

**SERVICIO BASADO EN LOCALIZACIÓN Y GIS PARA LA LECTURA Y  
REGISTRO DE SEÑALES USANDO EL KIT SUN SPOT CON TECNOLOGÍA  
ZIGBEE**

**JULIÁN ALONSO ALBARRACÍN ALARCÓN**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO MECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA ELECTRÓNICA Y  
TELECOMUNICACIONES  
BUCARAMANGA  
2008**

**SERVICIO BASADO EN LOCALIZACIÓN Y GIS PARA LA LECTURA Y  
REGISTRO DE SEÑALES USANDO EL KIT SUN SPOT CON TECNOLOGÍA  
ZIGBEE**

**JULIÁN ALONSO ALBARRACÍN ALARCÓN**

**PROYECTO DE GRADO**

**Ph.D HOMERO ORTEGA BOADA  
DIRECTOR**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO MECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA ELECTRÓNICA Y  
TELECOMUNICACIONES  
BUCARAMANGA  
2008**

*A la querida memoria de mi hermano César Leonardo Albarracín.*

*Juntos recorrimos los campos de Belén,*

*Juntos nos solazábamos correteando por entre los árboles en Palestina.*

*Juntos siempre...*

## **AGRADECIMIENTOS**

A mi madre Hilda María Alarcón, por su infinito amor, su apoyo incondicional, su ejemplo y paciencia en todos estos años.

A mi padre Cesar Libardo Albarracín, por su apoyo, y por su consejo que me infunden valor y energía para seguir adelante.

A mi hermana Nidia Consuelo, que con su calidez y don de gentes me alegra aún en los momentos difíciles.

Al profesor Homero Ortega por la confianza depositada en mí.

Al profesor PhD (c) Akshay Dua y a su pupilo Damon Tyman de Portland State University por su amabilidad y cooperación.

Al Ing. José Luis Leal por su valiosa orientación y apoyo para la optimización de este trabajo.

Al grupo de investigación RadioGis por los momentos que compartimos.

Y a todas aquellas personas que de algún modo participaron o ayudaron para que este trabajo tuviera un buen término.

## TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	1
1. PRESENTACIÓN DEL PROYECTO .....	4
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	4
1.2 OBJETIVOS.....	6
1.2.1 Objetivo general .....	6
1.2.2 Objetivos Específicos.....	6
1.3 JUSTIFICACIÓN .....	7
1.4.1 Monitoreo de Estructuras .....	7
1.4.2 Desarrollo de servicios para el agro.....	8
1.4.4 Aplicaciones en la naturaleza .....	8
1.4 ANTECEDENTES.....	9
1.5.1 Medición de ángulos con tecnología ZigBee orientado a un servicio de rehabilitación biomédica del codo.....	9
1.5.2 Wireless Utility Meter Reading.....	9
1.5.3 A Wireless Sensor Network for Structural Monitoring.....	10
1.5 ALCANCE DEL PROYECTO.....	10
2. FUNDAMENTOS TEORICOS.....	11
2.1 SISTEMAS DE COMUNICACIONES.....	11
2.1.2 Partes de un Sistema de Comunicación.....	11
2.2 SISTEMAS DE TELECOMUNICACIONES .....	12
2.2.1 Sistemas y Servicios de Telecomunicaciones.....	12
2.3 SERVICIOS DE TELECOMUNICACIONES BASADOS EN LOCALIZACIÓN. 13	
2.3.1 Aplicación de los LBS.....	14
2.3.1.1 Servicios de Información y Consulta.....	15
2.3.1.2 Servicios de Comunidades .....	15
2.3.1.3 Trafico de Telemática .....	15
2.3.1.4 Mercadeo Móvil.....	16

2.3.1.5	Juegos .....	16
2.3.1.6	Servicios de Valor Agregado .....	16
2.3.1.7	Servicios de Emergencias.....	17
2.3.2	Clasificación de los LBS .....	17
2.3.2.1	LBS Orientados a Personas.....	17
2.3.2.2	LBS Orientados a Dispositivos.....	17
2.3.3	Mercadeo de los LBS.....	19
2.3.4	Modelo de los LBS .....	20
2.4	SISTEMA DE POSICIONAMIENTO GLOBAL GPS .....	21
2.4.1	Sistemas de Radio-Navegación .....	21
2.4.2	Cobertura del Espacio.....	22
2.4.3	Funcionamiento del GPS.....	23
2.4.4	Niveles de Servicio del GPS.....	24
2.4.5	Protocolo NMEA .....	25
2.4.6	Dispositivo GPS EM-406 A .....	26
2.5	SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA.....	28
2.6	REDES INALAMBRICAS DE SESORES .....	29
2.6.1	Sensores.....	29
2.6.2	Generalidades Sobre Las Redes De Sensores.....	30
2.6.3	Aplicaciones de las Redes de Sensores.....	32
2.6.4	Características de las Redes Inalámbricas de Sensores WSN.....	33
3.	SUN SPOT .....	35
3.1	Kit de Desarrollo del Sun SPOT .....	36
3.1.1	La Tarjeta eDemo del Sun Spot.....	37
3.1.2	Procesador del Sun Spot.....	38
3.1.3	Sistema de Comunicación del Sun Spot.....	39
3.1.4	El Protocolo IEEE 802.15.4 Y ZigBee.....	41
3.2	PROGRAMACION DEL SUN SPOT .....	42
3.2.1	Maquina Virtual Squawk.....	42
3.2.2	MIDlets y Aplicaciones para los Spot .....	44

3.2.3	Ciclo de vida de un MIDlet.....	45
3.3	Uso del dispositivo Basestation .....	46
3.4	Radiogramas .....	47
3.5	Protocolo HTTP .....	49
4.	SISTEMA DE MONITOREO SASBEE .....	51
4.1	LA HERRAMIENTA ASASBEE.....	51
4.2	LA HERRAMIENTA CSASBEE .....	53
4.3	ANALISIS DE LAS APLICACIONES ASASBEE Y CSASBEE .....	56
4.4	SASECHO FORMA ALTERNATIVA DEL SISTEMA SASBEE.....	57
4.4.1	La Herramienta SENSECHO .....	59
4.4.2	La herramienta PUBLISHECHO .....	61
4.4.3	VALIDACION DEL DESEMPEÑO DEL SISTEMA DE COMUNICACIÓN....	63
4.4.4	Aspectos del Sistema SASECHO.....	64

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Tipos de servicios LBS.....	19
Tabla 2. Sistemas de radio-navegación.....	21
Tabla 3. Sensores típicos y sus salidas.....	30
Tabla 4. Resultados de la prueba de desempeño del radio del Sun Spot.....	64

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Modelo del sistema SASBEE, y de la opción cliente–servidor. ....	5
Figura 2. Modelo alternativo del servicio de escaneo.....	6
Figura 3. Un sistema de comunicación. ....	11
Figura 4. Partes de un sistema de comunicación. ....	12
Figura 5. Modelo de Comunicación General de los LBS.....	20
Figura 6. Constelación de Satélites.....	23
Figura 7. Modulo GPS EM-406 A. ....	27
Figura 8. Aplicaciones potenciales de las redes de sensores. ....	32
Figura 9. Tarjeta eSPOT.....	35
Figura 10. Figura 10. Sun Spot.....	36
Figura 11. Tarjeta eSPOT y sus componentes.....	38
Figura 12. Algunas de las topologías que soporta la capa MAC de 802.15.4.....	41
Figura 13. Arquitectura para depuración de la maquina virtual Squawk.....	43
Figura 14. Una aplicación de tipo MIDlet. ....	45
Figura 15. Modo de empleo del dispositivo Basestation. ....	46
Figura 16. La aplicación ASASBEE es compilada en Netbeans. ....	53
Figura 17. La aplicación CSASBEE es ejecutada en Netbeans.....	55
Figura 18. Resultados obtenidos al ejecutar el código en Netbeans. ....	56
Figura 19. Funcionamiento en conjunto de las aplicaciones ASASBEE y CSASBEE.....	57
Figura 20. Diagrama de flujo de la aplicación SENSECHO.....	59
Figura 21. Resultado del sistema SASECHO.....	62
Figura 22. Resultado del sistema SASECHO para un Spot con GPS. ....	63

## GLOSARIO

**Ad Hoc:** hace referencia a una red (especialmente inalámbrica) en la que no hay un nodo central, sino que todos los ordenadores están en igualdad de condiciones. Ad hoc es el modo más sencillo para el armado de una red. Sólo se necesita contar con 2 placas o tarjetas de red inalámbricas (de la misma tecnología).

**API:** (Application Interface) Interfaz de Aplicación.

**ASASBEE:** se refiere a la aplicación para el hardware de los Spot para permitir la adquisición de la información y la transmisión de esta al host.

**Bytecode:** es un código intermedio de más alto nivel que el código máquina. Habitualmente es tratado como un fichero binario que contiene un programa ejecutable similar a un módulo objeto, que es un fichero binario producido por el compilador cuyo contenido es el código objeto o código máquina .

**CSASBEE:** se refiere a la aplicación que hace posible la comunicación con el ASASBEE y la exhibición de los datos sensados.

**CLDC:** Connectivity Low Device Capacity. Un nivel mínimo de funcionalidad requerido para todos los dispositivos móviles inalámbricos. CLDC toma en consideración factores como la cantidad de memoria disponible en los dispositivos móviles junto con su potencia de procesamiento.

**DEBUG:** depuración de programas es el proceso de identificar y corregir errores de programación.

En inglés se le conoce como *debugging*, ya que se asemeja a la eliminación de *bichos* (*bugs*), manera en que se conoce informalmente a los errores de programación. Se dice que el término *bug* proviene de la época de las computadoras de bulbos, en las cuales los problemas se generaban por los insectos que eran atraídos por las luces y estropeaban el equipo.

**DSSS:** el espectro ensanchado por secuencia directa ( direct sequence spread spectrum o DSSS), también conocido en comunicaciones móviles como DS-CDMA (acceso múltiple por división de código en secuencia directa), es uno de los métodos de modulación en espectro ensanchado para transmisión de señales

digitales sobre ondas radiofónicas que más se utilizan. Tanto DSSS como FHSS están definidos por la IEEE en el estándar 802.11 para redes de área local inalámbricas WLAN.

**DSTel:** Desarrolladores de servicios de telecomunicaciones.

**EDSTeCol:** tesis de grado que se deriva del proyecto PraConco y que se realiza a nivel de pregrado (Ricardo Hernández, Erkin Quintero): Estudio para el desarrollo de servicios de telecomunicaciones de nueva generación en Colombia.

**GIS:** Sistema de Información geográfico. Es una integración organizada de hardware, software, datos geográficos y personal, diseñado para capturar, almacenar, manipular, analizar y desplegar en todas sus formas la información geográficamente referenciada con el fin de resolver problemas complejos de planificación y gestión. También puede definirse como un modelo de una parte de la realidad referido a un sistema de coordenadas terrestre y construido para satisfacer unas necesidades concretas de información.

**GPRS:** General Packet Radio Service es un servicio de datos móvil orientado a paquetes. Está disponible para los usuarios del Sistema Global para Comunicaciones Móviles (Global System for Mobile Communications o GSM), así como para los teléfonos móviles que incluyen el sistema IS-136. Permite velocidades de transferencia de 56 a 114 kbps.

**GPS:** es un Sistema Global de Navegación por Satélite (GNSS) que permite determinar en todo el mundo la posición de un objeto, una persona, un vehículo o una nave, con una precisión hasta de centímetros, usando GPS diferencial, aunque lo habitual son unos pocos metros. Aunque su invención se les atribuye a los gobiernos francés y belga, el sistema fue desarrollado e instalado, y actualmente es operado, por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos.

**GATEWAY:** puerta en comunicaciones de red, es una combinación de programa y hardware que comunica dos tipos diferentes de redes.

**GISGERREM:** Proyecto financiado por Colciencias que se desarrolla entre el grupo RadioGis, I2T y la empresa Tesamérica: Desarrollo de una herramienta basada en GIS, para el apoyo a la gestión de espectro radio y el control de niveles de radiación electromagnética.

**HOST:** una máquina conectada a una red de ordenadores y que tiene un nombre de equipo (en inglés, *hostname*). Es un nombre único que se le da a un dispositivo

conectado a una red informática. Puede ser un ordenador, un servidor de archivos, un dispositivo de almacenamiento por red, una máquina de fax, impresora, etc. Este nombre ayuda al administrador de la red a identificar las máquinas sin tener que memorizar una dirección IP para cada una de ellas.

Por extensión, a veces también se llama así al dominio del equipo (Un dominio es la parte de una URL por la que se identifica al servidor en el que se aloja).

**HTTP:** el protocolo de transferencia de hipertexto (HTTP, HyperText Transfer Protocol) es el protocolo usado en cada transacción de la Web (WWW). HTTP fue desarrollado por el consorcio W3C y la IETF, colaboración que culminó en 1999 con la publicación de una serie de RFC, siendo el más importante de ellos el RFC 2616, que especifica la versión 1.1.

**HTML:** lenguaje para escribir páginas en el Internet.

**J2SE:** Java SE (conocido anteriormente hasta la versión 5.0 como Plataforma Java 2, Standard Edition o J2SE), es una colección de APIs del lenguaje de programación Java útiles para muchos programas de la Plataforma Java. La Plataforma Java 2, Enterprise Edition incluye todas las clases en el Java SE, además de algunas de las cuales son útiles para programas que se ejecutan en servidores sobre workstations.

**KSS:** Kit de nodos Sun Spot.

**LBS:** (Location Based Services) Servicios de telecomunicaciones basados en localización.

**LBSModCol:** proyecto que desarrolla el grupo RadioGis a nivel de maestría de ingeniería de sistemas (estudiante: José Luis Leal): Modelo para el Desarrollo de Servicios Basados en Localización en las Condiciones de Colombia con la Visión de las Redes de Telecomunicaciones de Próxima Generación. El cual busca crear las condiciones (plataforma) para facilitar el desarrollo de LBS como estrategia para motivar el surgimiento de DSTel.

**LOBASETER:** herramienta de software para localización geográfica de terminales en redes móviles celulares, el cual fue realizado como proyecto de grado por Andrés Estupiñán Rincón y Hernán Guillermo Rueda Beltrán.

**MAC:** Medium Access Control. El proceso empleado para controlar las bases sobre las cuales los dispositivos pueden acceder a un medio de transferencia de información.

**MACZigBee:** proyecto y tesis de grado del grupo RadioGis (ejecutada por: Celso Andrés Forero Flórez, John Christian Batista Álvarez): Medición de ángulos con tecnología ZigBee orientado a un servicio de rehabilitación biomecánica del codo.

**MIDlet:** es un programa Java para dispositivos embebidos (se dedican a una sola actividad), más específicamente para la Máquina Virtual Java MicroEdition (Java ME). Generalmente los MIDlets son juegos y aplicaciones que corren en un teléfono celular.

**NETBEANS:** la plataforma Netbeans permite que las aplicaciones sean desarrolladas a partir de un conjunto de componentes de software llamados *módulos*. Un módulo es un archivo Java que contiene clases de java escritas para interactuar con las APIs de Netbeans y un archivo especial (manifest file) que lo identifica como módulo. Las aplicaciones construidas a partir de módulos pueden ser extendidas agregándole nuevos módulos. Debido a que los módulos pueden ser desarrollados independientemente, las aplicaciones basadas en la plataforma Netbeans pueden ser extendidas fácilmente por otros desarrolladores de software.

**NGN:** Redes de telecomunicaciones de nueva generación. Es un amplio término que se refiere a la evolución de la actual infraestructura de redes de telecomunicación y acceso telefónico con el objetivo de lograr la congruencia de los nuevos servicios multimedia (voz, datos, video...) en los próximos 5-10 años. La idea principal que se esconde debajo de este tipo de redes es el transporte de paquetes e información encapsulados a través del protocolo de Internet (IP) sobre redes de transporte que garantizan Calidad de Servicio (QoS), siendo el término "all-IP" comúnmente utilizado para describir dicha evolución.

**PraConCo:** Proyecto a largo y mediano plazo del grupo RadioGis para la Convergencia de las Comunicaciones en Colombia.

**RadioGis:** Grupo de Investigación en Radio comunicaciones.

**ROM:** significa "memoria de sólo lectura": una memoria de semiconductor destinada a ser leída y no destructible, es decir, que 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.

**SASBEE:** es el sistema de adquisición de señales que consta de una parte de acceso (ASASBEE) y una de control (CSASBEE).

**Servidor:** es una aplicación que ofrece un servicio a usuarios de Internet.

**TCP IP:** Protocolo TCP/IP, Protocolo de controlamiento de comunicación en el internet. Paquete de protocolos que arreglan conexión entre computadores en el internet.

**UART:** The Universal Asynchronous Receiver/Transmitter. Es un componente clave en la comunicación serial de sistemas.

**WLAN:** es un sistema de comunicación de datos inalámbrico flexible, muy utilizado como alternativa a las redes LAN cableadas o como extensión de éstas. Utiliza tecnología de radiofrecuencia que permite mayor movilidad a los usuarios al minimizar las conexiones cableadas. Las WLAN van adquiriendo importancia en muchos campos, como almacenes o para manufactura, en los que se transmite la información en tiempo real a una terminal central. También son muy populares en los hogares para compartir el acceso a Internet entre varias computadoras.

**WPAN:** Red Inalámbrica de Área Personal o Red de área personal o Personal area network es una red de computadoras para la comunicación entre distintos dispositivos (tanto computadoras, puntos de acceso a internet, teléfonos celulares, PDA, dispositivos de audio, impresoras) cercanos al punto de acceso. Estas redes normalmente son de unos pocos metros y para uso personal, así como fuera de ella.

**3G:** es una abreviatura para tercera-generación de telefonía móvil. Los servicios asociados con la tercera generación proporcionan la posibilidad de transferir tanto voz y datos (una llamada telefónica) y datos no-voz (como la descarga de programas, intercambio de email, y mensajería instantánea).

## RESÚMEN

**TITULO: SERVICIO BASADO EN LOCALIZACIÓN Y GIS PARA LA LECTURA Y REGISTRO DE SEÑALES SENSADAS USANDO EL KIT SUN SPOT CON TEGNOLOGÍA ZIGBEE\***

**AUTOR: JULIÁN ALONSO ALBARRACÍN ALARCÓN\*\***

**Palabras claves:** Servicios de telecomunicaciones, Redes inalámbricas de sensores, GPS, GIS, SUN SPOT, ETI.

## DESCRIPCIÓN

El actual panorama tecnológico y económico hace que el mundo en el que vivimos sea complejo y cada vez mas regido por la tecnología de la información. Internet ha tenido un impacto sobre el mundo sin precedentes, y de algún modo internet tiene que ver con muchas de nuestras vidas en términos de cómo nos comunicamos, promovemos productos, educamos a los niños y como disponemos nuestro tiempo.

Este trabajo se desarrolla teniendo en cuenta la dinámica global actual y presenta un Servicio Basado en Localización (LBS), involucrando dispositivos electrónicos de sensado, mediciones georeferenciadas, registro y consulta remota de las mediciones, usando las últimas tecnologías disponibles, lo cual representa un resultado tangible a los retos del Plan de Desarrollo en ETI (Electrónica Telecomunicaciones e Informática) de Colombia.

Durante los últimos años se viene presentando en el mundo, un crecimiento exponencial en las comunicaciones móviles que nos hace pensar que el mundo tiende a ser. Además la convergencia de las redes inalámbricas con las demás redes, el protocolo IP y la internet con sus múltiples prestaciones ya es una realidad que nos involucra en nuevos retos para soluciones nunca antes vistas.

