámbricos que usan el protocolo 6LoWPAN del estándar IEEE 802.15.4 por motivos de movilidad al ser inalámbricos, bajo consumo de energía, frecuencia de operación de 2.4Ghz no licenciada, velocidad de transmisión de 20 a 250 kbps suficientes para nuestro propósito e incursionar en el manejo de direccionamiento IPv6 y el internet de las cosas que actualmente las redes de última generación están optando (M2M), por otro lado, estos módulos poseen un reducido tamaño, costo asequible y flexibilidad si se desea agregar nuevas funcionalidades de monitoreo posteriormente y capaz de usar fuentes de energía verde (Panel solar).

Para la recepción de la información enviada por los nodos RFD se receptorá por el nodo FFD, el mismo que estará conectado a un equipo terminal que interactuará con un servidor web y una base de datos montados sobre una plataforma en la nube, así aprovecharemos los beneficios que brinda el trabajar en la nube y a su vez en entornos libres (por ejemplo licencias libres, acceso al código fuente, entre otras), que permitirá adecuar la aplicación a nuestras necesidades reales.

De esta forma al implementar IPv6 en una WSN para el monitoreo remoto de cultivos aportará significativamente proceso de innovación tecnológica y explotación de las TICs en ámbitos educativos, además, seremos amigables con el ambiente, ya que al crearse los registros de rutas de forma automática ya no necesitaremos plasmar nada en papel y finalmente ahorraremos recursos económicos y humanos, dado que una sola persona podrá llevar monitoreo de la humedad, temperatura y luminosidad en cualquier momento y desde cualquier lugar de forma automática, fácil y rápida; todo esto con la posibilidad de contar con una base de datos de registros de eventos ambientales reales, los mismo que podrán

usarse como herramienta de análisis para estudios de viabilidad y factibilidad al momento realizar cultivos.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

En este capítulo vamos a conocer lo que es una red inalámbrica de sensores (WSN¹) con sus características, elementos que la conforman, topologías y aplicaciones, además trataremos puntos importantes acerca del protocolo IP en su versión 6 (IPv6²), su cabecera, direccionamiento y métodos de transición IPv4³ a IPv6, seguidamente entraremos en uno de los puntos principales de nuestro proyecto como lo es el estándar 6LoWPAN⁴, sus características, arquitectura y métodos de fragmentación y compresión; además entenderemos como están formado los sistemas embebidos en su hardware y software; posteriormente analizaremos temas acerca de la nube (cloud computing), sus tipos y niveles de servicios. Finalmente estudiaremos los sensores utilizados en la agricultura y detalles necesarios de los cultivos de ciclo corto que son los que pretendemos monitorear.

¹ WSN: Wireless Sensor Network.

² IPv6: Internet Protocol version 6.

³ IPv4: Internet Protocol version 4

⁴ 6LoWPAN: IPv6 over Low power Wireless Personal Area Networks.

2.1 REDES INALÁMBRICAS DE SENSORES (WSN)

Hoy en día los diferentes tipos de redes inalámbricas nos brindan grandes beneficios al momento de comunicar terminales que se encuentran distantes, una de esas redes son las WSN, las cuales se caracterizan por ser redes flexibles, escalables, brindar movilidad, bajo coste de instalación y consumo de potencia, esas mismas características son las que la hacen una herramienta poderosa en el momento de trabajar en temas de monitoreo industrial, agrícola, ambiental, seguridad y más.

Molina (2010), nos explica lo que viene a ser una WSN:

Una red de sensores inalámbricos o WSN (Wireless Sensor Network) es una red inalámbrica de dispositivos de censado. Las WSN son sistemas distribuidos constituidos por dispositivos de bajo consumo de energía, con capacidades de censado y comunicación. Los dispositivos que conforman dichas redes se les denominan nodos sensores o motas (motes) y están limitados en su capacidad computacional y de comunicación. Sin embargo trabajan de forma colaborativa para llevar la información de un punto a otro de la red transmitiendo pequeños mensajes de un nodo a otro. (p. 369)

Concordando con la mención anterior podemos decir que una WSN está conformada por pequeños dispositivos que contienen distintas capacidades de procesamiento, sensitiva y una comunicación de tipo inalámbrica, esto con el fin de recolectar información del entorno en donde se encuentran, para luego esta misma información procesarla y retransmitirla hacia otros dispositivos de iguales o similares características mediante un protocolo de encaminamiento adecuado.

2.1.1 ELEMENTOS DE UNA WSN

Una red de sensores inalámbricos típicamente está conformado por cuatro elementos fundamentales como son:

- Nodos sensores
- Gateway
- Estación base
- Red inalámbrica

Basándonos en los elementos ya mencionados podemos expresar gráficamente la estructura de la red como se muestra en la figura 1.

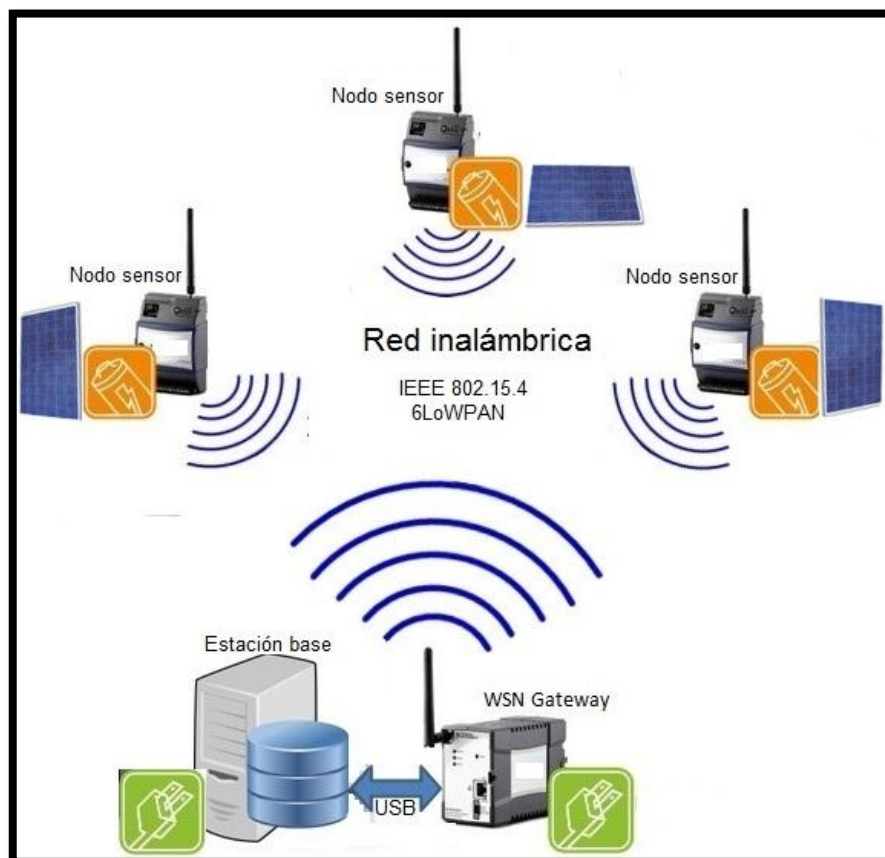


Figura 1. Elementos de una WSN

Fuente: Elementos de una WSN. Elaborado por el Autor

Cada uno de los elementos que conforman la WSN cumplen con funciones específicas que se detallaran más adelante, pero de forma general el desempeño de la WSN es realizar mediciones de determinados factores en el medio que se encuentre, procesar dicha información (Conversión Análogo/Digital), transmitirla de manera inalámbrica la información hacia un nodo central (Gateway) quien permite comunicar a la red con la estación base de mayores prestaciones de procesamiento y almacenamiento de información.

2.1.1.1 Nodo sensor

Fernández et al. (2009) se refiere a un nodo sensor como un nodo inalámbrico y a continuación nos da un breve concepto: “Los nodos inalámbricos se llaman motas, del inglés ‘mote’, por su ligereza y reducido tamaño. Son dispositivos electrónicos capaces de captar información proveniente del entorno en el que se encuentran, procesarla y transmitirla inalámbricamente hacia otro destinatario”. (p. 18)

Un nodo es un dispositivo electrónico que contiene una o varias unidades de sensores con un módulo conversor Análogo-Digital, una unidad de procesamiento, una unidad de comunicación y una unidad de energía; todas estas unidades convergen en un solo dispositivo que mediante una configuración adecuada se los puede utilizar para distintos fines.

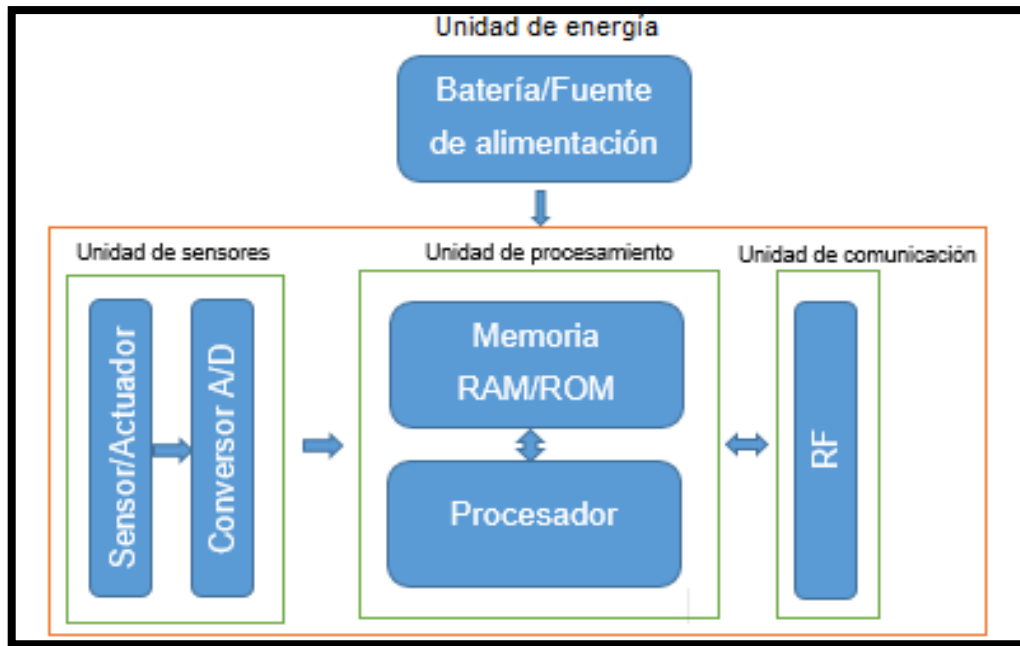


Figura 2. Arquitectura de un nodo sensor

Fuente: Nodo sensor. Elaborado por el Autor

El nodo sensor es el encargado de recibir información proveniente del medio en el que se encuentra a través de los sensores, esta información de tipo analógica es transformada a digital a través de un módulo convertor Análogo-Digital para luego ser entregada a la unidad de procesamiento donde se recibe la información para procesarla de tal manera que tenga un formato adecuado para ser enrutada y transmitida hacia la red inalámbrica de sensores, específicamente hacia el nodo Gateway, el cual se comporta como un tipo de interfaz de comunicación entre la WSN y la estación base.

El Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE, 2011), en el estándar 802.15.4 explica que los nodos según su capacidad de procesamiento se dividen en Nodos de Funcionalidad Total (Full Function Device o FFD) y Nodos de Funcionalidad Reducida (Reduced Functions Device o RFD).

Con respecto a la función que cada nodo cumple en la red se clasifican en tres tipos:

- **Coordinador:** Es un nodo principal y único en la red de tipo FFD⁵, el cual se encarga de construir la red y gestionar la comunicación entre los dispositivos.
- **Router:** Puede existir uno o más nodos router, es de tipo FFD y se encarga de interconectar nodos finales hacia la red, esto mediante el enrutamiento de la información entregada por los nodos finales hacia el coordinador.
- **Nodo Final:** Este nodo a diferencia de los anteriores es de tipo RFD⁶, es decir no realiza tareas de gestión ni enrutamiento, solo puede comunicarse con nodos del mismo tipo.

2.1.1.1.1 *Unidad de sensores*

A esta unidad la conforman dos bloques electrónicos como son los sensores y el ADC⁷.

Moro (2011), nos da una definición de lo que es un sensor en general:

Los sensores se encargan de recoger información respecto a los diversos parámetros a controlar (que depende de las áreas de implantación de la instalación domótica) y se la envían, bien al dispositivo de control centralizado, bien directamente al dispositivo actuador, en el caso de una instalación distribuida. (p. 28)

Un sensor es el encargado de recolectar información del medio donde se encuentra, para esta información enviarla a un destino predeterminado. La información recolectada será de tipo analógica (principalmente en el área agrícola) por lo cual deberá ser transformada a digital para que la unidad de procesamiento que es la que recibe los datos entienda los

⁵ FFD: Full Function Device.

⁶ RFD: Reduced Functions Device.

⁷ ADC: Conversor Análogo Digital.

mismos, es decir, manejen un mismo lenguaje de comunicación, y esto se logra mediante un módulo conversor Análogo/Digital.

Benchimol (2011), nos explica que es un conversor A/D:

Los conversores A/D son dispositivos que convierten una variación analógica en formato digital. Son indispensables en los lazos de control cerrados digitales; podríamos decir que son los “ojos” de los microprocesadores y de los microcontroladores. (p.70)

Sin los ADC no habría una comunicación coherente entre los datos recolectados (analógicos) y el procesamiento (digital) de los mismos en la unidad de procesamiento que tiene como base un microprocesador. Los sensores junto al ADC trabajan de forma ideal para establecer una comunicación entre el medio y el dispositivo electrónico (nodo sensor).

2.1.1.1.3 Unidad de procesamiento

En esta unidad pertenecen el procesador y la memoria, dos bloques complementarios para obtener una unidad de procesamiento adecuada.

- Procesador

En su estudio Fernández et al. (2009) manifiestan que un procesador “es el componente que interpreta y procesa los datos para transmitirlos a otra estación. También gestiona el almacenamiento de datos en la memoria”. (p. 19)

Así mismo Fernández et al. (2009) dan a conocer los tipos de procesadores que existen en el mercado, como son:

- Microprocesadores: Han sido sustituidos por los microcontroladores, ya que éstos integran dentro de un mismo dispositivo, un microprocesador y memoria.
- Microcontroladores: Como se ha dicho, incluyen un microprocesador y memoria, pero además tienen una interface para ADCs, UART⁸, SPI⁹, USB¹⁰ temporizadores y contadores. Hay muchos tipos de microcontroladores que van desde los 4 bits hasta 64 bits, con una variación del número de temporizadores, diferentes tipos consumos de energía,... (p. 19)

- Memoria

Las memorias cumplen una función muy importante en los ordenadores: permiten almacenar todos los datos desde el exterior (desde los sensores o desde otras unidades), mientras que se van procesando hasta que finalmente ya no son necesarios y se eliminan.

Ros (2011) indica la existencia de diferentes tipos de memorias como son “la memoria RAM¹¹, la memoria ROM¹², la memoria PROM¹³ y la memoria EPROM¹⁴. El tipo de memoria EPROM ha ido evolucionando a EEPROM¹⁵ o Flash EPROM”. (p. 266)

Como vemos, la unidad de procesamiento actualmente opta por usar microcontroladores por el hecho de poseer varios módulos dentro de un mismo encapsulamiento, además a estos dispositivos sin importar que ya cuentan con una memoria para su funcionamiento se

⁸ UART: Universal Synchronous Receiver Transmitter

⁹ SPI: Serial Port Interface

¹⁰ USB: Universal Serial Bus

¹¹ RAM: Random-Access Memory

¹² ROM: Read-Only Memory

¹³ PROM: Programmable Read-Only Memory

¹⁴ EPROM: Erasable Programmable Read-Only Memory

¹⁵ EEPROM: Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory

la puede agregar una o más memorias externas con el fin de mejorar la capacidad de procesamiento o almacenamiento de la información.

2.1.1.1.3 Unidad de comunicación

Esta unidad se encarga de la transmisión de datos inalámbricamente, esto se logra con la utilización de un transceptor, el cual es capaz de recibir o emitir señales de radio frecuencia desde o hacia otros nodos que se encuentren dentro de la WSN.

El dispositivo de comunicación se trata de un dispositivo vía radio que permite enviar y recibir datos para comunicarse con otros dispositivos dentro de su rango de transmisión.

Refiriéndose a este tema Fernández et al. (2009) indican que:

Los nodos usan la banda ISM¹⁶ que son bandas reservadas internacionalmente para uso no comercial de radiofrecuencia electromagnética en áreas industrial, científica y médica. El uso de estas bandas está abierto a todo el mundo sin necesidad de licencia, respetando las regulaciones que limitan los niveles de potencia transmitida. (p. 21)

2.1.1.1.4 Unidad de energía

San Miguel (2009) como definición de una unidad de energía o fuente de alimentación nos explica que “las fuentes de alimentación son fundamentales para proporcionar las

¹⁶ ISM: Industrial, Scientific and Medical

tensiones continuas a las que funcionan todos los circuitos construidos a base de semiconductores”. (p. 215)

Una unidad de energía puede ser la red eléctrica o una batería, en el caso de los nodos finales e incluso los nodos router por lo general usan baterías de larga duración y que pueden trabajar en conjunto con un panel solar para obtener carga durante el día, mientras que los nodos coordinadores generalmente están conectados a la red eléctrica y por medio de una circuito conversor AC/DC¹⁷ reciben la carga necesaria para su funcionamiento.

2.1.1.2 Gateway

Fernández et al. (2009) interpreta a un Gateway como una puerta de enlace que son “elementos para la interconexión entre la red de sensores y una red de datos (TCP/IP¹⁸)”. (p.22)

Describiendo de una forma sencilla, un Gateway vendría a ser una interfaz de comunicación entre dos tipos de redes distintas con infraestructuras diferentes, al tener dicha interfaz la red externa puede tener acceso a los datos de la WSN y viceversa, esto mediante parámetros que el administrador crea conveniente.

¹⁷ AC/DC: Corriente Alterna/Corriente Directa

¹⁸ TCP/IP: Protocolo de control de transmisión/Protocolo de Internet

2.1.1.3 Estación base

La estación base viene a ser una interfaz entre la WSN y la red externa, donde se pueden almacenar o procesar la información obtenida de la WSN a través del Gateway. Esta información está al alcance del usuario y mediante un aplicativo podrían acceder local o remotamente.

La estación base puede ser un sistema embebido que interactúa con un servidor web y una base de datos, tanto para recolectar históricamente la información que ingresa a él, como para dar tratamiento a la información y presentarla a los usuarios.

2.1.1.4 Red inalámbrica

La red inalámbrica viene a ser la comunicación de todos los nodos sensores con su Gateway vía Radio Frecuencia, con el fin de transmitir o recibir información.

Para ello Fernández et al. (2009) menciona que “los medios a elegir para realizar una comunicación inalámbrica son varios, radio frecuencia, comunicación óptica mediante laser e infrarrojos”. (p. 21)

Las WSN usan frecuencias de comunicación que van desde los 433 MHz¹⁹ y 2.480 GHz²⁰ en la banda ISM.

¹⁹ MHz: Megahercio

²⁰ GHz: Gigahercio

Gómez, Paradells y Caballero (2010) detallan que las bandas de frecuencia más utilizadas en redes WSN son cuatro:

(430 – 434) MHz, (865 – 870) MHz, (902-928) MHz y (2400 – 2483.5) MHz. Se suelen denominar por la frecuencia típica de uso, que en cada caso es 433 MHz, 868 MHz, 915 MHz y 2,4 GHz respectivamente. Estas bandas han sido asignadas por la ITU²¹ y se reservan para uso privado y no licenciado, aunque en algún caso pueden estar sujetas a ciertas restricciones dependiendo de la regulación nacional o regional correspondiente. Salvo la banda de 915 MHz, el resto se emplea habitualmente en Europa. (p. 32)

2.1.2 TOPOLOGÍA

Fernández et al. (2009) indica que:

“Topología se refiere a la configuración de los componentes hardware y como los datos son transmitidos a través de esa configuración. Cada topología es apropiada bajo ciertas circunstancias y puede ser inapropiada en otras”. (p. 24)

Dependiendo de los requerimientos de la aplicación que se le va a dar a la WSN y tomando en cuenta los tipos de nodos que existen y revisamos anteriormente, tenemos tres tipos de topologías: en estrella, en malla e híbrida.

2.1.2.1 Topología en estrella

Fernández et al. (2009), menciona que:

²¹ ITU: Unión Internacional de la Telecomunicaciones

“Una topología en estrella es un sistema donde la información enviada sólo da un salto y donde todos los nodos sensores están en comunicación directa con la puerta de enlace, usualmente a una distancia de 30 a 100 metros”. (p. 24)

En este tipo de topología todos los nodos son nodos finales (RFD) que se comunican a un nodo coordinador (FFD), por tal motivo, es adecuada para aplicaciones donde el nodo coordinador es el único que se encarga de gestionar y controlar la red.

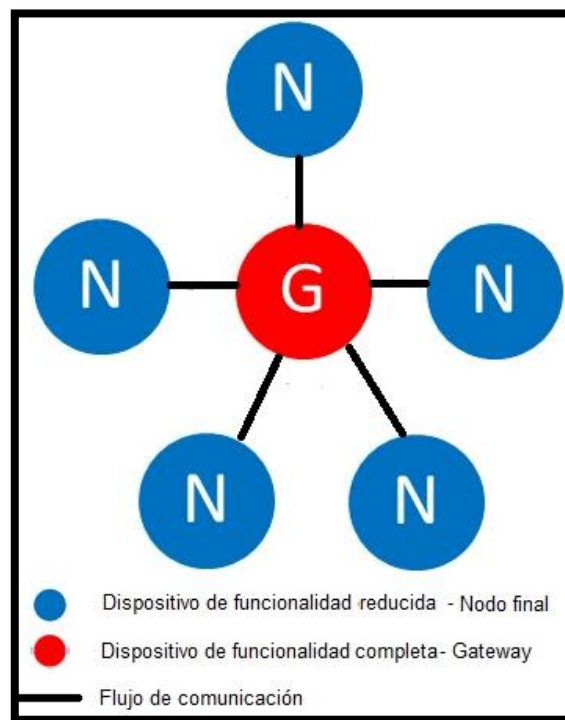


Figura 3. Topología en estrella

Fuente: Topología. Elaborado por el Autor

2.1.2.2 Topología en malla

Fernández et al. (2009), ahora refiriéndose a una topología en malla menciona que:

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

La topología en malla está formada por nodos router (FFD), los cuales están en pueden comunicarse con cualquier otro nodo que se encuentre en su rango de cobertura si así lo necesitase al momento de enviar la información a través de la red, este tipo de topologías se utilizan en redes un poco complejas por su capacidad de auto organizarse si un nodo ha fallado y permitir múltiples saltos para enrutar la información hacia su destino que es el Gateway.

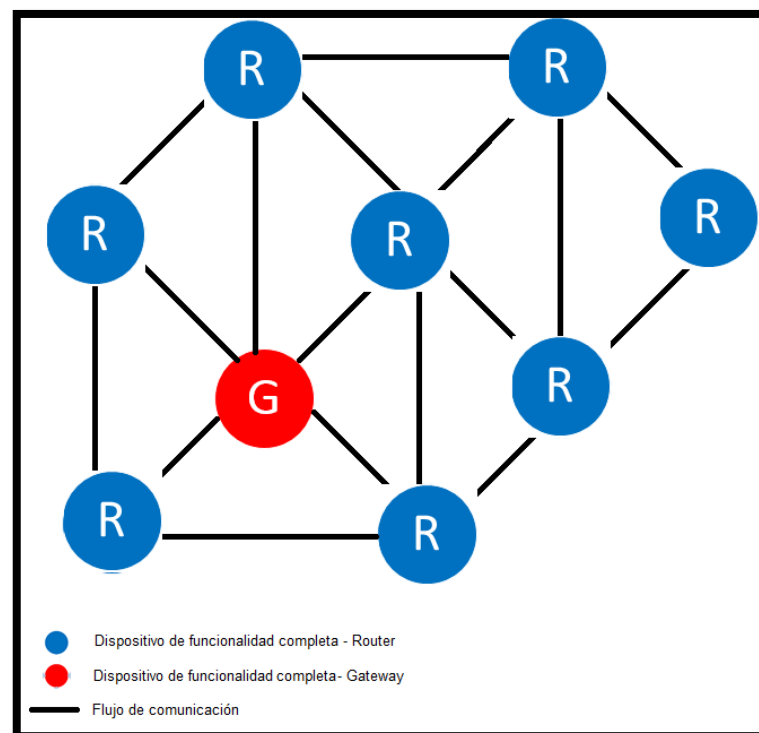


Figura 4. Topología en malla

Fuente: Topología. Elaborado por el Autor

2.1.2.3 Topología híbrida malla-estrella

Este tipo de topología combina las características de las dos topologías anteriores, creando así una nueva topología con ventajas tales como la simplicidad, bajo consumo de energía y gran área de cobertura (propias de la topología en estrella), además de tener la capacidad de auto organizarse ante fallas de uno a mas nodos y una comunicación multisalto (propias de la topología en malla).

En palabras más concretas podemos decir que este tipo de topología permite crear una red escalable, auto configurable y de bajo consumo de energía, adecuadas en temas de monitoreo y control a gran escala.

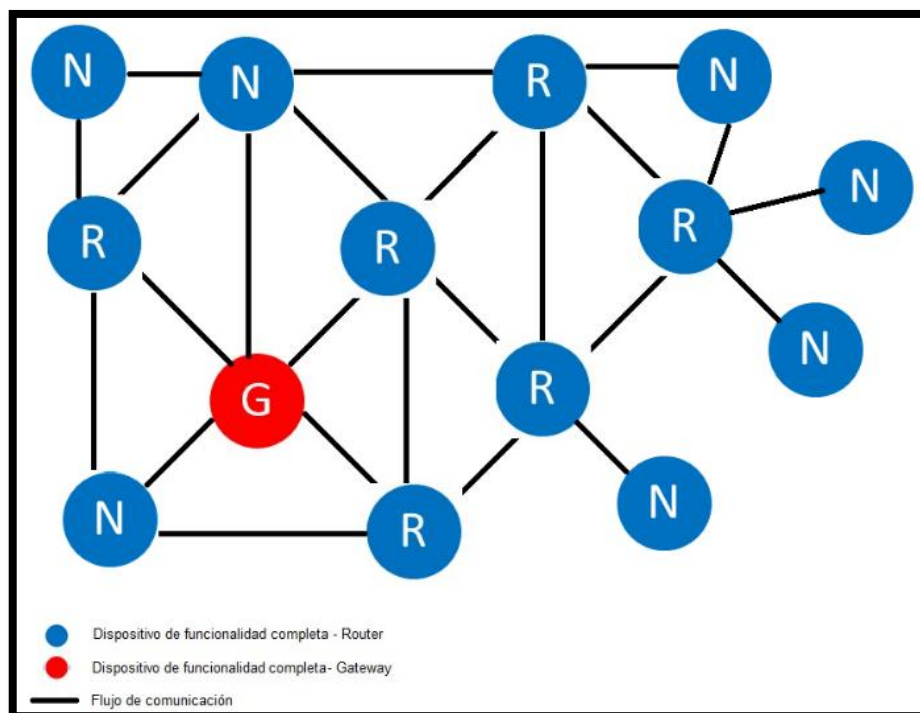


Figura 5. Topología híbrida estrella-malla

Fuente: Topología. Elaborado por el Autor

2.1.3 APLICACIONES

El interés por las redes de sensores sin hilos se remonta a los años 70 en el marco de las investigaciones aplicadas al ámbito militar. Proyectos como “SmartDust” pusieron las bases de las redes de sensores tanto a nivel conceptual como tecnológico. Desde estas fechas iniciales, el interés por las redes de sensores inalámbricos no ha parado de crecer en la medida que la tecnología hacia más factible su realización. (Gómez et al., 2010)

Desde sus inicios hasta la fecha el desarrollo en temas de redes inalámbricas de sensores ha sido muy significativo, puesto que hoy en día las WSN manejan tecnologías de rápido procesamiento, elementos miniaturizados y grandes áreas de cobertura, es por ello que las aplicaciones se dan en muchos campos, por mencionar algunos tenemos:

- Monitorización medioambiental
- Agricultura
- Automatización
- Medicina
- Ciudades inteligentes
- Aplicaciones militares
- Industria
- Domótica

2.2 PROTOCOLO DE INTERNET VERSIÓN 6 (IPv6)

El motivo básico por el que surge, en el seno del IETF²², la necesidad de crear un nuevo protocolo, que en un primer momento se denominó IPng (Internet Protocol Next Generation, o “Siguiete Generación del Protocolo Internet”), fue la evidencia de la falta de direcciones. (Palet, 2004)

IPv6 es una versión actual del protocolo IP del modelo TCP/IP, diseñado para reemplazar a la versión 4 que tiene problemas con la cantidad de direcciones que posee (2^{32} direcciones IPv4), lo que limita el crecimiento y uso del internet. Por otro lado la versión 6 del protocolo IP posee una cantidad de direcciones inmensa (2^{128} direcciones IPv6), esto quiere decir que tendremos alrededor $6,7 \times 10^{17}$ (670 mil billones) direcciones por milímetro cuadrado de la superficie de La Tierra. Las características del nuevo protocolo en su versión 6 son:

- Capacidades de Direccionamiento Extendida

El IPv6 incrementa el tamaño de dirección IP de 32 bits a 128 bits, para dar soporte a más niveles de direccionamiento jerárquico, un número mucho mayor de nodos direccionables, y una autoconfiguración más simple de direcciones. (Palet, 2004)

La exuberante cifra de direcciones permiten múltiples niveles de división en subredes y asignación de direcciones, y por tal motivo no son necesarias las técnicas de conservación de direcciones, como la implementación del NAT²³.

²² IETF: Internet Engineering Task Force.

²³ NAT: Network Address Translation

- Simplificación del Formato de Cabecera

Algunos campos de la cabecera IPv4 se han sacado o se han hecho opcional, para reducir el costo del caso común de proceso de tratamiento de paquete y para limitar el costo del ancho de banda, de la cabecera IPv6. (Palet Martínez, 2004)

Tomando en cuenta que las direcciones IPv6 son 4 veces más grandes que las IPv4, podemos resaltar que la cabecera IPv6 tiene solo el doble de tamaño que la de IPv4 y por tanto permite un procesamiento más eficaz en los nodos intermedios de una red.

- Soporte Mejorado para las Extensiones y Opciones

Los cambios en la manera en que se codifican las opciones de la cabecera IP permiten un reenvío más eficiente, límites menos rigurosos en la longitud de opciones, y mayor flexibilidad para introducir nuevas opciones en el futuro. (Palet Martínez, 2004)

Al protocolo IPv6 se lo puede agregar nuevas características con la agregación de encabezados de extensión, los mismos que están limitados por el tamaño del paquete IPv6.

Entre otras características el protocolo IPv6 agrega una nueva capacidad de etiquetado de paquetes que pertenecen a flujos de tráfico, lo que permite dar QoS²⁴ o servicio en tiempo real; IPv6 también brinda capacidades de Autenticación y privacidad.

²⁴ QoS: Quality of service.

| | IPv4 | IPv6 |
|---|---|---|
| Direcciones | Las direcciones de origen y destino tienen una longitud de 32 bits (4 bytes). | Las direcciones de origen y destino tienen una longitud de 128 bits (16 bytes). |
| IPSec | La compatibilidad es opcional. | La compatibilidad es obligatoria. |
| Identificación del número de paquetes | No existe ninguna identificación de flujo o de paquetes para que los enrutadores controlen la QoS en el encabezado IPv4. | Se incluye la identificación del flujo de paquetes para que los enrutadores controlen la QoS en los encabezados IPv6 utilizando el campo Flow Label (etiqueta de flujo) |
| Fragmentación | La llevan a cabo los enrutadores y el host que realiza el envío. | No la llevan a cabo los enrutadores sino únicamente el host que realiza el envío. |
| Encabezado | Incluye una suma de comprobación. | No incluye una suma de comprobación. |
| Opciones | El encabezado lo incluye. | Todos se trasladan a los encabezados de extensión IPv6. |
| Marcos de solicitud ARP | El protocolo de resolución de direcciones (ARP) utiliza los marcos de solicitud ARP de difusión para resolver una dirección IPv4 como una dirección de capa de vínculo. | Los marcos de solicitud ARP se sustituyen por mensajes de solicitud de vecinos de multidifusión. |
| Administrar la pertenencia a grupos locales de subred | Se utiliza el protocolo de administración de grupos de internet (IGMP). | IGMP se sustituye con los mensajes de descubrimiento de escucha de multidifusión (MLD). |
| Determinar la dirección IPv4 de la mejor puerta de enlace predeterminada | Se utiliza el descubrimiento de enrutadores ICMP, y es opcional. | El descubrimiento de enrutadores ICMP queda sustituido por la solicitud de enrutadores ICMPv6 y los mensajes de anuncio de enrutador, y es obligatorio. |
| Direcciones de multidifusión | Se utilizan para enviar tráfico a todos los nodos de una subred. | No hay direcciones de multidifusión IPv6. De forma alternativa se utiliza una dirección de multidifusión para todos los nodos de ámbito local del vínculo. |
| Configuración manual | Debe configurarse manualmente o a través de DHCP. | No requiere configuración manual o a través de DHCP. |
| DNS | Utiliza registros de recurso (A) de dirección de host en el sistema de nombres de dominio (DNS) para correlacionar nombres de host con direcciones IPv4. | Utiliza registros de recursos (AAA) de dirección de host en el sistema de nombres de dominio (DNS) para correlacionar nombres de host con direcciones IPv6. |
| Tamaño de paquetes | Debe admitir un tamaño de 576 bytes (posiblemente fragmentado). | Debe admitir un tamaño de 1280 bytes (sin fragmentación). |

Tabla 1. Comparación de las características IPv4 e IPv6

Fuente: Mas de IPv6, (2009). Recuperado de <http://goo.gl/KzR7Jz>

2.2.1 CABECERA

2.2.1.1 Cabecera fija

La cabecera IPv6 tiene un tamaño fijo de 40 bytes formada por 8 campos, permitiendo así reducir el tiempo de procesamiento de paquetes y menor uso de ancho de banda.

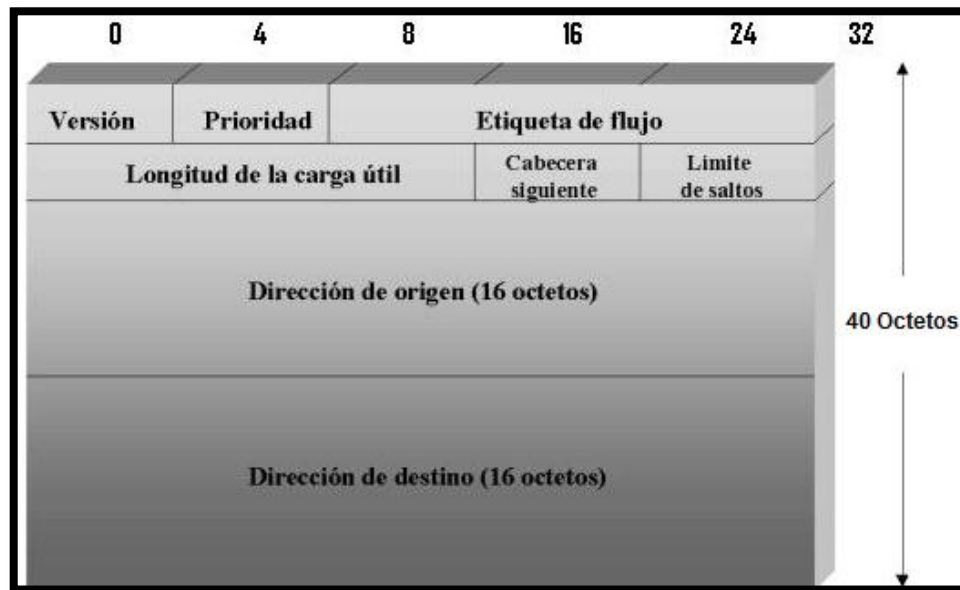


Figura 6. Cabecera IPv6

Fuente: Mas de IPv6, (2009). Recuperado de <http://goo.gl/HCx4yr>

Millán (2001) Describe cada uno de los campos de la cabecera IPv6:

- Versión (4 bits). Es el número de versión de IP, es decir, 6.
- Clase de tráfico (8 bits). El valor de este campo especifica la clase de tráfico. Los valores de 0-7 están definidos para tráfico de datos con control de la congestión, y de 8-15 para tráfico de vídeo y audio sin control de la congestión.
- Etiqueta del flujo (20 bits). El estándar IPv6 define un flujo como una secuencia de paquetes enviados desde un origen específico a un destino específico. Un flujo se identifica únicamente por la combinación de una dirección fuente y una etiqueta de 20 bits. De este modo, la fuente asigna la misma etiqueta a todos los paquetes que forman parte del mismo flujo. La utilización de esta etiqueta, que

identifica un camino a lo largo de la red, posibilita encaminar conmutar en vez de encaminar. Su uso viene descrito en la RFC²⁵ 1809.

- Longitud del paquete (16 bits). Especifica el tamaño total del paquete, incluyendo la cabecera y los datos, en bytes. Es necesario porque también hay campos opcionales en la cabecera.
- Siguiendo cabecera (8 bits). Indica el tipo de cabecera que sigue a la cabecera fija de IPv6, por ejemplo, una cabecera TCP²⁶/UDP²⁷, ICMPv6²⁸ o una cabecera IPv6 opcional.
- Límite de saltos (8 bits). Es el número de saltos máximo que le quedan al paquete. El límite de saltos es establecido a un valor máximo por el origen y decrementado en 1 cada vez que un nodo encamina el paquete. Si el límite de saltos es decrementado y toma el valor 0, el paquete es descartado.
- Dirección origen (128 bits). Es la dirección del origen del paquete.
- Dirección destino (128 bits). Es la dirección del destino del paquete.

En la cabecera IPv6 es de solo 8 campos, ya que se han eliminado campos que cumplen funciones similares a las realizadas por mecanismos de encapsulado de capas inferiores.

2.2.1.2 Cabeceras extendidas

²⁵ RFC: Request for Comments

²⁶ TCP: Transmission Control Protocol

²⁷ UDP: User Datagram Protocol

²⁸ ICMPv6: Internet Control Message Protocol version 6

(Stephen & Hinden, 1998) manifiestan que “en el IPv6, la información de capa internet opcional se codifica en cabeceras separadas que se pueden colocar entre la cabecera IPv6 y la cabecera de capa superior dentro de un paquete”. (p. 5)

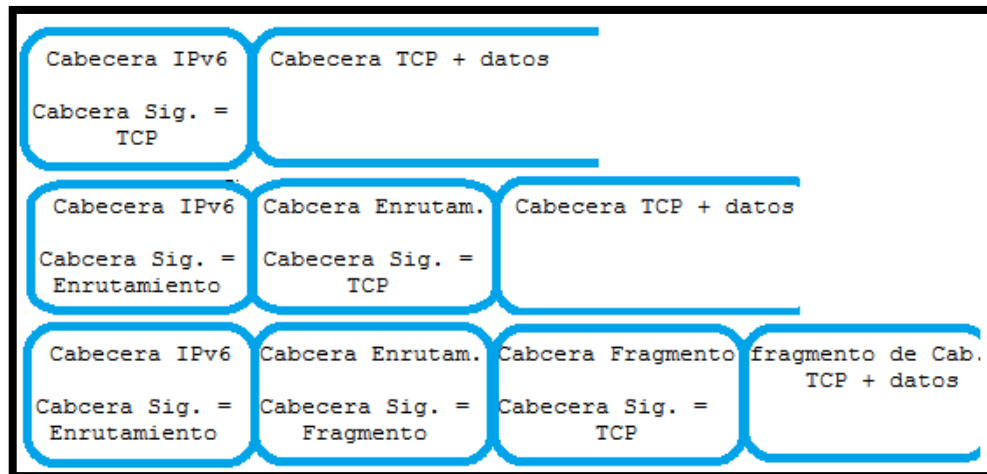


Figura 7. Cabeceras de extensión IPv6

Fuente: Cabeceras extendidas. Elaborado por el Autor

Cada una de las cabeceras de extensión se ubican entre la cabecera IPv6 y la cabecera de nivel superior, un paquete IPv6 puede contener ninguna, una o más cabeceras extendidas. Las cabeceras extendidas no son examinadas ni procesadas por los nodos intermedios, solamente cuando llegan al nodo que viene identificado por el campo de dirección destino la cabecera IPv6 es procesada, esto con excepción de la cabecera de opciones salto a salto donde la información si es procesada por todos los nodos, este tipo de cabecera se ubica después de la cabecera IPv6 con un valor de 0 en el campo de siguiente cabecera.

Stephen (1998) Indica que cada cabecera de extensión posee una longitud en octetos múltiplos de 8 y pueden ser de los siguientes tipos:

- Opciones de Salto a Salto

- Enrutamiento (Tipo 0)
- Fragmento
- Opciones de Destino
- Autenticación
- Seguridad del Encapsulado de la Carga Útil

Stephen & Hinden (1998) recomiendan que al usar más de una cabecera de extensión en el mismo paquete sigan el siguiente orden:

- Cabecera IPv6
- Cabecera Opciones de Salto a Salto
- Cabecera Opciones de Destino (nota 1)
- Cabecera Enrutamiento
- Cabecera Fragmento
- Cabecera Autenticación (nota 2)
- Cabecera Seguridad del Encapsulado de la Carga Útil (nota 2)
- Cabecera Opciones de Destino (nota 3)
- Cabecera de Capa Superior

Nota 1: para las opciones a ser procesadas por el primer destino que aparece en el campo Dirección Destino IPv6 más los destinos subsiguientes listados en la Cabecera Enrutamiento.

Nota 2: recomendaciones adicionales con respecto al orden relativo de las cabeceras Autenticación y Seguridad del Encapsulado de la Carga Útil se dan en la [RFC-2406].

Nota 3: para las opciones a ser procesadas solo por el destino final del paquete. (p. 7)

2.2.2 DIRECCIONAMIENTO

Las direcciones IPv6 son identificadores de 128 bits de una interfaz o grupo de interfaces, las direcciones IPv6 se asignan a las interfaces y no a los nodos (cada interfaz pertenece a un único nodo).

