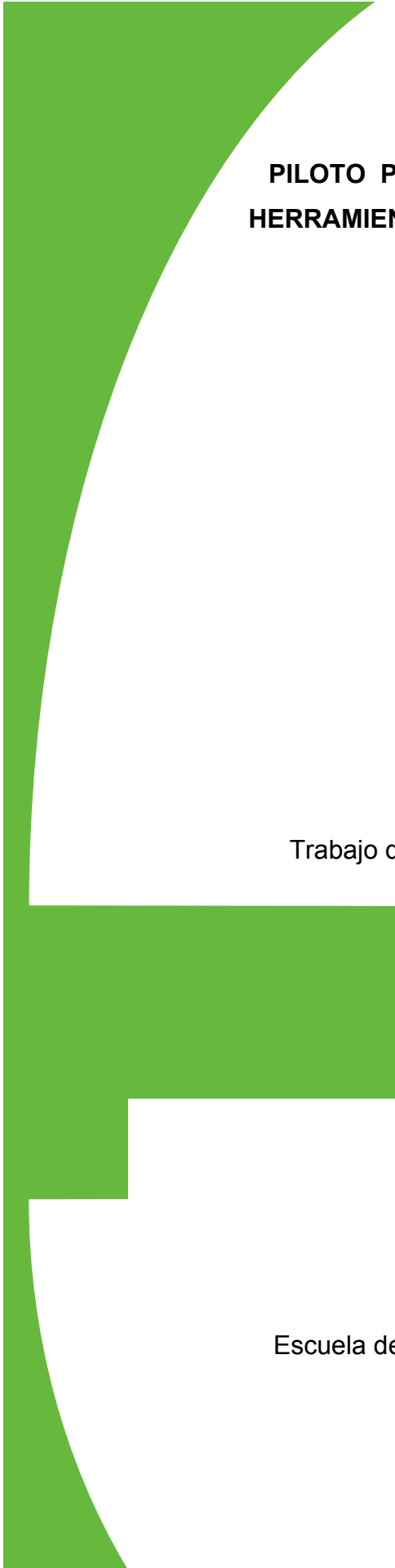


**PILOTO PARA LA VALIDACIÓN DE LAS CAPACIDADES DE LA  
HERRAMIENTA *CELLGIS* PARA SIMULAR NIVELES DE POTENCIA**

Autor:

Aura Liliana Beltrán Blanco

Universidad Industrial de Santander  
Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas  
Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones  
Bucaramanga  
2011



**PILOTO PARA LA VALIDACIÓN DE LAS CAPACIDADES DE LA  
HERRAMIENTA *CELLGIS* PARA SIMULAR NIVELES DE POTENCIA**

Modalidad:  
Trabajo de Investigación

Autor:  
Aura Liliana Beltrán Blanco

Trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Electrónico

Director:  
Ph.D Homero Ortega Boada

Universidad Industrial de Santander  
Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas  
Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones  
Bucaramanga  
2011

*A mi madre porque me brindo la fuerza para  
superar los obstáculos más difíciles”*

*“A la memoria de mi abuela la semilla de mi  
familia, la persona que con amor dejó un  
gran legado de principios y valores”*

*Liliana.*

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a Dios por darme una nueva oportunidad de vida, por protegerme en las situaciones en las que más necesite de sus milagros y por bendecir cada día de mi vida.

Agradezco a mi familia, a mi mamá por su amor y su esfuerzo para estar a mi lado en cada nuevo reto, y a mi hermana por su apoyo incondicional en este largo camino.

Agradezco al profesor Homero por su confianza en todo momento, y por brindarme la oportunidad de pertenecer a un excelente grupo.

Agradezco a las empresas que confiaron en mi trabajo, y me brindaron su apoyo en todo momento como Tigo y La emisora Lemas de Colombia.

También a los integrantes del grupo RadioGis y amigos, en especial a aquellos que me acompañaron durante las jornadas de medición, y a los que colaboraron con la edición de este documento.

Finalmente agradezco a todos los profesores que me colaboraron en la gestión de la información, en la revisión de algunos temas y en el apoyo moral que se necesita.

## TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN .....	17
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	19
1.2. OBJETIVOS.....	20
1.2.1. Objetivo General. ....	20
1.2.2. Objetivos Específicos. ....	21
1.3. ESTADO DEL ARTE.....	21
1.3.1. Modelos de Propagación.....	21
1.3.2. Herramientas GeoSpectScanner y GeoRadScanner .....	22
1.3.3. Geoportal .....	22
1.4. ORGANIZACIÓN DEL DOCUMENTO.....	23
2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.....	25
2.1. EL ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO. ....	25
2.2. CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS. ....	26
2.2.1. Campo cercano .....	27
2.2.2. Campo lejano .....	27
2.3. SISTEMA DE COMUNICACIÓN.....	28
2.4. ANTENAS.....	29
2.5. ALGORITMO ANDINOUIS .....	29
2.5.1. Formulación del modelo AndinoUis.....	30
2.5.2. Difracción en Convergencia de Vías .....	31
2.5.3. Moldeamiento del terreno.....	34
2.6. HERRAMIENTA CELLGIS.....	35
2.7. RECOMENDACIONES.....	37
2.7.1. Decreto 195 de 2005.....	37
2.7.2. UIT-T K.52.....	37
2.7.3. UIT-T K.61.....	38
2.7.4. Estándar IEEE C95. ....	39
3. PROCESO DE VALIDACIÓN DE LA HERRAMIENTA CELLGIS. ....	40

3.1.	DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE VALIDACIÓN DE CELLGIS. ....	40
3.2.	PUNTOS A CONSIDERAR.....	43
3.3.	¿QUE SE PUEDE DETECTAR AL VALIDAR LOS DATOS? .....	44
4.	ACTIVIDADES DE PRE-VALIDACIÓN Y DEFINICIÓN DE VARIABLES DE INTERÉS .....	45
4.1.	SELECCIÓN DE LA INSTRUMENTACIÓN .....	46
4.1.1.	INSTRUMENTACIÓN PARA LA MEDICIÓN DEL ESPECTRO.....	46
4.1.2.	INSTRUMENTACIÓN MEDICIÓN DE LA RADIACIÓN. ....	49
4.2.	PRUEBAS.....	53
4.3.	METODOLOGÍAS DE MEDICIÓN.....	56
4.3.1.	METODOLOGÍA DE MEDICIÓN DEL ESPECTRO RADIOELÉCTRICO 56	
4.3.2.	METODOLOGÍA DE MEDICIÓN DE RADIACIÓN NO IONIZANTE .....	58
4.4.	VARIABLES DE INTERÉS. ....	61
5.	DESARROLLO DE LA VALIDACIÓN.....	64
5.1.	MEDICIONES ESPECTRO EN BANDA DE TELEFONÍA MÓVIL EN ZONAS DE BUCARAMANGA .....	64
5.1.1.	Zona 1 San Francisco .....	68
5.1.2.	Zona 2 La Concordia.....	71
5.1.3.	Zona 3 Sotomayor.....	74
5.1.4.	Zona 4 El Prado: .....	77
5.2.	MEDICIONES DE RADIACIÓN EN ZONAS DE BUCARAMANGA .....	80
5.2.1.	Zona 1 Sotomayor.....	81
5.2.2.	Zona 2 Villa Helena .....	82
5.2.3.	Zona 3 Ruitoque.....	84
5.3.	SIMULACIÓN DEL ESPECTRO RADIOELÉCTRICO EN BANDA DE TELEFONÍA MÓVIL.....	86
5.3.1.	Pasos para generar la simulación. ....	87
5.3.2.	Zona 1 Barrio San Francisco.....	91
5.3.3.	Zona 2: Barrio la Concordia: .....	92
5.3.4.	Zona 3: Barrio Sotomayor .....	93

5.3.5. Zona 3: Barrio el Prado .....	94
5.4. MEJORAS EN LA SIMULACIÓN.....	95
6. ANÁLISIS DE RESULTADOS .....	97
6.1 VERIFICACIÓN CUMPLIMIENTO DE NORMAS PARA LAS MEDICIONES DE RADIACIÓN NO IONIZANTE. ....	97
6.1.1. Zona Sotomayor.....	97
6.1.2. Zona Villa Helena .....	99
6.1.3. Zona Ruitoque .....	100
6.2 ANÁLISIS ESPECTRO RADIOELÉCTRICO. ....	102
6.2.1. San Francisco, Zona 1: .....	103
6.2.2. La Concordia, Zona 2 .....	106
6.2.3. Sotomayor, Zona 3:.....	108
6.2.4. El Prado, Zona 4: .....	111
CONCLUSIONES .....	114
RECOMENDACIONES .....	119
BIBLIOGRAFÍA.....	120

## LISTA DE FIGURAS

<i>Figura 1 Geoportal Radiogis.....</i>	<i>23</i>
<i>Figura 2 Espectro electromagnético (Tomada de [18]).....</i>	<i>26</i>
<i>Figura 3 Sistema de Comunicación inalámbrico.....</i>	<i>28</i>
<i>Figura 4 Convergencia de Vías. ....</i>	<i>32</i>
<i>Figura 5 Geometría Básica de Difracción en Esquinas. ....</i>	<i>32</i>
<i>Figura 6 Método de Difracción por filos de cuchillo.....</i>	<i>35</i>
<i>Figura 7 Interfaz Herramienta CellGis. ....</i>	<i>36</i>
<i>Figura 8 Zonas propuestas por la UIT-T z.52 para límites de exposición.[4].....</i>	<i>38</i>
<i>Figura 9 Proceso de Validación.....</i>	<i>43</i>
<i>Figura 10 Analizador de Espectros.....</i>	<i>47</i>
<i>Figura 11 Gps utilizado en Radiogis.....</i>	<i>48</i>
<i>Figura 12 Antena HG1911U-PRO.....</i>	<i>48</i>
<i>Figura 13 Generador de Señal.....</i>	<i>49</i>
<i>Figura 14 Medidor NARDA NBM-550.....</i>	<i>51</i>
<i>Figura 15 Configuración equipos de medición.....</i>	<i>53</i>
<i>Figura 16 Pruebas al analizador.....</i>	<i>54</i>
<i>Figura 17 Cámara Anecóica.....</i>	<i>55</i>
<i>Figura 18 Interfaz Plan de medición.....</i>	<i>60</i>
<i>Figura 19 Lista de Chequeo.....</i>	<i>67</i>
<i>Figura 20 Vista desde la terraza en San Francisco.....</i>	<i>68</i>
<i>Figura 21 Rutas de la zona 1. ....</i>	<i>69</i>
<i>Figura 22 (a) Antena Receptora dentro del automóvil. (b) Antena Emisora.....</i>	<i>70</i>
<i>Figura 23 Mediciones espectro zona 1.....</i>	<i>70</i>
<i>Figura 24 (a) Antena trasmisora. (b) Edificio en donde se situó la antena.....</i>	<i>72</i>
<i>Figura 25 Mediciones espectro zona 2.....</i>	<i>73</i>
<i>Figura 26 Rutas de la zona 2. ....</i>	<i>74</i>
<i>Figura 27(a) Sitio sensibles, iglesia. (b) Antena Tigo, Sotomayor.....</i>	<i>75</i>
<i>Figura 28 Software TEMS Investigation 11.0.3.....</i>	<i>76</i>
<i>Figura 29 Recorrido Jornada 1 y Jornada 2 Sotomayor.....</i>	<i>77</i>
<i>Figura 30 Mediciones espectro zona 3.....</i>	<i>77</i>
<i>Figura 31 Mediciones espectro zona 4.....</i>	<i>78</i>
<i>Figura 32 Recorrido Jornada 1 y Jornada 2 El Prado.....</i>	<i>79</i>
<i>Figura 33 (a)Antena Am y equipo narda recibiendo los datos. (b).Antena Am, Lemas de Colombia.....</i>	<i>83</i>