El desarrollo consiste en un sistema de monitoreo que permite obtener información georeferenciada de forma dinámica de un ambiente a través de sensores, específicamente se usó una red de nodos que forma parte del Kit Sun Spot, combinada con información del posicionamiento gracias a un chip GPS que fue acoplado a uno de los nodos. Se hizo todo el desarrollo de hardware y software para obtener un servicio basado en localización que permite esencialmente dos cosas: medir dinámicamente variables georeferenciadas y registrarlas de manera remota (a través de la Internet) en un GIS, lo cual equivale a un escaneo georeferenciado de variables; consultar mapas de las mediciones de manera remota (a través de la Internet).

---

\* Trabajo de Grado.

\*\*Facultad de Ingenierías Físico – Mecánicas, Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones.

Con este trabajo, el grupo de investigación RadioGis continúa avanzado en su intención de convertirse en líder en desarrollos ETI y servicios de Telecomunicaciones de Nueva Generación.

## ABSTRACT

**TITLE: LOCATION AND GIS BASED SERVICE FOR THE READING AND REGISTER OF SENSING SIGNALS USING KIT SUN SPOT WITH ZIGBEE TECHNOLOGY\***

**Author:** JULIÁN ALONSO ALBARRACÍN ALARCÓN\*\*

**Keywords:** Telecommunications Services, Wireless Sensor Network, GPS, SIG, SUN SOT, ETI.

The current economic and technological panorama does that the world in which we live are complex and each time more governed by the information technology. The Internet is unprecedented in its impact on the world communities, and in some way, the Internet has touched most of our lives in terms of how we communicate, how we promote our products, how we teach our children, and how we invest our time.

This work is developed keeping in mind the current global dynamic and it presents a location-based service that involves electronic devices of sensing, location target measurements, registration and remote access of these measurements using the last available technologies, which represents a tangible result to the challenges of the development plan in ETI (Electronic, Telecommunications and information technologies) in Colombia.

During the last years, the world became increasingly mobile due to the new technologies and to the new standards in telecommunications; furthermore the convergence of wireless and Internet usage is already underway, this does them attractive for the millions of new users each year.

The development consists of a monitoring system that permits to obtain information of an environment through sensors, specifically a network of nodes was used and the sensors that are found in the Sun Spot Kit and also information of the positioning of a GPS device connected to a Sun Spot. All the so much development in hardware as in software that was done to obtain a location-based service permits essentially two things: to measure dynamically location target information and consulting maps of these measurements in a remote way (through the Internet).

With this work, the research team RadioGis continues advanced in its intensity to be become leader in ETI developments and new Generation Telecommunications services.

---

\* Graduate Thesis Project.

\*\* Physics Mechanical Engineering Faculty. Electric, Electronic and Telecommunications School.

## INTRODUCCIÓN

En estos momentos con el reciente lanzamiento de las redes 3G<sup>1</sup> en Colombia que permiten hacer video llamadas, ver videoclips y mucho mas desde dispositivos móviles, los usuarios de servicios de telecomunicaciones demandan contenido e información en cualquier momento, en cualquier lugar, usando algún tipo de dispositivo. Otro hecho relevante, tiene que ver con los avances en microelectrónica, que han hecho posible que sensores de bajo consumo de potencia, y pequeños dispositivos puedan comunicarse directamente e inteligentemente unos con otros. Esto es ni más ni menos que un nuevo paradigma, una extensión de internet en el mundo de los objetos.

Cuando la gente piensa sobre lo que es Internet, ellos generalmente se imaginan a gente usando Internet para obtener información y disfrutar de contenidos que a la postre fueron generados por otros: blog<sup>2</sup> de personas, programas de juegos, música, venta de artículos y mucho mas; pero esto está cambiando ahora, con la tecnología de las redes Ad-Hoc<sup>3</sup> y otras tecnologías alternativas las cuales cuentan con capacidades de comunicación inteligente entre objetos. Esta tendencia está erigiendo el cambio en la forma en que nosotros interactuamos con el mundo y nos desenvolvemos en todo tipo de tareas.

La mayoría de los desarrollos que se realizan en Colombia son solo hardware o solo software (Instituto Colombiano para el Desarrollo de la Ciencia y la Tecnología - Colciencias, 2005), un menor número son la combinación de los anteriores para usuarios individuales. El grupo de investigación y desarrollo RadioGis, en alianza con otros grupos y empresas, le apuesta a convertir estos desarrollos en servicios de telecomunicaciones convergentes haciendo uso de toda la infraestructura de telecomunicaciones disponible, la cual ha alcanzado niveles adecuados de modernidad en Colombia con tecnologías como UMTS, WiFi, TV Digital y Redes Multiservicio.

---

<sup>1</sup> Third Generation, Ver Glosario.

<sup>2</sup> Sitio web donde las personas publican sus diarios personales narrando sobre sus pasatiempos o experiencias

<sup>3</sup> Red sin nodo central. Ver Glosario.

La telemetría resulta ser una línea transversal y prioritaria para alcanzar las metas del Plan Estratégico Nacional de ETI 2005-20015 (Instituto Colombiano para el Desarrollo de la Ciencia y la Tecnología - Colciencias, 2005). Así, la mayoría de la electrónica disponible y la que se desarrolla cotidianamente dentro y fuera de Colombia se ocupa de captar señales que luego son procesadas, organizadas, almacenadas y consultadas. Como lo demuestra el reciente congreso de Andicom, se presenta un creciente interés por los servicios basados en localización (LBS) y RadioGis los considera un componente que junto con los Sistemas de Información Geográfica (GIS) potenciará dramáticamente a la telemetría.

El presente proyecto se encuentra dentro del contexto de las temáticas de actuación del grupo de investigación RadioGis, específicamente las que tienen que ver con las comunicaciones móviles y la convergencia de las comunicaciones.

Con el trabajo de grado MEDICIÓN DE ANGULOS CON TECNOLOGÍA ZIG-BEE ORIENTADO A UN SERVICIO DE REHABILITACIÓN BIOMEDICA DEL CODO, finalizado en septiembre de 2007 (Flòrez & Àlvarez, 2007), se consiguió experiencia en el manejo de sensores pero principalmente permitió la familiarización con el kit de desarrollo Sun Spot, componente fundamental del presente trabajo.

Con estas bases, el presente trabajo tiene como objetivo el desarrollar un servicio cliente-servidor que permita la lectura y registro de modo dinámico de las señales de posicionamiento y las admisibles por los Sun Spot, sobre una geografía enviando de manera automática la información recopilada al servidor para ser registrada en un GIS<sup>4</sup>. La visión que se tiene es la de desarrollar un sistema de monitoreo para un lugar remoto, que sea completamente portable acotado a las restricciones que imponen el hardware y el software de los dispositivos de la red de sensores, las difíciles condiciones del medio ambiente y la incursión en un terreno relativamente nuevo como lo es el de los servicios basados en localización.

---

<sup>4</sup> Sistema de Información Geográfica.

Este desarrollo consiste en un trabajo pionero en Colombia con la visión de las redes de nueva generación NGN<sup>5</sup>, donde no se enfocan simplemente en la comunicación entre personas sino en atender toda la gama de necesidades industriales, salud, negocios, educación, etc. Relacionando lo anterior con el presente proyecto, la telemetría es vista por las NGN como un servicio de telecomunicaciones.

Este trabajo de grado realiza un estudio descriptivo de los fundamentos de los servicios de telecomunicaciones, los servicios basados en localización, las redes de sensores inalámbricas y el kit de desarrollo Sun Spot. Se presentan también los planteamientos necesarios para la solución desarrollada y se presentan las ventajas y desventajas de esta solución. También tiene un significado especial por tratarse de un trabajo relacionado con un campo revolucionario como lo es el de las redes de sensores inalámbricas, que fue identificado por el MIT (Massachusetts Institute of Technology) en Febrero de 2003 como una de las 10 tecnologías emergentes que cambiaría al mundo<sup>6</sup>.

En la primera parte de este libro, se presentan las ideas que sustentan este proyecto, los objetivos planteados en la iniciación; se pretende también dejar claridad sobre la problemática que incita este proyecto así como explicar la trascendencia y lo novedoso de la propuesta en este trabajo, posteriormente se elucida el marco teórico que impele este trabajo, así como la solución desarrollada.

---

<sup>5</sup>Next Generation Networking, Ver Glosario.

<sup>6</sup> 2003 Technology Review disponible en <http://www.technologyreview.com/article/13060/page2/>

# 1. PRESENTACIÓN DEL PROYECTO

## 1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Este proyecto pretende hacer frente y dar un tipo de pauta en cuanto a la problemática que se observa, la cual por una parte tiene que ver con la casi ausencia en Colombia de desarrollos y de aplicaciones que combinen tecnologías de la información, electrónica, telecomunicaciones y de navegación, por otra parte está la necesidad de aprovechar la actual infraestructura con que se cuenta en el campo de las telecomunicaciones como resultado del esfuerzo de los operadores por expandir sus redes a mas lugares lo que ha generado un gran aumento en el número de usuarios de servicios de telecomunicaciones y esto a su vez abre una ventana para desarrolladores creen nuevos servicios que satisfagan las necesidades de los usuarios.

También es necesario comprender la dinámica global para beneficiarse de los recientes avances en tecnología, de las plataformas abiertas y la cooperación en la red, y entonces adaptarlos para el desarrollo de aplicaciones con las características de los servicios de nueva generación.

Existe una variedad de dispositivos embebidos aptos para el desarrollo de un sistema de sensado, sin embargo el diseño del Kit Sun Spot (KSS), que combina características deseadas en un sistema de monitoreo, lo convierte en un candidato natural para ser tenido en cuenta en el desarrollo de servicios de monitoreo como quiera que aplica para las condiciones de una puesta en funcionamiento rápida y confiable.

El control de las señales de sensado para el escaneo de una geografía representa retos importantes como lo es la programación especialmente orientada a la medición confiable en las duras condiciones que impone un emplazamiento expuesto a múltiples factores del medio. Particularmente el KSS, solo cuenta con dos nodos, por lo tanto es necesario crear una metodología para reutilizarlos como si se tratase de muchos de ellos y también para sensar la información pertinente a la localización (GPS)<sup>7</sup>, junto con la transmisión de la información vía inalámbrica, ya que los dispositivos cuentan con una sola UART<sup>8</sup>, componente clave en la comunicación serial de sistemas.

Un servicio basado en localización, hace necesario desarrollar el CSASBEE, que es una herramienta que incluye una etapa de procesamiento, además que controla la interfaz entre la estación base y la computadora, con dos opciones: una para el equipo portátil y otra como solución Cliente-Servidor respetando al máximo las pautas que se derivan de la visión del grupo RadioGis para motivar el desarrollo de servicios NGN expresadas en el proyecto LBSModCol<sup>9</sup>.

Para el caso que atañe este trabajo, la herramienta ASASBEE, que es el software para guiar la red de sensores, recoge los datos del sensado en un emplazamiento y los transmite hasta una estación base. La figura 1 expone un modelo que se pretende para el sistema SASBEE, además muestra la alternativa cliente-servidor.

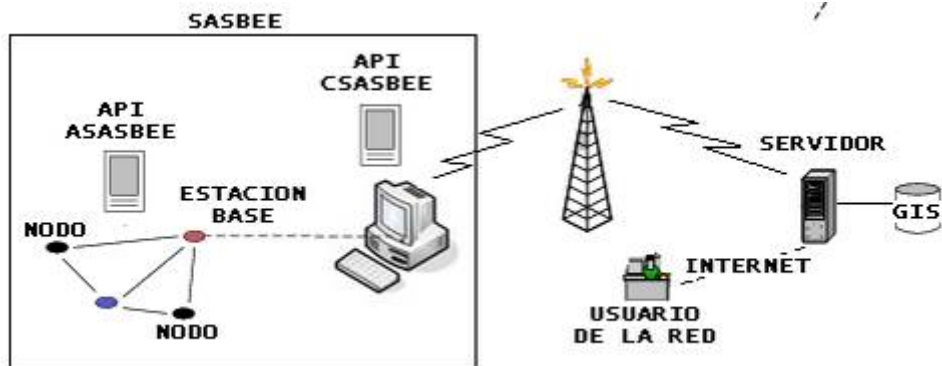


Figura 1. Modelo del sistema SASBEE, y de la opción cliente-servidor.

<sup>7</sup> Global Positioning System, Ver Glosario.

<sup>8</sup> Transmisor/Receptor Asíncrono Universal, Ver Glosario.

<sup>9</sup> Proyecto que desarrolla el grupo RadioGis a nivel de maestría de ingeniería de sistemas.

Uno de los desafíos más importantes para el desarrollo del servicio de escaneo de las señales usando Kit Sun Spot, supone sustituir la computadora por un dispositivo portable, adaptable a la estación base de la red sensores, que permita la transmisión de datos al servidor. Este desafío es de extraordinaria relevancia, puesto que es un avance contar con una red de sensores dinámica ya que favorece la posibilidad de nuevos servicios de telecomunicaciones. La figura 2 muestra el modelo para el servicio de escaneo, que se pretende alcanzar en este trabajo.



Figura 2. Modelo alternativo del servicio de escaneo.

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 Objetivo general

Desarrollar un servicio cliente-servidor que permita la lectura y registro de modo dinámico de las señales de posicionamiento y las admisibles por los Sun Spot, sobre una geografía enviando de manera automática la información recopilada al servidor para ser registrada en un GIS.

### 1.2.2 Objetivos Específicos

- ✓ Definir la API entre el sistema de acceso (red de sensores) y el de control del sistema de acceso (entre ASASBEE y CSASBEE).

- ✓ Definir la API entre el sistema de captura de las señales de posicionamiento junto con las del Sun Spot (SASBEE) y el de registro para PC. Será necesario desarrollar una imitación sencilla del sistema de procesamiento de señales sensadas para convertirlas en señales útiles a ser registradas en el GIS.
- ✓ Traducir la solución al modo Cliente-Servidor-Gis y demostrar su funcionamiento.
- ✓ Validar el desempeño del SASBEE en cuanto a la confiabilidad de la comunicación.
- ✓ Elaborar la documentación del SASBEE para facilitar su explotación o futuros desarrollos (especificaciones, manual de uso).

### **1.3 JUSTIFICACIÓN**

Este trabajo es importante para el grupo RadioGis, ya que se consolida como un grupo que busca la integración de las tecnologías disponibles para dar solución a las demandas de personas y compañías. Los siguientes son ejemplos donde la solución desarrollada tomaría valor:

#### **1.4.1 Monitoreo de Estructuras**

El monitoreo de estructuras, la colección y análisis de la respuesta estructural al ambiente o a una excitación forzada es una importante aplicación de las redes embebidas de sensado. En un comienzo, las redes de sensores para el monitoreo de estructuras, están ligadas a los sistemas de adquisición de datos, los cuales recogen datos hacia un solo nodo para proceso centralizado, para detectar y localizar daños en las estructuras. Un sistema basado en localización como el que se pretende desarrollar es específicamente útil en estas circunstancias, en tanto

que el conocimiento de la ubicación de los sensores beneficia en gran medida el análisis de perturbaciones en estructuras.

#### **1.4.2 Desarrollo de servicios para el agro.**

La agricultura constituye una de las áreas donde se prevé que pueda implantarse con mayor rapidez este tipo de tecnología<sup>10</sup>. 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.

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.

#### **1.4.4 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 redes inalámbricas de sensores pueden resultar de gran ayuda en este tipo de tareas. Los sensores, 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

---

<sup>10</sup> Prof. Dr. Francisco Ramos Pascual, Departamento de Comunicaciones. Universidad Politécnica de Valencia. <http://www.radioptica.com/Radio/wsn.asp>

a monitorizar se puede enumerar: temperatura, humedad, crecimiento de árboles y arbustos, desplazamientos de especies, conteo de animales, caudales de ríos, etc.

## **1.4 ANTECEDENTES**

El campo de las comunicaciones inalámbricas ha despertado el interés de varios entes en la Universidad Industrial de Santander. Específicamente en la Escuela de Ingeniería Electrónica, el grupo de investigación RadioGis está explorando en el campo de los servicios de telecomunicaciones, siendo consecuentes con los cambios tecnológicos y culturales de nuestra sociedad.

A continuación se hará una descripción de los trabajos de grado relacionados culminados:

### **1.5.1 Medición de ángulos con tecnología ZigBee orientado a un servicio de rehabilitación biomédica del codo**

Este proyecto de grado fue terminado en Septiembre de 2007 (Flòrez & Àlvarez, 2007), y consistió en el desarrollo de una aplicación para el análisis de movimiento durante los ejercicios de rehabilitación en la articulación del codo. El sistema transmite con tecnología de comunicación ZigBee<sup>11</sup> en sus capas física y MAC.

La herramienta permite obtener medición de ángulo en base a las aceleraciones censadas con dos acelerómetros que se relacionan para adquirir medidas de arco de movimiento en pacientes con limitaciones en la flexión y extensión de la articulación.

### **1.5.2 Wireless Utility Meter Reading**

Este fue un trabajo de marzo de 2007, realizado por The Internet Innovation Centre (IIC), University of Manitoba (Soiferman & Tang, 2007). Este trabajo apunto a encontrar una forma de sustituir el sistema de medición cableado de servicios

---

<sup>11</sup> Especificación de un conjunto de protocolos basados en el estándar IEEE 802.15.4

residenciales, usando una cámara web y nodos inalámbricos ZigBee. El sistema es una aplicación que captura una imagen del medidor y la transmite vía inalámbrica por los nodos ZigBee hasta más allá de 10m, donde un handheld reader muestra la imagen en su display.

### **1.5.3 A Wireless Sensor Network for Structural Monitoring**

Este trabajo fue elaborado por University of Southern California (Xu, y otros, 2004), el cual describe el diseño de un Wisden (wireless sensor network system for structural-response data acquisition) para el monitoreo en estructuras con el fin de detectar y localizar daños en edificios, puentes, naves y aviones. El sistema colecta los datos sensados por unos acelerómetros, y los transmite a través de una red ZigBee a una estación base donde estos datos son procesados.

## **1.5 ALCANCE DEL PROYECTO**

Al finalizar el proyecto de grado se espera implementar la herramienta SASBEE para la adquisición de datos provenientes de sensores del KSS, que permita monitorear las condiciones en un emplazamiento, con la posibilidad de ser accedido desde Internet, mediante una conexión inalámbrica.

Mediante el desarrollo planteado, se espera comprender el funcionamiento del perfil PAN<sup>12</sup> de la tecnología ZigBee en sus capas física y MAC<sup>13</sup>, así como también el manejo del protocolo GPRS<sup>14</sup>.

Además se espera adquirir un buen nivel de conocimiento en los lenguajes de programación que sustentaran las aplicaciones, como es el lenguaje Java, así como de los fundamentos de los servicios de telecomunicaciones basados en localización.

---

<sup>12</sup>Personal Area Network. Ver Glosario

<sup>13</sup>Medium Access Control. Ver Glosario

<sup>14</sup>General Packet Radio Service. Ver Glosario.

## 2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

### 2.1 SISTEMAS DE COMUNICACIONES

Un sistema de comunicación es simplemente cualquier sistema en el cual la información es transmitida desde una ubicación física A, a una segunda ubicación física B. Un ejemplo simple de un sistema de comunicación es una persona conversando con otra persona. Otro ejemplo es una persona conversando con una segunda persona a través de un teléfono.

