



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



PROYECTO DE GRADO

**SOLUCIÓN DE ESCANEEO GEOREFERENCIADO DE NIVELES DE RADIACIÓN
NO IONIZANTE BASADO EN NARDA NBM-520 (*GeoRadScanner*)**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES
BUCARAMANGA
2009**

TÍTULO:

**SOLUCIÓN DE ESCANEEO GEOREFERENCIADO DE NIVELES DE RADIACIÓN
NO IONIZANTE BASADO EN NARDA NBM-520 (*GeoRadScanner*)**

MODALIDAD:

TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

Proyecto de grado presentado para optar título de Ingeniero Electrónico

AUTORES:

Cesar Camilo Rodríguez Sánchez Código: 2030691

Sergio Andrés Muñoz Sarmiento Código: 2020084

DIRECTOR:

Ph.D Homero Ortega Boada

CODIRECTOR:

MsC (c) Jaime Freddy Ricardo Barrera

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES
BUCARAMANGA
2009**



A la querida memoria de mi abuelo Luis Eduardo Rodríguez Hurtado.

Tú cultivaste en mí la chispa mágica...

...que me motivó a ser lo que soy.

Cesar Camilo



A Jesucristo por darme vida eterna...

por llenarme de bendiciones...

por permitirme tener un familia súper unida....

gracias Señor Jesús!

Gracias Dios!

Pedro, Oscar, Odila... desde pequeño, han robado mi corazón!!!!

Sergio Andrés

AGRADECIMIENTOS

Primero y ante todo a DIOS porque sin ÉL nada es posible y con ÉL todo se puede.

A Pedro León Muñoz por su tiempo y ayuda incondicional en todo momento, sin él no habríamos terminado el proyecto.

A Odila Sarmiento por su carisma, apoyo moral, motivación y por atendernos como reyes. Gracias

A Oscar Muñoz por los consejos y críticas productivas al proyecto.

A Dorito y Blanquita por creer siempre en nosotros.

A los amigos Juacho, Cronita, Yeso y Javier Zabala por su apoyo y comprensión. Que pena por los regaños.

A la división territorial del Ministerio de Comunicaciones por la disposición de los equipos utilizados y la confianza depositada en nosotros.

Al ingeniero Antonio Jaimes, por su total colaboración, carisma y ayuda incondicional que nos permitió obtener resultados eficientes.

Al ingeniero Antonio Balcucho del Ministerio por su colaboración y comprensión.

Al ingeniero Eduard Sastoque por compartir y transmitir toda la investigación y documentación de su proyecto EspecVIEW.

Al ingeniero y amigo Mauricio Hernández por el apoyo incondicional que nos brindó cuando más lo necesitábamos.

Al ingeniero Duban Mejia de TES América por la información compartida.

Al profesor Homero Ortega por la confianza depositada en nosotros.

A Jaime Ricardo que más que un co-director es un amigo, que con su colaboración desde el principio hasta el final nos permitió culminar este proyecto.

Al Ing. José Luis Leal por su valiosa orientación y apoyo.

Al grupo de investigación RadioGIS por los momentos que compartimos.

A la recocha que estuvo presente en todo momento.

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

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	1
1. PRESENTACIÓN DEL PROYECTO	3
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3
1.2 OBJETIVOS	4
1.2.1 Objetivo General	4
1.2.2 Objetivos Específicos	4
1.3 JUSTIFICACIÓN.....	5
1.4 IMPACTOS Y EFECTOS ESPERADOS	6
1.4.1 Impactos científicos y tecnológicos.....	6
1.4.2 Impactos sobre el medio ambiente y la sociedad	6
1.5 ANTECEDENTES	7
1.5.1 Herramienta portátil para monitoreo, georeferenciación y análisis del espectro radio eléctrico	7
1.6 ALCANCES DEL PROYECTO.....	8
2. MARCO TEORICO.....	9
2.1 CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS.....	9
2.1.1 Radiación en Campo lejano y Campo cercano	10
2.2 INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN DE CAMPOS	11
2.2.1 Narda NBM-520.....	11
2.3 EFECTOS DE LOS CAMPOS EN LA SALUD.....	12
2.4 NORMATIVIDAD SOBRE LOS CAMPOS	14
2.4.1 Recomendación UIT-T K.52	14
2.4.2 Decreto 195 de la ley Colombiana	16
2.5 SISTEMAS DE POSICIONAMIENTO GLOBAL.....	18
2.5.1 Estándar NMEA	18
2.5.2 Codificación	19
3. MODELAMIENTO DEL SISTEMA.....	21

3.1	INTRODUCCIÓN	21
3.2	METODOLOGÍAS DE DESARROLLO	22
3.3	MODELO EN CASCADA	24
3.3.1	Análisis.....	25
3.3.2	Diseño.....	31
3.3.3	Desarrollo	37
3.3.4	Puesta en Marcha.....	37
4.	DESCRIPCION DEL SISTEMA.....	39
4.1	Algoritmo y metodología de medición.....	40
4.2	MODULOS DEL SISTEMA GEORADSCANNER.....	43
4.3	MODULO GPS	44
4.3.1	Características del Modulo GPS	45
4.4	MODULO NARDA.....	57
4.4.1	Características del módulo Narda	57
4.4.2	Configuración del puerto serial.....	58
4.4.3	Estructura del Modulo Narda.....	59
4.5	MODULO MAPAS.....	65
4.5.1	Herramienta Apropriada	65
4.5.1.1	¿Cuál es la Herramienta indicada?.....	67
4.5.2	Google Maps tm	68
4.5.3	Explicación del Código.....	69
4.5.4	¿Cómo trabaja el módulo de generación de mapas?.....	71
4.5.5	Operación interna del módulo:	73
4.6	INTERFAZ DE USUARIO	75
5.	MEDICIONES EN UNA ZONA PILOTO	83
5.1	¿Qué zona de Bucaramanga seleccionar?.....	83
5.2	Plan de Mediciones	84
5.3	Resultados y análisis de las Campañas de Mediciones	87
5.3.1	Resultados obtenidos en la Fase 1	87



5.3.2	Resultados obtenidos en la Fase 2	90
5.3.3	Resultados obtenidos en la Fase 3	91
5.3.4	Resultados obtenidos en la Fase 4	92

Lista de Tablas

Tabla 1 Comparación de modelos de procesos.	24
Tabla 2 Relacion GeoRadScanner Vs Sistemas y actores	27
Tabla 3 Requisitos del Sistema	30
Tabla 4 Casos de uso para el usuario	32
Tabla 5 Resultados de las mediciones de la Fase 1	88
Tabla 6 Resultados de las mediciones de la Fase 2.	90

Lista de Figuras

Figura 1 Radiación ionizante y no ionizante	10
Figura 2 Campo Cercano	11
Figura 3 Campo lejano.....	11
Figura 4 Zonas de Exposición	15
Figura 5 Límites de referencia ICNIRP de campo eléctrico	15
Figura 6 Límites de referencia ICNIRP de intensidad de campo magnético	16
Figura 7 Límites de exposición según el decreto 195 de 2005.....	17
Figura 8 Interpretación de trama GGA.....	19
Figura 9 Interpretación de trama GSA	19
Figura 10 Interpretación de trama GSV	20
Figura 11 Interpretación de trama GLL	20
Figura 12 Taxonomía de Dorfman.....	25
Figura 13 Diagrama de Casos de Uso del sistema.....	26
Figura 14 Casos de Uso para el Usuario	31

Figura 15 Diagrama de Clases para la Matriz de Puntos de medición.	32
Figura 16 Diagrama de Estado Recolección de Datos Narda	34
Figura 17 Diagrama de Estado Recolección de coordenadas del GPS	34
Figura 18 Diagrama de estados para mapas geo-referenciado	35
Figura 19 Diagrama de actividades para la campaña de medición.....	36
Figura 20 GeoRadScanner	38
Figura 21 Instrumentos de medición instalados sobre el vehículo.....	39
Figura 22 Algoritmo de medición georreferenciada de radiación no ionizante	41
Figura 23 Capturar y registrar lecturas de radiación no ionizante.....	42
Figura 24 Diagrama de bloques del sistema	43
Figura 25 Modulo GPS.....	45
Figura 26 Etapas del modulo de captura de datos del GPS	46
Figura 27 Icono que representa el modulo de captura de datos GPS	46
Figura 28 Icono que representa la etapa de lectura del puerto serie.....	47
Figura 29 GPS marca Royal Tek RBT-2210	47
Figura 30 GPS ETrexVista de la marca Garmin	47
Figura 31 Icono que representa la etapa de ajuste al vacio.....	49
Figura 32 Diagrama de bloques de la etapa de extracción de datos GPS.....	50
Figura 33 Proceso de extracción datos básicos GPS	50
Figura 34 Icono que representa el proceso de extracción datos básicos GPS.....	51
Figura 35 Proceso de filtrado de la sentencia GPGGA	51
Figura 36 Proceso de extracción de datos importantes luego de filtrada la trama.....	52
Figura 37 Icono que representa la etapa de extracción de datos especiales GPS.....	53

Figura 38 Etapas del modulo de procesamiento de datos del GPS.....	55
Figura 39 Icono que representa el filtro de nulidad.....	55
Figura 40 Icono que representa el filtro de calidad	56
Figura 41 Icono que representa el contador de datos	56
Figura 42 Icono que representa registro de datos.....	56
Figura 43 Icono que representa la etapa de análisis estadístico	57
Figura 44 Configuración puerto Serial usando VISA libraries.....	59
Figura 45 Estructura lógica del Modulo Narda	60
Figura 46 Etapas modulo Narda.....	60
Figura 47 Escritura Narda (Función para activar modo remoto)	62
Figura 48 Generación del vector de lecturas instantáneas (Registro Narda)	63
Figura 49 Limite del for (Loop for)	63
Figura 50 Lectura Narda.....	64
Figura 51 Visualización del nivel de radiación instantáneo	64
Figura 52 Procesamiento de datos.....	65
Figura 53 Opciones de Visualización	70
Figura 54 Escala de Mapa.....	70
Figura 55 Matriz de puntos de medición	71
Figura 56 Salida del Módulo.....	72
Figura 57 Sistema Automatizado de generación de Líneas de Código	74
Figura 58 Creación de la plantilla Html	75
Figura 59 Ventana principal	76
Figura 60 Ventana para configurar el plan de medición	78

Figura 61 Ventana de resultados	80
Figura 62 Ventana de mapas.....	82
Figura 63 Zona piloto para realizar las mediciones georreferenciadas de radiación no ionizante (Barrio Provenza).....	84
Figura 64 Distribución georreferenciada de radiación para la Fase 1.....	89
Figura 65 Distribución georreferenciada de radiación para la Fase 2.....	91
Figura 66 Resultados de las mediciones de la Fase 3.....	91
Figura 67 Distribución georreferenciada de radiación para la Fase 3.....	92
Figura 68 Resultados de las mediciones de la Fase 4.....	93
Figura 69 Distribución georreferenciada de radiación para la Fase 4.....	94

Lista de Anexos

A1- CARACTERISTICAS TÉCNICAS DEL EQUIPO NARDA NBM-520.....	100
A2 –SONDAS DE MEDICIÓN DEL NARDA NBM-520.....	101
A3 – SENTENCIAS Y PRIMITIVAS BASICAS DE COMUNICACIÓN CON EL NARDA NBM – 520.....	102
A4- ENTREVISTA AL CLIENTE DE LA HERRAMIENTA	106
A5 – MÓDULOS FUNDAMENTALES PROGRAMADOS EN LabVIEW	109
A5.1 - Modulo de captura del GPS	109
A5.2 - Modulo GPS (total)	109
A5.3 - Proceso de filtrado sentencia GGA de la trama NMEA.....	109
A6 – LIMITES OCUPACIONAL Y PÚBLICO GENERAL, DEFINIDAS POR LA RECOMENDACIÓN UIT K.52	110
A7 – ANEXO FOTOGRÁFICO.....	111
A7.1 Sistema Integrado de Radiación. SIMRad	111

Términos y definiciones

API: (Application Interface) Interfaz de Aplicación.

Campaña de medición: Es la suma total de todas las estaciones a medir.

Campo cercano: En el espacio, la radiación de campo electromagnético producido por un elemento radiante tiene dos delimitaciones, campo cercano y campo lejano, la característica más importante del campo cercano es que, en esta porción de espacio la relación entre la intensidad de campo eléctrico y la intensidad de campo magnético no son proporcionales, por lo que en esta porción del espacio la medición de estos valores se hará de forma independiente.

Campo lejano: En esta porción del espacio la relación entre la intensidad de campo eléctrico y la intensidad de campo magnético es lineal, (con una constante de proporcionalidad llamada permisividad del espacio). En esta región es suficiente con una de las dos medidas para realizar el estudio. La frontera entre campo lejano y campo cercano se calcula de forma diferente dependiendo de la relación entre la longitud de onda y la longitud de la antena

Densidad de potencia (S): La densidad de flujo de potencia es la potencia por unidad de superficie normal a la dirección de la propagación de las ondas electromagnéticas, y suele expresarse en unidades de vatios por metro cuadrado (W/m^2).

NOTA – En las ondas planas, la densidad de flujo de potencia, la intensidad de campo eléctrico (E) y la intensidad de campo magnético (H) están relacionadas con la impedancia intrínseca del espacio libre.

Estaciones: Lugar en el cual se realizara el estudio (Medición de radiación y coordenadas).

Exposición: Se produce exposición siempre que una persona está sometida a campos eléctricos, magnéticos o electromagnéticos, o a corrientes de contacto distintas de las originadas por procesos fisiológicos en el cuerpo o por otros fenómenos naturales.

Exposición continua: La exposición continua se define como la exposición durante un tiempo superior al correspondiente tiempo de promediación. La exposición durante un tiempo inferior al de promediación se denomina exposición de corta duración.

Exposición no controlada de la población general: Se aplica a situaciones en las que el público en general puede estar expuesto o en las que las personas expuestas como consecuencia de su trabajo pueden no haber sido advertidas del potencial de exposición y no pueden ejercer control sobre la misma.

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

GPS: es un Sistema Global de Navegación por Satélite (GNSS) que permite determinar en todo el mundo la posición de un objeto, una persona, un vehículo o una nave, con una precisión hasta de centímetros, usando GPS diferencial, aunque lo habitual son unos pocos metros. Aunque su invención se les atribuye a los

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

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

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

HTML: lenguaje para escribir páginas en el Internet.

ICNIRP: Comisión Internacional sobre la protección contra radiaciones no ionizantes (*International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection*)

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

Nivel de exposición: El nivel de exposición es el valor de la magnitud utilizada cuando una persona está expuesta a campos electromagnéticos o a corrientes de contacto.

Operarios: El personal empleado y el personal autónomo se denominan operarios, mientras están ejerciendo su empleo.

RadioGIS: Grupo de Investigación y desarrollo en Radio comunicaciones de la Universidad Industrial de Santander. Visita <http://radiogis.uis.edu.co>

Región de campo cercano: La región de campo cercano existe en las proximidades de una antena u otra estructura radiante en la que los campos eléctricos y magnéticos no son sustancialmente de tipo onda plana, sino que varían considerablemente de punto a punto. La región de campo cercano se subdivide todavía en la región de campo cercano reactivo, que es más próxima a la estructura radiante y que contiene la mayor parte o casi la totalidad de la energía almacenada, y la región de campo cercano radiante, en la que el campo de radiación predomina sobre el campo reactivo, pero que no es sustancialmente de tipo onda plana y tiene una estructura complicada.

NOTA – En muchas antenas, la frontera exterior del campo cercano reactivo se supone que se halla a una distancia de media longitud de onda de la superficie de la antena.

Región de campo lejano: La región del campo de una antena donde la distribución de campo angular es esencialmente independiente de la distancia con respecto a la antena. En la región de campo lejano el campo es predominantemente del tipo onda plana, es decir, distribución localmente uniforme de la intensidad de campo eléctrico y de la intensidad de campo magnético en planos transversales a la dirección de propagación.

El PDOP: dilución de la precisión, se usa como medida general de la calidad de la posición de las coordenadas. El valor ideal es alrededor de la unidad El PDOP se deriva del HDOP y del VDOP:

Plan de medición: Es la configuración básica de la campaña, en el plan de medición se define cuantos punto se van a tomar, la calidad de las coordenadas y demás configuraciones.



Público en general: Todos los no operarios (véase definición de operarios en 3.27) se definen como público en general.

Proceso estocástico es un concepto matemático que sirve para caracterizar y estudiar todo tipo fenómenos aleatorios (estocásticos) que evolucionan, generalmente, con el tiempo.

SAR: Tasa de absorción específica (*specific absorption rate*)

SIMRad: Sistema Integrado de monitoreo de Radiación.

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

RESUMEN

TITULO: SOLUCIÓN DE ESCANEEO GEOREFERENCIADO DE NIVELES DE RADIACIÓN NO IONIZANTE BASADO EN NARDA NBM-520 (GeoRadScanner)*

AUTORES: RODRIGUEZ SANCHEZ, Cesar Camilo. MUÑOZ SARMIENTO Sergio Andrés**

Palabras Claves: Georeferenciación, Posicionamiento, GIS, Espectro elewctromagnetico, radiación no inoizante, UIT-T K-52, NARDA NBM 520, GPS, Google Maps, UML, Proyecto GISGERAM, telecomunicaciones.

Resumen

Ante el auge por las tecnologías inalámbricas que hoy día se están dando en Colombia, ha nacido un proyecto llamado GISGERAM el cual demanda el desarrollo de una herramienta que permita apoyar la gestión del espectro radio y los niveles de radiación electromagnética. El presente trabajo busca apoyar a GISGERAM creando una sub-herramienta que permita obtener mediciones de los niveles de radiación de manera georreferenciada y de forma automática, ya que utilizar un método tradicional se convierte en una tarea tediosa, poco práctica y propensa a errores.

Utilizando el equipo NARDA NBM-520 para la medición de radiación no-ionizante, y un GPS de baja precisión, se desarrollara un sistema georreferenciado con propiedades de escaneo que permita relacionar lecturas de radiación con la información de las coordenadas geográficas de diferentes puntos de medición, teniendo en cuenta los niveles de radiación sugeridos por la recomendación UIT-T K-52. Para la elaboración de este sistema, se implementaron diversas técnicas de ingeniería del Software (como lo es UML), del cual se obtiene un sistema final llamado GeoRadSacaner, el cual permite al usuario definir campañas de medición para establecer las condiciones de medición (tiempo de medición por estación, tiempo de lectura de mediciones instantáneas, criterios de calidad de la medición de las coordenadas geográficas... entre otros) para así, obtener los resultados en un mapa usando la tecnología de GoogleMaps además de obtener un archivo matricial con datos de la medición realizada.

El sistema se validó en un sector de Provenza – Bucaramanga (Santander), en el cual se demuestra su correcto funcionamiento y se garantiza la calidad del producto, su uso adecuado y su mejoramiento continuo gracias a la implementación de diagramas de UML, ya que este proyecto será vinculado a la solución que presenta GISGERAM ante Colciencias.

* Proyecto de Grado.

** Facultad de Ingenierías Físico – Mecánicas. Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones. Director Ph.D Homero Ortega Boada. Codirector: Ms.C(c) Jaime Ricardo Barrera.

ABSTRACT

TITLE: SCANNING SOLUTION GEOREFERENCING OF NON-IONIZING RADIATION LEVELS BASED NARDA NBM-520 (GeoRadScanner)*

AUTHORS: RODRIGUEZ SANCHEZ, Cesar Camilo. MUÑOZ SARMIENTO Sergio Andrés**

KEYWORDS: Georeferencing, Positioning, GIS, Electromagnetic Spectrum, Radiation NON-Ionizing, ITU-T K-52, Narda NBM 520, GPS, Google Maps, UML, GISGERAM Project, Telecommunications.

Abstract

Given the raise in wireless technologies that today are occurring in Colombia, there exists a project called GISGERAM, which it wants to develop a tool that it permits support the radio spectrum management and electromagnetic radiation levels. This work find to support to GISERAM, creating a sub-tool that it permits obtains radiation levels measurements in a way automatic and georeferenced, thus using a traditional way it becomes in a tedious task, little practice and prone to errors

Using the NARDA NBM-520 device, for "Non-ionizing" radiation measurements, and a low precision GPS, it will develop a gereferenced system, with scan proprieties that it permits relate the radiation reads with the geographies coordinates information from different measurement points, taking into account the radiation levels suggested by the recommendation UIT-T K-52. For the development of this system it were implemented several software engineering techniques (such as UML), which it yields a final system called GeoRadSacaner, that it allow to the user, to define measurement campaigns to establish the measurement conditions (measurement time in each station, reading time in instant measurement, measurements quality criteria for the coordinates... etc) going well, get the answers in a map using googlemaps technologies, besides obtain a matrix file with the datas from this measurements

This system is probed in a sector from Bucaramanga (Santander) called Provenza, in which it demonstrates his correct functionality and it guaranties the product quality, his adequate uses and his continues improve, thanks to the UML diagrams implementation, due to this project will be tied in the solution that GISGERAM presents to Colciencias.

* Graduate Thesis Project.

** Physics Mechanical Engineering Faculty. Electric, Electronic and Telecommunications School. Director: Ph.D Homero Ortega Boada. Codirector: Ms.C(c) Jaime Ricardo Barrera.

INTRODUCCIÓN

Nos encontramos en una época donde el auge de las comunicaciones inalámbricas es exponencial, permitiendo elevar la calidad de vida de la población, estimular la economía e integrar nuevos y múltiples servicios. Pero como en la mayoría de los avances tecnológicos se requieren cuidados con el fin de no alterar el medio ambiente, poniendo en duda el beneficio real de las tecnologías a la población y los "efectos secundarios" directos e indirectos que conlleva. Principalmente la contaminación electromagnética o electrosmog es un flagelo que empieza a incrementarse en proporción con los desarrollos y expansión de tecnologías inalámbricas, como dato importante el número de usuarios de telefonía móvil celular en Colombia ya ha sobrepasado los 20 millones de usuarios según las estadísticas de organismos como la CRT (Comisión Reguladora de las Telecomunicaciones) y no existe un control efectivo de los niveles de radiación de toda la infraestructura necesaria para cubrir esta demanda.

Los niveles elevados de radiación electromagnética no ionizante repercuten de manera directa sobre la salud de las personas y el medio ambiente, entre mayor sean los niveles de radiación y el tiempo de exposición, mayor serán los problemas para nuestra salud, sobre todos en las futuras generaciones.

La radiación electromagnética no ionizante debe ser controlada de forma eficiente y continua, es por eso que se hace necesario de sistemas de monitorización de radiación electromagnética no ionizante para que esta labor se realice con una metodología optima, buscando que se estandarice los procesos de medición ajustados a las recomendaciones internacionales y normas nacionales, dada las características estocásticas de esta variable física.

Este trabajo describe el proceso de modelamiento y desarrollo de un sistema integrado para el escaneo georreferenciado de la radiación no ionizante (GeoRadScanner) ajustados a las recomendación UIT-T K.52 y al decreto 195 de 2005 de Colombia, empleando el medidor de intensidades de campo NARDA y un receptor GPS estándar, con la característica especial que permite visualizar mapas geográficos donde se muestran los resultados de mediciones realizadas, de forma tal que el análisis de la información obtenida se potencializa y extiende enormemente.

Además, se presenta un conjunto de campañas de mediciones en una zona piloto, con el fin de examinar el comportamiento de la radiación alrededor de estaciones de radiocomunicaciones y el límite de cumplimiento con la recomendación UIT-T K.52

En el contexto nacional no existe una herramienta con estas características, lo que justifica el proceso de investigación y desarrollo dedicado, con impactos indirectos significativos sobre la salud pública, ya que permite ofrecer a la población el servicio de escaneo de una amplia región y establecer juicios sobre el cumplimiento de las normas colombianas relacionadas con los límites máximos permitidos de la radiación electromagnética no ionizante.

1. PRESENTACIÓN DEL PROYECTO

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Con el creciente desarrollo de las telecomunicaciones en el mundo y el surgimiento exponencial de nuevas tecnologías inalámbricas, la preocupación surge con un tipo de contaminación que es oculta ante los ojos, pero que tiene un impacto cada vez mayor, la **contaminación electromagnética**. Conocer el espectro y en particular los *niveles de radiación no ionizante* es un asunto de todos, ya que la influencia sobre la *salud* humana es inminente y directa

¿Por qué realizar mediciones georeferenciadas de niveles de radiación no ionizante con una metodología eficiente y estructurada?

Cuando se desarrollan múltiples campañas de mediciones de radiación electromagnética no ionizante sobre grandes extensiones, el proceso se vuelve *tedioso y poco práctico*, debido al volumen de información que surge y a una metodología y esquema de medición no orientada a la organización automática de los resultados del proceso en función de la ubicación donde se realizó la medición; por lo que se hace necesario de un sistema integrado para el monitoreo geo-referenciado de los niveles de radiación no ionizante a través de herramientas computarizadas.

Por medio del equipo de medición de campos electromagnéticos de la marca NARDA con referencia NBM-520 no es posible *relacionar simultáneamente* las mediciones de radiación no ionizante con las coordenadas geográficas para diferentes puntos de mediciones, es necesario que el operario registre manualmente las coordenadas para cada una de las lecturas tomadas.

La solución que se plantea es una herramienta que toma los datos del equipo NARDA NBM-520 y los datos de las coordenadas geográficas de un GSP, los transfiere a un computador, de forma tal que quede relacionada la información de la medición con su posición, este proceso se realiza para cada punto de medición automáticamente

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo General

Desarrollar un sistema de medición georreferenciado de niveles de radiación no ionizante basado en el equipo Narda NBM-520, con propiedades de escaneo que permita relacionar las lecturas de radiación con las coordenadas geográficas de los diferentes puntos de mediciones.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Desarrollar e implementar un módulo software para el equipo Narda NBM-520 que permita el registro de los datos de las mediciones en un computador portátil
- Desarrollar e implementar un módulo para captura de datos desde un equipo GPS que permita la georreferenciación de las medidas durante las campañas de medición
- Obtener un mapa de mediciones en una zona piloto de Bucaramanga o área metropolitana que permita probar el funcionamiento del sistema de medición desarrollado.

1.3 JUSTIFICACIÓN

Medir niveles de radiación no ionizante es un trabajo exigente que requiere de una metodología técnica elaborada, cuando se desea obtener resultados con calidad. Actualmente existen múltiples tipos de instrumentos y sistemas para la medición de niveles de radiación, cada uno diseñado con un propósito diferente; por lo tanto es importante determinar cuál es el esquema de medición más indicado, evaluando el comportamiento ante el medio para evitar obtener resultados con información errónea o poco aproximada, además es importante examinar las técnicas que serán implementadas para evitar el ingreso de errores en la medición.

Muy pocas compañías en Colombia ofrecen el servicio de medición de niveles de radiación no ionizante georreferenciadas y el número se reduce si contamos a las empresas que están debidamente certificadas para realizar este proceso.

El proceso de medición típicamente se limita a descargar los resultados de las mediciones desde el instrumento a un PC, pero las coordenadas geográficas del lugar de medición deben registrarse manualmente por el ingeniero de campo a cargo de la medición punto por punto. La solución que se plantea es una medición georreferenciada realizada automáticamente, que implica un “ahorro” significativo en el tiempo de ejecución de la medición y disminución en los errores graves producto de la inapropiada utilización de los instrumentos de medición por parte de los operarios al no relacionar correctamente los datos de las coordenadas con las respectivas mediciones y pasando por alto la calidad de los datos que suministran los instrumentos.

GeoRadScanner es la solución efectiva en campañas de mediciones de niveles de radiación que implican la recolección georreferenciada de una cantidad grande de puntos, empleando equipos de última generación.

Además, gracias a este nuevo sistema, GISGERRAM¹ podrá cumplir con parte de sus objetivos ante Colciencias mediante la realización de mediciones de niveles de radiación georreferenciada en sectores de Bucaramanga. GeoRadScanner también es de gran utilidad para empresas en desarrollo y empresas consolidadas, como TES América Andina, la cual realiza este tipo de mediciones para estudios de radiación no ionizante [10].

1.4 IMPACTOS Y EFECTOS ESPERADOS

1.4.1 Impactos científicos y tecnológicos

Por medio de este proyecto se abre un nuevo campo de investigación en la Universidad que permite desarrollar y adaptar nuevas tecnologías en la medición georreferenciada de campos electromagnéticos y examinar el estado de emisiones de radiación no ionizante conforme a las normativas gubernamentales definidas en el decreto 195 de 2005 de Colombia y la recomendación K.52 de la UIT-T, además de permitir crear equipos interdisciplinarios de investigación al conformar vínculos futuros con grupos del área de salud para evaluar los efectos nocivos sobre el cuerpo humano de la radiación electromagnética no ionizante.

1.4.2 Impactos sobre el medio ambiente y la sociedad

Gracias al desarrollo de herramientas sistematizadas de medición de radiación electromagnética no ionizante, producto de este proyecto, se puede monitorear eficientemente los niveles de radiación que genera toda fuente de radiocomunicaciones al medio ambiente, de forma tal que se pueda realizar un control posterior de los niveles de radiación no ionizante conforme a las normas y recomendaciones Nacionales e Internacionales, manteniendo este tipo de contaminación (electrosmog) por debajo de los límites que afectan la salud de las personas en general.

1.5 ANTECEDENTES

El desarrollo de sistemas que permitan monitorear los niveles de radiación electromagnética no ionizante ha sido un reto por múltiples grupos de investigación en el país y en el mundo. A continuación se mencionan los más relevantes y en los que interactúa el grupo I+D RadioGIS.