<i>Figura 34 Estaciones de medición en la zona 2.</i>	84
<i>Figura 35 Puntos de medición en Ruitoque, Emisora Rcn Am.</i>	86
<i>Figura 36 Interfaz Cellgis</i>	88
<i>Figura 37 Ubicación de Estación Base</i>	88
<i>Figura 38 Generación de la Cobertura</i>	89
<i>Figura 39 Visualización del valor de potencia</i>	92
<i>Figura 40 Información en cada Punto de Simulación.</i>	94
<i>Figura 41 Complemento para Patrón de Radiación</i>	96
<i>Figura 42 Mediciones de Radiación Sotomayor.</i>	99
<i>Figura 43 Mediciones de Radiación Villa Helena.</i>	100
<i>Figura 44 Mediciones de Radiación Ruitoque.</i>	101
<i>Figura 45 Comparación sector San Francisco Antena Isotrópica.</i>	103
<i>Figura 46 Contraste sector San Francisco.</i>	104
<i>Figura 47 Comparación sector La Concordia Antena Isotrópica.</i>	106
<i>Figura 48 Contraste sector La Concordia</i>	107
<i>Figura 49 Comparación sector Sotomayor Antena Isotrópica</i>	108
<i>Figura 50 Contraste sector Sotomayor.</i>	109
<i>Figura 51 Comparación sector El Prado Antena Isotrópica</i>	111
<i>Figura 52 Contraste sector El Prado.</i>	112

## LISTA DE TABLAS

<i>Tabla 1 Límites de Referencia para radiación no ionizante.....</i>	<i>81</i>
<i>Tabla 2 Zona 1 Sotomayor.....</i>	<i>82</i>
<i>Tabla 3 Zona 2 Villa Helena (La Cumbre).....</i>	<i>84</i>
<i>Tabla 4 Zona 2 Ruitoque.....</i>	<i>85</i>
<i>Tabla 5 Parámetros estadísticos San Francisco.....</i>	<i>105</i>
<i>Tabla 6 Parámetros estadísticos La Concordia.....</i>	<i>108</i>
<i>Tabla 7 Parámetros estadísticos Sotomayor.....</i>	<i>110</i>
<i>Tabla 8 Parámetros estadísticos El Prado.....</i>	<i>113</i>

# RESUMEN

## TÍTULO.

PILOTO PARA LA VALIDACIÓN DE LAS CAPACIDADES DE LA HERRAMIENTA *CELLGIS* PARA SIMULAR NIVELES DE POTENCIA.

## AUTOR

Aura Liliana Beltrán Blanco

**PALABRAS CLAVES:** Proyecto *Gisgerram*, *Cellgis*, Radiopropagación, Radiación Electromagnética no Ionizante

Una de las principales necesidades actualmente en Colombia tiene lugar en el proceso de planeación de redes inalámbricas, cuando se debe elegir el sitio adecuado para ubicar una estación base (BTS). Ante esta situación se ha creado un macroproyecto llamado *Gisgerram* [13], el cual busca crear un servicio de telecomunicaciones que permita la planificación de redes de antenas celulares a través de un servidor remoto, sin embargo para poder lograrlo es necesario primero la verificación de las herramientas que serán usadas para este servicio [5]. Dentro de este macroproyecto se desarrolló el *CellGis*, herramienta basada en Gis que apoya la gestión del espectro radioeléctrico mediante la simulación por medio de modelos de propagación adaptados.

Por tanto, este proyecto se realizó con el objetivo de validar dicha herramienta para la planificación celular, se ejecutaron campañas de medición real de potencia en 4 zonas de Bucaramanga, y mediante un contraste con las simulaciones arrojadas por *Cellgis* se analizó el funcionamiento del simulador de radiopropagación con el algoritmo Andinouis implementado, en donde se dedujeron falencias y se ajustaron mediante un complemento mejoras para la utilización del patrón de radiación adecuado, se determinaron los efectos que se encuentran en las mediciones y que el algoritmo no tiene en cuenta, de forma que en trabajos futuros se puedan programar e implementar nuevos algoritmos que incluyan los factores que se describen.

Las mediciones de radiación fueron realizadas con el fin de seguir incrementando el banco de datos que se está llevando a cabo en Radiogis desde hace algunos meses con el fin de que al obtener una interfaz de usuario para la siguiente versión de *Cellgis 2.0*, el contraste con las mediciones hechas sean una tarea más sencilla, el tiempo de medición en cada estación se hace según la recomendación UIT-T k.52.

---

\*Trabajo de Investigación

\*\* Facultad Ingenierías Fisicomecánicas. Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones. Director: Ph.D. Homero Ortega Boada. Codirector: Cesar Camilo Rodríguez y Celso Andrés Forero.

## ABSTRACT

### TITLE.

PILOT FOR THE VALIDATION OF THE CELLGIS TOOL'S CAPACITIES TO SIMULATE POWER'S LEVELS.

### AUTHOR

Aura Liliana Beltrán Blanco

**KEYWORDS:** Gisgerram project, *Cellgis*, radiopropagation, non-ionizing electromagnetic radiation.

One of the principal needs nowadays in Colombia takes place in the process of wireless network planning, when it's necessary to choose the right place to locate a base station (BTS). Given this situation has been created a proyect called Gisgerram [13], which seeks to create a telecommunications service that allows network planning and estimation of levels of radiation from cellular antennas via a remote server, however to be able to achieve is necessary first verify the tools that will be used for this one service [5]. In this macroroject was developed *CellGis*, GIS-based tool that supports the management of radio spectrum by simulation using propagation models.

Therefore, this project is done in order to validate the cell planning tool, *Cellgis* [2], measurement campaigns are real were done in 4 Bucaramanga's zones, and by means of a contrast with the simulations in *Cellgis* the radiopropagation simulator's functioning with the Andinouis Algorithm implemented was analyzed, the effects that there are in the measurements and that the algorithm doesn't consider, were determined. Then at future works, they will be able to programme and implement new algorithms that include the factors that now aren't considered.

The radiation measurements were realized with the purpose of to continue increasing the data bank that is being carried out in Radiogis for some months in order that when the following version of *Cellgis* 2.0 is obtained, the contrast with the made measurements it's a simpler task, the time of measurement on each station is done according to the recommendation UIT-T k.52.

---

\*\*Grade Project

\*\* Mechanical Physics Engineering. Faculty School of Electrical Engineering, Electronics and Telecommunicatios. Director: Ph.D. Homero Ortega Boada. Codirector: Cesar Camilo Rodríguez y Celso Andrés Forero.

## GLOSARIO

**Altura Torre:** Altura en metros del edificio o elevación geográfica sobre la que se ubica la estructura metálica en la que se instalan las antenas.

**Coordenadas UTM (Universal Transversal Mercator):** Dentro del dominio de la aplicación una coordenada UTM representa un par de valores decimales que se refieren a la distancia en metros desde el origen cartesiano.

**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.

**Modelo de Propagación:** Algoritmo matemático que simula la propagación de la señal proveniente de una antena transmisora hasta los dispositivos móviles, calculando las pérdidas en cada una de las celdas que cubre.

**Patrón de Radiación:** Gráfico de la intensidad de la radiación emitida o recibida por una antena (en dB) en función del ángulo respecto al eje de la antena. Este diagrama es tridimensional, por lo que generalmente se grafica el diagrama de radiación horizontal y vertical.

**Polarización:** La polarización de una antena se refiere sólo a la orientación del campo eléctrico radiado desde ésta. Una antena puede polarizarse en forma lineal, en forma elíptica, o circular. Dependiendo si una antena irradia una onda electromagnética polarizada verticalmente, polarizada horizontalmente, si el

campo eléctrico gira en un patrón elíptico, o si el campo eléctrico gira en un patrón circular.

**Servicios Basados en Localización (LBS):** Buscan ofrecer un servicio personalizado a los usuarios basándose en la mayoría de situaciones en información de la ubicación geográfica de estos. Para su operación utiliza tecnología de Sistemas de Información Geográfica, alguna tecnología de posicionamiento bien sea de lado cliente o de lado servidor y tecnología de comunicación de redes para transmitir información hacia una aplicación LBS que pueda procesar y responder la solicitud.

# CAPÍTULO 1

## 1.INTRODUCCIÓN

El espectro radioeléctrico es un recurso de vital importancia en la prestación de servicios públicos, de esta forma, el poder lograr una gestión eficiente del mismo generará un mejor desarrollo de las Telecomunicaciones brindando grandes ventajas de acceso y mejores servicios a la población. La demanda del espectro durante los últimos años ha incrementado considerablemente, los servicios móviles toman fuerza cada día más elevando así la cantidad de usuarios finales, es por esto que se requiere una adecuada predicción de cobertura y estimación de niveles de potencias generados por estas fuentes, para poder brindar un servicio con garantías de confiabilidad y seguridad a los usuarios y al mismo tiempo realizar una utilización óptima del espectro.

La reutilización de frecuencias se basa en lograr que diferentes celdas no adyacentes usen la misma frecuencia sin dar lugar a interferencia de unas con otras, es así como predecir el cubrimiento de un transmisor es vital para obtener de forma correcta dicha reutilización, para este fin existen diferentes herramientas y modelos de radiopropagación, cada uno adaptado a la zona en donde fue desarrollado, así la región Andina cuenta con el modelo AndinoUis desarrollado por el grupo de investigación RadioGis.

A lo largo de los últimos años el grupo Radiogis ha venido trabajando en la línea de investigación orientada a la toma de mediciones de radiación, con el fin de ofrecer un servicio de consulta a la población, en conjunto con Colciencias y el grupo Icesi de Cali se ha desarrollado una herramienta de planificación celular Cellgis para el análisis de niveles de potencia.

Hoy en día la utilidad que los servicios inalámbricos brindan a las personas son cada vez mejores y más confiables; esta tendencia global seguirá aumentando competitivamente en busca de servicios y aplicaciones de menor tamaño, portátiles y con un desempeño más eficiente, posibilitando de esta manera diversas y nuevas aplicaciones. A pesar de las inmensas ventajas que trae consigo la expansión del mercado tecnológico, es indudable que la exposición ambiental a fuentes generadoras de radiación se ha incrementado debido a la gran demanda de nuevas tecnologías en las telecomunicaciones y la electricidad, todos estamos expuestos a una mezcla de campos eléctricos, magnéticos y electromagnéticos de variadas frecuencias, tanto en el hogar como en el trabajo.

Allí radica la necesidad que tiene Radiogis de brindar a la comunidad un portal en donde puedan verificar el cumplimiento de la norma UIT-T k.52 en los sectores en donde ya se han realizado mediciones. Cabe resaltar que son pocos los estudios realizados de radiopropagación en banda ancha para entornos semi-urbanos afectados por terreno ondulatorio, especialmente en la región Andina en donde se cuenta con una gran presencia de desniveles y colinas. Para que se realicen mejoras tanto a la herramienta como al modelo implementado, es fundamental la determinación de parámetros que afectan la radiopropagación en estas zonas.

La importancia de este documento se ve reflejada en la validación de una herramienta de planificación celular denominada *Cellgis* que apoya la gestión del espectro, se podrá analizar el comportamiento de los resultados con el fin de tener una base para realizar mejoras en dicha herramienta a futuro. Se presentan los factores relevantes para el modelo utilizado AndinoUis, las mediciones realizadas y su forma de obtención, y un análisis de contraste entre niveles de potencia para una banda de telefonía móvil y las medidas reales tomadas en campo.

Las zonas fueron seleccionadas por contar cada una con especificaciones diferentes como se describe en los siguientes capítulos, se documenta dentro del marco teórico un acercamiento tanto de la herramienta *Cellgis* como de las bases fundamentales y aspectos que se deben tener en cuenta con el algoritmo *AndinoUis*, razones importantes para la elección de las zonas de medición y cantidad de estaciones escogidas, metodología implementada, resultados obtenidos y contraste realizado con el fin de analizar los factores que pueden afectar la correcta simulación de cobertura. Los resultados del proyecto son esenciales para los estudios que adelantan el grupo RadioGIS en la búsqueda de modelos de propagación apropiados para nuestra ciudad, debido a que los modelos a desarrollar e implementar sobre *Cellgis* deben responder a normas internacionales.

### **1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

Radiogis desea ofrecer un servicio de estimación de los niveles de potencia producidas por antenas celulares, en tiempo real mediante un servidor remoto, de esta forma, el grupo viene implementando un algoritmo de planificación celular que sirva en todo tipo de regiones, especialmente en nuestro departamento. Sin embargo, este desarrollo solo incluye la lógica del servicio, como es evidente, sin una base de datos de mediciones reales no sería posible validar la herramienta y por lo tanto no tendría aplicación práctica. En síntesis, se hace necesaria la realización de campañas de medición ajustadas a las estrictas recomendaciones internacionales; A pesar de lo tedioso de la tarea debido a la instrumentación con que contamos para esta labor, es una necesidad latente para lograr el correcto funcionamiento de la herramienta y para tener una idea de los posibles errores que se tienen con el algoritmo *AndinoUis* [7].

