



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER**

ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y DE TELECOMUNICACIONES  
Perfecta Combinación entre Energía e Intelecto



**DESARROLLO DE UN SERVICIO BASADO EN LOCALIZACIÓN PARA  
EL MONITOREO DEL ESPECTRO RADIOELÉCTRICO**

**DEISY CAROLINA PÁEZ CASAS  
MARTÍN HUMBERTO SOTO ARGÜELLO**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECAÑICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y  
TELECOMUNICACIONES  
BUCARAMANGA  
2011**



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER**

ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y DE TELECOMUNICACIONES  
Perfecta Combinación entre Energía e Intelecto



**DESARROLLO DE UN SERVICIO BASADO EN LOCALIZACIÓN PARA  
EL MONITOREO DEL ESPECTRO RADIOELÉCTRICO**

**DEISY CAROLINA PÁEZ CASAS  
MARTÍN HUMBERTO SOTO ARGÜELLO**

**Proyecto de investigación presentado para obtener el título de:  
Ingeniero(a) Electrónico(a)**

**Director  
PhD Homero Ortega Boada**

**Codirector**

**MSc(c) Cesar Camilo Rodríguez Sánchez.**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECAÑICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y  
TELECOMUNICACIONES  
BUCARAMANGA  
2011**

## TABLA DE CONTENIDO

Términos y Definiciones .....	18
INTRODUCCIÓN .....	21
1 PRELIMINARES.....	22
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	22
1.2 OBJETIVOS.....	23
1.2.1 Objetivo general .....	23
1.2.2 Objetivos específicos .....	23
1.3 JUSTIFICACIÓN .....	24
1.4 ALCANCE .....	24
2 MARCO TEÓRICO.....	25
2.1 Espectro Electromagnético.....	25
2.2 Espectro Radioeléctrico. ....	25
2.3 Gestión del Espectro Radioeléctrico.....	26
2.4 Comprobación técnica del Espectro. ....	27
Equipo de comprobación técnica:.....	30
2.5 Sistemas basados en localización (LBS).....	33
2.5.1 Servicios.....	34
2.5.2 Mecanismos Para Determinar La Posición en un LBS.....	35
2.5.3 Relación Entre Servicios Basados En Localización LBS Y Sistema De Información Geográfica GIS .....	36
2.6 Sistema de Posicionamiento Global GPS .....	36
2.6.1 Funcionamiento del GPS. ....	37
2.6.2 Estándar NMEA. ....	38
2.7 LabVIEW .....	40
2.7.1 Controlador de Instrumentos o Instrument Drivers.....	41
2.8 Analizador de Espectro .....	42
3 MODELAMIENTO DEL SISTEMA. ....	44
3.1 Ingeniería del Software .....	44
3.2 Ingeniería del software.....	45

3.2.1	Partes Interesadas .....	45
3.3	Contexto Del Proyecto .....	46
3.4	Requisitos del Sistema. ....	47
3.5	Desarrollo Modelo Incremental.....	49
3.6	Actores .....	53
3.7	Casos de uso esenciales.....	54
3.7.1	Casos de uso detallados .....	55
3.8	Funcionamiento general del sistema.....	57
3.8.1	Configuración de instrumentos .....	58
3.8.2	Configuración y comunicación con el analizador .....	58
3.8.3	Configuración y Comunicación con el GPS .....	59
3.8.4	Panel principal.....	60
4	DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA .....	62
4.1	Panel Frontal.....	64
4.2	Módulo de Configuración de Instrumentos.....	65
4.2.1	Módulo GPS.....	66
4.2.2	Módulo Analizador de Espectro.....	74
4.2.3	Modo Analizador de Espectro Básico. ....	74
4.2.4	Módulo de Medición de Ocupación de Ancho de Banda (Occupied Bandwidth) 75	
4.2.5	Medición de Emisiones no deseadas. ....	75
4.2.6	Espectrograma. ....	78
4.2.7	Iconos de Herramientas.....	79
4.3	Módulo Información. ....	85
4.4	Módulo Consulta. ....	85
5	Mediciones y Resultados.....	87
5.1	Validación de los procesos de Medición.....	87
5.2	Medición de Cobertura o Drive Test. ....	87
5.3	Resultados Medición Drive Test. ....	89
5.3.1	El programa se está ejecutando adecuadamente y el usuario puede acceder todas las funcionalidades del Modo Analizador de Espectro. ....	89
5.3.2	El plan de medición es configurando y ejecutando correctamente. ....	90



5.3.3	El almacenamiento de los datos en una ubicación específica del computador y el envío de los mismos a la base de datos, es el esperado.....	91
5.4	Medición de Ocupación de Canal - Biblioteca UIS.....	94
5.4.1	Análisis de Validación .....	96
5.4.2	El almacenamiento de los datos en una ubicación específica del computador y el envío de los mismos a la base de datos, es el esperado. ....	97
5.5	Resultados de la Medición de Ocupación de Canal.....	98
5.6	Especificaciones del Producto Final. ....	109
5.7	Servicio De Consulta En Línea. ....	111
5.7.1	Estado del arte – Grupo de Investigación RadioGIS .....	111
5.7.2	Contexto del proyecto .....	112
5.7.3	Tipos de Usuario:.....	114
5.7.4	Casos de uso .....	115
5.7.5	Base de datos.....	115
	Conclusiones.....	118
	Planes a futuro .....	120
	Bibliografía.....	121

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Distribución de las bandas de frecuencia del espectro radioeléctrico. ....	26
Tabla 2. Mecanismos para determinar la posición en un LBS. ....	35
Tabla 3 Criterios de Selección de modelos de ciclos de vida. ....	44
Tabla 4 Partes Interesadas. ....	45
Tabla 5 Requisitos funcionales y No Funcionales del sistema ....	47
Tabla 6 Descripción casos de uso esenciales ....	54
Tabla 7 Descripción de caso de uso comunicación ....	55
Tabla 8 Descripción caso de uso configurar parámetros ....	55
Tabla 9 Descripción caso de uso guardar y consultar datos.....	57
Tabla 10 Parámetros de Calidad-GPS.....	72
Tabla 11 Configuración de instrumentos. ....	95
Tabla 12 Configuración de Campaña de Medición. ....	95
Tabla 13 Canales Generados. ....	96
Tabla 14 Comprobación de Alcance.....	109
Tabla 15 Requisitos Funcionales. ....	113
Tabla A1 Número de muestras dependientes necesarias para conseguir $\pm 10\%$ de precisión relativa y 95% de nivel de confianza en diferentes porcentajes de ocupación.....	126
Tabla A2 Datos de cabecera en el Formato Común de Intercambio de Datos.....	131
Tabla A3 Formato para informes de Ocupación. ....	132
Tabla B1 Especificaciones Eléctricas antena HG1911U ....	133
Tabla B2 Especificaciones eléctricas antena HG2404CU ....	134
Tabla B3 Especificaciones eléctricas del Cable R&S®ZV-Z191 model .36.....	135
Tabla B4 Pérdidas de potencia en el Cable en el rango de 300 a 2000 MHz ....	136

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Espectro Electromagnético.....	25
Figura 2. Tareas de la gestión del espectro .....	28
Figura 3. Tareas de la Comprobación del Espectro.....	29
Figura 4 Sistema típico integrado de gestión y de comprobación técnica del espectro. Fuente [28] .....	30
Figura 5 Estación de Comprobación Técnica Fija.....	32
Figura 6 Estación de Comprobación Técnica Móvil. ....	32
Figura 7 Esquema General LBS .....	33
Figura 8 NAVSTAR- Constelación de Satélites. Fuente [16].....	37
Figura 9 Situación en 2 Dimensiones. Fuente [16].....	38
Figura 10 Sentencia GGA, Global Positioning System Fix Data. Fuente [3].....	39
Figura 11 Sentencia GSA, GPS DOP and Active Satellites. Fuente [3].....	40
Figura 12 Diagrama de Capas NI-LabVIEW .....	41
Figura 13 R&S ZVL6 Analizador de Redes Vectoriales .....	42
Figura 14 Modelo de Desarrollo Incremental .....	45
Figura 15 Diagramas de componentes del sistema de monitoreo del espectro.....	46
Figura 16. Incrementos en el desarrollo del sistema.....	49
Figura 17 GeoSpecScanner_V1.0.....	50
Figura 18 GeoSpecScanner_V2.0.....	51
Figura 19 GPS_V1.0.....	51
Figura 20 GeoSpecScanner_V2.01 .....	52
Figura 21 Módulo Analizador de Espectros_V1.0 .....	53
Figura 22. Casos de Uso Esenciales .....	54
Figura 23 Casos de Uso Comunicación con Instrumentos.....	55
Figura 24 Casos de Uso- Configuración de Parámetros .....	56
Figura 25 Caso de uso Guardar y consultar datos .....	56

Figura 26 Diagrama de Estados del Sistema. ....	57
Figura 27 Configuración de Instrumentos.....	58
Figura 28 Diagrama de Secuencias del Analizador. ....	59
Figura 29 Diagrama de Secuencia de GPS.....	60
Figura 30 Diagrama Panel Principal .....	61
Figura 31 Sistema para el Monitoreo del Espectro.....	62
Figura 32 Diagrama General del Sistema. ....	63
Figura 33 Panel Frontal-GeoSpecScanner .....	64
Figura 34 Módulo Configuración de Instrumentos .....	65
Figura 35 Módulo GPS .....	66
Figura 36 Diagrama de Bloques Módulo GPS .....	67
Figura 37 Configuración del Puerto Serial.....	69
Figura 38 Garmin GPSmap 62s. ....	69
Figura 39 Ajuste al Vacío.....	70
Figura 40 Extracción de Datos .....	71
Figura 41 Extracción de Latitud .....	71
Figura 42 Calidad de la Medición. ....	72
Figura 43 Módulo Analizador de Espectro. ....	74
Figura 44 Medición con Máscaras de Espectro.....	77
Figura 45 Medición de Emisiones no Esenciales -Spurious. ....	78
Figura 46 Configuración Plan de Medición. ....	79
Figura 47 Block de Notas.....	81
Figura 48 Consulta Datos Drive Test.....	82
Figura 49 Consulta Datos Modo Automático.....	83
Figura 50 Módulo de Información.....	84
Figura 51 Módulo de Ayuda .....	84
Figura 52 Módulo de Consulta. ....	86
Figura 53 Ruta de Medición. ....	88
Figura 54. Archivos generados en formato .txt.....	91
Figura 55. Datos Correspondientes a la Ruta 5 .....	92
Figura 56 Base de Datos. ....	93

Figura 57 Base de Datos .....	93
Figura 58 Equipo empleado en la Medición. ....	94
Figura 59. Datos Almacenados de la campaña de medición.....	97
Figura 60. Archivos.txt de cada canal.....	98
Figura 61 Gráfica de Espectro - Canal 1.....	98
Figura 62 Ocupación de Espectro - Canal 1.....	99
Figura 63 Gráfica de Espectro - Canal 2.....	99
Figura 64 Ocupación de Espectro - Canal 2.....	100
Figura 65 Gráfica de Espectro - Canal 3.....	100
Figura 66 Ocupación de Espectro - Canal 3.....	101
Figura 67 Gráfica de Espectro - Canal 4.....	101
Figura 68 Ocupación de Espectro - Canal 4.....	102
Figura 69 Gráfica de Espectro - Canal 5.....	102
Figura 70 Ocupación de Espectro - Canal 5.....	103
Figura 71 Gráfica de Espectro - Canal 6.....	103
Figura 72 Ocupación de Espectro - Canal 6.....	104
Figura 73 Gráfica de Espectro - Canal 7.....	104
Figura 74 Ocupación de Espectro - Canal 7.....	105
Figura 75 Gráfica de Espectro - Canal 8.....	105
Figura 76 Ocupación de Espectro - Canal 8.....	106
Figura 77 Gráfica de Espectro - Canal 9.....	106
Figura 78 Ocupación de Espectro - Canal 9.....	107
Figura 79 Gráfica de Espectro - Canal 10.....	107
Figura 80 Ocupación de Espectro - Canal 10.....	108
Figura 81 Diagrama Ocupación de Canal- Canales 1-10.....	108
Figura 82 Geoportal Web.....	111
Figura 83 Módulo de Simulación y Medición.....	112
Figura 84 Modelado del Geoportal.....	115
Figura 85. Campos en BD actual.....	116
Figura 86 Cambios necesarios en BD.....	117
Figura A1 Estimación de la Ocupación de Canal.....	125

Figura A2 Escalas de tiempo para banda y canal de frecuencia.....	127
Figura A3 Relación de los tiempos que se deben definir para hacer medición ocupación por canales.....	129
Figura A4 Algoritmo Implementado en el software de control .....	130
Figura B1 Antena Omnidireccional HG1911U .....	133
Figura B2 Patrón de radiación antena HG1911U .....	133
Figura B3 Antena 3.5 dBi – HG2404CU .....	134
Figura B4 Patrón de radiación Antena HG2404CU .....	135
Figura B5 Curva de Caracterización para el cable R&S®ZV-Z191 .....	136



# UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y DE TELECOMUNICACIONES  
Perfecta Combinación entre Energía e Intelecto



## LISTA DE ANEXOS

Anexo A. Medición de Ocupación de canal .....	124
Anexo B. Especificaciones de antenas y cable .....	133

## RESUMEN

### **TÍTULO: DESARROLLO DE UN SERVICIO BASADO EN LOCALIZACIÓN PARA EL MONITOREO DEL ESPECTRO RADIOELÉCTRICO\***

**AUTORES:** Deisy Carolina Páez Casas, Martín Humberto Soto Arguello \*\*

**Palabras claves:** espectro radioeléctrico, gestión del espectro, comprobación técnica del espectro, estación móvil, Drive test, Ocupación de canal, Plataforma de servicios.

Se presenta un prototipo de un sistema de comprobación técnica del espectro radioeléctrico GeoSpecScanner, específicamente se implementó una estación móvil de monitoreo, el componente clave es la interfaz de usuario, la cual permite la configuración del analizador de espectro mediante el uso de un computador portátil, también incluye un dispositivo GPS que permite la georeferenciación de los datos medidos; el software también se encarga de la transmisión de los datos a la plataforma de servicios desarrollada por Grupo I+D RadioGIS en la cual es posible consultar los datos georeferenciados sobre mapas.

El propósito principal es contar con un sistema fundamentado en las recomendaciones de la Unión Internacional de Telecomunicaciones UIT, cumpliendo con los requisitos de los equipos de medición y procedimientos de medición.

Se cuenta con dos tipos de campaña de medición: drive test o medición de cobertura y medición de ocupación de canal. La medición Drive Test permite hacer mediciones de espectro siguiendo una ruta con el objetivo de evaluar la cobertura de una emisión determinada o para apoyar los modelos de propagación. Por otra parte, la medición de ocupación de canal hace una estimación de ocupación en una banda determinada, se puede hacer el estudio hasta en 10 canales equiespaciados y de igual ancho de banda en una duración máxima de 24 horas y un promediado mínimo de 5 minutos, como resultado se obtiene la estimación de ocupación de cada canal y todas las tramas de datos de cada promediado.

GeoSpecScanner es adecuado para la medición del espectro en todos los servicios de radiocomunicaciones en el rango de 9 kHz hasta 6GHz, adecuado para la evaluación de interferencias, ocupación de espectro y estudios de cobertura, por lo tanto es ideal para apoyar las diferentes tareas de la gestión del espectro, especialmente en la planificación y atribución del espectro.

---

\* Proyecto de Grado

\*\* Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas, Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones. Director: PhD Homero Ortega Boada. Codirector: MSc(c) Cesar Camilo Rodríguez Sánchez.

**ABSTRACT**

**TITLE: DEVELOPMENT OF A LOCATION BASED SERVICE FOR MONITORING THE RADIO ELECTRIC SPECTRUM\***

**AUTHORS:** Deisy Carolina Páez Casas, Martin Humberto Soto Arguello \*\*

**Keywords:** Radio Electric Spectrum, Spectrum Management, Spectrum technical testing, mobile station, Drive Test, Channel Occupancy, Service Platform.

We present a prototype of a technical testing system of radio electric spectrum GeoSpecScanner, specifically implemented a mobile monitoring station, the key component is the user interface, which allows the spectrum analyzer settings using a laptop, also includes a GPS device that allows the georeferencing of the measured data, the software also handles of the transmission of data to the service platform developed by I+D Group RadioGIS, where you can view the data on geo-referenced maps.

The main purpose is to have with a system based on the International Telecommunications Union – ITU, meeting the requirements of measuring instruments and measurement procedures.

It has two types of measurement campaign: Drive Test or coverage measurement and Measuring of channel occupancy. Drive Test Measurement, allows spectral measurements on a route with the aim of evaluating the coverage of a given issue or to support the propagations models. On the other hand, the channel occupancy measurements estimate the occupation in a particular band; you can study up in 10 channels equally spaced and of equal bandwidth in a maximum of 24 hours and a minimum average of 5 minutes, as a result we obtain the estimate of occupancy of each channel and the data frames of each averaged.

GeoSpecScanner is suitable for measuring spectrum in all radio communication services, in the range of 9kHz to 6GHz, essential in the interference evaluation, spectrum occupancy and coverage studies, it is ideal to support the different tasks of spectrum management, especially in planning and spectrum allocation.

---

\* Thesis Work.

\*\* School of Physicomechanical Engineering Department of Electrical, Electronics and Telecommunications Engineering. Director: PhD Homero Ortega Boada. Co-director: MSc(c) Cesar Camilo Rodríguez Sánchez.

## Términos y Definiciones

**Espectro Electromagnético:** Conjunto de ondas electromagnéticas ordenadas de acuerdo a su longitud de onda y frecuencia, abarcan desde las Ondas de Radio (Bajas frecuencias), hasta los Rayos Gamma (Altas frecuencias), pasando por el espectro visible.

**Espectro Radioeléctrico:** Porción del espectro electromagnético por la cual se transmiten las ondas de radio electromagnéticas y que posibilitan servicios tales como, radio, televisión, internet, telefonía móvil entre otros.<sup>1</sup>

**Duración de la comprobación técnica:** Tiempo total durante el cual las mediciones de ocupación son efectuadas.

**GIS:** Sistema de Información Geográfica-GIS, integra hardware y software para la captura, gestión, análisis y visualización de datos georeferenciados, en busca de satisfacer las necesidades de los sistemas de información<sup>2</sup>

**GPS:** Sistema de Posicionamiento Global, desarrollado y administrado por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos, permite conocer con un alto grado de precisión la ubicación de una persona, nave, vehículo, teléfono o algún otro dispositivo en la superficie terrestre.

**Grupo de Investigación RadioGIS:** Grupo de Investigación y Desarrollo de la Universidad Industrial de Santander, para más información visite: <http://telecomunicaciones.uis.edu.co>.

**Hora cargada:** El mayor nivel de ocupación de un canal en un periodo de 60 min.

**LabVIEW:** Lenguaje gráfico de programación, empleado en el desarrollo de aplicaciones de medición, automatización, diseño y control de aplicaciones científicas o de ingeniería.

**Longitud de transmisión:** Longitud media de la duración de las distintas transmisiones radioeléctricas.

**Máximo número de canales:** Máximo número de canales que pueden ser visitados en el tiempo de revisitado.

---

<sup>1</sup> Definición de Espectro Radioeléctrico, visite: <http://www.ane.gov.co/entinos.shtml?s=a&cmd%5B148%5D=c-1-'DEFINICI%D3N%20DE%20ESPECTRO%20RADIOEL%C9CTRICO'>

<sup>2</sup> Para mayor información de los Sistemas de Información Geográfica-GIS, visite: <http://www.gis.com/>

**Medición de la ocupación de canal de frecuencia:** Mediciones de canales, no necesariamente separados por la misma distancia de canal, y posiblemente dispersos a lo largo de varias bandas de frecuencias, para determinar si un canal está ocupado o no. El objetivo es medir, en el menor tiempo posible, tantos canales como se pueda.

**Plan de Medición:** El plan de medición es la configuración de la campaña de medición que será llevada a cabo; en el plan de medición generalmente se especifican el número de puntos que serán registrados, así como la variable a medir, entre otros parámetros claves para llevar a cabo el proceso de medición.

**TCP/IP:** Protocolo de Control de Transmisión/Protocolo de Internet, permite la conexión e intercambio de datos entre dos computadores empleando una red LAN.

**Tiempo de revisitado:** Tiempo utilizado para visitar todos los canales que deben ser medidos (estén o no ocupados) y retornar al primer canal.

**Tiempo de observación:** Tiempo que necesita el sistema para efectuar todas las mediciones necesarias en un canal. Esto incluye todo tiempo adicional de procesado, tal como cuando se almacenan los resultados en memoria o en disco.

**Nivel de umbral preseleccionado para la medición:** Si se recibe una señal con una intensidad superior al nivel umbral, se considera que el canal está ocupado.

**UML:** Lenguaje Unificado de Modelado, es un lenguaje grafico utilizado para visualizar, especificar, construir y documentar un sistema de software.

**XML:** eXtensible Markup Language, es un lenguaje de descripción de documentos, pero no incluye ninguna información relativa al diseño de los mismos.

A continuación se listan las definiciones de los tipos de servicios de radiocomunicación, que son asignados a las diferentes bandas de frecuencia según la Unión Internacional de Telecomunicaciones, [5].

**Servicios Fijos:** Son servicios de radiocomunicación entre puntos fijos específicos.

**Servicios Móviles:** Comprende los servicios de radiocomunicación entre estaciones que pueden ser utilizados cuando están en movimiento, paradas en lugares no especificados, o bien entre estaciones móviles y estaciones fijas.

**Servicio móvil aeronáutico:** Servicios de radiocomunicación entre aeronaves o aeronaves y estaciones terrestres.

**Servicio móvil marítimo:** Servicios de radiocomunicación entre estaciones costeras y barcos o entre barcos navegando.

**Servicio móvil terrestre:** Servicios de radiocomunicación comprendidos entre una estación base y una estación terrestre móvil, o entre estaciones móviles terrestres.

**Radionavegación:** Servicios para determinar la posición de naves mediante las propiedades de propagación de las ondas radioeléctricas.

**Radionavegación aérea:** Servicios de radionavegación para la navegación aérea como tal, (Instrumentos de radio, sistemas de aterrizaje, radiocomunicación con torres de control, torres de control, radares entre otros,).

**Radionavegación marítima:** Servicios para la navegación marítima (radares, radiolocalización, radiofaros, etc.)

**Radiolocalización:** Son servicios para la determinación de la posición de naves con propósitos diferentes a los de navegación.

**Radiodifusión:** Servicios de radiocomunicación cuyo propósito es la recepción directa por el público en general, como lo son la radiodifusión de amplitud modulada (AM) y Frecuencia Modulada (FM) y televisión.

**Radioaficionados:** Servicios que utilizan personas con gustos afines a las técnicas radioeléctricas y que conllevan a un interés personal más no comercial.

**Espaciales:** Servicios de comunicación empleados por estaciones o vehículos espaciales.

**Tierra-Espacio:** Servicios de radiocomunicación propicios para la comunicación entre estaciones terrestres y estaciones o vehículos espaciales.

**Radioastronomía:** Parte de la astronomía que se basa en la recepción de ondas radioeléctricas de origen cósmico.

**Estándares de frecuencia:** Transmisiones de radio de frecuencias específicas y alta precisión, cuyo propósito es la recepción con fines científicos, técnicos o de otra índole.

## **SIGLAS**

FBO: Frequency Band Occupancy Measurement

FCO: Frequency Channel Occupancy Measurement

LBS: Location Based Service (Servicio Basado en Localización).

## INTRODUCCIÓN

El manejo de los recursos siempre ha sido una tarea importante en la vida de las personas, es como quien recibe una cantidad de dinero que sabe que solo puede emplearlo en una actividad específica, si lo malgasta ya no tendrá el recurso para usarlo cuando realmente lo necesite; o si usa dinero de otra persona estará gastando recursos que estaban previstos y de igual manera limita el poder adquisitivo de la persona quien le prestó el dinero, lo mismo pasa con el espectro radioeléctrico, al ser una sección del espectro electromagnético con un determinado ancho de banda, lo convierte en un recurso limitado, costoso y de gran impacto ya que por este medio se transmiten las frecuencias que soportan los servicios de telecomunicaciones.

Por tanto es de vital importancia que los gobiernos identifiquen la forma más apropiada de gestionar el recurso espectral, logrando hacer adecuadas asignaciones de bandas de frecuencia de acuerdo a los servicios que requiera, teniendo presente la evolución constante de las comunicaciones y la implementación de nuevos servicios.

En Colombia actualmente se requiere un proceso de reingeniería del espectro, el cual constituye en verificar el uso de las frecuencias que están atribuidas en el Cuadro Nacional de Atribución, buscando migrar los servicios que están ocupando las frecuencias que se necesitan para la implementación de servicios como la TV digital y los servicios de cuarta generación.

A lo largo de este documento, se presenta el desarrollo de un sistema basado en localización para el monitoreo del espectro radioeléctrico, GeoSpecScanner, el cual busca convertirse en un apoyo a los procesos de gestión del espectro que se realicen en Colombia, ya que permite llevar a cabo tareas de comprobación del espectro, además de presentar ventajas en cuanto a su fácil utilización y rapidez en la adquisición de los datos.

## **1 PRELIMINARES**

### **1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

Llevar a cabo procesos de gestión, vigilancia y control del espectro, que cumplan con los estándares internacionales adoptados por cada Estado, de acuerdo a convenios y recomendaciones vigentes, y que permitan de forma más ágil la planeación y atribución de espacios del espectro, así como la detección de infractores se ha convertido en uno de los retos que afronta el estado Colombiano hoy en día.

El creciente desarrollo de las tecnologías de la información y las telecomunicaciones, sumadas al aumento de la demanda por parte de las personas, quienes cada día requieren nuevos y mejores servicios que le permitan tener acceso a la información de forma más ágil, con amplia cobertura y que sean más económicos, no solo ha hecho que se aumente la competitividad entre los operadores de servicio, sino que ha incrementado la demanda de clientes del espectro.

Considerando que el espectro radioeléctrico es un recurso limitado y que su atribución debe sustentarse en procesos claros de adjudicación tal y como se estipula en la Constitución Política de 1991, es obligación de los entes reguladores, Ministerio de Tecnologías de la Información y las Telecomunicaciones – Ministerio TIC y la Agencia Nacional del Espectro, buscar alternativas que faciliten los procesos de medición y comprobación técnica y que apoyen los procesos de gestión, vigilancia y control del espectro.

Teniendo en cuenta que los métodos que han sido empleados anteriormente en los procesos de medición tales como hacer uso del personal humano en los procesos de medición, adquisición e interpretación de datos ofrecen un alto grado de inexactitud en las mediciones debidas a los errores humanos, se plantea el diseño y desarrollo de una herramienta de fácil uso y que apoye los procesos de gestión del espectro de forma automática, donde el operador ya no es quien realiza todo el proceso de medición y almacenamiento de datos sino simplemente realiza la configuración de los parámetros del instrumento y el sistema se encarga de la medición, almacenamiento e interpretación de los datos.

Se plantea como solución a lo anterior el uso de las nuevas Tecnologías de Servicios de la Información y las comunicaciones, para el desarrollo de un servicio basado en localización, el cual entregue por medio de un analizador de espectro R&S@ZVL y un GPS, datos georeferenciados de las mediciones de espectro radioeléctrico (mediciones automatizadas de la ocupación de canal, drive test y ocupación de ancho de banda), para ser transferidos a la Plataforma de servicios RadioGIS, almacenarlos en bases de datos espaciales para próximas consultas.

## **1.2 OBJETIVOS**

### **1.2.1 Objetivo general**

Desarrollar en la Plataforma Tecnológica de servicios RadioGIS un servicio basado en localización que permita registrar de forma automática, remota y centralizada el espectro radioeléctrico de las bandas de telefonía móvil celular ubicadas en la banda UHF, usando equipos de medición en estaciones fijas en una zona piloto del área metropolitana de la ciudad de Bucaramanga.

### **1.2.2 Objetivos específicos**

- Desarrollar una interfaz de usuario que permita el control y visualización de los datos capturados por un analizador de espectro y un dispositivo GPS durante el proceso de medición georeferenciada del espectro radioeléctrico.
- Realizar pruebas de funcionamiento del servicio en una zona piloto del área metropolitana de la ciudad de Bucaramanga.
- Registrar remotamente los datos de mediciones del espectro radioeléctrico en zonas geográficas específicas utilizando estaciones de monitoreo fijas.

### **1.3 JUSTIFICACIÓN**

El proceso de gestión del espectro radioeléctrico se convierte en un tema obligatorio para cada uno de los estados ya que en sus manos recae la competencia de realizar una distribución adecuada basada en recomendaciones y normativas internacionales así como parámetros propios del estado.

Con el desarrollo de las nuevas tecnologías y servicios de información que requieran de frecuencias del espectro radioeléctrico para funcionar, se hace necesaria una nueva redistribución de las frecuencias ya que todos los canales no se ocupan en su totalidad y además no todas las frecuencias tienen las mismas capacidades de cobertura, comportamiento e inmunidad que los servicios requieren.

La Implementación de nuevas formas de medición, vigilancia y control del espectro radioeléctrico puede ser de gran ayuda al momento de realizar una nueva redistribución y/o gestión del mismo ya que podría hacerse de forma más eficiente, si consideramos el espectro radioeléctrico como un recurso limitado y que representa costos en cuanto a las entidades y recursos que se invierten en su continuo monitoreo, ya que al ser un bien de todos debe garantizarse que sea lo más eficiente posible y que los impactos ambientales que pueden causar los servicios que usan el espectro radioeléctrico sean lo menos nocivos.

### **1.4 ALCANCE**

Desarrollar un servicio basado en localización que permita la transferencia en línea y sincronizada de los datos registrados por un analizador de espectro y un GPS, utilizados en la medición georeferenciada del espectro radioeléctrico de la banda UHF en zonas piloto del área urbana de la ciudad de Bucaramanga, esto permitirá que posteriormente se realice la visualización de los datos obtenidos en la Plataforma Tecnológica de servicios RadioGIS cumpliendo así con uno de los objetivos principales del proyecto 5542 “Gestión del espectro radioeléctrico de la telefonía móvil celular como un servicio de telecomunicaciones GESTEL” donde se busca “Desarrollar un sistema que permita registrar de manera automática mediciones del espectro relacionadas con coordenadas geográficas”

## 2 MARCO TEÓRICO

### 2.1 Espectro Electromagnético

Se denomina espectro electromagnético, Figura 1, al conjunto de ondas electromagnéticas cuyo rango de frecuencias comprende desde las ondas de radio, pasando por el espectro visible hasta los Rayos Gamma y los Rayos Cósmicos.

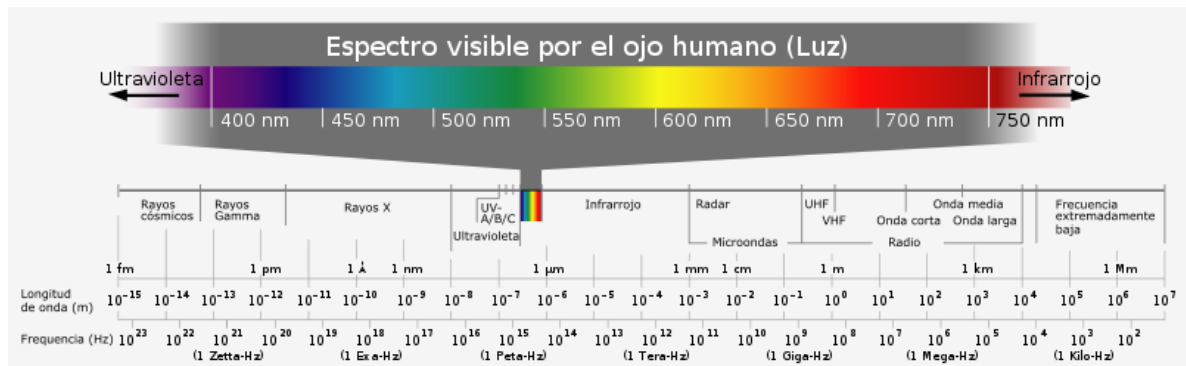


Figura 1 Espectro Electromagnético<sup>3</sup>.

La constitución política de Colombia de 1991, define El espectro electromagnético como “un bien público inenajenable e imprescriptible sujeto a la gestión y control del Estado. Se garantiza igualdad de oportunidades en el acceso a su uso en los términos que fije la ley. Para garantizar el pluralismo informativo y la competencia, el Estado intervendrá por mandato de la ley para evitar las practicas monopolística en el uso del espectro electromagnético”, Artículo 75.

### 2.2 Espectro Radioeléctrico.

El espectro radioeléctrico –ERE es la porción del espectro electromagnético mediante la cual las frecuencias de onda de radio electromagnéticas son transmitidas, representa la porción menos energética del espectro electromagnético.

Según la Unión Internacional de Telecomunicaciones-UIT el espectro radioeléctrico-ERE es aquel segmento de ondas electromagnéticas que se propagan con frecuencias desde 3kHz hasta 3000GHz; para facilitar los procesos de administración y gestión, la UIT ha subdividido el ERE en nueve (9) bandas de frecuencia, Tabla 1, en las cuales se distribuyen

<sup>3</sup> Fuente [http://es.wikipedia.org/wiki/Espectro\\_electromagn%C3%A9tico](http://es.wikipedia.org/wiki/Espectro_electromagn%C3%A9tico)

los diferentes tipos de servicio de radiocomunicación dependiendo de la frecuencia que cada servicio requiera. En Colombia el espectro radioeléctrico está definido hasta los 300GHz, con la banda de 275 a 300 GHz aun no atribuida. La distribución del ERE, en Colombia, se puede consultar en el Cuadro Nacional del Espectro.

Es importante saber que el ERE es un recurso natural limitado y constituye la materia prima en la cual se soportan las industrias de las Telecomunicaciones, por tal razón es considerado como un bien público que no puede ser cedido ni negociado y que está sujeto a la vigilancia, gestión y control, establecidas por el Ministerio de Comunicaciones de cada Estado.

**Tabla 1.** Distribución de las bandas de frecuencia del espectro radioeléctrico.

<b>Banda</b>	<b>Significado</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>Long. De Onda</b>	<b>Servicios Usuales</b>
<b>VLF</b>	Frecuencias Muy Bajas	3 a 30 kHz	10000 – 1000 km Ondas miriámétricas	Radionavegación
<b>LF</b>	Bajas Frecuencias	30 a 300 kHz	10 – 1 km Ondas kilométricas	Navegación Aérea y Marítima
<b>MF</b>	Frecuencias Medias	300 a 3000 kHz	1000 – 100 m Ondas hectométricas.	Radiodifusión Sonora
<b>HF</b>	Altas Frecuencias	3 a 30 MHz	100 – 10 m Ondas decamétricas.	Radioaficionados
<b>VHF</b>	Muy Altas Frecuencias	30 a 300 MHz	10 – 1 m Ondas Métricas.	Televisión
<b>UHF</b>	Ultra Altas Frecuencias	300 a 3000 MHz	100 - 10 cm Ondas decimétricas	Telefonía Móvil Celular
<b>SHF</b>	Súper Altas Frecuencias	3 a 30 GHz	10 - 1 cm Ondas centimétricas	Satélite, Radioenlaces
<b>EHF</b>	Frecuencias Extremadamente Altas	30 a 300 MHz	100 - 1 ,m Ondas milimétricas	Radioastronomía

### 2.3 Gestión del Espectro Radioeléctrico.

Las nuevas Tecnologías de Información y Comunicaciones- TICs han aumentado la demanda del ERE, esta situación dificulta la asignación de bandas a los nuevos servicios, teniendo en cuenta que se debe asegurar que no exista interferencia en los diferentes canales y además que en la banda asignada se optimice el uso del espectro, por tal motivo, se considera la implementación de un sistema de gestión del espectro apoyado en la directrices de la Recomendación UIT-R SM.1048,1370 [24][25], el cual tiene como objetivo principal maximizar y asegurar el uso eficiente del espectro radioeléctrico, así como asegurar que el mismo sea apto para las nuevas tecnologías y servicios emergentes, basando la adjudicación de canales o bandas del espectro mediante asignaciones de licencia dadas en procesos equitativos y transparentes promoviendo la libre competencia por parte de operadores y demás interesados en el proceso, de manera que además de garantizar que

se guarden porciones del espectro para aplicaciones que aporten algún tipo de beneficio a la comunidad (salud, seguridad). [6]

La responsabilidad de la gestión del espectro radioeléctrico recae en manos de los gobiernos de cada país, en Colombia esta responsabilidad esta atribuida al Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones-Ministerio TIC y la Agencia Nacional del Espectro-ANE, quienes están encargados de elaborar y establecer la políticas de utilización, reglamentación, uso y control del espectro mediante el cuadro de atribuciones del espectro, además de cumplir con las recomendaciones de la UIT, tanto para la asignación de bandas de frecuencia a nivel local y como para los lineamientos de la asignación internacional del espectro; la gestión del espectro radioeléctrico se convierte en un tema de gran importancia en el momento de adjudicar las nuevas bandas de frecuencia que se acomoden a las características en cuanto a capacidad, comportamiento y cobertura de las frecuencias de las ondas de radio.

