

ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES**

**PROYECTO DE GRADO PARA LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERÍA**

**“ESTUDIO DE LAS REDES DE SENSORES BAJO EL
AGUA Y SUS PRINCIPALES APLICACIONES”**

DIEGO FRANCISCO CHICAIZA GARCIA

SANGOLQUÍ – ECUADOR

2009

CERTIFICACIÓN

Se certifica que el trabajo titulado “ESTUDIO DE LAS REDES DE SENSORES BAJO EL AGUA Y SUS PRINCIPALES APLICACIONES”, realizado por el Sr. Diego Francisco Chicaiza García, ha sido guiado y revisado periódicamente y cumple normas estatutarias establecidas por la ESPE, en el Reglamento de Estudiantes de la Escuela Politécnica del Ejército.

Ing. Gonzalo Olmedo
DIRECTOR

Ing. Julio Larco
CODIRECTOR

RESUMEN

Durante la última década, las tecnologías de red han revolucionado la manera en que personas, empresas y organizaciones intercambian información y coordinan sus actividades. En esta década, presumiblemente, seremos testigos de otra revolución: la que tiene que ver con la observación y control del mundo físico.

El presente trabajo pretende dar a conocer los componentes, características, arquitecturas y principales aplicaciones de las UWSN - *Redes de Sensores Bajo el Agua*; la disponibilidad de microsensores y comunicaciones inalámbricas de baja potencia esta permitiendo el despliegue de redes de sensores/actuadores con una alta densidad de distribución y para una multitud de aplicaciones que van desde las puramente biológicas a las de monitorización medioambiental, tanto en tierra, mar y en la atmósfera.

Las redes de sensores con cable no son nuevas y sus funciones han sido tradicionalmente medir niveles de temperatura, líquido, humedad etc. La diferencia entre estos sensores que todos conocemos y la nueva generación de redes WSN - *Redes de Sensores Inalámbricas* es que estas últimas son inteligentes, capaces de poner en marcha una acción según la información que vayan acumulando y, además, no están limitados por su conexión a través de un cable e incluso pueden ser móviles.

DEDICATORIA

El presente trabajo, si bien ha requerido de esfuerzo y mucha dedicación de mi parte, no hubiese sido posible su finalización sin el apoyo moral, económico, cariño y comprensión de mis Padres, quienes han sido un soporte muy fuerte en momentos de angustia y desesperación.

A mis hermanos que me han apoyado durante todos estos años, y por ultimo y no menos importante a todos mis compañeros que estuvieron a mi lado con su ayuda incondicional.

AGRADECIMIENTO

Primero y antes que nada, quiero dar gracias a Dios, por estar conmigo en cada paso que doy, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente.

A mis Padres por brindarme su apoyo desinteresado, a los Señores Profesores de la Escuela Politécnica del Ejército quienes compartieron conmigo sus conocimientos y experiencias durante mi formación profesional.

A una persona muy especial que no necesito nombrar porque tanto ella como yo sabemos que desde lo más profundo de mi corazón le agradezco el haberme brindado todo el apoyo, colaboración, ánimo y sobre todo cariño y amistad.

A mis compañeros de clase por compartir momentos agradables, tristes, momentos que nos hacen crecer y valorar a las personas que nos rodean.

Gracias a todos los que hicieron posible un triunfo más en mi vida.

DIEGO CHICAIZA

PRÓLOGO

En la actualidad, los sensores pueden encontrarse en numerosos sistemas y dispositivos electrónicos, llegando a cambiar el mundo con sus nuevas tecnologías, entre ellas se dan a conocer las WSN - *Redes de Sensores Inalámbricas*; estas redes de sensores puede integrar funcionalidades que antes eran independientes unas de otras, con el fin de lograr máxima eficiencia, sobre todo en los campos de consumo y gestión de energía¹ [1].

Las funciones de las redes de sensores alámbricas, incluyen medir niveles de temperatura, líquido, humedad etc., que a diferencia de la nueva generación de redes de sensores inalámbricas, estas son inteligentes, es decir, capaces de poner en marcha una acción según la información que vayan acumulando y no son limitados por un cable fijo.

Por tal razón, se ha considerado realizar la investigación de esta nueva tecnología de redes WSN, a fin de buscar la información más actualizada y detallada para comprender su funcionamiento, características y sus principales aplicaciones.

En el capítulo 1 se detallan los objetivos y alcances del presente estudio, debidamente justificado.

El capítulo 2 expone algunos conceptos y parámetros que definen a las WSN, relacionados con su constitución y la normalización de la comunicación inalámbrica.

¹ WSN *Red - de Sensores Inalámbricos*, tecnología emergente que cambiará el mundo.

El capítulo 3 describe las UWSN - *Redes de Sensores Bajo el Agua*, su arquitectura, forma de propagación, requerimientos de comunicación y equipos.

El capítulo 4 indica las aplicaciones más importantes que utilizan las redes de sensores inalámbricas, además detalla las diferencias existentes con las UGSN - *Redes de Sensores Terrestres*.

En el capítulo 5 se presentan las conclusiones y recomendaciones obtenidas a lo largo del presente estudio.

ÍNDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA	IV
AGRADECIMIENTO	V
PRÓLOGO	VI
ÍNDICE DE CONTENIDO	VIII
ÍNDICE DE TABLAS	X
ÍNDICE DE FIGURAS	X
ÍNDICE DE ECUACIONES	XI
GLOSARIO DE TÉRMINOS Y LISTA DE SIGLAS, SÍMBOLOS Y ABREVIACIONES	XII
GLOSARIO DE TÉRMINOS	XIV
CAPÍTULO 1	19
GENERALIDADES	19
1.1 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROYECTO.....	19
1.1.1 <i>Antecedentes</i>	19
1.2 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA	20
1.3 ALCANCE DEL PROYECTO	20
1.4 OBJETIVOS.....	21
1.4.1 <i>General</i>	21
1.4.2 <i>Específicos</i>	21
CAPÍTULO 2	22
REDES DE SENSORES INALÁMBRICAS (WSN)	22
2.1 INTRODUCCIÓN	22
2.1.1 IMPORTANCIA DE LAS REDES DE SENSORES INALÁMBRICAS.....	23
2.2 CARACTERÍSTICAS DE UNA WSN	24
2.2.1 CARACTERÍSTICAS MÁS IMPORTANTES:.....	25
2.3 ELEMENTOS DE UNA WSN.....	25
2.3.1 <i>Sensores</i>	26
2.3.2 <i>Nodos (Motas)</i>	28
2.3.2.1 <i>Componentes de un Nodo</i>	31
2.3.3 <i>Gateway</i>	41
2.3.4 <i>Estación Base</i>	42
2.4 SISTEMAS OPERATIVOS.....	43
2.5 ARQUITECTURAS	46
2.6 COMUNICACIÓN INALÁMBRICA DE LAS WSN	49
CAPÍTULO 3	56
REDES DE SENSORES BAJO EL AGUA (UWSN)	56

3.1	PROPAGACIÓN ACÚSTICA BAJO EL AGUA	56
3.1.1	<i>Ondas Acústicas Submarinas</i>	56
3.1.2	<i>Propagación Submarina</i>	63
3.1.3	<i>Factores que influyen en la Comunicación Acústica</i>	68
3.2	ARQUITECTURAS DE COMUNICACIÓN	71
3.2.1	<i>Introducción</i>	71
3.2.2	<i>Arquitecturas</i>	73
3.2.3	<i>UWSN Bidimensional</i>	74
3.2.4	<i>UWSN tridimensional</i>	77
3.2.5	<i>Red con Vehículos Autónomos bajo el agua (AUV's)</i>	79
3.3	EQUIPOS Y FABRICANTES.....	83
3.3.1	<i>Introducción</i>	83
3.3.2	<i>Fabricantes de Transmisores y Microcontroladores</i>	83
3.3.3	<i>Fabricantes de Nodos y Modems</i>	86
3.3.3.1	<i>Características de los Nodos</i>	88
CAPÍTULO 4	92
APLICACIONES	92
4.1	REDES DE SENSORES ACÚSTICAS BAJO EL AGUA (UW-ASN)	92
4.1.1	<i>Principales Diseños de redes</i>	92
4.1.2	<i>Diferencia con las redes de sensores terrestres (UGSN)</i>	97
4.2	APLICACIONES EN ENTORNOS REALES DE LAS WSN	98
4.3	SISTEMA PARA PREVENIR DESASTRES POR EL FENÓMENO DEL NIÑO EN ECUADOR 106	
CAPÍTULO 5	110
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	110
5.1	CONCLUSIONES	110
5.2	RECOMENDACIONES.....	112
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	113
ANEXO	116

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 2.6.1 BANDAS DE FRECUENCIA DE USO NO REGULADO DE ZIGBEE	51
TABLA 3.1.1 TIPOS DE TRANSDUCTORES	58
TABLA 3.1.2 COMPARACIÓN AMBOS MODELOS	65
TABLA 3.3.1 CARACTERÍSTICAS MÁS IMPORTANTES PARA LOS MICROCONTROLADORES USADOS POR EXCELENCIA EN WIRELESS SENSOR NETWORKS.	85
TABLA 3.3.2 CARACTERÍSTICAS MÁS IMPORTANTES A MODO DE COMPARACIÓN PARA LOS CUATRO TRANSMISORES CERTIFICADOS POR ZIGBEE EN WSN.....	86
TABLA 3.3.3 COMPARACIÓN DE NODOS CROSSBOW	89
TABLA 3.3.4 TABLA DE COMPARACIÓN DE NODOS HELICOMM	91
TABLA 3.3.5 TABLA DE CARACTERÍSTICAS MODEM LINKQUEST	91

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 2.3.1 ELEMENTOS DE LAS WSN	26
FIGURA 2.3.2 SENSOR DE POSICIONAMIENTO GLOBAL	27
FIGURA 2.3.3 SENSOR DE TEMPERATURA Y HUMEDAD STH11	27
FIGURA 2.3.4 A) SENSOR DE PRESIÓN B) SENSOR DE FUERZA	28
FIGURA 2.3.5 ESTADO DE LOS NODOS	30
FIGURA 2.3.6 NODOS	30
FIGURA 2.3.7 ESTRUCTURA INTERNA DE UN NODO	31
FIGURA 2.3.8 MEMORIA EPROM	34
FIGURA 2.3.9 MEMORIA EEPROM.....	35
FIGURA 2.3.10 MEMORIA FLASH.....	36
FIGURA 2.3.11 TRANSMISOR.....	38
FIGURA 2.3.12 ANTENA ACARA	40
FIGURA 2.3.13 VERSIÓN ACODADA FIGURA 2.3.14 VERSIÓN RECTA.....	40
FIGURA 2.3.15 ESCENARIO DE UNA RED DE SENSORES.....	41
FIGURA 2.3.16 ESTACIÓN BASE	42
FIGURA 2.5.1 ARQUITECTURA CENTRALIZADA	47
FIGURA 2.5.2 ARQUITECTURA DISTRIBUIDA	48
FIGURA 2.6.1 CAPAS DE RED Y APLICACIÓN DE ZIGBEE.	52
FIGURA 2.6.2 ÁRBOL DE CLUSTERS.....	54
FIGURA 2.6.3 RED EN MALLA GENÉRICA	54
FIGURA 2.6.4 RED EN ESTRELLA	55
FIGURA 3.1.1 A) MODEM ACÚSTICO B) TRANSPONDER ACÚSTICO	59
FIGURA 3.1.2 GRÁFICA DE LA TRAZA BATICELERIMÉTRICA	62
FIGURA 3.1.3 EMISOR Y RECEPTOR CERCA DE LA SUPERFICIE	67
FIGURA 3.1.4 EMISOR Y RECEPTOR A UNA PROFUNDIDAD MEDIA DE LA SUPERFICIE.	67
FIGURA 3.1.5 COMPORTAMIENTO DEL RAYO LÍMITE	68
FIGURA 3.2.1 ILUSTRACIÓN DE UWSN CON MÚLTIPLES GATEWAYS EN LA SUPERFICIE ..	72
FIGURA 3.2.2 UWSN BIDIMENSIONAL.....	74
FIGURA 3.2.3 UWSN TRIDIMENSIONAL	77

FIGURA 3.2.4 RED DE SENSORES CON AUV'S	79
FIGURA 3.2.5 CARIBOU AUV	81
FIGURA 3.2.6 DRIFTER AUV CON BATERÍA SOLAR.....	81
FIGURA 3.2.7 GLIDER AUV	82
FIGURA 4.1.1 AUV	95

ÍNDICE DE ECUACIONES

ECUACIÓN 3.1.1 VELOCIDAD DEL SONIDO EN EL MAR	59
ECUACIÓN 3.1.2 PROPAGACIÓN SUBMARINA.....	63
ECUACIÓN 3.1.3 LEY DE SNELL	66

GLOSARIO DE TÉRMINOS Y LISTA DE SIGLAS, SÍMBOLOS Y ABREVIACIONES

LISTA DE SIGLAS, SÍMBOLOS Y ABREVIACIONES

ACL: Listas de control de acceso.

ADC: Conversor Analógico Digital.

AUV's: Vehículo Autónomo bajo el Agua.

CE: Comunidad Europea.

CPU: Unidad Central de Procesos.

CSMA/CA: Acceso múltiple por detección de portadora con evasión de colisiones.

DAC: Conversor Digital Analógico.

DSP: Procesador Digital de Señales

DSSS: Espectro Ensanchado por Secuencia Directa.

EEPROM: ROM Programable y Borrable Eléctricamente.

EPROM: ROM Programable Borrable de sólo lectura.

FFD: Dispositivo de funcionalidad completa.

GHz: Giga hercios.

GPS: Sistema de Posicionamiento Global.

HID: Dispositivo de Interfaz Humana.

HR: *Relative Humidity* – Humedad Relativa.

Hz: Hercios.

ISI: Interferencia intersimbólica.

Kbps: Kilobits por segundo.

KHz: kilo hercios.

MAC: Control de acceso al medio.

Mbit/s: Megabit por Segundo.

MHZ: Mega hercios.

MIPS: Millones de instrucciones por segundo.

NesC: Network embedded systems C.

OBEX: Intercambio de datos.

°C: Grados centígrados.

OSI: Interconexión de Sistemas Abiertos.

Pa: Pascal

PAN: *Personal Area Network* - Red de área personal.

PCB: *Printed Circuit Board* - Circuito Impreso.

PDA: *Personal Digital Assistant* - Asistente Digital Personal.

PHY: Protocolo de capa Física.

RAM: Memoria de Acceso Aleatorio.

RFD: Dispositivo de funcionalidad reducida.

ROM: Memoria de Solo Lectura.

RTT: *Round time trip* - Tiempo de Ida y Vuelta.

SD: Secure Digital -

SMA: SubMiniature version A.

TCP/IP: Protocolo de Control de Transmisión/Protocolo de Internet.

UGSN: *Underground Sensor Network* - Red de Sensores Terrestres.

UMTS: Sistema Universal de Telecomunicaciones móviles.

UWSN: *Underwater Sensor Network* - Red de Sensores Bajo el Agua.

WPANs: *Wireless Personal Area Network* - Red Inalámbrica de Área Personal.

WSN: *Wireless Sensor Network* - Red de Sensores Inalámbricos.

GLOSARIO DE TÉRMINOS

Actuador: Elemento que puede provocar un efecto sobre un proceso automatizado. Los actuadores son dispositivos capaces de generar una fuerza a partir de líquidos, energía eléctrica y gaseosa. El actuador recibe la orden de un regulador o controlador y da una salida necesaria para activar a un elemento final de control.

Ad-Hoc: Hace referencia a una red generalmente inalámbrica en la que no hay un nodo central, sino que todos los dispositivos están en igualdad de condiciones. Ad Hoc es el modo más sencillo para el armado de una red.

Antena: Dispositivo diseñado con el objetivo de emitir o recibir ondas electromagnéticas hacia el espacio libre. Una antena transmisora transforma corrientes eléctricas en ondas electromagnéticas, y una receptora realiza la función inversa.

Batería Eléctrica: Dispositivo que almacena energía eléctrica usando procedimientos electroquímicos y que posteriormente la devuelve casi en su totalidad; este ciclo puede repetirse por un determinado número de veces.

Bluetooth: Especificación industrial para WPANs - *Redes Inalámbricas de Área Personal* que posibilita la transmisión de voz y datos entre diferentes dispositivos mediante un enlace por radiofrecuencia segura y globalmente libre (2,4 GHz).

Broadcast: Conocido como difusión es un modo de transmisión de información donde un nodo emisor envía información a una multitud de nodos receptores de manera simultánea, sin necesidad de reproducir la misma transmisión nodo por nodo.

Campo electromagnético: Los campos electromagnéticos son una combinación de invisibles campos de fuerza eléctricos y magnéticos. Tienen lugar tanto de forma natural como debido a la actividad humana.

Celeridad: La rapidez o celeridad es la relación entre la distancia recorrida y el tiempo que tomó recorrerla.

Ciclo: Es la menor distancia a partir de la cual una onda se repite. El ciclo viene dado por la longitud de onda, que es el parámetro físico que indica el tamaño de una onda, precisamente, la distancia que hay entre el principio y el final de una onda.

Cluster: Grupo de múltiples ordenadores unidos mediante una red de alta velocidad, de tal forma que el conjunto es visto como un único ordenador, más potente que los comunes de escritorio. Son usualmente empleados para mejorar el rendimiento y/o la disponibilidad por encima de la que es provista por un solo computador típicamente siendo más económico que computadores individuales de rapidez y disponibilidad comparables.

Computación ubicua: Es la integración de la informática en el entorno de la persona, de forma que los ordenadores no se perciban como objetos diferenciados. Desde hace unos años también se denomina inteligencia ambiental. Sus promotores tienen como objetivo insertar dispositivos inteligentes tanto en el entorno como en aparatos de uso diario para que las personas puedan interactuar con ellos de una manera natural y desinhibida en todo tipo de situaciones y circunstancias.

Contaminación: Es la introducción en un medio cualquiera de un contaminante, es decir, la introducción de cualquier sustancia o forma de energía que puede provocar algún desequilibrio, irreversible o no, en el medio inicial.

Estación Base: En el área de las redes informáticas inalámbricas, una estación base es un transmisor/receptor de radio que sirve como nexo de la red de área

local inalámbrica. También puede servir como pasarela entre las redes inalámbrica y fija.

Gateway: Dispositivo que permite interconectar redes con protocolos y arquitecturas diferentes a todos los niveles de comunicación. Su propósito es traducir la información del protocolo utilizado en una red al protocolo usado en la red de destino.

Gradiente: Normalmente denota una dirección en el espacio según la cual se aprecia una variación de una determinada propiedad o magnitud física. En otros contextos se usa informalmente gradiente, para indicar la existencia de gradualidad o variación gradual en determinado aspecto, no necesariamente relacionado con la distribución física de una determinada magnitud o propiedad.

Kernel: Llamado núcleo, es la parte fundamental de un sistema operativo. Es el software responsable de facilitar a los distintos programas acceso seguro al hardware de la computadora o en forma más básica, es el encargado de gestionar recursos, a través de servicios de llamada al sistema.

Memoria: Se refiere a una forma de almacenamiento de estado sólido y otras veces se refiere a otras formas de almacenamiento rápido pero temporal. De forma similar, se refiere a formas de almacenamiento masivo como Discos ópticos y tipos de almacenamiento magnético como discos duros y otros tipos de almacenamiento.

Microcontrolador: Circuito integrado o chip que incluye en su interior las tres unidades funcionales de una computadora: CPU, Memoria y Unidades de E/S, es decir, se trata de un computador completo en un solo circuito integrado.

Microprocesador: Circuito integrado que contiene algunos o todos los elementos necesarios para conformar una (o más) CPU's. En la actualidad este componente electrónico está compuesto por millones de transistores, integrados en una misma placa de silicio.

Nodos: Punto de intersección o unión de varios elementos que confluyen en el mismo lugar. Toman datos del entorno con los sensores y envían la información a la estación base.

Onda: Una onda es una perturbación que se propaga desde el punto en que se produjo hacia el medio que rodea ese punto.

Protocolo: Conjunto de estándares que controlan la secuencia de mensajes que ocurren durante una comunicación entre entidades que forman una red.

Rayl: Unidad de impedancia acústica, que equivale a la presión del sonido de una DINA/cm², dividida por la velocidad de 1 cm/s. La impedancia acústica es el cociente entre la presión y la velocidad que produce en la partícula. La impedancia es 1 rayl si la presión de la unidad produce una unidad de velocidad.

Sensor: Dispositivo capaz de transformar magnitudes físicas o químicas, llamadas variables de instrumentación, en magnitudes eléctricas. Las variables de instrumentación dependen del tipo de sensor. Una magnitud eléctrica obtenida puede ser una resistencia eléctrica (como en una RTD, una capacidad eléctrica (como en un sensor de humedad), una tensión eléctrica (como en un termopar), una corriente eléctrica (como un fototransistor), etc.

Sistema Operativo: Software de sistema, es decir, un conjunto de programas de computadora destinado a permitir una administración eficaz de sus recursos. Comienza a trabajar cuando es cargado en memoria por un programa específico, que se ejecuta al iniciar el equipo, o al iniciar una máquina virtual, y gestiona el hardware de la máquina desde los niveles más básicos, brindando una interfaz con el usuario.