1.5.1 Herramienta portátil para monitoreo, georeferenciación y análisis del espectro radio eléctrico

Este proyecto fue desarrollado por la Universidad UDI de Bucaramanga en convenio con la Universidad del Valle en el año 2005 (Sastoque & Mantilla) y con la asesoría del grupo RadioGIS de la UIS, el cual consiste en automatizar las campañas de medición requeridas en los estudios de radio propagación para las bandas VLF a UHF.

El sistema está conformado por: un módulo software para el equipo Miniport Receiver EB200 (Rohde & Schwarz) que permite la automatización de las mediciones y el análisis de intensidad de campo en las bandas VLF a UHF, un módulo para la captura de datos desde el GPS Etrex Vista de la empresa Garmin, que facilita la georeferenciación de las medidas obtenidas durante las campañas de medición y un módulo software para el análisis de mediciones de intensidad de campo en la gama de frecuencias de 10KHz a 3GHz según la recomendación UIT-T K.52.

1.6 ALCANCES DEL PROYECTO

Al finalizar este proyecto se espera que continúe su evolución para convertir el sistema de medición georeferenciado de radiación no ionizante GeoRadScanner en un servicio de telecomunicaciones basado en localización, al acoplarlo con un Sistema de Información Geográfica GIS y centralizarlo en un servidor Web con una plataforma LBS.

La visión a mediano plazo es ofrecer el servicio de medición de radiación no ionizante basado en localización a múltiples usuarios conectados en la red (Internet), los cuales acceden desde sus terminales remotos a un servidor web ubicado en RadioGIS el cual le suministra la información georreferenciada de niveles radiación no ionizante y referenciada con los niveles máximos permitidos por la recomendación UIT-T K.52.

2. MARCO TEORICO

2.1 CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS

La radiación electromagnética consiste de ondas de energía eléctrica y magnética moviéndose juntas a través del espacio a la velocidad de la luz. El término “campo electromagnético” (CEM) se usa para indicar la presencia de radiación electromagnética. Las diferentes formas de radiación electromagnética son clasificadas por sus frecuencias.

Los CEM incluyen los campos eléctricos y magnéticos de las redes de energía (60 Hz en Colombia), la radio, la televisión, los teléfonos móviles y sus estaciones bases, radar y comunicaciones vía satélite. Muchos aparatos domésticos también transmiten CEM, tal como los teléfonos inalámbricos y los juguetes a control remoto.

Los campos electromagnéticos pueden ser de dos tipos de acuerdo a sus frecuencias (Figura 1):

- *Radiación Ionizante:* Es la radiación que está en el rango de frecuencias de 300GHz en adelante, es llamada ionizante porque es capaz de lograr que las moléculas se separen al introducir a los enlaces una energía mayor a la energía propia del enlace (este proceso es llamado ionización).
- *Radiación no ionizante:* Este tipo de radiación en el rango de frecuencias de 0 a 300GHz, (la frecuencia es proporcional a la energía) no tiene la energía suficiente para desprender los enlaces de las moléculas de la forma en que lo haría la radiación ionizante, sus efectos hasta ahora encontrados son de tipo térmico, pero no se ha descartado que tenga efectos en las moléculas a largo plazo por lo que son objeto de estudio actualmente.

ESPECTRO ELECTROMAGNETICO

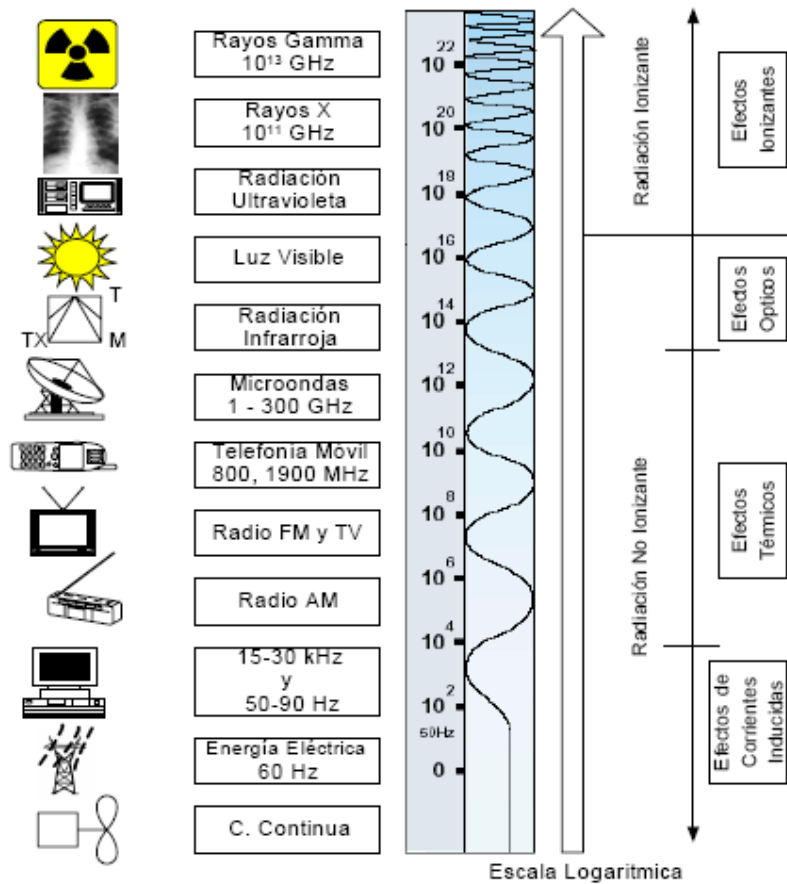


Figura 1 Radiación ionizante y no ionizante¹

2.1.1 Radiación en Campo lejano y Campo cercano

Esta distinción entre campos cercano (Figura 2) y lejano (Figura 3), es relevante en las medidas. En la región de campo cercano, la relación entre la intensidad de campo eléctrico (E [V/m]) y la intensidad de campo magnético (H [A/m]) no es constante, por lo que deben medirse por separado. Sin embargo, en la región de campo lejano basta con medir uno de esos dos parámetros, ya que, al ser la relación entre ambos una constante conocida, podemos calcular su valor a partir del otro.

1. ¹ Tomado de la telefonía móvil y su salud – Ing. Víctor Cruz Ornetta

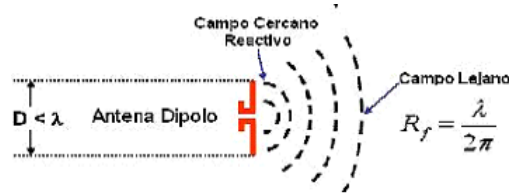


Figura 2 Campo Cercano



Figura 3 Campo lejano

2.2 INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN DE CAMPOS

En el mercado actual, existen muchas clases de equipos, que difieren en propiedades como el tamaño, el precio, portabilidad, usabilidad, entre otras. Estos criterios serán evaluados a continuación en este proyecto.

2.2.1 Narda NBM-520

En el mercado actual, se ha observado la gran demanda de estos equipos, empresas como TESamerica y entidades del Gobierno (Ministerio de Comunicaciones), han optado por implementar esta clase de medidores de campo ya que posee grandes cualidades como lo son portabilidad, precio y precisión en las medidas. El nbm-520² es un equipo que se caracteriza por su gran desempeño en la medición de campos electromagnéticos en banda ancha presentes tanto en zonas industriales, como rurales.

² NARDA safety test solution

Los requisitos del mercado actual son cada vez más exigentes, se requiere de equipos que puedan trabajar en diferentes ambientes, Colombia es un país que se privilegia de tener todos los climas y en todas las formas lo cual, hace necesario tener un equipo cuya calibración sea adecuada en el momento de la medición (antes y durante ella). Además de ello, es importante obtener un control remoto sin agregar errores a la medición, sin que lo afecte factores externos como los son el polvo la humedad o resistencia al agua.

Es por ello que este proyecto ha decidido tomar este equipo para la captura de campos electromagnéticos en banda ancha (dependiendo de las sondas a utilizar), ya que posee una gran resistencia física a distintos ambientes que se pueda presentar, así como un ajuste de cero automático antes, durante y después de la medición; factores que ayudan a obtener un dato más fiable del equipo; pues la medición de campos magnéticos es muy variante y se necesita de la mayor precisión posible para llegar a obtener decisiones relevantes.

El medidor de campos NARDA está en capacidad para sensar los niveles de intensidades de campos eléctricos, magnético y una medida porcentual ajustada a la recomendación UIT-T K.52 que indica el aporte de múltiples fuentes de radiación a diferentes frecuencias, donde el 100% indica que la radiación total está al límite de la norma.

El control remoto del equipo se realiza mediante un cable óptico que se utiliza para evitar agregar ruido a la medición, sus resultados pueden ser en A/m, V/m, % ó W/m^2 . Para ver las características técnicas del equipo de medición de campos NARDA NBM-520 ver anexo A1 y para examinar las características de las sondas o antenas de medición ver el anexo A2 para.

2.3 EFECTOS DE LOS CAMPOS EN LA SALUD

La piel y los órganos del cuerpo, reacciona de diferente forma ante la exposición de un campo magnético, sus reacciones dependen de la frecuencia del campo electromagnético a la cual esta expuesta; estos rangos se clasifican así:

Campos de RF por encima de los 10 GHz. Estas radiaciones son absorbidas por la superficie de la piel y es muy poca la energía que llega a tejidos interiores [18].

La exposición a estos campos de RF por encima de 10 GHz se mide fundamentalmente en términos de la intensidad de campo, medida como *densidad de potencia* en vatios por metro cuadrado (milivatios e incluso microvatios por metro cuadrado para campos más débiles). Para que a estas

frecuencias tan elevadas dentro de la radiofrecuencia se produzcan efectos perjudiciales para la salud, como cataratas en el ojo o quemaduras cutáneas, se requieren densidades de potencia superiores a 1000 w/m^2 .

En los campos de RF entre 1MHz y 10 GHz, al contrario de lo que ocurre con las de frecuencia superior a 10 GHz, penetran en los tejidos expuestos, y producen un calentamiento de los mismos debido a la absorción energética de la señal. La profundidad de penetración en el tejido depende de la frecuencia del campo y crece conforme decrece la frecuencia de la radiación. Dicha profundidad de penetración depende asimismo de las propiedades del tejido. La absorción de energía de los campos de RF por parte de los tejidos se mide según la *tasa específica de absorción (SAR :Specific Absorption Rate)* en una masa de tejido dada. La unidad de dicha tasa son los vatios por kg. de masa.

Para que se produzcan efectos adversos para la salud en personas expuestas a radiaciones de estas frecuencias son necesarios valores del SAR superiores a 4 w/Kg . Estos niveles de energía se encuentran a decenas de metros de potentes antenas transmisoras de FM ubicadas en altas torres, siendo dichas áreas inaccesibles. La mayor parte de los efectos perjudiciales para la salud que pueden producirse por la exposición a campos de radiofrecuencia en este rango de frecuencias se asocian a calentamiento inducido, cuyo resultado es el aumento de la temperatura de un tejido, o del propio cuerpo superior a $1 \text{ }^\circ\text{C}$. El calentamiento inducido, del mismo modo, puede afectar al desarrollo del feto. Se sabe que para que se puedan producir malformaciones en el nacimiento, es necesario que la temperatura del feto aumente de 2°C a 3°C durante horas. El calentamiento inducido por la radiación electromagnética de este rango de frecuencias puede asimismo afectar a la fertilidad en el hombre y favorecer la aparición de opacidades oculares (cataratas).

Campos de RF por debajo de 1 MHz. Este tipo de campos no producen calentamiento significativo, sino que inducen corrientes y campos eléctricos en tejidos, los cuales se miden en términos de *densidad de corriente* en amperios por metro cuadrado. Se calcula que la intensidad de dichas corrientes es de unos 10 mA/m^2 .

No obstante, dichos efectos bien no han sido confirmados por laboratorios de investigación, o bien sus consecuencias en la salud son desconocidas. Estos estudios han concedido (conceden) gran importancia al posible aumento en el riesgo de desarrollar un cáncer al ser expuesto a este tipo de radiaciones.

2.4 NORMATIVIDAD SOBRE LOS CAMPOS

La ICNIRP (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection) las cuales son el resultado de la evaluación de un conjunto amplio de estudios realizados y que aun se realizan desde hace algunas décadas en todo el mundo (los cuales incluyen estudios epidemiológicos, estudios biológicos in vitro e in vivo, estudios en seres humanos, cálculos teóricos y estudios físicos y de ingeniería) han concluido que los límites de exposición localizada toman en consideración la capacidad termo regulatoria de la cabeza, considerando un máximo de 1° C de elevación de temperatura en sus tejidos más sensibles e incorporan un factor de seguridad que en el caso de la exposición del público en general está en el orden de 50; por lo tanto el SAR localizado en la cabeza recomendado por ICNIRP es de 2 W/kg promediado sobre una masa de tejido de 10 g (0.02 W absorbidos en cualquier masa de 10g de tejido en la cabeza).

Es por ello que las administraciones de telecomunicaciones, como la Comisión Federal de Comunicaciones de los Estados Unidos de Norteamérica (FCC) ha adoptado las normas IEE-ANSI para la exposición a la radiación de RF de teléfonos móviles que recomienda como valor límite 1.6 W/ kg promediado sobre cualquier tejido de 1g. de masa (0.016 W absorbidos en cualquier masa de 10g). La Autoridad de Comunicaciones Australiana (ACA) y el Ministerio de Asuntos Públicos y del Hogar y de Correos y Telecomunicaciones (MPHPT) del Japón han adoptado las recomendaciones ICNIRP. La Oficina de la Autoridad de Telecomunicaciones de Hong-Kong ha recomendado aceptar las recomendaciones ICNIRP y las IEEE-ANSI como los LMPs de Hong-Kong.

2.4.1 Recomendación UIT-T K.52

La UIT-T K-52[11] es una recomendación para facilitar el cumplimiento por las instalaciones de telecomunicación de los límites de seguridad cuando existen la exposición de las personas a los campos electromagnéticos mediante técnicas y procedimientos para evaluar el cumplimiento de los límites de seguridad.

Básicamente esta recomendación define que para una frecuencia determinada existe tres tipos de zonas de exposición definidos: rebasamiento, ocupacional y publico general (Figura 4). La zona de rebasamiento es aquella donde los las radiación supera los límites permitidos para el cuerpo humano; por otro lado en la zona ocupacional, la radiación no sobrepasa los límites de radiación controlada (es decir, que no sobrepasa los límites permitidos para los operarios con pequeños tiempos exposición a la radiación) pero sobrepasa los límites de radiación no controlada del público en general permitida.

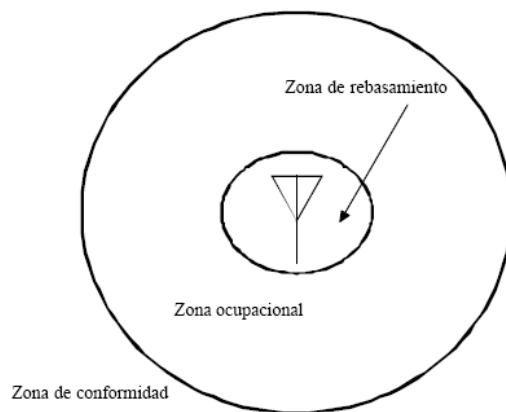


Figura 4 Zonas de Exposición³

En el anexo A5 se observan las zonas de exposición: ocupacional y Público general (conformidad), definidas por la recomendación UIT K.52 para distintas bandas de frecuencia.

La Figura 5 y Figura 6 contiene una grafica de niveles de radiación versus frecuencia para los límites de las zonas ocupacional y de conformidad.

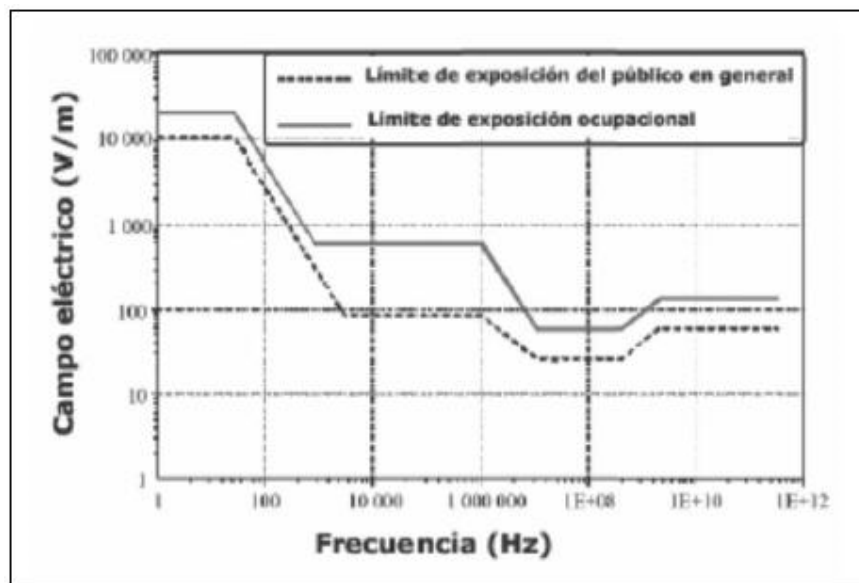


Figura 5 Límites de referencia ICNIRP de campo eléctrico⁴

³ <http://190.34.186.22/telec/digidocs/UIT-K52.pdf> (Recomendación K-52)

⁴ <http://190.34.186.22/telec/digidocs/UIT-K52.pdf> (Recomendación K-52)

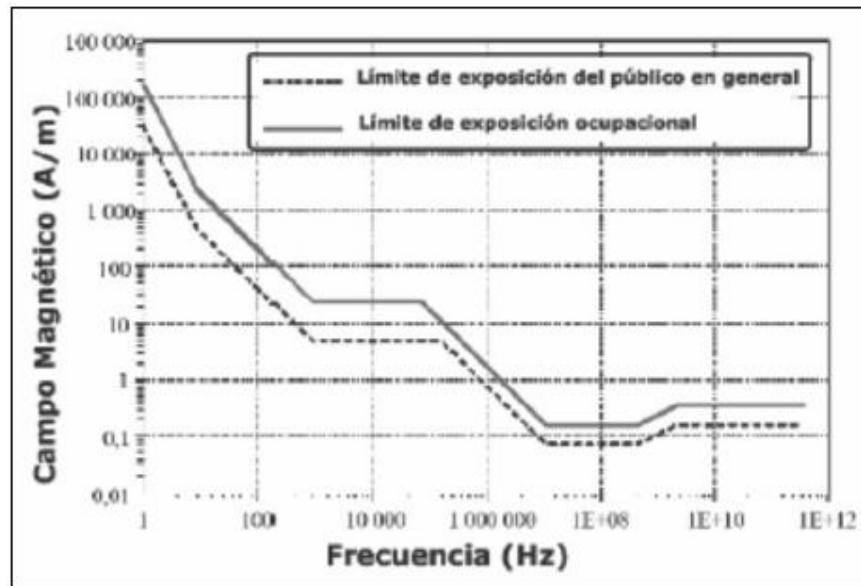


Figura 6 Límites de referencia ICNIRP de intensidad de campo magnético⁵

2.4.2 Decreto 195 de la ley Colombiana

Con el Decreto 195 de 2005[12] se fijó una pauta legal a los requerimientos de unas mediciones de radiación no ionizante en Colombia en la que se estipulan los valores máximos permitidos de exposición a esta radiación basados en recomendaciones y normas adoptadas en otros países y se fija un plazo máximo de certificación de cumplimiento en estos aspectos, en este decreto se definen:

- Plazos de cumplimiento: Dos años contados a partir de la entrada en vigencia de la resolución.
- Mecanismos de vigilancia y control.
- Pautas para realizar mediciones.
- Requisitos únicos para instalaciones radioeléctricas.

2.4.2.1 Resolución 1645 del 2005.

El 20 de Julio de 2005 se expide la resolución No. 001645 por la cual se reglamenta el decreto 195 y se definen:

⁵ <http://190.34.186.22/telec/digidocs/UIT-K52.pdf> (Recomendación K-52)

-Las fuentes inherentemente conformes:

- Telefonía Móvil Celular
- Servicios de Comunicación Personal – PCS
- Sistema de Acceso Troncalizado
- Sistema de Radiomensajes
- Sistema de Radiocomunicación Convencional Voz y/o Datos – HF, VHF y UHF.
- Proveedor de segmento espacial.

-El formato de declaración de Conformidad.

-Metodología de medición.

2.4.2.2 Resolución 2643 del 2005.

El 4 de Noviembre de 2005 se expide la resolución No. 002643 por la cual se reglamenta el decreto 195 y se define el formulario Único de Inscripción para realizar mediciones de campos electromagnéticos.

Tipo de exposición	Gama de frecuencias	Intensidad de campo eléctrico E (V/m)	Intensidad de campo magnético H (V/m)	Densidad de potencia de onda plana equivalente, S (W/m ²)
Ocupacional	9 - 65 KHz	610	24,4	-
	0,065 - 1 MHz	610	1,6/f	-
	1-10 MHz	610/f	1,6/f	-
	10 - 400 MHz	61	0,16	10
	400 - 2.000 MHz	3 f ^{0,2}	0,008 f ^{0,2}	140
	2 - 300 GHz	137	0,36	50
Público en general	9 - 150 KHz	87	5	< /o:p>
	0,15 - 1 MHz	87	0,73/f	-
	1-10 MHz	87/f ^{0,2}	0,73/f	-
	10 - 400 MHz	28	0,073	2
	400 - 2.000 MHz	1,375 f ^{0,2}	0,0037 f ^{0,2}	1200
		2 - 300 GHz	61	0,16

Figura 7 Límites de exposición según el decreto 195 de 2005⁶

⁶ http://www.asocel.org.co/pdf/decreto_195_de_2005.pdf

2.5 SISTEMAS DE POSICIONAMIENTO GLOBAL

Global Positioning System (GPS) o Sistema de Posicionamiento Global (llamado realmente como NAVSTAR-GPS) es un Sistema Global de Navegación por Satélite (GNSS) que permite determinar en todo el mundo la posición de un objeto, una persona, un vehículo o una nave. El sistema utiliza el principio de triangulación a partir de la posición de cada uno de los satélites que forman la constelación de NAVSTAR (efemérides) y del tiempo requerido por una señal de radio emitida por el satélite en alcanzar un receptor en Tierra. EL GPS fue diseñado para estimar posición (latitud, longitud y elevación) en mar, tierra y aire; velocidad y tiempo; así como navegar de un sitio a otro. En términos cuantitativos, esto se interpretó como un Sistema capaz de tener una raíz del error medio cuadrático en posición de 10m, en velocidad de 0.1m/s y en tiempo de 100 nanosegundos.

2.5.1 Estándar NMEA

El NMEA 0183 es un protocolo estándar de comunicación para la transmisión de información de GPS entre diferentes dispositivos. Los datos se transmiten (compatible con serie RS-232) en forma de sentencias ASCII, cada una de las cuales comienza con el carácter "\$", un código de identificación de 2 dígitos "talker ID" (cuando se transmiten datos de GPS siempre será "GP"), otro código de identificación de 3 dígitos "sentence ID", y posteriormente una serie de datos separados por comas, que finalizan con el checksum opcional ("*") y un código de 2 dígitos). Cada sentencia puede contener hasta un máximo de 82 caracteres, incluyendo el inicial (\$) y el final (return). En el caso de que haya datos que no estén disponibles por algún motivo, su posición correspondiente en la sentencia queda vacía, quedando únicamente las comas que separan los datos en la sentencia, sin separación entre ellas en ese caso.

En el caso de que una sentencia comience con "\$P" se trataría de una sentencia "propietaria" de un fabricante determinado, identificado con un código de 3 dígitos que le sigue.

2.5.2 Codificación

Las sartas NMEA tienen distintos formatos dependiendo de las unidades y organización de sus variables, una de los formatos más utilizados se presentan a continuación⁷.

Sentencia: GGA	
Denominación: Global Positioning System Fix Data	
Formato: SGPGGA,hhmmss.ss,llll.ll,a,mmmmmm.mm,b,x,yy,z,z,c,c,M,v,v,M,d,d,www*hh	
Interpretación:	
hhmmss.ss	= hora UTM a la que tuvo lugar la toma del dato (horas, minutos, segundos)
llll.ll	= Latitud (grados y minutos)
a	= tipo de Latitud (N = Norte, S = Sur)
mmmmmm.mm	= Longitud (grados y minutos)
b	= tipo de Longitud (E = Este, W = Oeste)
x	= calidad de la señal GPS (0 = no válida, 1 = corrección GPS, 2 = DGPS)
yy	= número de satélites en uso
z.z	= HDOP
c.c	= altitud sobre el nivel del mar
M	= unidad de medida de la altitud (M = metros, por defecto)
v.v	= distancia entre el elipsoide WGS-84 y el nivel del mar
M	= unidad de medida de la anterior distancia (M = metros, por defecto)
d,d	= tiempo desde la última actualización DGPS (segundos)
www	= identificación de la estación DGPS
*hh	= checksum
Nota: en receptores GPS profesionales, existen más categorías de calidad de la señal GPS (0 = no válida, 1 = corrección GPS, 2 = DGPS, 3 = corrección PPS, 4 = RTK, 5 = RTK-2, etc)	

Figura 8 Interpretación de trama GGA

Sentencia: GSA	
Denominación: GPS DOP and active satellites	
Formato: SGPGSA,x,y,z1,z2,z3,z4,z5,z6,z7,z8,z9,z10,z11,z12, p,p, h,h,v,v*ff	
Interpretación:	
x	= modo de operación 2D/3D (A = automático, M = manual)
y	= modo de corrección de datos (1 = no disponible, 2 = 2D, 3 = 3D)
z1 a z12	= identificación PRN de los satélites usados para corrección (max. 12)
p,p	= PDOP
h,h	= HDOP
v,v	= VDOP
*ff	= checksum

Figura 9 Interpretación de trama GSA

⁷ Tomadas de <http://www.garmin.com/garmin/cms/site/us>

Sentencia: GSV	
Denominación: Satellites in view	
Formato: SGPGSV,x,y,zz,aa,ee,rr,ii,s1,s2,s3,s4,t1,t2,t3,t4,c1,c2,c3,c4*ff	
Interpretación:	
x	= número total de mensajes de este tipo en este ciclo
y	= número de mensaje con respecto al total
zz	= número total de satélites a la vista
aa	= identificación PRN del satélite
ee	= elevación en grados (máximo 90)
rr	= azimut en grados (desde el norte verdadero, máximo 359,9)
ii	= intensidad de la señal en decibelios (máximo 99)
s1	= identificación PRN del 2° satélite
s2	= elevación en grados (máximo 90) del 2° satélite
s3	= azimut en grados (desde el norte verdadero, máximo 359,9) del 2° satélite
s4	= intensidad de la señal en decibelios (máximo 99) del 2° satélite
t1	= identificación PRN del 3° satélite
t2	= elevación en grados (máximo 90) del 3° satélite
t3	= azimut en grados (desde el norte verdadero, máximo 359,9) del 3° satélite
t4	= intensidad de la señal en decibelios (máximo 99) del 3° satélite
c1	= identificación PRN del 4° satélite
c2	= elevación en grados (máximo 90) del 4° satélite
c3	= azimut en grados (desde el norte verdadero, máximo 359,9) del 4° satélite
c4	= intensidad de la señal en decibelios (máximo 99) del 4° satélite
*ff	= checksum
Nota: en una sentencia GSV puede ir información de <u>hasta 4 satélites</u> . Pueden ir hasta 3 sentencias GSV seguidas como máximo (4 satélites/sentencia * 3 sentencias = 12 satélites).	

Figura 10 Interpretación de trama GSV

Sentencia: GLL	
Denominación: Geographic position, Latitude and Longitude	
Formato: SGPGLL,lll.ll,a,mmmm.mm,b,hhmmss.ss,A*ff	
Interpretación:	
lll.ll	= Latitud (grados y minutos)
a	= tipo de Latitud (N = Norte, S = Sur)
mmmm.mm	= Longitud (grados y minutos)
b	= tipo de Longitud (E = Este, W = Oeste)
hhmmss.ss	= hora UTM a la que tuvo lugar la toma del dato (horas, minutos, segundos)
A	= validez del dato (A = válido, V = no válido) 99 del 4° satélite
*ff	= checksum
Nota: yo en mi receptor no he conseguido obtener ninguna sentencia GLL.	

Figura 11 Interpretación de trama GLL

3. MODELAMIENTO DEL SISTEMA

3.1 INTRODUCCIÓN

En el mercado actual, existen muchas herramientas software diseñadas para brindar soluciones de manera rápida, efectiva y confiable; cada una con sus ventajas tanto a nivel de procesamiento como visual, dependiendo de los gustos del cliente y las aplicaciones. Pero ¿sabemos que es realmente un software? ¿Va mas allá de datos, bits y ejecutables?

Según el Centro Experimental de Ingeniería de Software (CEIS)⁸, en el estudio de mercado *The Chaos Report* realizado por Standish Group Internacional en 1996, concluyó que sólo un 16% de los proyectos de software son exitosos (terminan dentro de plazos y costos, y cumplen los requerimientos acordados). Otro 53% sobrepasa costos y plazos y cumple parcialmente los requerimientos. El resto ni siquiera llega al término.

Algunas deficiencias comunes en el desarrollo de software son:

- Escasa o tardía validación con el cliente.
- Inadecuada gestión de los requisitos.
- No existe medición del proceso ni registro de datos históricos.
- Estimaciones imprevistas de plazos y costos.
- Excesiva e irracional presión en los plazos.
- Escaso o deficiente control en el progreso del proceso de desarrollo.
- No se hace gestión de riesgos formalmente.
- No se realiza un proceso formal de pruebas.
- No se realizan revisiones técnicas formales e inspecciones de código.