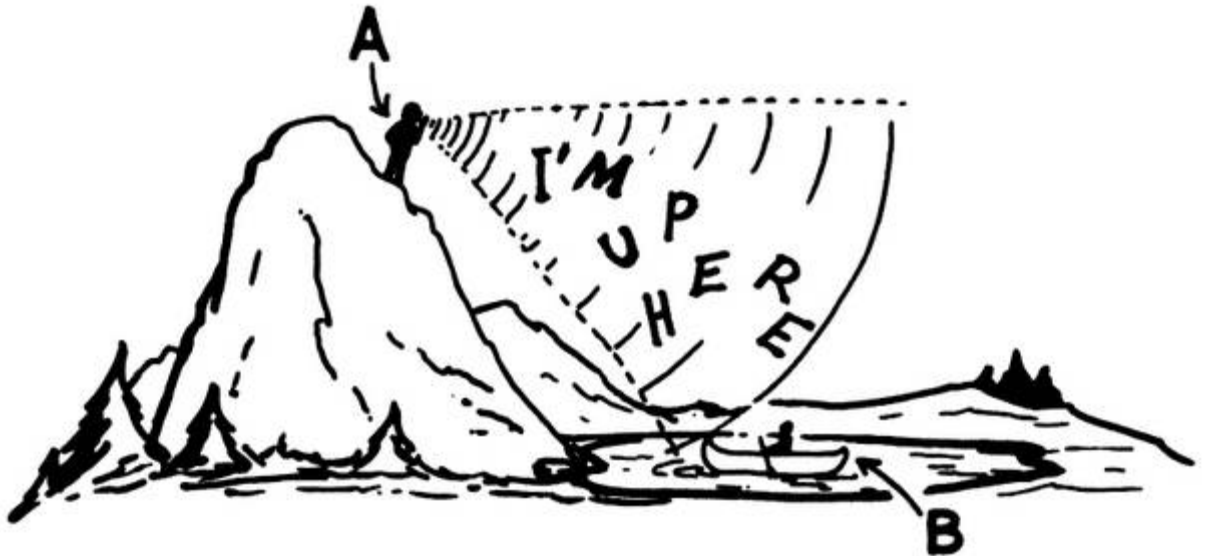


Figura 3. Un sistema de comunicación.

#### 2.1.2 Partes de un Sistema de Comunicación

Cualquier sistema de comunicación consta de tres partes, como se muestra en la Figura 4. Primero está el transmisor, es decir la parte del sistema de comunicación que se establece como A. este incluye dos cosas: La fuente de la información, y la tecnología que envía la información a través del canal. Después esta el canal. El canal es el medio (material) por el que la información viaja desde el punto A hasta

el punto B. Ejemplos de canal son el cable de cobre, o la atmosfera. Finalmente se encuentra el receptor, la parte del sistema de comunicación que se establece en B y obtiene toda la información que es enviada por el transmisor a través del canal.

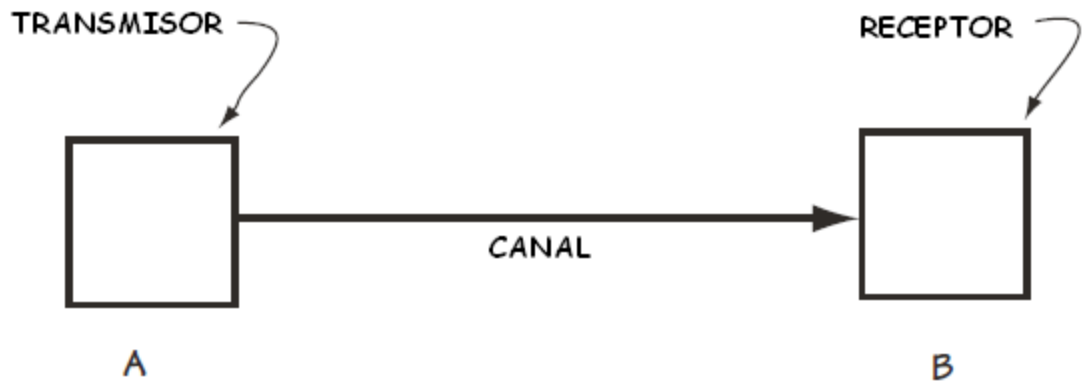


Figura 4. Partes de un sistema de comunicación.

## 2.2 SISTEMAS DE TELECOMUNICACIONES

### 2.2.1 Sistemas y Servicios de Telecomunicaciones

Un sistema de telecomunicación es dos cosas: (1) un sistema de comunicación, es decir un sistema por el cual alguna información es transmitida desde una ubicación física A, hasta una segunda ubicación física B; y (2) un sistema que permite que la información sea enviada más allá del rango común de comunicación vocal o visual.

Cuando se menciona un servicio de telecomunicaciones, se hace referencia a la oferta de un conjunto de información específico capaz de ser transferido, para proveer a un grupo de usuarios a través de un sistema de telecomunicaciones, libremente o a cambio de una tarifa. Estos servicios están añadiendo una dimensión invaluable de libertad y de oportunidades sobre los servicios tradicionales, y se están convirtiendo en parte integral de nuestras vidas. Un ejemplo de servicio de telecomunicación es la telefonía móvil. Otro servicio que ha

prosperado con gran rapidez en estos últimos años ha sido internet, aunque, a diferencia de la telefonía móvil, su proliferación no se ha debido a grandes campañas publicitarias o innovaciones tecnológicas significativas. La popularización se debe casi en exclusiva a la aportación de contenidos por parte de la comunidad de cibernautas que ha hecho de internet un servicio cada vez más utilizado.

### **2.3 SERVICIOS DE TELECOMUNICACIONES BASADOS EN LOCALIZACIÓN**

El termino servicios basados en localización, es un reciente concepto que denota aplicaciones que integran ubicación geográfica (por ejemplo coordenadas espaciales) con la noción general de servicios. Ejemplos de tales aplicaciones incluyen servicios de emergencias, sistemas de navegación para carros, planificación turística entre muchos otros.

Con el desarrollo de las comunicaciones móviles, estas aplicaciones representan un incipiente desafío técnico y conceptual. Es cierto que este tipo de aplicaciones serán parte de la vida diaria del mañana, ejecutándose en computadoras, PDAs<sup>15</sup>, celulares, redes de sensores y muchos más. Dotar a los usuarios del valor agregado de la ubicación no es una labor simple. Dada la variedad de posibles aplicaciones, los requerimientos básicos de los LBS son numerosos, entre estos se puede citar la existencia de estándares, eficiencia en la potencia de cálculo de los sistemas, e interfaces amigables entre las personas y las computadoras. (Schiller, 2004)

Los servicios basados en localización explotan algunas de las muchas tecnologías para el conocimiento sobre donde un usuario de una red esta geográficamente ubicado. Uno de estas tecnologías es el Sistema de Posicionamiento Global (GPS), basado en una colección de 24 satélites Navstar<sup>16</sup>, que permiten determinar en todo el mundo la posición de un objeto, una persona, un vehículo o una nave, con una precisión hasta de centímetros, usando GPS diferencial, aunque lo habitual son unos pocos metros. Aunque su invención se les atribuye a

---

<sup>15</sup>Personal Digital Assistant. Es un computador de mano originalmente diseñado como agenda electrónica (calendario, lista de contactos, bloc de notas y recordatorios) con un sistema de reconocimiento de escritura.

<sup>16</sup> Navigation System with Timing and Ranging.

los gobiernos francés y belga, el sistema fue desarrollado e instalado, y actualmente es operado, por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos.

Un servicio basado en localización puede requerir que cada uno de sus usuarios disponga de un dispositivo móvil que incluya el receptor GPS.

Una segunda aproximación es el servicio E911 o Enhanced 911 (911 mejorado). Este es una característica del sistema de emergencia-llamada que automáticamente asocia una dirección física con la llamada. Esto generalmente se hace por una forma de directorio invertido que es aprovisionado por la compañía de teléfono como un archivo de computadora, usado para asociar el número telefónico de quien realiza la llamada con una dirección en la ciudad. De este modo son provistos socorristas con la ubicación de la emergencia sin que la persona que llama por la ayuda haya entregado esta información. Esto ha sido útil en tiempos de incendios, secuestros, siniestros, y otros eventos donde comunicar la ubicación es difícil o imposible. (Küpper, 2005)

Uno de los obstáculos para la inmediata adopción de LBS tiene que ver con la privacidad y la publicidad vía inalámbrica no deseada. Algunas asociaciones como CTIA<sup>17</sup> están solicitando a la Comisión de Comunicaciones Federales FCC, crear reglas específicas sobre la privacidad en los sistemas de posicionamiento inalámbricos. La propuesta de la CTIA dice que una solución técnica debe incluir avisos, permisos, seguridad y ser de tecnología neutral.

### **2.3.1 Aplicación de los LBS**

Los servicios basados en localización son principalmente usados en tres áreas: militar y de industrias gubernamentales, servicios de emergencias y en el sector del comercio. Como ya se ha mencionado, el primer sistema de posicionamiento fue el sistema basado en satélites GPS, desarrollado por el departamento de defensa de los Estados Unidos, sin embargo el gobierno estadounidense decidió liberar este sistema para que fuera disponible en todo el mundo. Esto significa que es posible integrar el sistema GPS en servicios de emergencia o de comerciales en equipos y servicios.

---

<sup>17</sup> The Cellular Telecommunications and Internet Association.

### **2.3.1.1 Servicios de Información y Consulta**

Los servicios de información y de consulta son hasta ahora los servicios más simples y los más ampliamente extendidos de entre los tipos de servicios LBS<sup>18</sup>. Estos proveen al usuario los puntos de interés como restaurantes, talleres de automóviles, estaciones de gasolina más cercanos a la ubicación del usuario. Este tipo de servicios es básicamente una extensión de las páginas amarillas donde se muestran solamente datos de entrada relevantes. Estos servicios usualmente son accedidos a través de SMS<sup>19</sup> o WAP<sup>20</sup>.

### **2.3.1.2 Servicios de Comunidades**

Los servicios de comunidades permiten a los usuarios compartir intereses en común al unirse a un grupo de usuarios característico (comunidad) también permite interactuar entre los usuarios a través de chat, pizarra virtual, o servicios de mensajería. Una categoría muy popular es la denominada *Mensajería Instantánea*, donde los usuarios pueden armar una lista de amigos, si un usuario esta registrado con este servicio él puede observar cual de sus amigos está en línea e inmediatamente entrar en contacto con él.

### **2.3.1.3 Trafico de Telemática**

El trafico de telemática ayuda en el soporte a los conductores de vehículos con un conjunto de servicios relacionados a sus vehículos. Entre estos servicios están: la navegación, configuración automática de dispositivos y características adicionales dentro del vehículo, diagnósticos o anomalías, o la diseminación de mensajes de alarma.

---

<sup>18</sup> Location-based service.

<sup>19</sup> Short Message Service.

<sup>20</sup> Wireless Application Protocol.

#### **2.3.1.4 Mercadeo Móvil**

El mercadeo en movimiento es un nuevo tipo de ventas que ayuda a los fabricantes y a los distribuidores a promover sus productos y servicios por medio de la interacción con consumidores a través de sus dispositivos móviles. El contacto con un cliente es usualmente establecido con tecnologías como SMS, MMS<sup>21</sup> o WAP. A diferencia de la publicidad por televisión, diarios, revistas, el mercadeo móvil permite establecer el grupo de clientes para un cierto producto o servicio con buena aproximación. También permite un alto grado de interacción entre consumidores y las compañías de distribución.

#### **2.3.1.5 Juegos**

Los juegos interactivos son una aplicación bastante popular, que permiten a usuarios remotos compartir la misma sensación y participar de competencias en tiempo real, como una partida de fútbol o una carrera de motos. Los juegos son accedidos a través de un dispositivo móvil y los datos necesarios para organizar y mantener una sesión completa del juego son comunicados a través de alguna red como la red celular por ejemplo.

#### **2.3.1.6 Servicios de Valor Agregado**

Actualmente la capacidad de posicionamiento de una red puede ser vista como un servicio de valor agregado, y en muchos casos, pueden ser ofrecidos como una extensión de otros servicios. Sin embargo estos servicios también pueden servir para permitir un uso más inteligente y flexible de los servicios complementarios convencionales. Algunos servicios que ya se han implementado permiten a los usuarios determinar una zona geográfica donde ellos pueden hacer llamadas a tarifas especiales.

---

<sup>21</sup> Multimedia Messaging System.

### **2.3.1.7 Servicios de Emergencias**

Los servicios de emergencia representan un área de aplicación muy razonable donde el despliegue de alguna tecnología de posicionamiento tiene mucha relevancia. En muchos casos las personas que llaman a los servicios de emergencias (por ejemplo policía, bomberos) están incapacitadas para comunicar su actual ubicación o simplemente no la conocen. Algunas veces la dirección de la persona que realiza la llamada es fácilmente rastreada a través de la red de telefonía fija, pero a veces se tiene problemas cuando las personas realizan las llamadas a través de redes celulares.

## **2.3.2 Clasificación de los LBS**

Se pueden clasificar los LBS dependiendo de si son orientados a personas o si son orientados a dispositivos.

### **2.3.2.1 LBS Orientados a Personas**

Comprenden todas aquellas aplicaciones donde un servicio es basado en el usuario. Por esta razón, el foco de la aplicación usa el servicio para ubicar una persona o para usar la posición de una persona para enriquecer un servicio. Usualmente la persona localizada puede controlar el servicio (por ejemplo, una aplicación de búsqueda de amigos).

### **2.3.2.2 LBS Orientados a Dispositivos**

Estas aplicaciones son externas al usuario. Por lo tanto estas pueden además enfocarse en la posición de la persona aunque ellos no lo necesitan. En vez de ubicar una sola persona, un objeto (por ejemplo un carro) o un grupo de gente podrían también ser ubicado. En las aplicaciones orientadas a dispositivos, la

persona u objeto ubicado usualmente no está controlando el servicio (p.e rastreo para el seguimiento de vehículos).

Además de los servicios nombrados anteriormente, existen dos formas de aplicación de estos servicios se trata de los servicios *push and pull*.

- LBS tipo push: implica que el usuario recibe información como un resultado de su paradero sin tener que activar alguna petición para esto. La información puede ser enviada al usuario con previo consentimiento (por ejemplo un sistema de alerta a un ataque terrorista) o sin previo consentimiento (por ejemplo un tipo de publicidad con un mensaje de bienvenida cuando el usuario este entrando a una ciudad).
- LBS tipo pull: significa que el usuario activamente está usando una aplicación y en este contexto estaría enviando información desde la red, esta información puede ser de posicionamiento con adicional información (por ejemplo donde encontrar el cinema más cercano).

La siguiente tabla resume las dimensiones de los servicios LBS con algunos ejemplos y aplicaciones.

	<b>Servicios tipo push</b>	<b>Servicios tipo pull</b>
<b>Orientados a Personas</b>	Ej. 1: una alerta que avisa que un amigo esta cerca de casa.	Ej. 1: una petición a una aplicación que busca amigos en las cercanías.
<b>Comunicación</b>	Ej. 2: un mensaje es recibido solicitando permiso para que un amigo lo pueda ubicar.	
<b>Información</b>	Ej. 3: un usuario recibe una alerta de terror sobre un anuncio en la ciudad donde se encuentra.	Ej. 2: Un usuario que busca por el cinema más cercano y solicita instrucciones para llegar a ese sitio.
<b>Entretenimiento</b>	Ej. 4: Un usuario opta por participar en un juego basado en posicionamiento y ha sido detectado por el adversario.	Ej. 3: Un usuario participa en un juego basado en posicionamiento y busca una opción para atacar.
<b>Comercio y Publicidad</b>	Ej. 5: Un bono de descuento es enviado al usuario desde un restaurante cercano.	Ej. 4: un usuario que solicita información sobre eventos en las cercanías de su ubicación.

<p><b>Orientados a Dispositivos</b></p> <p><b>Rastreo</b></p>	<p>Ej. 6: Una alerta es enviada al usuario informando que uno de sus vehículos se ha desviado de la ruta prevista.</p> <p>Ej. 7. El usuario recibe un alerta informando que su hijo ha abandonado la zona del parque.</p>	<p>Ej. 5: El usuario solicita información acerca de la ubicación de su flota de camiones.</p>
---	---	---

**Tabla 1. Tipos de servicios LBS**

La mayoría de los servicios basados en posicionamiento hasta el momento, han sido servicios tipo pull, especialmente servicios de información. Los servicios de tipo push, no han tenido tanto éxito todavía, por razones económicas y de privacidad. Económicamente no es claro aun, hasta donde los servicios tipo push pueden ser aprovechables, además los servicios tipo push suelen ser desaprobados por ser considerados servicios que ocupan cantidades desproporcionadas de recursos de las redes, puesto que estos servicios requieren que la ubicación de los usuarios sea actualizada constantemente. (Schiller, 2004)

### **2.3.3 Mercadeo de los LBS**

Además de sobreponerse a barreras tecnológicas y éticas, los operadores de servicios de posicionamiento en el mundo han tenido un desafío más, el mercadeo de estos servicios. La falta de éxito de los primeros servicios basados en posicionamiento que fueron lanzados en el mundo fue un hecho insospechado por aquellos quienes diseñaron estos servicios desde un comienzo estos servicios.

Sin embargo, la aparición de celulares con pantalla de colores de alta resolución, con más potencia de procesamiento, con capacidad de establecer conexiones rápidas para penetrar el mercado, ha hecho posible que los LBS estén de vuelta.

Los grandes operadores han comenzado a adoptar el valor del posicionamiento como una manera de diferenciar sus servicios.

### 2.3.4 Modelo de los LBS

La realización de un LBS puede ser descrita por un modelo de comunicación de tres capas, incluyendo una capa de posicionamiento (Positioning Layer), una capa de software intermedio (Middleware Layer)<sup>22</sup>, y una capa de aplicación (Application Layer). La capa de posicionamiento es responsable del cálculo de la posición de un dispositivo móvil o de un usuario. Esto se puede conseguir con la ayuda de un equipo determinador de posición; los datos geo-espaciales son almacenados en un sistema de información geográfica GIS, donde este sistema permite traducir la información de la posición en información geográfica (latitudes y longitudes). El resultado final de este cálculo es entonces pasado a través de un enrutador o sino directamente a una aplicación o a una plataforma de middleware.

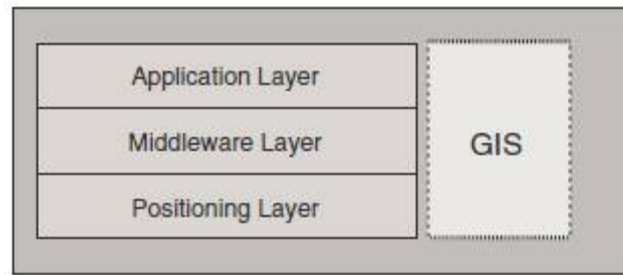


Figura 5. Modelo de Comunicación General de los LBS

La capa de aplicación comprende todos aquellos servicios que solicitan datos de posicionamiento para integrarlos a lo que estos ofertan (por ejemplo un buscador de amigos). Una capa de software intermedio (middleware) puede reducir la complejidad de integración del servicio, puesto que esta capa está conectada a la red y a algún operador de servicios.

---

<sup>22</sup> software que conecta dos diferentes aplicaciones por separado.

