

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

Edgar A. Maya, Edison O. Tambaco

Resumen— En este documento 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 pre establecidos que afectan al cultivo.

Términos para indexación — WSN, IPv6 (Internet Protocol Version 6), 6LoWPAN, IEEE802.15.4, PAAS.

I. INTRODUCCIÓN

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 (por ejemplo paneles solares) y así monitorear mayores áreas distancias y en tiempo real.

Contar con un monitoreo en tiempo real de los factores ambientales permite al administrador de los cultivos tener

Documento recibido el 27 de mayo de 2015. Esta investigación se realizó como proyecto previo para obtener el título profesional en la Carrera de Ingeniería en Electrónica y Redes de Comunicación en la Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas de la Universidad Técnica del Norte (Ibarra - Ecuador).

E.A. Maya, trabaja en la Universidad Técnica del Norte, en la Carrera de Ingeniería en Electrónica y Redes de Comunicación (eamaya@utn.edu.ec).

E.O. Tambaco, egresado de la Carrera de Ingeniería Electrónica y Redes de Comunicación (eddy-1405@hotmail.com).

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 desde cualquier dispositivo inteligente con acceso a Internet mediante un navegador web.

II. DEFINICIONES Y CONCEPTOS BÁSICOS

Las siguientes definiciones y conceptos son necesarios conocerlos para tener bases teóricas en el desarrollo del proyecto.

A. Redes Inalámbricas de Sensores (WSN)

Una red de sensores inalámbricos o WSN (Wireless Sensor Network) es una red inalámbrica de dispositivos de sensado. Las WSN son sistemas distribuidos constituidos por dispositivos de bajo consumo de energía, con capacidades de sensado 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. [1]

B. Elementos de una WSN

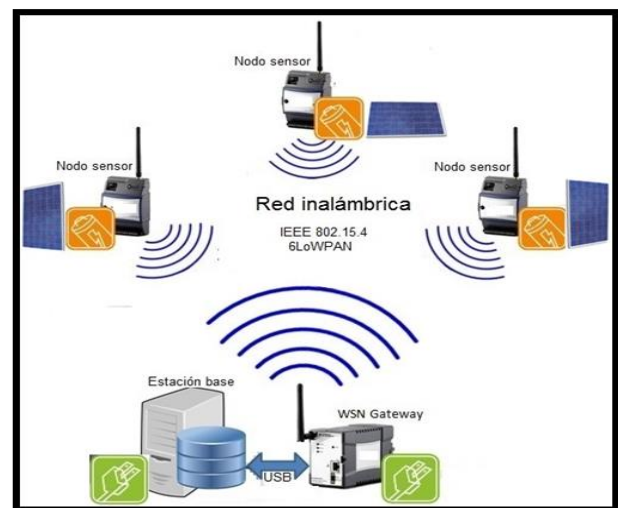


Fig.1 Elementos de una WSN

Una red de sensores inalámbricos típicamente está conformado por:

Nodo sensor

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. [2]

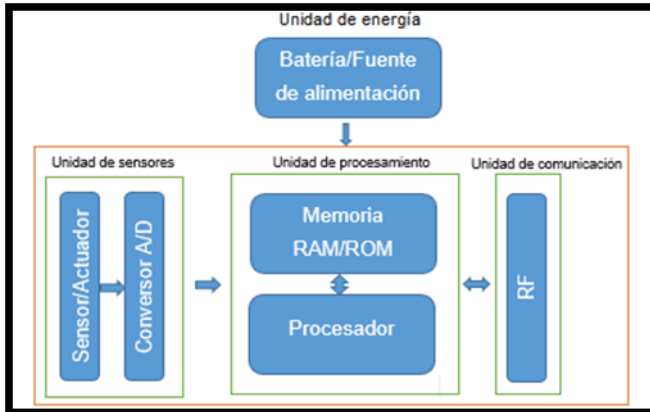


Fig.2 Arquitectura de un nodo sensor

Gateway

Un Gateway es una interfaz de comunicación entre dos tipos de redes distintas con infraestructuras diferentes, en otras palabras, la red externa puede tener acceso a los datos de la WSN y la WSN comunicarse a la red externa.

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.

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

Red inalámbrica

Los medios a elegir para realizar una comunicación inalámbrica son varios, radio frecuencia, comunicación óptica mediante laser e infrarrojos. [3]

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

C. Topología

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. [4]

Topología en estrella

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. [5]

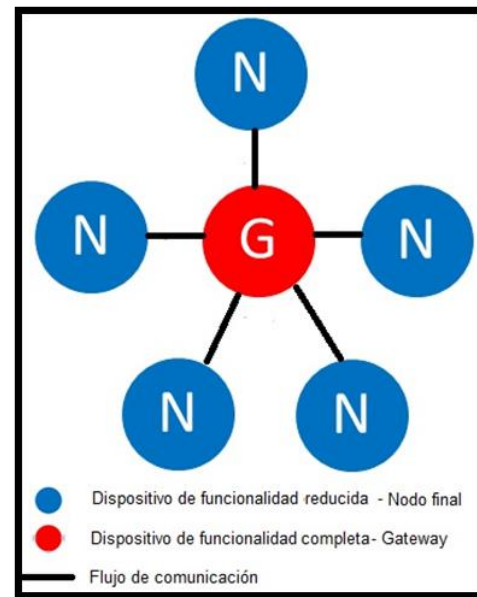


Fig.3 Topología en estrella

Topología en malla

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. [6]

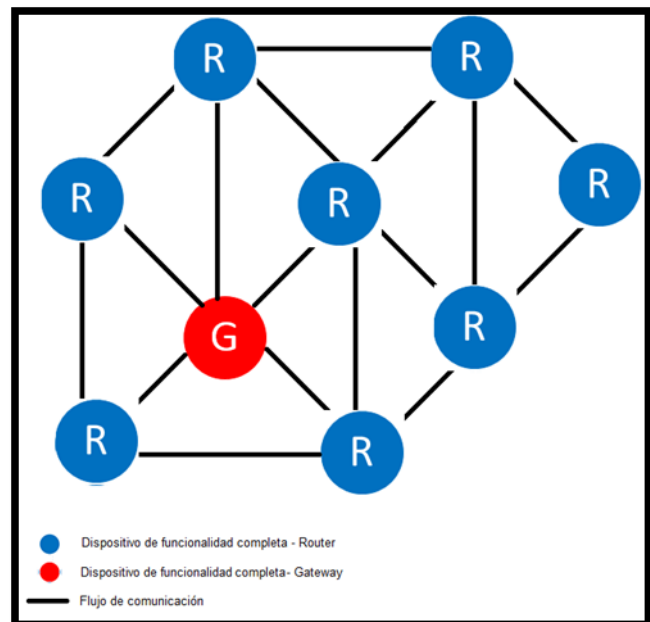


Fig.4 Topología en malla

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).

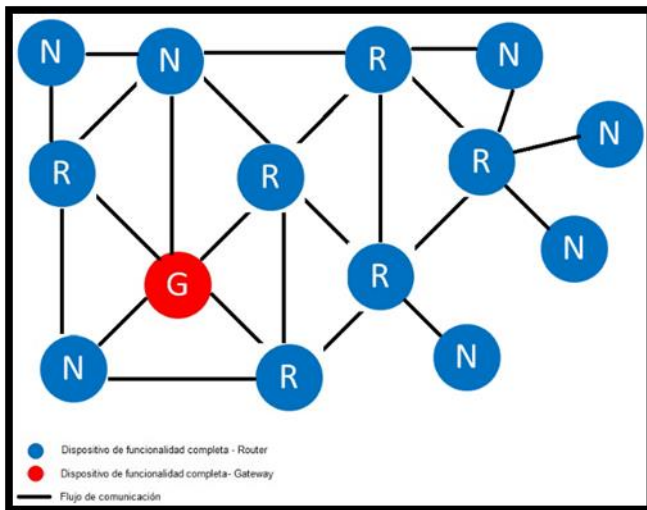


Fig.5 Topología híbrida estrella-malla

D. Protocolo de Internet versión 6 (IPv6)

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 la capacidad de direccionamiento extendido, simplificación de formato de cabecera y soporte mejorado para las extensiones y opciones.

Cabecera IPv6

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.

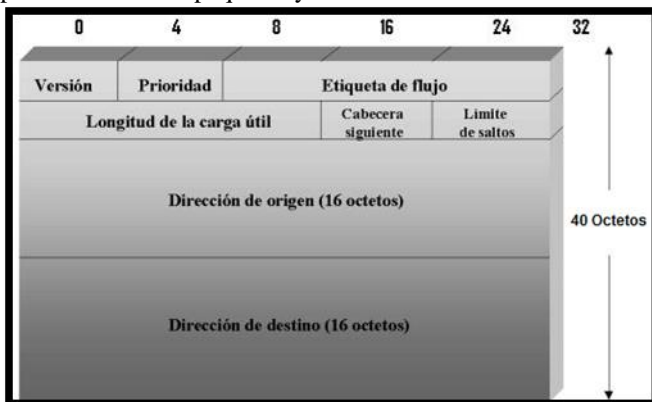


Fig.6 Cabecera IPv6

A continuación se 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 conmutar en vez de encaminar. Su uso viene descrito en la RFC 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 TCP/UDP, ICMPv6 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. [7]

Cabeceras extendidas

En 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. [8]

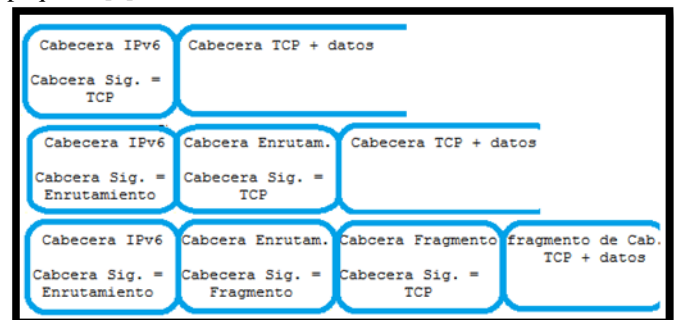


Fig.6 Cabeceras de extensión IPv6

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).

Se 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. [9]

Métodos de transición IPv6 a IPv4

Se 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.
- 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. [10]

E. IPV6 Sobre Redes Inalámbricas de Área Personal de Baja Potencia (6LoWPAN)

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. [11]

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:

- Fragmentación, IPv6 soporta paquetes de 1280 bytes y el máximo tamaño de la trama IEEE 802.15.4 es de 127 bytes.
- Compresión de cabecera, puede comprimir una cabecera común IPv6 de 40 bytes a una cabecera de 2 bytes.
- Auto-configuración de una dirección IPv6
- Descubrimiento de Vecinos IPv6 para LoWPANs.



Fig.7 Pila de protocolos IP y 6LoWPAN

F. Sistemas embebidos o empotrados

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. [12]

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.

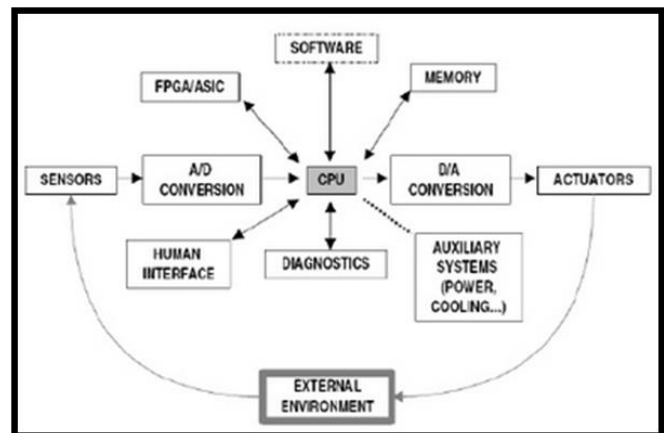


Fig.8 Arquitectura de un sistema embebido

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.

G. La Nube

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.

Tipos de nubes

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

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.
- 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. [13]

Modelos de servicio

Los tipos de servicios que ofrece la computación en la nube son los siguientes:

- Software como servicio (SaaS): consiste en el suministro de aplicaciones como e-mail, CRM, 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 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. [14]

H. Sensores

Los sensores son los elementos de un sistema que lo conectan con su entorno físico, la función de los sensores es obtener señales eléctricas en respuesta a magnitudes de entrada no eléctricas. [15]

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.

Sensores utilizados en la agricultura

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.

I. 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.

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 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

III. DISEÑO DEL HARDWARE

Se expone y explica la arquitectura del hardware que abarca el proyecto, además, se establece la topología a usar en el diseño de la WSN y los componentes electrónicos, software, protocolos y estándares a usar.

A. 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 la plataforma Openshift que tiene integrado un servidor web apache, una base de datos MySQL, un gestor de bases de datos phpMyAdmin y un lenguaje de programación PHP/HTML para el desarrollo de aplicaciones.

B. Diseño de la WSN

Anteriormente 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 (auto organización).
- 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.

Como se observa en la figura 10, 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; cada uno de los elementos tendrán su respectivo hardware, software, protocolos y estándares, que cubrirá los requerimientos del diseño, a continuación se analizará cada uno de los elementos de la topología:

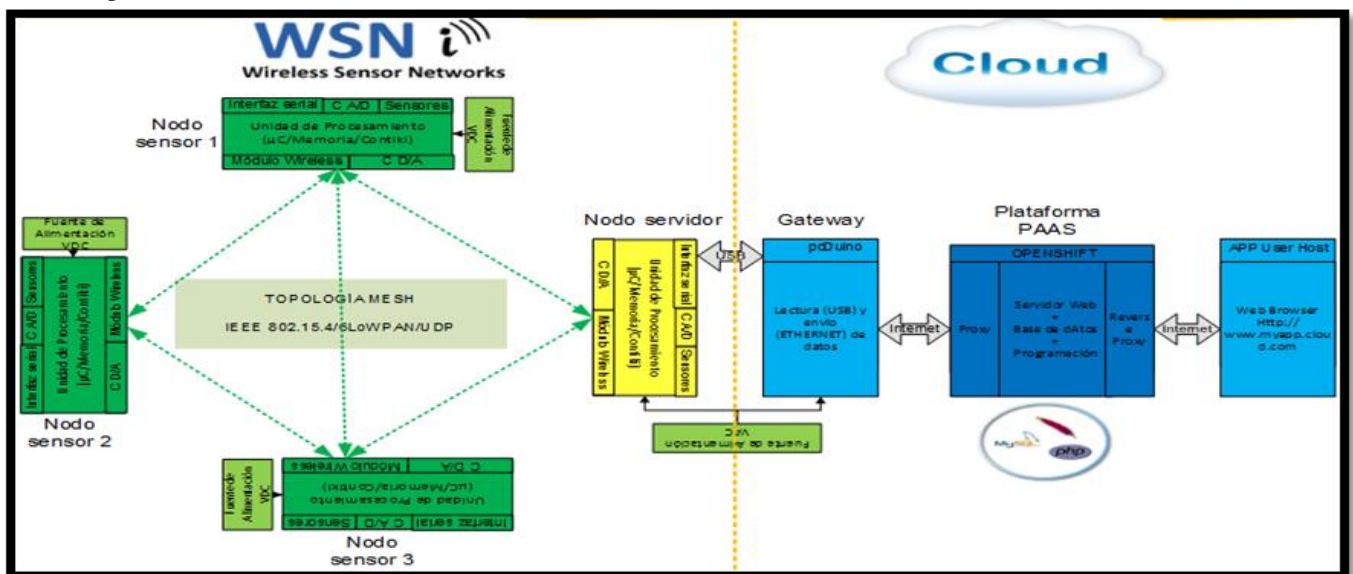


Fig.9 Arquitectura del sistema

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

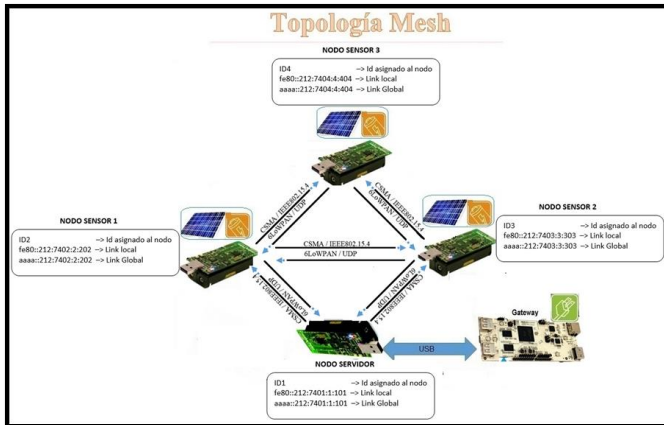


Fig.10 Topología de red tipo Mesh

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).