La elección de los puntos donde se llevarán a cabo las campañas se eligen teniendo en cuenta una base de datos adquirida gracias al Ministerio de

Comunicaciones, en donde se puede visualizar lugares de gran sensibilidad y la localización de antenas de telefonía móvil, igual que sitios en donde se ubican antenas de Amplitud Modulada (AM), la información suministrada por empresas como Tigo, y la cartografía con que se cuenta.

Dentro del grupo RadioGis se ha realizado la programación orientada a objetos del algoritmo AndinoUis logrando así la implementación del algoritmo en la herramienta CellGis, lo cual requiere validaciones, implicando la comparación de las simulaciones obtenidas contra datos reales adquiridos en las campañas de mediciones que se realizarán.

Un primer paso para el acercamiento al desarrollo de la plataforma, es validar la herramienta, con el fin de poder brindar un servicio con algoritmos de predicción que ayuden a determinar los niveles de campo electromagnético y cobertura sin tener la necesidad de desplazarse a los diferentes sitios con los equipos necesarios para las mediciones, hecho que reduce considerablemente costos, tiempo y los tediosos procedimientos de logística que deben tenerse en cuenta para las mediciones en campo. Además permitirá emitir consideraciones para ser tenidas en cuenta en simulaciones posteriores, y para mejoras de la herramienta.

## **1.2. OBJETIVOS**

### **1.2.1. Objetivo General.**

Validar el *Cellgis* como herramienta de simulación de niveles de potencia.

### 1.2.2. Objetivos Específicos.

- Realizar mediciones de campo de niveles de radiación electromagnética no ionizante tomadas en 3 diferentes zonas de la ciudad de Bucaramanga, en donde existe antenas de radiodifusión AM y telefonía móvil celular.
- Efectuar mediciones de radiopropagación en una banda de telefonía móvil celular.
- Efectuar un estudio de contraste entre mediciones y simulaciones hechas por *Cellgis* de radiopropagación en una banda de telefonía móvil, con el propósito de poner a prueba el algoritmo de propagación AndinoUis que tiene esta herramienta.

### 1.3. ESTADO DEL ARTE

**1.3.1. Modelos de Propagación:** Hasta el momento se han desarrollado diversos modelos de propagación para sistemas de macroceldas, microceldas y picoceldas, en entornos tanto urbanos como rurales. Están basados en mediciones realizadas, seguido de un análisis matemático para obtener el modelo deseado.

En cuanto a sectores urbanos podemos citar algoritmos como:

- Walfish-Bertoni
- Okumura-Hata
- Cost-231/Walfish-Ikegami

Sin embargo el más difundido ha sido el Okumura Hata, para el cual fueron realizadas mediciones correspondientes en Tokio.

**1.3.2. Herramientas GeoSpectScanner y GeoRadScanner:** Existen diversas alternativas para medir campos electromagnéticos; RadioGis utiliza un sistema de escaneo Georeferenciado de radiación denominado *GeoRadScanner* con el fin de obtener mapas discretos de radiación electromagnética sobre grandes extensiones.

Útil cuando se desea realizar campañas de mediciones de una gran cantidad de sitios con un ahorro significativo en tiempo y minimizando los errores graves que introduce el operario o ingeniero de campo. Empleando esta herramienta para campañas de mediciones el proceso de adquisición y visualización de datos se automatiza permitiendo que el proceso sea más eficiente.

La herramienta *GeoSpectScanner* junto con un GPS se encarga de exportar los datos medidos por el usuario hacia un servidor con que cuenta RadioGis en sus instalaciones, al cual se puede acceder vía internet mediante el Geoportal.

**1.3.3. Geoportal:** Es una aplicación web que tiene por objetivo ofrecer al usuario, de forma fácil e integrada, el acceso a una serie de recursos basados en SIG (sistemas de información geográfica), en nuestro caso información acerca de las campañas de mediciones realizadas, su interfaz se muestra en la Figura 1. Se genera debido a la plataforma de servicios que ha sido implementado, por medio de un nombre de usuario y su clave respectiva es posible acceder al Geoportal en la dirección web <http://200.21.228.30.8080/geoportal/>. En esta plataforma se puede visualizar los puntos o estaciones en donde se realizaron las mediciones así como los valores obtenidos para cada punto.



Figura 1 Geoportal Radiogis

#### **1.4. ORGANIZACIÓN DEL DOCUMENTO.**

El trabajo de grado realiza una gran contribución al desarrollo de herramientas que buscan ejecutar la planeación de redes de forma óptima. La validación de las capacidades de la herramienta *Cellgis*[2] como simulador de niveles de potencia es llevada a cabo a través de este libro por medio de la comparación entre mediciones reales y simulaciones realizadas.

Con el propósito de orientar al lector, a continuación se expone la organización del documento:

El Capítulo 1 se realiza la presentación del proyecto, abarca la introducción y el planteamiento del problema por el cual surge el trabajo de grado, dando lugar así a ciertos objetivos formulados, de igual forma se hace un breve recuento del estado del arte de temas relacionados con el eje central de este proyecto.

El Capítulo 2 se describe algunos conceptos generales, y se profundiza acerca del algoritmo *AndinoUis* los factores que toma en cuenta, la herramienta de planificación *Cellgis* y se muestra un breve resumen de las recomendaciones adoptadas para los niveles de exposición.

El Capítulo 3 se muestra la forma seleccionada para llevar a cabo el proceso de validación, así como los puntos más destacados a considerar para minimizar los errores a lo largo de la ejecución de cada una de las etapas.

El Capítulo 4 se explica la metodología y los procedimientos para la realización de las mediciones de radiaciones no ionizantes y del espectro radioeléctrico en la banda de telefonía móvil; se dan además las características y forma de utilización de los equipos.

El Capítulo 5 se exponen las campañas de las mediciones tanto de radiación como de espectros realizados, los resultados de las simulaciones ejecutadas para el espectro radioeléctrico, el pluguin generado para mejorar el comportamiento de la herramienta.

El Capítulo 6 presenta el análisis del cumplimiento de los valores obtenidos en la medición de radiación no ionizante, el estudio del comportamiento de la herramienta *Cellgis* para planificación de redes realizando el contraste entre simulaciones y mediciones, así como la orientación para futuros proyectos.

# Capítulo 2

## 2.FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

En este capítulo se aborda la fundamentación teórica que existe alrededor de los temas relacionados con el proyecto, así como un resumen de los tópicos más importantes que existen tanto para el algoritmo AndinoUis como para la herramienta *CellGis*. Se describen los conceptos básicos que maneja el algoritmo de Radiopropagación en el que se basan los posteriores análisis.

### 2.1. EL ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO.

La oscilación o la aceleración de una carga eléctrica cualquiera genera un fenómeno físico integrado por componentes eléctricos y magnéticos, conocido como espectro de radiación de ondas electromagnéticas, estas ondas están caracterizadas por su frecuencia y longitud de onda. El espectro electromagnético se extiende desde la radiación de menor longitud de onda, como los rayos gamma y los rayos X, pasando por la luz ultravioleta, la luz visible y los rayos infrarrojos, hasta las ondas electromagnéticas de mayor longitud de onda, como son las ondas de radio y tv. En la figura 2, la parte derecha corresponde a la zona de radiación ionizante, y la izquierda a la radiación no ionizante [18].

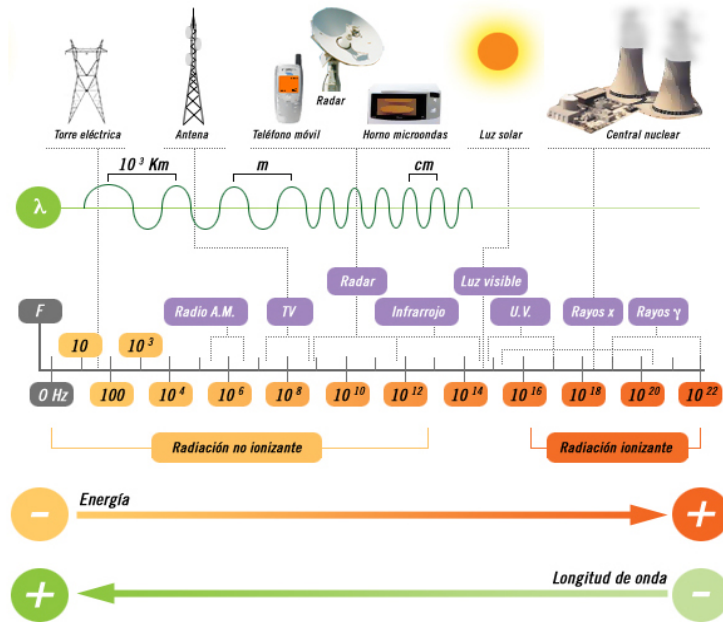


Figura 2 Espectro electromagnético (Tomada de [18])

## 2.2. CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS.

El término *campo electromagnético* (EMF), se refiere generalmente a los campos eléctricos y magnéticos de baja frecuencia del espectro, pero también puede utilizarse en un sentido mucho más amplio y englobar el espectro completo de la radiación electromagnética. Téngase en cuenta que, en el intervalo de baja frecuencia, los campos  $E$  y  $B$  no están acoplados ni interrelacionados igual que a altas frecuencias, y que por lo tanto es más preciso denominarlos “campos eléctricos y magnéticos” que EMF[16].

La exposición a los campos de RF se complica aún más por las interacciones de las ondas electromagnéticas con objetos. En general, cuando las ondas electromagnéticas encuentran un objeto, una parte de la energía incidente se refleja, otra parte es absorbida y el resto se transmite. Las proporciones de energía transmitida, absorbida o reflejada por el objeto dependen de la frecuencia

y polarización del campo y de las propiedades eléctricas y la forma del objeto. La superposición de las ondas incidente y reflejada produce ondas estacionarias y una distribución de campos espacialmente no uniforme. Como las ondas se reflejan totalmente en los objetos metálicos, cerca de estos objetos se forman ondas estacionarias.

La radiación de campo electromagnético producido tiene dos delimitaciones en el espacio: campo cercano y campo lejano. Durante la mitad del ciclo, la potencia se irradia desde una antena, en donde parte de la potencia se guarda temporalmente en el campo cercano, en la siguiente mitad del ciclo la potencia que está en el campo cercano regresa a la antena. Cuando se habla de campo lejano la potencia continúa irradiando nunca regresa a la antena [17].

**2.2.1. Campo cercano:** Siendo su principal característica el hecho que en esta porción del espacio la relación entre la intensidad de campo eléctrico y la intensidad de campo magnético no son proporcionales, razón por la cual la medición de estos valores deberá realizarse de forma independiente.

**2.2.2. Campo lejano:** La particularidad más sobresaliente de esta porción del espacio, es la linealidad que existe entre la intensidad de campo eléctrico y la intensidad de campo magnético (con una constante de proporcionalidad llamada permisividad del espacio). Por lo tanto, es suficiente efectuar una de las dos medidas para realizar un análisis. El campo lejano se define como la región donde la distribución angular del campo electromagnético es independiente de la distancia de la antena.

### 2.3. SISTEMA DE COMUNICACIÓN

Un sistema de comunicación transmite información desde un punto hacia otro, estos sistemas se encuentran en la actualidad en una vertiginosa evolución. Un sistema de comunicación digital está dividido principalmente en tres etapas:

En la primera etapa, se encuentra la parte de transmisión, como se muestra en la figura 3.

En la segunda etapa, están los canales de comunicación por donde se propaga la señal y son usados para la transmitir la información. Esta sección, es principalmente la parte que afecta a la señal que se desea transmitir, entre algunos canales de comunicación están los conocidos como Bifilares, Fibra Óptica, Guías de Onda, Cable Coaxial, Espacios Libres o Inalámbricos, etc.

En la tercera etapa, se tiene la sección del receptor por el cual se obtiene la información. La recepción de la señal se realiza a través de  $Rx$ , donde la señal es obtenida con cierto nivel de degradación debido a la trayectoria que recorrió el campo electromagnético por medio del canal inalámbrico de comunicación.



Figura 3 Sistema de Comunicación inalámbrico.

