

SISTEMA DE ESCANEEO GEO-REFERENCIADO DEL ESPECTRO RADIOELÉCTRICO – GEOSPECTSCANNER

GEO-REFERENCED SCANNING SYSTEM OF RADIO SPECTRUM-GEOSPECTSCANNER



AUTOR

CESAR CAMILO RODRIGUEZ SANCHEZ
Msc(c) Ing. Electrónico
*Universidad Industrial de Santander
Investigador RadioGis
Escuela E3T
cesar.rodriguez@radiogis.uis.edu.co
COLOMBIA

AUTOR

CELSO ANDRÉS FORERO
Msc(c) Ing. Electrónico
*Universidad Industrial de Santander
Investigador RadioGis
Escuela E3T
celso.forero@radiogis.uis.edu.co
COLOMBIA

AUTOR

HOMERO ORTEGA BOADA
Ph.D. of Engineering Sciences
*Universidad Industrial de Santander
Investigador RadioGis
Escuela E3T
homero.ortega@radiogis.uis.edu.co
COLOMBIA

INSTITUCIÓN

*UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
UIS
Universidad Pública
Ciudad Universitaria
Carrera 27 Calle 9
Bucaramanga, Santander
COLOMBIA

INFORMACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN O DEL PROYECTO: Proyecto de investigación y desarrollo interdisciplinario con código 1102-454-21991 ejecutado por el Grupo de investigación RadioGis de la Escuela de Ingenierías de Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones de la UIS. Gracias a la financiación recibida de parte de la VIE (Vicerrectoría de Investigación y Extensión de la Universidad Industrial de Santander, código 8538, 8543), el DIEF (División de Investigación y extensión de la Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas de la Universidad Industrial de Santander, código 5542) y el Estado Colombiano (COLCIENCIAS y Sena).

RECEPCIÓN: Mayo 4 de 2011

ACEPTACIÓN: Julio 27 de 2011

TEMÁTICA: Telecomunicaciones

TIPO DE ARTÍCULO: Artículo de Investigación Científica y Tecnológica

RESUMEN ANALITICO

El sistema de escaneo geo-referenciado del espectro radioeléctrico es una herramienta automatizada y computarizada para medir el espectro y las coordenadas geográficas asociadas en sectores urbanos alrededor de múltiples sitios, la cual se encuentra enlazada, a través de internet, con una Plataforma Tecnológica de Servicios que se encarga de almacenar en tiempo real la información registrada por los instrumentos de medición en campo y permite su posterior consulta vía web sobre mapas geográficos. En este artículo se hace una descripción del sistema desarrollado y las funcionalidades principales

PALABRAS CLAVES: Espectro radioeléctrico, Drive-test, Mapas de espectro, Plataforma de servicios

ANALYTICAL SUMMARY

The scanning system of geo-referenced spectrum is an automated, computerized tool to measure the spectrum and the geographic coordinates associated in urban areas across multiple sites, which is linked through the Internet, with Services Technology Platform which is responsible for storing real time information recorded by the field measurement instruments and allows further consultation via the web on maps. This article gives a description of the developed system and main features

KEY WORDS: Spectrum, Drive-test, Map of radio spectrum, Services Platform

INTRODUCCIÓN

La gestión del espectro radioeléctrico es un tema estratégico y trascendental para todas las naciones y las personas, debido a que éste es un recurso limitado y de gran impacto para el desarrollo de las tecnologías de la información y las comunicaciones de todo un país. A pesar de los esfuerzos de la comunidad internacional por regular el uso del espectro y formular recomendaciones para normalizar su comercialización, aún quedan interrogantes por resolver para implementar estas normativas y se necesita un continuo esfuerzo por parte del gobierno para hacer gestión y vigilancia de este recurso en cada nación adoptando dichas recomendaciones de la Unión Internacional de Telecomunicaciones.

Monitorizar el espectro es la primera tarea para garantizar una correcta gestión del mismo, desarrollar sistemas que apoyen ágilmente a esta labor requiere el uso de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones – TIC, de los servicios basados en localización (LBS) y de los modelos de redes de próxima generación (NGN).

La vigilancia y control del espectro radioeléctrico

mediante el monitoreo del mismo es uno de los procesos claves para gestionar el espectro; la forma como se lleva a cabo este monitoreo incide significativamente en los procesos de asignación de frecuencia, solución de problemas de interferencia, control y sanción de las transmisiones ilegales o "piratas", supervisión de emisiones de RF, evaluación de ocupación de canales inalámbricos, entre otros.

Este artículo pretende mostrar el potencial de los servicios tecnológicos para el monitoreo eficiente del espectro radioeléctrico mediante la implementación de LBS que permitirán apoyar la gestión y planeación del espectro de forma ágil y centralizada.

En la sección 2 de este artículo se presenta una reseña sobre la importancia de realizar mediciones del espectro electromagnético; en la sección 3 se realiza una descripción de las principales recomendaciones internacionales que establece la UIT (Unión Internacional de Telecomunicaciones) para estandarizar los mecanismos de monitoreo del espectro radioeléctrico en cada nación; en la sección 4 se describen los principales estudios investigativos publicados por IEEE en el mundo; en la sección 5 se hace una descripción detallada sobre

la herramienta desarrollada como una alternativa eficaz y centralizada para monitorear el espectro, indicando los requerimientos funcionales y los casos de uso que se tuvieron en cuenta para su diseño. Por último en la sección 6 se plantea la metodología de medición del espectro con base al sistema de monitoreo diseñado.

1. NECESIDAD PARA REALIZAR MONITOREO DEL ESPECTRO RADIOELÉCTRICO

La gestión del espectro radioeléctrico es una tarea compleja que involucra muchos procesos administrativos, de planeación, vigilancia y control, con decisiones muy comprometedoras y de alto impacto sobre este limitado recurso.

El proceso de vigilancia y control del espectro radioeléctrico requiere que éste sea monitorizado constantemente usando instrumentos de medición sofisticados y ubicándolos en diferentes puntos estratégicos, actualmente estos equipos tienen un alto precio por su tecnología.

Para atacar esta necesidad se propone aprovechar el enorme potencial de los Servicios Basados en Localización (LBS) (ver referencia [1]) para apoyar el monitoreo del espectro y por ende la gestión de éste, teniendo en cuenta las necesidades reales del país.