## 2.4 SISTEMA DE POSICIONAMIENTO GLOBAL GPS

El sistema de posicionamiento global es un sistema de navegación basado en la ubicación espacial, el cual fue diseñado por el ejército de los Estados Unidos. GPS no es el único sistema de radio-navegación que existe. Algunos sistemas desarrollados durante la segunda guerra mundial aun están en uso en estos momentos.

### 2.4.1 Sistemas de Radio-Navegación

Hoy en día existen al menos media docena de diferentes sistemas de radio-navegación incluyendo *Omega*, *Loran*, *VOR/DME*, *ILS*, *Transit* y por supuesto GPS. Los primeros cuatro, son sistemas terrestres; el sistema Transit y el sistema GPS son espaciales. Los rusos también operan un sistema llamado GLONASS que es similar al GPS pero hasta el momento se ha encontrado menos confiable.

SISTEMAS DE RADIO-NAVEGACION				
SISTEMAS TERRESTRES	Frecuencia	W/L	Erros 2D	Cubrimiento
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Omega</li> </ul>	10-13KHz Global	26Km	3-6 Km	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Loran</li> </ul>	100KHz	2.5KM	460 M	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• VOR/DME</li> </ul>	~10%			
<ul style="list-style-type: none"> <li>• ILS</li> </ul>	108-118MHz alcanza la totalidad	~2.5M	60-180M	No
	330MHZ Limitado	~1M	5-10M	
SISTEMAS ESPACIALES	Frecuencia	W/L	Error 2D	Cubrimiento
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Transit</li> </ul>	150-400MHZ Global	2M-73 Cm	460M	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• GPS</li> </ul>	1575.42MHZ Global	19Cm	<100M	
*Existen otros sistemas pero no son para el uso público.				

Tabla 2. Sistemas de radio-navegación

Los sistemas terrestres Omega y Loran son muy similares en cuanto que ellos emplean técnicas diferenciales de llegada. El sistema Omega mide la diferencia de fase y el Loran mide la diferencia de las señales desde dos o más transmisores. Estos transmisores envían ondas portadoras de baja frecuencia que están cada 26 kilómetros de distancia para el caso de Omega y 2.5 kilómetros en el Loran. La gran ventaja es que con una gran longitud de onda es posible traspasar obstáculos en la atmosfera, ya que estas ondas “rebotan” desde la base de la ionosfera a grandes distancias. Este fenómeno es tan efectivo, que el sistema Omega tiene cubrimiento global con apenas ocho transmisores, La desventaja radica en la precisión que maneja (seis kilómetros de potencial error) la cual es baja comparada con otros sistemas.

Por otro lado Loran maneja una mejor precisión (de 450 metros), pero solo el 10% del globo es cubierto por el sistema Loran.

Sistemas de aviación tales como el VOR/DME (Very High Frequency, Omnidirectional Ranging/Distance Measuring Equipment) y el sistema ILS (Instrument Landing System) operan a frecuencias mucho más altas y en consecuencia proveen una mejor precisión; del orden de 60-80 metros para el VOR/DME y de menos de 10 metros para el sistema ILS.

## **2.4.2 Cobertura del Espacio**

La cobertura del espacio consiste de una completa constelación de satélites GPS Navstar orbitando alrededor del planeta. Los actuales satélites son fabricados por la firma Rockwell International<sup>23</sup>. Cada satélite tiene un peso de aproximadamente 900 kilogramos con una envergadura de alrededor de cinco metros, cuentan con paneles solares que están extendidos.

---

<sup>23</sup> Fue la última empresa fundada bajo la influencia de Willard Rockwell.

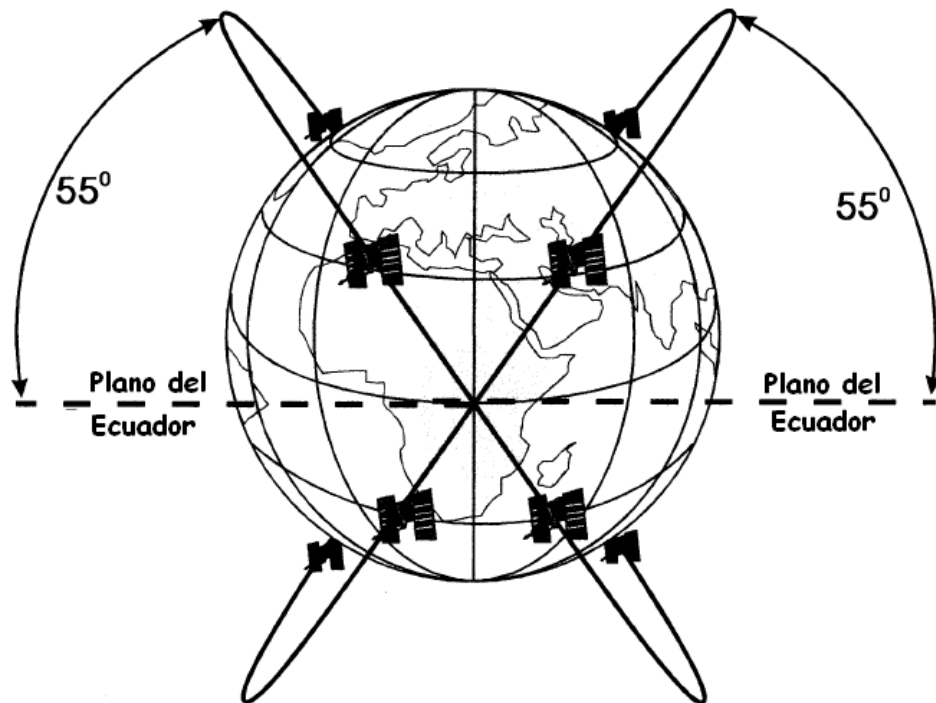


Figura 6. Constelación de Satélites.

La base de la constelación incluye 21 satélites operacionales, además de tres de respaldo, para un total de 24 satélites. Estos están ubicados en seis orbitas en aproximadamente 20,200 kilómetros de altitud. Cada una de las seis orbitas esta inclinada 55 grados desde el ecuador, con 60 grados de separación y cuatro satélites ubicados en cada orbita. El periodo de una órbita es de 12 horas, es decir que cada satélite completa dos orbitas cada día.

### 2.4.3 Funcionamiento del GPS

La manera en que funciona el sistema de posicionamiento global es muy sencilla. El GPS es un sistema basado en distancias. Esto significa que lo que se determina es la distancia entre un dispositivo y algún satélite dado. El satélite lanza una señal en todas las direcciones aunque la orientación hacia la tierra es preferencial.

En esencia el GPS opera sobre el principio de trilateracion. En la trilateracion, la posición de un punto desconocido es determinada con la medición de las

distancias de un triangulo entre el punto desconocido y dos o más puntos conocidos (por ejemplo los satélites).

Los satélites consiguen la trilateración a través de la transmisión de un código de señal de radio que es único para cada satélite. Los receptores en la tierra reciben cada una de las radio señales de los satélites visibles y miden el tiempo que toma para la señal viajar hasta el receptor. El cálculo de la distancia es muy simple, tiene que ver con un cálculo de  $D = V \times T$ , es decir derivar la distancia multiplicando el tiempo de tránsito  $T$  de la señal por la velocidad de tránsito  $V$ . Como las ondas de radio viajan a la velocidad de la luz<sup>24</sup>, la cual es esencialmente fija en 300.000 kilómetros por segundo, entonces la velocidad esta conocida. Por eso lo único que necesita el usuario para calcular la distancia desde los satélites dados es una medida del tiempo que toma a una señal de radio viajar desde el satélite al receptor.

Para obtener una posición muy precisa, es necesario medir el tiempo del viaje de las señales de una manera muy precisa. A una señal del satélite le puede tomar 1/15 segundos para viajar desde la órbita hasta el receptor en la tierra. Con ondas de radio viajando a la velocidad de la luz, con 1/1.000.000 (una millonésima de segundo) de error en la medición del tiempo de viaje se convierte en aproximadamente 300 metros de error en la posición del dispositivo receptor en la tierra.

#### **2.4.4 Niveles de Servicio del GPS**

El sistema de posicionamiento global ofrece dos niveles de navegación y posicionamiento: el servicio de posicionamiento estándar SPS (Stándar Positioning Service) y el servicio de posicionamiento preciso PPS (Precise Positioning Service). El servicio de posicionamiento preciso es un sistema muy exacto que es diseñado primeramente para los militares y otros usuarios autorizados.

El servicio de posicionamiento estándar ofrece una precisión que es mucho menor que el PPS, pero es disponible para todos los usuarios con dispositivos receptores no tan costosos. También existen técnicas para incrementar la precisión del SPS pero estas no irán mas allá de lo que ofrece el sistema PPS.

---

<sup>24</sup> Es por definición una constante universal de valor 299.792.458 m/s (aproximadamente 300.000 km/s). Se denota con la letra  $c$ .

## **2.4.5 Protocolo NMEA**

NMEA es la sigla que corresponde a The National Marine Electronics Association, quienes desarrollaron un estándar hace más de veinte años que define la interfaz entre varias piezas de equipamiento electrónico marino con computadoras de navegación, permitiéndoles intercambiar datos, y compartir información vital.

El estándar NMEA lentamente se ha convertido en un método común por el cual dispositivos electrónicos marinos pueden comunicarse con otros. Este estándar especifica las conexiones eléctricas necesarias para un sistema NMEA, el método de comunicación para la transmisión de datos, y el formato de las tramas de datos que transporta la información. Este protocolo obedece a un esquema puramente digital de transmisión de datos usando '1's y '0's en un formato binario para comunicarse entre los dispositivos que se han de conectar.

### **2.4.5.1 Fundamentos Del Protocolo NMEA**

El estándar NMEA define la señalización eléctrica, el protocolo de datos y el formato de tramas para un bus serial de datos a una tasa de 4800 baudios. Los datos NMEA son transmitidos desde una fuente de información como lo es un GPS, un sonar de profundidad entre otros para luego recibir esta información por dispositivos como radares, computadoras, o celulares etc. Cada bus de datos del tipo NMEA 0183 debe tener solo un transmisor pero pueden tener muchos receptores.

- **Especificaciones Eléctricas**

La especificación para NMEA debe como mínimo ser compatible con el estándar RS422, el cual usa señalización +5/ 0 voltios, que es un voltaje bajo y fácil para interactuar con equipos de computo.

Sin embargo los niveles de voltaje presentes en el bus de datos del NMEA pueden ser más grandes que +/- 15 voltios, especialmente donde se emplean equipos antiguos, por esta razón, todas las entradas NMEA a partir de la versión v2.0 o superior deben ser capaz de recibir señales entre +/- 15 voltios sin sufrir daños. NMEA también requiere que los equipos deban ser opto-aislados, ya que

de esta manera se reduce la probabilidad de interferencia y se remueven los problemas de referencias de tierra.

- **Formato de las Tramas**

Todos los datos NMEA son enviados en forma de tramas de texto, cada una de las cuales comienza con un símbolo '\$' o '!', y se utiliza la coma para separar cada parte de la trama. Los códigos NMEA son texto plano ASCII y tienen el siguiente formato:

**\$yyXXX,..... \*xx <0D><0A>**

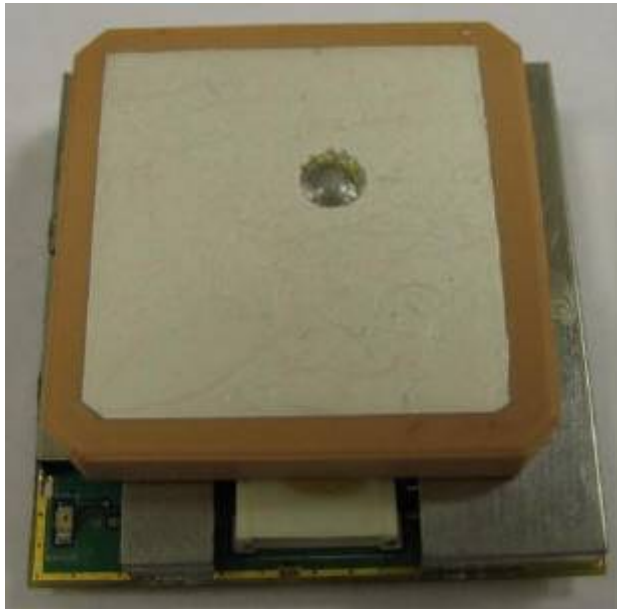
- La trama siempre comienza con un símbolo '\$' o '!'.
- Después del símbolo, sigue un código 'yy' de dos dígitos dependiendo del tipo de instrumento (por ejemplo para GPS debe ser 'GP' y para un sonar de profundidad debe ser 'SD').
- Un código de tres dígitos 'XXX' dependiendo del tipo de trama (por ejemplo 'GGA' es la trama 'Global Positioning System Fix Data', y 'DBT' es la trama 'Depth Below Transducer' sentence).
- Después de una coma, sigue el contenido de la trama de datos, la cual cambia dependiendo del tipo de datos y de los valores que están siendo monitoreados.
- La parte final es un detector de errores opcional, pero todo buen equipo lo incluirá para asegurar los datos de la trama. El detector de errores es precedido por el carácter '\*' y se calcula tomando los ocho bits de la disyunción lógica OR EXCLUSIVA de todos los caracteres en la trama incluyendo los delimitadores ',' pero no los delimitadores '\$'/'!' y '\*'.
- La trama siempre termina con una combinación de retorno de carro y nueva línea (Hex 0D 0A, ASCII '\r\n').

#### **2.4.6 Dispositivo GPS EM-406 A**

Hay muchas características que tienen que ver con el desempeño de un sistema GPS. Una de estas es el tiempo de puesta en marcha. Esto tiene que ver con que tan rápido el dispositivo GPS puede recibir la señal de los satélites para calcular

su posición. Otra característica importante es la precisión del dispositivo, y su capacidad para mantenerse funcionando a pesar de la presencia de obstáculos.

Otro aspecto importante a tener en cuenta en la selección de un dispositivo GPS es el número de canales para recibir las señales de los satélites. Los módulos GPS actuales pueden recibir 20 o más canales. Muchos más canales significa más sitios para que el módulo busque señales, lo que se ve reflejado en un menor tiempo de búsqueda, y una mejor conexión en escenarios urbanos.



**Figura 7. Módulo GPS EM-406 A.**

Fuente: [www.sparkfun.com](http://www.sparkfun.com)

El procesamiento también importante; nuevos chips como el SiRF III<sup>25</sup> del módulo EM-406A<sup>26</sup>, fijan posicionamiento de manera más rápida y confiable que otros como los anteriores SiRF II.

El módulo EM-406 A es un dispositivo GPS fabricado por la compañía GlobalSat. Este puede reportar mensajes NMEA cada segundo dando a conocer la velocidad, posicionamiento 3D, número de satélites vistos por el dispositivo, tiempo GPS, y más. Los mensajes NMEA del dispositivo son transmitidos en formato ASCII a 4800 baudios y es sencillo obtener un mensaje, basta con aplicar potencia al módulo EM-406 A para que este arroje datos NMEA. Este módulo viene con una

---

<sup>25</sup> SiRF es una compañía que fabrica chips GPS para sistemas de navegación.

<sup>26</sup> En el sitio [http://www.sparkfun.com/datasheets/GPS/EM-406A\\_User\\_Manual.PDF](http://www.sparkfun.com/datasheets/GPS/EM-406A_User_Manual.PDF) se encuentra un manual con todas las especificaciones de este módulo.

batería de 3.3V que permite almacenar la última información GPS recibida. Este hecho es muy importante, ya que de este modo el EM-406 A obtiene la información más rápidamente un vez se ha iniciado.

El modulo EM-406-A tiene seis pines para ser conectado a alguna tarjeta o a un dispositivo como el Sun Spot, que pueda ofrecer los requerimientos de voltaje y corriente que este modulo demanda para su correcta operación.

## **2.5 SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA**

Los sistemas de información geográfica GIS accesan información espacial, la analizan y producen resultados con mapas y exhibiciones visuales. Los GIS trabajan con datos referenciados por coordenadas espaciales o geográficas.

GIS representa una tecnología de información y aplicación sofisticada que ha crecido en paralelo con otras tradicionales tecnologías de la información. Como los GIS se han convertido en un foco de soporte para la toma de decisiones, estos han incrementado el potencial para su uso en aplicaciones de negocios. Las tecnologías emergentes como el e-commerce<sup>27</sup> y los servicios basados en localización tienen un elemento espacial intrínseco y la extensión de este tipo de aplicaciones servirá para incrementar la importancia de los GIS.

Se define a un sistema de información geográfica como un sistema de información que provee herramientas para manejar, analizar, y mostrar atributos e información espacial en un ambiente integrado. (Pick, 2005)

Con la popularización de la Web, una inmensa cantidad de información se ha puesto a disposición de una gran audiencia. A veces la información en la Web se trata de páginas que contienen información sobre restaurantes, teatros, películas, tiendas y tienen que ver más con las comunidades que habitan en un determinado lugar. Con frecuencia estos sitios ofrecen información geo-referenciada como por ejemplo direcciones, números telefónicos, códigos postales, nombres de lugares o algún otro tipo de descriptor geográfico. Sin embargo no siempre esta información geográfica, se habilita a los usuarios de manera indirecta; con los actuales avances en tecnologías de navegación, es posible referenciar geográficamente un lugar de forma directa y dinámica. Este hecho es de tanta trascendencia, que desde el año 2007, todos los celulares nuevos en Japón deben tener capacidad

---

<sup>27</sup> Comercio electrónico, propaganda, compra y venta de productos a través del Internet.

GPS por ley. (Webb, 2007) Desde luego, con este hecho, la red tiene la capacidad para conocer con gran precisión por primera vez donde están ubicados todos los celulares. Es de esperar entonces que el siguiente paso sea incluir con brújula y acelerómetro a los teléfonos celulares para que puedan ser usados como dispositivos de orientación.

En la actualidad, el motor de búsqueda más famoso ofrece también GIS. Se trata de GoogleMaps<sup>28</sup> donde el usuario simplemente entra el nombre de una calle y la pagina muestra la ubicación de esta sobre el mapa. Yahoo y MSN ofrecen funcionalidad similar. (Davis, 2007)

## **2.6 REDES INALAMBRICAS DE SESORES**

### **2.6.1 Sensores**

Un sensor es un dispositivo que convierte un fenómeno físico en una señal eléctrica. Por lo tanto los sensores representan parte de la interfaz entre el mundo físico y el mundo de los dispositivos eléctricos como las computadoras. Por otra parte están los actuadores, los cuales convierten señales eléctricas en fenómenos físicos.

Los sensores y los circuitos asociados a estos, son usados para medir varias propiedades tales como temperatura, fuerza, flujo, presión, posición, intensidad de luz, etc. Estas propiedades actúan como el estímulo para el sensor y la salida del sensor es entonces condicionada y procesada para que pueda proveer la medición correspondiente de la propiedad física. Los sensores no operan por sí mismos. Estos generalmente son parte de un gran sistema que consiste de acondicionadores de señal y varios circuitos procesadores de señales análogas y digitales.

Los sensores se pueden clasificar como activos o pasivos. Un sensor activo requiere una fuente de excitación externa. Son ejemplos de sensores pasivos los termistores, detectores resistivos de temperatura, y sensores basados en

---

<sup>28</sup> Es un servidor de aplicaciones de mapas en Web.

resistores entre otros, porque una corriente debe pasar a través de ellos y la correspondiente medida de voltaje para poder determinar el valor de la resistencia.