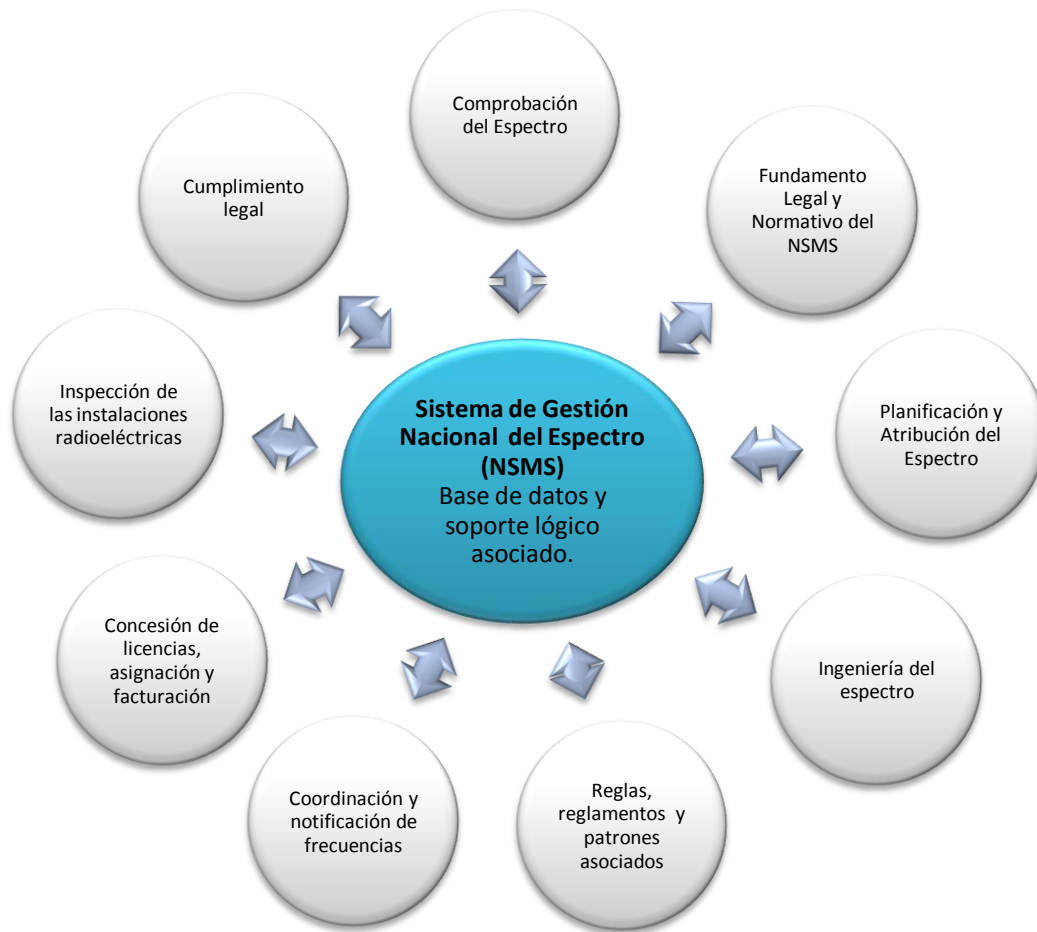
Una adecuada gestión del ERE optimiza la eficiencia en el uso del espectro y asegura el desarrollo de nuevas tecnologías y servicios como: los sistemas de comunicación móviles, redes de banda ancha, WiFi, Bluetooth, televisión digital, entre otros; si el Estado no realiza una correcta gestión del ERE, se pierden oportunidades de incluir nuevos servicios e infraestructuras de Telecomunicaciones en el país.

La UIT-R SM.1047 [23] recomienda que los programas nacionales de gestión del espectro consideren temas tales como: los principios fundamentales de la gestión del espectro, la planificación, ingeniería del espectro, autorización de frecuencias, automatización de la gestión y economía del espectro. El [12] especifica las tareas propias de un sistema nacional de gestión del espectro, Figura 2.

## **2.4 Comprobación técnica del Espectro.**

La comprobación técnica del espectro es una de las funciones de apoyo a la gestión del espectro, que se encarga de la planificación y el uso de frecuencias, evitar los usos incompatibles e identificar las fuentes de interferencia.

La comprobación técnica del espectro según las recomendaciones UIT-R SM.1392, 1500 [26][27].debe cumplir con cuatro tareas principales fundamentales en el apoyo del proceso de gestión del espectro, la primera de ellas es la comprobación técnica de las emisiones para verificar el cumplimiento de las disposiciones relativas a las asignaciones de frecuencia, observaciones de la banda y ocupación de canal, para estudiar y realizar la planificación de la utilización de los canales y bandas del espectro, buscando alcanzar un uso eficiente del mismo (transportar la información deseada consumiendo el menor recurso espectral posible), la identificación de fuentes de interferencia y la localización de transmisores ilegales, corresponden a las tareas tres y cuatro respectivamente.

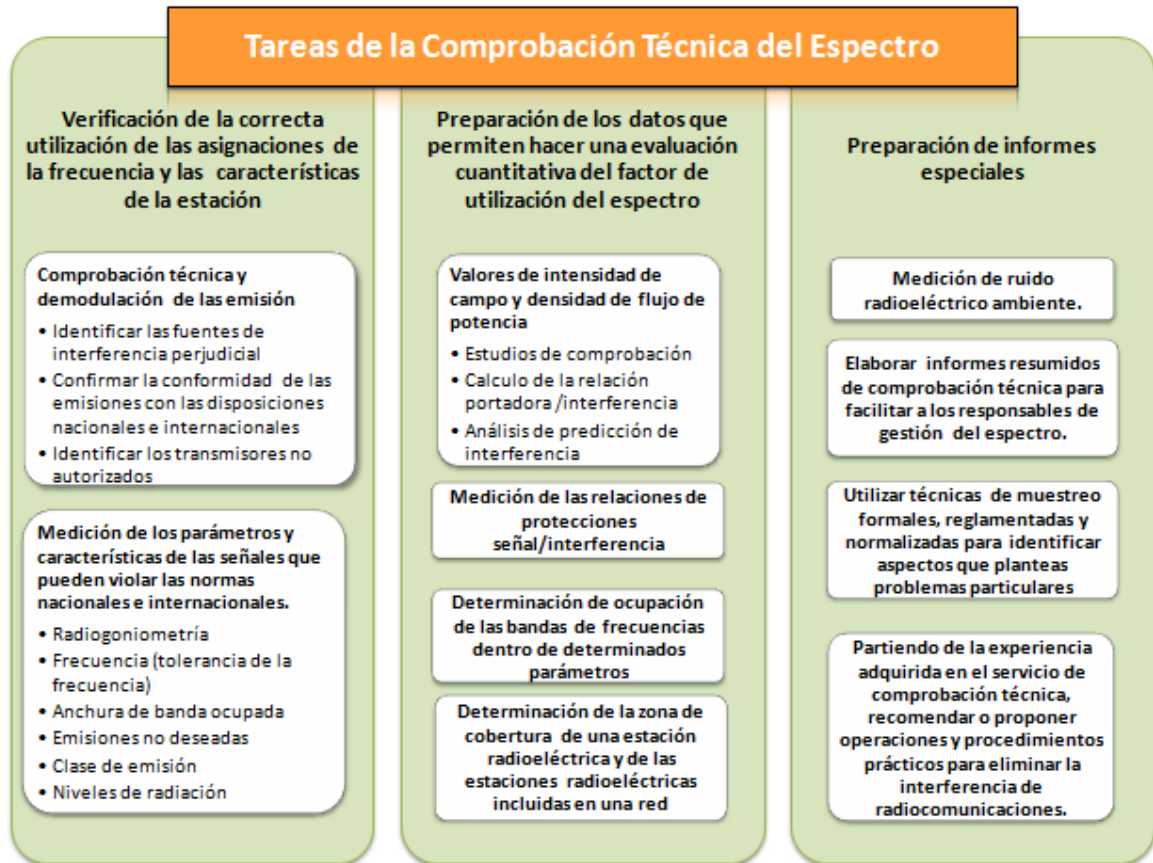


**Figura 2. Tareas de la gestión del espectro**

De acuerdo con la Recomendación **UIT-R SM 1537 Automatización e integración de los sistemas de comprobación técnica del espectro con la gestión automática del espectro**. [28], “*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*”

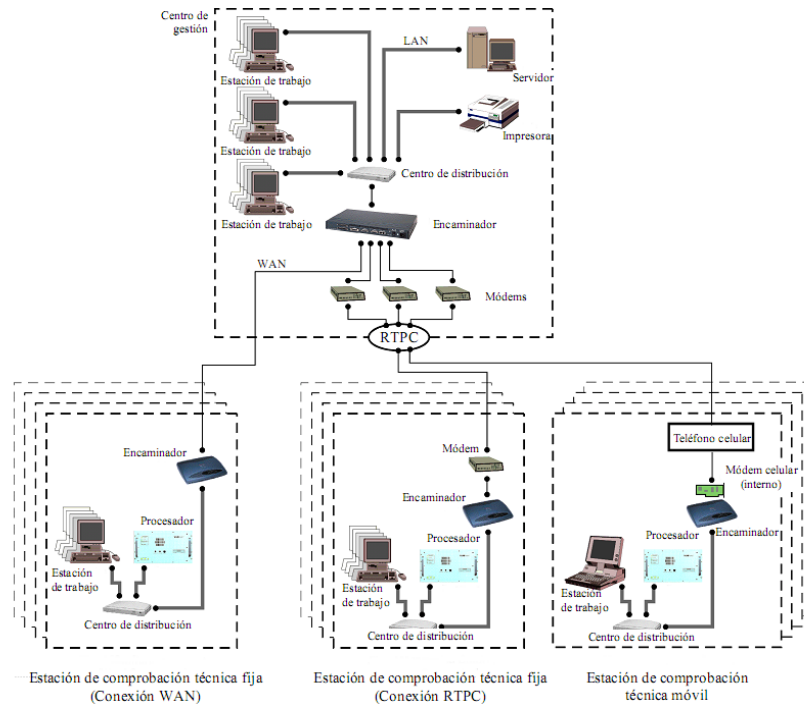
La gestión del espectro se apoya en la utilización de bases de datos y de modelos computacionales que contengan datos técnicos y administrativos tales como la frecuencias asignadas o los titulares de las licencias, características de los equipos, entre otras y que faciliten las funciones de gestión del espectro.

La comprobación técnica por su parte permite la verificación del cumplimiento de las frecuencias utilizadas con las disposiciones que se indican en las autorizaciones o licencias concedidas, mediante la realización de mediciones de la ocupación del espectro en las estaciones de comprobación técnica y la generación de informes especiales, Figura 3.



**Figura 3. Tareas de la Comprobación del Espectro.**

La Figura 4, muestra un modelo típicos de la integración de la gestión del espectro con la comprobación técnica del espectro, típicamente se une un centro de gestión con las estaciones de comprobación (Fija, móvil) con métodos o protocolos de transmisión de datos que serán empleados de acuerdo a la aplicación que se vaya a realizar, generalmente se usa la Red Telefónica Publica con Conmutación (RTPC), así como los Protocolos de Transmisión/Protocolo Internet (TCP/IP), enlaces satelitales entre otros.



**Figura 4 Sistema típico integrado de gestión y de comprobación técnica del espectro. Fuente [28]**

Los equipos empleados generalmente en las estaciones de comprobación técnica son las antenas adecuadas para la gama de frecuencia que va a ser comprobada, los receptores encargados de la demodulación de la señal recibida y los analizadores de espectro que muestran las características espectrales de la señal, así como un computador portátil o fijo y un software de control adecuado.

Para llevar a cabo el proceso de comprobación técnica del espectro, se puede implementar un sistema general de comprobación el cual generalmente está compuesto de estaciones comprobación móviles o fijas, autónomas o manuales para llevar a cabo la verificación de la conformidad de las licencias, la ocupación de canal, la planificación del espectro y la observación de la reglamentación y el cumplimiento de las normas aplicables.

**Equipo de comprobación técnica:**

Los equipos más comúnmente empleados en los sistemas de comprobación técnica del espectro se encuentran los receptores radioeléctricos, los analizadores de espectro, los equipos de radiogoniometría y sus respectivas antenas [26], además de redes de ordenadores y software especializado, la capacidad del servicio que se presta en una estación de comprobación técnica radica en la selección y características de los equipos utilizados en la misma.

El componente principal de las estaciones de comprobación técnica del espectro son **Las Antenas**, las cuales comprenden el medio empleado en la transmisión o recepción de ondas radioeléctricas, la finalidad de una antena en una estación de comprobación técnica es la de recibir la señal proveniente del emisor o captarla directamente del entorno, garantizando la mínima captación de ruido posible, así como señales interferentes, para posteriormente ser aplicadas en la entrada del receptor o analizador de espectro. [17]

Dependiendo de las distintas frecuencias radioeléctricas Tabla 1, y la cobertura se utilizan un tipo o clase de antena, las antenas omnidireccionales (que radian energía por igual en todo el plano) o las antenas directivas (que radian energía más en una dirección que en otra) empleadas en la recepción de frecuencias específicas en una banda.

**Los Analizadores de Espectro**, reciben la señal proveniente de la antena y realizan algún procesamiento matemático que le permiten al usuario conocer características propias de la señal, existen tres clases de analizadores de espectro: los FFT o Analizador de Fourier que mide la señal en el dominio de la Frecuencia, El analizador Vectorial de Señales (VSA), y los superheterodinos. [13]

**Equipos de Radiogoniometría**, Empleado en la localización de la posición de un transmisor radioeléctrico, claves en la determinación de las fuentes de interferencia perjudicial y descubrir los transmisores no autorizados [26].

**Software e Interfaces**, contar con un software que permita automatizar los procesos de medición rutinaria y el control de los instrumentos en una estación de comprobación técnica del espectro, además de alertar o informar al operador acerca del cumplimiento de los criterios de licencia o interferencia específicos, siguiendo los lineamientos expuestos en las Recomendaciones UIT-R SM [26],[28].

Estaciones de comprobación técnica del espectro:

- **Estaciones Fijas:**

Apropiadas para realizar comprobaciones en las bandas de ondas decamétricas (HF), donde la propagación normalmente es de largo alcance a través de la onda ionosférica. En zonas urbanas las estaciones fijas son útiles para realizar comprobación técnica en las bandas de ondas métricas (VHF) y decimétricas (UHF), las estaciones fijas generalmente constituyen la parte más importante del sistema de comprobación técnica del espectro, Figura 5.

- **Estaciones Móviles:**

Son adecuadas para la comprobación técnica en las bandas de ondas métricas, decimétricas y centimétricas ya que la propagación de este tipo de ondas es de menor alcance y el sistema debe desplazarse hasta el punto en cuestión, la limitación principal de las estaciones móviles es el suministro energético, Figura 6.

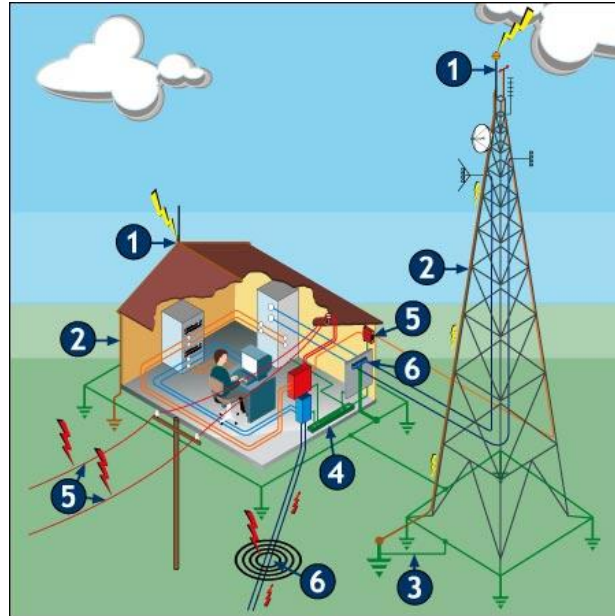


Figura 5 Estación de Comprobación Técnica Fija<sup>4</sup>



Figura 6 Estación de Comprobación Técnica Móvil.

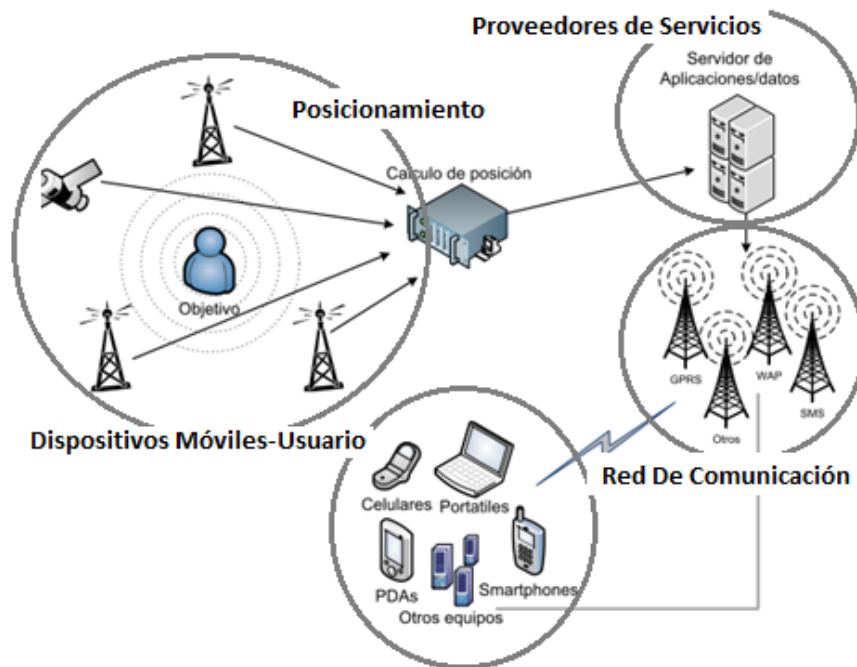
<sup>4</sup> Fuente: <http://www.ruelsa.com/notas/tierras/pe50.html>

- **Estaciones Portátiles:**

Hacen parte de los servicios de comprobación técnica móvil, pero debido a sus características son equipos de medición que pueden ser fácilmente manipulados por el operario para acceder a realizar mediciones en sitios alejados, a los cuales no se puede acceder sino caminando; son esenciales en la determinación de interferencia o transmisiones ilegales. [17]

**2.5 Sistemas basados en localización (LBS)**

Los Servicios Basados en Localización (LBS), proveen a los usuarios de dispositivos móviles servicios personalizados en tiempo real que se determinan a partir de su posición geográfica. Para su operación utiliza tecnología de Sistemas de Información Geográfica (GIS), un sistema de posicionamiento geográfico como por ejemplo un GPS (cliente) y tecnología de comunicación de redes para transmitir información hacia la aplicación LBS que procese y responda a la solicitud. Los LBS son servicios que utilizan la información de ubicación disponible de los terminales móviles de acuerdo a la 3GPP<sup>5</sup> (3rd Generation Partnership Project). [1]



**Figura 7 Esquema General LBS**

<sup>5</sup> Es una federación internacional de diversas autoridades nacionales de estandarización, con el fin de proveer especificaciones para GSM y UMTS.

Según [21], Figura 7, los cuatros componentes principales de un Sistema Basado en Localización (LBS), son:

- **Dispositivos móviles:** Son las herramientas mediante las cuales el usuario solicita y recibe la información ya sea de forma visual, mediante texto u otro tipo de indicaciones. Los dispositivos móviles más comunes son los teléfonos celulares, las PDA's (Personal Data Assitant), computadores portátiles entre otros.
- **Red de Comunicación:** Red móvil que transfiere la información solicitada por el usuario y a la vez le devuelve al mismo la respuesta a dicha solicitud para ser consultada en el dispositivo móvil.
- **Componentes de Posición:** Generalmente constituido por un Sistema de Posicionamiento Global-GPS, empleado en la determinación de la posición del usuario.
- **Servicios y proveedores de datos, aplicaciones y contenido:** El servidor de aplicaciones o proveedor de servicios, ofreciendo al usuario un número determinado de servicios a los cuales el usuario pueda acceder siempre que se le permita acceder al servicio, estos tipos de servicios van desde conocer el estado del clima, información del tráfico, localización del lugar más cercano, rutas, entre otras.

### 2.5.1 Servicios

Los servicios son cada vez más comunes y necesarios en nuestra vida diaria, a continuación se presentan algunos ejemplos existentes en el mercado. [11]

- **TomTom Mobile:** Proporciona información de navegación, en un mapa con las instrucciones que el usuario debe seguir para llegar a un destino previamente indicado, proporcionando a su vez el tiempo estimado en realizar el trayecto, la visualización de dicha información se realiza en la pantalla de un dispositivo móvil o PDA.
- **Nokia Sports Tracker:** Herramienta de monitoreo por GPS para dispositivos compatibles con Nokia. Realiza un seguimiento de la actividad física, trazando la ruta que recorre el usuario y proporcionando información relativa a la velocidad, la distancia y el tiempo de la actividad. Permite en cualquier momento analizar y compartir en la web todos los datos de la actividad deportiva y las rutas asociadas. [15]. Desde el 31 de Agosto de 2010, Nokia ha migrado sus servicios de monitoreo y GPS a su plataforma de servicios OVI<sup>6</sup>, donde se provee a los usuario de Nokia de la herramienta de Nokia Maps<sup>7</sup>, tienda virtual y acceso a contenidos multimedia.

---

<sup>6</sup> OVI es la propuesta de Nokia para los servicios de acceso a internet de sus móviles, cuenta con una plataforma propia administrada por Nokia.

<sup>7</sup> Herramienta de Mapas de Nokia en la Plataforma de Servicios OVI

- **MoviStar Localízame:** localiza al usuario dentro de la red móvil y comparte esta información con contactos. También permite registrar periódicamente la posición para luego trazar la ruta seguida sobre un mapa.
- **ViaMichelin Web Services:** Proveedor de contenidos turísticos. Brinda una solución para los siguientes tipos de problemáticas: localizar establecimientos, seleccionar zonas comerciales, ver en un mapa información local, posicionar un recurso móvil en la carretera, entre otros.
- **YDreams:** Proveedor de juegos de acción para la compañía Vodafone, en donde la ubicación del usuario es fundamental en el desarrollo del mismo.
- **Vodafone Mensa-Red Localización:** Permite la coordinación de la movilidad de los empleados de una empresa mediante el seguimiento y localización de la ubicación de sus terminales móviles.

### 2.5.2 Mecanismos Para Determinar La Posición en un LBS

En la Tabla 2, se relacionan algunos métodos empleados en la determinación de la posición en un LBS:

**Tabla 2. Mecanismos para determinar la posición en un LBS.**

MECANISMO	DESCRIPCIÓN
Uso de satélites	El Sistema De Posicionamiento Global (GPS), controlado por el Departamento de Defensa de EE.UU., utiliza una constelación de 24 satélites orbitando la tierra, el GPS determina la posición del dispositivo mediante el cálculo de las diferencias en las señales de diferentes satélites veces tarda en llegar al receptor. Las señales GPS están codificados, de modo que el dispositivo móvil debe estar equipado con un receptor GPS. GPS es potencialmente el método más exacto (entre 4 y 40 metros si el receptor GPS tiene una vista clara del cielo).
Uso de la red de telefonía móvil:	El actual identificador de celda se puede utilizar para identificar Base Transceiver Station (BTS) que el dispositivo se está comunicando con la ubicación y de esa BTS. Claramente, la exactitud de este método depende del tamaño de la célula, y puede ser muy inexacta. Una célula GSM puede variar de 2 a 20 kilómetros de diámetro. Otras técnicas utilizadas, junto con identificador de celda se pueden lograr una precisión dentro de los 150 metros.
Uso de balizas de posicionamiento de gama corta	Por ejemplo, los dispositivos equipados adecuadamente puede utilizar Bluetooth para el posicionamiento de corto alcance.

### 2.5.3 Relación Entre Servicios Basados En Localización LBS Y Sistema De Información Geográfica GIS

Sistema de Información Geográfica GIS es la tecnología utilizada para recoger, almacenar, analizar, editar todos los datos de tipo relacionados con la tierra. Por lo tanto, ofrece respuestas a todo tipo de consultas relacionadas con ciencias de la información geográfica y ahora es ampliamente utilizada en la planificación, gestión de recursos, gestión de activos, transporte, ciencias ambientales y la observación científica. Por otra parte Servicios Basados en Localización LBS es el servicio de información accesible a través de la red celular en los teléfonos móviles u otros dispositivos PDA utilizando la capacidad de los GIS y su base. Así LBS es una combinación de GIS y sistema de telecomunicaciones móviles.

### 2.6 Sistema de Posicionamiento Global GPS

El Sistema de Posicionamiento Global o GPS (Global Positioning System), es un sistema mundial de localización, desarrollado por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos a mediados de los años 70; está constituido por una constelación de 24 satélites artificiales en órbita, llamada NAVSTAR GPS.

Aunque en un principio se consideró el uso del GPS con propósitos netamente militares, a medida que fue pasando el tiempo y debido a las funciones que brinda el mismo, se le permitió a la población civil acceder a este tipo de sistema con una pequeña limitante en cuanto a la precisión y exactitud de entre 100 y 300 metros dependiendo de las condiciones de recepción, los receptores GPS de uso civil (**SPS** Estándar Positioning System) están configurados para recibir los datos que se emiten a una frecuencia diferente a la de uso militar (**PPS** Precise Positioning System), la cual ofrece una máxima exactitud y precisión; la incursión y el uso del GPS en la vida civil propició la aparición de los primeros fabricantes de dispositivos para el uso civil, llevando consigo el aumento de la competitividad tecnológica y nuevos desarrollos en las aéreas de interés, gracias a esto, hoy contamos con aplicaciones en sistemas de georeferenciación de datos, Sistemas de Información Geográfica (SIG), aeronáutica, dispositivos móviles celulares, ordenadores, entre otras.

El GPS está dividido en tres segmentos, el primero llamado *Segmento Espacial*, comprende los 24 satélites de la constelación NAVSTAR, divididos en 6 órbitas con cuatro satélites cada una, los cuales transmiten durante las 24 horas del día un mensaje con información de su posición y la hora de emisión del mismo, la Figura 8, muestra la constelación de satélites; cada satélite está equipado con cuatro relojes atómicos, dos de Cesio (Cs) y dos de Rubidio (Rb).

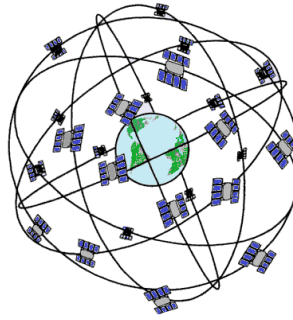


Figura 8 NAVSTAR- Constelación de Satélites. Fuente [16]

El *Segmento de Control*, está conformado por una estación principal que recibe los datos provenientes de cinco estaciones de vigilancias distribuidas a lo largo de la línea ecuatorial. El *Segmento de Recepción*, comprende las antenas de recepción y el receptor GPS, el receptor GPS hace referencia a los dispositivos GPS como tal, los cuales permiten la extracción o visualización de datos tales como la Longitud, Altitud, Latitud, velocidad, hora, entre otras.[16]

### 2.6.1 Funcionamiento del GPS.

Para poder obtener las coordenadas de la ubicación del receptor, este calcula el tiempo que le toma a una señal emitida por el satélite en llegar al receptor, ya que el tiempo que tarde en llegar la señal del satélite al receptor es proporcional a la distancia de separación entre ellos.

Como se ve en la Figura 9, dependiendo de la posición donde se encuentre el satélite se creara entre cada uno de ellos y el receptor un círculo imaginario, la intersección de estos círculos determinara la posición aproximada del receptor, entre más tiempo se tarde la señal en llegar al receptor, mayor será el diámetro del círculo, aunque este método solo proporciona la Longitud y la Latitud, es también conocido como Situación en dos dimensiones (2D).

Para poder obtener la Altura a la cual nos encontramos, se usa el principio de la triangulación; la Triangulación proporciona un punto en el espacio con coordenadas (x, y, z), las cuales son posteriormente referidas al sistema WGS 84 (World Geodetic System 1984), en coordenadas (Latitud, Longitud, Altura). Para poder llevar a cabo la triangulación, se necesita que el receptor vea al menos 4 satélites y que exista una adecuada sincronización tanto de los relojes de los satélites como la del reloj del receptor para hacer un cálculo adecuado de las distancias entre el satélite y el receptor.

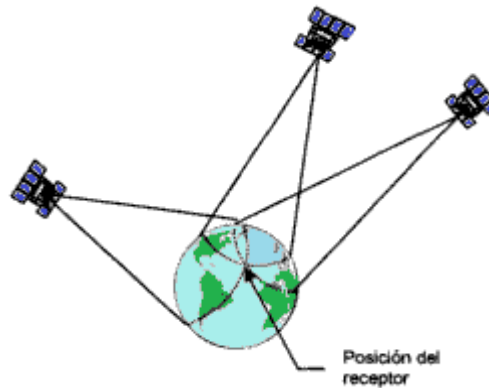


Figura 9 Situación en 2 Dimensiones. Fuente [16]

### 2.6.2 Estándar NMEA.

El protocolo NMEA 0183 es un estándar de comunicación normalizado para llevar a cabo la transmisión de datos entre equipos electrónicos, que define los requisitos de señal eléctrica, el protocolo de transmisión de datos y el tiempo, para la transmisión de información de GPS entre diferentes dispositivos.

Los datos del protocolo 183, se transmiten en un bus de datos series con una tasa de baudios de 4800 baudios, compatibles con RS-232 y caracterizados por ser sentencias ASCII, desarrollado por la *National Marine Electronic Association* –NMEA, que en sus inicios fue implementado en instrumentos de navegación.

El protocolo NMEA 0183, especifica una configuración inicial para la configuración del puerto serial que puede variar dependiendo del instrumento a utilizar, como se muestra a continuación.

**Rata de Baudios:** 4800 bps

**Bits de Datos:** 8

**Bits de Parada:** 1

**Paridad:** Ninguna

**Control de Flujo:** Ninguno

Las sentencias del protocolo NMEA 0183, tienen las siguientes características:

- Contienen un número máximo de 82 caracteres incluyendo el carácter “\$” y el Código Final, Cada una de ellas comienza con un carácter “\$”, posteriormente un “*Talker ID*” ó Código de identificación que para el Protocolo 0183, cuando se transmiten datos de un GPS es **GP**, en el dado caso en que la sentencia comience con “\$P”, indica es una sentencia propietaria, la cual corresponde a un fabricante

determinado y tiene consideraciones especiales en la composición de la trama como tal.

- Posterior al “*Talker ID*” viene un segundo código de identificación llamado “*sentence*”, que corresponde a los tres dígitos que son los que caracterizan la información que se lee y la trama como tal que será leída o de donde se extraerá la información relevante.
- Para finalizar se presenta la serie de datos correspondientes a cada una de las sentencias separados por comas, en el dado caso en que la sentencia se encuentre vacía lo que generalmente indica que no se han leído los datos respectivos de la misma, aparecerán solo las comas pero no datos que representen nulidad, ceros, se finaliza con un código de dos dígitos llamado Checksum, “\*”

Para llevar a cabo el proceso de extracción de los datos que serán utilizados por el Módulo GPS, Capítulo 4, se tuvieron en cuenta dos sentencias la **GGA Global Positioning System Fix Data**, Figura 10, de donde se extraen parámetros tales como Altitud, Longitud, Altura, Orientación (Norte-Sur, Este-Oeste), Número de satélites enganchados y el GPS Quality Indicator o indicador de conexión, y la trama **GSA GPS DOP and Active Satellites**, Figura 11, de donde extraemos el PDOP (Positional Dilution Of Precision).

**GGA Global Positioning System Fix Data. Time, Position and Fix Related data for a GPS receiver.**

```

                                     11
          1         2         3 4         5 6 7 8  9 10 | 12 13 14 15
          |         |         ||         ||| |  |  |  |  |  |
$--GGA,hhmmss.ss,llll.ll,a,yyyyy.yy,a,x,xx,x.x,x.x,M,x.x,M,x.x,xxxx*hh

```

**Figura 10 Sentencia GGA, Global Positioning System Fix Data. Fuente [3]**

- 1) Hora UTC
- 2) Latitud
- 3) N o S (Norte o Sur)
- 4) Longitud.
- 5) E o W (Este u Oeste)
- 6) GPS Indicador de Calidad (Quality Indicator)
  - 0 – Conexión no disponible.
  - 1 – GPS Conectado.
  - 2 – GPS con conexión no disponible.
- 7) Numero de Satélites vistos, 00-12



LabVIEW trabaja con un diagrama de capas representado en la Figura 12, donde la capa inferior hace referencia al Hardware que será utilizado en la aplicación, para el sistema desarrollado, corresponde al Analizador de Redes Vectoriales-R&S ZVL6.



**Figura 12 Diagrama de Capas NI-LabVIEW**

Las ventajas del software de desarrollo, LabVIEW, que corresponde a la capa superior es que permite la conexión de los instrumentos o Hardware (Capa Inferior) por medio de las funciones de entrada/salida, control, análisis y representación de datos o interfaz de usuario, empleando los drivers o controladores los cuales permiten el uso del Hardware desde el software de aplicación.

### **2.7.1 Controlador de Instrumentos o Instrument Drivers.**

Los controladores son rutinas de software que posibilitan el control de un instrumento, en donde cada rutina corresponde a una operación ya sea Escribir, leer, configurar, activar o desactivar un instrumento.

Debido a la amplia gama de Drivers que LabVIEW ha desarrollado, se le permite al usuario poder controlar actualmente más de 5000 instrumentos con la finalidad de mejorar su funcionamiento o suplir necesidades específicas del usuario.

Entre los tipos de controladores más usados en LabVIEW, se encuentran los controladores Plug and Play<sup>8</sup> corresponden cada uno a una rutina o comando a ejecutarse ya sea realizar la acción de encendido, lectura, escritura entre otras, mientras que los Instrumentos Virtuales Intercambiables-IVI<sup>9</sup>, corresponden al tipo de controlador que requieren una

---

<sup>8</sup> Para más información de los controladores Plug and Play, Visite: <http://zone.ni.com/devzone/cda/tut/p/id/2921#toc1>

<sup>9</sup> Para más información acerca de los IVI-Instrumentos Virtuales Intercambiables, visite: <http://www.ni.com/ivi/>

mayor flexibilidad y rendimiento ya proporciona comunicación real entre el software y el hardware ya sea vía USB-GPIB, entre otras, que le permiten al usuario realizar simulación y adquisición de datos en tiempo real. Así mismo LabVIEW cuenta con un paquete de Drivers NI-VISA<sup>10</sup> o Virtual Instrument Software Architecture, los cuales para configurar, programar y resolver problemas de instrumentación virtual, mediante la configuración o conexión por medio de PXI, GPIB, TCP/IP, USB y Entradas/salida, ampliando mas la interoperabilidad de LabVIEW con instrumentos y demás herramientas.

Como parte de los desarrollos que ha llevado a cabo National Instruments, se encuentran los controladores para el Analizador de Redes Vectoriales-ZVL6 de Rhode & Schwarz, los cuales están disponibles al público en general, en la página del fabricante<sup>11</sup> y permiten el control del equipo mediante la conexión del mismo a un Computador usando la red TCP/IP, ofreciendo grandes facilidades en la creación de controladores virtuales y controles remotos para la utilización del ZVL6.

## 2.8 Analizador de Espectro

Para el desarrollo de este proyecto, se emplea un Analizador de Redes Vectoriales R&S ZVL6, Figura 13.



Figura 13 R&S ZVL6 Analizador de Redes Vectoriales

Un Analizador de Redes Vectoriales es un instrumento que permite el análisis de las propiedades de las redes eléctricas (reflexión y transmisión), conocidas como parámetros de dispersión o parámetros S.

---

<sup>10</sup> Para más información acerca de NI-VISA, visite: <http://www.ni.com/visa/>

<sup>11</sup> Página del Fabricante, R&S ZVL6 Vector Network Analyzer, Labview 8.2 Instrument Driver, visite: [http://www2.rohde-schwarz.com/en/products/test\\_and\\_measurement/network\\_analysis/ZVL6-%7C-Divers-%7C-25-%7C-2627.html](http://www2.rohde-schwarz.com/en/products/test_and_measurement/network_analysis/ZVL6-%7C-Divers-%7C-25-%7C-2627.html)

A diferencia del Analizador de Redes Vectoriales, el Analizador de Espectro es un instrumento empleado en el estudio de las características de las señales eléctricas, acústicas, ópticas, entre otras, mediante su representación en frecuencia; dicha representación en frecuencia nos brinda información acerca de las amplitudes, frecuencias de las componentes discretas de la señal, entre otras.

Se llama analizador de espectro, ya que permite la completa visualización de la representación de la suma infinita de los armónicos de frecuencia de la transformada de Fourier aplicada a una forma de onda periódica que en este caso corresponde a la señal de entrada. El espectro de dicha señal se representa ubicando en las ordenadas o eje X de la grafica los valores de frecuencia de cada una de las componentes y en el eje de las abscisas o eje Y el valor correspondiente de amplitud en dBm de las mismas.

El R&S ZVL6, tiene una particularidad, aparte de ser un analizador de redes vectoriales, cuenta con un módulo analizador de espectro que provee las funciones básicas para la medición de una señal RF en el dominio de la frecuencia.

- Mediciones usando los marcadores
- Mediciones de Potencia (Medición de Ocupación de Ancho de Banda (OBW) y Medición con Máscara de Espectro (ESP) y Medición de Emisiones no Esenciales (Spurious)
- Mediciones usando líneas limites o líneas en el Display

Las mediciones de Potencia asegura la medición de los parámetros necesarios con una alta precisión y un amplio rango dinámico. [3]

El Analizador está equipado con un sistema operativo Windows XP, el cual ha sido configurado con las características y necesidades del analizador de redes, si se desean realizar cambios en la configuración del sistema se permite establecer una conexión LAN, personalizar las propiedades de los accesorios externos conectados al analizador y acceder a herramientas de software adicionales.