La idea es aprovechar los mismos avances en las comunicaciones inalámbricas para crear soluciones propias de bajo costo para apoyar las labores de monitoreo del espectro. Específicamente se busca aprovechar las experiencias adquiridas por el grupo de investigación RadioGis en el desarrollo de Servicios Basados en Localización (LBS) para crear servicios de monitoreo del espectro.

2. RECOMENDACIONES Y REGLAMENTACIONES DE LA UIT SOBRE MONITOREO DEL ESPECTRO

La UIT es el máximo organismo mundial en el sector de las telecomunicaciones, éste reglamenta, estandariza y recomienda estrategias que ayudan en todos los procesos relacionados con las comunicaciones. Respecto a la gestión, control y vigilancia del espectro radioeléctrico, las recomendaciones más importantes de la UIT son:

2.1 RECOMENDACIÓN UIT-T SM.1537

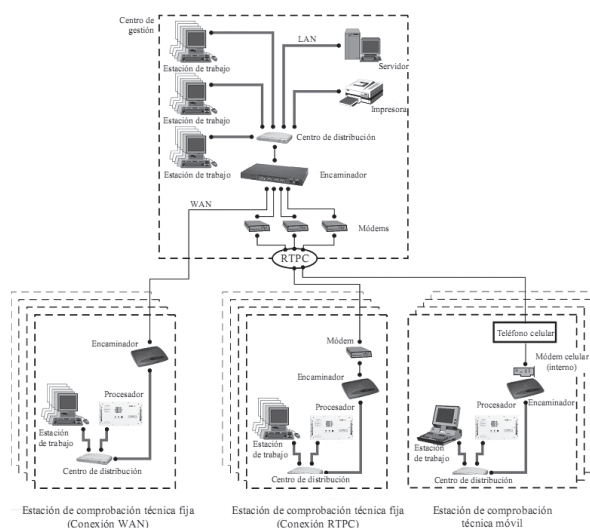
Está relacionada con la automatización e integración de los sistemas de comprobación técnica del espectro y con la gestión automático del espectro.

Recomienda que: "Las administraciones que tengan la intención de adquirir nuevos sistemas de comprobación técnica y de gestión del espectro consideren la utilización

de un sistema integrado y automático que emplee una base de datos relacional común con las siguientes funcionalidades: acceso remoto a los recursos del sistema, detección automática de infracción, asignación de frecuencia y concesión de licencias, herramientas para apoyar la ingeniería del espectro medición automática de los parámetros de la señal, medición automática de la ocupación junto con mediciones opcionales de radiogoniometría, calendario de mediciones para realización inmediata o futura, moderna interfaz de usuario gráfica" [2].

Además, plantea el modelo de red que debe implementar un sistema típico integrado de gestión y de comprobación técnica del espectro radioeléctrico, ver figura 1.

FIGURA 1. Sistema típico integrado de gestión y de comprobación técnica del espectro radioeléctrico (recomendación UIT-R SM.1537). Fuente [2]



2.2 RECOMENDACIÓN UIT-R SM.1048

Define las directrices para el diseño de un sistema básico automatizado de gestión del espectro y recomienda que se elaboren y mantengan programas lógicos destinados a un sistema básico de gestión del espectro (BASMS), teniendo en cuenta que este sistema se expandirá y perfeccionará a un sistema avanzado de gestión del espectro (ASMS), es decir debe ser flexible y expandible [3].

2.3 RECOMENDACIÓN UIT-R SM. 182-5

Establece los parámetros necesarios para realizar un monitoreo automático de la ocupación de radiofrecuencia, recomienda además que es necesario realizar observaciones manuales de comprobación y

establece que el rango de frecuencias debe ser de 2 MHz a 3 GHz, la resolución del filtro RBW está comprendido entre 10 Hz a 100 KHz y la sensibilidad del instrumento de medición se configura dependiendo de la antena [4].

3. ESTUDIOS PUBLICADOS EN IEEE RELACIONADOS CON LA GESTIÓN, VIGILANCIA Y CONTROL DEL ESPECTRO RADIOELÉCTRICO

Las investigaciones y desarrollos más importantes publicadas en IEEE relacionadas con el monitoreo y control del espectro radioeléctrico en los últimos años se describen a continuación.

3.1 AUTOMATIC RADIO FREQUENCY MONITORING MEASUREMENTS

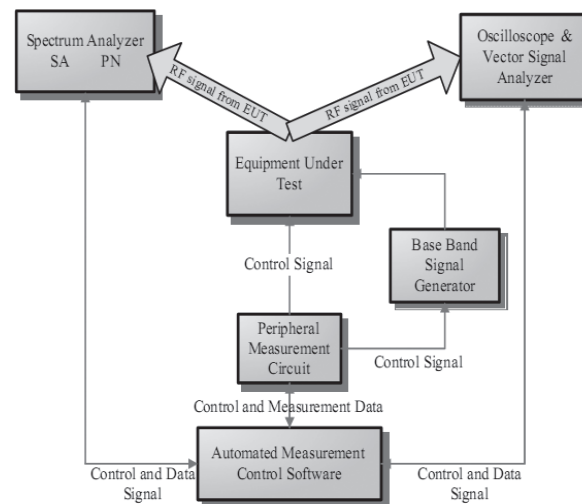
Esta investigación describe las mediciones automatizadas que fueron tomadas para monitorear radares, sistemas de radionavegación, sistemas de comunicación HF y sistemas de difusión comercial en la Administración Federal de Aviación (FAA) de Estados Unidos. El Instituto de Ciencias para las Telecomunicaciones ITS diseñó el sistema automatizado de medición utilizado para realizar estas pruebas para la FAA, denominado "Radio Frequency Interference Monitoring System (RFIMS)", el rango de frecuencias comprende desde 100 kHz a 18 GHz, el sistema integra un computador de control, analizadores de espectros y osciloscopios digitales [5].

En total 12 RFIMS fueron distribuidos en los diferentes puntos donde se encontraba la FAA en el país y algunas ubicaciones estratégicas, al finalizar el estudio se obtuvieron los resultados de las mediciones y se comprobó el funcionamiento del sistema, se recopiló información sobre ocupación del espectro, mediciones de radiación no ionizante, mediciones de espectrograma y de la antena radar ubicada en la FAA.