## **2.4. ANTENAS.**

El tipo de antena influye en ambos extremos de la comunicación, es un dispositivo generalmente metálico capaz de radiar y recibir ondas de radio convierte las ondas eléctricas entregadas por el emisor, en ondas electromagnéticas que se pueden transmitir por el espacio libre; y en el otro extremo, convierte las ondas electromagnéticas que recibe, en ondas eléctricas que entrega al receptor. Básicamente su estructura consiste en un trozo de material conductor, al cual se le aplica una señal, y ésta es radiada por el espacio libre. Opera igualmente en sentido inverso, capturando la señal de radiofrecuencia del aire y entregándola posteriormente al receptor.

El Ancho de banda es el rango de frecuencias sobre las cuales la operación de la antena es satisfactoria, la antena funcionará de modo eficiente sólo si su ancho de banda coincide con las frecuencias de radio utilizadas, La ganancia de una antena se define como la relación entre la densidad de potencia radiada en una dirección y la densidad de potencia que radiaría una antena isotrópica, a igualdad de distancias y potencias entregadas a la antena. La mayoría de fabricantes especifica la ganancia en dBi lo que representa la ganancia comparada con una antena isotrópica.

Las Antenas omnidireccionales están diseñadas para proveer un patrón de radiación de 360°, propagan la señal de RF en todas las direcciones en el plano horizontal aunque tienen un rango limitado en el plano vertical.

## **2.5. ALGORITMO ANDINOUIS.**

El algoritmo de propagación AndinoUIS es un aporte del grupo RadioGIS en cooperación con el grupo I2T que combina el modelo COST231 y una modificación del modelo Walfisch-Ikegami. Es importante recalcar que en la

generación del modelo y los análisis realizados no fueron considerados aspectos como pérdidas y ruidos, por lo cual dentro de este prototipo no se tiene ningún ajuste a pérdidas en el entorno como son análisis de desvanecimiento rápido del canal y consideraciones de Shadowing, y desde su construcción y validación como modelo tiene sus más significativos errores en los cruces de calles.

El desarrollo del modelo de propagación Andino-UIS<sup>®</sup> se origina a partir del análisis de los resultados presentados en estudios anteriores sobre el modelo de propagación *COST231- Walfisch-Ikegami*. El nivel de predicción dado por el modelo *COST231-Walfisch-Ikegami* es mejorado teniendo en cuenta parámetros adicionales que consideran los fenómenos de Difracción en la propagación establecidos en la Recomendación P. 526 de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU).

**2.5.1. Formulación del modelo AndinoUis:** Al igual que el *COST231-Walfisch-Ikegami*, el modelo AndinoUis distingue entre situaciones de línea de vista (LOS) y sin línea de vista (NLOS).

En el caso de LOS la fórmula aplicada es:

$$L_b(dB) = -27.558 - 20 \log(aux) + 20 \log(f)$$

En donde aux es:

$$aux = \frac{G_\theta}{r_1} \left( \cos\left(\frac{2\pi r_1}{\lambda}\right) - j \operatorname{sen}\left(\frac{2\pi r_1}{\lambda}\right) \right) + \frac{G_\theta}{r_2} \sigma_m \left( \cos\left(\frac{2\pi r_2}{\lambda}\right) - j \operatorname{sen}\left(\frac{2\pi r_2}{\lambda}\right) \right)$$

En el caso de NLOs la fórmula aplicada es:

$$L_b = L_0 + L_{rts} + L_{msd} + L_{cv}$$

En donde:

- $L_0(dB) = 32.4 + 20 \log(d) + 20 \log(f)$ , que son las pérdidas por espacio libre.
- $L_{msd} = L_{bsh} + K_a + K_d \log(d) + K_f \log(f) - 9 \log(b)$ , pérdidas por difracción de múltiples filos de cuchillo.
- $L_{rts} = -8.2 - 10 \log(w) + 10 \log(f) + 20 \log(\Delta h_{mobile}) + L_{ori}$ , proceso dado por las pérdidas ocasionadas por el techo del último edificio.
- $L_{cv} = 20 \log(s * e_{UTD}(\psi, s))$ , son tenidas en cuenta algunas pérdidas por difracción de convergencia de vías

### 2.5.2. Difracción en Convergencia de Vías:

Una convergencia de vías corresponde al área de intercepción de dos calles o carreras en un entorno urbano. También se define como un entorno formado por un conjunto de esquinas (figura 4), el número de esquinas lo determina la forma de la vía. Existen dos formas básicas que son en forma de cruz (cuatro esquinas) o en forma de T (dos esquinas).

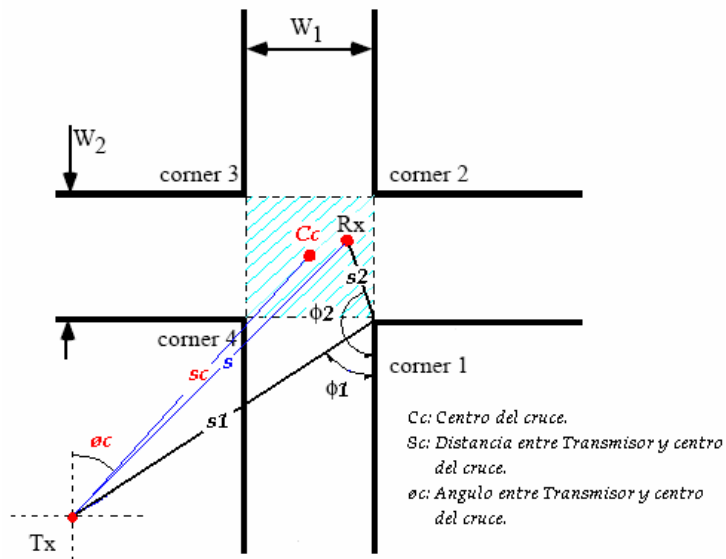


Figura 4 Convergencia de Vías [7].

Para modelar el comportamiento de la señal en dichas áreas, se parte del análisis de Difracción en esquinas establecido por la Teoría de Difracción Uniforme (UTD), como se observa en la siguiente figura.

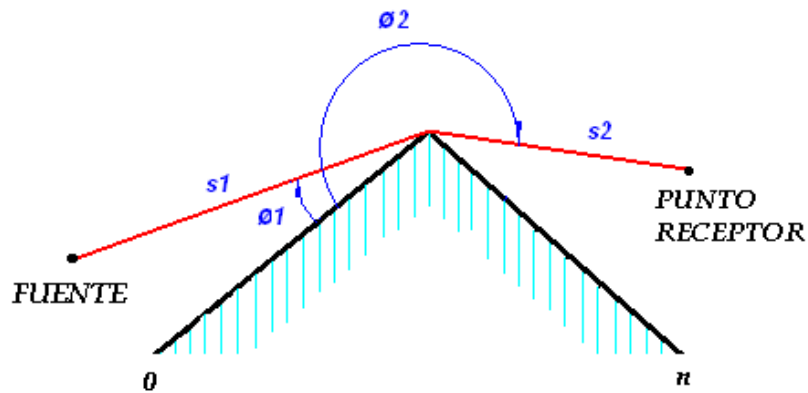


Figura 5 Geometría Básica de Difracción en Esquinas [7].

La formulación UTD está dada por:

$$e_{UTD} = e_0 \frac{e^{-jks_1}}{s_1} D_{\parallel\perp} \sqrt{\frac{s_1}{s_2(s_1 + s_2)}} e^{-jks_2}$$

$e_{UTD}$  : Magnitud de campo en el punto receptor.

$e_0$  : Magnitud de campo de la fuente.

$s_1$  : Distancia de la fuente a la esquina de difracción.

$s_2$  : Distancia de la esquina de difracción hasta el punto receptor.

$k$  : Número de onda  $\frac{2\pi}{\lambda}$

$D_{\parallel\perp}$  : Coeficiente de difracción dependiendo de la polarización de la señal paralela o perpendicular al plano de incidencia del campo incidente en la esquina.

$$D_{\parallel\perp} = \frac{-e^{-j\frac{\pi}{4}}}{2\pi\sqrt{2\pi k}} \left\{ \begin{array}{l} \cot\left(\frac{\pi + (\phi_2 - \phi_1)}{2n}\right) F(kLa^+(\phi_2 - \phi_1)) \\ + \cot\left(\frac{\pi - (\phi_2 - \phi_1)}{2n}\right) F(kLa^-(\phi_2 - \phi_1)) \\ + R_0_{\parallel\perp} \cot\left(\frac{\pi - (\phi_2 - \phi_1)}{2n}\right) F(kLa^-(\phi_2 - \phi_1)) \\ + R_n_{\parallel\perp} \cot\left(\frac{\pi + (\phi_2 + \phi_1)}{2n}\right) F(kLa^+(\phi_2 + \phi_1)) \end{array} \right.$$

La Teoría de la Difracción Uniforme proporciona una herramienta efectiva para predecir la difracción en las convergencias de vías, sin embargo su

implementación sólo se logra en programas de predicción basados en el trazado de rayos (*ray-tracing*) como por ejemplo, el CRC- Predicts, **por lo tanto dentro del modelo AndinoUis no puede ser implemetando a cabalidad**, de forma que se establece un replanteamiento de la forma básica de la formulación UTD, considerando que se cuenta con una herramienta de planificación que maneja base de datos tipo Raster y **que no se trabaja con determinado tipo de información como por ejemplo, las propiedades eléctricas del material de construcción de los edificios.**

Con esto se define

$$e_{UTD} = \left[ \frac{e_0}{s} |D| \sqrt{\frac{s}{0.707 ws + 0.5w}} \right] e^{-jk \left( s + 0.707 w + \frac{\pi}{4k} \right)}$$

### 2.5.3. Moldeamiento del terreno

Para realizar el modelamiento de un entorno debemos tener en cuenta la forma como los obstáculos se encuentran a lo largo de las trayectorias o rutas de la línea directa entre transmisor y receptor, caracterizar de la mejor manera el impacto que ocasionan, en factor del desvanecimiento de la magnitud de la señal. Para calcular las pérdidas que ocasionan dichos obstáculos, se suele idealizar la forma del mismo. En la radiopropagación existen dos técnicas muy conocidas que son: Difracción por filos de cuchillo y Difracción por cilindros. A continuación se presenta brevemente en que consiste cada una de ellas.

#### Modelamiento del terreno mediante el Método de Difracción por Filo de Cuchillos:

En esta aproximación, el obstáculo ya sea un edificio o una prolongación del terreno (i.e. colina), es aproximado a un filo de cuchillo, es decir el obstáculo es

considerado como media pantalla absorbente, tal como se muestra en la Figura 6. El mecanismo de difracción en este tipo de elementos representa un caso particular de la difracción por filos y esquinas.

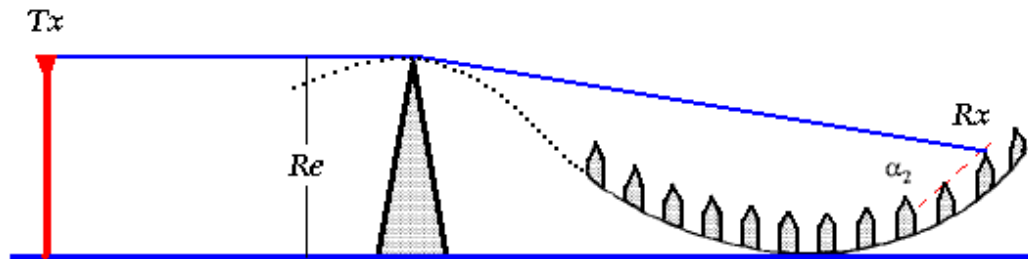


Figura 6 Método de Difracción por filos de cuchillo [7].

Existen varias aproximaciones de filos de cuchillos, entre ellas se destaca el método de Deygout, la corrección de Causebrook y el método de Giovanelli [12]. Sin embargo, para calcular las pérdidas por propagación sobre un entorno de terreno irregular, se suele emplear análisis de difracción múltiple mediante la Integral para Múltiples Filos de Cuchillos Difractores, empleada también en el desarrollo de modelos de propagación, un ejemplo es el modelo Walfisch-Bertoni[10] el ya mencionado modelo COST231-Walfisch-Ikegami.