Transceptor: Dispositivo que realiza, dentro de una misma caja o chasis, funciones tanto de transmisión como de recepción, utilizando componentes de circuito comunes para ambas funciones. Dado que determinados elementos se utilizan tanto para la transmisión como para la recepción, la comunicación que

provee un transceptor solo puede ser semiduplex, lo que significa que pueden enviarse señales entre dos terminales en ambos sentidos, pero no simultáneamente.

Transductor: Dispositivo capaz de transformar o convertir un determinado tipo de energía de entrada, en otra de diferente a la salida. El nombre del transductor ya nos indica cual es la transformación que realiza (por ejemplo: electromecánica, transforma una señal eléctrica en mecánica o viceversa), aunque no necesariamente la dirección de la misma.

Transistor: Dispositivo electrónico semiconductor que cumple funciones de amplificador, oscilador, conmutador o rectificador. Actualmente se los encuentra prácticamente en todos los enseres domésticos de uso diario. El transistor consta de un sustrato (usualmente silicio) y tres partes dopadas artificialmente (contaminadas con materiales específicos en cantidades específicos) que forman dos uniones bipolares

Tsunami: Es una ola o serie de olas que se producen en una masa de agua al ser empujada violentamente por una fuerza que la desplaza verticalmente. Terremotos, volcanes, meteoritos, derrumbes costeros o subterráneos e incluso explosiones de gran magnitud pueden generar un Tsunami.

Umbral: Cantidad mínima de señal que ha de estar presente para ser registrada por un sistema.

ZigBee: Especificación que define una solución para comunicaciones inalámbricas de bajo coste y consumo con vistas a constituir la base del desarrollo de redes ubicuas. ZigBee Alliance desarrolla la especificación y certifica sus implementaciones. La versión más reciente es la aprobada en 2006.

CAPÍTULO 1

GENERALIDADES

1.1 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROYECTO

1.1.1 Antecedentes

Los últimos avances tecnológicos han hecho realidad el desarrollo de unos dispositivos distribuidos, diminutos, accesibles y de bajo consumo, que, además son capaces tanto de procesar información localmente como de comunicarse de forma inalámbrica. La disponibilidad de microsensores y comunicaciones inalámbricas permitirá desarrollar redes de sensores y/o actuadores para un amplio rango de aplicaciones.

Como se conoce, la Tierra es un planeta con el 70 % de su superficie cubierta por agua, lo que ha generado un creciente interés en la vigilancia de sus entornos, incluyendo ríos, lagos, mares, océanos, etc., para la exploración científica, explotación comercial y protección del litoral mediante plataformas no tripuladas.

1.2 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA

En los últimos años las redes de sensores se han convertido en una tecnología muy potente para muchas aplicaciones, incluida la vigilancia, medición y control de ambientes submarinos, por lo que ha crecido el interés para su investigación.

El presente estudio pretende dar a conocer la importancia del uso de UWSN como herramienta, debido a su utilidad en actividades como: recopilación de datos oceanográficos, prevención de desastres, vigilancia de la contaminación, exploración en alta mar, en la ayuda de navegación y aplicaciones tácticas de vigilancia.

1.3 ALCANCE DEL PROYECTO

El presente proyecto se enfoca en realizar un estudio teórico de las UWSN, la cual se destaca entre las principales aplicaciones de las WSN, dando a conocer su arquitectura, formas de comunicación, normas, aplicaciones, usos, y establecer las principales diferencias entre las UGSN - *Redes de Sensores Terrestres* y las UWSN.

Se investigará posibles equipos ó dispositivos utilizados en las aplicaciones de estas redes y se destacará las principales aplicaciones de las UWSN en ambientes reales como son la prevención de desastres (tsunamis), redes para muestrear los océanos, vigilancia de la contaminación, unidades tácticas de vigilancia distribuida, etc.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 General

Estudiar las UWSN - *Redes de Sensores Bajo el Agua*, a fin de conocer sus características, aplicaciones y beneficios que permitan la supervisión, exploración y control de ambientes submarinos.

1.4.2 Específicos

- Investigar las características principales de las redes WSN.
- Establecer las arquitecturas y requerimientos de comunicación de las redes UWSN.
- Conocer los distintos equipos ó dispositivos que pueden ser utilizados en las aplicaciones de las redes UWSN.
- Establecer diferencias entre las redes de sensores UGSN y UWSN.
- Determinar las principales aplicaciones de las redes UWSN.

CAPÍTULO 2

REDES DE SENSORES INALAMBRICAS (WSN)

2.1 INTRODUCCIÓN

Hoy en día los sensores pueden encontrarse en numerosos sistemas y dispositivos electrónicos. La mayor parte de estos sensores adolecen de la capacidad de procesar y analizar los datos que detectan, limitándose a funcionar como un transductor que realiza la medición de una o más variables del entorno y envía dicha información a un procesador central.

Sin embargo, los investigadores predicen la llegada de una nueva generación de sensores, dotados de inteligencia propia, capaces de organizarse a sí mismos y de interconectarse de forma inalámbrica con otros semejantes. Surgen así, las llamadas WSN - *Redes de Sensores Inalámbricos*² [2].

Este tipo de redes conllevarán una revolución tecnológica similar a la que tuvo la aparición de Internet. Ya se habla de redes de vigilancia global del planeta, capaces de registrar los hábitos de la gente, realizar un seguimiento de personas y mercancías concretas, monitorizar el tráfico, etc. Aunque para ello habrá que esperar todavía unos años, sí que han surgido múltiples iniciativas y proyectos de investigación de enorme interés y aplicabilidad práctica.

² WSN - *Red de Sensores Inalámbricos*. Formada por un gran número de nodos densamente desplegados, permite la integración con otras tecnologías.

2.1.1 Importancia de las Redes de Sensores Inalámbricas

¿Por qué es importante la investigación en redes inalámbricas de sensores?

Su investigación es indispensable debido a las innumerables posibilidades de aplicación, éstas pueden servir como medios para realizar investigaciones en muchas áreas, por ejemplo, el caso del estudio de glaciales, superficie oceánica, comportamiento de animales entre otros, además de ayudar a hacer realidad la inteligencia ambiental (cómputo ubicuo)³ [3].

El estado del área de redes de sensores es comparable al estado del Internet hace treinta años. El campo es altamente específico a la aplicación, los límites y requerimientos de las aplicaciones no están completamente comprendidos y como consecuencia, muchas de las aplicaciones actuales aún no están listas para el mundo real.

Además estos sistemas pueden ser de bajo consumo y larga duración; tanto cuando operan o permanecen a espera, siendo de gran importancia debido a que:

- Son tecnología emergente que cambiará el mundo a futuro.
- Se pueden integrar con otras tecnologías como son la agricultura, biología, medicina, etc.
- Se pueden realizar aplicaciones antes impensables, interacción de los seres humanos con el medio ambiente, inteligencia ambiental.
- A demás científicos e investigadores de gran renombre se han subido al tren de las WSN.

³ Inteligencia Ambiental también conocida como Cómputo Ubicuo, es la creación, implementación e instalación de tecnología computacional de tal manera que se hace una parte invisible en la cotidianidad de la vida diaria.

2.2 CARACTERÍSTICAS DE UNA WSN

Una WSN está compuesta por un número elevado de nodos distribuidos en el entorno donde se produce el fenómeno que se desea monitorizar. La posición de los nodos no tiene porqué estar predeterminada y se puede suponer que el despliegue es al azar.

También, se contempla que los nodos sean estáticos o con baja, media o alta movilidad, según la aplicación en concreto. Por lo tanto se requieren técnicas típicas de redes ad-hoc para el descubrimiento y conformación de la red. Sin embargo, las WSN no son exactamente redes ad-hoc por lo que dichas técnicas pueden ser un punto de partida, pero es necesario avanzar un paso más, para dar respuesta a su problemática particular [4].

Las WSN están formadas por un alto número de dispositivos, densamente distribuidos y deben ser capaces de encaminar la información desde un origen a un destino sin confiar en una infraestructura externa.

Una característica única de estas redes es el tipo de información que genera y la forma en que lo hace. Normalmente se consideran dos casos:

- Bien la red informa de un suceso ocurrido ó
- Bien el usuario interroga sobre un hecho.

En este último caso, lo habitual en una WSN es que el interés del usuario no se centre en la respuesta concreta de un nodo en cuestión, sino sobre el estado de cierto parámetro en un área determinada, por ejemplo, la zona bajo estudio en la que la temperatura supera un cierto umbral. Como consecuencia de esta necesidad hay que introducir un nuevo concepto, la agregación de la información.

Si todos los nodos que miden un parámetro por encima de cierto umbral deben responder al usuario, probablemente la red se saturará (se tiene miles de nodos con poca capacidad de procesamiento). Por tanto, es necesario desarrollar técnicas para procesar la información en tránsito. De esta manera, la información es procesada y agregada a medida que avanza por la red hacia el destino, con lo que se reduce la carga de la red.

2.2.1 Características más importantes:

- Facilidad de despliegue
- No se utiliza infraestructura de red:
 - Encaminamiento entre nodos sin visión directa con comunicaciones multisalto
- Topología dinámica:
 - Nodos autoconfigurables, tolerancia a fallos.
- Utilización de broadcast.
- Bajo consumo:
 - Funcionamiento con pilas (AA, AAA, tipo botón).
- Larga autonomía:
 - Muy bajo coste.
 - Pequeño tamaño.
 - Operación sin mantenimiento durante varios meses o años.

2.3 ELEMENTOS DE UNA WSN

Un sistema WSN es una red con numerosos dispositivos distribuidos espacialmente, que utilizan sensores para controlar diversas condiciones en distintos puntos, entre ellas: temperatura, sonido, vibración, presión y movimiento. Las WSN están formadas por los dispositivos mostrados en la figura 2.3.1.

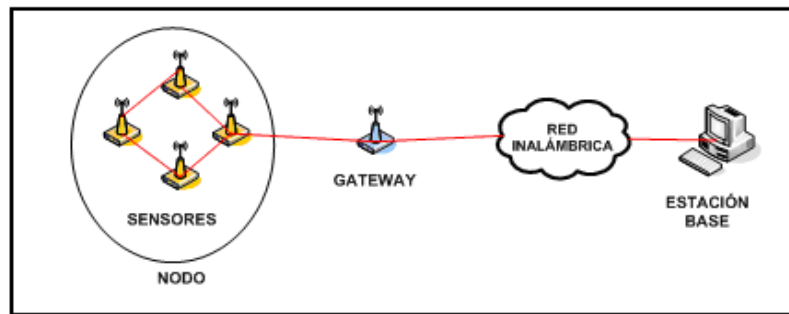


Figura 2.3.1 Elementos de las WSN

Los dispositivos son unidades autónomas que constan de un microcontrolador, una fuente de energía (casi siempre una batería), un radio transceptor y un elemento sensor [5].

2.3.1 Sensores

Los sensores son parte del nodo, toman información del medio y la convierten en señales eléctricas. Estos pueden ser integrados al nodo encontrando, por ejemplo: sensores de humedad, luz, temperatura entre otros [6].

Existen además sensores que se podrán incorporar al nodo de forma dinámica, pudiendo ser cambiado en la medida que se necesite para cierta aplicación en específico. Los sensores se conectarán con el microcontrolador a través de los conversores ADC.

- **Ejemplos de sensores:**

- **De posición:** La función del sensor de posición es medir o detectar la posición de un determinado objeto en el espacio.

Un sistema de posicionamiento global (GPS - *Global Positioning System*) aporta una serie de datos que pueden ser muy útiles, un ejemplo de este servicio es el módulo DS-GPM mostrado en la figura 2.3.2,

fabricado por Total Robots, que entrega datos de latitud, longitud, altitud, velocidad, hora y fecha y posición satelital.

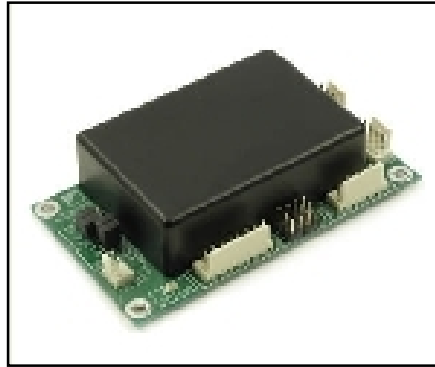


Figura 2.3.2 Sensor de Posicionamiento Global

- **De humedad:** Los sensores de humedad configurados con circuitos integrados que proporcionan una señal acondicionada. Estos sensores son mostrados en la figura 2.3.3; contienen un elemento sensible capacitivo en base de polímeros que interacciona con electrodos de platino. Están calibrados por láser y tienen una intercambiabilidad de +5% HR (Humedad relativa), con un rendimiento estable y baja desviación.



Figura 2.3.3 Sensor de Temperatura y Humedad STH11

- **De presión y fuerza:** Los sensores de presión y fuerza ofrecen una excelente repetitividad y una alta precisión y fiabilidad bajo condiciones ambientales variables. Además, presentan unas características operativas constantes en todas las unidades y una intercambiabilidad sin recalibración.



Figura 2.3.4 a) Sensor de Presión b) Sensor de Fuerza

En la industria hay un amplio rango de sensores de presión, la mayoría orientados a medir la presión de un fluido sobre una membrana. Estos pueden ser necesarios para realizar mediciones sobre fluidos hidráulicos (por dar un ejemplo), aunque es más probable que los medidores de presión disponibles resulten útiles como sensores de fuerza (el esfuerzo que realiza una parte mecánica, como por ejemplo un brazo robótico), con la debida adaptación.

2.3.2 Nodos (Motas)

En los últimos años, las redes de sensores han estado formadas por un pequeño número de nodos que estaban conectados por cable a una estación central de procesamiento de datos [7].

Hoy en día, las redes se centran más en redes de sensores distribuidas e inalámbricas. Pero, ¿por qué distribuidas e inalámbricas?:

Cuando la localización de un fenómeno físico es desconocida, este modelo permite que los sensores estén mucho más cerca del evento de lo que estaría un único sensor.

Entonces, una WSN es un conjunto de elementos autónomos (nodos) interconectados de manera inalámbrica. Además, en muchos casos, se requieren muchos sensores para evitar obstáculos físicos que obstruyan o corten la línea de comunicación.

El medio que va a ser monitorizado no tiene una infraestructura, ni para el suministro energético, ni para la comunicación. Por ello, es necesario que los nodos funcionen con pequeñas fuentes de energía y que se comuniquen por medio de canales inalámbricos.

Los nodos son pequeñas unidades del tamaño de una caja de cerillas que tienen solamente:

- Unos pocos kilobytes de memoria.
- Un procesador de unos cuantos MHz.
- Una radio de pocos metros de alcance.
- Una o dos pilas (tipo AA, AAA o tipo botón).

Toman datos del entorno con los sensores y envían la información a la estación base.

Estados del nodo [8]:

Los nodos pueden tener los siguientes 3 estados⁴:

- **Sleep** (Durmiendo): Mientras no tienen “nada que hacer”, la mayor parte del tiempo se encuentra en este estado.
- **Wake up** (Despertando): Se pretende minimizar este tiempo para pasar rápidamente al estado de trabajo.
- **Active** (Activo): Mínimo período de tiempo de trabajo y retorna inmediatamente al estado sleep.

⁴ Los tres estados que posee un nodo permiten un bajo consumo energético, logrando alcanzar tiempos mayores de vida de sus baterías.

Se trata de buscar transiciones entre estados lo más rápido posibles para alcanzar sleep cuanto antes y conseguir así, el bajo consumo energético.

A continuación, se muestra una gráfica con los diferentes estados posibles de los nodos y de su respectivo consumo:

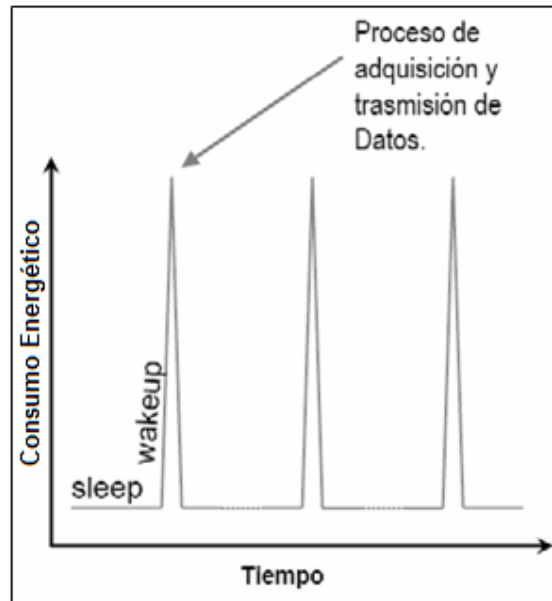


Figura 2.3.5 Estado de los Nodos

Debido a las limitaciones de la vida de la batería, los nodos se construyen teniendo presente la conservación de la energía, y generalmente pasan mucho tiempo en modo sleep "durmiente" de bajo consumo de potencia.



Figura 2.3.6 Nodos

2.3.2.1 Componentes de un Nodo

A continuación se describen las partes que deben formar a un nodo para su óptimo funcionamiento, es decir, trabajar de forma robusta minimizando el consumo de energía y por consiguiente maximizando la vida de este sin intervención humana.

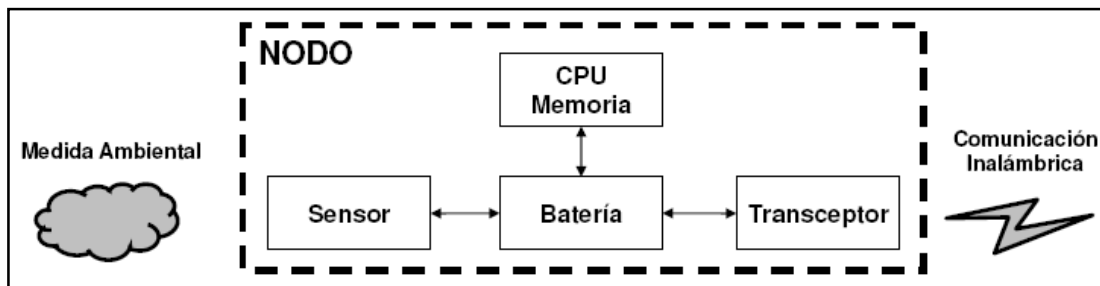


Figura 2.3.7 Estructura Interna de un Nodo

a) La CPU

Se denomina CPU- *Unidad Central de Proceso* a la unidad donde se ejecutan las instrucciones de los programas y se controla el funcionamiento de los distintos componentes que integren, por ejemplo a un microcontrolador. Suele estar integrada en un chip denominado microprocesador.

El microprocesador es el corazón del sistema con una alta escala de integración que permite que millones de transistores estén en su interior. Todos estos millones de transistores forman una serie de circuitos lógicos que permite ejecutar una determinada variedad de instrucciones básicas.

Cada fabricante de microprocesadores tiene sus propias familias de estos, y cada familia su propio conjunto de instrucciones. De hecho, en cada

modelo nuevo de microprocesador se tiende a aumentar el conjunto de instrucciones con respecto al modelo anterior.

El microprocesador secciona en varias fases de ejecución la realización de cada instrucción:

- *Fetch*, lectura de la instrucción desde la memoria principal.
- Decodificación de la instrucción, es decir, determinar que instrucción es y por tanto que se debe hacer.
- *Fetch* de los datos necesarios para la realización de la operación.
- Ejecución.
- Escritura de los resultados en la memoria principal.

Estas fases se realizan en un ciclo de CPU. La duración física de estos ciclos viene determinada por la frecuencia de reloj. El microprocesador dispone de un oscilador de cuarzo capaz de generar pulsos a un ritmo constante, de modo que genera varios ciclos (o pulsos) en un segundo.

Actualmente se habla de frecuencias de Megahertzios (Mhz) o incluso de Gigahertzios (Ghz), lo que supone millones o miles de millones, respectivamente, de ciclos por segundo.

El indicador de la frecuencia de un microprocesador es un buen referente de la velocidad de proceso del mismo, pero no el único. El tamaño de los datos con los que trabaja también determinará en buena medida la potencia real de proceso.

b) Memoria

La memoria es el dispositivo capaz de almacenar información. La memoria de ordenador es la parte del hardware que retiene información que necesita el sistema para funcionar correctamente durante cierto período de tiempo, pudiendo ser pocos segundos o varias decenas de años [9].

Existen varios tipos de memorias destacando entre ellas:

1. Memoria RAM (*Random Access Memory*)

La memoria RAM (memoria de acceso aleatorio) se trata de una memoria de semiconductor en la que se puede tanto leer como escribir información. Se utiliza normalmente como memoria temporal para almacenar resultados intermedios y datos similares no permanentes.

A demás se le llama RAM porque es posible acceder a cualquier ubicación de ella aleatoria y rápidamente.

Esta memoria se compone de uno o más chips y se utiliza como memoria de trabajo para programas y datos. Es un tipo de memoria temporal que pierde sus datos cuando se queda sin energía, por lo cual es una memoria volátil.