Mitigar todos estos problemas para llegar a un desarrollo puro y sin errores no es fácil; es por ello, que los desarrolladores hoy en día han desarrollado un

⁸ <http://www.ceis.cl/Gestacion/Gestacion.htm>

lenguaje gráfico para visualizar, especificar, construir y documentar un sistema, llamado UML (*Unified Modeling Language*).

La importancia de UML [14] [19] [21], consiste en facilitar la planeación de grandes y pequeños sistemas de software, pero va más allá, incluso al campo empresarial, a la gestión del conocimiento, etc. La literatura permanentemente resalta que UML no es una metodología, sino una notación. Esto quiere decir que UML prescribe una notación estándar y semánticas esenciales para el modelado de un sistema.

Este trabajo incluirá algunas de las recomendaciones UML, para el desarrollo lógico y eficiente de la herramienta.

3.2 METODOLOGÍAS DE DESARROLLO

El proceso de desarrollo puede involucrar varias tareas, tanto administrativas como técnicas; pero suelen cumplir con ciertas etapas mínimas (Diseño, desarrollo, validación, entre otras). A pesar de la variedad de propuestas de proceso de software, existe un conjunto de actividades fundamentales que se encuentran presentes en todos ellos:

1. Especificación de software: Se debe definir la funcionalidad y restricciones operacionales que debe cumplir el software.
2. Diseño e Implementación: Se diseña y construye el software de acuerdo a la especificación.
3. Validación: El software debe validarse, para asegurar que cumpla con lo que quiere el cliente.⁹
4. Evolución: El software debe evolucionar, para adaptarse a las necesidades del cliente.

Actualmente existen varios modelos de ciclo de vida[20], el cual permite a los desarrolladores avanzar de manera rápida y eficiente sus soluciones software. Para el desarrollo de este sistema, es importante determinar cuál de ellos es más efectivo; considerando que el modelo a escoger, debe tener en cuenta las fases anteriormente mencionadas; los posibles modelos a implementar serían:

- Modelo Cascada
- Modelo Evolutivo

⁹ <http://www.uml.org/>

- Modelo incremental
- Modelo Espiral

El modelo en cascada se caracteriza por que una fase no comienza hasta que termine la fase anterior y generalmente se incluye la corrección de los problemas encontrados en fases previas; este modelo en la práctica se ve limitado, ya que al no ser lineal, involucra varias iteraciones e interacciones tardías entre las distintas fases de desarrollo. Este modelo sólo debe usarse si se entienden a plenitud los requisitos.

Si se implementa simplemente el modelo evolutivo, se debe desarrollar un sistema inicial, exponerla a los comentarios del usuario, refinarla en N versiones hasta que se desarrolle el sistema adecuado; la ventaja de este modelo es que se obtiene una rápida realimentación del usuario pero es aún insuficiente para los requerimientos de este trabajo.

Entonces uniendo el modelo en cascada y el evolutivo, se obtiene el modelo incremental; con ventajas como la reducción del rehacer de trabajo durante el proceso de desarrollo y la oportunidad para retrasar las decisiones hasta tener experiencia suficiente en el sistema; su desventaja es su dificultad de establecer correspondencias de los requisitos contra los incrementos.

Finalmente se encuentra el modelo espiral, se representa como una espiral, en lugar de una serie de actividades sucesivas con retrospectiva de una actividad a otra, se divide en cuatro fases, “definición de objetivos”, “evaluación y reducción de riesgos”, “desarrollo y validación”, y “planificación”; este modelo a diferencia de los otros toma en consideración explícitamente el riesgo, esta es una actividad importante en la administración del proyecto. Este modelo es eficiente para software de gran escala, se podría decir que es uno de los mejores modelos, pero es muy robusto para el tamaño de este proyecto.

¿Entonces cual modelo es el más indicado? Como se discutió anteriormente, todos los modelos tienen sus Pro y sus Contra, por ende se debe buscar el modelo que más se ajuste al desarrollo software; realizando una tabla de comparación (Tabla 1) se concluye que el modelo ideal para GeoRadScanner es el modelo cascada, pues es un modelo diseñado para proyectos de esta magnitud, donde se debe concentrar en la definición de requisitos, y en el cumplimiento total de cada fase.

Modelos de Procesos	Desempeñó si no se definen requisitos	Produce software fiable	Gestión de riesgos	Permite cambio sobre marcha	Visibilidad del proceso
Modelo en cascada	Bajo	Alto	Bajo	Bajo	Bajo
Modelo Evolutivo	Alto	Medio	Medio	Alto	Alto
Modelo Incremental	Bajo	Alto	Medio	Medio	Bajo
Modelo Espiral	Alto	Alto	Alto	Medio	Medio

Tabla 1 Comparación de modelos de procesos.

3.3 MODELO EN CASCADA

La visión del modelo cascada del desarrollo de software es sencilla; plantea que el desarrollo de software puede ser a través de una secuencia simple de fases, es decir, que el enfoque metodológico que ordena rigurosamente las etapas del ciclo de vida del software, son de forma tal, que el inicio de cada etapa debe esperar a la finalización de la inmediatamente anterior.

Cada fase tiene un conjunto de metas bien definidas, y las actividades dentro de una fase contribuyen a la satisfacción de metas de esa fase o quizás a una subsecuencia de metas de la fase. Las flechas muestran el flujo de información entre las fases. La flecha de avance muestra el flujo normal. Las flechas hacia atrás representan la retroalimentación.

El modelo de ciclo de vida cascada, captura algunos principios básicos [30] los cuales son:

1. Análisis de requisitos
2. Diseño del Sistema
3. Diseño del Programa
4. Codificación
5. Pruebas
6. Implantación

7. Mantenimiento

3.3.1 Análisis

En diciembre de 1997, un estudio realizado por la Computer Industry Daily reported on a Sequent Computer Systems, Inc. Ha demostrado que de 500 desarrolladores en estados unidos e Inglaterra, un 76% de los encuestados respondió que habían experimentado fallos completos en sus proyectos durante sus carreras, la razón más frecuente por la cual el proyecto falló, se debía al cambio de requisitos. Un requisito es una condición o capacidad que el sistema debe cumplir [17], en otras palabras, es la capacidad que el sistema debe poseer o brindar a fin de satisfacer un contrato, especificación, estándar o alguna otra documentación formalmente impuesta.

Teniendo en cuenta que el correcto manejo de los requerimientos para este trabajo, es un factor del que depende el éxito del proyecto, se implementara la taxonomía de la para definir el propósito de un sistema y capturar el comportamiento externo del mismo.



Figura 12 Taxonomía de Dorfman¹⁰

3.3.1.1 Elicitar

Es el proceso mediante el cual el cliente y el analista de un sistema de software descubren, revisan, articulan y entienden las necesidades de clientes y usuario y las restricciones del software y de la actividad de desarrollo.

Hay muchas técnicas de elicitar requisitos; en este trabajo, se determinó las necesidades del cliente o el usuario, implementando entrevistas (Anexo A1). Esta técnica está compuesta por una serie de preguntas abiertas libres del contexto, para no obligar al cliente o usuario a las respuestas que se quieren oír, además se investiga a quien se va entrevistar para darle pesos y prioridades a los documentos

¹⁰ Richard H. Thayer, Merlin Dorfman. Software Requirements Engineering, IEEE 1997

3.3.1.2 Analizar

El análisis de los requerimientos consiste en estudiar las necesidades de los clientes para plantearlas en términos de un sistema de software. Para lograr esto, existen diferentes técnicas como diagramas de contexto, diagramas de flujo o diagramas de estado

Gráficamente tenemos:

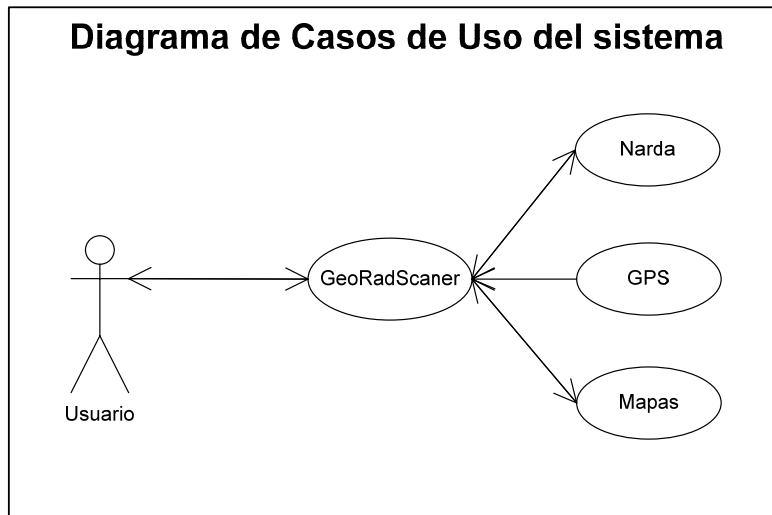


Figura 13 Diagrama de Casos de Uso del sistema

Como se puede observar en la Figura 13 como el sistema debe relacionarse con un grupo de sistemas y actores, para lograr su cometido. A continuación se explicará la relación de cada uno de los actores o sistemas con GeoRadScanner (Tabla 2).

Sistema o usuario	Relación con GeoRadScanner
Usuario	Realizar peticiones de Promedios de Radiación Vs Coordenadas, Visualizar los resultados en un mapa.
Narda (equipo de radiación)	Atender las peticiones de GeoRadScanner, para la entrega de valores de radiación instantánea
GPS	GeoRadScanner escuchara la trama NMA del GPS, procesara sus datos, para obtener las coordenadas de forma mas precisa.
Mapas	GeoRadScanner se relacionara con una base de datos de cartografía, extraerá un mapa y dibujara sobre ellos los puntos bajo un paleta de colores (representando niveles de potencia)

Tabla 2 Relacion GeoRadScanner Vs Sistemas y actores

3.3.1.3 Especificar

Es el desarrollo de un documento que, de manera clara y precisa, registre cada uno de los requerimientos del software.

Para este trabajo se desarrollara el siguiente cuadro de análisis (Tabla 3) con los requisitos del sistema.

Class	ID	DESCRIPCIÓN	Verifica.
	E1	CAPTURAR LA INFORMACIÓN ON-LINE DEL MEDIDOR DE RADIACIÓN NO IONIZANTE NARDA NBM-520, CORRESPONDIENTE A LOS DATOS DE CAMPO ELÉCTRICO Y/O CAMPO MAGNÉTICO (SEGÚN SEA EL CASO).	
	E1.1	Para mediciones de campo cercano es indispensable medir simultáneamente el campo eléctrico y el campo magnético, normalmente en las cercanías de una torre de comunicaciones. Campo cercano distancia de medición menor a tres veces longitud de onda de la antena en consideración	
	E1.2	Para mediciones de campo lejano es suficiente medir uno de los dos campos, eléctrico o magnético, ya que se puede calcular matemáticamente la variable no medida. Campo lejano $> 3*\lambda$	
	E1.3	Puertos de entrada y salida del modulo <ul style="list-style-type: none"> • Entradas: <ul style="list-style-type: none"> ○ Activación ○ Entradas de configuración del puerto serial a 	

		<p>utilizar. Nombre del puerto, velocidad de transferencia (bps), cantidad de bits de datos, paridad, control de flujo.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Salidas: <ul style="list-style-type: none"> ○ Vector de radiaciones instantáneas ○ Visualizar mediciones instantáneas ○ Unidades
E1.4		Inicializar automáticamente el instrumento, cada vez que se llegue a una estación o punto de medición.
E1.4.1		Configurar el equipo en modo remoto
E1.4.2		Determinar errores en el equipo
E1.4.3		Configurar el equipo para solo adquirir la magnitud de la medición
E1.4.4		Establecer las unidades de medición.
E1.5		Adquirir un vector con las medidas instantáneas, para luego ser procesado.
E1.6		Mostrar en pantalla las medidas instantáneas para darle al usuario confianza de trabajo y desempeño.
E2		CAPTURAR LOS DATOS DE COORDENADAS GEOGRÁFICAS DE UN DISPOSITIVO GPS EN LOS PUNTOS DONDE SE ESTÉ REALIZANDO LA MEDICIÓN DE RADIACIÓN NO IONIZANTE.
E2.1		<p>Puertos de entrada y salida del modulo</p> <ul style="list-style-type: none"> • Entradas: <ul style="list-style-type: none"> ○ Activación ○ Entradas de configuración del puerto serial a utilizar. Nombre del puerto, velocidad de transferencia (bps), cantidad de bits de datos, paridad, control de flujo. ○ Reset • Salidas: <ul style="list-style-type: none"> ○ Vector de posición geográfica (latitud, longitud, altura) ○ Cantidad de satélites enganchados ○ PDOP ○ Calidad de la medición
E2.2		La lectura del GPS no es continua, solo se consulta datos durante un tiempo determinado y cuando el sistema lo solicita, normalmente en los puntos donde se va a realizar la medición de radiación no ionizante. (Ver metodología de medición).
E2.2.1		Tiempo de captura de datos del GPS, 20 segundos cuando el dispositivo engancha rápido, 40 segundos cuando tarda en enganchar. Cantidad mínima de satélites conectados con el dispositivo es 4, el tiempo de enganche está relacionado con el tiempo que tarda en cumplir con ésta condición.
E2.2.2		Recapturar datos cuando la incertidumbre de la medición no cumple con los criterios de calidad de la medida (Relacionado con el modulo

		de procesamiento de datos del GPS). No funcional.	
E.2.2.3		El modulo de captura de datos del GPS está en estado de reposo hasta que no se realice una solicitud, por medio de una entrada de activación. (Lógica alta).	
E.2.3		El dispositivo GPS utilizado para la medición se comunica vía serial con el computador utilizado, ya sea por un puerto serial físico o un puerto serial virtual (usb, serial o bluetooth).	
E.2.3.1		Identificar cual es el puerto serial virtual al que se conecta el dispositivo GPS utilizado. No funcional	
E.2.3.2		Para conexiones por bluetooth identificar el puerto serial virtual respectivo. No funcional.	
E2.4		El formato de los datos de coordenadas geográficas está en el sistema sexagesimal precedido de un signo que representa el hemisferio; este formato es utilizado para visualizar y almacenar los datos. Latitud norte: + Latitud sur: - Longitud este: + Longitud oeste: - Sintaxis: ± gg ^o mm'ss''	
E.2.5		Las coordenadas geográficas utilizadas están referenciadas con el datum WGS-84	
E2.6		Preselector de datos, filtro inicial antes de entregar a la salida los datos de la medición, se encarga de descartar tramas que envía el dispositivo GPS.	
E2.6.1		Descarta tramas que no cumplan con los criterios de calidad de la medición: Bit indicador de calidad del GPS en la trama GPGGA (protocolo NMEA), cantidad de satélites enganchados, PDOP.	
E2.6.2		Criterios de calidad de la medición: <ul style="list-style-type: none"> • Calidad del GPS = 0 • Numero de satélites = 4 • PDOP > 4 	
E2.7		Verificar la comunicación entre el GPS y el computador antes de iniciar la medición (no funcional). Si no hay comunicación emitir un mensaje de alerta o indicador visual.	
E3		Procesamiento de los datos entregados por el modulo de captura de datos del dispositivo GPS	
E3.1		Puertos de entrada y salida del modulo <ul style="list-style-type: none"> • Entradas: <ul style="list-style-type: none"> ○ Vector de posición geográfica (latitud, longitud, altura) ○ Cantidad de satélites enganchados ○ Calidad de la medición. ○ PDOP • Salida: <ul style="list-style-type: none"> ○ Vector posición geográfica promedio (latitud, longitud, altura) 	

E3.2	Preselector de datos, filtro inicial antes de entregar a la salida los datos de la medición, se encarga de descartar tramas que envía el dispositivo GPS.
E3.2.1	Descarta tramas que no cumplan con los criterios de calidad de la medición: Bit indicador de calidad del GPS en la trama GPWGA (protocolo NMEA), cantidad de satélites enganchados, PDOP.
E3.2.2	Criterios de calidad de la medición: Calidad del GPS = 0 Numero de satélites = 4 PDOP < 4
E3.3	Análisis estadístico de los datos de las coordenadas geográficas para un punto de medición de radiación no ionizante. Cantidad mínima de datos a procesar 20, (implica que el modulo de captura entre en estado de reposo)
E3.3.1	Calcular el promedio de los datos
E3.3.2	Calcular la desviación estándar
E3.3.3	Descartar los datos que estén alejados de la media un 70% la desviación estándar. (bucle repetitivo hasta q cumpla la condición)
E4	Relacionar los datos de las mediciones de campos electromagnéticos con las coordenadas geográficas del sitio de medición respectivo por medio de un dispositivo GPS.
E5	Graficar un mapa con los niveles de radiación no ionizante, basados en los datos medidos de campos en un área geográfica determinada. Representar por medio de paleta de colores los niveles de intensidad.
E6	Generar un archivo matricial con los datos resultantes
E6.1	El archivo debe ser universal para ser leído por múltiples plataformas y/o programas

Tabla 3 Requisitos del Sistema

Donde:

G: Información general sobre el proyecto

F: Requerimientos funcionales

NF: Requerimientos no funcionales

TBF: To be defined (por definir)

3.3.1.4 Verificar

Es el proceso de asegurar que la especificación de requerimientos cumple con: “las necesidades de los clientes y usuarios” y “con los estándares definidos en la organización”, además se debe ser una base adecuada para establecer la arquitectura preliminar del proyecto.

Para validar los requisitos se puede utilizar varios tipos de pruebas, en este caso se utilizará pruebas de Aceptación.

Las pruebas de aceptación, son aquellas donde el usuario comprueba la funcionalidad del sistema, y determina si acepta como está o precisa aplicar nuevas optimizaciones y soluciones de fallas

En este caso se realizó una entrevista al personal del ministerio de comunicaciones y a personal de TESAmerica sobre varios puntos de los requisitos del sistema; del cual se produjo ajustes para los requisitos E5 y E6 (respecto a la base de datos a utilizar y respecto al formato del archivo).

3.3.2 Diseño

En la sección anterior, se estudió e implementó la fase de análisis de requisitos; en esta sección se estudiará e implementará las fases de diseño del sistema y diseño del programa mediante diagramas UML.

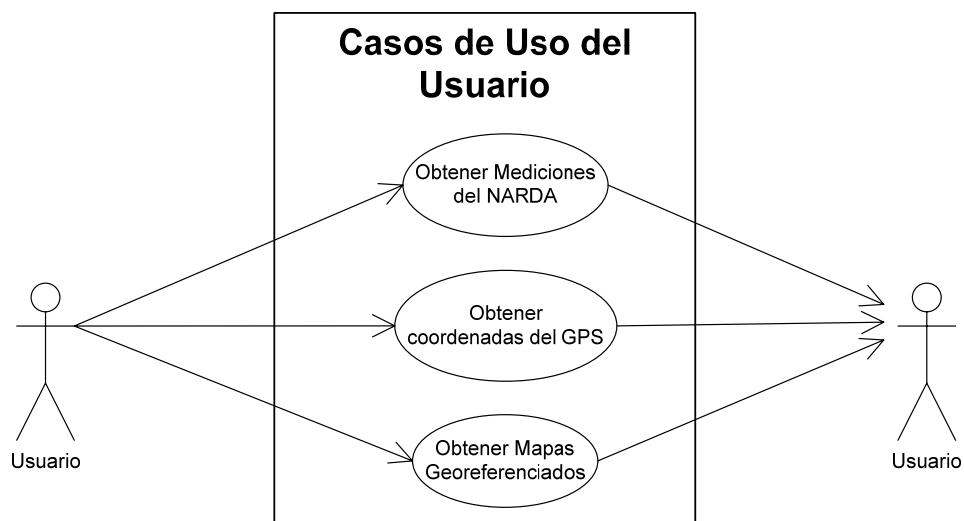


Figura 14 Casos de Uso para el Usuario

De la Figura 14 Casos de Uso para el Usuario se observa que el usuario o actor debe:

Caso de Uso	Descripción
Obtener mediciones del Narda	Se espera que el usuario pueda obtener un valor numérico de la radiación aproximada de la estación en estudio, este valor debe ser confiable y tener sus respectivas unidades
Obtener coordenadas del GPS	El usuario obtendrá las coordenadas del punto con la mayor precisión posible si el usuario así lo desea.
Obtener mapas georeferenciados	Es la respuesta final del sistema al usuario; una vez terminada la campaña, el usuario podrá visualizar la radiación promedio vs coordenadas de las estaciones, mediante un mapa georeferenciado.

Tabla 4 Casos de uso para el usuario

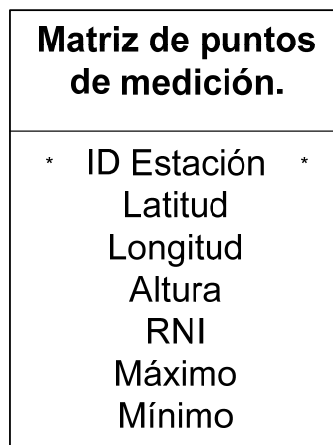


Figura 15 Diagrama de Clases para la Matriz de Puntos de medición.

La Figura 15, es la matriz final del sistema, es decir que cuando termina la campaña, el software guardara esta tabla en un archivo, el cual será tomado por la herramienta GIS para georeferenciar los datos. Se espera que los datos almacenados en la matriz de puntos sean de la forma:

- ID estación: Es el código que el sistema asigna a los resultados finales de cada estación (radiación promedio vs coordenadas) puede ser un string o un integer.

- Latitud: Es coordenada obtenida por el modulo GPS, el formato de este campo es de la forma $\pm xx.xxxxxxxx$ (doble precisión); donde un valor positivo significa una coordenada al Norte y un valor negativo una coordenada al sur
- Longitud: Al igual que la latitud es la coordenada obtenida por el modulo GPS, el formato de la longitud también es una cifra de doble precisión de la forma $\pm xx.xxxxxxxx$; donde un valor positivo significa una coordenada al este y un valor negativo una coordenada al oeste.
- Altura (opcional): Es una cifra del tipo “float”, su precisión en este proyecto no es importante, es por ello que este campo es opcional.
- RNI: es el valor de la radiación promedio obtenida por el narda en la estación ID, este valor puede ser una superior o igual a 15bits¹¹ por lo tanto, el formato conveniente para esta variable es Float.
- Máximo: Es el valor máximo de radiación medido en la estación ID, el formato de este campo es de la misma forma que el campo RNI.
- Mínimo (opcional): Es el valor mínimo que se puede obtener de la estación ID, el formato de este campo es de la misma forma que el campo RNI.

¹¹ Narda NM-“# units and asd

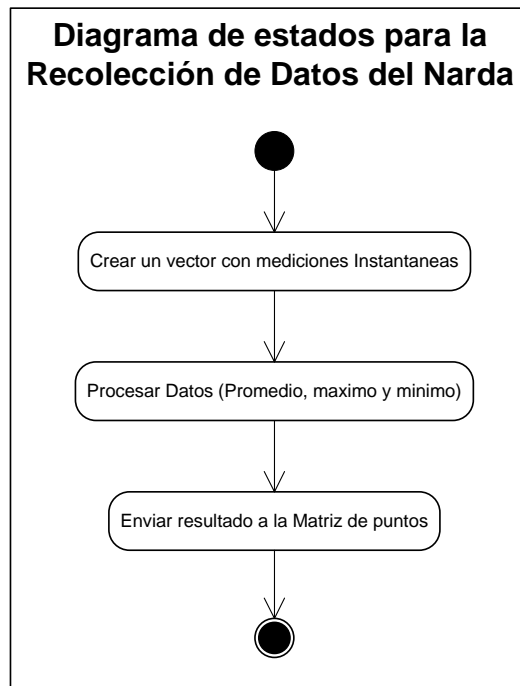


Figura 16 Diagrama de Estado Recolección de Datos Narda

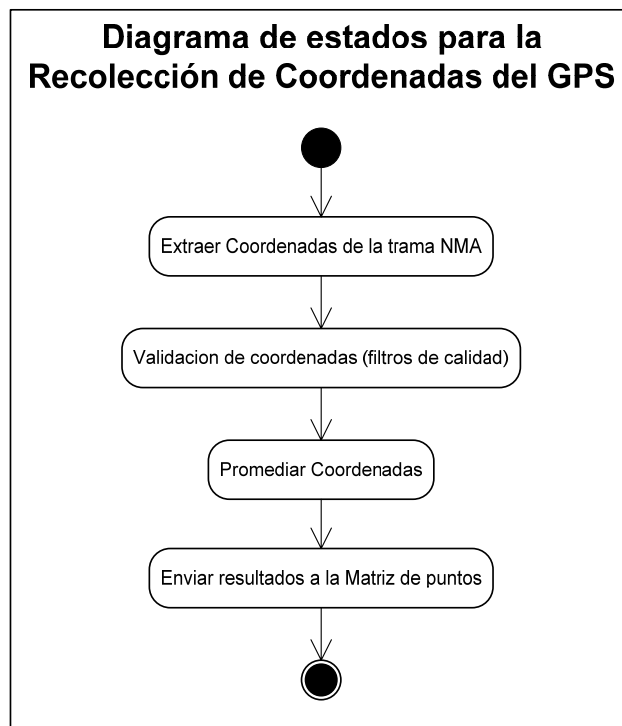


Figura 17 Diagrama de Estado Recolección de coordenadas del GPS

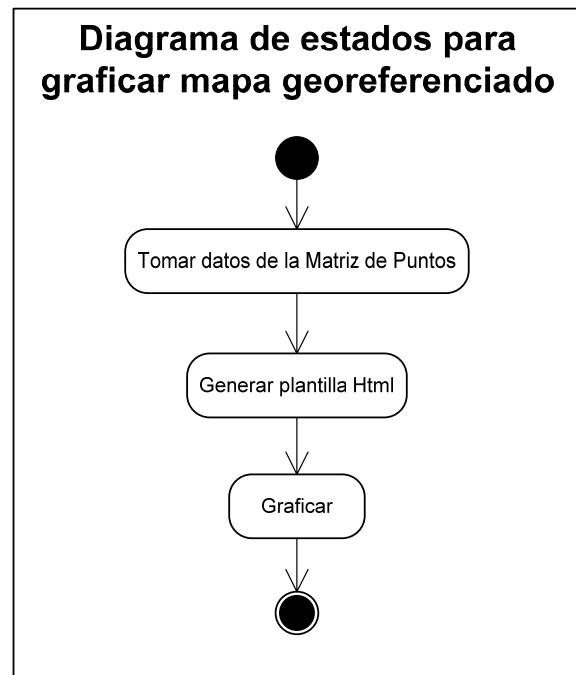


Figura 18 Diagrama de estados para mapas geo-referenciado

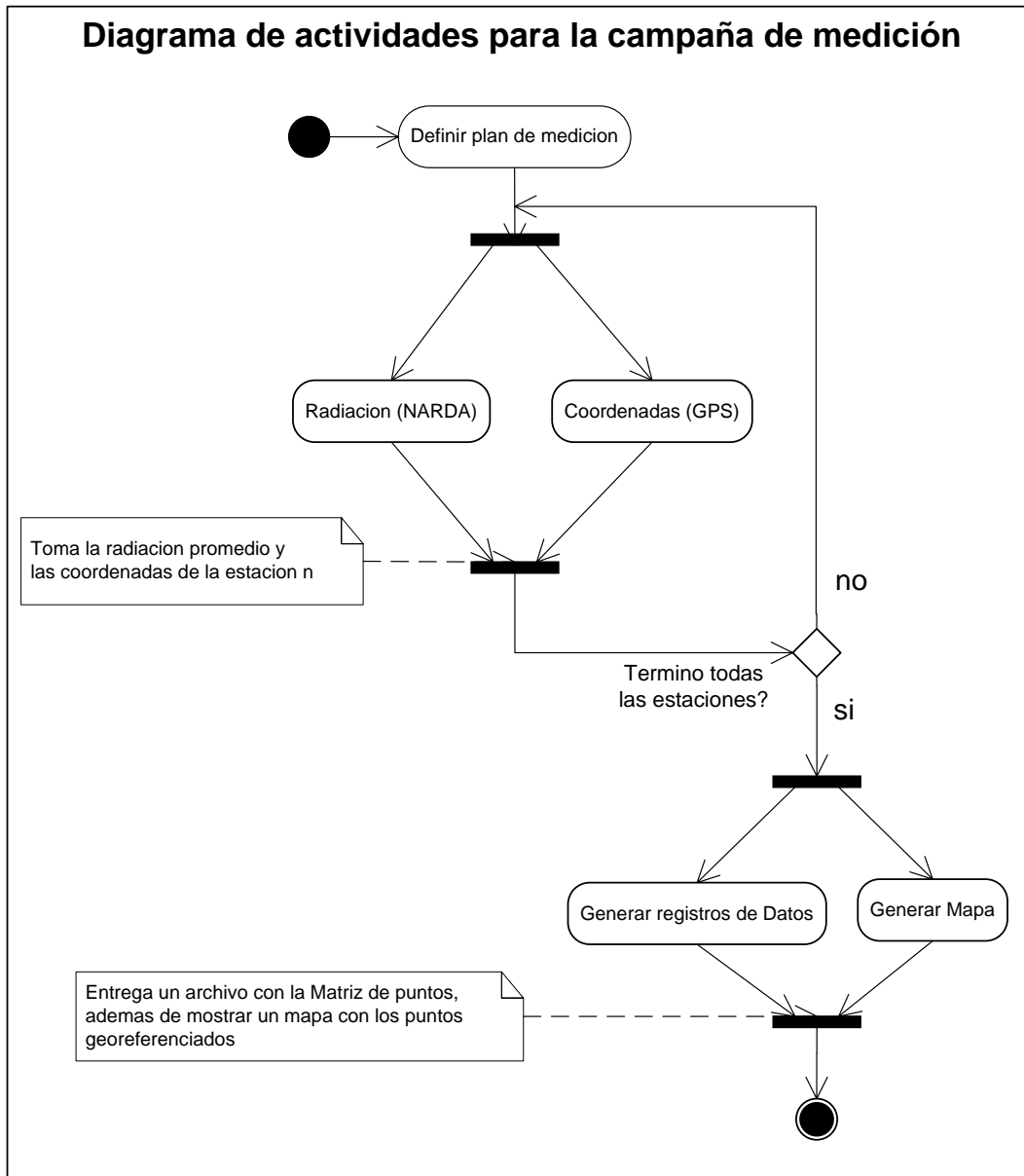


Figura 19 Diagrama de actividades para la campaña de medición

3.3.3 Desarrollo

Las fases de codificación y pruebas son estudiadas en esta sección.