## 2.6. HERRAMIENTA CELLGIS

CellGis es una herramienta desarrollada en lenguaje java y basada en Sistemas de Información Geográfica (GIS), que permite probar e introducir diversos modelos de radio propagación para la simulación de coberturas de potencia sobre ciudades representadas en información geográfica que se carga digitalmente en un GIS. Es un sistema para planificación de redes celulares que no utiliza la interacción con bases de datos y que brinda al usuario la posibilidad de generar un archivo de proyecto con la configuración de la red celular, es totalmente transportable entre plataformas y equipos donde esté instalado el sistema; y que además ocupa muy poco espacio en disco debido al uso del estándar .ZIP16 que comprime los datos,

reduciendo considerablemente el tamaño de un archivo generado por la aplicación. Durante dos años, se ha trabajado en el proyecto CellGIS, la herramienta incorpora manejador de cartografía avanzado y en su carpeta pluggins pueden ser implementados diferentes modelos de propagación. Igualmente, se está incorporando un algoritmo para la estimación de niveles de radiación electromagnética, según la norma ITU-T K.52. El otro aspecto pendiente es la validación de los modelos implementados, con medidas de campo basadas en datos de estaciones base que han proporcionado algunos operadores.

En la versión 1.0 que es con la que Radiogis cuenta actualmente, sólo se consideran las alturas de los edificios y en ningún momento la variabilidad del terreno. Sin embargo en la fase 2.0 en desarrollo debe ser tomada en cuenta. El principal objetivo de la aplicación es permitir al usuario crear una o varias redes de transmisores de comunicación inalámbrica representadas como puntos ubicados sobre un mapa; para luego, por medio de algoritmos especiales llamados modelos de propagación, predecir el nivel de señal originado por esta(s) red(es), y desplegar los resultados gráficamente.

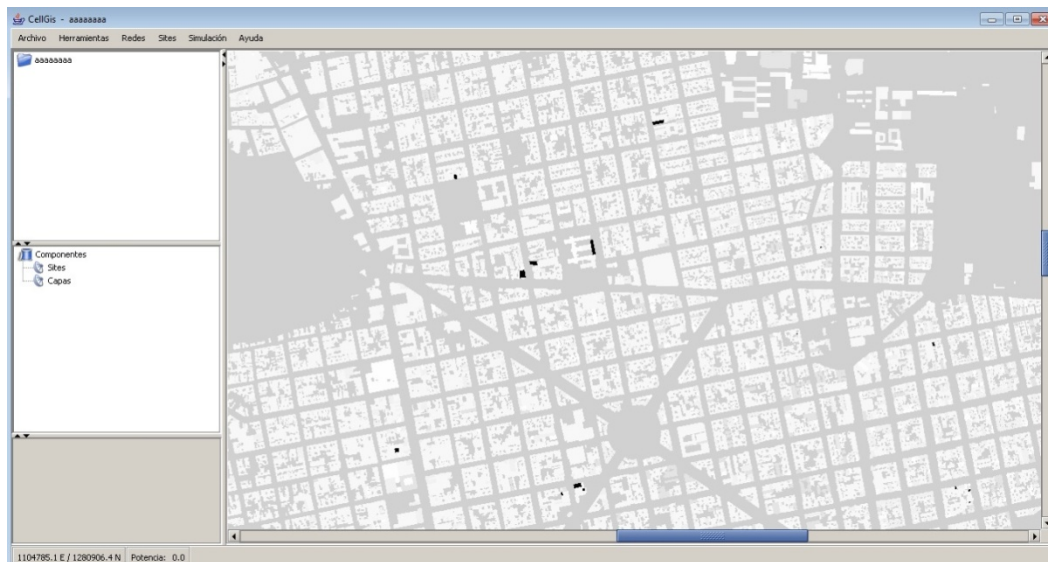


Figura 7 Interfaz Herramienta CellGIS.

## **2.7.RECOMENDACIONES**

El principal objetivo de estas recomendaciones es establecer niveles de campos electromagnéticos que garanticen la seguridad de la población, la cual es dividida en zonas, la vulnerabilidad de cada una de estas zonas depende de la frecuencia de operación del sistema, del tipo y de la altura a la que se encuentra localizada la fuente generadora.

**2.7.1. Decreto 195 de 2005 [8]:** El Gobierno Nacional con la finalidad de establecer límites de exposición de las personas a campos electromagnéticos expidió este decreto, y así se estipularon valores para los niveles permitidos máximos para las exposiciones, decreto que adopta los estándares internacionales como los dados por la Comisión Internacional de Protección contra Radiaciones. Aplica a quienes presten servicios de telecomunicaciones en las frecuencias comprendidas entre 9KHz a 300GHz.

**2.7.2. UIT-T K.52 [9]:** Esta recomendación brinda orientación a grandes rasgos, y métodos de cálculo, fue expedida en febrero de 2.000 principalmente para facilitar el cumplimiento de los límites de seguridad por las instalaciones de telecomunicaciones cuando existe exposición de las personas a Campos Electromagnéticos producidos por equipos en la gama de 9 kHz a 300 GHz.

La UIT-T K-52 es una recomendación encaminada a buscar el cumplimiento de los límites de seguridad al exponerse a campos electromagnéticos, en esta se plantean tres tipos diferentes de zonas, Figura 8:

- Rebasamiento: Los límites de exposición tienen un valor por encima de los permitidos.
- ocupacional

- publico general

**Público en General:**

- Rango 0 Hz a 1 Hz: Densidad de corriente con límite de 8 [mA/m<sup>2</sup>]
- Rango 1 Hz a 10 MHz: Densidad de corriente con límites entre 8/f a f/500 [mA/m<sup>2</sup>]
- Rango 100 kHz a 10 GHz: SAR con límite de 0.08 [W/kg]
- Rango 10 GHz a 300 GHz: Densidad de potencia con límite de 10 [W/m<sup>2</sup>]

**Exposición Ocupacional:**

- Rango 0 Hz a 1 Hz: Densidad de corriente con límite de 40 [mA/m<sup>2</sup>]
- Rango 1 Hz a 10 MHz: Densidad de corriente con límites entre 40/f a f/100 [mA/m<sup>2</sup>]
- Rango 100 kHz a 10 GHz: SAR con límite de 0.08 [W/kg]
- Rango 10 GHz a 300 GHz: Densidad de potencia con límite de 10 [W/m<sup>2</sup>]



Figura 8 Zonas propuestas por la UIT-T z.52 para límites de exposición.[4]

**2.7.3. UIT-T K.61[17]:** En- el año 2003, se aprobó la Recomendación K.60 sobre "Límites de emisión y métodos de prueba para redes de telecomunicaciones". En la cual se realiza una investigación sobre las demandas de radio interferencia y su alcance incluye redes de comunicaciones que usan las líneas eléctricas de baja

tensión a frecuencias entre 9 kHz y 400 GHz. Además se describen procesos asociados a mediciones de interferencia, técnicas de mitigación y límites del campo de fuerza.

**2.7.4. Estándar IEEE C95.[12]:** Estándar aprobado en Octubre de 2.005 por IEEE, tiene como propósito establecer límites de exposición para proteger la salud humana de los efectos adversos ocasionados por la radiación electromagnética, campos magnéticos, campos electromagnéticos sobre un rango de frecuencias de 3 kHz a 300 GHz. Esta norma presenta dos conjuntos distintos de normas para limitar la exposición humana, en el rango de 3 kHz to 5 MHz la norma minimiza los efectos adversos relacionados con electro-estimulación y en el rango de frecuencia de 100 kHz a 300 GHz, las normas de protección contra los efectos adversos para la salud asociados con el calentamiento.

# Capítulo 3

## **3.PROCESO DE VALIDACIÓN DE LA HERRAMIENTA CELLGIS.**

A lo largo de este capítulo se documenta como se pretende realizar la validación de la herramienta *Cellgis*, y se enumeran algunos aspectos que se tendrán en cuenta. En la sección 3.1 se describe cada una de las etapas en las cuales está subdividido el proceso de validación, así mismo en la sección 3.3 se nombran tres principales fines que busca la validación de una herramienta en general.

### **3.1. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE VALIDACIÓN DE CELLGIS.**

En la actualidad uno de los mayores intereses radica en realizar una correcta planificación de redes celulares, de esta forma toman particular importancia los procesos de validación de las herramientas que se usarán para tal fin, para poder asegurar la trazabilidad de los datos hay que considerar las variables que intervienen en dicha planificación y poder emitir consideraciones para realizar posteriores ajustes.

Los procesos de validación son sistemas de aseguramiento de la calidad mediante los cuales se establecen evidencias documentadas para demostrar si un proceso conduce a resultados de calidad consistentes dentro de las especificaciones predeterminadas o para argumentar cuales factores están afectando la calidad de dichos resultados y poder sugerir correcciones de sintonización o ajuste de dichas falencias como siguiente etapa a los encargados pertinentes, en nuestro caso a los desarrolladores de la herramienta.

Es importante validar para reducir las causas de variabilidad que pueden ser causantes de desviaciones en los valores de los niveles de potencia simulados,

prevenir fallas potenciales en tomas de mediciones futuras por medio de la experiencia adquirida, unificar los procedimientos de trabajo y estandarizar la manera de hacer las cosas en forma segura; también sirve para hacer un balance entre la teoría y la práctica y para asegurar consistencia de las variables del proceso a lo largo del tiempo. Las validaciones que se ha realizado en Radiogis a lo largo de su trayectoria se han hecho mediante la comparativa de los resultados de la simulación con los datos experimentales medidos, basados en estos trabajos anteriores se opta por esta misma metodología ya que ha sido avalada por entes como Colciencias. En síntesis, dentro del grupo se toma como validación al proceso por el cual los datos son aceptados o rechazados en base a procedimientos definidos y esperados.

De tal forma, en ingeniería se deben realizar pruebas de validación para revisar que el sistema o software producido cumple con las especificaciones y que cumple su cometido, se comprueba si lo que se ha especificado es lo que el usuario realmente quería. Se trata de evaluar el sistema o parte de éste durante o al final del desarrollo para determinar si satisface los requisitos iniciales.

Durante la validación no se pueden modificar ni manipular los datos que tengan aspecto de anomalía, deben dejarse tal y como se obtienen así mismo no se pueden alterar los resultados de las simulaciones, pero si se pueden corregir posibles errores que se tengan a la hora de simular o tomar las muestras de datos.

El proceso de validación se lleva a cabo mediante sub-procesos:

- Se inicia con las actividades de pre-validación: Consisten en la recopilación de la información relacionada con el proceso, se estudia el contexto del problema y se identifican los objetivos del proyecto tanto general como específicos, lo cual fue realizado en el capítulo 1, determinación de la

instrumentación a utilizar y el entrenamiento para aprender el manejo de los mismos comprobando su funcionamiento.

- Luego de ser definidos los resultados que se desean obtener, es decir los objetivos, se define el modelo o forma en que se obtendrán estos resultados, es decir la metodología a aplicar. Es necesario definir las variables que se tendrán en cuenta en la toma de datos, se procede a establecer las variables de interés.
- Posteriormente se efectúa el desarrollo de la validación propiamente dicha, es decir se realiza una evaluación de una muestra de la zona. Durante esta fase se recopilan las muestras de las variables que se desean medir para nuestro caso de interés las muestras serán de niveles de potencia y se obtienen las simulaciones respectivas para poder hacer los análisis correspondientes.
- Finalmente se da un concepto de aceptación o rechazo, se deben mostrar los resultados arrojados por el proceso anterior así como conclusiones y las recomendaciones, para realizar ajustes en caso de que exista la necesidad.

El proceso se puede visualizar en la siguiente gráfica:

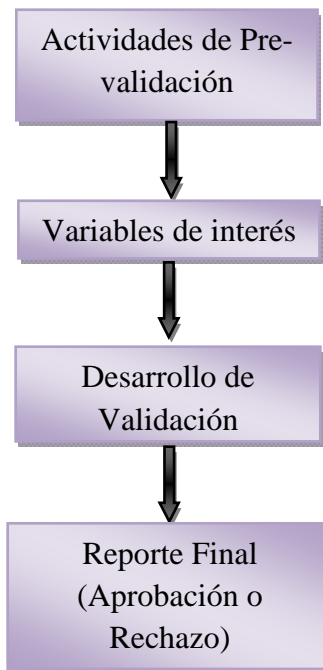


Figura 9 *Proceso de Validación*

### **3.2. PUNTOS A CONSIDERAR.**

- Debe verificarse los datos tabulados, con el fin de que no se incurran en errores de digitación.
- Los resultados finales serán trazables.
- Cualquier posible falla ocurrida con el instrumento de medición durante la campaña debe registrarse, de forma que pueda tomarse como una posible fuente de error y evaluar su impacto sobre los datos.
- Si por alguna razón se realizan cambios en la instrumentación o metodología al obtener los datos con el fin de realizar mejoras, éstos no deben ocultar los datos originales, deben mostrarse ambos datos.