3.2 AUTOMATED MEASUREMENT SYSTEM FOR WIRELESS TRANSMITTERS

En esta investigación se muestra un sistema de medición automatizado para transmisiones inalámbricas en diferentes frecuencias y esquemas de modulación. El sistema usa puertos VISA (Virtual Instrument Software Architecture) y COM para la comunicación con los instrumentos de medición, en el sistema pueden operar un analizador de espectros, analizador vectorial y osciloscopio [6]. La arquitectura general del sistema se muestra en la figura 2.

FIGURA 2. Arquitectura del sistema. Fuente [6]



3.3 A MONITORING TOOL FOR HF FREQUENCY MANAGEMENT AND LICENSE ENFORCEMENT

En esta investigación se describe un sistema de receptor de radio para monitorear el espectro en HF lo que permite administrar las frecuencias y asignar licencias. Las principales características del sistema son: capacidad para encontrar acimut y elevación, extracción de parámetros de modulación y seguimiento de señales, además es escalable y permite agregar o sustraer módulos al sistema para monitorear más o menos espectro [7].

4. HERRAMIENTA AUTOMATIZADA PARA MEDICIÓN DEL ESPECTRO RADIOELÉCTRICO-GEOSPECTSCANNER

El objetivo del sistema es realizar mediciones georeferenciadas del espectro radioeléctrico a lo largo de diferentes sitios o estaciones previamente seleccionados. Los resultados de las campañas de mediciones se tabulan, grafican y visualizan en mapas geográficos para su posterior análisis.

Es una herramienta intuitiva para su utilización, útil en campañas de mediciones donde la cantidad de sitios a medir es considerablemente alta y los tiempos de medición también. Tiene la capacidad de exportar los resultados de las mediciones para ser reutilizados. Además, envía la información registrada vía web a la Plataforma Tecnológica de Servicios RadioGIS y almacenada en una base de datos.

4.1 EQUIPOS DE MEDICIÓN UTILIZADOS

Utiliza dos instrumentos fundamentales de medición, un analizador de espectros radioeléctrico con referencia R&S ZVL6 y un receptor GPS genérico, los cuales son montados en un vehículo para desplazarlos a los sitios de interés (estaciones) y tomar las lecturas (ver figura 3).

FIGURA 3. Instrumentos de medición instalados sobre el vehículo



4.2 CONFIGURACIÓN DEL SISTEMA

Los equipos de medición (ZVL6 y GPS) se conectan a un computador portátil, como se muestra en la figura 4. La interfaz de conexión del analizador de espectros con el computador es por medio del puerto Ethernet, para lo cual es necesario configurar una red local por medio de la asignación de direcciones IP. Para el caso del GPS se utiliza un puerto USB, con los driver necesarios para reconocer el dispositivo.

FIGURA 4. Configuración del sistema de medición



4.3 DISEÑO, DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN DEL SOFTWARE GEOSPECTSCANNER

4.3.1 Actores del sistema

Los Actores del Sistema de monitoreo del espectro son:

- **Operario:** Es la persona que realiza las campañas de mediciones con los instrumentos.
- **Plataforma:** Gestiona y Administra la información producto de las campañas de mediciones.

4.3.2 Requerimientos Funcionales

Los requerimientos funcionales del Sistema de monitoreo del espectro son el resultado de una ingeniería de requerimientos donde se compila y resume el funcionamiento general con base a las necesidades de los Operarios y actores del sistema.

Los requerimientos del sistema son:

- **Iniciar sesión:** Deben existir múltiples Sistemas de Monitoreo del Espectro o unidades de campo, por lo tanto se debe indicar información de identificación única de la unidad de campo utilizada (ingeniero a cargo, instrumentos), las unidades de campo deben solicitar el servicio al servidor.
- **Validar Operario:** El Operario utiliza el caso de uso Validar operario para verificar sus datos de identificación, con el fin de tener acceso a todas las funcionalidades del sistema de monitoreo.
- **Crear plan de medición:** Es necesario que el Operario defina las características de la campaña de medición que va a realizar, tales como:
 - Tipo de Medición
 - Cantidad de sitios a medir
 - Tiempo de medida por cada sitio.
 - Cantidad de lecturas por sitio (medición en tiempo)
- **Ejecutar plan de medición:** Es necesario que el Operario le dé la orden al sistema para que ejecute el plan de mediciones con el fin de iniciar la campaña de medidas.
- **Visualizar los datos de los instrumentos de mediciones:** Muestra la información en tiempo real de las variables físicas que esta sensando

cada dispositivo: espectro electromagnético, coordenadas geográficas, dependiendo del tipo de medición definido en el Plan.

- Visualizar tablas y gráficos con los resultados de la campaña de medición: Muestra la tabla con los datos medidos en cada sitio durante toda la campaña, así como información pre-procesada donde se indican valores máximos, mínimos y promedios. Además, presenta gráficos de espectro y radiación en función de los sitios medidos.
- Activar modo de funcionamiento: El Operario utiliza el caso de uso Activar modo de funcionamiento para configurar el sistema en uno de los dos modos de funcionamiento del mismo: Stand alone, On line.
- Modo activo: Stand Alone. El Operario utiliza el caso de uso MODO ACTIVO: STAND ALONE para que el sistema trabaje independiente de la Plataforma Remota. Todo el procesamiento es local.
- Modo activo: On Line. El Operario utiliza el caso de uso MODO ACTIVO: ON-LINE cuando el sistema requiere estar comunicándose con la plataforma para enviar información de las mediciones. Es necesario disponer de conexión a internet
- Generar reporte: El Operario utiliza el caso de uso GENERAR REPORTE con el fin de crear un informe detallado con los resultados de las campañas de mediciones. En este debe estar contenido el plan de mediciones, la configuración de los equipos, los datos registrados de cada sitio y un pre-procesamiento de estos datos.
- Guardar localmente las campañas medidas: Almacena los resultados de las campañas de mediciones en archivos con el estándar XML, la ruta de almacenamiento estáa predeterminada por el sistema y corresponde a una ubicación de memoria local.
- Adquirir datos de instrumentos de medición: Captura los datos de los dispositivos de medición conectados al sistema: Analizador de Espectros y GPS. El sistema soporta diferentes módulos de mediciones independientes entre sí que trabajan en conjunto, teniendo en cuenta los instrumentos conectados.
- Medir espectro electromagnético: El Operario utiliza el caso de uso MEDIR ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO para que sistema capture los datos del equipo Analizador de Espectros ZVL-6.
- Registrar las coordenadas geográficas de cada sitio: El Operario utiliza el caso de uso REGISTRAR LAS COORDENADAS GEOGRÁFICAS DE CADA SITIO para que sistema capture las coordenadas geográficas de cada sitio en el que se desea medir el espectro, por medio de un GPS.
- Enviar campaña a la plataforma: El Operario utiliza el caso de uso ENVIAR CAMPAÑA A LA PLATAFORMA con el fin de transferir los datos de las campañas de mediciones al actor externo Plataforma. Es necesario disponer de conexión a internet para tal propósito. El envío de datos puede ser de dos formas: dato por dato en la medida que se va midiendo o envío de toda la campaña de medición en un único archivo.