Para llevar a cabo la implementación del sistema, se ha escogido trabajar con Labview, el cual es una herramienta gráfica para pruebas, control y diseño a través de la programación. El lenguaje que usa es llamado lenguaje G, donde la G simboliza que es lenguaje Gráfico. Los programas desarrollados con LabVIEW se llaman Instrumentos Virtuales, o VIs, lo que da una idea de su uso en origen.

Por otro lado, el desarrollo del proyecto está estipulado por módulos (GPS, Narda y mapas), permitiendo a los desarrolladores trabajar en paralelo, para así agilizar los tiempos de desarrollo.

Una vez obtenido el producto final, se procede a validar el software. Como se es sabido, las pruebas son parte fundamental de un producto software antes de su entrega definitiva, es por ello que se llevaron a cabo dos tipos de pruebas:

- *Pruebas de aceptación* Son aquellas donde el potencial usuario comprueba la funcionalidad del sistema, y determina si acepta como está o precisa aplicar nuevas optimizaciones y soluciones de fallas. El software fue presentado al ministerio de Comunicaciones los cuales brindaron una calificación positiva de la operatividad y la funcionalidad del sistema integrado de monitoreo de radiación (SIMRad), ya que muchas de las mediciones realizadas anteriormente demandaban mucho tiempo e imprecisión.
- *Pruebas de validación* En ésta prueba el software totalmente ensamblado se prueba como un todo para comprobar si cumple los requisitos funcionales, de rendimiento, facilidad de mantenimiento, recuperación de errores, etc. Al inicio de éstas pruebas se usaron los módulos por separado, para corroborar su correcto funcionamiento, por ejemplo: se validó las coordenadas con mapas geo-referenciados, también se contrastó la lectura obtenida del Narda con la lectura en pantalla.

3.3.4 Puesta en Marcha

En esta sección se llega a la fase de implantación y de mantenimiento del proyecto, es aquí donde el software obtenido se pone en producción. Se implantan los niveles software y hardware que componen el proyecto. Es decir se arma el sistema integrado de monitoreo de radiación (SIMRad).

El resultado final del software es de la forma de la Figura 20. El sistema no necesita mantenimiento, ya que está diseñado para que sólo el usuario pueda utilizarlo, por lo tanto, hay que tener en cuenta la importancia de la fase de pruebas, pues una vez entregado el programa, un error significa el retiro del software.

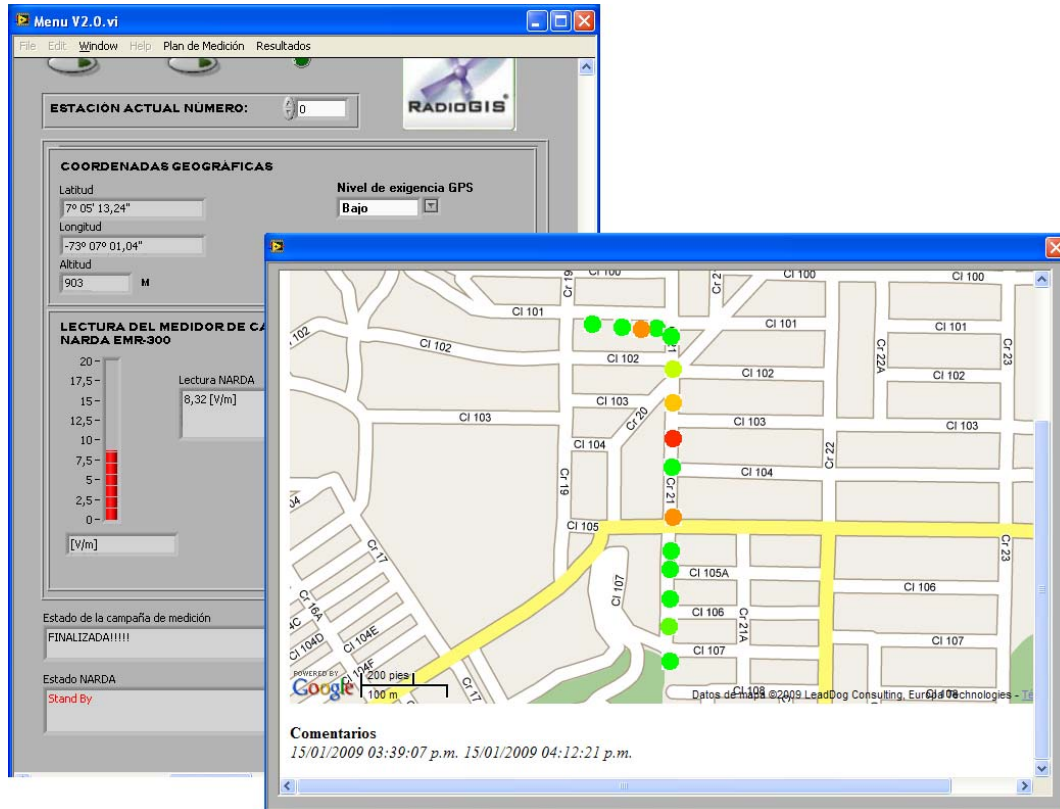


Figura 20 GeoRadScanner

4. DESCRIPCION DEL SISTEMA

GeoRadScanner está diseñado de forma modular, con el propósito de optimizar el proceso de desarrollo de la herramienta y la depuración continua de errores. El objetivo del sistema es realizar mediciones georeferenciadas de radiación no ionizante en banda ancha (medición de inmisión) a lo largo de diferentes sitios o estaciones previamente seleccionados, los resultados de las campañas de mediciones se tabulan, grafican y visualizan en mapas para su posterior análisis.

Es una herramienta intuitiva para su utilización, útil para campañas de mediciones donde la cantidad de sitios a medir es considerablemente alta y los tiempos de medición también, tiene la capacidad de exportar los resultados de las mediciones para ser reutilizados.

Utiliza dos instrumentos fundamentales de medición, un medidor de intensidad de campo de la marca NARDA con referencia NBM-520 y un receptor GPS genérico, los cuales con montados en un vehículo para desplazarlos a los sitios de interés (estaciones) y tomar las lecturas respectivas durante un tiempo de terminado (ver Figura 21).



Figura 21 Instrumentos de medición instalados sobre el vehículo



Figura 22 Configuración del Sistema

Los equipos de medición (NARDA y GPS) se conectan a un computador portátil que tenga instalado GeoRadScanner en dos puertos seriales respectivamente (para aquellos portátiles que no tengan entrada serial se puede utilizar un conversor serial-USB).

Todo el sistema se monta en un vehículo teniendo en consideración que el medidor de campos debe estar por fuera del mismo a una distancia no menor a 40 centímetros de cualquier superficie metálica y que el GPS debe tener línea de vista al cielo para poder engancharse con el Sistema de Satélites de Posicionamiento Global.

4.1 Algoritmo y metodología de medición

La estructura general del sistema está asociada a un *algoritmo de medición*, que ha sido diseñado de tal forma que cumpla con los criterios de la recomendación internacional UIT-T K.52 [15] y el decreto 195 de 2005 definido en las leyes y estatutos colombianos, así como las recomendaciones de funcionarios del Ministerio de Comunicaciones e ingenieros de la empresa TES América Andina LTDA de Bogotá.¹²

¹² TES América Andina es una compañía pionera en telecomunicaciones en Colombia y Latinoamérica, tiene 12 años de experiencia en el campo de mediciones y cuenta con múltiples herramientas como la Suit TESMonitor

Este algoritmo le ofrece la capacidad al sistema de realizar largas campañas de mediciones de radiación no ionizante georreferenciadas, con un alto grado de eficiencia y un nivel mínimo de errores graves cometidos por los operarios del sistema al momento de leer, registrar y relacionar los valores de los instrumentos.

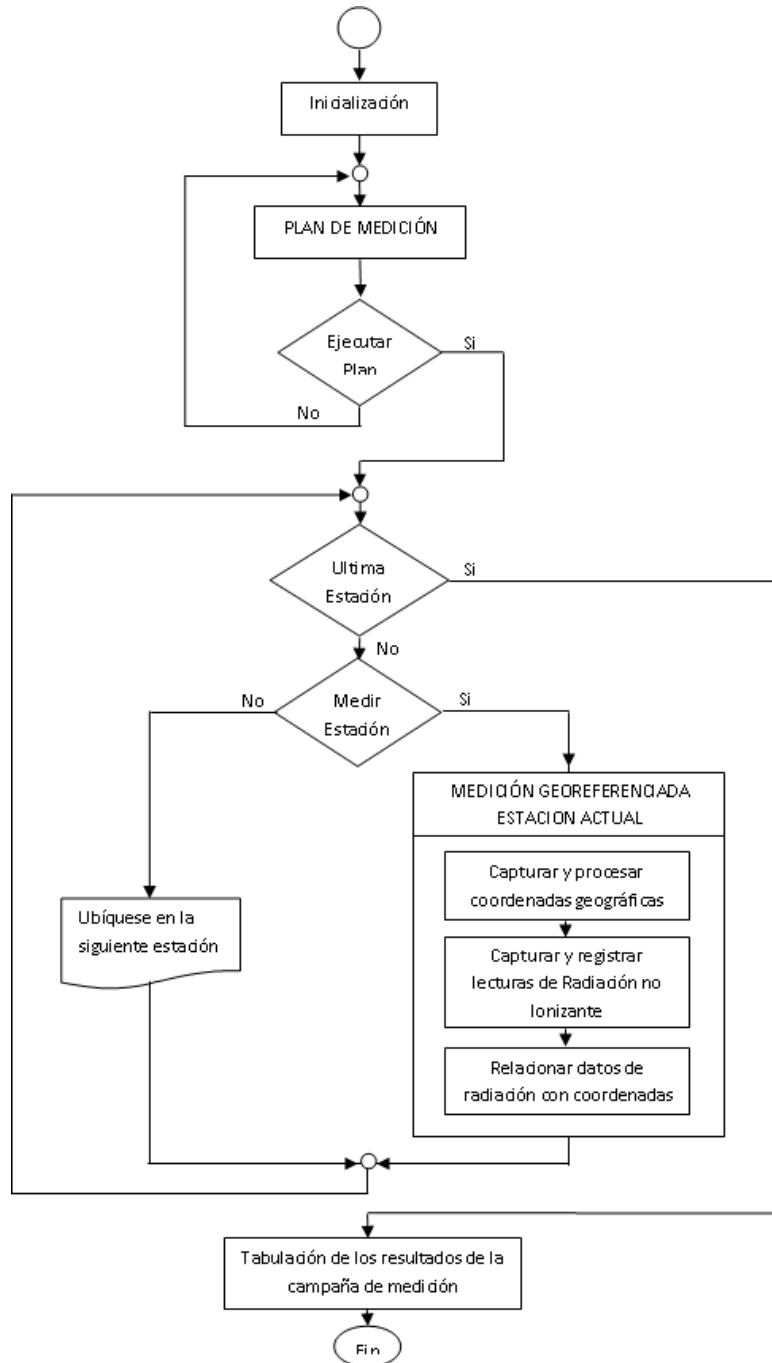


Figura 22 Algoritmo de medición georreferenciada de radiación no ionizante

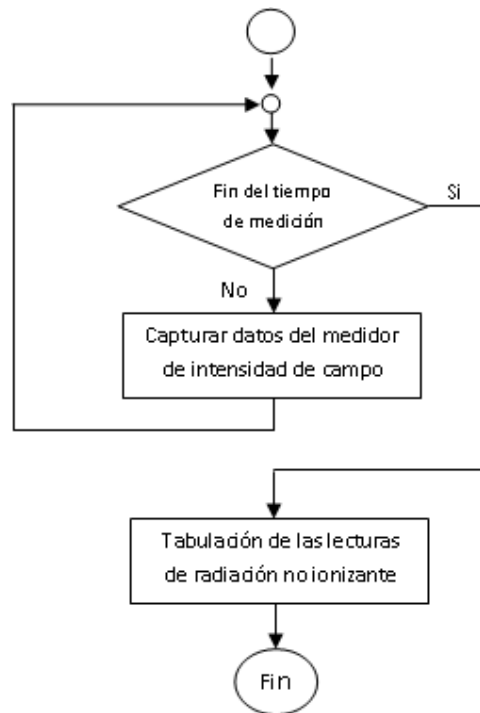


Figura 23 Capturar y registrar lecturas de radiación no ionizante

Características del algoritmo:

- Es indispensable definir un *Plan de Medición* antes de realizar cualquier campaña, ya que de esta manera se logra una mayor eficiencia en el tiempo, además se establecen los parámetros de la campaña de medición, tales como la cantidad máxima de estaciones o sitios en los cuales se van a medir, el tipo de campo o variable a medir (campo eléctrico, campo magnético, densidad de potencia, medida porcentual), el tiempo de medición por estación, el intervalo de captura de radiación no ionizante (dt) y se define la configuración básica de los instrumentos a utilizar. Dada la importancia del plan de medición requiere de un buen proceso de preingeniería y análisis previo de la ruta que se va a seguir.
- El tiempo de medición estándar por estación es de seis minutos, tal como lo establece la recomendación UIT-T K.52, pero es ajustable por el usuario de la herramienta de acuerdo a las necesidades y propósitos de la campaña de medición.
- Los sitios o estaciones donde se van a tomar las lecturas de radiación no ionizante son puntos discretos; es indispensable que los instrumentos

permanezcan en reposo durante todo el tiempo de medición por estación, con el fin de obtener lecturas de radiación reales.¹³

- Los resultados de las mediciones de radiación están georeferenciados automáticamente, gracias a que el sistema relaciona las lecturas del receptor GPS con los datos que suministra el medidor de intensidad de campo (NARDA) por cada estación medida.

4.2 MÓDULOS DEL SISTEMA GEORADSCANER

El sistema está dividido en 3 módulos fundamentales, mas la interfaz de usuario que integra todos los módulos y entrega los resultados de las mediciones de forma agradable

Los módulos fundamentales son:

- Módulo GPS
- Módulo NARDA
- Módulo de Mapas
- Interfaz

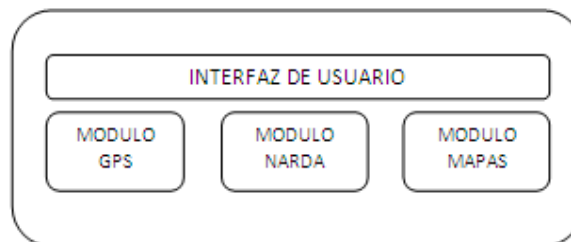


Figura 24 Diagrama de bloques del sistema

¹³ Pruebas experimentales con el medidor de intensidad de campo demostraron que las lecturas del instrumento se distorsionan si se encuentra en movimiento o se generan movimientos repentinos.

4.3 MODULO GPS

Es el modulo que permite la capacidad de georeferenciación al sistema, utiliza un receptor GPS que implica una cobertura global. Entrega información de latitud, longitud y altura que ha sido procesada con anterioridad para garantizar la calidad de las coordenadas geográficas que se miden en cada estación o sitio de interés.

Aspectos fundamentales para el diseño del modulo GPS

Un receptor GPS típico muestra lecturas instantáneas de posición en la medida que se va recibiendo la información proveniente del Sistema de Satélites de Posicionamiento Global, y su exactitud depende de múltiples factores no controlables, como el estado del tiempo, la topografía del sitio, etc.

Para el diseño de este modulo se partió de la premisa de que el grado de exactitud es un aspecto clave para la óptima georeferenciación de las medidas de radiación no ionizante, por lo tanto es necesario un procesamiento posterior de las lecturas del GPS, que le brinden al sistema la capacidad de filtrar los datos obtenidos con base a un conjunto de criterios de calidad ajustables por el usuario de la herramienta, además es importante realizar un promediado de múltiples medidas de posición capturadas con el dispositivo en un mismo sitio.

Los criterios de calidad definen que tan exigente es el sistema para aceptar lecturas del receptor GPS, dependiendo de tres variables que están presentes en la trama NMEA que se recibe:

1. Numero de satélites conectados
2. GPS Quality Indicator (ver marco teorico)
3. PDOP (Position dilution of Precision)

La cantidad mínima de satélites que deben estar conectados con el receptor GPS es de 4 para que la lectura de la altura sea correcta, con un número menor de satélites conectados no se garantiza buenos resultados.

El indicador de calidad del GPS (GPS Quality Indicator), establece si el receptor está enganchado al Sistema de Posicionamiento Global, 1 indica que está conectado.

PDOP, el valor óptimo de esta variable debe estar alrededor de 1 metro y está relacionado con el grado de precisión de las coordenadas geográficas capturadas por el Sistema de Posicionamiento Global.

El modulo GPS toma varias muestras de los datos que suministra el receptor GPS de un mismo sitio y los procesa. La cantidad de muestras y los criterios de calidad determinan el nivel de exigencia del modulo para entregar resultados (latitud, longitud y altura), valor que controla el usuario de la herramienta; están definidos tres niveles de exigencia: bajo, medio y alto

Nivel bajo: # de muestras =3

PDOP<5.0 # satélites = 4
 GPS Quality Indicator > 0

Nivel medio: # de muestras =6

PDOP<3.0 # satélites = 4
 GPS Quality Indicator > 0

Nivel alto: # de muestras =10

PDOP<2.0 #satélites = 4
 GPS Quality Indicator > 0

La selección de uno u otro nivel de exigencia está asociado con las características del receptor GPS que se maneje (Relación señal a ruido, velocidad de transferencia, ganancia de la antena de recepción) y el tiempo de procesamiento necesario para suministrar un dato de posición al usuario.

4.3.1 Características del Modulo GPS

El modulo GPS está constituido por dos bloques principales: Módulo de captura de datos del dispositivo GPS y Modulo de procesamiento de datos tal como se muestra en la Figura 25.

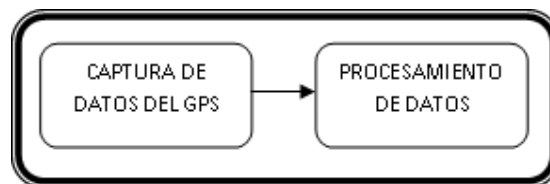


Figura 25 Modulo GPS

4.3.1.1 Modulo de Captura de Datos del GPS:

Este submódulo establece comunicación con el receptor GPS utilizando el puerto serie del computador con el objetivo de extraer la información que está recibiendo de la red de Satélites de Posicionamiento Global; el formato estándar que define las tramas de datos que se transfieren se fundamenta en el protocolo NMEA 0183, de forma tal que su correcta identificación e interpretación es importante para que este submódulo entregue la información correcta.

El proceso de captura de datos del GPS tiene varias etapas, que se ejecutan en cascada en la medida que se van adquiriendo los datos, tal como se muestra en la Figura 26.

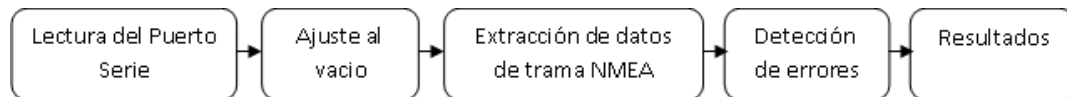


Figura 26 Etapas del modulo de captura de datos del GPS

La programación de este modulo desde LabVIEW brinda la facilidad de reconocer gráficamente cada etapa del modulo ajustados al diagrama de bloques anterior, el resultado se puede apreciar en el anexo A2; este modulo se condensa y se representa por medio del icono de la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**

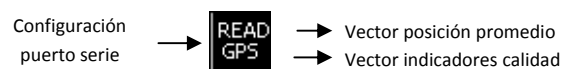


Figura 27 Icono que representa el modulo de captura de datos GPS

Lectura del Puerto Serie: El proceso de captura de datos inicia con la lectura y almacenamiento de las tramas en el formato NMEA que reciben del dispositivo GPS por medio del puerto serie. Dentro de esta etapa se establece la configuración del puerto, la lectura del puerto y el almacenamiento de los datos en un buffer de lectura local. El icono que identifica esta etapa dentro del proceso de captura de datos del GPS se observa en la Figura 28.

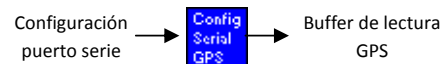


Figura 28 Icono que representa la etapa de lectura del puerto serie

El buffer de lectura del GPS debe contener la suficiente información del Sistema de Posicionamiento Global, de forma tal que permita extraer los datos necesarios para su posterior procesamiento y análisis. El tamaño estándar de este buffer está definido en 1024 bytes, suficiente para capturar una gran cantidad de sentencias de la trama NMEA; este valor se ajustó luego de un proceso iterativo de pruebas con dos dispositivos GPS's diferentes, uno de la marca Royal Tek con referencia RBT-2210 el cual se caracteriza por utilizar el protocolo de comunicaciones Bluetooth para transferir los datos que está recibiendo del sistema de satélites a un dispositivo específico (computador, PDA, palm, etc), captura información básica del Sistema de Posicionamiento Global que lo hace eficiente, aunque no se puede manipular ni controlar aisladamente.



Figura 29 GPS marca Royal Tek RBT-2210¹⁴

El otro GPS sobre el cual se hicieron pruebas es el ETrexVista de la marca Garmin, que se caracteriza por entregar una gran cantidad de información de navegación y posicionamiento al usuario, lo que implica que el volumen de información es comparativamente mayor que el GPS de la marca Royal Tek, además posee una interfaz de usuario que permite su fácil manipulación.



Figura 30 GPS ETrexVista de la marca Garmin¹⁵

¹⁴ Fuente: www.royaltek.com

¹⁵ Fuente: www.garmin.com

En el proceso de pruebas con los dos GPS manipulados se comparó las tramas NMEAS's capturadas, con el fin de determinar a partir de cuántas líneas o sentencias se repetía la trama, y definir el tamaño estándar del buffer de lectura. A continuación se muestra una trama capturada por el GPS Garmin:

```
$GPGGA,214322,0705.2010,N,07307.0984,W,1,07,1.4,912.2,M,-1.9,M,,*4CHCHDG,,,,1.8,W*1C
$GPWPL,0642.2000,N,07245.9647,W
$GPGSA,A,2,,05,,10,12,15,,24,26,29,,,1.7,1.4,1.0*3B$GPRMC,,V,,,,,,161208,1.8,W,N*2F
$GPGSV,3,3,12,26,59,123,34,29,25,337,36,30,30,276,00,51,50,260,00*7DW,505.820,99.7,,V,N*02
$GPGLL,0705.2010,N,07307.0984,W,214322,A,A*56,,,M,,M,,*66
$GPG
$GPBOD,112.5,T,119.3,M,EMPEZ.,Giro 5*05
$GPGSV,3,2,12,12,46,240,46
$GPVTG,0.0,T,6.8,M,0.0,N,0.0,K*4031,46*77
$PGRME,30.4,M,46.3,M,55.4,M*1C
$GPGLL,,,,,V,N*6
$PGRMZ,2957,f*3D
$GPBOD,111.4,
$PGRMM,WGS 84*06Giro 5*0C
$HCHDG,,,,6.8,W*1B
$GPV
$GPWPL,0642.1215,N,07246.0741,W,Giro 5*7DRME,,M,,M,,M*00
$PGRMZ,
$GPRMC,214324,A,0705.2010,N,07307.0986,W,0.0,0.0,161208,6.8,W,A*1E,,1.8,W*1C
$GPWPL,0642.1215,N,07246.0741,W,Gir
$GPVTG,,T,,M,,N,,K*4E
$GPBOD,112.5,T,119.3,M,EMPEZ.,Giro 5*05
$PGRMZ,2962,f*3B
$GPVTG,0.0,T,6.8,M,0.0,N,0.0,K*40
$HCHDG,,,,1.8,W*1C
$PGRME,30.4,M,46.3,M,55.4,M*1C245.9994,W,EMPEZ.*36
$PGRMZ,2958,f*32
$
$PGRMM,WGS 84*061208,1.8,W,N*2F
$HCHDG,,,,6.8,W*1B
$GPR
$GPWPL,0642.0906,N,07245.9994,W,EMPEZ.*365.9994,
$PGRMM,WGS 84*06
$HCHDG,,
$GPGSV,3,2,12,12,31,240,43,15,58,157,43,18,12,241,00,24,23,331,38*76Giro 3,Giro
$HCHDG,,,,6.8,W*1B
$GPRTE,1,1,c,TRACBACK,Fin,Giro 1,Giro 2,Giro 3,Giro 4,Giro 5,EMPEZ.*1E
$GPRMC,214328,A,0705.2013,N,07307.0999,W,0.0,269.8,161208,6.8,W,A*1A
$GPRMB,A,9.99,R,Giro 5,EMPEZ.,0642.0906,N,07245.9994,W,31.136,137.8,,V,A*02
$GPGGA,214328,0705.2013,N,07307.0999,W,1,07,1.8,912.5,M,-1.9,M,,*42
$GPGSA,A,2,,05,,10,12,15,,24,26,29,,,2.0,1.8,1.0*33
$GPGSV,3,3,12,26,59,123,36,29,25,337,38,30,30,276,00,51,50,260,00*71
$GPGLL,0705.2013,N,07307.0999,W,214328,A,A*53
```

Se observa que la primera línea se repite aproximadamente 40 sentencias después, el cual fue uno de los casos más críticos y desfavorable para el GPS Garmin.

La trama NMEA que se obtuvo del GPS Royal Tek, se muestra a continuación:

```

$GPGGA,231550.000,0707.5404,N,07306.6092,W,1,06,1.9,1023.5,M,0.0,M,,0000*4F
$GPGSA,A,3,29,15,26,12,02,09,,,,,,,,,4.5,1.9,4.1*3D
$GPRMC,231550.000,A,0707.5404,N,07306.6092,W,0.00,190.02,141208,,A*72
$GPGGA,231551.000,0707.5403,N,07306.6091,W,1,06,1.9,1023.9,M,0.0,M,,0000*46
$GPGSA,A,3,29,15,26,12,02,09,,,,,,,,,4.5,1.9,4.1*3D
$GPRMC,231551.000,A,0707.5403,N,07306.6091,W,0.00,190.02,141208,,A*77
$GPGGA,231552.000,0707.5398,N,07306.6092,W,1,06,1.9,1024.4,M,0.0,M,,0000*49
$GPGSA,A,3,29,15,26,12,02,09,,,,,,,,
    
```

Para este caso, la primera línea se repite cada 3 sentencias aproximadamente, lo que muestra la simplicidad de este GPS en comparación con el Garmin. Con base en esta información, múltiples pruebas iterativas de la misma naturaleza y pruebas de funcionamiento de todo el modulo de captura acoplado se determinó que el tamaño estándar del buffer de lectura del GPS es de 1024 bytes.

Ajuste al vacío: Es la etapa donde se cuestiona el estado del buffer de lectura del GPS para determinar si es nulo, y de ser así, se entrega a la salida una trama ajustada con datos en ceros, que es el estado de no conexión del GPS. El icono empleado para representar esta etapa se muestra en la Figura 31.



Figura 31 Icono que representa la etapa de ajuste al vacío

Extracción de datos de la trama NMEA: En esta etapa se decodifica la información de interés de la trama NMEA capturada y almacenada en los bloques anteriores, para lograrlo es necesario extraer del buffer de lectura dos sentencias básicas de la trama, GPGGA (Global Positioning System Fix Data. Time, Position and fix related data) y la sentencia GPGSA (GPS DOP and active satellites), ambas sentencias contienen información básica de posicionamiento como la hora universal, latitud, longitud, altura, el estado de conexión de los satélites e información especial como el parámetro PDOP. El proceso de extracción de estos datos se realiza en dos sub-bloques

independientes que toman el buffer de lectura del GPS y entregan los datos deseados.

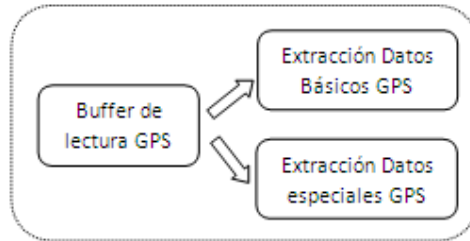


Figura 32 Diagrama de bloques de la etapa de extracción de datos GPS

Los datos que entrega este bloque luego del procesamiento interno son:

- Vector de posición geográfica:
- Hora universal
- Latitud
- Longitud
- Altura
- Vector de indicadores de calidad: Cantidad de satélites conectados
- Estado de conexión del GPS
- PDOP

Es importante destacar que los datos anteriores se extraen de sentencias NMEA diferentes lo que implica que se requiere escanear las sentencias GPGGA y GPGSA y formar los dos vectores anteriormente mencionados.