Millan (2001) define tres tipos de direcciones en IPv6:

- Unicast. Las direcciones unicast identifican a una única interfaz, es decir, un paquete enviado a una dirección unicast será entregado sólo a la interfaz identificada con dicha dirección. Es el equivalente a las direcciones IPv4 actuales.
- Anycast. Las direcciones anycast identifican un grupo de interfaces, de forma que un paquete enviado a una dirección anycast será entregado a un miembro cualquiera del grupo, siendo generalmente el más cercano según la distancia asignada en el protocolo de encaminamiento.
- Multicast. Las direcciones multicast identifican, al igual que las anycast, a un grupo de interfaces, pero un paquete enviado a una dirección multicast, es enviado a todas las interfaces del grupo. Las direcciones de broadcast no existen en IPv6, su misión ha sido suplantada por las direcciones multicast.

2.2.2.1 Direcciones Unicast IPv6

Las direcciones unicast son un identificador para un solo interfaz, es decir un paquete IPv6 con una dirección unicast como destino es enrutado a un único interfaz que posee esa dirección.

2.2.2.1.1 Direcciones Unicast IPv6 Globales

Este tipo de direcciones son enrutadas y alcanzadas desde cualquier lugar de la Internet IPv6, se puede decir que son equivalentes a las direcciones publicas IPv4.

Millan (2001) menciona que las direcciones *unicast* globales agregables basadas en el proveedor, son utilizadas para comunicaciones globales en todo Internet. Estas direcciones son semejantes a las direcciones IPv4 utilizando CIDR²⁹. Los tres primeros bits, correspondientes al prefijo son 001. El resto de la dirección la forman los siguientes campos, de longitud variable hasta hacer un total de 128 bits:

- Campo de registro, que identifica a la entidad de Internet de que asigna los identificadores a los proveedores de servicios.
- Campo de proveedor, que identifica a un determinado proveedor de servicios, el cual asigna parte de su espacio de direccionamiento a sus subscriptores.
- Campo de subcriptor, que diferencia a los distintos subscriptores conectados a Internet a través de un mismo proveedor de servicio.
- Campo de subred, que especifica un grupo de nodos físicamente conectados en la red del subcriptor.
- Campo de interfaz, que caracteriza a una interfaz de entre todas las conectadas a una determinada subred.

En la figura 8, observamos la estructura de las direcciones unicast globales.

²⁹ CIDR: Classless Inter-Domain Routing.

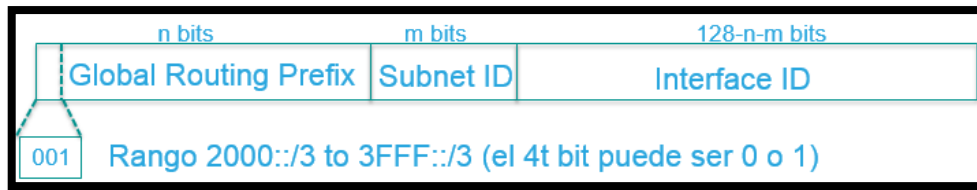


Figura 8. Estructura de las direcciones unicast globales

Fuente: Entendiendo IPv6-Direccionamiento y Subredes, (2014) Recuperado de <http://goo.gl/cIOAO3>

Después del prefijo de dirección global se pueden asignar subredes según la estructura jerárquica descrita anteriormente, por ejemplo el “Campo de registro” es el nivel más alto de la estructura jerárquica y es administrado por la IANA³⁰, este campo a su vez administra al “Campo de proveedor”.

Los últimos 64 bits de una dirección unicast global corresponden al identificador de interfaz, que como su nombre lo indica sirve para identificar interfaces de un enlace. Este identificador se deriva del formato de direcciones EUI-64³¹, basadas en las direcciones MAC³² de la capa de enlace de dicha interfaz.

2.2.2.1.2 Direcciones Unicast Locales de Enlace (Link-Local)

Millan (2001) describe que las direcciones locales de enlace son para ser utilizadas en un único enlace, con propósitos tales como la autoconfiguración de la dirección. Por ello, los routers no pueden retransmitir ningún paquete con direcciones locales de enlace en el

³⁰ IANA: Internet Assigned Numbers Authority.

³¹ EUI-64: Extended Unique Identifier for 64-bit.

³² MAC: Media Access Control.

origen o el destino. Tienen el prefijo 1111 1110 10, luego tiene un campo de bits 0, y finalmente el campo que identifica a la interfaz.

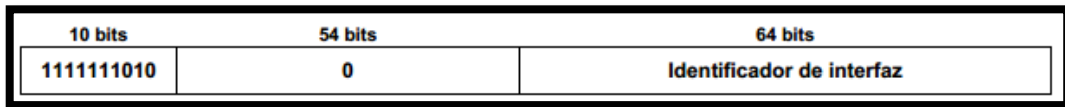


Figura 9. Estructura de las direcciones locales de enlace

Fuente: Palet, (2004). El protocolo IPv6. Recuperado de <http://goo.gl/hJcCID>

El rango de estas direcciones es desde FE80::/10 hasta FEBF::/10, cada interfaz IPv6 tiene como mínimo una dirección de este tipo asignada para la comunicación entre dispositivos de un mismo enlace.

2.2.2.1.3 Direcciones Unicast Locales de Sitio (Site-Local)

Millán (2001) indica que las direcciones locales de sitio son para ser utilizados en un único sitio, sin la necesidad de un prefijo global. Por ello, los routers no pueden retransmitir ningún paquete con direcciones locales de sitio en el origen o el destino fuera del sitio local u organización. Tienen el prefijo 1111 1110 11, luego un campo de bits a 0, un campo con el identificador de subred, y finalmente el identificador de interfaz.

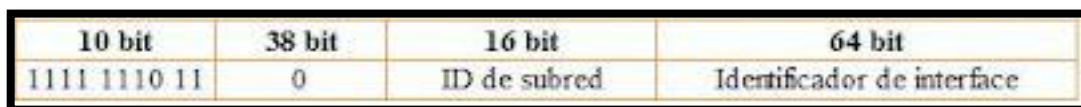


Figura 10. Estructura de las direcciones locales de sitio

Fuente: Apuntes de Networking, (2010). Recuperado de <http://goo.gl/ch4alk>

Las direcciones identificadas por el prefijo hexadecimal FEC0 son equivalentes al espacio de direcciones privadas en IPv4, permitiendo una comunicación únicamente dentro del sitio local u organización. Los primeros 48 bits (10 bits del prefijo y 38 de bits 0) son bits fijos, los siguientes 16 bits pertenecen al identificador de subred que permite tener 65.536 subredes, finalmente tenemos el campo identificador de interface de 64 bits.

2.2.2.1.4 Direcciones Unicast especiales

Millán (2001) menciona que las direcciones unicast especiales definidas en IPv6 son:

- Dirección de autoretorno o loopback. Es la ::1. No debe ser asignada a una interfaz física, pues se trata de una interfaz virtual. Se utiliza para pruebas y comunicaciones dentro de un mismo nodo. En IPv4 es cualquier tipo de dirección que comience por 127 en el primer octeto.
- Dirección no especificada. Es la ::. No debe ser asignada a ningún nodo, pues indica ausencia de dirección. Por ejemplo, se haya en el campo de dirección fuente, indica que el nodo está iniciándose y todavía no sabe cuál es su dirección.
- Direcciones IPv6 compatibles con IPv4. Son utilizadas en un mecanismo de transición de IPv4 a IPv6 conocido por túneles dinámicos/automáticos, que consiste básicamente en el envío de paquetes IPv6 sobre infraestructura de encaminamiento IPv4 de forma totalmente transparente, mediante el encapsulamiento del paquete IPv6 en un paquete IPv4. El formato de estas direcciones consiste en los primeros 96 bits a 0, y los otros 32 con la dirección IPv4.
- Direcciones IPv6 proyectadas desde IPv4. Son utilizadas para representar las direcciones IPv4 en los nodos que sólo soportan IPv4, como direcciones IPv6. Es decir, permiten que los nodos que sólo soportan IPv4, puedan seguir trabajando

en IPv6. El formato de estas direcciones consiste en los primeros 80 bits a 0, los siguientes 16 bits a 1, y los últimos 32 bits con la dirección IPv4.

2.2.2.2 Direcciones Anycast IPv6

Las direcciones anycast son un identificador para un conjunto de interfaces, es decir un paquete IPv6 con una dirección anycast como destino es enrutado a uno y solo uno de los interfaces que posee esa dirección, el enrutamiento se lo hará a la interfaz más cercana definida por el protocolo de enrutamiento usado.

Palet (2004) indica que las direcciones anycast no tienen un espacio propio dentro del direccionamiento IPv6, utilizan el mismo espacio que las direcciones unicast (es decir, no podemos diferenciar entre direcciones unicast y anycast).

De tal manera que cuando una dirección unicast es asignada a más de una interfaz se convierte en una dirección anycast, así mismo los nodos donde se configuraron estas direcciones se deben configurar explícitamente para que interpreten dicha dirección como anycast.

2.2.2.3 Direcciones Multicast IPv6

Las direcciones multicast son un identificador para un conjunto de interfaces, es decir un paquete IPv6 con una dirección multicast como destino es enrutado a todos y cada uno de los interfaces identificados por la dirección.

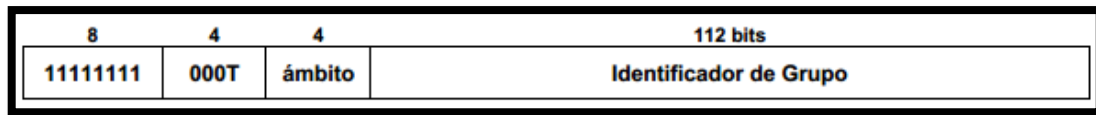


Figura 11. Formato direcciones multicast

Fuente: Palet, (2004). El protocolo IPv6. Recuperado de <http://goo.gl/hJcCID>

Millán (2001) explica que las direcciones multicast están compuestas por un prefijo 1111 1111. Después, tienen un campo de bandera de 4 bits, de los cuales los tres primeros están reservados y deben ser inicializados a 0, el último bit puede estar a 0, lo cual indica una dirección multicast asignada permanentemente, o a 1, si es una dirección multicast asignada transitoriamente. El campo que sigue al de banderas es también de 4 bits y se denomina ámbito; su valor se utiliza para limitar el ámbito del grupo de multicast (global, local de nodo, local de enlace, local de sitio, etc.). Finalmente, el campo de grupo de 112 bits, identifica el grupo de multicast.

2.2.3 MÉTODOS DE TRANSICIÓN IPV6 A IPV4

El principal motivo para que existan mecanismos de transición entre las dos versiones del protocolo IP es que los sistemas IPv6 pueden recibir, enrutar y enviar paquetes IPv4, pero los sistemas IPv4 no son capaces de trabajar con paquetes IPv6.

Millán (2001) describe dos mecanismos para establecer una comunicación entre los dos sistemas:

- La primera opción es introducir una doble pila completa de protocolos, IPv4 e IPv6, en los nodos IPv6. De esta forma, este nodo IPv6/IPv4 puede enviar y recibir paquetes IPv6 e IPv4. Cuando trabaje con un nodo IPv4, el nodo IPv6/IPv4 puede utilizar paquetes IPv4; cuando trabaje con un nodo IPv6, puede utilizar

paquetes IPv6. Los nodos IPv6/IPv4 deben tener tanto direcciones IPv6 como IPv4. Deben de ser capaces también de descubrir si otro nodo es capaz de utilizar IPv6 o sólo IPv4. Esto se puede conseguir utilizando el protocolo de resolución de nombres de dominio o DNS³³, que puede devolver una dirección IPv6 si el nombre del nodo que se está resolviendo es capaz de utilizar IPv6, o bien una dirección IPv4 en caso contrario. Por supuesto, si el nodo que hace la petición DNS únicamente puede utilizar IPv4, DNS devolverá sólo una dirección IPv4.

- La segunda opción es utilizar túneles. Esto permitiría que los nodos extremos IPv6 se comuniquen siempre en IPv6, aunque haya nodos intermedios IPv4. Se considera un túnel a todos los nodos IPv4 entre dos nodos IPv6.

Una desventaja del mecanismo de doble pila es que si un nodo intermedio solo puede operar con IPv4 (no maneja doble pila), los nodos que si maneja IPv6/IPv4 tendrán que utilizar paquetes IPv4, esto significa que la comunicación entre los nodos extremos se realizara con paquetes IPv4, y al suceder esto se perderá información relevante de los campos propios de la cabecera IPv6.

El mecanismo de túnel es más óptimo que el anterior, ya que el nodo IPv6 origen es la frontera del túnel, entonces este nodo toma el paquete IPv6 y lo ubica en el campo de datos del paquete IPv4, seguidamente este paquete ingresa al túnel con la dirección destino del nodo IPv6 que se encuentra al otro lado del túnel, el paquete ya en el túnel es enrutado por los nodos IPv4 como si se tratase un paquete IPv4 como cualquier otro, pero este paquete al llegar a su destino es desencapsulado y procesado como si le hubiesen entregado un paquete IPv6.

³³ DNS: Domain Name System

2.3 IPV6 SOBRE REDES INALÁMBRICAS DE ÁREA PERSONAL DE BAJA POTENCIA (6LoWPAN)

El estándar 6LoWPAN básicamente incluye los mecanismos necesarios para trabajar con direcciones IPv6 sobre redes IEEE 802.15.4³⁴.

Cama, De la Hoz, Cama (2012) expresan que los beneficios de usar 6LoWPAN van de la mano con las ventajas que representa el enfoque de Internet de las cosas, ya que simplifica diversos protocolos propietarios con el protocolo de Internet (IP) y así conduce a la integración de los dispositivos embebidos. (p. 168)

Gómez et al. (2010) El IETF, junto al grupo de trabajo de IPv6 sobre redes de baja potencia WPAN (6LoWPAN) ha definido una capa de adaptación que especifica el formato de trama y varios mecanismos necesarios para la transmisión de paquetes IPv6 en la parte superior de las redes IEEE 802.15.4. Estas redes se denominan como LoWPANs. Los mecanismos que ofrece 6LoWPAN son: i) fragmentación, IPv6 soporta paquetes de 1280 bytes y el máximo tamaño de la trama IEEE 802.15.4 es de 127 bytes; ii) compresión de cabecera, puede comprimir una cabecera común IPv6 de 40 bytes a una cabecera de 2 bytes; iii) auto-configuración de una dirección IPv6 y iv) Descubrimiento de Vecinos IPv6 para LoWPANs.

³⁴ IEEE 802.15.4: <http://standards.ieee.org/getieee802/download/802.15.4-2011.pdf>

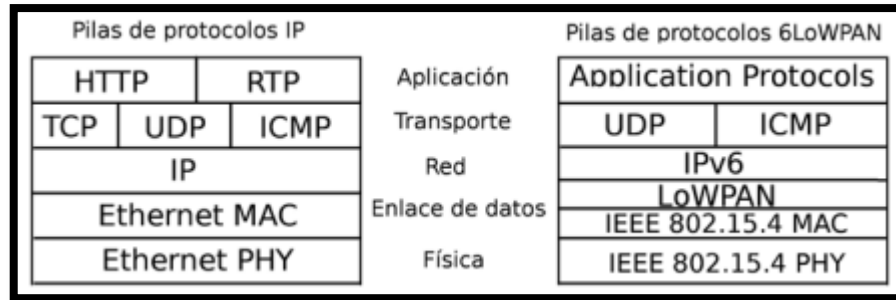


Figura 12. Pila de protocolos IP y 6LoWPAN

Fuente: Cama et al. (2012). Las redes de sensores inalámbricos y el Internet de las cosas. Recuperado de <http://goo.gl/BbkM21>

La adaptación entre paquetes IPv6 y el formato LoWPAN se lleva a cabo por los routers en el borde de las redes 6LoWPAN, esta transformación es transparente, eficiente y en ambas direcciones.

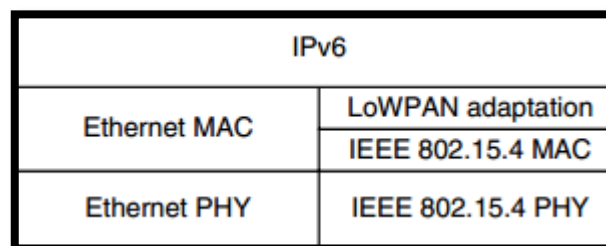


Figura 13. Router de borde IPv6 con soporte 6LoWPAN

Fuente: Cama et al. (2012). Las redes de sensores inalámbricos y el Internet de las cosas. Recuperado de <http://goo.gl/BbkM21>

LoWPAN es una capa intermedia (capa de adaptación) entre la capa de red y la de enlace de datos, la asignación automática de direcciones IPv6 (Stateless Address Autoconfiguration, definida en el RFC 4862³⁵) es dependiente de la capa subyacente, esta capa de adaptación por sus mecanismos de fragmentación de paquetes IPv6 y compresión

³⁵ RFC 4862: <http://tools.ietf.org/html/rfc4862>.

de cabeceras, permiten la transmisión de paquetes IPv6 sobre redes IEEE 802.15.4. La comunicación de paquetes se logra con el protocolo de encaminamiento RPL³⁶.

2.3.1 FRAGMENTACIÓN Y COMPRESIÓN

Fragmentación: de los 127 bytes de una trama IEEE 802.15.4, el tamaño máximo que puede ocupar la cabecera IEEE 802.15.4 es de 25 bytes, si se utilizan los mecanismos opcionales de seguridad que proporciona el estándar, la cabecera puede ocupar 21 bytes adicionales, obteniendo solo 81 bytes disponibles para el transporte de un paquete IPv6. Sabiendo que la cabecera de un paquete IPv6 tiene una longitud fija de 40 bytes, significaría que dispondríamos apenas de 41 bytes disponibles para la capa de transporte, es por ello que 6LoWPAN proporciona un mecanismo de fragmentación y reensamblaje que permite descomponer los paquetes IPv6 en fragmentos más pequeños para que puedan ser transportados por la capa de enlace de manera transparente a IPv6. Sin embargo, este proceso es costoso y obliga a transportar una cantidad limitada de datos, es por ello que 6LoWPAN define también un mecanismo de compresión y descompresión para paquetes IPv6 como complemento a la fragmentación.

Compresión: este mecanismo permite comprimir la cabecera IPv6 de 40 bytes a solo 2 bytes. La compresión se basa en compartir información conocida a lo largo de todos los nodos que participan en la LoWPAN, la cabecera de LoWPAN consiste en un valor que indica el tipo de cabeceras, seguido por un byte de compresión de la cabecera IPv6 que indica qué campos están comprimidos.

³⁶ RPL: Routing Protocol for Low-Power and Lossy Networks.

2.3.2 PROTOCOLOS DE ENRUTAMIENTO

En las redes inalámbricas multisalto (como las WSNs), un nodo origen necesita enviar información a un nodo destino, pero el destino no está dentro del alcance de cobertura del origen, entonces la información es transmitida por nodos intermedios.

Esta transmisión se lleva a cabo gracias a un protocolo de enrutamiento, siendo el protocolo de enrutamiento el responsable de establecer la ruta adecuada entre la fuente y destino; en las WSNs, los protocolos de enrutamiento tienen mucho que ver con la tasa de entrega de datos, rendimiento, latencia y consumo energético.

En el estudio de Cama et al. (Como se cita en Felsche, Huhn y Schwetlick, 2012) se encontró que el estándar 6LoWPAN y el IEEE 802.15.4 no definen protocolos de enrutamiento, el que juega un papel clave en la transferencia de datos en enlaces multsaltos. Por este motivo, la Internet Engineering Task Force (IETF) decide fundar en el año 2008 un nuevo grupo llamado “Routing Over Low-power and Lossy networks (ROLL)” para hacer frente a este asunto en particular, y luego de comparar otros protocolos existentes, como AODV³⁷ y DyMO³⁸, entre otros, no obtienen resultados satisfactorios, y optan por crear un nuevo protocolo llamado IPv6 Routing Protocol for Low power and Lossy Networks (RPL) que fue publicado por primera vez en agosto del año 2009. (p. 168)

³⁷ AODV: Ad hoc On Demand Distance Vector routing algorithm.

³⁸ DyMO: Dynamic On-demand MANET routing protocol.

2.3.2.1 RPL

IPv6 Routing Protocol for Low power and Lossy Networks (RPL) tiene como objetivo principal el proporcionar caminos de enrutamiento para tráfico multipunto a punto, punto a punto y punto a punto a multipunto.

Funcionamiento: En una WSN, cuando un nodo tiene RPL como protocolo de enrutamiento lo primero que realiza es obtener una dirección global IPv6 e intenta unirse a una DODAG (Destinated Oriented Directed Acyclic Graph) enviando una solicitud de información DODAG (DIS) o mensajes de información de objetos DODAG (DIO), estos mensajes de control permiten a un nodo raíz presentarse como “padre” ante los otros nodos vecinos. Asimismo, cuando un nodo RPL elige a su padre, propaga su propio DIO hacia sus vecinos inferiores para formar un sub DODAG. Cuando un DIO es receptado y el nodo intenta conectarse a un RPL DODAG, el nodo inicia el cómputo de su propio rango (Rank) que es una representación escalar del nodo dentro de la DODAG visto desde el nodo raíz.

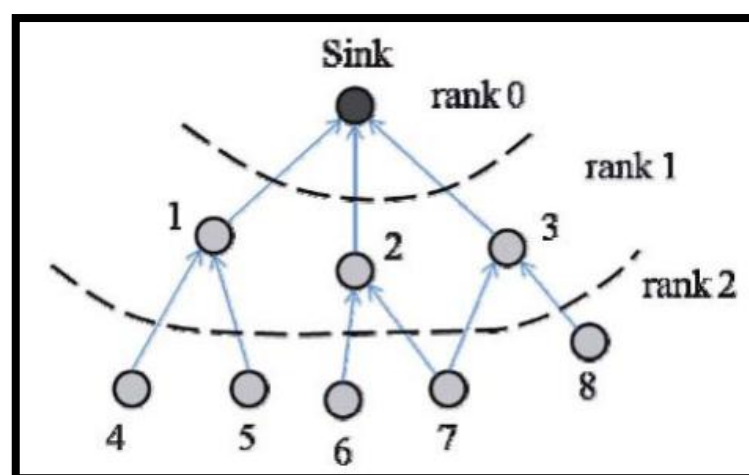


Figura 14. Ejemplo de un DODAG en RPL. Fuente: Gómez, (2010). Sensor Everywhere.

Tenga en cuenta que el nodo 7 tiene dos padres, que son nodos 2 y 3, suponiendo que los nodos 4 y 6 son vecinos del nodo 5, nodo 5 puede elegir tanto de ellos como hermanos.

2.4 SISTEMAS EMBEBIDOS O EMPOTRADOS

Úbeda (2009) indica que un sistema embebido o sistema empotrado es “un sistema electrónico diseñado específicamente para realizar unas determinadas funciones, habitualmente formando parte de un sistema de mayor entidad”. (p. 2)

Podemos decir que un sistema embebido o empotrado es una combinación de hardware y software, diseñados para cumplir con funciones específicas y en tiempo real, en las que se realiza funciones de control, procesamiento y/o monitoreo. Si bien los sistemas embebidos años atrás solamente cumplían con una función específica, hoy en día estos sistemas pueden manejar una o más funciones específicas, por algunos ya considerados como dispositivos de propósito general ya que son minicomputadores.

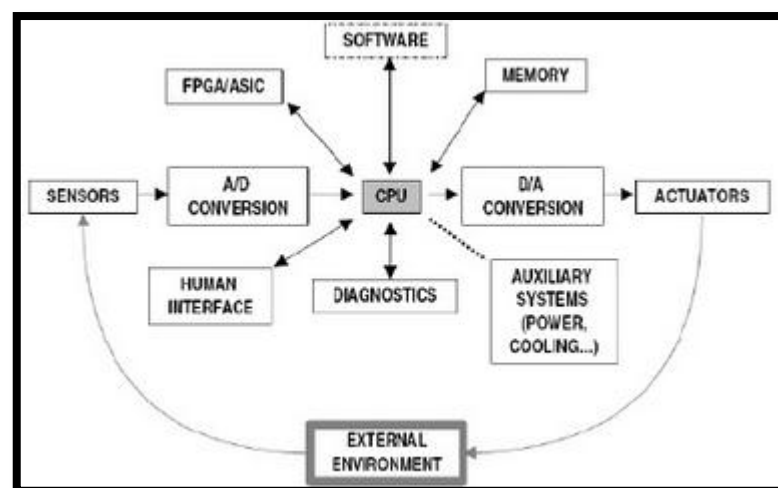


Figura 15. Arquitectura de un sistema embebido.

Fuente: Sistemas en tiempo real. Recuperado de <http://goo.gl/6In5nD>

Características de los sistemas embebidos:

- Capacidades limitadas de procesamiento (MHz).
- Capacidad de memoria reducida (Kbyte).
- Ejecución de programas específicos de forma repetitiva.
- Procesamiento de datos en tiempo real.
- Bajo consumo de energía.
- Bajo costo.
- Tamaño reducido.

2.4.1 HARDWARE EMBEBIDO

El hardware en los sistemas embebidos es una simplificación de la arquitectura del hardware de un computador de funciones generales, están diseñados para ser duraderos, fiables y para uso en interiores/exteriores (por su uso en ambientes con vibraciones, humedad, impactos, etc.).

Los componentes del hardware de un sistema embebido son:

- Unidades de procesamiento (microprocesadores y microcontroladores).
- Memoria (de tipo RAM y ROM).
- Dispositivo de almacenamiento (Disco duro, tarjetas SD, etc.).
- Comunicación (cableada e inalámbrica).
- Dispositivos de entrada (sensores).
- Dispositivos de salida (pantalla, altavoces, audio, video, etc.).
- Actuadores.
- Módulos de E/S analógicas y digitales.

- Módulo de energía.
- Ranuras de expansión

2.4.2 SISTEMAS OPERATIVOS EMBEBIDOS

Un sistema operativo es un programa que se ejecuta de manera permanente dentro de un dispositivo, permite una interfaz entre el usuario y el hardware del sistema. Los sistemas operativos embebidos se encargan de la administración de recursos, poseen características de tiempo real y requieren de un hardware mínimo para ser ejecutados.

Existen sistemas operativos para sistemas embebidos de tipo propietario o comercial, y de tipo no licenciado o libre. Siendo los de tipo libre el de mayor uso hoy en día, teniendo como características principales que son montados sobre plataformas Unix/Linux, poseen herramientas de código abierto, brindan seguridad y confiabilidad de datos.

Fernández, Ordieres, Martínez, González, Alba, Lostado, Pernía (2009) describen los principales sistemas operativos para redes de sensores y sistemas embebidos, y entre ellos tenemos:

- TinyOS: sistema operativo desarrollado por la Universidad de Berkeley en California. TinyOS es un conjunto de programas avanzados de código abierto (Open Source). Este conjunto de programas contiene numerosos algoritmos que permiten generar enrutamientos, así como también aplicaciones pre-construidas para sensores. Está escrito en base a NesC³⁹, un meta-lenguaje que se deriva de C, diseñado para responder a las necesidades que existen en los sistemas embebidos

³⁹ NesC: Network Embedded Systems C

- Contiki: es un Sistema Operativo de libre distribución para usar en un limitado tipo de computadoras, desde los 8 bits a sistemas embebidos en microcontroladores, incluidas motas de redes inalámbricas
- Mantis OS: el sistema operativo MANTIS (Multimodal system for NeTworks os In-situ wireless Sensors) suministra un nuevo sistema operativo empotrado de plataforma múltiple para redes de sensores inalámbricos, en respuesta de la complejidad de tareas realizadas por las WSNs como compresión, agregación y procesado de señales
- PalOS: es un sistema operativo desarrollado por la UCLA (Universidad de California). Este modelo se basa en tareas timer, que maneja la periodicidad con que una tarea registra eventos. Un timer posee tres colas:
 - 1. Cola Nexa: encargada de interactuar con las demás tareas (recibe el envío de otras tareas)
 - 2. Cola Delta: en la cual se ordenan los distintos eventos dependiendo del tiempo de expiración
 - 3. Eventos Expirados: donde se van colocando para su posterior ejecución
- SOS: es un sistema operativo desarrollado en la Universidad de UCLA, en el Networked and Embedded Systems Lab (NESL). Implementa un sistema de mensajería que permite múltiples hebras entre la base del sistema operativo y las aplicaciones, el principal objetivo de SOS es la reconfigurabilidad
- MagentOS: es un sistema operativo distribuido para redes de sensores ad hoc, cuyo objetivo es ejecutar aplicaciones de red que requieran bajo consumo de energía, adaptativas y fáciles de implementar

- ECOS: el sistema operativo ECOS (Embedded Configurable Operating System) es de tipo gratuito, en tiempo real, diseñado para aplicaciones y sistemas embebidos que sólo necesitan un proceso. Se pueden configurar muchas opciones y puede ser personalizado para cumplir cualquier requisito, ofreciendo la mejor ejecución en tiempo real y minimizando las necesidades de hardware

2.5 LA NUBE

El termino nube (en inglés cloud) hace referencia a una metáfora empleada para referirse a un sistema de computación a través de Internet.

Gilder (2006) manifiesta que la computación en la nube (cloud computing) aparece en el año 2006 a manos de proveedores de internet (ISP) como Google, Amazon, Microsoft y otros más, quienes habrían conseguido construir un sistema de recursos distribuidos de manera horizontal, introducidos como servicios virtuales escalados masivamente y manejados como recursos configurados y mancomunados de manera continua. El procesamiento en la nube ha reemplazado a los mainframes y la arquitectura cliente-servidor, ya que en esta nueva arquitectura los datos residen en servidores localizados en algún sitio de la Internet.

Al hablar de la nube estamos refiriéndonos directamente al cloud computing (computación en la nube), la nube se basa en un espacio virtual que puede concentrar potentes arquitecturas y brindar recursos como como almacenamiento, memoria, procesamiento, aplicaciones y servicios.

de Pablos, López, Romo y Medina (2011) indican que las características clave del cloud computing son:

- Autoservicio bajo demanda: se puede requerir más servicio (capacidad de almacenamiento, procesamiento, etc.) de forma automática sin intervención humana.
- Accesible a través de la Web: los servicios se prestan a través de protocolos estándares Web.
- Compartición de recursos: la infraestructura de computación del proveedor se combina para dar servicio a múltiples usuarios a la vez.
- Rapidez de escalado: la disponibilidad de los recursos TIC⁴⁰ se puede aumentar o disminuir de forma automática en función de las necesidades.
- Medición y monitorización: la utilización de los recursos de las tecnologías de la información se pueden monitorizar, medir y asignar a cada usuario o unidad de negocio. (p. 129)

2.5.1 TIPOS DE NUBES

Existen diversos tipos de nube dependiendo de las necesidades de servicio e implementación de cada usuario.

de Pablos et al. (2011) describe que las opciones de despliegue de la infraestructura son:

- Cloud público: compartida por los consumidores privados y empresas. El proveedor comercializa ciertos servicios sobre la misma

⁴⁰ TIC: tecnologías de la información y la comunicación.

- Cloud privado: a disposición de una sola empresa, gestionada por ella o por el proveedor en las instalaciones de la empresa (onpremise) o en las del proveedor (offpremise)
- Cloud comunitario: compartida por varias organizaciones que trabajan en un objetivo en común. Puede ser onpremise u offpremise
- Cloud híbrido: combinación de dos o más de las opciones anteriores a través de tecnologías propietarias o estándar que permiten la portabilidad de datos. (p.130)

Las nubes públicas son el modelo estándar de computación en la nube, dado que los servicios que brindan se alojan en servidores externos; las nubes privadas se encuentran dentro de las instalaciones de la empresa/organización y no ofrecen servicios a terceros; las nubes comunitarias son alianzas entre nubes privadas para compartir servicios solamente entre ellas; las nubes híbridas son una combinación entre nubes públicas y la privadas, de manera que los recursos de una nube privada son compartidos con la nube pública y así mismo la nube privada puede acceder a servicios de la nube pública cuando lo necesite.

2.5.2 MODELOS DE SERVICIO

Los tipos de servicios que ofrece la computación en la nube según de Pablos et al. (2011) son los siguientes:

- Software como servicio (SaaS): consiste en el suministro de aplicaciones como e-mail, CRM⁴¹, gestión de nóminas que se ofrece en una red y que no precisa que los usuarios lo instalen en sus propios ordenadores. Por tanto, se utiliza una

⁴¹ CRM: Customer relationship management.

arquitectura web accesible desde cualquier dispositivo y el usuario no tiene ningún control sobre la infraestructura subyacente

- Infraestructura como servicio (IaaS): se refiere a la disponibilidad de capacidad de almacenamiento, procesamiento y de red que se factura según el consumo. De esta manera este servicio ofrece una provisión escalable de recursos de computación (procesamiento, almacenamiento, comunicaciones...) según un modelo elástico, es decir, con aumento o disminución de recursos de forma flexible

- Plataforma como servicio (PaaS): consiste en ofrecer a los clientes un entorno de desarrollo con servicios y herramientas para que estos puedan crear sus propias aplicaciones. Dicho de otra forma, ofrecen una arquitectura sobre la que los desarrolladores puedan desplegar sus aplicaciones con lenguajes de programación y herramientas soportadas por el proveedor. (p. 129)

En el mundo existen miles de organismos que ofrecen servicios y recursos en la nube, siendo SaaS el nivel de servicio más alto, y familiar para los usuarios del cloud por ofrecer como servicio directamente aplicaciones, siendo un ejemplo el caso de Salesforce.com.

PaaS es el nivel intermedio, donde se ofrecen entornos de desarrollo y ejecución para aplicaciones basadas en internet, sin tener que descargar software alguno, un ejemplo de este tipo de servicio es Google App Engine.

IaaS es el nivel inferior de los servicios, siendo el corazón del cloud por sus técnicas de virtualización que permite capacidades de computación y almacenamiento, en este nivel es donde se alojan físicamente los servidores, dispositivos de redes, discos y más

infraestructura necesaria para brindar recursos a terceros; ejemplo de ello es Amazon Web Services (EC2 y S3) o Joyent.

2.6 SENSORES

Pállas (1993) indica que los sensores “son los elementos de un sistema que lo conectan con su entorno físico, excluido el usuario. La función de los sensores es obtener señales eléctricas en respuesta a magnitudes de entrada no eléctricas”. (p. 27)

Los sensores pueden entregar señales de tipo analógico o digital como respuesta a una magnitud física, el tipo de sensor dependiendo del medio donde se encuentre puede ser eléctrico/electromagnético, óptico, mecánico, acústico, etc. Hoy en día los sensores son ampliamente usados en temas de monitoreo ambiental, industrial, agrícola, hídrico, espacial y muchos campos más.

2.6.1 SENSORES UTILIZADOS EN LA AGRICULTURA

Barreiro (2007) indica que en la última década del siglo XX han proliferado distintos sensores eléctricos y electromagnéticos, ópticos, mecánicos, electro-químicos, acústicos y neumáticos, que pueden ser incorporados a vehículos móviles para la caracterización del suelo. La mayoría de ellos tiene como característica común su sensibilidad a más de un factor agronómico del suelo. (p. 1)

Entre los sensores más importantes en el tema de la agricultura tenemos los siguientes:

- Sensores de temperatura: estos sensores se basan en termostatos, cuya señal eléctrica de salida es proporcional al valor de la temperatura en el medio que se encuentra
- Sensores de humedad: aquí debemos tener en cuenta dos tipos de humedad,
 - i) La humedad del suelo, donde los sensores de humedad básicamente se basan en el principio de que el agua no es un material aislante como el aire, sino que tiene un cierto nivel de conductividad eléctrica, por lo que dos electrodos conducirán una cierta cantidad de corriente dependiendo de la humedad que exista.
 - ii) La humedad relativa, se define como la cantidad de vapor de agua en el aire, este parámetro no se mide en unidades, sino en porcentaje.
- Sensores de luminosidad: estos sensores es de tipo óptico, donde su funcionamiento se basa en el nivel de luz que incide sobre él, ya que varía su valor de resistencia eléctrica dependiendo de la cantidad de luz que incide sobre él.

2.7 CULTIVOS DE CICLO CORTO

Los cultivos de ciclo corto son aquellos cultivos cuyo ciclo vegetativo es menor a un año, incluso de sólo unos pocos meses, y que se debe volver a sembrar inmediatamente después de que se cosecha. Algunos de estos cultivos son los cereales (maíz, trigo, cebada, arroz), los tubérculos (papa), las oleaginosas (el ajonjolí y el algodón), hortalizas (tomate, cebolla, brócoli, zanahoria, remolacha) y algunas especies de flores a cielo abierto.

Wil (2011) expone que en el desarrollo de cultivos de ciclo corto la rotación de cultivos es ideal para reducir el agotamiento del suelo. Los cultivos de ciclo corto se pueden dividir en dos grupos:

- Gramíneas plantas que exigen mucho del suelo.
- Leguminosas plantas que aportan nitrógeno al suelo a través de la fijación de nitrógeno del aire.

En la rotación de cultivos se alternan los cultivos de los dos grupos, así después de un cultivo que exige mucho del suelo, sembramos otro que aportara nutrientes. Así por ejemplo, en la misma parcela se siembran primero arroz, después soya, después maíz, luego maní, trigo, y frejol.

La rotación de cultivos también nos ayuda a controlar plagas y enfermedades, porque al cambiar las plantas hospederas se rompe el ciclo de reproducción de las plagas de insectos.

2.7.1 GRANJA “LA PRADERA”

Las instalaciones de la granja “La Pradera” están ubicadas en la Parroquia San José de Chaltura del Cantón Antonio Ante en la Provincia de Imbabura, con una superficie de 26.17 hectáreas de terreno.

El IEE-MAGAP (2014) en su memoria técnica de geoinformación manifiesta las siguientes características geográficas y climáticas de la zona:

- Coordenadas UTM de X: 811224 Este, Y: 10039725 Norte
- Altitud: 2381 msnm
- Temperatura media anual: 16.9 °C
- Precipitación media anual: 750 mm
- Humedad relativa: 68.9% en los meses secos

La granja dentro de sus 26.17 hectáreas alberga a 2 reservorios de agua, cultivos de maíz, cebada, trigo, alfalfa, naranja, mandarina, tomate, por mencionar los principales y como dato particular tenemos que el riego se lo hace por aspersión y por gravedad. A continuación se muestra de manera gráfica la ubicación de la granja y su superficie.

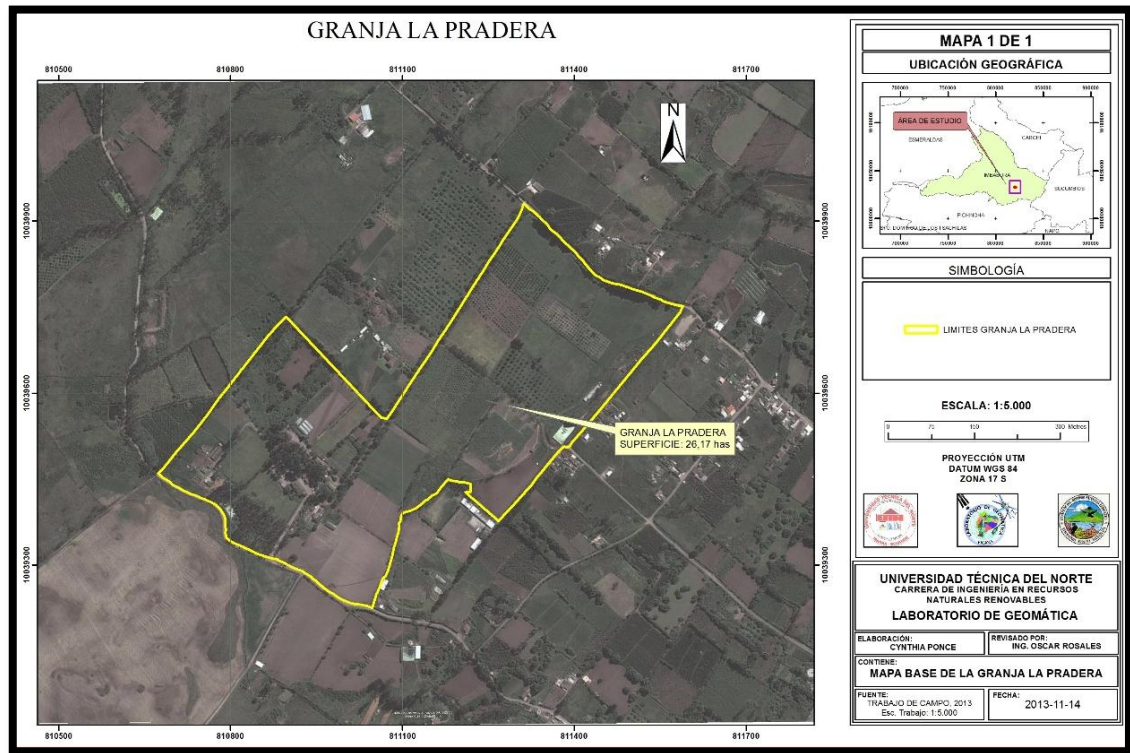


Figura 16. Mapa base de la granja La Granja La Pradera.

Fuente: Granja La Pradera. Elaborado por: Laboratorio de geomática UTN

CAPÍTULO III

DISEÑO DEL HARDWARE

En este capítulo se expone y explica la arquitectura del hardware que abarca el proyecto, además, se establecerá la topología a usar en el diseño de la WSN y los componentes electrónicos, software, protocolos y estándares a usar; una vez culminado el diseño se tratará puntos importantes acerca de la ubicación de cada uno de los elementos mediante una simulación, la cual permitirá ver su radiación electromagnética de cada uno de los nodos y así establecer un punto de ubicación adecuado.

3.1 ARQUITECTURA

La arquitectura del hardware se subdivide en dos etapas principales que son:

- La WSN: esta etapa comprende la topología de red mallada, los nodos sensores, nodo servidor, sistema operativo embebido Contiki que permite operar bajo el protocolo 6LoWPAN en la capa de adaptación, un protocolo de enrutamiento RPL y una transmisión de datos IEEE 802.15.4.
- La Nube (Cloud): comprende al gateway y la plataforma PAAS, específicamente Openshift que tiene integrado un servidor web apache, una base de datos MySQL⁴², un gestor de bases de datos phpMyAdmin y un lenguaje de programación PHP⁴³-HTML⁴⁴ para el desarrollo de aplicaciones.