2. Memoria ROM (*Read Only Memory*)

La memoria ROM (memoria de sólo lectura) es una memoria de semiconductor destinada a ser leída y no se puede escribir sobre ella y que conserva intacta la información almacenada, incluso en el caso de que se interrumpa la corriente (memoria no volátil). La ROM suele almacenar la configuración del sistema o el programa de arranque de la computadora.

Debido a que no se puede escribir fácilmente, su uso principal reside en la distribución de programas que están estrechamente ligados al soporte físico de la computadora, y que seguramente no necesitarán actualización.

3. Memoria EPROM (*Erasable Programmable Read-Only Memory*)

La memoria EPROM (ROM programable borrable de sólo lectura) es un tipo de chip de memoria ROM no volátil inventado por el ingeniero Dov Frohman. Está formada por celdas de FAMOS (*Floating Gate Avalanche Injection Metal-Oxide Semiconductor*) o transistores de puerta flotante, cada uno de los cuales viene de fábrica sin carga; en la figura 2.3.8 se puede observar la memoria EPROM.

Una vez programada, una EPROM se puede borrar solamente mediante exposición a una fuerte luz ultravioleta. Esto es debido a que los fotones de la luz excitan a los electrones de las celdas provocando que se descarguen. Las EPROMs se reconocen fácilmente por una ventana transparente en la parte alta del encapsulado, a través de la cual se puede ver el chip de silicio y que admite la luz ultravioleta durante el borrado.

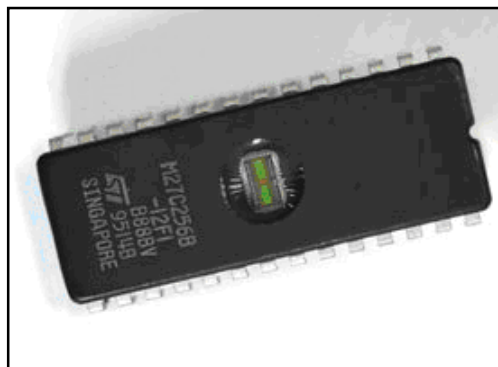


Figura 2.3.8 Memoria EPROM

4. Memoria EEPROM (*Electrically-Erasable Programmable Read-Only Memory*)

La memoria EEPROM (ROM programable y borrable eléctricamente) es un tipo de memoria ROM que puede ser programada, borrada y reprogramada eléctricamente, a diferencia de la EPROM que se debe borrar mediante rayos ultravioleta.

Aunque una EEPROM puede ser leída un número ilimitado de veces, sólo puede ser borrada y reprogramada entre 100.000 y un millón de veces. Estos dispositivos suelen ser integrados dentro de chips como microcontroladores y DSP's para lograr una mayor rapidez.

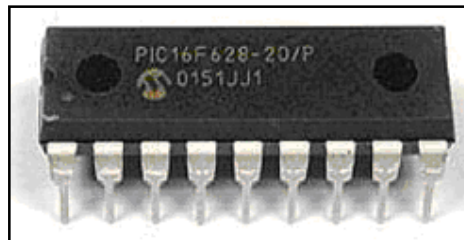


Figura 2.3.9 Memoria EEPROM

5. Memoria FLASH

La memoria *flash* es una forma desarrollada de la memoria EEPROM que permite que múltiples posiciones de memoria sean escritas o borradas en una misma operación de programación mediante impulsos eléctricos, frente a las anteriores que sólo permite escribir o borrar una única celda cada vez.

Por ello, flash permite funcionar a velocidades muy superiores cuando los sistemas emplean lectura y escritura en diferentes puntos de esta memoria al mismo tiempo.

Las memorias flash son de carácter no volátil, esto es, la información que almacena no se pierde en cuanto se desconecta de la corriente, una característica muy valorada para la multitud de usos en los que se emplea este tipo de memoria.

Los principales usos de este tipo de memorias son pequeños dispositivos basados en el uso de baterías como teléfonos móviles, PDA -

Asistente Digital Personal, pequeños electrodomésticos, cámaras de fotos digitales, reproductoras portátiles de audio, etc.

Las capacidades de almacenamiento de estas tarjetas que integran memorias flash comenzaron en 128 MB pero actualmente se pueden encontrar en el mercado tarjetas de hasta 32 GB por parte de la empresa Panasonic en formato SD - *Secure Digital* [10].

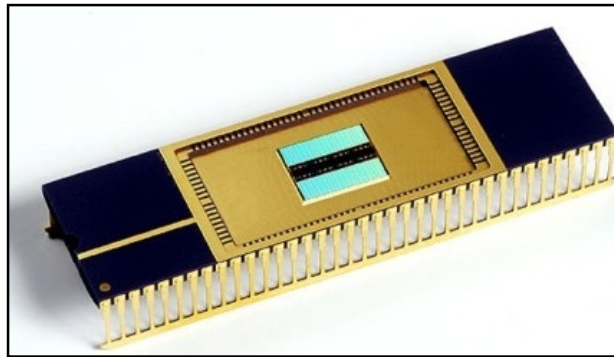


Figura 2.3.10 Memoria FLASH

c) Unidades de entrada y salida

Un dispositivo de entrada/salida es cada uno de los elementos físicos (*hardware*) de un microprocesador ó computadora que permiten al sistema interactuar con elementos externos. En el caso de un nodo será el transmisor y el sensor.

A nivel de *software*, también se llama dispositivo de entrada/salida a cada una de las interfaces o abstracciones proporcionadas por un sistema operativo, para permitir que las aplicaciones accedan y hagan uso de los dispositivos *hardware* de entrada/salida.

La funcionalidad disponible a través de estas interfaces suele estar proporcionada por el elemento del sistema operativo llamado controlador de dispositivo que corresponda al dispositivo en cuestión.

Un Controlador de Dispositivo es un fragmento de *software* capaz de proveer una capa de abstracción entre el sistema y un dispositivo determinado. Al utilizar controladores es posible hacer uso de interfaces estandarizadas que son compatibles con muchos dispositivos diferentes.

Los controladores son proporcionados generalmente por el fabricante, pero existen controladores desarrollados por personas ajenas a estos, siendo destacable la Comunidad de *Software Libre*.

d) Conversor Análogo Digital

El ADC - *Conversor Análogo Digital* es el encargado de convertir señales análogas a digitales (valores de voltajes a palabras digitales).

Se utiliza en equipos electrónicos como ordenadores o computadoras, grabadores digitales de sonido y de vídeo, y equipos de comunicaciones. La señal analógica, que varía de forma continua en el tiempo, se conecta a la entrada del dispositivo y se somete a un muestreo (cuantificación discreta, o asignación de un valor numérico a una determinada intensidad de la señal) a una velocidad fija, obteniéndose así una señal digital a la salida del mismo. Esta señal se puede volver a convertir en analógica mediante un convertidor digital analógico.

Por otra parte el DAC - *Conversor Digital Análogo* convertirá señales digitales a voltajes. Algunas características de un ADC serán la cantidad de bits que use para la conversión, la tasa de muestreo, el temporizador, generación de interrupciones, canales de entrada, registros de almacenamiento y modos de adquisición entre otras.

e) Transmisor

El transmisor es el dispositivo encargado de emitir señales electromagnéticas al canal de comunicación. Además de recibir las señales electromagnéticas que lleguen a él para posteriormente ser procesadas por el microcontrolador; en la figura 2.3.11 se puede apreciar un transmisor.

Existen transmisores que presentan aceleradores de *hardware* los cuales mejoraran en forma circunstancial el desempeño de la transmisión y del nodo. Por otro lado, a veces estos aceleradores de *hardware* se encuentran integrados en el microcontrolador como parte de este cumpliendo exactamente la misma función.

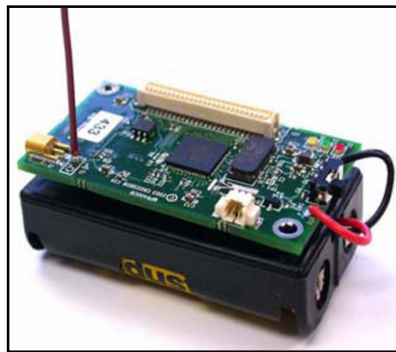


Figura 2.3.11 Transmisor

f) Antena

La antena es un dispositivo capaz de emitir o recibir ondas de radio, está constituida por un conjunto de conductores diseñados para radiar (transmitir) un campo electromagnético cuando se le aplica una fuerza electromotriz alterna.

De manera inversa, en recepción, si una antena se coloca en el seno de un campo electromagnético genera, como respuesta a este campo, una fuerza electromotriz alterna.

El tamaño de las antenas está relacionado con la longitud de onda de la señal de radiofrecuencia transmitida o recibida, debiendo ser, en general, un múltiplo o submúltiplo exacto de esta longitud de onda. Por eso, a medida que se van utilizando frecuencias mayores, las antenas disminuyen su tamaño.

En general existen tres tipos básicos de patrones que caracterizarán la antena: unidireccional, bidireccional y omnidireccional. Para aplicaciones en 2,4 GHz la antena para el nodo podrá ser de dos tipos:

- **Antena PCB (integrada en el circuito)**

Las antenas PCB - *Circuito Impreso* no presentan un patrón omnidireccional tan bueno como las antenas normales pero sin embargo su funcionamiento presenta resultados razonablemente buenos para las aplicaciones con nodos inalámbricos con un rango de 30 metros en lugares cerrados y hasta 70 metros en lugares abiertos. A continuación se muestra un ejemplo de este tipo de antena:

- **Antena ACARA - 2.4/5.2 GHz – Interna**

La antena Acara es una antena en formato PCB que cubre las bandas de 2.4 y 5.2 GHz. presenta un diseño independiente del plano de masa, lo cual la hace ideal tanto para aplicaciones móviles como fijas. (Ver figura 2.3.12).



Figura 2.3.12 Antena ACARA

- **Antena Externa** (Presenta conector SMA)

La antena externa presenta un mejor patrón de radiación a diferencia de las antenas PCB. A continuación se muestra un par de ejemplos de este tipo de antenas:

- **Antena *BT-Stubby* - 2.4 GHz**

La antena BT *Stubby* es una antena de 2.4 GHz para aplicaciones inalámbricas, pueden ser fijas o móviles. Esta antena cuenta con el conector SMA - *subminiaturte version A* y existe en dos versiones Recta y Acodada.

El conector SMA es un conector coaxial hembra el cual es el encargado de conectar el circuito con la antena propiamente [11].



Figura 2.3.13 Versión Acodada



Figura 2.3.14 Versión Recta

2.3.3 Gateway

El *Gateway* es un nodo de sensado común conectado hacia el exterior que funge como puente entre el funcionamiento interno de la red y la unidad de control externa. Más comúnmente conocido como nodo *sink* o sumidero. El *Gateway* es un elemento para la interconexión entre la red de sensores y una red de datos (TCP/IP).

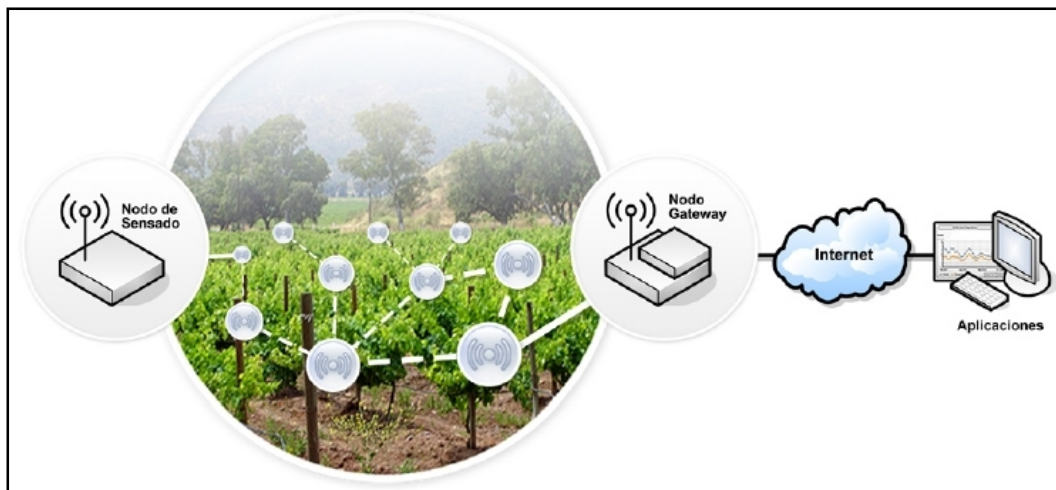


Figura 2.3.15 Escenario de una Red de Sensores

En la Figura 2.3.15 se puede observar un escenario típico de una red de sensores. Su funcionamiento inicia al desplegar los nodos en el área que se desea estudiar, al hacer esto, se establece una asociación con los elementos a ser estudiados, por ejemplo: plantas, criaturas, ambientes, etc. Esta asociación puede ser una a una o bien destinar varios sensores a un solo objeto y viceversa.

Una vez que se han distribuido una cantidad suficiente de sensores, la red puede iniciar la tarea para la que fue programada. Las redes de sensores están diseñadas para funcionar de manera desatendida a no ser que necesiten de mantenimiento, como puede ser reemplazar algún sensor dañado o algún nodo sin energía.

Los resultados de la tarea son enviados a una entidad externa conectada a la red, por ejemplo una aplicación a través de Internet, a través de uno de los nodos de la red que funge como puente; a este nodo se le conoce como nodo *gateway*. Esta comunicación es bidireccional, de esta manera la entidad externa puede inyectar tareas a la red de sensores.

Idealmente, estas tareas le son indicadas a un alto nivel, es decir, mediante el uso de expresiones como: (reportar temperatura promedio en el área). Adicionalmente los nodos pueden trabajar de manera cooperativa para, procesando una pequeña parte de la tarea, fusionar las lecturas y obtener el resultado final.

2.3.4 Estación Base

Las estaciones base son uno de los componentes más relevantes de una WSN, con muchos más recursos de cálculo, energía y de comunicación. Actúan como entrada entre los nodos de sensores y el usuario final. La estación base es el recolector de datos basado en un ordenador común o sistema embebido.



Figura 2.3.16 Estación Base

2.4 SISTEMAS OPERATIVOS

Los sistemas operativos para WSN son menos complejos que los de uso general. Las WSN no tienen el nivel de interactividad que el de una aplicación para PC, por tanto, el sistema operativo no necesita incluir las ayudas para interfaces de usuario. Además, las restricciones de recursos en términos de memoria y consumo hacen que mecanismos tales como memoria virtual, sean innecesarios o imposibles de ejecutar.

Se describe los principales sistemas operativos de las WSN:

a) Sistema Operativo Bertha (*Pushpin Computing Platform*)

El sistema operativo Bertha es una plataforma de *software* diseñada e implementada para modelar, testear y desplegar una red de sensores distribuida de muchos nodos idénticos.

Sus principales funciones son:

- Administración de procesos
- Manejo las estructuras de datos
- Organización de los vecinos
- Interfaz de Red

b) Sistema Operativo Nut/OS

Nut/OS es un pequeño sistema operativo para aplicaciones en tiempo real, que trabaja con CPU's de 8 bits.

Sus principales funciones son:

- Multihilo
- Mecanismos de sincronización

- Administración de memoria dinámica
- Temporizadores asíncronos
- Puertos serie de Entrada/Salida

Está diseñado para procesadores con los siguientes recursos:

- 0.5 kBytes RAM
- 8 kBytes ROM
- velocidad de 1 MIPS – millones de instrucciones por segundo.

c) Sistema Operativo Contiki

Contiki es un Sistema Operativo de libre distribución para usar en un limitado tipo de computadoras, desde los 8 bits a sistemas embebidos en microcontroladores, incluidas motas de redes inalámbricas.

d) Sistema Operativo CORMOS (*Communication Oriented Runtime System for Sensor Networks*)

El sistema operativo CORMOS es específico para redes de sensores inalámbricas como su nombre indica.

e) Sistema Operativo eCos (*Embedded Configurable Operating System*)

eCos es un sistema operativo gratuito, en tiempo real, diseñado para aplicaciones y sistemas embebidos que sólo necesitan un proceso. Se pueden configurar muchas opciones y puede ser personalizado para cumplir cualquier requisito, ofreciendo la mejor ejecución en tiempo real y minimizando las necesidades de *hardware*.

f) Sistema Operativo EYESOS

El sistema operativo Eyesos se define como un entorno para escritorio basado en Web, permite monitorizar y acceder a un sistema remoto mediante un sencillo buscador.

g) Sistema Operativo MagnetOS

MagnetOS es un sistema operativo distribuido para redes de sensores o ad hoc, cuyo objetivo es ejecutar aplicaciones de red que requieran bajo consumo de energía, adaptativas y fáciles de implementar.

h) Sistema Operativo TinyOS

Es un sistema operativo, desarrollado en la Universidad de Berkeley, como sistema base para la construcción de aplicaciones en redes inalámbricas de sensores (WSN) [12].

Sus principales funciones son:

- Soporta diferentes plataformas de sensores.
- Puede ser aplicado a otros sistemas embebidos.
- Contiene numerosas aplicaciones pre-construidas.
- Dispone de herramientas que facilitan el desarrollo.
- El lenguaje de TinyOS es NesC, un lenguaje que deriva de C.
- Es un proyecto de código abierto (*Open Source*).

- **El Kernel de TinyOS**

Estructura de dos niveles de planificación:

- Eventos

- Pensados para realizar un proceso pequeño.
- Por ejemplo: interrupciones del *timer*, interrupciones de final de conversión análogo-digital.
- Pueden interrumpir las tareas que se están ejecutando.

- Tareas

- Están pensadas para hacer una cantidad mayor de procesamiento.
- No son críticas en tiempo. Por ejemplo: calcular el promedio en una tabla las tareas se ejecutan en su totalidad.
- En tareas de larga duración, la solicitud de iniciar una tarea, y el término de ella son funciones separadas (característica propia de la programación orientada a componentes).

i) Sistema Operativo LiteOS

LiteOS es un sistema operativo desarrollado en principio para calculadoras, pero que ha sido también utilizado para redes de sensores.

2.5 ARQUITECTURAS

Básicamente hay dos arquitecturas propuestas para las WSN y son:

- Centralizadas y
- Distribuidas

- **Arquitectura Centralizada**

Los problemas principales que aparecen en este tipo de arquitecturas son:

- Aparición de cuellos de botella en el *Gateway*.
- Gran consumo de energía en las comunicaciones.
- Tiempo de vida de la red corta.

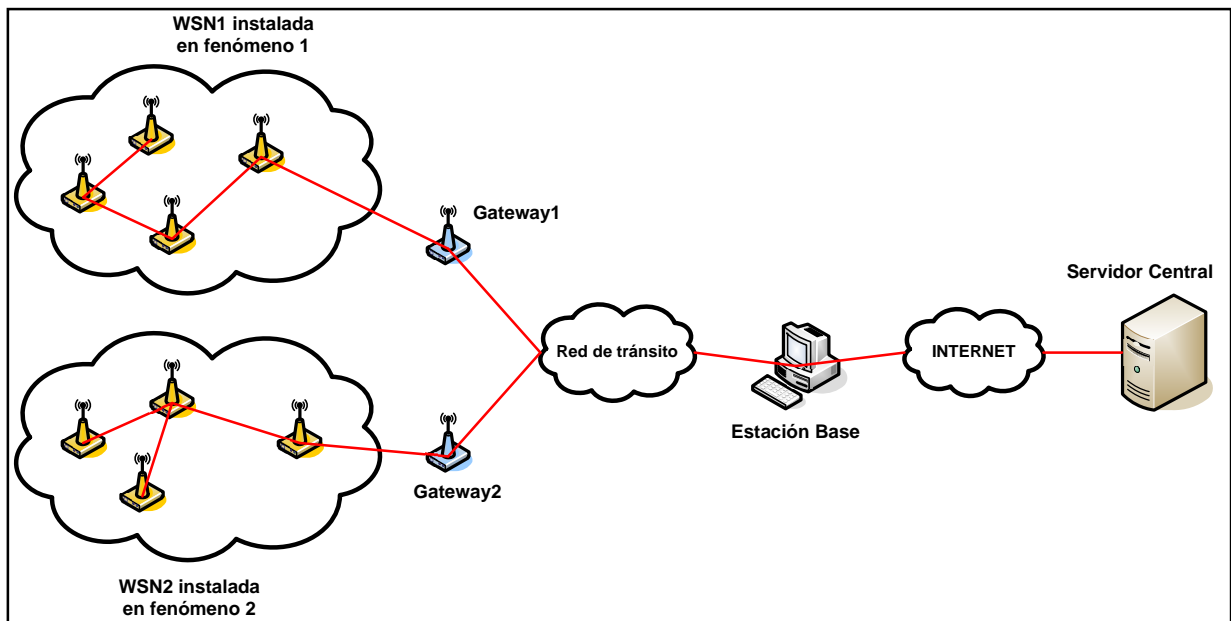


Figura 2.5.1 Arquitectura Centralizada

- El *Gateway* se encarga de coordinar la captura de datos y envíos de toda la red. El *Gateway* tiene el siguiente funcionamiento:

DESPERTAR – MEDIR – TRANSMITIR - DORMIR

- La Estación Base se encarga de realizar el almacenamiento y envío de resultados hacia el servidor central como se observa en la gráfica 2.5.1. Además ofrece conectividad a Internet.
- El Servidor Central permite realizar el análisis de los datos recibidos, la visualización de resultados y técnicas de *data mining*⁵ [13].