Como se menciona anteriormente y gracias al sistema operativo Windows XP, se puede hacer control remoto mediante una conexión LAN, para integrar las funcionalidades del analizador con un computador o una impresora, mediante la configuración de una dirección IP.

### 3 MODELAMIENTO DEL SISTEMA.

#### 3.1 Ingeniería del Software

Los proyectos de ingeniería, en su mayoría, son desarrollados en el marco del modelo secuencial siguiendo análisis, diseño, planificación, desarrollo y evaluación; se dedica mucho tiempo y esfuerzo en el diseño y la planificación en busca de asegurar la buena calidad del producto. Dentro de los proyectos de ingeniería, existen proyectos cuyo producto o servicio final tiene diferente ciclo de vida, los proyectos software no deben ejecutarse siguiendo el modelo secuencial, aunque este fue el primer modelo utilizado denominado como el ciclo de vida clásico o modelo en cascada, la dificultad al definir todos los requisitos es el principal problema de este modelo, generalmente el cliente no tiene una idea clara de lo que desea, por tanto no define todos los requerimientos.

Diferentes modelos de desarrollo han evolucionado, basados en el modelo secuencial, en los cuales se tiene una realimentación periódica de los requisitos del cliente así como de los errores e inconvenientes de la fase de desarrollo. Los modelos de desarrollo son: Modelo lineal secuencial, Modelo de construcción de prototipos, Modelo DRA (Desarrollo Rápido de Aplicaciones), Modelos evolutivos (Modelo Incremental, Modelo Espiral) [19]

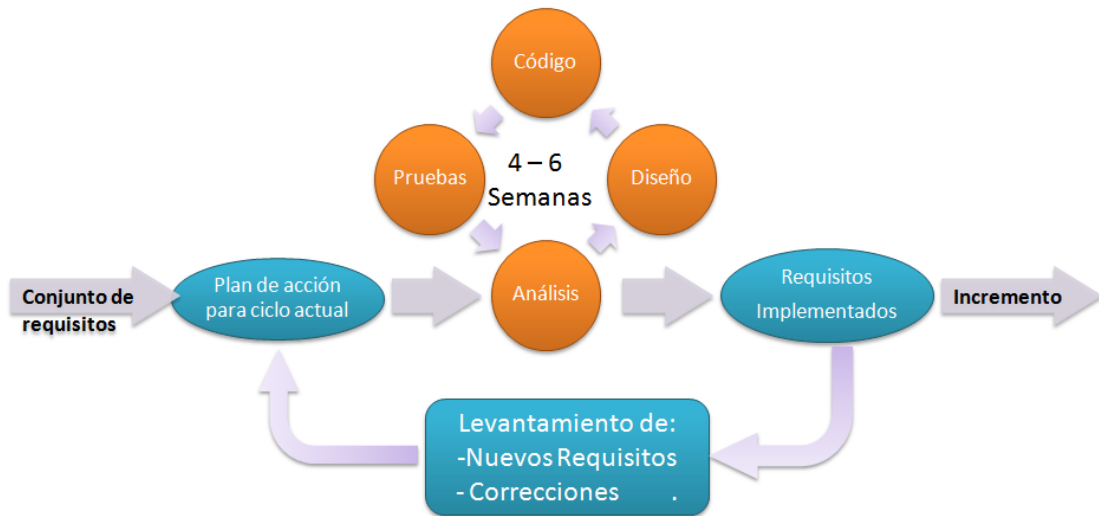
Los criterios considerados para la selección del modelo de desarrollo son: Certeza de requerimientos conocidos (muchos requerimientos comenzarán a conocerse sólo después del uso del sistema), complejidad del problema y su solución, frecuencias y productos esperados de los cambios en los requerimientos, acceso de los desarrolladores a los usuarios.

**Tabla 3 Criterios de Selección de modelos de ciclos de vida.**

Criterios de selección	Modelos de Ciclos de vida			
	En Cascada	De Prototipos	Incremental	Espiral
Permite cambiar los requisitos en cualquier etapa	Bajo	Medio	Medio	Alto
Frecuencias de entrega después de cambios de requerimientos	Bajo	Bajo	Medio	Alto
Resultados visibles progresivamente	Bajo	Alto	Medio	Alto
Complejidad del problema	Bajo	Bajo	Medio	Alto
Rapidez de desarrollo	Bajo	Medio	Alto	Alto
Gestión de riesgos	Bajo	Medio	Medio	Alto

Aunque el modelo en espiral, cumple en forma satisfactoria todos los criterios propuestos, no es conveniente debido a que este modelo es adecuado para proyectos grandes y con gran dificultad lo que exige mayores recursos tanto humanos como económicos. Por tal

razón, el modelo más apropiado a la naturaleza del problema es el modelo incremental, puesto que se generan incrementos funcionales una vez se realizan cambios en los requisitos obtenidos en las reuniones con los clientes, este modelo no genera trabajo extra para los desarrolladores. El modelo incremental, Figura 14, combina elementos del modelo en cascada con la interacción de construcción de prototipos. Cada secuencia lineal produce un incremento funcional del software.



**Figura 14 Modelo de Desarrollo Incremental**

### 3.2 Ingeniería del software

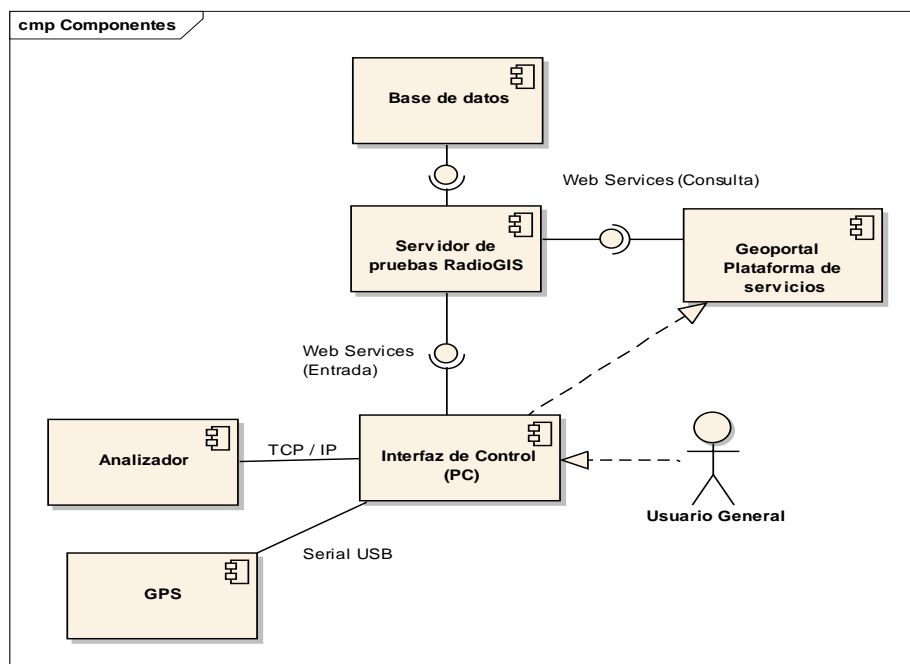
#### 3.2.1 Partes Interesadas

**Tabla 4 Partes Interesadas.**

Partes Interesadas		
INTERESADO	PRIORIDAD	COMENTARIO/INTERÉS
Grupo de investigación RadioGIS	1	Ofrecer el servicio de medición y consulta de monitoreo de espectro.
ANE Agencia nacional del espectro	2	La agencia nacional de espectro requiere estudios de ocupación de canales para determinar canales libres para estudiar su atribución a nuevos servicios.
Empresa de telefonía celular	3	Mediante la medición drive test se puede realizar una medición de cobertura a una estación base.
Modelos de propagación	4	Los modelos de simulación de propagación requieren datos de campo reales para hacer validación de los datos simulados.

### 3.3 Contexto Del Proyecto

El sistema de monitoreo del espectro nace de la necesidad de realizar mediciones en bandas del espectro, para apoyar los proyectos<sup>12</sup> desarrollados en el Grupo de Investigación RadioGIS. El principal objetivo es desarrollar una estación móvil que realice mediciones de espectro automáticamente, y luego enviar los datos al servidor RadioGIS. De igual manera otro importante objetivo es ofrecer un nuevo servicio de medición y posterior consulta del espectro en la Plataforma Tecnológica de servicios. El grupo de investigación RadioGIS además de la Plataforma Tecnológica de servicios, dispone de Analizador de espectros, GPS, computador portátil y Antenas. La figura 15 representa la interacción de los diferentes componentes del sistema de monitoreo móvil.



**Figura 15 Diagramas de componentes del sistema de monitoreo del espectro**

El componente principal del sistema es el desarrollo de la Interfaz Grafica De Control De Los Instrumentos De Medición que permita monitorear el espectro radioeléctrico, específicamente la interfaz debe:

- Controlar remotamente el Analizador, ajustar parámetros de ajuste, tales como: Frecuencia, Amplitud y resolución, Adquirir los datos que resultan de las

<sup>12</sup> Moreno V. Adriana, Sierra J. Luis, “Verificación y sintonización del algoritmo de radio propagación DeJong-RadioGIS en una zona piloto en la ciudad de Bucaramanga”

Mejía M. Yuri, Pineda A. Marcos, “Implementación en java de un algoritmo de radio propagación basado en el modelo de DeJong y en los requisitos de propagación descritos por Imt-advanced”

mediciones del espectro radioeléctrico. Mostrar la grafica del espectro, dependiendo de la banda de frecuencia seleccionada, y los parámetros que se configuraron al momento de realizar la medición.

- Obtener coordenadas geográficas del sitio de medición mediante un dispositivo GPS.
- Registrar Automáticamente los datos en el servidor.

### 3.4 Requisitos del Sistema.

En la tabla 5 se indican los requisitos finales definidos para el desarrollo del sistema. Los requisitos están agrupados de acuerdo a sus características, esta clasificación coincide con los casos de uso definidos para el sistema. RF indica que el requisito es funcional y RNF indica que el requisito es no funcional.

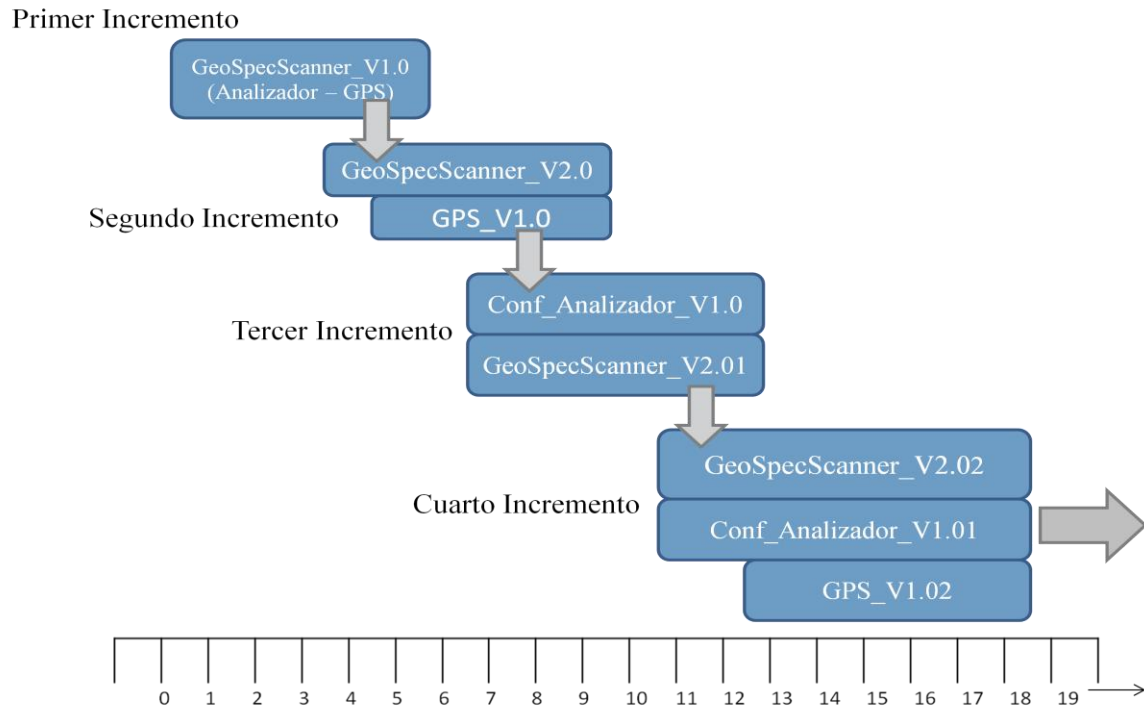
**Tabla 5 Requisitos funcionales y No Funcionales del sistema**

Configuración Parámetros		
Interfaz Inicial	RF	Opción de iniciar
	RF	Mostar información del software
	RF	Opción salir
Instrumentos		
Configuración ZVL	RF	Configurar modo del ZVL en Analizador de Espectro
	RF	Configurar parámetros predefinidos para el analizador
	RF	Configurar la Dirección IP del ZVL, Guardar la ultima usada por defecto
	RF	Confirmar que existe comunicación con el ZVL
	RF	Iniciar el ZVL en modo "Reset" cada vez que se inicie la comunicación
	RF	Configuración de la opción PRESET para hacer iniciar en modo pre-configurado
GPS	RF	Uso y configuración del dispositivo GPS en la estación móvil y fija
	RF	Trabajar con o sin conexión de un GPS
	RNF	Visualizar el número de satélites en uso
	RNF	Visualizar el estado de la conexión
	RF	Configuración de parámetros (Rata de Baudios)
	RF	Configuración Bits de Datos- Paridad-Bit de Paridad-Control de Flujo
	RF	Exactitud del GPS (Alta-Media-Baja)
Modos de Medición		
Analizador	RF	Configurar parámetros de modo analizador
DriveTest	RF	Configurar parámetros de modo de medición Drive Test
Por tiempos	RF	Configurar parámetros de modo de medición por tiempos

<b>Configuración Parámetros</b>		
Mascaras	RF	Configurar parámetros de modo de medición por portadoras (Mascaras)
Amplitud	RF	Configurar la atenuación (automático o manual)
	RF	Configurar el Reference Level (Automático o Manual)
	RF	Configurar Reference Level Offset
	RF	Seleccionar diferentes unidades de amplitud (dBm, dBmV, dBm $\mu$ V, dBuA)
Frecuencia	RNF	Limitar la configuración de la frecuencia en la banda de 9kHz a 6GHz
	RF	Dar opción al usuario de configurar la banda frecuencia indicando Frecuencia Inicial y Frecuencia Final, o Frecuencia Central y Span
Resolución	RF	Configurar Resolución de ancho de Banda (Automático-Manual)
	RF	Configuración Sweep Time (Automática-Manual )
	RF	Configurar Filtro De Video (Automático o Manual)
	RF	Seleccionar la forma del filtro RBW (Normal-FFT-CFilter-RRC-Pulse)
Marcadores	RF	Activar y desactivar marcadores
	RF	Activar uno o varios marcadores
	RF	Dibujar línea de Threshold, modificando su posición
	RF	Hacer Zoom alrededor de un marcador
	RF	Mover cada marcador a lo sobre la grafica del espectro
Traces	RF	Configurar modo del Trace (Min Hold, Max Hold, Average, View, Clear/Write)
	RF	Configurar Tipo de Detector (Auto Peak, Average, Máximum Peak, mínimum Peak, Sample, RMS, QuasiPeak)
	RF	Visualización y configuración de dos traces (TR2-TR3)
	RF	Modificar impedancia de entrada en 50 Ohm o 75 Ohm
<b>Comunicación Con ZVL</b>		
Comunicación	RNF	Configurar parámetros del equipo en modo analizador de espectro
	RNF	Identificar cuando el ZVL está desconectado o no hay respuesta de este.
<b>Mensaje de Error</b>		
Conectividad	RNF	Identificar conexión a internet
ZVL	RNF	Indicar el estado de adquiriendo datos (midiendo)
	RNF	Indicar cuando finalizó la medición
Plataforma	RNF	Indicar cuándo se estén enviando datos a la plataforma
	RNF	Indicar cuándo se ha terminado de enviar los datos a la plataforma
	RF	Si se cierra el programa estando en medición, mostrar mensaje de sugerencia si desea cerrar o no
<b>General</b>		
-	RNF	El programa debe funcionar con o sin conexión a internet
-	RF	Cuando se hayan terminado de enviar datos a la plataforma, dar la opción al usuario consultar el Geoportal.
<u>Consultar Resultados</u>	RF	Cuando se termine la medición, dar la opción de hacer la consulta sin tener que acceder al Geoportal
-	RF	Mostar los datos dibujados en LabVIEW
-	RF	Si se cierra el programa y se está realizando medición, mostrar mensaje de sugerencia si desea cerrar o no
-	RNF	Los espacios para escribir los datos de frecuencia deben aceptar las letras múltiplo (kHz, MHz, GHz)

### 3.5 Desarrollo Modelo Incremental

De acuerdo con el modelo planteado el desarrollo del sistema se realizó en 4 incrementos, Figura 16.



**Figura 16. Incrementos en el desarrollo del sistema.**

#### Primer Incremento

GeoSpecScanner\_V1.0, Figura 17, desarrollado por el Ms(c). Ingeniero Cesar Camilo Rodríguez, [4]. Esta primera versión contaba con las siguientes funcionalidades:

- Configuración de Frecuencia Inicial y Frecuencia Final.
- Selección de las unidades de amplitud (dBm, dBpW, dBmV, W, A, V, dBuV, dBuA)
- Selección del tipo de trazo (para la gráfica del espectro, Average, Max Hold, Min Hold, Clear Write).
- Configuración manual de RBW (Ancho de Banda del Filtro de Resolución), Atenuación, Nivel de Referencia.
- Almacenamiento y Transmisión de datos a la Plataforma Tecnológica de Servicios.

- Módulo GPS incorporado en el panel frontal del GeoSpecScanner\_V1.0, el cual tiene dos funcionalidades, la de configuración del instrumento y la de visualización y envío de los datos.

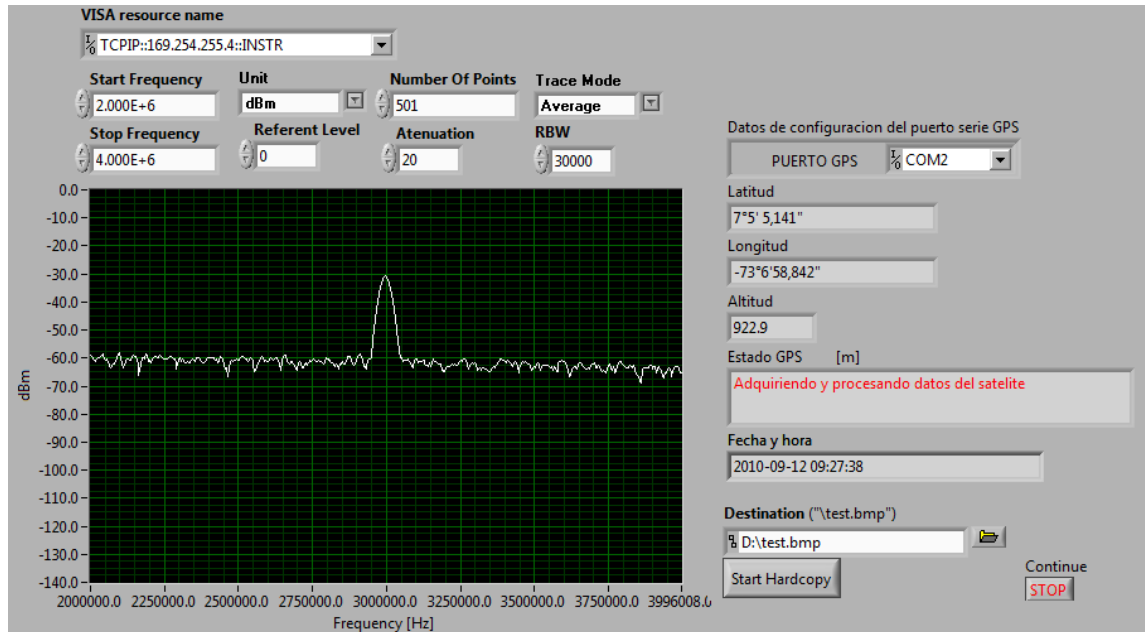


Figura 17 GeoSpecScanner\_V1.0

## Segundo Incremento

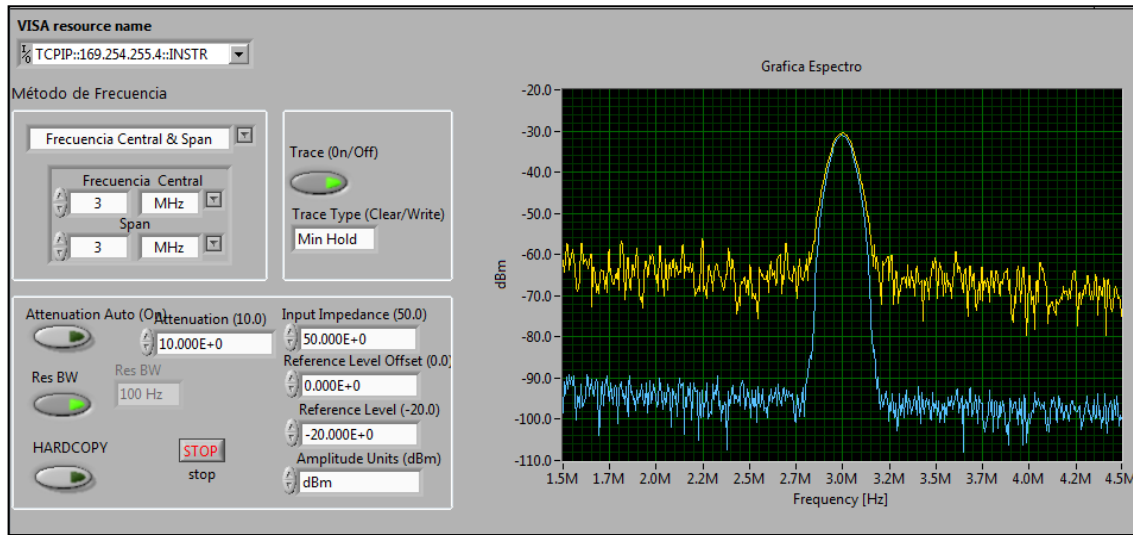
Los autores<sup>13</sup> consideran realizar una herramienta software que use las funciones más importantes que el R&S ZVL6 brinda, y un modulo para la configuración y control del dispositivo GPS. Las Figuras 18 y 19, muestran las primeras versiones desarrolladas por los autores. Las primeras funcionalidades implementadas en el GeoSpecScanner\_V2.0 son las siguientes:

- *Métodos de Frecuencia:* El método de frecuencia le permite al usuario seleccionar si quiere ingresar como parámetros de medición la Frecuencia Inicial y Frecuencia Final o la Frecuencia Central y el Span, en el caso en que el usuario ingrese los valores de dichas frecuencias de manera errónea, el programa le dará la indicación acerca de la causa por la cual el parámetro ingresado está configurando erróneamente, dándole la posibilidad de realizar el cambio al instante. Esta mejora se implementó ya que el GeoSpecScanner\_V1.0 le permitía al usuario el ingreso de cualquier valor de frecuencia, lo cual aumentaba significativamente la posibilidad

<sup>13</sup> Autores: Deisy Carolina Páez Casas, Martin Humberto Soto Argüello, Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas, Escuela de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones, Universidad Industrial de Santander.

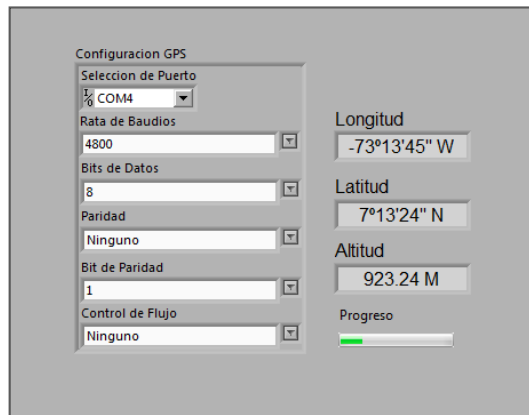
de saturación del equipo al ingresar un valor de frecuencia fuera del rango del equipo.

- *Configuración de Atenuación y RBW de manera automática o manual*, facilitando al usuario el proceso de medición si no cuenta con valores específicos para dichos parámetros.
- *La configuración de un trace (Trace 2) diferente al trace principal*, para poder ver el comportamiento de la señal, tal y como lo permite hacer el R&S ZVL6.



**Figura 18**GeoSpecScanner\_V2.0

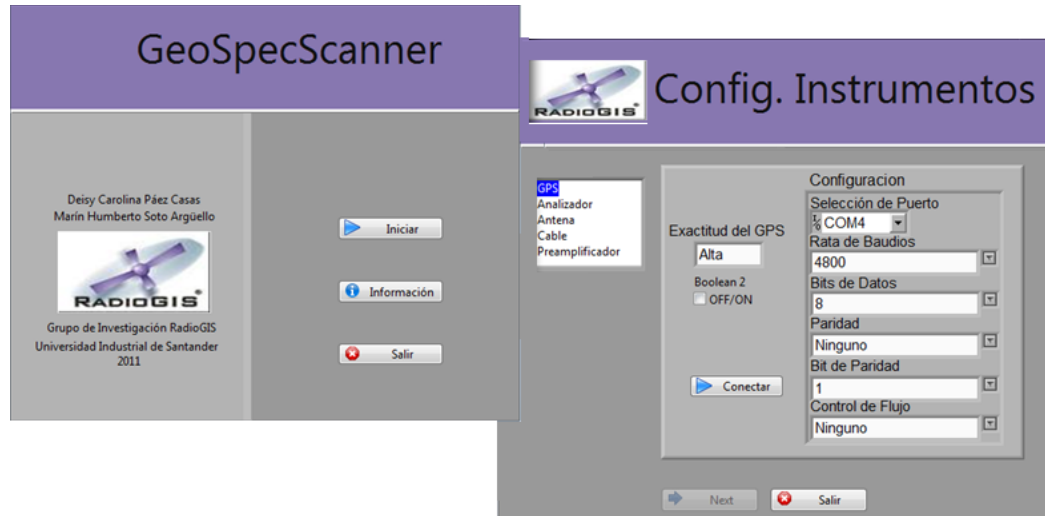
Para obtener las coordenadas, se creó un programa que permite el control y adquisición de datos del GPS, GPS\_V1.0, Figura 19; en esta primera versión funcional del GPS, se introducen los parámetros de configuración del puerto serial y se obtienen los datos correspondientes a Longitud, Latitud y Altura.



**Figura 19** GPS\_V1.0

### Tercer Incremento

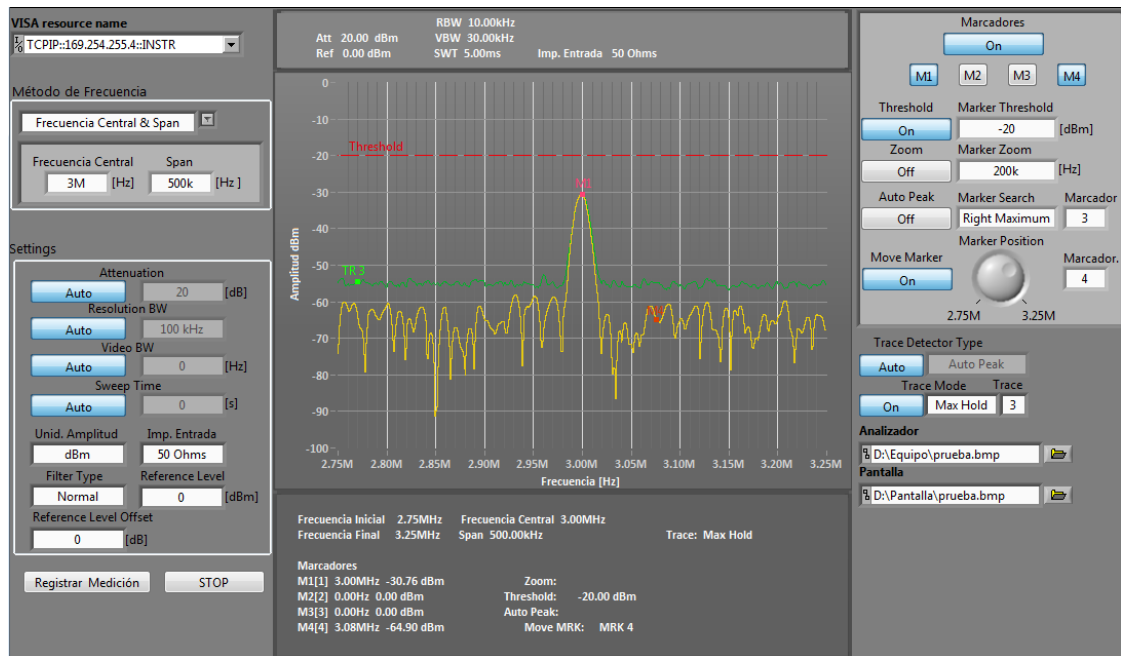
En la tercera etapa de desarrollo, se incorpora al sistema un Módulo de presentación y configuración de instrumentos el cual es la primera interacción del usuario con el sistema, este modulo recibe ahora el nombre de GeoSpecScanner\_V2.01, Figura 20. El desarrollo de esta etapa llevo un tiempo aproximado de cuatro (4) semanas.



**Figura 20 GeoSpecScanner\_V2.01**

El anterior GeoSpecScanner\_V2.01, ahora se conoce como Modulo Analizador de Espectro\_V1.0, Figura 21, incorpora las siguientes funcionalidades:

- Configuración automática y manual de: filtro de Resolución de video, Sweep Time, Tipo de Detector.
- Módulo de Marcadores e incorporación de un segundo trace, Trace 3.
- Módulos de Información los cuales proveen al usuario información en tiempo real de los parámetros configurados en el analizador en el momento en que se está llevando a cabo la medición.



**Figura 21 Módulo Analizador de Espectros\_V1.0**

### Cuarto Incremento

La cuarta etapa, conocida como GeoSpecScanner\_V2.02, es la versión funcional reciente y la cual hace referencia al sistema descrito en este documento, reúne los módulos de Configuración de instrumentos, Analizador de espectro y GPS, los cuales son descritos en el capítulo 4. El modelado final se describe a continuación.

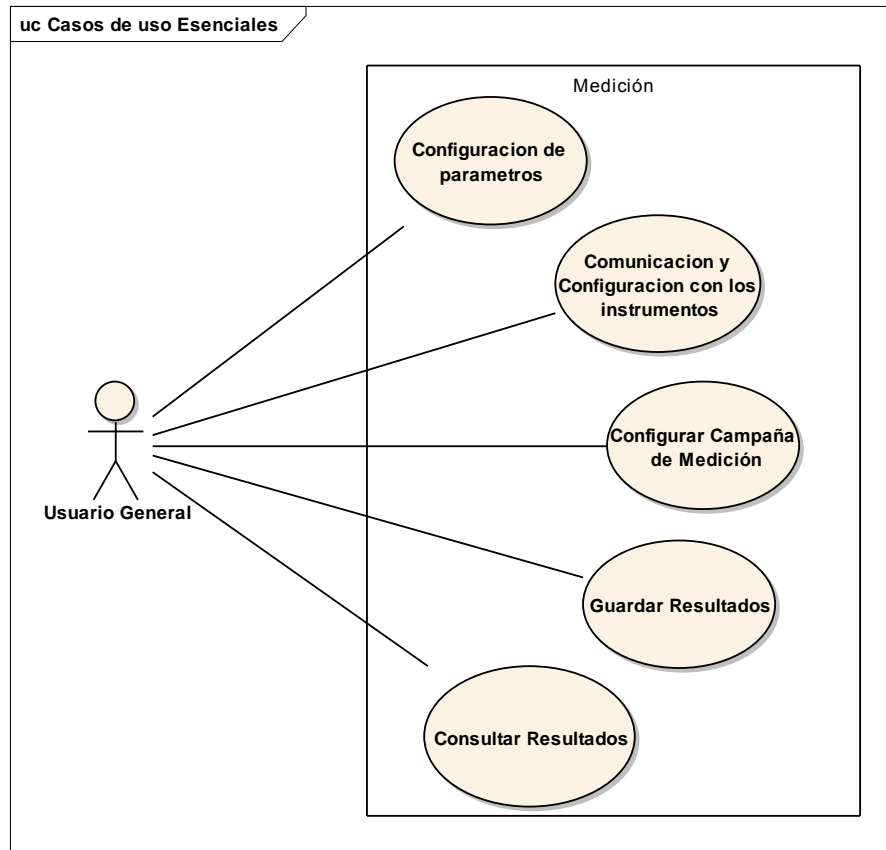
### 3.6 Actores

**Usuario General:** el sistema no tiene restricciones, por lo tanto el usuario general tiene acceso a todas las funciones del sistema.

**Servidor de aplicaciones:** contiene los web services que son consumidos para el registro de los datos.

**Desarrollador:** administrador de los contenidos del software de control. Es el encargado de realizar cambios de acuerdo a las especificaciones del cliente.

### 3.7 Casos de uso esenciales

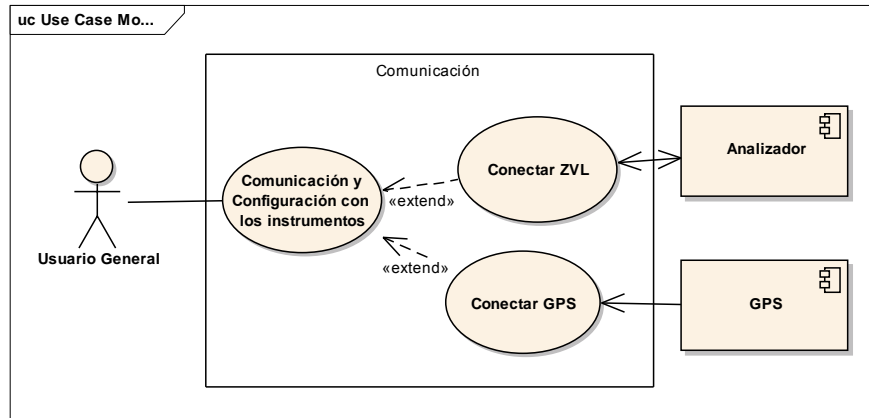


**Figura 22. Casos de Uso Esenciales**

**Tabla 6 Descripción casos de uso esenciales**

<b>Caso de Uso</b>	Medición
<b>Actores</b>	Usuario General – Servidor
<b>Propósito</b>	Controlar el analizador permitiendo la interacción del usuario con el analizador. Automatizar las mediciones mediante la configuración de la campaña. Guardar los datos en el ordenador. Enviar los datos al servidor de RadioGIS.
<b>Precondición</b>	Iniciar el programa. Conectar el GPS y e analizador
<b>Flujo principal</b>	Se presenta la usuario la pantalla de configuración de instrumentos, una vez configurados los instrumentos se muestra la interfaz de control del analizador y siguen consecutivamente las siguientes actividades “Configurar Campaña” “Consultar información” “Registro de datos”

### 3.7.1 Casos de uso detallados



**Figura 23 Casos de Uso Comunicación con Instrumentos**

**Tabla 7 Descripción de caso de uso comunicación**

<b>Caso de Uso</b>	Comunicación con instrumentos
<b>Actores</b>	Usuario General
<b>Propósito</b>	Comunicarse y obtener datos del analizador y del GPS.
<b>Precondición</b>	EL GPS debe estar conectado y debe estar identificado el puerto de la conexión. El analizador debe estar conectado en el puerto de red (LAN)
<b>Flujo principal</b>	Configurar los parámetros del GPS y ejecutar la conexión. Ingresar dirección IP del analizador y ejecutar conexión
<b>Sub Flujo</b>	(S-1) Comunicación con GPS, Lectura de datos del GPS (S-2) Comunicación con Analizador, configuración y lectura de datos del analizador.