⁴² MySQL: My Structured Query Language (Lenguaje de Consulta Estructurado)

⁴³ PHP: Hypertext Preprocessor

⁴⁴ HTML: HyperText Markup Language (Lenguaje de Marcas de Hipertexto)

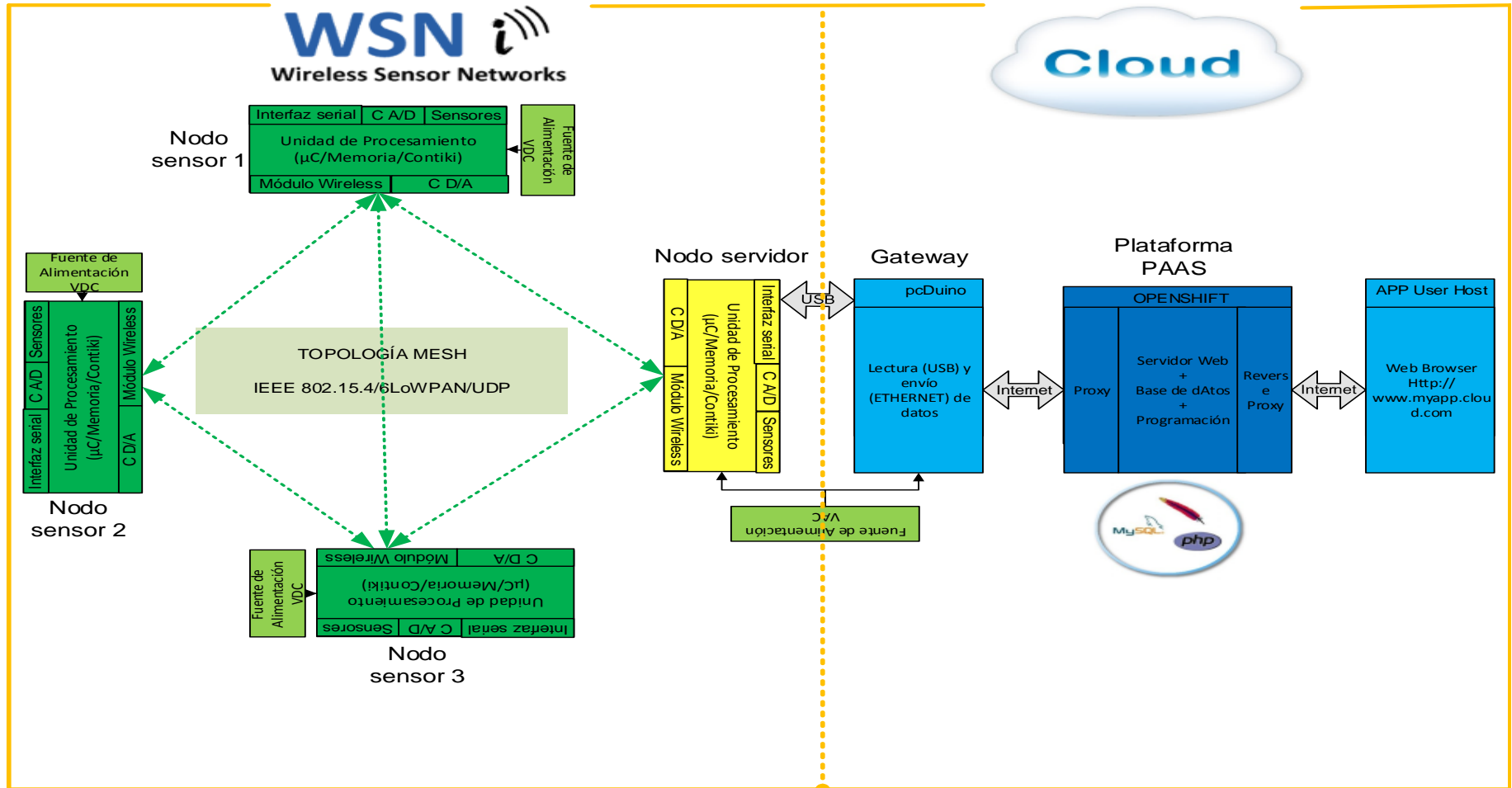


Figura 17. Arquitectura del sistema.

Fuente: Diseño del hardware. Elaborado por el Autor

3.1.1 DESCRIPCIÓN

La arquitectura del sistema inicia en los nodos sensores que son los encargados de recolectar información del ambiente donde se encuentran, esta información se basa en los tres parámetros pre establecidos que son: temperatura, luminosidad y humedad, estos datos son señales de tipo analógico y convertidas a señales digitales por los conversores A/D propios de los sensores o del nodo sensor según sea el caso, toda esta información es contenida en paquetes IPv6 y enviada (bajo protocolo UDP) al nodo servidor de manera inalámbrica (bajo el estándar IEEE 802.15.4).

El nodo servidor recibirá todas las tramas encriptadas con seguridad AES⁴⁵ de 128 bits por la capa MAC IEEE 802.15.4 de los nodos sensores, desfragmentará y descomprimirá los paquetes hasta obtener el paquete IPv6, desencapsulará el paquete hasta acceder a la información recolectada por los sensores de los nodos y la enviará al gateway mediante una comunicación serial USB.

El gateway recibirá la información por su puerto USB, y se encargará de procesar, tabular y a través de su puerto Ethernet o módulo wireless se conectarse a la nube (cloud) donde interactuará con una plataforma PAAS Openshift, con la finalidad de utilizar recursos alojados en la nube como una BDD MySQL, un servidor WEB Apache y un gestor de BDD phpMyAdmin que permitirán extraer y almacenar información del gateway. El aplicativo se desarrollará en un lenguaje de programación PHP-HTML y permitirá interactuar al usuario con los datos recolectados de la WSN, de manera remota desde cualquier sitio conectado a la Internet mediante un navegador WEB.

⁴⁵ AES: El estándar de cifrado (encriptación) avanzado, Advanced Encryption Standard

Las fuentes de energía de los nodos sensores constarán de paneles solares, acumuladores (baterías recargables) y reguladores de voltaje, por otro lado, el nodo servidor y gateway estarán ubicadas cerca de una red eléctrica AC y mediante adaptadores (AC a DC) se suministrará la energía necesaria para cada uno de ellos.

Tanto los nodos sensores y el nodo servidor serán configurados para que cumplan los propósitos específicos ya expuestos, mediante un sistema operativo embebido como lo es ContikiOS, que maneja una programación multi-hilos y open source, pensado para plataformas con recursos de procesamiento, memoria y energía limitados.

3.2 DISEÑO DE LA WSN

En el capítulo II se expuso las diferentes topologías que pueden optar las WSN, y se ha optado por utilizar la de tipo Mesh (Malla) por las siguientes razones:

- Trabajar con una topología en malla es ideal en redes de dispositivos de bajo consumo de energía y baja tasa de transferencia de datos.
- La topología manejará un protocolo de enrutamiento RPL, lo que permite enrutar paquetes desde un nodo origen hacia un nodo destino, sin importar si el nodo destino se encuentra a uno o más saltos del nodo origen. RPL define un sistema multisalto, propio de una topología Mesh.
- Al hablar de enrutamiento, se entiende que un nodo conocerá de sus vecinos, por tal razón, existirá más de un camino a seguir desde un origen a un destino, permitiendo a los paquetes seguir otras rutas si un nodo falla, garantizando

que el paquete llegue a su destino. La auto organización, característica propia de una red Mesh.

- Un nodo, al trabajar con el protocolo de enrutamiento RPL, conoce de sus vecinos, y puede comunicarse con otros nodos hasta llegar a un destino, implica que todos los nodos serán de tipo Router. Característica que define una topología Mesh.

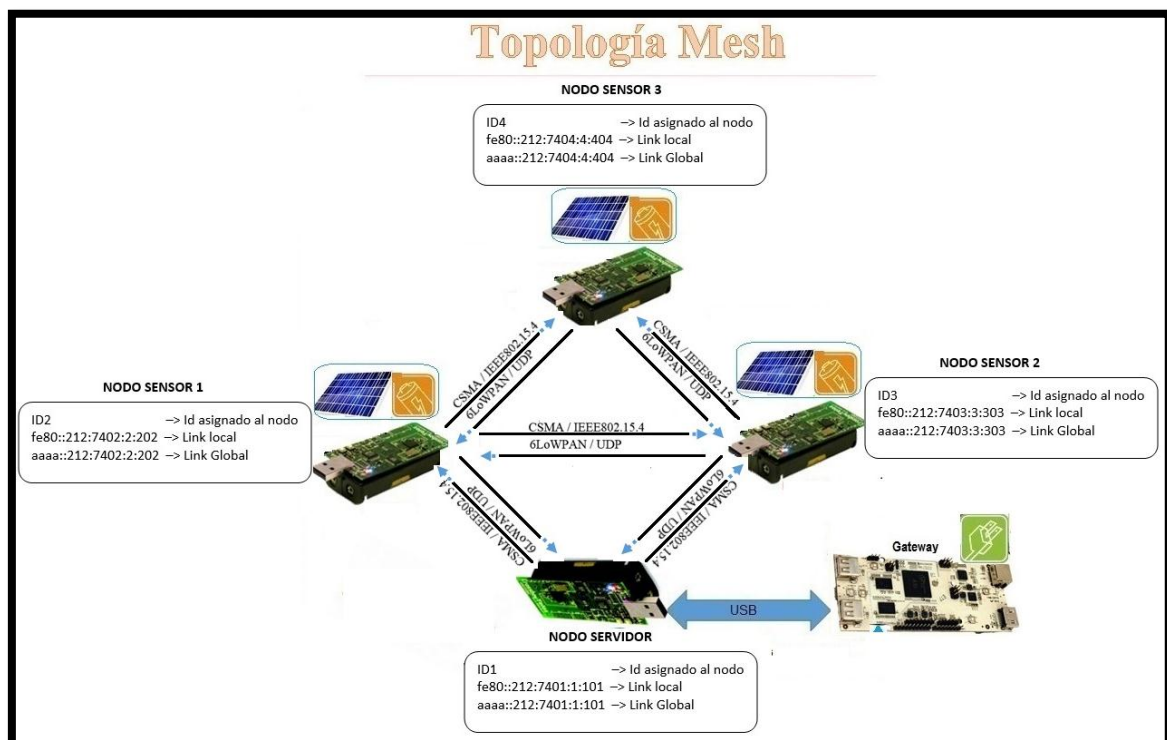


Figura 18. Topología de red tipo Mesh.

Fuente: Diseño de la topología WSN. Elaborado por el Autor

Como se observa en la figura 18, la topología constará de 3 nodos sensores, un nodo servidor, un gateway, una fuente de alimentación en cada uno de los anteriores y una comunicación inalámbrica (Nodos sensores – Nodo servidor); cada uno de los elementos tendrán su respectivo hardware, software, protocolos y estándares, que cubrirá los

requerimientos del diseño, a continuación se analizara cada uno de los elementos de la topología:

- Fuentes de energía
- Nodos sensores
- Nodo servidor
- Gateway

3.2.1 FUENTES DE ENERGÍA

Las fuentes de energía que necesitará nuestra topología serán de dos tipos, fuente de corriente continua o directa (DC) y fuente de corriente alterna (AC).

La fuente de energía DC es la encargada de suministrar energía a los nodos sensores, por lo que se diseñara una fuente de energía solar que suministre un voltaje adecuado para el funcionamiento de los nodos, y para el nodo servidor y el gateway se usara la energía de la red eléctrica AC de la granja.

3.2.1.1 Fuente DC

La fuente DC se encargará de alimentar a los 3 nodos sensores de la WSN que se ubicarán en campo abierto, y estará compuesta por un panel solar fotovoltaico o módulo fotovoltaico que está compuestos por dispositivos semiconductores tipo diodo (células fotovoltaicas), que al recibir la radiación solar se estimulan y generan diferencia de potencial en sus extremos (voltaje). El acoplamiento en serie de estas células permite obtener voltajes DC adecuados para alimentar dispositivos electrónicos como lo es el

ARDUINO UNO que opera con un voltaje de 12V (pudiendo operar con voltajes entre 6V y 20V), y a través de un SHIELD HOST USB acoplado al Arduino, se conectarán y alimentarán los nodos sensores TelosB que operan con voltajes entre 2.1 V y 3.6 V que son los voltaje límites.

Esta electricidad se puede utilizar de manera directa o almacenar en acumuladores, para el diseño de la WSN se almacenará en una batería VRLA (Plomo-Ácido) de 12V/5AH recargable, características suficientes para soportar el consumo de cada nodo.

Además del panel solar y la batería, los nodos sensores cuentan con un circuito supervisor de voltaje de alimentación (SVS) integrado para proteger y suministrar energía correcta a todos los elementos electrónicos que confirman un nodo sensor.

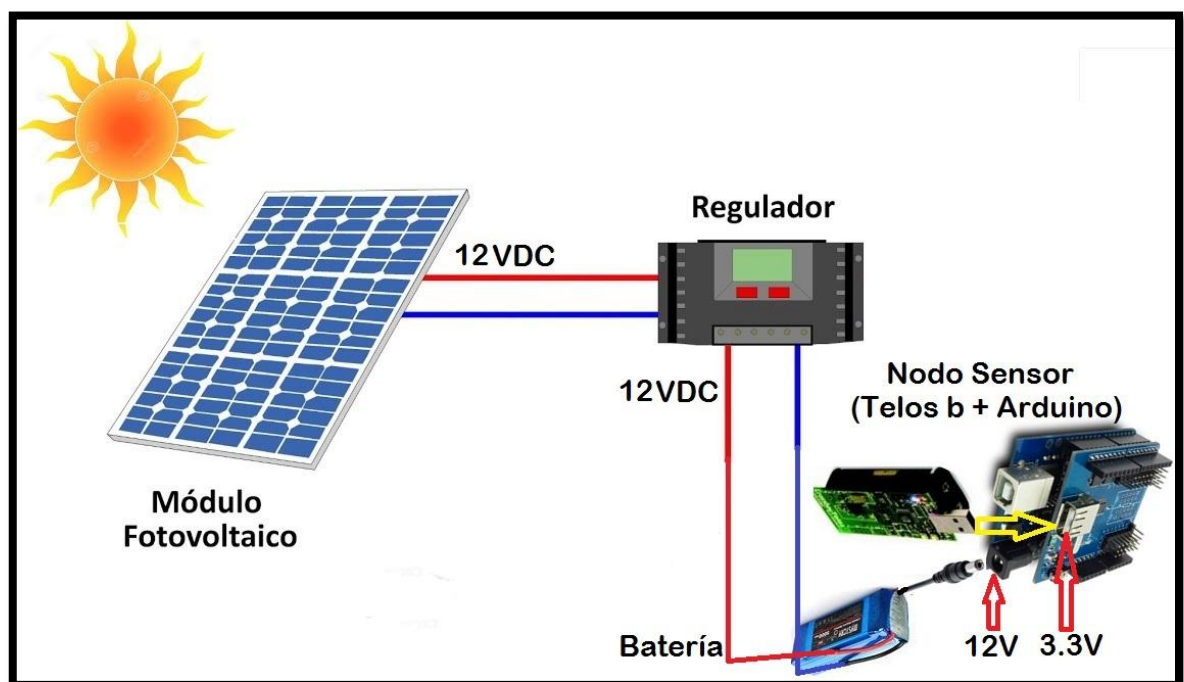


Figura 19. Esquema de conexión de la fuente de energía DC al nodo sensor.

Fuente: Diseño de la fuente DC. Elaborado por el Autor

3.2.1.2 Fuente AC

La fuente AC será propiamente la red eléctrica de 110 voltios de corriente alterna a 60 Hz de la Granja La Pradera, esta fuente se encargará de alimentar al gateway a través de un adaptador de alimentación 120 VAC a 5 VDC, y el gateway a su vez por medio de uno de sus puertos USB alimentara al nodo servidor.

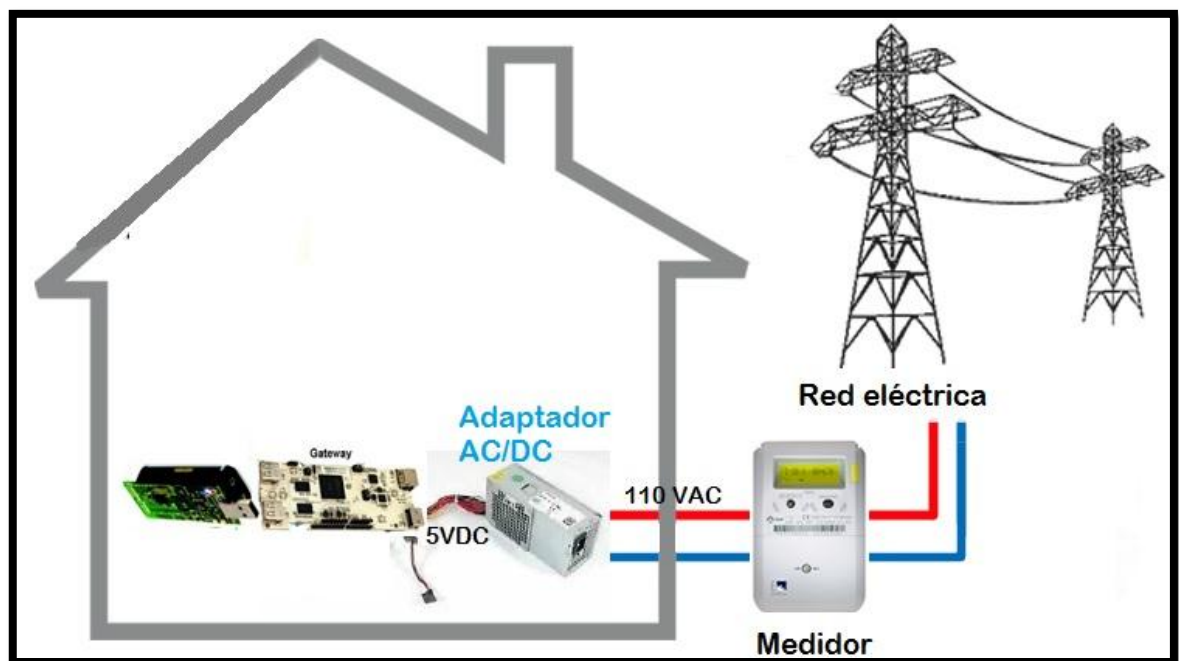


Figura 20. Esquema de conexión de la fuente de energía AC al gateway.

Fuente: Diseño de la fuente AC. Elaborado por el Autor

3.2.2 NODOS SENSORES

En el mercado actual existen muchos tipos y modelos de nodos inalámbricos (Motes), entre ellos los más conocidos son: IMote2, Wasp mote, MicaZ y TelosB. A continuación se realizará una tabla comparativa entre los distintos motes mencionados:

| Nombre | μC | Transmisor | Memoria | Memoria flash | Sistemas operativos soportados | Alimentación | Sensores integrados |
|------------------|------------------------------------|--|--------------|---------------|---|---|--|
| IMote2 | Marvel PXA271 | TI CC2420, 250kbps 2,4 GHz IEEE 802.15.4/ZigBee | 32MB SRAM | 32MB | Microsoft .NET Micro, Linux TinyOS | Battery voltaje: 3xAAA (3.2-4.5V) | No |
| Wasp mote | ATMEGA 1281 | Sockets para antenas a 2.4 GHz y 868/900MHz. Soporta estándares XBee-802.15.4 – 802.15.4 Compliant / XBee-ZB – ZigBee-Pro | 8KB SRAM | 128K B | IDE-Waspmote (open source). Versions Windows, Linux and Mac-OS | Auxiliar Pila botón Litio cr1225 - 3V | No |
| MicaZ | ATMEGA 128L | TI CC2420, 250kbps 2,4 GHz IEEE 802.15.4/ZigBee | 4KB RAM | 128K B | TinyOS, SOS, MantisOS y Nano- RK | Battery voltaje: 2xAA (2.7 – 3.3V) | No |
| Telos B | Texas Instrumens MSP430Fxxxx | TI CC2420, 250 Kbps, 2.4 GHz, IEEE 802.15.4/6LoWPAN | 10KB RAM | 48KB | Contiki, TinyOS, SOS y MantisOS | Battery 2xAA/USB | Si (luz, humedad relativa y temperatura) |

Tabla 2. Tabla comparativa de nodos inalámbricos

Fuente: Tipos de nodos sensores. Elaborado por el Autor

Luego de analizar las características de hardware y software de cada uno de los motes, se optó por el mote Telos Revisión B (modelo CM5000) por las siguientes razones:

- El modelo TelosB trabaja bajo el estándar IEEE 802.15.4, en 2.4 a 2.485 GHz y soporta 6LoWPAN, lo que permite que la topología trabaje con el protocolo IPv6 sin ningún inconveniente y una comunicación inalámbrica en una banda ISM (Industry Scientific Medic).
- La plataforma TelosB además del sistema operativo embebido TinyOS, permite trabajar con Contiki, siendo Contiki un sistema operativo embebido de código abierto, orientado a trabajar con redes WSN, no licenciado (sin costo), posee un modelo de programación por eventos, las aplicaciones son en lenguaje C, soporte nativo para redes IPv6 de forma nativa (6LoWPAN) así como IPv4, CoAP⁴⁶ y un stack propio para comunicaciones.
- Finalmente cabe mencionar que TelosB posee sensores integrados (Luz, temperatura y humedad relativa) de exactamente los parámetros que se desea monitorear, una antena integrada con rango de cobertura de 120 metros en exteriores (suficiente alcance para el área de monitoreo del proyecto), un sistema alimentación externo de 2 pilas AA integrado, y una suficiente tasa de transferencia de datos de 250 kbps con bajo consumo de energía, gracias al uso del microcontrolador Texas Instruments MSP430F1611 y el chip RF CC2440

⁴⁶ CoAP: Constrained Application Protocol

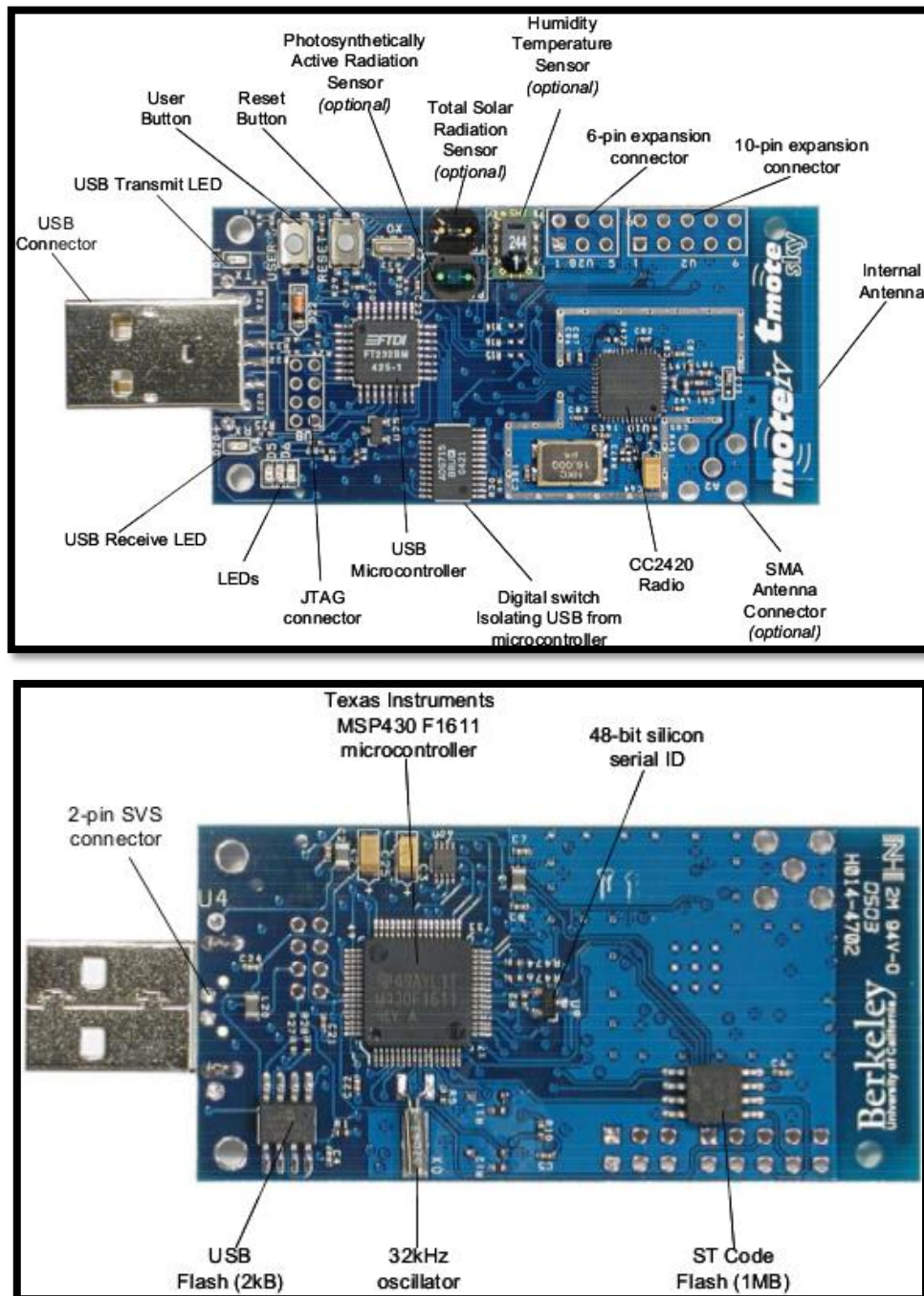


Figura 21. Nodo sensor o mote TelosB CM5000.

Fuente: Heras (2014). Recuperado de <http://goo.gl/KuLJiJ>

Información más detallada del TelosB CM5000 revisar en anexo 1.

3.2.2.1 Nodos sensores clientes

Los nodos sensores TelosB clientes, haciendo uso de sus capacidades de hardware y software cumplirá con las siguientes funciones:

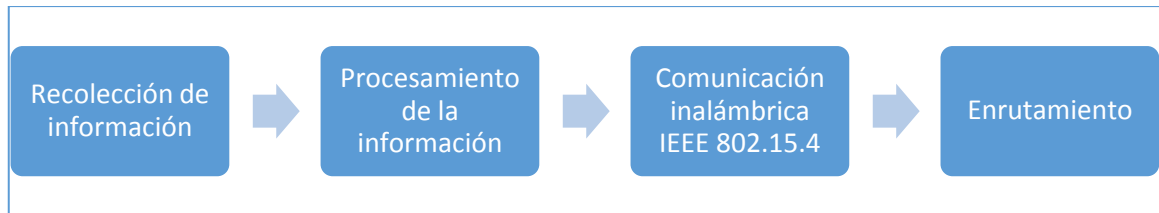


Figura 22. Funciones de los nodos sensores clientes.

Fuente: Nodos sensores. Elaborado por el Autor

3.2.2.1.1 *Recolección de información*

La recolección de información es el proceso de relacionar cantidades de luz, humedad relativa/suelo y temperatura (fenómenos analógicos) del medio ambiente, con valores eléctricos o resistivos mediante diminutos dispositivos electrónicos (sensores ambientales integrados en el Telos B) y expresarlos en forma digital para que sean entendidos y procesados en la unidad de procesamiento del nodo sensor.

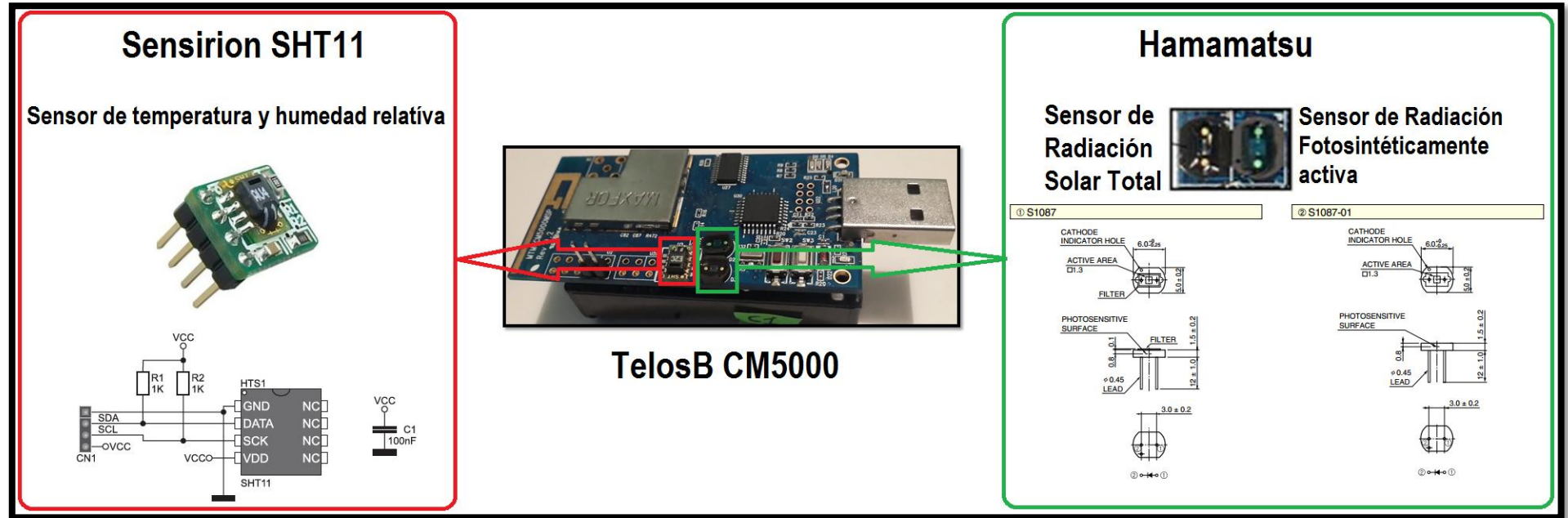


Figura 23. Sensores de luz Hamamatsu S1087/01, y de temperatura y humedad relativa Sensirion SHT11.

Fuente: Sensores integrados del TelosB. Elaborado por el Autor

- Sensor de luz: Se utilizará sensor de luz PAR (Photosynthetically Active Radiation) Hamamatsu S1087 y el sensor de luz TSR (Total Solar Radiation) Hamamatsu S1087-01, para medir todo el espectro visible incluido la luz infrarroja. Estos sensores son paquetes cerámicos de fotodiodos que ofrecen baja corriente ante la oscuridad, sus pines (Ánodo y Cátodo) interactúan con el conversor A/D de 12 bits del nodo sensor para obtener una señal digital como respuesta a sus mediciones.
- Temperatura y humedad relativa: son medidas por un solo sensor Sensirion SHT11, quien se encarga de conocer la temperatura y la humedad existentes en el lugar de localización del nodo sensor o mote, este sensor entrega una salida digital y no necesita interactuar con el conversor A/D del nodo sensor, además utiliza una memoria EEPROM para almacenamiento de datos y calibración de los coeficientes.

Los sensores encargados de la recolección de la información tienen las siguientes características:

| Sensors | | |
|-----------------------------------|------------------------|--|
| Ligth 1 | Hamamatsu S1087 Series | Visible & Infrared Range (560 nm peak sensitivity wavelength) |
| Ligth 2 | Hamamatsu S1087 Series | Visible Range (960 nm peak sensitivity wavelength) |
| Temperature & Humidity | | Temperature Range: -40~123.8 °C Temperature Resolution: ±0.01(typical) Temperature Accuracy: ±0.4°C (typical) Humidity Range: 0~100 %RH Humidity Resolution: 0.05 (typical) Humidity Accuracy: ±3 %RH (typical) |

Tabla 3. Características de los sensores Hamamatsu S1087/01 y Sensirion SHT11.

Fuente: Heras (2014). Recuperado de <http://goo.gl/aEO0fQ>

- Humedad del suelo: en la medición de este parámetro se usara un sensor hidrómetro externo que permite detectar el nivel de humedad del suelo, el mismo que interactuara con a la alimentación y pin analógico de un módulo Arduino para comunicarse con el nodo sensor e incorporar este parámetro a la trama de datos a transmitirse, este sensor externo posee sensibilidad ajustable (ajuste el potenciómetro), tensión de funcionamiento 3.3V - 5V, módulo de doble modo de salida (digital y analógica) y un chip comparador LM393.

Humedad del suelo: en la medición de este parámetro se usara un sensor hidrómetro externo que permite detectar el nivel de humedad del suelo, el mismo que interactuara con a la alimentación y pin analógico de un módulo Arduino para comunicarse con el nodo sensor e incorporar este parámetro a la trama de datos a transmitirse, este sensor externo posee sensibilidad ajustable (ajuste el potenciómetro), tensión de funcionamiento 3.3V - 5V, módulo de doble modo de salida (digital y analógica) y un chip comparador LM393

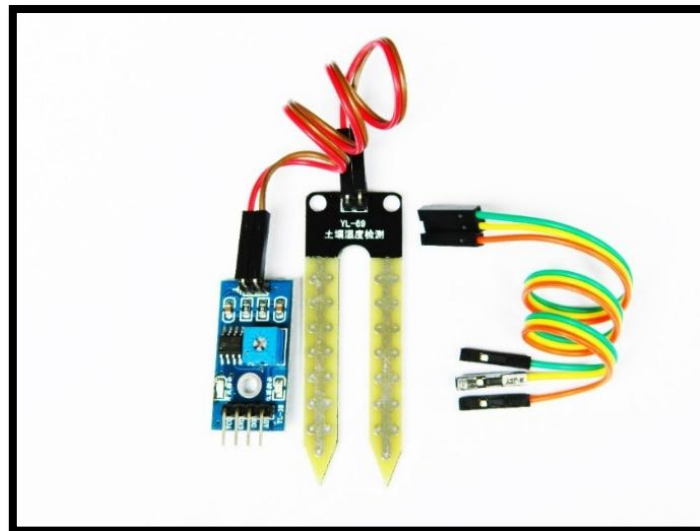


Figura 24. Módulo Sensor de Humedad del Suelo.

Fuente: EDUCATRONICA (2014). Recuperado de <http://goo.gl/dz8sDd>

Especificación de interfaz (4 hilos):

- VCC (pin 1).- VCC externa 3.3V-5V
- GND (pin 2).- GND externo
- DO (pin 3).- Tarjeta de interfaz de salida digital (0 y 1)
- AO (pin 4).- Tarjeta de interfaz de salida analógica

El nodo sensor además de recolectar información de humedad, temperatura y luminosidad, posee un circuito divisor de voltaje interno que permite conocer el nivel de voltaje que posee las baterías (o alimentación) del nodo y esta información junto al ID identificador propio de cada nodo también es agregada a la trama que se transmitirá.

3.2.2.1.2 *Procesamiento de la información:*

El tratamiento de la información recolectada por los sensores internos y externos del nodo es realizado por la unidad de procesamiento del nodo sensor, dicha unidad consta de los siguientes componentes descritos en la tabla 4.

| | | |
|------------------------|-------------------------------|--|
| Processor | | |
| Processor Model | Texas Instruments MSP430F1611 | Texas Instruments MSP430 family |
| Memory | 48KB 10KB 1MB | Program flash Data RAM External Flash (ST M25P80) |
| ADC | 12 bits resolution | 8 channels |
| Interfaces | UART, SPI, I2C USB | Serial Interfaces External System Interface (FTI FT232BM) |

Tabla 4. Características de componentes de la unidad de procesamiento del nodo sensor.

Fuente: Heras (2014). Recuperado de <http://goo.gl/kdFTB5>

La unidad de procesamiento tiene la capacidad de trabajar bajo el estándar 6LoWPAN y por ende con el protocolo IPv6, entonces, tras recibir la información recolectada por los sensores ya en formato digital, esta información ingresa a un proceso de encapsulamiento dentro de un paquete IPv6 (1280 bytes) y utilizando métodos de fragmentación y compresión, propios del estándar 6LoWPAN, se logran obtener tramas 127 Bytes (tamaño de una trama IEEE 802.15.4), este proceso prepara la información en un formato que la unidad de comunicación inalámbrica del nodo está en capacidad de recibir y transmitir.

3.2.2.1.3 Comunicación inalámbrica IEEE 802.15.4:

La comunicación inalámbrica se realizará por un módulo wireless que soporta el estándar IEEE 802.15.4 y posee las siguientes características detalladas en la tabla 5.

| | | |
|------------------------|---|---|
| Radio | | |
| RF Chip | Texas Instruments CC2420 | IEEE 802.15.4 2.4GHz Wireless Module |
| Frequency Band | 2.4GHz ~ 2.485GHz | IEEE 802.15.4 compliant |
| Sensitivity | -95dBm typ | Receive Sensitivity |
| Transfer Rate | 250Kbps | IEEE 802.15.4 compliant |
| RF Power | -25 ~ 0dBm | Software Configurable |
| Range | ~120m(outdoor), 20~30m(indoor) | Longer ranges Possible with optional SMA antenna attached |
| Current Draw | Rx: 18.8mA Tx: 17.4mA Sleep mode: 1uA | Lower RF Power Modes reduce consumption |
| RF Power Supply | 2.1V ~ 3.6V | CC2420 Input Power |
| Antenna | Dipole Antenna/PCB Antenna | Additional SMA connector available for extra antenna |

Tabla 5. Características módulo wireless IEEE 802.15.4.

Fuente: Heras (2014). Recuperado de <http://goo.gl/vHiIy3>

Una vez que la unidad de procesamiento de cada uno de los nodos ha formado la trama IEEE 802.15.4, se produce una comunicación serial SPI entre la unidad de procesamiento y el módulo wireless con la finalidad de compartir tramas, dichas tramas ingresan al módulo y son almacenadas en un buffer de 128 bits para ser transmitidas con el método FIFO⁴⁷ hacia un conversor D/A, un filtro pasabajo crea una modulación en cuadratura (I y Q) en sentido ascendente y la señal de RF es amplificada en un amplificador de potencia para finalmente ser entregada a la antena para su transmisión.

Las información en forma de señales analógicas viajará por el aire a una frecuencia de 2.4 GHz con una tasa de transferencia de 250 Kbps y con una área de cobertura de 120 m en exteriores, área donde estará situado el nodo servidor para receptar la señal, en caso de que el área de cobertura de un nodo sensor “x” no sea suficiente para comunicarse con el nodo servidor, esta información puede ser enrutada por otro nodo sensor “y” que si este dentro de su área de cobertura.

3.2.2.1.4 *Enrutamiento:*

En el diseño de red se trabajará con enlaces multi-saltos y ello da la pauta para trabajar con el protocolo de enrutamiento RPL (IPv6 Routing Protocol for Low power and Lossy Networks), el proceso de enrutamiento se inicia cuando un nodo no tiene al nodo servidor dentro de su área de cobertura (entre los 120 m) y necesita interactuar con otros nodos para que su información llegue a su destino, para ello se obtiene primero una dirección global

⁴⁷ FIFO: first in, first out

IPv6 (por ejemplo vía DHCPv6⁴⁸) en cada uno de los nodos, una vez que a un nodo le es asignado una dirección global se establece una ruta usando mensajes ICMPv6⁴⁹ relacionados a RPL, esa ruta se añade en la tabla de enrutamiento permitiendo que RPL encuentre las rutas de forma automática sin la necesidad de crearlas de manera manual en el diseño.

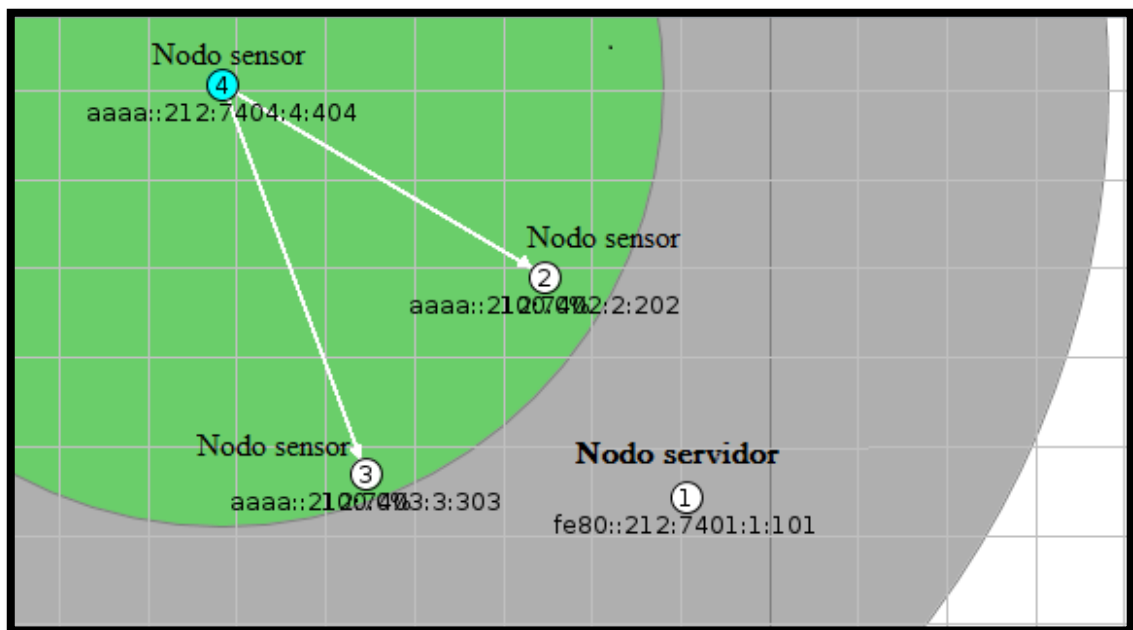


Figura 25. Área de cobertura de un nodo sensor multi-salto (color verde).

Fuente: Protocolo de enrutamiento. Elaborado por el Autor

En la figura 25 se observa que el área de cobertura del nodo sensor 4 no incluye al nodo servidor, por lo que la información que desea transmitir es enrutada por sus nodos vecinos y así llegar al nodo servidor.

⁴⁸ DHCPv6: Dynamic Host Configuration Protocol version 6

⁴⁹ ICMPv6: Internet Control Message Protocol version 6

3.2.2.2 Nodo servidor

El nodo sensor TelosB servidor, haciendo uso de sus capacidades de hardware y software cumplirá con las siguientes funciones:

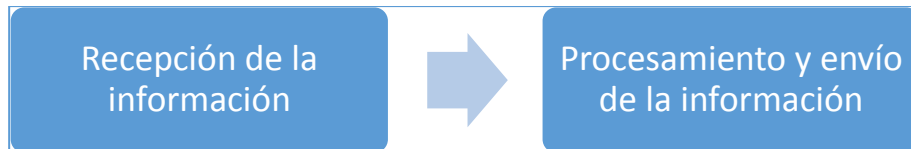


Figura 26. Funciones del nodo servidor.

Fuente: Nodos sensores. El Autor

El nodo servidor será de idénticas características de hardware que los nodos sensores, la diferencia radica en su comportamiento (configuración/Software) ante la red, ya que no recolectará información de sus sensores integrados y mucho menos de alguno externo, sino que mediante una comunicación IEEE 802.15.4 receptará toda la información proveniente de los nodos de la WSN.

Al recibir la información de los nodos sensores, interactuará con el gateway para transmitir los datos recibidos a través de una comunicación serial (USB) con periodos de comunicación administrables por el usuario.