⁵ *Data Mining* es la extracción de información oculta y predecible de grandes bases de datos, es una poderosa tecnología nueva con gran potencial para ayudar a las compañías a concentrarse en la información más importante de sus Bases de Información.

- **Arquitectura Distribuida**

Dada la naturaleza intrínseca de la WSN se tiende a una computación distribuida (en la que los nodos se comunican sólo con otros sensores dentro de un vecindario).

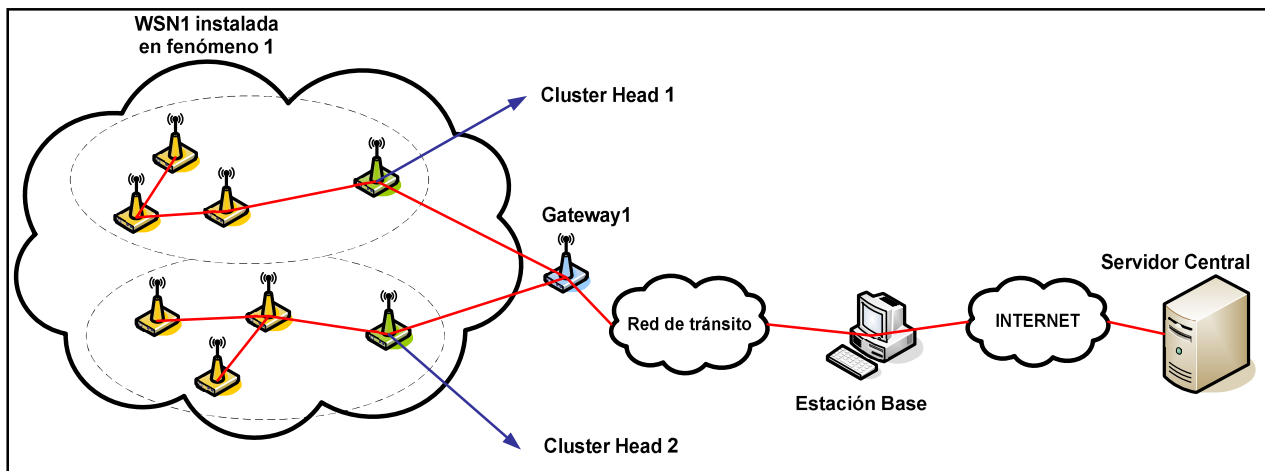


Figura 2.5.2 Arquitectura Distribuida

En el *cluster*, los nodos cooperan y ejecutan algoritmos distribuidos para obtener una respuesta global que el *cluster head* se encargará de comunicar a la Estación Base.

- El Gateway se encarga de coordinar la captura de datos y envíos de toda la red. El Gateway tiene el siguiente funcionamiento:

DESPERTAR – MEDIR – TRANSMITIR - DORMIR

- La Estación Base se encarga de realizar el almacenamiento y envío de resultados hacia el servidor central como se observa en la gráfica 2.5.2. Además ofrece conectividad a Internet.
- El Servidor Central permite realizar el análisis de los datos recibidos, la visualización de resultados y técnicas de *data mining*.

2.6 COMUNICACIÓN INALAMBRICA DE LAS WSN

Todos los estándares se han desarrollado con un objetivo distinto. No son la excepción el IEEE 802.11 (*Wi-Fi*), IEEE 802.15.1 (*Bluetooth*), e IEEE 802.15.4 (*ZigBee*), y se diferencian principalmente en las características y el rango de aplicación de las mismas [14].

IEEE 802.15.4 se ha creado específicamente para el desarrollo de redes inalámbricas de baja velocidad, bajo costo y consumo de potencia. Este estándar está orientado a aplicaciones donde la velocidad de transferencia no es muy alta, pero permite que los nodos de la red se puedan alimentar usando baterías que los alimentarán durante años.

IEEE 802.15.4, es por lo tanto el estándar que al momento se adapta de mejor manera a los requisitos que implica el desarrollo de las redes de sensores.

A continuación se describe el Standard 802.15.4.⁶

ZigBee (IEEE 802.15.4) [15]

Tecnología dirigida a las necesidades de mercado de redes inalámbricas de bajo coste basadas en la norma IEEE 802.15.4. Capas de red y aplicación sobre 802.15.4. Primer perfil publicado a mediados de 2003, aprobado entre mayo de 2003 y enero de 2005.

ZigBee es un consorcio industrial sin ánimo de lucro para definir especificaciones globales de aplicaciones inalámbricas fiables, económicas y de baja potencia basadas en la norma IEEE 802.15.4. Seis promotores (*Honeywell, Invensys, Mitsubishi, Motorola, Philips, y Samsung*) y más de 80 participantes.

⁶ IEEE 802.15.4, Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos, estándar que define el nivel físico y el control de acceso al medio de redes inalámbricas de área personal.

- **Características de ZigBee**

Conectividad inalámbrica entre dispositivos económicos de baja complejidad, bajo coste, fiabilidad, baja potencia, y baja velocidad.

- Menor potencia y coste que otras WPAN (como *Bluetooth*).
- Potencia de transmisión de 1mW (hasta 10mW en CE - *Comunidad Europea*, hasta 100 mW en EEUU).
- Los nodos están gran parte del tiempo “dormidos”. Larga duración: 2 años.
- Rango alcance: 10 - 75 m.
- Se permiten hasta un total de 65534 nodos/red.
- 3 bandas de comunicación: 868MHz (20Kbps), 915MHz (40Kbps), 2.4GHz (250Kbps).
- Utiliza las capas inferiores definidas en 802.15.4
- Define las capas de red y de soporte a las aplicaciones.
- La Alianza ZigBee promueve el uso de la especificación y certifica equipos.

- **Arquitectura de los protocolos**

Los dispositivos se relacionan entre sí a través de una red inalámbrica sencilla. La definición de los niveles se basa en el modelo OSI - *Interconexión de Sistemas Abiertos*. Aunque los niveles inferiores se definen en el estándar, se prevé la interacción con el resto de niveles, posiblemente por medio de un subnivel de control de enlace lógico basado en IEEE 802.2, que acceda a MAC - *Control de Acceso al Medio*, a través de un subnivel de convergencia. La implementación puede basarse en dispositivos externos o integrarlo todo en dispositivos autónomos [16].

El nivel físico (PHY - *Physical Layer Protocol*) provee el servicio de transmisión de datos sobre el medio físico propiamente dicho, así como la interfaz con la entidad de gestión del nivel físico, por medio de la cual se puede acceder a todos los servicios de gestión del nivel y que mantiene una base de datos con información de redes de área personal relacionadas.

De esta forma, PHY controla el transceptor de radiofrecuencia y realiza la selección de canales junto con el control de consumo y de la señal. Opera en una de tres posibles bandas de frecuencia de uso no regulado.

Tabla 2.6.1 Bandas de frecuencia de uso no regulado de ZigBee ⁷

	Banda	Cobertura	Tasa Datos	# de Canales
2,4 GHz	ISM	Mundial	250 Kbps	16
868 MHz		Europa	20 Kbps	3
915 MHz	ISM	América	40 Kbps	10

Estas bandas sufrieron una revisión en el año 2006 quedando de la siguiente manera:

- 868-868,8 MHz: Europa, extendido a tres canales en la revisión de 2006.
- 902-928 MHz: Norte América, extendido a treinta canales en la revisión de 2006.
- 2400-2483,5 MHz: uso en todo el mundo, extendido a dieciséis canales en la revisión de 2006.

La versión original del estándar, de 2003, especifica dos niveles físicos basados en espectro ensanchado por secuencia directa (DSSS - *direct sequence spread spectrum*):

- Uno en las bandas de 868/915 MHz con tasas de 20 y 40 kbps.
- Uno en la banda de 2450 MHz con hasta 250 kbps.

La revisión de 2006 incrementa las tasas de datos máximas de las bandas de 868/915 MHz, que permiten hasta 100 y 250 kbps.

⁷ Frecuencias de uso no regulado, bandas de comunicación de ZigBee.

El control de acceso al medio transmite tramas MAC usando para ello el canal físico. Además del servicio de datos, ofrece un interfaz de control y regula el acceso al canal físico de la red. También controla la validación de las tramas y las asociaciones entre nodos, y garantiza *slots* de tiempo. Por último, ofrece puntos de enganche para servicios seguros.

El estándar no define niveles superiores ni subcapas de interoperabilidad. Existen extensiones, como la especificación de *ZigBee*, que complementan al estándar en la propuesta de soluciones completas.

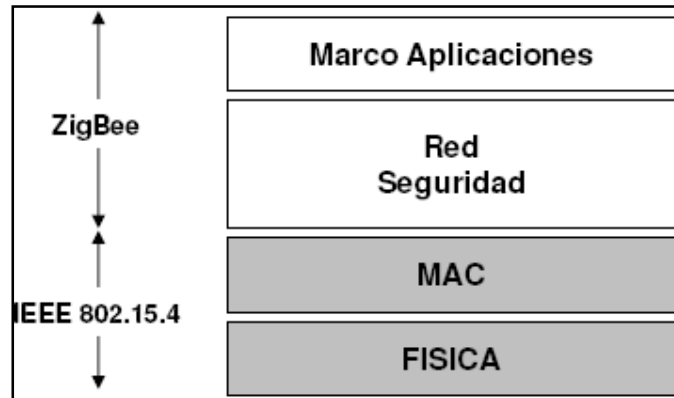


Figura 2.6.1 Capas de Red y aplicación de ZigBee.

- **Modelo de red**

El estándar define dos tipos de nodo en la red:

1. El primero es el dispositivo de funcionalidad completa FFD - *Full Function Device*. Puede funcionar como coordinador PAN - *Red de Área Personal* ó como un nodo normal.

Con este se implementa un modelo general de comunicación que le permite establecer un intercambio con cualquier otro dispositivo.

Puede, además, encaminar mensajes, en cuyo caso se le denomina coordinador (coordinador de la PAN si es el responsable de toda la red y no sólo de su entorno).

2. El segundo es el dispositivo de funcionalidad reducida RFD - *Reduced Function Device*. Se plantean como dispositivos muy sencillos con recursos y necesidades de comunicación muy limitadas. Por ello, sólo pueden comunicarse con FFD's y nunca pueden ser coordinadores.

Las redes de nodos pueden construirse como redes punto a punto o en estrella. En cualquier caso, toda red necesita al menos un FFD que actúe como su coordinador.

Las redes están compuestas por grupos de dispositivos separados por distancias suficientemente reducidas; cada dispositivo posee un identificador único de 64 bits, aunque si se dan ciertas condiciones de entorno en éste pueden utilizarse identificadores cortos de 16 bits. Probablemente éstos se utilizarán dentro del dominio de cada PAN separada.

Las redes punto a punto pueden formar patrones arbitrarios de conexionado, y su extensión está limitada únicamente por la distancia existente entre cada par de todos. El estándar no define un nivel de red, por lo que no se soportan funciones de ruteo de forma directa, aunque si dicho nivel se añade pueden realizarse comunicaciones en varios saltos.

Pueden imponerse otras restricciones topológicas; en concreto, el estándar menciona el árbol de clusters como una estructura que aprovecha que los RFD's sólo pueden conectarse con un FFD al tiempo para formar redes en las que los RFD's son siempre hojas del árbol, y donde la mayoría de los nodos son FFD's. (Ver figura 2.6.2).

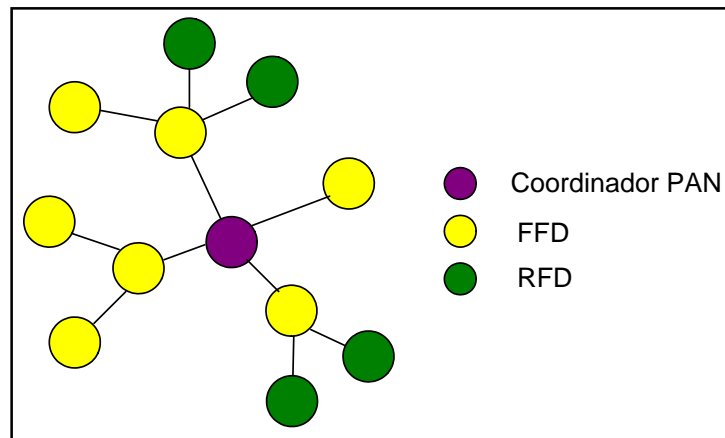


Figura 2.6.2 Árbol de Clusters

Puede relajarse la estructura para formar redes en malla genéricas, cuyos nodos sean árboles de *clusters* con un coordinador local para cada *cluster*, junto con un coordinador global.

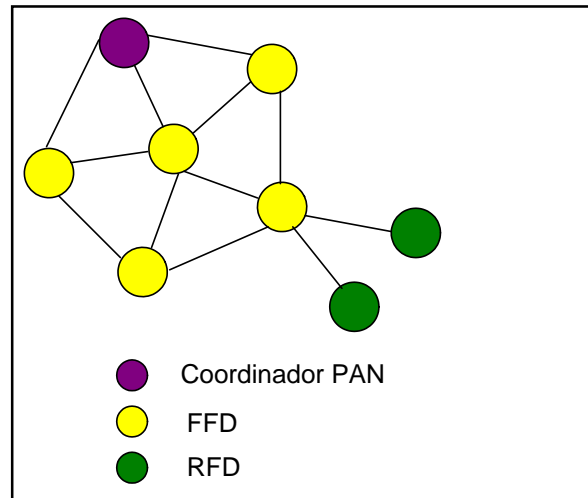


Figura 2.6.3 Red en Malla Genérica

También pueden formarse redes en estrella, como se muestra en la figura 2.6.4., en las que el coordinador va a ser siempre el nodo central.

Una red así se forma cuando un FFD decide crear su PAN y se nombra a sí mismo coordinador, tras elegir un identificador de PAN único. Tras ello, otros dispositivos pueden unirse a una red totalmente independiente del resto de redes en estrella.

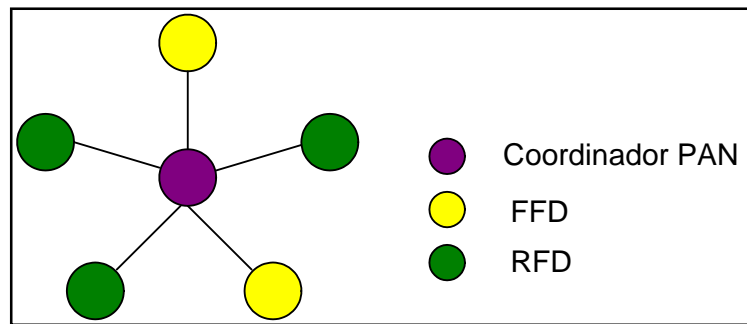


Figura 2.6.4 Red en Estrella

CAPÍTULO 3

REDES DE SENSORES BAJO EL AGUA (UWSN)

3.1 PROPAGACIÓN ACÚSTICA BAJO EL AGUA

3.1.1 Ondas Acústicas Submarinas

Como procedimientos de comunicación bajo el agua existen cuatro métodos generales:

- Óptico
- Magnético
- Eléctrico
- Acústico

- **¿Por qué se utiliza la acústica acuática?**

El agua es muy opaca a la luz infrarroja y ultravioleta, no siendo particularmente transparente para luz visible. La transmisión y detección magnética puede utilizarse para distancias relativamente cortas. Las ondas de radio o electromagnéticas se atenúan rápidamente al propagarse por el agua salada, por ser ésta buena conductora.

La transmisión de información bajo el agua por medio de ondas acústicas es un mejor método que los anteriormente mencionados en la sección 3.1.1, ya que el agua es un buen medio para transmisión de ondas acústicas, inclusive mejor

que el aire. Por tanto, excepto para aplicaciones específicas, el método acústico es el más utilizado para transmisión de señales bajo el agua.

Muchos factores influyen sobre la transmisión del sonido en este medio y se destacan los siguientes factores:

- Tanto la superficie como el fondo del mar afectan a la transmisión. La superficie del mar produce una reflexión casi perfecta de las ondas acústicas, debido al cambio de impedancia de un medio a otro. No obstante, las olas hacen que la superficie no sea plana. Además la forma del fondo marino también es variable.
- El mar no es un medio homogéneo, sino que está estratificado verticalmente mediante variaciones de temperatura y densidad.
- El mar no es un medio isótropo debido a las variaciones de presión y densidad del agua del mar.

Además hay otros problemas que se pueden encontrar al realizar una transmisión por el mar, como pueden ser ruidos producidos por los organismos marinos, barcos, ruido de superficie, ruido de la lluvia, ruido debido a corrientes y cambios de presión hidrostática.

La acústica submarina tiene un gran número de aplicaciones de investigación e industriales. Además es útil en oceanografía, en las marinas de guerra mercante y en el área de comunicaciones.

Un transductor es cualquier dispositivo capaz de convertir un tipo de energía en otra, los transductores empleados en acústica convierten energía eléctrica en acústica e inversamente. Así pueden compararse los transductores acústicos empleados bajo el agua con los micrófonos y altavoces usados en el aire pero con las siguientes diferencias fundamentales [17]:

- o Un transductor submarino necesita 60 veces más potencia para proyectar la misma cantidad de energía que un altavoz equivalente usado en el aire.

- La presión ejercida por el medio acuático es mayor que la ejercida por el aire y además aumenta con la profundidad, lo que obliga a dotar a los transductores de una cierta resistencia mecánica.

Existen dos tipos de transductores submarinos:

- Proyector: es el emisor.
- Hidrófono: es el receptor.

Los transductores deben tener una gran estabilidad, alta sensibilidad y respuesta lineal. Asimismo deben ser muy resistentes a altas presiones hidrostáticas e independientes de la temperatura, existen varios tipos de transductores y se aprecian en la tabla 3.1.1.

Tabla 3.1.1 Tipos de Transductores

Tipo	Características
Explosivos	Generan la señal en el agua mediante una explosión de corta duración y gran ancho de banda. Se aplican en prospección de hidrocarburos, eco-localización marina, posicionamiento y guerra submarina.
Cañones y chorros de gas o agua	Emiten a bajas frecuencias (4-1000Hz). Liberan de rápidamente aire, vapor de agua o agua a presión, u otro tipo de gas. Tienen el problema de la formación de burbujas en el agua.
Descargas eléctricas de alta potencia o SPARKERS	Generan la seña mediante dos electrodos que descargan un alto potencial entre ellos, vaporizando el agua que los rodea. Inconveniente, las burbujas, que limitan el ancho de banda útil. Varía su frecuencia con la profundidad.
Dispositivos hidráulicos	Genera una onda continua, no un impulso. Usan un motor que mueve un pistón. Frecuencias bajas. Son muy grandes y pesados.
Electrodinámicos	Funcionan como un altavoz. Generan señales de poca intensidad acústica.
Electrostáticos	Funcionan como un micrófono. Son emisores, receptores. Muy lineales. Se usan como calibradores.
Piezoeléctricos	Se basan en materiales capaces de adquirir una gran carga eléctrica entre sus caras al ser sometidos a una fuerza mecánica, como el cuarzo. Inconvenientes: muy sensibles al calor. Algunos además son solubles en agua.
Electrostrictivos	Como los piezoeléctricos pero prepolarizados. Inconveniente: se pueden despolarizar.
Magnetostrictivos	Basados en materiales que cambian de tamaño al ser sometidos a un campo magnético. Gran tamaño y poca potencia, pero gran resistencia mecánica.
Otros tipos	Se usan nuevos materiales y sistemas con láser.

Para la comunicación bajo el agua se utilizan modems acústicos. Los *underwater* modems pueden ofrecer ventajas financieras y operacionales, sin embargo, este potencial rara vez se realiza, a menudo porque los módems no se comunican de forma fiable ya que tienen un gran consumo de energía.

Los módems inalámbricos son la elección ideal para las comunicaciones submarinas, cuando la máxima fiabilidad y diseño flexible de integración son fundamentales para el éxito de las aplicaciones.



Figura 3.1.1 a) Modem Acústico b) Transponder Acústico

- **VELOCIDAD DEL SONIDO EN EL MAR**

Un parámetro importante es la celeridad, es decir el valor escalar de la velocidad, dada por la ecuación 3.1.1. Tratándose del agua del mar la propagación se realiza mediante ondas esféricas y en todas direcciones.

$$c = \frac{1}{\sqrt{u d}}$$

Ecuación 3.1.1 Velocidad del sonido en el mar

Donde:

c : Celeridad (m/s).

u : Coeficiente de compresibilidad en Pa^{-1} ⁸

⁸ El pascal (símbolo Pa) es la unidad de presión del Sistema Internacional de Unidades. El pascal se define como:
 $\text{Pa} = \text{N} / \text{m}^2$; $\text{N} = \text{Kg} \text{ m} / \text{s}^2$.

d : Masa específica (Kg/m³)

- Pero el coeficiente de compresibilidad del medio varía con la profundidad, mientras que la masa específica depende de la temperatura y salinidad del agua [18].
- La celeridad con la que el sonido se propaga en el mar no es uniforme, los rayos sonoros (las trayectorias que siguen los frentes de ondas), dependen de este hecho.
- Teniendo esto en cuenta se puede dar un valor de la velocidad gracias a la siguiente ecuación empírica, la cual se indica a continuación:

$$c = 1449 + 4,6T - 0,055T^2 + 0,0003T^3 + (1,39 - 0,012T)(S - 35) + 0,01d$$

Donde:

c : Velocidad del sonido en m/s.

