

ESTADO DEL ARTE DE LAS REDES DE SENSORES INALAMBRICOS

STATE OF THE ART OF WIRELESS SENSOR NETWORKS

Diana Milena Archila Córdoba

Ingeniería de Sistemas y
Computación, Estudiantes,
Universidad Pedagógica y Tecnológica
de Colombia (UPTC), Tunja, Colombia
diana.archila@uptc.edu.co

Frey Alfonso Santamaría Buitrago

Ingeniería de Sistemas y
Computación, Docente, Universidad
Pedagógica y Tecnológica de
Colombia (UPTC), Tunja, Colombia
Frey.santamaria@uptc.edu.co

Tipo de Artículo: Investigación

Fecha de recepción
Septiembre 25 de 2013
Fecha de Aceptación
Octubre 18 de 2013

ABSTRACT

The field of application of Wireless Sensor Networks recently emerging technology has been considerably extended to the monitoring of natural environments, applications for defense and medical applications including patient monitoring, as well as the inclusion of inter-related jobs which include monitoring of cattle herds through wireless sensor networks and Implementation of Domain-Specific Modeling for wireless Sensor networks, the networking solutions for industrial automation.

Keywords

Networks, Sensors, Wireless, Motes, wireless sensor networks.

RESUMEN

El campo de aplicación de las Redes de Sensores Inalámbricos tecnología recientemente emergente se ha extendido considerablemente hacia la monitorización de entornos naturales, aplicaciones para la defensa y aplicaciones médicas en observación de pacientes entre otras, además de la inclusión de trabajos relacionados entre los que se incluye la monitorización de rebaños de bovinos a través de redes de sensores inalámbricos, así como la Aplicación del Modelado Específico de Dominio a las Redes de Sensores Inalámbricos, las posibles soluciones de interconexión para la automatización industrial.

Palabras clave

Redes, Sensores, Inalámbrica, Motes, Redes de sensores inalámbricos

INTRODUCCIÓN

Gracias a la importancia que han venido tomando las redes inalámbricas y todo lo que con ellas se relaciona, nace el interés de analizar una temática importante dentro de dicho aspecto como lo son las Redes de Sensores Inalámbricos (WSN¹) y cuya finalidad es entender el mecanismo de monitorización y control de los fenómenos que ocurren en el mundo físico. Este trabajo pretende dar una visión profunda acerca del campo de aplicación de las Redes de Sensores Inalámbricos para lo cual se maneja la siguiente estructura: en la primera sección se hace una pequeña conceptualización sobre las temáticas más relevantes de WSN, en la segunda sección se plantea una recopilación de los antecedentes y trabajos relacionados y en la tercera sección se desarrolla una disertación y se plantean conclusiones acerca de las secciones precedentes.

1. Conceptualización

Para hablar de las redes de sensores inalámbricos o WSN es necesario tener clara su conceptualización. En [1] se definen las WSN como una red de característica auto-configurable integrada por un pequeño número de nodos sensores también llamados motes² distribuidos

¹ (Wireless Sensor Networks- WSN)

² (Conjunto de comunicadores-Mote)

espacialmente y comunicados entre sí para lo que se usan señales de radio, con la finalidad de monitorizar y entender el mundo físico “para controlar diversas condiciones en distintos puntos, entre ellas la temperatura, el sonido, la vibración, la presión y movimiento o los contaminantes”[2].

Así mismo, las WSN forman un importante puente de comunicación entre la virtualidad y el mundo físico real, y su gama de aplicaciones es extensa puesto que contribuyen de manera potencial a la industria, la ciencia, el transporte, la seguridad y la infraestructura.[1]

1.1 Motes

El nombre dado a este tipo de dispositivos cumple con la finalidad de indicar en una sola palabra dos de los conceptos principales: su pequeño tamaño y la idea de que pueden estar distribuidos en cualquier lugar, cosa que es posible gracias a que son dispositivos autónomos que funcionan con baterías muy similares a las de los teléfonos celulares y que permiten ser cargadas por paneles solares en el momento que así se requiera, además del hecho de que sus comunicaciones se basan en protocolos de bajo consumo como es el caso de ZigBee³ gracias al cual pueden pasar de un estado de inactividad a realizar una transmisión y luego regresar a su estado inicial evitando el desgaste de energía. Los motes a su vez tienen la capacidad de comunicarse entre sí gracias a la creación de mesh networks⁴ usando el protocolo ZigBee y retransmitir la información hasta un punto destinado al control donde incluso se pueden tomar decisiones. Estos motes se organizan en ciertos

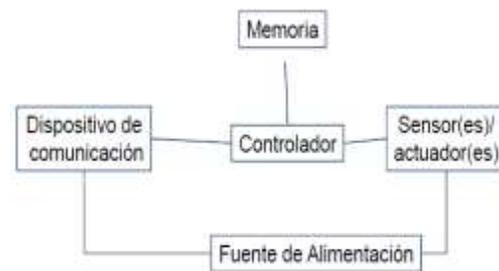
intervalos de tiempo y determinar cuáles rutas están disponibles para la comunicación [3].

1.1.1 Anatomía del Mote

Para [1] el mote en su estructura consta de (ver figura 1):

- Un procesador que puede encontrarse en diferentes modos (dormido, ocioso, dormido)
- Fuente de alimentación (baterías o paneles solares)
- Memoria para almacenamiento de datos y uso del programa
- Radio utilizado para la comunicación
- Sensores

Figura 1: anatomía del mote



Fuente: Introducción a las redes de sensores inalámbricos. Zennaro, 2010[1]

1.1.2 Estándares de WSN

Para apoyar la implementación WSN se apoya en los estándares mostrados en la tabla 1:

1.1.3 Evolución

Además de lo anterior, se da una visión general de la evolución de las WSN teniendo en cuenta sus predecesores donde se incluyen [4]:

- Chain Home (II Guerra Mundial)
- SOSUS (Guerra Fría)
- NORAD (Guerra Fría)
- Años 80: Proyecto DSN.

³ (protocolo de comunicaciones inalámbricas basado en el estándar 802.15.4 - ZigBee)

⁴ (redes malladas - mesh networks)

2.1.2 Arquitectura, Software y Lenguaje de programación

Este trabajo es muy completo puesto que muestra la arquitectura de las WSN definiendo los tipos de nodos como lo son los motes, sensores y pasarela (gateway), estación base o data sink, así como el software y el lenguaje de programación típicos de este tipo de tecnología como es el caso de TinyOS⁵ y NesC⁶ respectivamente. [4]

2.1.3 Aplicaciones

Así mismo, en [4] se muestra una variada compilación de las aplicaciones de WSN entre las que se destacan:

- ✓ Aplicaciones militares:
 - Monitorización de fuerzas y equipos enemigos
 - Vigilancia en el campo de batalla
 - Reconocimiento del terreno
 - Detección de ataques biológicos químicos o nucleares, etc.
- ✓ Aplicaciones medioambientales:
 - Seguimiento de animales
 - monitorización de las condiciones ambientales en cultivos
 - Riego
 - Agricultura de precisión
 - Detección de incendios forestales
 - Detección de inundaciones
 - Estudios de contaminación
 - Prevención de desastres
 - Monitorización de áreas afectadas por desastres, etc.
 - Estudios sísmicos
 - Seguridad de estructuras

✓ Aplicaciones médicas:

- Telemonitorización de datos fisiológicos en pacientes
- Diagnóstico
- Administración de medicamentos
- seguimiento de médicos y pacientes en hospitales, etc.
- Aplicaciones en el hogar/edificios
- Domótica
- Control de electrodomésticos
- Entornos inteligentes
- Control ambiental
- Aplicaciones industriales
- Seguimiento de vehículos
- Control de flota
- Control de inventarios
- Aplicaciones turísticas
- Interactividad en museos y espacios turísticos, control de acceso

2.2 Redes de sensores inalámbricos

Plantea una definición de las WSN como una gran cantidad de pequeños dispositivos, con autonomía y distribución física llamados *nodos de sensores*, instalados cerca o alrededor de un fenómeno para ser monitoreado y almacenar y comunicar datos en una red en forma inalámbrica [5].

2.2.1 Constitución de las WSN

Básicamente en [5] se muestra la misma constitución que se puede apreciar en la figura 2:

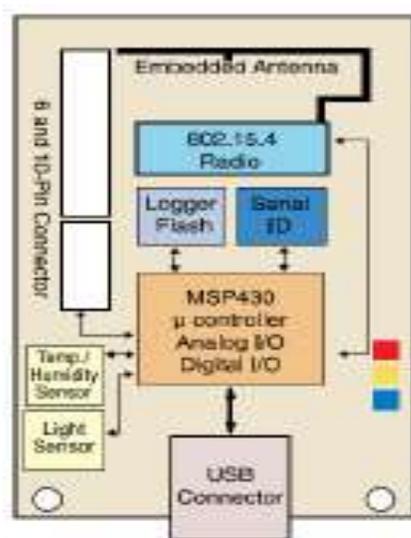
- Sensores: pueden ser de distintos tipos y tecnologías y su función es tomar la información presente en el medio y luego la convierten en señales eléctricas.