Los sensores pasivos, generan su propia señal eléctrica sin que requieran de voltajes o corrientes externas. Son sensores pasivos, las termocuplas y los fotodiodos los cuales generan voltajes termoeléctricos y fotocorrientes respectivamente, lo cual son independientes de circuitos eléctricos.

PROPIEDAD	SENSOR	ACTIVO/PASIVO	SALIDA
<b>Temperatura</b>	Termocupla	Pasivo	Voltaje
	Silicio	Activo	Voltaje/Corriente
	Termistor	Activo	Resistencia
<b>Fuerza/Presión</b>	Medidor de extensión	Activo	Resistencia
	Piezoeléctrico	Pasivo	Voltaje
<b>Aceleración</b>	Acelerómetro	Activo	Capacitancia
<b>Posición</b>	LVDT	Activo	Voltaje AC
<b>Intensidad de luz</b>	Fotodiodo	Pasivo	Corriente

Tabla 3. Sensores típicos y sus salidas

### 2.6.2 Generalidades Sobre Las Redes De Sensores

Una red de sensores es una infraestructura que comprende elementos de sensado, calculo, y comunicación que brindan a un administrador la facultad para instrumentar, observar y reaccionar ante eventos y fenómenos en un ambiente específico. Este ambiente puede ser el mundo físico, un sistema biológico, o una estructura de tecnología de la información. Las redes de sensores se están destacando como una tecnología importante y esta sobresaliendo en una gran cantidad de aplicaciones. Aplicaciones típicas son la colección de datos, monitoreo, vigilancia, y la telemetría medica.

Hay cuatro componentes básicos en una red de sensores:

- Un arreglo de sensores distribuidos en algún emplazamiento.
- Una red de interconexión (usualmente inalámbrica).
- Un punto central donde se aglomera la información.
- Unos recursos de cómputo en un punto central para manejar la colección de datos, las tendencias eventuales, estado de consultas y la extracción de la información.

Las operaciones de cómputo y la infraestructura de cómputo asociada con la red de sensores usualmente es específica del ambiente y del origen de los dispositivos en que se basa la naturaleza de la aplicación de estas redes.

Las redes de sensores son un área multidisciplinaria que envuelve entre otros, radio y sistemas de redes, inteligencia artificial, manejo de bases de datos, arquitecturas de sistemas, optimización de recursos, algoritmos para el control de potencia y plataformas de tecnología (hardware y software como sistemas operativos). Las aplicaciones, los sistemas de redes y los protocolos para estos sistemas están apenas comenzando a ser desarrollados. (KAZEM SOHRAB, 2007) La casi ubicuidad de la internet, los avances en las tecnologías de las comunicaciones alambradas e inalámbricas, el destacamento en el desarrollo de redes (principalmente inalámbricas), junto con los recientes avances en ingeniería, están abriendo una ventana a una nueva generación de actuadores y sensores<sup>29</sup> de bajo costo con capacidad de alcanzar un alto grado de resolución espacial y temporal. Una de las metas que está cerca de ser alcanzada es el desarrollo de un sistema micro-electrónico (MEMSs) basado en sensores en un volumen de  $1\text{mm}^3$ <sup>30</sup>.

Los sensores son interconectados a otras redes a través de series de múltiples saltos de corta distancia hacia enlaces de bajo consumo de potencia. Típicamente se utiliza Internet para enviar la información a un punto o puntos de recolección y análisis.

---

<sup>29</sup> Los términos nodo sensor, nodo inalámbrico, smart dust y mote son usados indistintamente; Sin embargo en la mayoría de las veces se emplean los términos nodo sensor y nodo inalámbrico.

<sup>30</sup> Algoritmos estadísticos están siendo empleados para corregir tendencias causadas por irregularidades y errores de ubicación en las redes de sensores inalámbricas.

### 2.6.3 Aplicaciones de las Redes de Sensores

Tradicionalmente las redes de sensores han sido usadas en aplicaciones en el contexto de sistemas de detección de amenazas nucleares, en el desarrollo de armamento, aplicaciones biomédicas y monitoreo sísmico entre otras. Actualmente se están enfocando estas redes en campos como el biológico y el químico, vigilancia, en la industria y en la automatización de procesos industriales, procesos de control, predicciones climáticas, monitoreo de estructuras y muchas más.



**Figura 8. Aplicaciones potenciales de las redes de sensores.**  
Fuente: [www.sunstudentcourses.com](http://www.sunstudentcourses.com)

Sensores inalámbricos pueden ser utilizados donde otros no pueden ser desplegados (como en lugares peligrosos o un área que esté contaminada o sujeta a altas temperaturas), y una de las grandes expectativas es que eventualmente los usuarios puedan seguir la pista de sus pertenencias, mascotas o de niños.

A corto plazo, las aplicaciones comerciales para las redes de sensores inalámbricas incluyen, pero no están limitadas a los procesos industriales, control de artefactos (luz, calefacción, ventilación y aire acondicionado), sensores y actuadores en automóviles, automatización de procesos en los hogares, medición automática de registros y entretenimiento.

#### 2.6.4 Características de las Redes Inalámbricas de Sensores WSN

Para poder soportar la gran cantidad de aplicaciones para las cuales están destinadas las redes de sensores, estas deben basarse en requerimientos que sean suficientemente específicos a la idiosincrasia de cada aplicación, para respaldar una calidad de servicio específica, tiempo de vida y requerimientos de mantenibilidad, pero también debe tener mecanismos que se puedan generalizar para un amplio rango de aplicaciones a fin de que se económicamente viable la aplicación de una red de sensores. Algunos de los mecanismos típicos de las WSN son:

- **Comunicación inalámbrica multihop:** se precisa de una comunicación directa entre el transmisor y el receptor del sistema, sin embargo la comunicación a través de grandes distancias es posible únicamente usando transmisiones de gran potencia. Por esta razón, con nodos intermedios como estaciones intermedias es posible reducir la potencia total requerida.
- **Operación con manejo eficiente de la energía:** para soportar tiempos de vida largos, la operación en términos de consumo eficiente de energía es clave. También es posible determinar la solicitud de información de forma que la energía sea tratada eficientemente.
- **Auto-configuración:** Una WSN puede tener la posibilidad de establecer muchos de los parámetros de operación de manera autónoma, independiente de alguna configuración externa. Como un ejemplo, los nodos pueden establecer su posición geográfica usando otros nodos de la red. También la red debe estar capacitada para tolerar las fallas en algunos de sus nodos.
- **Procesamiento dentro de la red:** en algunas aplicaciones un nodo no es apto para decidir si un evento ha sucedido, pero otros sensores pueden colaborar para detectar algún evento con solo juntar los datos de muchos nodos para proveer suficiente información. La información puede ser procesada dentro de la red misma en varias formas, en vez de la necesidad de que cada nodo transmita todos los datos a una red externa para procesarlos.

- **Centralización de los datos:** Las redes de comunicación tradicionales son típicamente centralizadas alrededor de la transferencia de datos entre dos dispositivos. En una WSN es más importante las respuestas y los valores en sí mismos y no cual nodo produjo la información. Se trata de cambiar el paradigma de la centralización alrededor de las direcciones, por el paradigma alrededor de la información.

### 3. SUN SPOT

En el año 2004, muchos proyectos de la compañía Sun Microsystems<sup>31</sup> fueron sobre desarrollo de software enfocado a dispositivos pequeños, lenguaje de programación Java, y a expandir actividades y tecnologías. En Octubre de 2004 el proyecto Sun Specks desarrollo un dispositivo pequeño, flexible, con hardware de bajo consumo de potencia que podía soportar la versión Squawk de Java, comunicación entre dispositivos independientes y redes inalámbricas de sensores y actuadores. El proyecto comenzó con un software para probar conceptos como la portabilidad de la maquina virtual Squawk en una tarjeta Amtel ARM7.



**Figura 9. Tarjeta eSPOT.**

Fuente: [www.sunstudentcourses.com](http://www.sunstudentcourses.com)

A comienzos del año 2005 aparecieron los primeros dos SPOTs (Sun Small Programmable Object Technology): el Sun Spot A y el B. Estos dispositivos fueron

---

<sup>31</sup> Empresa líder de computadoras, situada en California EEUU, desarrolló el idioma Java para la programación en el Internet.

rápidamente revisados y refinados, resultando la plataforma de hardware Sun Spot revisión B.

Al final de 2005 el proyecto Sun Spot apareció oficialmente, y se comenzó a trabajar en el Sun Spot revisión E, (Figura 9) el cual sería ofrecido para la venta al público en cantidades limitadas para investigación, educadores y aficionados.

### 3.1 Kit de Desarrollo del Sun SPOT

La actual configuración del Sun Spot, tiene un procesador principal que ejecuta un tipo especial de maquina virtual de java llamada Squawk. La configuración de Sun Spot le permite servir como nodo para una red inalámbrica de sensores cumpliendo la normativa IEEE 802.15.4<sup>32</sup> (Tecnología ZigBee se incluye en esta regulación). El Sun Spot puede ser potenciado por una batería recargable o también a través de una fuente exterior por medio de la conexión USB.

El kit de desarrollo del Sun Spot contiene dos configuraciones diferentes. Una de las configuraciones incluye el modulo eDemo el cual es una tarjeta con muchas funciones para aplicaciones.



**Figura 10. Figura 10. Sun Spot**

Fuente: [www.sunstudentcourses.com](http://www.sunstudentcourses.com)

---

<sup>32</sup> Es un estándar que define el nivel físico y el control de acceso al medio de redes inalámbricas de área personal con tasas bajas de transmisión de datos

Las configuraciones provistas por el kit son:

- **Basestation** – Esta tiene una tarjeta principal eSPOT sin batería ni tarjeta de aplicación. La energía es suministrada a través de la conexión USB con un PC. El dispositivo Basestation sirve como gateway<sup>33</sup> entre los Sun Spot (y teóricamente con otros dispositivos 802.15.4) y el PC que actúa como host.
- **eSPOT** – Este dispositivo tiene la misma tarjeta principal que el dispositivo Basestation, junto con batería recargable LI-ION y una tarjeta eDEMO adjunta a la tarjeta eSPOT.

La tarjeta eDEMO es un ejemplo de tarjeta compatible con la tarjeta principal de los Sun Spot. Esta tarjeta eDEMO contiene un acelerómetro de tres ejes, un sensor de luz ambiente, ocho leds<sup>34</sup> tricolor (rojo, verde y azul), dos interruptores, seis pines para entradas análogas, cuatro pines para salidas de alta corriente y tensión y cinco pines de entrada y salida general.

### 3.1.1 La Tarjeta eDemo del Sun Spot

Esta tarjeta es el componente fundamental del Sun Spot. Además contiene:

- Procesador principal
- Memoria
- Circuito controlador de potencia
- Receptor y transmisor para radio 802.15.4 con antena
- Conector de batería
- Conector para tarjetas compatibles

---

<sup>33</sup> Equipo para interconectar redes. Ver Glosario.

<sup>34</sup> Diodo emisor de luz.

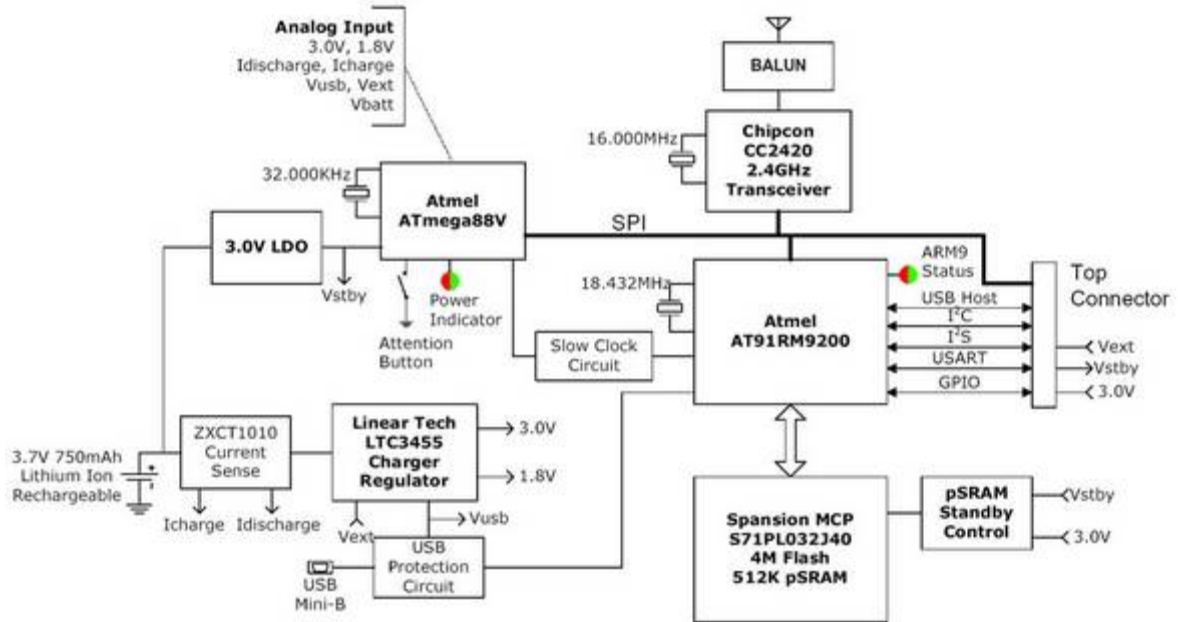


Figura 11. Tarjeta eSPOT y sus componentes  
Fuente: [www.sunstudentcourses.com](http://www.sunstudentcourses.com)

### 3.1.2 Procesador del Sun Spot

El procesador del Sun Spot es un sistema Atmel AT91RM9200. Esta unidad está basada en la arquitectura ARM9TDMI. Esta unidad mide 15 mm cuadrados y no requiere disipador de calor. En condiciones normales de operación, este procesador consume 44mW. La máxima velocidad a la que se ejecuta el procesador es 180MHZ, la cual es la velocidad de su reloj interno. La pastilla del procesador además contiene 16Kbyte de cache para datos y 16Kbyte de cache para instrucciones. El procesador ARM9 usa un controlador de memoria estándar ARMv4.

La memoria externa es controlada y accesada usando la interfaz de un modulo de bus externo. La tarjeta eSPOT usa un controlador de memoria estático para que interactúen las memorias Flash y pSRAM. El bus de datos de la memoria externa tiene 16 bits para direccionar. El procesador es reiniciado por el controlador de potencia como parte de la secuencia de encendido y de apagado. El reinicio también deshabilita la pSRAM durante el cambio de suministro de energía para prevenir escribir accidentalmente en la memoria.

El ARM920T tiene dos relojes: BCLK y FCLK que pueden ser seleccionados. El reloj que sea seleccionado será usado para general el reloj global, GCLK. BCLK es controlado desde un reloj oscilador de 32.768KHz en tiempo real y es habilitado en el encendido.

La tarjeta del procesador incluye un puerto USB para host<sup>35</sup>, un puerto USB para dispositivos, MAC para Ethernet<sup>36</sup>, un controlador programable de I/O (PIO), un controlador serial para periféricos (SPI), una USART (universal synchronous/asynchronous serial interface), un controlador de sincronización serial (I2S), tres contador/cronometro de 16 bits. También contiene un controlador periférico DMA (PDDC) para rápido acceso a la USART, I2S, SPI y al canal de memoria.

### 3.1.3 Sistema de Comunicación del Sun Spot

Uno de los principales objetivos de las redes de sensores es tener nodos que no necesariamente necesiten estar conectados a una fuente externa para poder operar. Como lo anterior significa que la energía disponible es limitada, es esencial minimizar el consumo de cada nodo.

El Instituto de Ingenieros en electricidad y electrónica o IEEE por sus siglas en ingles, es una organización internacional para el avance de la tecnología relacionada con la electricidad. Parte del trabajo de esta entidad es definir estándares para relacionar diferentes aspectos de la electrónica. IEEE 802 es una familia de estándares que trata con redes de área local, y redes de área metropolitana.

IEEE 802.11 es un conjunto de estándares que cubren redes de área local inalámbricas WLAN<sup>37</sup>. Dentro de IEEE 802.11 se destacan por ser los más comúnmente usados los estándares 802.11b, g y n, los cuales usan la frecuencia 2.4GHz (actualmente 802.11n puede también usar 5GHz) y soportan diferentes velocidades de transferencia. A pesar de haber sido diseñados para redes WLAN,

---

<sup>35</sup> Aquel dispositivo de la red que ofrece servicios a otros ordenadores conectados a dicha red. Ver Glosario.

<sup>36</sup> Protocolo para redes de área local.

| <sup>37</sup> Wireless Local Area Network. Ver Glosario.

estos protocolos no optimizan el consumo de potencia ya que tienen velocidades de transferencia de tanto o más que 248Mbits/s con un rango de más de 250 metros.

Otro tipo de redes necesitan de otra familia de protocolos, la IEEE 802.15. Esta familia cubre las denominadas redes de área personal inalámbricas WPAN<sup>38</sup>. Una WPAN es una red en la cual las distancias requeridas para la transmisión son típicamente del orden de unos cuantos metros (aunque se puede extender a unas cuantas decenas de metros). Bluetooth pertenece a esta familia y es uno de los más usados. Bluetooth es un protocolo muy usado en la comunicación entre celulares. Aunque este define un protocolo diseñado para trabajar en distancias cortas, este todavía no es adecuado para las redes de sensores inalámbricas debido a que su velocidad de transferencia es muy alta.

Para resolver las necesidades de las redes de sensores inalámbricas, el protocolo IEEE 802.15.4 es el más adecuado. Este protocolo define una velocidad de transferencia baja, optimizada en WPAN para dispositivos que necesitan tener un tiempo de vida de la batería extremadamente larga. Otro aspecto de este protocolo es que también define la manera en que la posición de los dispositivos relativa de uno con otro puede ser determinada a través de la potencia de las señales emitidas con una aproximación de alrededor de un metro.

El Sun Spot puede comunicarse dentro de una red de área personal inalámbrica WPAN, para este propósito, utiliza el radio transmisor receptor TI CC2420. El CC2420 obedece a la normativa IEEE 802.15.4 y opera en las bandas libres 2.4GHz y 2.8325GHz.

El CC2420 contiene un radio transmisor receptor con modem banda base con soporte MAC de secuencia espectro ensanchado por secuencia directa<sup>39</sup> (DSSS). Otras características incluyen un indicador de potencia de la señal entrante con 100dB de sensibilidad y un transmisor con potencia de salida ajustable desde -24dBm hasta 0dBm además velocidad binaria de 250kbps. El CC2420 requiere ser potenciado con +3.0V; este dispositivo consume 20mA durante la operación de recepción y 18mA cuando transmite a 0dBm.

---

<sup>38</sup>Wireless Personal Area Networks. Ver Glosario.

<sup>39</sup> Ver Glosario.

La antena es del tipo PIFA (Printed *Inverted F Antenna*), está ajustada en 2450MHz y tiene una impedancia de entrada característica de  $115\Omega$ . Es una antena de tipo  $\lambda/4$  monopolo doblado, con radiación omnidireccional considerable.

### 3.1.4 El Protocolo IEEE 802.15.4 Y ZigBee

ZigBee esta erigida sobre el estándar 802.15.4 para definir perfiles de aplicación que pueden ser compartidos entre diferentes fabricantes de dispositivos. IEEE 802.15.4 como ya se ha mencionado anteriormente es un estándar de velocidad de transferencia baja, para redes WPAN. Este estándar define la capa física y la capa MAC. La especificación para la capa física o PHY define radio operación por espectro ensanchado de baja velocidad de transferencia que actúa en la frecuencia 2.4 GHz con una velocidad de 250Kbit por segundo (existen especificaciones alternativas para la capa física PHY en las frecuencias 915MHz y 868MHz que operan con velocidad de transferencia baja, pero no son muy populares).