- Antes de realizar las mediciones debe comprobarse el correcto funcionamiento del instrumento.
- Corroborar que se ha tenido un mantenimiento y calibración preventiva del mismo.
- Chequear que las unidades obtenidas en las mediciones corresponden a las unidades arrojadas por la simulación y en caso de no ser así realizar las conversiones necesarias.

### **3.3. ¿QUE SE PUEDE DETECTAR AL VALIDAR LOS DATOS?**

- Potenciales problemas en el algoritmo, la herramienta o las mediciones.
- Eventos inusuales durante la toma de las muestras.
- Errores en la transcripción de los datos.

# Capítulo 4

## 4. ACTIVIDADES DE PRE-VALIDACIÓN Y DEFINICIÓN DE VARIABLES DE INTERÉS

En este capítulo se desarrollan los dos primeros sub-procesos que deben ejecutarse en el camino a validar la herramienta. La problemática del proyecto se explicó en el capítulo 1 sección 1.1, los objetivos generados se muestran en la sección 1.2, uno de los objetivos específicos gira entorno a la medición de radiación no ionizante de forma que pueda seguir ampliándose el banco de datos que desde hace algún tiempo se encuentra en fase de ejecución por parte de Radiogis, esta parte del trabajo aborda la elección de la instrumentación a utilizar para la medición de niveles de potencia y radiación, la verificación del funcionamiento de los equipos y las pruebas realizadas para comprobar el comportamiento de los mismos.

Las fuentes de radiación analizadas cubren los medios de radiodifusión más corrientes, tales como las transmisiones AM y las estaciones base de telefonía móvil, ya que estas fuentes habitualmente radian sobre áreas con alta densidad de población.

Antes de realizar las mediciones pertinentes, es importante hacer o esbozar un esquema de metodología que será llevado a cabo así como es vital establecer las variables que serán de relevancia a la hora de la toma de mediciones, es claro que no se tendrán en cuenta absolutamente todos los factores influyentes, pero se definen las más importantes, el hecho de tener en cuenta diferentes variables a la hora de la toma de datos es un aporte al grupo Radiogis, debido a que en la

totalidad de proyectos y mediciones anteriores jamás se habían tenido en cuenta situaciones que afectaran la repetibilidad de los valores medidos.

#### **4.1. SELECCIÓN DE LA INSTRUMENTACIÓN**

##### **4.1.1. INSTRUMENTACIÓN PARA LA MEDICIÓN DEL ESPECTRO.**

Una de las principales dificultades a la hora de llevar a cabo este proyecto se genera a partir de la instrumentación necesaria para realizar las mediciones, teniendo en cuenta que tanto el analizador como el generador tuvieron que ser compartidos entre diferentes estudiantes, grupos de investigación y empresas limitando así las posibles fechas de salida a campo, el gps con que se cuenta dentro del grupo presenta un error de alrededor de 5 [m], las antenas omnidireccionales fueron traídas desde U.S.A trámite que retrasó las mediciones.

Aunque las coordenadas de cada estación medida son adquiridas en coordenadas geográficas GSW84, en las tablas son mostradas en el sistema UTM Bogotá, pues en la siguiente fase de este trabajo, será esencial que las coordenadas se encuentren en este tipo de sistema, en la base de datos del grupo reposa un archivo en donde están registradas las medidas en ambos tipos de coordenadas.

Con el fin de disponer de un número adecuado de datos reales que permitan validar los modelos implementados, se realizan campañas de medidas en la ciudad, siguiendo el método de Lee, y adicionalmente, se utilizan estos datos comparados con las simulaciones. Para estas campañas de medidas se dispondrá de equipos de la universidad para realizar el Drive Test necesario, sin embargo con el fin de minimizar errores en los valores y gracias al apoyo de la empresa TIGO se realizan algunas rutas con equipos y software de alta calidad prestados por la empresa luego de haber recibido la capacitación necesaria para su manejo.

a) **Analizador de Espectros R&S ZVL6:** Esta referencia de analizador cuenta con las siguientes características y se muestra en la Figura 10:

- Rango de Frecuencias: 9 kHz a 6 Ghz
- Conexión Ethernet
- Analizador de Redes
- Sistema operativo Windows Embebido
- Batería externa.



Figura 10 *Analizador de Espectros*

b) **Receptor GPS:** El GPS fue diseñado para estimar posición (latitud, longitud y elevación), el gps usado es el de la Figura 11, es un sistema de posicionamiento global también llamado NAVSTAR-GPS, sistema de navegación por satélite que permite determinar la posición de objetos o personas. El protocolo que emplea el GPS para comunicarse es el NMEA, El protocolo NMEA es usado para la comunicación entre dispositivos de uso marino para transmitir datos.



Figura 11 Gps utilizado en Radiogis

**c) Antena omnidireccional:** Se cuenta con un par de antenas modelo: HG1911U-PRO (Figura 12), con 11 dBi, para algunas mediciones se usa el par de antenas, en otras solamente es necesaria una para cumplir la función de receptora. El datasheet se adjunta al final del documento a forma de anexo.



Figura 12 Antena HG1911U-PRO

- d) **Generador de señales:** Se utiliza un generador HDE&SCHWARZ (Figura 13), que será utilizado en las zonas en donde fueron usadas ambas antenas, es decir, en donde la banda de telefonía analizada fue generada.

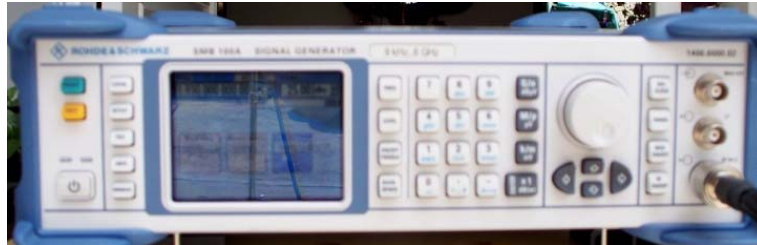


Figura 13 *Generador de Señal*

#### 4.1.2. INSTRUMENTACIÓN MEDICIÓN DE LA RADIACIÓN.

Cuando se tienen puntos de medición en zonas urbanas, el narda capta la contribución o suma de los diferentes elementos que generan radiación electromagnética, por esta razón se tomaron zonas con diferentes características. Existen dos posibles tipos de medición que se pueden llevar a cabo:

- **Medición en Banda Ancha:** El primer paso a la hora de ejecutar la medición, se realiza en banda ancha con el fin de verificar los límites de exposición, obteniendo la contribución de la radiación de todos los elementos. Si en algún caso este valor excediera los límites permitidos se debe realizar mediciones en banda angosta.
- **Medición en banda Angosta:** Especialmente, en el caso que los resultados de las mediciones en banda ancha superen los valores límites de exposición se realizan mediciones de banda angosta; con el propósito de evaluar las condiciones de conformidad del sistema de interés.

Los equipos de medición varían según propiedades como precisión, fiabilidad, tamaño, la facilidad de uso y por ende su precio. La intensidad de los campos magnéticos se mide oficialmente en términos de amperios por metro (A/m), pero en la mayoría de las investigaciones sobre campos electromagnéticos, los científicos utilizan con mayor frecuencia la densidad de flujo magnético, que habitualmente se expresa en unidades de microteslas, ( $\mu\text{T}$ ) o en nanoTeslas (nT), también en la unidad más antigua de milliGauss (mG) en unos países como los EE.UU.

**a) Medidor de intensidad de campo NARDA NBM-550:** Es un medidor de banda ancha, con funciones de registro de datos, para campos eléctricos y magnéticos, desde RF hasta microondas. Figura 14. Esta herramienta permite la medición de la radiación durante el tiempo necesario por el usuario, y tiene la opción de promediar los valores que recibe durante este tiempo, por lo cual realizar diferentes mediciones en la misma estación no se hace necesario.

### **Características**

- Disponible con sondas isotrópicas desde 100 kHz hasta 60 GHz
- Alta precisión
- Gran pantalla gráfica
- Idiomas seleccionables.
- Interfaz plug-and-play con detección automática de los parámetros de la sonda
- Ajuste de cero automático
- Memoria capaz de almacenar hasta 5000 resultados
- Medidor de intensidad de campos portátil de banda ancha (figura 14)

Campo eléctrico [V/m]

Campo magnético [A/m]

Densidad de potencia [mW/cm<sup>2</sup>]

Además de las características más relevantes descritas anteriormente, el Narda NBM-550 cuenta con:

- Interfaz GPS y receptor GPS externo para documentar los datos de posición
- Grabador de voz para añadir comentarios
- Almacenamiento condicional de datos, umbral definido por el usuario.
- Visualización de diferentes tipos de resultados – real o actual, mínimo, máximo, promedio.
- Alarma perceptible que indica los límites que hemos fijado para la intensidad de campo
- Conexión a ordenador: óptica o USB



Figura 14 *Medidor NARDA NBM-550*

**b) Receptor GPS:** Es el mismo Gps usado para las mediciones de niveles de potencia, descrito en la sección anterior.

**c) Software de Escaneo Georeferenciados de Niveles de Radiación *GeoRadScanner*:** Esta herramienta brinda su principal utilidad en situaciones en donde la toma de mediciones requiere de una gran cantidad de puntos, debido a la complejidad del volumen de mediciones. Para poner en ejecución este sistema necesitamos dos instrumentos fundamentales: un medidor de intensidad de campo de la marca NARDA con referencia NBM-550 y un receptor GPS genérico.

Mediante este software se realizan las mediciones georeferenciadas de radiación no ionizante en banda ancha en las estaciones seleccionadas con anticipación, la herramienta solo brinda apoyo en los datos georeferenciados, pero no brinda datos estadísticos.

**d) Internet Móvil y Computador Portátil:** El modem 3.5G permite tener acceso a internet de una manera sencilla e inmediata, solo conectando éste a un puerto USB sin complejos procesos de instalación, desde cualquier lugar donde exista cobertura de una. Es usado para poder enviar en forma remota los datos de geoposicionamiento y de medición que se están realizando. El computador, nos ayuda para ejecutar el software *GeoRadScanner* y a llevar a cabo la conexión a internet.

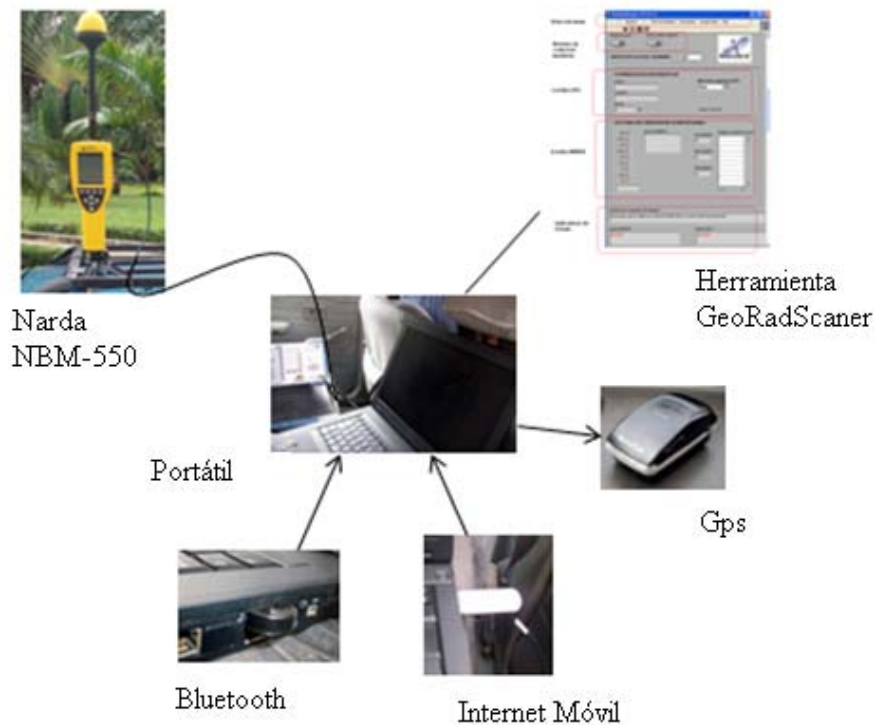


Figura15 Configuración equipos de medición

Los equipos de medición (NARDA y GPS) se conectan a un computador portátil que tenga instalado GeoRadScanner en dos puertos seriales respectivamente. 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 conectarse con el Sistema de Satélites de Posicionamiento Global. Como se evidencia en la Figura 15.