T : Temperatura del agua en grados centígrados.

S : Salinidad expresada en tanto por mil.

d : Profundidad con relación a la superficie del mar en metros.

Se considera generalmente una velocidad estándar para estudiar los fenómenos de propagación de 1450 m/s. También suele adoptarse una impedancia característica estándar de 1,54 millones de rayls.⁹

Como consecuencia de la variación de la celeridad en el plano vertical, se dice que el mar se encuentra estratificado en zonas, en cada una de las cuales los rayos sonoros tendrán distinto comportamiento.

Para estudiar las estratificaciones se les asigna un valor por cada una de las variables que intervienen llamados gradientes, los cuales se obtienen mediante la

⁹ Rayl es una unidad de impedancia acústica, que equivale a la presión del sonido de una DINA/cm², dividida por la velocidad de 1 cm/s.

relación entre la diferencia de valores de la variable y la diferencia de valores en la función.

- El gradiente de temperatura a presión y salinidad constantes es de +3 m/s. por grado (°C) de aumento.

- El gradiente de salinidad a temperatura y presión constantes es de +1,2 m/s. por cada 1 por mil de aumento.

- El gradiente de presión a temperatura y salinidad constantes es de 0,016 m/s. por cada metro de aumento de profundidad.

- **TRAZA BATICELERIMÉTRICA**

La representación gráfica de los valores de celeridad y/o temperatura y profundidad se conoce como "TRAZA BATICELERIMÉTRICA", (ver Figura 3.1.2). Viendo la traza puede comprobarse que el océano está dividido en capas verticales o estratificaciones en razón al gradiente en cada una de ellas. Básicamente en todos los mares se da el mismo fenómeno por lo cual puede decirse que la traza se encuentra dividida en cuatro zonas:

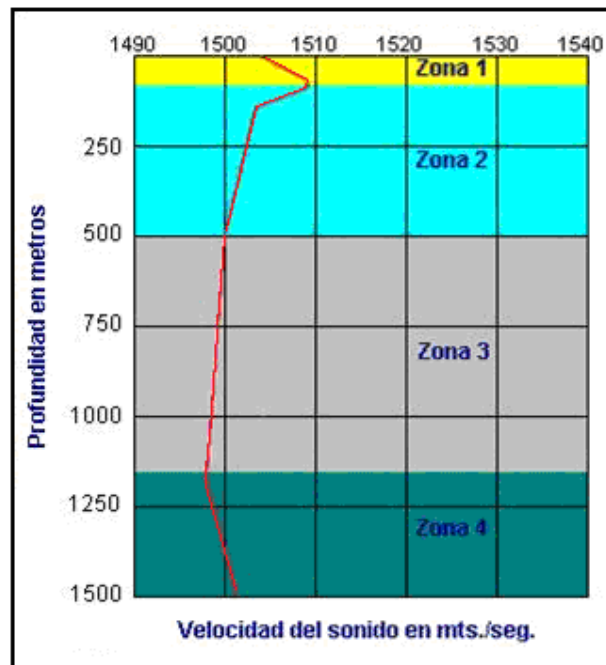


Figura 3.1.2 Gráfica de la Traza Baticerimétrica

- **Zona 1 (Capa superficial o de mezcla)**

La zona 1 abarca desde la superficie hasta los 50 metros, donde se deja sentir el calentamiento debido a la radiación solar y los efectos meteorológicos.

- **Zona 2 (Termoclina estacional)**

La zona 2 presenta un gradiente negativo cuya intensidad varía con la época del año. En verano y otoño suele ser muy pronunciada porque las aguas superficiales son muy cálidas pero en primavera e invierno puede confundirse con la capa de mezcla.

- **Zona 3 (Termoclina permanente)**

La zona 3 abarca desde el final de la termoclina estacional hasta los 1.600 metros aproximadamente. Presenta un gradiente negativo suave y uniforme de temperatura. Se ve poco afectada por los cambios estacionales.

- Zona 4 (Isotherma profunda)

La zona 4 abarca desde los 1.600 metros hasta el fondo del mar. La temperatura permanece constante y la celeridad aumenta con la profundidad.

El punto de la traza en el que se da la máxima temperatura a la mayor profundidad se denomina profundidad de capa y tiene una especial importancia en la propagación del sonido. En el aspecto horizontal no existen variaciones de presión, las de salinidad suelen ser mínimas y las de temperatura es pequeña en comparación con las del plano vertical, por lo que la traza horizontal no se considera habitualmente.

3.1.2 Propagación Submarina

La superficie radiante de un emisor submarino al vibrar, induce a las partículas del medio a desplazarse de sus posiciones de reposo. Dentro del límite de elasticidad del medio, las vibraciones del emisor, pueden transmitirse a grandes distancias, ya que las partículas adyacentes provocan perturbaciones sucesivas de modo que la señal emitida se transmite en forma de ondas que se alejan de la fuente.

La ecuación diferencial fundamento de la acústica ondulatoria que gobierna la propagación de las ondas es:

$$\nabla^2 p = \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 p}{\partial t^2} = 0$$

Ecuación 3.1.2 Propagación Submarina

Donde:

c: Valor de la celeridad en el punto (x, y, z) en m/s.

p: Presión en Pascal.

t: Tiempo en segundos.

- **MODELOS DE PROPAGACIÓN**

El punto de partida de todos los modelos es la ecuación de ondas para una fuente puntual. Hay dos aproximaciones a la solución de la ecuación de ondas y son: modos normales y rayos.

- **Modos Normales**

Los modos normales calculan la integral de la ecuación de ondas o la expanden en función de un conjunto finito de "modos normales". Cada uno de estos modos supone que la solución de la ecuación es el producto de una función dependiente de la profundidad y de una función dependiente del alcance.

El modelo físico que impone es la suposición de que tanto la superficie como el fondo sean perfectamente planos y que el medio de propagación sea homogéneo, lo cual no es exacto en el mar. Además la búsqueda de soluciones exactas a la ecuación de ondas es matemáticamente compleja y difícil de interpretar.

- **Modos Rayos**

Los rayos se basan en el supuesto de que la energía sonora es transmitida a lo largo de trayectorias (rayos) que son líneas rectas en todas las partes del medio en que la velocidad del sonido es constante, y líneas curvas, de acuerdo con las leyes de refracción donde la velocidad del sonido es variable.

Para entender lo que es un rayo sonoro, supongamos una fuente sonora omnidireccional que vibra produciendo ondas esféricas. La superficie de la esfera cuyos puntos vibran con la misma fase es el denominado "frente de onda". Si nos fijamos en la dirección en que la energía fluye, hay que pensar en un conjunto infinito de radios que surgen del centro de la fuente.

Estos radios son los llamados "rayos sonoros" y son en todo momento perpendiculares a los frentes de onda generados. El modelo de rayos presenta una solución menos compleja y de fácil interpretación visual, pero tiene las siguientes restricciones de aplicación:

- Cuando los radios de curvatura de los rayos son mayores que la longitud de onda.
- Cuando la velocidad del sonido varía apreciablemente a lo largo de distancias inferiores a la longitud de onda.
- Por estos motivos el empleo de los modos normales se reduce a aquellas frecuencias en que los rayos no pueden dar soluciones efectivas, a frecuencias inferiores a 300 Hz.

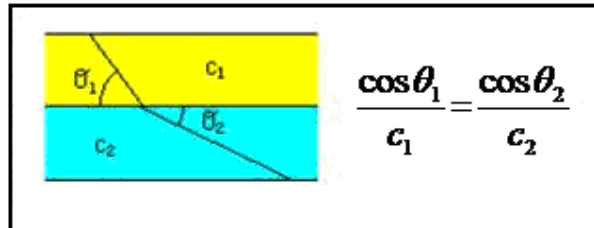
La siguiente tabla muestra las diferencias entre ambos modelos.

Tabla 3.1.2 Comparación ambos modelos

Modos Normales	Modo Rayos
Solución teórica compleja	Sin solución para el problema de difracción
Presentación poco intuitiva	Presentación visualmente interpretable
De difícil aplicación para rebotes en superficie o fondo	Fácil aplicación para rebotes
Válido para todas las frecuencias	Válido solo a altas frecuencias
Dependiente de la fuente	Independiente de la fuente
Solución matemática compleja	Solución matemática sencilla

• FENÓMENOS DE REFRACCIÓN Y REFLEXIÓN

La trayectoria de una onda acústica a través de un medio en el que la velocidad varía con la profundidad se puede calcular mediante la aplicación de la ley de *Snell*¹⁰: [19]



Ecuación 3.1.3 Ley de Snell

Donde:

- c_1 : Celeridad en la capa superior.
- c_2 : Celeridad en la capa inferior.
- θ_1 : Ángulo de entrada del rayo en la capa inferior.
- θ_2 : Ángulo de salida del rayo en la capa inferior.

• TRAYECTORIAS SONORAS

La trayectoria de un rayo sonoro al abandonar el emisor depende principalmente de:

- El ángulo de salida del emisor.
- La velocidad de propagación.
- La posición del emisor.

Las zonas en las que la celeridad es constante los rayos que salen del emisor se comportan como líneas rectas.

¹⁰ *Willebrord Snell Van Royen* (1580-1626), matemático holandés que propuso la fórmula para calcular el ángulo de refracción de la luz al atravesar la superficie de separación entre dos medios de índice de refracción distinto.

El receptor recibirá rayos directos e indirectos (debido a rebotes), cuyo instante de llegada dependerá del camino que hayan recorrido. Suponiendo una superficie y un fondo planos:

- Si el emisor y el receptor están cerca de la superficie se desprecia los rayos que inciden sobre esta.

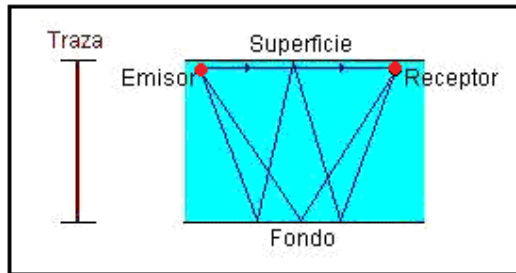


Figura 3.1.3 Emisor y receptor cerca de la superficie

- Si ambos están situados a una profundidad media, estos rayos si deben ser tenidos en cuenta.

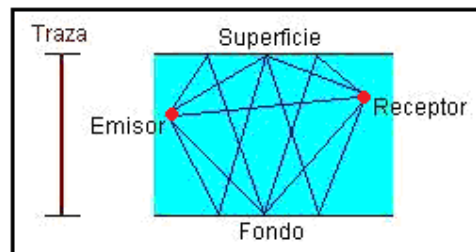


Figura 3.1.4 Emisor y receptor a una profundidad media de la superficie.

- **Rayo límite**

Rayo límite es aquel que sale del emisor con un ángulo tal que llega a ser horizontal justo en la línea imaginaria que separa estratos de distinta celeridad. La importancia del mismo reside en que rayos con ángulos mayores o menores que él son refractados según la Ley de Snell, produciéndose una separación entre las trayectorias que definen una zona de sombra en la que los rayos se encuentran

tan separados que no es posible una buena recepción de los mismos y puede considerarse que hay silencio. (Ver la Figura 3.1.5)

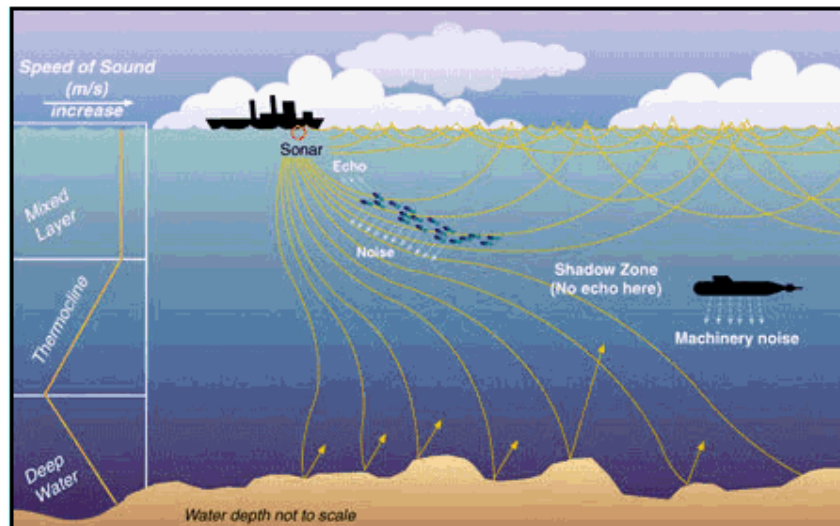


Figura 3.1.5 Comportamiento del rayo límite

En la gráfica anterior se puede apreciar la capa de agua caliente (*mixed layer*) del océano y podemos ver como el sonido se refracta hacia la superficie. A medida que las ondas sonoras se desplazan hacia el fondo donde el agua es mas fría, la velocidad del sonido disminuye y se refracta hacia abajo, creando una zona de sombra en la que un submarino puede esconderse. [20]

3.1.3 Factores que influyen en la Comunicación Acústica

En esta sección se analizan los factores que influyen en la comunicación acústica, a fin de plantear los desafíos en los canales submarinos para las UWSN y estos son:

- **Pérdida de Ruta (*Path Loss*)**

- **Atenuación**

La atenuación es provocada principalmente por la absorción causada por la conversión de energía acústica en calor y ésta aumenta con la distancia y la frecuencia.

La atenuación también es causada por dispersión y reverberación (en la superficie y fondo del océano), refracción y dispersión (debido al desplazamiento del punto de reflexión causado por viento en la superficie). La profundidad del agua juega un papel clave en la determinación de la atenuación.

- **Propagación geométrica (*Geometric Spreading*)**

Esto se refiere a la propagación de la energía sonora, como consecuencia de la ampliación de los frentes de onda que aumentan con la distancia de propagación y es independiente de la frecuencia.

Hay dos tipos de propagación geométrica y son:

- **Propagación esférica**

La propagación esférica (fuente puntual omni-direccional) caracteriza a las comunicaciones en aguas profundas.

- **Propagación cilíndrica**

La propagación cilíndrica (sólo radiación horizontal) caracteriza a las comunicaciones en aguas poco profundas.

- **Ruido (*Noise*)**

- **Ruido producido por el Hombre**

Este ruido es causado principalmente por el ruido de maquinaria (bombas, engranajes reductores, plantas de energía), y la actividad de transporte marítimo

(buques de casco, la vida animal sobre el casco), especialmente en las zonas ocupadas con el tráfico marítimo pesado.

- **Ruido de ambiente**

Este ruido está relacionado con la hidrodinámica (circulación de agua incluyendo las mareas, corrientes, tormentas, el viento y la lluvia), fenómenos sísmicos y biológicos. El ruido de barcos ha resultado ser la principal fuente de ruido en aguas poco profundas y ha sido determinado por medio de experimentos de medición sobre el fondo del océano.

- **Trayectorias Múltiples**

- Trayectorias múltiples de propagación pueden ser responsables de una degradación grave de la señal acústica en la comunicación, ya que genera la ISI - *interferencia entre símbolos*.

- La geometría de múltiples trayectorias depende de la configuración de enlace. Canales verticales se caracterizan por dispersión de corto tiempo, mientras que los canales horizontales tienen propagaciones multi-trayectoria extremadamente largas.

- El alcance de propagación esta en función de la profundidad y la distancia entre el transmisor y el receptor.

- **Alto retardo y variación del retardo**

- El retardo de propagación en un canal acústico bajo el agua aproximadamente (0,67 s/km) puede reducir el rendimiento del sistema considerablemente.

- La variación del alto retardo es aún más perjudicial para el diseño eficiente de protocolo, ya que impide la estimación del Tiempo de Ida y Vuelta (RTT), este es el parámetro clave para muchos protocolos de comunicación.

3.2 ARQUITECTURAS DE COMUNICACIÓN

3.2.1 Introducción

En la última década, las UWSN han surgido como una tecnología que permiten realizar muchas actividades en alta mar y se destacan entre ellas:

- Supervisión y vigilancia del mar territorial.
- Aplicaciones de exploración científica, comercial y militar.
- Recolección de datos oceanográficos.
- Prevención de desastres.
- Vigilancia sísmica.
- Ayuda de navegación.

Las UWSN en comparación con sus homólogas las UGSN - *Red de Sensores Terrestres*, pueden proporcionar mejor localización y adquisición de datos más precisa. Sin embargo, las UWSN se enfrentan a muchos retos únicos. El principal reto es la comunicación ya que las UWSN no pueden utilizar ondas electromagnéticas debido a la rápida absorción en el agua, por lo que normalmente se considera como solución práctica el uso de ondas acústicas.

Se puede implementar ó complementar una UWSN con múltiples AUVs - *Vehículos Autónomos Bajo el Agua* provistos con sensores submarinos, ya que son de utilidad en aplicaciones de exploración de recursos naturales y recolección de datos científicos en misiones de vigilancia. Para hacer viables estas aplicaciones es necesario habilitar la comunicación bajo el agua entre los diferentes dispositivos subacuáticos.

Los sensores y vehículos subacuáticos poseen la capacidad de autoconfigurarse, coordinar sus operaciones intercambiando configuración, localización e información de movimiento, para entregar toda esta información a una estación base.

En las comunicaciones de las UWSN existe un alto retraso de propagación lo que podría estar limitando grandemente las aplicaciones interactivas y otras aplicaciones de supervisión donde la respuesta en tiempo real es crítica.

Una forma de mitigar el alto retraso de propagación en las comunicaciones acústicas es desplegar a nivel de la superficie marítima múltiples *gateways*.

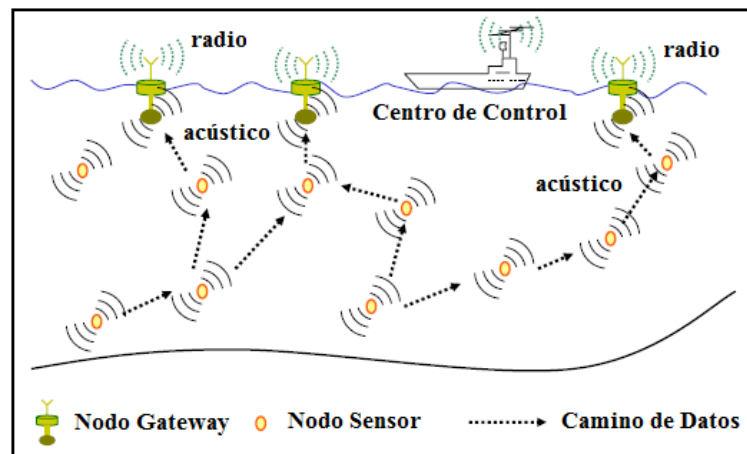


Figura 3.2.1 Ilustración de UWSN con múltiples *gateways* en la superficie

La Figura 3.2.1 ilustra una UWSN con múltiples *gateways* en la superficie. En la red cada nodo sensor puede supervisar y detectar localmente eventos medioambientales para luego transferir los datos a través de la red hacia el nodo *gateway* ubicado en la superficie, éste se encarga de enviar los datos al centro de control a través de la radio.

3.2.2 Arquitecturas

En esta sección se hace referencia a las arquitecturas de comunicación más utilizadas en las UWSN. En particular, se hace una introducción a las arquitecturas de referencia bidimensional, tridimensional y la arquitectura con AUV's [21].

En general la topología de red es un factor crucial en la determinación del consumo de energía, capacidad y fiabilidad de una red. Por lo tanto, la topología de la red debe ser cuidadosamente diseñada para disponer en lo posterior de una topología óptima y poder desarrollar al cien por ciento todas las aplicaciones para la cual fue diseñada la red.

Las misiones de vigilancia submarina pueden ser extremadamente caras debido al alto costo de los dispositivos *underwater*. Por lo tanto, es importante un despliegue de la red altamente fiable, a fin de evitar el fracaso de las misiones de observación debido a un fallo de uno o varios dispositivos. Por ejemplo, es crucial evitar diseñar la topología de la red con un solo punto de falla, el cual podría comprometer el funcionamiento global de la Red.

Las arquitecturas de comunicación presentadas en este proyecto son utilizadas como base para discusión de los retos asociados con las UWASN - *Redes de Sensores Acústicas Bajo el Agua* que son expuestas en el capítulo posterior.

Las arquitecturas más utilizadas en las UWSN son:

- UWSN Bidimensional.
- UWSN Tridimensional.
- Red con Vehículos Autónomos bajo el agua (AUV's).