Extracción datos básicos GPS: Toma la trama NMEA capturada del buffer de lectura y extrae la sentencia GPGGA, luego decodifica la información que contiene y entrega los siguientes datos: hora universal, latitud, longitud, altura, cantidad de satélites conectados y estados de conexión del GPS.



Figura 33 Proceso de extracción datos básicos GPS

El icono que representa todo el proceso anterior se muestra en la siguiente figura:

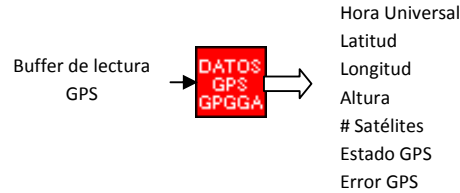


Figura 34 Icono que representa el proceso de extracción datos básicos GPS

Para filtrar la sentencia GPGGA del resto de la trama NMEA se realiza un proceso de búsqueda y borrado, tal como se muestra en la siguiente figura:

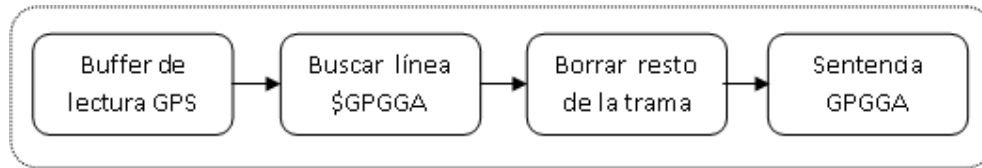


Figura 35 Proceso de filtrado de la sentencia GPGGA

El formato de la sentencia GPGGA¹⁶ del protocolo NMEA que se obtiene, luego de filtrar es:

```

                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
    
```

Donde,

- 1) Hora (UTC)
- 2) Latitud
- 3) N or S (Norte o sur)
- 4) Longitud
- 5) E or W (Este u oeste)
- 6) Indicador GPS,
 - 0 – No conectado,
 - 1 – GPS conectado,
 - 2 – GPS con conexión diferencial
- 7) Número de satelites rastreados, 00 - 12
- 8) Dilución Horizontal de posición
- 9) Antenna Altitude above/below mean-sea-level (geoid)
- 10) Unidades de la altitud de la antena, metros
- 11) Separación al geoide, diferencia entre el elipsoide WGS-84 y el nivel del mar (geoide)

¹⁶ www.tronico.fi/OH6NT/docs/NMEA0183.pdf

- 12) Unidades de la separación al geoide, metros.
- 13) Tiempo en segundos desde la última actualización DGPS Age of differential GPS data, time in seconds since last SC104 type 1 or 9 update, null field when DGPS is not used
- 14) Estación de referencia diferencial ID, 0000-1023
- 15) Suma de comprobación.

De las 15 partes que constituyen la sentencia GPGGGA, diez son útiles para el Módulo GPS, por lo tanto es necesario extraer los datos que se asocian a los numerales 1-7, 9 y 10 relacionados con la hora, latitud, longitud, estado del GPS, número de satélites y altura respectivamente. Esta etapa se realiza tomando la sentencia GPGGGA aislada del resto de la trama NMEA y procesada por 6 módulos diferentes, cada uno extrae un dato en particular, tal como se observa en la Figura 36.

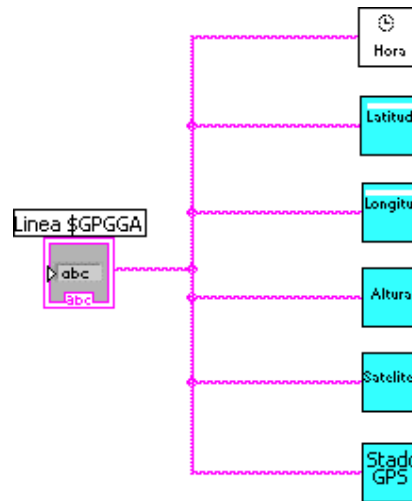


Figura 36 Proceso de extracción de datos importantes luego de filtrada la trama

Toda la información que se extrae de la trama NMEA es de tipo numérico, con el objetivo de poder realizar un procesamiento posterior de las lecturas tomadas por el dispositivo GPS

Extracción datos especiales GPS: Toma la trama NMEA capturada del buffer de lectura y extrae la sentencia GPGSA, para obtener luego el dato PDOP indispensable para realizar un proceso de validación de las coordenadas geográficas obtenidas en el Módulo de Captura del GPS. Esta etapa también involucra un proceso de filtrado y extracción como en el caso anterior, el icono que la representa se muestra a continuación

El proceso de detección consiste en determinar inicialmente cual el tamaño del buffer de lectura del GPS y si es nulo indica que el GPS está apagado o desconectado. Además los módulos de extracción de los datos básicos y especiales del GPS presentan una salida de error (ver figura yy y figura zz), que se activa cuando la configuración del puerto serial no es la apropiada.

Resultados: Los datos que se extraen del GPS se agrupan en dos grandes vectores

- Vector de posición geográfica:
 - o Hora universal
 - o Latitud
 - o Longitud
 - o Altura
- Vector de indicadores de calidad:
 - o Cantidad de satélites conectados
 - o Estado de conexión del GPS
 - o PDOP

4.3.1.2 Modulo de Procesamiento de datos GPS

Este modulo permite validar el nivel de calidad de los datos de posición que se obtienen en el modulo de captura GPS, descartando aquellos que no superen los criterios preestablecidos y los datos nulos, además realiza un promedio con todas las lecturas tomadas en una misma ubicación geográfica.

Es un módulo clave en la georreferenciación de todo el sistema desarrollado, ya que entrega datos confiables de posición en función del nivel de exigencia definido por el usuario (bajo, medio o alto).

Está constituido por varios bloques como se muestra en la siguiente figura:

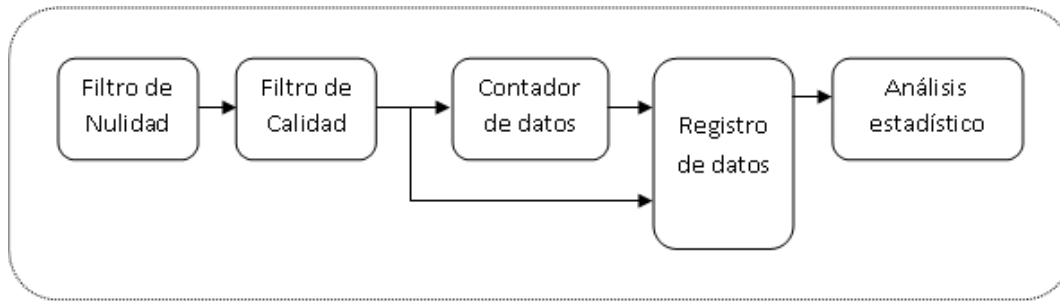


Figura 38 Etapas del modulo de procesamiento de datos del GPS

Filtro de nulidad: Toma los datos suministrados por el modulo de captura del GPS y descarta los que son nulos o constituidos por ceros, proceso que se realiza con el objetivo de evitar errores al momento de promediar todos los datos de coordenadas de un mismo sitio.

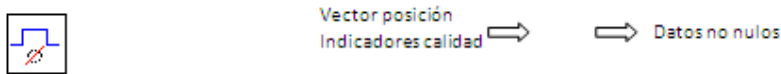


Figura 39 Icono que representa el filtro de nulidad

Filtro de calidad: Todos los datos entregados por el módulo de captura GPS tienen asociados un vector de indicadores de calidad, que establece la diferencia entre una lectura de posición y otra en un mismo sitio y que pondera cual dato es mejor que otro. Con base en este planteamiento se crea un filtro para descartar aquellos datos que no cumplen con unos criterios de calidad definidos.

Los criterios o niveles de calidad se definen con base al nivel de exigencia del GPS que selecciona el usuario, tal como se expresó en la sección denominada 4.1.1 Aspectos fundamentales para el diseño del modulo GPS.

Nivel bajo: PDOP<5.0 # satélites = 4

GPS Quality Indicator > 0

Nivel medio: PDOP<3.0 # satélites = 4

GPS Quality Indicator > 0

Nivel alto: PDOP<2.0 # satélites = 4

GPS Quality Indicator > 0

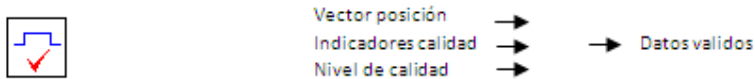


Figura 40 Icono que representa el filtro de calidad

Entre más alto es el nivel de calidad, más estricto es el sistema para validar un dato de posición específico.

Contador de datos: Permite realizar un conteo de los datos de posición que se han validado por ambos filtros del sistema y que son óptimos para ser registrados. Este proceso se realiza al comparar el identificador (ID) de cada dato entregado por el módulo de captura GPS, el cual debe ser único, el ID corresponde a la hora universal en segundos de la sentencia GPGLA capturada de la trama NMEA. Si el ID es diferente en dos datos consecutivos, entonces el contador se incrementa, en caso contrario permanece igual.

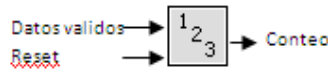


Figura 41 Icono que representa el contador de datos

Tiene una entrada de reset para reiniciar el contador y empezar el proceso nuevamente en una ubicación geográfica nueva.

Registro de datos: Almacena en un registro (matriz) los datos de lecturas del GPS que están validados por los filtros, para posteriormente ser procesados estadísticamente. Utiliza el contador de datos para indicar la fila del registro donde se almacena el dato. Tiene una entrada de reset para reiniciar el proceso de registro.

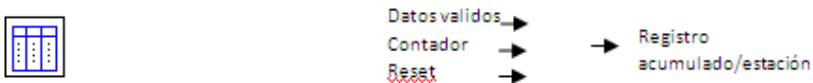


Figura 42 Icono que representa registro de datos

Gracias al contador se registran los datos progresivamente en la medida que van apareciendo.

Análisis estadístico: Toma el registro de datos final y calcula el promedio aritmético, el valor máximo y el valor mínimo de la longitud, la latitud y la altura de un mismo sitio, además tiene una etapa extra que descarta todos los datos que estén en cero que se generan al reinicializar el sistema y producto de los errores que puedan surgir, ya que un cero distorsiona totalmente el promedio que se calcula.

En la medida en que se capturen un mayor número de lecturas del GPS de un sitio, se disminuye el error las coordenadas geográficas calculadas, mejorando la precisión.



Figura 43 Icono que representa la etapa de análisis estadístico

La integración de los módulos de captura GPS y de procesamiento de datos por medio de LabVIEW se aprecian en el anexo x2

4.4 MODULO NARDA

Narda Safety Test Solutions ha presentado al mercado un nuevo equipo de medición de radiación no ionizante NBM-520, en este modulo, se pretende sincronizar este dispositivo con *GeoRadScanner* para la adquisición y procesamiento de datos.

4.4.1 Características del módulo Narda

Este módulo pretende crear un sistema de sistemas (SoS)¹⁸ para el integrador de modelos (*GeoRadScanner*) por lo tanto este modulo interactúa con:

1. Solución software (*GeoRadScanner*)
2. Equipo de medición de radiación (Narda)

La primera tiene que ver con entradas de disparo, es decir, aquellas peticiones de valores instantáneos de radiación. Además, *GeoRadScanner* debe también informar al módulo sobre la configuración del puerto serial.

La segunda entrada es por parte del Narda usando las librerías VISA, esta entrada no se ve directamente en el módulo, es el resultado de utilizar las librerías VISA y las configuraciones del puerto serial.

A la salida del módulo se debe tener las unidades de la medición, además de un vector con todas las radiaciones instantáneas al cual se pueda realizar un procesamiento de datos (hallar el promedio, valor máximo y el valor mínimo).

¹⁸ Sistemas de Sistemas

Durante el proceso de medición, también se hace indispensable para el usuario, obtener una gráfica de los niveles de radiación instantánea que permitirá determinar si el sistema está funcionando correctamente o no.

Por otro lado, se hace preciso estudiar la configuración del puerto serie del Narda antes de detallar el funcionamiento del módulo, ya que esta configuración es parte vital para el sincronismo del equipo de radiación con el presente módulo.

4.4.2 Configuración del puerto serial.

Tanto el EMR-300 como el NBM-520, poseen un puerto de salida óptico (para evitar interferencias electromagnéticas en la medición), el cual es conectado al computador a través de un conversor óptico-serial. Según *Narda Safety Test Solutions* este puerto debe estar configurado para recibir 8 bits de datos seguidos de un bit de parada a 4800 bits por segundos, implementando el protocolo Xon/Xoff para el control de flujo del puerto; el puerto no utiliza ningún tipo de paridad para su operación.

A través de las librerías Visas[16], disponibles para tanto para Labview como para el runtime del equipo, es posible obtener la información que entra al puerto para ser procesada por GeoRedScanner. Para sincronizar con el equipo de radiación sólo es necesario conectar al módulo las configuraciones del puerto serial tanto de escritura como de lectura al "VI" de configuración del puerto VISA (Figura 44).

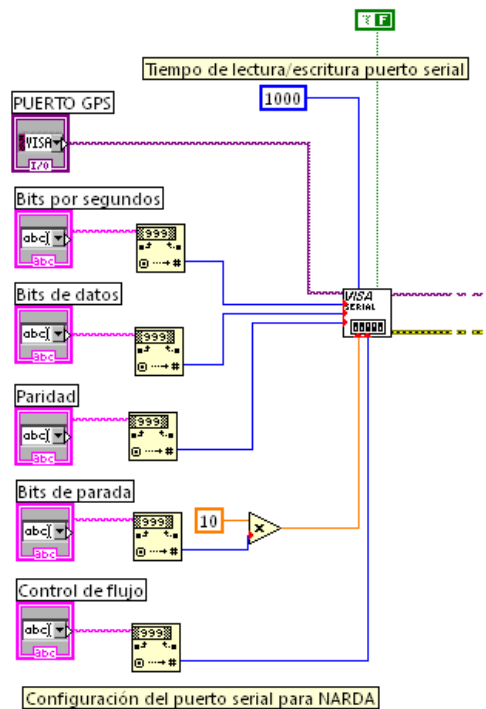


Figura 44 Configuración puerto Serial usando VISA libraries

La escritura y lectura del puerto se realiza usando las salidas de la figura anterior mediante los VI de escritura y lectura disponibles en la librería VISA.

4.4.3 Estructura del Modulo Narda

De la Figura 45, es observable que el módulo consta de tres etapas básicas, Inicialización, medición y Procesamiento de datos. Es importante destacar que el módulo sólo adquirirá datos de radiación, sin modificar ningún valor (sumar o restar radiaciones aparentes) y su veracidad corresponde netamente a la configuración de fábrica del instrumento.

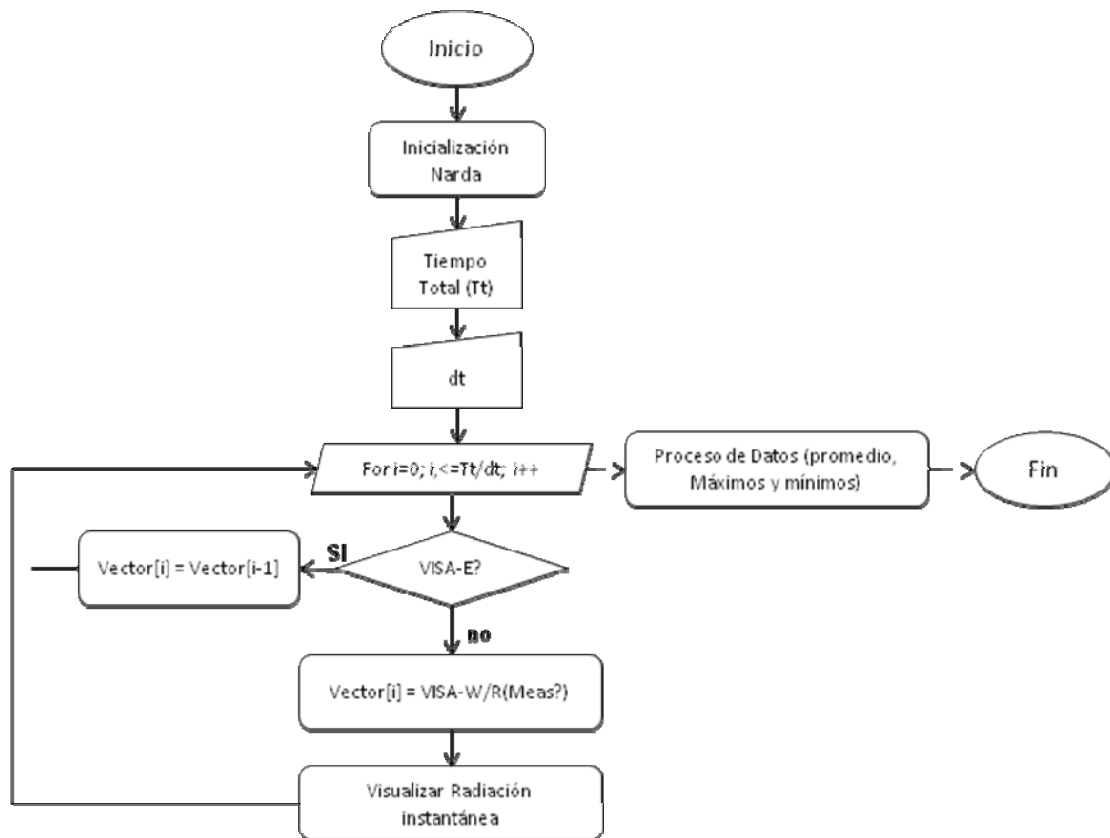


Figura 45 Estructura lógica del Modulo Narda

Como se puede apreciar, las funciones VISA-W/R y VISA-E, son Vis¹⁹ de Lecto-escritura y de error de lectura en el puerto respectivamente.

Como se mencionó con anterioridad, este módulo se divide en tres submódulos relevantes (Figura 46), los cuales se describirán a continuación.

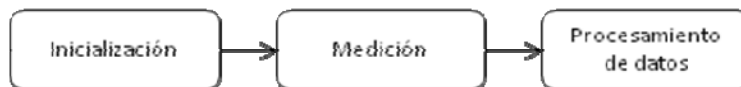


Figura 46 Etapas modulo Narda

¹⁹ Virtual Instrument, abreviatura para designar un instrumento virtual programado desde LabVIEW

4.4.3.1 Inicialización

El equipo de radiación se inicializa cada vez que se da la orden de ejecución del Plan de Medición; la inicialización consiste en configurar el equipo de acuerdo con el plan de medición, y con el objetivo de obtener respuestas lógicas y confiables. Para un control remoto del instrumento de medición de campos, *Narda Safety Test Solutions* implementa la transmisión y recepción de comandos basados en SCPI²⁰ usando caracteres ASCII (ver anexo 3 para examinar las sentencias básicas o primitivas de comunicación del NARDA). Una vez se ha encendido el Narda de manera manual, GeoRedScanner podrá reconocer el instrumento de medición, a fin de prepararlo para la campaña de medición.

La inicialización del instrumento se hace en el siguiente orden:

1. Deshabilitar cualquier tipo de función activada con anterioridad en el NARDA (Modo remoto, Promedio y Máximos)
2. Activar Cero automático (Función para auto calibrar el instrumento cada 6 minutos sin interrumpir la medición)
3. Establecer solo valores eficaces (magnitud de la radiación) de las lecturas que se obtengan cuando se haga una petición de medición de campos.
4. Configurar el campo que va a medir E, H o % el equipo, hay que tener cuidado con estas conversiones, pues solo son eficientes en campo lejano. Además depende de cual sonda se conecte al instrumento.
5. Activación del modo Remoto, ideal para el trabajo de sincronización con el PC

La Figura 47 contiene un ejemplo de la implementación de estos comandos, como se puede apreciar en la figura, el secreto consiste en enviar una cadena de caracteres seguido de una retorno de línea (LF) y fin de acarreo (CR), en otras palabras, un “enter”.

²⁰ Standard Commands for Programmable Instruments

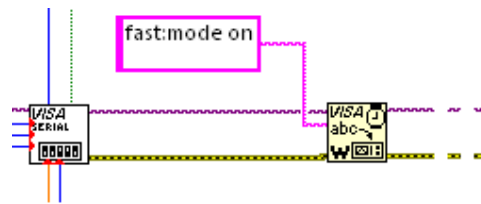


Figura 47 Escritura Narda (Función para activar modo remoto)

Los comandos (ver anexo 3) utilizados en el orden anterior para la inicialización del NARDA fueron:

1. Desactivar Comandos
 - a. Fast:mode off
 - b. Calc:aver off
 - c. Calc:max off
2. Calc:auto:zero on
3. Calc:axis eff
4. Calc:unit E_field /H_fiel / Power_den / percent
5. Fast:mode ON

Todos los comandos enviados al dispositivo deben tener LF y CR.

4.4.3.2 Medición

4.4.3.2.1 Vector de Lecturas instantáneas

Esta etapa creará un vector con las lecturas instantáneas para ser procesado por la etapa siguiente. Para obtener una lectura instantánea del equipo, se envía el comando “meas?” a lo cual, equipo responderá enviando el valor presente de radiación (la magnitud del string²¹ de salida es constante por unidad de salida). Una vez enviado el comando, el dispositivo garantiza la respuesta de 400ms entre valores de medición, si y sólo si, está activado el modo remoto.

²¹ Variable

Entonces el vector de lecturas instantáneas se crea a través del número de respuestas entregadas por el dispositivo; este número depende del paso de la medición (dt) y del tiempo total de la medición (opciones configurables en el plan de medición). En labview esto se recrea usando una función FOR (Figura 48), en el cual, el límite viene dado por la relación tiempo total de la medición sobre el paso de la medición (dt) (Figura 49).

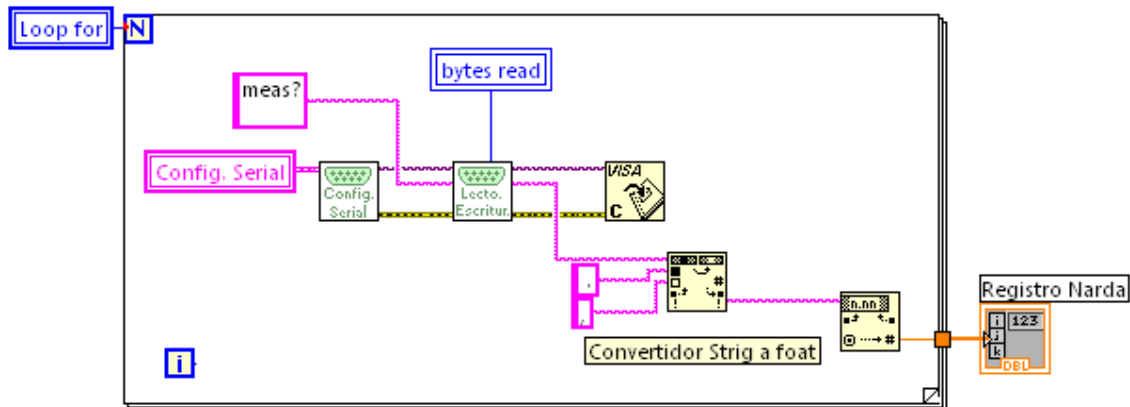


Figura 48 Generación del vector de lecturas instantáneas (Registro Narda)

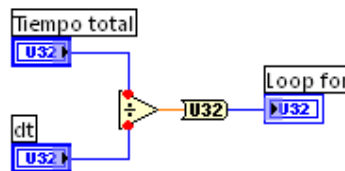


Figura 49 Limite del for (Loop for)

Para la lectura del equipo (Figura 50), es importante tener en cuenta el tipo de unidades que se está usando para la medición; ya que una medición de campo magnético, campo eléctrico o porcentual sólo requiere de 10 bits para el buffer de lectura del VISA, mientras que una medición de potencia requiere de 15 bits en el buffer de lectura.

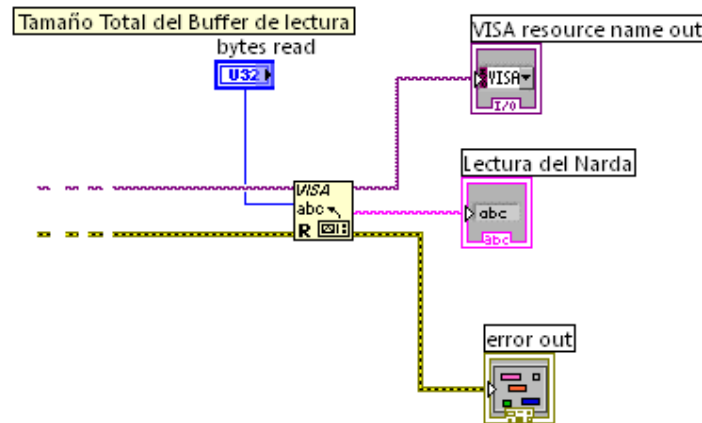


Figura 50 Lectura Narda

4.4.3.2 Opciones de visualización.

Esta es la parte más sencilla del módulo, ya que NI Labview posee las herramientas para la creación de Slider y graficas de nivel. Para ambientar el interfaz, se debe tomar la lectura del Narda y convertirla de string a un valor numérico para luego ser entregado al VI encargado de graficar en pantalla (Figura 51).

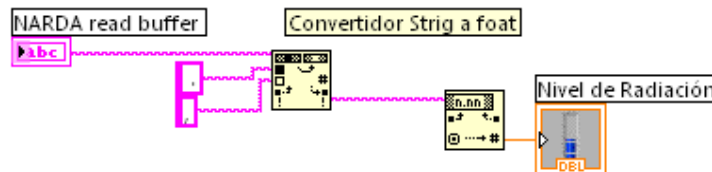


Figura 51 Visualización del nivel de radiación instantáneo

4.4.3.3 Procesamiento de datos

Una vez obtenido el vector de lecturas instantáneas, se procede a obtener el valor promedio, el valor máximo y el valor mínimo del vector (es decir, de la estación), esto se realiza utilizando las funciones: *Measures of Mean* y *Array Max & Min* (figura A), las cuales se encargan de calcular la tendencia central de los valores de los datos y de encontrar máximos y mínimos en el vector, respectivamente.

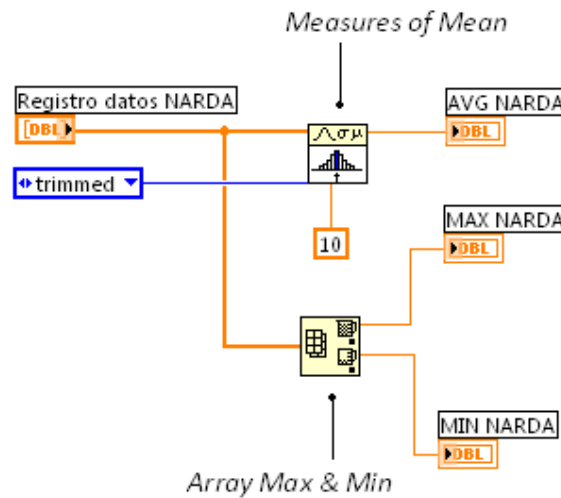


Figura 52 Procesamiento de datos

Una vez procesado los datos, el modulo está listo para entregar al programa final, tres campos importantes para la matriz de mediciones (Valor promedio, máximo y mínimo de la radiación).

4.5 MODULO MAPAS

Para el usuario del GeoRedScanner es importante visualizar de forma agradable cada una de las estaciones medidas, es por ello que se debe implementar un mapa en el cual se pueda georeferenciar todas las estaciones de la campaña, además es ventajoso que se obtenga un mapa de colores el cual permita al usuario tener información sobre niveles de potencia medidos.

Actualmente existen varias herramientas GIS, las cuales están diseñadas para capturar, almacenar, manipular, analizar y desplegar en todas sus formas la información geográficamente referenciada, para así resolver problemas complejos de planificación y gestión. En este caso, debemos escoger la herramienta apropiada que será implementada en nuestro proyecto, por lo cual se hace importante tener en cuenta las características de cada una de las opciones y el nivel de satisfacción que podría aportar cada herramienta en el proyecto.

4.5.1 Herramienta Apropriada

En el mercado actual se encuentran varias herramientas las cuales son muy útiles en manejo de datos de GIS, para este proyecto se obtienen las siguientes opciones seguidas de sus ventajas:

1. *ArcView*: La apariencia de ArcView se asemeja al entorno Windows (con ventanas y pestañas). Se trabaja por proyectos, que a su vez se estructuran en Vistas (View) y Tablas. Los proyectos tienen la extensión .apr. Dentro de un proyecto se guardan todos los temas, tablas, mapas en la ubicación del ordenador; si se cambia algún tema de lugar es probable que el programa no sepa encontrar el camino para llegar a él; por eso es recomendable guardar todos los temas en una misma carpeta.

ArcView es un producto del Environmental Systems Research Institute (ESRI), los fabricantes de ARC/INFO, el más importante software de sistemas de información geográfica (SIG). A diferencia de ARC/GIS, ArcView está optimizado para ver, consultar, analizar presentar en forma de mapas datos espaciales, no obstante es posible utilizarlo para elaborar información geográfica de una manera más sencilla que con ARC/GIS. Elaborar información geográfica es localizar puntos (p.ej. lugares), líneas (p.ej. carreteras o ríos) o polígonos (p.ej. parcelas de terreno, campos de cultivo) del espacio y asignarles unos atributos.