⁵ sistema operativo de código abierto basado en componentes para redes de sensores inalámbricas. escrito en el lenguaje de programación nesC - TinyOS

⁶ Network Embedded Systems C - NesC

- Nodos de sensor: toman la información del sensor y la envían a la estación base.
- Gateway: Elementos para la interconexión entre la red de sensores y una red TCP/IP.
- Estación base: recolector de datos.
- Red inalámbrica: basada en ZigBee (estándar 802.15.4)

Figura 2: Constitución de las WSN



Fuente: *Redes de sensores inalámbricos*. Ortiz, 2006[5]

2.3 Diseño y despliegue de una red de sensores inalámbrica. Aplicación para el control medioambiental en la industria alimentaria

Este es un proyecto de fin de carrera apoyado en el proyecto SustenTIC cuyo propósito es desarrollar la tecnología necesaria que permita la monitorización en tiempo real de parámetros de interés medioambiental y de rendimiento de los sistemas de producción, además hace un acercamiento sobre las diferentes plataformas para redes de sensores más comunes [6].

2.3.1 Plataformas para redes de sensores.

Estado de la técnica

Con el pasar de los años, las redes de sensores han sufrido una cierta evolución tecnológica y su estudio se remonta a diferentes centros de investigación en todo el mundo. Algunas de estas plataformas en estos momentos son circuitos comerciales con numerosas aplicaciones.

Es importante resaltar la influencia de algunas compañías en el desarrollo de estas nuevas tecnologías. En primer lugar está el *Department of Electrical Engineering and Computer Science* de la Universidad de Berkeley, California el cual desarrolló desarrollo de los nodos Mica2 y sus variantes posteriores como el TelosB, así como el conocido sistema operativo para redes de sensores TinyOS. En la figura 3 se puede apreciar el aspecto de varios de estos nodos. [6]

Figura 3: De izquierda a derecha: Mica, Mica2, Mica2Dot, Micaz, TelosB



Fuente: *Diseño y despliegue de una red de sensores inalámbrica. Aplicación para el control medioambiental en la industria alimentaria*. Valverde, 2010 [6]

Como características principales de estos nodos se podrían citar, cierta modularidad, pero sólo a nivel de sensores, y que su funcionamiento está basado en micro controladores (μC) para ser usados con TinyOS.

Otro grupo que ha trabajado en plataformas para redes de sensores es *Intel Research Lab*. A ellos se les atribuye el diseño de nodos tan conocidos como los Intel Mote o Intel mote 2. En la figura 4 se pueden ver las motas de Intel.

Figura 4: motas de Intel



Fuente: Diseño y despliegue de una red de sensores inalámbrica. Aplicación para el control medioambiental en la industria alimentaria. Valverde, 2010 [6]

2.3.2 Cookies: Plataforma modular para redes de sensores

En [6] se habla de la plataforma cookies desarrollada en el Centro de Electrónica Industrial de la Universidad Politécnica de Madrid y cuyas características más importantes son la modularidad y la implementación de hardware reconfigurable mediante un FPGA⁷.

La figura 5 muestra la arquitectura de esta plataforma que a su vez es modular y está conformada por cuatro capas hardware intercambiable las cuales son:

- Capa de sensores y/o actuadores: su objetivo es retener la información del exterior por medio de sensores y al mismo tiempo actuar en respuesta a alguno de los parámetros de interés por medio de los actuadores. [6]
- Capa de procesamiento: procesa los datos capturados por los sensores.

- Capa de alimentación: es la encargada de proveer los más apropiados niveles de tensión a cada una de las capas componentes de la arquitectura.
- Capa de comunicaciones: recibe y envía los datos desde y hacia los sensores.

Además de estas cuatro capas también se pueden agregar otras como por ejemplo una capa de expansión para hacer pruebas. Por otro lado, la conexión entre las capas puede llevarse a cabo a través de un bus de comunicaciones común para todas las capas el cual lleva las señales a todas ellas así no vayan a ser utilizadas.

Figura 5: arquitectura modular cookies



Fuente: Diseño y despliegue de una red de sensores inalámbrica. Aplicación para el control medioambiental en la industria alimentaria. Valverde, 2010 [6]

2.3.3 Antecedentes de las redes de sensores en la industria agroalimentaria

La importancia de controlar en tiempo real los procesos agropecuarios y el cuidado de los animales ha ido incrementando en los ganaderos, agricultores y fabricantes, lo cual ha llevado a la posibilidad de tener un sistema desinteresado y poco intrusivo con los animales para ejercer dicho control.

⁷ Field Programmable Gate Array - arreglos de compuertas programables en campo-FPGA

Gracias a estos requerimientos y necesidades la industria de investigación de las redes de sensores ha crecido poniendo a disposición de los interesados muchos servicios que contribuyen a la solución de sus demandas [6].

Uno de los usos dados a las WSN es el de la mejora en los sistemas de transporte de alimentos y productos esto debido a que en la mayoría de los casos el lugar de producción y cultivo están alejados del lugar de consumo, por lo cual se hace necesario establecer una optimización a los sistemas de transporte lo cual garantice que sean eficientes, flexibles, amigables con el ambiente, y que además se provea información del producto y de su conservación.

Otra aplicación importante es la monitorización de la condición de animales en explotaciones ganaderas a través de la colocación de nodos en los collares del ganado para tener monitorizada su ubicación y facilitar la identificación mediante etiquetas de lectura por radiofrecuencia [7].

Por otro lado se tiene el control de parámetros importantes en los invernaderos como lo es la temperatura y la humedad lo que contribuye a que “cada vez los éstos estén más automatizados y sus condiciones más controladas para garantizar la correcta maduración de los alimentos.” [8].

Por último cabe destacar la aplicación tratada en [6] para la medida de parámetros medioambientales en una fábrica de café soluble mediante la aplicación de una red de sensores inalámbrica en una fábrica de café con el fin de mantener controlados aspectos importantes como la ágil variación que se puede presentar en la concentración de determinadas sustancias como el monóxido de carbono (CO) puesto que si no se controla este aspecto una mala combustión en una caldera puede dar lugar a un gran incremento de esta sustancia afectando la integridad de las personas y de las instalaciones [9].

2.4 Diseño de una red de sensores inalámbrica para agricultura de precisión

Este proyecto tiene la finalidad de presentar una solución adecuada a la problemática derivada de la dificultad para obtener información en tiempo real y confiable del estado en que se encuentran los

terrenos dedicados a la agricultura en el Perú y en general en el mundo para lo cual se aplican las Redes de Sensores Inalámbricas una tecnología cambiante capaz de dar solución a los problemas de falta de información inmediata y confiable [10].

En [10] se presenta el diseño de la solución en el cual se tuvo en cuenta la topología de la red y también el hecho de que el protocolo correspondiente al diseño debe otorgar datos confiables y al mismo tiempo consumir la menor energía posible. Por otro lado, se tuvo en cuenta el hecho de que una red de este tipo debía ser capaz de crecer sin afectar su calidad además de presentar la información en un software amigable y de fácil análisis.

Entrando en materia, cuando se trata del uso de las WSN en el campo de la agricultura se puede decir que la aplicación apenas esté en formación por lo cual puede tomar muchas formas pero básicamente se divide en seis (6) capas que se comunican y conectan entre sí como se puede ver en la figura 6:

Tabla 1: Estándares que apoyan la implementación de WSN

Estándar	Descripción
Capas física y MAC: IEEE 802.15.4	Optimizadas para bajo costo, baja potencia y desempeño inalámbrico robusto.
ZigBee (2004)	Construido sobre 802.15.4 e incluye un stack de protocolo de red completo para WSN focalizado en redes de sensores y control.
ZigBee Pro (dic. 2007)	mejora algoritmos de direccionamiento y ruteo

Fuente: Autor

Figura 6: Capas componentes de una red de sensores inalámbricos para agricultura.



Fuente: *Diseño de una red de sensores inalámbrica para agricultura de precisión. Villón, 2009 [10]*

Los sensores se estimulan debido a variaciones en el ambiente como la humedad, temperatura, humedad de la tierra, radiación solar, entre otros sucesos obteniendo información y respondiendo con señales eléctricas.