**Tabla 8 Descripción caso de uso configurar parámetros**

<b>Caso de Uso</b>	Configuración de parámetros
<b>Actores</b>	Usuario General
<b>Propósito</b>	Obtener medición del espectro desde el analizador configurando parámetros desde la interfaz del usuario.
<b>Precondición</b>	Los instrumentos deben estar conectados.
<b>Flujo principal</b>	Se puede trabajar con las funciones básicas del analizador configuración de parámetros, o se pueden obtener medidas especializadas como comparación por mascarar de espectro, o haciendo campañas de medición automáticas.
<b>Sub Flujo</b>	(S-1) Al activar las mascarar de espectro el sistema entra un modo pre-configurado de acuerdo a la máscara de espectro activada (S-2) Cuando se hace una configuración de campaña de medición el sistema registra mediciones automáticas de acuerdo a la configuración.
<b>Excepción</b>	(E-1) El sistema puede trabajar sin GPS

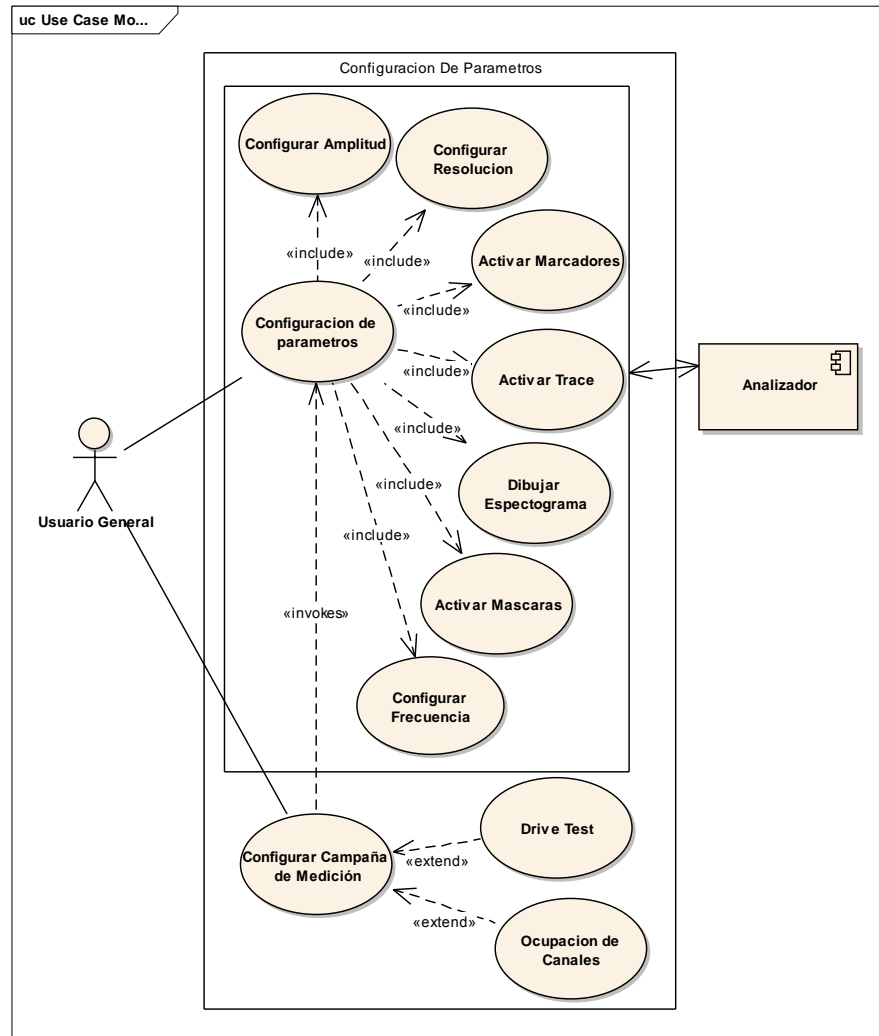


Figura 24 Casos de Uso- Configuración de Parámetros

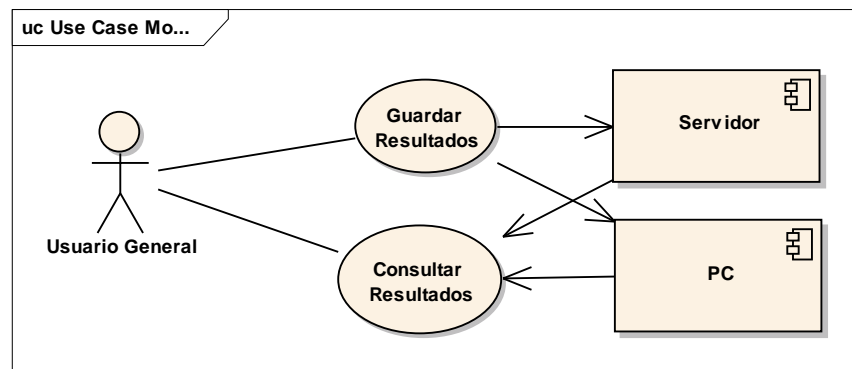


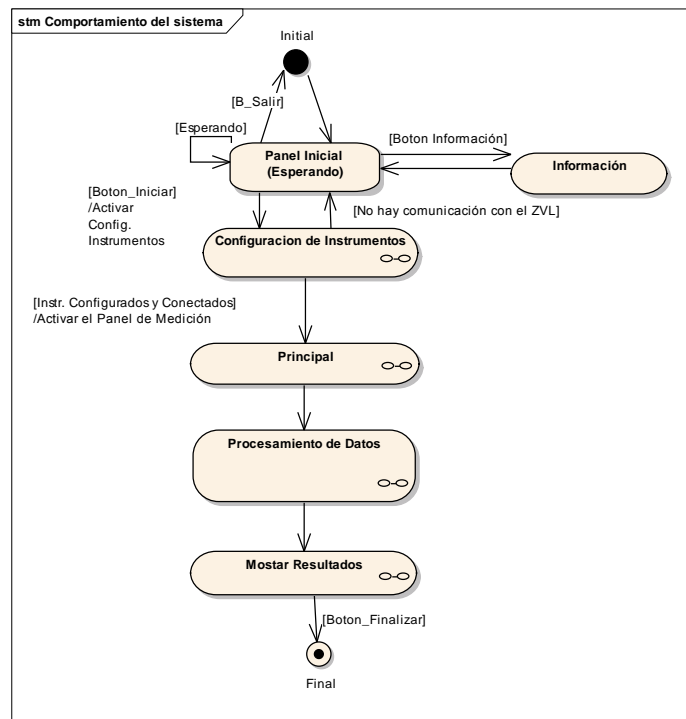
Figura 25 Caso de uso Guardar y consultar datos

**Tabla 9 Descripción caso de uso guardar y consultar datos**

<b>Caso de Uso</b>	Guardar y consultar datos
<b>Actores</b>	Usuario General
<b>Propósito</b>	Generar, guardar y posterior consulta de reportes tanto en el computador como en el servidor.
<b>Flujo principal</b>	Configurar los parámetros del GPS y ejecutar la conexión. Ingresar dirección IP del analizador y ejecutar conexión
<b>Sub Flujo</b>	(S-1) Comunicación con GPS, Lectura de datos del GPS (S-2) Comunicación con Analizador, configuración y lectura de datos del analizador.

### 3.8 Funcionamiento general del sistema

En el diagrama de estados, figura 26, se describe el funcionamiento general del sistema; el primer estado es un panel inicial el cual da opción de iniciar, salir, solicitar información o realizar consulta. Si la opción es iniciar el siguiente panel que se despliega permite configurar los instrumentos e iniciar la conexión. Se puede continuar sin conexión con el GPS, más no sin el analizador, luego se despliega el panel principal de control de analizador tiene la opción de configurar los diferentes parámetros de frecuencia, amplitud y resolución, se puede configurar una campaña de medición. Más adelante se explica detalladamente cada uno de los estados.



**Figura 26 Diagrama de Estados del Sistema.**



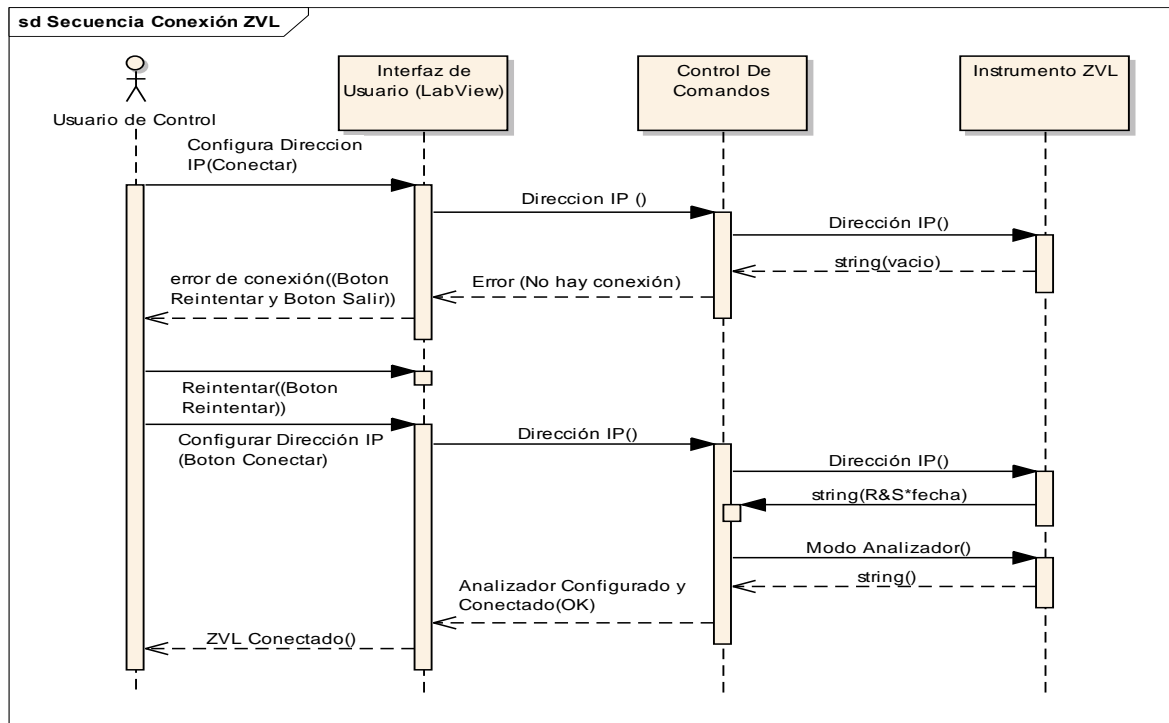


Figura 28 Diagrama de Secuencias del Analizador.

Si el usuario selecciona la opción es *reintentar* como muestra la Figura 28, el control de comandos realiza un nuevo envío de la dirección IP al Instrumento (ZVL), cuando se compruebe que se estableció la conexión, de ser así, el programa le indica al usuario que la conexión se ha llevado a cabo y este ya podrá seguir con la ejecución normal del programa.

### 3.8.3 Configuración y Comunicación con el GPS

El diagrama de secuencias mostrado en la Figura 29, corresponde a la interacción del usuario con el módulo GPS. El usuario realiza la configuración de los parámetros del puerto serial y la exactitud que desea para la medición en el panel de configuración de GPS, posteriormente se inicia el proceso de captura de los datos, mediante el puerto USB y el Driver VISA de LabVIEW, se realiza la serie de lectura de las coordenadas, el cual depende del nivel de exactitud especificada por el usuario.

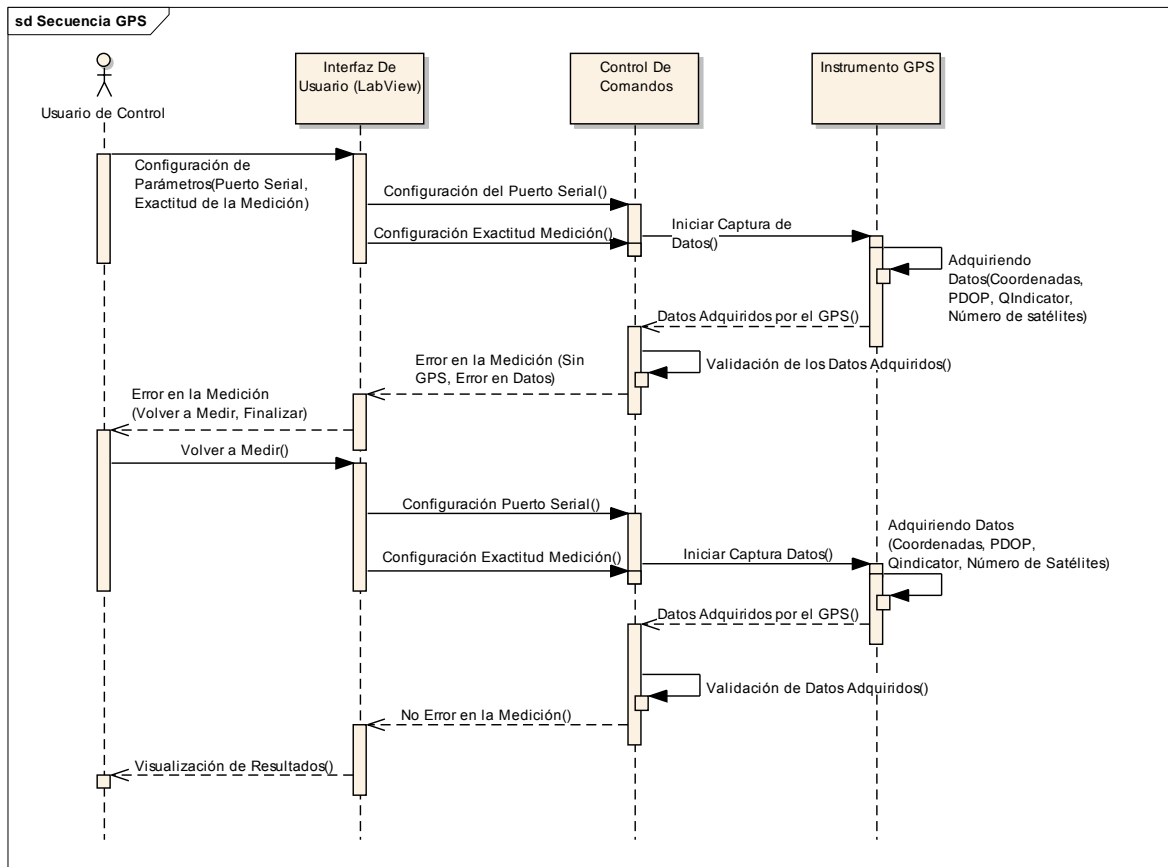


Figura 29 Diagrama de Secuencia de GPS

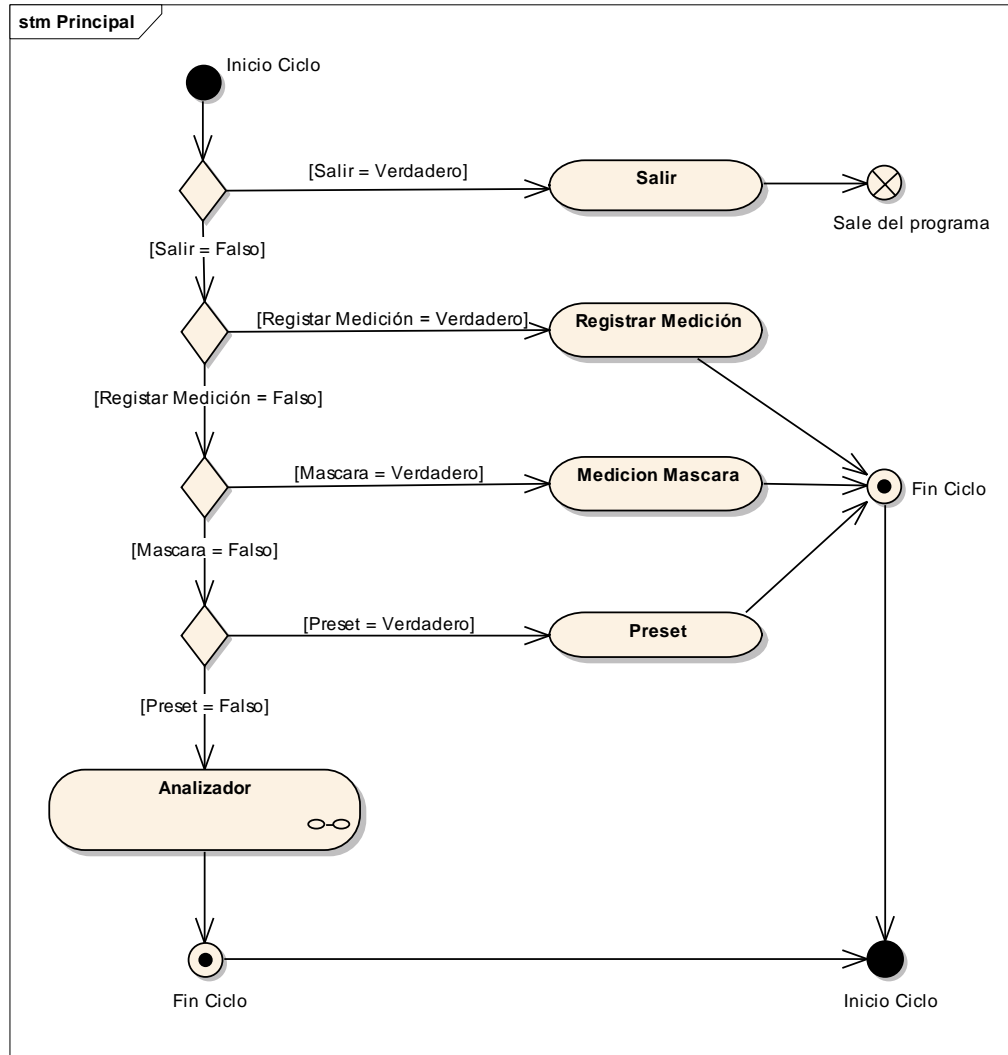
Una vez adquiridos los datos (Latitud, Longitud, Altura, PDOP, Quality Indicator y Número de Satélites conectados) y de acuerdo a las comparaciones que realiza el programa, Tabla 5, internamente de acuerdo a los parámetros preestablecidos para obtener la exactitud deseada de la medición, se le indica al usuario si ha habido o no error en la adquisición de las coordenadas.

Si ha habido un error en la adquisición de las coordenadas el usuario puede volver a realizar una nueva adquisición de las coordenadas geográficas del punto donde está realizando la medición, hasta que obtenga los resultados esperados, en otro caso es de vital importancia obtener un resultado exacto de las coordenadas del punto, el usuario puede continuar y las coordenadas que adquirió serán las que se utilicen durante la ejecución del programa.

### 3.8.4 Panel principal

En el primer ciclo nos aseguramos empezar en el estado analizador, en este panel se presentan todas las funciones del analizador, se dan las siguientes opciones: *salir* abandona el programa, *registrar* medición de campaña drive test, *medición con mascara* este estado

cuenta con diferentes mascararas de comparación, las cuales permiten un análisis rápido de el espectro, en la opción *Preset* se inicializan en los valores preconfigurados en el analizador [18]



**Figura 30 Diagrama Panel Principal**

#### 4 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA

El sistema para el monitoreo del espectro GeoSpecScanner es diseñado teniendo en cuenta las ventajas que brinda el analizador de redes ZVL, como lo son la facilidad de conexión y control. El componente clave en el sistema es la interfaz, la cual permite el control, la configuración del analizador de espectros mediante el uso de un computador portátil y un software especializado (LabVIEW) entre el analizador de espectro y el computador portátil, GeoSpecScanner, el sistema también incluye un dispositivo GPS el cual provee las coordenadas de posición del punto que se está midiendo como apoyo al proceso de georeferenciación de los datos; el software aparte de encargarse del control y configuración de los instrumentos, también se encarga del registro y transmisión de los datos a al servidor en línea. La Figura 28, muestra el esquema de conexión de los instrumentos.

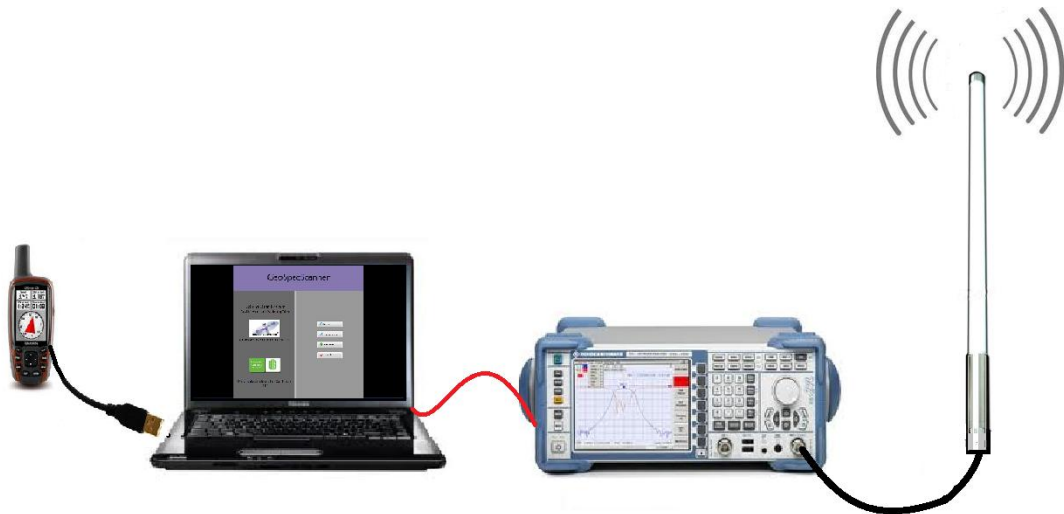


Figura 31 Sistema para el Monitoreo del Espectro.

Los instrumentos que componen el sistema son:

**Antena receptora:** Encargada de proporcionarle al receptor la entrada, la cual generalmente es una señal de radiofrecuencia.

**Analizador de espectro:** El analizador de espectros es el componente principal del sistema ya que es quien procesa la señal adquirida por la antena, representándola en el dominio de la frecuencia. Una buena configuración de los parámetros del analizador, asegura el éxito en la medición, por tanto es clave que el operario que utiliza la herramienta tenga los conocimientos básicos en los procesos de medición y caracterización de los parámetros de las señales en el dominio de la frecuencia.

**GPS:** el receptor GPS empleado en el sistema de medición el cual se comunica vía GPS.

**El software GeoSpecScanner:** configura y controla el Analizador de Espectro ZVL y el GPS, el sistema puede hacer mediciones sin comunicación con GPS, mas sin embargo es inadmisibles que el programa se ejecute sin conexión con el analizador. GeoSpecScanner es un software intuitivo de fácil uso, el usuario puede interactuar con cada uno de los módulos del sistema, puede acceder a los diferentes paneles de información y control.

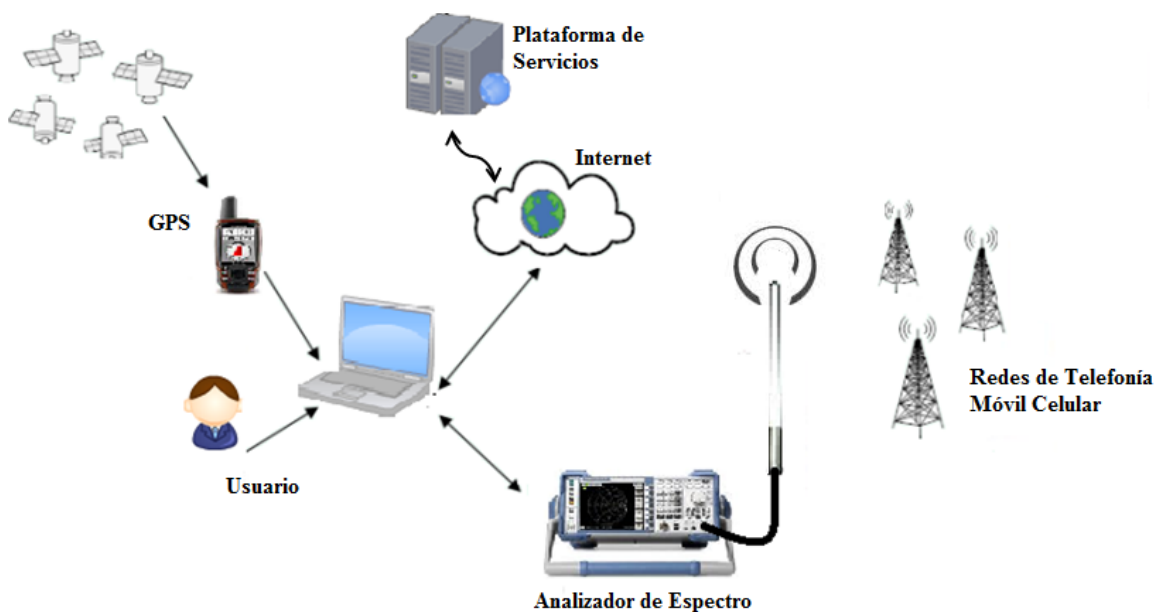
El software dispone tres estados principales:

**Estado 1:** Modo analizador en este estado el usuario puede usar todas las herramientas de análisis, tales como, marcadores, trazes, detectores, comparación de parámetros con mascararas de espectro predeterminadas. En este modo no obliga conexión con el GPS.

**Estado 2:** Medición Drive Test, o medición de cobertura, en esta edición se define un número de puntos a lo largo de una ruta. Obliga el uso del GPS.

**Estado 3:** Automático, medición de ocupación de canales, hace el recorrido en una banda de frecuencia definidos en un N número de canales definidos por el usuario repetidamente durante un tiempo igualmente especificado por el usuario. No obliga el uso del GPS, puesto que la posición no debe cambiar durante la ejecución de la medición, mas sin embargo es recomendable obtener las coordenadas del lugar de la medición y relacionarlas con los datos.

Los estados 2 y 3, se denominan campaña de medición



**Figura 32 Diagrama General del Sistema.**

La Figura 32, representa el diagrama general del sistema, ya que si bien se está llevando a cabo la medición en una estación fija o móvil, el sistema funcionará de la misma forma. El usuario realizara la configuración, control y adquisición de datos (Coordenadas geográficas, Espectro de una señal), empleando el Software (GeoSpecScanner) que tiene instalado en su computador, una vez adquiridos los datos el usuario determina si quiere o no enviar estos datos (vía internet) a una base de datos que se encuentra dispuesta para esto en el servidor del Grupo de Investigación RadioGIS.

#### 4.1 Panel Frontal.

El panel frontal, Figura 33, es la primera interacción entre el usuario y el sistema; el usuario puede seleccionar cualquiera de las cuatro opciones que aquí se encuentran: iniciar, información, consulta o salir.



Figura 33 Panel Frontal-GeoSpecScanner

A continuación se describen cada una de las opciones presentes en el panel frontal.

- **Iniciar:** Cuando el usuario ingresa a la opción iniciar, el programa desplegará el panel correspondiente al módulo de configuración de instrumentos, una vez el usuario

configure los instrumentos y valide la conexión con el ZVL, se desplegará el módulo analizador de espectro donde se encontrará con todas las funcionalidades que este ofrece.

- **Información:** La opción información presenta el reporte de la información correspondiente a la última medición realizada por el usuario o justo antes de salir del módulo analizador de espectro.
- **Consulta:** Permite al usuario tener acceso al Geoportal, donde se puede comprobar que los resultados de la medición han sido enviados correctamente si el usuario trabajo con conexión o donde simplemente puede realizar la consulta de otra medición previamente realizada.
- **Salir:** La opción salir da por terminada la ejecución del programa.

#### 4.2 Módulo de Configuración de Instrumentos.



**Figura 34** Módulo Configuración de Instrumentos

En el módulo Configuración de Instrumentos, Figura 34, se configuran cada uno de los instrumentos a ser utilizados en la cadena de medida, Analizador de Espectro-ZVL,

Dispositivo GPS, así mismo permite al usuario de declarar las especificaciones de la Antena, el cable y la ganancia de un preamplificador si este fuera empleado; estas especificaciones son netamente informativas, el usuario puede o no especificar estos parámetros.

#### 4.2.1 Módulo GPS

El módulo GPS, Figura 35, se encarga de la adquisición de las coordenadas geográficas correspondientes a la zona o sitio de interés donde se esté llevando a cabo la medición, con el fin de enviar la información georeferenciada al servidor para posteriormente ser visualizada en el Geoportal; la georeferenciación permite dar un mayor grado de exactitud al proceso de medida, reduciendo la posibilidad de cometer algún tipo de error al momento de realizar la localización geográfica de la zona o sitio medido de forma manual.

El principio fundamental del módulo GPS, se basa en el nivel de exactitud que el usuario considere necesario para llevar a cabo la medición, este nivel de exactitud determina la calidad de las coordenadas geográficas que serán capturadas por el receptor y posteriormente enviadas al servidor para la georeferenciación de los datos obtenidos en la medición.



Figura 35 Módulo GPS

El módulo GPS tiene tres niveles de exactitud, *ALTA*, *MEDIA* y *BAJA*; para comprobar el cumplimiento del nivel de exactitud que el usuario ha ingresado el sistema debe hacer una validación teniendo en cuenta tres parámetros que se encuentran en la trama NMEA los cuales son:

- **El número de satélites que se encuentran conectados**, la calidad de los datos recibidos por el receptor GPS, dependen en buena manera de la cantidad de satélites que este en la capacidad de ver en el momento de realizar la triangulación, se dice que para que la lectura del GPS sea lo más precisa y exacta en cuanto a la Altitud, el receptor debe ver como mínimo cuatro (4) satélites.
- **GPS Quality Indicator**, Cuando la lectura de este valor en la Trama NMEA es de uno, indica cuando el receptor GPS está enganchado al Sistema de Posicionamiento Global (GPS).
- **PDOP (Positional Dilution Of Precision)**, También llamada Disminución de la precisión, la cual permite definir la precisión de la posición de un receptor en tres dimensiones [16]

La adquisición, el procesamiento y la visualización de las coordenadas geográficas obtenidas por el GPS, se realiza como se muestra en la Figura 36.

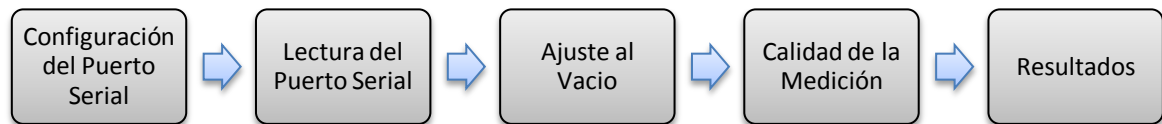


Figura 36 Diagrama de Bloques Módulo GPS

### 1. Configuración del Puerto Serial.

La configuración del puerto serial se lleva a cabo en el panel principal del módulo de Instrumentos, donde se configuran los siguientes parámetros:

- **Selección del Puerto:** Se selecciona el puerto COM que se le asigna al GPS, el usuario debe conocer con anterioridad el puerto COM asignado al GPS, esto se puede llevar a cabo mirando las conexiones de los puertos directamente en el computador.

Para llevar a cabo las pruebas de funcionamiento del módulo GPS y del GeoSpecScanner, se emplea el GPSmap 62s Figura 38, el cual trabaja un protocolo propio, llamado Protocolo Garmin; este protocolo no es compatible con el protocolo

NMEA, por tanto se necesita la conexión del GPS mediante puerto USB al computador usando el programa Franson GpsGate 2.6 [9], mediante el cual se logra que el GPS Garmin sea reconocido como un GPS NMEA y así poder extraer las tramas NMEA para la extracción de los parámetros, este programa también le permite conocer al usuario en que ubicación del puerto COM la cual se especifica en la pantalla de configuración del Franson GpsGate.

- **Rata de Baudios:** Configura el número de Bits por segundo que son transmitidos. El valor por defecto en el módulo GPS es de 9600 Baudios, aunque el Protocolo NMEA 0183 define que el valor por defecto podría ser 4800 Baudios, la configuración de la Rata de baudios depende de las características del instrumento (GPS) que será empleado en la medición.
- **Bits de Datos:** Cantidad de Bits o tamaño del paquete de la información que serán transmitidos, pueden tomar valores de 5, 7 y 8. El valor por defecto es de 8 Bits.
- **Paridad:** Se introduce un Bit de paridad cuando se quiere detectar errores durante la transmisión de la información, la paridad puede ser PAR, cuando se agrega un octavo al inicio de la trama de tal forma que la cantidad de 1 (unos) sea par, y paridad IMPAR, cuando se agrega dicho Bit, obteniendo un número impar de 1 (unos). El programa tiene como valor asignado la no utilización de algún tipo de paridad *Ninguno*.
- **Bit de Parada:** Se utiliza el protocolo 8N1, 8 bits de datos, No bit de paridad y 1 Bit de parada, el bit de parada especifica el número de bits de parada que serán utilizados para especificar el final de la trama. [14]
- **Control de Flujo:** El receptor le indica al emisor que cuenta con espacio libre para llevar a cabo la transmisión de la información; El control de flujo puede ser del Hardware RTS/CTS o por Software XON/XOFF. En este caso no se usa control de Flujo.

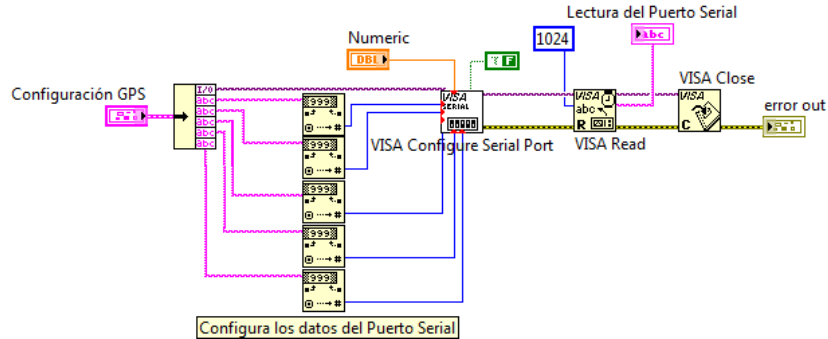
## 2. Lectura del Puerto Serial.

Recibe los parámetros previamente configurados en la etapa de configuración del puerto serial, entrega el buffer de lectura que contiene la Trama NMEA 0183 completa leída por el GPS y el indicador de error de lectura del mismo.

En este SubVI, Figura 37, se configura el buffer de lectura usando la herramienta VISA de LabVIEW y se obtiene la trama NMEA proveniente del GPS; Se emplea el VISA Configure Serial Port VI<sup>14</sup>, con el uso de este y teniendo en cuenta la Configuración realizada con anterioridad se inicializa el puerto serial que será utilizado; el tamaño del Buffer que se configura en Visa Real es de 1024 bytes, ya que asegura que se obtiene un

<sup>14</sup> Virtual Instrument, abreviatura para designar un instrumento virtual programado desde LabVIEW.

buen número de sentencias de la trama NMEA, lo cual es clave para la extracción de los parámetros de Longitud, Latitud, Altura entre otros en las etapas posteriores a la lectura del puerto serial.



**Figura 37 Configuración del Puerto Serial.**

Para llevar a cabo las mediciones de comprobación del funcionamiento del sistema presentadas en el Capítulo 5, se emplea el GPS Garmin GPSmap 62S, Figura 38. Este GPS fue adquirido por el Grupo de Investigación RadioGIS para apoyar las labores de georeferenciación de los datos obtenidos de las campañas de medición que adelanta el grupo en los diversos proyectos que desarrolla.



**Figura 38 Garmin GPSmap 62s.**<sup>15</sup>

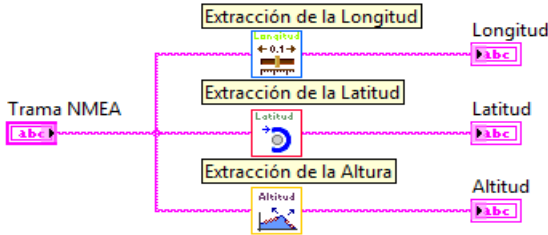
Los GPS Garmin tienen un propio protocolo de comunicación así como el Protocolo NMEA 0183, llamado Garmin Protocol (GRMN Simplified Communication Protocol), una de las ventajas de usar los GPS Garmin es que cuentan con una alta sensibilidad, es adecuado para el trabajo en campo, además de contar con una interfaz de usuario para la visualización de los datos de una manera clara y ofrecerle diversos tipos de medición como

<sup>15</sup> Fuente <http://www.garmin.com/us/>



#### 4. Extracción de Datos

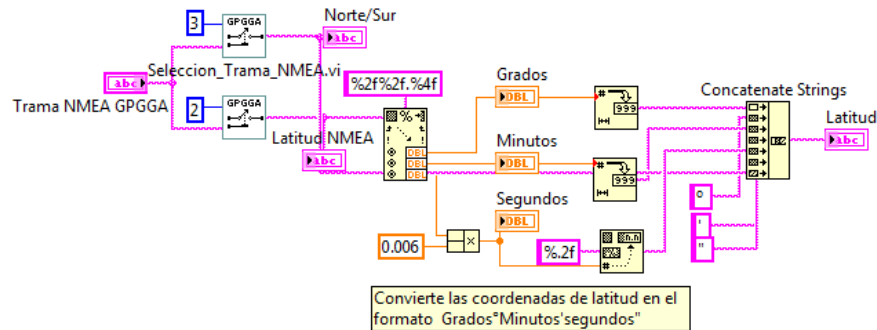
La extracción de los datos hace referencia a la Longitud, Latitud y Altura, parámetros claves en la georeferenciación de los datos obtenidos en la medición; para la obtención de estos tres parámetros se usa el mismo principio como se muestra en la Figura 40, cada uno de estos tres SubVI recibe la trama NMEA proveniente del ajuste al vacío.



**Figura 40 Extracción de Datos**

Internamente cada uno de los SubVI mostrados en la Figura 40, contienen un SubVI llamado Selección\_Trama\_NMEA\_V1.0 y una posterior etapa de adecuación de los datos como se muestra en la Figura 41, correspondiente al SubVI que permite la extracción de la Latitud de la Trama NMEA.

Se puede observar que las entradas al módulo de Selección\_Trama\_NMEA\_V1.0, son 2 y 3, las cuales corresponden a la Latitud y a la orientación de la Latitud (Norte o Sur) respectivamente y como se muestra en la Figura 10, posterior a los SubVI de extracción se encuentra una etapa de adecuación de datos la cual permite que los datos extraídos de la Trama NMEA GPGGA, puedan ser visualizados adecuadamente por el usuario en el panel frontal del Módulo GPS.