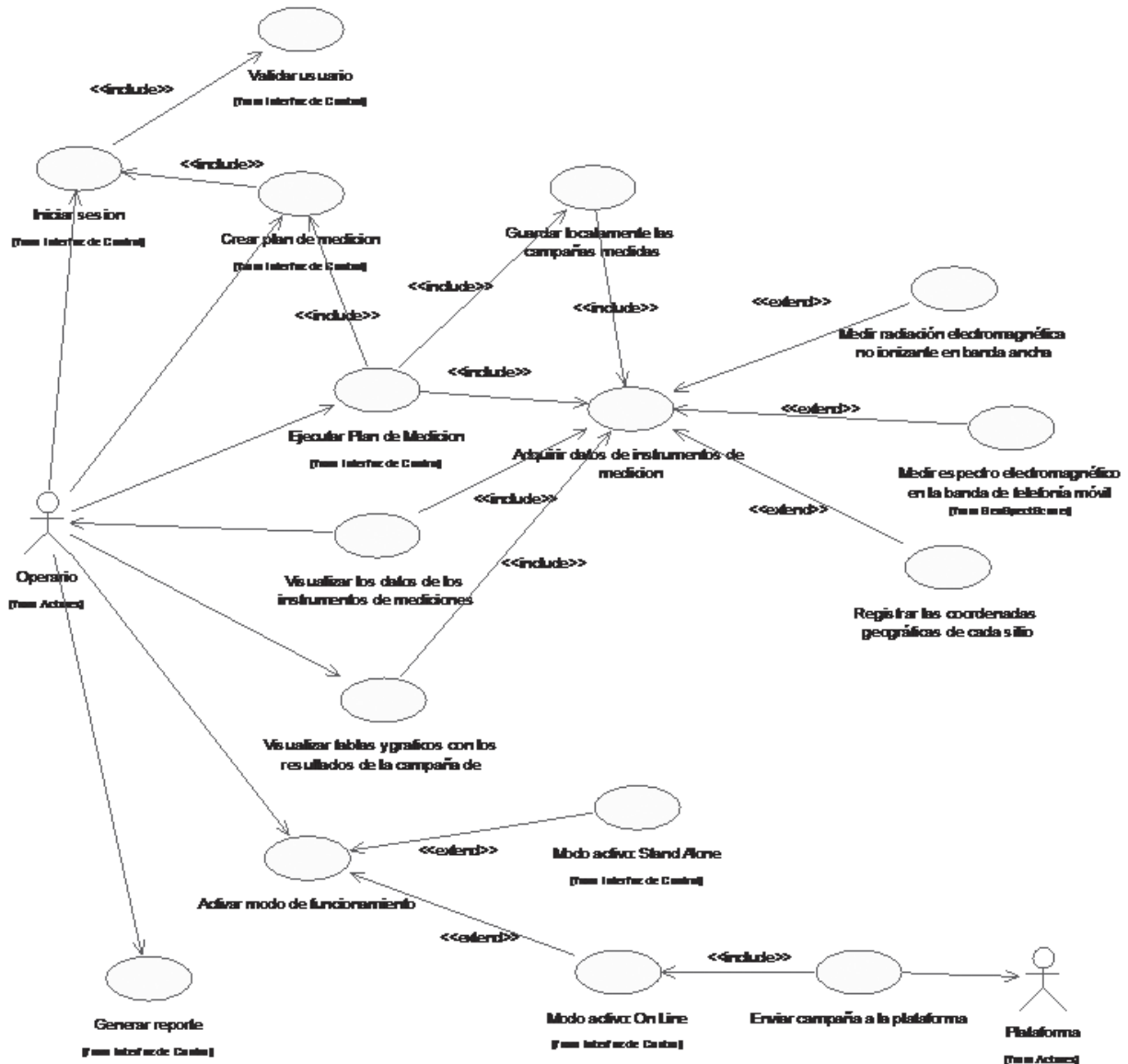
4.3.3 Casos de Uso de GeoSpectScanner

El diagrama de casos de uso del sistema se muestra en la figura 5, allí se observa la interacción entre los actores del sistema y los requerimientos funcionales del mismo.

Se observa que existe relación entre casos de uso, lo que implica que para la realización de un caso es necesario que se halla ejecutado otros casos de uso, como por ejemplo el caso: Ejecutar plan de medición es necesario que se halla realizado el caso: Guardar localmente las campañas de medidas.

Además, existen varios casos de uso que tiene opciones de ejecución, por ejemplo el caso de uso Adquirir datos de instrumentos de medición, tiene varias opciones: 1. Medir radiación no ionizante en banda ancha. 2. Medir espectro de telefonía celular. 3. Registrar las coordenadas geográficas del sitio.

FIGURA 5. Casos de usos de la herramienta GeoSpectScanner



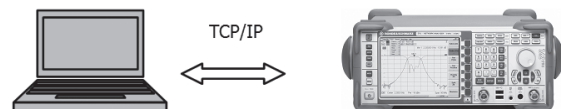
4.3.4 Implementación en LabVIEW

Con base en la ingeniería de requerimientos y en el diseño descrito en las secciones anteriores se procede a implementar en LabVIEW el sistema. Se hace uso de los puertos VISA para hacer la adquisición de los datos de los instrumentos externos de medición.

Para el caso del analizador de espectros R&S ZVL-6 se utiliza el puerto Ethernet, considerando que este instrumento utiliza Windows Embebido, la comunicación

es directa utilizando una red LAN PC-PC, como se muestra en la figura 6.