Un hecho importante de resaltar es la idea de mejorar a futuro la capa de procesado a nivel de campo donde se encuentra concentrado en trabajo de los procesadores que en otras aplicaciones elementales son los encargados de transformar las señales analógicas en digitales y transmitir las vía wireless. En aplicaciones más avanzadas se espera que cada nodo sea capaz de analizar la relevancia de una lectura complementando la acción con actuadores competentes para tomar una decisión, por ejemplo, en el caso de que se presente aumento de temperatura el actuador tenga la autonomía de iniciar un riego de la zona. [10]

2.5 Monitorización de rebaños de bovinos a través de redes de sensores inalámbricos

Este trabajo presenta un prototipo de un sistema proyectado utilizando técnicas de mecanización electrónica y tecnologías referentes a la comunicación inalámbrica con el fin de recolectar datos funcionales y somáticos que permiten la monitorización e inspección de los rebaños bovinos sin afectar el comportamiento natural de los animales lo que es de interés para la zootecnia de precisión que a fin de cuantas es lo que despertó el interés para la realización de este trabajo.

En [11] se afirma que “a fin de optimizar la infraestructura, fue desarrollado un software que a partir de la simulación del desplazamiento de un rebaño bovino ayuda a determinar la mejor distribución de esa infraestructura en el área monitorizada”.

La aplicación de las WSN en esta investigación se fundamentó en la construcción de una infraestructura empleando tecnologías de instrumentación electrónica y comunicación por radio-frecuencia. Se empleó el protocolo *floating base sensor network*⁸ que implementa la topología adhoc con selección aleatoria de nodos [11].

Los prototipos que se construyeron se probaron en recolecciones de datos de la actividad cerebral y temperatura corporal de seis (6) novillas de raza Holandesa y los resultados obtenidos permiten concluir que la utilización e implementación en las granjas de las WSN como técnicas eficaces para la recolección de datos fisiológicos de confiables y en tiempo real de los bovinos permitiendo así la optimización del proceso de producción y de aseguramiento de la calidad de los productos que de ellos se deriven.

⁸ (red de sensores de base flotante-FBSN)

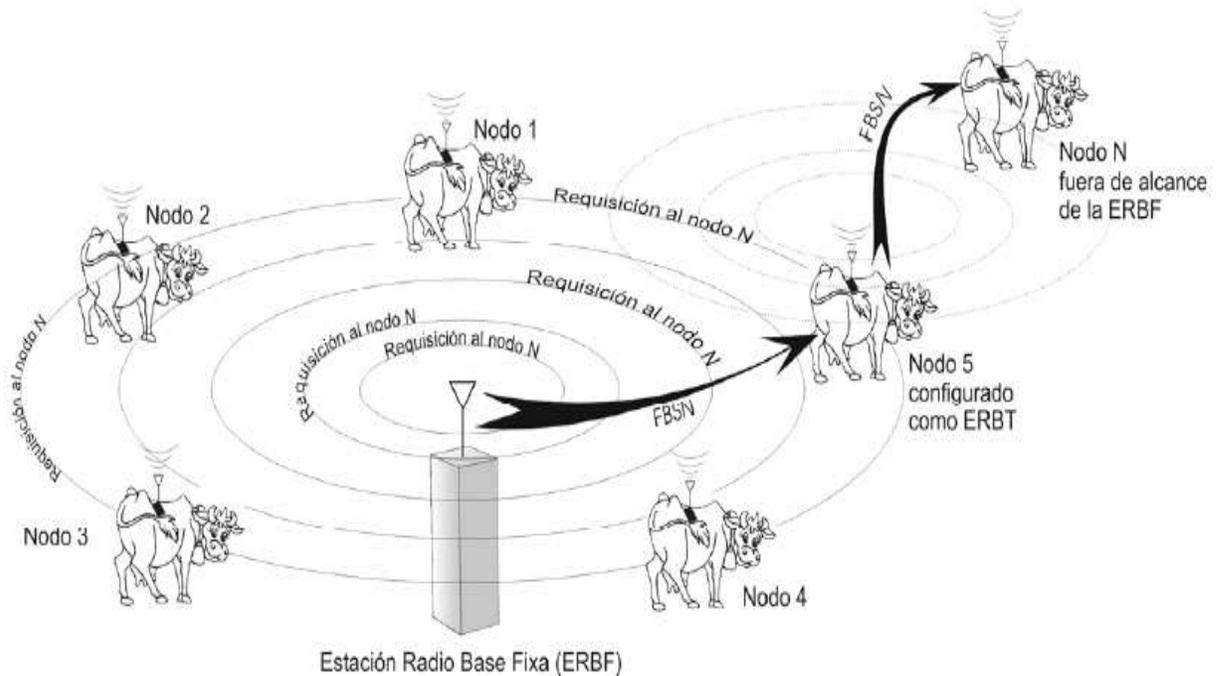
2.5.1 Arquitectura básica del hardware

El sistema que planteado en [11] está conformado por dos módulos principales: el primero de ellos denominado nodos sensores (integrado por el Acondicionamiento de señales, la Conversión analógico-digital, la Transmisión de datos digitales y un *Bus I2C*) es el encargado de acondicionar y transmitir las señales que se recolectan y el segundo las estaciones de radio de base fijas o ERBF recibe los datos y los transfiere a un sistema informático. En la figura 7 se muestra el esquema de una red FBSN

2.5.2 Experimentación con animales

Como se nombraba anteriormente los experimentos se llevaron a cabo con seis (6) novillas. Para el primer experimento, los nodos sensores fueron colocados al animal empleando bolsas resistentes al agua que se ligaron al dorso de las novillas como se observa en la figura 8 (a), los electrodos para adquisición de señales cerebrales fueron implantados según los procedimientos descritos por [12].

Figura 7: Esquema de una red FBSN



Fuente: Monitorización de rebaños de bovinos a través de redes de sensores inalámbricos. Arce et al, 2009. [11]

Para el segundo experimento se utilizó un cabestro diseñado y equipado con los sensores contenidos en bolsas impermeables y “los nodos transeptores fueron programados para realizar captura de EEG a una frecuencia de 120 Hz y la red colectó datos de los animales a través del envío de comandos de requisición a los nodos sensores” [11]. La figura 8 (b) muestra una novilla con el cabestro del segundo experimento.

Figura 8 (a). Primer experimento con bolsa adherida al dorso (b) segundo experimento con el cabestro



Fuente: Monitorización de rebaños de bovinos a través de redes de sensores inalámbricos. Arce et al, 2009.[11]

2.6 Caracterización de Ambientes Industriales Para Aplicaciones de Redes de Sensores Inalámbricos en la Región Arequipa

Este artículo pretende realizar un estudio del ambiente industrial que le permita caracterizar el entorno, en el cual se presentan dificultades delicadas en el desempeño de las redes de sensores inalámbricos o WSN, para lo cual se realizó una recolección de información empleando los protocolos de la industria estandarizados y con ellos analizar los efectos de dicha problemática en la muestra, como es el caso de la latencia en los

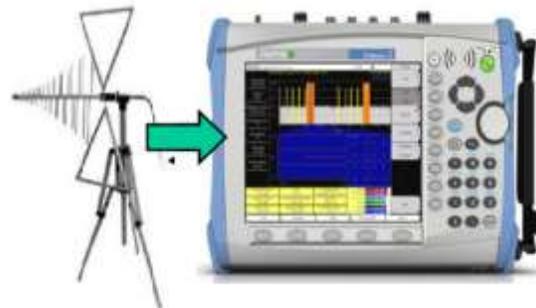
enlaces de comunicación, la disminución en la capacidad de procesamiento de las señales, el consumo excesivo de potencia y recursos energéticos, entre muchos otros aspectos.

2.6.1 Métodos de medición

Con el objetivo de establecer mejoras a la performance de las aplicaciones inalámbricas en los ambientes industriales se llevaron a cabo mediciones para determinar el nivel de interferencia electromagnética EMI específicamente en ambientes mineros y donde existen plantas de producción de acero. [13]

Para llevar a cabo la medición de los datos se emplearon un (1) Analizador de espectros MT8221B de rango 150 KHz a 7.1 GHz y dos (2) Antenas de gran ancho de banda CBL6143B que cubre rangos de 30-3000 MHz, los cuales se pueden observar en la figura 9:

Figura 9: Equipos de medición



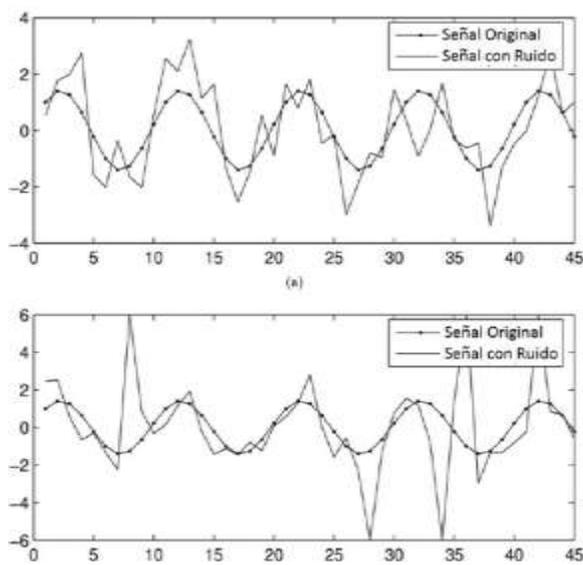
Fuente: Caracterización de Ambientes Industriales Para Aplicaciones de Redes de Sensores Inalámbricos en la Región Arequipa. Cayani et al, 2012. [13]

2.6.2 Resultados

A continuación se presentan los resultados obtenidos en [12].