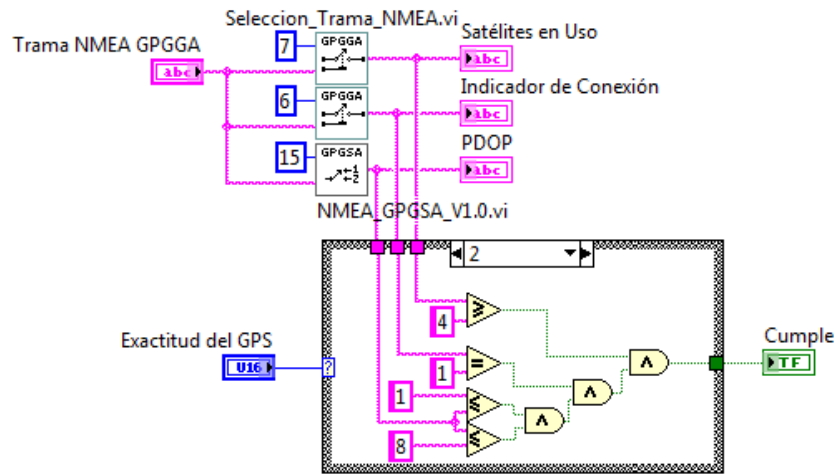
**Figura 41 Extracción de Latitud**

El mismo procedimiento se usa en la extracción de la Longitud, Altura, Indicador de calidad y número de satélites en uso; para la extracción del PDOP (Disminución de la Precisión), se utiliza un SubVI similar al empleado para obtener los parámetros

anteriormente mencionados pero con la diferencia en que no reconocen la sentencia GPGGA sino la GPGSA. Figura 11.

**5. Calidad de la Medición**

Para llevar a cabo el proceso de verificación de la calidad de la información obtenida del GPS, se realiza un proceso similar al implementado en extracción de datos ya que se hace necesario extraer de la Trama NMEA proveniente de ajuste al vacío información tal como el número de satélites en uso, el indicador de conexión (los dos presentes en la sentencia GPGGA) y el PDOP (Positional Dilution Of Precision), el cual se obtiene empleando un SubVI igual a Selección\_Trama\_NMEA\_V1.0, pero que en vez de utilizar la sentencia GPGGA, utiliza la sentencia GPGSA, este SubVI se llama NMEA\_GPGSA\_V1.0, Figura 42.



**Figura 42 Calidad de la Medición.**

Una vez se obtienen estos tres parámetros, y de acuerdo nivel de exactitud ingresado por el usuario, se procede a hacer la comparación correspondiente, presentada en la Tabla 5.

**Tabla 10 Parámetros de Calidad-GPS**

Nivel de Exactitud	ALTA	MEDIA	BAJA
N° de medidas	10	5	3
Satélites en Uso	4	4	4
Ind. De Conexión	1	1	1
PDOP	$1 \leq PDOP \leq 4$	$1 \leq PDOP \leq 6$	$1 \leq PDOP \leq 8$

Dependiendo de si se cumple o no con las desigualdades correspondientes a cada uno de los niveles de exactitud, el módulo o SubVI enviará una señal la cual una vez se termine el proceso de medición o adquisición de los datos por medio del GPS, alertando al usuario del cumplimiento o no de alguno de los parámetros previamente establecidos, dándole al usuario la opción de repetir la medición si el usuario lo considera pertinente o de lo contrario se procederá a utilizar la información obtenida en la parte de resultados.

## 6. Resultados

Los resultados obtenidos de este modulo GPS son: Longitud, Latitud, Altura, Número de Satélites en uso, PDOP e Indicador de la conexión y una barra de progreso que indica el estado actual de la medición, estos resultados son presentados de forma visual en el programa principal del GPS, como se muestran en la Figura 35.

## 7. Errores

Para el uso adecuado del programa GPS, se desplegarán cuatro avisos que serán importantes para la ejecución del mismo.

- a) Cuando los datos extraídos de la Trama NMEA no cumplen con los criterios de calidad anteriormente mencionados, se le hace saber al usuario mediante *“Ha habido un error en la medición, ¿Desea volver a medir?”*, si el usuario decide realizar de nuevo la medición, el programa lo hará automáticamente, si no desea medir una vez más el programa desplegará el segundo aviso informativo b).
- b) *“GPS Configurado con error”*, indica al usuario que la lectura del GPS no cumple con el nivel de exactitud que ha seleccionado.
- c) *“GPS Configurado”*, Cuando el GPS se ha configurado satisfactoriamente.
- d) *“Configuración sin GPS”*, Cuando no hay lectura del GPS o error en la adquisición de los datos, el programa se configura sin GPS y las coordenadas de salida y demás parámetros son configurados en cero.

#### 4.2.2 Módulo Analizador de Espectro

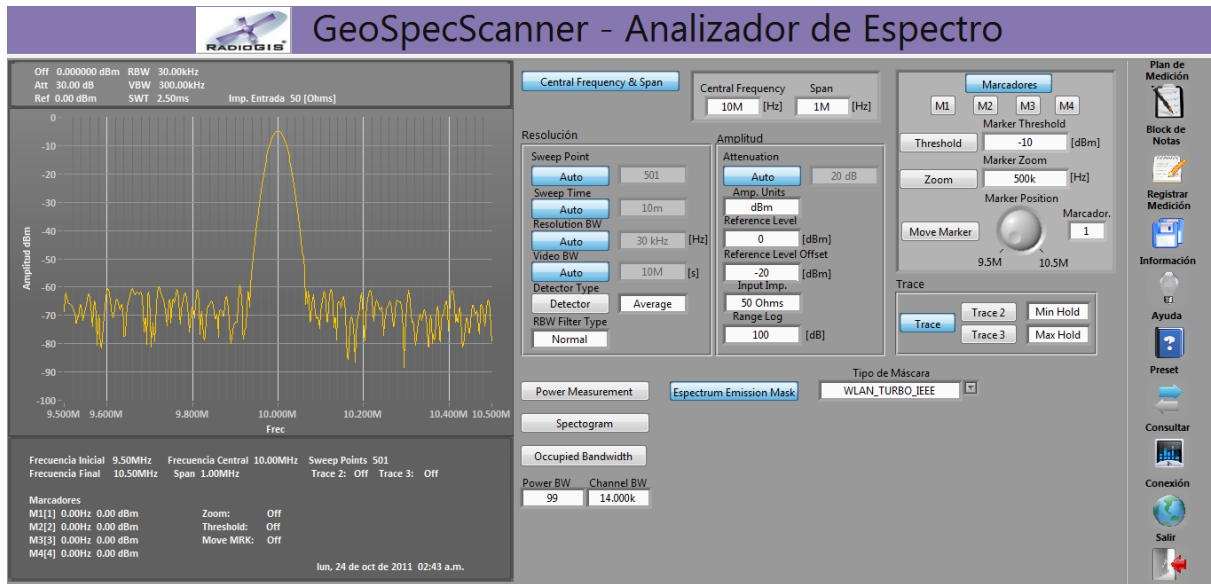


Figura 43 Módulo Analizador de Espectro.

El módulo analizador de espectros, Figura 43, provee al usuario funcionalidades básicas con las que cuenta el ZVL6 en su modo analizador de espectro, además de ser usado como un analizador de espectros básico, se pueden llevar a cabo tres tipos de mediciones las cuales se explican a continuación.

#### 4.2.3 Modo Analizador de Espectro Básico.

El módulo Analizador de Espectro, contiene las funcionalidades básicas propias del R&S ZVL6, como lo son el Preset, la configuración de frecuencia, configuración de parámetros de resolución y amplitud.

Igualmente cuenta con herramientas de evaluación para el análisis de los resultados de la medición, como lo son los marcadores, el modo analizador permite la activación de uno a cuatro marcadores M1, M2, M3 y M4, el Threshold, zoom alrededor de un marcador y mover un marcador seleccionado a lo largo de la gráfica principal del espectro, además de dos tipos diferentes de traces (Trace 2 y 3), los cuales muestran información adicional de la grafica del espectro como lo son el promedio o Average, puntos máximos Max Hold, y mínimos, Min Hold, entre otras funcionalidades.

Mediante el uso del modo analizador de espectro el usuario puede acceder a tres modos de medición, El modo de Medición de Ancho de Banda (Occupied Bandwidth), el Modulo de Medición de Emisiones no deseadas, (Medición con Mascaras de Espectro- Spectrum Emission Mask y Mediciones no esenciales- Spurious) y la medición con Espectrograma.

#### 4.2.4 Módulo de Medición de Ocupación de Ancho de Banda (Occupied Bandwidth)

*“Anchura de banda ocupada: Anchura de la banda de frecuencias tal que, por debajo de su frecuencia límite inferior y por encima de su frecuencia límite superior, se emitan potencias medias iguales cada una a un porcentaje especificado,  $\beta/2$ , de la potencia media total de una emisión dada. En ausencia de especificaciones en una Recomendación UIT-R para la clase de emisión considerada, se tomará un valor de  $\beta/2$  igual a 0,5%”. [22]*

La medición de Ocupación de Ancho de Banda de Canal, se emplea en el proceso de análisis de medición de ocupación de canal ya que determina cuanta porción del canal está siendo ocupada si definimos la anchura de banda en un valor dado, por ejemplo, si se tiene un canal con un ancho de banda de 10MHz y se define que se va a medir la ocupación de ancho de banda a un 99% , por tanto los limites inferior y superior serán del 0,05% y se recibe una lectura de ocupación de ancho de banda de canal correspondiente 1.5MHZ, indica que no se está ocupando todo el canal.

#### 4.2.5 Medición de Emisiones no deseadas.

En este modulo del analizador se llevan a cabo las mediciones de emisiones no deseadas, las cuales se convierten en una de las principales tareas de los servicios de monitoreo, como lo son las emisiones fuera de banda, con el uso de máscaras de espectro y emisiones no esenciales.

- **Emisiones Fuera de Banda:** La función principal de la medición de emisiones fuera de banda, es la de verificar la conformidad del resultado de la medición de una emisión comparándola con una máscara de emisión dada en un estándar o una recomendación; esto se logra basándose en la comparación de la densidad de potencia del espectro de una emisión en un cierto ancho de banda de la medición y el uso de una de las máscaras mencionadas anteriormente. Este método solo funciona si existe una relación entre el ancho de banda de referencia y el ancho de banda de la máscara utilizada. [10]

Para llevar a cabo la medición usando las máscaras de espectro, se parte del uso del modo Analizador de Espectros (Frecuencia Central, Span, y todos los parámetros que el usuario considere necesarios para poder aplicar posteriormente la máscara de espectro, el usuario debe asegurarse que el nivel de la atenuación sea configurado en el menor valor posible para que no haya compresión de la señal), y la configuración previa de un plan de medición (Drive Test), si fuera el caso, [10].

Una vez el usuario haya realizado la respectiva configuración de la señal, seleccionará el tipo de máscara que quiere emplear de la lista que se encuentra en el panel frontal donde se indica la medición con máscaras de espectro, las máscaras de medición del espectro corresponden a estándares que han sido precargados en el R&S ZVL6, y que se encuentran en formato .xml, las cuales pueden ser seleccionadas por el usuario en el panel frontal del modo analizador, las máscaras que se encuentran implementadas en esta opción corresponden a:

Máscaras **cdma200** (Acceso Múltiple por División de Código) y **WCMA** (Acceso Múltiple por División de Código de Banda Ancha), son sistemas de comunicaciones móviles celulares de tercera generación (3G), se caracterizan por ser redes de banda ancha útiles en los sistemas móviles inalámbricos que ofrecen servicios de transmisión de datos, internet y aplicaciones de multimedia a velocidades más altas, en comparación a los servicios de ofrecen los sistemas de segunda generación (2G). [29]

Según la IMT-2000<sup>16</sup>, se designa el uso de WCMA a los operadores de telefonía móvil GSM (Global System for Mobile) que operan en el espectro a 2GHz, y los servicios de cdma200 a operadores que operen en la banda de los 800 a 1900 MHz. Las limitaciones de las tecnologías de tercera generación es que operan consumiendo un amplio rango de frecuencia, debido a que son sistemas de baja eficiencia radioeléctrica, lo que quiere decir que necesita una mayor cantidad de espectro para transmitir información, estas limitaciones hacen necesario el monitoreo y gestión adecuados de las redes de tercera generación para corroborar el cumplimiento de las licencias otorgadas a los operadores y la vigilancia en cuanto a interferencias producidas por este tipo de servicios.

**WiMAX** (Worldwide Interoperability for Microwave Access) o sistema IEEE 802.16<sup>17</sup>, utiliza frecuencias de onda de radio en el rango de frecuencias de 2.3 GHz a 3.5 GHz, se caracteriza por ser uno de los servicios que ofrece mayor facilidad de instalación de antenas en zonas generalmente rurales en donde es más difícil llevar tecnologías de última generación ya que los costos de instalación y mantenimiento de la red son más elevados por usuario que los que ofrece WiMAX, una de las características principales de WiMAX es que su velocidad de transmisión se incrementa dependiendo del ancho de banda disponible, lo que no sucede con los servicios de área local o WiFi.

**WiBro**, es la variante de WiMAX para el acceso a internet móvil recientemente desarrollada, permite el uso de las comunicaciones inalámbricas en terminales en

---

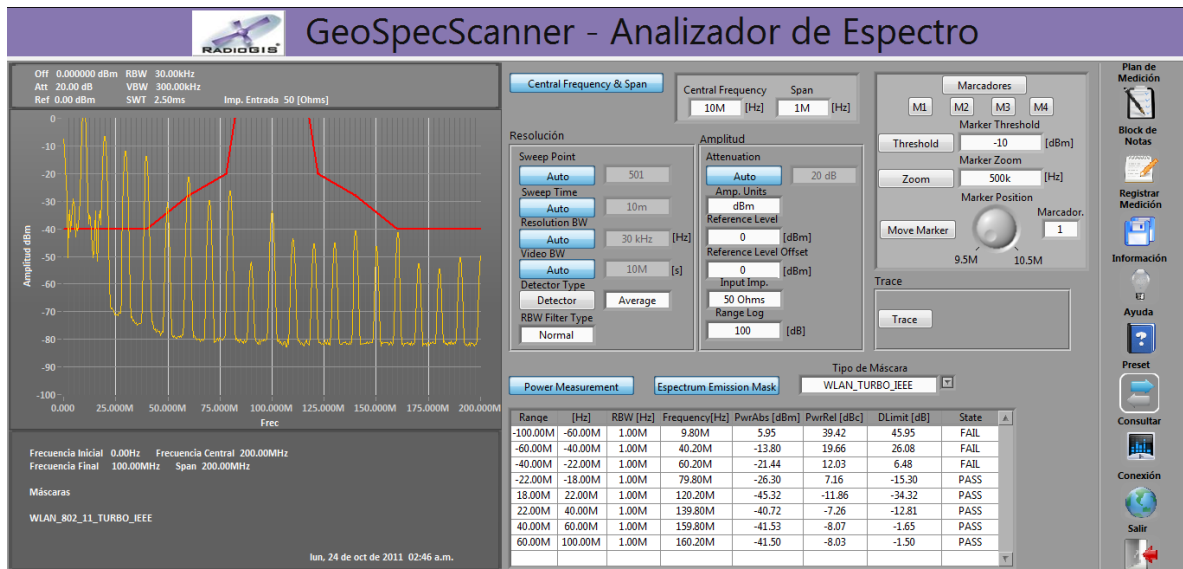
<sup>16</sup> IMT-2000, Telecomunicaciones Móviles Internacionales 2000, estándar definido por la UIT para redes de comunicación inalámbrica de tercera generación.

<sup>17</sup> Especificación para las redes de acceso metropolitanas a redes inalámbricas de banda ancha fijas, publicada por el comité IEEE 802 el 8 de abril de 2002. Para mayor información visite: <http://www.ieee802.org/>, consultado 18 de Octubre de 2011

movimiento; desarrollado en Corea donde se le asigno un espectro electromagnético de 100MHz y opera en el intervalo de frecuencias de 2.3 a 2.4 GHz<sup>18</sup>.

**WLAN** o red de área local inalámbrica, universalmente las redes WLAN utilizan frecuencias de 2.4 GHz de acuerdo con el estándar IEEE 802.11b/g<sup>19</sup> y de 5GHz estándar 802,11a, WLAN es generalmente utilizada en servicios que requieran la interconexión de varios usuario con una red internet, WLAN se le conoce actualmente a los servicios de Wi-Fi, los cuales utilizan las Frecuencias de Radio (RF) para la transmisión de información prescindiendo del uso de cables u otras interconexiones<sup>20</sup>.

Una vez seleccionada la máscara, el usuario puede ingresar al modo Medición con Máscaras de Espectro, accionando en Botón ***Spectrum Emission Mask***, Cuando se ingresa al modo medición con máscaras de Espectro, en la grafica correspondiente al espectro en el panel frontal, se podrá visualizar la forma de la máscara seleccionada (rojo) y el espectro de la señal que estamos analizando (Amarillo), Figura 44 ; en el panel frontal se desplegará una tabla donde se encuentran los valores de los rangos, la configuración del RBW y frecuencias características del estándar seleccionado y la señal Pasa o Falla en algún rango de frecuencias del estándar, tal y como se mostraría en el R&S ZVL6.



**Figura 44 Medición con Máscaras de Espectro.**

<sup>18</sup> Ver: <http://pfwireless.galeon.com/productos2031991.html>, Consultada 19 de Octubre de 2011.

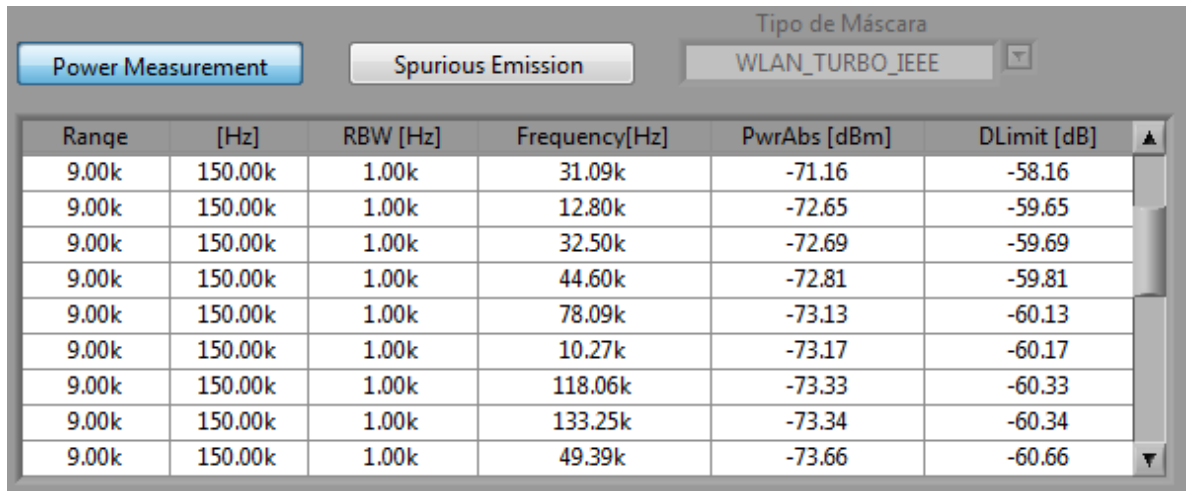
<sup>19</sup> IEEE 802.11b7g, estándar IEEE para trabajar la banda de frecuencia de 2.4 GHz con velocidades de transmisión cercanas a los 2Mbps, publicada en 1997 y 2003 respectivamente Visite: [http://es.wikipedia.org/wiki/IEEE\\_802.11](http://es.wikipedia.org/wiki/IEEE_802.11), consultado 18 de Octubre de 2011.

<sup>20</sup> Ver: <http://www.eveliux.com/mx/planeacion-y-diseno-de-redes-wlan.php>, Consultado 14 de Octubre de 2011.

**-Medición en el dominio no esencial:** Las emisiones en el dominio no esencial o Spurious, son emisiones no deseadas que se encuentran dentro o fuera de la banda útil, las cuales pueden ser filtradas antes de la emisión para mejorar la calidad de la señal, los Spurious, se pueden dar por efectos de la sobremodulación, efectos no lineales, oscilaciones parasitas, armónicos débiles o intermodulación.

Mediante el uso del analizador de espectro se puede determinar el contenido armónico de una señal, mediante su análisis en el dominio de la frecuencia, el análisis de dichas señales es indispensable para determinar el grado en que dichos armónicos pueden interferir con otros sistemas que operan a la misma frecuencia; usualmente las emisiones en el dominio no esencial son señales muy débiles, el enfoque general es el uso de un filtro para atenuar lo máximo posible la señal principal o portadora y explorar el rango de frecuencia requerido<sup>21</sup>.

Muchas veces este rango de frecuencia suele ser tan grande que debe ser partido o seccionado para poder llevar a cabo un análisis exhaustivo de la señal. La medición del dominio no esencial que se puede obtener utilizando el Módulo analizador de Espectro, donde se tiene como resultado una tabla que muestra el análisis del rango de frecuencia que implícitamente determina el analizador para conocer las emisiones no esenciales presentes en la señal que estamos recibiendo, como se muestra en la Figura 45.



Range	[Hz]	RBW [Hz]	Frequency [Hz]	PwrAbs [dBm]	DLimit [dB]
9.00k	150.00k	1.00k	31.09k	-71.16	-58.16
9.00k	150.00k	1.00k	12.80k	-72.65	-59.65
9.00k	150.00k	1.00k	32.50k	-72.69	-59.69
9.00k	150.00k	1.00k	44.60k	-72.81	-59.81
9.00k	150.00k	1.00k	78.09k	-73.13	-60.13
9.00k	150.00k	1.00k	10.27k	-73.17	-60.17
9.00k	150.00k	1.00k	118.06k	-73.33	-60.33
9.00k	150.00k	1.00k	133.25k	-73.34	-60.34
9.00k	150.00k	1.00k	49.39k	-73.66	-60.66

**Figura 45 Medición de Emisiones no Esenciales -Spurious.**

#### 4.2.6 Espectrograma.

El espectrograma es generalmente una representación visual por medio de la cual se presentan las variaciones de la frecuencia y un nivel de intensidad respecto al tiempo. Los

<sup>21</sup> ver: [http://cejdis.ula.ve/cursos/humanidades/fonetica/tutorial\\_de\\_linguistica/espectrograma5.html](http://cejdis.ula.ve/cursos/humanidades/fonetica/tutorial_de_linguistica/espectrograma5.html), Consultado 10 de Octubre de 2011

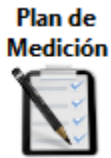
pasos para obtener un espectrograma son el obtener el espectro de la señal (Transformada de Fourier) y cuantizarla de forma tal que se le asignen niveles de intensidad de color a los niveles altos, bajos e intermedios, los niveles de intensidad de color corresponderán a los valores de amplitud de la señal, posteriormente se invierte el eje de la frecuencia y se hace una representación de acuerdo a la variación del centro.

De acuerdo con las graficas del espectrograma se puede determinar la cantidad de canales o espacios vacios de frecuencia hay en cierto intervalo de tiempo, como un apoyo al análisis de los métodos de ocupación de canal.

#### 4.2.7 Iconos de Herramientas.

Como se observa en la Figura 43, el modo analizador de espectro cuenta con una serie de iconos que son claves en la ejecución del programa y se describen a continuación:

##### - Plan de Medición



El usuario puede acceder a la opción de de Plan de medición, donde se configura el plan de medición de la campaña de medición que será llevada a cabo.



Figura 46 Configuración Plan de Medición.

El plan de medición, Figura 46, tiene una funcionalidad en común para cualquiera de los tipos de plan que sean configurados y es la estandarización del nombre de la campaña de medición, donde se especifica:

**Variable:** Tipo de medición que se va a realizar (Espectro, Radiación)

**Proyecto/Cliente:** Asocia la medición a un proyecto que se esté llevando a cabo o a un cliente en específico.

**Ciudad/Sitio:** Identifica la zona o sitio en donde se está llevando a cabo la medición

Se pueden configurar dos tipos diferentes de Plan de Medición:

**Automático:** El plan de Medición en modo automático, le permite al usuario realizar la configuración de una prueba de ocupación de canal, en donde deberá ser especificada la Frecuencias Inicia y Final de la banda a monitorear, el ancho de banda del canal y el número de canales que se quieran generar, la duración de la medición (Horas y Minutos), la resolución deseada (Minutos) y el umbral.

Cuando el usuario selecciona el Modo Automático en el panel frontal del Analizador de espectro se habilitará el botón iniciar, una vez accionado el botón iniciar el programa realizara la Medición de Ocupación de Canal configurada por el usuario. La explicación detallada de los criterios que se tuvieron en cuenta para el desarrollo de este modo de medición se encuentra en Anexo A.

**Drive Test:** El Drive Test, le permite al usuario realizar una configuración de una campaña de medición en la cual se especifican el número de puntos máximos a medir y el número de la ruta en la cual se realiza la medición, cuando se configura el Drive Test el usuario puede acceder a todas las funcionalidades del módulo Analizador de Espectro.

El Drive Test es un método empleado en las estaciones móviles de comprobación del espectro donde se realiza mediciones en diferentes puntos geográficos en una misma ruta, este tipo de medición se realiza para la medición de potencia de una emisión dada en las cercanías de una estación base.

Una vez finalizada la configuración del Plan de medición, el usuario deberá accionar el Botón OK, para continuar en el Módulo Analizador de Espectro. Si hubo algún error durante la configuración del Plan de Medición, el programa le indicara al usuario para que configure de nuevo el plan de medición.

Si durante el proceso de configuración del plan de medición, se acciona el Botón salir, no se realizara ninguna configuración de Plan de medición y se pasará directamente el modo Analizador de Espectro.

### - **Block de Notas.**

#### **Block de Notas**



Durante la ejecución del programa el usuario puede registrar comentarios u observaciones de los hallazgos que encuentre en el transcurso de la medición en un Block de Notas, Figura 47. Al finalizar la medición el usuario podrá encontrar un archivo de texto con los comentarios realizados en la carpeta D:\Informes\_GeoSpec bajo el nombre respectivo a la campaña de medición o en su defecto con la fecha del día en que realizo la medición si no se llevo a cabo ninguna configuración de Plan de medición.



**Figura 47 Block de Notas**

### - **Registrar Medición**

#### **Registrar Medición**



Este botón será accionado por el usuario cada vez que desee registrar los datos de la medición que se está llevando cabo en el momento, para ser enviada al servidor si se está trabajando Online o para ser guardada en el Equipo si no se cuenta con conexión a internet en el momento de estar llevando a cabo la misma.

Si se está en el modo analizador de espectros y no se tiene configurad ningún plan de medición el usuario podrá hacer registro hasta de 50 mediciones, si se tiene configurado el plan de medición en Drive Test y de acuerdo con las especificaciones del usuario se puede hacer registro hasta de 30 puntos, la información registrada corresponde al Trace o Gráfica del Espectro y demás parámetros de configuración que serán especificados en el Capítulo 5.

En el proceso de registro de la medición en modo Drive test, el programa debe obtener de nuevo las coordenadas geográficas correspondientes al punto donde se esté llevando a cabo la medición, ya que como se explico anteriormente, esta medición se lleva a cabo en una ruta determinada.

Cuando se configura un plan de medición Automático, el almacenamiento de la información se lleva a cabo en la carpeta D: \Informes\_GeoSpec, debido a las limitaciones actuales de la base de datos y la cantidad de información obtenida de la medición de ocupación de canal.

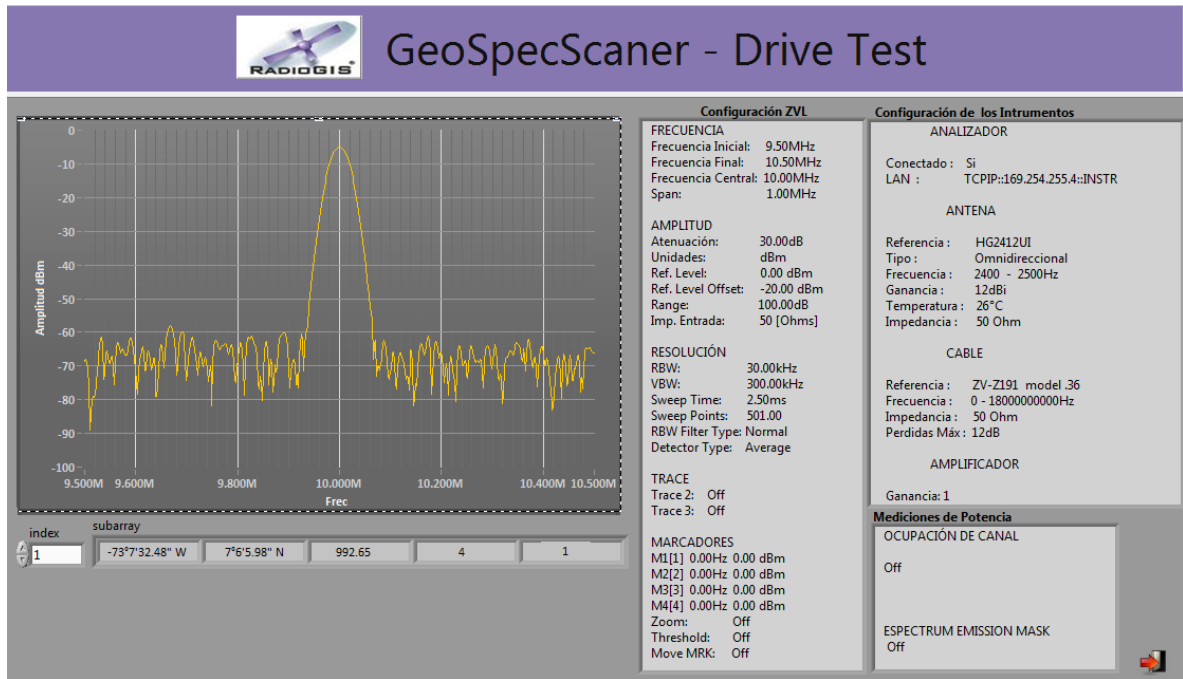
**- Consulta**

**Consultar**



El botón consultar será accionado por el usuario para realizar la consulta de los datos obtenidos en el proceso de medición siempre y cuando haya configurado alguno de los dos tipos de plan de medición, de lo contrario el programa no le presentara ninguna ventana de visualización de datos.

Si se ha configurado el plan de medición en modo Drive Test, el usuario puede acceder a la grafica del Espectro, las coordenadas geográficas correspondientes a cada uno de los puntos que haya llevado a cabo la medición y la información correspondiente a la configuración de los instrumentos y parámetros del analizador, como se muestra en la Figura 48, la selección del punto de medición es realizada por el usuario de forma manual.



**Figura 48 Consulta Datos Drive Test**

Por otra parte, si la configuración del plan de medición corresponde al modo automático, una vez terminada la medición el usuario puede consultar el espectrograma de cada uno de



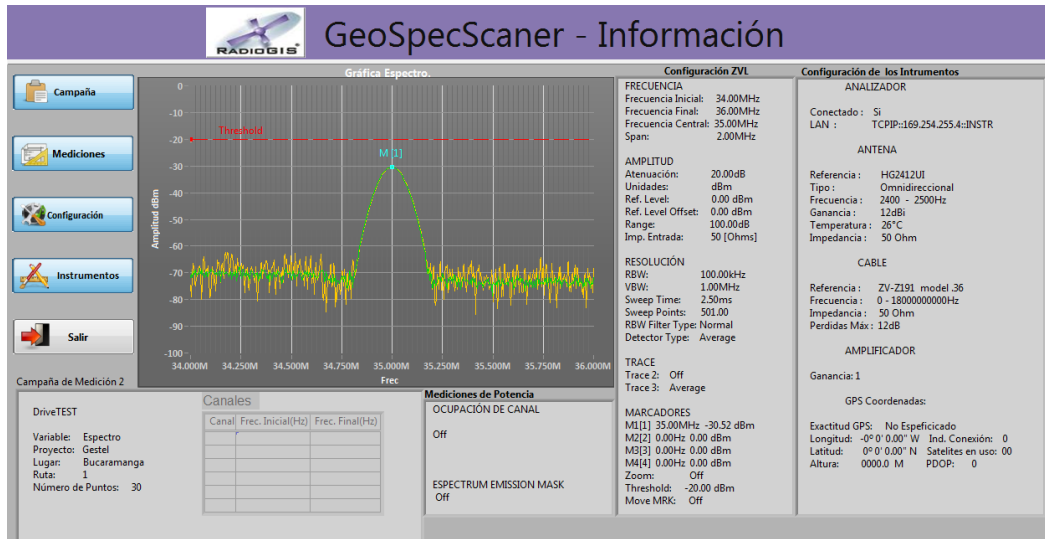


Figura 50 Módulo de Información.

- Ayuda

**Ayuda**



Proporciona la ayuda necesaria al usuario por medio de una serie de imágenes e información con la cual el usuario podrá aclarar las dudas básicas respecto al manejo de la herramienta, Figura 51.

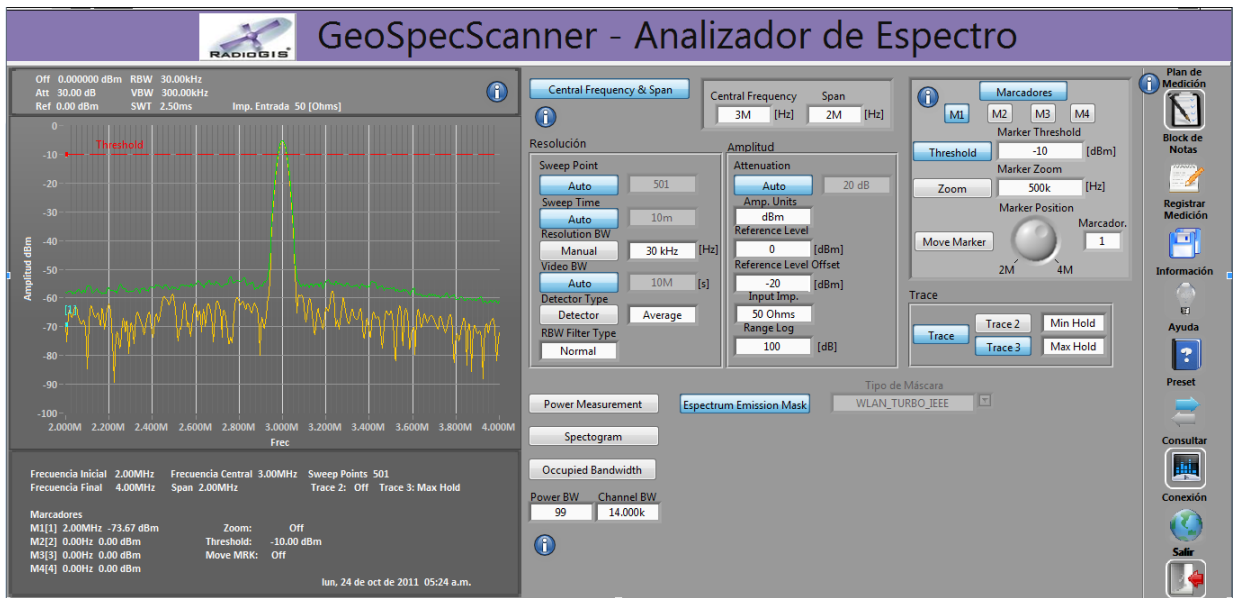


Figura 51 Módulo de Ayuda

#### - Preset

**Preset** La opción de Preset del programa al igual que la opción del Preset del ZVL regresan el analizador a un estado inicial, esto se hace en caso de que se tenga o se quiera salir de algún modo de medición como por ejemplo del modo *Spectrum Emission Mask* ó *Occupied Bandwidth*, aunque en el ZVL el estado regresa el equipo al modo Analizador de Redes Vectoriales, en este caso el analizador vuelve a quedar configurado en el modo Analizador de Espectro y con los parámetros que se tienen en configurados en el momento.



#### - Conexión

**Conexión** Define si se va a trabajar con conexión o modo online, cuando se envían datos a la plataforma o sin conexión (Stand Alone) cuando se realiza la medición pero no hay envío de datos.



#### - Salir

**Salir** La opción de salir podrá ser utilizada por el usuario en cualquier momento de la etapa de medición para terminar la ejecución del programa, así mismo después de que se dé por terminada la medición y el usuario no quiera realizar algún tipo de consulta extra dando click en el icono de salir puede dar totalmente por terminado el proceso de medición.



### 4.3 Módulo Información.

Como se menciona anteriormente, el Módulo Información del panel frontal, Figura 50, presenta la información del último reporte que se genera durante la medición, el cual incluye La configuración del Plan de medición, las mediciones que se están llevando a cabo, la configuración de realizada a los instrumentos y los parámetros de configuración del Analizador.

### 4.4 Módulo Consulta.

El módulo de consulta, Figura 52, le permite al usuario acceder al Geoportal para visualizar de forma inmediata los resultados de la medición que acaba de realizar y datos de mediciones anteriores a las cuales pueda acceder dependiendo de sus características de usuario y restricciones de seguridad del Geoportal.



**Figura 52 Módulo de Consulta.**

## **5 Mediciones y Resultados.**

### **5.1 Validación de los procesos de Medición.**

El desarrollo de todas las actividades de sistemas de software está compuesto de distintos procesos que deben desarrollarse durante el ciclo de vida de producción, puesta en marcha y mejora del software, ya sean con el fin de realizar la comprobación de los requisitos del usuario, requisitos técnicos, detección y corrección de errores entre otros.

### **5.2 Medición de Cobertura o Drive Test.**

Para llevar a cabo el proceso de validación, se deben especificar los siguientes parámetros para lograr un proceso de medición que verifique el correcto funcionamiento de la herramienta, y permita brindar un grado de repetitividad y confianza a la medición.

- Selección del Parámetro o Tipo de Medición.

Para llevar a cabo la validación del funcionamiento de la herramienta se decide realizar una medición de potencia de una señal (Portadora) ubicada en una frecuencia específica a lo largo de una ruta determinada.