2. *Mapinfo*: Es una potente herramienta GIS que le permite realizar diversos y complejos análisis geográficos, ideales para facilitar la toma de decisiones: Captura, Consulta, Edición, Análisis y Reportes de Información Geográfica Dinámicamente relacionada con Bases de Datos. Mapinfo contiene un entorno amigable y fácil de usar, el cual permite realizar análisis geográficos complejos tales como zonificar, conectarse con bases de datos remotas, arrastrar e insertar objetos del mapa en otras aplicaciones, crear mapas temáticos para realzar tendencias y relaciones existentes en los datos alfanuméricos; otra gran ventaja de trabajar con este software es la gestión de mapas de alto detalle que permiten observar relaciones y tendencias de una manera fácil y clara dentro de la complejidad y abundancia presente en sus bases de datos, sin necesidad de hacer un extenso análisis sobre las posibles relaciones entre los datos alfanuméricos.
3. *Google Earth*: Es un programa informático similar a un Sistema de Información Geográfica (SIG), creado por la empresa Keyhole Inc., que permite visualizar imágenes en 3D del planeta, combinando imágenes de satélite, mapas y el motor de búsqueda de Google. Google Earth permite introducir el nombre de un hotel, colegio o calle y obtener la dirección exacta, un plano o vista del lugar. También se puede visualizar imágenes vía satélite del planeta. También ofrece características 3D como dar volumen a valles y montañas, y en algunas ciudades incluso

se han modelado los edificios. La forma de moverse en la pantalla es fácil e intuitiva, con cuadros de mando, sencillos y manejables.

Además, es posible compartir con otros usuarios enlaces, medir distancias geográficas, ver la altura de las montañas, ver fallas o volcanes y cambiar la vista tanto en horizontal como en vertical.

4. *GoogleMaps*: Es el nombre de un servicio gratuito de Google. Es un servidor de aplicaciones de mapas en Web. Ofrece imágenes de mapas desplazables, así como fotos satelitales del mundo entero e incluso la ruta entre diferentes ubicaciones. Es similar a Google Earth, una aplicación Windows/Mac/Linux que ofrece vistas del Globo terráqueo impactantes, pero que no es fácil de integrar a páginas Web.

Google Map ofrece la capacidad de hacer acercamientos o alejamientos para mostrar el mapa. El usuario puede controlar el mapa con el mouse o las teclas de dirección para moverse a la ubicación que se desee. Para permitir un movimiento más rápido, las teclas "+" y "-" pueden ser usadas para controlar el nivel de zoom. Los usuarios pueden ingresar una dirección, una intersección o un área en general para buscar en el mapa.

Además de ello google Maps tiene la opción de agregar marcadores sobre un sitio específico utilizando coordenadas WGS84, opción muy utilizada en todas las herramientas GIS anteriormente nombradas y de vital importancia para el desarrollo de este proyecto.

4.5.1.1 ¿Cuál es la Herramienta indicada?

Tras el anterior análisis, vemos que cada herramienta poseen ventajas tanto a nivel de procesamiento GIS como la calidad de sus imágenes, es por ello que alguno de estos desarrollos son del tipo shareware, por lo que se debe conseguir los permisos necesarios para operar con ellas, además de esto, se es necesario cargar un mapa no solo de Bucaramanga, si no de cualquier del mundo en el cual se encuentre el GeoRedScanner operando.

Por lo tanto es importante para este proyecto crear una herramienta que opere de igual forma en cualquier lugar del mundo sin tener que cargar mapas o imágenes de los lugares a los cuales se desea implementar la medición, además el no uso de programas pagos generará menos gastos para cumplir los objetivos de este trabajo.

Google Mapstm es ahora la solución frente a la actual problemática; ya que cumple con los niveles de exigencia y calidad que busca este trabajo.

4.5.2 Google Maps™

Para obtener un mapa de Google Maps, en el cual se pueda agregar puntos o marcadores personalizados el cual contenga información adyacente al punto, se debe abarcar el concepto de APIs de Google Maps

Los APIs de Google Maps es una solución ante la gran demanda de mapas brindados por Google Maps la cual, obligaba a los usuarios a desarrollar herramientas para extraer los mapas de sus servidores; esta herramienta pretende proporcionar una serie de procedimientos bien documentados para que, a través de código JavaScript en las páginas web, se tenga la posibilidad de 'hablar' con sus servidores y extraer los datos de los mapas.

Para poder utilizar esta API, simplemente se debe pedir una clave e indicar en qué URL se van a alojar las aplicaciones o si serán utilizadas localmente como en este caso. Al ser un servicio gratuito Google limita esta herramienta con 50 mil consultas a sus servidores por día (número suficiente para el buen funcionamiento de la solución), y anuncian que esta API será actualizada periódicamente y que se reserva el derecho de insertar publicidad dentro de los mapas.

Para crear un código en JavaScript se es necesario tener en cuenta cada una de las funciones implementadas por Google²². Un ejemplo sencillo en el cual se puede ver la información más relevante del código en JavaScript es:

```

1. <!DOCTYPE html PUBLIC "-//W3C//DTD XHTML 1.0 Strict//EN"
2. "http://www.w3.org/TR/xhtml1/DTD/xhtml1-strict.dtd">
3. <html xmlns="http://www.w3.org/1999/xhtml">
4. <head>
5. <meta http-equiv="content-type" content="text/html; charset=utf-8"/>
6. <title>Bukara Map</title>
7. <script
   src="http://maps.google.com/maps?file=api&v=2&key=ABQIAAAA5m081CaApreO8rjmDf_vqxT
   2yXp_ZAY8_ufC3CFXhHIE1NvwkxQ8KnDYXgf6Dw0xFebSk43Jp6wV9g"
8. type="text/javascript"></script>
9. <script type="text/javascript">
10. //
11.
12. function load() {
13.   if (GBrowserIsCompatible()) {
14.     var map = new GMap2(document.getElementById("map"));
15.     map.setCenter(new GLatLng(7.108728,-73.102341), 13);
16.     map.addControl(new GMapTypeControl());
17.     map.addControl(new GScaleControl());
</pre>
</div>
<div data-bbox="168 853 654 872" data-label="Footnote">
<p><sup>22</sup> <a href="http://code.google.com/intl/es-ES/apis/maps/documentation/staticmaps/">http://code.google.com/intl/es-ES/apis/maps/documentation/staticmaps/</a></p>
</div>
<div data-bbox="484 936 510 953" data-label="Page-Footer">
<p>68</p>
</div>
```

```

18.
19.  var marcador = new GIcon(G_DEFAULT_ICON);
20.  marcador.image = "http://imagenes.com/marcador.gif";
21.  marcador.shadow = "";
22.  marcador.iconSize = new GSize(30, 30);
23.
24.  function addtag(point, address, tipo) {
25.    var marker = new GMarker(point, tipo);
26.    GEvent.addListener(marker, "click", function() {
27.      marker.openInfoWindowHtml(address); });
28.    return marker;
29.  }
30.
31.  var point1 = new GLatLng(7.11873,-73.109337);
32.  var address1 = '<b>Cabecera</b><br/><i>Polideportivo X</i>';
33.  var marker1 = addtag(point1, address1);
34.  var point2 = new GLatLng(7.11193,-73.109117);
35.  var address2 = '<b>Cabecera</b><br/><i>Polideportivo Y</i>';
36.  var marker2 = addtag(point2, address2);
37.  map.addOverlay(marker1);
38.  map.addOverlay(marker2);
39.  }
40.  }
41. //]]>
42. </script>
43. </head>
44. <body onload="load()" onunload="GUnload()">
45. <div id="map" style="width:800px;height:600px"></div>
46. </body>
47. </html>

```

Para evitar extensiones en elementos poco relevantes, se optará por explicar las partes importantes del código del anterior ejemplo.

4.5.3 Explicación del Código

Como se puede observar, la obtención de un mapa en Google Maps requiere de conocimientos en HTML y JavaScript; para este caso particular, se tiene que las líneas de mayor relevancia para la solución software son:

Línea 6: Lleva el título del Documento Html, en este caso el nombre de la campaña

Línea 7: Esta línea es importante para Google™, pues esta línea lleva el Key asignado por Google Maps que permitirá al usuario identificarse como cliente de la aplicación.

Línea 15: En esta línea se ingresan las coordenadas del centro del mapa y el nivel de zoom que Google utilizara

Línea 16: Esta línea ingresa en la parte superior derecha las opciones sobre visualización del mapa (Mapa, relieve, híbrido) tal como lo muestra la Figura 53.

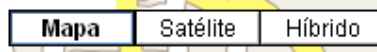


Figura 53 Opciones de Visualización

Línea 17: Agrega una pequeña escala al mapa, la cual permite al usuario determinar la magnitud de las distancias tomadas (Figura 54)



Figura 54 Escala de Mapa²³

Líneas 19-22: Crea la variable marcador con atributos de imagen (icono, sombra y tamaño).

Líneas 24-29: Crean la función Addtag, encargadas de crear una variable que contengan tres diferentes atributos (Coordenada, Comentario e Imagen).

Línea 31: Crea una variable cuyos atributos son coordenadas WGS84

Línea 32: Crea una variable del tipo String, con comentarios detallados de la medición en esa estación.

Línea 33: Se crea una variable de tre atributos implementado la función Addtag.

²³ Fuente: Google Maps

Línea 37: Utiliza la función *map.addOverlay* para agregar la variable de tres atributos al mapa

Línea 45 Se define el tamaño de la ventana en que se mostrará el mapa generado por Google Maps.

4.5.4 ¿Cómo trabaja el módulo de generación de mapas?

Antes de empezar a elaborar este módulo se debe tener en cuenta las entradas y salidas del sistema y las operaciones que se harán en su interior, ya que la efectividad de la solución depende del trabajo en paralelo y de su interoperabilidad dentro de un sistema de sistemas.

4.5.4.1 Entradas y salidas

Teniendo en cuenta que las entradas al módulo provienen del análisis y proceso de datos de la integración de los dos módulos anteriores; a la entrada se debe esperar:

- Nombre de la campaña: Para crear un mapa, es necesario distinguirlo de otros anteriormente creados, este dato sirve para darle identidad a los resultados que se mostraran en pantalla
- Número de estaciones: Se espera por parte del sistema que se entregue una cantidad de estaciones que el usuario ha escogido previamente, esta opción permite mostrar incluso menos estaciones de las que se midieron realmente.
- Matriz de puntos de medición: Es la matriz que contiene un registro de cada medición realizada en una estación, la matriz es de la forma:

	ID	Longitud	Latitud	Altura	\bar{P}	Pmax	Pmin
Estacion 1 -->	ID001	7.088167	-73,11697	902	2,345	11,345	0,02
Estacion 2 -->	ID002	7.088151	-73,11623	902	5,672	21,34	0,07
	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
Estacion X -->	xxx	x,xxx	x,xxx	xxx	x,xxx	x,xxx	x,xxx

Figura 55 Matriz de puntos de medición

- Unidades: Son las unidades utilizadas en la campaña, se utilizan para la indicación en pantalla

- **Latitud Center:** Es la latitud en la cual se centrara el mapa, puede ser definida de un total de promedios o utilizar la primera estación como centro de mapa, para facilitar las cosas, en este trabajo se ha tomado la primera opción.
- **Longitud Center:** Al igual que la latitud, es la longitud central del mapa a graficar.
- **Zoom:** Es el nivel de Zoom permitido para la medición, Google Maps maneja la escala de 10 a 17, siendo 17 el más cercano y 10 el más alejado
- **Comentario:** Al final de la publicación se dispone de un espacio el cual tendrá comentarios importantes por parte del autor y de la solución software.
- **Visualización:** Es la opción para seleccionar que de qué forma se desea visualizar la paleta de colores en los puntos georeferenciados.

Al finalizar el modulo se debe obtener un mapa de georeferenciado con las mediciones realizadas en toda la campaña en la cual, se pueda visualizar información adjunta a la medición obteniendo así, un resultado visual agradable para el usuario final o cliente. Gráficamente, el resultado de este módulo debe ser similar a la Figura 56:

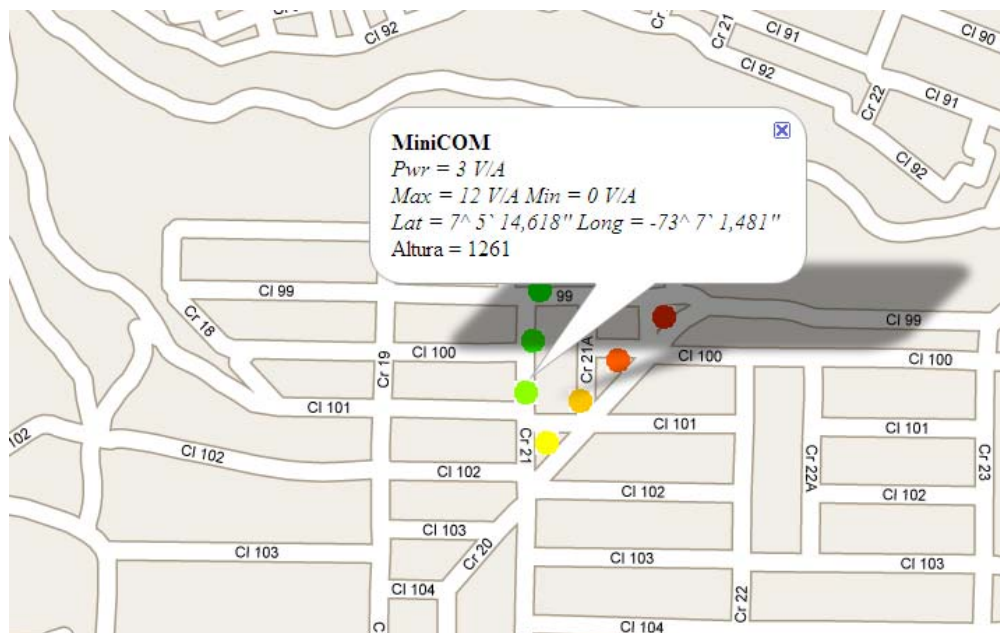


Figura 56 Salida del Módulo

4.5.5 Operación interna del módulo:

Teniendo en cuenta el código explicado en la sección XX, el objetivo de este módulo es generar y visualizar una plantilla HTML (del código JavaScript de Google Maps), el cual permita sobre escribirse para agregar uno o más puntos de la campaña de medición. Para ello se utilizó la siguiente metodología.

Partiendo del código de la sección XX, el módulo utilizara la entrada “matriz de puntos” para generar un código base el cual será concatenado con otras especificaciones hasta obtener el archivo final.

Para explicar de manera detallada esta metodología, se partirá el código de la sección XX en nueve partes o etapas, las cuales son:

- I. Líneas del 1 al 6: Cabecera del Código HTML.
- II. Línea 6: Nombre de la Campaña.
- III. Líneas del 7 al 14: Cabeceras JavaScript
- IV. Líneas del 15 al 17 Definición de Centro del Mapa, zoom y opciones de visualización
- V. Líneas del 19 al 22: Creación de la función AddTag y de los iconos de colores que implementara el código.
- VI. Línea 31: Creación de Variables de Coordenadas
- VII. Línea 32: Creación de variable con los Comentarios
- VIII. Líneas del 17 al 38: Creación de los puntos de estaciones a graficar.
- IX. Líneas del 49 al 44: Finalización código Html, JavaScript y definición de tamaño

Las etapas que requieren mayor procesamiento de datos son las etapas VII y VIII; las cuales son obtenidas a partir de la matriz de puntos de medición de la información anexa a la campaña (tal como lo describe la Figura 57).

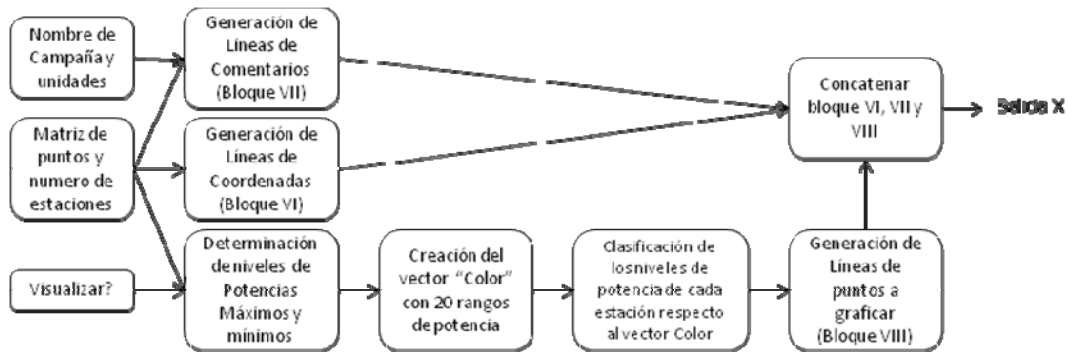


Figura 57 Sistema Automatizado de generación de Líneas de Código

La Figura 57 describe muy bien el corazón del módulo, es aquí donde a través de una mezcla de sentencias FOR y WHILE se obtiene el código de cada uno de los puntos que serán insertados en el mapa; estos puntos (refiriéndose a las estaciones dibujadas en el mapa) llevarán consigo información de la campaña, coordenadas, potencia promedio, potencia máxima y mínima además, estos puntos tomarán un color que es dependiente de la intensidad del campo que se mida en la zona; esta dependencia depende del máximo y del mínimo valor del que se detectó en toda la campaña, donde el máximo es de color rojo y el mínimo es de color verde.

Una vez obtenido el núcleo del módulo se procede a completar el documento Html, la Figura 58 describe la elaboración del documento.

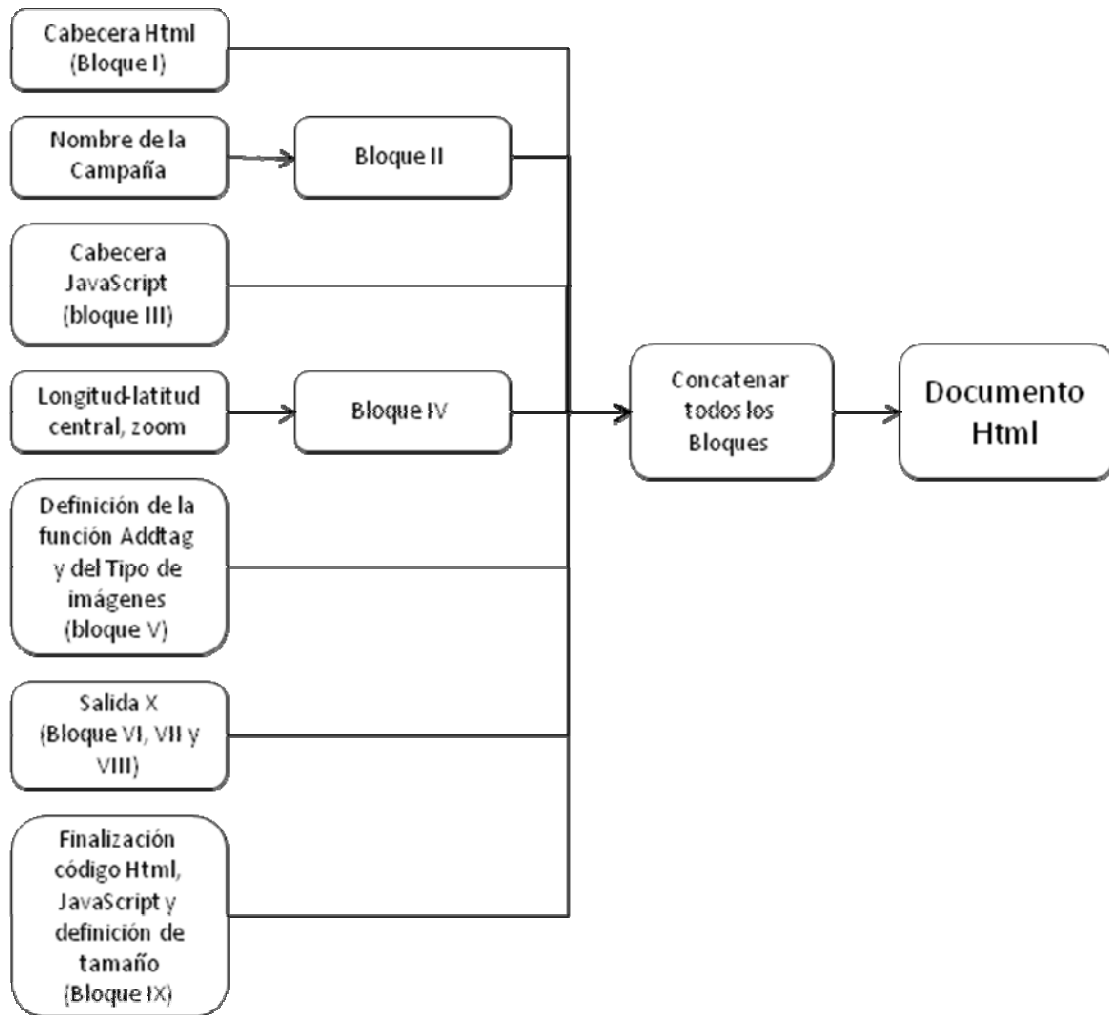


Figura 58 Creación de la plantilla Html

Una vez obtenido el código Html de la campaña se procede a insertar un nuevo módulo el cual será un mini navegador de HTML, que se desplegará cada vez que se implemente el módulo completo. Este navegador permitirá ver el mapa de puntos y su respectiva cartografía, muy útil a nivel visual para el cliente final.

4.6 INTERFAZ DE USUARIO

El sistema se caracteriza por la sencillez al interactuar con el usuario, la ventana principal muestra las lecturas instantáneas del receptor GPS y del medidor de intensidad de campos NARDA que se van obteniendo por cada estación.

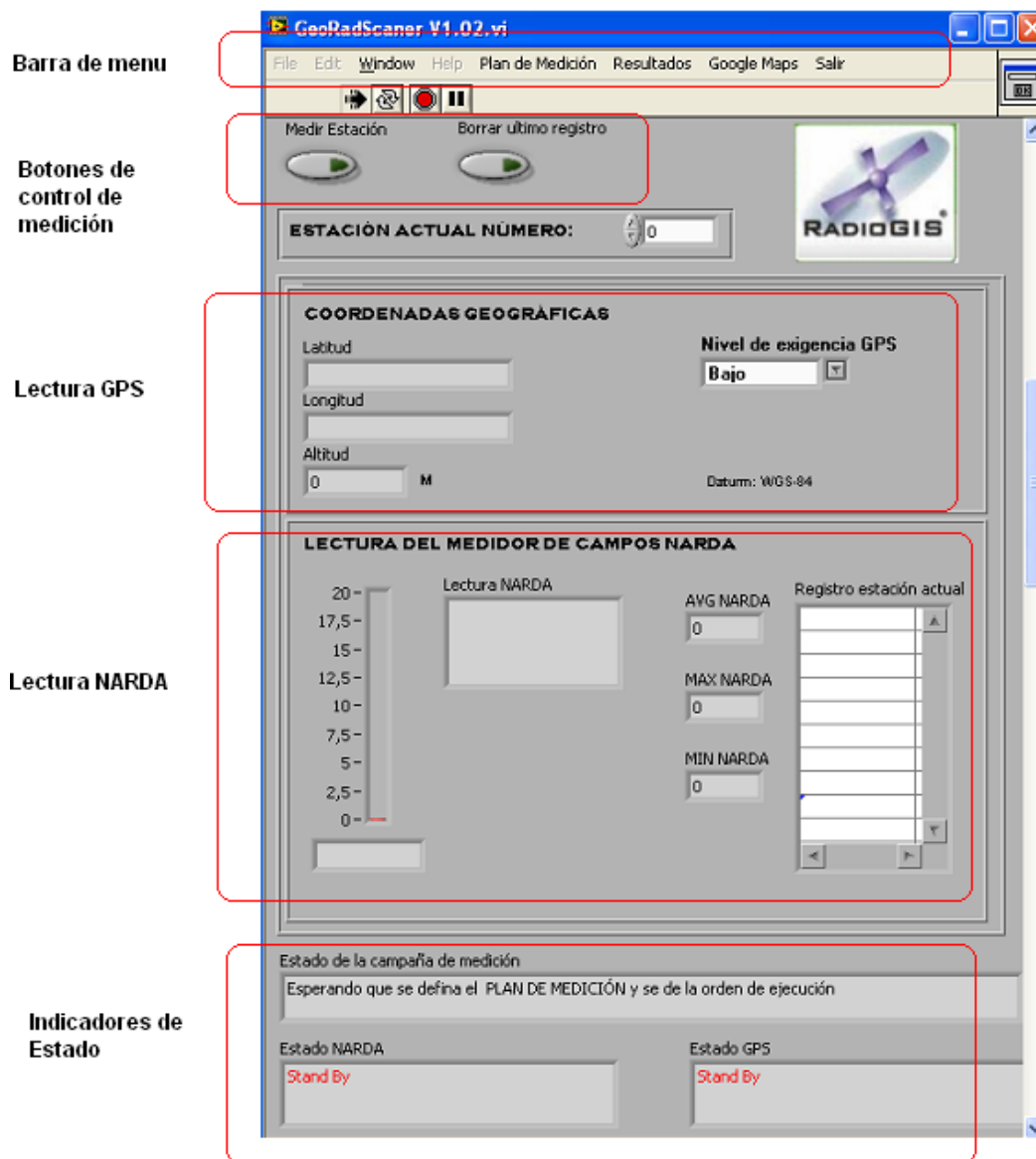


Figura 59 Ventana principal

Barra de menú: En esta barra se configura el Plan de Medición de la campaña, permite visualizar los resultados de la medición en tablas, guardar los datos de la medición en un conjunto de archivos, visualizar los resultados en un mapa geográfico que se obtiene de Google Maps.

Botones de control de medición: Un botón para “medir estación” que al ser presionado le indica al sistema que el vehículo ya está en la posición para tomar las lecturas en un nuevo sitio. Otro botón para borrar el último registro realizado por el sistema.

Lectura GPS: En esta área se muestran las coordenadas geográficas que capturó el receptor GPS y un control para graduarle el grado de exigencia del GPS, para casos donde la recepción de señal sea baja.

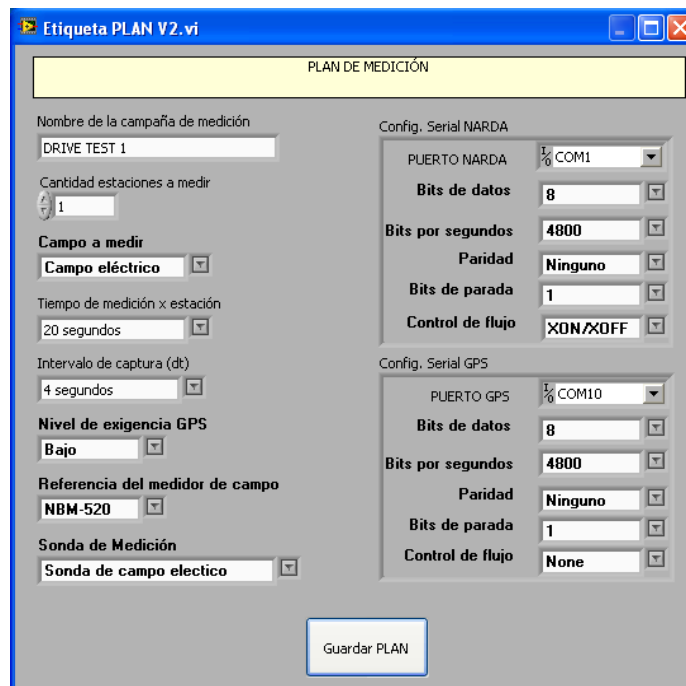
Lectura NARDA: En esta área se muestran las lecturas instantáneas del equipo medidor de campos NARDA, valor que se visualiza tanto por un indicador grafico, como texto plano. Además tiene una tabla de todos los registros del equipo medidor de campos e indica el valor promedio, el máximo y el valor mínimo de todas las lecturas.

Indicadores de estado: Corresponde a tres áreas de texto donde se muestra el estado de la medición, el estado del NARDA y el estado del GPS, conel fin de mantener informado al usuario sobre lo que está realizando el sistema.

MENU PLAN DE MEDICIÓN

El plan de medición son aquellos “settings” o valores que se deben especificar antes de comenzar la campaña de medición. Para ejecutar el plan de medición se debe hacer click en la opción Plan de Medición de la barra de menú y luego se muestra una ventana como se muestra en la figura 6.

A continuación se debe editar la información administrativa de la campaña de medición.



The screenshot shows a software window titled "Etiqueta PLAN V2.vi" with a sub-header "PLAN DE MEDICIÓN". It contains two main configuration sections: "Config. Serial NARDA" and "Config. Serial GPS".

Config. Serial NARDA:

- Nombre de la campaña de medición: DRIVE TEST 1
- Cantidad estaciones a medir: 1
- Campo a medir: Campo eléctrico
- Tiempo de medición x estación: 20 segundos
- Intervalo de captura (dt): 4 segundos
- Nivel de exigencia GPS: Bajo
- Referencia del medidor de campo: NBM-520
- Sonda de Medición: Sonda de campo electico
- PUERTO NARDA: COM1
- Bits de datos: 8
- Bits por segundos: 4800
- Paridad: Ninguno
- Bits de parada: 1
- Control de flujo: XON/XOFF

Config. Serial GPS:

- PUERTO GPS: COM10
- Bits de datos: 8
- Bits por segundos: 4800
- Paridad: Ninguno
- Bits de parada: 1
- Control de flujo: None

A "Guardar PLAN" button is located at the bottom center of the window.