Se encontró que la intensidad de la señal se puede ver interrumpida en ambientes industriales debido a posibles alteraciones como la reflexión en las paredes y pisos además de interferencias de las bandas ISM⁹ y del ruido generado por los equipos pesados o maquinaria (ver en figura 10) causando interferencia destructivas.

Figura 10: Señales afectadas con ruido Gaussiano con diferentes S/N.



Fuente: Caracterización de Ambientes Industriales Para Aplicaciones de Redes de Sensores Inalámbricos en la Región Arequipa. Cayani et al, 2012. [13]

En este orden de ideas, es de vital importancia que a pesar de las interferencias y ruidos que se presenten los datos mantengan su integridad puesto que la falta de ella puede afectar seriamente

⁹ Industrial, Scientific and Medical- ISM

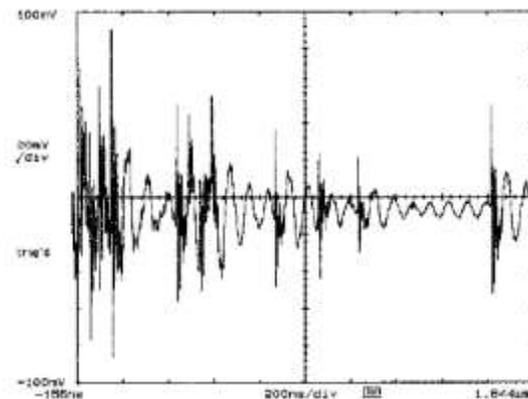
aplicaciones críticas como por ejemplo alarmas del sistema.

Por otro lado [13] plantea el hecho de que para asegurar que los mensajes enviados desde el sensor hasta el host de la aplicación sean confiables se debe realizar una observación de las variaciones en los niveles de la señal y la disponibilidad de la conectividad en los nodos sensores. Se empleará LabVIEW [14] y el software del WSN para integrar el proyecto global con LabVIEW y programación en Matlab.

Para caracterizar las interferencias es necesario tener claros ciertos conceptos como interferencia electromagnética (EMI) que está representada por cualquier señal o emisión difundida en el espacio o encausada a lo largo de un cable de alimentación y que ocasiona que los servicios de comunicación o equipos funcionen correctamente.

El tipo de EMI más conocido es el ruido impulsivo mostrado en la figura 11 y que puede ser ocasionado por diferentes dispositivos que se encuentran en una planta industrial (ver tabla 2)

Figura 11: características temporales del ruido impulsivo



Fuente: Caracterización de Ambientes Industriales Para Aplicaciones de Redes de Sensores Inalámbricos en la Región Arequipa. Cayani et al, 2012. [13]

Tabla 2: fuentes de interferencia

Interferencias de gran Ancho de Banda	Interferencias de Ancho de Banda angosto
Motores	Transmisores de Radio y TV
Inversores, Circuitos SCR	Zumbido de Líneas Eléctricas
Interruptores Eléctricos	Generadores de Señales
Computadoras , ESD	Osciladores Locales
Sistemas de Ignición	Sistemas UPS
Reguladores de Voltaje	Equipos de Medición
Pulsos electromagnéticos (Rayos)	Equipos microondas y de Ultrasonido
Lámparas de Arco o Vapor	Ballastos Electrónicos
Generador de Pulsos	Equipo Medico
Termostatos	Sistemas con Microprocesadores
Aparatos de soldadura	Transmisores Celulares y Localizadores
Convertidores de Frecuencia	Generadores de alta frecuencia

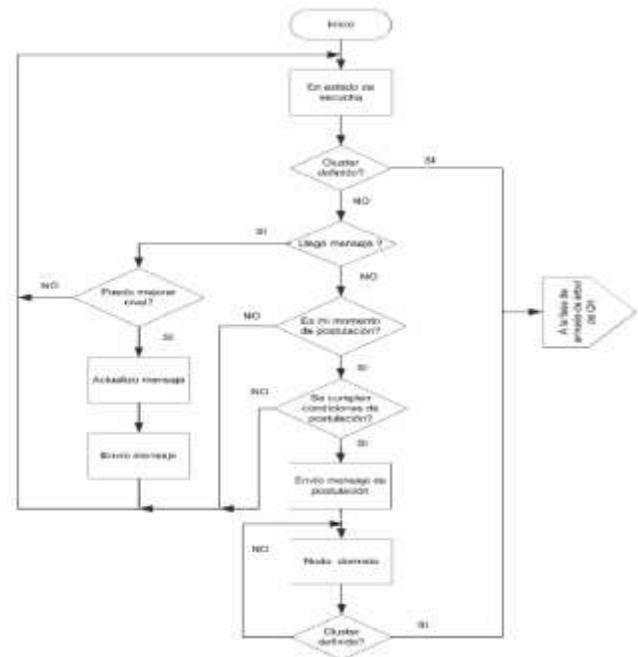
Fuente: *Caracterización de Ambientes Industriales Para Aplicaciones de Redes de Sensores Inalámbricos en la Región Arequipa. Cayani et al, 2012. [13]*

“A partir de las interferencias electromagnéticas que son generadas principalmente por el ruido impulsivo en un ambiente refractivo de multirpropagación (ambiente industrial), será necesaria la caracterización del ambiente industrial para no ver afectada la performance de las redes de sensores inalámbricos (WSN)” [13].

2.7 Clustering Dinámico para Tiempo de Encendido Mínimo en Redes Inalámbricas de Sensores (CLUDITEM): Análisis de la Definición de Clusters

Gracias al gran avance que han venido presentando las comunicaciones y las nanotecnologías ha sido posible la implementación de Redes Inalámbricas de Sensores Inteligentes (RISI [15]). En este trabajo se examina la etapa de definición de clúster de un algoritmo jerárquico para recolección periódica de datos en aplicaciones supervisoras de actividades ambientales.

Para ello se generó un algoritmo que tenía como objetivo principal disminuir y distribuir de manera adecuada el consumo de la energía trabajando con un clúster dinámico que mantiene a los transeptores de los nodos apagados el mayor tiempo posible, además se describen las simulaciones llevadas a cabo en la etapa de definición de clúster y al final se obtuvo un diagrama de flujo del Comportamiento de un nodo durante la fase de armado de clúster [16] como se puede ver en la figura 12:



Fuente: *Clustering Dinámico para Tiempo de Encendido Mínimo en Redes Inalámbricas de Sensores (CLUDITEM): Análisis de la Definición de Clusters. Corti et al, 2008. [16]*

2.8 Empleo de una red de sensores en el reajuste de modelos de comportamiento del fuego en incendios forestales

Este trabajo propone un sistema empleando WSN, para realizar un monitoreo de áreas en riesgo de sufrir incendios forestales. En la figura 13 se muestra la arquitectura del sistema propuesto en este trabajo el cual está integrado por tres tipos de dispositivos: la red de sensores (WSN), la estación base y uno o varios vehículos aéreos no tripulados (UAV, *Unmanned Aerial Vehicle*), donde los sensores son protegidos contra el fuego y resistente a golpes pero evitando que impidan las comunicaciones.

Estos componentes son extendidos sobre la zona afectada por el incendio mediante los UAVs, después de ubicados los sensores constituyen una red inalámbrica interconectada con total autónoma y autoconfigurable, y cada sensor se encarga de monitorizar el terreno más cercano registrando las mediciones continuas de variables físicas como es el caso de la temperatura, la presión, la humedad y la velocidad y dirección del viento.

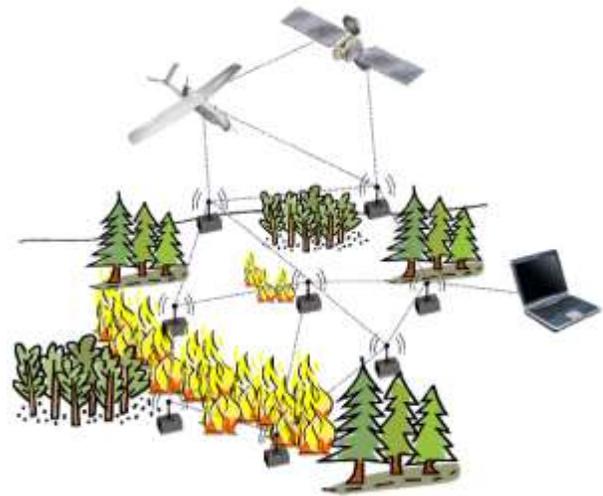
Adicional a esto se encuentra la estación base constituida por un ordenador dirigido a la zona del incendio, este equipo se encuentra conectado a la WSN a través de un nodo sensor (o *Gateway*), este a su vez se conecta a uno de los puertos del ordenador, y no realiza tareas de obtención de datos, sino que se limita a reencaminar hacia la estación base la información que recibe del resto de nodos de la WSN. La estación base es la encargada de ejecutar el modelo de predicción del fuego, que se irá reajustando en tiempo real con la información proporcionada por la red de sensores.