3.2.2.2.1 *Recepción de la información*

El módulo wireless del nodo servidor cuenta con un chip RF CC2420, el que recibe la señal de RF para luego ser amplificada por el amplificador de bajo ruido (LNA) y

convertida hacia abajo en cuadratura (I y Q), la señal I/Q se filtra y nuevamente se amplifica para la digitalización por los ADCs; las tramas recibidas se almacenan en el buffer de 128 bytes y tratadas por el método FIFO y la unidad de procesamiento puede leerlas a través de una interfaz SPI.

3.2.2.2.2 Procesamiento y envío de la información

Esta información una vez en la unidad de procesamiento podrá ser descryptada, fragmentada, descomprimida y transmitida por el puerto USB hacia el gateway de nuestra topología; al mismo tiempo el nodo servidor permite interactuar al exterior (redes TCP/IP) con la WSN (IPv6), esto mediante el uso de una herramienta propia de Contiki como es `tunslip6`.

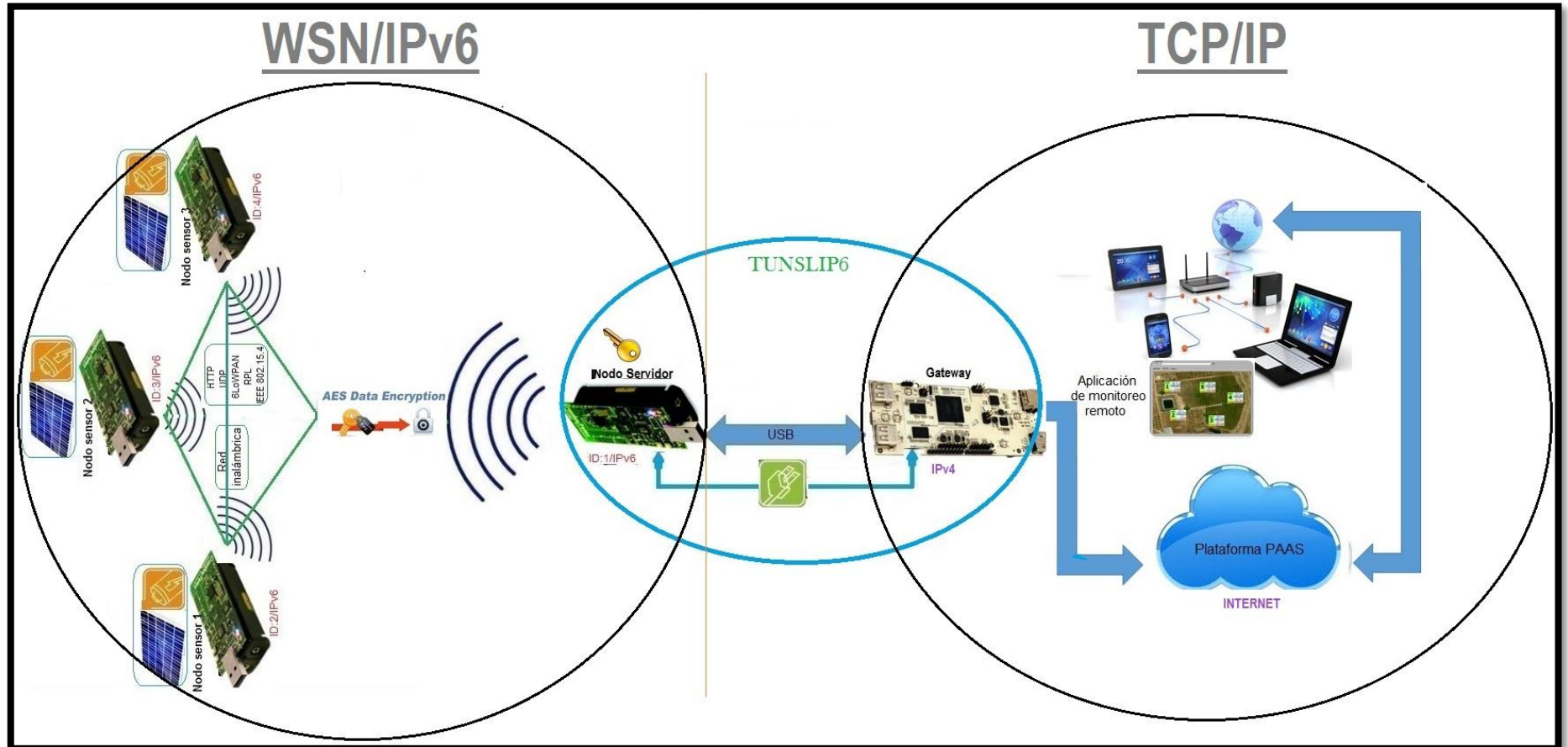


Figura 27. Túnel entre la WSN y la red TCP/IP.

Fuente: Recepción y envío de la información entre la WSN y el Gateway. El Autor

3.2.3 GATEWAY

El gateway será un pcDuino 3, dispositivo de alto rendimiento, rentable plataforma de mini PC que corre como sistema operativo como Ubuntu 12.04, como interfaz gráfica permite conectar cualquier dispositivo de video que soporte su interfaz HDMI⁵⁰; pcDuino está especialmente dirigido para el rápido crecimiento de las demandas de la comunidad de código abierto y compatible con el popular ecosistema Arduino con sus variados Shields y proyectos de código abierto.

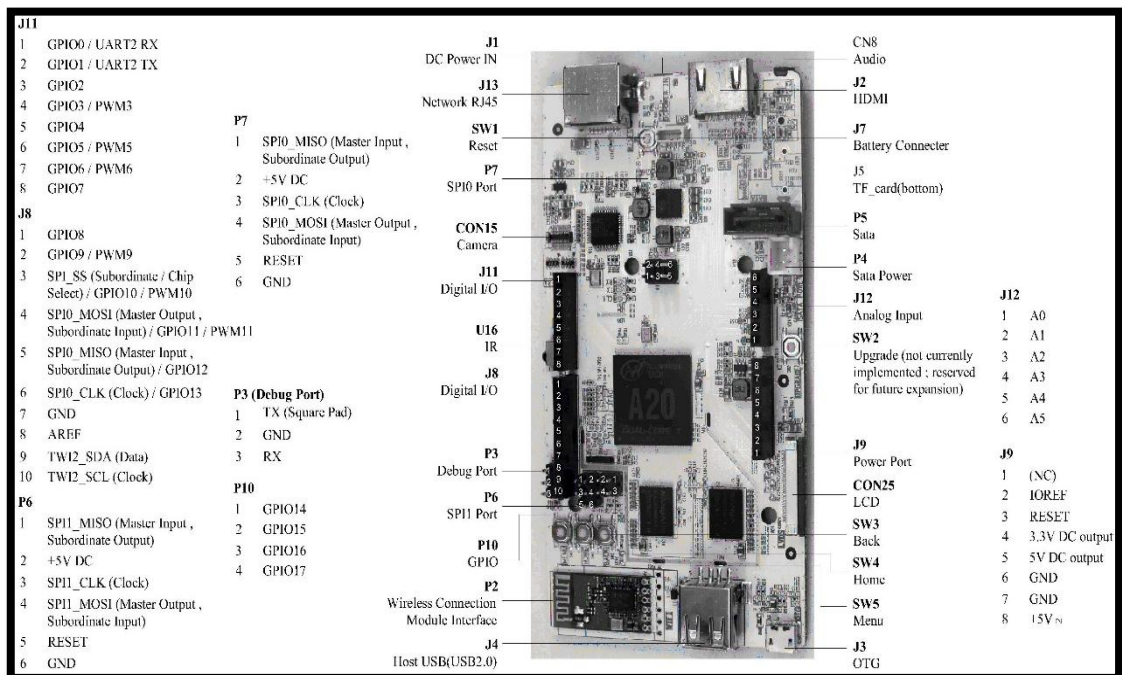


Figura 28. pcDuino 3 y sus partes.

Fuente: Roboweb (2013). Recuperado de <http://goo.gl/B446FH>

En este dispositivo vamos a montar un script en lenguaje de programación python, que abrirá una comunicación en un puerto serial (USB0) a una velocidad de transmisión de

⁵⁰ HDMI: High-Definition Multimedia Interface

115200 (velocidad configurable) y donde estará conectado el nodo servidor, de esta manera se receptorá la información de la WSN, estos datos serán almacenados dentro de la memoria del dispositivo y simultáneamente enviados a la nube a través de una conexión a la Internet por el puerto Ethernet.

En este caso la comunicación será por el puerto Ethernet del dispositivo dado a su estabilidad y mayor transmisión de datos, para otros casos también se podría usar una comunicación inalámbrica IEEE 802.11.

Información más detallada del pcDuino 3 revisar en anexo 2.

3.3 UBICACIÓN DE LOS ELEMENTOS

El área de monitoreo es de 4.700 m² y está conformada por parcelas de cultivos de ciclo corto (vegetales y hortalizas) en campo abierto, mayoritariamente de cebada, papa y frejol. Por tal motivo el proyecto se ha desarrollado en base a esas características.

Se ha planteado trabajar en una WSN en malla, por ello es importante el posicionamiento de cada uno de los nodos sensores, dado que su área de cobertura es limitada a 120 metros en campo completamente abierto y para un buen desempeño de la topología, optimizar el consumo de potencia y evitar pérdidas de información en la transmisión, es necesario que los nodos sensores y también el nodo servidor, estén dentro de un área en la que por lo menos un nodo tenga un vecino visible y así por medio del mismo poder comunicarse a un segundo nodo hasta llegar al nodo servidor; por tales

razones se simulará a la WSN y en base a la potencia de las antenas de cada uno de los elementos obtener el área de cobertura y posicionarlos en sitios donde menor sean los obstáculos, de tal manera que exista una línea de vista y una zona de fresnel entre nodos.

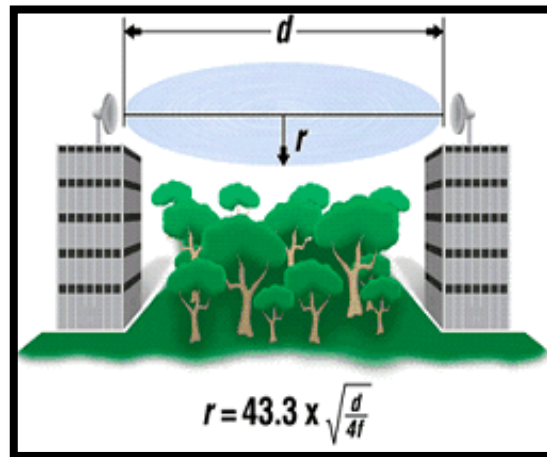


Figura 29. Representación gráfica de la Zona de Fresnel.

Fuente: Juan López, (2011). Zona de Fresnel. Recuperado de <http://goo.gl/1ZIgnM>

Con el objetivo de satisfacer estas necesidades se hará uso del software gratuito denominado Radio Mobile.

3.3.1 SIMULACIÓN CON RADIO MOBILE

A continuación se establecerá los sitios de posicionamiento óptimos de los nodos sensores dentro del área de cultivos a monitorear en la granja La Pradera, y garantizar una red redundante sin pérdidas de información; para ello iniciamos con la importación del mapa de la granja ingresando sus coordenadas como lo muestra la figura 27.

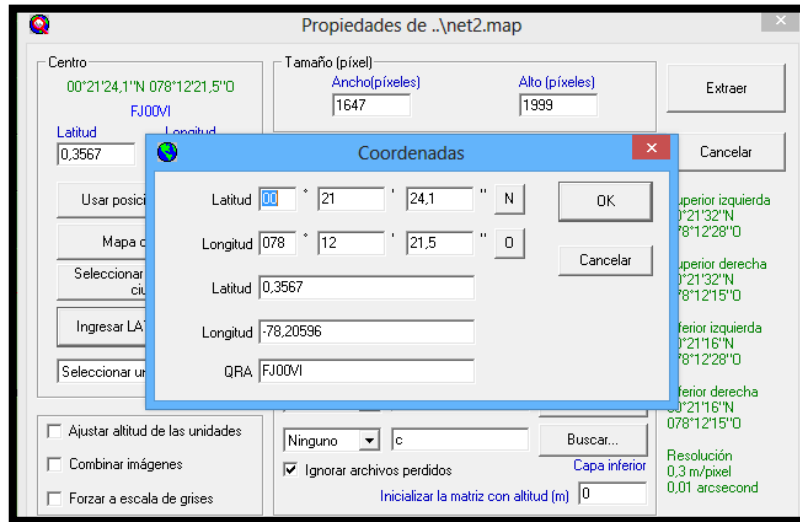


Figura 30. Ingreso de las coordenadas de la granja La Pradera.

Fuente: Diseño de la WSN-6LoWPAN en Radio Mobile.

Seguidamente se crea cada uno de los nodos pertenecientes a la red de la WSN, ubicándolos a una distancia prudente entre el nodo servidor y los clientes.

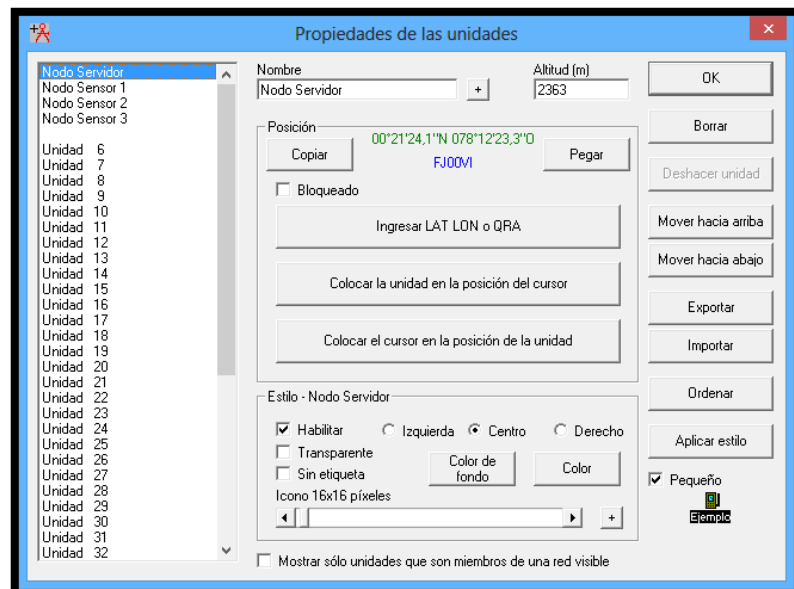


Figura 31. Creación de los nodos.

Fuente: Diseño de la WSN-6LoWPAN en Radio Mobile.

Ya creados los nodos se procede a crear la red mallada, de tal manera que se garantice el envío de la información de un cliente hacia el servidor y viceversa.

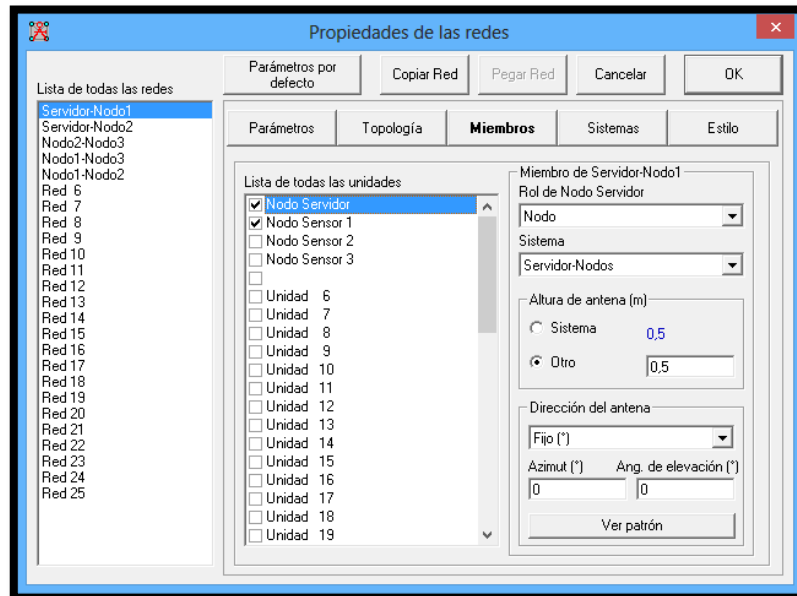


Figura 32. Creación de la red.

Fuente: Diseño de la WSN-6LoWPAN en Radio Mobile.

Para determinar la correcta ubicación de los nodos es necesario trabajar con los parámetros reales que poseen los Telos b modelo CM5000, parámetros como:

- Frecuencia de operación entre 2400 MHz y 2485 MHz
- Polarización vertical
- Potencia de transmisión configurable entre -25 dBm y 0 dBm
- Umbral de recepción de -95dBm
- Antenas tipo dipole
- Ganancia de antena de 9dBi

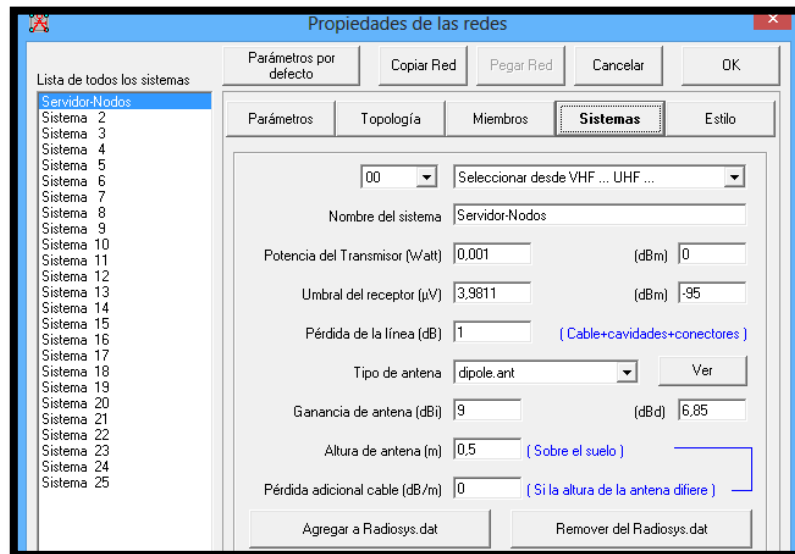


Figura 33. Configuración de parámetros de los nodos.

Fuente: Diseño de la WSN-6LoWPAN en Radio Mobile.

Como resultado se obtiene la red mallada de la WSN como lo muestra la figura 31, cabe resaltar que el enlace entre el nodo servidor y el nodo sensor 3 es nulo, lo que implicaría una incomunicación entre ellos, pero los enlaces del nodo sensor 3 con los nodos sensores 1 y 2 son idóneos y suficientes para solventar el inconveniente.

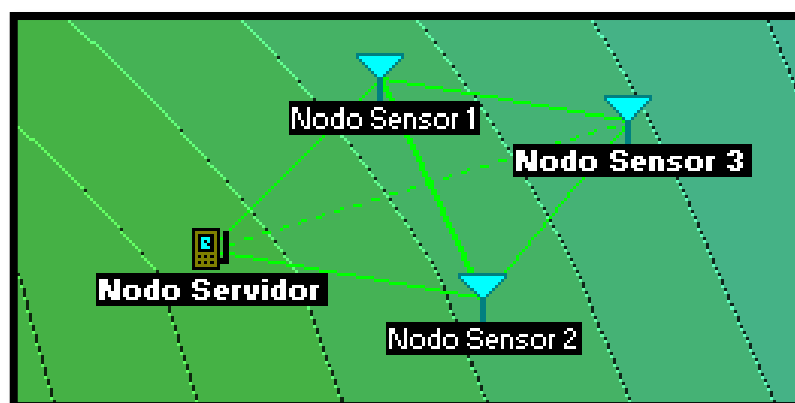


Figura 34. WSN simulada.

Fuente: Diseño de la WSN-6LoWPAN en Radio Mobile.

Como último paso se utiliza la herramienta “enlace de radio”, que permite observar línea de vista y Zona de Fresnel entre los nodos de la WSN, y con la finalidad de corregir errores se varia el parámetro altura del nodo hasta obtener un nivel de recepción entre los -80 dbm y -40 dbm para considerar un buen enlace, en nuestro caso se tiene -52.9dBm.

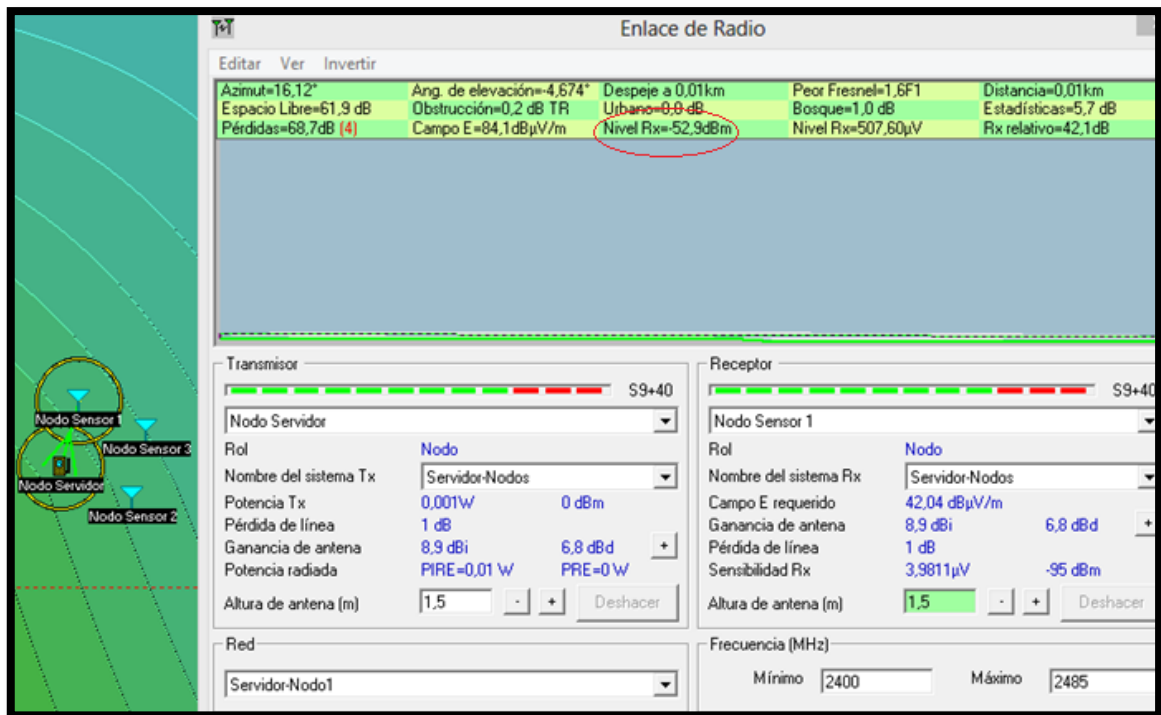


Figura 35. Estado del enlace entre el Nodo Servidor y el Nodo Sensor 1.

Fuente: Diseño de la WSN-6LoWPAN en Radio Mobile.

Para estar dentro del rango aceptable del nivel de recepción, se ha establecido ubicar los nodos a una altura de 1.5 metros sobre el nivel del suelo, procurando así un correcto enlace y transmisión/recepción de información al entrar en funcionamiento la WSN-6LoWPAN dentro de la granja.

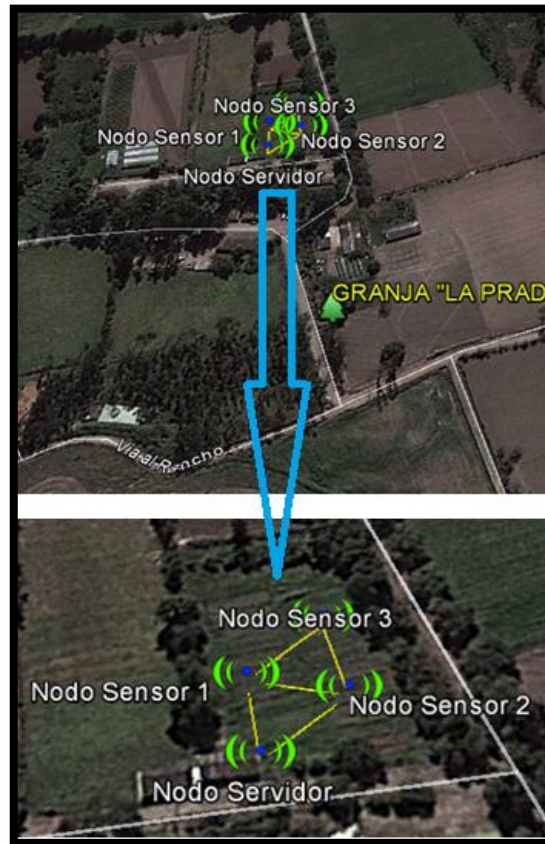


Figura 36. Exportación de la WSN a Google Earth.

Fuente: Diseño de la WSN-6LoWPAN en Google Earth.

La figura 36 muestra la ubicación final de los nodos dentro de la granja y la tabla 6 indica las posiciones de los mismos.

| NODO | LATITUD | LONGITUD | ELEVACIÓN |
|-----------------|----------------|-----------------|------------------|
| Servidor | 0°21'24.07"N | 78°12'23.31"O | 2365 m |
| Ciente 1 | 0°21'24.53"N | 78°12'22.84"O | 2364 m |
| Ciente 2 | 0°21'23.94"N | 78°12'22.57"O | 3264 m |
| Ciente 3 | 0°21'24.42"N | 78°12'22.18"O | 2363 m |

Tabla 6. Coordenadas geográficas de los nodos.

Fuente: Diseño de la WSN-6LoWPAN. Elaborado por el Autor

3.4 DIRECCIONAMIENTO

El direccionamiento en una red es fundamental al momento de llevar orden, administración y control de la misma ante cualquier irregularidad en su correcto funcionamiento. En la WSN el direccionamiento manejará un stack TCP/IPv6 por el mismo hecho de trabajar con 6LoWPAN, en el caso de la red externa a la WSN se trabajará con el stack TCP/IPv4; las dos redes son capaces de comunicarse entre sí, gracias al método de tunneling TUNSLIP6.

3.4.1 DIRECCIONAMIENTO DE LA WSN

El direccionamiento en cada nodo de la WSN es realizado por el software de configuración (Contiki), donde cada nodo al ser un dispositivo de red posee una dirección única MAC y en base a ella se crea una dirección IPv6 link-local con la cual se identifica a los nodos dentro de la red.

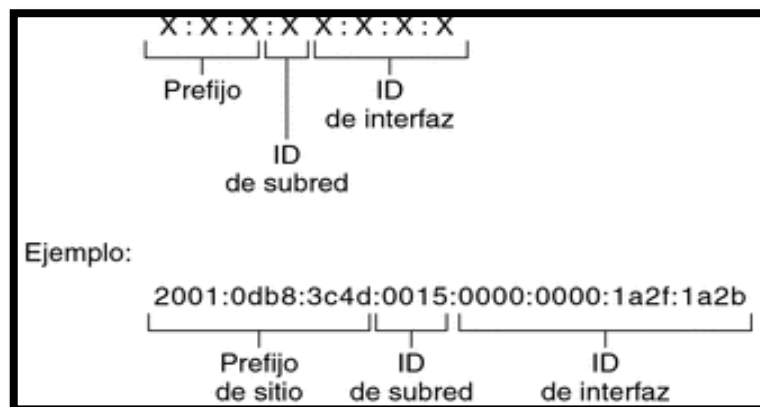


Figura 37. Formato básico de las direcciones IPv6.

Fuente: Oracle Corporation, (2010). Guía de administración del sistema: servicios IP.

Recuperado de <http://goo.gl/uAJGrj>

En la figura 38 se observa el proceso de auto configuración y asignación de parámetros por cada una de las capas que maneja el nodo, dentro de este proceso se resalta la asignación de una dirección IPv6 a cada integrante de la red mediante la Autoconfiguración de direcciones sin estado (Stateless Address Autoconfiguration).

```

Mote output
File Edit View
Time      Mote  Message
00:00.509 ID:2   Rime started with address 0.18.116.2.0.2.2
00:00.518 ID:2   MAC 00:12:74:02:00:02:02:02 Contiki-2.6-900-ga6227e1 started. Node id is set to 2.
00:00.527 ID:2   CSMA ContikiMAC, channel check rate 8 Hz, radio channel 26, CCA threshold -45
00:00.537 ID:2   Tentative link-local IPv6 address fe80:0000:0000:0000:0212:7402:0002:0202
00:00.540 ID:2   Starting 'UDP server process'
00:00.541 ID:2   UDP server started
00:00.545 ID:2   created a new RPL dag
00:00.549 ID:2   Server IPv6 addresses: aaaa::212:7402:2:202
00:00.551 ID:2   aaaa::ff:fe00:1
00:00.554 ID:2   fe80::212:7402:2:202
00:00.560 ID:2   Created a server connection with remote address :: local/remote port 5678/8765
00:00.621 ID:4   Rime started with address 0.18.116.4.0.4.4.4
00:00.630 ID:4   MAC 00:12:74:04:00:04:04:04 Contiki-2.6-900-ga6227e1 started. Node id is set to 4.
00:00.639 ID:4   CSMA ContikiMAC, channel check rate 8 Hz, radio channel 26, CCA threshold -45
00:00.650 ID:4   Tentative link-local IPv6 address fe80:0000:0000:0000:0212:7404:0004:0404
00:00.652 ID:4   Starting 'UDP server process'
00:00.653 ID:4   UDP server started
00:00.657 ID:4   created a new RPL dag
00:00.659 ID:1   Rime started with address 0.18.116.1.0.1.1.1
00:00.661 ID:4   Server IPv6 addresses: aaaa::212:7404:4:404
00:00.664 ID:4   aaaa::ff:fe00:1
00:00.666 ID:4   fe80::212:7404:4:404
00:00.668 ID:1   MAC 00:12:74:01:00:01:01:01 Contiki-2.6-900-ga6227e1 started. Node id is set to 1.
00:00.673 ID:4   Created a server connection with remote address :: local/remote port 5678/8765
00:00.677 ID:1   CSMA ContikiMAC, channel check rate 8 Hz, radio channel 26, CCA threshold -45
00:00.688 ID:1   Tentative link-local IPv6 address fe80:0000:0000:0000:0212:7401:0001:0101
00:00.692 ID:1   Starting 'Border router process' 'Web server'
00:00.709 ID:1   ?PGot configuration message of type P
00:00.711 ID:1   Setting prefix aaaa::
00:01.172 ID:3   Rime started with address 0.18.116.3.0.3.3.3
00:01.181 ID:3   MAC 00:12:74:03:00:03:03:03 Contiki-2.6-900-ga6227e1 started. Node id is set to 3.
00:01.190 ID:3   CSMA ContikiMAC, channel check rate 8 Hz, radio channel 26, CCA threshold -45
00:01.201 ID:3   Tentative link-local IPv6 address fe80:0000:0000:0000:0212:7403:0003:0303
00:01.203 ID:3   Starting 'UDP server process'
00:01.204 ID:3   UDP server started
00:01.208 ID:3   created a new RPL dag
00:01.212 ID:3   Server IPv6 addresses: aaaa::212:7403:3:303
00:01.215 ID:3   aaaa::ff:fe00:1
00:01.217 ID:3   fe80::212:7403:3:303
00:01.224 ID:3   Created a server connection with remote address :: local/remote port 5678/8765
00:01.694 ID:1   Server IPv6 addresses:
00:01.697 ID:1   aaaa::212:7401:1:101
00:01.700 ID:1   fe80::212:7401:1:101

```

Figura 38. Asignación de direcciones IPv6.

Fuente: Direccionamiento de la WSN en Contiki.

Donde:

- Prefijo: aaaa::
- Prefijo Link- Local: fe80::
- Id de subred: 0002
- Subfijo (Id de interfaz): basado en la dirección MAC del dispositivo

Siendo el nodo con el ID:1 el nodo servidor y quien permite la comunicación entre la WSN y la red externa, a continuación se muestra la topología red con su respectiva asignación de direcciones IPv6.

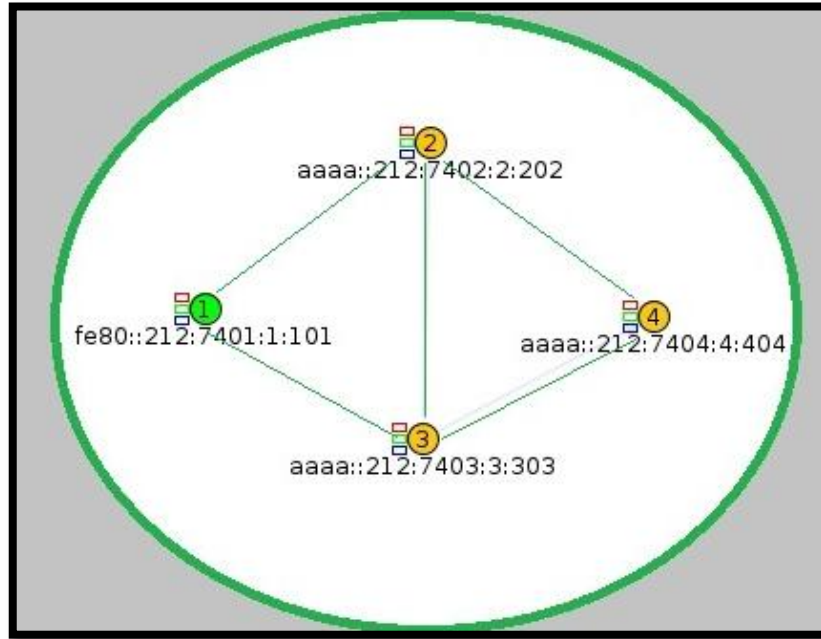


Figura 39. Asignación de direcciones IPv6 en los nodos.

Fuente: Direccionamiento de la WSN en Contiki.

Una vez entendido el proceso de cómo se forman y asignan las direcciones IPv6 a cada nodo, detallaremos en una tabla el direccionamiento las direcciones reales que tendrá la red al momento de ser implementada y monitoreada.

| Devices | Id | MAC Address | IPv6 Address Link-Local | Prefix IPv6 Address |
|-----------------|----|-------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Servidor | 1 | 00:12:74:00:13:cb:f8:8c | fe80::212:7400:13cb:f88c | aaaa::ff:fe00:1 |
| Ciente1 | 2 | 00:12:74:00:13:cc:1f:ed | fe80::212:7400:13cc:1fed | aaaa::212:7400:13cc:1fed |
| Ciente2 | 3 | 00:12:74:00:13:cb:0a:92 | fe80::212:7400:13cb:a92 | aaaa::212:7400:13cb:a92 |
| Ciente3 | 4 | 00:12:74:00:13:cc:01:70 | fe80::212:7400:13cc:170 | aaaa::212:7400:13cc:170 |

Tabla 7. Tabla de direccionamiento de la WSN.

Fuente: Direccionamiento de la WSN. Elaborado por el Autor

3.4.2 DIRECCIONAMIENTO DE LA RED LA PRADERA

En este punto se tiene que el direccionamiento de la granja “La Pradera” está establecido bajo el stack TCP/IPv4, el enlace troncal tiene asignado una Vlan trunk y la red de la granja esta segmentada en dos segmentos, uno para administrativos y otro para laboratorios; siguiendo el mismo esquema en la tabla 8 se diseñará un direccionamiento IPv6.



Figura 40. Direccionamiento y segmentación IPv4.

Fuente: Simulación de enlace UTN-LA PRADERA en Google Earth.

| | IPv4 | IPv6 |
|-------------------------------|----------------|------------------|
| Pool address | 172.20.0.0/24 | 2800::68:19::/48 |
| Network Trunk | 172.20.1.0/24 | |
| Subnet Administradores | 172.20.20.0/24 | |
| Subnet Laboratorios | 172.20.22.0/24 | |
| WSN | N/A | aaaa::ff:fe00:1 |

Tabla 8. Tabla de direccionamiento de la red La Pradera.

Fuente: Direccionamiento de la red La Pradera. Elaborado por el Autor

CAPITULO IV

DISEÑO DEL SOFTWARE

En este capítulo se expone como primer punto las especificaciones y requerimientos del software de monitoreo de la WSN/6LoWPAN mediante el uso del estándar ISO/IEC/IEEE 29148-2011 (reemplazo de los estándares IEEE 830-1998, IEEE 1233-1998, IEEE 1362-1998), como segundo punto se define la arquitectura del software, componentes, relaciones entre ellos, su entorno y descripción mediante el estándar ISO/IEC/IEEE 42010-2011 (reemplazo del estándar IEEE 1471-2000).

4.1 SISTEMAS E INGENIERÍA DE SOFTWARE- ESPECIFICACIONES DE REQUERIMIENTOS DEL SOFTWARE BASADO EN EL ESTÁNDAR ISO/IEC/IEEE 29148-2011

4.1.1 INTRODUCCIÓN

4.1.1.1 Propósito

Crear un sistema de monitoreo remoto que permita al usuario conocer en tiempo real el comportamiento de factores ambientales dentro de un área de cultivos determinada y llevar un registro de los mismos.

4.1.1.2 Alcance del producto

El sistema a desarrollar pretende registrar en tiempo real los cambios de ciertos factores ambientales que afectan en el desarrollo de los cultivos y así contribuir en la toma de decisiones ante eventualidades inesperadas y tener un respectivo registro de ellos.

4.1.1.3 Visión general del producto

4.1.1.3.1 Perspectiva del producto

El sistema de monitoreo remoto de la WSN será un producto diseñado para ser accedido desde cualquier lugar con acceso a internet y dispositivo inteligente (PC, Laptop, Tablet, Smartphone, etc.), para así visualizar los valores de factores ambientales pre establecidos anteriormente en tiempo real y su almacenamiento en una base de datos.

4.1.1.3.2 Funciones del producto

El sistema debe:

- Permitir el acceso de manera remota y previa una autenticación de usuario para poder acceder a la información recolectada por los nodos sensores.
- Permitir el registro de los datos recolectados en la WSN (temperatura, humedad y luminosidad) para aportar a la toma de decisiones del encargado del monitoreo ante eventualidades ambientales.

- Visualizar de manera gráfica y estadística la variación de los parámetros ambientales monitoreados.
- Generar alarmas ante valores límites pre establecidos.

4.1.1.3.3 Características del usuario y limitaciones

Para el acceso al sistema el usuario necesita una previa autenticación mediante un user y password.

| User | Password | Descripción | Limitaciones |
|-------|-----------|--|---|
| Admin | info.2015 | Persona encargada de usar el sistema para monitorear los cultivos que se encuentran dentro del área monitoreada. | Esta persona podrá visualizar los datos informativos del sistema y a su vez los valores obtenidos en tiempo real por los nodos sensores de la WSN, además, acceder al registro de los valores almacenados a lo largo del monitoreo, mas no manipular los valores. |

Tabla 9. Tabla de características y limitaciones de usuario.

Fuente: Visión general del producto. Elaborado por el Autor

4.1.1.4 Definiciones

- Usuario: Persona que utilizara el sistema.
- Sistema: Interfaces y herramientas web que conforman el aplicativo de monitoreo en la nube.

- Nodos sensores: Dispositivos electrónicos que se encargan de recolectar y transmitir información de su entorno bajo una comunicación IEEE 802.15.4 y 6LoWPAN.

4.1.2 REFERENCIAS

FCA. (2014) Software Requirements Specification para Sistemas de Asistencia FCA.
http://issuu.com/ivanjf/docs/srs_iso-iec-ieee_29148-2011

INTERNATIONAL STANDARD ISO/IEC/IEEE 29148. (2011) Systems and software engineering — Life cycle processes — Requirements engineering.
<http://www.computer.org/portal/documents/82129/160549/IEEE+29148-2011.pdf>

Gonzalo Méndez. (2008) Especificación de Requisitos según el estándar de IEEE 830.
<http://www.fdi.ucm.es/profesor/gmendez/docs/is0809/ieee830.pdf>

4.1.3 REQUERIMIENTOS ESPECÍFICOS

4.1.3.1 Interfaces externas

El usuario podrá acceder al sistema mediante cualquier dispositivo inteligente que tenga acceso a internet o se encuentre dentro de la red local a la que pertenece la WSN, una vez dentro del sistema se presentara una interfaz intuitiva, amigable, claro y de fácil uso para el usuario.

4.1.3.2 Funciones

4.1.3.2.1 RF-01 Iniciar sesión

| | |
|-------------------------------|---|
| Caso de usos asociados | No aplica |
| Actores | Usuario |
| Descripción | Permite iniciar sesión previo ingreso de user y password |
| Flujo Principal | Usuario ingresa su user. Usuario ingresa su password. El sistema valida los datos anteriores. Finaliza el caso de uso |
| Flujo Alternativo | El sistema indicará un mensaje de user o password incorrecto si así fuese el caso. 1.1 Si el usuario vuelve a ingresar el user y password de manera correcta, el sistema regresará al paso tres del flujo principal. |
| Flujo Excepcional | El usuario no se autentica. |
| Precondiciones | El usuario debe estar previamente registrado dentro de los usuarios designados a tener acceso al sistema para iniciar sesión. |
| Postcondiciones | El usuario inicia sesión en el sistema. |
| Puntos de Extensión | El usuario no se autentica con un user o password correcto. |

Tabla 10. Tabla de caso de uso - Iniciar sesión.

Fuente: Requerimientos específicos. Elaborado por el Autor

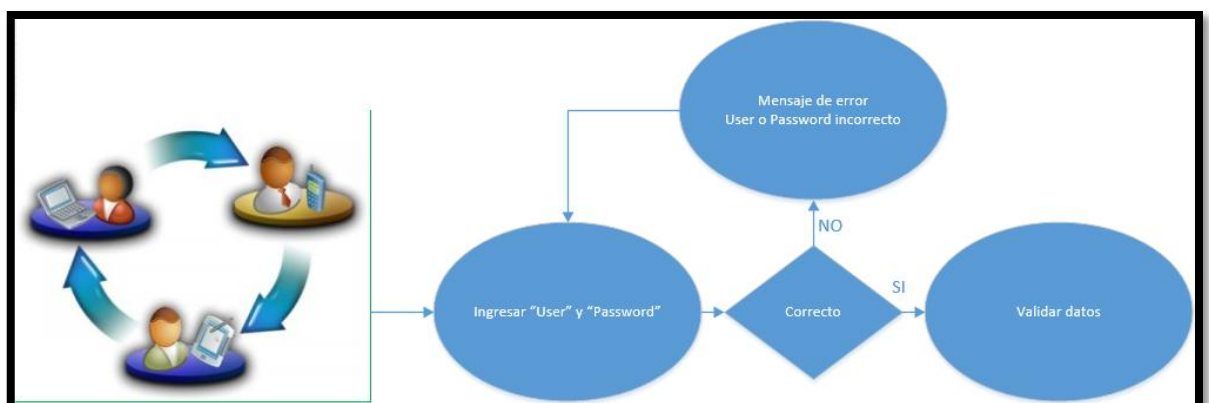


Figura 41. Flujograma de inicio de sesión.