FIGURA 6. Conexión PC-Analizador de espectros



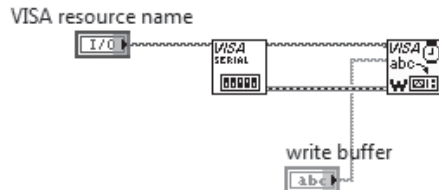
Para el caso de la conexión entre el GPS y el computador se utiliza los puertos USB

LabVIEW tiene bloques de configuración de todos los puertos que se manejan en un computador, por lo tanto la adquisición de datos es transparente para el programador. En las figuras 7 y 8 se muestran la configuración básica desde LabView para leer y escribir un puerto VISA.

FIGURA 7. Bloques para leer puerto VISA en LabVIEW



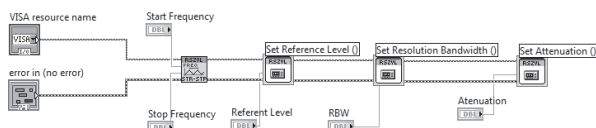
FIGURA 8. Bloques para escribir puerto VISA en LabVIEW



El analizador de espectros ZVL-6 tiene un conjunto de comandos para controlar remotamente este equipo utilizando el puerto Ethernet (ver referencia [8]), comandos que se ejecutan desde el PC utilizando la configuración de escritura mostrada en la figura 9.

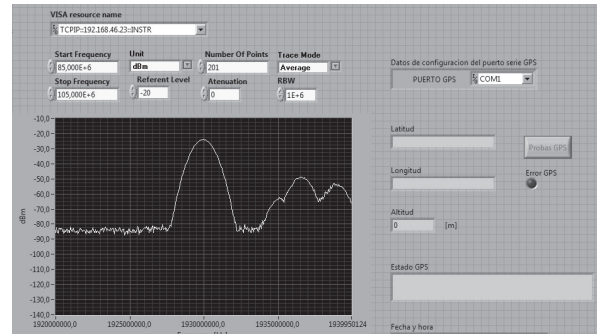
Por medio de estos comandos del analizador se puede configurar los parámetros de medición del equipo como: frecuencia central, span, frecuencia inicial, frecuencia final, resolución (RBW), filtro de video (VBW), nivel de referencia, unidades (dBm, dBmV, dBuV, dBmW, W, V, A), atenuación, modo del trazo (promedio, máximo, mínimo, actual). En la figura 9 se muestra parte del subvi (programa en labview) que hace la configuración del analizador de espectros.

FIGURA 9. Programa en Labview para configurar parámetros de medición del analizador de espectro.



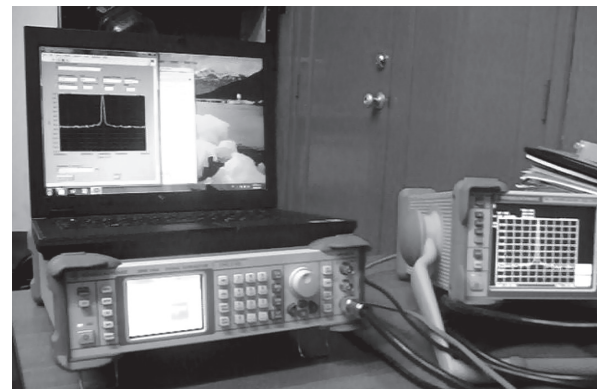
La interface grafica inicial de la herramienta GeoSpectScanner contiene parámetros de configuración de la medición del espectro (frecuencia inicial, frecuencia final, RBW, Unidades, Modo del trazo, atenuación, nivel de referencia). Además, se muestra los controles para configurar el GPS y los indicadores de latitud y longitud de cada sitio medido. Esta interfaz tiene en cuenta las recomendaciones de la UIT y del Ministerio de TIC de Colombia (ver referencia [9] y [10])

FIGURA 10. Ventana principal de GeoSpectScanner



En la figura 12 se muestran las pruebas experimentales que se realizaron para controlar remotamente el analizador de espectros ZVL-6 mediante un computador, los cuales fueron interconectados por intermedio del puerto ethernet.

FIGURA 12. GeoSpectScanner controlando analizador de espectros ZVL-6.



5. METODOLOGÍA DE MEDICIÓN DE ESPECTRO RADIOELÉCTRICO

5.1 IDENTIFICAR ZONA DE MEDICIÓN

Es importante identificar los principales elementos que aportan a la radiación electromagnética, como antenas de telefonía celular, repetidoras, sistemas Wifi, amplificadores de RF, torres de comunicaciones y cualquier otro dispositivo que este visible.

5.2 SELECCIONAR LOS EQUIPOS Y SONDAS INDICADAS

Teniendo en cuenta el tipo de servicios de radiofrecuencia presentes en el sector seleccionado para medir y el rango de frecuencia a analizar, escoger los equipos de medición y sondas adecuadas. En necesario realizar pruebas de laboratorio al analizador de espectro con señales patrones para comprobar el correcto funcionamiento del equipo.

5.3 DEFINIR PLAN DE MEDICIÓN

Corresponde a una planeación de la campaña de medición que se va a realizar, en ésta se define:

- Cantidad de puntos o estaciones a medir.
- Frecuencia central, de acuerdo a la banda del espectro que se desea medir
- Span, considerando el ancho de banda de los servicios inalámbricos que se están analizando.
- RBW, resolución en función del grado de detalle que se desea medir.
- Tiempo de promediado del espectro.
- Antenas y cables a utilizar

5.4 EJECUTAR LA CAMPAÑA DE MEDICIÓN

Consiste en la ejecución del plan de medición definido, es indispensable instalar los equipos en un vehículo para facilitar el desplazamiento y ofrecer comodidad.

El Drive Test del espectro que se va a realizar al ejecutar la campaña debe tener en cuenta que la separación entre punto y punto a medir está definido por el método de Lee [11], que tiene en cuenta la frecuencia que se está midiendo (esta distancia se define en términos de longitudes de onda). Luego de ubicarse en cada sitio se da la orden de captura de datos de los instrumentos, tanto el GPS como el medidor de campos, durante el tiempo preestablecido en el plan de medición. Además, es necesario verificar que los datos capturados sea lógicos, concordantes y cumple con los límites máximo de campos permitidos por la OMS (ver referencia [12]), si esto no ocurre, se debe repetir la medición en el punto actual.