- Selección de la zona o lugar de Medición.

Se selecciona como zona o lugar de medición el edificio de Alta Tensión, ubicado en las instalaciones de la Universidad Industrial de Santander.

Esta zona cuenta con conexiones a internet y conexiones a la red eléctrica indispensables para llevar a cabo el proceso de medición.

- Herramienta, instrumentos y recursos de la medición.

Para realizar el proceso de medición, se emplean los siguientes instrumentos, equipos y servicios:

1. Computador Portátil, que cuente con la herramienta GeoSpecScanner.
2. Analizador de Espectro- R&S ZVL6.
3. Dispositivo GPS, GPS.
4. Antena Omnidireccional o direccional, según la frecuencia a medir.
5. Cables (Cable de Red, Cable de Antena, Cables de Alimentación, Extensiones entre otros)

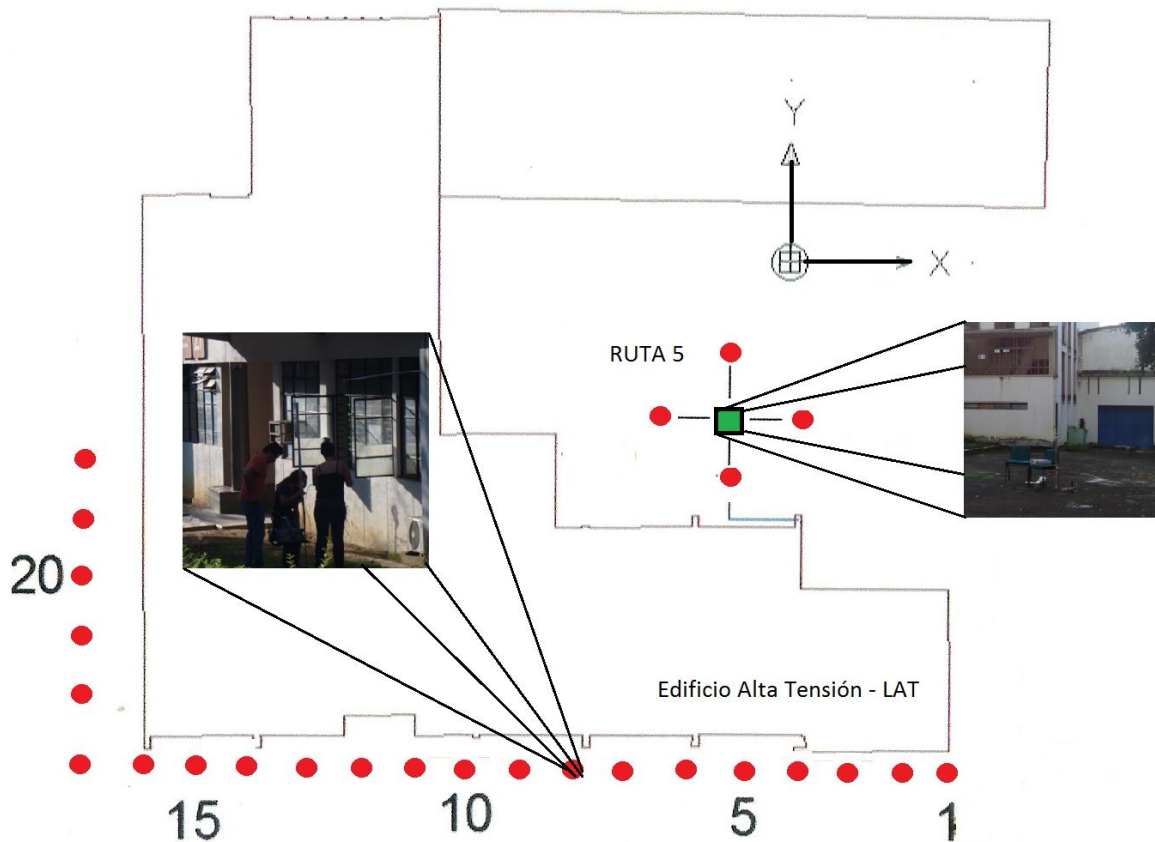
6. Conexión a Internet
7. Conexiones a la Red Eléctrica.

- Especificación de la Metodología de Medición.

La metodología de medición llevada a cabo en los procesos de medición por el Grupo de Investigación RadioGIS, compuesta por seis pasos:

- Selección del lugar a medir, cantidad de puntos a medir y realización de un esquema o croquis de la medición, Figura 53.

Este paso es de vital importancia tanto para la ubicación de los Ingenieros de campo en la zona donde se lleva a cabo la medición, como para la etapa de análisis de los datos la cual no será considerada en este proceso de validación.



**Figura 53 Ruta de Medición.**

- Selección del personal adecuado para llevar a cabo el proceso de medición. El personal seleccionado debe ser competentes en el dominio y manejo de la herramienta, solución de problemas, capacitación básica y conocimiento de las normas de seguridad y protección personal.
  - Verificación y diligenciamiento de la lista de chequeo de la medición.
  - Instalación y adecuación de los equipos de medición.
  - Puesta en marcha de la campaña.
  - Cierre de la campaña.
- Duración del proceso de medición

La duración del proceso de medición dependerá del número de puntos a medir, la agilidad de los ingenieros de campo y los inconvenientes que se presenten durante la ejecución de la misma.

### **5.3 Resultados Medición Drive Test.**

En etapas anteriores del desarrollo de la herramienta, se realizaron pruebas de laboratorio para comprobar el cumplimiento de requisitos y funcionamiento del sistema bajo parámetros y condiciones controladas; en este punto se realiza la validación de la Medición de Cobertura o Drive Test de la herramienta GeoSpecScanner en campo, donde debe comprobar que se cumpla con que:

#### **5.3.1 El programa se está ejecutando adecuadamente y el usuario puede acceder todas las funcionalidades del Modo Analizador de Espectro.**

Para determinar el cumplimiento de este numeral, se verifico que:

- El programa se ejecuta adecuadamente en cada una de las etapas de configuración, medición e información.
- El usuario puede acceder a todas y cada una de las funcionalidades que le brinda el Modo Analizador de Espectro, antes, durante y después de la ejecución del plan de medición.
- Ningún error bloquea la ejecución de las pruebas aparte del error de conexión con el analizador, ya que si no hay conexión y el usuario selecciona STOP se detiene la ejecución del programa.

- Los errores internos se detectan automáticamente y son informados al usuario para la corrección del mismo, tal como la detección del ingreso de un valor erróneo de frecuencia.
- Los módulos del software funcionan de forma adecuada e independientemente.
- No se puede realizar pausa del proceso de medida lo cual es recomendable y un punto a mejorar ya que si se debe detener el proceso por algún motivo, la herramienta debe estar en la capacidad de retomar el proceso en el momento en que el usuario lo requiera.
- No todas las veces la ejecución del programa es la adecuada al momento de finalizar un proceso de medición o salir del modo Analizador de Espectro, y querer realizar una nueva configuración de instrumentos ya que al parecer el programa no responde, por ende el usuario debe dar por terminada la ejecución del programa para posteriormente ejecutarlo de nuevo.

### **5.3.2 El plan de medición es configurando y ejecutando correctamente.**

En cuanto a la configuración y ejecución del plan de medición se observó que:

- Una vez el usuario da click en la opción de configuración de plan de medición y realiza la configuración de la campaña de medición, el programa le informa si se ha realizado correctamente la configuración del plan.
- Una vez se configura el plan de medición y se selecciona la cantidad de puntos a medir, el programa permite realizar correctamente la cantidad de mediciones de puntos solicitados y una vez ha terminado el proceso le informa al usuario que se ha terminado satisfactoriamente el proceso de medición en modo Drive Test.
- Los tiempos de adquisición de las coordenadas geográficas y envío de datos a la plataforma si se trabaja CON CONEXIÓN , es adecuado y no retrasa el proceso de medición.
- Se identificó que si el usuario se ha equivocado o desea modificar alguno de los datos ingresados en la configuración del plan lo puede llevar a cabo, teniendo en cuenta que si ha realizado alguna medición previa se va a generar el archivo en formato .txt, pero el envío de los datos a la plataforma ya ha sido llevado a cabo mas no finalizado con éxito, por lo cual es recomendable detener el proceso de medición o asegurarse de no cometer errores al momento de configurar el plan.

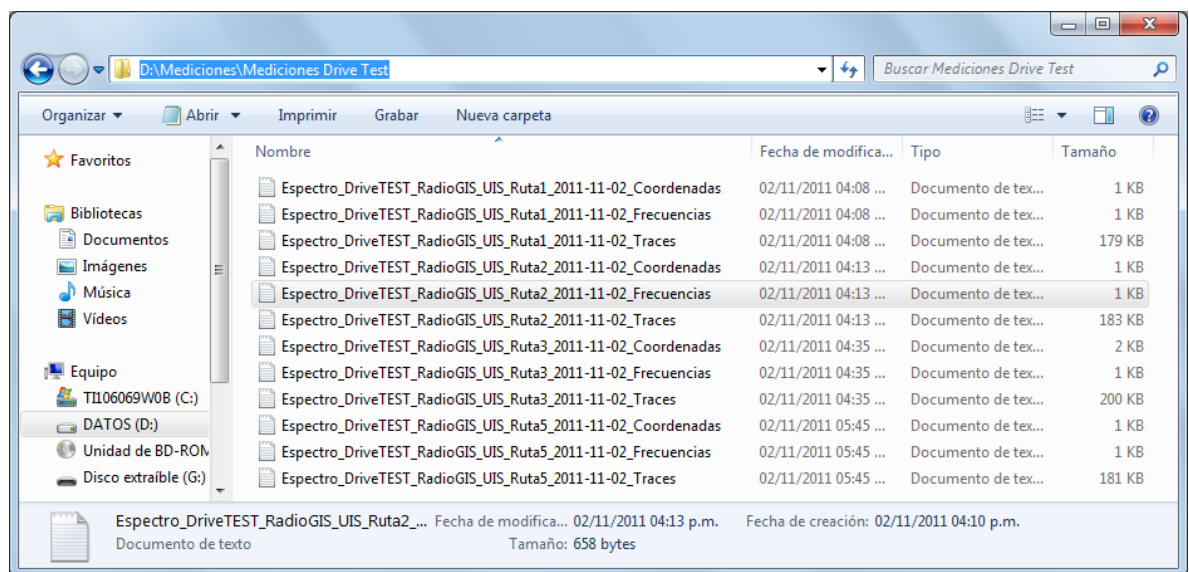
### 5.3.3 El almacenamiento de los datos en una ubicación específica del computador y el envío de los mismos a la base de datos, es el esperado.

El almacenamiento de los datos se divide en dos:

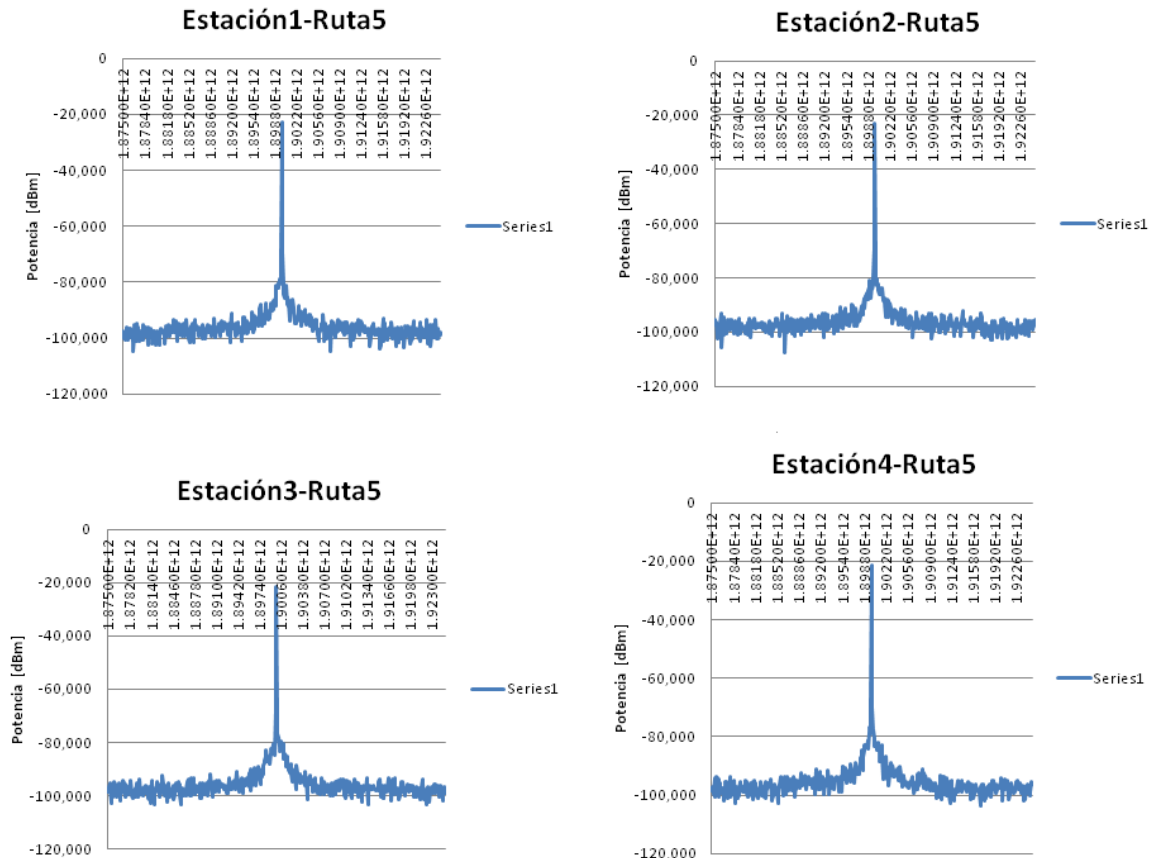
- Datos guardados en una ubicación de memoria del Computador de mediciones.

Para comprobar el correcto almacenamiento de los datos en la ubicación de memoria del computador, una vez finalizado el proceso de medición se procedió a realizar la búsqueda de los mismos, que según las especificaciones del programa deberían estar disponibles en la siguiente ubicación, **D:\Mediciones\Mediciones Drive Test**, e identificados por el nombre de la campaña de medición, se generan tres archivos por cada una de las campañas, el primero corresponde a las coordenadas del sitio de medición, el segundo a los valores de frecuencia y el tercero a los trases o trama de datos de amplitud. Figura 54.

Así mismo y como forma de verificar que los datos obtenidos en formato .txt, corresponden a los datos obtenidos de la medición, se procede a realizar una grafica del espectro de cada uno de los cuatro puntos, Figura 53, de la Ruta 5. Figuras 55.



**Figura 54. Archivos generados en formato .txt**



**Figura 55. Datos Correspondientes a la Ruta 5**

- Datos enviados a la Base de datos.

Durante el proceso de medición se observa que el envío de datos registrados en cada punto, a la base de datos se lleva a cabo en un tiempo corto el cual depende en gran medida de la calidad de la conexión a la red de internet.

Aunque se está cumpliendo con el envío de los datos a la base de datos, lo cual constituye uno de los objetivos principales del Drive Test, se evidenció al momento de realizar la consulta de la base de datos que había pérdida de información, la cual corresponde a la del último punto que se mide, como se puede ver en la Figuras 56-57, corresponde a la imagen de la base de datos en donde se encuentran los datos correspondientes a los 3 primeros puntos de la Ruta 5, y se evidencia la ausencia del punto 4. El error en el envío de los datos a la base de datos es uno de los problemas que hay que solucionar ya que todos los datos deben ser correctamente enviados y registrados, se debe determinar si el problema se atribuye a:

- Errores en el programa
- Errores en la Base de datos.

Se realizara un análisis del módulo de envío de datos de GeoSpecScanner, si este es el problema, se dará por solucionado y se validara el envío de los datos mediante otro proceso de medición que idealmente debe ser similar al anteriormente realizado. Aunque el error en el envío de los datos a la base de datos se puede atribuir a errores en el programa, es probable que el error radique en la base de datos del Grupo de Investigación RadioGIS, ya que se encuentra en un proceso de mantenimiento y mejora.

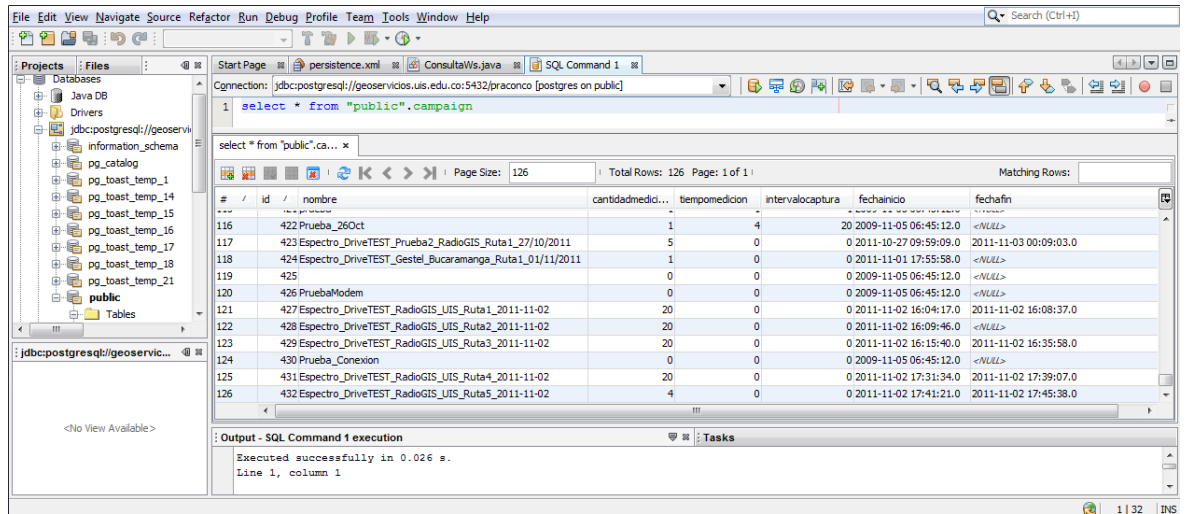


Figura 56 Base de Datos.

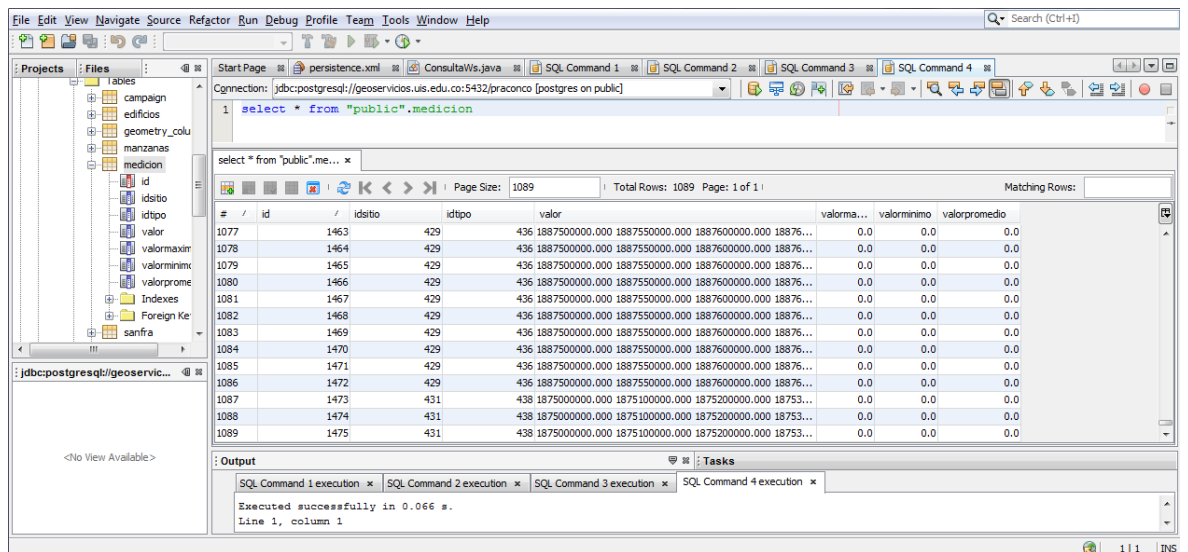


Figura 57 Base de Datos

## 5.4 Medición de Ocupación de Canal - Biblioteca UIS

### Descripción del equipo

El equipo usado para la medición de este estudio consiste en un analizador de espectro, una antena de alta frecuencia, un GPS y un computador portátil, Figura 58.



**Figura 58** Equipo empleado en la Medición.

#### - Metodología

Antes de la medición oficial se toman datos con la frecuencia determinada para la prueba para determinar el correcto funcionamiento de los equipos. Luego se configuran los equipos con un RBW, atenuación y frecuencia que permitan una correcta visualización del espectro en cada canal.

#### - Configuración de instrumentos.

Los parámetros de Atenuación, RBW, detector, puntos de barrido, puntos de datos, unidades de nivel son las mismas para todos los canales solamente cambia la configuración de frecuencia, Tabla 11.

**Tabla 11 Configuración de instrumentos.**

<b>Tipo de fichero:</b>	<b>Reporte Medición de Ocupación</b>
<b>Nombre de la Campaña de medición:</b>	<b>Espectro_AUTOMATICO_RadioGIS_1.8-2.1G_BiblioUIS_2011-11-03_12:34:17</b>
<b>Nombre del emplazamiento:</b>	Biblioteca UIS -Bucaramanga
<b>Latitud:</b>	7° 8' 27.03" N
<b>Longitud:</b>	-73° 6' 43.27" W
<b>Frecuencia inicial:</b>	1,8 GHz
<b>Frecuencia final:</b>	2,1 GHz
<b>Tipo de antena:</b>	omnidireccional
<b>Anchura de banda del filtro:</b>	30 kHz
<b>Unidades de nivel:</b>	dBm
<b>Fecha:</b>	40825
<b>Puntos de datos:</b>	501
<b>Duración de barrido:</b>	330 ms
<b>Detector:</b>	Average
<b>Atenuación:</b>	0

**Tabla 12 Configuración de Campaña de Medición.**

Frecuencia Inicial:	1,8 GHz
Frecuencia Final:	2,1 GHz
Número de canales:	10
BW canal:	30MHz
Separación entre canales:	0 Hz
Duración:	20 min
Resolución:	4 min
Tiempo de revisitado:	4 s
Umbral:	-95 dBm

**Tabla 13 Canales Generados.**

Canal	Frecuencia. Inicial [GHz]	Frecuencia. Final [GHz]
1	1,8	1,83
2	1,83	1,86
3	1,86	1,89
4	1,89	1,92
5	1,92	1,95
6	1,95	1,98
7	1,98	2,01
8	2,01	2,04
9	2,04	2,07
10	2,07	2,1

#### 5.4.1 Análisis de Validación

El programa se ejecuta adecuadamente y el usuario puede acceder todas las funcionalidades del Modo Analizador de Espectro.

Para determinar el cumplimiento de este numeral, se tomaron los siguientes criterios:

##### Criterios

1. El programa se ejecuta adecuadamente en cada una de las etapas de configuración, medición e información.
2. El usuario puede acceder a todas y cada una de las funcionalidades que le brinda el Modo Analizador de Espectro, antes, durante y después de la ejecución del plan de medición.
3. Ningún error bloquea la ejecución de las pruebas aparte del error de conexión con el analizador, ya que si no hay conexión y el usuario selecciona STOP se detiene la ejecución del programa.
4. Los errores internos se detectan automáticamente y son informados al usuario para la corrección del mismo, tal como la detección del ingreso de un valor erróneo de frecuencia.
5. Los módulos del software funcionan de forma adecuada e independientemente.

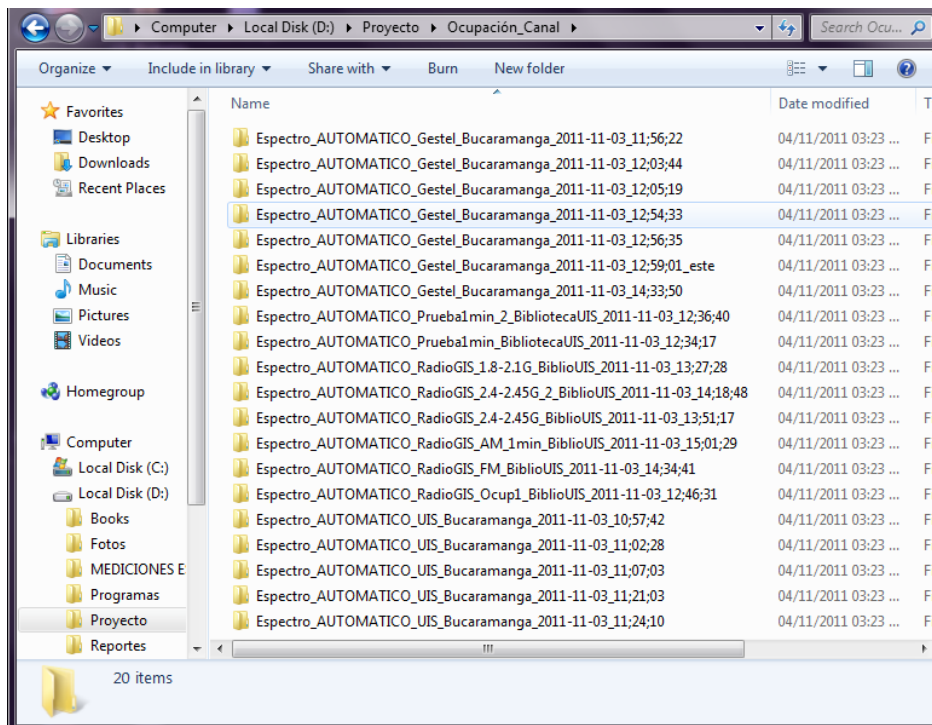
## Resultados

1. Cumple satisfactoriamente
2. No es posible acceder a las funciones del analizador cuando se está ejecutando el plan ya que no es adecuado cambiar los parámetros durante la ejecución
3. Se recomienda incluir un botón de pausa o stop para este método, el cual permita guardar los datos hasta ese momento, pues que con la opción actual no se pueden guardar los datos si no hasta que la medición termine
4. Cumple satisfactoriamente
5. Cumple satisfactoriamente

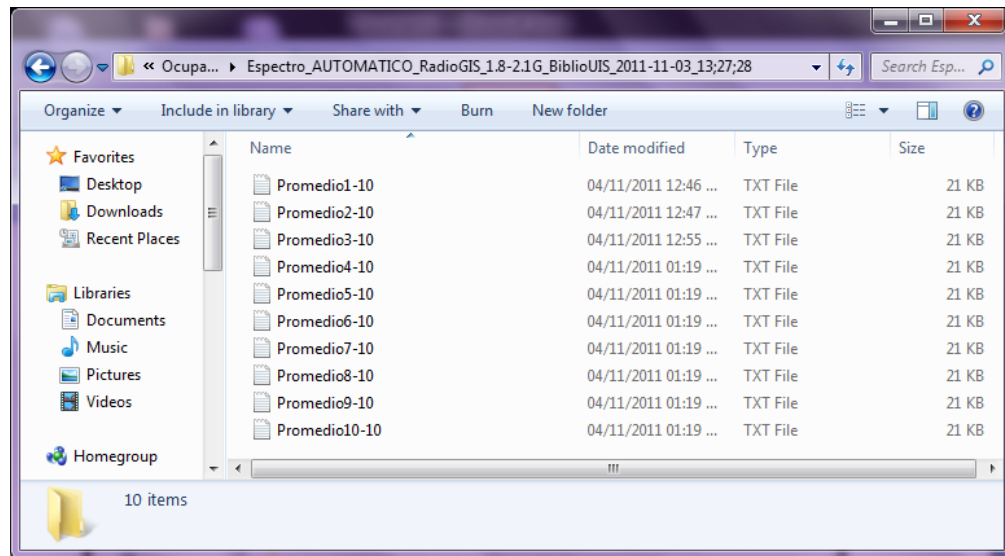
### 5.4.2 El almacenamiento de los datos en una ubicación específica del computador y el envío de los mismos a la base de datos, es el esperado.

Datos guardados en una ubicación de memoria del Computador de mediciones.

Se comprobó el correcto almacenamiento de los datos en la carpeta **D:\Proyecto\Ocupacion\_Canal**, Figura 59, organizados por canales, estos archivos se encuentran en formato .txt, Figura 60.



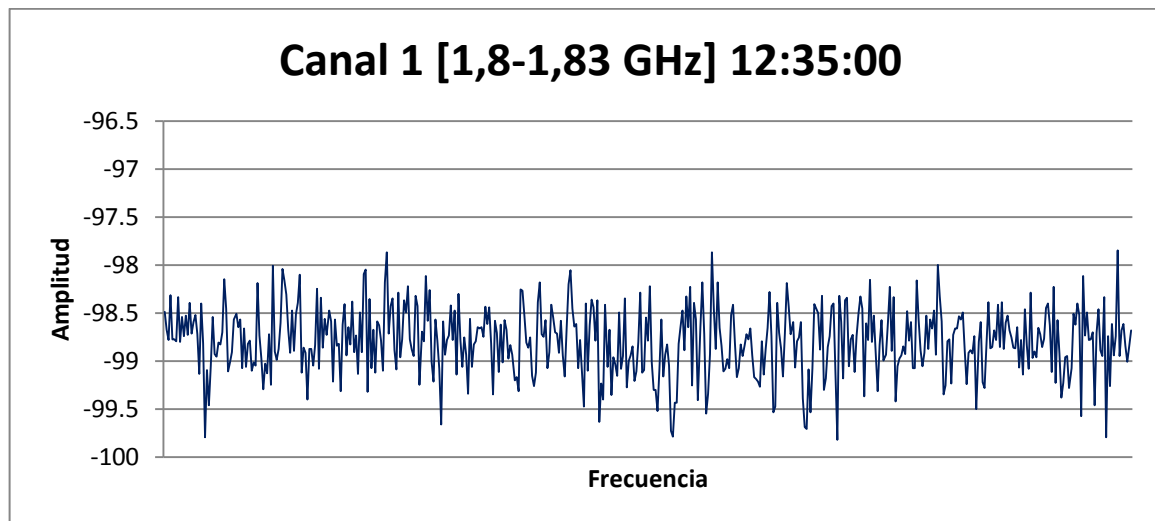
**Figura 59. Datos Almacenados de la campaña de medición**



**Figura 60. Archivos.txt de cada canal**

### 5.5 Resultados de la Medición de Ocupación de Canal.

A continuación se presentan los resultados obtenidos de la medición de Ocupación de canal en la Biblioteca del campus central de la Universidad Industrial de Santander – UIS, medidos en el rango de frecuencia de 1.8 a 2.1 GHz