Fuente: Requerimientos específicos. Elaborado en Microsoft Visio Profesional 2013.

4.1.3.2.2 RF-02 Visualización de datos

| | |
|-------------------------------|---|
| Caso de usos asociados | Iniciar sesión. |
| Actores | Usuario. |
| Descripción | Permite visualizar los datos recolectados por la WSN, ya sea en tiempo real o valores ya registrados. |
| Flujo Principal | <p>Usuario ingresa a una pestaña de inicio de tipo informativo.</p> <p>Usuario ingresa a la pestaña “Monitoreo WSN”.</p> <p>El sistema despliega una interfaz gráfica donde se observa los valores obtenidos de cada uno de los nodos sensores de la WSN.</p> <p>Finaliza el caso de uso.</p> |
| Flujo Alternativo | El sistema mantiene activa la conexión entre la BDD y la WSN para recibir los datos en tiempo real. |
| Flujo Excepcional | El sistema falla en cualquiera de sus puntos, se retorna al caso de uso “Iniciar sesión”. |
| Precondiciones | El usuario previamente debe iniciar sesión. |
| Postcondiciones | No aplica. |
| Puntos de Extensión | No aplica. |

Tabla 11. Tabla de caso de uso – Visualización de datos.

Fuente: Requerimientos específicos. Elaborado por el Autor

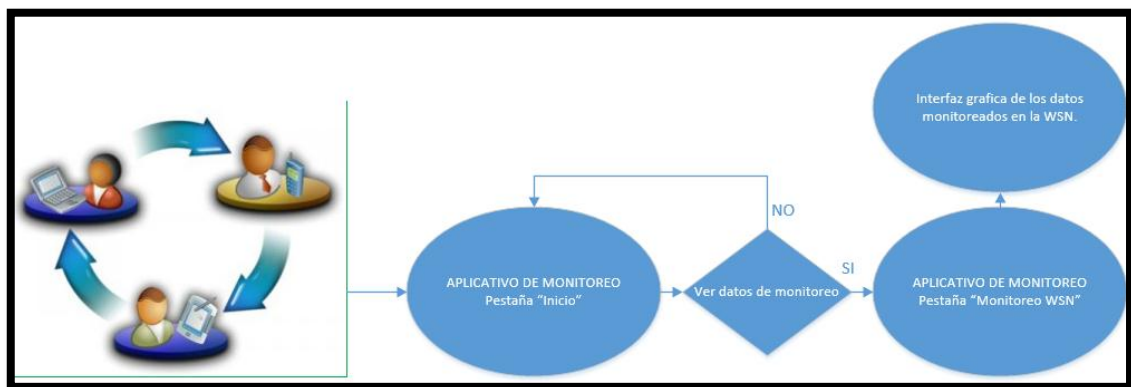


Figura 42. Flujograma de Visualización de datos.

Fuente: Requerimientos específicos. Elaborado en Microsoft Visio Profesional 2013.

4.1.3.2.3 RF-03 Adquisición del historial de datos

| | |
|-------------------------------|--|
| Caso de usos asociados | Iniciar sesión. |
| Actores | Usuario. |
| Descripción | Permite obtener un historial de datos recolectados por la WSN. |
| Flujo Principal | El usuario selecciona la pestaña “Historial”. El sistema despliega una interfaz gráfica sencilla donde se selecciona la fecha de la cual se requiere obtener el historial o a su vez obtener todo el historial existente. Se muestra el historial. El usuario selecciona guardar. Finaliza el caso de uso. |
| Flujo Alternativo | El sistema mantiene activa la conexión entre la BDD y la WSN para recibir los datos y almacenarlos históricamente. |
| Flujo Excepcional | El sistema falla en cualquiera de sus puntos, se retorna al caso de uso “Iniciar sesión”. |
| Precondiciones | El usuario previamente debe iniciar sesión. |
| Postcondiciones | No aplica. |
| Puntos de Extensión | No aplica. |

Tabla 12. Tabla de caso de uso – Adquisición del historial de datos.

Fuente: Requerimientos específicos. Elaborado por el Autor

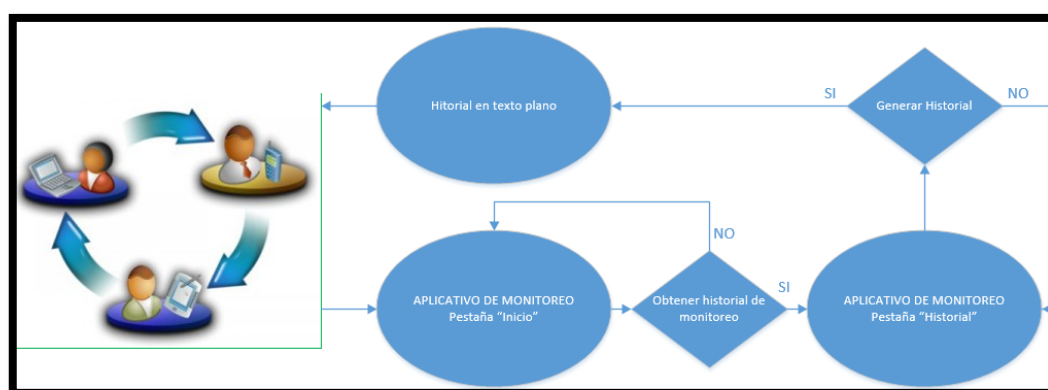


Figura 43. Flujograma de Adquisición del historial de datos.

Fuente: Requerimientos específicos. Elaborado en Microsoft Visio Profesional 2013.

4.1.3.2.4 RF-04 Generación de alarmas

| | |
|-------------------------------|---|
| Caso de usos asociados | No aplica. |
| Actores | Usuario. |
| Descripción | El sistema realiza una comparación de datos antes de almacenarlos en la BDD, si dichos datos contienen valores iguales o mayores a los límites preestablecidos en cada uno de parámetros ambientales monitoreados, se procederá a generar un mensaje de correo electrónico de alerta. |
| Flujo Principal | El sistema recibe los datos de la conexión con la WSN. Cada dato receptado es comparado con los límites preestablecidos. El dato que sea igual o mayor provoca una interrupción de programa que envía un mensaje de alerta. Se envía el mensaje y se crea una notificación en la pestaña “Alarmas”. Finaliza el caso de uso. |
| Flujo Alternativo | El sistema mantiene activa la conexión entre la BDD y la WSN para recibir los datos. |
| Flujo Excepcional | El sistema falla en cualquiera de sus puntos, se retorna al caso de uso “Iniciar sesión”. |
| Precondiciones | El usuario previamente debe iniciar sesión. |
| Postcondiciones | No aplica. |
| Puntos de Extensión | No aplica. |

Tabla 13. Tabla de caso de uso – Generación de alarmas.

Fuente: Requerimientos específicos. Elaborado por el Autor

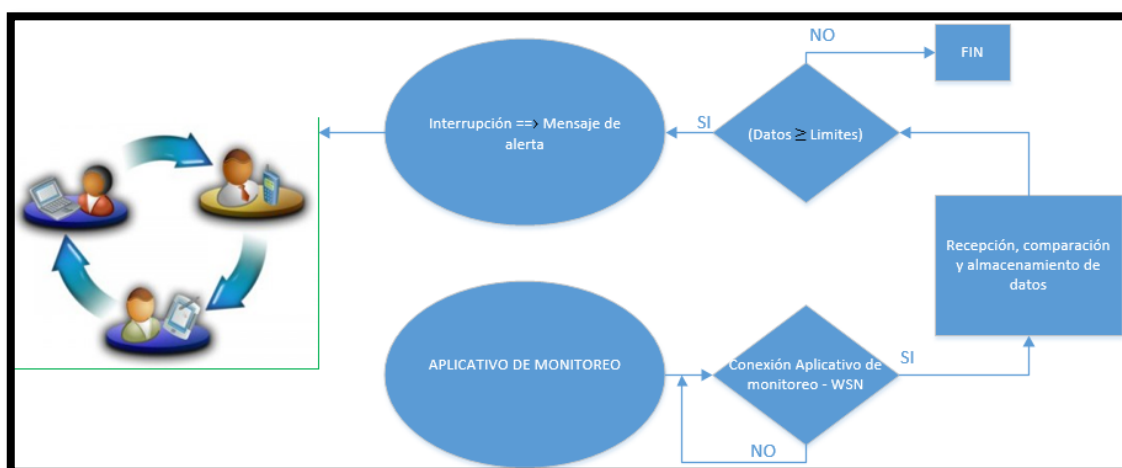


Figura 44. Flujograma de Generación de alarmas.

Fuente: Requerimientos específicos. Elaborado en Microsoft Visio Profesional 2013.

4.1.3.3 Requerimientos de usabilidad

Garantizar al usuario la fiabilidad, precisión, seguridad y facilidad de acceso a los datos recolectados por el software de monitoreo, así mismo la información receptada podrá ser consultada en tiempo real, de manera permanente y simultáneamente por más de un usuario sin que eso afecte al desempeño del sistema.

4.1.3.4 Requerimientos de rendimiento

La disponibilidad del sistema ante el usuario debe ser permanente en el tiempo y con funciones escalables ante posibles readecuaciones en el monitoreo de parámetros ambientales.

4.1.3.5 Requerimientos de requisitos de base de datos lógica

Garantizar que el diseño ante cierta cantidad de consultas simultáneas no afecte al desempeño de la base de datos o al tráfico de la red.

4.1.3.6 Restricciones de diseño

La plataforma PAAS y ciertas herramientas web usadas en el diseño son empleadas en su versión free, por lo cual el sistema está compuesto por interfaces sencillas y poco

complejas. Además, la obtención de datos en tiempo real depende totalmente del correcto funcionamiento de la WSN 6LoWPAN.

4.1.3.7 Atributos del sistema de software

El sistema tendrá una interfaz de uso intuitivo, sencillo y de seguro acceso por medio de autenticación de usuario y contraseña.

4.1.3.8 Información de apoyo

No aplica.

4.1.4 VERIFICACIÓN

La verificación se realizará mediante análisis y pruebas del diseño, donde se incluirán:

- Análisis del diseño e interfaces
- Pruebas de acceso
- Pruebas de consultas simultaneas
- Verificación y validación de datos

4.1.5 APÉNDICES

4.1.5.1 Suposiciones y dependencias

Se supone que el servidor donde se aloja el sistema brinda total operatividad 7 días a la semana y 24 horas al día.

Se supone que los usuarios de sistema cuentan con conocimientos básicos y fundamentales en computación o materias afines como para poder realizar consultas sin inconveniente alguno desde cualquier dispositivo inteligente con acceso a internet.

Depende del usuario el aprovechar la información de monitoreo presentada en el sistema.

4.1.5.2 Acrónimos y abreviaturas

- WSN: Wireless Sensor Network (Red Inalámbrica de Sensores).
- BDD: Base de Datos (MySQL).
- 6LoWPAN: IPv6 over Low power Wireless Personal Area Networks.
- PAAS: Platform as a service.

4.2 SISTEMAS E INGENIERÍA DE SOFTWARE-DESCRIPCIÓN DE LA ARQUITECTURA DEL SOFTWARE BASADO EN EL ESTÁNDAR ISO/IEC/IEEE 42010-2011

1.2.1 INTRODUCCIÓN

4.2.1.1 Propósito

La arquitectura del software tiene como propósito permitir visualizar en tiempo real los datos recolectados por la WSN/6LoWPAN a través de una interfaz web que cumpla con las descripciones, puntos de vista y marcos de arquitectura requeridos por el estándar.

4.2.1.2 Alcance

La arquitectura del software definirá un modelo de interfaz adaptativa, recolección de datos, almacenamiento, visualización y generación de alarmas; el sistema tendrá una gestión de alojamiento en la cloud y de acceso local y remoto vía internet.

4.2.1.3 Usuarios interesados

Los interesados para el desarrollo del sistema de monitoreo WSN/6LoWPAN en la granja La Pradera son los usuarios del sistema que vienen a ser los encargados asignados de mantener un registro de parámetros ambientales en los cultivos y toma de decisiones ante eventualidades climáticas.

4.2.1.4 Recomendaciones de conformidad con esta práctica

La verificación de conformidad será con respecto a los puntos de vista y lenguajes de descripción de la arquitectura del software basándose en un modelado UML.

4.2.2 REFERENCIAS

INTERNATIONAL STANDARD ISO/IEC/IEEE 42010. (2011) Systems and software engineering — Life cycle processes — Architecture description.
<https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso-iec-ieee:42010:ed-1:v1:en>

Guerrero William. (2014) Los de debes de ISO 42010.
<https://bloginformaticauno.wordpress.com/author/informaticauno1/>

Santos Luis. (2014) RESUMEN DEL ESTÁNDAR INTERNACIONAL 42010.
<http://informatica1ud.blogspot.com/2014/06/resumen-del-estandar-internacional-42010.html>

4.2.3 ABREVIATURAS, DEFINICIONES

- WSN: Wireless Sensor Network (Red Inalámbrica de Sensores).
- 6LoWPAN: IPv6 over Low power Wireless Personal Area Networks.
- UML: Lenguaje Unificado de Modelado.

- Architecting: proceso de concebir, definir, expresar, la documentación, la comunicación, la certificación de una aplicación adecuada de mantenimiento y mejora de una arquitectura a lo largo del ciclo de vida de un sistema.
- Arquitectura: (Sistema) conceptos o propiedades de un sistema en su entorno plasmada en sus elementos, relaciones, y en los principios de su diseño y evolución fundamentales.
- Descripción de la arquitectura: producto de trabajo se usa para expresar una arquitectura.
- Marco de arquitectura: convenciones, principios y prácticas para la descripción de arquitecturas establecido dentro de un dominio específico de aplicación y / o de la comunidad de partes interesadas.
- Vista de la arquitectura: producto de trabajo que expresa la arquitectura de un sistema desde la perspectiva de las preocupaciones específicas del sistema.
- Mira de la arquitectura: producto de trabajo que se establecen los convenios para la construcción, interpretación y uso de los puntos de vista de arquitectura para enmarcar las preocupaciones específicas del sistema.
- Preocupación: (Sistema) de participación en un sistema correspondiente a una o más de sus grupos de interés.
- Ambiente: (Sistema) contexto determinar el entorno y las circunstancias de todas las influencias sobre un sistema.

4.2.4 FRAMEWORK CONCEPTUAL

4.2.4.1 Descripción de la arquitectura en concepto

El software de monitoreo consta de un servidor web y base de datos alojados en una plataforma PAAS que permiten a los usuarios acceder bajo peticiones de autenticación y poder visualizar las mediciones de los factores ambientales donde se encuentran los sensores en tiempo real; el acceso se lo puede hacer desde cualquier dispositivo inteligente por medio de un navegador web.

Los datos recolectados por la WSN-6LoWPAN son receptados por el nodo servidor y alojados en una base de datos local en el gateway, los mismos datos que son enviados a la cloud mediante el uso de un script de conexión y sincronización; ya en la cloud estos datos son interpretados de manera gráfica en el tiempo y comparados con valores límites preestablecidos para la generación de alarmas web.

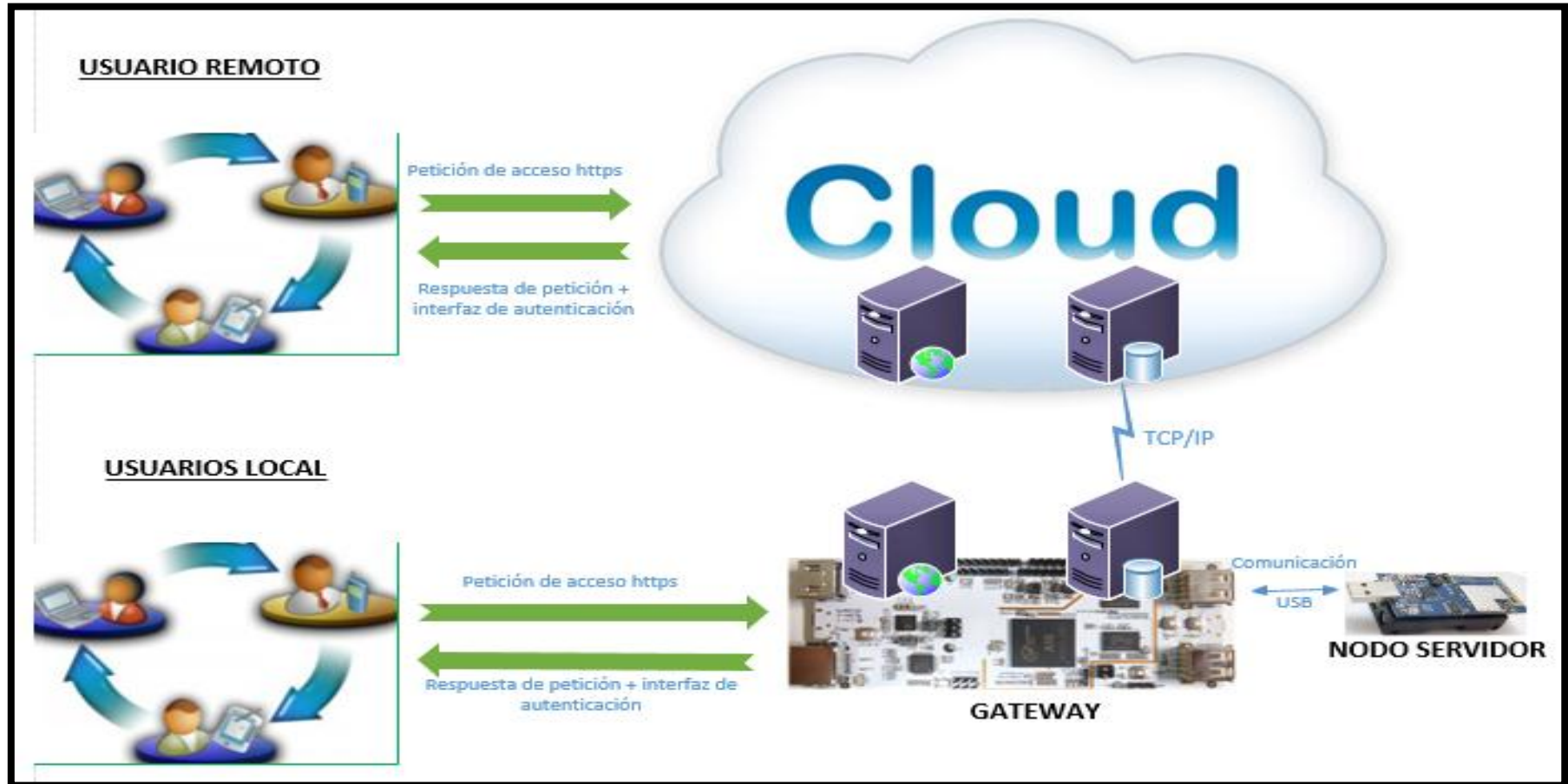


Figura 45. Arquitectura del sistema de monitoreo. Fuente: Descripción de la arquitectura en concepto. Elaborado en Microsoft Visio

Profesional 2013.

4.2.4.2 Stakeholders y sus roles

Los Stakeholders son los usuarios de sistema, principalmente el/los administrador/es de la granja La Pradera, quienes al interpretar los datos visibles del sistema pueden realizar toma de decisiones adecuadas antes variaciones ambientales en los cultivos.

4.2.4.3 Actividades de arquitectura en el ciclo de vida

La actividad principal de la arquitectura en el ciclo de vida es recolectar la información proporcionada por la WSN-6LoWPAN y almacenarlos históricamente para futuras tomas de decisiones por parte de los administradores de los cultivos.

4.2.4.4 Uso de las descripciones de arquitectura

Las descripciones de arquitectura son utilizadas para detallar de manera ordenada la estructura del sistema.

4.2.5 DESCRIPCIONES PRÁCTICAS DE ARQUITECTURA

4.2.5.1 Documentación de la arquitectura

La documentación debe ser específica, organizada y clara, por lo que la base de la documentación es el modelo de arquitectura 4+1 (Kruchten), este patrón es utilizado para ver un sistema desde diferentes puntos de vista como son:

- Vista lógica
- Vista de procesos
- Vista de desarrollo
- Vista física
- Vista de escenarios (+1)

4.2.5.2 Identificación de los Stakeholders y sus responsabilidades

El Stakeholders es el administrador de cultivos de la granja quien accede a los datos de monitoreo y los interpreta, las responsabilidades se basan en las 5 vistas de arquitectura:

- Vista Lógica: Modelo de objetos, clases, entidad – relación.
- Vista de Proceso: Modelo de concurrencia y sincronización.
- Vista de Desarrollo: Organización estática del software en su entorno de desarrollo (librerías, componentes).
- Vista Física: Modelo de correspondencia software – hardware.
- Vista de escenario: Casos de uso.

4.2.5.3 Selección de los puntos de vista de la arquitectura

| Vistas | UML |
|------------|--------------------|
| Lógica | Entidad - Relación |
| Procesos | Secuencia |
| Desarrollo | Componentes |
| Física | Despliegue |
| Escenario | Casos de uso |

Tabla 14. Tabla vista de arquitectura.

Fuente: Diagrama UML. Elaborado por el Autor

4.2.5.4 Vistas de arquitectura

4.2.5.4.1 Vista lógica – Clases

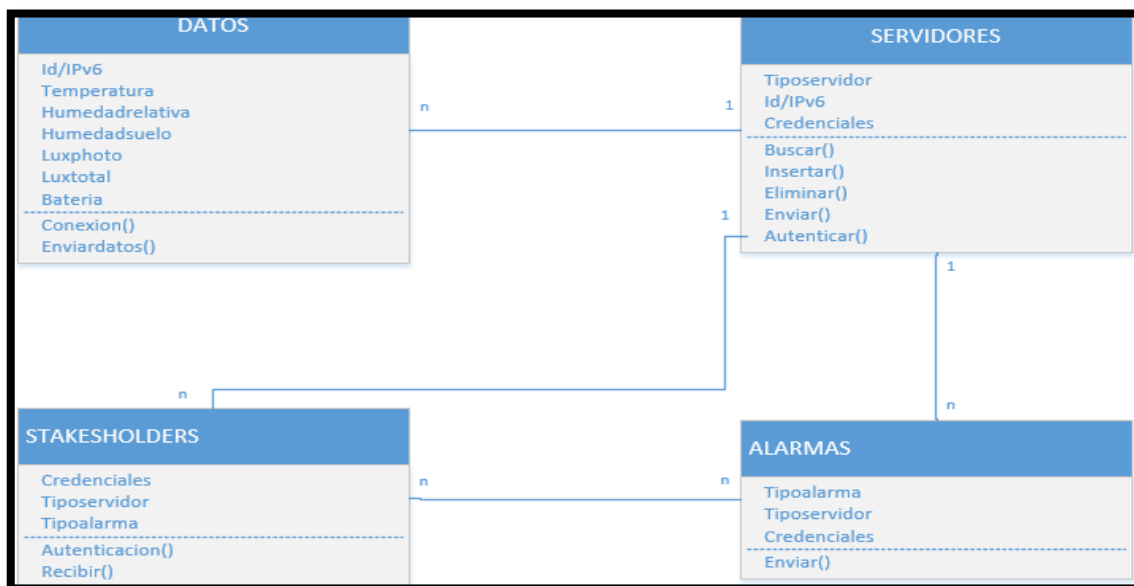


Figura 46. Diagrama clases. Fuente: Vista lógica. Elaborado en Microsoft Visio Profesional 2013.

4.2.5.4.2 Vista procesos

4.2.5.4.2.1 Diagrama secuencia – Monitoreo local

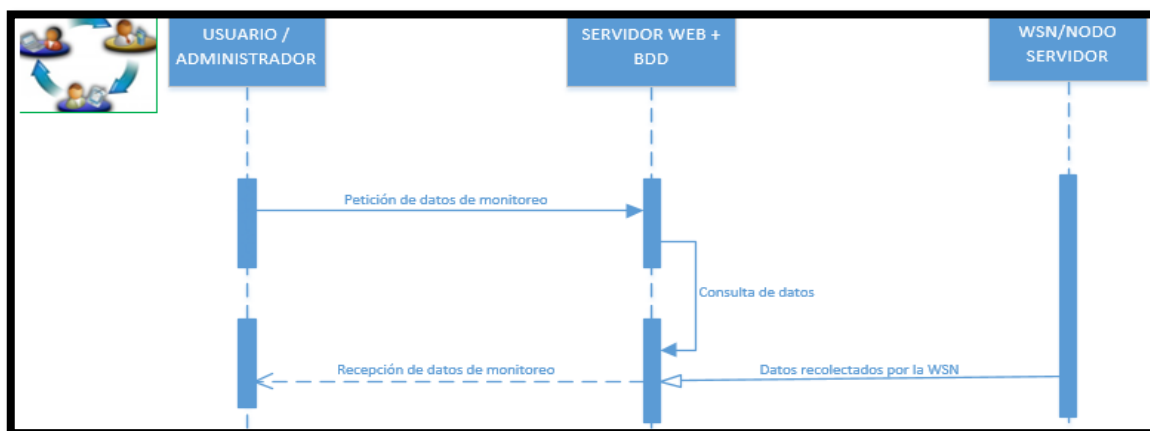


Figura 47. Diagrama monitoreo local. Fuente: Vista procesos. Elaborado en Microsoft Visio Profesional 2013.

4.2.5.4.2 Diagrama secuencia – Monitoreo remoto

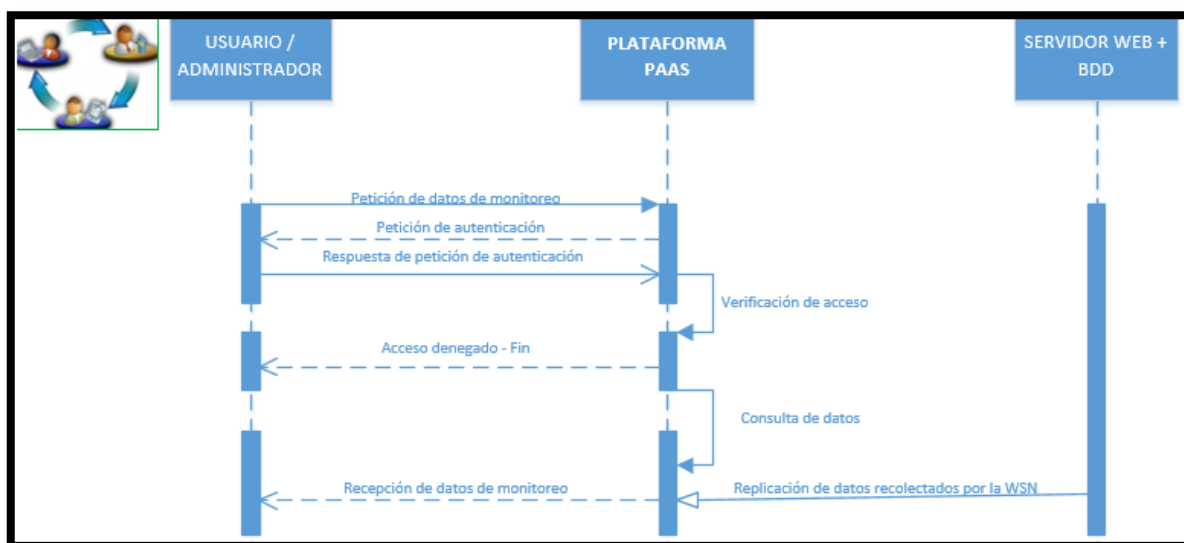


Figura 48. Diagrama monitoreo remoto. Fuente: Vista procesos. Elaborado en Microsoft Visio Profesional 2013.

4.2.5.4.3 Vista desarrollo - Componentes

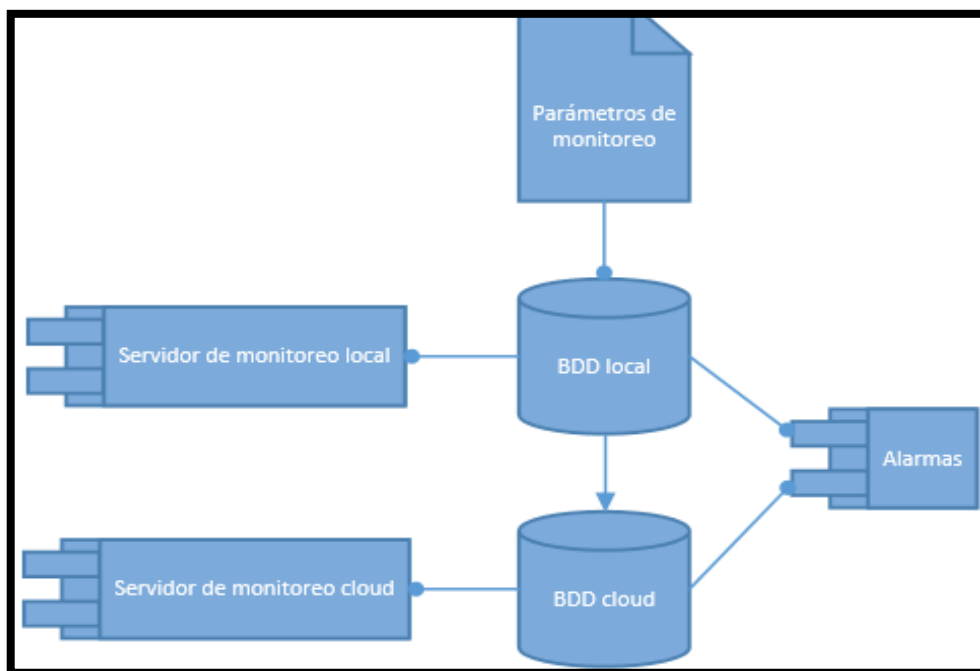


Figura 49. Diagrama componentes. Fuente: Vista desarrollo. Elaborado en Microsoft Visio Profesional 2013.

4.2.5.4.4 Vista física - Despliegue

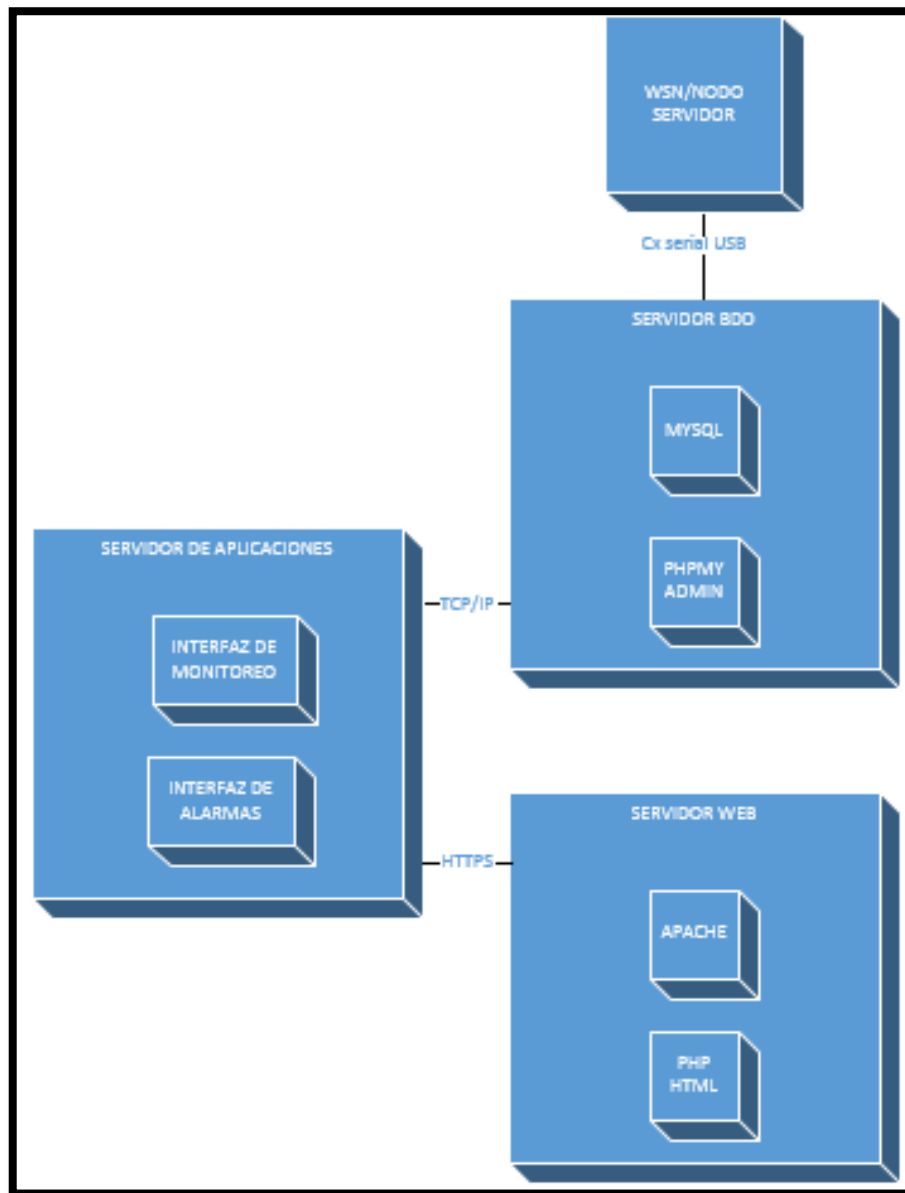


Figura 50. Diagrama despliegue. Fuente: Vista física. Elaborado en Microsoft Visio

Profesional 2013.

4.2.5.4.5 Vista escenario – Casos de uso

4.2.5.4.5.1 Diagrama caso de uso – Acceso al sistema

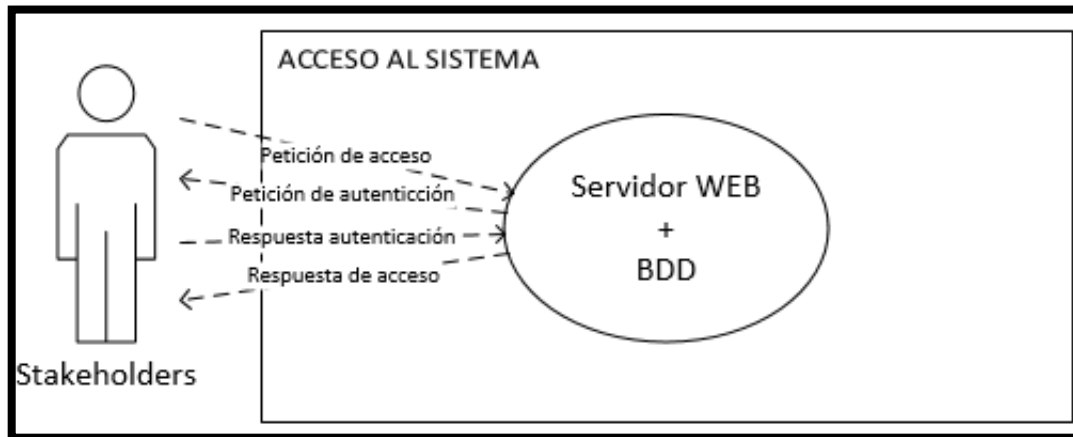


Figura 51. Diagrama acceso al sistema. Fuente: Vista escenario. Elaborado en Microsoft Visio Profesional 2013.

4.2.5.4.5.2 Diagrama caso de uso – Sistema de monitoreo local

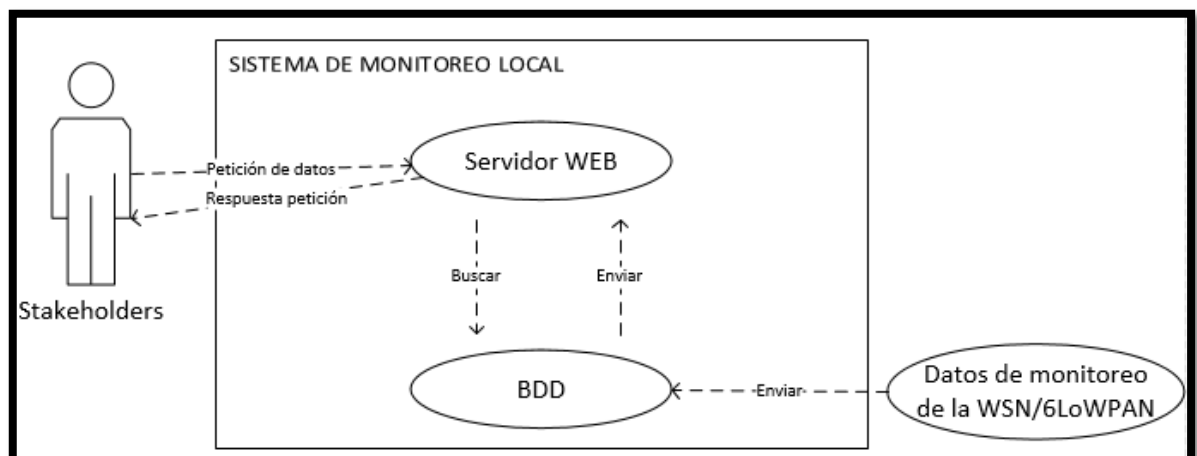


Figura 52. Diagrama sistema de monitoreo local. Fuente: Vista escenario. Elaborado en Microsoft Visio Profesional 2013.

4.2.5.4.5.3 Diagrama sistema de monitoreo remoto – Acceso al sistema

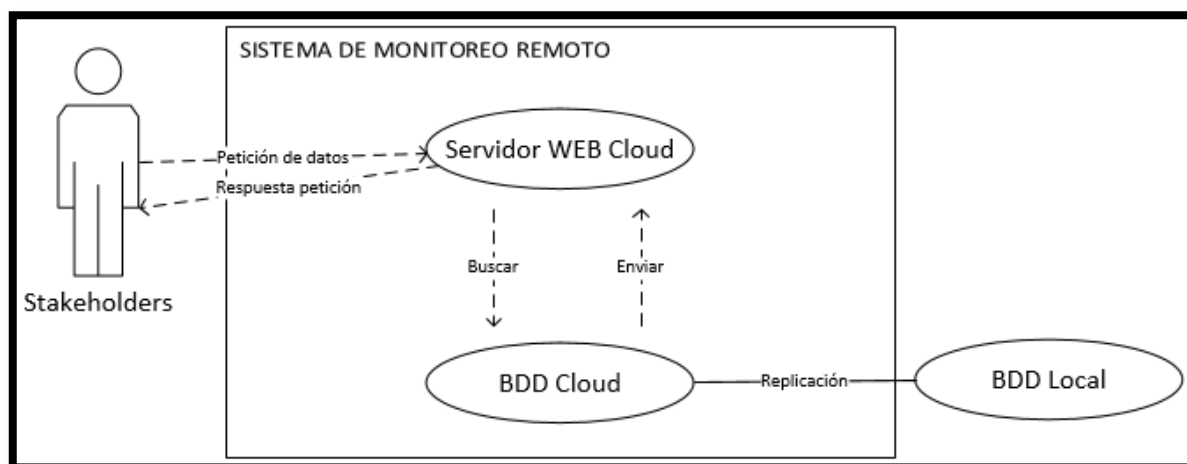
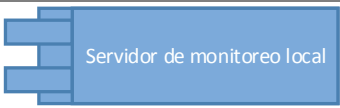
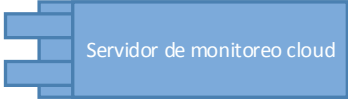




Figura 53. Diagrama sistema de monitoreo remoto. Fuente: Vista escenario. Elaborado en Microsoft Visio Profesional 2013.

4.2.5.5 Consistencia en la cantidad de vistas de la arquitectura

4.2.5.5.1 Descripción de componentes

| Nombre del componente | Descripción | Componentes relacionados |
|---|---|--|
|  Servidor de monitoreo local | Componente que permite interactuar entre el usuario y el sistema a nivel local | Servidor de monitoreo local BDD local |
|  Servidor de monitoreo cloud | Componente que permite interactuar entre el usuario y el sistema a nivel remoto o externo | Servidor de monitoreo cloud BDD cloud |
|  Alarmas | Componente que genera alertas al usuario ante lectura de datos fuera de los límites preestablecidos | Alarmas BDD local BDD cloud |
|  BDD local | Componente que almacena los parámetros de monitoreo a nivel local | Servidor de monitoreo local Alarmas Parámetros de monitoreo BDD cloud |

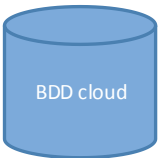

| | | |
|---|--|---|
|  | Componente que almacena los parámetros de monitoreo a nivel remoto o externo | Servidor de monitoreo cloud Alarmas BDD local |
|  | Componente encargado de gestionar la recolección de datos de monitoreo | Parámetros de monitoreo BDD local |

Tabla 15. Tabla de componentes. Fuente: Consistencia en cantidad de vistas de arquitectura. Elaborado por el Autor

4.2.5.6 Arquitectura lógica

4.2.5.6.1 Performances

La arquitectura de software estará definida para satisfacer los requerimientos de consultas, notificaciones y registro de datos proporcionados por el hardware del sistema.

- El sistema podrá asistir a varios usuarios simultáneamente.
- El sistema proporciona datos con una latencia menor a 2 segundos, lo que en términos de monitoreo de cultivos se traduce en un monitoreo en tiempo real.
- La seguridad del sistema está compuesta por una transmisión de datos bajo encriptación RSA y un ingreso previa autenticación de usuario y contraseña.

4.2.5.6.2 *Calidad*

La arquitectura de software basa su calidad en la interfaz de presentación al usuario y su accesibilidad vía web desde cualquier tipo de dispositivo Smart.

4.2.5.7 Ejemplo de uso

No aplica

4.2.5.8 Detalles de la implementación

4.2.5.8.1 *Lenguajes y plataformas*

La lógica de diseño arquitectónico del sistema está orientado al uso de lenguajes orientados a objetos, sin adentrarse a ningún ámbito de complejidad o restricción, por el contrario se pretende tener un sistema escalable y adaptable a futuras necesidades fuera del alcance de este proyecto; con respecto a la plataforma usada es una del tipo PAAS, la cual permite sacar el máximo provecho ante aplicaciones de este tipo.

CAPÍTULO V

PRUEBAS DE RESPALDO DEL DISEÑO Y ANÁLISIS

COSTO-BENEFICIO

Este capítulo tiene como finalidad resaltar los resultados obtenidos durante el desarrollo del proyecto, tanto en la parte de hardware como en la de software y así verificar si el alcance y objetivos propuestos ha sido cumplidos, además, se realizará un análisis de costo-beneficio para determinar la factibilidad de implementar este proyecto.

1.1 PRUEBAS Y RESULTADOS

En los capítulos III y IV se determinó la topología de la red a usar, tipos de nodos, ubicación óptima de los nodos y demás parámetros que permitirán un correcto desempeño del proyecto, y tomando como base ese estudio se implementó el diseño y realizó las siguientes pruebas de funcionamiento de cada uno de dispositivos y sus componentes.