5.5 VERIFICAR LOS RESULTADOS

Luego de finalizar la captura de datos en la fase anterior, se realiza un análisis global de los resultados obtenidos para verificar la confiabilidad de los datos de la campaña de medición. Para realizar este proceso se debe verificar que la información almacenada en el servidor esté correctamente relacionada entre los atributos que interactúan, tales como las coordenadas geográficas, el sistema de referencia geográfico utilizado para visualizar los puntos correctamente en el mapa y la agrupación correcta en tablas identificadas con el nombre de campaña, la fecha, trayectoria y zona de medición, además verificar que los datos de la medición sean datos coherentes y lógicos, por ejemplo inspeccionar si hubo picos de amplitud indeseados, si ocurrió intermodulación o si hubo mala configuración del analizador. En dado caso de ocurrir algunas de estas anomalías, se debe encontrar las causas y aplicar los correctivos para aprobar el almacenamiento del registro.

6. MEDICIONES DEL ESPECTRO

A continuación se presentan los resultados de algunas campañas de mediciones, utilizando la herramienta de monitorización del espectro "GeoSpectScanner" en dos zonas urbanas de Bucaramanga, la primera es en el barrio El Prado y la segunda en el barrio San Francisco.

6.1. CAMPAÑA DE MEDICIONES EN EL BARRIO SAN FRANCISCO

Se instaló la antena con referencia HG1911U-PRO omnidireccional en la parte alta de la terraza de un edificio en el barrio San Francisco a una altura de 30 metros sobre el terreno de la calle, transmitiendo una onda electromagnética senoidal a una frecuencia fija de 1.9 GHz y una amplitud de 25 dBm con un generador de señales SMB100A de la marca Rohde & Schwarz (R&S). Para la medición de potencia recibida en cada uno de los puntos se utilizó un analizador de espectros (ROHDE&SCHWARZ ZVL Network Analyser) conectado a la antena receptora montada en la unidad móvil haciendo un recorrido sobre las calles cubriendo una distancia aproximada de 250 metros de radio alrededor del transmisor. Las antenas receptora y transmisora usadas en esta campaña son del mismo modelo. El analizador de espectro se configuró de la siguiente manera:

Resolución ancho de banda: 300 kHz
 Frecuencia Central: 1900 MHz
 Span: 50 MHz
 Barrido de pantalla: 2.5 ms

La figura 13, muestra los puntos de medidas en la zona 1 (San Francisco) para un total de 60 registros de medida efectiva, esta figura incluye la gráfica del espectro para uno de los puntos que el usuario ha seleccionado, la cual

se muestra en detalle en la figura 15. En la figura 14 se aprecia un detalle de los puntos visualizados sobre el mapa de calles. La antena transmisora se encuentra ubicada en las coordenadas UTM 707435.58 m. Este, 788564.84 m. Norte, de la zona 18N.

Las imágenes pueden ser consultadas a través de la internet ingresando al Geoportal Web del servidor RadioGis.

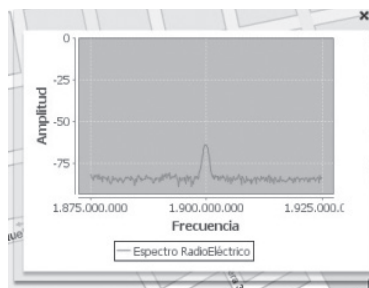
FIGURA 13. Puntos medidos de la ruta.



FIGURA 14. Detalle de la zona de medición.



FIGURA 15. Detalle sobre una gráfica del espectro.



6.2 CAMPAÑA DE MEDICIONES EN EL BARRIO EL PRADO

La Figura 16 muestra una vista superior de la zona de medición en el barrio El Prado de Bucaramanga, se observan los puntos que conformaron las rutas en las que se realizaron las respectivas mediciones y la ubicación de la estación base desde donde se transmitió la señal electromagnética de prueba a una altura de 2 metros sobre el suelo y localizada en las coordenadas UTM 708698.78 m Este, 788067.48 m Norte, zona 18N que corresponde a la carrera 36 con calle 34.

Se definieron cuatro rutas de medición, cada una se encuentra representada con un color diferente en la figura 16 y aquí cada uno de los puntos se encuentra enumerado según el orden en que fue tomado el registro y agrupados según la ruta al que correspondan. El área de interés abarca nueve manzanas de casas y edificios, algunas con arborización.

FIGURA 16. Zona de medición y rutas alrededor de edificios barrio El Prado. Vista superior en Google Earth.



Esta campaña de medición fue realizada para respaldar un proyecto de investigación del grupo RadioGis con el propósito de tener en la base de datos unas mediciones de potencia para verificar el algoritmo de radiopropagación para microceldas escrito en lenguaje de programación Java por el grupo RadioGis basado en un modelo propuesto por el investigador Yvo De Jong.

En las Figuras 17 a la 24, se muestran los respectivos gráficos de las curvas que representan las trayectorias de los puntos medidos, el eje vertical registra la potencia en unidades dBm, mientras que el eje horizontal contiene

números enteros que representa la numeración asignada a cada punto consecutivamente según el orden en que fueron registrados los datos para cada ruta. Estas figuras se presentan junto con la localización de los puntos sobre el mapa suministrado por Google, el cual está disponible para la presentación ante el usuario a través de la interfaz que brinda el servidor de RadioGis.

El analizador de espectro se configuró de la siguiente manera:

Resolución ancho de banda: 100 kHz

Frecuencia Central: 1840 MHz

Span: 20 MHz

Barrido de pantalla: 2.5 ms

El piso de ruido en el instrumento de medición se registró en -80 dBm.

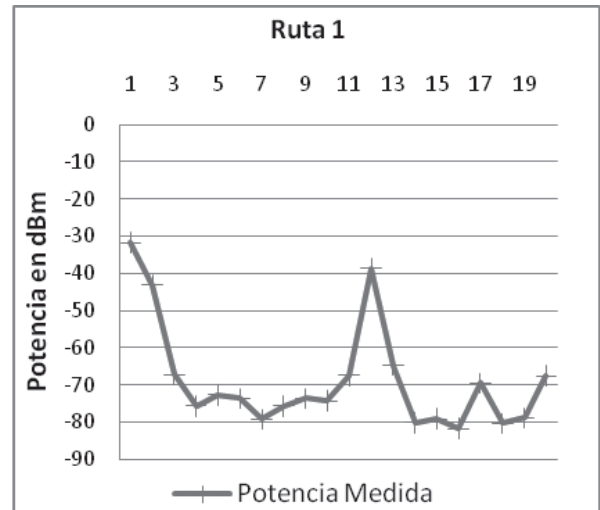
La antena receptora se dispuso en la unidad móvil a una altura de 2 metros con respecto al suelo de tal forma que estuviera aproximadamente a la misma altura de la antena transmisora. Las características de la fuente de transmisión son las mismas que en la primera campaña de medición del barrio San Francisco anteriormente descrita.