- Fuentes 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 compuesto 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 conectaran y alimentaran los nodos sensores TelosB que operan con voltajes entre 2.1 V y 3.6 V que son los voltaje límites.

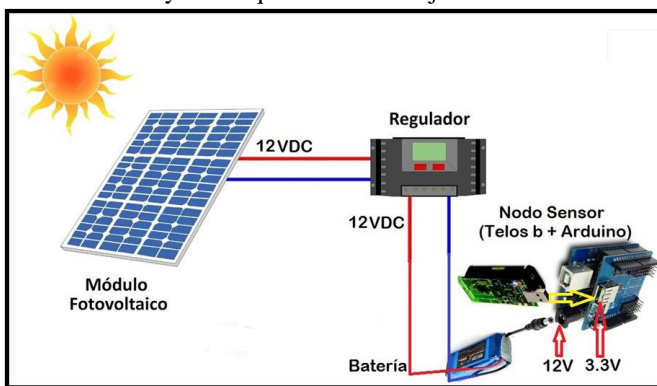


Fig.11 Esquema de conexión de la fuente de energía DC al nodo sensor

- Fuentes 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.

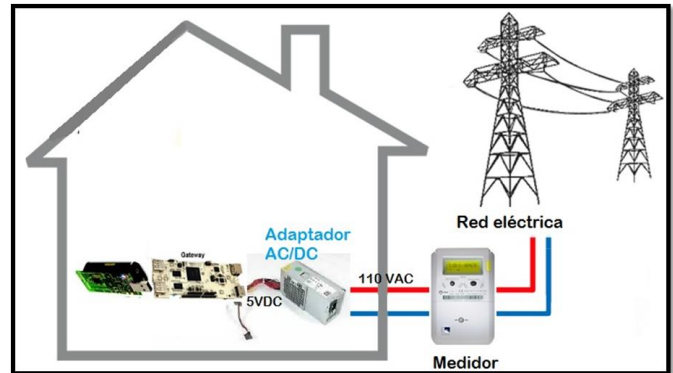


Fig.12 Esquema de conexión de la fuente de energía AC al gateway

Nodos Sensores

En el mercado actual existen muchos tipos y modelos de nodos inalámbricos (Motes), entre ellos los más conocidos son: IMote2, Wasmote, MicaZ y TelosB, 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.
 - 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, 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, CoAP 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 50 a 250 kbps con bajo consumo de energía, gracias al uso del microcontrolador Texas Instruments MSP430F1611 y el chip RF CC2440.

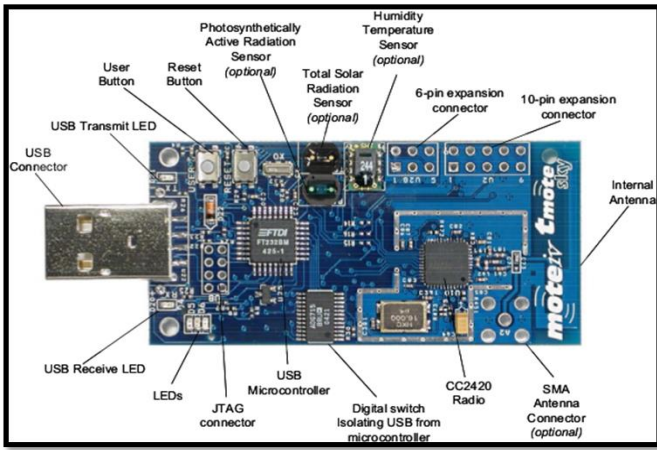


Fig.13 Nodo sensor o mote TelosB CM5000 vista superior

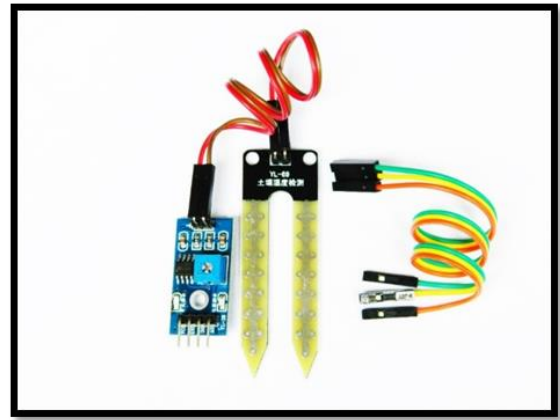


Fig.15 Modulo Sensor de Humedad del Suelo

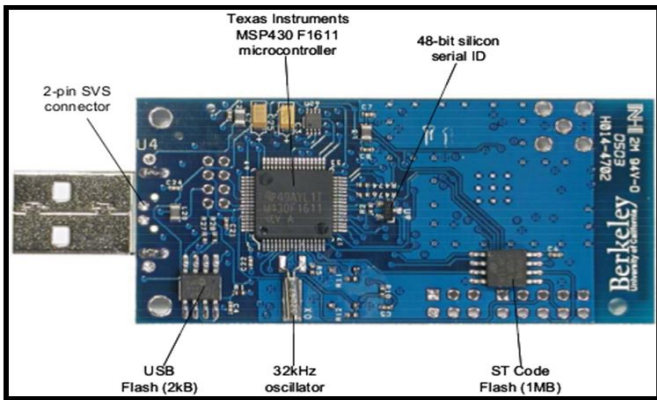


Fig.14 Nodo sensor o mote TelosB CM5000 vista inferior

Sensor externo

La humedad del suelo es un parámetro incluido en el proyecto y se usará 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 e incorporar este parámetro a la trama de datos a transmitirse, este sensor externo posee sensibilidad ajustable (potenciometro), tensión de funcionamiento 3.3V - 5V, módulo de doble modo de salida (digital y analógica) y un chip comparador LM393.

Nodo Servidor

El nodo servidor será de idénticas características de hardware que los nodos sensores, la diferencia radica en su comportamiento (configuración) ante la red, ya que no recolectara información de ningún sensor, sino que mediante una comunicación IEEE 802.15.4 receptara toda la información proveniente de los nodos de la WSN e interactuara con el gateway para transmitir los datos receptados a través de una comunicación serial (USB).

Gateway

El gateway será un pcDuino3, 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 HDMI. pcDuino3 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.

En este dispositivo se montará un script en lenguaje de programación python, que abrirá una comunicación en un puerto serial (USB0) a una velocidad de transmisión de 115200 (velocidad configurable) y donde estará conectado el nodo servidor, de esta manera se receptorá la información de

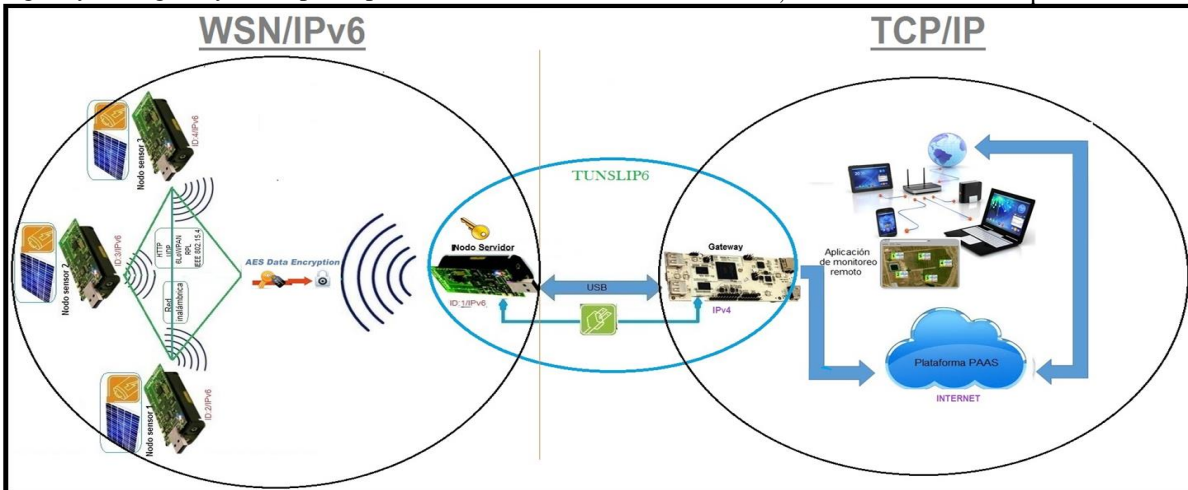


Fig.16 Túnel entre la WSN y la red TCP/IP

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 o el módulo wireless.

C. Direccionamiento de la WSN

El direccionamiento en cada nodo de la WSN es realizado por el nodo mismo, 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 identifica a los nodos dentro de la red.

El proceso de auto configuración y asignación de parámetros se realiza 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).

TABLA 1
TABLA DE DIRECCIONAMIENTO DE LA WSN

Device	MAC Address	IPv6 Address Link-Local	Prefix IPv6 Address
Servidor	00:12:74:00:13:cb:f8:8c	fe80::212:7400:13cb:f88c	aaaa::ff:fe00:1
Cliente1	00:12:74:00:13:cc:1f:ed	fe80::212:7400:13cc:1fed	aaaa::212:7400:13cc:1fed
Cliente2	00:12:74:00:13:cb:0a:92	fe80::212:7400:13cb:a92	aaaa::212:7400:13cb:a92
Cliente3	00:12:74:00:13:cc:01:70	fe80::212:7400:13cc:170	aaaa::212:7400:13cc:170

IV. DISEÑO DEL SOFTWARE

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).

Sistemas e ingeniería de software-especificaciones de requerimientos del software basado en el estándar ISO/IEC/IEEE 29148-2011

1) Introducción

a) *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.

b) *Alcance del producto:* El sistema a desarrollar pretende registrar en tiempo real los cambios de ciertos factores ambientales que afectan al desarrollo de los cultivos y así contribuir en la toma de decisiones antes eventualidades inesperadas y tener un respectivo registro de ellos.

c) *Visión general 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.

TABLA 2
TABLA DE CARACTERÍSTICAS Y LIMITACIONES DE USUARIO

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.

2) Requerimientos específicos

a) *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, clara y de fácil uso para el usuario.

b) *Funciones:* RF-01 Iniciar sesión

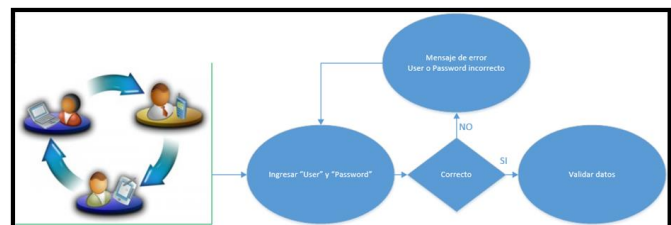


Fig.17 Flujograma de inicio de sesión

c) Funciones: RF-02 Visualización de datos

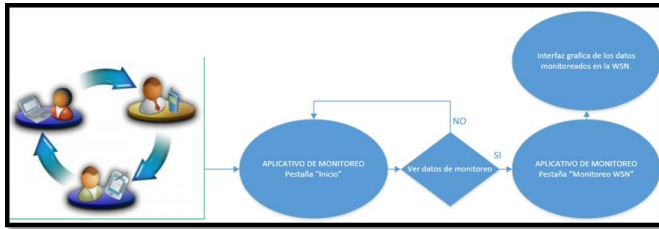


Fig.18 Flujograma de Visualización de datos

d) RF-03 Adquisición del historial de datos

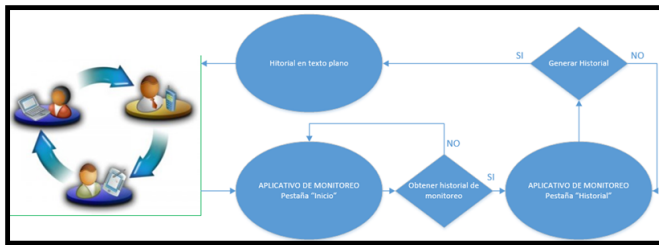


Fig.19 Flujograma de Adquisición del historial de datos

e) RF-04 Generación de alarmas

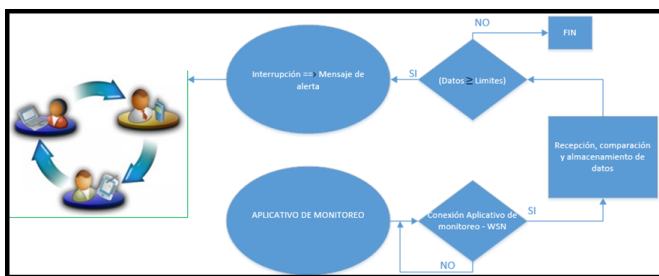


Fig.20 Flujograma de Generación de alarmas

- f) *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.

Sistemas e ingeniería de software-descripción de la arquitectura del software basado en el estándar ISO/IEC/IEEE 42010-2011

1) Introducción

- a) *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.

- b) *Alcance del producto:* 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 remoto vía internet.

- c) *Usuarios interesados:* Los interesados para el diseño del sistema de monitoreo WSN/6LoWPAN en la granja La Pradera son los encargados de mantener un registro de parámetros ambientales en los cultivos y toma de decisiones ante eventualidades climáticas.

- d) *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.

2) Framework conceptual

- a) *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. Los datos recolectados por la WSN-6LoWPAN son recolectados 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.