3.2.3 UWSN Bidimensional

Una arquitectura de referencia de dos dimensiones de las UWSN se muestra en la Figura 3.2.2, un grupo de nodos sensores son colocados en el fondo del océano a grandes profundidades con la ayuda de anclas. Los nodos sensores son interconectados a una o más puertas de enlace submarinas (*uw-gateways*) por medio de enlaces inalámbricos acústicos.

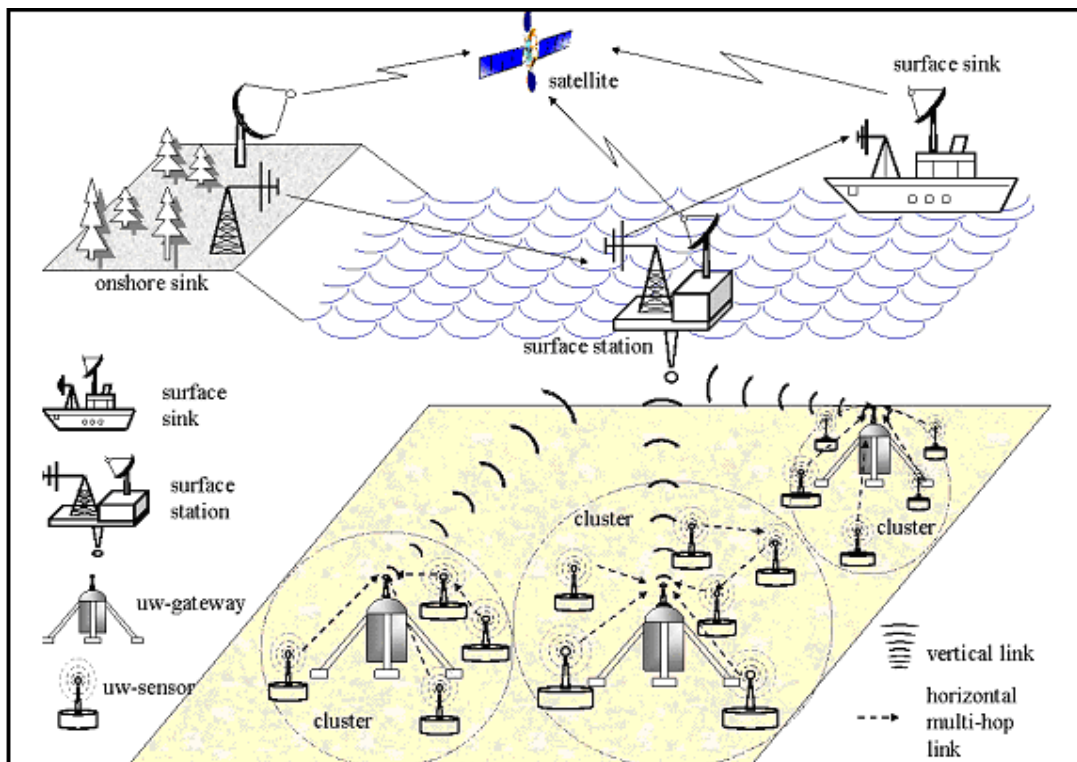


Figura 3.2.2 UWSN Bidimensional

Los *uw-gateways* son los dispositivos de red encargados de la transmisión de datos de la red desde el fondo del océano hacia una estación en la superficie. Para lograr este objetivo, los *uw-gateways* están equipados con dos transmisores acústicos, llamados transmisor vertical y horizontal.

- **Transmisor horizontal**

El transmisor horizontal es utilizado por el *uw-gateway* para comunicarse con los nodos sensores para:

- Enviar comandos y datos de configuración a los sensores (*uw-gateways* a los sensores).
- Recolectar datos monitorizados (sensores a los *uw-gateways*).

- **Transmisor vertical**

El transmisor vertical es utilizado por el *uw-gateway* para transmitir datos a la estación en la superficie.

Las aplicaciones en aguas profundas deben utilizar transmisores verticales de largo alcance ya que el océano puede alcanzar los 10 kilómetros de profundidad.

La estación en la superficie esta equipada con un transmisor acústico que es capaz de manipular múltiples comunicaciones paralelas con los *uw-gateways* desplegados. La estación puede estar dotada con transmisores de RF y/o transmisores satelitales para comunicarse con las estaciones las cuales pueden estar en la orilla (*onshore sink*) y/o en la superficie del mar (*surface sink*).

Los sensores se pueden conectar a los *uw-gateways* con enlaces directos ó siguiendo caminos multi-saltos.

- **Enlaces Directos**

En este caso cada sensor envía directamente los datos reunidos a un *uw-gateway* seleccionado. Sin embargo, en las UWSN la potencia necesaria para transmitir puede decaer con respecto a la distancia y los *uw-gateways* pueden estar bastante distantes de los nodos sensores. En consecuencia, aunque un enlace directo de conexión es la vía más sencilla de comunicación para las redes de sensores, no es necesariamente la solución energética más eficiente.

Además, con los enlaces directos es muy probable que se reduzca el rendimiento de la red debido al aumento de la interferencia acústica causada por la alta potencia de transmisión.

- **Enlaces Multi salto**

En el caso de enlaces multi salto los datos producidos por un sensor fuente son transmitidos hacia sensores intermedios hasta que llegan a los *uw-gateway*. Esto se traduce en ahorro de energía y el aumento de la capacidad de la red, pero aumenta la complejidad de la ruta así como la funcionalidad.

De hecho, cada dispositivo de red generalmente toma parte en un proceso de colaboración cuyo objetivo es difundir información de la topología tal como eficiencia y decisiones de enrutamiento libres de bucles (*loops*) que pueden ser causadas por los nodos intermedios.

La energía y la capacidad son recursos preciosos en los entornos subacuáticos, en las UWSN el objetivo es entregar cada característica explotando los enlaces multi-salto y minimizar los gastos de transmisión necesarios para la construcción de caminos subacuáticos al mismo tiempo.

3.2.4 UWSN tridimensional

Las UWSN tridimensionales se utilizan para detectar y observar fenómenos que no pueden ser debidamente observados por nodos sensores en el fondo del océano y para llevarse a cabo es necesaria la cooperación en la toma de muestras en 3D del medio ambiente oceánico [22].

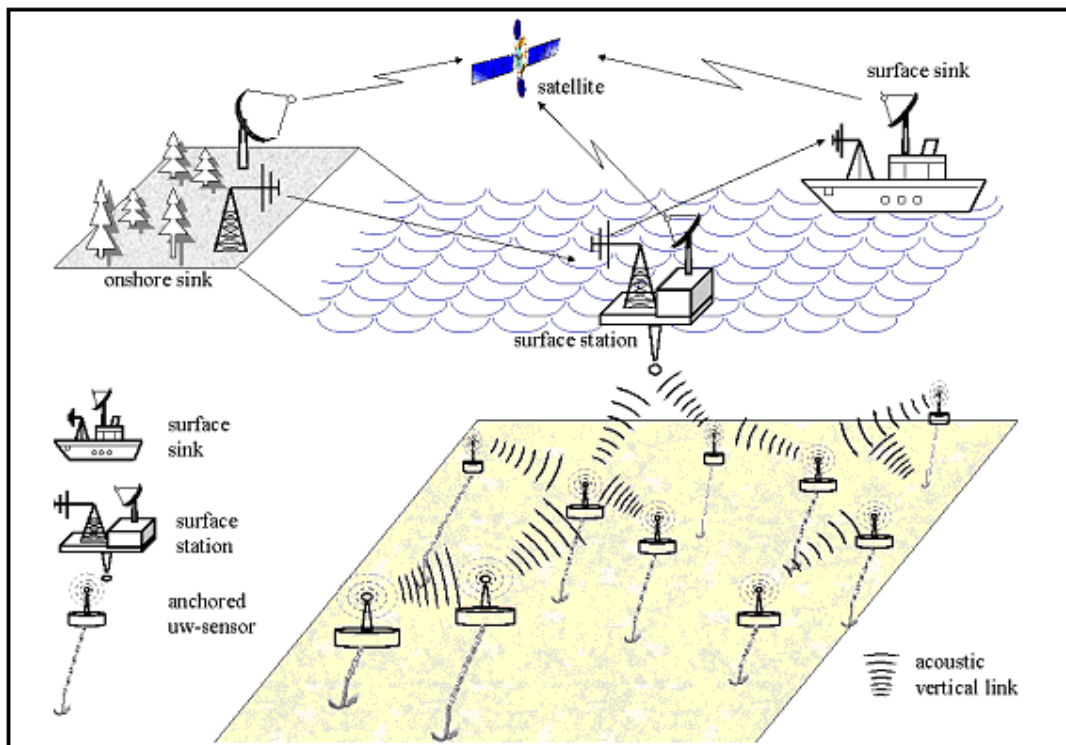


Figura 3.2.3 UWSN Tridimensional

En las UWSN de tres dimensiones (Ver Figura 3.2.3) los nodos de sensores flotan a diferentes profundidades para observar un determinado fenómeno. Una posible solución sería unir cada nodo de sensores a una boya ubicada en la superficie por medio de cables cuya longitud puede regularse a fin de ajustar la profundidad de cada nodo sensor.

Aunque esta solución permite un fácil y rápido despliegue de la red de sensores, el tener múltiples boyas en la superficie puede obstruir la navegación de buques ó pueden ser fácilmente detectados y desactivados por enemigos si son utilizados en misiones militares. Además las boyas pueden ser vulnerables al clima, a la manipulación o incluso a robos.

Por estas razones se puede tener un enfoque diferente si se coloca los dispositivos sensores anclados al fondo del océano. Cada sensor está anclado al fondo del océano y equipado con una boya flotante que puede ser inflado por una bomba en caso de ser necesario con lo que la boya empuja el sensor hacia la superficie del océano. La profundidad del sensor puede ser regulada mediante el ajuste de la longitud del cable que conecta el sensor con el ancla, por medio de un motor controlado electrónicamente que reside en el sensor.

Un reto que hay que considerar en este tipo de arquitectura es el efecto de las corrientes oceánicas sobre el mecanismo de regulación de profundidad de los sensores. En este tipo de arquitectura se plantean muchos problemas que deben resolverse para permitir la monitorización en 3D, estos problemas pueden ser:

- **Cobertura de Detección**

Los sensores deben colaborar para poder regular su profundidad a fin de lograr la cobertura 3D de la estructura vertical del océano de acuerdo a sus rangos de detección. Por lo tanto, debe ser posible obtener muestras del fenómeno deseado en todas las profundidades.

- **Cobertura de Comunicación**

En las UWSN tridimensionales no existe noción de la ubicación de los *uw-gateways*, debido a esto los sensores deben ser capaces de transmitir información a la estación en la superficie (*surface station*) a través de enlaces

multi-salto. Por lo tanto, los dispositivos de la red deben coordinar sus profundidades de tal modo que permitan tener a la topología de red conectividad, es decir, siempre debe existir al menos una ruta de acceso para cada uno de los sensores hacia la estación en la superficie.

3.2.5 Red con Vehículos Autónomos bajo el agua (AUV's)

Los vehículos autónomos pueden funcionar sin ataduras, cables, o control remoto es por esto que se utilizan en una multitud de aplicaciones de vigilancia del medio ambiente, estudio de recursos oceanográficos entre otras. A demás los AUV's relativamente tienen bajo costo y se encuentran equipados con múltiples sensores submarinos y pueden alcanzar cualquier profundidad en el océano. Por lo tanto, pueden ser usados para aumentar la capacidad de las UWSN de muchas maneras.¹¹

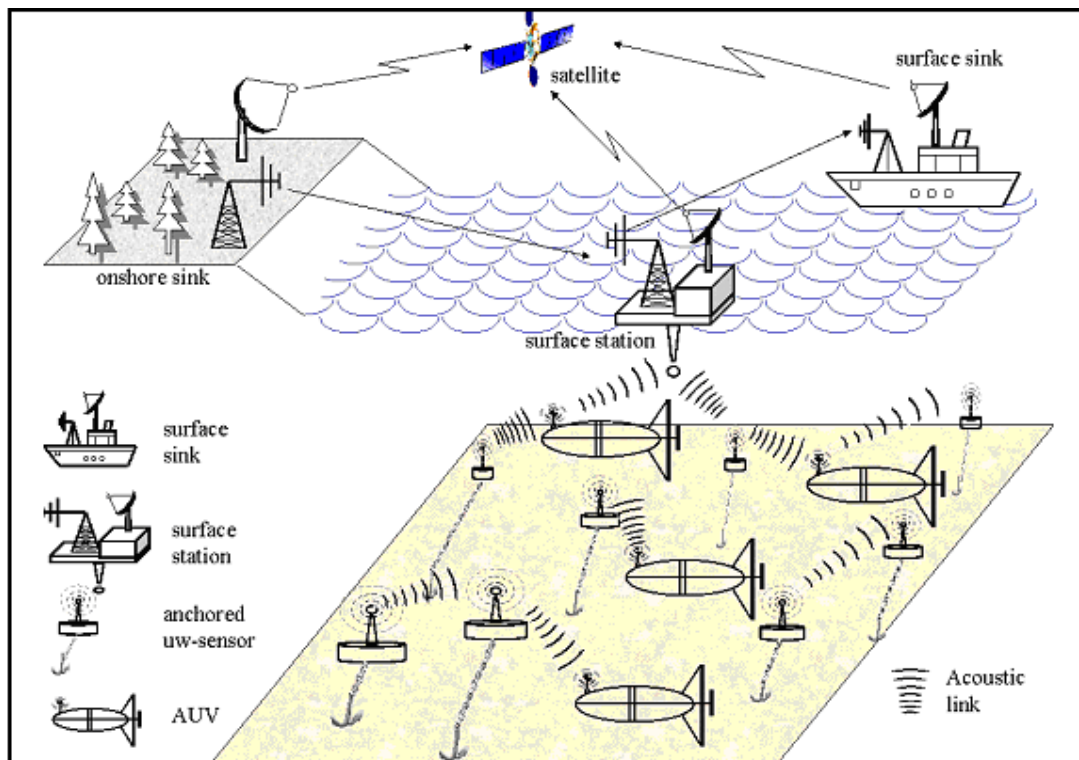


Figura 3.2.4 Red de Sensores con AUV's

¹¹ AUV's pueden funcionar sin cables ni control remoto, por lo que son de gran utilidad en aplicaciones como oceanografía, monitorización ambiental, etc.

La Figura 3.2.4, muestra una arquitectura de referencia para una red tridimensional con AUV's. La integración y el fortalecimiento de las UWSN con AUV's es un campo de investigación casi inexplorado que requiere nuevos algoritmos de coordinación de la red tales como:

- **Muestreo Adaptativo**

Esto incluye estrategias para el control de mando de vehículos móviles a los lugares en que sus datos serán más útiles. Este enfoque también es conocido como muestreo de adaptación y es el pionero en misiones de vigilancia. Por ejemplo, la densidad de nodos de sensores pueden ser aumentado de forma adaptativa en una zona determinada cuando una mayor tasa de muestreo es necesario para el seguimiento de un fenómeno dado.

- **Auto-Configuración**

Esto incluye los procedimientos de control para detectar automáticamente agujeros de conectividad causados por fallos de los nodos ó deterioro del canal y se requiera la intervención de un AUV. Además los AUV's pueden ser utilizados para instalar y dar mantenimiento a la infraestructura de las UWSN ó implementar nuevos sensores. También pueden ser utilizados como nodos temporales para restablecer la conectividad.

Uno de los objetivos de diseño de AUV's es hacer que se basen en inteligencia local y sean menos dependientes de las comunicaciones online con las estaciones en la costa. En general, las estrategias de control son necesarias para la coordinación autónoma, evasión de obstáculos, y estrategias de dirección.

Sistemas de energía solar permiten aumentar la vida útil de los AUV's, es decir, no es necesaria la recarga diaria del vehículo sobre una base. Por lo tanto,

los AUV's pueden adquirir información continua por períodos de tiempo (pueden ser meses) gracias a la energía solar.

Existen varios tipos de AUV's como plataformas experimentales para expediciones submarinas. Algunos de ellos se asemejan a submarinos a pequeña escala, otros son más simples y no tienen capacidades sofisticadas. Por ejemplo, *drifters* y *gliders* son instrumentos oceanográficos que se utilizan con frecuencia en las exploraciones submarinas.



Figura 3.2.5 Caribou AUV

- **Drifters**

Los vehículos submarinos conocidos como *drifters* flotan con la corriente marítima y tienen la capacidad de moverse verticalmente a través de la columna de agua, se utilizan para tomar Medición de la profundidad.

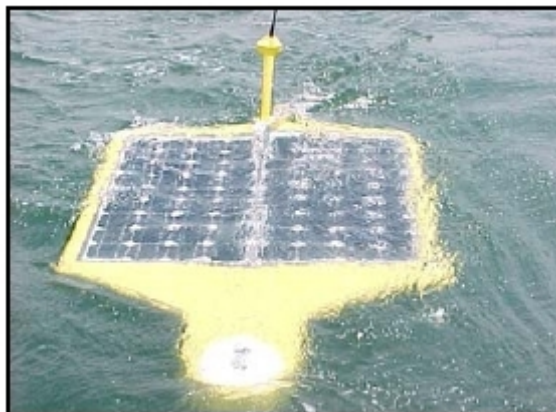


Figura 3.2.6 Drifter AUV con Batería solar

- **Gliders**

Los vehículos submarinos conocidos como *gliders* utilizan bombas hidráulicas para variar su volumen por unos pocos cientos de centímetros cúbicos para generar los cambios de flotabilidad que dan poder a su deslizamiento hacia adelante. Cuando emerge en la superficie se utiliza un sistema de posicionamiento global para localizar el vehículo. La información recibida puede ser transmitida a la estación en tierra (*onshore station*) mientras los operadores pueden interactuar mediante el envío de información de control a los *gliders*.



Figura 3.2.7 Glider AUV

La capacidad de profundidad va desde los 200 a los 1500 metros mientras que la vida útil va desde unas pocas semanas a varios meses. Estas largas duraciones son posibles porque los *gliders* se mueven muy lentamente, por lo general 25 cm/s.

3.3 EQUIPOS Y FABRICANTES

3.3.1 Introducción

El desarrollo de protocolos y arquitecturas para el diseño de redes de sensores inalámbricos se ha convertido en un campo de investigación muy importante en los últimos años. El desarrollo de estas tecnologías ha venido de la mano de nuevos estándares inalámbricos de comunicación.

Dentro de este nuevo escenario se prevé un futuro en el que minúsculos sensores monitoricen el medio continuamente y reporten su información a los nodos próximos y a una estación base central, formando una arquitectura computacional en *grid*.

El número de situaciones en los que este tipo de tecnología es susceptible de aplicación es enorme, siendo algunos de los ejemplos típicos: domótica y control inteligente de edificios, medicina, agricultura, sistemas de control industrial, monitorización de ambientes submarinos, etc.

Los requerimientos de estos sistemas están mayormente encaminados a situaciones donde no es necesario un gran ancho de banda, pero el posicionamiento de los nodos restringe su consumo de potencia, ya que muchas veces deberán estar alimentados por baterías.

3.3.2 Fabricantes de Transmisores y Microcontroladores

- **Fabricantes de Microcontroladores**

La siguiente tabla muestra las características más importantes de los microcontroladores por excelencia diseñados para aplicaciones en WSN [8].

Cabe destacar que *Texas Instrument* con su MSP430F161 de 16 bit desarrollado en el pasado año presenta a diferencia de los otros dos

microcontroladores un una arquitectura de CPU de 16 bits lo cual hace por ejemplo más flexible las operaciones matemáticas disminuyendo la cantidad de instrucciones que se deban realizar. Presenta además un canal interno de DMA - *Acceso Directo a Memoria*. En general las corrientes en los modos pasivo, activo y *sleep* serán parecidas sin diferencias significativas.

Por otro lado los precios son prácticamente parecidos y reducidos no siendo un factor importante al momento de elegir un nodo. Sí lo es la cantidad de documentación existente en Internet y la cantidad de desarrollo actual, lo que hace que el microcontrolador MSP430, en particular con su modelo MSP430F1611, presente un fuerte desarrollo y una gran documentación en los últimos años aportada por distintas empresas y universidades. AVR con su serie Atmega128 es sin embargo otro microcontrolador que ha sido desarrollado fuertemente en los últimos años presentando así una documentación bastante buena pero no como el Microcontrolador de TI.

Tabla 3.3.1 Características más importantes para los microcontroladores usados por excelencia en Wireless Sensor Networks.