Toda esta información es utilizada en última instancia por el puesto de mando para decidir la mejor estrategia de actuación contra el fuego.

Por último, los aviones teledirigidas que dispersan los sensores en el área de trabajo también tienen la

función de proporcionarles información de posicionamiento [17]:

Figura 13: arquitectura de un sistema de WSN para monitorear incendios forestales



Fuente: Empleo de una red de sensores en el reajuste de modelos de comportamiento del fuego en incendios forestales. Bermudez et al, 2007 [17]

2.9 GAIA 2: un mote multifuncional para agricultura de precisión

Este trabajo tiene como objetivo principal es aminorar el número de dispositivos necesarios para configurar una red presentando un nuevo mote multifuncional, que abarca en un único dispositivo todos los necesarios para configurar una red de sensores. La configuración del dispositivo se realiza tanto a nivel de hardware como de software [18].

2.9.1 Resultados

Para la descripción del prototipo desarrollado empleando el software GAIA 2 y apoyado por dos casos de estudio se realizaron en laboratorio una serie de pruebas para comprobar el apropiado funcionamiento y autonomía del dispositivo. En primer lugar se validó la correcta funcionalidad de todas las interfaces de entrada y salida. Se

realizaron pruebas con la radio de corto alcance, consiguiéndose alcances ligeramente superiores a 100m, con las antenas de 3dBi mencionadas anteriormente. También se realizaron pruebas de alcance con los XStream, consiguiendo los mismos resultados presentados en [19], con antenas externas omnidireccionales de 15dBi.

2.10 Gestión eficiente de permisos en redes de sensores inalámbricos

En este artículo presenta un método basado en funciones hash como es el caso de los filtros de Bloom, con el que se limita el acceso a cada nodo de una WSN solo a dispositivos autorizados, y se ejemplifica en un escenario de emergencias médicas donde los sensores inalámbricos crean redes de víctimas [20]

2.10.1 Escenario y aplicación

Cuando ocurren catástrofes de grandes números de víctimas es vital la organización de los equipos médicos implicados en el salvamento de los heridos. Es importante señalar que las zonas de tratamiento de los heridos se divide en dos partes dependiendo del nivel y gravedad de la emergencia por ejemplo, “la zona 0 es aquella donde ha ocurrido la emergencia. Es, entonces, donde están las víctimas y heridos de la catástrofe y la zona 1 es donde se encuentran todos los efectivos médicos desplazados hasta la emergencia. También en esta zona se habilita el hospital de campaña y se prepara el personal de rescate. Finalmente también existe una zona 2 que se compone de todos los efectivos médicos disponibles alrededor del globo para colaborar con los efectivos desplazados” [20].

En [21] se presenta un nuevo caso de uso para las WSN en el que se utilizan los sensores disponibles en los nodos para monitorizar el estado de las víctimas de catástrofes con un gran número de víctimas (MCI - *Mass Casualty Incident*). Todo el proceso de monitorización se realiza sin tener en cuenta aspectos de seguridad ni privacidad de los datos transmitidos o almacenados por los participantes en la gestión de la catástrofe.

2.11 Manejo e integración de bases de datos en redes de sensores inalámbricos

Debido al reciente crecimiento y auge obtenido por las redes de sensores inalámbricos y a la importancia de las mediciones detectadas y tomadas por los dispositivos que los conforman es importante estudiar la idea de poseer una base de datos asociada a dicha red lo que se convierte en un reto para el tema de consultas. Adicional a esto, se hace necesario idear un mecanismo que capture, procese y agregue datos de manera fiable, escalable y a tiempo sin interferir con el desempeño de la red.

Es por ello que la finalidad primera de [22] es que a partir de un modelo de arquitectura para el diseño de una base de datos espacial y dinámica como lo es SensorDB que estaría representando en tiempo real las bodegas de datos de las WSN, se propone un asistente para la configuración de las mismas reuniendo componentes importantes de administración como es el caso de TinyDB y SwissQM con el único propósito de flexibilizar y apoyar la administración de bases de datos.

2.12 Nuevas tendencias de tecnologías de sensores inalámbricos para la mejora productiva de cultivos agrícolas

En [23] se plantea un caso práctico de utilización de una WSN en una aplicación agrícola como es el caso de las Vid donde se presenta una enfermedad conocida como Mildiu y que afecta considerablemente la producción de uvas. Mediante el sistema integrado por WSN para la captación de información, de acuerdo a como se ha desarrollado en otros casos como por ejemplo en [24], se pueden mantener controladas la totalidad de variables que favorecen el crecimiento y propagación de la enfermedad y el sistema dará aviso de cuando éstas se cumplen, de que existe la posibilidad de que la enfermedad se haya desarrollado en una zona localizada. De esta manera se puede determinar si de verdad nos ataca la enfermedad y proceder a utilizar un tratamiento para solucionarlo.

Por otro lado en dado caso de que las condiciones no hayan sido favorables para la propagación de la enfermedad se pueden ahorrar recursos tales como el gasto en insecticidas e incluso eliminar el riesgo de multiplicación de ácaros o cicadélidos que se ven favorecidos por el uso de insecticidas.

2.13 plataforma modular e interfaces genéricas de transductores para redes de sensores inalámbricos

Analizando las características especiales de las WSN tal vez la tendencia natural este encaminada hacia el mejoramiento del hardware para cada aplicación que las integra. Es por ello que en [25] se propone una arquitectura para nodos en redes de sensores inalámbricas cuya característica más representativa es la modularidad de tal manera que la funcionalidad del nodo está dividida en capas, cada una de las cuales se desenvuelve y efectúa una tarea específica. El encontrarse encapsulada la funcionalidad, se puede pasar entonces a modificar cada capa por separado sin que esta acción afecte al resto del sistema y con ello acelerar los rediseños que se hagan cuando se confrontan nuevas aplicaciones dotando a los nodos de gran flexibilidad y más capacidad de procesamiento.

2.14 Posicionamiento con una red de sensores inalámbricos (WSN): implementación para una aplicación real.

En [26] se plantea como principal objetivo la implementación de un sistema de localización basado en una red de sensores inalámbricos y se espera que sea capaz de proporcionar la ubicación de una mota que se encuentra en el interior de un vehículo. Para ello la precisión del nuevo sistema se ha ajustado a las restricciones y limitaciones presentadas por los dispositivos que forman la WSN como es el caso de los limitados recursos hardware disponibles en las motas que son los que nos han hecho decantarnos por utilizar la fuerza de la señal recibida para el cálculo de distancias y el posterior cálculo de la posición.

Para la implementación del sistema se trabajó en distintos escenarios con el fin de obtener diferentes parámetros que describían mejor las pérdidas en el canal en función de la distancia, que posible comprobar y estimar qué parámetros proporcionan una mejor estimación de la distancia. A lo largo del proyecto se han obtenido distintos parámetros para la descripción de distintos escenarios, pero solo tres de ellos proporcionan unos resultados aceptables en la mayoría de las situaciones analizadas.

2.15 Monitoreo de Sensores Inalámbricos vía Interfaz Web

El tema desarrollado en [27] tiene su origen en la actual situación de los motes TelosB, los cuales no tienen un acceso vía internet, a una base de datos que contenga la información recopilada por ellos y su objetivo principal radica en la creación de un sistema de monitoreo que permita a un usuario, acceder vía internet, tanto a la información almacenada en la base de datos, como a las variaciones captadas en el momento por los motes TelosB.

Para ello se realizó la implementación de una base de datos que almacena la totalidad de la información entregada por los motes que se encuentran monitorizando determinada área además de un programa en base a PHP para transferir la información desde la base de datos hacia internet así como la disposición de una Interfaz Web amigable al usuario que le permita el acceso tanto al estado de los sensores en tiempo real, como a la información recopilada y almacenada por los motes, posteriormente se hizo una evaluación del funcionamiento efectivo de la interfaz tanto de la información en tiempo real como de la base de datos.