La especificación para la capa MAC, define como múltiples radios 802.15.4 que operan en una misma área compartirán las ondas radiofónicas. La capa MAC soporta muchas arquitecturas como en la Figura 12, incluyendo la topología de estrella (con un nodo actuando como coordinador casi como un Access Point en 802.11), tipologías tipo árbol (donde algunos nodos se comunican a través de otros nodos para establecer contacto con el nodo coordinador) y topología de malla (donde los nodos comparten responsabilidades de enrutador sin la necesidad de un coordinador maestro).

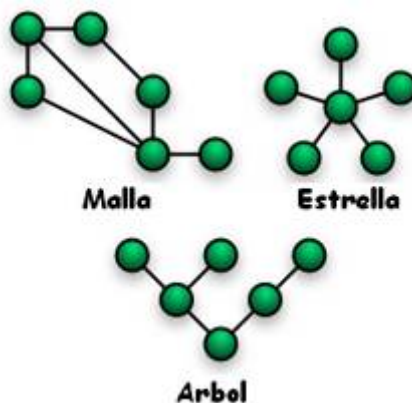


Figura 12. Algunas de las topologías que soporta la capa MAC de 802.15.4

ZigBee comienza con el estándar 802.15.4 y actualmente está definiendo perfiles para aplicaciones, que permitan a dispositivos de diferentes compañías, comunicarse entre ellos. Por ejemplo el perfil de ZigBee para iluminación definirá todos los protocolos de modo que el usuario pueda comprar un dispositivo luminario y cambiar de una compañía A de la cual se sabe que estos dispositivos trabajan adecuadamente para pasar a los dispositivos luminarios de la compañía B:

### 3.2 PROGRAMACION DEL SUN SPOT

Los Sun Spot combinan las características de un hardware adaptable con la simplicidad del desarrollo de aplicaciones en lenguaje Java. A diferencia de otros dispositivos, los Sun Spot utilizan la potente máquina virtual Squawk.

#### 3.2.1 Máquina Virtual Squawk

Squawk es una máquina virtual para el lenguaje Java que examina mejores formas de construir máquinas virtuales. Squawk se ejecuta sin ningún sistema operativo sobre una plataforma de sensores inalámbricos. Esta máquina virtual obedece a CLDC 1.1<sup>40</sup> y a IMP 1.1<sup>41</sup>.

Squawk traduce archivos de clases estándar en un formato más compacto y que permite una ejecución más eficiente de los **bytecodes**<sup>42</sup>, que han sido ubicados en la memoria ROM<sup>43</sup>. Squawk implementa un mecanismo que permite aislar aplicaciones con lo que las aplicaciones son representadas como objetos y por eso son tratadas como objetos de primera clase. Squawk puede correr múltiples aplicaciones al tiempo, de forma inalterada compartiendo recursos entre las aplicaciones. El empleo de esta característica reduce el espacio en memoria de la máquina virtual, lo que lo convierte en ideal para ser empleado en pequeños dispositivos con restricciones como los del tipo CLDC.

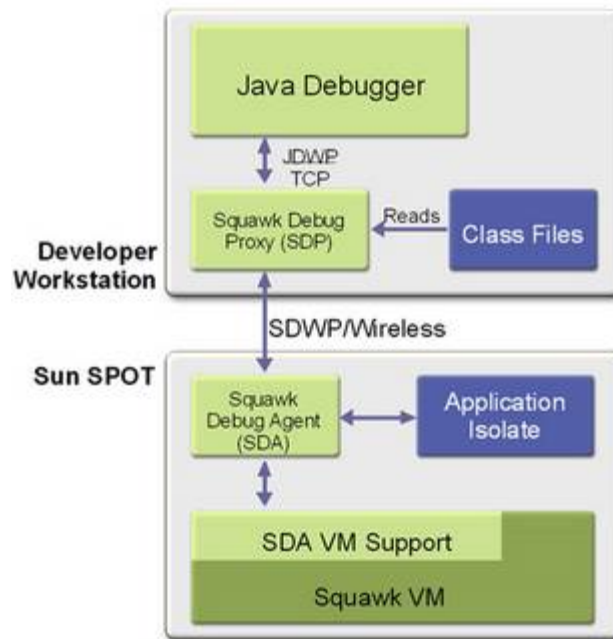
---

<sup>40</sup> Connected Limited Device Configuration. Ver Glosario.

<sup>41</sup> Interface Message Processor.

<sup>42</sup> Ver Glosario.

<sup>43</sup> Read-Only Memory. Ver Glosario.



**Figura 13. Arquitectura para depuración de la máquina virtual Squawk.**  
Fuente: [www.sunstudentcourses.com](http://www.sunstudentcourses.com)

Las aplicaciones para el SPOT tienen la posibilidad de ser depuradas usando el depurador de Java en ambientes que soporten el protocolo JDWP (Java Debug Wire Protocol) como Netbeans<sup>44</sup> y JDB. Debido a las restricciones de memoria de los Spot, Squawk no implementa JDWP completamente sobre el dispositivo, sino que divide el trabajo entre tres componentes como se muestra en la Figura 13. Existe un debug<sup>45</sup> proxy que se ejecuta sobre la estación de trabajo del desarrollador, un debug agent que es usado para controlar la aplicación que se va a depurar y que se comunica con el debug proxy y un debug agent en la máquina virtual misma. Tanto el debug en el SPOT con el debug en la estación de trabajo se comunican con un subconjunto del JDWP conocido como Squawk Debug Wire Protocol (SDWP).

<sup>44</sup> Se refiere a una plataforma para el desarrollo de aplicaciones de escritorio usando Java.

<sup>45</sup> Depuración de programas. Ver Glosario.

### 3.2.2 MIDlets y Aplicaciones para los Spot

Las aplicaciones para los Spot conforman el estándar MIDlet<sup>46</sup>. Por lo tanto todas las aplicaciones implementan tres miembros: `startApp()`, `pauseApp()` y `destroyApp()` (Piroumian, 2002). Adicionalmente pueden incluirse constructores sin argumentos para que la interfaz implementada sea del tipo de las aplicaciones MIDlet. Además existe un miembro que es heredado y que puede ser llamado, se trata de `notifyDestroyed()`.

Las aplicaciones para los Spot, deben ser construidas en el miembro `startApp()` el cual será invocado cuando la aplicación sea activada, en ese momento la aplicación adquiere los recursos que necesita y comienza su ejecución. Cuando `destroyApp()` es invocado, la aplicación debe liberar los recursos y detener la ejecución. Si la aplicación necesita salir, esta deberá invocar a `notifyDestroyed()`. Por ninguna razón las aplicaciones deben invocar a `System.exit()` (David Reilly, 2002).

---

<sup>46</sup> Es una programa Java para dispositivos embebidos. Ver Glosario.

```
import java.io.*;
import javax.microedition.io.*;
import javax.microedition.midlet.MIDlet;
import javax.microedition.midlet.MIDletStateChangeException;

/**...*/
public class StartApplication extends MIDlet {

    private ITricolorLED [] leds = EDemoBoard.getInstance().getLEDs();

    protected void startApp() throws MIDletStateChangeException {
        System.out.println("Hello, world");
        new BootloaderListener().start(); // monitor the USB (if connected) and
                                         // recognize commands from host

        long ourAddr = Spot.getInstance().getRadioPolicyManager().getIEEEAddress();
        System.out.println("Our radio address = " + IEEEAddress.toDottedHex(ourAddr));

        ISwitch sw1 = EDemoBoard.getInstance().getSwitches()[EDemoBoard.SW1];
        leds[0].setRGB(100,0,0); // set color to moderate red
        while (sw1.isOpen()) { // done when switch is pressed
            leds[0].setOn(); // Blink LED
            Utils.sleep(250); // wait 1/4 seconds
            leds[0].setOff();
            Utils.sleep(1000); // wait 1 second
        }
        notifyDestroyed(); // cause the MIDlet to exit
    }

    protected void pauseApp() {
        // This is not currently called by the Squawk VM
    }

    /**...*/
    protected void destroyApp(boolean unconditional) throws MIDletStateChangeException {
        for (int i = 0; i < 8; i++) {
            leds[i].setOff();
        }
    }
}
```

Figura 14. Una aplicación de tipo MIDlet.  
Fuente: [www.sunstudentcourses.com](http://www.sunstudentcourses.com)

### 3.2.3 Ciclo de vida de un MIDlet

El entendimiento del ciclo de vida de un MIDlet es fundamental para crear cualquier MIDlet. El ciclo de vida define los estados de ejecución de un MIDlet : creación. Inicio, pausa y salida junto con los estados de transición validos. El AMS (*Application Management Software*), es el software sobre un dispositivo que

maneja la descarga y el ciclo de vida de los MIDlets. El AMS provee el ambiente de ejecución para un MIDlet, este está pendiente de la seguridad, de los permisos y de los estados de ejecución y provee al sistema de clases y de una agenda de ejecución.

### 3.3 Uso del dispositivo Basestation

El propósito del software del dispositivo Sun SPOT Basestation<sup>47</sup> es permitir que la ejecución de aplicaciones sobre el Host pueda interactuar con aplicaciones ejecutándose en otros dispositivos. La configuración física se muestra en la figura 15.



Figura 15. Modo de empleo del dispositivo Basestation.

Fuente: [www.sunstudentcourses.com](http://www.sunstudentcourses.com)

El host puede ser cualquier plataforma admitida (por ejemplo Windows, Mac). La aplicación en el host es un programa escrito en J2SE<sup>48</sup>, mientras que el código en el dispositivo es un programa en Java tipo Squawk.

La identidad de los Spot es expresada por una dirección de 64 bits en la forma de 16 dígitos hexadecimales subdivididos en cuatro grupos separados cada uno por un punto.

El dispositivo Basestation puede ser ejecutado en modo dedicado o en modo compartido (dedicate mode, share mode). En modo dedicado se ejecuta dentro de la misma máquina virtual de la aplicación en el host y puede únicamente ser usada

<sup>47</sup> Ver Manual de propietarios del Sun Spot, disponible en <http://sunspotworld.com/docs/>.

<sup>48</sup> Java Platform, Standard Edition. Ver Glosario.

por esta aplicación. En modo compartido, dos máquinas virtuales son lanzadas sobre el host en la computadora: una maneja el dispositivo Basestation y la otra ejecuta la aplicación del host. En este modelo la aplicación del host tiene su propio sistema generador de direcciones diferente al del dispositivo Basestation. La comunicación desde la aplicación en el host a un dispositivo de rango libre en consecuencia consta de dos saltos, en contraste con un salto en el caso del modo dedicado.

La principal ventaja del modo compartido es que más de una aplicación en el host puede usar el mismo dispositivo Basestation simultáneamente. En modo compartido, también se permite que múltiples procesos en el host se comuniquen con otros utilizando la pila de radiocomunicación, lo cual hace posible simular el comportamiento de la comunicación de un grupo de Spot usando aplicaciones en el host.

La desventaja del modo compartido, es que no es posible la manipulación en tiempo de ejecución del canal de radio o de la ID PAN o controlar la salida de potencia.

### 3.4 Radiogramas

Los radiogramas son un protocolo que permite el intercambio de paquetes entre dos dispositivos. Para establecer una conexión punto a punto, los dos terminales deben abrir una conexión especificando el mismo puerto y la correspondiente dirección IEEE. Los números de puerto<sup>49</sup> desde 0 hasta 31 son reservados para propósitos del sistema. Una vez que la conexión se ha abierto, cada terminal puede enviar y recibir datos usando un datagrama creado sobre la conexión.

Una conexión en el servidor se puede abrir así:

```
RadiogramConnection conn = (RadiogramConnection)  
Connector.open("radiogram://:<portNo>");
```

donde portNo es el número del puerto en el rango de 0 a 255 que identifica la conexión en particular. La conexión es entonces abierta usando el canal y el PAN ID por defecto (canal 26, PAN 3).

---

<sup>49</sup> Punto de entrada y salida para la información, a un ordenador u otro dispositivo de comunicaciones.

Una conexión el cliente se puede abrir así:

```
RadiogramConnection conn = (RadiogramConnection)  
Connector.open("radiogram://<serveraddr>:<portNo>");
```

Donde serveAddr es la dirección IEEE de 64 bits del servidor, y portNo es el número del puerto en el rango de 0 a 255 que identifica a una conexión en particular. El número del puerto debe ser el mismo usado en el servidor.

Los datos son enviados entre el cliente y el servidor en forma de datagramas<sup>50</sup>. Para obtener un datagrama vacío se debe solicitar uno:

```
Datagram dg = conn.newDatagram(conn.getMaximumLength());
```

Un datagrama es enviado solicitando una conexión para enviarlo:

```
conn.send(dg);
```

Un datagrama es recibido, solicitando completar una conexión<sup>51</sup>:

```
conn.receive(dg);
```

Como ejemplo se tiene:

#### **Lado del cliente**

```
RadiogramConnection conn = (RadiogramConnection)  
  Connector.open("radiogram://0014.4F01.0000.0006:100");  
Datagram dg = conn.newDatagram(conn.getMaximumLength());  
try {  
  dg.writeUTF("Hello up there");  
  conn.send(dg);  
  conn.receive(dg);  
  System.out.println ("Received: " + dg.readUTF());  
} catch (NoRouteException e) {  
  System.out.println ("No route to 0014.4F01.0000.0006");  
} finally {  
  conn.close();  
}
```

<sup>50</sup> Ver Guía para desarrolladores del Sun Spot, disponible en <http://sunspotworld.com/docs/>.

<sup>51</sup> Ver Sun SPOT Theory of Operation, disponible en <http://sunspotworld.com/docs/>.

## Lado del servidor

```
RadiogramConnection conn = (RadiogramConnection)
    Connector.open("radiogram://:100");
Datagram dg = conn.newDatagram(conn.getMaximumLength());
Datagram dgreply = conn.newDatagram(conn.getMaximumLength());
try {
    conn.receive(dg);
    String question = dg.readUTF();
    dgreply.reset(); // reset stream pointer
    dgreply.setAddress(dg); // copy reply address from input
    if (question.equals("Hello up there")) {
        dgreply.writeUTF("Hello down there");
    } else {
        dgreply.writeUTF("What???");
    }
    conn.send(dgreply);
} catch (NoRouteException e) {
    System.out.println ("No route to " + dgreply.getAddress());
} finally {
    conn.close();
}
```

### 3.5 Protocolo HTTP

El protocolo http<sup>52</sup> es implementado para permitir que aplicaciones<sup>53</sup> en los Spot de rango libre abran conexiones http con cualquier servicio web accesible desde un host en un computador configurado correctamente.

Una conexión se puede abrir así:

```
HttpConnection connection =  
(HttpConnection)Connector.open("http://host:[port]/filepath");
```

Donde host es el nombre en internet en la notación de dominio, por ejemplo www.okcomputer.serveftp.com o una dirección numérica TCP/IP<sup>54</sup>. Port es el número del puerto el cual puede ser omitido, en este caso se aplica el puerto 80

<sup>52</sup> Hypertext Transfer Protocol. Ver Glosario.

<sup>53</sup> Ver Sun SPOT Host Library APIs (hostjavadoc), disponible en <http://sunspotworld.com/docs/>.

<sup>54</sup> Transmission Control Protocol Internet Protocol. Ver Glosario.

por defecto. Filepath es la ruta del recurso que está siendo solicitado desde el servidor web.

Como ejemplo esta una aplicación que recupera el código HTML<sup>55</sup> de la página <http://www.sunspotworld.com>.

### Aplicación para el SPOT

```
HttpConnection connection =  
    (HttpConnection)Connector.open("http://www.sunspotworld.com/");  
connection.setRequestProperty("Connection", "close");  
InputStream in = connection.openInputStream();  
StringBuffer buf = new StringBuffer();  
int ch;  
while ((ch = in.read()) > 0) {  
    buf.append((char)ch);  
}  
System.out.println(buf.toString());  
in.close();  
connection.close();
```

Para que sea posible que el protocolo http acceda a la URL especificada, el SPOT de rango libre debe estar dentro del alcance del radio del dispositivo Basestation, el cual se conecta a un host que ejecuta un Socket Proxy. El programa proxy es responsable de la comunicación con el servidor especificado en la URL<sup>56</sup>. El programa Socket Proxy se puede iniciar desde la ventana de comandos así:

**ant socket-proxy**

o también con,

**ant socket-proxy-gui**

---

<sup>55</sup> HyperText Markup Language. Ver Glosario.

<sup>56</sup> Dirección global de documentos y otras fuentes en el Internet.

## 4. SISTEMA DE MONITOREO SASBEE

El sistema de monitoreo que se desarrollo, permite la obtención de información capturada por sensores (temperatura, nivel de luz, aceleración, o posicionamiento) en un ambiente remoto y la transmisión de estos datos a través de una red inalámbrica de sensores que emplea como nodos a los dispositivos Sun Spot de rango libre hasta una terminal con un dispositivo Basestation conectado a un host (por ejemplo una PC portátil) a través del puerto USB. En el host, una aplicación se encarga de mostrar los datos de la red de sensores automáticamente.

### 4.1 LA HERRAMIENTA ASASBEE

ASASBEE es una de las dos partes que componen el sistema SASBEE. ASASBEE es un MIDlet desarrollado en lenguaje J2ME, y para que sea útil, se debe desplegar en los SPOTS de rango libre. ASASBEE tiene como función, capturar las señales de los sensores del Sun Spot o del dispositivo determinador de posicionamiento (GPS de referencia EM-406A de la compañía GlobalSat) procesar esta información para que pueda ser transmitida de manera inalámbrica usando protocolo de datagramas.

### FRAGMENTO DEL CÓDIGO ASASBEE

```
1.   protected void startApp() throws MIDletStateChangeException {
2.       RadiogramConnection rCon = null;
3.       Datagram dg = null;
4.       try {
5.           rCon = (RadiogramConnection) Connector.open("radiogram://broadcast:" +
HOST_PORT);
6.           dg = rCon.newDatagram(rCon.getMaximumLength());
7.       } catch (Exception e) {
8.           System.err.println("Caught " + e + " in connection initialization.");
9.           System.exit(1);
10.      }
11.
12.      while (true) {
```

```

13.     try {
14.         takeSenseReadings sensedata = new takeSenseReadings();
15.         String reading1 = GPSreading();
16.         leds[7].setRGB(255, 255, 255);
17.         leds[7].setOn();
17.
18.         String reading = sensedata.kosoko()+ reading1;
19.         dg.reset();
20.         dg.writeUTF(reading);
21.         rCon.send(dg);
22.         leds[7].setOff();
23.         Utils.sleep(2000);
24.     } catch (Exception e) {
25.         System.err.println("Caught " + e + " while collecting/sending sensor sample.");
26.     }
27. }
28. }

```

- El código inicia invocando al método startApp() (línea 1).
- Abre una conexión del tipo **RadiogramConnection** en el número de puerto dado por HOST\_PORT (líneas 5 y 6).
- Usando esta conexión, se crea un **Datagrama** de tamaño máximo para esta conexión (línea 6).
- El código presenta un bucle infinito el cual se repite cada dos segundos (líneas 11 y 12).
- Se genera una nueva instancia de la clase takeSenseReadings() para después invocar el método kosoko() que obtiene la lectura de los sensores del SPOT (por ejemplo la temperatura del ambiente) (línea 14).
- Se invoca el método GPSreading() para obtener el posicionamiento y se almacena en la variable reading1 (línea 15).
- El datagrama es enviado y se reinicia para continuar una nueva iteración (líneas 19,20 y 21).