5.1.1 NODOS SENSORES

Los Nodos Sensores son los que permiten la recolección y transmisión de los parámetros ambientales mediante el uso de sensores internos y externos, trabajando conjuntamente con un Arduino UNO, su shield USB y la fuente de energía solar (panel solar + regulador de voltaje + batería recargable).



Figura 54. Componentes de un nodo sensor debidamente conectados.

Fuente: Pruebas y resultados. Elaborado por el Autor

Todos estos dispositivos están ubicados a 1.5m de altura y posicionados de acuerdo a las coordenadas geográficas establecidas en la tabla 6 de la sección 3.3.1 a una distancia promedio entre nodos de 50m (con el objetivo de mantener un nivel de comunicación entre nodos optima) en una área de monitoreo de 4700 metros cuadrados, además, a los nodos sensores se los ha adaptado dentro de una caja de protección con sus respectivas adecuaciones para que no sufran daños al colocarlos a la intemperie.

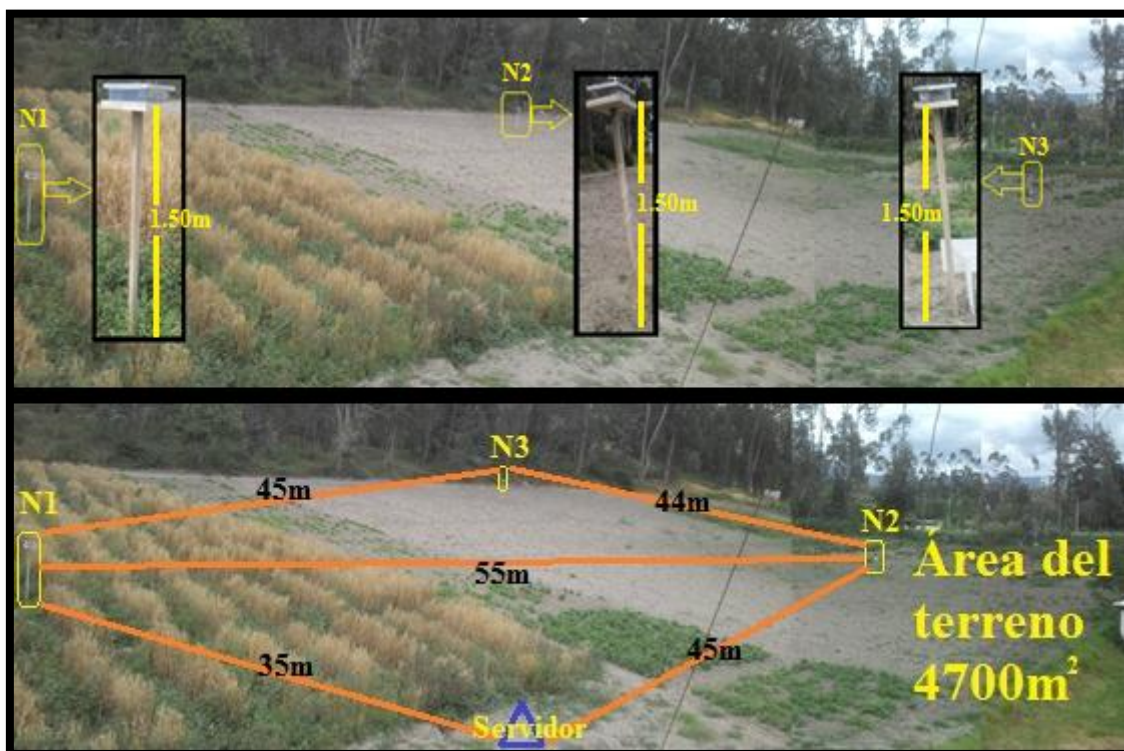


Figura 55. Instalación de los nodos sensores.

Fuente: Pruebas y resultados. Elaborado por el Autor

5.1.1.1 Sensor de temperatura

El sensor de temperatura está incorporado en la placa del nodo sensor y tomará datos de temperatura ambiente del sitio donde se lo ubica, los mismos que serán expresados en °C (grados centígrados).



Figura 56. Identificación del sensor de temperatura en un nodo sensor instalado.

Fuente: Pruebas y resultados. Elaborado por el Autor

5.1.1.2 Sensores de Luminosidad

Los sensores de radiación fotosintéticamente activa y radiación solar total están incorporados en la placa del nodo sensor y tomará datos de las longitudes de onda respectivas de la radiación solar del ambiente que lo rodea y expresados en nanómetros (nm).



Figura 57. Identificación de los sensores de radiación solar en un nodo sensor instalado.

Fuente: Pruebas y resultados. Elaborado por el Autor

5.1.1.3 Sensores de humedad

El sensor de humedad relativa está incorporado en la placa del nodo sensor y el sensor de humedad del suelo está conectado al shield USB del arduino y ubicado aproximadamente a 30cm bajo el suelo, los dos sensores tomarán datos expresados en porcentajes (%), así cuanto más se aproxima el valor de la humedad al 100% más húmedo está.



Figura 58. Identificación del sensor de humedad relativa en un nodo sensor instalado.

Fuente: Pruebas y resultados. Elaborado por el Autor



Figura 59. Sensor externo de humedad en un nodo sensor instalado.

Fuente: Pruebas y resultados. Elaborado por el Autor

5.1.2 NODO SERVIDOR

El nodos servidor a diferencia de los nodos sensores estará ubicado dentro de un espacio físico cubierto, protegido e interactuando directamente con el gateway para entregar los datos recibidos de sus nodos sensores.

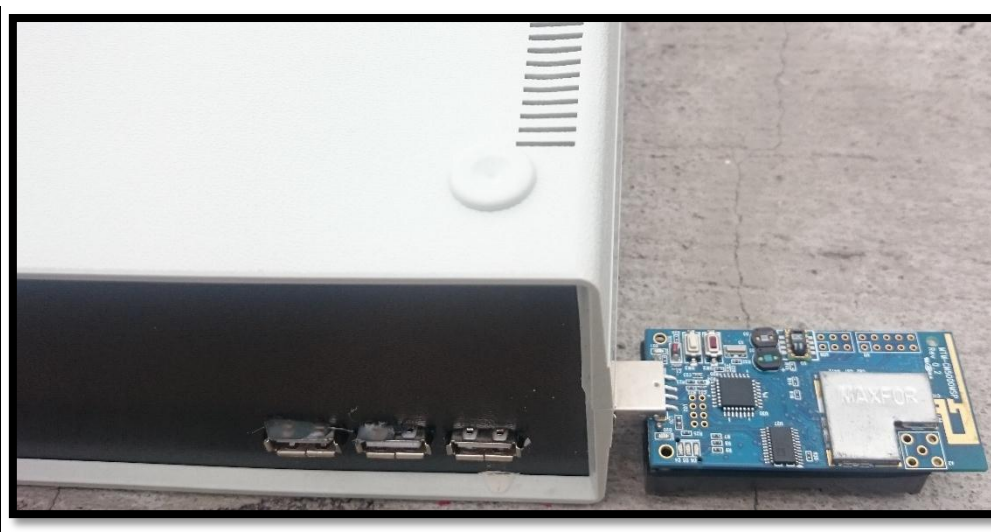


Figura 60. Nodo servidor instalado.

Fuente: Pruebas y resultados. Elaborado por el Autor

```

16     self.client_type = client_type
17     self.api_key = api_key
18     self.content_type = "application/vnd.carriots.api.v2+%s" % (self.client_type)
19     self.headers = {'User-Agent': 'Python-Client-Carriots',
20                   'Content-Type': self.content_type,
21                   'Accept': self.content_type,
22                   'Carriots.apikey': self.api_key}
23
24     def send(self, data):
25         self.data = json.dumps(data)

```

```

client{1,21,76,55,170,441,3}
client{2,25,35,45,199,474,3}
client{1,21,76,55,177,442,3}
client{3,25,35,49,194,464,3}

```

Tramas enviadas desde la WSN/6LoWPAN al nodo servidor

```

NODO 1
TEMPERATURA 21
HUMEDAD RELATIVA 76
HUMEDAD DEL SUELO 55
LUX PHOTOCCEL 170
LUX TOTAL 441

```

Figura 61. Captura de datos enviados por la WSN/6LoWPAN al nodo servidor.

Fuente: Pruebas y resultados. Elaborado por el Autor

5.1.2.1 Sniffing de paquetes IEEE 802.15.4

Para poder visualizar las tramas 802.15.4 provenientes de la WSN/6LoWPAN se requiere de un hardware y software adecuados.

En la parte del hardware tenemos el UD1000, que es un nodo sensor inalámbrico compatible con el estándar IEEE 802.15.4, basado en código abierto con plataforma "TelosB" desarrollado y publicado por la Universidad de California, Berkeley. El formato compacto de forma dongle USB hace que sea especialmente adecuado para actuar como nodo sumidero para sus despliegues de redes de sensores inalámbricos.



Figura 62. Sniffer de paquetes IEEE 802.15.4/6LoWPAN.

Fuente: Pruebas y resultados. Elaborado por el Autor

Como principales características tenemos:

- IEEE 802.15.4 WSN mote
- TI MSP430F1611 microcontrolador, CC2420 chip RF
- TinyOS 2.x y ContikiOS compatibles
- Interfaz USB
- Certificación eléctrica y electromagnética

El funcionamiento de este dispositivo es similar a la del nodo servidor, es decir, captura todas las tramas que se transmiten por la red WSN/6LoWPAN y las retransmite vía USB hacia un host, donde mediante un software permite observar de manera interactiva las tramas y sus partes, además de otras características más detalladas.

En la parte del software tenemos al sistema operativo embebido de código abierto denominado TinyOS en este caso en la versión 2.1, dicho software posee una herramienta denominada ZMonitor que es un analizador de protocolos que permite visualizar las tramas 802.15.4 y 6LoWPAN de manera gráfica y detallada, logrando ver cada apartado que forman las cabecera, el contenido de los paquetes, la longitud de éstos, la IP destino y otros tantos parámetros importantes.

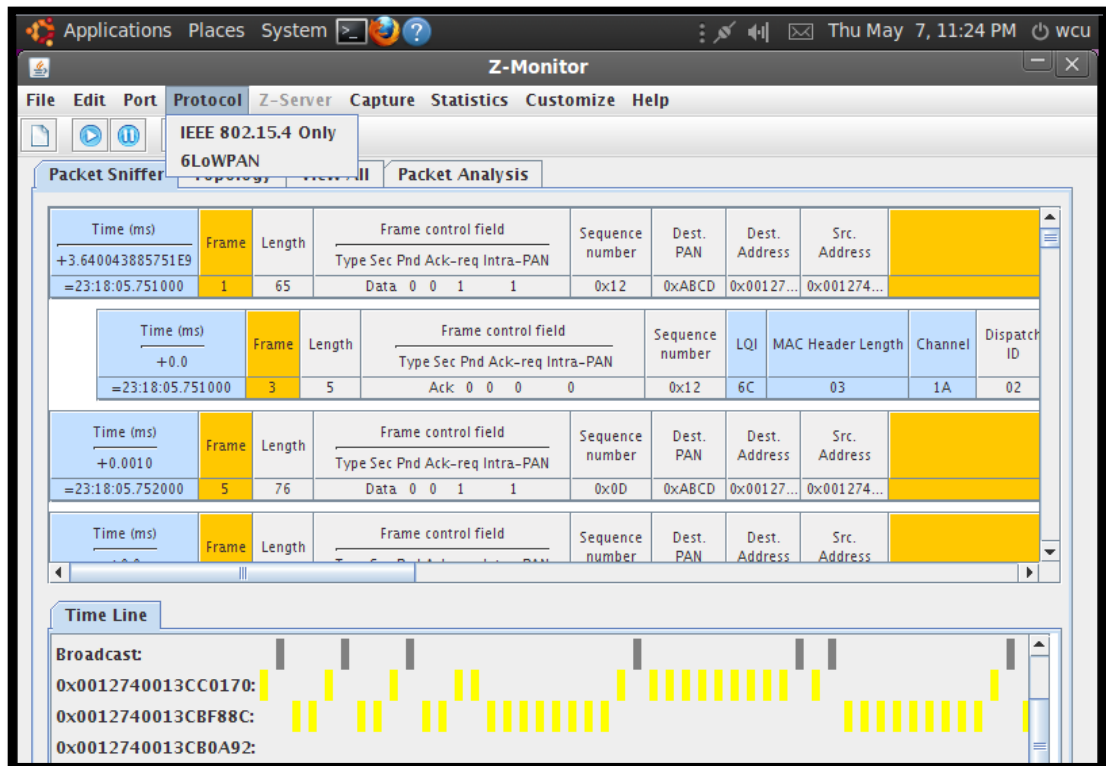


Figura 63. Paquetes capturados por el sniffer.

Fuente: Pruebas y resultados. Elaborado por el Autor

5.1.3 GATEWAY

El gateway al igual que el nodo servidor estará ubicado en un espacio físico cubierto, protegido, adherido a un monitor de visualización del sistema de monitoreo y funcionando como interfaz de comunicación entre la WSN/6LoWPAN y los servidores del sistema. Su fuente de energía será proporcionada por la red eléctrica 110VAC que posee la granja y una conexión inalámbrica a internet a través del AP CISCO con autenticación WPA2 que cubre el área de oficinas y ciertas aulas de la granja.

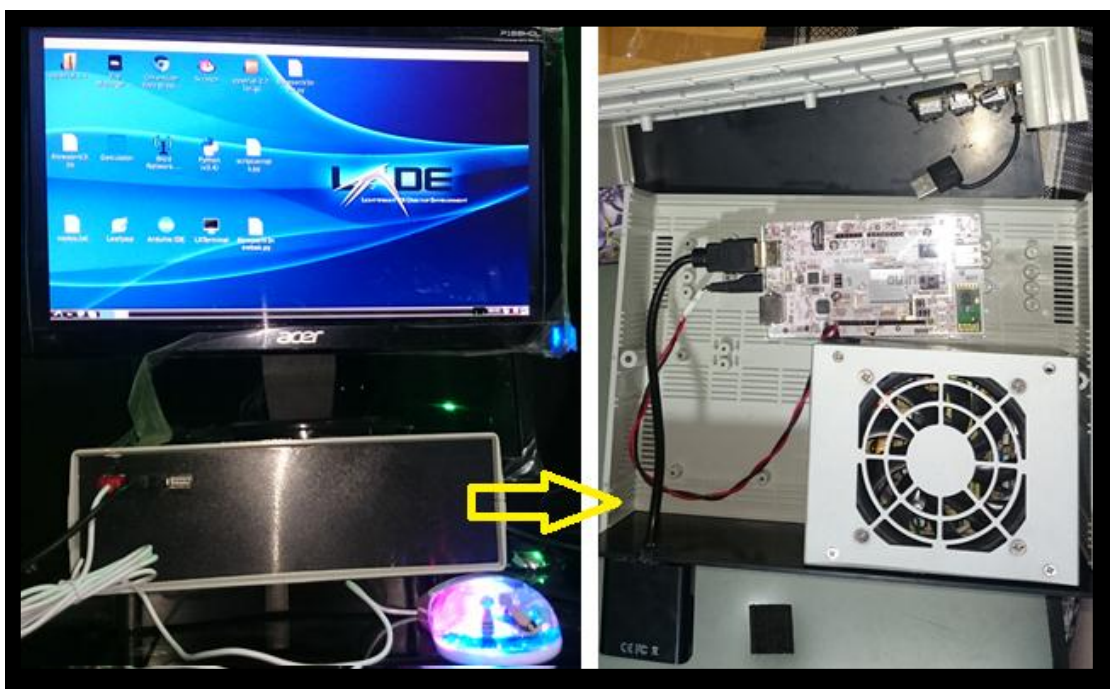


Figura 64. Gateway instalado.

Fuente: Pruebas y resultados. Elaborado por el Autor

| id | temperatura | hrelativa | hsuelo | lphoto | ltotal | bateria |
|----|-------------|-----------|--------|--------|--------|---------|
| 1 | 20 | 81 | 50 | 158 | 400 | 3 |
| 1 | 20 | 81 | 50 | 158 | 400 | 3 |
| 1 | 20 | 81 | 50 | 160 | 400 | 3 |
| 2 | 21 | 72 | 55 | 154 | 386 | 2 |

Figura 65. Almacenamiento de los datos en la BDD.

Fuente: Pruebas y resultados. Elaborado por el Autor

5.1.4 SISTEMA DE MONITOREO

El sistema está montado en el gateway para el monitoreo local y replicado en una plataforma PAAS para el monitoreo remoto, el sistema siempre estará operativo, en espera de datos suministrados por la WSN/6LoWPAN para procesarlos y hacerlos visibles en su interfaz web.

5.1.4.1 Acceso al sistema de monitoreo

Para acceder al sistema de monitoreo ya se de forma local o remota se requiere de lo siguiente:

- Contar con un dispositivo Smart (Smartphone, Tablet, Laptop, PC, etc.) que posea cualquier tipo de navegador web (Firefox, Chrome, Safari, Opera, etc.), si se desea un monitoreo local se deberá estar conectado a la red interna de la granja y para un monitoreo remoto se deberá tener conexión a internet.
- Tener actualizado los complementos adobe flash player del navegador web a usar y cualquier otro complemento grafico para poder visualizar la interfaz gráfica del software sin ningún inconveniente.
- Ingresar mediante un navegador web a la siguiente dirección web <http://6lowpan.donweb-homeip.net:8080/6lowpan/>

5.1.4.2 Autenticación

Se la realiza mediante ingresando un usuario y contraseña registrada (User:admin Password:info.2015) y clic en el botón entrar.

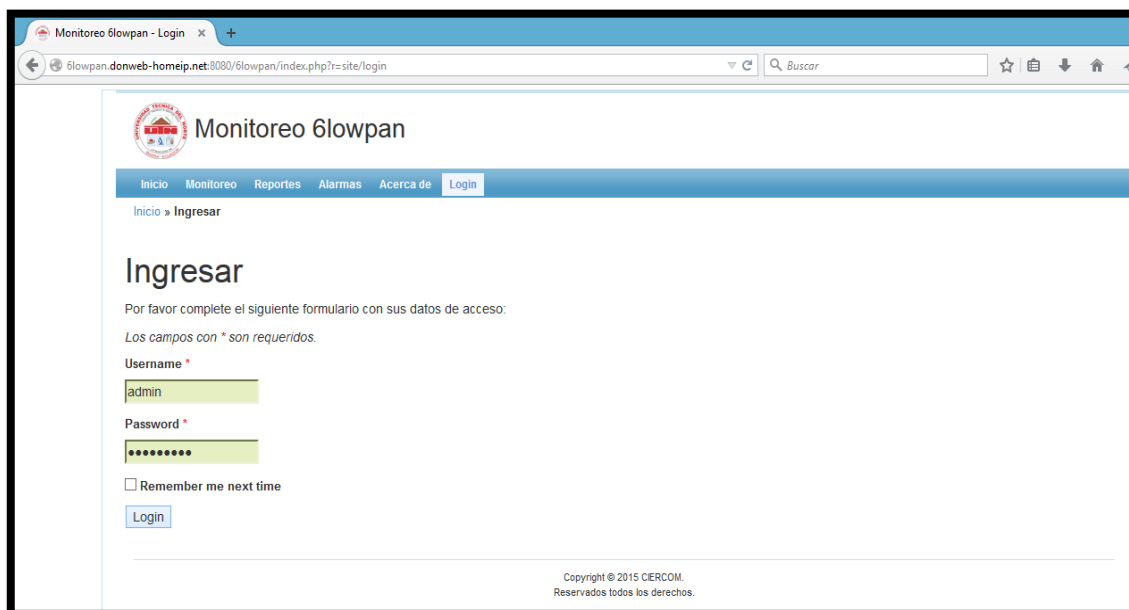


Figura 66. Interfaz de autenticación.

Fuente: Sistema de monitoreo. Elaborado por el Autor

5.1.4.3 Interfaz de monitoreo

Una vez autenticados se nos abre la interfaz de monitoreo de los nodos sensores, visualizando mediante gráficos representativos (desarrollados con plugins) de los diferentes valores monitoreados por cada nodo y extraídos de la base de datos del sistema.

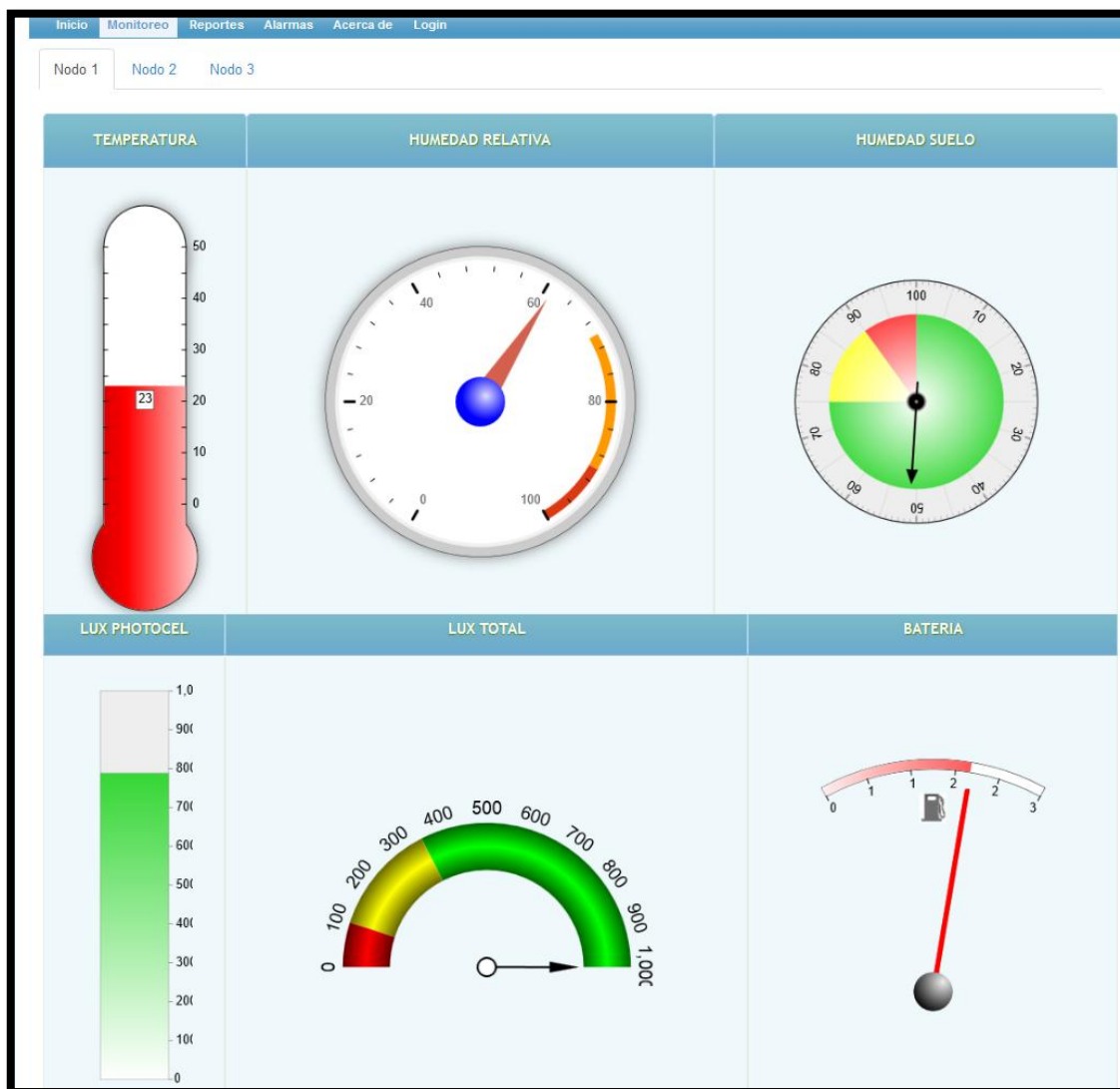


Figura 67. Interfaz de monitoreo.

Fuente: Sistema de monitoreo. Elaborado por el Autor

5.1.4.4 Consulta historial

El sistema permite realizar consultas en la base de datos y presentar informes del historial de las mediciones de los sensores, para una interpretación técnica por los administradores de los cultivos y futuras toma de decisiones; los reportes se los pueden filtrarse y exportar en un archivo de tipo PDF.

Inicio Monitoreo **Reportes** Alarmas Acerca de Logout (admin)

Inicio » Nodos » Administrar

Reportes Nodos

Consultar por Fecha:

Desde: Hasta:

[Exportar PDF](#)

[Búsqueda Avanzada](#)

Viendo 1-10 de 1779 resultados.

| Número de Nodo | Temperatura | Humedad Relativa | Humedad Suelo | Lux Photocell | Lux Total | Batería | Fecha Registro |
|----------------|-------------|------------------|---------------|---------------|-----------|---------|---------------------|
| 1 | 23 | 61 | 51 | 788 | 2985 | 2 | 2015-05-13 08:51:23 |
| 1 | 22 | 62 | 51 | 671 | 2885 | 3 | 2015-05-13 08:51:04 |
| 1 | 22 | 63 | 51 | 2824 | 0 | 6 | 2015-05-13 08:50:46 |
| 1 | 19 | 74 | 51 | 184 | 602 | 3 | 2015-05-13 08:50:19 |
| 1 | 19 | 75 | 51 | 185 | 607 | 3 | 2015-05-13 08:49:54 |
| 1 | 19 | 75 | 51 | 184 | 607 | 3 | 2015-05-13 08:49:29 |
| 2 | 19 | 75 | 51 | 227 | 897 | 2 | 2015-05-13 08:49:09 |
| 1 | 19 | 75 | 51 | 184 | 602 | 3 | 2015-05-13 08:48:47 |
| 1 | 19 | 75 | 51 | 184 | 607 | 3 | 2015-05-13 08:48:31 |
| 1 | 24 | 48 | 0 | 160 | 395 | 3 | 2015-05-09 21:06:20 |

Ir a página: [1](#) [2](#) [3](#) [4](#) [5](#) [6](#) [7](#) [8](#) [9](#) [10](#) [Siguiente >](#)

Operations

[Listar Nodos](#)

[Crear Nodos](#)

Figura 68. Consulta de historial de monitoreo.

Fuente: Sistema de monitoreo. Elaborado por el Autor

5.1.4.5 Alarmas

Las alarmas son las encargadas de enviar notificaciones de advertencia a él/los administrador/es por medio de correos electrónicos, identificando el tipo de alarma que se ha producido en las lecturas de la WSN/6LoWPAN de acuerdo a los valores límites de factores ambientales establecidos de acuerdo a lo que se desea monitorear.

| Tipo Nodo | Fecha Registro | Columna | Mensaje |
|-----------|---------------------|---------|--|
| 2 | 2015-05-10 22:40:19 | hsuelo | Los niveles de hsuelo del nodo numero 2se encuentra en: 0 |
| 2 | 2015-05-10 22:40:32 | bateria | Los niveles de bateria del nodo numero 2se encuentra en: 2 |
| 2 | 2015-05-10 22:40:38 | hsuelo | Los niveles de hsuelo del nodo numero 2se encuentra en: 0 |
| 2 | 2015-05-10 22:40:40 | bateria | Los niveles de bateria del nodo numero 2se encuentra en: 2 |
| 2 | 2015-05-10 22:40:44 | hsuelo | Los niveles de hsuelo del nodo numero 2se encuentra en: 0 |
| 2 | 2015-05-10 22:40:48 | hsuelo | Los niveles de hsuelo del nodo numero 2se encuentra en: 0 |
| 2 | 2015-05-10 22:40:57 | bateria | Los niveles de bateria del nodo numero 2se encuentra en: 2 |
| 2 | 2015-05-10 22:41:03 | bateria | Los niveles de bateria del nodo numero 2se encuentra en: 2 |
| 2 | 2015-05-10 22:41:08 | hsuelo | Los niveles de hsuelo del nodo numero 2se encuentra en: 0 |
| 2 | 2015-05-10 22:35:04 | hsuelo | Los niveles de hsuelo del nodo numero 2se encuentra en: 0 |

| From | Subject | Time |
|------|--|------|
| yo | Alerta!! Revisar los Nodos - Los niveles de hrelativa del nodo numero 1se encuentra en: 61. Para mayor información: Visita el | 13 m |
| yo | Alerta!! Revisar los Nodos - Los niveles de hrelativa del nodo numero 1se encuentra en: 62. Para mayor información: Visita el | 13 m |
| yo | Alerta!! Revisar los Nodos - Los niveles de bateria del nodo numero 1se encuentra en: 6. Para mayor información: Visita el Sitio | 13 m |
| yo | Alerta!! Revisar los Nodos - Los niveles de hrelativa del nodo numero 1se encuentra en: 63. Para mayor información: Visita el | 13 m |
| yo | Alerta!! Revisar los Nodos - Los niveles de hrelativa del nodo numero 1se encuentra en: 74. Para mayor información: Visita el | 13 m |
| yo | Alerta!! Revisar los Nodos - Los niveles de hrelativa del nodo numero 1se encuentra en: 75. Para mayor información: Visita el | 13 m |

Figura 69. Alarmas.

Fuente: Sistema de monitoreo. Elaborado por el Autor

5.2 ANÁLISIS COSTO-BENEFICIO

Un análisis costo-beneficio de un proyecto es importante para determinar su viabilidad y rentabilidad desde un punto de vista económico y social, este análisis se lo realiza en base a los costos de inversión y los beneficios obtenidos al desarrollar un proyecto.

5.2.1 COSTO

El costo es la cantidad de inversión que requiere el proyecto, tanto en equipos, infraestructura e ingeniería.

5.2.1.1 Costo de equipos

En costo de equipos se tomará en cuenta todo el hardware que interviene en la WSN/6LoWPAN y el gateway, referenciando costos reales a nivel de consumidor final.

| Equipos | Cantidad | Precio Unitario \$ | Subtotal |
|---------------------------------|-----------------|---------------------------|-----------------|
| TelosB MTM-CM5000-MSP | 4 | 130 | 520 |
| Arduino UNO | 3 | 30 | 90 |
| Shield Host-USB arduino | 3 | 26 | 78 |
| Higrómetro | 3 | 10 | 30 |
| Panel solar 5W – 18V | 3 | 40 | 120 |
| Regulador SCL-10A 12/24V | 3 | 35 | 105 |
| Batería MAGNA 5Ah - 12V | 3 | 25 | 75 |
| pcDuino | 1 | 130 | 130 |
| Monitor LCD 15'' ACER | 1 | 80 | 80 |
| Fuente de poder DC 250W | 1 | 20 | 20 |
| TOTAL | | | 1 248 |

Tabla 16. Costo de equipos. Fuente: Análisis costo beneficio. Elaborado por el Autor

Nota: Los precios de los equipos utilizados son referenciados conforme con las proformas mostradas en el anexo 4.

5.2.1.2 Costo de infraestructura

Como costos de infraestructura se incluye el consumo de energía eléctrica por parte del gateway, los case y soportes de los nodos sensores y el costo de servicio de internet (ítems de consumo eléctrico y servicio de internet se excluyen por ser financiados por la universidad).

| Infraestructura | Cantidad | Precio Unitario \$ | Subtotal \$ |
|---|-----------------|---------------------------|--------------------|
| Case nodos | 4 | 10 | 40 |
| Soportes de madera | 3 | 7 | 21 |
| Materiales puntos de luz + instalación | 1 | 15 | 15 |
| Cables y dispositivos complementarios | 1 | 40 | 40 |
| TOTAL | | | 116 |

Tabla 17. Costo de infraestructura. Fuente: Análisis costo beneficio. Elaborado por el Autor

5.2.1.3 Costo de ingeniería

Los costos de ingeniería se consideran los honorarios de la persona encargada del diseño del sistema y el estudio de campo, estudio que es valorado de acuerdo a la dificultad de acceso y condiciones climáticas donde se ejecutará el proyecto.

En este caso el costo de diseño se lo valora con un costo 500 dólares mensuales, asumiendo que lo realizaría un egresado de la Carrera de Ingeniería en Electrónica y Redes de Comunicación y además se lo documentará y tendrá un periodo de depreciación de equipos de 3 años.

| Ingeniería | Cantidad | Precio \$ | Subtotal \$ |
|---|-----------------|------------------|--------------------|
| Estudio de campo, diseño y verificación de infraestructura | 1 | 500 | 500 |
| Documentación | 1 | 250 | 250 |
| TOTAL | | | 750 |

Tabla 18. Costo de ingeniería. Fuente: Análisis costo beneficio. Elaborado por el Autor

5.2.1.4 Resumen

A continuación se muestra el resumen de costos de inversión del proyecto si fuese el caso de implementar el diseño del sistema de monitoreo de cultivos.

| | |
|----------------------------------|--------------|
| Costos de equipos | 1 248 |
| Costos de infraestructura | 116 |
| Costos de ingeniería | 750 |
| TOTAL \$ | 2 114 |

Tabla 19. Costo de inversión. Fuente: Análisis costo beneficio. Elaborado por el Autor

5.2.2 BENEFICIO

El beneficio en términos económicos se entendería como ingresos monetarios directos que produciría el proyecto como tal, pero en este caso se interpretara a los beneficios en términos relacionales entre lo económico, social y ambiental, puesto que el proyecto influirá en la optimización de producción y cuidado de cultivos de ciclo corto, toma de decisiones oportunas en base a los datos de monitoreo (cálculo de la evapotranspiración de las plantas y programación de riego), ahorro de presupuesto (mantenimiento de cultivos solo cuando realmente se requiera), mejora de la calidad de cultivos y vinculación de los estudiantes y administradores de la granja con la tecnología y aplicarla la agricultura (uso de las TICs en la educación).

| Beneficio | Semestres | Valor \$ | Subtotal \$ |
|---|------------------|-----------------|--------------------|
| Ahorro referencial en mano de obra con programación de riego | 6 | 500 | 3000 |
| Ingresos referenciales por | | | |

| | | | |
|---|---|-----|------|
| aumento de productividad y calidad en los cultivos | 6 | 300 | 1800 |
| TOTAL | | | 4800 |

Tabla 20. Beneficios estimados. Fuente: Análisis costo beneficio. Elaborado por el Autor

5.2.3 CÁLCULO DEL COSTO-BENEFICIO

En el cálculo costo beneficio se incluirá otras variables más que ayudan a determinar la factibilidad y rentabilidad del proyecto de acuerdo a la inversión de un proyecto; para el cálculo se hará uso de una hoja de cálculo Excel y las variables son las siguientes:

VAN: Valor Actual Neto

TIR: Tasa Interna de Retorno

B/C: Relación Beneficio Costo

PRI: Periodo de Retorno de Inversión

| VARIABLES | | A | | B | | A-B | |
|-------------------------|-----------|----------------|-----------------|---------------|----------------|------------------------|--------------|
| | | Flujo ingresos | | Flujo egresos | | Flujo de efectivo neto | |
| Inversio inicial (I0)= | 2114 | | | | | | |
| n = | 3 | Año | Ingresos | Año | Engreso | Año | Valor |
| Tasa de descuento (i%)= | 10 | 1 | \$ 1.600,00 | 1 | \$ 704,66 | 1 | \$ 895,34 |
| | | 2 | \$ 1.600,00 | 2 | \$ 704,66 | 2 | \$ 895,34 |
| | | 3 | \$ 1.600,00 | 3 | \$ 704,66 | 3 | \$ 895,34 |
| RESULTADOS | | | | | | | |
| VAN= | \$ 112,58 | | | | | | |
| TIR= | 13% | | | | | | |
| B/C= | 1,27 | | | | | | |
| PRI= | 2,4 años | | | | | | |

Tabla 21. Cálculo del VAN, TIR, B/C y PRI. Fuente: Análisis costo beneficio.

Elaborado por el Autor

Los resultados obtenidos nos indican lo siguiente:

$VAN > 0$. Genera ganancia por encima de la inversión realizada.

$TIR >$ Tasa de descuento. Proyecto factible

$B/C > 1$. Proyecto económicamente aceptable

$PRI <$ Periodo de funcionamiento del proyecto.

Todos los resultados obtenidos nos indican que es factible y rentable implementar el proyecto si ese fuese el caso.

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 CONCLUSIONES

El uso de redes inalámbricas de sensores en términos de monitoreo no solo tienen impacto en la agricultura, sino también en ámbitos industriales, médicos, ambientales, etc.

Y aprovechando sus características como son el bajo consumo de energía, escalabilidad,

alta durabilidad, alimentación por paneles solares, hacen de estas redes una alternativa ecológica, sin casi ningún impacto ambiental y costo accesible al momento de elegir las como solución a un determinado problema.

Las herramientas de hardware que intervienen en el diseño del proyecto son orientadas a entornos libres, permitiendo una configuración y montaje flexible al momento de satisfacer las necesidades y cumplir con los objetivos del proyecto.

Las herramientas de software utilizadas en el proyecto como las principales que son Arduino IDE, Contiki, Apache, PHP, MySQL, son multiplataforma y permiten el desarrollo del proyecto en diferentes sistemas operativos.

El Lenguaje Unificado de Modelado (UML) permite modelar y documentar un sistema mediante la metodología que el desarrollador vea conveniente, lo que otorga una flexibilidad de elección y conveniencia en la metodología a usar para el modelado.

La implementación de una red WSN/6LoWPAN para el monitoreo de cultivos permitió relacionar la agricultura con la electrónica y redes, incursionando así en una agricultura inteligente.

Al diseñar la WSN/6LoWPAN se han preestablecido variables necesarias y suficientes para el monitoreo de cultivos de ciclo corto, pero si fuese el caso de agregar más variables de monitoreo, tanto el hardware como software son escalables y capaces de soportar mayor número de nodos y sensores.

El uso de plantillas adaptativas en el diseño del software se traduce en una ventaja para el usuario, así podrá visualizar los datos entregados por la WSN/6LoWPAN desde cualquier dispositivo inteligente que posea y tenga conexión a Internet.

6.2 RECOMENDACIONES

En el caso de implementarse el proyecto, las recomendaciones serían las siguientes:

Instalar los nodos sensores dentro del área de cobertura recomendada por el fabricante (menor a 120m) y aplicado a cultivos de ciclo corto de pequeño y mediano tamaño para evitar interferencia en la línea de vista entre nodos.

Mantener un tiempo de monitoreo entre los 10 a 20 minutos, con el fin de incrementar el tiempo de vida de la batería en los nodos sensores y a su vez tener un menor número de datos almacenados en la base de datos y optimizar el uso de espacio.

En el diseño de software se recomienda el uso de plataforma del tipo PAAS (Plataforma como servicio), ya que al poseer herramientas web alojadas en la nube, solo necesitamos de tener un acceso a internet para realizar cualquier modificación a la aplicación de monitoreo.

Una manera sencilla de optimizar el desempeño del proyecto es orientarlo a entornos protegidos y con factores ambientales alterables, como lo es un invernadero con sistemas de riego y ventilación.

Las WSN/6LoWPAN abarcan un estudio muy extenso y un cierto nivel de conocimiento, por ello se recomienda revisar la bibliografía citada para profundizar en detalles poco claros.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

LIBROS

Benchimol, D. (Primera Ed.). (2011). *Microcontroladores: Funcionamiento, programación y usos prácticos*. Buenos Aires: Fox Andina; Dalaga, S.A.

de Pablos, C., López, J., Romo, S., & Medina, S. (Primera Ed.). (2011). *Organización y transformación de los sistemas de información en la empresa*. Madrid: ESIC EDITORIAL.

Distefano, S. (2013). *International Journal of Systems Science. Evaluating reliability of WSN with sleep/wake-up interfering nodes*, 44(10), 1793-1806. Bristol: Taylor&Francis Group. doi: 10.1080/00207721.2012.670293

Dordoigne, J. (Cuarta Ed.). (2013). *Redes informáticas: Nociones fundamentales*. Barcelona: Ediciones ENI.

Fernández Martínez, R., Martínez de Pisón Ascacíbar, F. J., Ordieres Meré, J., González Marcos, A., Alba Elías, F., Lostado Lorza, R., & Pernía Espinoza, A. V. (2009). *Redes inalámbricas de sensores: Teoría y aplicación práctica*. La Rioja: Universidad de La Rioja. Servicio de Publicaciones.

Grupo de Trabajo de Ingeniería de Internet. (s.f.). *RFC 2460*.

Minoli, D. (2013). *Building the Internet of Things with IPv6 and MIPv6: The Evolving World of M2M Communications*. New Hersey: John Wiley & Sons. Inc.

Molina, J. (Primera Ed.). (2010). *Automatización y telecontrol de sistemas de riego: Redes de sensores inalámbricos*. Barcelona: MARCOMBO, S.A.

Moro, M. (Primera Ed.). (2011). *Instalaciones domóticas*. Madrid: Paraninfo, S.A.

Mukhopadhyay, S., & Jiang J. (2013). *Wireless Sensor Networks and Ecological Monitoring*. New York: Springer.

Pallás, R. (1993). *Adquisición y distribución de señales*. Barcelona: MARCOMBO, S.A.

Racherla, G. (2008). *Encyclopedia of Wireless and Mobile Communications: Wireless Sensor Networks (WSNs)*. California: Taylor&Francis Group.

Ros, J., & Barrera, O. (2011). *Sistemas de seguridad y confortabilidad*. Madrid: Paraninfo, S.A.

San Miguel, P. (2009). *Electrónica: Electricidad – Electrónica*. Madrid: Paraninfo, S.A.

Shelby, Z., & Bormann, C. (2009). *6LoWPAN: The Wireless Embedded Internet*. New Hersey: John Wiley & Sons. Inc.