#### 4.2. PRUEBAS.

Se realizan pruebas de laboratorio al analizador de espectro generando señales patrones para comprobar el correcto funcionamiento del equipo y con el fin de visualizar las limitantes del mismo, el analizador de espectros tiene su límite fiable

en -80 [dBm] (figura 16), y para asegurar el acoplamiento del analizador a la herramienta *GeoEspectScanner*, de igual forma se caracterizan las pérdidas que existen en los cables utilizados entre el analizador y la antena, estas pérdidas se tabulan en el listado del anexo F.



Figura 16 Pruebas al analizador

Para el Narda NBM-550 se realizaron unas pruebas en la cámara anecoica que se encuentra en los laboratorios de Física, está aislada para absorber las ondas y simular en un espacio cerrado condiciones externas. Las cámaras anecoicas de radiofrecuencia suelen utilizarse para probar antenas, sistemas de comunicación, etc. El lugar más propicio para realizar la medida de uno o varios parámetros de una antena o de un circuito microonda es denominado campo abierto ideal, este sitio de acuerdo con la norma ANSI C63.4-1992 es un lugar abierto, debe estar libre de interferencias y obstáculos.



Figura 17 *Cámara Anecóica*

La cámara anecóica es un recinto que absorbe la energía que incide sobre sus paredes, consta de dos partes fundamentales: la jaula de Faraday y los materiales absorbentes de ondas electromagnéticas.

- La jaula de Faraday es una estructura completamente apantallada con la que se consigue la atenuación de los campos incidentes.
- Los materiales absorbentes electromagnéticos sirven para darle propiedades de absorción simulando características de espacio libre. Buscan hacer transparentes las paredes de la cámara a los campos electromagnéticos y evitar las posibles reflexiones indeseadas.

Las pruebas consistieron en realizar la medición con el Narda sin fuentes generadoras para mirar la radiación que estaba presente de forma inherente, posteriormente se generaron señales que radiaban en una primera instancia microondas, como segunda instancia decimétricas y finalmente una cuarta prueba simultáneamente microondas y decimétricas, esto con el fin de probar la herramienta GeoRadScanner, las sondas utilizadas y la forma de medición del Narda NBM-550.

### 4.3. METODOLOGÍAS DE MEDICIÓN.

#### 4.3.1. METODOLOGÍA DE MEDICIÓN DEL ESPECTRO RADIOELÉCTRICO:

Esta metodología se basa en las recomendaciones UIT y IEEE.

- Selección Equipos.
- Elección Zonas.
- Definir Plan
- Ejecutar Campaña

**a) Seleccionar Equipos:** La instrumentación que se utilizará fue descrita en el capítulo 4, sección 4.1.1, la elección de los equipos se basó tanto en la facilidad de préstamo de los equipos como en la necesidad de medición requerida, y en mediciones realizadas y avaladas en otros países.

**b) Elegir Zonas:** Se genera la señal en la banda de telefonía móvil, por lo cual requerimos zonas en donde se pueda montar la antena transmisora omnidireccional en una terraza, que cumpla con las características para que la antena irradie de forma correcta, de igual manera la cantidad de estaciones a medir dependen del criterio que se haya trazado como objetivo para cada zona, y también se debe tener en cuenta realizar las mediciones en zonas de diferentes características, debido a que lo que se desea es validar la herramienta y no realizar un estudio exhaustivo o caracterización de la ciudad de Bucaramanga, basta con que las 4 zonas en análisis que tengan diferentes características en cuanto a terreno, obstáculos y demás para poner a prueba la herramienta, de igual forma realizar las mediciones para más zonas requeriría de total disponibilidad de los equipos, teniendo en cuenta que existen empresas como La Electrificadora, y demás proyectos importantes que requieren el uso de los equipos utilizados para medir niveles de potencia, uno de los factores que influyo en la elección de 4 zonas como muestra representativa para el piloto fue la disponibilidad de tiempo

que se brindó para el uso tanto del analizador como del generador, y al mismo tiempo la información de antenas con que se cuenta, puesto que para simular se necesita gran cantidad de información de las antenas base, de igual forma el tiempo destinado para el proyecto. En síntesis para la elección de zonas se tiene en cuenta:

- Fácil Acceso.
- Datos de la antena transmisora.
- Disponibilidad de equipos.
- Tipo de terreno.
- Facilidad de ubicación de las coordenadas en la cartografía con que se cuenta.
- Tiempo destinado para el presente proyecto.

**c) Definir Plan de Medición:** En esta etapa se planea la campaña de medición y los parámetros más relevantes para el Drive Test a realizar.

- Cantidad de puntos o estaciones a medir.
- Cantidad de rutas.
- Frecuencia Central, de acuerdo a la banda de telefonía móvil celular que se desea analizar (850 Mhz, 900 Mhz, 1900 Mhz, etc).
- Span
- RVW
- Instrumento.

**d) Ejecutar la campaña de medición:** Como primera medida, debe realizarse la instalación y conexión de equipos en el vehículo, luego proceder a la revisión de carga de batería de los instrumentos, y finalmente a la ejecución de las medidas como tal.

**4.3.2. METODOLOGÍA DE MEDICIÓN DE RADIACIÓN NO IONIZANTE:** Hay que tener en cuenta que es más útil saber el valor de campo magnético a una altura de 1 m del suelo, o al nivel de la cabeza, porque nos interesan las exposiciones a los órganos sensibles.

**a) Selección de zonas:** El primer paso para llevar a cabo la medición de la radiación, es seleccionar con base en ciertos criterios establecidos los lugares de Bucaramanga en los cuales se realizará el estudio. Uno de los criterios más importantes es elegir zonas en las cuales se tenga la información del elemento radiante, la ausencia de base de datos de mediciones realizadas, la clase de elemento generador de radiación y que al mismo tiempo se encuentren en sectores residenciales o cerca de colegios. En resumen:

- Datos de la fuente generadora de radiación.
- Ausencia de mediciones anteriormente.
- Clase de elemento (AM, FM, Telefonía, etc).
- Sector de ubicación o público el cual se ve afectado por la radiación.

De esta forma las zonas seleccionadas son:

- Zona Sotomayor.
- Zona Villa Helena.
- Zona Ruitoque.

Las razones por las cuales se especificaron exactamente 3 zonas para la medición de radiación electromagnética no ionizante giran en torno a diversos factores:

- 1) La finalidad es lograr una base de datos de mediciones de radiación en Bucaramanga para que la población pueda consultarla vía web, en esa

medida desde proyectos anteriores en el grupo se ha venido ejecutando esta labor, teniendo así en el geoportal información de mediciones de radiación en diversas áreas de Bucaramanga faltando estas tres zonas, las cuales no se habían realizado por no contar con la información requerida perteneciente a las estaciones base. Gracias a la gestión realizada durante la ejecución de este proyecto esa información fue adquirida y se pudo llevar a cabo dichas campañas de medición.

- 2) También se tuvo en cuenta el tiempo destinado en el plan para las mediciones del presente proyecto.
- 3) La disponibilidad del equipo y del automóvil que se requieren para la ejecución de las mediciones.
- 4) El acompañamiento de personal para las mediciones en zonas como la Cumbre o Villa Helena.
- 5) Se tuvo en cuenta que la única finalidad del presente proyecto no es la medición de radiación, sino la realización de mediciones del espectro electromagnético y que cada una de ellas fue llevada a cabo dos veces, lo que incrementa el tiempo tomado para esta labor.

**b) Obtención de Permisos:** Luego de visualizados los sitios, en algunos de ellos es necesario obtener permisos para la realización de las mediciones, y en otros casos para poner las antenas, así mismo debido a que las mediciones se realizan fuera de las instalaciones de la Universidad, es indispensable contar con el permiso pertinente para sacar los equipos de la misma.

**c) Elección de la Sonda y conexión de equipos:** Antes de salir a trabajar en campo debe cerciorarse de la correcta carga de los equipos como el narda, el analizador, el portátil y demás. Posteriormente, la elección de la sonda que se usara para la medición dependiendo de los tipos de servicios de radiofrecuencia, y por último de tener todos los cables necesarios y entender la correcta conexión de los equipos para tener un buen funcionamiento en la campaña de medición.

**d) Plan de Medición:** Es decir, la elección de ciertos valores que se deben especificar antes de comenzar la campaña de medición, estos valores son digitados directamente en la herramienta de software GeoRadScanner. Entre ellos encontramos: Nombre de la campaña, cantidad de estaciones a medir, tipo de campo a medir, tiempo de la medición por estación (De acuerdo a la UIT-T K-52 el tiempo debe ser de 6 minutos), y uno de los parámetros importantes para esta parte es la verificación de los puertos que Windows asigna tanto al instrumento de medida narda como al GPS. Figura 18.

**e) Salida a Campo:** Se inicia con una exploración previa exhaustiva de toda la zona empleando una sonda de campo de banda ancha para localizar las zonas con exposición más intensa y los puntos más interesantes para realizar las medidas posteriores. Este proceso es muy importante pues frecuentemente se encuentran niveles inesperados en zonas en que teóricamente no deberían haberlos y viceversa. Esto ocurre debido a la complejidad electromagnética de los entornos reales, con presencia de obstáculos reflectores, absorciones, planos de tierra imperfectos etc.

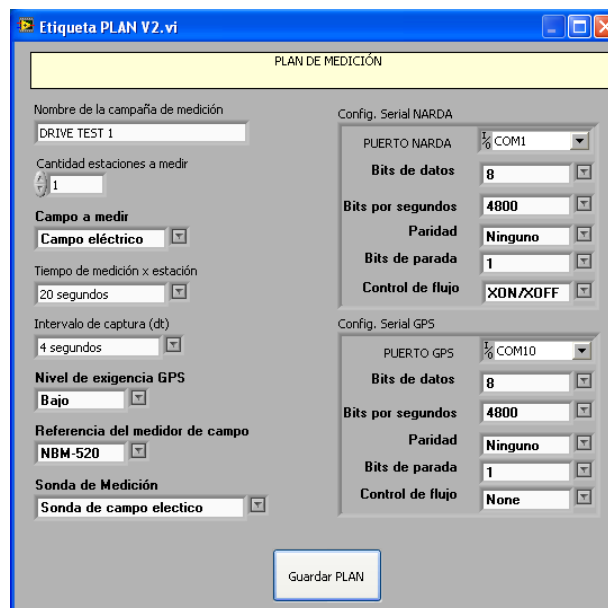


Figura 18 Interfaz Plan de medición

**f) Ejecución Campaña:** Finalmente, se puede llevar a cabo la medición en los diferentes puntos de la zona, desplazándose en un carro con el fin de evitar la alteración en las mediciones y con los instrumentos bien conectados se va capturando los datos de medición en cada punto elegido, oprimiendo en botón “medir estación” del software usado. En la herramienta *GeoRadScanner* encontramos dos campos importantes:

- Lectura GPS, campo en el cual se muestran las coordenadas geográficas, cabe destacar que el sistema en que son arrojados los resultados de posición son GSW84.
- Lectura Narda, área en donde se puede visualizar la lectura instantánea del equipo de medición.

**g) Archivo de los datos:** La captura de cada dato en cada punto de medición es guardada en el servidor, para su posterior consulta y un reporte es obtenido en el computador, es importante que se verifique desde internet si los datos están siendo almacenados.

#### **4.4. VARIABLES DE INTERÉS.**

En este caso se trabaja en un entorno de canal inalámbrico, uno de los principales inconvenientes es la sensibilidad del mismo, los efectos del canal inalámbrico sobre la señal que se propaga se pueden clasificar en dos grandes ramas:

- Efectos a gran escala: Se trata de las pérdidas de propagación, se deben a la obstaculización de la señal por objetos grandes en el entorno de propagación (edificios, montañas, etc) así como la atenuación que sufre la señal debido a la distancia entre el transmisor y el receptor. Están presentes siempre y no hay forma de modificarlos, los efectos de gran

escala repercuten de forma directa en los niveles de potencia recibida, por lo que deben tenerse en cuenta principalmente en tareas de planificación de red (cálculos de cobertura, etc).

- Efectos a pequeña escala: Se deben a la interferencia de otras señales recibidas, la variabilidad temporal del canal se debe a los movimientos del receptor, y a los factores climáticos, elementos que pueden ser controlables.