El código ahora deberá ser compilado (figura 16) y desplegado a los SPOTS.

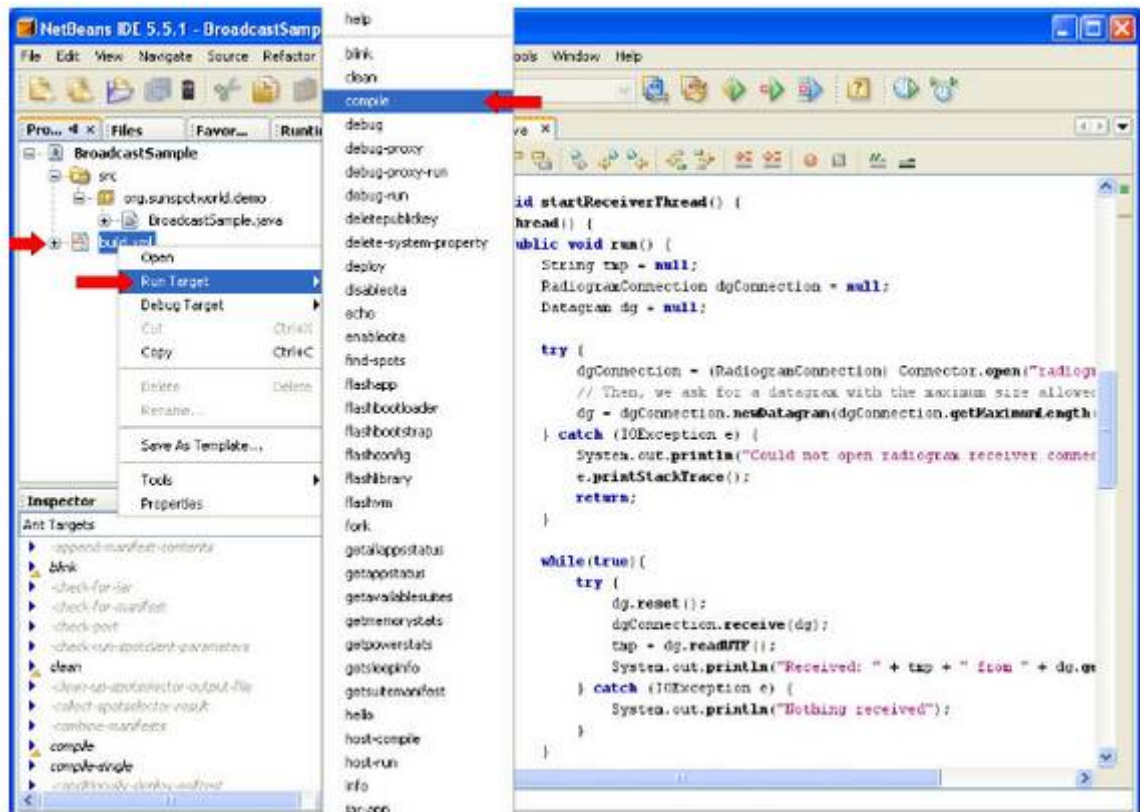


Figura 16. La aplicación ASASBEE es compilada en Netbeans.  
Fuente: www.sunstudentcourses.com

## 4.2 LA HERRAMIENTA CSASBEE

CSASBEE es la herramienta complementaria de la aplicación ASASBEE, y con esta se completa la aplicación para la colección, transmisión y recepción de los datos de la red de sensores. CSASBEE es una aplicación que se ejecuta en el host. Para que funcione apropiadamente, debe existir un dispositivo Basestation conectado al host y este debe estar configurado correctamente<sup>57</sup>.

CSASBEE está escrita en lenguaje J2SE y requiere de algunas librerías especiales incluyendo las librerías del ambiente de trabajo de los Sun Spot. Esta aplicación toma los datos enviados por la red de sensores, y los publica automáticamente y en tiempo de ejecución. Para visualizar la secuencia de

<sup>57</sup> Para más detalles ver SASECHO manual de usuario, disponible en <https://okkomputer.dev.java.net/>

transmisión, recepción y publicación de los datos se puede utilizar un entorno de desarrollo como Netbeans<sup>58</sup>.

## FRAGMENTO DEL CÓDIGO CSASBEE

```
1. private void run() throws Exception {
2.     System.out.println("Todo Ok!");
3.     RadiogramConnection rCon;
4.     Datagram dg;
5.     try {
6.         rCon = (RadiogramConnection) Connector.open("radiogram://:" + HOST_PORT);
7.         dg = rCon.newDatagram(rCon.getMaximumLength());
8.     } catch (Exception e) {
9.         System.err.println("setUp caught " + e.getMessage());
10.        throw e;
11.    }
12.    while (true) {
13.        try {
14.            rCon.receive(dg);
15.            String gpsreading = dg.readUTF();
16.            System.out.println(gpsreading);
17.        } catch (Exception e) {
18.            System.err.println("Caught " + e + " while reading sensor samples.");
19.            throw e;
20.        }
21.    }
22. }
23. public static void main(String[] args) throws Exception {
24.     SendDataDemoHostApplication_1 app = new SendDataDemoHostApplication_1();
25.     app.run();
26. }
```

- En este caso el código para ser ejecutado se encuentra dentro del método **main(String[] args)**, el cual invoca al método Run() (línea 25).
- El método Run() establece una conexión de tipo **RadiogramConnection** en el puerto designado por la variable HOST\_PORT y genera un datagrama de tamaño máximo (líneas 6 y 7).
- El datagrama es recibido y se dispone en la variable gpsreading, para después ser mostrado en consola (líneas 14, 15 y 16).
- Estos pasos se repiten hasta que el usuario detenga el programa o porque el Sun Spot es reiniciado.

---

<sup>58</sup> Ver Glosario.

El código debe ser compilado y se puede ejecutar con el comando Run.

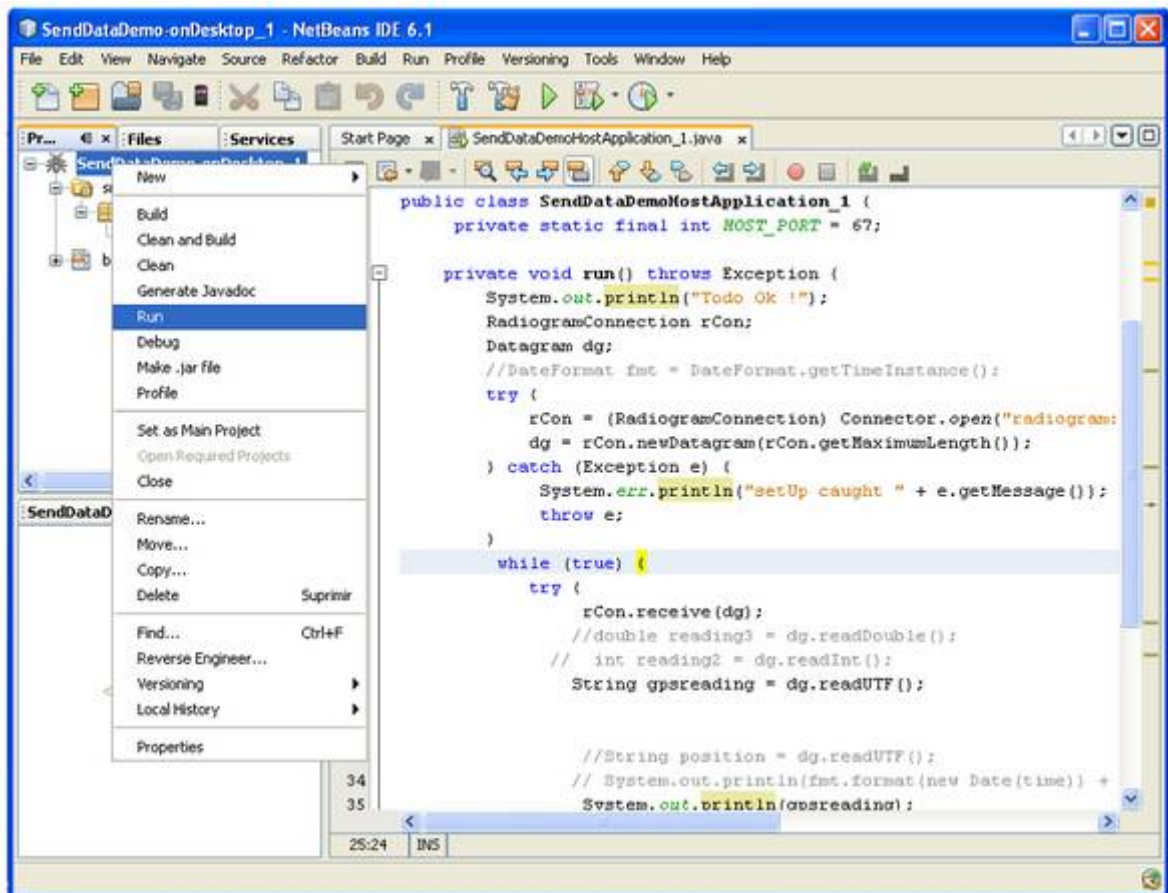


Figura 17. La aplicación CSASBEE es ejecutada en Netbeans.

Fuente: Autor

Una vez se ha ejecutado el comando Run, el Spot estará esperando algún dispositivo para que se conecte a través de los pines I/O, por tanto se debe conectar el dispositivo GPS al SPOT (se tendrá que conectar antes de que el led indicador de lectura se apague). El resultado que se debe obtener debe ser algo similar al resultado de la figura 18, donde se obtiene la lectura de la temperatura, el nivel de luz<sup>59</sup> y el posicionamiento<sup>60</sup>.

<sup>59</sup> Estos datos son tomados de los sensores integrados al Sun Spot, para obtener el dato de la aceleración será necesario seleccionar otro sensor en el código.

<sup>60</sup> La posición es tomada de un sensor externo. Este dispositivo GPS se conecta al Sun Spot por los pines I/O.

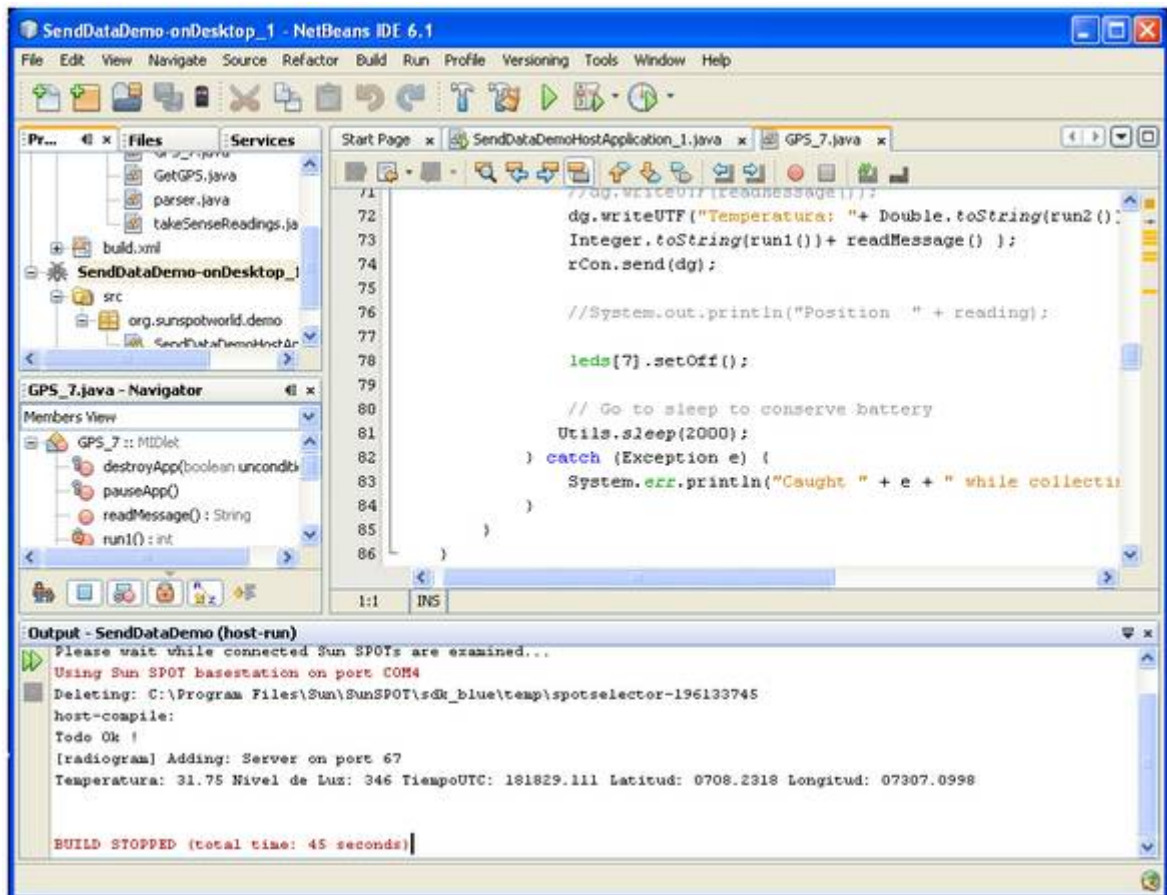


Figura 18. Resultados obtenidos al ejecutar el código en Netbeans.

Fuente: Autor

### 4.3 ANALISIS DE LAS APLICACIONES ASASBEE Y CSASBEE

Las herramientas ASASBEE Y CSASBEE son en conjunto un instrumento valioso que permite interactuar al usuario con una red inalámbrica de sensores, recibiendo información precisa sobre las condiciones en un emplazamiento que además está completamente determinado por la información de ubicación que entrega el GPS conectado al Sun Spot. La figura 19 muestra el diagrama que esquematiza lo que sucede cuando se despliegan correctamente las aplicaciones ASASBEE Y CSASBEE en el Spot y en el host respectivamente.

Estas herramientas están diseñadas para monitorear de forma portable las condiciones de un lugar remoto, sin acceso a internet, donde se desee inspeccionar de forma rápida algunas variables, para tomar decisiones con base en la información entregada por el sistema y la red de sensores.

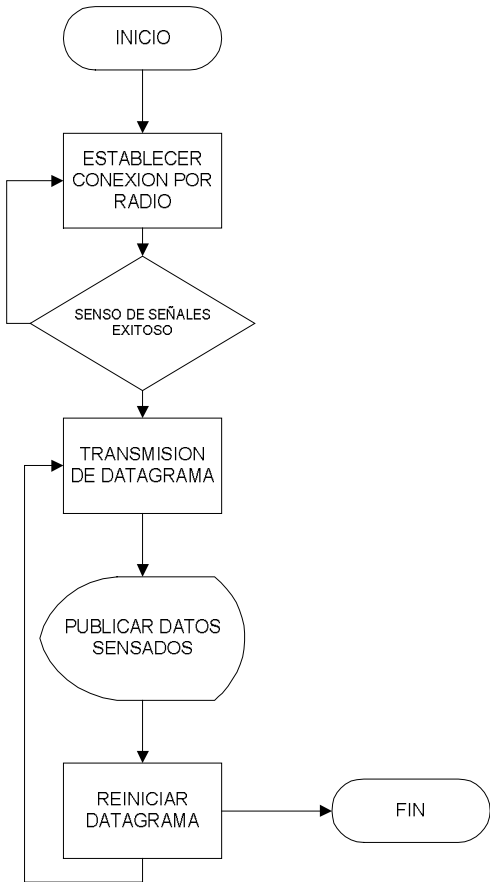


Figura 19. Funcionamiento en conjunto de las aplicaciones ASASBEE y CSASBEE  
Fuente: Autor

#### 4.4 SASECHO FORMA ALTERNATIVA DEL SISTEMA SASBEE

Con el lanzamiento de la versión BLUE del software de desarrollo del Sun Spot SDK, se corrigieron algunas fallas<sup>61</sup> de software (casi 200 errores de software) que permiten ejecutar a los Sun Spot aplicaciones muy interesantes, como por

<sup>61</sup> Ver <http://www.sunspotworld.com/docs/Blue/ReleaseNotes.html> para una lista completa de cambios.

ejemplo la posibilidad de desplegar varias suites<sup>62</sup> de aplicaciones para ser cargadas y ejecutadas en el Sun Spot. La conexión de un dispositivo GPS al Sun Spot ya era posible desde la versión Orange<sup>63</sup> del SDK, sin embargo con la nueva versión de SDK muchas cosas mejoraron.

Una de los aspectos más interesantes del Sun Spot, es la capacidad para establecer una conexión HTTP, con la posibilidad de encajar en el rol de cliente o en rol de servidor. Como cliente, el Sun Spot puede establecer conexión con algún servidor web e interactuar mediante métodos POST Y GET, en tanto que como servidor, es posible desarrollar aplicaciones en las que se conecten actuadores al Sun Spot y estos sean comandados por un cliente con acceso a la conexión desde cualquier lugar a través de internet.

La versión alternativa del sistema SASBEE denominada SASECHO, comprende las características de las herramientas ASASBEE Y CSASBEE como la colección de información del ambiente por medio de los sensores en el Sun Spot, la información sobre el posicionamiento a través del dispositivo GPS y la comunicación inalámbrica a través de la red de sensores, pero además, presenta la posibilidad de transmitir la información sensada por los Sun Spot a un servidor a través de internet por el protocolo HTTP, donde la información (temperatura, luz, aceleración) es mostrada en una tabla que se puede actualizar para obtener la información más reciente que ha sido sensada por los Spot, con solo punzar sobre el botón refrescar del explorador de internet.

También la información del posicionamiento del Spot es mostrada en una tabla y además es relacionada con GoogleMaps, donde en la ventana del explorador, el cliente puede observar mediante una tabla las coordenadas geográficas y mediante un mapa se puede ver la imagen de un mapa con la ubicación de estas coordenadas. De este modo la configuración alternativa del sistema SASBEE ofrece un servicio basado en localización y GIS, ya que muestra la información de la red de sensores (temperatura, luz o aceleración) Sun Spot en formato HTML y la información de posicionamiento a través de una aplicación que toma las coordenadas geográficas de la ubicación de los sensores y muestra desde la perspectiva del servicio web GoogleMaps un mapa que indica con un punto la ubicación del dispositivo GPS enganchado al Sun Spot como se muestra en la figura 22.

---

<sup>62</sup> Una suite es la unidad de despliegue/compilación en el sistema Squawk.

<sup>63</sup> Ver detalles en <http://sunspotworld.com/docs/Orange/Tutorial/Tutorial.html>.

El sistema SASECHO está compuesto por dos aplicaciones: SENSECHO la cual se debe desplegar en el Sun Spot y PUBLISHECHO que se ejecuta en el servidor.

#### 4.4.1 La Herramienta SENSECHO

SENSECHO es un MIDlet programado en lenguaje J2ME. Esta aplicación toma información sensada por el Sun Spot (temperatura, luz, aceleración o posicionamiento) y la transmite hacia un servidor para ser publicada en formato HTML en una página web. El diagrama e flujo de la figura 21 ayuda a concebir de manera muy simple la estructura del funcionamiento de la aplicación SENSEECHO.