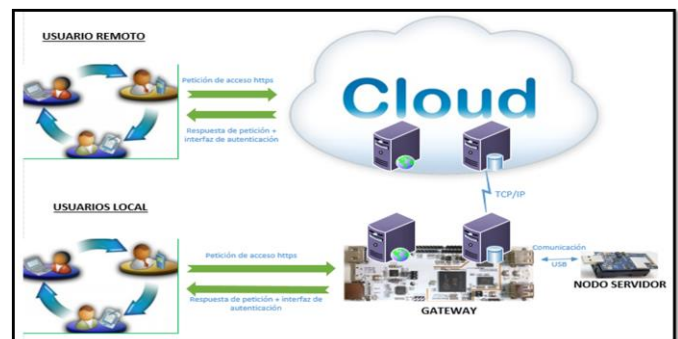


Fig.21 Arquitectura del sistema de monitoreo

3) Descripciones prácticas de arquitectura

- a) *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)

b) *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.

c) *Selección de los puntos de vista de la arquitectura*

TABLA 3
VISTA DE ARQUITECTURA

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

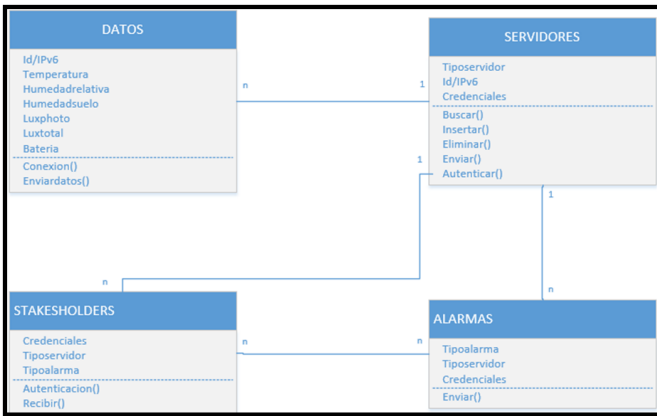


Fig.22 Vistas de arquitectura: Vista lógica – Diagrama clases

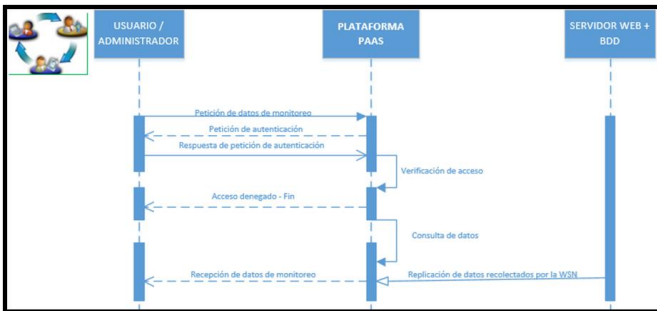


Fig.23 Vistas de arquitectura: Vista procesos - Diagrama secuencia monitoreo remoto

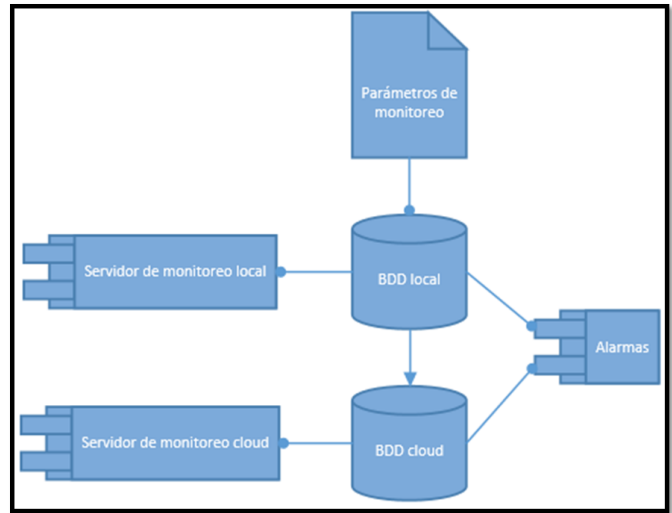


Fig.24 Vistas de arquitectura: Vista desarrollo – Diagrama componentes

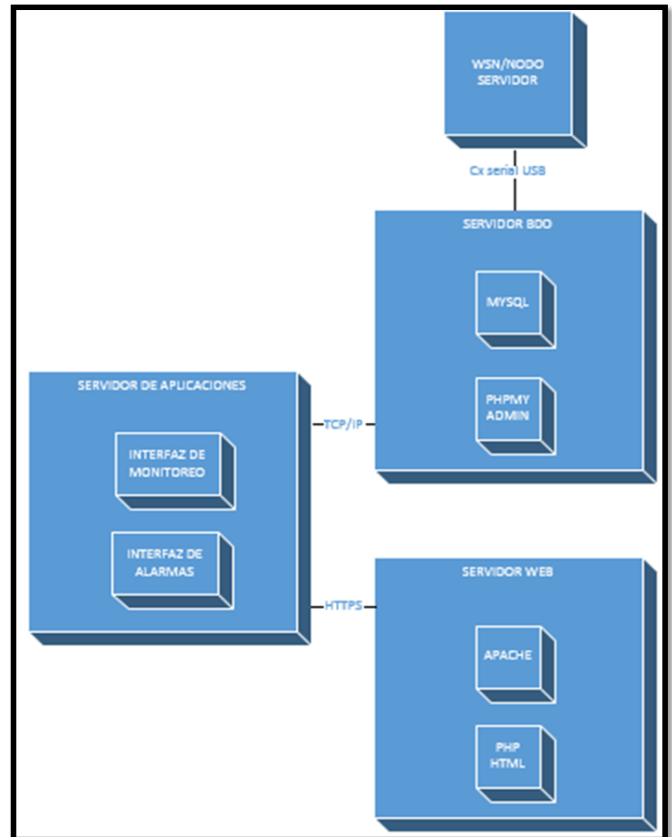


Fig.25 Vistas de arquitectura: Vista física – Diagrama despliegue

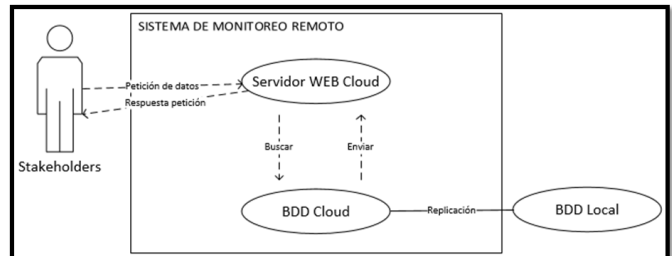


Fig.26 Vistas de arquitectura: Vista escenario – Diagrama casos de uso

d) *Detalles de la implementación (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.

V. PRUEBAS DE RESPALDO DEL DISEÑO

A continuación los resultados obtenidos al desarrollar el diseño del proyecto, tanto en hardware como en software.

A. 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).



Fig.27 Componentes de un nodo sensor debidamente conectados

Todos estos dispositivos están ubicados a 1.5m de altura y a una distancia promedio entre nodos de 50m (con el objetivo de mantener un nivel de comunicación entre nodos óptima) 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.

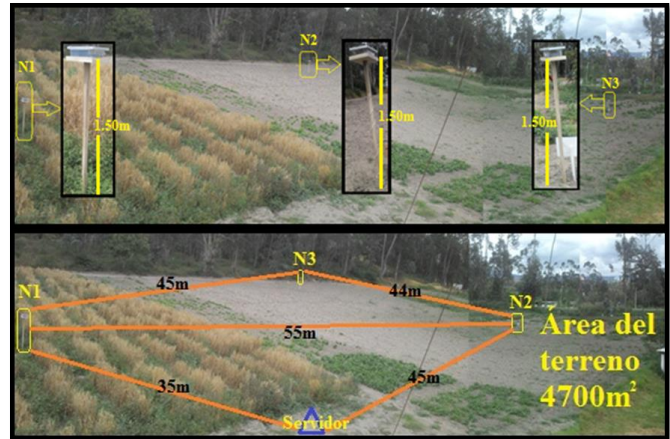


Fig.28 Nodos sensores instalados



Fig.29 Identificación del sensor de temperatura en un nodo sensor instalado

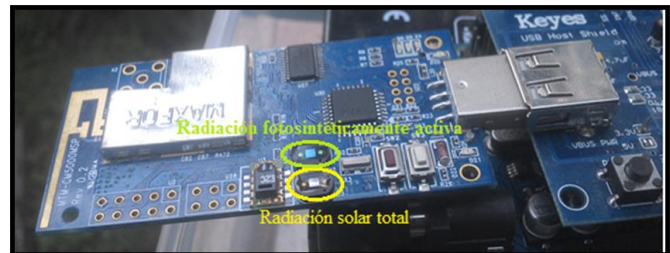


Fig.30 Identificación de los sensores de radiación solar en un nodo sensor instalado



Fig.31 Identificación del sensor de humedad relativa en un nodo sensor instalado



Fig.32 Sensor externo de humedad del suelo en un nodo sensor instalado

B. Nodo Servidor

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



Fig.33 Nodo Servidor conectado al gateway

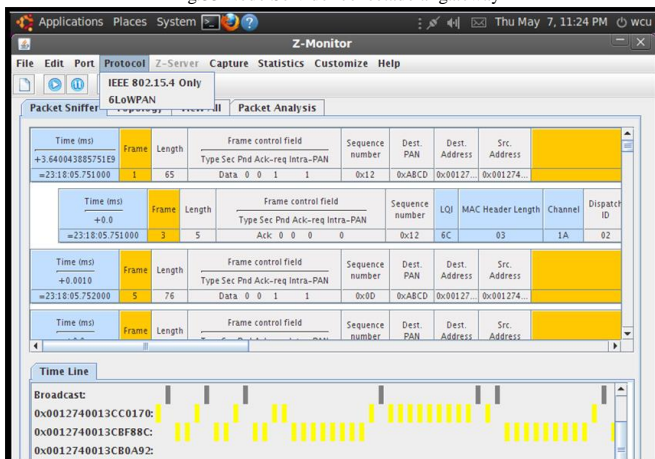


Fig.34 Paquetes recibidos por el Nodo Servidor

C. 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.

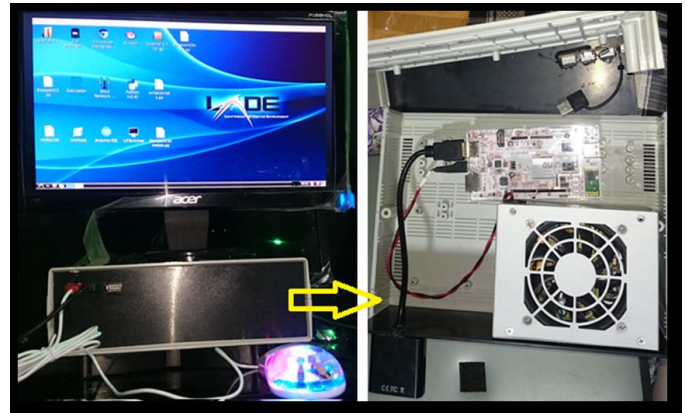


Fig.35 Gateway instalado

D. 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.

Acceso al sistema de monitoreo

Para acceder al sistema de monitoreo ya sea 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/>

Autenticación

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

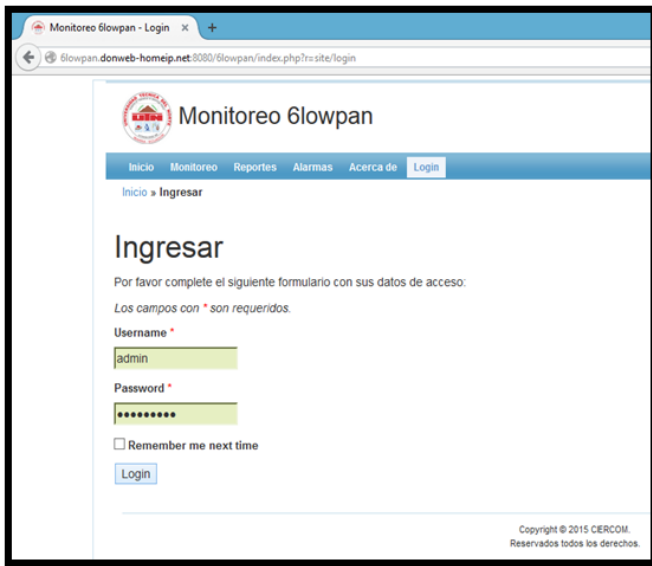


Fig.36 interfaz de autenticación

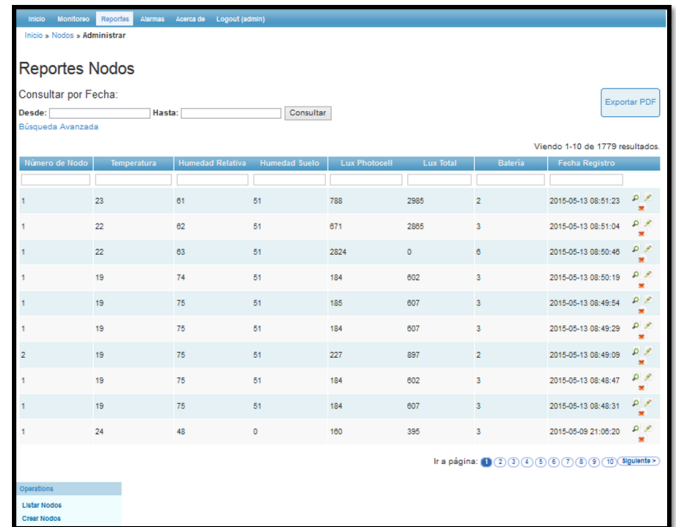


Fig.38 Consulta de historial de monitoreo

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.

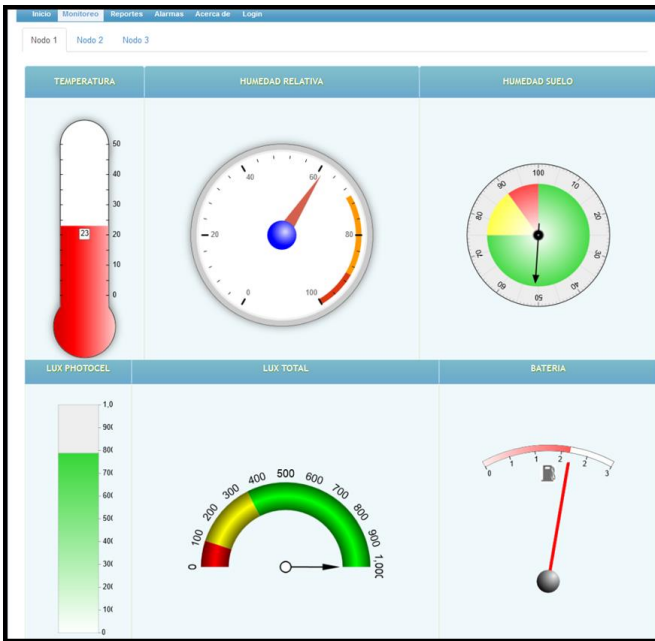


Fig.37 interfaz de monitoreo

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.

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.