	AVR	Microchip	Texas Instrument
Dispositivo	AVR AtMega128	PIC18F4620	MSP430F1611
Año	2004	2004	2004
Arquitectura	8 bit CPU RISC	8 bit CPU RISC	16 bit CPU RISC
Canal Interno DMA	No	No	Si
Frecuencia DC	16 MHz	40 MHz	32 MHz
Memoria de Datos y Programa			
Memoria Datos EEPROM(kB)	4	1	0
SRAM(kB)	4	4	0
Memorias Datos RAM(kB)	0	4	10
Memoria de Programa FLASH(kB)	128	64	48
Estado			
Modo Activo (mA)	3	2,2	2
Modo Pasivo (uA)	2,5	1	1,1
Modo Sleep (uA)	6	0,1	0,1
Pines de I/O	53	36	48
Multiplicador de Hardware	Si	Si	Si
Interfaz de Comunicación Serial			
SP1	Si	Si	Si
I2C	Si	Si	Si
USART	Si	Si	Si
Pines/Encapsulado	64 lead TQFP y 64 pad MLF	64 lead TQFP y 64 QFN	64 LQFP y 64 QFN
Convertor			
ADC	10 bits	10 bits	12 bits
DAC	10 bits	No	12 bits
Rango de Voltaje	2,7 - 5,5 V	2,0 - 5,5 V	2,7 - 3,6 V
Interfaz JTAG	Si	No	Si
Temporizador	16 bits	16 bits	16 bits

- **Fabricantes de Transmisores Certificados**

Se puede ver que el transmisor CS2420 de *Chipcon* y EM2420 son los que presentan mejores corrientes de transmisión, recepción. Se puede apreciar una mayor sensibilidad de recepción la cual alcanza un valor de -94 dBm y el rechazo al canal adyacente es notablemente mayor que en los transmisores MC13193 y CX1540.

Cabe destacar que el transmisor CS2420 es usado por la mayoría de las empresas que desarrollan sistemas en WSN y diferencia del transmisor EM2420

de la compañía *Ember* el cual por lo mismo no presenta tanta documentación como lo es en el caso del CS2420 de *microchip*.

Tabla 3.3.2 Características más importantes a modo de comparación para los cuatro transmisores certificados por ZigBee en WSN.

Fabricante	Chipcon	Freescale	Compsx	Ember
Modelo	CC2440	MC13193	CX1540	EM2420
Banda	2,4 GHz	2,4 GHz	2,4 GHz	2,4 GHz
Tasa de Datos Máxima (kbps)	250	250	250	250
Potencia Rx (mA)	19,7	37	57	19,7
Potencia Tx (mA)	17,4	30	56	17,4
Corriente Sleep (uA)	20	35	1	20
Sensibilidad Recepción(dBm)	(-94)	(-92)	(-90)	(-94)
Tiempo Encendido (ms)	0,3	20	---	0,3
Rango Potencia Salida (dBm)	0	3,6	3	0
Modulación	DSSS,O-QPSK	DSSS,O-QPSK	DSSS,O-QPSK	DSSS,O-QPSK
High Adjacent Channel Rejection (dB)	46	25	0	46
Transmisión y Recepción separada FIFOs				
128 byte Transmisión Datos FIFO	Sí	---	---	Sí
128 byte Transmisión Datos FIFO	Sí	---	---	Sí
Frecuencia del Cristal Oscilador MHz	16	16	16	16
Interfaz SPI (wire)	4	4	Sí	4
Soporte de Encriptación	128 bit AES	No	---	128 bit AES
Localización	RSSI/LQI	RSSI/LQI	RSSI	RSSI/LQI
Voltaje (V)	2,1 - 3,6	2 - 3,4	2,7 - 3,3	2,1 - 3,6
Tamaño (mm)	7x7	5x5	7x7	7x7
Antena	Integrada	Integrada	No entregada	No entregada
Rango de Temperatura (°C)	(-45) - 85	(-40) - 85	(-25) - 70	(-40) - 85

3.3.3 Fabricantes de Nodos y Modems

Las *Wireless Sensor Networks*, tienen una corta historia, a pesar de ello, ya tenemos a varios fabricantes trabajando en esta tecnología y se destacan los siguientes fabricantes:



- **CROSSBOW**

Especializada en el mundo de los sensores, es una empresa que desarrolla plataformas *hardware* y *software* que dan soluciones para las redes de sensores inalámbricas. Entre sus productos encontramos las plataformas Mica, Mica2, Micaz, Mica2dot, telos y telosb.

- **MOTEIV**

Joseph Polastre, antiguo doctorando de un grupo de trabajo de la Universidad de Berkeley formó la compañía *Moteiv*. Ha desarrollado la plataforma Tmote Sky y Tmote Invent. El tipo de mota Tmote Sky será detallado en el siguiente punto, dado que es el que se utiliza en el Instituto de Robótica.

- **SHOCKFISH**

Empresa suiza que desarrolla TinyNode. A partir de este tipo de mota en Laussane han llevado un proyecto en el que implementan una red de sensores en todo el campus de la “*Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne*”.

- **DSPComm**

DSPComm fue fundada en el año 2000, con el propósito de llevar sólida fiabilidad y versatilidad sin precedentes para comunicaciones inalámbricas bajo el agua. Hoy en día, es una de las compañías de más rápido crecimiento en el mercado de módems inalámbricos bajo el agua [23].

- **LinkQuest**

LinkQuest es el proveedor dominante de módems acústico submarinos del mundo. Sus Módems acústicos de alta velocidad transportan más del 95% de la comunicación de datos acústicos en el mundo. Los módems acústicos han

formado la más grande red de comunicación acústica bajo el agua del mundo con cientos de nodos [24].

3.3.3.1 Características de los Nodos

A continuación se muestra una serie de tablas que relacionan los diferentes nodos existentes en el mercado de las redes de sensores inalámbricas.

- Tecnología Crossbow

Comparando las últimas tecnologías de *Crossbow*, Mica, MicaDot, Mica 2 y Mica Z se puede ver que entre Mica y MicaDot se cambia el transmisor de un TR1000 a un CC1000, se ve una disminución en la potencia activa de 15 mW a 8 mW, la modulación pasa de ASK a FSK entre otras diferencias.

Entre MicaDot y Mica 2 las diferencias son mínimas, cabe destacar a parte de la forma de MicaDot, de Forma circular, los pines de encriptación los cuales pasan de 19 en MicaDot a 51 en Mica2.

Por último Mica Z hace un cambio en el transmisor usando ahora el CC2420 de Chipcon diseñado especialmente para cumplir con los requerimientos del protocolo IEEE 802.15.4 y el estándar *ZigBee*.

Tabla 3.3.3 Comparación de nodos Crossbow

Tipos de Motas	WeC	René	René 2	Dot	Mica	MicaDot	Mica 2	Mica Z
Año de la Mota	1998	1999	2000	2000	2001	2002	20003	2003
Microcontrolador								
Tipo	AT90LS8535		Atmega163			Atmega128	Atmega128	Atmega128
Memoria de Programa	8kB	8kB	16kB	16kB	16kB	128kB	128kB	128kB
RAM	0,5kB	0,5kB	1kB	1kB	1kB	4kB	4kB	4kB
Potencia Modo Activo	15mW	15mW	15mW	15mW	15mW	8mW	33mW	33mW
Potencia Modo Sleep	45uW	45uW	45uW	45uW	45uW	75uW	75uW	75uW
Tiempo Despierto	100us	100us	36us	36us	36us	180us	180us	180us
Almacenamiento No volátil								
Chip	24LC256	24LC256	24LC256	24LC256	AT45DB041B	AT45DB041B	AT45DB041B	AT45DB041B
Tipo de Conexión	PC	PC	PC	PC	SPI	SPI	SPI	SPI
Tamaño	32kB	32kB	32kB	32kB	512kB	512kB	512kB	512kB
Comunicación								
Radio	TR1000	TR1000	TR1000	TR1000	TR1000	CC1000	CC1000	CC1000
Tasa de datos	10kbps	10kbps	10kbps	10kbps	40kbps	38,4kbps	38,4kbps	38,4kbps
Tipo de Modulación	OOK	OOK	OOK	OOK	ASK	FSK	FSK	FSK
Potencia de Recepción	9mW	9mW	9mW	9mW	12mW	29mW	29mW	29mW
Potencia de Transmisión a 0 dBm	36mW	36mW	36mW	36mW	36mW	42mW	42mW	42mW
Consumo de Potencia								
Operación Mínima	2,7V	2,7V	2,7V	2,7V	2,7V	2,7V	2,7V	2,7V
Potencia Activa Total	24mW	24mW	24mW	24mW	27mW	44mW	89mW	89mW
Interfaz de Sensor y Programación								
Expansión	No	51 pines	51 pines	No	51 pines	19 pines	51 pines	51 pines
Comunicación	IEEE 1284 para Programación y RS232 (Requiere Hardware Adicional)							
Sensor Integrado	No	No	No	Sí	No	No	No	No

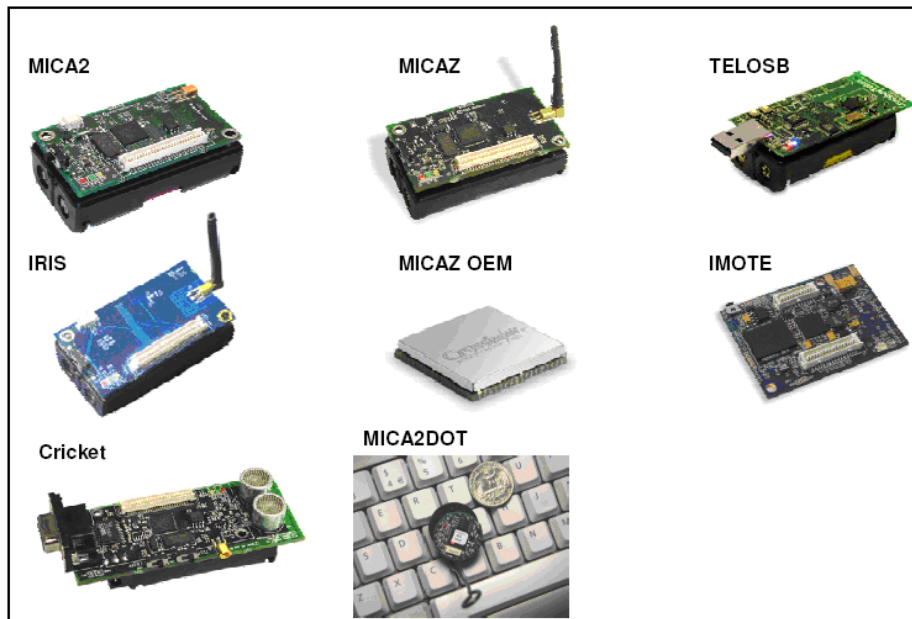


Figura 3.3.1 Equipos Reales

- Tecnología Helicomm

Cabe destacar la diferencia entre el alcance de transmisión para los distintos nodos *Helicomm* llegando a alcanzar como máximo 150 metros en línea de vista. La serie IP-link 2000 y 2200 presentan además de la comunicación serial RS-232 la RS-485. Por otro lado se ve una mejora en la sensibilidad de recepción la cual mejor de -94 dBm a -96dBm.

Tabla 3.3.4 Tabla de comparación de nodos Helicomm

	Helicomm	Helicomm	Helicomm	Helicomm
Tipo de Nodo	IP-LINK1000	IP-LINK1200	IP-LINK2000	IP-LINK2200
Comunicación - RF				
Frecuencia	915 MHz No Licenciada	2,4 GHz No Licenciada	915 MHz No Licenciada	2,4 GHz No Licenciada
Tipo de Modulación	FSK	DSSS	FSK	DSSS
Tasa de Datos Maxima	76 kB/s	250 kbps	76 kB/s	250 kbps
Rango de Transmisión	150 mts (Línea de Vista)	75 mts (Línea de Vista)	150 mts (Línea de Vista)	100 mts (Línea de Vista)
Canales RF	10	16 (5Mhz c/u)	7	16 (5Mhz c/u)
Potencia de Transmisión	(-20 dBm a 0 dBm)	(-24dBm a 0dBm)	(-20 dBm a 0 dBm)	(-20 dBm a 0 dBm)
Encriptación Datos	56 bits DES	128 bits AES	56 bits DES	128 bits AES
Sensibilidad Recepción	(-96dBm,+1dBm)	(-94dBm)	(-94dBm)	(-96dBm)
Certificación	FCC Parte 15	FCC Parte 15	FCC Parte 15	FCC Parte 15
Microcontrolador				
Tipo	8051	Atmega 128	8051	AVR Atmega 128
RAM	2kB	4kB	----	----
Flash ROM	32kB	128kB	----	----
Módulos de Potencia				
Potencia Activa (Tx)	32mA	35mA	32mA	35mA
Potencia Activa (Rx)	27mA	30mA	27mA	30mA
Potencia Sleep	<0,02mA	<15uA	<30uA	<15uA
Entrada/Salida				
Física	Conector 14 Pines	Conector 14 Pines	----	----
Serial	SPI,RS-232	RS-232	RS-232,RS-485	RS-232,RS-485
A/D	3 Canales, 10 Bits	3 Canales, 10 Bits	----	----
Control	Reset, Interrupción	Reset, Interrupción	----	----
Dimensión/Temperatura				
Tamaño(W*H*D (cm)	3*2,2*0,9	3*2,2*0,9	6,2*5,4*2,5	6,2*5,4*2,5
Temperatura Operación	(-20 a 60)°C	(-20 a 70)°C	(-20 a 70)°C	(-20 a 70)°C
Humedad	10% a 90%	10% a 90%	10% a 90%	10% a 90%

- Tecnología LinkQuest

Tabla 3.3.5 Tabla de características MODEM LinkQuest

Underwater Acoustic Modem	Short - Range	Medium - Range
Frecuencia Acústica	27 – 25 KHz.	54 – 89 KHz.
Tasa de Datos	7 Kbit/s.	14 Kbit/s.
Potencia Tx	1 W.	6 W.
Potencia Rx	0,75 W.	1 W.
Potencia Sleep	8 mW.	12mW

CAPÍTULO 4

APLICACIONES

4.1 REDES DE SENSORES ACÚSTICAS BAJO EL AGUA (UW-ASN)

4.1.1 Principales Diseños de redes

Las redes de sensores acústicas bajo el agua constan de un número variable de sensores y vehículos que se encuentran configurados para realizar de forma cooperativa tareas de monitoreo en un área dada. Para alcanzar estos objetivos los sensores y vehículos se configuran en una red autónoma que se puede adaptar a las características ambientales del océano y se comunican con enlaces acústicos.

Existen diferentes arquitecturas para las UW-ASN, todo depende de la aplicación en que se utilizará pero se pueden resumir en las siguientes arquitecturas:

- UW-ASN Bidimensional.
- UW-ASN Tridimensional.
- Red con Vehículos Autónomos bajo el agua.

- **UW-ASN Bidimensional**

La arquitectura bidimensional es utilizada para monitorear el fondo del océano y está constituida por nodos sensores que se encuentran anclados al fondo del océano. Las aplicaciones típicas pueden ser la vigilancia del medio ambiente y supervisión de la placa tectónica.

El funcionamiento de los componentes de esta arquitectura se explicó con mayor detalle en el capítulo 3 de este proyecto de grado. La estructura típica se muestra en la Figura 3.2.2.

- **Problemas con la estructura bidimensional**

- Existen largas distancias entre *gateways* y sensores acústicos.
- La potencia de transmisión decae fácilmente.
- Presenta limitaciones de ancho de banda.
- El aumento de la densidad en la red genera complejidad de enrutamiento.

- **Solución:**

- Permite el ahorro de energía al entrar en funcionamiento sólo cuando es necesaria la comunicación con otros equipos de la red.
- Es mejor si se tiene que realizar múltiples saltos como camino para llevar la información.
- El ancho de banda es mayor para transmisiones de corta distancia.
- El uso distribuido de sensores aumenta la capacidad de la red.

- **UW-ASN Tridimensional**

La arquitectura tridimensional es utilizada para monitorear la columna del océano e incluye redes de sensores cuya profundidad puede ser controlada, se utilizan para vigilancia y monitoreo de fenómenos oceanográficos.

El funcionamiento de los componentes de esta arquitectura se explicó con mayor detalle en el capítulo 3 de este proyecto de grado. La estructura típica se muestra en la Figura 3.2.3.

- **Problemas con la estructura tridimensional**

- Al estar conectados a una boya en la superficie:
 - Los sensores pueden ser fácilmente detectados por enemigos.
 - Las boyas son vulnerables a las condiciones ambientales y pueden ser hurtadas.
 - Los buques al navegar pueden ser un problema.
- El aumento de la densidad en la red genera complejidad de enrutamiento.

- **Solución:**

- Es mejor si los sensores se encuentran anclados en el fondo del mar por medio de cables.
- Permite el ahorro de energía al entrar en funcionamiento sólo cuando es necesaria la comunicación con otros equipos de la red.
- El uso de distribuido de sensores aumenta la capacidad de la red.

- **Red con Vehículos Autónomos (AUV's)**

Estas redes incluyen una parte fija compuesta por sensores anclados y una parte móvil compuesta por vehículos autónomos.

Los AUV's pueden funcionar sin ataduras, cables, o control remoto es por esto que se utilizan en una multitud de aplicaciones de vigilancia del medio ambiente, estudio de recursos oceanográficos entre otras. Además los AUV's relativamente tienen bajo costo y se encuentran equipados con múltiples sensores submarinos y pueden alcanzar cualquier profundidad en el océano. Por lo tanto, pueden ser usados para aumentar la capacidad de las UWSN de muchas maneras.

El funcionamiento de los componentes de esta arquitectura se explicó con mayor detalle en el capítulo 3 de este proyecto de grado. La estructura típica se muestra en la Figura 3.2.4.



Figura 4.1.1 AUV

- **Escenarios de Aplicación**

Estas arquitecturas son utilizadas en varias aplicaciones y se describen a continuación:

o **Redes de muestreo oceanográfico**

Se encuentra compuesto por redes de sensores y AUV's, permite realizar toma de muestras y síntesis en 3D del ambiente en la costa del océano. Experimentos como el de la Bahía de Monterey en agosto de 2003 demostró las ventajas de reunir nuevos vehículos robóticos sofisticados con modelos avanzados del océano y mejorar la capacidad para observar y predecir las características del medio ambiente oceánico.

o **Vigilancia del Medio Ambiente**

Con esto se puede examinar cómo afectan las actividades humanas en el ecosistema marino. Se puede monitorear la contaminación (química, biológica, etc.), monitorear corrientes marinas y de vientos, mejorar previsiones meteorológicas y detectar el cambio climático.

o **Prevención de Desastres**

Las redes de sensores permiten medir actividad sísmica de lugares remotos, a demás se puede vigilar las corrientes oceánicas y los vientos para predecir posibles tsunamis y poner en alerta a las áreas costeras.

o **Navegación Asistida**

Con esto se puede localizar bancos de arena, rocas peligrosas en aguas no profundas, puestos de amarre.

o **Vigilancia Táctica Distribuida**

AUV's y sensores bajo el agua fijos pueden trabajar de forma cooperativa en monitoreo de áreas para vigilancia, reconocimiento, orientación y en sistemas de detección de intrusos en operaciones militares.

- o **Exploraciones Submarinas**

Con esto se puede detectar yacimientos submarinos.

4.1.2 Diferencia con las redes de sensores terrestres (UGSN)

Las principales diferencias entre las UGSN y las UWSN son las siguientes:

- **Costo**

Se espera que los nodos de sensores terrestres sean cada vez más baratos con el paso del tiempo, pero los sensores acuáticos son dispositivos más costosos y esto se debe especialmente a la complejidad de los transmisores y el hardware de protección necesario para soportar un medio subacuático extremo.

- **Despliegue**

Si bien las redes de sensores terrestres están densamente desplegadas, en las redes bajo el agua el despliegue se considera debe ser más disperso, debido a los costos involucrados y los desafíos asociados con el despliegue en el medio subacuático.

- **Potencia**

La energía necesaria para realizar las comunicaciones bajo el agua es mayor que en las comunicaciones de radio terrestre debido al aumento de las distancias y a procesamiento de señales más complejos en los receptores.

- **Memoria**

Mientras que los nodos de sensores terrestres tienen muy limitada capacidad de almacenamiento los sensores bajo el agua tienen que ser capaces de

almacenar algunos datos en caso de que el canal submarino puede ser intermitente.

- **Correlación espacial**

Si bien las lecturas de los sensores terrestres a menudo están correlacionadas, esto es más improbable que ocurra en las redes bajo el agua debido a la mayor distancia entre los sensores.

4.2 APLICACIONES EN ENTORNOS REALES DE LAS WSN

La lista de aplicaciones donde las WSN encuentran utilidad puede ser ingente y abierta a la creatividad de los innovadores. En los últimos años, varios laboratorios de investigación, y especialmente multinacionales como Intel, han apostado fuertemente por la tecnología de WSN [25].

Ya se habla de redes de vigilancia global del planeta, capaces de registrar los hábitos de la gente, realizar un seguimiento de personas y mercancías concretas, monitorizar el tráfico, etc.

Aunque para ello habrá que esperar todavía unos años, sí que han surgido múltiples iniciativas y proyectos de investigación de enorme interés y aplicabilidad práctica [26].

En esta sección se describen algunas de las aplicaciones que demuestran el potencial de esta tecnología. Los usos más típicos están relacionados con tareas de supervisión, seguimiento y control. Algunos de los usos específicos son:

a) Aplicaciones Agrícolas

La agricultura constituye una de las áreas donde se prevé que pueda implantarse con mayor rapidez este tipo de tecnología. Por ejemplo, las redes de sensores favorecen una reducción en el consumo de agua y pesticidas, contribuyendo a la preservación del entorno. Adicionalmente, pueden alertar sobre la llegada de heladas, así como ayudar en el trabajo de las cosechadoras.