2.16 Redes de sensores inalámbricos para el análisis de vibraciones

El trabajo de memoria de título presentado en [28] muestra el proceso de estudio, diseño y creación de prototipos de redes de sensores inalámbricos para proveer a los sensores de cierta inteligencia con el fin de examinar diferentes clases de vibraciones ya sean de máquinas eléctricas donde se estudian desajustes en sus vibraciones o como las estructuras civiles, donde se estudia su estado

y/o presencia de sismos. Para ello se ha creado un prototipo hardware/software, con un protocolo de comunicación síncrono, sencillo y que busca ahorrar energía, el aporte es crear WSN que trabajen en forma eficiente y ayuden a evaluaciones estructurales de obras civiles o evaluaciones de máquinas eléctricas.

Por otro lado se realizó un estudio en el dominio del tiempo y frecuencia con los datos capturados por la red y la implementación se llevó a cabo con sensores SunSPOT de la compañía Microsystem.

2.17 Redes de Sensores sin Cables para Agricultura de Precisión en Regiones Minifundistas

El artículo planteado en [29] presenta una propuesta de arquitectura de red de sensores en los aspectos relacionados con la tipología de nodos, integración de sensores, tecnología WSN, topología y encaminamiento de red. La línea fundamental de desarrollo técnico de la red de sensores se concentra en el uso de tecnologías de sensores sin hilos más conocidas como WSN (Wireless Sensor Networks / estándar IEEE 802.15.4) para el diseño de un sistema distribuido de captación de información de múltiples parámetros críticos en la evolución de cultivos en regiones minifundistas.

Se plantean además líneas futuras de investigación y desarrollo relacionadas con arquitecturas basadas en “Internet de las Cosas” y tecnologías IP, especialmente interesantes para el ámbito de explotaciones minifundistas.

2.18 Redes de Sensores y Actuadores Inalámbricas: Una Caracterización y Caso de Estudio para Aplicaciones Médicas en Espacios Cerrados

La intención de [30] es presentar una interpretación de las aplicaciones de las WSN en sectores importantes como es el caso de la medicina, el medioambiente, el sector agrícola e industrial, adicional a ello se plantea un caso de estudio para la detección de arritmias cardiovasculares, en pacientes no críticos, durante una sesión de rehabilitación en espacios cerrados y se plantea una arquitectura para la red y los nodos que conforman este tipo de aplicaciones.

2.19 Diseño de enrutamiento en redes de sensores inalámbricos y una Solución para entornos sanitarios

El trabajo realizado en [31] tiene como objetivo estudiar las redes de sensores desde la perspectiva del encaminamiento, subrayando una serie de parámetros a tener en cuenta en el diseño o elección de un protocolo de encaminamiento. Por otro lado, expone una solución de encaminamiento diseñada e implementada para un escenario de telemedida en el que se utiliza una red de sensores inalámbrica para la monitorización remota de pacientes en entornos socio-sanitarios, como puede ser la monitorización cardiaca, temperatura, entre otros aspectos importantes a evaluar de los pacientes sin el uso de métodos intrusivos.

2.20 Sistema Sensorial Inalámbrico para la Detección de Patologías en la Construcción

Debido al creciente interés despertado en el ámbito de la seguridad en la construcción y a que las técnicas que más se utilizaban eran puramente de observación directa por parte de un operario y en las cuales muchas veces no se podían detectar fallas debido a que las mismas se encontraban en lugares no visibles o de difícil acceso por lo que se hace necesario disponer de medios alternativos para detectar patologías [32].

Es por ello que en [33] se plantea como objetivo para el nuevo sistema diseñar una red de localización de patologías a partir de dispositivos embebidos, sensores y tecnología ZigBee [34], cumpliendo con los siguientes requisitos:

- Facilidad de uso
- Tolerancia a fallos
- Escalabilidad
- Bajo consumo
- Flexibilidad

El sistema propuesto está formado por una serie de nodos sensores especializados en la detección de patologías, distribuidos a lo largo de la estructura de un edificio. Estos nodos se comunican de forma inalámbrica mediante una red mallada ZigBee [35], a uno de estos nodos se le asigna la función de ser el coordinador y tiene la función de recoger y almacenar las muestras que envían los nodos sensores, por su lado, “los nodos sensores están alimentados con batería, lo que les proporciona mayor autonomía, pero a costa de utilizar un diseño que minimice su consumo mediante algún tipo de plan energético” [33].

2.21 Un Middleware para las Redes Inalámbricas de Sensores

El trabajo desarrollado en [36] Se presenta un middleware, del tipo máquina virtual, y su implementación en la plataforma Tmote Sky [37], usada en las Redes Inalámbricas de Sensores, la cual fue diseñada para ejecutar un subconjunto de

instrucciones binarias de la máquina virtual de Java. Además, se describen los resultados obtenidos en el desarrollo e implementación de la máquina y sus características finales.

Por otro lado se da a conocer la implementación de un middleware para la ejecución del software de manera independiente de la plataforma utilizada, permitiendo con ello que un componente desarrollado para un sistema pueda ser utilizado por cualquier otro especialmente de un desarrollador distinto, alcanzando con esto la interoperabilidad.

2.22 Diseño de un prototipo inalámbrico para ajustar la posición de los dendrómetros de una explotación agronómica

En [38] se plantea un proyecto desarrollado en la Universidad Politécnica de Cartagena donde los investigadores del área agronómica de han realizado diversos estudios de riego deficitario y riego deficitario controlado en las instalaciones de la Estación Experimental Agroalimentaria “Tomás Ferro” durante los últimos años. Para llevar a cabo estos estudios han desplegado redes cableadas de sensores con una arquitectura centralizada, donde el elemento de almacenamiento y adquisición de datos en un datalogger del fabricante Campbell Scientific [39]. En lo referente a los sensores, han utilizado sensores para monitorizar el estado del ambiente, del suelo y de la planta, entre los que caben destacar los siguientes: tensiómetros, sondas FDR [40], termoradiómetros, y dendrómetros.

Durante el año 2012, se desplegó una red inalámbrica de sensores en paralelo con uno de los sistemas tradicionales de riego deficitario controlado que están instalados en la Estación Experimental Agroalimentaria “Tomás Ferro”. Esta red se desplegó con objeto de evaluar las ventajas e inconvenientes de ambas alternativas. Por ello, se utilizaron sensores idénticos a los empleados en la arquitectura cableada.

2.23 Software de Gestión de memoria para Redes de Sensores Inalámbricas en Entornos industriales

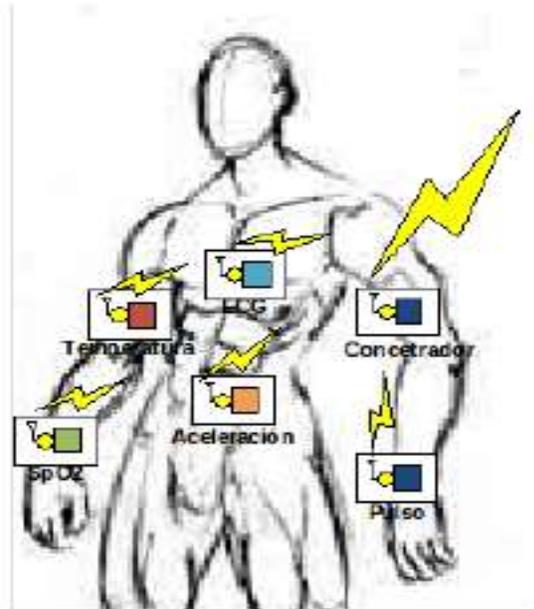
En [41] se plantea la idea de un software pionero que permita desarrollar aplicaciones con el fin de mejorar las limitaciones causadas por tiempos de retardo en el procesado y almacenamiento usando para esto el sistema operativo TinyOS y el Imote2.

El sistema propuesto en este artículo fue probado en el mantenimiento preventivo de maquinaria industrial.

2.24 Arquitectura de e-Salud basada en redes inalámbricas de sensores

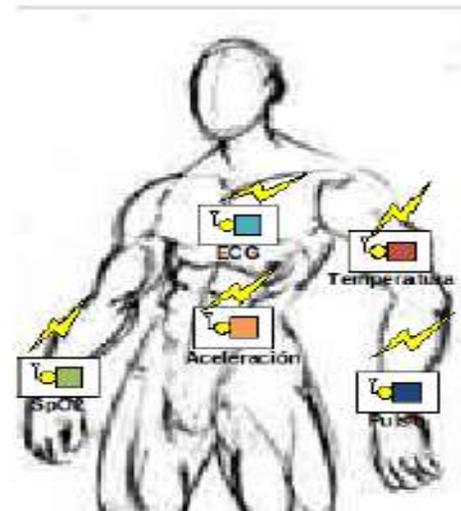
En [42] se presenta una arquitectura basada en redes inalámbricas de sensores para el cuidado de la salud. Se muestra las estructuras propuestas del sistema llevable que debería ser portado por el paciente a monitorizar, las variables fisiológicas que se tienen implementadas bajo la arquitectura propuesta y los resultados que se tienen hasta el momento todo esto basados en el concepto de E-salud que es un campo emergente en la intersección de la informática médica, la salud pública y los negocios [43].