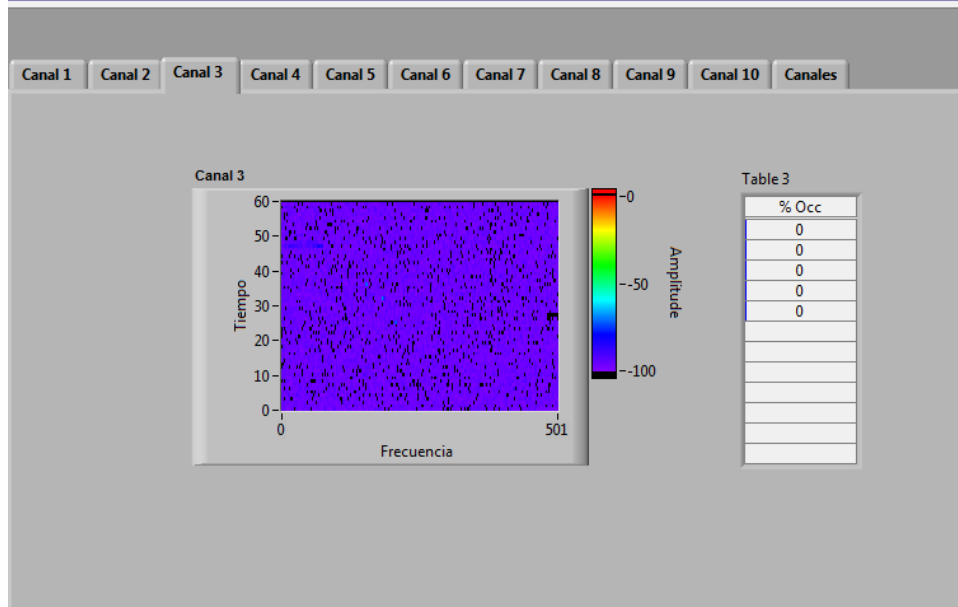


**Figura 61 Gráfica de Espectro - Canal 1.**

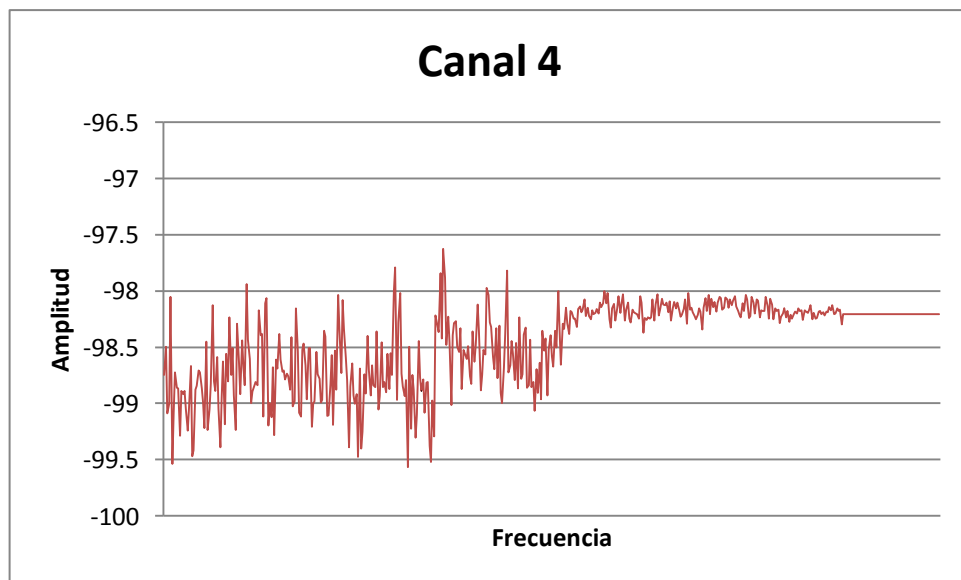




## GeoSpecScanner - Ocupación de Canal



**Figura 66 Ocupación de Espectro - Canal 3.**



**Figura 67 Gráfica de Espectro - Canal 4.**

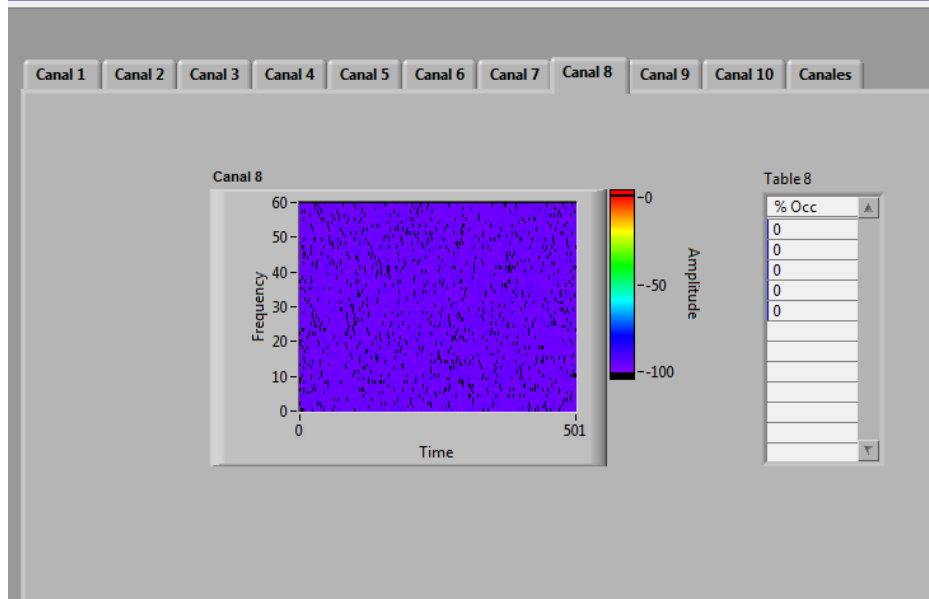




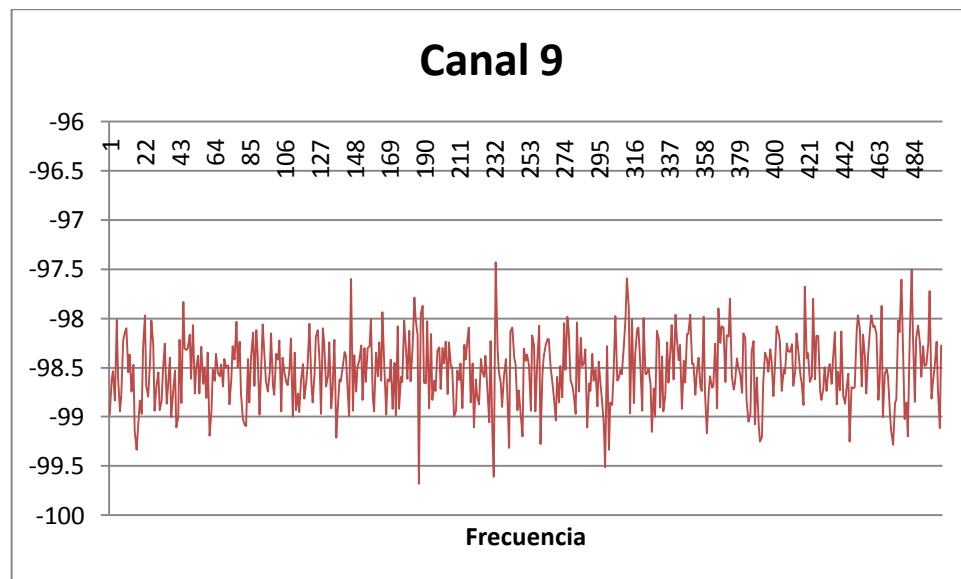




## GeoSpecScanner - Ocupación de Canal

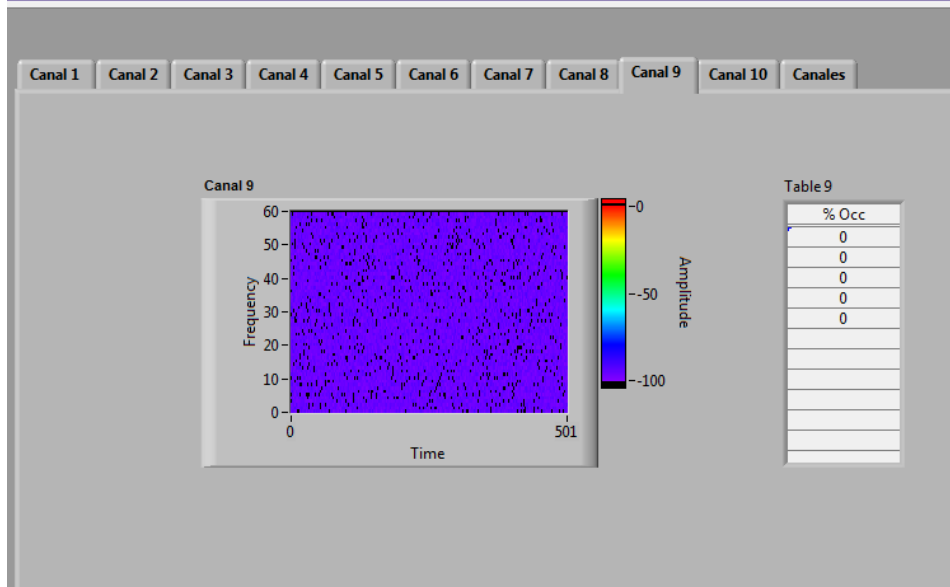


**Figura 76 Ocupación de Espectro - Canal 8.**

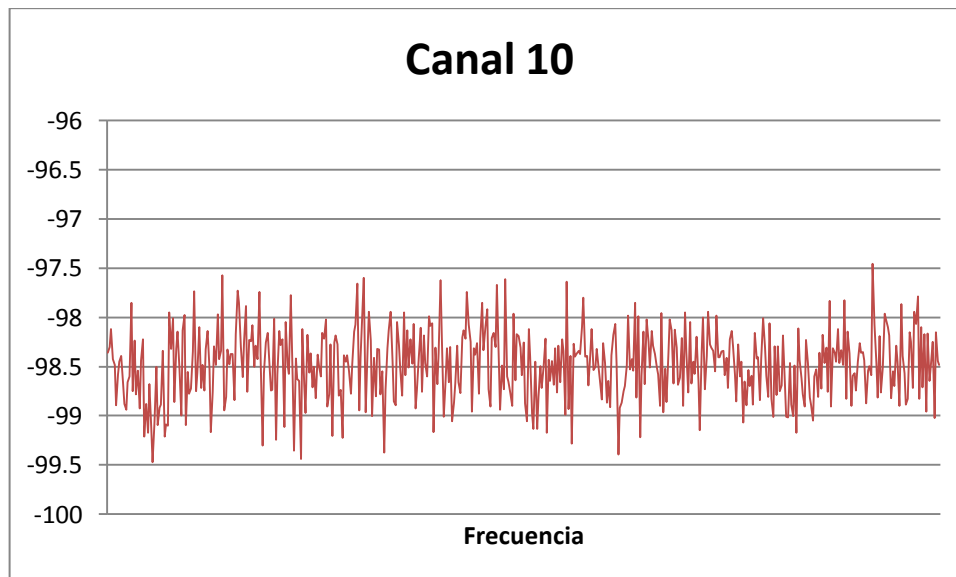


**Figura 77 Gráfica de Espectro - Canal 9.**

## GeoSpecScanner - Ocupación de Canal



**Figura 78** Ocupación de Espectro - Canal 9.



**Figura 79** Gráfica de Espectro - Canal 10.

## GeoSpecScanner - Ocupación de Canal

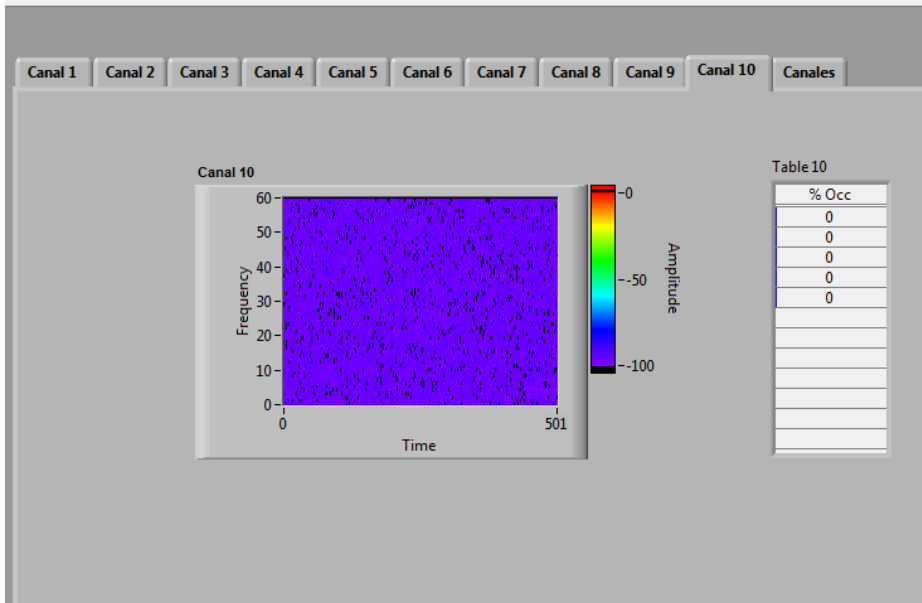


Figura 80 Ocupación de Espectro - Canal 10.

## GeoSpecScanner - Ocupación de Canal

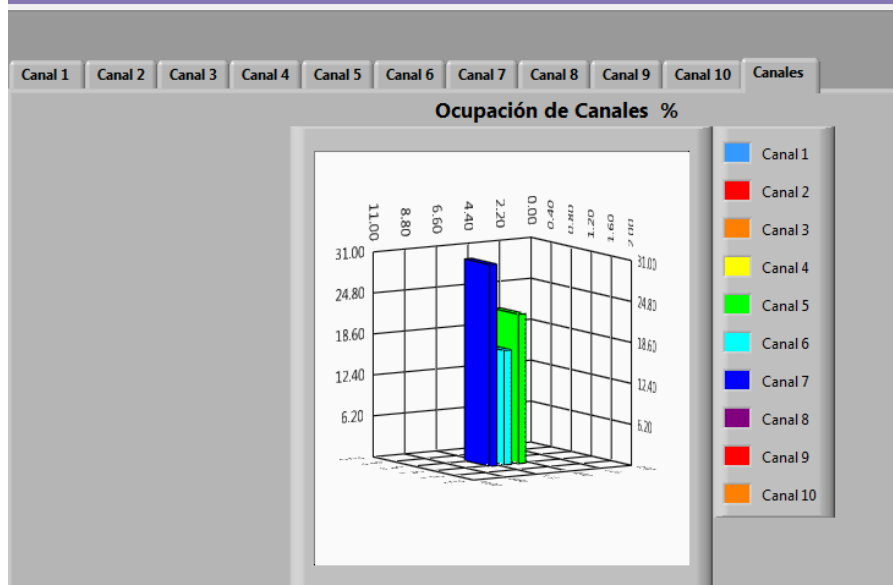


Figura 81 Diagrama Ocupación de Canal- Canales 1-10

## 5.6 Especificaciones del Producto Final.

De acuerdo a lo especificado en el alcance del Plan de Proyecto mediante el cual se aprobó la ejecución de este proyecto, se especifico que el producto final estaría compuesto por los tres numerales que se presentan a continuación y sus respectivos ítems.

**Tabla 14 Comprobación de Alcance**

Meta		Solución (Opción de mejora)
1	Interfaz Grafica De Control De Los Instrumentos De Medición	Para verificar el cumplimiento de esta meta se sugiere hacer una revisión del capítulo 4.
1.1	Desarrollar una interfaz en LabVIEW® que permita el ajuste y manipulación de los parámetros de medición del Analizador de Espectro, tales como: Frecuencia Inicial, Frecuencia Final, Nivel de Referencia, Atenuación, preamplificador, RBW, VBW.	Con ayuda de los instruments drivers se realiza la configuración de los diferentes parámetros disponibles en el analizador.
1.2	El protocolo de transmisión entre el computador y la Plataforma Tecnológica de servicios, se definirá en el transcurso del proyecto una vez seleccionada la zona específica en donde se va a realizar la medición del espectro y dependiendo de la disponibilidad de conexión a internet que posea la zona.	Consumiendo los Web Services mediante .dll <sup>22</sup> generados en .NET. Si no se tiene acceso a internet durante la medición, los datos se pueden enviar al servidor una vez se tenga la conexión el usuario debe hacer este envío de datos. <b>Opción de mejora:</b> consumir los web services directamente desde LabVIEW, puesto que los dll son generados a partir del dominio y web services específicos del servidor, cuando se realiza cualquier cambio en el servidor deja de ser compatible, por lo que no es posible la transmisión. Además los dll son específicos para sistemas operativos Windows lo que impide la ejecución en otros sistemas operativos.
1.3	Visualizar los resultados de la	Ver capítulo 4.

<sup>22</sup> DLL: **biblioteca de enlace dinámico** (sigla en inglés de *dynamic-link library*) es el término con el que se refiere a los archivos con código ejecutable que se cargan bajo demanda de un programa por parte del sistema operativo.

	medición del espectro radioeléctrico y las coordenadas geográficas del sitio de medición obtenidos por medio de un dispositivo GPS.	
1.4	El Standard de comunicación y la referencia del GPS se definirán en el transcurso del proyecto dependiendo del dispositivo que sea adquirido por el grupo de investigación RadioGIS.	
1.5	Adquirir del Analizador de Espectro los datos que resultan de las mediciones del espectro radioeléctrico de la banda UHF en el dominio de la frecuencia: la medida del ancho del canal y la medida del ancho de banda ocupado	La medición de ancho de banda se obtiene desde el analizador. La medición de canal ocupado se obtiene mediante la campaña de medición en modo automático.
1.6	Visualizar la grafica del espectro radioeléctrico, dependiendo de la frecuencia seleccionada, así como los parámetros que se configuraron al momento de realizar la medición para garantizar que esta será repetible.	Los parámetros de la configuración del analizador se concatenan y posteriormente se envían al servidor.
2	Registro Automático Del Espectro En La Plataforma.	
2.1	Enviar en línea y automáticamente la información de las campañas de mediciones que se realicen utilizando las estaciones fijas a la base de datos de la Plataforma Tecnológica de Servicios RadioGIS.	Los campos disponibles en la BD de datos solo permiten enviar resultado de campañas de medición de drive test, para registrar los informes de ocupación de canal es necesario hacer unos ajustes a la BD.
3	<b>Registro Automático Del Espectro En La Plataforma.</b>	
3.1	Definir los requerimientos para la visualización de los resultados de las mediciones sobre mapas y la forma como se muestra la información al usuario, (tamaño de la ventana, ubicación de la misma en la cartografía y presentación de espacio geográfico), mediante lenguaje UML.	
3.1	Determinar los parámetros que se presentaran en la ventana de visualización como: los parámetros de	

<p>configuración del analizador de espectro (frecuencia inicial, frecuencia final, Span, nivel de referencia (Reference Level), atenuación, preamplificador, filtro de resolución (RBW), filtro de video (VBW)) y los parámetros de la antena, referencia de los equipos, se consideraran así mismo las características de la gráfica del espectro radioeléctrico de las bandas de telefonía móvil celular, unidades y formato tipo ingeniería para el eje de frecuencia, con el fin de garantizar que la medición sea verificable con otra medición bajo las mismas especificaciones de la medición original.</p>	<p>Estas especificaciones se describen a continuación.</p>
--	--

## 5.7 Servicio De Consulta En Línea.

### 5.7.1 Estado del arte – Grupo de Investigación RadioGIS



**Figura 82 Geoportal Web**

Para el servicio de consulta en línea se definen los requisitos que debe cumplir la aplicación de consulta de mediciones en el Geoportal. La última versión del Geoportal se implementó en el marco del proyecto “Geoportal Web como parte de un servicio para la simulación de un modelo de Radio-Propagación con información georeferenciada”, [7], con el objetivo de “integrar un servicio basado en SIG para la simulación de un Modelo de Radio-

*Propagación, adaptando un algoritmo en dos dimensiones provisto por el Grupo de Investigación RadioGIS<sup>23</sup>, EL Geoportal Web, Figura 82, tiene módulo de simulación y consulta, Figura 83.*



**Figura 83 Módulo de Simulación y Medición<sup>23</sup>**

### 5.7.2 Contexto del proyecto

El modulo de consulta actual no muestra las unidades, ni configuración del equipo con el cual se obtuvieron los datos, solamente muestra una grafica del espectro. Es necesario definir los requisitos de este modulo teniendo en cuenta todos los datos obtenidos para durante la medición, como configuración, perdidas por el cable Por otra parte, uno de los objetivos del grupo de investigación es permitir hacer mediciones desde el Geoportal controlando los instrumentos desde diferentes lugares.

En la Tabla 15 se listan los requisitos Funcionales especificados para el desarrollo de una nueva versión del Geoportal, los requisitos especificados corresponden a los pasos que debe seguir un usuario para realizar una medición o consulta de espectro, como se muestra en la Figura 84, modelamiento del sistema.

<sup>23</sup> Visite: <http://telecomunicaciones.uis.edu.co>

**Tabla 15 Requisitos Funcionales.**

<b>REQUISITOS FUNCIONALES</b>	
<b>RF_01</b>	El usuario accederá al Geoportal usando una dirección de internet
<b>RF_02</b>	Para el ingreso a la Plataforma donde están los servicios usando el Geoportal, el usuario deberá autenticarse con un ID y clave previamente asignados
<b>RF_03</b>	El sistema debe identificar el Tipo de usuario y permitir el ingreso a los módulos a los cuales tiene acceso.
<b>RF_04</b>	La aplicación WEB debe contar con los módulos de Medición, Consulta, Simulación, Contenidos Compartidos
<b>RF_05</b>	Aparte de los Módulos nombrados en RF_04, el sistema debe estar en la capacidad de soportar nuevos módulos o permitir la actualización y mejora de los existentes.
<b>RF_06</b>	El módulo de medición deben estar incluidos los dos servicios de medición con los que cuenta RadioGIS, Medición de Radiación y Medición del Espectro.
<b>RF_07</b>	El modulo de Medición de Radiación, aplica para estaciones móviles, una vez el usuario accede al mismo, el programa GeoRadScanner_V2.31 debe habilitarse para ser utilizado por el usuario.
<b>RF_08</b>	En el módulo de Medición de Espectro, el usuario debe seleccionar si la medición se realizara en una estación Fija o en una Estación Móvil.
<b>RF_09</b>	De acuerdo con RF_08, si el usuario especifica que la medición se realizara en una estación móvil, el programa GeoSpecScanner_V2.02 debe habilitarse para ser utilizado por el usuario.
<b>RF_10</b>	De acuerdo con RF_08, si el usuario especifica que la medición se realizara en una estación fija, el usuario podrá visualizar las ciudades o puntos en donde se encuentre la estación a medir.
<b>RF_11</b>	Una vez el usuario selecciona la estación a medir, de acuerdo con RF_10, el programa GeoSpecScanner_V2.02 debe habilitarse para ser utilizado por el usuario, pero el módulo correspondiente al GPS será deshabilitado y en el espacio de las coordenadas geográficas, será diligenciado por el sistema de acuerdo a las coordenadas previamente obtenidas de la estación seleccionada.
<b>RF_12</b>	Una vez el usuario termine la ejecución del programa, puede decidir si hacer públicos o privados los resultados sus mediciones.
<b>RF_13</b>	Una vez finalizado el proceso de medición, el usuario podrá acceder a cualquiera de los módulos de la plataforma o iniciar otro proceso de medición.

RF_14	El modulo de consulta debe mostrar toda la información referente a los datos consultados, como configuración de equipos, corrección en la potencia del espectro (teniendo en cuenta la ganancia de la antena y las perdidas del cable), además debe contar con informes técnicos de cada campaña de medición.
-------	---

### 5.7.3 Tipos de Usuario:

**Usuario Administrador:** El usuario administrador se encarga de la gestión de usuarios de la Plataforma, así como la administración de los desarrollos, implementar, eliminar o modificar los desarrollos disponibles, además de el manejo de la información, entre otras funciones administrativas.

**Usuario Cliente Registrado:** Usuario que adquiere previamente alguno de los servicios que se encuentran en la Plataforma de servicios RadioGIS.

Los servicios ofrecidos son los de Medición (Espectro-Radiación) y el servicio de Simulación, sea cual sea el servicio adquirido, el usuario tendrá derecho a hacer uso del servicio de Consulta, el usuario puede acceder a los diferentes servicios al autenticarse en la Plataforma, mediante un ID de usuario y una Clave que será asignada por el administrador en el momento en que el usuario adquiere alguno de los servicios ofrecidos disponibles en la Plataforma.

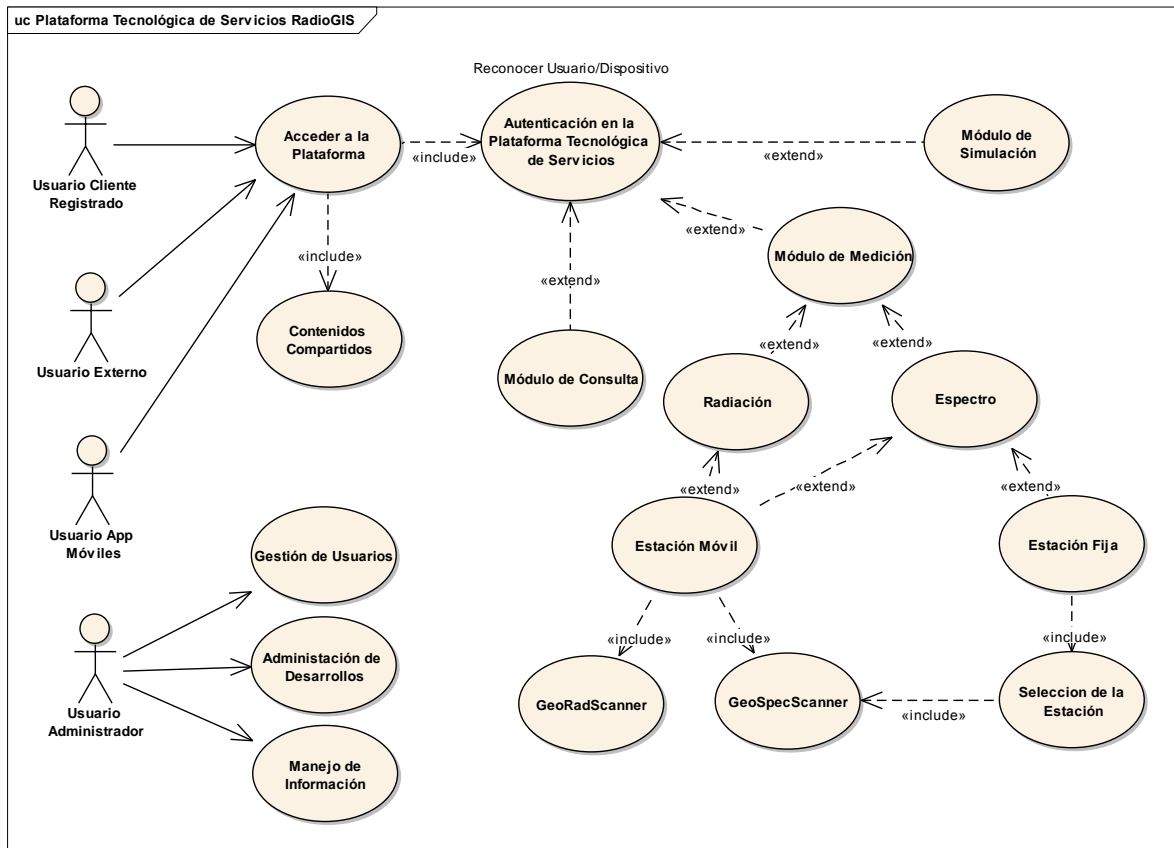
El Usuario tiene la opción de hacer públicas o no sus mediciones, si las mediciones se hacen públicas pueden ser consultadas por los demás usuarios, de lo contrario solo estarán disponibles solo para el usuario cuando este se autentique (inicie sesión) en la Plataforma.

Una variante de Usuario Registrado se puede presentar cuando uno de los miembros del Grupo de Investigación RadioGIS realice algún tipo de medición (Espectro, Radiación) ya que los datos de las mismas estarán disponibles en la Plataforma, este usuario tiene acceso a todos los módulos de la Plataforma y sus mediciones serán de dominio Público siempre y cuando no se violen pactos de confidencialidad con alguna empresa o proyecto que este siendo desarrollado por el Grupo, esta información es manejada por el Administrador.

**Usuario App. Móviles:** El usuario de Aplicaciones Móviles, tiene acceso al módulo de consulta de mediciones que hayan sido realizadas por el Grupo de Investigación RadioGIS ya sean de Espectro o de Radiación.

**Usuario Externo:** El usuario Externo puede acceder a la Página de Bienvenida de la Plataforma, en la cual se muestran los datos de contacto y demás información de interés a los usuarios externos. El usuario externo puede acceder a un limitado número de mediciones que han sido compartidas por el usuario administrador o el usuario cliente, este modulo es solo informativo ya que el usuario externo no posee ningún tipo de interacción adicional con la plataforma.

### 5.7.4 Casos de uso



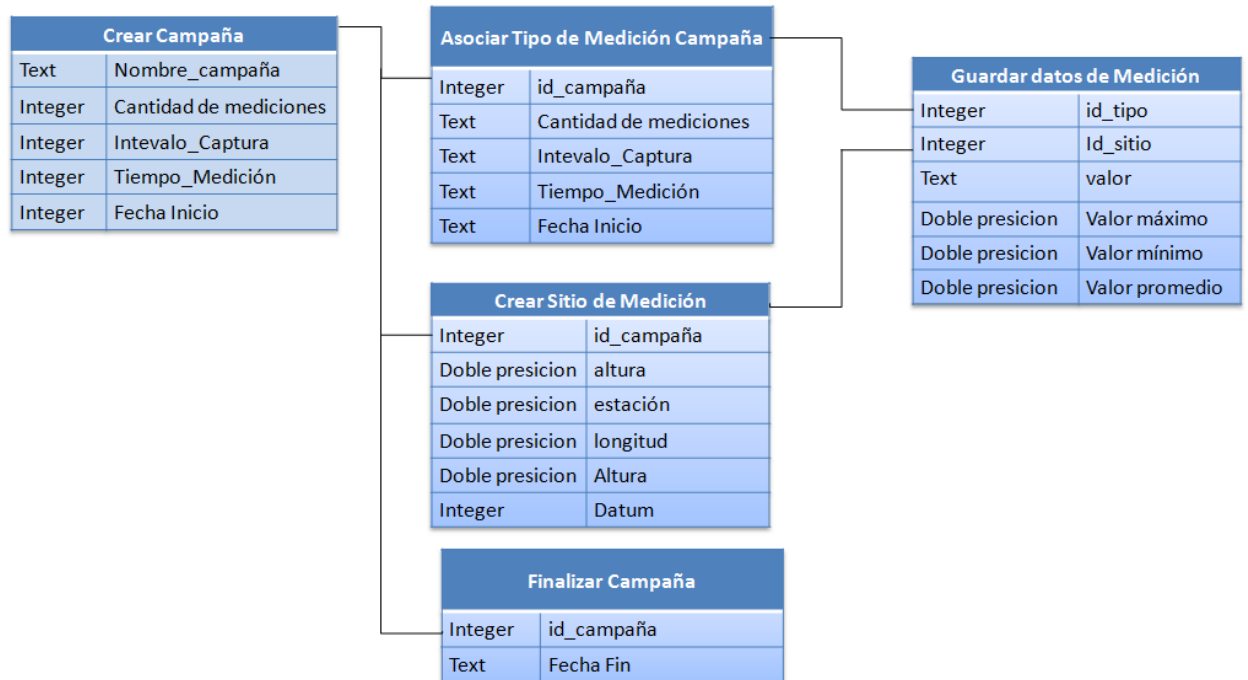
**Figura 84 Modelado del Geoportal**

### 5.7.5 Base de datos

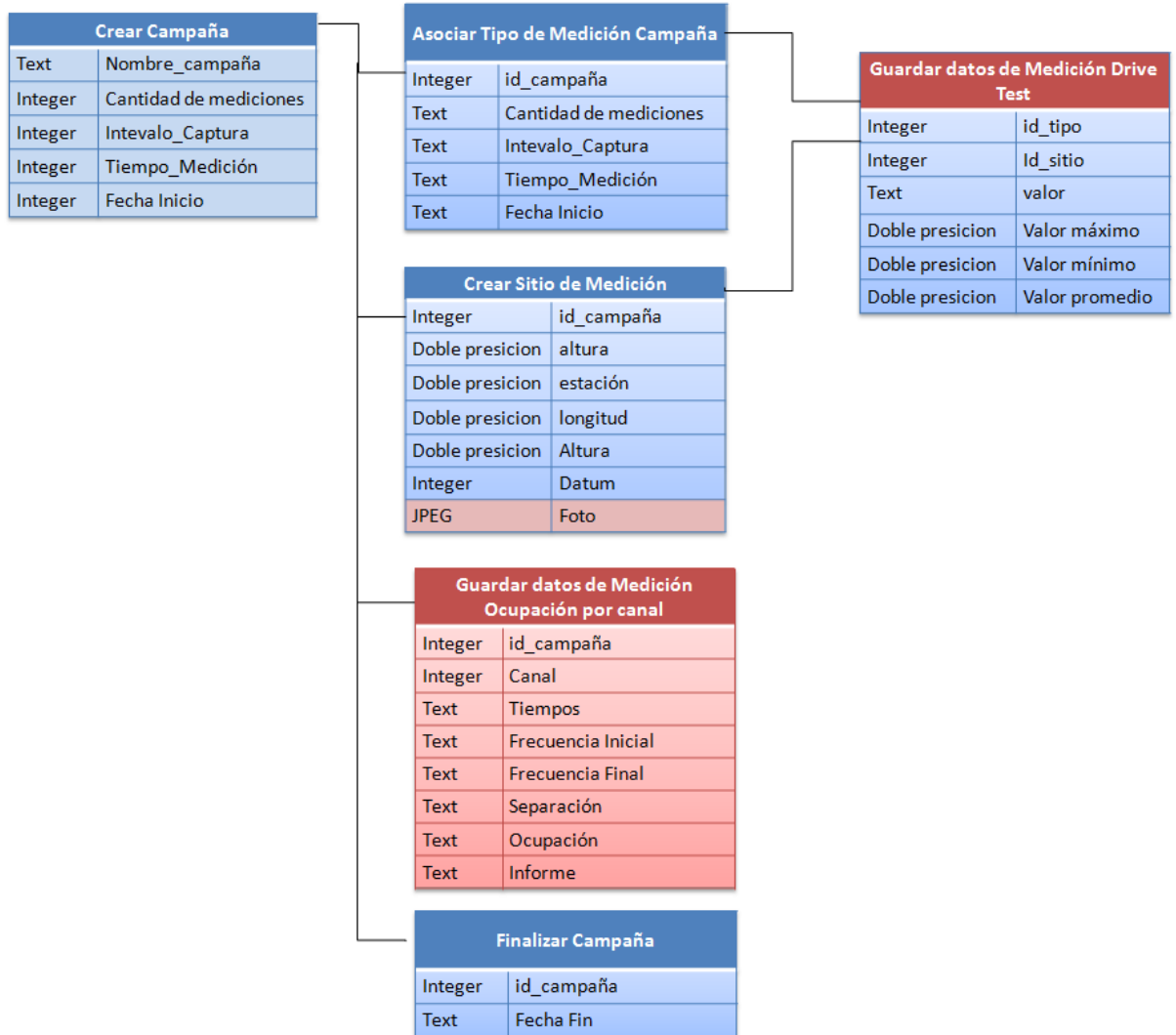
Para la consulta de los datos es forzoso un cambio en la base de datos actual, puesto que es importante enviar al servidor todos los datos relacionados con la medición para su posterior consulta. En la figura 85 y 86 se pueden comparar el estado de la BD actual y los cambios propuestos los cuales se señalan en color rojo.

1. Se propone un nuevo campo en la BD para guardar las imágenes (o la referencia a memoria) de fotografías tomadas en los lugares de medición las cuales juegan un importante papel en el análisis de los datos, ya muestra el entorno de la propagación de las ondas.
2. Se debe crear una nueva tabla que almacene los datos obtenidos mediante campaña de medición de ocupación de canales, los campos actuales solo permiten el envío de

datos propios de una medición Drive Test. Se debe crear un nuevo registro de esta tabla por cada canal analizado en campo.



**Figura 85. Campos en BD actual**



**Figura 86 Cambios necesarios en BD**

## Conclusiones

Se desarrolló un sistema para la medición georeferenciada del espectro, mediante el empleo de un analizador de espectro y un dispositivo GPS, la herramienta incorpora tanto un modo analizador de espectros básicos, como módulos de medición de ancho de banda, ocupación de canal, emisiones no deseadas y espectrograma, con lo cual se cumplen los objetivos previamente propuestos en cuanto a la creación de una interfaz de usuario la cual permite configurar los instrumentos empleados en la medición.

A medida que se aumenta el volumen de datos a analizar, se hace indispensable pasar de las técnicas de análisis manual a técnicas de análisis sistematizado que ofrezcan captura, registro y análisis de los datos, disminuyendo el costo de mantenimiento y operación de los sistemas manuales y una reducción considerable en los tiempos de operación.

Contar con un sistema de monitoreo automático del espectro, en un país con una creciente demanda de recurso espectral, es de gran ayuda para apoyar los procesos de gestión, vigilancia y control propios de la gestión del espectro.

La utilización de modernas arquitecturas de comunicación y programas especializados de cómputo en los procesos de comprobación técnica del espectro, permite la realización de mediciones repetitivas de forma ágil y precisa.

La automatización y acople de los procesos de gestión y comprobación técnica del espectro, promueve la utilización de los recursos informáticos en busca de la optimización de las tareas de la gestión del espectro, así como la reducción de los costos.

De una correcta gestión del espectro, depende que un país en desarrollo tenga la capacidad de incorporar nuevos servicios de Telecomunicaciones, lo cual genera crecimiento económico en el país y mejora la calidad de la vida de los ciudadanos.

La potencia real se obtiene en el analizador debe compensarse teniendo en cuenta las pérdidas en el cable y la ganancia de la antena. En el anexo B se encuentra la

caracterización del cable realizada en el laboratorio y las especificaciones de las antenas. la potencia real se obtiene mediante la siguiente fórmula:

$$P_{real}[dBm] = potencia\ mostrada\ en\ el\ analizador[dBm] \\ +\ perdid\ as\ en\ el\ cable[dB] -\ ganancia\ de\ la\ antena[dBi]$$

Contar con equipos especializados para el monitoreo del espectro es de gran importancia si el objetivo es llevar a cabo procesos automatizados de gestión, ya que estos ofrecen un alto grado de confiabilidad en los datos capturados y permiten la integración de los mismos a plataformas de desarrollo y control.

El grado de precisión del dispositivo GPS es clave en la obtención de coordenadas geográficas del sitio de medición, ya que un bajo grado de precisión genera un alto grado de desviación en las coordenadas y un error al proceso de georeferenciación de los datos.

### **Planes a futuro**

Tomando como un modelo de sistema de monitoreo del espectro realizado y contando con las grandes ventajas de los nuevos servicios de información y los nuevos desarrollos en cuanto a las redes de transferencias de datos, se esperaría poder implementar un sistema general de monitoreo del espectro el cual cuente con estaciones fijas y móviles

Con la evolución, mejora y adecuación de este tipo de sistemas, se espera lograr un ahorro en cuanto a los recursos económicos que se emplean en los procesos o campañas de medición, debido a que se prescinde de un técnico especializado que deba desplazarse a algún sitio o zona de medición que este fuera de su área de trabajo, teniendo en cuenta que con el empleo de esta herramienta, el técnico u operador puede llevar a cabo el proceso de medición de forma remota.

Diseñar la base de datos adecuada para el envío de los datos a la plataforma. Lo permitirá desarrollar un nuevo modulo de consulta más sofisticado que el modulo actual, que este a la vanguardia de los sistemas de monitoreo comerciales.

Consumir los web services directamente desde LabVIEW, puesto que los dll son generados a partir del dominio y web services específicos del servidor, cuando se realiza cualquier cambio en el servidor deja de ser compatible, por lo que no es posible la transmisión. Además los dll son específicos para sistemas operativos Windows lo que impide la ejecución en otros sistemas operativos. Se pueden implementar nuevos y mejorados módulos de medición para la realización de otro tipo de pruebas que se quieran realizar siempre y cuando el equipo posibilite esto

### **Bibliografía.**

- [1] “3GPP TS 23.271 v7.4: Functional stage 2 description of Location Services (LCS)”. 2006.
- [2] A. D. Spaulding, George H. Hang “*On the definition and estimation of Spectrum Occupancy*”, IEEE Transactions on Electromagnetic compatibility, 1977.
- [3] Betke, Klaus. “The NMEA 0183 Protocol”. May 2000. Revised August 2001. Disponible en: <http://www.tronico.fi/OH6NT/docs/NMEA0183.pdf> [consultado en Septiembre 23 de 2011].
- [4] Cesar Camilo Rodríguez Sánchez y Homero Ortega Boada. “Sistema de Escaneo Geo-Referenciado del Espectro Radioeléctrico- GeoSpecScanner”, 2010.
- [5] Comisión Federal de Telecomunicaciones CFT. Red Nacional de Radio-monitoreo (RENAR). México. Disponible en: <http://www.cft.gob.mx/renar.asp>. Consultado 5 de mayo de 2010
- [6] Conexión Global. “Asignación, gestión y aplicación del espectro radioeléctrico”. Disponible en: <http://transition.fcc.gov/ib/initiative/files/cg/spanish/10.pdf> [consultado en Septiembre 29 de 2011].
- [7] Elkin Adolfo Díaz Vanegas, Juan Sebastián Avellaneda Hernández. “Geoportal Web como parte de un servicio para la simulación de un modelo de Radio-Propagación con información georeferenciada”. Bucaramanga, 2011. Trabajo de grado (Ingenieros de Sistemas). Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físico-mecánicas. Escuela de Ingeniería de Sistemas e Informática.
- [8] Garmin Protocol. Disponible en: <http://www.abnormal.com/~thogard/gps/grmnprot.html> [consultado Octubre 4 de 2011].
- [9] GpsGate. Framson GPSgate 2.6. Disponible en: [www.gpsgate.com](http://www.gpsgate.com) [consultado en Octubre 2 de 2011].
- [10] “ITU Spectrum Monitoring Handbook”, chapter 4, 4.12. 6 de Julio de 2010.

- [11] LBS, servicios de localización, navegación GPS y mapas. “¿Que son los Servicios basados en localización?” [en línea]. <http://lbspro.com/?q=que-son-servicios-localizacion-LBS> [consultado en Septiembre 23 de 2011].
- [12] “Manual de Comprobación Técnica del Espectro”, Oficina de Radiocomunicaciones, Unión Internacional de Telecomunicaciones, 2002.+
- [13] McLean Foster & Co. En Colaboración con Martin Cave y Robert W. Jones. “Gestión del espectro Radioeléctrico. Capítulo 6: Comprobación técnica del espectro y fiscalización de la Conformidad”. 2009.
- [14] National Marine Electronics Association. “Protocolo NMEA”. Disponible en: <http://www.nmea.org/> [consultado en Octubre 2 de 2011].
- [15] NOKIA Sports Tracker Beta [en línea]. <http://sportstracker.nokia.com> [consultado en 12 de Septiembre de 2011].
- [16] Paul Correia, “Guía Práctica del GPS”. Editions Eyrolles, Paris, 2000.
- [17] Quintuña Rodríguez, Verónica Karina. “Mapa de Control del espectro Radioeléctrico”. Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca-Ecuador, 2010. Disponible en: [http://www.unicrom.com/Tel\\_RF1.asp](http://www.unicrom.com/Tel_RF1.asp), <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/419> [consultado en Septiembre 16 de 2011].
- [18] Rhode & Schwarz. “R&S ZVL-K1 Spectrum Analysis Options Software Manual”. Múnich, Germany, 2009. Página 240.
- [19] Roger S. Pressman, INGENIERÍA DEL SOFTWARE. Un enfoque práctico. (5 edición), McGRAW-HIL, 2002
- [20] Sánchez García, Jaime. Meza Múgica Myriam. “Redes Celulares de Tercera Generación: CDMA2000 y WCDMA”. En: e-GNOSIS: Revista digital científica y tecnológica [en línea]. Volumen 3, 2005. Universidad de Guadalajara. Guadalajara, México. <http://redalyc.uaemex.mx/pdf/730/73000304.pdf> [consultado en Octubre 1 de 2011]. ISSN (Versión en línea): 1665-5745.