Para las rutas 1,2 y 3, representadas con los colores amarillo, rojo y azul respectivamente (figura 16), se tomaron 20 puntos en cada una y se analizaron los datos obtenidos comenzando por la ruta número uno, que se muestra de color amarillo en el mapa satelital. En este primer caso, el efecto dominante para la mayor parte de los puntos es la transmisión por edificaciones dentro de un radio menor a dos manzanas de edificios, la gráfica comparativa correspondiente se muestra en la Figura 18, en donde se observa que los puntos con mayor valor de potencia corresponde a las zonas donde existe línea de vista entre las antenas.

FIGURA 17. Puntos medidos de la ruta 1.



FIGURA 18. Gráfica de potencia medida en cada punto de la ruta Amarilla.



En la figura 20, se muestran las potencias medidas de la ruta 2, los puntos de medición enumerados del 1 al 13 van consecutivamente alejándose de la antena transmisora, mientras que los puntos del 14 al 20 corresponden a la misma ruta pero en sentido contrario acercándose a la fuente tal como se ilustra en el mapa de la figura 16. La distancia máxima de separación entre las antenas es de 180 metros en donde la señal atraviesa 2 manzanas de edificios.

FIGURA 19. Puntos medidos de la ruta 2.

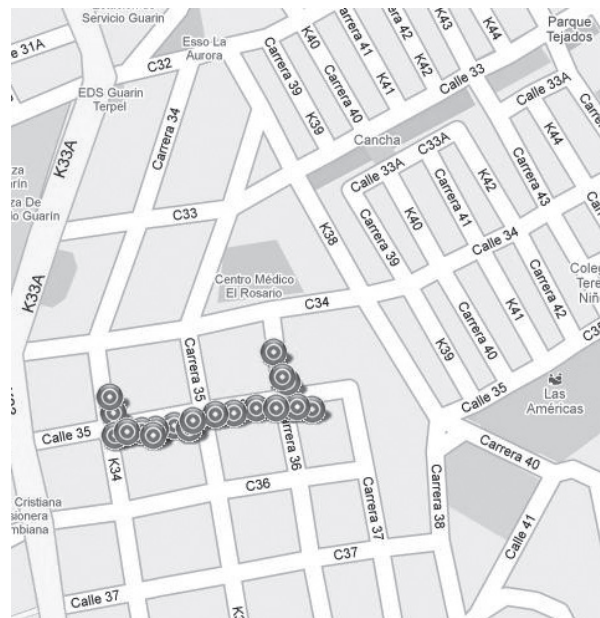
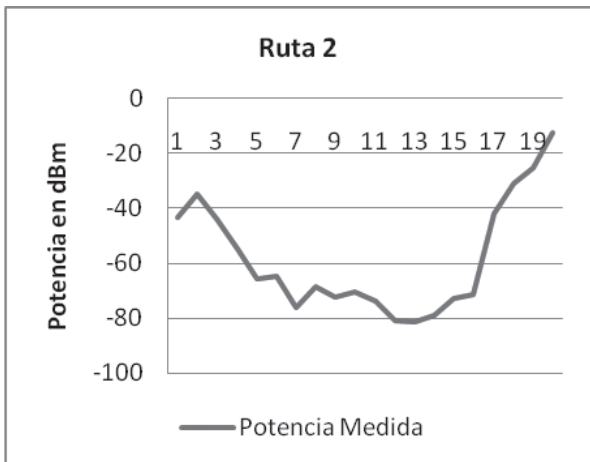


FIGURA 20. Gráfica de potencia medida en cada punto de la ruta Roja.



Para la ruta 3 se escogió un área de cobertura de más de 2 cuadras comenzando desde un punto sin línea de vista a una distancia de 100 metros con respecto a la fuente y finalizando en un punto con una separación de 225 metros correspondientes a 3 manzanas de obstáculo. En la figura 22, el punto número 5 tiene el valor de potencia más alto ya que corresponde a una ubicación con distancia de 3 metros desde la fuente con línea de vista.

FIGURA 21. Puntos medidos de la ruta 3.

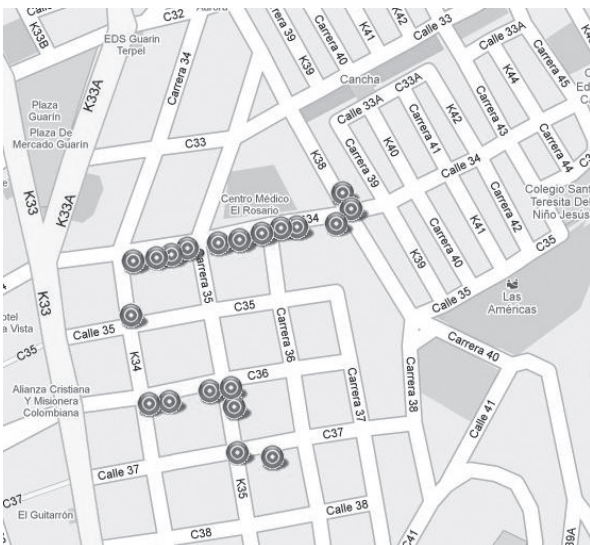
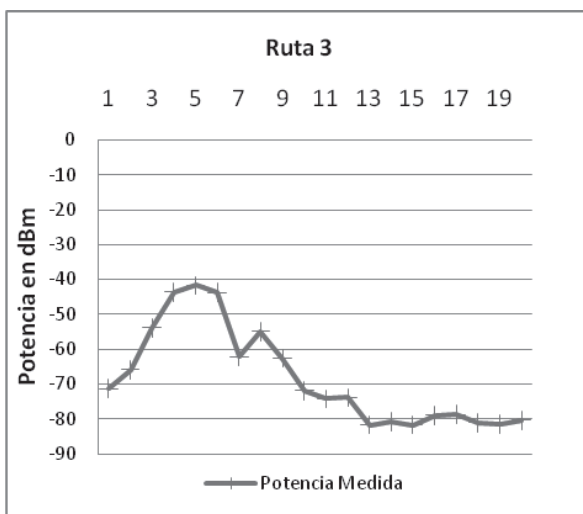


FIGURA 22. Gráfica de potencia medida en cada punto de la ruta Azul.