La arquitectura propuesta está integrada por un conjunto de nodos sensores que serán los encargados de medir las variables fisiológicas a tener en cuenta. Para el desarrollo de la arquitectura se tuvieron en cuenta dos posibles escenarios, con el fin de evitar en la mayor medida posible la necesidad de usar cables. El primero escenario se muestra en la figura 14 (a) donde se establece una forma una red de área corporal inalámbrica (WBAN [44]) donde cada sensor se comunica a un concentrador y éste es el responsable de enviar toda la información recolectada a un puente "IEEE 802.15.4/802.11" [45] (WSN/Wi-Fi). En el segundo escenario (ver Figura 14(b)) cada nodo sensor se comunica directamente con el puente WSN/Wi-Fi, lo que implica que si existen n usuarios, cada uno con m nodos sensores, se tendrán $n \times m$ enlaces.



Fuente: Arquitectura de e-Salud basada en redes inalámbricas de sensores. Cervantes de Ávila et al, 2012 [42]

Figura 14 (b) Segundo escenario



Fuente: Arquitectura de e-Salud basada en redes inalámbricas de sensores. Cervantes de Ávila et al, 2012. [42]

2.25 Estudio de las prestaciones en las redes de sensores a través de la influencia de la directividad y eficiencia de los elementos radiantes

En [46] se realiza un estudio y análisis profundo sobre la influencia de los parámetros radiantes como la eficiencia de los sensores sobre las prestaciones y directividad de la antena transmisora y receptora, tipo de antena o el diagrama de radiación de redes formadas por grandes cantidades de estos dispositivos.

En particular, estos parámetros se introducen a través de un modelo de distancias equivalentes que se utiliza para determinar los posibles enlaces de comunicación entre nodos.

Para ello se utilizan redes de sensores homogéneas desplegadas de forma aleatoria en la región de interés. La comunicación entre los nodos se efectúa mediante un sencillo algoritmo de enrutamiento, (*Greedy Forwarding* [47]). Además, se consideran como variables de diseño la densidad de la red y el radio de cobertura de los nodos sensores con el fin de poder establecer algunas guías de diseño de las redes.

Para la evaluación y análisis de las prestaciones de red, medidas como el número de mensajes recibidos en el nodo destino, se han considerado tres escenarios diferentes.

En el primero las antenas son ideales (es decir, omnidireccionales). En el segundo, las antenas de los sensores son dipolos de diferente longitud, modelados tanto en 2 como en 3 dimensiones. Finalmente, se han considerado patrones de radiación correspondientes a dos antenas reales.

2.26 Prototipo funcional de un electrocardiógrafo implementado por medio de redes de sensores inalámbricas (WSN).

El objetivo principal de [48] es el desarrollo de un prototipo funcional de una red electrocardiógrafo para medir las señales cardiacas de los deportistas

y que transmita la señal inalámbricamente para posteriormente visualizar las señales en un computador.

2.27 TinyDomus

El proyecto plasmado en [49] consiste básicamente en desarrollar un software para la gestión del despliegue de una red inalámbrica mediante el uso de dos dispositivos autónomos denominados motas. Cada módulo dispone de un interfaz USB para conectarlas a un equipo de escritorio, adicional a esto se utilizan 3 Leds con los que se puede interactuar además de una serie de sensores que permiten monitorizar ciertos aspectos ambientales y físicos.

La funcionalidad que pretende conseguir el proyecto TinyDomus es la de simular un hogar domótico. De acuerdo a los datos de temperatura y luminosidad se activan dos sensores simulando el comportamiento de un sistema de aire acondicionado o regulando el encendido de los sistemas de iluminación en la habitación donde nos encontremos. Por su parte, el sensor de efecto Hall, sería el responsable de gestionar el sistema de seguridad.

2.28 sistema de control agrícola

En [50] se pretende documentar el trabajo realizado en el desarrollo del Sistema de control agrícola. Así mismo se trata de un estudio inicial de los sistemas empotrados, en concreto los destinados a operar en una red de sensores, este sistema está integrado por dos nodos de red, también llamados motas, encargados de recopilar la información del medioambiente en el interior de un invernadero y ajustarse al clima y medio requerido por determinada cosecha. La carga computacional de las acciones a realizar recae en el PC, que estará conectado a una de las motas para poder formar parte del sistema total.

2. DISERTACIÓN Y CONCLUSIONES

Analizando las temáticas y trabajos llevados a cabo en lo referente a las Redes de Sensores Inalámbricos, es importante resaltar que; aunque para muchos no sea importante el estudio y aplicación en sectores como la agricultura, la ganadería, el transporte y la producción, entre otros muchos ámbitos, es necesario tener en cuenta que sin la implementación de dicha tecnología en estos entornos muchos de los productos que se consumen en nuestros hogares pueden no contar con la cálida, la integridad y la sanidad que se requiere.

Además de ello, son importantes a la hora de monitorizar eventos naturales que pueden afectar la vida del hombre y la permanencia en su entorno de desarrollo social.

Como conclusiones se puede destacar que:

- Las redes de sensores inalámbricos juegan un papel importante en el desarrollo de las labores cotidianas del ser humano.
- Es importante resaltar la viabilidad y flexibilidad que tienen dichas redes para adaptarse a casi cualquier tipo de aplicación que lo requiera.
- Gracias a la implantación de las WSN es posible medir parámetros físicos en tiempo real, permitiendo la reacción hacia el entorno con un gran potencial de actuación.
- Los beneficios de las WSN son innumerables no solo en la parte tecnológica sino también en lo que a medio ambiente se refiere.

3. REFERENCIAS

- [1] M. Zennaro, "Introducción a las Redes de Sensores Inalámbricos ", ed, 2010.
- [2] N. Aakvaag, Frey, an-Erik., "Redes de sensores inalámbricos, Nuevas soluciones de interconexión para la automatización industrial " *Revista ABB*, vol. 2, p. 4, 2006.
- [3] D. Gascó. (2010, Redes de sensores inalámbricos, la tecnología invisible. 3. Available: <http://www.coit.es/publicaciones/bit/bit180-181/53-55.pdf>
- [4] P. Tarrío Alonso, "Redes de sensores, Fundamentos y aplicaciones ", G. d. P. d. D. y. Simulación and U. P. d. Madrid, Eds., ed, 2008.
- [5] F. Ortiz Tapia, "Redes de Sensores Inalámbricos," ed, 2006.
- [6] J. Valverde Alcalá, "Diseño y despliegue de una red de sensores inalámbrica. Aplicación para el control medioambiental en la industria alimentaria," 2010.
- [7] U. Ketprom, Mitrpant, C., Lowjun, P., "Closing Digital Gap on RFID Usage for Better Farm Management " *Management of Engineering and Technology, Portland International Center for*, pp. 1748-1755.
- [8] C. Wei, Ge, Xu., Yaprak, E., Lockhart, R., Taiqian, Yang., Yanqing, Gao., "Using Wireless Sensor Networking (WSN) to Manage Micro-Climate in Greenhouse " presented at the IEEE/ASME International Conference on Mechtronic and Embedded Systems and Applications, 2008.
- [9] Quimitube. (2010). *La muerte dulce: asfixia por monóxido de carbono, CO*. Available: <http://www.quimitube.com/asfixia-por-monoxido-de-carbono-co-muerte-dulce/>