- [21] Stefan Streiniger, Moritz Neum and Alistair Edwardes. “Foundations of Location Based Services-Lesson 1”. GIS Division. Department of Geography, University Of Zürich, Switzerland.
- [22] UIT-R SM.328-11 “Espectros y Anchuras de Banda de las Emisiones”. Unión Internacional de Telecomunicaciones, Recomendación 2006.
- [23] UIT-R SM.1047, “Gestión Nacional del Espectro”. Unión Internacional de Telecomunicaciones, Recomendación. 2011.
- [24] UIT-R SM.1048, “Directrices para el diseño de un sistema básico automatizado de gestión del espectro”. Unión Internacional de Telecomunicaciones, Recomendación. 1994.
- [25] UIT-R SM.1370, “Directrices de diseño para la elaboración de sistemas avanzados de gestión automática del espectro”. Unión Internacional de Telecomunicaciones, Recomendación. 2001.
- [26] UIT-R SM.1392, “Requisitos esenciales para una estación de comprobación técnica del espectro para países en desarrollo”. Unión Internacional de Telecomunicaciones, Recomendación. 2011.
- [27] UIT-R SM.1500. “Tareas que ha de realizar un servicio de comprobación técnica de las emisiones”. Unión Internacional de Telecomunicaciones, Recomendación. 2004.
- [28] UIT-R SM.1537, “Automatización e integración de los sistemas de comprobación técnica del espectro con la gestión automática del espectro”. Unión Internacional de Telecomunicaciones, Recomendación. 2001.
- [29] UIT-R SM.1809, “Formato normalizado de intercambio de datos para los registros y mediciones de bandas de frecuencias efectuados en estaciones de comprobación técnica”. Unión Internacional de Telecomunicaciones, Recomendación. 2007.
- [30] UIT-R SM.1880, “Mediciones de la ocupación del espectro”. Unión Internacional de Telecomunicaciones, Recomendación. 1994.

## **Anexos**

### **Anexo A. Medición de Ocupación de canal**

Las mediciones de ocupación de espectro determinan el grado, en porcentaje, de ocupación del espectro. La información de cómo, quien y cuando ocupa una banda de frecuencia no se consideran parte de la ocupación del espectro, hace parte de “Análisis de la señal e identificación de transmisor” y “Radiogoniometría”, [8, 4.7 y 4.8], para estas tarea se requieren equipos especializados.

Las tareas que relativas a la ocupación del espectro, son: Registro de ocupación de canal, Registro de banda de frecuencia, Análisis de tráfico, mostrar que banda de frecuencia está disponible para su nuevo uso después de “reorganización”, identificación de uso ilegal de frecuencias, prevención de interferencias y análisis de las redes celulares con la asignación dinámica de canales (determinación del comportamiento de una célula en su conjunto). [8, 4.10.5.2]

### **Técnicas de Medición**

Las mediciones automáticas de ocupación de espectro y se dividen en dos métodos de medición:

- Medición de Ocupación de Banda de Frecuencia: (Frequency Band Occupancy Measurement - FBO) medición de una banda de frecuencia en un número de pasos con un determinado tiempo de revisitado y un determinado ancho de banda de filtro (RBW), normalmente se realiza con un analizador de espectro. Los resultados indican cuál es la ocupación de dicha banda de frecuencias, durante un periodo de tiempo, normalmente 24 h. [29].
- Medición de Ocupación de Canales de Frecuencia (Frequency Channel Occupancy Measurement - FCO), se denomina medición de ocupación de canales de frecuencia y usa la medición de ocupación de banda FBO. Típicamente se realiza con un receptor. El receptor mide un número determinado de canales en el mismo periodo de tiempo, la separación entre canales consecutivos no es necesariamente la misma. [30].

### **Medición de Ocupación de Canales de Frecuencia**

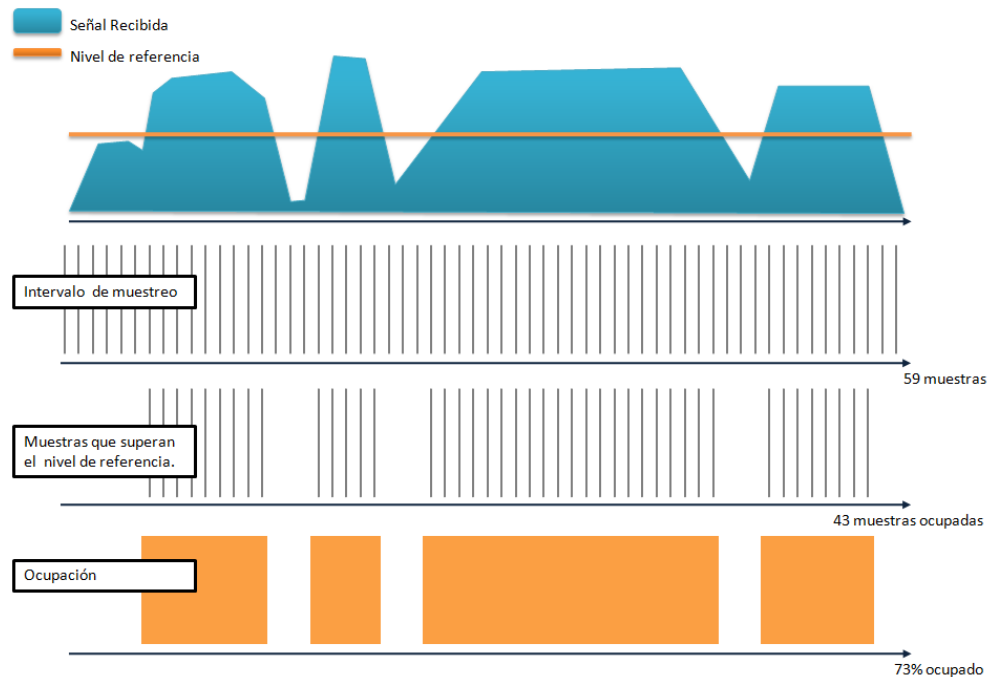
#### **Principios básicos y parámetros de medición**

Para hacer la planeación de una campaña de medición de ocupación de canales, FCO, existe varios parámetros relevantes que deben estar muy bien definidos, como son: el tiempo de *muestreo* de cada canal registrado en el analizador, el nivel de referencia (*Threshold*), tiempo de medición por canal (*tiempo de observación*), tiempo de medición por banda

(*tiempo de observación*), tiempo total de medición de la campaña (*tiempo de duración*), *tiempo de resolución* ya que se obtienen muchos datos en bruto se debe hacer un promedio a intervalos de tiempo definidos. También se debe tener en cuenta el entorno de lugar, *emplazamiento*, en el cual se realizara la medición de espectro.

**Muestreo y nivel umbral**

Para hacer una estimación de la ocupación de espectro, se puede definir la ocupación de un canal de transmisión en dos estados aleatorios. Estado 1: “ocupado”, definido como el evento que, durante una observación, la intensidad de la señal en el analizador es superior a un umbral dado, y el Estado 2: cuando la señal es menor al nivel umbral. Ya que estos estados en el canal son aleatorios, su estado en un momento dado no se puede predecir. Más sin embargo, se puede definir en términos de las leyes de probabilidad, como, la probabilidad incondicional<sup>24</sup> de que una muestra aleatoria estará por encima del umbral ha sido definida como “Ocupación” de canal. Este se expresa en porcentaje. Para obtener una estimación se debe obtener tanta información como sea posible, con el mínimo trabajo experimental posible [2]. La figura A1 muestra una señal en el dominio de la frecuencia de intensidad variable, un nivel umbral de potencia definido, el espacio entre muestras (periodo de muestreo), y el número de muestras que superan el nivel umbral.



**Figura 87 Estimación de la Ocupación de Canal.**

<sup>24</sup> **Probabilidad incondicional:** la probabilidad que un evento ocurra no depende de un resultado anterior o relacionado. Para calcular la probabilidad incondicional de un evento, la suma de los resultados del evento se divide en el total de los posibles resultados.

La estimación de ocupación de canal se estima basada en el número de muestras que superan el nivel umbral en relación con el número total de muestras, por ejemplo, en la figura A1 43 de las 59 muestras superan el nivel umbral lo que significa una ocupación estimada del 73%. Estos datos pueden ser promediados cada 1, 5,15 min, 1h, 3h, 6h o 24h, según se desee.

El *nivel de referencia* (Threshold Level) debe ser tan bajo como sea posible, para evitar el ruido. Es útil que este valor pueda ser cambiado de acuerdo al tipo de evaluación que se requiera.

La Tabla A1, extraída de [8, Cap. 4.10-1], indica la exactitud en relación con el número de muestras, para que los resultados presenten un grado de confianza razonable. Cuanto más baja sea la ocupación mayor será el número de muestras de necesarias para obtener buenos resultados, por ejemplo, haciendo muestreo dependiente (al mismo intervalo) suponiendo una ocupación estimada del 30%, y un tiempo de revisitado de canal de 4 segundos, 2632 muestras deben ser tomadas por intervalo.

**Tabla A16 Número de muestras dependientes necesarias para conseguir  $\pm 10\%$  de precisión relativa y 95% de nivel de confianza en diferentes porcentajes de ocupación.**

Ocupación Prevista (%)	Periodo de muestreo de 4 s	
	N° de muestras dependientes requeridas	Horas requeridas de muestreo dependiente
6.67	16641	18.5
10	10730	12.0
15	6563	7.3
20	4759	5.3
30	2632	2.9
40	1777	2.0
50	1182	1.3
60	785	0.9
70	166	0.2

### Escalas de tiempo

Para hacer una medición de FCO, además de determinar el número de muestras de cada canal, como se discutió anteriormente, es indispensable tener presente que existe una fuerte relación entre el tiempo de observación, el número de canales, la longitud promedio de transmisión, la exactitud deseada y la duración del monitoreo.

La escala de tiempo más importante, es el tiempo de una transmisión individual, el receptor debe barrer con la suficiente rapidez para que todas las señales de la zona se observen, este

es el tiempo más pequeño, por lo tanto, este debe ser el intervalo de tiempo entre observaciones consecutivas de un canal dado. [2]

El *tiempo de revisitado* es el tiempo utilizado para visitar todos los canales que deben ser medidos (estén o no ocupados) y retornar al primer canal. El *tiempo de tratamiento* (transferencia de datos entre el receptor y el controlador) también afecta al tiempo de revisitado, debe mantenerse lo más corto posible. El *tiempo de observación por canal*, Figura A2, depende de la velocidad de barrido del equipo de comprobación técnica (Sweep Time). Para poder mantener un tiempo de revisitado razonablemente corto, con equipo relativamente lento, el número de canales medido debe ser reducido. [30]

El *tiempo de revisitado* depende del *tiempo de observación* y el *número de canales*, (1).

$$\begin{aligned} \text{Tiempo de revisitado} \\ = (\text{Tiempo de observación} \times \text{Número de canales}) + \text{Tiempo de tratamiento} \end{aligned} \quad (1)$$

El *tiempo de revisitado* debe ser mucho más pequeño que la longitud de transmisión promedio. En (1) vemos que el *numero de canales maximo* depende del *Tiempo de revisitado*, y que para mantener un *Tiempo de revisitado* relativamente corto se deben reducir el número de canales.

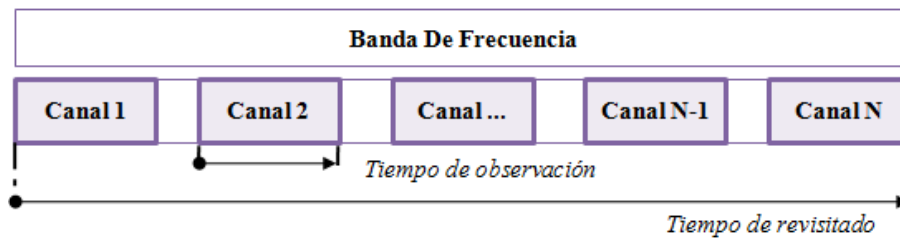


Figura 88 Escalas de tiempo para banda y canal de frecuencia.

La *duración de la comprobación técnica*, Tabla A1, es el tiempo total de observación del espectro, debe ser lo suficientemente larga como para permitir comprobar todas las emisiones pertinentes; se define teniendo en cuenta *tiempo de revisitado*, los valores típicos de *las longitudes de la transmisión* esperadas, el *número de canales* que deben explorarse y la precisión deseada de los resultados.

Para capturar todas las transmisiones en la banda observada se determina el *Tiempo máximo de revisitado*

$$\text{Tiempo máximo de revisitado} = \frac{\text{Tiempo mínimo de cualquier Tx en la banda}}{2}$$

El *tiempo mínimo de cualquier Tx en la banda* es el menor de los tiempos de activación y desactivación de cualquier transmisión en la banda.

Cuando en la banda en estudio hay ráfagas digitales *tiempo mínimo de Tx en la banda*, puede ser demasiado pequeño, entonces en tiempo de comprobación se toma lo suficientemente largo para aumentar en número de muestras y por tanto la probabilidad de detectar dichas transmisiones.

### **Resolución de la medición**

No es conveniente grabar los datos en bruto ya que los volúmenes de datos son demasiado grandes y difíciles de procesar. Por esta razón es conveniente hacer un promediado a un intervalo definido. Para tiempos de monitoreo largos, la resolución adecuada debe ser 5, 15 o 60min. [10]

### **Consideraciones sobre el emplazamiento para estaciones móviles**

La estación de comprobación técnica debe ubicarse: lejos de fuertes transmisores de radio, lejos de estructuras o edificios que puedan causar reflexiones, dentro del área de servicio del sistema de radio a ser medido y alejada de fuentes de ruido eléctrico, motores, computadores [10]. Es importante documentar los análisis realizados para seleccionar el emplazamiento, indicando la zona y los emisores que deben considerarse.

### **Medición según Bandas de Frecuencia**

Para medir la ocupación de espectro radioeléctrico, se pueden partir en dos bandas, las frecuencias inferiores a 30 MHz y las frecuencias superiores a 30MHz. Aunque, la medición de ocupación de espectro inferior y superior a 30MHz, en principio, es el mismo procedimiento.

#### **Frecuencias menores a 30 MHz**

En frecuencias inferiores a 30 MHz no se usa la medición de canales de frecuencia, FCO, la medición de Ocupación de Bandas de Frecuencia FBO descrita en la Recomendación ITU-R SM.1809 da excelentes resultados para la medición de ocupación del espectro radioeléctrico inferior a 30MHz. El equipo debe tener una capacidad de filtro de resolución de entre 100 Hz y 10 kHz, el periodo de medición y el número de muestras depende de los objetivos la campaña de medición.

#### **Frecuencias mayores a 30 MHz**

Para la medición de ocupación en el espectro radioeléctrico superior a 30 MHz, se debe realizar el método de ocupación de canales, el cual es una combinación del método de medición se describe en la Recomendación ITU-R SM.1809 con el método de procesamiento de la SM.1880.

El monitoreo automático, se debe iniciar con medición de ocupación de banda de frecuencia, pero si se requiere información más detallada se hace la medición por canal, la configuración del analizador depende la banda de frecuencia a escanear. El tiempo de duración depende de la cantidad de datos deseados. El *nivel de la señal* es guardada en cada barrido, mas sin embargo se promedian cada cierto tiempo definido como el *tiempo de resolución*. El la figura A3 representa la relación de los diferentes tiempos que se deben definir para hacer una medición por canales.

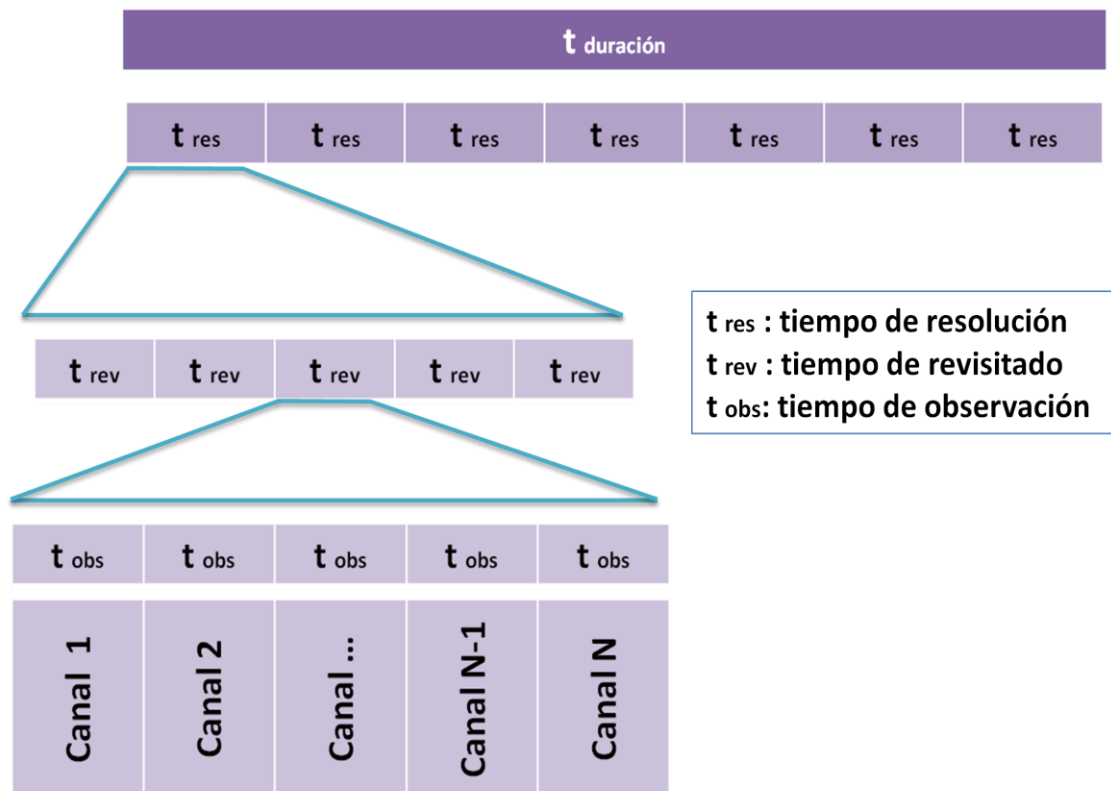


Figura 89 Relación de los tiempos que se deben definir para hacer medición ocupación por canales

Diseño – Algoritmo Implementado en el software de control

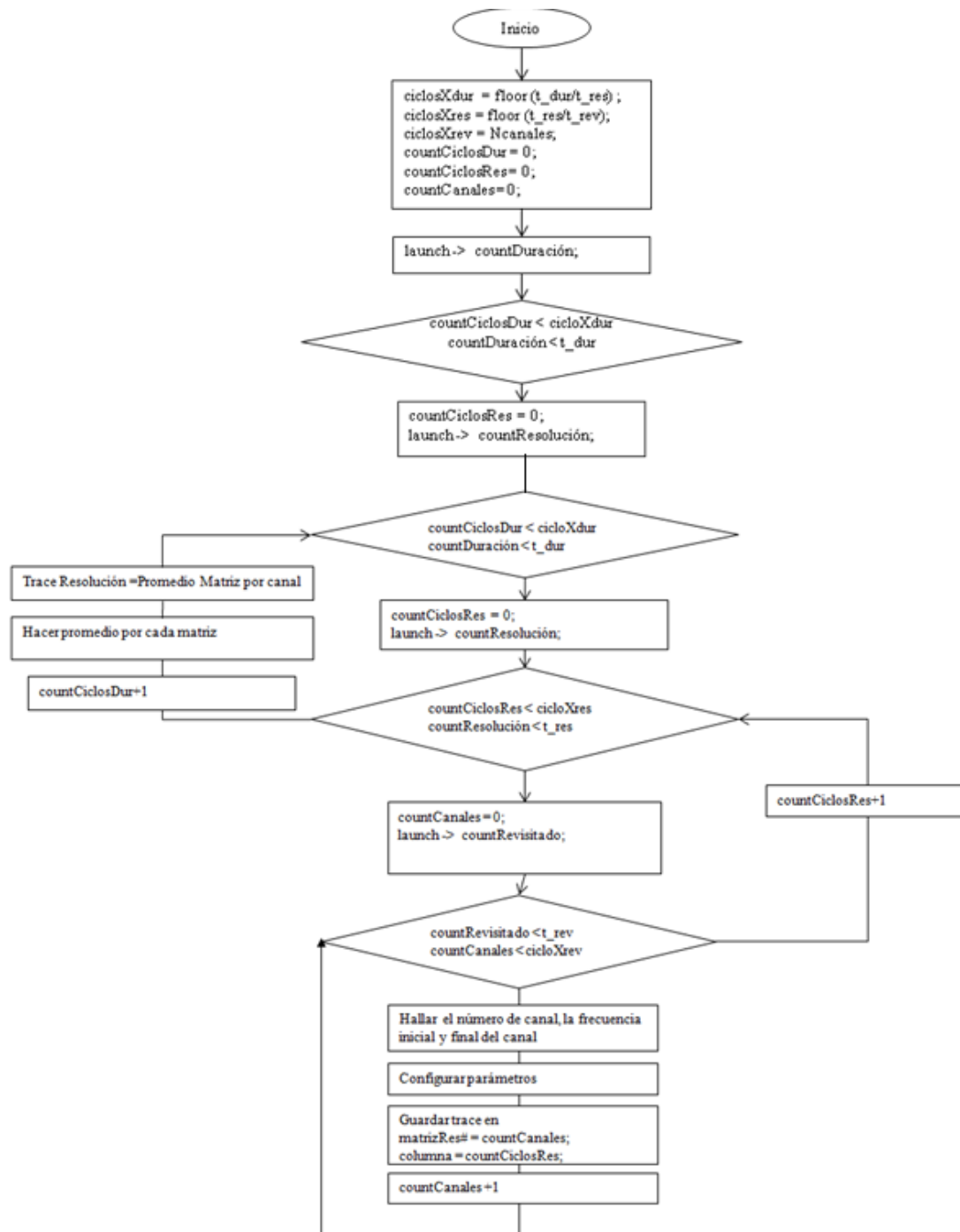


Figura 90 Algoritmo Implementado en el software de control

### Formato de intercambio de datos

Para mantener uniformidad con las recomendaciones de ente regulador UIT, los informes de ocupación de espectro se generaran de acuerdo al formato definido en la recomendación UIT-R SM.1809, el formato para almacenar los datos se basa en el Formato Común de Intercambio de Datos (CEF, por sus siglas en ingles Common data Exchange Format), este formato se divide en dos partes principales: la información de la campaña de medición *Cabecera* y los *Datos* medidos en el periodo de observación. Los campos de cabecera que se tendrán en cuenta en el diseño de los informes se especifican en la tabla A2. El campo de datos se ordena en líneas, al inicio de cada línea se debe incluir la hora de inicio de barrido en el siguiente formato HH:MM:SS, luego se escriben los datos del barrido separados mediante comas, por lo que los datos se deben guardar con punto decimal. Los datos se pueden aproximar al entero más cercano, o cuando se requiere más precisión se usa decimal de precisión.

**Tabla 17 Datos de cabecera en el Formato Común de Intercambio de Datos**

Nombre del campo	Formato	Descripción
<b>Tipo de fichero:</b>	Texto	Tipo y/o versión del fichero de datos
<b>Nombre del emplazamiento:</b>	Texto	Nombre del emplazamiento donde se efectúan las mediciones
<b>Latitud:</b>	Texto	DD.MM.SSx donde « x » es « N » o « S »
<b>Longitud</b>	Texto	DD.MM.SSx donde « x » es « E » o « W »
<b>Frecuencia inicial:</b>	Numérico (Real)	Frecuencia (kHz)
<b>Frecuencia final:</b>	Numérico (Real)	Frecuencia (kHz)
<b>Tipo de antena:</b>	Texto, Numérico (Real), Numérico (Real)	Información, ganancia (dBi), k-factor (dB/m). Los campos de ganancia y k-factor se pueden omitir si no se emplean
<b>Anchura de banda del filtro:</b>	Numérico (Real)	En kHz
<b>Unidades de nivel:</b>	Texto	dBuV, dBuV/m o dBm (obsérvese que se utiliza «u» en vez de «μ»)
<b>Fecha:</b>	Texto	Fecha de la medición, con el formato AAAA-MM-DD (fecha inicial, si las mediciones pasan de un día al siguiente). Se señala que en todas las líneas de la sección de datos también se almacena la hora
<b>Puntos de datos:</b>	Numérico (entero )	Número de elementos en la fila de datos (puntos de datos del analizador o pasos del receptor)
<b>Duración de barrido:</b>	Numérico (real)	El tiempo real (en segundos) que utiliza el equipo para realizar el barrido desde la frecuencia inicial hasta la frecuencia final. En el caso de equipos digitales que usen FFT, se trata del tiempo requerido para el muestreo del bloque de datos
<b>Detector:</b>	Texto	
<b>Nota:</b>	Texto	Comentarios generales
Nombre del campo	Formato	Descripción

<b>Atenuación:</b>	Numérico (entero)	Valor de la atenuación del equipo en dB, se debe dejar el campo vacío
<b>Tipo de filtro:</b>	Texto	Anchura de banda y factor de forma para ese tipo de filtro. Para los sistemas digitales que utilicen FFT, se puede indicar acá el tipo de ventana empleado
<b>Comentario:</b>	Texto	Observación corta, de menos de 40 caracteres, con información importante que podría aparecer en los informes finales al lado de los datos
<b>Barridos múltiples:</b>	Texto	S o N Si no se incluye este campo opcional, el valor se fija automáticamente a N
<b>Precisión de la medición:</b>	Numérico	Anchura de banda y factor de forma del tipo de filtro de video
<b>Tipo de filtro de video:</b>	Texto	Anchura de banda y factor de forma del tipo de filtro de vídeo

**Tabla 18 Formato para informes de Ocupación.**

<b>Tipo de fichero:</b>	<b>Formato común de intercambio de datos V1.0</b>
<b>Nombre del emplazamiento:</b>	Bucaramanga
<b>Latitud:</b>	7° 5' 7.82" N
<b>Longitud:</b>	-73° 6' 43.27" W
<b>Frecuencia inicial:</b>	7000
<b>Frecuencia final:</b>	7200
<b>Tipo de antena:</b>	invertida
<b>Anchura de banda del filtro:</b>	0,5
<b>Unidades de nivel:</b>	dBuV
<b>Fecha:</b>	2011-10-09
<b>Puntos de datos:</b>	80000
<b>Duración de barrido:</b>	7.5
<b>Detector:</b>	RMS
<b>Nota:</b>	Este es un fichero de ejemplo
<b>Atenuación:</b>	3
<b>Tipo de filtro:</b>	Gaussiano 3 dB, Factor de forma 3.2
<b>Comentario:</b>	
<b>Precisión de la medición:</b>	
<p>00:00:00,65,56,64,54,23,29,32,43,54,25,29,25,36...etc...,43,59  00:00:10,64,53,65,59,42,37,35,34,64,25,26,36,63...etc...,54,61  00:00:20,62,57,64,59,41,36,26,42,53,62,16,52,24...etc...,52,66  .....etc.  07:29:50,53,33,61,44,25,44,36,26,46,24,26,24,63...etc...,29,56</p>	

## Anexo B. Especificaciones de antenas y cable

### Antena HG1911U



Figura 91 Antena Omnidireccional HG1911U<sup>25</sup>

Tabla B19 Especificaciones Eléctricas antena HG1911U

<b>Frequency</b>	1880 - 1990 MHz
<b>Gain</b>	11 dBi
<b>Vertical Beam Width</b>	9 degrees
<b>Electrical Down-tilt</b>	2 degrees
<b>Impedance</b>	50 Ohm
<b>Max. Input Power</b>	150 Watts
<b>VSWR</b>	< 1.5:1 avg.

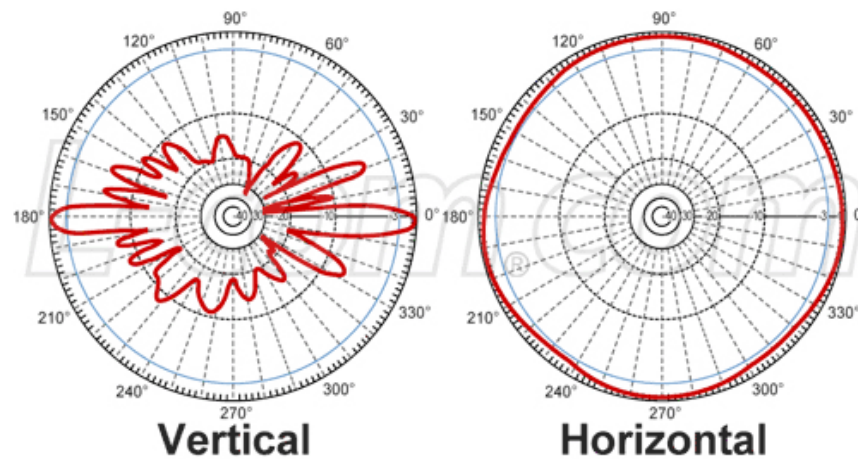


Figura 92 Patrón de radiación antena HG1911U<sup>26</sup>

<sup>25</sup> Antena Omnidireccional HG1911U, para mayor información visite: <http://www.l-com.com/home.aspx>

**Antena 3.5 dBi (HG2404CU)**



**Figura 93 Antena 3.5 dBi – HG2404CU<sup>27</sup>**

**Tabla B20 Especificaciones eléctricas antena HG2404CU**

<b>Frequency</b>	800-3000 MHz
<b>Gain</b>	3.5 dBi
<b>Polarization</b>	Vertical (Linear)
<b>Vertical Beam-width</b>	90°
<b>Horizontal Beam-width</b>	360°
<b>Impedance</b>	50 Ohm
<b>Max. Input Power</b>	50 Watts
<b>VSWR</b>	< 1.5:1 avg.
<b>Weight</b>	0.94 lbs. (0.35 kg)
<b>Dimensions</b>	7.0 in. (180mm) diameter 2.75 in. (70mm) height
<b>Mounting</b>	5/8 in. diameter hole
<b>Operating Temperature</b>	-40° C to 85° C (-40° F to 185° F)
<b>RoHS Compliant</b>	Yes

<sup>26</sup> Patrón de Radiación antena HG1911U, para mayor información visite: <http://www.l-com.com/home.aspx>

<sup>27</sup> Antena 3.5 dBi – HG2404CU, para mayor información visite: <http://www.l-com.com/home.aspx>

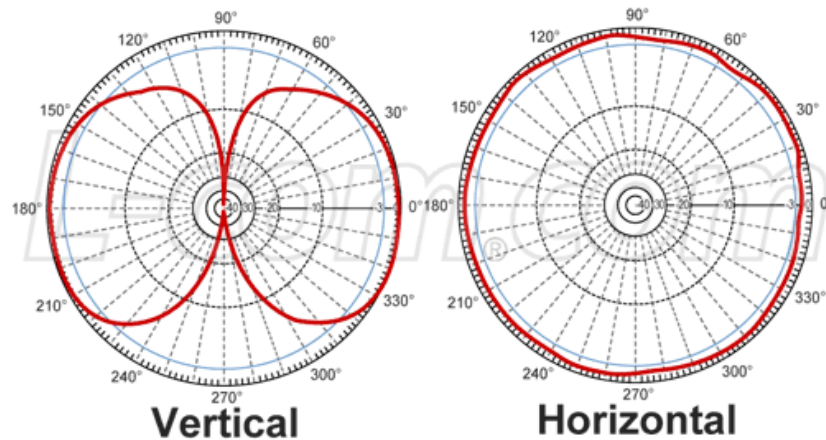


Figura 94 Patrón de radiación Antena HG2404CU<sup>28</sup>

### Cable R&S®ZV-Z191 model .36

Tabla 21 Especificaciones eléctricas del Cable R&S®ZV-Z191 model .36

<b>Frequency</b>	0 Hz - 18 GHz
<b>Tx Loss (at maximum Frequency)</b>	< 1.65 dB, typ. 1.36 dB
<b>Tx Loss (versus Frequency)</b>	< $(0.1000 + 0.2758 \cdot \sqrt{f} + 0.0210 \cdot f)$ dB Typ. $(0.0280 + 0.2482 \cdot \sqrt{f} + 0.0154 \cdot f)$ dB where f is the Frequency in GHz
<b>Delay time</b>	90°
<b>Weight</b>	266g. (9 oz)
<b>Length</b>	914 mm (36 in)
<b>Operating Temperature</b>	+18 °C to +28 °C

<sup>28</sup> Patrón de Radiación antena HG2402CU, para mayor información visite: <http://www.l-com.com/home.aspx>

## Caracterización

Caracterización según formula Data Sheet Se evalúa la formula **Tx Loss (versus Frequency)** desde 100M hasta 3000M y se obtiene la respuesta en frecuencia del cable.



**Figura 95 Curva de Caracterización para el cable R&S@ZV-Z191**

En el laboratorio se realizó una caracterización del cable con ayuda del generador. Los resultados obtenidos no muestran que el cable debido a la manipulación y el paso del tiempo tienen más pérdidas que las especificadas en el Data Sheet. Se presenta la siguiente tabla, Tabla B4, para consultar las pérdidas a distintas potencia en el rango de 300 a 2000MHz.

**Tabla 22 Pérdidas de potencia en el Cable en el rango de 300 a 2000 MHz**

FRECUENCIA [GHZ]	POTENCIA GENERADOR [dBm]	POTENCIA ANALIZADOR [dBm]	PERDIDA EN EL CABLE [dB]
0,3	15	14,87	0,13
	10	9,68	0,32
	0	-0,32	0,32
	-10	-10,21	0,21
	-20	-20,22	0,22
	-30	-30,27	0,27
	-40	-40,31	0,31
0,4	15	14,66	0,34
	10	9,45	0,55
	0	-0,52	0,52

	-10	-10,39	0,39
	-20	-20,62	0,62
	-30	-30,34	0,34
	-40	-40,2	0,2
0,5	15	14,68	0,32
	10	9,33	0,67
	0	-0,71	0,71
	-10	-10,54	0,54
	-20	-20,54	0,54
	-30	-30,75	0,75
	-40	-40,73	0,73
0,6	15	14,83	0,17
	10	9,53	0,47
	0	-0,33	0,33
	-10	-10,32	0,32
	-20	-20,31	0,31
	-30	-30,48	0,48
	-40	-40,53	0,53
0,7	15	14,65	0,35
	10	9,67	0,33
	0	-0,6	0,6
	-10	-10,61	0,61
	-20	-20,58	0,58
	-30	-30,83	0,83
	-40	-40,72	0,72
0,8	15	14,27	0,73
	10	9,26	0,74
	0	0,81	-0,81
	-10	-10,8	0,8
	-20	-20,81	0,81
	-30	-30,84	0,84
	-40	-40,51	0,51
0,9	15	14,81	0,19
	10	9,77	0,23
	0	-0,36	0,36
	-10	-10,36	0,36
	-20	-20,32	0,32
	-30	-30,1	0,1
	-40	-40,92	0,92

1	15	14,44	0,56
	10	9,43	0,57
	0	-0,67	0,67
	-10	-10,64	0,64
	-20	-20,61	0,61
	-30	-30,63	0,63
	-40	-40,96	0,96
1,1	15	14,17	0,83
	10	9,14	0,86
	0	-0,9	0,9
	-10	-10,88	0,88
	-20	-20,85	0,85
	-30	-30,7	0,7
	-40	-40,78	0,78
1,2	15	14,5	0,5
	10	9,52	0,48
	0	-0,58	0,58
	-10	-10,54	0,54
	-20	-20,63	0,63
	-30	-30,42	0,42
	-40	-40,17	0,17
1,3	15	14,54	0,46
	10	9,53	0,47
	0	-0,54	0,54
	-10	-10,54	0,54
	-20	-20,56	0,56
	-30	-30,77	0,77
	-40	-40,32	0,32
1,4	15	14,57	0,43
	10	9,56	0,44
	0	-0,57	0,57
	-10	-10,56	0,56
	-20	-20,52	0,52
	-30	-30,55	0,55
	-40	-40,5	0,5
1,5	15	14,34	0,66
	10	9,32	0,68
	0	-0,76	0,76
	-10	-10,74	0,74

	-20	-20,66	0,66
	-30	-30,6	0,6
	-40	-40,29	0,29
1,6	15	14,32	0,68
	10	9,3	0,7
	0	-0,78	0,78
	-10	-10,8	0,8
	-20	-20,78	0,78
	-30	-30,9	0,9
	-40	-40,71	0,71
	1,7	15	14,39
10		9,36	0,64
0		-0,71	0,71
-10		-10,69	0,69
-20		-20,77	0,77
-30		-30,65	0,65
-40		-40,14	0,14
1,8		15	13,47
	10	8,45	1,55
	0	-1,68	1,68
	-10	-11,68	1,68
	-20	-21,73	1,73
	-30	-31,57	1,57
	-40	-41,01	1,01
	1,9	15	14,55
10		9,53	0,47
0		-0,64	0,64
-10		-10,61	0,61
-20		-20,82	0,82
-30		-30,41	0,41
-40		-40,33	0,33
2		15	13,76
	10	8,72	1,28
	0	-1,24	1,24
	-10	-11,23	1,23
	-20	-21,21	1,21
	-30	-31,44	1,44
	-40	-41,6	1,6