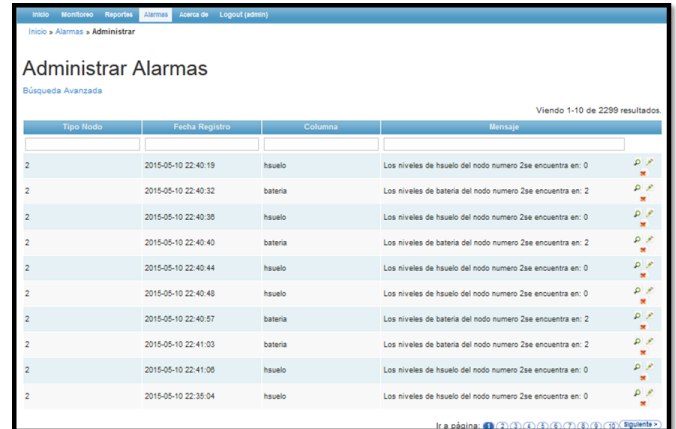


Fig.39 Consulta de alarmas en el aplicativo

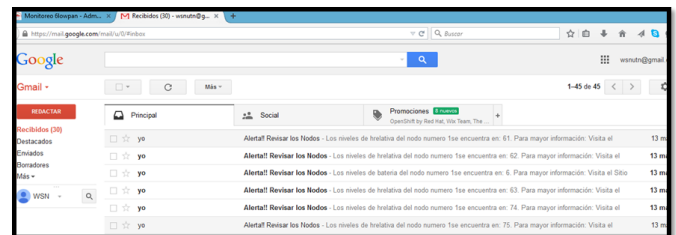


Fig.40 Notificaciones de alarma en el correo electrónico

VI. 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.

A. Costo

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

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.

TABLA 4
COSTO REFERENCIAL DE EQUIPOS

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

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).

TABLA 5
COSTO REFERENCIAL DE INFRAESTRUCTURA

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

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.

TABLA 6
COSTO REFERENCIAL DE INGENIERÍA

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

B. 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, educativo 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 a la agricultura (uso de las TICs en la educación).

TABLA 6
BENEFICIOS ESTIMADOS

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

C. 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	
Inversión inicial (I0)=	2114						
n =	3						
Tasa de descuento (i%)=	10						
		Año	Ingresos	Año	Egresos	Año	Valor
		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						

Fig.41 Cálculo del VAN, TIR, B/C y PRI

D.Resultados

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.

VII. 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.

VIII.RECOMENDACIONES

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.

RECONOCIMIENTOS

Se expresa un especial reconocimiento a la Facultad de Ingeniería en Ciencias Agropecuarias y Ambientales (FICAYA) de la Universidad Técnica del Norte, en particular a la Carrera de Ingeniería en Agropecuaria que opera en la granja La Pradera, por las facilidades y apoyo brindado al desarrollar este proyecto en sus instalaciones.

REFERENCIAS

- [1] J. M. Molina, *Automatización y telecontrol de sistemas de riego: Redes de sensores inalámbricos*, Primera Ed., Barcelona: MARCOMBO, 2010.
- [2] R. Fernández, F. Martínez, J. Ordieres, A. González, F. Alba, R. Lostado, & A. Pernía, *Redes inalámbricas de sensores: Teoría y*

- aplicación práctica*. La Rioja: Universidad de La Rioja. Servicio de Publicaciones, 2009.
- [3] R. Fernández, F. Martínez, J. Ordieres, A. González, F. Alba, R. Lostado, & A. Pernía, *Redes inalámbricas de sensores: Teoría y aplicación práctica*. La Rioja: Universidad de La Rioja. Servicio de Publicaciones, 2009.
- [4] R. Fernández, F. Martínez, J. Ordieres, A. González, F. Alba, R. Lostado, & A. Pernía, *Redes inalámbricas de sensores: Teoría y aplicación práctica*. La Rioja: Universidad de La Rioja. Servicio de Publicaciones, 2009.
- [5] R. Fernández, F. Martínez, J. Ordieres, A. González, F. Alba, R. Lostado, & A. Pernía, *Redes inalámbricas de sensores: Teoría y aplicación práctica*. La Rioja: Universidad de La Rioja. Servicio de Publicaciones, 2009.
- [6] R. Fernández, F. Martínez, J. Ordieres, A. González, F. Alba, R. Lostado, & A. Pernía, *Redes inalámbricas de sensores: Teoría y aplicación práctica*. La Rioja: Universidad de La Rioja. Servicio de Publicaciones, 2009.
- [7] R. Millán, (2001). *El protocolo IPv6*. [en línea]. Recuperado de http://www.ramonmillan.com/tutoriales/ipv6_parte1.php
- [8] Grupo de Trabajo de Ingeniería de Internet. (s.f.). RFC 2460.
- [9] R. Millán, (2001). *El protocolo IPv6*. [en línea]. Recuperado de http://www.ramonmillan.com/tutoriales/ipv6_parte1.php
- [10] R. Millán, (2001). *El protocolo IPv6*. [en línea]. Recuperado de http://www.ramonmillan.com/tutoriales/ipv6_parte1.php
- [11] A. Cama, E. De la Hoz, & D. Cama, *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), 2012. Recuperado de <http://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/4869014.pdf>
- [12] B. Ubeda, *Apuntes de: Sistemas embebidos*. (Departamento de Ingeniería de la Información y las Comunicaciones, Universidad de Murcia), 2009. Recuperado de <http://ocw.um.es/ingenierias/sistemas-embebidos/material-de-clase-1/ssee-t01.pdf>
- [13] C. de Pablos, J. López, S. Romo & S. Medina, *Organización y transformación de los sistemas de información en la empresa*. Madrid: ESIC EDITORIAL, Primera Ed., 2011.
- [14] C. de Pablos, J. López, S. Romo & S. Medina, *Organización y transformación de los sistemas de información en la empresa*. Madrid: ESIC EDITORIAL, Primera Ed., 2011.
- [15] R. Pallás, *Adquisición y distribución de señales*. Barcelona: MARCOMBO, S.A. 1993.



Edgar A. Maya

Nació en Ibarra provincia de Imbabura el 22 de abril de 1980. Ingeniero en Sistemas Computacionales, Universidad Técnica del Norte – Ecuador en 2006. Actualmente es docente en la carrera de Ingeniería en Electrónica y Redes de Comunicación en la Universidad Técnica del Norte, Ibarra – Ecuador, obtuvo la Maestría en Redes de Comunicación en la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Quito – Ecuador.



Edison O. Tambaco

Nació en Antonio Ante el 14 de Mayo de 1987, sus estudios secundarios lo realizó en el Instituto Tecnológico “Otavalo”, donde obtuvo el título de Bachiller Técnico en Electrónica. En 2006 ingresó a la Universidad Técnica del Norte donde realiza sus estudios en la Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas en la carrera de Electrónica y Redes de Comunicación. Actualmente es egresado de la Universidad Técnica del Norte.

IPv6 in WSN network for remote monitoring of cultivation in the farm La Pradera of the University Technical of the North

Edgar A. Maya, Edison O. Tambaco

Abstract — This document is to apply Internet Protocol version 6 (IPv6) in a wireless sensor network (WSN), for remote monitoring of short-cycle crops on the farm "La Pradera" of the University Technical of the North, with the purpose of having a monitoring of environmental factors affecting the crop.

Index terms - WSN, IPv6 (Internet Protocol Version 6), 6LoWPAN, IEEE802.15.4, PAAS.

I. INTRODUCTION

In the present using IPv4 addressing for new projects is something that is delimited, so that instead the new standard called IPv6 is used. One of the main features of this new standard is the immense number of addresses available, for this reason, there is now talk of the Internet of Things (IoT), which consists of assigning addresses to electronic devices and establish communication between them and the user.

With the purpose of leverage the use of IPv6 and the concept of IoT it is designed a wireless sensor network (WSN) which communicates under the 6LoWPAN standard and have the function of monitoring sensor nodes through environmental factors such as temperature, humidity and light.

Working with wireless sensor networks is beneficial because of its affordable cost, economical maintenance and low power consumption, allowing to have a scalable network, since the sensor nodes can be powered with green energy (solar panels) and monitor major areas and in real time.

The real-time monitoring of environmental factors allows the administrator of crops have real and reliable information as a base for decision making, possibly to program a controlled irrigation, provide an appearance of a pest or just to understand the behavior of the environment; the benefits increases even more if we grasp the existence of PAAS

Document received on 27 May 2015. This research was performed as previous project for obtain the professional title in the career of Engineering in Electronics and Communication Networks in the Engineering Faculty in Applied Science at the University Technical of the North (Ibarra - Ecuador).

E. A. Maya works at the University Technical of the North, in the career of Engineering in Electronics and Communication Networks (eamaya@utn.edu.ec).

E.O. Tambaco, is graduate of the School of Electrical Engineering and Communication Networks (eddy-1405@hotmail.com).

platform to visualize these data from any smart device with Internet access via a web browser.

II. DEFINITIONS AND CONCEPTS BASICS

The following definitions and concepts are necessary know for have theoretical bases in the project.

A. Wireless Sensor Networks (WSN)

A network of wireless sensors or WSN (Wireless Sensor Network) is a wireless network devices census. WSN are distributed systems consisting of devices low power, capabilities and communication census. The devices that conform these networks are called sensor nodes or motes (motes) and are limited in their computational power and communication. However they work collaboratively for carry information from one point to another network transmitting short messages. [1]

B. Elementos de una WSN

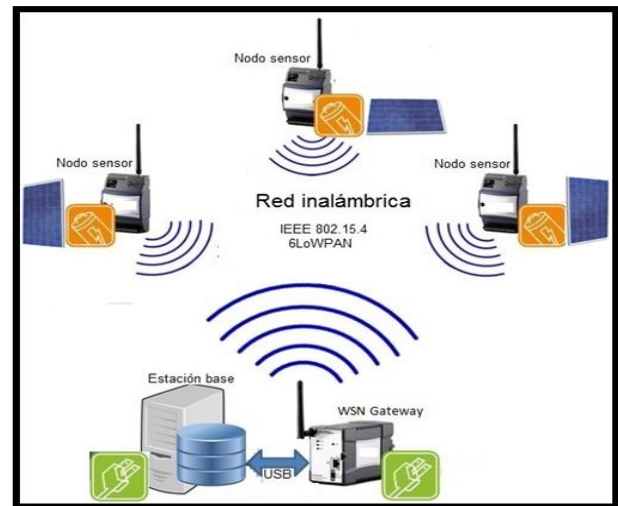


Fig.1 Elements of a WSN

A wireless sensor network is typically composed of:

Nodo sensor

The wireless nodes are called motes, for its lightness and small size. They are electronic devices capable of capture information from the environment in which they find, process and transmit wirelessly to another recipient. [2]

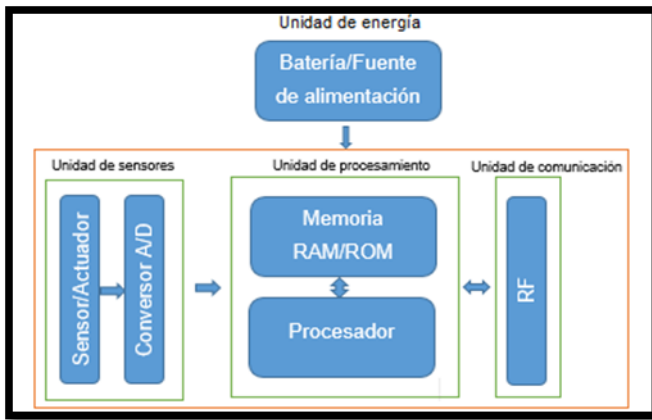


Fig.2 Architecture sensor node

Gateway

A gateway is a communication interface between two different types of networks with different infrastructures, in other words, the external network can have access to the data of the WSN and the WSN communicate with the external network.

Base station

The base station becomes an interface between WSN and the external network, where you can store or process information obtained of the WSN through of the Gateway. The base station can be an embedded system that interacts with a Web server and a database, with the purpose of collecting historical information, or to provide treatment to the information and present it to users.

Wireless network

To choose the means for wireless communication are various, radio frequency, optical communication using laser and infrared. [3]

The WSN uses the communication frequencies ranging from 433 MHz to 2,480 GHz ISM band.

C. Topology

Topology refers to the configuration of the hardware components and how the data is transmitted through that configuration. Each topology is appropriate under certain circumstances and may be inappropriate in other. [4]

Star topology

A star topology is a system where the information sent gives only a hop and where all the sensor nodes are in direct communication with the gateway, usually at a distance of 30 to 100 meters. [5]

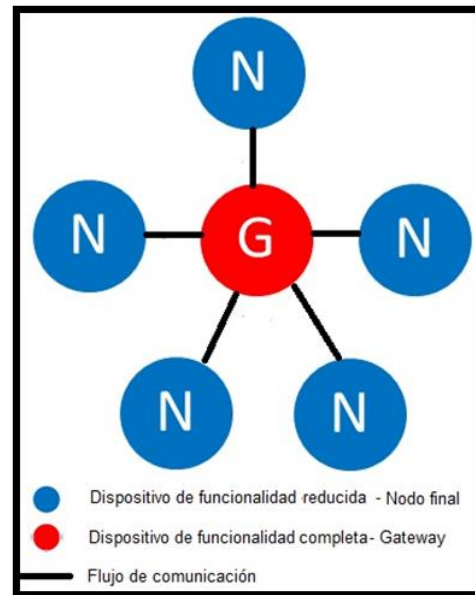


Fig.3 Star topology

Mesh topology

The mesh topology is a multihop system, where all nodes are routers and are identical. Each node can send and receive information from another node and gateway. Contrary to the star topology where nodes can only talk to the gateway, in this nodes can send messages to each other. [6]

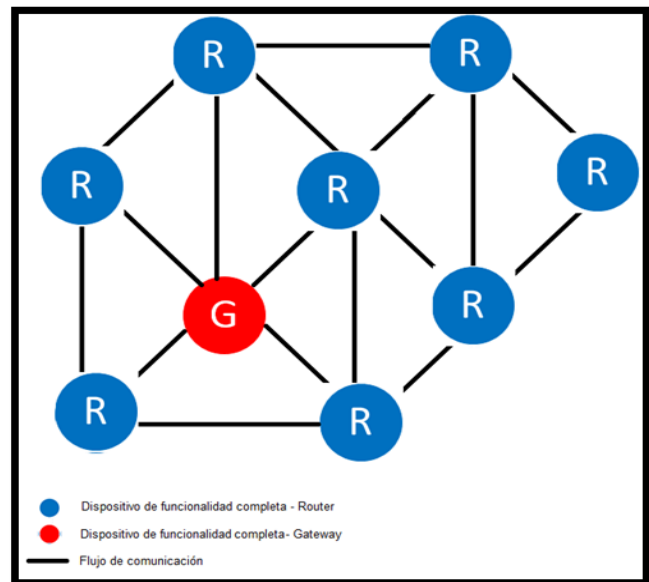


Fig.4 Mesh topology

Hybrid star-mesh topology

This type of topology combines the features of the previous two topologies, thus creating a new topology with advantages such as simplicity, low power consumption and wide coverage area (characteristic of the star topology), as well as having the ability to self-organized failover from one to more nodes and multi-hop communication (typical of the mesh topology).