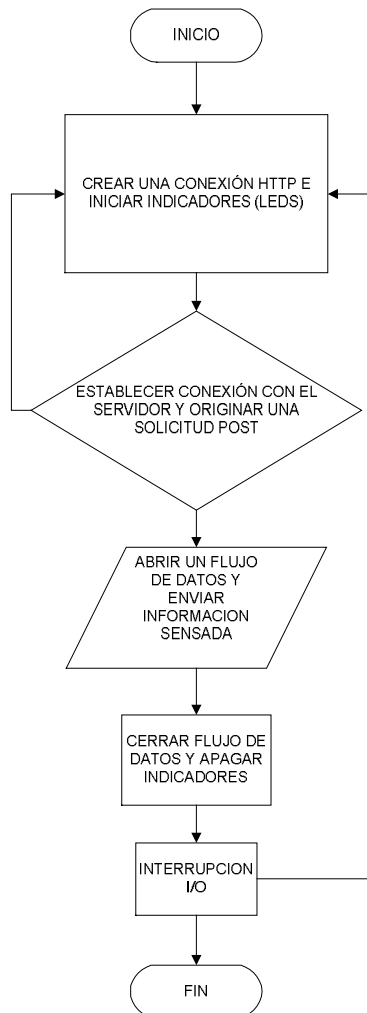


Figura 20. Diagrama de flujo de la aplicación SENSECHO.

Fuente: Autor

## FRAGMENTO DEL CÓDIGO SENSECHO

```
1. protected void publish(long times, double senseReadings, double lat, double lon) {
2.     leds[6].setColor(LEDColor.BLUE);
3.     leds[6].setOn();
4.     HttpURLConnection c = null;
5.     OutputStream os = null;
6.     try {
7.         c = (HttpURLConnection)Connector.open("http://okcomputer.serveftp.com/cgi-bin/sasecho.cgi");
8.         c.setRequestMethod(HttpURLConnection.POST);
9.         c.setRequestProperty("If-Modified-Since",
10.            "29 Oct 1999 19:43:31 GMT");
11.         c.setRequestProperty("User-Agent",
12.            "Profile/MIDP-1.0 Configuration/CLDC-1.0");
13.         c.setRequestProperty("Content-Language", "en-US");
14.         os = c.openOutputStream();
15.         os.write((times + "," + temp + "," + luz + "," + acel + "\n").getBytes());
16.         os.flush();
17.         leds[6].setOff();
18.     } catch (IOException e) {
19.     } finally {
20.         try {
21.             if (os != null)
22.                 os.close();
23.             if (c != null)
24.                 c.close();
25.             leds[6].setOff();
26.         } catch (IOException e) {
27.         }
28.     }
29. }
30. }
```

- El código inicia invocando al método starApp() el cual toma la lectura de los sensores integrados al Sun Spot y la información del posicionamiento del GPS, para enviarla a manera de mensaje al método publish().
- Una conexión HTTP es establecida con un servidor web (línea 7).
- Se fija el tipo de solicitud y los encabezados (líneas 7-13).
- Se abre un objeto stream donde se escriben los parámetros de entrada del método y se convierten en bytes (líneas 13-15).

- Se envía la información (datos de temperatura, luz, aceleración o posicionamiento) (línea 15).
- Finalmente se cierra el objeto stream creado (línea 24).

#### 4.4.2 La herramienta PUBLISHECHO

PUBLISHECHO es un código escrito en lenguaje PERL<sup>64</sup>. Se trata de un código ejecutable cuya idea básica es crear una forma HTML sobre el servidor, el cual toma las entradas necesarias. Sin embargo en vez de de usar la forma típica en la que se llenan unos campos y se presiona el botón enviar, el SPOT crea una URL similar a la que se generaría si se completaran los campos y se enviara la información. Para que el sistema cliente-servidor funcione apropiadamente, la URL debe ser exactamente la que se vería en el explorador después de presionar el botón enviar. Cuando se trata de la información del posicionamiento de un Spot, PUBLISHECHO, muestra una tabla con las coordenadas geográficas del dispositivo GPS e invoca al servidor de GoogleMaps para que retorne un mapa, que muestra la imagen de las inmediaciones en la ubicación del Spot. Este proceso se efectúa de modo dinámico, y el cliente puede actualizar las coordenadas geográficas y el mapa, refrescando la ventana del explorador de internet.

#### FRAGMENTO DEL CÓDIGO PUBLISHECHO

```

1. <BODY bgcolor="#CCDDFF" TEXT="\#22222222\" onload="initialize()" onunload="GUnload(">
2. <H2>Sistema de Monitoreo SASBEE v1.0 </h2>
3. <p>Unidad Sun Spot 1.</p>
4. <TABLE border="1">
5. <TR><TH>Fecha<TH>Temperatura<TH> Luz <TH>Aceleracion
6. ENDTITLE
7.
8. @fields=split(/./, param("keywords"));
9. $sampletime = localtime($fields[0]/1000);
10. $samplevalTemp = $fields[1];
11. $samplevalLuz = $fields[2];
12. $samplevalAcel = $fields[3];
13.

```

---

<sup>64</sup> Lenguaje de programación para procesamiento de textos.

```

14.
15 .print OF "<TR><TH>", "$sampltime", "<TH>", "$samplevalTemp",<TH>",
"$samplevalLuz",<TH>", "$samplevalAcel\n";
16. print OF "</TABLE></BODY></HTML>\n";

```

- El código crea una tabla con un título (líneas 1-4).
- La tabla tiene tres encabezados (línea 5).
- La tabla tiene tres campos para mostrar la información sensada (líneas 10-12).
- Se imprime los datos sensados (líneas 15 y 16).

Cuando se despliega correctamente la aplicación SENSECHO en el Spot y la aplicación PUBLISHECHO en el servidor, un resultado como el de la figura 21 debe ser obtenido.

Fecha	Temperatura	Luz	Aceleracion
Wed Oct 29 16:16:55 2008	32.75	68.0	-41.89179550387904

**Figura 21. Resultado del sistema SASECHO.**

Fuente: Autor

Del mismo modo, cuando se ha configurado correctamente el dispositivo GPS conectado al Spot, se debe observar un resultado como el de la figura 22.

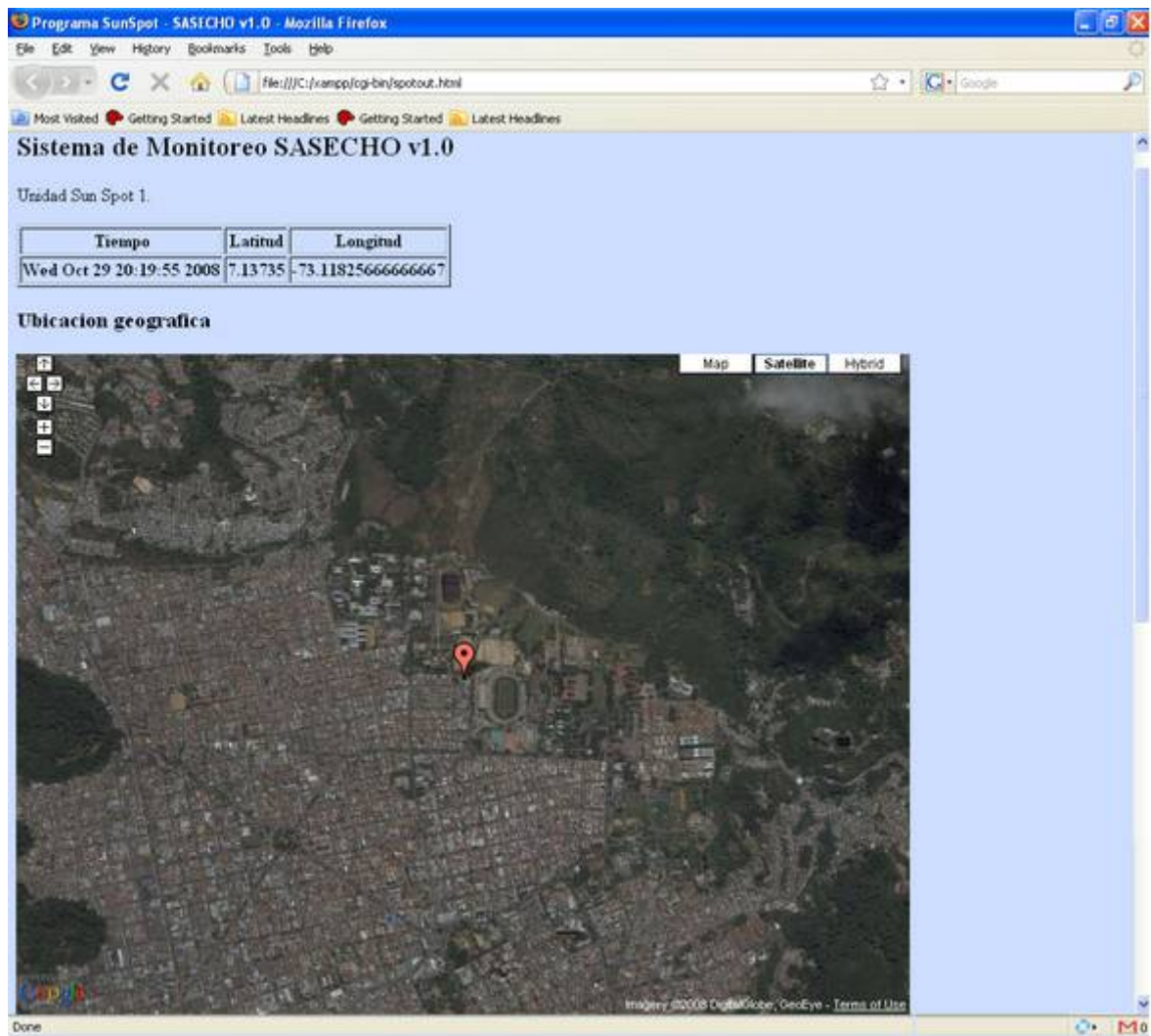


Figura 22. Resultado del sistema SASECHO para un Spot con GPS.

Fuente: Autor

#### 4.4.3 VALIDACION DEL DESEMPEÑO DEL SISTEMA DE COMUNICACIÓN

Los Sun Spot son dispositivos de rango corto. Las especificaciones del dispositivo indican que se puede establecer comunicación entre los SPOTS por radio a una distancia máxima de 100m. Este es el mejor caso. Típicamente se encuentra que es algo menor que esta distancia dependiendo del ambiente y de otros factores los cuales pueden interferir con el radio (tal como emisiones radiales en la banda 2.5GHz en las cercanías, obstáculos como objetos metálicos, personas etc).

Se realizaron pruebas para validar el desempeño del sistema de comunicación del Sun Spot<sup>65</sup> empleando las aplicaciones del sistema SASBEE. Se utilizo el método **RSSI** (received signal strength indicator) de java, el cual mide la potencia de la señal para el paquete en unidades en el rango de +60 (fuerte) a -60 (débil). Para convertir estas unidades a decibeles relativos a 1mW (= 0 dBm) se debe substraer 45 del valor dado, por ejemplo para un RSSI de -20 la potencia percibida en el nodo receptor es de aproximadamente -65dBm. Los Spot se ubicaron aproximadamente a 1m del nivel del suelo y sobre una superficie plana y se realizaron las pruebas con un periodo de muestreo de 10 segundo durante 2 horas para cada distancia, al final se calculo el valor promedio en el tiempo del RSSI. Los resultados obtenidos se resumen en la siguiente tabla, donde se puede observar que a partir de los 70 metros la potencia de la señal es deficiente para establecer alguna comunicación entre nodos.

<b>Distancia (m)</b>	<b>RSSI promedio</b>
3	10.2
10	3.1
20	-8.8
40	-29.5
70	-42.3
90	-57.6
110	-59.3

Tabla 4. Resultados de la prueba de desempeño del radio del Sun Spot

#### 4.4.4 Aspectos del Sistema SASECHO

El sistema SASECHO así como el sistema SASBEE, fueron desarrollados a partir de un kit Sun Spot compuesto por dos Spot de rango libre con tarjeta eDEMO y de un Spot sin tarjeta eDEMO que actúa como Basestation. Sin embargo estas herramientas desarrolladas pueden ser desplegadas en muchos más dispositivos Sun Spot conformando una gran red inalámbrica de sensores con esa tecnología, sin que el producto se vea afectado.

---

<sup>65</sup> En <http://sunspotworld.com/forums>, se encuentran resultados similares de otra prueba realizada al sistema de comunicación del Sun Spot.

Un aspecto que se debe señalar, es que debido a las versiones incipientes del software de desarrollo de aplicaciones para los Sun Spot SDK se descubrió un brete en las aplicaciones SASECHO Y SASBEE que no permiten a los Spot sensar y transmitir la señal de posicionamiento obtenida a través de un dispositivo GPS conectado a la UART del Spot y la señal de algún sensor de la tarjeta eDEMO a la vez. Esto nada tiene que ver con el desarrollado software sino que se trata de un *bug* que se encontró y el cual ya ha sido reportado a los desarrolladores del Sun Spot para que en una versión futura del SDK sea corregido y de ese modo las aplicaciones SASBEE y SASECHO produzcan los resultados esperados sin que se tenga que acudir a mas dispositivos Spot para coleccionar la información de posicionamiento y la de los sensores en el Spot a la vez.

Este hándicap se solventó con el despliegue de las aplicaciones de los sistemas SASBEE Y SASECHO a más de un dispositivo Spot y seleccionando el parámetro (posición o temperatura, luz y aceleración) adecuado en cada Spot. Este hecho reduce el margen de maniobrabilidad de los sistemas desarrollados, puesto que se dispone de menos nodos.

## CONCLUSIONES

- Los recientes avances en tecnologías de software como son los sistemas de información geográfica sumados a los logros en la reducción del consumo de potencia en dispositivos microelectrónicos, y la aparición de nuevos estándares de protocolos en telecomunicaciones entre otros, hacen posible que las aplicaciones de servicios basados en localización sean tenidos en cuenta por operadores y usuarios para ser preferidos de entre la gran gama de servicios de telecomunicaciones que se consolidan con el fenómeno de la globalización del mundo. Por lo tanto se está abriendo una puerta para los desarrolladores de servicios basados en localización, que parece tener un éxito asegurado desde el comienzo.
- Se desarrollo un servicio cliente-servidor que toma las señales sensadas por el Sun Spot y la información del posicionamiento de un dispositivo GPS adjunto al Sun Spot para ser transmitidos a un servidor a través de internet donde se relacionan con un GIS, se muestran los datos sensados y la ubicación del dispositivo GPS es indicada en un mapa. Además se desarrollo una versión alternativa constituida por las aplicaciones ASASBEE Y CSASBEE, que permiten acceder a la información de los sensores del Sun Spot y a la información de posicionamiento del dispositivo GPS desde una computadora donde se muestra esta información de forma dinámica.
- El sistema de monitoreo desarrollado, se destaca por combinar tecnologías de la información, avances en electrónica y en los sistemas de navegación con un campo relativamente nuevo como el de las redes de sensores inalámbricas que se está convirtiendo en un campo revolucionario y que está transformando la forma en que concebimos el mundo. Además el servicio que se obtuvo sobresale en el ámbito regional y mundial por tratar con dispositivos muy recientes y que se encuentran aún en fase de desarrollo pero que han servido para experimentar en un campo tan fascinante como lo es el de las telecomunicaciones donde hay mucho por aprender y explorar.

- Se valido el desempeño del sistema SASBEE en cuanto a confiabilidad de la comunicación mediante un examen donde se prubo la capacidad de transmisión del radio del Sun Spot, variando la distancia existente entre un Spot de rango libre y otro conectado al host mientras se ejecuta la aplicación SASBEE.
- Se elaboro un manual de usuario el cual permite al usuario ejecutar las aplicaciones SASBEE y SASECHO. El manual incluye documentación relacionada con el trabajo realizado que permite una mejor comprensión del funcionamiento y de los resultados que arroja cada aplicación.
- Para el grupo de investigación RadioGis, este proyecto es un importante legado que puede servir de punto de partida a los actuales y nuevos investigadores que forjan a RadioGis como un grupo en vía de convertirse en experto en el desarrollo de aplicaciones basadas en localización y GIS. También puede ser de utilidad, para quienes realicen estudios en otros campos como el monitoreo de estructuras, aplicaciones biomédicas, aplicaciones en la agricultura etc.
- El sitio web <https://okkomputer.dev.java.net/> es el lugar donde reposa información sobre la experiencia del desarrollo de este proyecto además del manual de usuario de los sistemas SASBEE Y SASECHO. Esto se hace teniendo en cuenta el paradigma de inteligencia colectiva y con el fin de exponer el desarrollo alcanzado para subvenir a las personas interesadas y que estén relacionadas con la materia con la posibilidad de entrar en contacto con el propio autor del proyecto y de esa manera crecer colectivamente.

## RECOMENDACIONES

- Emplear tecnología Java en las aplicaciones en el servidor para un mejor desempeño.
- Relacionar los datos sensados con otro GIS como SensorMap.
- El dispositivo GPS empleado en este trabajo, provee además de las coordenadas espaciales información sobre satélites usados, tiempo universal, velocidad terrestre entre otros, que pueden ser utilizados para mejorar la precisión del dispositivo GPS con algoritmos

## BIBLIOGRAFIA

David Reilly, M. R. (2002). *Java™ Network Programming and Distributed Computing*. Boston, MA: Addison Wesley.

Davis, S. (2007). *GIS for Web Developers*. Dallas, Texas: The Pragmatic Programmers LLC.

Flòrez, C. A., Àlvarez, J. C. (2007). *MEDICIÒN DE ÀNGULOS CON TECNOLOGÌA ZIG-BEE ORIENTADO A UN SERVICIO DE REHABILITACIÒN BIOMÈDICA DELCODO*. Bucaramanga.

Instituto Colombiano para el Desarrollo de la Ciencia y la Tecnología - Colciencias. (2005). *Plan estratégico Programa Nacional de Electrónica, Telecomunicaciones e Informática. 2005-2015*. Bogotá: Colciencias.

KAZEM SOHRAB, D. M. (2007). *WIRELESS SENSOR NETWORKS Technology, Protocols, and Applications*. New York, United States of America: John Wiley & Sons, Inc.

Küpper, A. (2005). *Location-based services : fundamentals and operation*. New Jersey, USA: John Wiley & Sons Ltd, The Atrium, Sou.

Pick, J. B. (2005). *Geographic information systems in business*. Hershey PA: Idea Group Inc.

Piroumian, V. (2002). *Wireless J2ME™ Platform Programming*. San Antonio Road, Palo Alto, California: Sun Microsystems, Inc.

Schiller, J. (2004). *Location Based Services*. San Francisco, CA: Elsevier.

Soiferman, M., & Tang, A. (2007). *Wireless Utility Meter Reading*. Winnipeg.

Webb, W. (2007). *Wireless Communications: The Future*. West Sussex England: John Wiley & Sons Ltd.

Xu, N., Rangwala, S., Chintalapudi, K. K., Ganesan, D., Broad, A., Govindan, R., y otros. (2004). *A Wireless Sensor Network For Structural Monitoring*. Los Angeles.

- <https://www.sunspotworld.com/docs/Blue/spot-developers-guide.pdf>
- <https://www.sunspotworld.com/docs/Blue/SunSPOT-OwnersManual.pdf>
- <https://www.sunspotworld.com/docs/Blue/SunSPOT-TheoryOfOperation.pdf>
- [http://www.sparkfun.com/datasheets/GPS/EM-406A\\_User\\_Manual.PDF](http://www.sparkfun.com/datasheets/GPS/EM-406A_User_Manual.PDF)
- <http://www.sparkfun.com/datasheets/GPS/NMEA%20Reference%20Manual1.pdf>