Figura 60 Ventana para configurar el plan de medición

Explícitamente, la anterior figura contiene:

- **NOMBRE DE LA CAMPAÑA DE MEDICIÓN:** Es el nombre que le queremos dar al estudio a realizar
- **CANTIDAD DE ESTACIONES A MEDIR:** Es el número de lugares (estaciones) que se piensa medir, es importante para el usuario, tener en cuenta que los instrumentos funcionan con baterías, por lo tanto este número debe ser suficientemente aceptable para el trabajo de los equipos.
- **CAMPO A MEDIR:** Es el tipo de campo que se espera obtener en cada una de las estaciones, se recomienda al usuario usar las mismas unidades que la sonda electromagnética; ya que se puede generar grandes errores si no se tiene en cuenta los efectos de campo cercano y campo lejano (sobre todo en frecuencias bajas como AM)
- **TIEMPO DE MEDICIÓN POR ESTACIÓN:** Es el tiempo de medición que se gastara en cada estación, es decir, el tiempo en que se toma el equipo para realizar el cálculo de la potencia promedio, mientras más grande sea este tiempo, más fiable va a ser el resultado, según la UIT-T K-52, el tiempo por estación debe ser de 6 minutos.
- **INTERVALO DE CAPTURA (dt):** Es la diferencia de tiempo entre cada medición instantánea que llega a GeoRadScanner, por ejemplo un dt de 4 segundos, significa que cada 4 segundos se recibirá un valor de radiación instantánea la cual será almacenada para calcular la radiación promedio y radiación final, mientras mas pequeño sea este número más fiable es la medición.
- **NIVEL DE EXIGENCIA DEL GPS:** Como su nombre lo indica, es la calidad con la cual queremos obtener las coordenadas en cada estación, mientras más grande sea este nivel, mas tardara el GPS en tomar las coordenadas (30 segundos para el nivel alto)
- **REFERENCIA DEL MEDIDOR DE CAMPO:** Este programa está diseñado para dos tipos de referencias hardware. Se escoge la referencia del equipo con la cual se realizara la campaña.
- **Sonda de medición:** Se especifica la sonda o antena a utilizar en el medidor de intensidad de campos NARDA.

MENU RESULTADOS

Este menú contiene dos opciones: Ver resultados y Guardad Resultados; hace referencia a los datos tabulados de la campaña de medición que finalizó



Los resultados del la campaña de medición se visualizan en una ventana alternativa, la cual contiene dos tabla, una con los datos de las coordenadas geográficas de cada estación y los valores de intensidades de campos medidos por el NARDA (promedio, máximo y mínimo) y otra con un registro con todas las lecturas instantáneas de radiación censadas en todas las estaciones. Además se presentan los datos en una grafica de radiación versus estación medida.

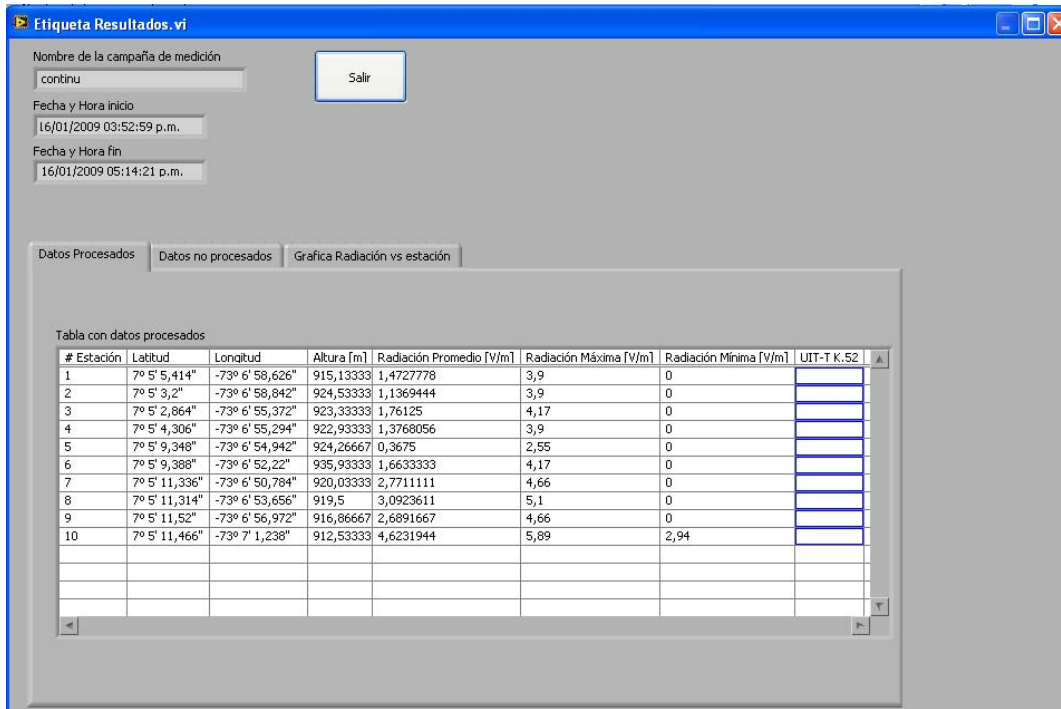


Figura 61 Ventana de resultados

El sistema tiene la capacidad de generar un reporte de la campaña de medición realizada, en un archivo con extensión *.txt donde se muestra la información de los instrumentos de medición, las sondas utilizadas, la fecha y hora de la medición, así como también los datos obtenidos en la campaña donde se indica las coordenadas geográficas de los diferentes sitios medidos, y los datos de radiación promedio, máxima y mínima, además de todos los datos de las lecturas del medidor de campos Narda en cada sitio. Un reporte de ejemplo se muestra a continuación:

Nombre de la campana de medicion: FASE 1
 Fecha y hora de inicio de la medicion: 14/01/2009 11:30:13 a.m.
 Fecha y hora de finalizacion de la medicion: 14/01/2009 12:03:24 p.m.
 Referencia del medidor de Campos utilizado: EMR-300
 Sonda de medicion empleada: Campo eléctrico
 Cantidad de estaciones: 8
 Tiempo de medición por estación: 2 minutos
 dt: 4 segundos

TABLA DE RESULTADOS

# estación	Latitud	Longitud	Altura	Vr_AVG	Vr_MAX	Vr_MIN [V/m]
1.000000	7.083921	-73.117142		919.366667		0.508750 0.940000 0.000000
2.000000	7.084306	-73.117192		915.633333		0.473333 0.900000 0.080000
3.000000	7.084715	-73.117082		920.033333		0.284167 0.940000 0.000000
4.000000	7.085215	-73.117066		613.600000		0.280000 0.940000 0.000000
5.000000	7.085591	-73.117056		921.200000		0.548750 0.940000 0.170000
6.000000	7.085554	-73.117098		918.100000		0.586667 0.940000 0.100000
7.000000	7.086081	-73.117044		917.300000		0.491667 0.940000 0.080000
8.000000	7.086424	-73.117017		917.133333		0.517500 0.940000 0.000000

LECTURA DEL NARDA

```

1.000000 2.000000 3.000000 4.000000 5.000000 6.000000 7.000000 8.000000
0.550000 0.550000 0.080000 0.000000 0.470000 0.610000 0.290000 0.470000
0.940000 0.290000 0.470000 0.000000 0.470000 0.170000 0.470000 0.170000
0.550000 0.550000 0.550000 0.290000 0.470000 0.290000 0.470000 0.420000
0.000000 0.290000 0.470000 0.000000 0.610000 0.900000 0.900000 0.900000
0.470000 0.470000 0.470000 0.000000 0.550000 0.610000 0.610000 0.880000
0.470000 0.470000 0.290000 0.000000 0.610000 0.510000 0.080000 0.900000
0.940000 0.550000 0.550000 0.000000 0.940000 0.940000 0.080000 0.420000
0.470000 0.550000 0.290000 0.550000 0.610000 0.610000 0.940000 0.900000
0.000000 0.550000 0.000000 0.550000 0.290000 0.940000 0.900000 0.610000
0.940000 0.470000 0.000000 0.940000 0.940000 0.660000 0.290000 0.610000
0.940000 0.550000 0.000000 0.470000 0.610000 0.610000 0.470000 0.080000
0.000000 0.290000 0.510000 0.470000 0.170000 0.900000 0.470000 0.900000
0.610000 0.470000 0.000000 0.000000 0.940000 0.420000 0.170000 0.170000
0.470000 0.470000 0.000000 0.000000 0.900000 0.470000 0.940000 0.170000
0.940000 0.470000 0.940000 0.470000 0.610000 0.940000 0.610000 0.510000
0.470000 0.470000 0.470000 0.000000 0.900000 0.470000 0.290000 0.550000
0.940000 0.900000 0.550000 0.470000 0.550000 0.900000 0.550000 0.470000
0.000000 0.470000 0.000000 0.000000 0.170000 0.550000 0.290000 0.000000
0.470000 0.470000 0.000000 0.550000 0.290000 0.610000 0.290000 0.470000
0.470000 0.470000 0.000000 0.470000 0.900000 0.510000 0.900000 0.470000
0.470000 0.550000 0.000000 0.470000 0.170000 0.550000 0.170000 0.470000
0.080000 0.080000 0.080000 0.550000 0.610000 0.170000 0.940000 0.940000
0.940000 0.290000 0.000000 0.550000 0.550000 0.610000 0.290000 0.000000
0.000000 0.550000 0.470000 0.470000 0.290000 0.900000 0.900000 0.470000
0.550000 0.290000 0.000000 0.080000 0.170000 0.660000 0.170000 0.470000
0.940000 0.550000 0.550000 0.000000 0.610000 0.660000 0.550000 0.470000
0.170000 0.550000 0.470000 0.000000 0.660000 0.170000 0.550000 0.470000
0.290000 0.550000 0.610000 0.470000 0.610000 0.610000 0.290000 0.940000
0.660000 0.290000 0.550000 0.470000 0.660000 0.100000 0.610000 0.940000
0.290000 0.550000 0.940000 0.470000 0.170000 0.290000 0.470000 0.080000
  
```

GeoRadScanner V1.0.2

Por último el sistema tiene la capacidad de almacenar los resultados de la campaña de mediciones que se haya realizado en dos archivos con extensiones *.lbn que es un formato estándar para ser abierto por cualquier hoja de cálculo con el fin de realizar un procesamiento posterior de los datos que se obtuvieron.

MENU GOOGLE MAPS

Los resultados del plan de medición se pueden georeferenciar en un mapa que se obtiene del servidor de Google Maps, que le permiten al usuario observar el comportamiento de la radiación en todas las estaciones medidas.

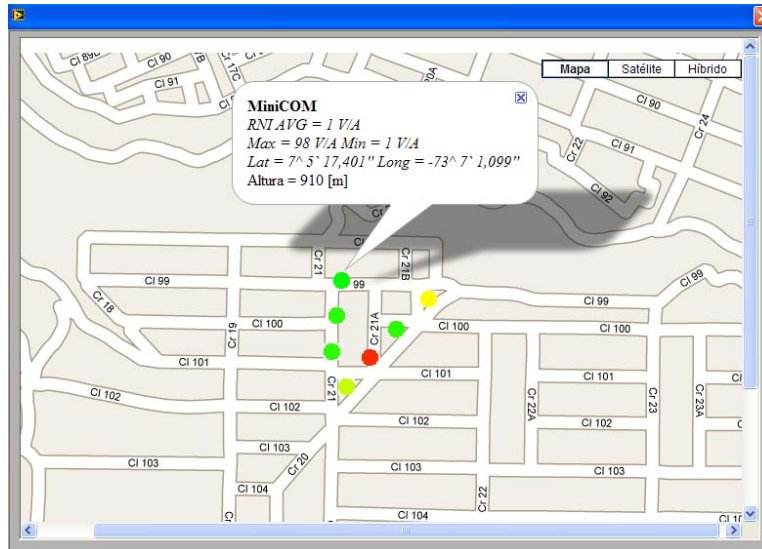


Figura 62 Ventana de mapas

Cada punto de color indica la radiación medida en una escala que puede ser configurada por el usuario, ya sea para observar el comportamiento de la radiación con base a los datos medido o para apreciar los niveles de cumplimiento de la recomendación UIT-T K.52, en donde el rojo indica que está al límite de la norma.

5. MEDICIONES EN UNA ZONA PILOTO

El sistema integrado de monitoreo de radiación no ionizante desarrollado (GeoRadScanner) busca optimizar las campañas de mediciones y por ello es necesario realizar pruebas de funcionamiento en una zona piloto para validar la herramienta y examinar las ventajas y desventajas del sistema. Además con las mediciones realizadas se logran obtener los primeros registros con la metodología de medición planteada, resultados que pueden ser útiles para posteriores estudios.

Gracias a esta prueba se obtiene un mapa de radiación no ionizante de una zona específica de Bucaramanga, lo que permite examinar la distribución de radiación en el trayecto definido por el plan de medición, de forma tal que se emita un juicio preliminar sobre el nivel de cumplimiento de los límites establecidos por la recomendación UIT-T K.52

5.1 ¿Qué zona de Bucaramanga seleccionar?

Es indispensable que las mediciones se realicen en zonas donde se pueda examinar el comportamiento del sistema en todo su esplendor, lugares donde el nivel de radiación pueda ser elevado en comparación con otros sitios y que la población se vea afectada directamente (esto se refleja por las quejas y reclamos hechas), además se deben considerar regiones donde la densidad de torres de comunicaciones sea relativamente alta y prioritariamente sectores residenciales.

Otro factor clave es examinar la cercanía de las estaciones radioeléctricas con centros educativos, centros geriátricos y centros de servicio médico, sitios en los cuales se deben realizar por norma mediciones de campos electromagnéticos si se encuentran a menos de 150 metros de las estaciones, tal como lo establece el artículo 4 del decreto 195 de 2005²⁴ de los estatutos colombianos para el control de los niveles de radiación.

²⁴ Párrafo del decreto 195 de 2005: “Independientemente de la tipificación se deben medir todas las estaciones radioeléctricas que se encuentren a menos de 150 metros de centros educativos, centros geriátricos y centros de servicio médico...”

Con base en los anteriores criterios, y teniendo en cuenta los estudios²⁵ realizados con anterioridad por el Grupo de Investigación RadioGIS en diferentes lugares de la ciudad, se seleccionó un sector del barrio Provenza alrededor de tres torres de comunicaciones de los operadores de telefonía celular Comcel, Movistar y Tigo en cercanía con el Colegio INEM,



Figura 63 Zona piloto para realizar las mediciones georreferenciadas de radiación no ionizante (Barrio Provenza)

5.2 Plan de Mediciones

Las mediciones se desarrollaron en cuatro fases diferentes:

Fase 1: Pruebas preliminares

Objetivo: Ajustar y validar el Sistema de Monitoreo de Radiación (GeoRadSacer) desarrollado y verificar funcionalidades.

²⁵ Ej. Simulación y validación de los niveles de radiación electromagnética en las inmediaciones de una radio base para verificación de normas en condiciones andinas

Las características de la campaña de medición de esta fase son:

- Fecha de realización: 14 de enero de 2009.
- Hora de inicio: 11:30 am
- Hora de finalización: 12:03 p.m
- Cantidad de sitios o estaciones a medir: 8 puntos sobre la carrera 21 entre calles 107 y 102.
- Tiempo de medición por estación: 2 minutos.
- Intervalo de captura (dt): 4 segundos
- Campo medido: campo eléctrico
- Nivel de exigencia del GPS: bajo

Fase 2: Efectos de múltiples fuentes de radiación.

Objetivo: Escanear el comportamiento de la radiación en dirección de las tres torres de comunicaciones que se encuentran en la zona, con el fin de examinar el efecto de múltiples fuentes de radiación.

Las características de la campaña de medición de esta fase son:

- Fecha de realización: 15 de enero de 2009.
- Hora de inicio: 3:05 pm
- Hora de finalización: 4:40 pm
- Cantidad de sitios o estaciones a medir: 15 puntos sobre la carrera 21 entre calles 107 y 101

- Tiempo de medición por estación: 6 minutos.
- Intervalo de captura (dt): 4 segundos
- Medición porcentual.
- Nivel de exigencia del GPS: bajo

Fase 3: Mediciones distribuidas en la zona seleccionada.

Objetivo: Escanear el comportamiento de la radiación en un amplio sector preestablecido alrededor de las torres de comunicaciones.

Las características de la campaña de medición de esta fase son:

- Fecha de realización: 16 de enero de 2009.
- Hora de inicio: 3:52 pm
- Hora de finalización: 5:15 pm
- Cantidad de sitios o estaciones a medir: 10 puntos totalmente distribuidos alrededor de las torres de comunicaciones.
- Tiempo de medición por estación: 6 minutos.
- Intervalo de captura (dt): 4 segundos
- Campo medido: campo eléctrico
- Nivel de exigencia del GPS: bajo

Fase 4: Mediciones en una avenida transitada.

Objetivo: Escanear el comportamiento de la radiación en una avenida con un alto nivel de tráfico de vehículos.

Las características de la campaña de medición de esta fase son:

- Fecha de realización: 19 de enero de 2009.
- Hora de inicio: 4:12 pm
- Hora de finalización: 5:50 pm
- Cantidad de sitios o estaciones a medir: 14 puntos sobre la avenida calle 105
- Tiempo de medición por estación: 6 minutos.
- Intervalo de captura (dt): 4 segundos
- Campo medido: campo eléctrico
- Nivel de exigencia del GPS: bajo

5.3 Resultados y análisis de las Campañas de Mediciones

5.3.1 Resultados obtenidos en la Fase 1

Gracias a esta campaña de medición, se lograron identificar algunos errores y apreciaciones del sistema, tales como:

- La sonda porcentual del medidor de intensidad de campos (Narda), inicialmente definida en el plan de mediciones, no permitió al sistema capturar datos del equipo de medición, ya que el modulo de captura Narda programado presentaba algunos errores de sincronización; por lo tanto se decidió cambiar en el Plan la variable de medición a campo eléctrico para examinar el comportamiento del sistema con la sonda de campo eléctrico. Este error se corrigió posteriormente al configurar el equipo Narda en modo remoto.

- Al iniciar la campaña de medición se configuró erróneamente el puerto de comunicaciones para el receptor GPS, acción que retrasó considerablemente el desarrollo de la medición; una solución a esta dificultad fue implementar un sistema de detección de errores en el modulo GPS que indicara al usuario por medio de un mensaje errores de comunicación con el GPS

Luego de culminada la campaña de medición de la fase 1, los datos resultantes se tabularon automáticamente por la herramienta GeoRadScanner, tal como se muestra en la siguiente tabla:

# Estación	Latitud	Longitud	Altura [m]	Radiación Promedio [V/m]	Radiación Máxima [V/m]	Radiación Mínima [V/m]	UIT-T K.52
1	7° 5' 2,114"	-73° 7' 1,71"	919,36667	0,50875	0,94	0	Cumple
2	7° 5' 3,502"	-73° 7' 1,89"	915,63333	0,47333333	0,9	0,08	Cumple
3	7° 5' 4,974"	-73° 7' 1,494"	920,03333	0,28416667	0,94	0	Cumple
4	4° 43' 24,516"	-48° 44' 40,958"	613,6	0,28	0,94	0	Cumple
5	7° 5' 8,126"	-73° 7' 1,402"	921,2	0,54875	0,94	0,17	Cumple
6	7° 5' 7,994"	-73° 7' 1,554"	918,1	0,58666667	0,94	0,1	Cumple
7	7° 5' 9,89"	-73° 7' 1,358"	917,3	0,49166667	0,94	0,08	Cumple
8	7° 5' 11,128"	-73° 7' 1,262"	917,13333	0,5175	0,94	0	Cumple

Tabla 5 Resultados de las mediciones de la Fase 1

Con base en los resultados anteriores se observa que se están cumpliendo los límites poblacionales de radiación no ionizante definidos por la recomendación internacional UIT-T K.52 y el decreto 195 de 2005 de la normatividad colombiana que define los límites de exposición máxima a campos electromagnéticos.

Los datos georeferenciados en un mapa del servidor de Google Maps, donde el rojo es la máxima radiación registrada en la campaña de medición y verde la mínima, se muestran en la siguiente figura.



Figura 64 Distribución georreferenciada de radiación para la Fase 1

El máximo nivel de radiación medido en la fase 1 está en la parte central de la región que forma las tres torres de comunicaciones consideradas, tal como se aprecia en la figura anterior, aunque se debe tener en cuenta que estos valores son cambiantes en el tiempo por la naturaleza del servicio que presta las estaciones de telefonía celular.

5.3.2 Resultados obtenidos en la Fase 2

Los datos que resultaron de la campaña de medición de la fase 2 se muestran en la siguiente tabla:

# Estación	Latitud	Longitud	Altura [m]	Radiación Promedio [%]	Radiación Máxima [%]	Radiación Mínima [%]	UIT-T K.52
1	7° 5' 13,728"	-73° 7' 4,506"	901,53333	0,021244667	0,2	0	Cumple
2	7° 5' 13,618"	-73° 7' 3,404"	902,2	0	0	0	Cumple
3	7° 5' 13,534"	-73° 7' 2,67"	904,06667	0	0	0	Cumple
4	7° 5' 13,574"	-73° 7' 2,094"	903,23333	0	0	0	Cumple
5	7° 5' 13,274"	-73° 7' 1,534"	904,26667	0	0	0	Cumple
6	7° 5' 12,064"	-73° 7' 1,456"	907,06667	0,024355643	0,32	0	Cumple
7	7° 5' 10,794"	-73° 7' 1,462"	918,2	0,036363636	0,53	0	Cumple
8	7° 5' 9,442"	-73° 7' 1,474"	917,9	0,144545455	0,75	0	Cumple
9	7° 5' 8,364"	-73° 7' 1,508"	918,53333	0,240909091	0,62	0	Cumple
10	7° 5' 6,48"	-73° 7' 1,474"	913,3	0,193454523	0,92	0	Cumple
11	7° 5' 5,218"	-73° 7' 1,522"	917,6	0,112727273	0	0	Cumple
12	7° 5' 4,522"	-73° 7' 1,566"	914,73333	0	0	0	Cumple
13	7° 5' 3,408"	-73° 7' 1,556"	913,83333	0	0	0	Cumple
14	7° 5' 2,394"	-73° 7' 1,6"	919,03333	0,048181818	0,03	0	Cumple
15	7° 5' 1,1"	-73° 7' 1,572"	918,3	0	0	0	Cumple

Tabla 6 Resultados de las mediciones de la Fase 2.

Con base en la tabla anterior se determina que se está cumpliendo la recomendación UIT-T K.52 y en su defecto el decreto 195 de 2005 que regula los límites de radiación permitidos en Colombia. Considerando que el 100% es el máximo valor aceptado, todos los sitios medidos en esta campaña están significativamente por debajo del mismo, lo que indica que el aporte en radiación de las tres torres es mínimo.

Los datos georeferenciados en un mapa del servidor de Google Maps, se muestran en la siguiente figura. La escala de colores no indica niveles de cumplimiento, está definida basados en los valores máximos y mínimos registrados en la campaña de medida, con el fin de mirar el comportamiento de la radiación.



Figura 65 Distribución georreferenciada de radiación para la Fase 2.

Estos resultados corroboran las mediciones de la primera fase, ya que se aprecia la mayor concentración de radiación en el centro de la región que forman las tres torres de telefonía celular estudiadas

5.3.3 Resultados obtenidos en la Fase 3

Los datos que resultaron de la campaña de medición de la fase 3 se muestran en la siguiente tabla:

# Estación	Latitud	Longitud	Altura [m]	Radiación Promedio [V/m]	Radiación Máxima [V/m]	Radiación Mínima [V/m]	UIT-T K.52
1	7° 5' 5,414"	-73° 6' 58,626"	915,13333	1,4727778	3,9	0	Cumple
2	7° 5' 3,2"	-73° 6' 58,842"	924,53333	1,1369444	3,9	0	Cumple
3	7° 5' 2,864"	-73° 6' 55,372"	923,33333	1,76125	4,17	0	Cumple
4	7° 5' 4,306"	-73° 6' 55,294"	922,93333	1,3768056	3,9	0	Cumple
5	7° 5' 9,348"	-73° 6' 54,942"	924,26667	0,3675	2,55	0	Cumple
6	7° 5' 9,388"	-73° 6' 52,22"	935,93333	1,6633333	4,17	0	Cumple
7	7° 5' 11,336"	-73° 6' 50,784"	920,03333	2,7711111	4,66	0	Cumple
8	7° 5' 11,314"	-73° 6' 53,656"	919,5	3,0923611	5,1	0	Cumple
9	7° 5' 11,52"	-73° 6' 56,972"	916,86667	2,6891667	4,66	0	Cumple
10	7° 5' 11,466"	-73° 7' 1,238"	912,53333	4,6231944	5,89	2,94	Cumple

Figura 66 Resultados de las mediciones de la Fase 3.

Con base en la tabla anterior se determina que se está cumpliendo la recomendación UIT-T K.52 y en su defecto el decreto 195 de 2005 que regula los límites de radiación permitidos en Colombia

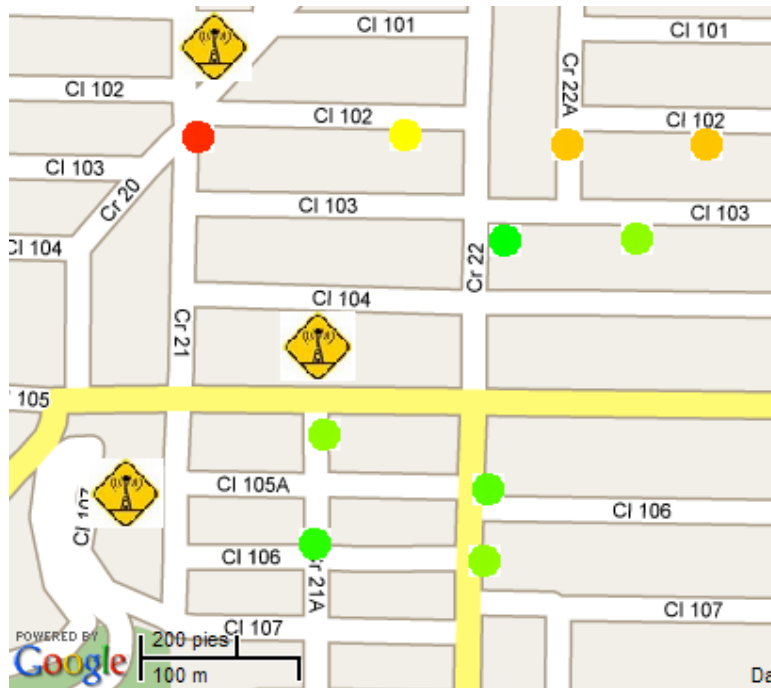


Figura 67 Distribución georreferenciada de radiación para la Fase 3.

Para mediciones distribuidas los resultados muestran que la mayor concentración de radiación esta en el centro, tal como se ha corroborado anteriormente y que en la medida que se aleja de las torres la radiación disminuye, pero esta afirmación está condicionada para lugares donde se pueden presentar ciertos fenómenos de propagación y otros factores no estudiados que pueden ayudar a aumentar los niveles, tal como lo muestra las lecturas en los puntos de la calle 102.

5.3.4 Resultados obtenidos en la Fase 4

Los datos que resultaron de la campaña de medición de la fase 3 se muestran en la siguiente tabla:

# Estación	Latitud	Longitud	Altura [m]	Radiación Promedio [V/m]	Radiación Máxima [V/m]	Radiación Mínima [V/m]	UIT-T K.52
1	7° 5' 7,826"	-73° 6' 43,278"	915,9	1,1404167	3,9	0	Cumple
2	7° 5' 7,402"	-73° 6' 45,048"	918,16667	1,5620833	6,07	0	Cumple
3	7° 5' 7,18"	-73° 6' 46,914"	913,73333	1,9579167	8,96	0	Cumple
4	7° 5' 7,48"	-73° 6' 47,952"	914,36667	2,9245833	19,56	0	Cumple
5	7° 5' 7,404"	-73° 6' 50,114"	917,56667	2,0191667	12,24	0	Cumple
6	7° 5' 7,238"	-73° 6' 51,978"	922,83333	6,7883333	44,5	0	Cumple
7	7° 5' 7,436"	-73° 6' 53,336"	923,2	0,6125	2,94	0	Cumple
8	7° 5' 7,602"	-73° 6' 56,544"	972,23333	2,44625	3,61	0	Cumple
9	7° 5' 7,392"	-73° 6' 58,81"	923,7	3,01	5,1	0	Cumple
10	7° 5' 7,574"	-73° 7' 0,802"	922,23333	3,1891667	4,66	1,47	Cumple
11	7° 5' 6,356"	-73° 7' 2,601"	915,3	2,153438643	3,45	0	Cumple
12	7° 5' 6,104"	-73° 7' 2,601"	912,2	2,023269458	3,05	0	Cumple
13	7° 5' 6,324"	-73° 7' 6,182"	915,34333	1,12	2,05	0	Cumple
14	7° 5' 5,443"	-73° 7' 6,724"	923,2	1,23	2,25	0	Cumple

Figura 68 Resultados de las mediciones de la Fase 4.

En esta campaña los niveles de radiación se siguen cumpliendo según la recomendación UIT-T K.52, aunque se debe resaltar que los valores de radiación presentan picos, como lo muestra la estación 6 donde la máxima radiación registrada fue de 44,5 [V/m] y un promedio de 6,78 [V/m]; esta lectura no es ordinaria en comparación con los demás datos tomados, tal como se muestra en el mapa donde hay un punto en rojo y los demás en verde; la posible razón de este contraste dada la separación con la torre más cercana es que exista otra fuente de radiación cerca que está contribuyendo significativamente en la lectura tomada, que según los registros fotográficos puede ser una venta de minutos nacionales e internacionales.

Además, haciendo un comparativo con las campañas de mediciones con las fases 1, 2 y 3, se observa que los valores de radiación de la fase 4 son más elevados independiente de la cercanía con las torres de comunicaciones; la hipótesis (no comprobada) que se plantea para explicar este fenómeno es aporte en radiación que hacen los radioteléfonos de los taxis, además de otras posibles fuentes cercanas y fenómenos de radio propagación por causa del tráfico de vehículos.