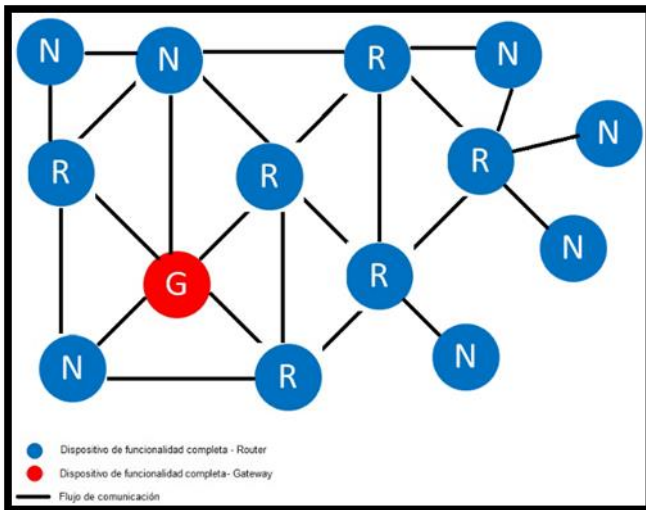


Fig.5 Hybrid star-mesh topology

D. Internet Protocol version 6 (IPv6)

IPv6 is an updated version of the protocol IP of the model TCP/IP, designed to replace version 4 having problems with the amount of addresses that has (2^{32} IPv4 addresses), which limits the growth and use of the Internet. On the other hand the IP protocol version 6 has an immense amount of addresses (2^{128} IPv6 addresses), this means that we will have around 6.7×10^{17} addresses per square millimeter of the surface of the Earth.

The features of the new protocol version 6 are extended addressing capability, header format simplification, improved support for extensions and options.

Ipv6 header

The IPv6 header has a fixed size of 40 bytes comprised of eight fields, thus decreasing the processing time of packets and less use of bandwidth.

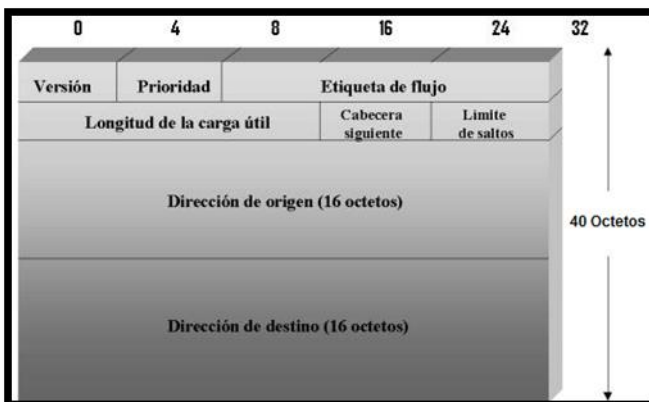


Fig.6 IPv6 header

The following describes each of the fields of the IPv6 header:

- Version (4 bits). Is the number of IP version, thus is 6.

- Traffic Class (8 bits). The value of this field specifies the traffic class. 0-7 values are defined for data traffic congestion control, and 8-15 for audio and video traffic without congestion control.
- Flow Label (20 bits). The IPv6 standard defines a flow as a sequence of packets sent from a specific source to a specific destination. A flow is uniquely identified by the combination of a source address and a label of 20 bits. Thus, the source assigns the same label to all packets that are part of the same flow. The use of this label, which identifies a path along the network. Its use is described in RFC 1809.
- Packet length (16 bits). Specifies the total size of the package, including the header and data, in bytes. It is necessary because there are optional fields in the header.
- Next header (8 bits). Indicates the type of header that follows the fixed header of IPv6, for example, a TCP/UDP, ICMPv6 header or an optional IPv6 header.
- Hop Limit (8 bits). It is the maximum number of hops that fit the package. Hop limit is set to a maximum value through the origin and decremented by one every time a node routes the packet. If the hop limit is decremented and set to 0, the packet is discarded.
- Source Address (128 bits). It is the address of the packet source.
- Destination address (128 bits). It is the destination address of the packet. [7]

Extended headers

In IPv6, optional internet layer information is encoded in separate headers that can be placed between the IPv6 header and the upper layer header in a packet. [8]

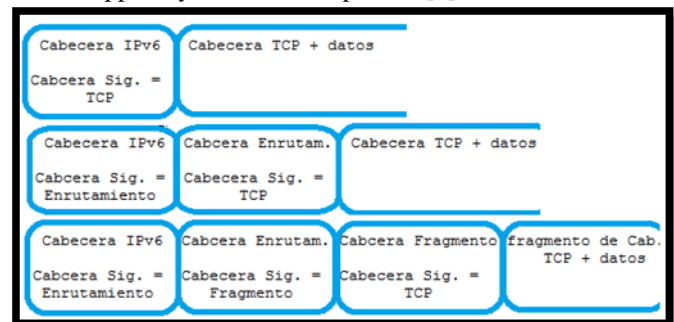


Fig.6 IPv6 extended headers

Addressing

IPv6 addresses are identifiers of 128-bit for an interface or set of interfaces, IPv6 addresses are assigned to interfaces and not nodes (each interface belongs to a single node).

Three types of addresses is defined in IPv6:

- Unicast. The Unicast addresses identify a single interface, thus, a packet sent to a unicast address will be delivered only to the interface identified by that address. It is equivalent to the current IPv4 addresses.

- Anycast. The anycast addresses identify a group of interfaces, so that a packet sent to an anycast address will be delivered to any member of the group, being usually the nearest distance allocated according to the routing protocol.
- Multicast. The multicast addresses identify, as anycast to a group of interfaces, but a packet sent to a multicast address is sent to all interfaces in the group. Broadcast addresses do not exist in IPv6, its mission has been superseded by multicast addresses. [9]

Transition methods Ipv6 to Ipv4

It describes two mechanisms for communication between the two systems:

- The first option is to introduce a full dual protocol stack, IPv4 and IPv6, in the IPv6 nodes. Thus, this IPv6/IPv4 node can send and receive IPv6 and IPv4 packets. When working with an IPv4 node, the IPv6/IPv4 node can use IPv4 packets; when working with an IPv6 node, you can use IPv6 packets. IPv6/IPv4 nodes must have both IPv6 and IPv4 addresses.
- The second option is to use tunnels. This would allow IPv6 external nodes always communicate in IPv6, even if intermediate nodes IPv4. A tunnel is considered to all IPv4 nodes between two IPv6 nodes. [10]

E. IPV6 in Wireless Personal Area Networks Low Power (6LoWPAN)

The benefits of using 6LoWPAN refers to the advantages of the Internet of things, because it simplifies various proprietary protocols with the Internet Protocol (IP) and thus leads to the integration of embedded devices. [11]

The IETF working group by the IPv6 over Low power WPAN networks (6LoWPAN) has defined an adaptation layer that specifies the frame format and various mechanisms required for the transmission of IPv6 packets on top of the networks IEEE 802.15.4. These networks are called as LoWPANs.

The mechanisms that offers 6LoWPAN are:

- Fragmentation, IPv6 supports packets 1280 byte and the maximum size of the IEEE 802.15.4 frame is 127 bytes.
- Header compression may compress a common 40 byte IPv6 header to a header of 2 bytes.
- Auto-configuration of an IPv6 address IPv6 Neighbor Discovery for LoWPANs.



Fig.7 IP protocol stack and 6LoWPAN

F. Embedded systems

An embedded system is "an electronic system specifically designed to perform certain functions, usually as part of a larger entity system. [12]

We can say that an embedded or embedded system is a combination of hardware and software, designed to meet specific functions in real time, where control functions, processing and or monitoring is performed.

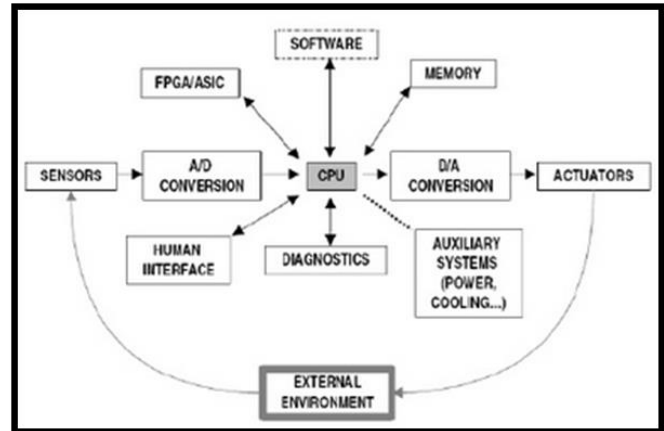


Fig.8 Embedded system architecture

Characteristics of the embedded systems:

- Limited processing capabilities (MHz).
- Reduced memory capacity (Kbyte).
- Implementation of specific programs repeatedly.
- Data processing in real time.
- Low power consumption.
- Low cost.
- Small size.

G.The cloud

Cloud computing appears in 2006 at the hands of Internet service providers (ISPs) such as Google, Amazon, Microsoft and others, who have managed to build a system of distributed resources horizontally, introduced as virtual services massively scaled and managed as configured and pooled resources continuously. Cloud processing has replaced mainframes and client-server architecture, because in this new architecture the data resides on a site located in the Internet servers.

Types of cloud

There are various types of cloud depending on service needs and implementation of each user.

The deployment options infrastructure are:

- Public Cloud: shared by private consumers and companies. The supplier sells certain services on it.
- Cloud privately: available to one company, managed by it or by the supplier on the premises of the company (OnPremise) or the provider (offpremise).

- Community Cloud: shared by several organizations working in a common goal. It can be OnPremise or offpremise.
- Hybrid Cloud: combination of two or more of the above via standard or proprietary technologies that allow data portability. [13]

Service models

The types of services offered by cloud computing the following are:

- Software as a service (SaaS): is to supply applications such as e-mail, CRM, payroll management offered in a network and does not require users to install on their own computers. Therefore, an accessible web architecture is used from any device and the user has no control over the underlying infrastructure.
- Infrastructure as a Service (IaaS): refers to the availability of storage, processing and network are billed according to consumption. Thus, this service provides a scalable provision of computing resources (processing, storage, communications...) according to an elastic model, thus, an increase or decrease in resources flexibly.
- Platform as a service (PaaS): is to offer customers a development environment with services and tools so that they can create their own applications. In other words, they provide an architecture on which developers can deploy their applications using programming languages and tools supported by the provider. [14]

H.Sensors

The sensors are the elements of a system that connect with their physical environment, the function of the sensors is to obtain electrical signals in response to input quantities not electrical. [15]

The sensors can deliver analog or digital signals in response to such a physical quantity, type of sensor depending on the medium where you are may be electrical / electromagnetic, optical, mechanical, acoustic, etc.

Today's sensors are widely used in environmental, industrial, agricultural, water, space monitoring and many more fields.

Sensors used in agriculture

Between the most important sensors in the issue of agriculture we have the following:

- Temperature sensors: these sensors are based on thermostats, electrical output signal which is proportional to the temperature in the medium which is located
- Humidity sensors: here we must consider two types of humidity, i) Soil humidity, where the moisture sensors basically are based on the principle that water is not an insulating material such as air, but it

has a certain level of electrical conductivity, so that two electrodes conduct a certain amount of current depending on the humidity there. ii) The relative humidity is defined as the amount of water vapor in the air, this parameter is measured in units, but in percentage.

- Light sensors: these sensors is optical, where the operation is based on the level of light falling on it, as it varies its electric resistance value depending on the amount of light falling on it.

I. Short-cycle crops

The short-cycle crops are those crops whose growing cycle is less than one year, even only a few months, and must be replanted immediately after being harvested. Some of these crops are cereals (maize, wheat, barley, rice), tubers (potatoes), oilseeds (sesame and cotton), vegetables (tomatoes, onions, broccoli, carrots, beets) and some species of flowers open sky.

Farm "La Pradera"

The installations of the farm "La Pradera" are located in the parish San José of Chaltura in the canton Antonio Ante in Imbabura Province, with an area of 26.17 hectares. The IEE-MAGAP in its geo-information specification states the following geographical and climatic characteristics of the area:

- UTM coordinates X: 811 224 East, Y: 10,039,725 North
- Altitude: 2381 meters
- Annual average temperature: 16.9 ° C
- Annual rainfall: 750 mm
- RH: 68.9% in the dry months

III. HARDWARE DESING

It is exposed and explains the hardware architecture comprising the project, also is established the topology to be used in the design of the WSN and electronic components, software, protocols and standards using.

A. Architecture

The hardware architecture is divided into two main stages that are:

- WSN: this stage comprises mesh network topology, the sensor nodes, server node, Contiki embedded operating system that can operate under the protocol 6LoWPAN adaptation layer, a routing protocol RPL and data transmission IEEE 802.15.4.
- Cloud: includes the gateway and PAAS platform, specifically the OpenShift platform that has integrated an Apache web server, MySQL database, a database manager phpMyAdmin data and a programming language PHP-HTML development application.

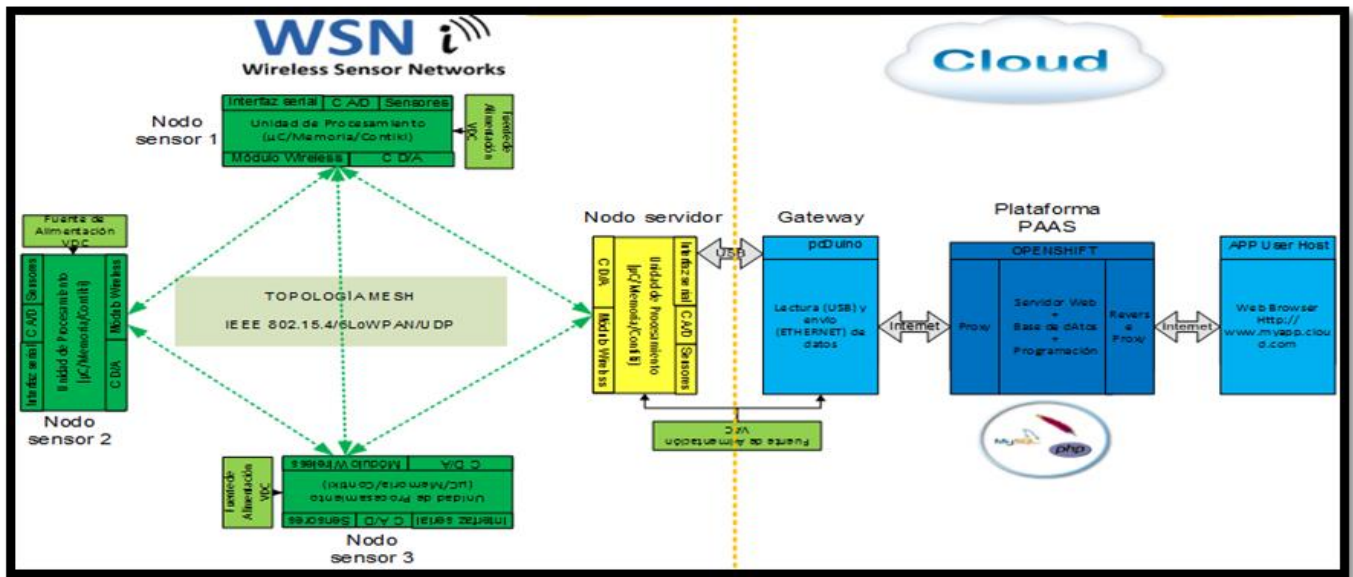


Fig.9 System Architecture

B. WSN design

Previously he discussed the different topologies WSN eligible and has chosen to use the Mesh type for the following reasons:

- Working with a mesh topology is ideal networking devices low power consumption and low data transfer rate.
- The topology handle a routing protocol RPL, allowing route packets from a source node to a destination node, regardless of whether the destination node is one or more hops the source node. RPL defines a multihop own system, a mesh topology.
- When speaking of routing, it is understood that a node know their neighbors, for that reason, there will be more than one way to go from a source to a destination, allowing packages to follow other routes if a node fails, ensuring that the package arrives to your destination (self-organization).
- A node, working with the routing protocol RPL, knows their neighbors, and can communicate with other nodes to reach a destination, implies that all nodes are of type Router.