LIBROS EN LÍNEA

Agropecuarios. (2011). *Cultivos de ciclo corto con prácticas de conservación de suelo*. Recuperado de <http://agropecuarios.net/cultivos-de-ciclo-corto-con-practic-as-de-conservacion-de-suelo.html>

Barreiro, P. (2007). *Sensores para la caracterización del suelo agrícola usados en agricultura de precisión*. (Vida Rural, Universidad Politécnica de Madrid). Recuperado de http://oa.upm.es/6209/1/Barreiro_87.pdf

Benítez, J., Gloza, G., Sosa, E., & Godoy, D. (2013). *Conectividad WSN: Implementación de un Middleware WSN-IP-WWW*. Recuperado de: http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/27087/Documento_completo.pdf?sequence=1

Cama, A., De la Hoz, E., & Cama, D. (2012). *Las redes de sensores inalámbricos y el Internet de las cosas*. (Revista INGE CUC, Volumen 8, Número 1, pp. 163-172, Universidad de la Costa). Recuperado de <http://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/4869014.pdf>

García, E. (2009). *Implementación de Protocolos de Transporte en Redes de Sensores*. Recuperado de: <http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/7480/1/PFM-ERNESTOGARCIADAVIS.pdf>

Iacono, L., Godoy, P., Marianetti, O., García C., & Párraga C. (2012). *Estudio de la Integración entre WSN y redes TCP/IP*. Recuperado de: http://www.um.edu.uy/docs/5_estudio_de_la_integracion_entre_WSN_redes%20TCP_IP.pdf

IEE-MAGAP. (2014). Memoria técnica: *Generación de geoinformación para la gestión del territorio a nivel nacional escala 1:25.000 – Cantón Antonio Ante*. Recuperado de http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PDOT/ZONA1/NIVEL_DEL_PDOT_CANTONAL/IMBABURA/ANTONIO_ANTE/IEE/MEMORIAS_TECNICAS/mt_antonio_ante_clima_hidrologia.pdf

Úbeda, B. (2009). *Apuntes de: Sistemas embebidos*. (Departamento de Ingeniería de la Información y las Comunicaciones, Universidad de Murcia). Recuperado de <http://ocw.um.es/ingenierias/sistemas-embebidos/material-de-clase-1/ssee-t01.pdf>

RECURSOS BIBLIOGRÁFICOS EN LÍNEA

Advanticsys. (2014). *Sitio web de dispositivos Advanticsys*. Recuperado de <http://www.advanticsys.com/cm5000.html>

ARDUINO. (2014). *Sitio web de ARDUINO*. Recuperado de <http://www.ARDUINO.cc/es/>

Más de IPv6. (2009). *Cabecera IPv4 y cabecera IPv6*. Recuperado de <http://masdeipv6.blogspot.com/2009/11/cabecera-ipv4-y-cabecera-ipv6.html>

Millán (2001). *El protocolo IPv6*. Recuperado de http://www.ramonmillan.com/tutoriales/ipv6_parte1.php

Oracle Corporation. (2010). *Guía de administración del sistema: servicios IP*. Recuperado de <https://docs.oracle.com/cd/E19957-01/820-2981/ipv6-overview-10/>

Rincón de Bits. (2014). *Entendiendo IPv6: Direccionamiento y Subredes*. Recuperado de http://www.rincondobits.com/2014/03/entendiendo-ipv6-direccionamiento-y_28.html

Computación en Nube. (2014). *Computación en Nube, información y recursos sobre Cloud Computing: Tipos de Nube*. Recuperado de <http://www.computacionennube.org/computacion-en-la-nube/paas/>

GLOSARIO DE TÉRMINOS

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

IETF (Internet Engineering Task Force): es el organismo que define los protocolos operativos estándar de Internet como TCP / IP.

IPv4: IPv4 es la versión 4 del Protocolo de Internet y constituye la primera versión de IP que es implementada de forma extensiva. IPv4 es el principal protocolo utilizado en el

nivel de red del modelo TCP/IP para Internet. Fue descrito inicialmente en el RFC 791 elaborado por la Fuerza de Trabajo en Ingeniería de Internet (IETF o Internet Engineering Task Force).

IPv6: IPv6 (Internet Protocol Version 6) o IPng (Next Generation Internet Protocol) es la nueva versión del protocolo IP (Internet Protocol). Ha sido diseñado por el IETF (Internet Engineering Task Force) para reemplazar en forma gradual a IPv4.

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

ITU (Unión Internacional de Telecomunicaciones): es el organismo especializado de las Naciones Unidas para las tecnologías de la información y la comunicación – TIC.

NAT (Network Address Translation o direcciones de red Traductor): es la traducción de una dirección de Protocolo de Internet (IP) se utiliza dentro de una red a una dirección IP diferente conocida dentro de otra red.

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

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

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

UART: Significa Universal Synchronous Receiver Transmitter (Transmisor-receptor asíncrono universal), este controla los puertos y dispositivos serie.

USB: Siglas que corresponden a Universal Serial Bus que es un puerto que sirve para conectar periféricos a un ordenador.

WPAN: Wireless Personal Area Networks, Red Inalámbrica de Área Personal, es una red de elementos para la comunicación entre distintos dispositivos de red o terminales.

WSN: WSN (Wireless Sensor Network), es una red inalámbrica de sensores las cuales se caracterizan por ser redes flexibles, escalables, brindar movilidad, bajo coste de instalación y consumo de potencia, esas mismas características son las que la hacen una herramienta poderosa en el momento de trabajar en temas de monitoreo inalámbrico industrial, agrícola, ambiental, seguridad y más.

ANEXOS

ANEXO 1

HOJA TÉCNICA DEL MÓDULO CM5000

CM5000 DATASHEET



ADVANTIC 

Table of Contents

| | |
|--|----|
| 1. INTRODUCTION | 5 |
| 2. HARDWARE CHARACTERISTICS | 6 |
| 2.1 CM5000 DIAGRAMS | 6 |
| 2.2 MICROCONTROLLER DESCRIPTION - TI MSP430F1611 | 8 |
| 2.3 RADIO TRANSCEIVER DESCRIPTION - TI CC2420 | 10 |
| 2.4 SENSOR DESCRIPTION | 12 |
| 2.4.1 Temperature & Humidity Sensor - Sensirion® SHT11 | 12 |
| 2.4.2 Light Sensor - Hamamatsu® S1087 / S1087-01 | 14 |
| 2.5 USB INTERFACE DESCRIPTION - FTDI® FT232BM | 16 |
| 2.6 EXTERNAL MEMORY DESCRIPTION - ST® M25P80 | 18 |
| 2.7 USER BUTTONS DESCRIPTION | 18 |
| 2.8 ADC & GIO PIN DESCRIPTION | 19 |
| 2.9 POWER CHARACTERISTICS | 19 |

Table of Figures

| | |
|--|----|
| Figure 1: CM5000 Mote | 5 |
| Figure 2: CM5000 Block Diagram | 6 |
| Figure 3: Interconnections between components..... | 6 |
| Figure 4: Sub-Component Diagram..... | 7 |
| Figure 5: CM5000 Component Layout | 7 |
| Figure 6: CM5000 Mechanical Characteristics | 8 |
| Figure 7: MSP430F1611 Microcontroller Pinout Diagram | 9 |
| Figure 8: Recommended operating conditions..... | 9 |
| Figure 9: CC2420n Transceiver | 10 |
| Figure 10: CC2420 Transceiver Pinout | 11 |
| Figure 11: Current Consumption vs. Output Power..... | 12 |
| Figure 12: Sensirion® SHT11 Sensor..... | 12 |
| Figure 13: SHT11 Dimensions..... | 13 |
| Figure 15: Hamamatsu S1087 Mechanical Characteristics | 14 |
| Figure 14: Hamamatsu® S1087 | 14 |
| Figure 16: S1087/S1087-01 Photosensitivity vs. Wavelength..... | 15 |
| Figure 17: S1087/S1087-01 Properties | 15 |
| Figure 18: S1087/S1087-01 Output Current vs. Incident Light Level..... | 16 |
| Figure 19: FTDI® FT232BM | 17 |
| Figure 20: ST® M25P80 | 18 |
| Figure 21: User & Reset Buttons | 18 |
| Figure 22: ADC & GIO PIN..... | 19 |
| Figure 23: Power Feed Schema..... | 20 |

INTRODUCTION

The CM5000 mote is IEEE 802.15.4 compliant wireless sensor node based on the original open-source "TelosB" platform design developed and published by the University of California, Berkeley ("UC Berkeley"). The mote has the following general characteristics:

- IEEE 802.15.4 WSN platform
- TI MSP430 Processor, CC2420 RF
- TinyOS 2.x & ContikiOS Compatible
- Temperature, Humidity, Light sensors
- User & Reset Buttons
- 3xLeds
- USB Interface
- 2xAA Battery Holder

This product is specially suitable not only as a cost environmental wireless sensor node, but also as a very useful research platform for developers, as it includes in the same hardware module all the needed functionalities: sensor readings, processor power and wireless communication potential.



Figure 1: CM5000 Mote

HARDWARE CHARACTERISTICS

CM5000 DIAGRAMS

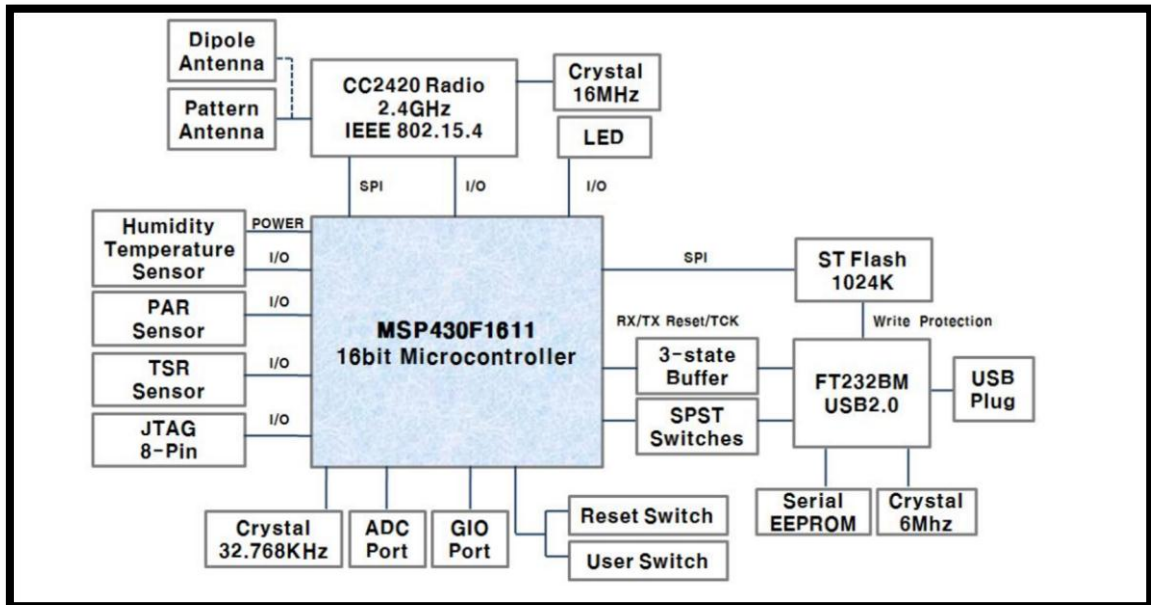


Figure 2: CM5000 Block Diagram

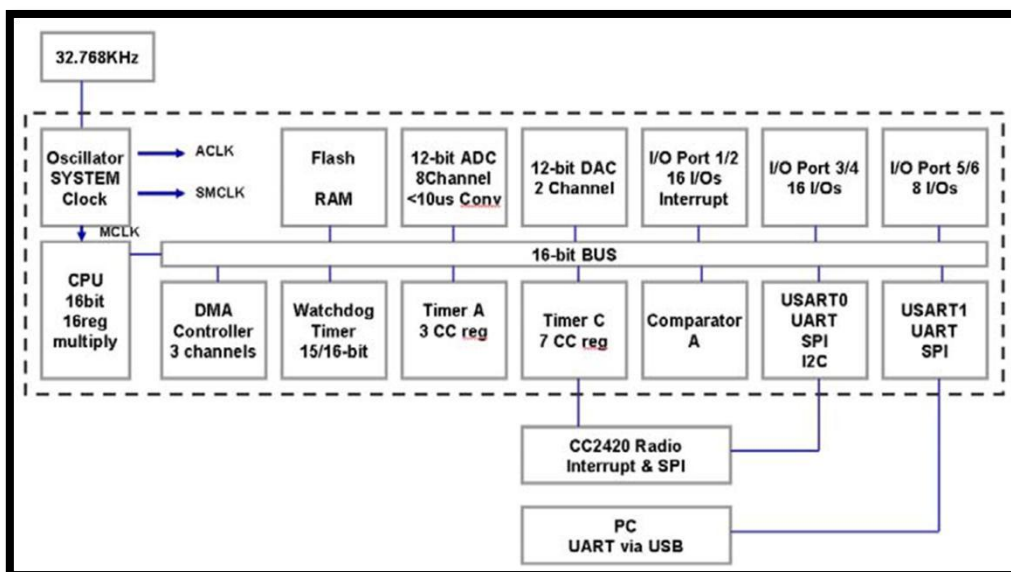


Figure 3: Interconnections between components

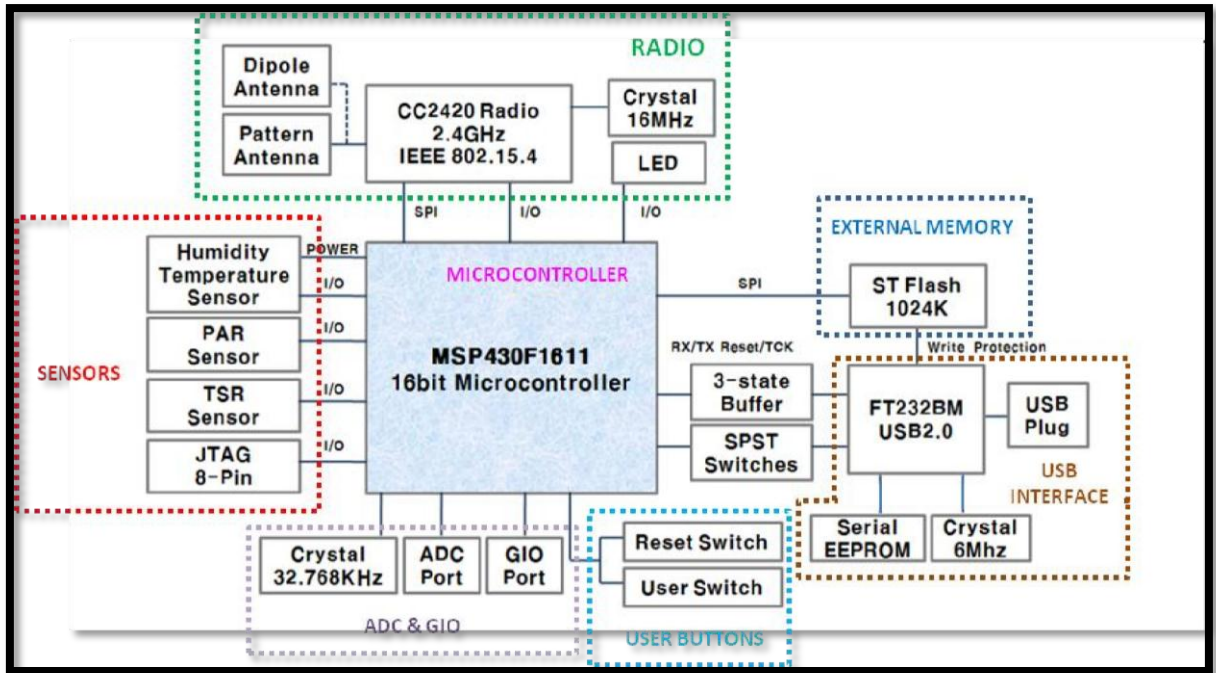


Figure 4: Sub-Component Diagram

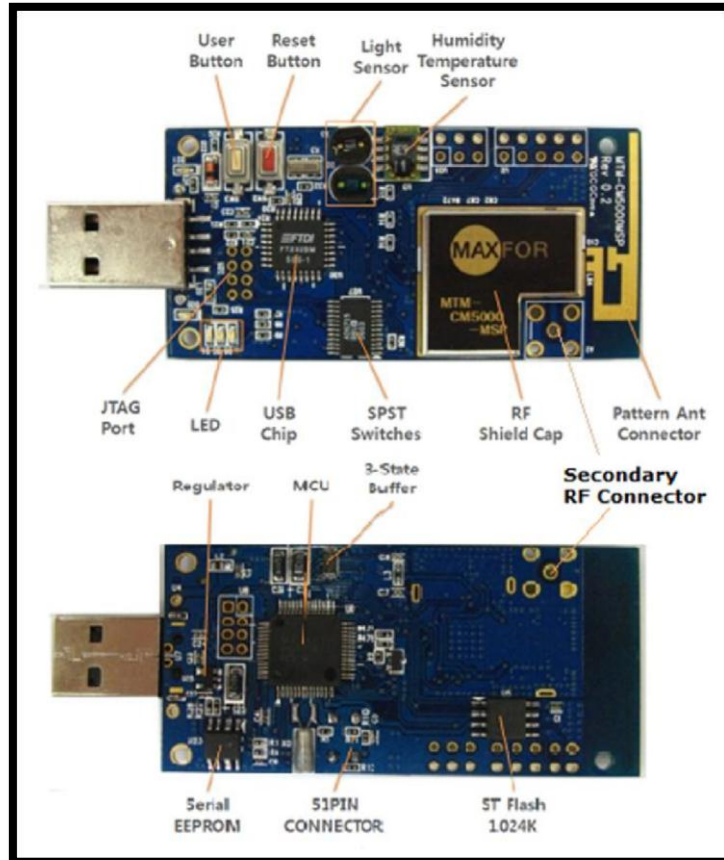


Figure 5: CM5000 Component Layout

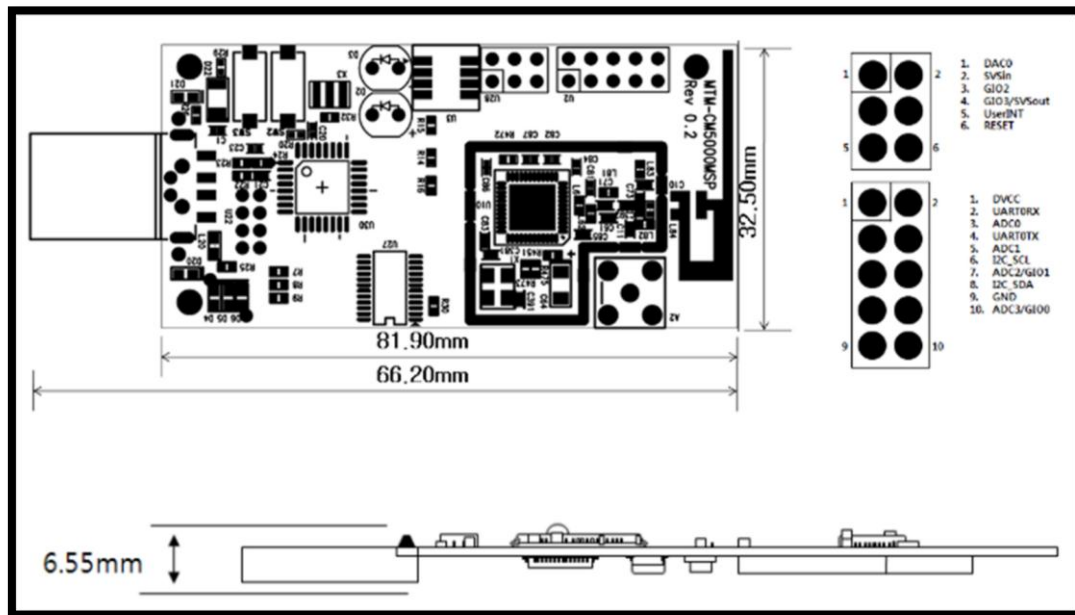


Figure 6: CM5000 Mechanical Characteristics

MICROCONTROLLER DESCRIPTION - TI MSP430F1611

At the heart of the MTM-CM5000_MSP Mote is the **MSP430F1611** microcontroller. This microcontroller belongs to the Texas Instruments MSP430 family of ultralow power microcontrollers. This architecture has five low power modes which are optimized to achieve extended battery life in portable measurement applications. The device features a powerful **16-bit RISC CPU**, **16-bit registers**, and **constant generators** that contribute to maximum code efficiency. The digitally controlled oscillator (DCO) allows wake-up from low-power modes to active mode in less than **6 μ s**.

The MSP430F1611 has **two built-in 16-bit timers**, a **fast 12-bit A/D converter**, **dual 12bit D/A converter**, **two universal serial synchronous/asynchronous communication interfaces (USART)**, **I2C**, **DMA**, and **48 I/O pins**. In addition, the MSP430F161x series offers extended RAM addressing for memory-intensive applications and large C-stack requirements.

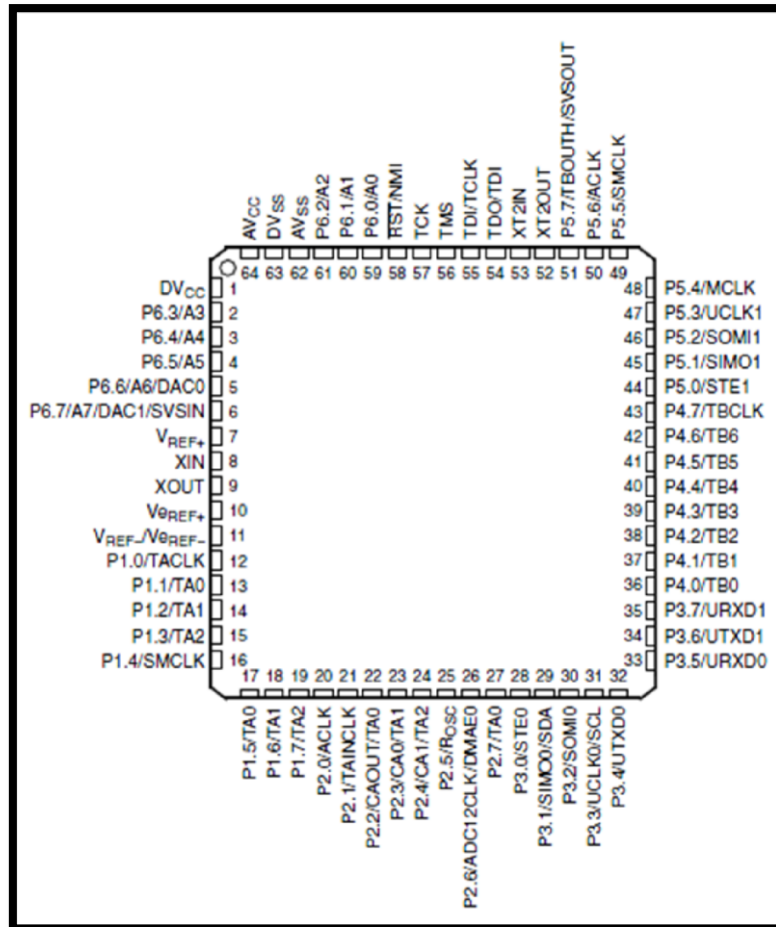


Figure 7: MSP430F1611 Microcontroller Pinout Diagram

| | | MIN | NOM | MAX | UNIT | |
|---|-------------------------|---------------------|------|--------|------|-----|
| Supply voltage during program execution, V _{CC} (AV _{CC} = DV _{CC} = V _{CC}) | | MSP430F15x/16x/161x | | 1.8 | 3.6 | V |
| Supply voltage during flash memory programming, V _{CC} (AV _{CC} = DV _{CC} = V _{CC}) | | MSP430F15x/16x/161x | | 2.7 | 3.6 | V |
| Supply voltage during program execution, SVS enabled (see Note 1), V _{CC} (AV _{CC} = DV _{CC} = V _{CC}) | | MSP430F15x/16x/161x | | 2 | 3.6 | V |
| Supply voltage, V _{SS} (AV _{SS} = DV _{SS} = V _{SS}) | | | | 0 | 0 | V |
| Operating free-air temperature range, T _A | | MSP430F15x/16x/161x | | -40 | 85 | °C |
| LFXT1 crystal frequency, f _(LFXT1) (see Notes 2 and 3) | LF selected, XTS=0 | Watch crystal | | 32.768 | | kHz |
| | XT1 selected, XTS=1 | Ceramic resonator | | 450 | 8000 | kHz |
| | XT1 selected, XTS=1 | Crystal | | 1000 | 8000 | kHz |
| XT2 crystal frequency, f _(XT2) | Ceramic resonator | | 450 | 8000 | kHz | |
| | Crystal | | 1000 | 8000 | | |
| Processor frequency (signal MCLK), f _(System) | V _{CC} = 1.8 V | | DC | 4.15 | MHz | |
| | V _{CC} = 3.6 V | | DC | 8 | | |

NOTES: 1. The minimum operating supply voltage is defined according to the trip point where POR is going active by decreasing the supply voltage. POR is going inactive when the V_{CC} is raised above the minimum supply voltage plus the hysteresis of the SVS circuitry.
2. In LF mode, the LFXT1 oscillator requires a watch crystal. A 5.1-MΩ resistor from XOUT to V_{SS} is recommended when V_{CC} < 2.5 V. In XT1 mode, the LFXT1 and XT2 oscillators accept a ceramic resonator or crystal up to 4.15 MHz at V_{CC} ≥ 2.2 V. In XT1 mode, the LFXT1 and XT2 oscillators accept a ceramic resonator or crystal up to 8 MHz at V_{CC} ≥ 2.8 V.
3. In LF mode, the LFXT1 oscillator requires a watch crystal. In XT1 mode, LFXT1 accepts a ceramic resonator or a crystal.

Figure 8: Recommended operating conditions

The MSP430F1611 is designed for low power consumption. Depending on the mode, the approximate consumption of the component is:

- Active Mode: 330 μA at 1 MHz, 2.2 V
- Standby Mode: 1.1 μA
- Off Mode (RAM Retention): 0.2 μA

For more information on the microcontroller refer to the MSP430F1611 datasheet.

RADIO TRANSCEIVER DESCRIPTION - TI CC2420

The CC2420 is a true single-chip 2.4 GHz IEEE 802.15.4 compliant RF transceiver designed for low power and low voltage wireless applications. CC2420 includes a digital direct sequence spread spectrum baseband modem providing a spreading gain of 9 dB and an effective data rate of 250 kbps.



Figure 9: CC2420n Transceiver

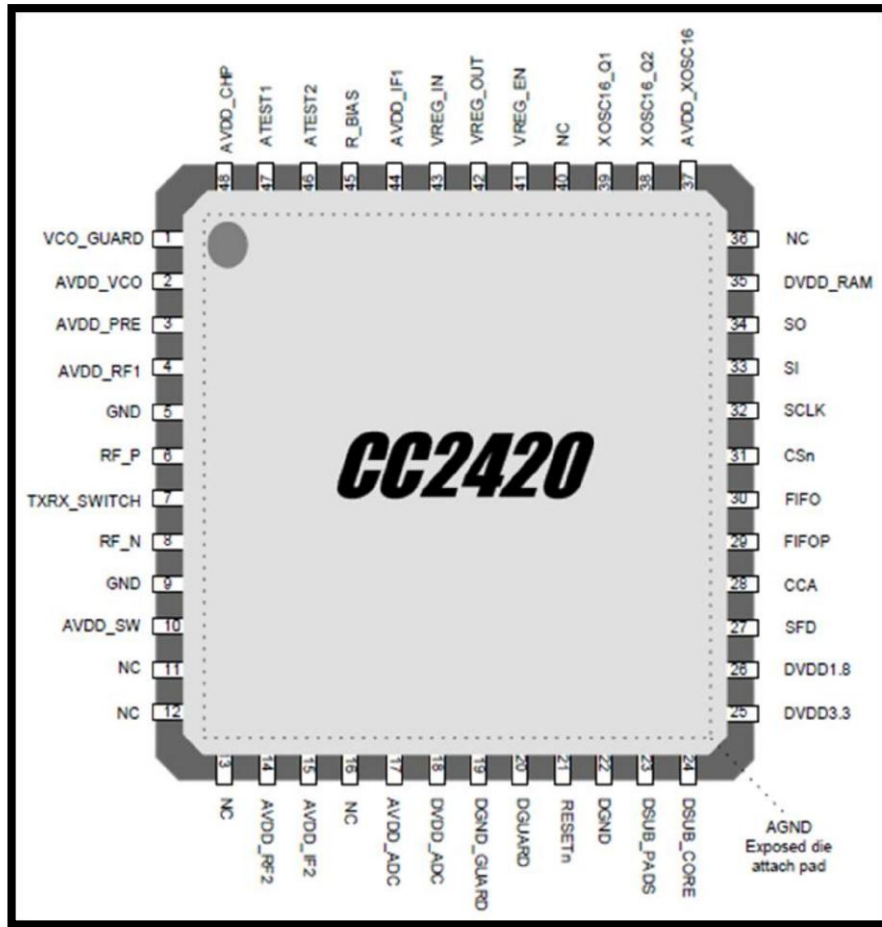


Figure 10: CC2420 Transceiver Pinout

Key Features:

- True single-chip 2.4 GHz IEEE 802.15.4 compliant RF transceiver with baseband modem and MAC support
- DSSS baseband modem with 2 MChips/s and 250 kbps effective data rate.
- Suitable for both RFD and FFD operation
- Low current consumption (RX: 18.8 mA, TX: 17.4 mA)
- Low supply voltage (2.1 – 3.6 V) with integrated voltage regulator
- Low supply voltage (1.6 – 2.0 V) with external voltage regulator
- Programmable output power
- No external RF switch / filter needed
- I/Q low-IF receiver
- I/Q direct upconversion transmitter
- Very few external components
- 128(RX) + 128(TX) byte data buffering
- Digital RSSI / LQI support
- Hardware MAC encryption (AES-128)

- Battery monitor
- QLP-48 package, 7x7 mm
- Complies with ETSI EN 300 328, EN 300 440 class 2, FCC CFR-47 part 15 and ARIB STD-T66
- Powerful and flexible development tools available

The TX power consumption of the CC2420 is dependent on the programmed output power:

| Output Power [dBm] | Current Consumption [mA] |
|--------------------|--------------------------|
| 0 | 17.4 |
| -1 | 16.5 |
| -3 | 15.2 |
| -5 | 13.9 |
| -7 | 12.5 |
| -10 | 11.2 |
| -15 | 9.9 |
| -25 | 8.5 |

Figure 11: Current Consumption vs. Output Power

In low power applications, the CC2420 should be powered down when not being active. Extremely low power consumption may be achieved when disabling also the voltage regulator, but this will require reprogramming of the register and RAM configuration.

The CM5000 mote has two antenna options—and internal antenna built into the module and an external SMA connector for connecting to external antennas. By default, CM5000 is shipped with the internal antenna enabled. If an application requires an external antenna or a different directional pattern than the internal antenna, an SMA connector may be installed and an antenna may be connected directly to CM5000’s SMA female connector.

SENSOR DESCRIPTION

The CM5000 has integrated temperature, humidity and light sensors.

Temperature & Humidity Sensor - Sensirion® SHT11

The CM5000 uses the well known **Sensirion® SHT11** sensor, which is specially suitable for low power consumption air temperature & humidity measurements. This sensor is managed by the mote using a two wire interface. For more information regarding the electrical characteristics and communication specifics check the sensor's datasheet.

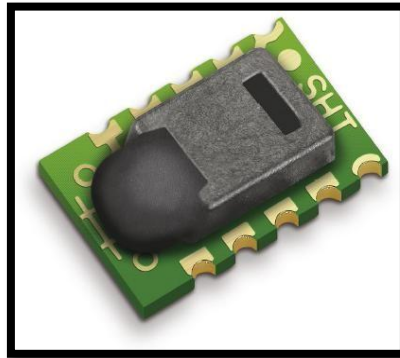


Figure 12: Sensirion® SHT11 Sensor

Key features:

- 14-bit internal ADC temperature conversion
- 12-bit internal ADC humidity conversion
- Temperature Resolution: 0.01 (typical)
- Temperature Accuracy: ± 0.5 °C (typical)
- Humidity Resolution: 0.05 (typical)
- Humidity Accuracy: ± 4.5 %RH (typical)

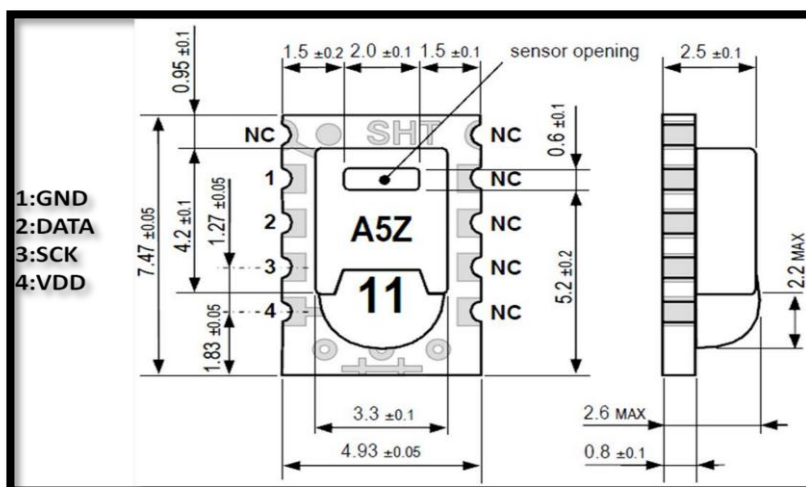


Figure 13: SHT11 Dimensions

Conversion formulas:

Sensor readings are received as 2-byte values from the internal ADC. They have to be converted using the following formulas:

$$\text{Temperature}(T_c) = -39.60 + 0.01 * \text{adc_temperature_value}$$

$$\text{Humidity}(\%) = -4 + 0.0405 * \text{adc_humidity_value} + (-2.8 * 10^{-6}) * (\text{adc_humidity_value}^2)$$

$$\text{Humidity_True}(\%) = (T_c - 25) * (0.01 + 0.00008 * \text{adc_humidity_value}) + \text{Humidity}$$

Humidity_True corrects the humidity value for those situations where the temperature is far from 25 °C.

These conversion formulas assume a stable voltage of 3V. When the voltage is reduced, as it can happen with some batteries when they are being used up, it may be necessary to correct them. See SHT11 datasheet for more details.

Light Sensor - Hamamatsu® S1087 / S1087-01

The CM5000 provides two light sensors, the Hamamatsu® S1087 for visible range measurements and the S1087-01 for visible to infrared range. Both of them give their measurements in lx.

These analogue sensors are connected to the mote's microcontroller ADC4 and ADC5 pins.

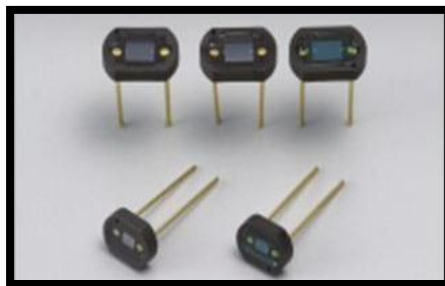


Figure 14: Hamamatsu® S 1087

Key features:

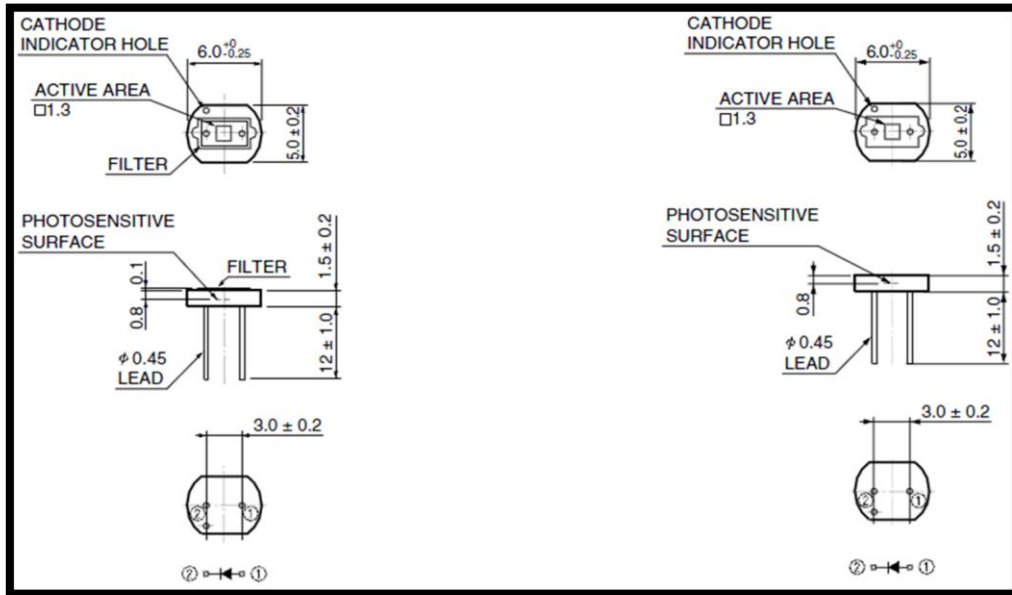


Figure 15: Hamamatsu S1087 Mechanical Characteristics

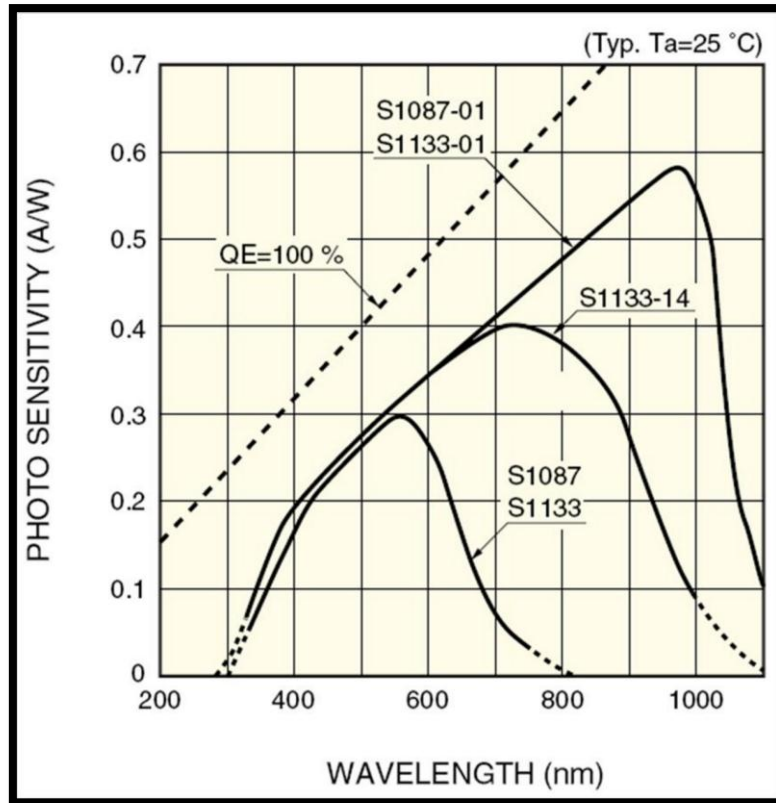


Figure 16: S1087/S1087-01 Photosensitivity vs. Wavelength

| Type No. | Spectral response range λ (nm) | Peak sensitivity wavelength λ_p (nm) | Photo sensitivity S (A/W) | | | Infrared sensitivity ratio (%) | Short circuit current I _{sc} 100 lx (μ A) | Temp. coefficient of I _{sc} (%/°C) | Dark current I _D V _R =1 V Max. (nA) | Temp. coefficient of I _D T _{C/D} (times/°C) | Rise time t _r V _R =0 V R _L =1 k Ω (us) | Terminal capacitance C _t V _R =0 V f=10 kHz | | Shunt resistance R _{sh} V _R =10 mV | |
|----------|--|--|---------------------------|----------------|--------------------|--------------------------------|---|---|---|---|--|--|--------------------|--|------|
| | | | λ_p | GaP LED 560 nm | He-Ne laser 633 nm | | | | | | | Min. (G Ω) | Typ. (G Ω) | | |
| | | | | | | | | | | | | | | 0.33 | 0.37 |
| S1087 | 320 to 730 | 560 | 0.3 | 0.3 | 0.19 | 10 | 0.16 | -0.01 | | | | | | | |
| S1087-01 | 320 to 1100 | 960 | 0.58 | 0.33 | 0.38 | - | 1.3 | 0.1 | 10 | | 0.5 | 200 | | 250 | |
| S1133 | 320 to 730 | 560 | 0.3 | 0.3 | 0.19 | 10 | 0.65 | -0.01 | | 1.12 | | | | | |
| S1133-01 | 320 to 1100 | 960 | 0.58 | | 0.38 | - | 5.6 | | | | 2.5 | 700 | 10 | 100 | |
| S1133-14 | 320 to 1000 | 720 | 0.4 | 0.33 | 0.37 | - | 3.4 | 0.1 | 20 | | 0.5 | 200 | | 50 | |

Figure 17: S1087/S1087-01 Properties

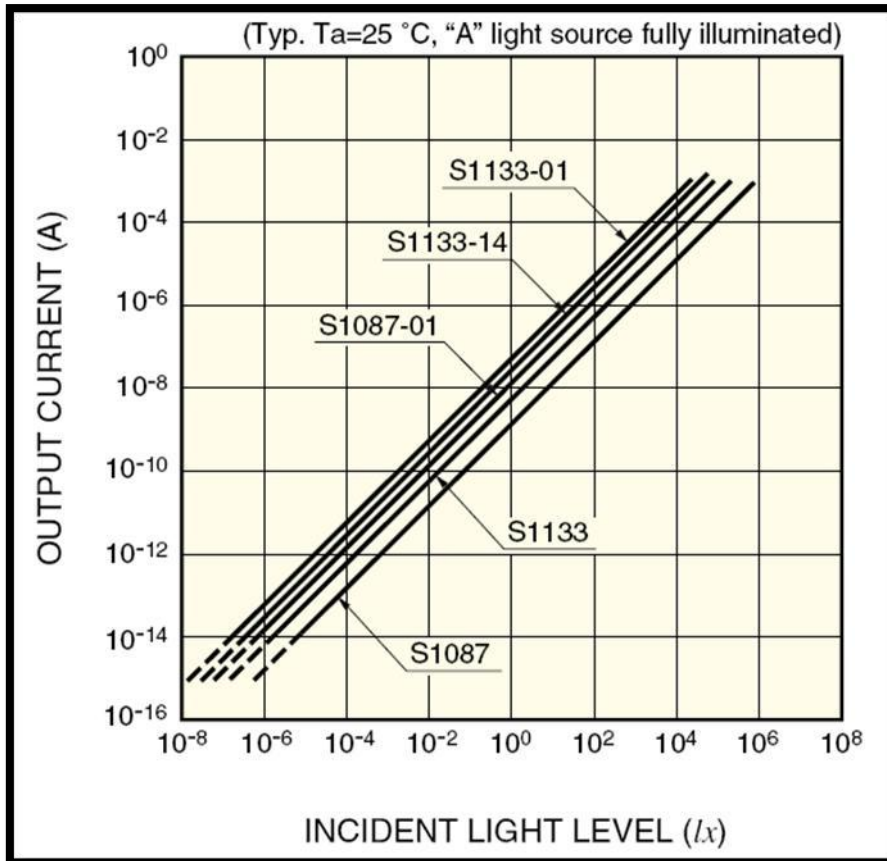


Figure 18: S1087/S1087-01 Output Current vs. Incident Light Level

Conversion formulas:

$$S1087 \text{ Light(lx)} = 2.5 * (\text{adc_Light_value}) / 4096 * 6250$$

$$S1087-01 \text{ Light(lx)} = 1.5 * (\text{adc_TSR_value}) / 4096 * 1000$$

USB INTERFACE DESCRIPTION - FTDI® FT232BM

The CM5000 has a USB interface attached. This allows transmitting the information from the mote to a PC or similar device. It is also used to reprogram the mote's hardware with new firmware.