Gracias a los desarrollos que se han producido en las redes de sensores inalámbricos en los últimos años, especialmente la miniaturización de los dispositivos, han surgido nuevas tendencias en el sector agrícola como la llamada agricultura de precisión.

Esta disciplina cubre múltiples prácticas relativas a la gestión de cultivos y cosechas, árboles, flores y plantas, ganado, etc. Entre las aplicaciones más interesantes se encuentra el control de plagas y enfermedades.

Por medio de sensores estratégicamente situados, se pueden monitorizar parámetros tales como el clima, la temperatura o la humedad de las hojas, con el fin de detectar rápidamente situaciones adversas y desencadenar los tratamientos apropiados. La gran ventaja del uso de esta tecnología es la detección a tiempo y la aplicación óptima de los pesticidas, únicamente en aquellas zonas donde resulta realmente necesario.

- Proyecto sensores de riego (Australia)

Esta red de sensores, supone una revolución capaz de ahorrar grandes cantidades de agua, y de ayudar a mantener la agricultura. Un dispositivo denominado “nictor”, utiliza redes de sensores inalámbricos que se han desarrollado en un laboratorio de la Universidad de Melbourne.

Con la instalación de sensores se puede monitorizar el uso del agua y de la climatología en las diferentes estaciones del año. Con ello se persigue conocer el agua usada y mejorar las técnicas de irrigación.

Los viñedos pueden ser provistos de agua una vez al día de forma automática en función de la temperatura de las plantaciones, se registrada con sensores infrarrojos a corta distancia de las hojas. Así, cuando la temperatura excede el umbral de temperatura durante más de 4 horas se activa el riego.

El sistema usa agua de manera más eficiente que un sistema de irrigación convencional. Es el resultado de la investigación dirigida por John Langford, director of the *university's Melbourne Water Research Centre*, y un grupo de especialistas de varias organizaciones.

De momento el sistema ya se ha probado y los resultados son más que satisfactorios. La primera red de sensores se desplegó en el invernadero de la citada universidad, mientras que una segunda red se ha instalado en un viñedo de una hacienda en una zona de denominación Chianti.

b) Aplicaciones en la naturaleza

El mantenimiento y cuidado de espacios y parques naturales resulta complejo en gran medida por las especiales características de los mismos. Se trata de áreas de grandes dimensiones, en algunos casos de difícil acceso, que están repletos de especies vegetales y animales que hay que preservar, por lo que la supervisión de los mismos debe realizarse empleando métodos lo menos intrusivos posibles.

Nuevamente las WSN pueden resultar de gran ayuda en este tipo de tareas. Los sensores, de pequeño tamaño, pueden disimularse con en el entorno, procesando los datos de diversos parámetros ecológicos y transmitiendo la

información de forma inalámbrica hasta un centro de control, situado normalmente en la caseta de los guardias forestales. De este modo, se evita en la medida de lo posible la circulación de personas y vehículos por el parque.

Entre los parámetros a monitorizar podemos enumerar: temperatura, humedad, crecimiento de árboles y arbustos, desplazamientos de especies, conteo de animales, caudales de ríos, etc.

- **Monitorización Ambiental**

Para realizar monitorización ambiental se diseñan las redes para realizar lecturas de un entorno inaccesible y hostil en un período de tiempo para detectar cambios, tendencias, etc.

- **Proyecto Secuoyas**

En el condado de Sonoma, en California, Estados Unidos, los investigadores ataron 120 motas a los árboles conocidos como secuoyas con el fin de monitorizar, desde 70 kilómetros de distancia, el micro clima en las inmediaciones de Berkeley.



Figura 4.2 Proyecto Secuoyas

Cada nodo incluye sensores de luz, temperatura, humedad, presión, acelerómetro de dos ejes, sensor de luz ambiente. Los equipos utilizados fueron

el MTS400/420. La diferencia entre estos dos modelos se encuentra en que el módulo MTS420 incluye un módulo GPS. Para la adquisición de datos y monitorización del ambiente utilizaron el módulo MDA300 *Data Acquisition*.



Figura 4.2 Ubicación de sensores

- Proyecto Great Duck

En la primavera del 2002 *Intel Research Laboratory* de Berkeley inició una colaboración con el *College of the Atlantic in Bar Harbor* y la *University of California* en Berkeley para desplegar una red WSN en la isla Great Duck cerca de las costas de Maine, Estados Unidos.

Existe una red de 150 nodos sensores inalámbricos que monitorean los micro climas en los refugios donde anidan las aves marinas, y en los alrededores. Esta red debía monitorizar el microclima de una manera no intrusiva que evitara la perturbación de la vida salvaje de aquel hábitat.

Cada nodo desplegado en la isla, estaba compuesto por un microcontrolador, una radio de baja potencia, memoria y baterías. Básicamente se realizó operaciones de monitorización de temperatura, humedad, presión. Los nodos enviaban sus datos a las estaciones base de la isla, que a su vez vía satélite las colocaba en Internet, para el acceso de los investigadores.

En Junio 2003, se desplegó una segunda red con 56 nodos. En Julio 2003, 49 nodos adicionales. En Agosto 2003, 60 nodos más y 25 nuevos nodos “estaciones meteorológicas”.

- **Detección de desastres**

En el Reino Unido se está implementando una red de pequeños sensores que monitorizan el nivel y flujo de agua para poder de esta manera prevenir inundaciones.

Obteniendo más datos y con mayor precisión que los sistemas actuales de monitorización facilitan las oportunas tomas de decisión para prevenir riesgos inminentes. Dos despliegues de trece sensores se han instalado a lo largo de un tramo del *Río Ribble, in the Yorkshire Dales*.

El resto de la red debe de estar desplegada para finales de año. Este río se desborda de forma regular a comienzos de año según apunta Danny Hughes, científico de *Lancaster University, UK*, que trabaja en el proyecto.

La red final constará de tres tipos de sensores. Unos medirán la presión bajo la línea de agua para determinar la profundidad. Los otros dos, medirán la velocidad del flujo de agua, usando ultrasonidos bajo la superficie y cámaras web encima de ella para realizar un seguimiento de objetos.

c) Aplicaciones sociales y sanitarias

El cuidado de personas mayores requiere en la mayor parte de los casos de un seguimiento exhaustivo de sus actividades, lo cual limita su privacidad y al mismo tiempo supone una excesiva carga de trabajo para los cuidadores.

Mediante el uso de una red de sensores inalámbricos situados en puntos estratégicos del domicilio del anciano, así como en objetos de uso cotidiano, los cuidadores pueden monitorizar en tiempo real el comportamiento de las personas mayores, evitando la realización de tareas tediosas y centrándose en aspectos más importantes como es la mejora de su calidad de vida.

Adicionalmente, el cuidado médico tanto en hospitales como fuera de los mismos, por ejemplo la rehabilitación de pacientes, también se beneficia del uso de esta tecnología.

Un ejemplo de ello es el proyecto *CodeBlue*, desarrollado en la Universidad de Harvard. En este caso se han implementado distintos tipos de sensores para la monitorización de parámetros vitales: tasa de latidos del corazón, concentración de oxígeno en sangre, datos EKG de electrocardiograma, etc.

Toda esta información se recoge por los sensores y se distribuye de forma inalámbrica a una *PDA* u ordenador portátil para su procesamiento. De este modo, cualquier señal de alerta puede detectarse a distancia en tiempo real.

- **Requisitos de CodeBlue**

- Debe ser un Sistema sumamente robusto.
 - No puede estropearse bajo la tensión.
 - La comunicación debe tener bajas latencias.
- Posibilidad de escalar redes muy densas.
 - Muchos nodos, alto grado de movilidad.
 - Compleja dinámica de enlaces de radio.
- Debe conservar la privacidad de datos médicos (Regla de Intimidad HIPAA).
 - No puede revelar datos médicos o la identificación de pacientes de forma indiscriminada.

- Distinto personal de asistencia médica tiene derechos de acceso diferentes.

- **Arquitectura CodeBlue**

- Escalable, robusto para el cuidado crítico.
 - Redes ad hoc, enlaces multipunto con descubrimiento dinámico de rutas.
 - Funciona con una gama amplia de dispositivos, desde motas a PDAS y ordenadores personales.
- Modelo publicador/suscriptor de entrega de datos.
 - Los nodos de sensores publican constantes vitales, posición e identidad
 - El personal de rescate/médico se suscribe a los datos de interés.
 - Filtración y agregación de datos para limitar el uso del canal y la sobrecarga de información.
- Fiabilidad en la entrega de datos críticos
 - Priorización en base al contenido por ejemplo, el Paciente deja de respirar o pérdida de conectividad a la red.
 - Potencia de transmisión regulable para limitar las interferencias o emitir mensajes "SOS".
- Autenticación y seguridad descentralizada
 - Traspaso de credenciales a través del personal de emergencias.
 - Control de acceso seguro.

d) Aplicaciones civiles

IrisNet es una arquitectura software desarrollada por Intel para la gestión de redes mundiales de sensores de diversos tipos, incluyendo vídeo, permitiendo el acceso distribuido a dichos sensores de una forma potente y eficiente.

Cuando el número de dispositivos crece de forma significativa, como es el caso de telarañas mundiales de sensores, resulta clave disponer de herramientas eficientes para el acceso a los mismos, en especial por el elevado consumo de ancho de banda. En el proyecto *IrisNet* se han demostrado distintas aplicaciones prácticas que hacen uso de dicha herramienta. Entre ellas se incluyen las siguientes:

- Localización de plazas libres en parkings
- Vigilancia de niños y personas mayores mediante videocámaras
- Seguridad del hogar
- Avisador de riesgo de epidemias (gripe, fiebres, etc.)
- Monitorización de redes de ordenadores
- Observatorios terrestres y marítimos (costas)

e) Aplicaciones militares

Además de las propias aplicaciones civiles, las redes de sensores inalámbricos encuentran un importante campo de aplicación en misiones militares. Estos pueden ser utilizados en la identificación y seguimiento de tropas o vehículos militares, así como en la detección de armas químicas y biológicas, prevención de ataques terroristas en centrales nucleares, aeropuertos edificios gubernamentales.

4.3 Sistema para prevenir desastres por el fenómeno del Niño en Ecuador

Los fenómenos oceánicos y atmosféricos que se producen en el Océano Pacífico intertropical son determinantes en el comportamiento climático de nuestro país. Su posición costera al este del océano y adyacente a éste, lo ubica en la zona donde se expresa con mayor fuerza el Fenómeno El Niño.¹³

¹³ Fenómeno del Niño es el nombre que se le da al calentamiento de las aguas superficiales del Océano Pacífico que tiende a verificarse cerca de la Navidad, a lo largo de las costas de Perú y Ecuador.

Este fenómeno constituye una de las manifestaciones naturales más severas en los ecosistemas costeros e insulares del Ecuador, los eventos Niño no ocurren con una periodicidad determinada, pudiendo tener una amplitud de ocurrencia de doce a dieciocho meses. Durante estos períodos se desarrollan intensas lluvias, deslizamientos, inundaciones, sequías e incendios forestales en zonas distintas y distantes de nuestro territorio [27].

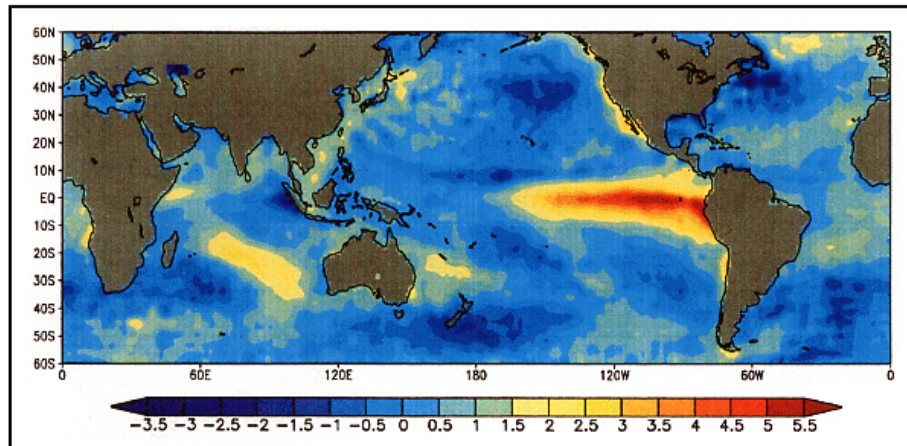


Figura 4.3 Calentamiento de aguas superficiales del Océano Pacífico.

- Efectos de la corriente del Niño

Las tierras de toda la costa poseen un mal sistema de drenaje natural, situación que sumada a las precipitaciones extraordinarias, causan la crecida de los ríos de la zona. Dichas crecientes coinciden con los niveles elevados del mar, lo que dificulta todavía más el drenaje y evacuación de aguas que inundan extensas áreas.

En varias zonas del litoral, los caminos y estanques para el cultivo de camarones también obstaculizan el flujo y drenaje del agua. Las inundaciones en amplias zonas agrícolas ocasionan la pérdida de cosechas y plantaciones, impiden la siembra de otras y provocaron la muerte del ganado que no puede evacuarse a tiempo.

En zonas de alta pendiente cercanas a la costa, donde los suelos son de tipo arcilloso y poseen una baja conductividad hidráulica, las abundantes precipitaciones originan la saturación de los suelos y se producen corrimientos que ocasionan destrucción o daños en viviendas, puentes y otras obras ubicadas bajo las laderas.

El turismo también se ve afectado al reducirse el flujo de turistas, debido a la falta de vías de acceso, al temor sobre el fenómeno transmitido por los medios de comunicación y a las dificultades para obtener agua potable y alimentos.



Figura 4.3 Efectos causados por Fenómeno del Niño

- Implementación de Alerta temprana

Se conoce que la temperatura en el mar se eleva más de lo normal y existe una disminución de la salinidad del agua, por lo que se puede implementar una UWSN para monitorizar el nivel, flujo, temperatura entre otras variables del agua de mar.

Adicionalmente se puede complementar el sistema colocando redes de sensores en los ríos más propensos a sufrir inundaciones. Se pueden utilizar

sensores de diversos tipos. Unos medirán la presión bajo la línea de agua para determinar la profundidad. Los otros, medirán la velocidad del flujo de agua, usando ultrasonidos bajo la superficie y se puede colocar cámaras en lugares estratégicos para realizar un seguimiento de objetos a través de internet.

El sistema recogerá datos los que serán analizados a fin de poder alertar de forma temprana a las personas que sufren las consecuencias del fenómeno del Niño para que se actúe con mayor rapidez y estén preparados para tomar acciones inmediatas en caso de emergencias.

CAPÍTULO 5

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- ✓ Los avances que hasta el momento se han logrado, hacen posible la construcción de prototipos que nos demuestran sus beneficios. Gracias a la continua evolución y disminución de costos de la tecnología, no es de extrañarse que en un futuro no muy lejano se pueda contar con sensores de un tamaño microscópico, de costos tan bajos que la pérdida de varios de ellos no represente inconvenientes. Incluso podemos pensar en aplicaciones que hagan uso de varios cientos o miles de ellos.

- ✓ Las redes de sensores inalámbricos encuentran multitud de aplicaciones en la sociedad actual y en ellas convergen un buen número de tecnologías de la información y las comunicaciones. Es un campo que esta creciendo y evolucionando y donde hay amplia materia, tanto para la investigación, como para el desarrollo de productos y aplicaciones.

- ✓ Las WSN están formadas por numerosos dispositivos distribuidos, y estos deben ser capaces de encaminar la información desde un origen a un destino sin confiar en una infraestructura externa.

- ✓ Con la aparición de las WSN y los avances tecnológicos han permitido crear una nueva generación de sensores minúsculos, baratos, de excepcionales prestaciones y que se pueden interconectar. Además cada sensor es capaz de capturar la información física sobre su espacio inmediato.

- ✓ Los sistemas operativos para WSN son menos complejos que los de uso general, por lo que no tienen el nivel de interactividad que el de una aplicación para PC, por tanto, el sistema operativo no necesita incluir las ayudas para interfaces de usuario. Además, las restricciones de recursos en términos de memoria y consumo hacen que mecanismos tales como memoria virtual, sean innecesarios o imposibles de ejecutar.

- ✓ La tierra y la atmósfera se pueden monitorear y supervisar de forma continua gracias a que se cuenta con las herramientas adecuadas como satélites, estaciones meteorológicas, radares, etc. Sin embargo, para monitorear los ambientes marinos todavía es necesario la intervención combinada del hombre y de instrumentos marinos. La investigación en UWSN esta haciendo que esa labor sea más sencilla gracias a la utilización de AUV's, lo que permite obtener resultados en tiempo real.

- ✓ Aunque las UWSN tienen algunas propiedades comunes con las WSN, como el gran número de nodos, las comunicaciones por radio no funcionan bien bajo el agua es por eso que deben ser sustituidas por las comunicaciones acústicas, que tienen diferentes características y su tiempo de viaje.

- ✓ Las UW-ASN constan de un número de sensores y vehículos que se encuentran configurados para realizar de forma cooperativa tareas de monitoreo en un área dada, adaptándose a las características ambientales del agua (océanos, ríos, etc.).

5.2 RECOMENDACIONES

- ✓ Desarrollar programas estudiantiles para llamar la atención y motivar a que los estudiantes investiguen y sean partidarios de los beneficios del uso de WSN. Las WSN brindan soluciones tecnológicas que mejoran la productividad y facilitan el control de los sistemas productivos por medio de las comunicaciones inalámbricas.

- ✓ En nuestro país las UWSN son un campo casi desconocido, por lo que se recomienda pedir apoyo a instituciones para crear centros de investigación y desarrollo de esta tecnología, a fin de encontrar solución a problemas causados por fenómenos naturales, como el fenómeno del niño.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Dr. Francisco Ramos Pascual, Departamento de Comunicaciones. Universidad Politécnica de Valencia, <http://www.radioptica.com/Radio/wsn.asp>
- [2] Red Inalámbrica de Sensores
http://www.dexmatech.com/tecnologia/red_sensores_inalambricos
- [3] Computación Ubicua
http://es.wikipedia.org/wiki/Computaci%C3%B3n_ubicua
- [4] [Redes de sensores, <http://rogetrips.wordpress.com/2008/06/22/red-de-sensores/>
- [5] Elementos de las WSN,
http://ast-deim.urv.cat/pedro/Middleware_for_Wireless_Sensor_Networks
- [6] Tipos de sensores
<http://medicionesindustriales2007i.blogspot.com/2007/04/laboratorio-2-aplicacin-de-los-sensores.html>
- [7] Nodos o Motas
http://www.motas.es/rimsi/index.php?option=com_content&task=view&id=2&Itemid=3
- [8] Energy efficiency in wireless sensor networks
<http://www.slideshare.net/koco/energy-efficiency-in-wireless-sensor-networks>
- [9] Memoria (Informática)
http://es.wikipedia.org/wiki/Almacenamiento_inform%C3%A1tico
- [10] Secure Digital
http://es.wikipedia.org/wiki/Secure_Digital
- [11] Conector SMA
http://es.wikipedia.org/wiki/Conector_SMA

- [12] Página web de TinyOS: <http://www.tinyos.net/>
- [13] Técnica de data mining
<http://www.monografias.com/trabajos/datamining/datamining.shtml>
- [14] Zegbee
<http://es.wikipedia.org/wiki/ZigBee>
- [15] El zumbido de las abejas, ZIGBEE
<http://www.domodesk.com/content.aspx?co=97&t=21&c=47>
- [16] ZigBee Alliance, <http://www.zigbee.org>
- [17] Acústica Subacuática
http://www.lpi.tel.uva.es/~nacho/docencia/ing_ond_1/trabajos_03_04/subacuatica/
- [18] Características del Agua de mar
<http://www.practiciencia.com.ar/ctierrayesp/tierra/superficie/hidrosfera/marinas/salinidad/index.html>
- [19] Ley de Snell,
http://es.wikipedia.org/wiki/Ley_de_Snell
- [20] Acústica subacuática
http://www.lpi.tel.uva.es/~nacho/docencia/ing_ond_1/trabajos_03_04/subacuatica/
- [21] Underwater Sensor Network
<http://www.eng.buffalo.edu/~tmelodia/papers/underwater.pdf>
- [22] Underwater Sensor Network Lab,
<http://uwsn.engr.uconn.edu/overview.html>
- [23] DSPComm
<http://www.dspcomm.com/company.html>
- [24] LinkQuest Company
<http://www.link-quest.com/index.htm>

- [25] Dr. Francisco Ramos Pascual, redes de sensores inalámbricas, aplicaciones, <http://www.radioptica.com/Radio/wsn.asp?pag=2>.
- [26] Diseño, despliegue y operación de WSN, Aplicaciones [http://www.tsc.urjc.es/Master/asignaturas/RedesAdHoc/Aplicacionesreales WSN.pdf](http://www.tsc.urjc.es/Master/asignaturas/RedesAdHoc/AplicacionesrealesWSN.pdf)
- [27] Fenómeno del niño, <http://www.inamhi.gov.ec/educativa/elnino.htm>

ANEXO