As observed in Figure 10, the topology consists of three sensor nodes, a server node, a gateway, a power supply in each of the above and a wireless communication; each of the elements have their respective hardware, software, protocols and standards, which cover the requirements of the design, then analyze each of the elements of the topology:

- Power Supplies
- Sensor Nodes
- Node Server
- Gateway

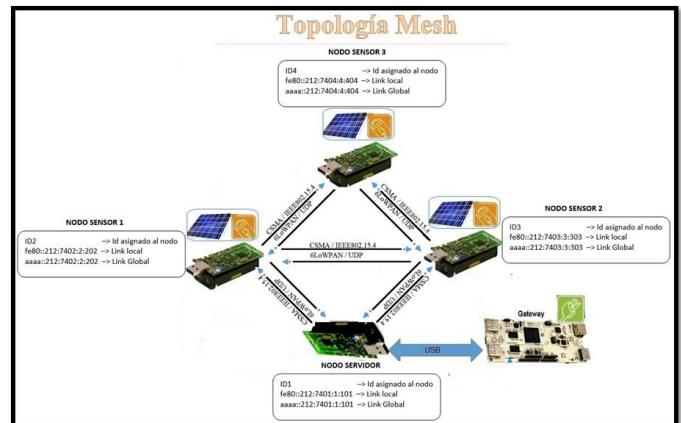


Fig.10 Mesh network topology

Power supplies

The energy sources that need our topology will be of two types, continuous source or direct current (DC) and alternating current source (AC).

- Sources DC: The DC source is responsible for feeding the three sensor nodes of WSN to be located in the open field, and will be composed of a solar panel or photovoltaic module is composed of semiconductor devices type Diode (photovoltaic cells), which receiving solar radiation and stimulated potential difference generated at both ends (voltage). The serial connection of these cells allows for DC voltages suitable to power electronic devices such as the Arduino Uno operates with a voltage of 12V (can

operate with voltages between 6V and 20V), and through a SHIELD USB HOST coupled to the Arduino, to connect and feed TelosB sensor nodes that operate with voltages between 2.1 V and 3.6 V are voltage limits.

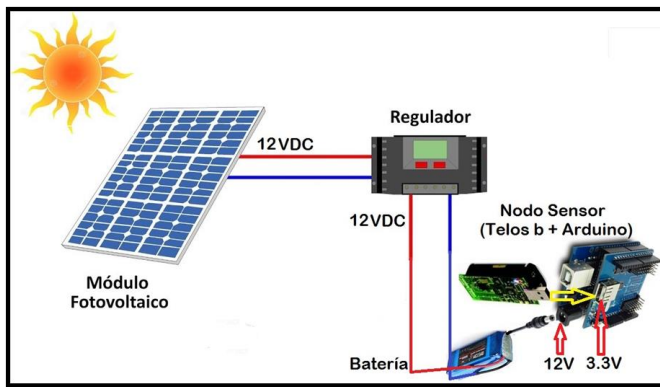


Fig.11 Connection diagram of the DC power source to the sensor node

- Sources AC: The AC power source is properly network of 110 volts AC at 60 Hz Farm La Pradera, this source is responsible for feeding the gateway through a power adapter 120 VAC to 5 VDC, and gateway turn through one of its USB ports fed to the server node.

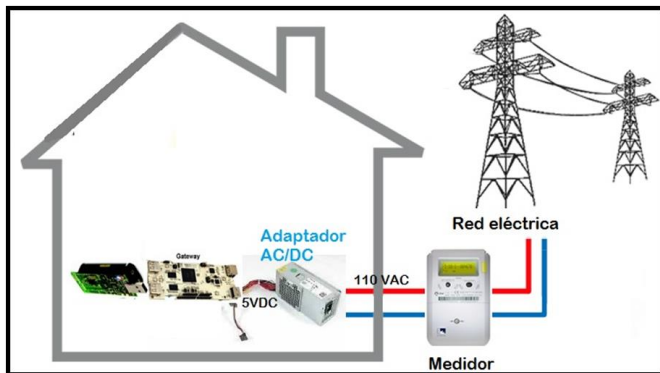


Fig.12 Connection diagram of AC power source to the gateway

Sensor Nodes

In today's market there are many types and models of wireless nodes (Motes), including the best known are: IMote2, Waspote, MICAZ and TelosB, after analyzing the characteristics of hardware and software of each of the motes, we chose Telos mote Revision B (CM5000 model) for the following reasons:

- The TelosB model works under the IEEE 802.15.4 standard, in 2.4 to 2.485 GHz and supports 6LoWPAN, allowing topology IPv6 work with without any problem and a wireless communication in an ISM band.
- The platform also TelosB TinyOS embedded operating system, can work with Contiki, being

embedded Contiki operating system open source, designed to work with WSN networks, unlicensed, has an event-driven programming model, applications are in C language, native support for IPv6 native networks (6LoWPAN) and IPv4, CoAP and its own stack for communications.

- Finally, we should mention that TelosB has integrated sensors (light, temperature and relative humidity) of exactly the parameters to be monitored, an integrated coverage range of 120 meters outdoors (sufficient scope for monitoring the project area) antenna, external power supply system integrated 2 batteries AA, and a sufficient data transfer rate of 50-250 kbps with low power consumption through the use of Texas Instruments MSP430F1611 microcontroller and CC2440 RF chip.

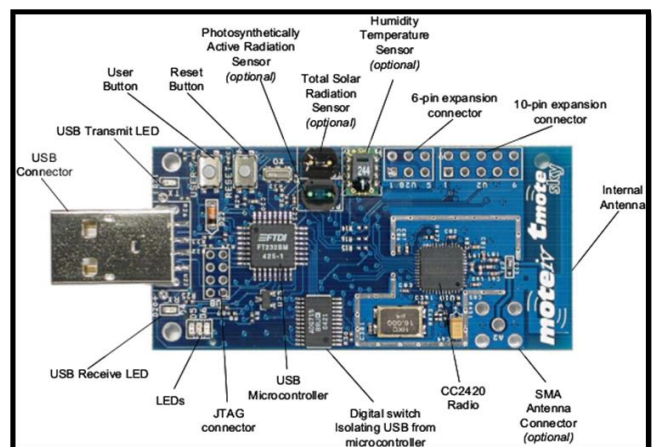


Fig.13 Mote TelosB CM5000 top view

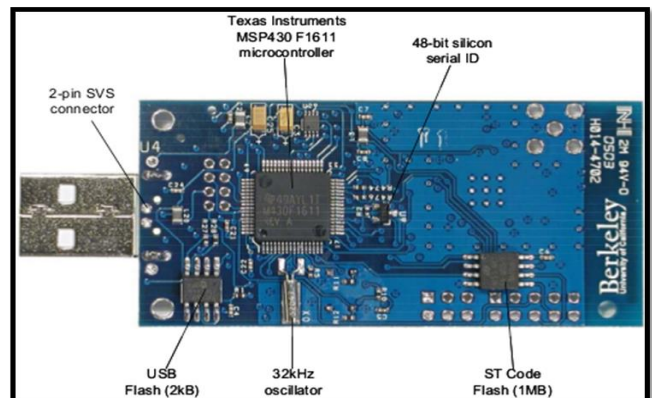


Fig.14 Mote TelosB CM5000 bottom view

External sensor

Soil humidity is a parameter included in the project and used an external hydrometer sensor that detects the level of soil humidity, the same as to interact with food and Arduino analog pin of a module to communicate and integrate this parameter the data frame to be transmitted, this external sensor has adjustable sensitivity (potentiometer), operating voltage 3.3V - 5V, dual-mode module output (digital and analog) and a comparator chip LM393.

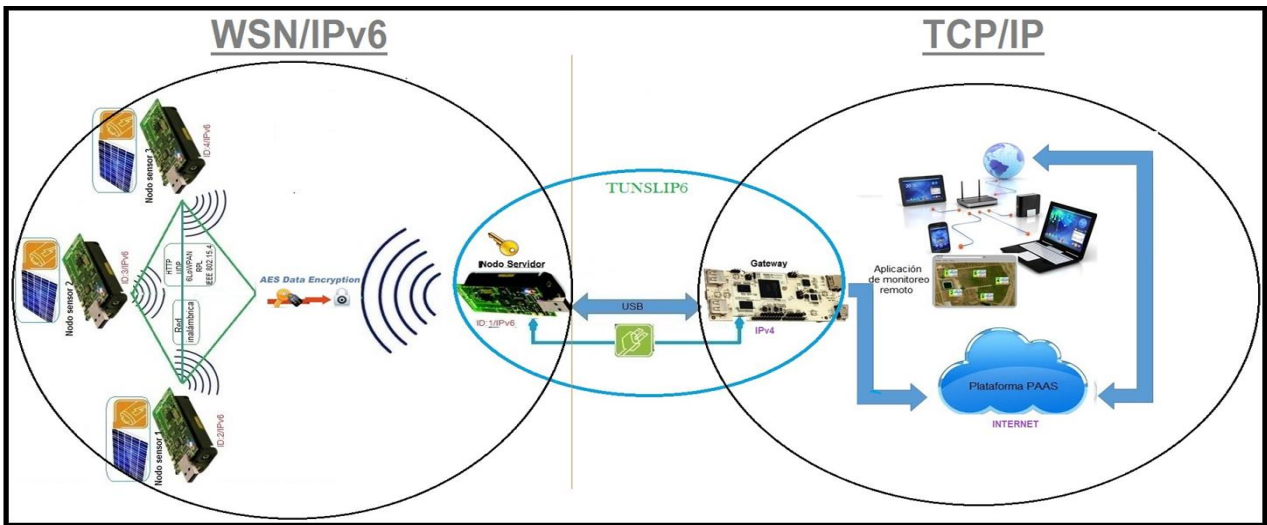


Fig.16 Tunnel between WSN and the TC/IP network

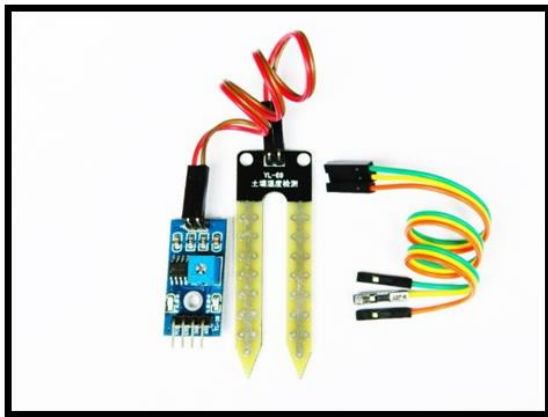


Fig.15 Modulo Soil humidity sensor

connected to the server node, so the information WSN receive these data will be stored in the device memory and simultaneously sent to the cloud via a connection to the Internet via the Ethernet port or the wireless module.

C. Addressing of the WSN

The addressing each node WSN is performed by the same node, where each node to be a network device has a unique MAC address and based on it an address IPv6 link-local with which identifies nodes are created within of the network.

The process of self-configuration and parameter assignment is performed by each of the layers that manages the node, in this process the allocation of an IPv6 address is highlighted to each member of the network by stateless address autoconfiguration (Stateless Address Autoconfiguration).

Server node

The server node is identical hardware features that sensor nodes, the difference lies in their behavior (configuration) to the network because it does not collect information of any sensor, but through an IEEE 802.15.4 communication receive all information from of the WSN nodes and will interact with the gateway for transmitting data received through a serial communication (USB).

Gateway

The gateway will be a pcDuino3, device of high performance, cost-effective Mini-PC platform running as an operating system like Ubuntu 12.04 as graphical interface allows you to connect any video device that supports the HDMI interface. pcDuino3 is especially targeted for the rapidly growing demands of the open source community and code compatible with the popular Arduino Shields with its varied ecosystem and open source projects.

This device is mounted in a script language Python, opening a communication in a port serial (USB0) to an speed transmission 115200 (configurable speed) and which will be

TABLE 1 ADDRESSING TABLE OF THE WSN

Device	MAC Address	IPv6 Address Link-Local	Prefix IPv6 Address
Server	00:12:74:00:13:cb:f8:8c	fe80::212:7400:13cb:f88c	aaaa::ff:fe00:1
Client1	00:12:74:00:13:cc:1f:ed	fe80::212:7400:13cc:1fed	aaaa::212:7400:13cc:1fed
Client2	00:12:74:00:13:cb:0a:92	fe80::212:7400:13cb:a92	aaaa::212:7400:13cb:a92
Client3	00:12:74:00:13:cc:01:70	fe80::212:7400:13cc:170	aaaa::212:7400:13cc:170

IV. SOFTWARE DESING

It is exposed as the first item specifications and software requirements for monitoring the WSN/6LoWPAN using the ISO/IEC/IEEE standard 29148-2011 (replacement of IEEE 830-1998, IEEE 1233-1998, IEEE 1362-1998), as the second item of software architecture, components, relations between

them, their surroundings and description defined by the standard ISO/IEC/IEEE 42010-2011 (replacing the standard IEEE 1471-2000).

Systems and software engineering-software requirements specifications based on the standard ISO/IEC/IEEE 29148-2011

1) Introduction

a) Purpose: Create a remote monitoring system that allows the user to know in real time the behavior of environmental factors within a particular crop area and keep track of them.

b) Product scope: The system aims to develop real-time recording changes in environmental factors that affect crop development and contribute to decision making before unexpected eventualities and have a respective record of them.

c) Product Overview: The remote monitoring system of WSN is a product designed to be accessed from anywhere with Internet access and intelligent device (PC, Laptop, Tablet, Smartphone, etc.) in order to display the values of factors environmental pre set forth above in real time and stored in a database.

TABLE 2
TABLE OF FEATURES AND LIMITATIONS OF USER

User	Password	Descripción	Limitations
admin	info.2015	Person in charge of using the system to monitor the crops that are within the monitored area.	This person can view the data information system and in turn the values obtained in real time by the sensor nodes WSN also access the values stored along the monitoring.