- [10] D. Villón Valdiviezo, "Diseño de una red de sensores inalámbrica para agricultura de precisión," Ingeniería Electronica, PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ, 2009.
- [11] A. I. C. Arce, A.R.B, Tech., A.C.S, Silva., E.J.X, Costa. (2009, Mayo 19 de 2013). Monitorización de rebaños de bovinos a través de redes de sensores inalámbricos. *Archivos de zootecnia* 58, 254. Available: http://scielo.isciii.es/scielo.php?pid=S0004-05922009000200010&script=sci_arttext&tln g=en Available: <http://scielo.isciii.es/pdf/azoo/v58n222/art10.pdf>
- [12] A. C. S. Silva, A.C. Arce, S. Souto and E.J.X. Costa., *A wireless floating base sensor network for physiological response to livestock.* .
- [13] J. Cayani, San Román, Ebert., Chilo, José. y Stenumgaard, Peter, "Caracterización de Ambientes Industriales Para Aplicaciones de Redes de Sensores Inalámbricos en la Región Arequipa," *CIP CDA CIE ELECTRO I+D*, vol. 1, p. 3, 2012.
- [14] N. Instruments. (2013, Junio 6 de 2013). *NI LabVIEW*. Available: <http://www.ni.com/labview/esa/>
- [15] E. D'Agostino, Corti, Rosa Marina., Martínez, Roberto., Giandoménico, Enrique. y Belmonte, Javier., "Redes inalámbricas de sensores inteligentes," presented at the WICC, 2011.
- [16] R. Corti, D'Agostino, Estela., Giandomenico, Enrique., Belmonte, Javier. y Martinez, Roberto. (2008, Mayo 29 de 2013). Clustering Dinámico para Tiempo de Encendido Mínimo en Redes Inalámbricas de Sensores (CLUDITEM): Análisis de la Definición de Clusters 10. Available: <http://dsi.fceia.unr.edu.ar/downloads/sensores/CLEI2008.pdf>
- [17] A. Bermúdez, Casado, Rafael., García, Eva M., Gómez, Álvaro., Quiles, Francisco J. y Reyes Ruiz, J. -Gallardo. (2007, Empleo de una red de sensores en el reajuste de modelos de comportamiento del fuego en incendios forestales Available: https://investigacion.uclm.es/documentos/fi_1179482873-Publicacion_Wildfire07.pdf
- [18] J. A. López Riquelme, Soto, F., Albaladejo, C., Iborra, A. y Suardiá, J. (2010, Junio 1 de 2013). GAIA 2: Un mote multifuncional para agricultura de precisión. Available: http://www.dsie.upct.es/proyectos/web_sicori/pdf/publicacion_9.pdf
- [19] J. A. López Riquelme, Soto, F., Suardiá, J., Iborra, A. (2009, Desarrollo de una Red de Sensores para Agricultura de Precisión. Seminario Anual de Automática, Electrónica Industrial e Instrumentación
- [20] E. Mercadal, Freijo, A., Navarro-Arribas, G. y Borrell. J. (2011, Junio 04 de 2013). Gestión eficiente de permisos en redes de sensores inalámbricos 6. Available: http://repsi2012.mondragon.edu/es/programa/repsi2012_submission_56.pdf
- [21] E. Mercadal, Vidueira, Carlos., Sreenan, Cormac J. y Borrell, Joan. (2012, Improving the dynamism of mobile agent applications in wireless sensor networks through separate itineraries. *Computer Communications*.
- [22] D. C. Restrepo, Ovalle, Demetrio. y Montoya, Alcides. (2009, Manejo e integración de bases de datos en redes de sensores inalámbricos. 10. Available: http://www2.unalmed.edu.co/~pruebas/minas/index.php?option=com_docman&task=doc_view&gid=562&tmpl=component&format=raw&Itemid=285

- [23] R. Fernández Martínez, Pernía Espinoza, Alpha Verónica., Sanz García, Andrés., Las Heras Casas, Jesús. y Cendón, Javier Alfonso., "Nuevas tendencias de tecnologías de sensores inalámbricos para la mejora productiva de cultivos agrícolas," presented at the XIV INTERNATIONAL CONGRESS ON PROJECT ENGINEERING, Madrid, 2010.
- [24] C. S. E. a. P. J. W. Park D. H., "The realization of greenhouse monitoring and auto control system using wireless sensor network for fungus propagation prevention in leaf of crop.," *CCIS - Communications in Computer and Information Science*, p. 65, 2009.
- [25] J. Portilla Berruero, "Plataforma modular e interfaces genéricas de transductores para redes de sensores inalámbricos," 2010.
- [26] D. Egea Roca, "Posicionamiento con una red de sensores inalámbricos (WSN): implementación para una aplicación real ", 2009.
- [27] F. Tapia, "Monitoreo de Sensores Inalámbricos vía Interfaz Web," ed, 2006.
- [28] C. Vergara Martell, Ingeniero Civil en Telecomunicaciones, 2011.
- [29] A. López Fidalgo, López González, Lucía., Seoane Brandariz, Jorge., Cegarra and X. González, "Redes de Sensores sin Cables para Agricultura de Precisión en Regiones Minifundistas " presented at the Conama 10, Congreso Nacional del Medio Ambiente, 2009.
- [30] D. Martínez, Blanes, Francisco., Simo, José., Crespo, Alfonso. (2008, Mayo 20 de 2013). *Redes de Sensores y Actuadores Inalámbricos: Una Caracterización y Caso de Estudio para Aplicaciones Médicas en Espacios Cerrados* Available: <http://www.ceautomatica.uji.es/old/actividades/jornadas/XXIX/pdf/256.pdf>
- [31] R. Hidalgo, Moreno, José Ignacio. (2009, 01 de Junio de 2013). *Routing Design in Wireless Sensor Networks and a Solution for Healthcare Environments.* 7. Available: http://www.revistaieeela.pea.usp.br/iee/e/issues/vol9issue3June2011/9TLA3_24HidalgoLopez.pdf
- [32] C. Broto I Comerma, *Patologías de la Construcción*, 2005-2006.
- [33] S. J. Barro Torres, Escudero Cascón, Carlos J. (2009, Mayo 31 de 2013). *Sistema Sensorial Inalámbrico para la Detección de Patologías en la Construcción* 4. Available: http://gtec.des.udc.es/web/images/pdfConferences/2009/ursi_barro_2009.pdf
- [34] F. L. e. a. Zucatto, "ZigBee for Building Control Wireless Sensor Networks," presented at the Microwave and Optoelectronics Conference, 2007.
- [35] J. C. Valverde Rebaza. (2007, El Estándar Inalámbrico ZigBee. 13. Available: <http://www.seccperu.org/files/ZigBee.pdf>
- [36] C. A. Cota A, Aguilar N, Leocundo., Licea S, Guillermo., "Un Middleware para las Redes Inalámbricas de Sensores " presented at the Encuentro de investigación en ingeniería eléctrica, Zacatecas, 2008.

- [37] M. Corporation, "Tmote Sky Ultra low power IEEE 802.15.4 compliant wireless sensor module " 2006.
- [38] R. P. Narváez Narváez, "*Diseño de un prototipo inalámbrico para ajustar la posición de los dendrómetros de una explotación agronómica*," 2012-2013.
- [39] C. Scientific. (2013, Mayo 31 de 2013). *Campbell Scientific*. Available: <http://www.campbellsci.com/>
- [40] A. Diestre. (Junio 5 de 2013). *Sondas de capacitancia (FDR): Para monitoreo de humedad de suelo*. Available: <http://www.redagricola.com/reportajes/riego/sondas-de-capacitancia-fdr-para-monitoreo-de-humedad-de-suelo>
- [41] D. Rodenas Herráiz, García Sánchez, Antonio Javier y García Sánchez, Felipe. (2011, *Software de Gestión de memoria párr Redes de SensoresInalámbricas en Entornos industriales*. 114. Available: <http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:http://repositorio.bi.b.upct.es:8080/dspace/bitstream/10317/2503/1/2.10.pdf>
- [42] H. Cervantes de Avila, Nieto Hipólito, Juan Iván., Sánchez López, Juan de Dios., Martínez Rosas, and C. Miguel Enrique., Aram Hawa., "Arquitectura de e-Salud basada en redes inalámbricas de sensores " *Revista de difusion científica*, vol. 6, p. 8, 2012.
- [43] D. Malan, Fulford-jones, Thaddeus., Welsh, Matt. and Moulton, Steve. (2004, *CodeBlue: An ad hoc sensor network infrastructure for emergency medical care In International Workshop on Wearable and Implantable Body Sensor Networks*
- [44] **E. Jovanov**, "Wireless Technology and System Integration in Body Area Networks for m Health Applications," *RevistaSalud.com*, vol. 3, 2007.
- [45] D. Yang, Xu, Youzhi., and Gidlund, Mikael. (2011, Junio 6 de 2013). *Wireless Coexistence between IEEE 802.11- and IEEE 802.15.4-Based Networks: A Survey*. *International Journal of Distributed Sensor Networks*, 17. Available: <http://www.hindawi.com/journals/ijdsn/2011/912152/>
- [46] C. Madroño Prados, "Estudio de las prestaciones en las redes de sensores a través de la influencia de la directividad y eficiencia de los elementos radiantes." ol. 6, p. 8, 2012.
- [47] F. Papadopoulos, Krioukov, Dmitri., Boguñá, Marián. and Vahdat, min. (2009, *Greedy Forwarding in Dynamic Scale-FreeNetworks Embedded in Hyperbolic Metric Spaces*. Available: <http://cseweb.ucsd.edu/~vahdat/papers/hyperbolics-infocom10.pdf>
- [48] J. I. Medina Bello, "PROTOTIPO FUNCIONAL DE UN ELECTROCADIÓGRAFO IMPLEMENTADO POR MEDIO DE REDES DE SENSORES INALÁMBRICAS (WSN).", 2011.
- [49] R. Beltrán Sánchez, "TinyDomus," 2011.
- [50] J. Rivero Calera, "Sistema de control agrícola," ed, 2012, p. 52.