At the heart of the USB interface lies a **FTDI® FT232BM** which provides USB to UART compatibility.

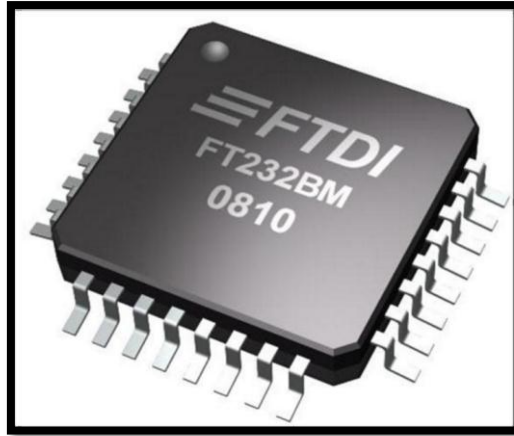


Figure 19: FTDI® FT232BM

Key features:

The FT232BM chip provides:

- Single chip USB <=> asynchronous serial data transfer
- Full handshaking & modem interface signals
- UART interface supports 7/8 data bits, 1/2 stop bits and Odd/Even/Mark/Space/No Parity
- Data transfer rate of 300 Baud => 3M Baud (TTL)
- Data transfer rate of 300 Baud => 1M Baud (RS232)
- Data transfer rate of 300 Baud => 3M Baud (RS422/RS485)
- 384 Byte Rx buffer/128 Byte Tx buffer for high data throughput
- Adjustable Rx buffer timeout
- Fully assisted hardware or X-On/X-Off handshaking
- Built-in support for event characters and line break condition
- Auto transmit buffer control for RS485
- Support for USB suspend/resume through SLEEP# and RI# pins
- Support for high power USB bus powered devices through PWREN# pin
- Integrated level converter on UART and control signals for interfacing to 5V and 3.3V logic
- Integrated 3.3V regulator for USB IO
- Integrated Power-On-Reset circuit
- Integrated 6MHz - 48Mhz clock multiplier PLL
- USB Bulk or Isochronous data transfer modes
- 4.35V to 5.25V single supply operation

- UHCI/OHCI/EHCI host controller compatible
- USB 1.1 and USB 2.0 compatible
- USB VID, PID, serial number and product description strings in external EEPROM
- EEPROM programmable on-board via USB
- Compact 32-LD LQFP or QFN-32 package
- Available as a Lead-free device (FT232BL and FT232BQ) compliant to EU directive 2002/95/EG RoHS

EXTERNAL MEMORY DESCRIPTION - ST® M25P80

The CM5000 mote has a 1MB external flash memory for use.

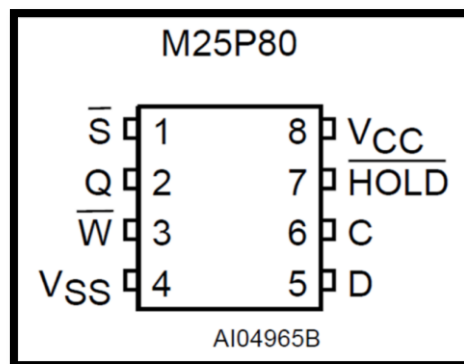


Figure 20: ST® M25P80

USER BUTTONS DESCRIPTION

Two buttons are available on the mote, one provides a hardware reset that reboots the device, and the other can be programmed as it is directly wired to the microcontroller.

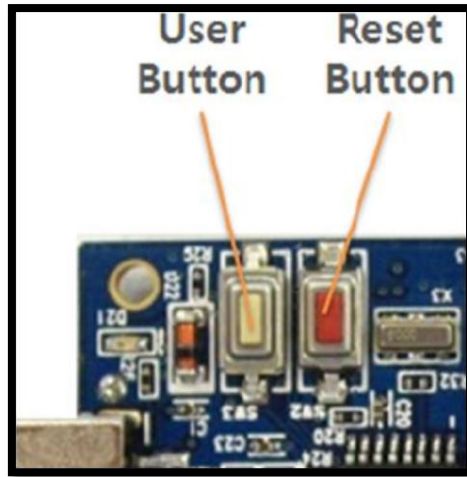


Figure 21: User & Reset Buttons

ADC & GIO PIN DESCRIPTION

The mote has several pins available to connect external peripherals.

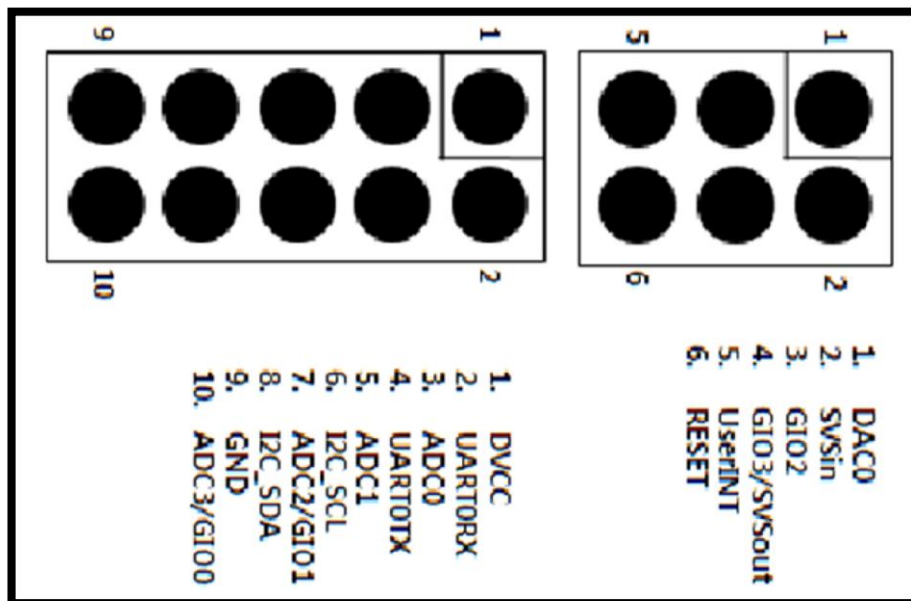


Figure 22: ADC & GIO PIN

POWER CHARACTERISTICS

The CM5000 mote can be powered either by plugging the USB to a host computer, or by using batteries. The provided battery holder allows using 2xAA batteries, but the mote

itself can be powered by a wide variety of ways, since it internally has a voltage regulator that adapts the power input to the needed voltage. The regulator is a **MICREL MIC5207**, and it is recommended to refer to its datasheet before using alternative power sources.

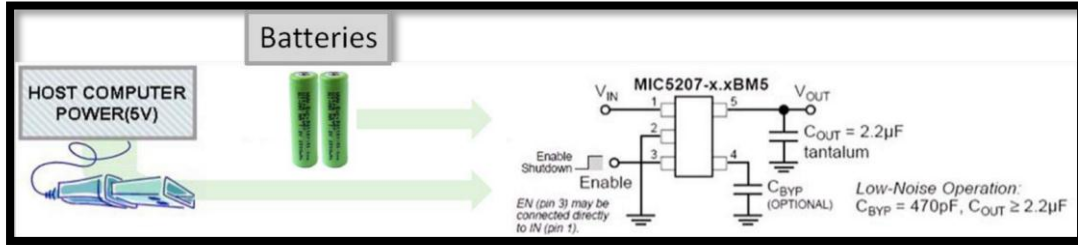


Figure 23: Power Feed Schema

ANEXO 2

HOJA TÉCNICA DEL MÓDULO pcDUINO 3

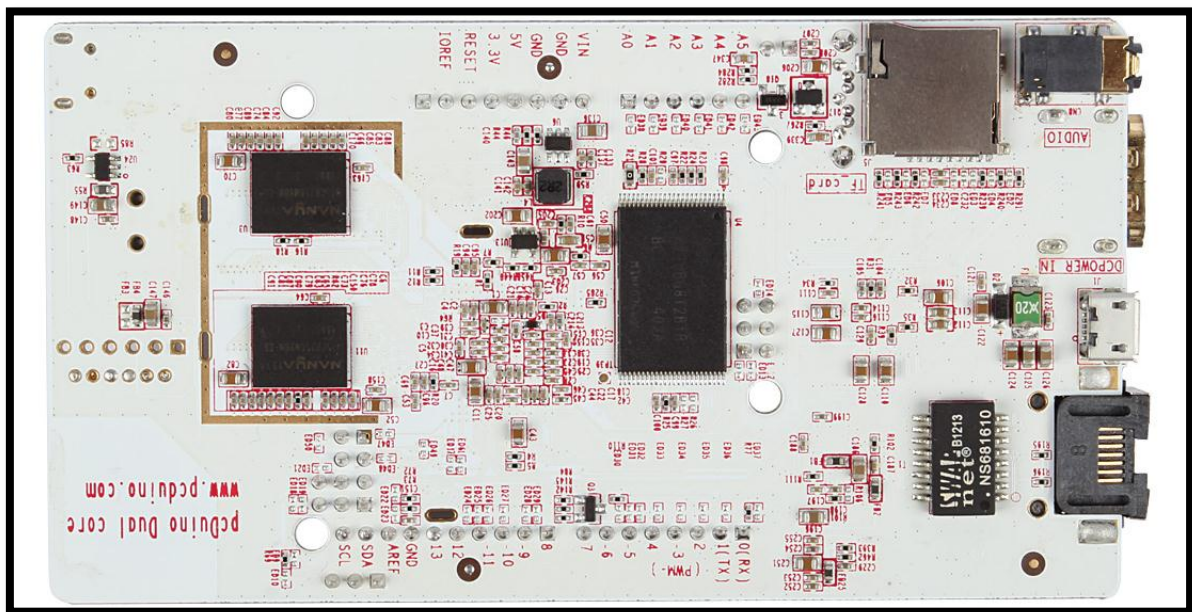
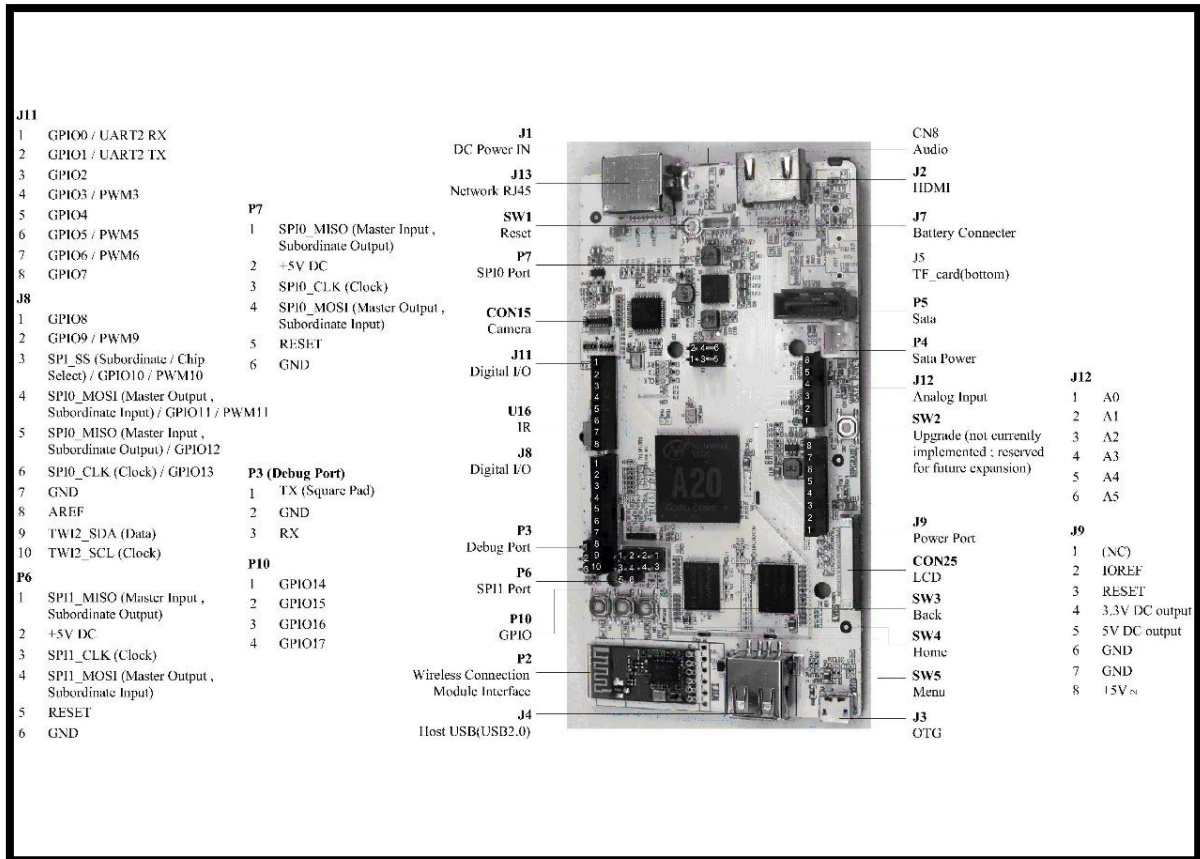
LinkSprite pcDuino3

Overview

pcDuino3 is a high performance, cost effective single board computer. It runs operation systems such as Ubuntu Linux and Android. pcDuino3 has HDMI interface to output its graphic desktop screen. It could support multi-format 1080p 60fps video decoder and 1080p 30fps H.264 and MPEG4 video encoder with its built-in hardware video processing engine. It targets specially the fast growing demands from the open source community. pcDuino3 provides easy-to-use tool chains and is compatible with the popular Arduino ecosystem such as Arduino Shields.

Features & Highlights:

- 100% compatible with original Arduino Shields
- 100% compatible with Linux and Android
- Further support for:
 - C, C ++ with GNU tool
 - Java with standard Android SDK Python
- Arduino pin header, Aduino UNO Slots: 14x GPIO, 2x PW M, 6x ADC, 1x UART, 1xSPI, 1x I2C
- Ethernet 10M/100Mbps, WiFi, SATA



The pcDuino3 is the universal genius among the SBCs. The aim of the developers was to create a powerful open-source hardware device that can be widely used in various applications. All these targets are achieved with the pcDuino3.

The AllWinner-A20 CPU in conjunction with the Mali-400 GPU delivers enough power to handle multimedia (FULL HD) or office applications smoothly and quickly. Thus the pcDuino3 can handle the same tasks like a classic PC under Linux or Android, or ne used

as a Media Center with infrared remote control. It needs to be noted that LINUX Ubuntu 12.04, XBMC Media Center, Scratch and Arduino IDE are already installed on the integrated 4GB flash memory. You can immediately begin working with the pcDuino3 without any installations perform.

This device has a microSD card reader available, and can also be booted from a microSD card (e.g. Android 4.2.2). In general, the device will boot first from the Flash memory. If a microSD card is inserted with an operating system, then the device will boot from it. You can also use the SD card slot as well as a memory expansion (up to 32GB) over the possible SSD or hard drive connected by the existing SATA interface.

Another highlight is the compatibility with all Arduino Shields. Those can be immediately installed on the pcDuino3. There exists a translational Board for 5V Shields if needed. Arduino IDE is also preinstalled. You can directly “go for it” to run Arduinio scripts. The device also preinstall the “SCRATCH” programming language that is widely used in schools and universities. It provides programming newbie and kids a simple introduction to the World of programming and electronics. Similar as “Lego,” it uses a graphical user interface with all kinds of “program blocks” to do a whole program. So if first successes are achieved in an instant, the desire is to make MORE.

Unlike other single board computers with only digital inputs/outputs, the pcDuino3 is also equipped with 6 analog inputs/outputs. They can be used to control analog devices like the Arduino temperature sensors, light sensors, and much more. Another interesting feature of the pcDuino3 is the built-in USB OTG interface. It provides an option to be accessed from a connected Windows PC with a USB network interface via VNC-Remote Desktop software installed on the pcDuino3. Thus, the pcDuino3 can be operated without screen, which is a very useful feature for some applications, e.g., specific measurement or control tasks.

Since the pcDuino3 is designed for 24/7 suitable, and can be deployed with an outside temperature range of up to 80 degrees, it is very suitable for professional and industrial applications. Lithium polymer battery can be connected and loaded by the existing standard battery interface. This makes far-reaching, mobile applications possible. With the existing LVDS interface, LCD monitors can be operated directly. Furthermore, the pcDuino3 has a CSI port to connect to a CSI camera, as an extra option beside USB cameras.

The device is completely open source, so users can program their own projects without any restrictions. For this purpose, there are a lot of detailed Information, circuit diagrams and programming examples on the homepage of pcDuino3.

Hardware Specifications

| Items | pcDuino3 | |
|-----------------------------|--|--|
| Picture |  | |
| Arduino extension interface | Arduino sockets, same as Arduino UNO 14xGPIO, 2xPWM, 6xADC, 1xUART, 1xSPI, 1xI2C | |
| Network interface | <ul style="list-style-type: none"> Built-in WiFi Ethernet 10M/100Mbps | |
| Audio out | <ul style="list-style-type: none"> 3.5mm analog audio interface I2S stereo digital audio interface | |
| LCD | LVDS | |
| IR | IR receiver | |
| SATA | SATA Host socket | |
| Camera | CSI | |
| Battery | Li-Poly Battery Interface | |
| USB | 1 x USB host, 1xUSB OTG | |
| Power | 5V, 2000mA | |
| Overall Size | 121mm x 65mm | |
| Image download | Image for pcDuino3 | |
| CPU | AllWinner A20 SoC, 1GHz ARM Cortex A7 Dual Core | |
| GPU | OpenGL ES2.0, OpenVG 1.1, Mali 400 Dual Core | |
| DRAM | 1GB | |
| Onboard Storage | 4GB Flash, microSD card (TF) slot for up to 32GB | |
| Video Output | HDMI 1.4 with HDCP support | |
| OS | <ul style="list-style-type: none"> Ubuntu 12.04 Android 4.2 | |

Software Specifications

| Items | Description |
|------------------------------|--|
| OS | <ul style="list-style-type: none"> Ubuntu 12.04 Android 4.2 |
| Language | <ul style="list-style-type: none"> English |
| API | <ul style="list-style-type: none"> All the arduino shield pins are accessible with the provided API It consists of API to access the following interfaces: <ul style="list-style-type: none"> UART ADC PWM GPIO I2C SPI |
| Programming language support | <ul style="list-style-type: none"> C, C++ with GNU tool chain Java with standard Android SDK Python |

ANEXO 3

CONDICIONES DE USO Y CODIGO

USO DEL HARDWARE

Nodos

Los nodos son los encargados de realizar la recolección y transmisión de datos, es por ello que a continuación se analizara aspectos importantes para un correcto funcionamiento de los mismos.

- **Tiempo de vida del panel solar**

El panel solar es de 5W 24V, en general los paneles solares pierden eficiencia al ser usados, puesto que la radiación ultravioleta de los rayos solares separa uniones moleculares en el silicón utilizado en las celdas, la pérdida efectiva anual de una celda solar funcionando está estimada en el 0,5%.

Basado en el datasheet, la vida útil comúnmente efectiva y aceptada es de 20 a 25 años, ya que disminuirá su eficiencia debajo del 80 % dentro de los primeros 25 años.

- **Tiempo de vida de la batería**

Las baterías usadas son las denominadas baterías seca de 5Ah 12V, las cuales basadas en el datasheet del fabricante se estipula un tiempo de vida de 3 a 5 años de acuerdo a su uso, así mismo su tiempo de carga óptimo es de 6 a 10 horas con el uso de un panel solar y el tiempo de descarga oscila entre 8 a 12 horas dependiendo de la carga a la que se alimente. En el proyecto al tener apenas un consumidor de aproximadamente 1 Amperio (18.8mA el TelosB y 50mA el Arduino), el tiempo de descarga se extendió a 14 horas.

Un detalle importante es que esta batería no debe estar más de 2 meses sin recibir carga o podría sufrir sulfatación.

- **Ancho de banda**

Basados en el datasheet del fabricante, cada nodo para la transmisión de datos mínima de 50kbps y máxima de 250kbps, aspecto importante de tener en cuenta al momento de agregar nodos en la WSN.

$$V_{txmin} = 3 * 50Kbps = 150Kbps = 18KB/sec$$

$$V_{txmax} = 3 * 250Kbps = 750Kbps = 93.75KB/sec$$

Este parámetro variará dependiendo de la distancia entre nodos, obstáculos entre nodos (línea de vista) y voltaje de alimentación.

Gateway

El gateway es el encargado de procesar las tramas enviadas por los nodos sensores e interactuar con un servidor web y base de datos en la nube, por tal razón es importante mantener el gateway activo siempre.

USO DEL SOFTWARE

El software está alojado en una plataforma PAAS y por ello garantizamos la operatividad prácticamente permanente del aplicativo de monitoreo. Así mismo, el uso del aplicativo es intuitivo y detallado, por lo que el encargado del monitoreo de los parámetros ambientales solo necesita autenticarse (User: admin y Pass: info.2015) y así acceder a los valores monitoreados en tiempo real o a los datos históricos almacenados en la base de datos.

Nota: más información del software se encuentra detallado en la sección 5.1.4.1

Script python

```
##*- coding: utf-8 -*-
#!/usr/bin/env python
import sys, serial
import time
import datetime
import MySQLdb
import urllib2
import time, datetime
import json
import ftplib
import os

#-----
# COMUNICACIÓN TELOS B – GATEWAY
#-----
port = '/dev/ttyUSB0'
ser = serial.Serial(port, 115200)
print ser
line = ser.readline().strip()
ii = 0
while line != "":
    line = ser.readline().strip()
    ii=ii+1
    print "Numero de linea",ii
#-----
# INTERVALO DE MUESTREO ADMINISTRABLE
#-----
    time.sleep(10) if '{' in line:
        try:
#-----
#DATOS MUESTREADOS
#-----
            line0 = line.split(',')
            cc = line0[0]
            c = int (cc[-1])
            print "NODO", c
            d = line0[1]
            print "TEMPERATURA", d
            e = line0[2]
            print "HUMEDAD RELATIVA", e
            f = line0[3]
            print "HUMEDAD DEL SUELO", f
            g = line0[4]
            print "LUX PHOTOCEL", g
            h = line0[5]
            print "LUX TOTAL", h
            i = line0[6]
            print "LLUVIA", i
            jj = line0[7]
```

```

    j = int (jj[-2])
    print "BATERIA", j
#-----
# CODICIONES MAXIMOS Y MINIMOS PARA EL MONITOREO
#-----
    numero_nodo = c
    MIN_TEMPERATURA = 10
    MAX_TEMPERATURA = 35
    MIN_HRELATIVA = 100
    MAX_HRELATIVA = 800
    MIN_HSUELO = 100
    MAX_HSUELO = 800
    MIN_LUXPHOTO = 200
    MAX_LUXPHOTO = 1000
    MIN_LUXTOTAL = 200
    MAX_LUXTOTAL = 1000
    #MIN_LLUVIA = 2
    #MAX_LLUVIA = 10
    MIN_BATERIA = 2
    MAX_BATERIA = 4
    MENSAJE = "Los niveles alcanzados de "
#-----
#ESTABLECIMIENTO DE COMUNICACION CON LA BASE DE DATOS
#-----
    myDB = MySQLdb.connect(host="6lowpan.donweb-
homeip.net",port=3306,user="6lowpan",passwd="info.2015",db="6lowpan")
    cHandler = myDB.cursor()
    print "Conectado"

    cHandler.execute("INSERT INTO nodos (tipo_nodo, temperatura, hrelativa, hsuelo, lphoto, lttotal,
lluvia, bateria) VALUES ('%s', '%s', '%s','%s', '%s', '%s', '%s', '%s')" % (c,d,e,f,g,h,i,j))
#-----
#FILTROS
#-----
    def filtro(valor, columna):

        if ( columna == "temperatura" ):
            varmax = MAX_TEMPERATURA
            varmin = MIN_TEMPERATURA

        if columna == "hrelativa":
            varmax = MAX_HRELATIVA
            varmin = MIN_HRELATIVA

        if columna == "hsuelo":
            varmax = MAX_HSUELO
            varmin = MIN_HSUELO

        if columna == "lphoto":
            varmax = MAX_LUXPHOTO

```

```

        varmin = MIN_LUXPHOTO

    if columna == "ltotal":
        varmax = MAX_LUXTOTAL
        varmin = MIN_LUXTOTAL

    #if columna == "lluvia":
        # varmax = MAX_LLUVIA
        # varmin = MIN_LLUVIA

    if columna == "bateria":
        varmax = MAX_BATERIA
        varmin = MIN_BATERIA

#-----
#ALARMAS
#-----
        if (valor >= varmax or valor <= varmin):

            cHandler.execute("INSERT INTO alarmas(tipo_nodo,columna,mensaje,bandera)
VALUES ('%s','%s','%s','%s')" % (numero_nodo,columna,"Los niveles de "+str(columna)+" del nodo
numero "+str(numero_nodo)+" se encuentran en: "+str(valor),'0'))

            print "dato ingresado a alarmas"
        else:
            print "dato ingresado"

    filtro(d,"temperatura")
    filtro(e,"hrelativa")
    filtro(f,"hsuelo")
    filtro(g,"lphoto")
    filtro(h,"ltotal")
    filtro(i,"lluvia")
    filtro(j,"bateria")

#-----
#CIERRE DE CONEXIÓN
#-----
        cHandler.close()

except Exception,m:
    print m
    print '*Error decodificando trama*'
    break

```

Código TelosB

```
#include "contiki.h"
#include "lib/random.h"
#include "sys/ctimer.h"
#include "net/uip.h"
#include "net/uip-ds6.h"
#include "net/uip-udp-packet.h"
#include "sys/ctimer.h"
#ifdef WITH_COMPOWER
#include "powertrace.h"
#endif
#include <stdio.h>
#include <string.h>

#define UDP_CLIENT_PORT 8765
#define UDP_SERVER_PORT 5678
#define UDP_EXAMPLE_ID 190
#define DEBUG DEBUG_PRINT
#include "net/uip-debug.h"

#ifndef PERIOD
#define PERIOD 60
#endif

#define START_INTERVAL          (15 * CLOCK_SECOND)
#define SEND_INTERVAL          (PERIOD * CLOCK_SECOND)
#define SEND_TIME              (random_rand() % (SEND_INTERVAL))
#define MAX_PAYLOAD_LEN        30

static struct uip_udp_conn *client_conn;
static uip_ipaddr_t server_ipaddr;

/*-----*/
PROCESS(udp_client_process, "UDP client process");
AUTOSTART_PROCESSES(&udp_client_process);
/*-----*/

static void
tcpip_handler(void)
{
    char *str;

    if(uip_newdata()) {
        str = uip_appdata;
        str[uip_datalen()] = '\0';
        printf("DATA recv '%s'\n", str);
    }
}

/*-----*/

static void
send_packet(void *ptr)
```



```

{
static int seq_id;
char buf[MAX_PAYLOAD_LEN];

seq_id++;
PRINTF("DATA send to %d 'Hello %d'\n",
server_ipaddr.u8[sizeof(server_ipaddr.u8) - 1], seq_id);
sprintf(buf, "Hello %d from the client", seq_id);
uip_udp_packet_sendto(client_conn, buf, strlen(buf),
&server_ipaddr, UIP_HTONS(UDP_SERVER_PORT));
}
/*-----*/
static void
print_local_addresses(void)
{
int i;
uint8_t state;

PRINTF("Client IPv6 addresses: ");
for(i = 0; i < UIP_DS6_ADDR_NB; i++) {
state = uip_ds6_if.addr_list[i].state;
if(uip_ds6_if.addr_list[i].isused &&
(state == ADDR_TENTATIVE || state == ADDR_PREFERRED)) {
PRINT6ADDR(&uip_ds6_if.addr_list[i].ipaddr);
PRINTF("\n");
/* hack to make address "final" */
if (state == ADDR_TENTATIVE) {
uip_ds6_if.addr_list[i].state = ADDR_PREFERRED;
}
}
}
}
/*-----*/
static void
set_global_address(void)
{
uip_ipaddr_t ipaddr;

uip_ip6addr(&ipaddr, 0xaaaa, 0, 0, 0, 0, 0, 0);
uip_ds6_set_addr_iid(&ipaddr, &uip_lladdr);
uip_ds6_addr_add(&ipaddr, 0, ADDR_AUTOCONF);

/* Mode 1 - 64 bits inline */
uip_ip6addr(&server_ipaddr, 0xaaaa, 0, 0, 0, 0, 0, 1);
/* Mode 2 - 16 bits inline */
uip_ip6addr(&server_ipaddr, 0xaaaa, 0, 0, 0, 0, 0x00ff, 0xfe00, 1);
/* Mode 3 - derived from server link-local (MAC) address */
uip_ip6addr(&server_ipaddr, 0xaaaa, 0, 0, 0, 0x0250, 0xc2ff, 0xfea8, 0xcd1a); //redbee-econotag
}
/*-----*/
PROCESS_THREAD(udp_client_process, ev, data)

```

```

{
static struct etimer periodic;
static struct ctimer backoff_timer;
static int print = 0;

PROCESS_BEGIN();
PROCESS_PAUSE();
set_global_address();
PRINTF("UDP client process started\n");
print_local_addresses();

/* new connection with remote host */
client_conn = udp_new(NULL, UIP_HTONS(UDP_SERVER_PORT), NULL);
if(client_conn == NULL) {
    PRINTF("No UDP connection available, exiting the process!\n");
    PROCESS_EXIT();
}
udp_bind(client_conn, UIP_HTONS(UDP_CLIENT_PORT));

PRINTF("Created a connection with the server ");
PRINT6ADDR(&client_conn->ripaddr);
PRINTF(" local/remote port %u/%u\n",
        UIP_HTONS(client_conn->lport), UIP_HTONS(client_conn->rport));

#if WITH_COMPOWER
powertrace_sniff(POWERTRACE_ON);
#endif
etimer_set(&periodic, SEND_INTERVAL);
while(1) {
    PROCESS_YIELD();
    if(ev == tcpip_event) {
        tcpip_handler();
    }
    if(etimer_expired(&periodic)) {
        etimer_reset(&periodic);
        ctimer_set(&backoff_timer, SEND_TIME, send_packet, NULL);
    }

#if WITH_COMPOWER
    if (print == 0) {
        powertrace_print("#P");
    }
    if (++print == 3) {
        print = 0;
    }
#endif

}
}
PROCESS_END();
}
/*-----*/

```

Código Arduino UNO

```
#include <cdcftdi.h>
#include <usbhub.h>
#include <string.h>
#include "pgmstrings.h"
#ifdef dobogusinclude
#include <spi4teensy3.h>
#endif

class FTDIAsync : public FTDIAsyncOper
{
public:
    virtual uint8_t OnInit(FTDI *pftdi);
};

uint8_t FTDIAsync::OnInit(FTDI *pftdi)
{
    uint8_t rcode = 0;

    rcode = pftdi->SetBaudRate(115200);

    if (rcode)
    {
        ErrorMessage<uint8_t>(PSTR("SetBaudRate"), rcode);
        return rcode;
    }
    rcode = pftdi->SetFlowControl(FTDI_SIO_DISABLE_FLOW_CTRL);

    if (rcode)
        ErrorMessage<uint8_t>(PSTR("SetFlowControl"), rcode);
    return rcode;
}

USB          Usb;
FTDIAsync    FtdiAsync;
FTDI         Ftdi(&Usb, &FtdiAsync);

uint32_t next_time;
int valorHumedad;
char humedad;

void setup()
{
    Serial.begin(115200 );
    while (!Serial); // Wait for serial port to connect - used on Leonardo, Teensy and other boards
    with built-in USB CDC serial connection
    Serial.println("Start");

    if (Usb.Init() == -1)
        Serial.println("OSC did not start.");
    delay( 200 );
}
```

```

    next_time = millis() + 5000;
}

void loop()
{
    Usb.Task();
    valorHumedad = analogRead(0);
    //Serial.print(Valor);
    if (valorHumedad <= 300)
    {
        Serial.println(" Encharcado");
        humedad='1';
    }
    if ((valorHumedad > 300) and (valorHumedad <= 700))
    {
        Serial.println(" Humedo, no regar");
        humedad='2';
    }
    if (valorHumedad > 700)
    {
        Serial.println(" Seco, necesitas regar");
        humedad='3';
    }
    uint8_t rcode;

    //char strbuf[] = "The quick brown fox jumps over the lazy dog";
    //char strbuf[] = "This string contains 61 character to demonstrate FTDI buffers"; //add one
symbol to it to see some garbage
    //Serial.print(strbuf);

    char strbuf[]="";
    strbuf[0]=humedad;

    Serial.println(strbuf);
    rcode = Ftdi.SndData(strlen(strbuf), (uint8_t*)strbuf);

    if (rcode)
        ErrorMessage<uint8_t>(PSTR("SndData"), rcode);
    Serial.println("*****");

    delay(5000);
}

```

ANEXO 4

PROFORMAS



PINCOMPUTERS C.A
1792254744001
EL DORADO VISTA HERMOSA
FRAY JODOCO RICKE N14-102 Y ITCHIMBIA
TLF 022506834

Cotización

76994

| | | | |
|---|------|-----------------|--|
| TAMBACO SUAREZ EDISON 0993521609 062909142 Ecuador ATUNTAQUI - | | | |
| Vendedor | NCIC | Dias de Credito | |

| | |
|---------------|---------------|
| RUC | 1002837126001 |
| Fecha | 5/19/2015 |
| Vencimiento | 5/19/2015 |
| Forma de Pago | DEPOSITO |

| Código | Descripción | Nivel de Precio | Cantidad | Valor Unitario | Total |
|--------|---|-----------------|----------|----------------|--------|
| 022 | MONITOR LCD 15 ACER | P2 | 1 | 71.42 | 71.42T |
| 010 | FUENTE DE PODER INS ATX-250W-P2 P/PC | P2 | 1 | 17.86 | 17.86T |

Subtotal USD 89.28

Iva (12.0%) USD 10.72

Total USD 100.00

ELABORADO POR:

RECIBI CONFORME:



DEIBY RAMÍREZ CORAL
Nit. 87-215-017-5
Reg. SimplifBoa

FACTURA DE VENTA
DÍA MES AÑO N° 0086

Seguridad ecológica y eficiente para todos sus bienes
Cra. 5 # 2-24 Tels. 7731863 - 7753511 Ipiales - Nariño
Cels. 316 4068727 - 314 6174809 - 300 5051317

Cliente: Edison Tamayo Nit. 1002837726
Dirección: Lbarrá Teléfono:

| CANT. | DETALLE | VR. UNIT. | VR. TOTAL. |
|-------|-----------------------|-----------|------------|
| 2 | Panel solar 10w. 12v. | 72.800. | 145.600- |
| 2 | Baterías 12 v. 5 p. | 27.100. | 54.200. |
| 2 | Reguladores 10 p.p. | 47.500. | 95.000- |
| | | | |

Nº. 87.717.128-9 Vector 3 Cel. 300 7831261

RECIBI Nombre y C.C.Nº

TOTAL \$ 294.800-

Este Factura de venta se asimila en todos sus efectos legales a una Letra de Cambio, según Art. 774 del Código de Comercio.



all power microcontroller

ALL POWER MICROCONTROLLER APM

AV. COLON OE3-31 Y VERSALLES LOCAL N°1

1714061932001

022502124

PROFORMA NO.0000002434

CLIENTE: EDISON TAMBACO
DIRECCION: ATUNTAQUI
RUC/CI: 1002837126001
FECHA: 19/05/2015 11:37:55 AM

| CODIGO | DESCRIPCION | CANT | P.UNIT. | TOTAL |
|--------|----------------------------------|------|----------|--------|
| 1209 | ARDUINO UNO | 3.00 | 26.7800 | 80.36 |
| 4473 | ARDUINO UNO GENERICO | 3.00 | 20.5357 | 61.61 |
| 3671 | USB HOST - SHIELD - ARDUINO (DF) | 3.00 | 37.3214 | 111.96 |
| 4509 | PCDUINO DEV BOARD | 1.00 | 91.1607 | 91.16 |
| 3151 | FUENTE DE PODER P15 | 1.00 | 56.0268 | 56.03 |
| 2876 | TELOS B MTM-CM5000-MSP | 3.00 | 116.0700 | 348.22 |
| 3342 | HIGRÓMETRO | 1.00 | 8.9300 | 26.78 |

SON: OCHOCIENTOS SETENTA Y SIETE , 25/100

VALIDEZ DE ESTA PROFORMA: 8 DIAS

SUBTOTAL: 776.12

DESCUENTO: 0.00

IVA: 93.13

FLETE: 8.00

TOTAL: **877.25**

ELABORADO POR:

RECIBIDO POR:

FACTURA PROFORMA

Fecha: miércoles, 28 de mayo de 2014

Proforma: RNV - OFER - 4591 - 28-05-14

RENOVAENERGIA S.A.
RUC: 1792187567001
Pasaje Sánchez Melo OE1-37 y Av. Galo Plaza Lasso
Quito - Ecuador
Teléfonos: (593 2) 2403643, (593 2) 2417863 Ext. 101 y 102
Celulares: (593 9) 87000710, (593 9) 87593688
e-mail: info@renova-energia.com
www.renova-energia.com

CLIENTE: Edison Tambaco
RUC:
DIRECCIÓN: Quito Ecuador
TELÉFONO:
CELULAR: (593 9) 93521609
E-MAIL: eddy-1405@hotmail.com
WEB:
CLIENTE:

OFERTA ECONÓMICA

| Equipos | Código y Modelo | Q | Precio Unitario | Precio Unitario incluido IVA | SUBTOTAL | TOTAL (IVA) |
|-------------------|---|---|-----------------|------------------------------|-----------|-------------|
| Baterías | BT066 Battery CSB GP 12400, 40Ah@10horas, 12Vdc AGM, 12V, 40Ah | 1 | 181,25 \$ | 203,00 \$ | 181,25 \$ | 203,00 \$ |
| Paneles | MD051 Tynsolar TYN 30P6, 12 V, 30 W | 1 | 110,55 \$ | 123,82 \$ | 110,55 \$ | 123,82 \$ |
| Reguladores Dome. | RD001 Phocos CML 12/24V 5/5 A CML05-2.1, 12 / 24 V, 5. A | 1 | 34,02 \$ | 38,10 \$ | 34,02 \$ | 38,10 \$ |

| | | |
|---|---------------|------------------|
| TRES CIENTOS SESENTA Y CUATRO CON 92/100 | Subtotal | 325,82 \$ |
| | Neto: | 364,92 \$ |
| | | 0,00 \$ |
| | Subtotal IVA | |
| DÓLARES DE LOS ESTADOS UNIDOS DE NORTE AMÉRICA | 12%: | 325,82 \$ |
| INCLUYE IMPUESTO AL VALOR AGREGADO IVA | Subtotal IVA | |
| | 0%: | 0,00 \$ |
| | IVA 12%: | 39,10 \$ |
| | Total: | 364,92 \$ |

CONDICIONES DE OFERTA

Esta oferta tiene condición de precio de distribución en:

DISPONIBILIDAD

La disponibilidad para la entrega de los equipos ofertados es de: 1 días calendario contados a partir de la aceptación de la oferta y sus condiciones.

Importante.

La vigencia de la oferta está sujeta a la disponibilidad de los equipos en stock, previo a la compra el cliente deberá consultar la existencia.

VALIDEZ

La validez de la presente oferta es de 15 días calendario contados a partir de la fecha de emisión de la proforma.

Importante.

La validez de la oferta tiene relación con los precios de los equipos, más no con la disponibilidad de los mismos.

ACLARACIONES IMPORTANTES

La presente oferta económica está basada en un dimensionado básico que ha tomado los siguientes parámetros:

Esta oferta contempla la provisión de los equipos principales de 1 sistema solar autónomo de 30Wp12VDC (30Wp X 1), que garantiza la generación de energía de una carga de 81Wh/día en 12VDC con la radiación solar de QUITO (peor mes), la oferta tienen las siguientes observaciones:

RENOVAENERGIA S.A. garantiza la provisión la energía de 12Vdc a la salida del regulador.

GARANTÍAS Y EXPECTATIVA DE VIDA ÚTIL

Paneles Solares Fotovoltaicos ZYTECH, TOPCO CIENTIFIC, GMA, PHOCOS, garantía de 5 años contra defectos de fabricación y una expectativa de vida útil que garantiza una potencia no menor al 80% de su valor nominal a los 25 años.

Baterías ciclo profundo BATTERY CSB, garantía de 1 año contra defectos de fabricación y una expectativa de 5 años de vida útil en condiciones ideales descritas en la hoja técnica. Esta batería no debe estar más de 2 meses sin recibir carga o podría sufrir sulfatación.

Regulador CML, CX , CXN, MPS Y CIS PHOCOS, garantía de 1 año contra defectos de fabricación y una expectativa de vida útil de 10 años.

Los equipos ofertados cumplen con todas las normas y estándares generalmente aceptados para proyectos relacionados con sistemas de conexión de red en Alemania y España.

POST VENTA

RENOVAENERGIA S.A. tiene 5 años de existencia legal, el personal que constituye RENOVAENERGIA S.A. cuenta con más de 18 años de experiencia en la aplicación de energías alternativas, enfocándose principalmente en sistemas fotovoltaicos para dotar de electricidad básica a zonas rurales de Perú y Ecuador.

RENOVAENERGIA S.A. es distribuidor autorizado de las marcas más prestigiosas del sector fotovoltaico.

Paneles solares fotovoltaicos PANASONIC (Japón), GMA (Canadá), ZYTECH (España - China), TOPCO o TYNSOLAR (Taiwán).

Reguladores para sistemas solares fotovoltaicos PHOCOS (Alemania), STECA (Alemania) y VICTRON ENERGY (Holanda)

Inversores para sistemas solares fotovoltaicos PHOCOS (Alemania), VICTRON ENERGY (Holanda), Studer Innotec (Suiza)

Batería de ciclo profundo VICTRON ENERGY (Holanda), RITAR POWER (China), EAST POWER (Hong Kong), NARADA (China).

Luminarias y accesorios para sistemas solares fotovoltaicos PHOCOS (Alemania)

Sistemas Térmicos en su conjunto, colectores y tanque para calentamiento de agua doméstico e industrial marca GRÚNTECH (China)

Estas representaciones y el manejo de clientes permanentes nos obligan a mantener un stock y brindar un servicio Post Venta garantizado directamente por cada fabricante. Para la totalidad de los equipos ofertados, RENOVAENERGIA S.A. garantiza la provisión en el menor tiempo posible.

OBSERVACIONES

Atentamente,

Christian Marín

RENOVAENERGIA S.A.