2) Specific Requirements

a) External interfaces: Users can access the system using any smart device with Internet access or be within the local network to which the WSN belongs, once inside the system one, friendly, clear and intuitive user interface is presented use for the user.

b) Functions: RF-01 Login

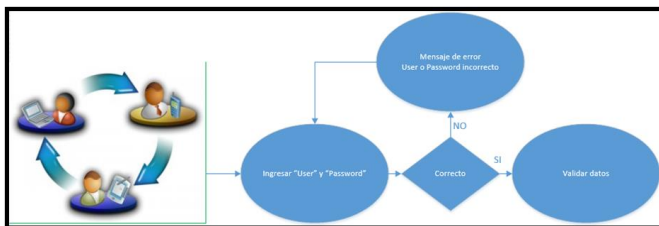


Fig.17 Flowchart login

c) Functions: RF-02 Data Visualization

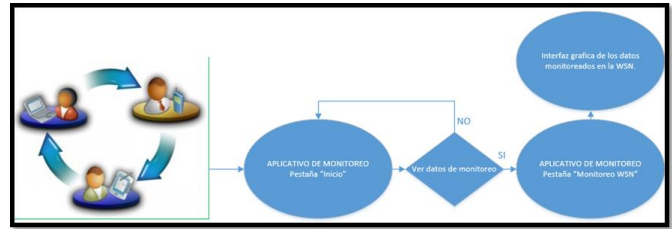


Fig.18 Flowchart Data Visualization

d) RF-03 Data Acquisition History

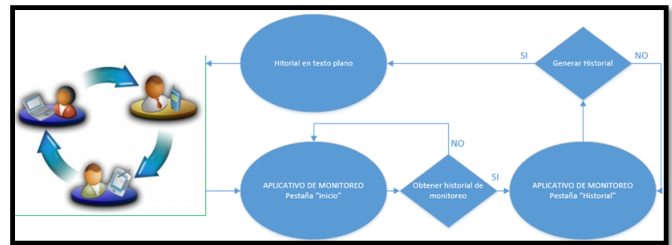


Fig.19 Flowchart Data Acquisition History

e) RF-04 Alarm Generation

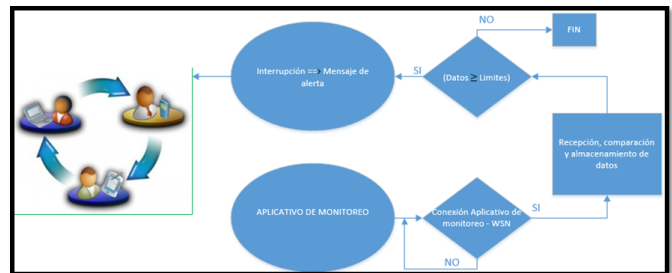


Fig.20 Flowchart Generation alarms

f) Usability requirements: Ensuring the user the reliability, accuracy, safety and ease of access to data collected by the monitoring software and the receipted same information can be viewed in real time, permanently and simultaneously by more than one user without that affect system performance.

Systems and software engineering-description of the software architecture based on the ISO/IEC/IEEE standard 42010-2011

3) Introduction

a) Purpose: The software architecture is intended to allow real-time viewing data collected by the WSN / 6LoWPAN through a web interface compliant with descriptions, views and architecture frames required by the standard.

b) Product scope: The software architecture defines a model of adaptive interface, data collection, storage, visualization and alarm generation; the system will

run property in the cloud and remote access via internet.

c) Interested users: Those interested in the design of the monitoring system WSN / 6LoWPAN on the farm La Pradera are responsible for keeping track of environmental parameters on crops and decision making to weather contingencies.

d) Recommendations in accordance with this practice: Verification of compliance shall in respect of viewpoints and description languages software architecture based on UML modeling.

4) Conceptual Framework

a) Description of architecture in concept: The monitoring software consists of a web and database server on a PaaS hosted platform that allows users to access low authentication requests and to view the measurements of environmental factors where the sensors. Data collected by the WSN-6LoWPAN are received hosted by the server and node in a local database on the gateway, the same data are sent to the cloud by using a login script and synchronization; and in the cloud these data are interpreted graphically over time and compared with preset limit values for generating web alarms.

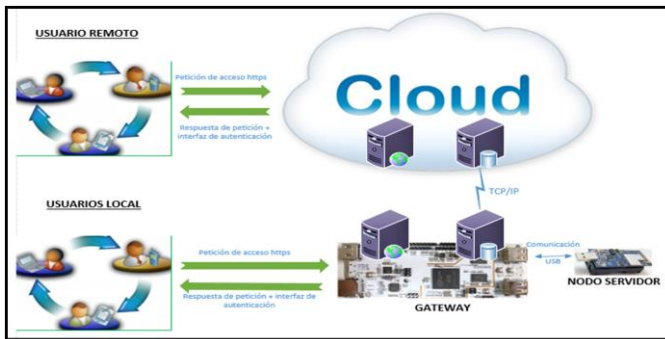


Fig.21 Monitoring System Architecture

5) Practical descriptions of architecture

a) Architecture documentation: The documentation must be specific, organized and clear, so that the basis of the documentation is the architecture model 4 + 1 (Kruchten), this pattern is used to view a system from different perspectives such as:

- logical View
- Process view
- View development
- physical View
- View stages (+1)

b) Identifying Stakeholders and responsibilities: The Stakeholders is the manager of the farm crops who access the monitoring data and interprets,

responsibilities are based on the five architectural views:

- Logical View: Object Model Role entity relationship.
- Process view: Model concurrency and synchronization.
- View Development: Organization static software in your development environment (libraries, components).
- Physical View: Model of software-hardware correspondence.
- View scenario: Use Cases.

c) Selection of the views of architecture

TABLE 3
VIEW OF ARCHITECTURE

Views	UML
Lógicoal	Entity - Relationship
Process	Sequence
Development	Components
Physical	Deployment
Scenario	Use cases

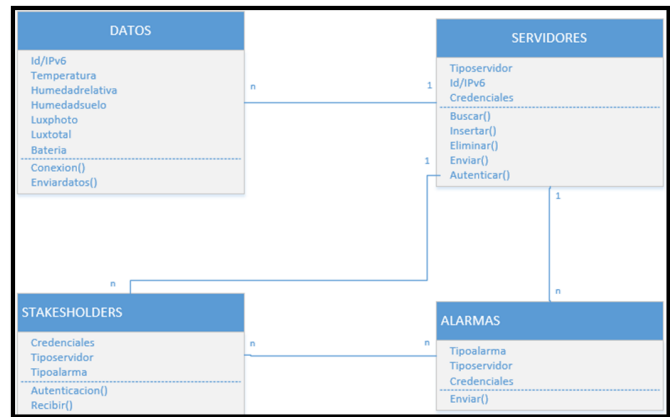


Fig.22 Architectural views: Logical View - Diagram classes

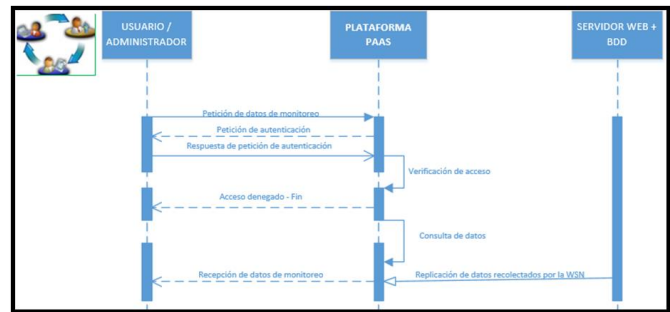


Fig.23 Views of architecture: process view - Sequence Diagram remote monitoring

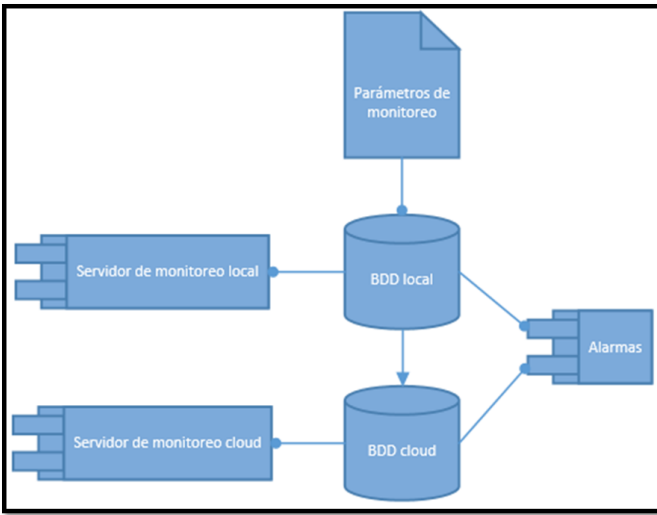


Fig.24 Architectural views: View development - Component Diagram

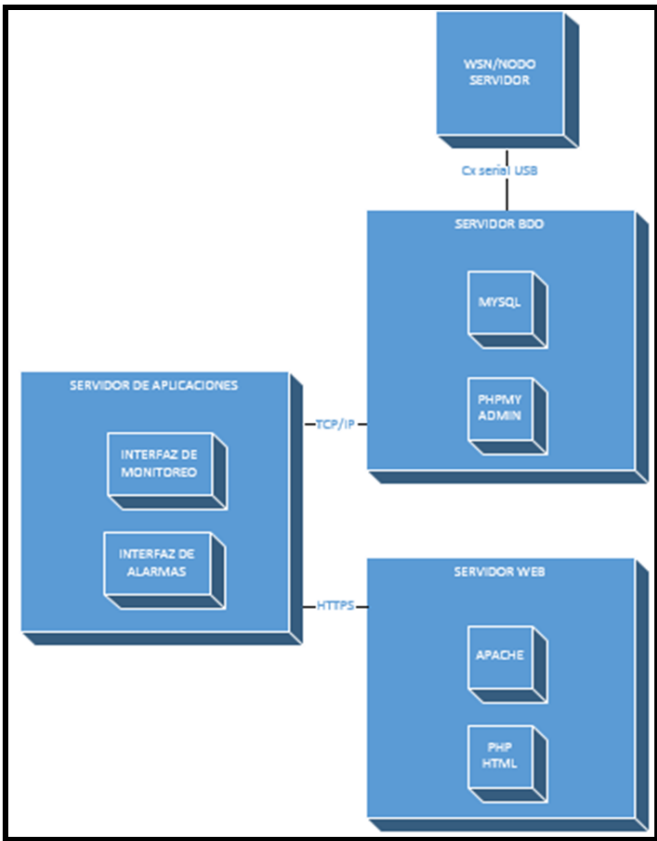


Fig.25 Architectural views: Physical View - Diagram deployment

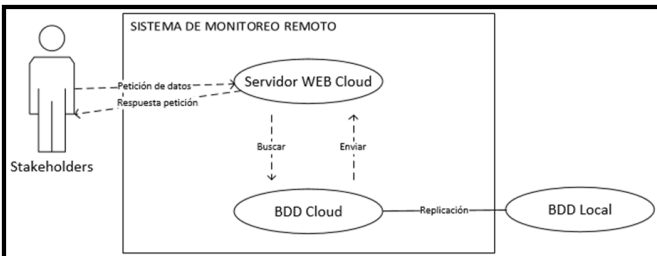


Fig.26 Architectural views: View scenario - use case diagram

d) *Implementation Details (Languages and platforms): The logic of the system architectural design is oriented to the use of object-oriented languages, without going to any area of complexity or restrictions, on the contrary is intended to have a scalable and adaptable to future needs beyond the scope of this project; with respect to the platform used is a type of PAAS, which allows to make the most applications of this type.*

V. TEST DESIGN SUPPORT

The results obtained to develop the project design, hardware and software.

A. Nodes Sensors

Sensor Nodes are what allow the collection and transmission of environmental parameters using internal and external sensors, working with an Arduino UNO, its USB shield and solar energy source (solar panel + voltage regulator + rechargeable battery).



Fig.27 Components of a sensor node

All these devices are located 1.5 m of altitude and an average distance between nodes 50m (in order to maintain an optimal level of communication between nodes) in a monitoring area of 4700 square meters, in addition to the sensor nodes it has been adapted into an enclosure with their respective adjustments to avoid any damage when placed outdoors.

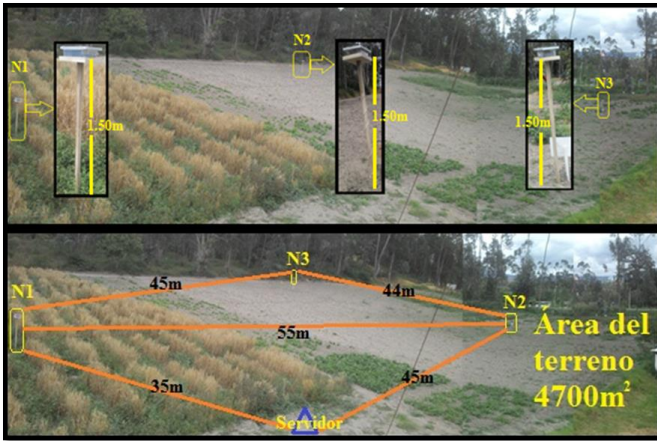


Fig.28 Sensor nodes installed



Fig.32 External soil humidity sensor in a sensor node installed



Fig.29 Identification of the temperature sensor installed in the sensor node



Fig.30 Identification of solar radiation sensors installed on a sensor node



Fig.31 Relative humidity identification sensor in a sensor node installed

B. Server Node

The server nodes unlike the sensor nodes will be located within a physical space covered, protected and interacting directly with the gateway to deliver the data from its sensor nodes.



Fig.33 Server node connected to the gateway

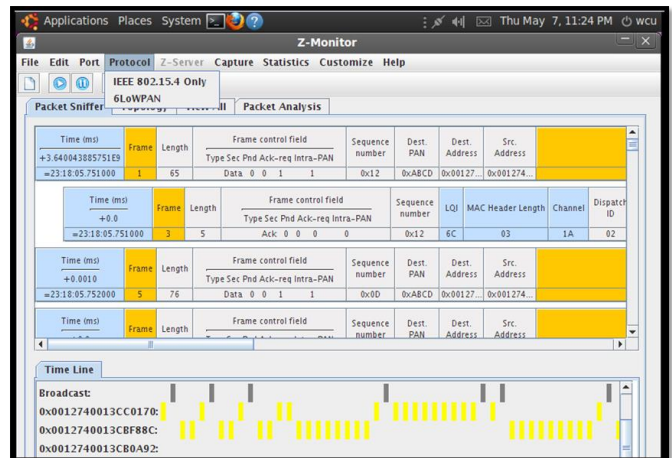


Fig.34 Packets received by the server node

C. Gateway

The gateway will be located in a covered, protected

physical space, attached to a display monitor of the monitoring system and function as communication interface between the WSN/6LoWPAN and system servers. Its power supply will be provided by the 110VAC power supply that has the farm and a wireless Internet connection through the CISCO AP with WPA2 authentication area covering some offices and classrooms of the farm.