Figura 69 Distribución georeferenciada de radiación para la Fase 4.

CONCLUSIONES

1. Se desarrolló un sistema para el monitoreo eficiente de los niveles de radiación no ionizante en banda ancha con el equipo NARDA, que permite realizar mediciones georreferenciadas de radiación con una metodología eficiente basada en la recomendación internacional UIT-T K.52 y el decreto 195 de 2005 de Colombia; con la capacidad adicional para visualizar los resultados en mapas que se obtienen de la web. Por lo tanto, desde este punto de vista se superó los objetivos iniciales propuestos y se extendió el objeto de estudio.
2. Se hicieron pruebas de funcionamiento del sistema y campañas de mediciones en una zona piloto de Provenza con múltiples fuentes de radiación, los resultados permiten concluir que dicha zona está por debajo de los límites establecidos por el decreto 195 de 2005 de Colombia; aunque estos indicadores no se deben generalizar para toda la región circundante ya que es necesario realizar campañas de medidas más extensas y detalladas.
3. La captura de las coordenadas geográficas con el receptor GPS ofrece resultados con un grado de exactitud óptimo y un desempeño en campo adecuado para los propósitos de georreferenciación, independiente del modelo o tipo de dispositivo utilizado.
4. El equipo de medición de intensidades de campo Narda es una herramienta indispensable para monitorear la radiación no ionizante, que combinado con un receptor GPS ofrece la capacidad de georreferenciación útil al momento de examinar los resultados de las mediciones y si además se integra a un Sistema de Información Geográfico permite obtener muchas de radiación no ionizante sobre grandes extensiones y posibilidades inmensas de análisis.
5. Gracias al modelamiento que se hizo en el trabajo a través de UML (lenguaje Unificado de Modelado), se observaron que los resultados obtenidos son satisfactorios tanto para el usuario como para el validador del programa, además es notable la increíble velocidad con la que el proyecto fue avanzando a medida que se realizaba cada una de las fases del proyecto, hoy por hoy se puede decir que esta herramienta generó excelentes experiencias de ingeniería y administración de recursos y tiempo.

6. El buen diseño implementado en este proyecto, permitió la creación de cada modulo sin ambigüedades y contratiempos, de manera fluida y clara, que facilitó la integración al sistema final.
7. A lo largo de la experimentación de este proyecto se descubrió que los radios de comunicaciones que emplean las empresas de seguridad y otras compañías merecen una especial atención, pues superan fácilmente los niveles de radiación estipulados por la recomendación UIT-T K.52 perjudicando a los usuarios de estos servicios.
8. En el marco de este proyecto, fue aprobada al grupo de Investigación RadioGIS una propuesta pasada a Colciencias titulada: **“MEDICIÓN DE RADIACIÓN ELECTROMAGNETICA NO IONIZANTE COMO UN SERVICIO DE TELECOMUNICACIONES”**, la cual pretende extender las funcionalidades del sistema integrado de monitoreo de radiación GeoRadScanner a un servicio de telecomunicaciones basado en localización; esto demuestra la importancia de este tipo de estudios a nivel nacional y la preocupación de la comunidad científica al respecto.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda trabajar con una base de datos para mapas offline, lo cual permitirá obtener los puntos georreferenciados en cualquier momento de la medición o campaña, sin necesidad de tener conexión a internet; debido a que Google Maps™ (empleada en este proyecto) es una aplicación on-line, por lo tanto es indispensable del servicio de internet para la visualización de mapas.
- Para versiones futuras de GeoRadScanner se recomienda utilizar categorías de usuarios, para que, de esta forma, la herramienta disponible solo para usuarios del Ministerio de Comunicaciones podría obtener diferentes opciones a las utilizadas por usuarios como empresas de interés.

REFERENCIAS

- [1] Llano Teresa, Ardila Carlos, Herramienta para análisis y planificación de redes Celulares CellGis.
- [2] Carreño Lizarazo Yair Ivan, Desarrollo Del Modelo De Propagación Andino UIS®, Escuela de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones, Bucaramanga, Colombia, 2005.
- [3] Carreño Y, García A, Ortega H, Desarrollo del modelo de propagación Andino-UIS. Vol 4|No 8|Bucaramanga|Colombia|Ene, Feb, Mar, Abr|2005|ISSN 1657-8236.
- [4] ITU-T Recomendación K.52. Estimación de Niveles de Radiación electromagnética
- [5] Convocatoria 405/07 de Colciencias - PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN, título: **Desarrollo de una herramienta basada en GIS, para el apoyo a la gestión de espectro radio y el control de niveles de radiación electromagnética**
- [6] MINISTERIO DE COMUNICACIONES DE COLOMBIA. Decreto Número 195 del 31 de Enero de 2005, por el cual se adoptan límites de exposición de las personas a campos electromagnéticos, se adecuan procedimientos para la instalación de estaciones radioeléctricas, y se dictan otras disposiciones, República de Colombia, Enero de 2005
- [7] **Implementación en java del modelo de propagación andino UIS® para planificación y análisis de redes celulares sobre cellgis**
- [8] Constitución Política de Colombia de 1991
- [9] Alexis Paolo García, Homero Ortega, Antonio Jaimes, Fideligna Gallo. Simulación y validación de los niveles de radiación electromagnética de las inmediaciones de una radio base para la verificación de normas en condiciones andinas. Paper Andescon 2006
- [10] TES América Andina Ltda. www.tesamerica.com.co
- [11] Recomendación K-52: Orientación sobre el cumplimiento de los límites de exposición de las personas a los campos electromagnéticos

[12]

http://www.ingehominas.gov.co/component/option,com_docman/task,doc_view/gid,138/

[13] IEEE Std, IEEE Software Engineering Standard: Glossary of Software Engineering Terminology. IEEE Computer Society Press, 1993

[14] <http://www.uml.org/>

[15] UIT-T K.52 Orientación sobre el cumplimiento de los límites de exposición de las personas a los campos electromagnéticos

[16] National Instruments <http://www.ni.com/support/visa/vintro.pdf>

[17] Richard H. Thayer, Merlin Dorfman. Software Requirements Engineering, IEEE 1997

[18] La Telefonía Móvil y su Salud - Instituto Nacional de Investigación y Capacitación de Telecomunicaciones

[19] Larman, Craig. ¿Applying UML and Patterns: an introduction to object-oriented analysis and design and iterative development¿. Prentice Hall PTR, 2005

[20] Rumbaugh, James, et al. ¿Modelado y diseño orientado a objetos. Metodología OMT¿. Prentice Hall, 1996.

[21] Aprenda UML en 24 horas, Joseph Schmuller, Prentice hall

ANEXOS

A1- CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL EQUIPO NARDA NBM-520²⁶

NBM-520	
DISPLAY	
Display type	Transflective LCD, monochrome
Display size	4 cm (1.5"), 128 x 64 dots
Backlight	LEDs, selectable illumination time (OFF, 5s, 10s, 30s, 60s, PERMANENT)
Refresh rate	400 ms
MEASUREMENT FUNCTIONS	
Result units	mW/cm ² , W/m ² , V/m, A/m (for flat probes) % (for shaped probes)
Display range	0.01 to 9999 V/m 0.0001 to 266.3 A/m 0.0001 to 9999 W/m ² 0.0001 to 9999 mW/cm ² 0.0001 to 9999 %
Result types (isotropic, RSS)	Actual (ACT), Maximum (MAX), Average (AVG), Spatial Averaging (SPATIAL)
Averaging time	4 s to 30 min (2 s steps), selectable by PC software
Spatial averaging	discrete or continuously, selectable by PC software
Alarm function	2 kHz audible signal (4 Hz repetition), threshold adjustable by PC software
INTERFACES	
Optical interface	Serial, full duplex, 115200 baud, no parity, 1 start and 1 stop bit
Probe interface	Plug-and-play auto detection, compatible with all NBM series probes
GENERAL SPECIFICATIONS	
Recommended calibration interval	24 months (basic unit only, probes are specified separately)
Battery	NIMH rechargeable batteries, 2 x AA size (Mignon), 2500 mAh, included
Operation time	Approx. 22 hours (backlight off) Approx. 16 hours (permanent backlight)
Charging time	2 hours
Battery level display	100%, 80%, 60%, 40%, 20%, 10%, low level (< 5%)
Temperature range	Operating -10 °C to +50 °C Non-operating (transport) -30 °C to +70 °C
Humidity	5 to 95%, non condensing ≤29 g/m ³ absolute humidity (IEC 60721-3-2 class 7K2)
Size (h x w x d)	38 x 52 x 195 mm (without probe)
Weight	300 g (without probe)
Accessories (included)	Hard case, power supply, rechargeable batteries, shoulder strap, NBM-TS software, operating manual, certificate of calibration

²⁶ Tomado de <http://www.narda-sts.com>

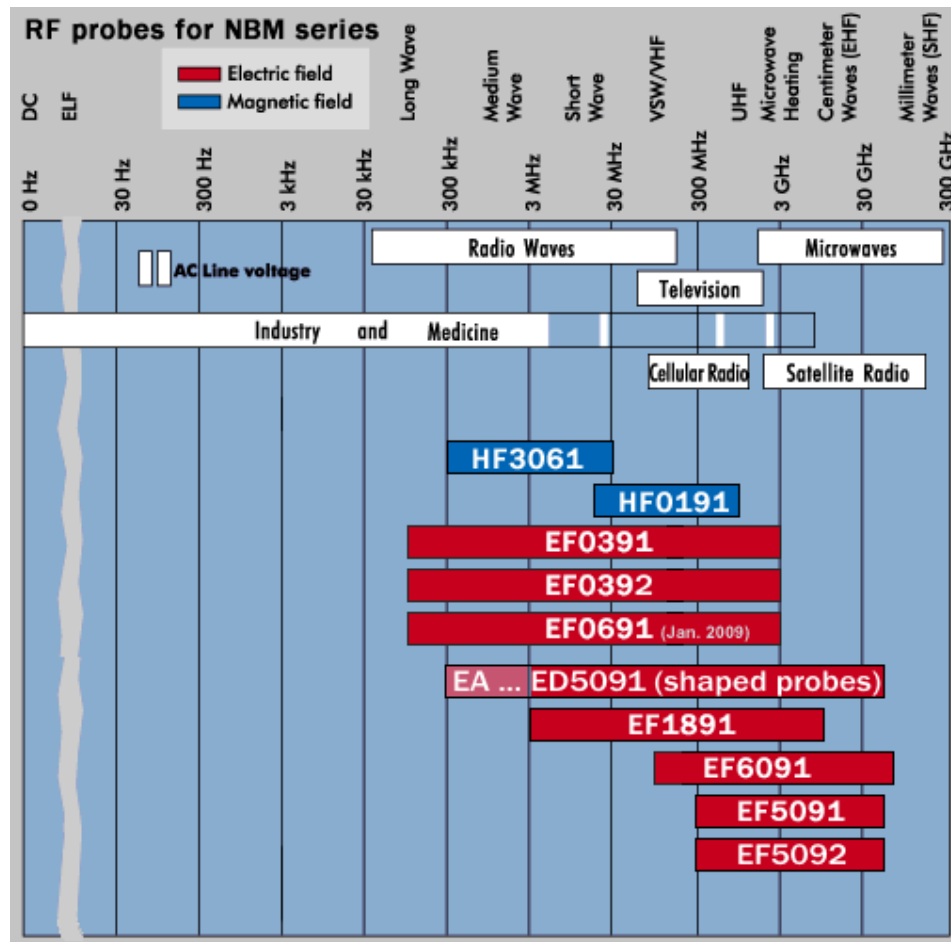
A2 –SONDAS DE MEDICIÓN DEL NARDA NBM-520²⁷

NBM-5xx Probes

Broadband Probes for NBM-500 Series Instruments

Features

- › Isotropic Field Strength Measurements (non-directional)
- › Plug-and-Play Probe Interface with Automatic Probe Parameter Detection
- › Fully Automatic Zeroing



²⁷ http://www.narda-sts.com/extra/sonden/sonden_nbm.htm

A3 – SENTENCIAS Y PRIMITIVAS BASICAS DE COMUNICACIÓN CON EL EQUIPO NARDA NBM – 520²⁸

2.2 Column Abbreviations

The table of commands in the next chapter uses some short column descriptors.
The descriptors are defined below.

Columns

S	Belongs to	a S et command
G	Belongs to	a G et command
R	Belongs to	the R esponse of a get command
O	Command available with	Option O only
P	x P M	not persistent setup parameter recalled at power on Manufacturer Data (saved at production time)

In the next chapter "Commands" there is also information, regarding parameters and default values, included:
The factory defaults values and the default values for none persistent parameters are shown in "**bold**"
in the column "Range".

²⁸Documento suministrado por Narda Safety Test Solution: "**NBM-520 Remote Control Documentation**"

Description	Command	S	G	R	P	O	Parameter Name	Format	Unit	Range	TO (s)	Remarks
Remote Mode	REMOTE	x					Remote Mode	Enum		ON, OFF	<.5	must be set to ON to use any other command. Must be set to OFF to return to normal GUI operation
	REMOTE?		x				Remote Mode	Enum		ON, OFF	<.5	
System Error	ERROR?		x				ErrorNumber	Enum			<.5	See Error Code listing
Invoke a zeroing immediately	ZERO	x					Zero Mode	Enum		SWITCH, NO_SWITCH	<1	Zeroing takes approx. 7 seconds
	ZERO?		x				Zeroing State	Enum		ZERO, OK	<.5	
Reset AVG and MAX_AVG	RESET_AVG	x									<.5	
Reset MAX	RESET_MAX	x									<.5	
Time remaining until initial averaging is complete	AVG_PROGRESS?		x				Average Progress	Integer	s		<.5	
				x								

Description	Command	S	G	R	P	O	Parameter Name	Format	Unit	Range	TO (s)	Remarks
Battery capacity	BATTERY?		x				Battery Capacity	Integer	%	0 ... 100	<.5	
Hold Mode	HOLD	x					Hold Mode	Enum		ON, OFF	<.5	
	HOLD?		x				Hold Mode	Enum			<.5	
Get the current measurement value(s)	MEAS?		x				Result 1	Float	x		<.5	See Measurement Formats
				x								
Start cyclic measurement output	MEAS_START	x									<.5	same format as with MEAS?
Stop cyclic measurement output	MEAS_STOP	x									<.5	

Description	Command	S	G	R	P	O	Parameter Name	Format	Unit	Range	TO (s)	Remarks
Select the result type like averaging maximum hold or actual result	RESULT_TYPE	x				x	Result Type	Enum		ACT, AVG; MAX; MAX_AVG	<.5	SK in measurement views
	RESULT_TYPE?		x				Result Type	Enum		ACT, AVG, MAX, MAX_AVG	<.5	
Select the unit of the measurement results	RESULT_UNIT	x				x	Unit	Enum		V/m, A/m, mW/cm ² , W/m ²	<.5	SK in Main menu
	RESULT_UNIT?		x				Unit	Enum		V/m, A/m, mW/cm ² , W/m ²	<.5	
Contrast of the LCD display	CONTRAST	x				P	Contrast	Integer	2%	0... 25... 50	<.5	HKs for up and down
	CONTRAST?		x			P	Contrast	Integer	2%	0... 25... 50	<.5	

MEAS? {M}

A single measured value is output.

The decimal point is a '.'.

The length of the output string is constant per output unit; leading zeroes lying more than one place to the left of the decimal point are represented as a 'BLANK'.

For a three-channel measurement, the three spatial components are output separated by a comma.

See also the commands CALC:UNIT and CALC:AXIS.

CALC:AVER[?] <X> {AV[?] <X>}

Computation of the AVERAGE value can be switched on and off.

X = ON/OFF

Averaging can be active at the same time as the MAX function. When this happens, the maximum average value is output. See also CALC:MAX.

CALC:MAX[?] <X> {MAX[?] <X>}

The maximum value function can be switched on and off.

X = ON/OFF

The maximum value function can be active at the same time as the AVERAGE function. When this happens, the maximum average value is output. See also CALC:AVER.

CALC:UNIT[?] <X> {CU[?] <X>}

The output units for the measured values can be set.

X = E_Field E field (V/m)

Format XXXXX.XX

X = H_Field H field (A/m)

Format XXX.XXXX

X = Power_Dens Electromagnetic power density (mW/(cm*cm))

Format XXXXXXXX.XXXXX

X = Power_Dens_SI Electromagnetic power density (W/(m*m))

Format XXXXXXXX.XXXX

For software version 3.0 or higher the following unit was introduced. It works only with shaped probes and is ignored with flat probes.

X = Percent Percentage of Standard in terms of power density (%)

Format XXXX.XX

CALC:AXIS[?] <X> {CAX[?] <X>}

The processing of the three spatial components can be set for isotropic probes.

X = ALL The display gives the equivalent field strength.

However, the three spatial components are output separately on the serial

interface.

The order of the spatial components is X, Y and Z. For single-channel probes, only the X component is output.

This setting is always activated after power-on.

X = EFF The display as well as the serial interface output the equivalent field strength.

X = X/Y/Z The display as well as the serial interface output the selected spatial component (X, Y or Z).

CAL:AUTO:ZERO[?] <X> {AZ[?] <X>}

Setting of automatic zero alignment.

X = 0 to 2 reserved,

only for W&G testing and service.

X = ON zero alignment is executed and is then performed from this point onwards cyclically at intervals as set with CAL:ZERO:TIME.

X = OFF zero alignment is performed once.

FAST:MODE[?] <X>

Sets the instrument to a mode which is optimized for fast remote control but disables several functions. This mode is very useful for automated measurements in EMC laboratories.

X = ON/OFF Default is OFF

With X = ON the time interval between measured values is constantly 400ms if the commands MEAS:ARRAY? or MEAS:START are used. No data are lost.

The response time for the command MEAS? is improved.

On the other hand all averaging or max hold is frozen.

The returned measured values are actual values.

The limit value is no longer surveyed. No keyboard interrupts are serviced. The display is frozen and shows FAST.

The automatic zero alignment is done one time when entering FAST:MODE and is then disabled until leaving the

FAST:MODE. The calculation unit is set to the base unit of the probe. The axis calculation is set to effective field strength. When leaving FAST:MODE the previous settings are restored.

A4- ENTREVISTA AL CLIENTE DE LA HERRAMIENTA

Fecha: 12 de octubre de 2008

Nombre del entrevistado: MAURICIO HERNANDEZ

Cargo: Jefe del Área de Radiación.

Empresa: TES América Andina Ltda.

1. ¿Cuál es la finalidad del Área de Radiación?

Actualmente el área de ingeniería de radiación, esta orientada a la siguiente línea de servicios:

- Evaluación y certificación ante el Ministerio de Comunicaciones de Colombia, de los niveles de emisiones radioeléctricas (Radiaciones No Ionizantes) en sistemas de radiodifusión AM y FM, tanto en emisoras comunitarias como en emisoras comerciales a lo largo del país.
- Generación de Mapas Electromagnéticos en donde se evidencian de manera grafica los niveles de campos eléctricos y magnéticos en altas frecuencias (100kHz - 3GHz) y en bajas frecuencias (5Hz- 32kHz), presentes en lugares cerrados y no necesariamente en el entorno de las Telecomunicaciones, sino en cualquier empresa interesada en dar cumplimiento a el estudio de Riesgos Profesionales desarrollados para garantizar el buen ambiente laboral y la protección de sus trabajadores.
- Se efectúan, consultorías para la realización de cambios técnicos, reubicación de los transmisores, reasignación de frecuencia, cambio en la potencia de transmisión, actualización tecnológica, entre otros, ante el Ministerio de Comunicaciones de Colombia, realizando la asesoría durante todo el proceso de aceptación.

2. ¿En qué consiste este estudio?

El estudio tiene como objetivo principal, la protección de las personas hacia los efectos causados por los campos electromagnéticos provenientes de cualquier fuente de radiación, razón por la cual se evalúan los valores de intensidades de campo eléctrico y campo magnético en las áreas de interés, para

posteriormente compararlos con los límites de exposición tanto ocupacionales como poblacionales, establecidos en el Decreto 195 de 2005 del Ministerio de Comunicaciones de Colombia, el Ministerio de Protección Social y el Ministerio del Medio Ambiente de Colombia, el cual es una adaptación de la recomendación UIT k-52 y los límites recomendados por la ICNIRP.

Con los resultados obtenidos en las mediciones, se realizan recomendaciones para mitigar los niveles de campos electromagnéticos, en los sitios donde se sobrepasan los límites de exposición, tales como: aumentar la altura de las antenas, uso de apantallamientos sobre los equipos o elementos de la estación, limitar la accesibilidad de las personas a las zonas de exposición, reducir la potencia de emisión, instalación de cerramientos y señalizaciones, entre otras.

3. ¿Cuáles son sus clientes potenciales?

- Emisoras de radiodifusión AM y FM, comunitarias o comerciales.
- Subestaciones Eléctricas.
- Empresas de Petróleos.
- En general, cualquier empresa que desee garantizar la integridad de los empleados, que contenga equipos eléctricos o electrónicos en sus instalaciones.

4. ¿Cuál es la metodología actual de medición, para realizar los estudios de radiación no ionizante?

- Solicitar al cliente los datos técnicos y geográficos del sitio de medición.
- Análisis de PRE-Ingeniería, con el propósito de determinar los niveles de campos electromagnéticos máximos permitidos y las fronteras de las zonas de exposición de rebasamiento, ocupacional y poblacional según la frecuencia de operación.
- Traslado al sitio y ejecución de las mediciones de campos eléctricos y magnéticos, junto con planos y coordenadas por cada punto de medición.
- Análisis completo de la información para establecer: Resultados, conclusiones y recomendaciones.

- Emitir los certificados de conformidad, en donde se evidencia el cumplimiento de los límites establecidos en el Decreto 195 de 2005.

5. ¿Qué dificultades tienen actualmente, al momento de realizar este tipo de mediciones?

El proceso de medición actual implica el registro manual de las coordenadas geográficas de cada lugar seleccionado y su correspondencia con las lecturas tomadas por el medidor de intensidad de campos (Narda), es decir, es necesario relacionar manualmente las coordenadas con los datos que se toman del Narda por medio de una tabla, de tal forma que existe una alta probabilidad de cometer errores al escribir estos datos por parte del ingeniero de campo a cargo, además de ser tedioso y poco práctico.

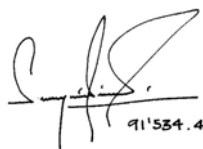
6. ¿Cuál cree que sea la mejor manera de solucionar estas dificultades?

Una herramienta computarizada que permita relacionar la coordenada medida con el GPS y el punto de medición obtenido con el equipo de medición Narda, de tal forma que el ingeniero de campo se encargue de supervisar que los dispositivos de medición estén operando correctamente.

¿Cree que la relación costos/beneficios justifica la adquisición de una herramienta de este tipo?

Si porque el tiempo de medición empleado para el registro manual de las coordenadas, se aprovecharía de mejor manera atendiendo otros aspectos de mayor importancia durante la actividad de campo, adicionalmente se garantiza al cliente una medición más confiable con una metodología más eficiente, lo que implica una mayor satisfacción del cliente y un aumento la calidad de los estudios que se le entregan y por ende mayor reconocimiento en el sector.

En constancia firman



91'534.492 Bucaramanga

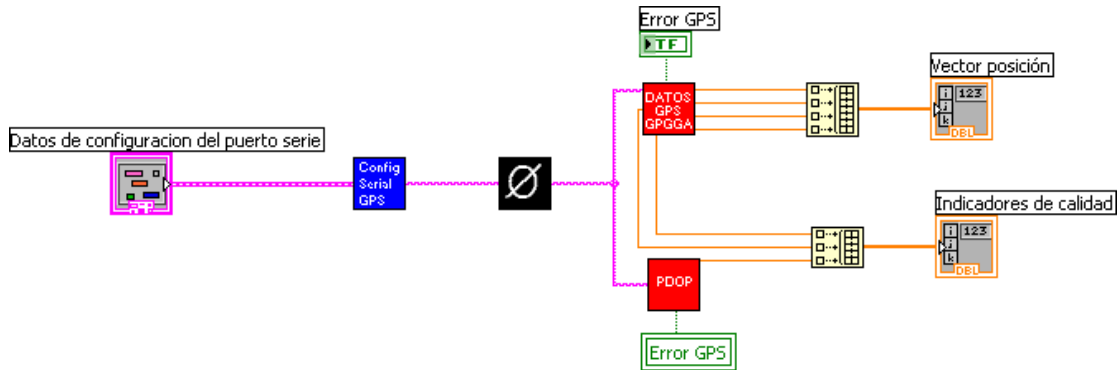
ENTREVISTADOR



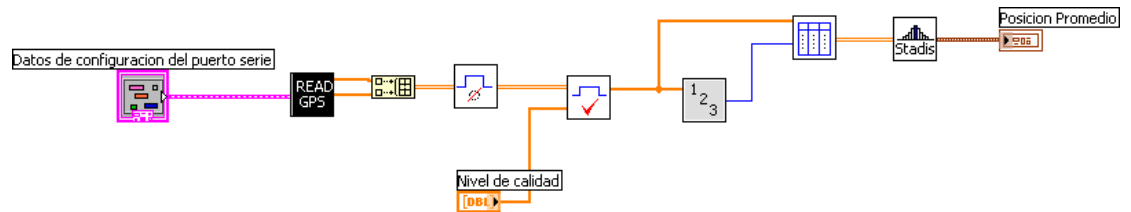
ENTREVISTADO

A5 – MÓDULOS FUNDAMENTALES PROGRAMADOS EN LabVIEW

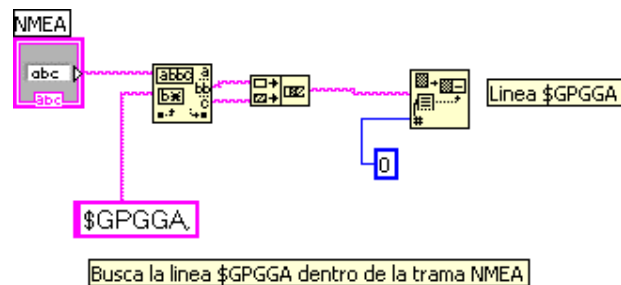
A5.1 - Modulo de captura del GPS



A5.2 - Modulo GPS (total)



A5.3 - Proceso de filtrado sentencia GGA de la trama NMEA



A6 – LIMITES OCUPACIONAL Y PÚBLICO GENERAL, DEFINIDAS POR LA RECOMENDACIÓN UIT K.52²⁹

<i>Tipo de exposición</i>	<i>Gama de frecuencias</i>	<i>Intensidad de campo eléctrico (V/m)</i>	<i>Intensidad de campo magnético (A/m)</i>	<i>Densidad de potencia de onda plana equivalente S_{eq} (W/m²)</i>
Ocupacional	Hasta 1 Hz	-	2×10^5	-
	1-8 Hz	20 000	$2 \times 10^5 / f^2$	-
	8-25 Hz	20 000	$2 \times 10^4 / f$	-
	0,025-0,82 kHz	500/f	20 / f	-
	0,82-65 kHz	610	24,4	-
	0,065-1 MHz	610	1,6 / f	-
	1-10 MHz	610/f	1,6 / f	-
	10-400 MHz	61	0,16	10
	400 - 2000 MHz	$3f^{1/2}$	$0,008f^{1/2}$	f/40
2 - 300 GHz	137	0,36	50	
Público en general	Hasta 1 Hz	-	2×10^4	-
	1-8 Hz	10 000	$2 \times 10^4 / f^2$	-
	8-25 Hz	10 000	5000/f	-
	0,025 -0,8 kHz	250/f	4/f	-
	0,8 - 3 kHz	250/f	5	-
	3 - 150 kHz	87	5	-
	0,15 - 1 MHz	87	0,73/f	-
	1 -10 MHz	$87/f^{1/2}$	0,73/f	-
	10 - 400 MHz	28	0,073	2
	400 - 2000 MHz	$1,375f^{1/2}$	$0,0037f^{1/2}$	f/200
2 -300 GHz	61	0,16	10	
NOTA 1 – f es la indicada en la columna gama de frecuencias. NOTA 2 – Para las frecuencias entre 100 kHz y 10 GHz, el tiempo de promediación es de 6 minutos. NOTA 3 – Para frecuencias de hasta 100 kHz, los valores de cresta pueden obtenerse multiplicando el valor eficaz por $\sqrt{2}$ (*1.4142). Para impulsos de duración t_p la frecuencia equivalente aplicable debe calcularse como $f=1/(t_p)$. NOTA 4 – Entre 100 kHz y 10 MHz, los valores de cresta de las intensidades de campo se obtienen por interpolación desde 1,5 veces la cresta a 100 MHz hasta 32 veces la cresta de 10 MHz. Para valores que sobrepasen 10 MHz, se sugiere que la densidad de potencia de onda plana equivalente de cresta promediada a lo largo de la anchura del impulso, no sobrepase 1000 veces el límite S_{eq} o que la intensidad de campo no sobrepase los niveles de exposición de intensidad de campo indicados en el cuadro. NOTA 5 – Para frecuencias superiores a 10 GHz, el tiempo de promediación es de $68/f^{1,05}$ minutos (f en GHz).				

²⁹ Tabla tomada de la Recomendación UIT-T K.52. "Orientación sobre el cumplimiento de los límites de exposición de las personas a los campos electromagnéticos"

A7 – ANEXO FOTOGRÁFICO

A7.1 Sistema Integrado de Radiación. SIMRad