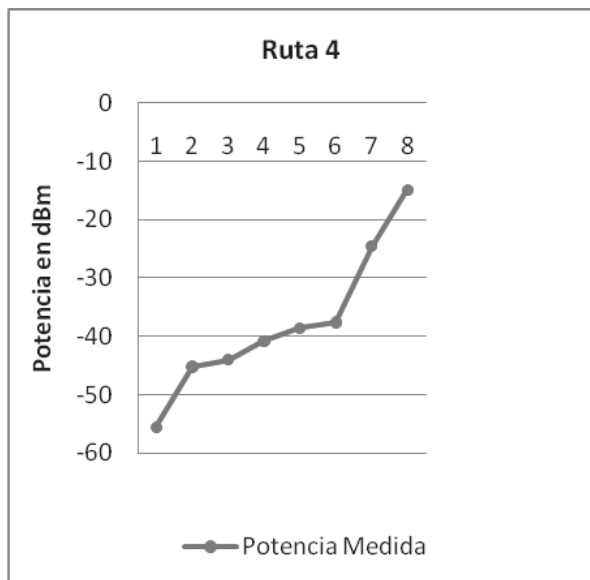


Para la ruta 4, representada con color verde sobre el mapa satelital, se escogió una trayectoria con línea de vista permanente pero que al igual que en las rutas anteriores, existe presencia de obstáculos alrededor que generan difracción, dispersión y reflexión, tales como árboles, vehículos, personas y edificios. En la figura 24 se observa una curva ascendente debido a que inicia con el punto de medición más alejado de la fuente a una distancia de 220 metros y finaliza con el punto número 8 a una distancia de 3 metros entre las antenas transmisora y receptora.

FIGURA 23. Puntos medidos de la ruta 4.



FIGURA 24. Gráfica de potencia medida en cada punto de la ruta color verde.



7. CONCLUSIONES Y OBSERVACIONES

Se realizó el diseño de la herramienta de Monitoreo del Espectro Radioeléctrico utilizando la ingeniería de requerimientos del sistema y un modelado básico en UML por medio de casos de uso.

Se logró establecer comunicación entre los equipos de medición Analizador de Espectros y GPS con un computador portátil utilizando los puertos de comunicación ethernet y USB en LabVIEW

Por medio de la primera versión de GeoSpectScanner es posible configurar parámetros de medición del espectro del Analizador ZVL-6, la captura de los datos medidos y el envío de esta información a la Plataforma Tecnológica de Servicios de RadioGIS.

Se definió una metodología de medición del espectro radioeléctrico con capacidades de georeferenciación en mapas geográficos, siguiendo los estándares internacionales y los protocolos de medidas para el espectro.

Las campañas de medidas realizadas por medio de la herramienta GeoSpectScanner se deben realizar con el vehículo que contiene los instrumentos de medición en reposo, teniendo en consideración los fenómenos físicos que se pudieran generar por las tensiones inducidas por el movimiento relativo de la antena en un campo variante en el tiempo

8. REFERENCIAS

- [1]. J. Schiller y A. Voisard. "Location Based Services". Amsterdam, Editorial Elsevier. 2004. 253 p.
- [2]. "ITU-R SM.1537 Automation and integration of spectrum monitoring systems with automated spectrum management". International Telecommunication Union. 2001. Disponible en: <http://www.itu.int/rec/R-REC-SM.1537/es> [citado enero 2011]
- [3]. "ITU-R SM.1048 Design guidelines for a basic automated spectrum management system (BASMS)". International Telecommunication Union. 1994. Disponible en: <http://www.itu.int/rec/R-REC-SM.1048/es> [citado enero 2011]
- [4]. "ITU-R SM.182-5 Automatic monitoring of occupancy of the radio-frequency spectrum". International Telecommunication Union. 2007. Disponible en: <http://www.itu.int/rec/R-REC-SM.182-5-200702-W/es> [citado enero 2011]
- [5]. P. Raush, J. Kub, and E. Gray. "Automatic Radio Frequency Monitoring Measurements". Institute for Telecommunication Sciences. Electromagnetic Compatibility, 1999 IEEE International Symposium on. Seattle. ISBN: 0-7803-5057-X. US. 2002.
- [6]. W. Pinglian, Y. Sumin. "Automated Measurement System for Wireless Transmitters". Academy of electro-optics, Chinese Academy of Science. Electronic Measurement and Instruments, 2007. ICEMI '07. ISBN: 978-1-4244-1136-8 China. 2007
- [7]. J. Giesbrecht. "A Monitoring Tool for HF Frequency Management and License Enforcement". University of Adelaide. Ionospheric Radio Systems and Techniques. ISSN: 0537-9989. Australia. 2006
- [8]. R&S ZVL Vector Network analyzer. Operating manual. Rohde&Schwarz. Munich. Alemania. 2008. Disponible en: http://www2.rohde-schwarz.com/en/products/test_and_measurement/network_analysis/ZVL-%7C-Manuals-%7C-22-%7C-2348-%7C-2348.html [citado enero 2011]
- [9]. Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT), Recomendación UIT-T K.52. "Orientación sobre el cumplimiento de los límites de exposición de las personas a los campos electromagnéticos", Febrero de 2000. Disponible en: <http://www.itu.int/itu-t/recommendations/index.aspx?ser=K>. [Citado febrero de 2011]
- [10]. Ministerio de Tecnologías de Información y las Comunicaciones de Colombia. Decreto 195 de

2005. Colombia. 2005. Disponible en: http://www.cntv.org.co/cntv_bop/basedoc/decreto/2005/decreto_0195_2005.html. [Citado febrero de 2011].

- [11]. D. Vega, S. López, J. Matías, U. Gil, I. Peña, M. Vélez. "Generalization of the Lee Method for the Analysis of the Signal Variability". IEEE transactions on vehicular technology. 2009, vol. 58, no2, pp. 506-516. ISSN: 0018-9545. University of the Basque Country. España
- [12]. The International EMF Project. World Health Organization (WHO). Consultado en febrero de 2011. Disponible en: <http://www.who.int/peh-emf/project/en/>