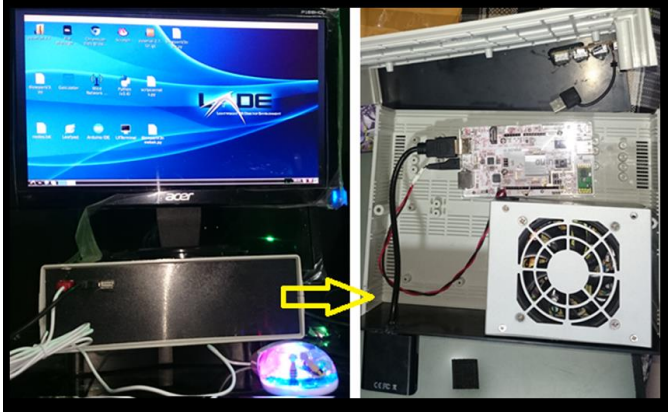


Fig.35 Gateway installed

D. Monitoring System

The system is mounted on the gateway for local monitoring and replicated in a PAAS platform for remote monitoring, the system is always operational, pending data supplied by the WSN/6LoWPAN to process them and make them visible in the web interface.

Access monitoring system

To access the monitoring system either locally or remotely it is required as follows:

- Have a Smart device (Smartphone, Tablet, Laptop, PC, etc.) having any type of web browser (Firefox, Chrome, Safari, Opera, etc.), if a local monitoring is desired must be connected to the network internal farm and for remote monitoring must have internet connection.
- Having updated the complements of adobe flash player Web browser to use and any other graphic complement to display the graphical interface software without any problem.
- Login using a web browser to the following Web address <http://6lowpan.donweb-homeip.net:8080/6lowpan/>

Authentication

This is done by entering a user name and password registered (User: admin Password: info.2015) and click on the enter button.

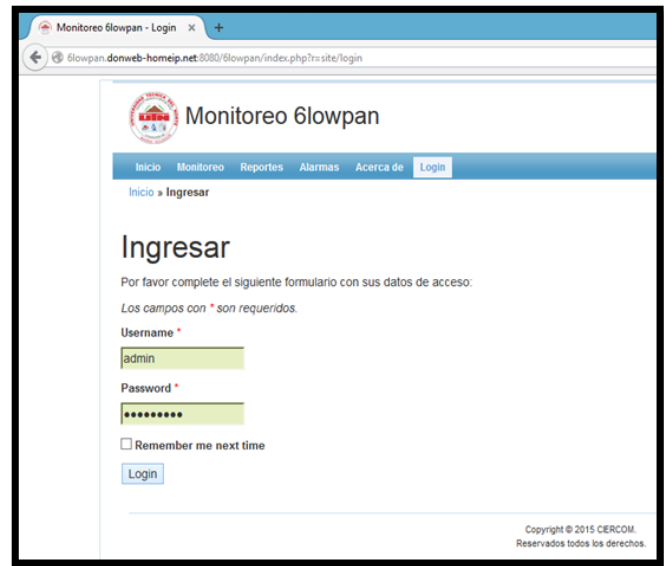


Fig.36 authentication interface

Monitoring

An authenticated once it opens the interface monitoring sensor nodes, displayed by representative graphics (developed with plugins) of different values for each node monitored and extracted from the database system

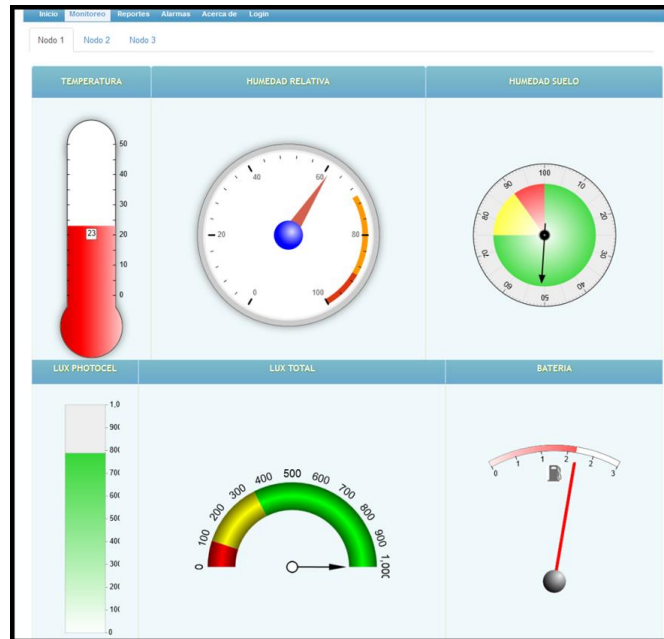


Fig.37 Monitoring interface

Record

The system allows to query the database and report the history of measurements of the sensors, for a technical interpretation by administrators of crops and future decision-making; the reports can be filtered and export the file into a PDF type.

The screenshot shows the 'Reportes Nodos' (Node Reports) section of an application. It includes a search filter for 'Consultar por Fecha' (Search by Date) and a table with columns: 'Número de Nodo', 'Temperatura', 'Humedad Relativa', 'Humedad Suelo', 'Luz Photores', 'Luz Total', 'Batería', and 'Fecha Registro'. The table displays 10 rows of data for various nodes, with values ranging from 23 to 24 for node numbers and 48 to 81 for humidity. A 'Búsqueda Avanzada' (Advanced Search) button and a 'Exportar PDF' (Export PDF) button are also visible.

Fig.38 Monitoring Consultation record

Alarms

The alarms are responsible for sending notifications to the administrator warning via email, identifying the type of alarm that has occurred in the readings of the WSN/6LoWPAN according to environmental factors limit values set in accordance with to be monitored.

The screenshot shows the 'Administrar Alarmas' (Manage Alarms) section. It features a search filter and a table with columns: 'Tipo Nodo', 'Fecha Registro', 'Columna', and 'Mensaje'. The table lists 10 alarm records, each with a timestamp (e.g., 2015-05-10 22:40:19) and a message such as 'Los niveles de humedad del nodo numero 2se encuentra en: 0'. The interface includes a 'Búsqueda Avanzada' button and a 'Logout (admin)' link.

Fig.39 Consultation alarms in the application

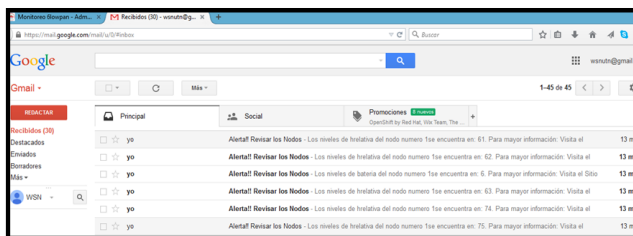


Fig.40 Alarm notifications in the email

VI. ANALYSIS COST - BENEFIT

A cost-benefit analysis of a project is important for viability and profitability from a social and economic point of view, this analysis is performed on the basis of investment costs and benefits to develop a project.

A. Cost

Cost is the amount of investment required for the project, investment in equipment, infrastructure and engineering.

Equipment cost

The equipment cost will take into account all the hardware involved in the WSN/6LoWPAN and gateway, referencing actual costs to the final consumer level.

TABLE 4
REFERENCE COST OF EQUIPMENT

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

Infrastructure cost

As infrastructure costs consumption of electricity is included by the gateway, the case and supports the sensor nodes and the cost of Internet service (items of electrical consumption and internet service are excluded for being funded by the university).

TABLE 5
REFERENCE COST OF INFRASTRUCTURE

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

Engineering cost

The engineering costs fees are considered the person in charge of system design and field study, study that is valued according to the difficult access and weather conditions where the project is executed.

In this case the design cost is valued at a cost \$ 500 a month, assuming that it would hold a graduate of the School of Engineering in Electronics and Communication Networks and also what will be documented and equipment depreciation period of three years.

TABLE 6
REFERENCE COST ENGINEERING

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

B. Benefit

The benefit in economic terms would be understood as direct monetary income to produce the project as such, but in this case the benefits were interpreted in relational terms between economic, social, educational and environmental, since the project will influence the production optimization and care of short-cycle crops, timely decisions based on monitoring data (calculation of evapotranspiration of plants and irrigation scheduling), saving budget (maintenance of crops only when really needed), improved quality crops and linking students and farm administrators with technology and apply it to agriculture (use of TICs in the education).

TABLE 6
ESTIMATES OF BENEFITS

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

C. Calculation of cost-benefit

In the cost-benefit calculation more other variables that help determine the feasibility and profitability of the project according to the investment of a project must be included; the calculation will be done using an Excel spreadsheet and the variables are as follows:

- VAN: Net Present Value
- TIR: Internal Rate of Return
- B/C: Benefit Cost Relation
- PRI: Period of return on inversion

VARIABLES	A		B		A-B	
	Flujo ingresos		Flujo egresos		Flujo de efectivo neto	
Inversión inicial (I0)=	2114					
n =	3					
Tasa de descuento (P%)=	10					
	Año	Ingresos	Año	Egresos	Año	Valor
	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					

Fig.41 Calculation of VAN, TIR, B/C y PRI

D. Results

The results indicate the following:

- VAN > 0. Generates profit above the investment.
- TIR > Tasa de descuento. Viable project
- B/C > 1. Project economically acceptable
- PRI < Operating period of the project.

All results indicate that it is feasible and cost effective to implement the project if that was the case.

VII. CONCLUSIONS

The use of wireless sensor networks in terms of monitoring not only have an impact on agriculture, but also in industrial, medical, environmental areas, etc. And because of their characteristics such as low power consumption, scalability, durability, power by solar panels, these networks make an environmentally friendly alternative, with almost no environmental impact and affordable when choosing them as a solution to a particular problem.

Hardware tools involved in the project design are oriented free environments, enabling configuration and installation flexibility when meeting the needs and meet the objectives of the project.

The software tools used in the project as they are the main Arduino IDE, Contiki, Apache, PHP, MySQL, are multiplatform and allow the project on different operating systems.

The Unified Modeling Language (UML) allows to model and document a system using the methodology that the developer sees fit, giving flexibility of choice and convenience in the methodology used for modeling.

The implementation of a WSN / 6LoWPAN network for monitoring agricultural crops allowed relating to electronic networks and moving into a smart agriculture.

When designing the WSN / 6LoWPAN they have preset necessary and sufficient for monitoring short-cycle crops variables, but if applicable add more monitoring variables, both hardware and software are scalable and able to support more nodes and sensors.

The use of adaptive templates in the software design translates into an advantage for the user and can display the data delivered by the WSN/6LoWPAN from any smart device that has an Internet connection.

VIII.RECOMMENDATIONS

Install the sensor nodes within the coverage area recommended by the manufacturer (less than 120m) and applied to short-cycle crops small and medium size to avoid interference in the line of sight between nodes.

Maintaining a monitoring time between 10 to 20 minutes, in order to increase the lifetime of the battery in the sensor nodes and in turn have a smaller number of data stored in the database and optimize the use of space.

In the design of software using platform type PAAS (Platform as a Service) it is recommended, since when have web tools hosted in the cloud, we just need to have Internet access to make any changes to the monitoring application.

A simple way to optimize the performance of the project is to guide a protected environmental factors and changeable environments, as it is a greenhouse with irrigation and ventilation systems.

WSN/6LoWPAN cover a very extensive study unclear and a certain level of knowledge, it is recommended to check the bibliography for further details.

AWARDS

Special recognition to the Faculty of Engineering in Sciences Agricultural and Environmental (FICAYA) of the University Technical of the North, in particular to the career of Engineering in Agricultural that operating in the farm La Pradera, for the facilities and support given to developing this project.

REFERENCES

- [16] J. M. Molina, *Automatización y telecontrol de sistemas de riego: Redes de sensores inalámbricos*, Primera Ed., Barcelona: MARCOMBO, 2010.
- [17] R. Fernández, F. Martínez, J. Ordieres, A. González, F. Alba, R. Lostado, & A. Pernía, *Redes inalámbricas de sensores: Teoría y aplicación práctica*. La Rioja: Universidad de La Rioja. Servicio de Publicaciones, 2009.
- [18] R. Fernández, F. Martínez, J. Ordieres, A. González, F. Alba, R. Lostado, & A. Pernía, *Redes inalámbricas de sensores: Teoría y aplicación práctica*. La Rioja: Universidad de La Rioja. Servicio de Publicaciones, 2009.
- [19] R. Fernández, F. Martínez, J. Ordieres, A. González, F. Alba, R. Lostado, & A. Pernía, *Redes inalámbricas de sensores: Teoría y aplicación práctica*. La Rioja: Universidad de La Rioja. Servicio de Publicaciones, 2009.
- [20] R. Fernández, F. Martínez, J. Ordieres, A. González, F. Alba, R. Lostado, & A. Pernía, *Redes inalámbricas de sensores: Teoría y aplicación práctica*. La Rioja: Universidad de La Rioja. Servicio de Publicaciones, 2009.
- [21] R. Fernández, F. Martínez, J. Ordieres, A. González, F. Alba, R. Lostado, & A. Pernía, *Redes inalámbricas de sensores: Teoría y aplicación práctica*. La Rioja: Universidad de La Rioja. Servicio de Publicaciones, 2009.
- [22] R. Millán, (2001). *El protocolo IPv6*. [en línea]. Recuperado de http://www.ramonmillan.com/tutoriales/ipv6_parte1.php
- [23] Grupo de Trabajo de Ingeniería de Internet. (s.f.). RFC 2460.

- [24] R. Millán, (2001). *El protocolo IPv6*. [en línea]. Recuperado de http://www.ramonmillan.com/tutoriales/ipv6_parte1.php
- [25] R. Millán, (2001). *El protocolo IPv6*. [en línea]. Recuperado de http://www.ramonmillan.com/tutoriales/ipv6_parte1.php
- [26] A. Cama, E. De la Hoz, & D. Cama, *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), 2012. Recuperado de <http://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/4869014.pdf>
- [27] B. Úbeda, *Apuntes de: Sistemas embebidos*. (Departamento de Ingeniería de la Información y las Comunicaciones, Universidad de Murcia), 2009. Recuperado de <http://ocw.um.es/ingenierias/sistemas-embebidos/material-de-clase-1/ssee-t01.pdf>
- [28] C. de Pablos, J. López, S. Romo & S. Medina, *Organización y transformación de los sistemas de información en la empresa*. Madrid: ESIC EDITORIAL, Primera Ed., 2011.
- [29] C. de Pablos, J. López, S. Romo & S. Medina, *Organización y transformación de los sistemas de información en la empresa*. Madrid: ESIC EDITORIAL, Primera Ed., 2011.
- [30] R. Pallás, *Adquisición y distribución de señales*. Barcelona: MARCOMBO, S.A. 1993.



Edgar A. Maya

Born in Ibarra province of Imbabura on 22 April 1980. Engineer in Computer Systems, University Technical of the North - Ecuador in 2006. He currently teaches at the career of Engineering in Electronics and Communication Networks of the University Technical of the North, Ibarra - Ecuador, obtain the Masters in Communication Networks in the Pontifical University Catholic of the Ecuador, Quito - Ecuador.



Edison O. Tambaco

Born in Antonio Ante province of Imbabura on 14 May 1987, in the secondary studies in the Technological Institute "Otavalo" where obtain the degree of graduate Technical in Electronic. In 2006 ingress to the University Technical of the North where studied at the Faculty of Engineering in Science Applied in the career of Engineering in Electronics and Communication Networks. Currently is graduate of the University Technical of North.