En la práctica, no es posible determinar de forma anticipada el comportamiento exacto del canal, es por ello que las mediciones que se toman para el contraste son los datos promedios puesto que se toma cada medida como una variable aleatoria encontrando para cada caso y estación la correlación correspondiente entre las muestras, con el fin de tener en cuenta las variaciones más o menos repentinas en la potencia de la señal recibida, y que suponen el efecto más característico de los canales inalámbricos.

Entre el transmisor y el receptor, el canal inalámbrico se modela por varios parámetros claves, algunos parámetros son: el tipo de terreno, el clima, la altura de las antenas, los obstáculos, etc, los cuales varían significativamente dependiendo del tipo de escenario que se tenga: rural, urbano, llanos, montañoso o combinación de los anteriores.

Los parámetros involucrados en la transmisión abarcan diferentes puntos importantes como el PIRE, el patrón de radiación de las antenas, la altura de las antenas con respecto al piso, el entorno topográfico y climático de la zona de interés.

Al modelar propagación existen pérdidas en espacio libre que se ven afectadas por la frecuencia y la distancia, las cosas se complican cuando no existe un

escenario de espacio libre sino con obstáculos hechos por el hombre tales como autos, edificios, etc. Sin embargo como nuestro objetivo no es validar el Algoritmo ni su funcionamiento, sino la herramienta como tal es decir el funcionamiento de Cellgis, no es necesario ni fuente interesante realizar pruebas para el espacio libre teniendo en cuenta estas situaciones, a diferencia de otros proyectos realizados dentro de Radiogis que se basan en el ajuste o verificación de los algoritmos situaciones en donde esta clase de parámetros son esenciales.

En las campañas de mediciones se procuran diferentes entornos topográficos, a diferentes frecuencias, a alturas diferentes y antenas con patrones de radiación diferentes, en diversos puntos, es así como a partir de un número de mediciones con variables controladas se obtienen los datos. Otro de los aspectos tenidos en cuenta en las estimaciones es el tráfico, así también la convergencia de vías es decir la intercepción de dos calles o carreras en un entorno urbano, o conjunto de esquinas.

La altura de los obstáculos son el parámetro que implican que la primera zona de fresnel sea o no obstruida y por lo tanto de esto depende que existan o no pérdidas considerables en la intensidad de campo, depende de la posición del receptor se habla de que un obstáculo podría ser un edificio.

Según los análisis presentados por Lee las variaciones del terreno dentro de un área menor a un kilómetro pueden ser omitidas sin incurrir en grandes rangos de errores, las áreas han sido previamente seleccionadas de manera que cumplan con las características necesarias para poner a prueba la efectividad de la herramienta con el modelo AndinoUis, se seleccionaron zonas urbanas sobre colinas, zonas de densidad urbana con clara definición de convergencias de vías, zonas aledañas a parques y con gran arbolización, etc.

# Capítulo 5

## 5. DESARROLLO DE LA VALIDACIÓN

Los parámetros bajo los cuales se determinó cada zona para medir la radiopropagación en la banda de telefonía móvil, abarcan las diferentes condiciones de propagación ocasionadas por las características propias del entorno tales como: terreno semiplano, terreno irregular, propagación a lo largo de las calles en condiciones de línea de vista (LOS) y en las que no existe línea de vista (NOLS), propagación en áreas edificadas con cruces de calles distribuidos regularmente, terreno irregular edificado, y tráfico circundante.

La comunicación inalámbrica se ve afectada por factores de gran y pequeña escala, los efectos de gran escala son debido a la atenuación de la transmisión de la señal a través de la atmósfera y a la ocasionada por las características propias del relieve en cual se propagan las ondas electromagnéticas, a su vez los efectos de pequeña escala son impredecibles y varían rápidamente en pequeñas distancias. En este capítulo se presenta la toma de medidas de potencia e intensidad de campo eléctrico en ambientes exteriores con características de terreno escarpado para la banda de telefonía móvil.

### 5.1. MEDICIONES ESPECTRO EN BANDA DE TELEFONÍA MÓVIL EN ZONAS DE BUCARAMANGA:

Para tener datos confiables de los resultados obtenidos de una medición, interesan los desvanecimientos de gran escala, en consecuencia, cuando se realizan mediciones se busca eliminar el efecto de los desvanecimientos rápidos o de pequeña escala. Los desvanecimientos rápidos se producen sobre distancias comparables con  $\lambda$ , la longitud de onda de la señal, para eliminar los efectos de

desvanecimientos rápidos, el procedimiento estándar usado por los investigadores ha sido determinar el nivel de señal recibido mediante el promedio de al menos dos mediciones sobre un mismo sector. El tamaño del sector considerado por distintos autores varía, Rappaport, aduce que se mantiene el transmisor en un punto fijo y se desplaza el receptor sobre una distancia de  $6\lambda$  para realizar 28 mediciones, que luego son promediadas. Es importante considerar que el procedimiento de medición debe ser automatizado, ya que exige tomar muchas mediciones para ser luego promediadas. Una alternativa para realizar mediciones manualmente es obtener menos puntos, de forma que dependiendo de factores influyentes en cada zona se midieron diferente cantidad de puntos que será explicado en su respectiva sección.

En una primera etapa se genera una señal portadora por medio de un generador de señales a una frecuencia dada dentro de la banda de telefonía y determinada potencia, se conecta una antena para que irradie y en un vehículo se lleva una antena receptora, luego se hace un recorrido con el analizador de espectros dentro del automóvil con el fin de capturar la señal en diferentes sitios. Ambas antenas son del mismo modelo.

Gracias al apoyo de empresas como TIGO, quien nos brindó información de las antenas ubicadas en algunos sectores de Bucaramanga, se puede realizar como segunda etapa un estudio en otros dos sectores de la ciudad con la banda de telefonía de su empresa. Sin embargo, cabe destacar que esta información es de carácter privado y que solo se pueden mostrar algunas de sus características en este documento. Por restricciones legales no se muestran referencias de las antenas utilizadas por esta empresa. El sistema se compone de 4 estaciones base ubicadas en puntos específicos de la Ciudad de Bucaramanga: San Francisco, La Concordia, Sotomayor y el Prado abarcando 4 tipos de terreno diferentes. Las antenas que conforman la red son omnidireccionales, cada una con diferentes ganancias, distinta potencia de transmisión y frecuencia de operación.

Sobre el auto se montaron la antena y el GPS, que se conecta al analizador de espectro, la función de la antena es la recepción de potencia, mientras que el GPS proporciona la ubicación geográfica, de forma que se obtienen los niveles de campo de las radio bases con una posición específica, este montaje se ha ejecutado en países como España y México siendo avalados por cada una de las Universidades involucradas, de forma que se cuenta con un antecedente, es así como la metodología y montaje de equipos no es improvisada sino adquirida en el proceso de lectura de bibliografía.

Con el fin de mejorar la auditoría y salida a campo se creó una plantilla o lista de chequeo mostrada en la figura 19, de tal manera que no se tengan percances por olvido de equipos o demás inconvenientes que pueden tenerse a la hora de ejecutar la campaña, en donde se especifican los instrumentos que se usarán, el tipo de medición, el responsable (encargado de la medición), supervisor, el horario durante el cual se ejecuta la campaña, de los ítems más importantes recordar la carga de la batería de los elementos y chequearla, permisos, firmas correspondientes, observaciones, las ventajas de la creación de esta plantilla es la organización, la evidencia y documentación para otros usuarios de Radiogis que necesiten conocer datos explícitos de alguna campaña.



		<b>Grupo de Investigación RadioGIS</b> <b>Universidad Industrial de Santander</b>							
		<b>Plan de Medición</b> <b>Medición en Campo</b>			<b>Fecha:</b> V 1.2 DD MM AA				
<b>RESPONSABLE (S):</b> <b>PROYECTO:</b> <b>TIPO DE MEDICIÓN</b>									
<b>EQUIPO DE TRABAJO</b>				<b>Valido desde:</b>		<b>Hasta:</b>			
Supervisor:				Hora:		Hora:			
Auxiliar 1:				Fecha:		Fecha:			
Auxiliar 2:				Plan De Medición					
Auxiliar 3:				Plan de medición N°					
				Nombre :					
Verificación de Elementos necesarios para la medición:				SI	No	Cantidad	N/A	Especificaciones del Lugar de la Medición	
1	Analizador ZVL6							Dirección/ Área:	
2	Batería							Rural <input type="checkbox"/> Urbana <input type="checkbox"/>	
3	Cargador de batería							Condiciones Energéticas del Área a medir: (Acceso A La Red Eléctrica):	
4	Cable De Alimentacion								
5	Cable De Red LAN								
6	Mouse								
7	Memoria USB								
8	Narda								
9	Sonda de campo Eléctrico								
10	Sonda de Campo Magnético								
11	Cargador								
12	Cable USB (conexión Narda-PC)								
13	CDs Drivers								
14	Tripode								
16	Generador De Señales								
17	Computador Portátil								
18	Batería Adicional								
19	Cargador								
20	Aplicación LabVIEW 2009								
21	Bluetooth								
22	Modem internet Móvil								
23	GPS								
24	Cargador GPS Automovil								
25	Cargador GPS								
26	Antenas Ref.								
27	Cable								
28	Soportes (Palos)								
29	4 Abrazaderas Metalicas								
30	Camara Fotografica								
31	Ordenador								
32	Convertidor 3-2								
33	Extensiones								
34	Mesa Soporte								
35	Regleta								
36									
Instrucciones especiales:				Permisos relacionados:					
Firmas de aprobación				Terminación del trabajo					
Responsable:		Responsable:		Supervisión:		Esta completo el trabajo?			
Nombre:		Nombre:		Nombre:		SI	NO	Fecha	Ejecutor
Firma:		Firma:		Firma:		Esta limpia el área de trabajo?			
						SI	NO	Fecha	Ejecutor
Observaciones Generales									

Figura 19 Lista de Chequeo

En cada punto de medición se toman dos valores en diferentes jornadas, lo cual implica cambios en temperatura y presión, se representa la verificación de la confiabilidad de dichos procedimientos con el cálculo de la desviación máxima con respecto al promedio, y también se hace un análisis de varianza denominado Anova de forma que se pueda decidir si las muestras que han sido tomadas en cada estación bajo diferentes factores son significativamente diferentes.

### 5.1.1. Zona 1 San Francisco:

Esta primera zona fue seleccionada debido a que se contaba con el acceso a una terraza, que era bastante despejada, libre de edificios más altos y de gran recurrencia pues encontramos cerca una iglesia y lugares públicos, al mismo tiempo que se encuentra dentro de la ciudad y sus coordenadas pueden ser ubicadas dentro del mapa raster con el que se cuenta. Es importante destacar que una de las características propias de la zona y las 5 rutas realizadas para este Barrio, fue contar con condiciones topográficas casi uniformes (terreno semiplano), casi todo el trayecto contaba con Línea de Vista (LOS) hacia la estación Base BS1, debido a la poca presencia de Edificios.



*Figura20Vista desde la terraza en San Francisco.*

Debido a que se contaba con un préstamo de la terraza de toda una mañana se pudieron realizar 57 estaciones de medición, con estos 57 puntos se aseguran todas las características de la zona, un rango de 9 a 10 cruces de calles que es un

número significativo para la muestra tomada, y se efectuaron mediciones en las zonas aledañas a los únicos dos edificios un poco altos de toda la zona, por lo cual con esta cantidad de puntos en las rutas seleccionadas representan los factores más influyentes. Se realizaron dos campañas de medición en diferente día y horario con el fin de mitigar los errores que puedan existir en la toma de la medida, y de garantizar la repetibilidad de la variable en cuestión, la siguiente figura muestra los puntos de medidas en la zona 1 (San Francisco), en las diferentes rutas, así como la figura del espectro para el punto solicitado imagen consultada del Geoportal Web RadioGis.



Figura21 Rutas de la zona 1.

Para la zona San Francisco el generador de señales se ubicó en la azotea de un edificio de 5 pisos situado en la calle 18 N° 24-55 (Edificio San German). La frecuencia de la portadora es 1.9 Ghz con una potencia de 25 dBm.



Figura 22(a) Antena Receptora dentro del automóvil. (b) Antena Emisora

	<b>Jornada 1</b>	<b>Jornada 2</b>
<b>Horario</b>	Mañana	Tarde-noche
<b>Día</b>	Sábado, 2 de octubre.	Jueves, 11 de noviembre
<b>Temperatura</b>	Ligera Llovizna 21 °C	Parcialmente cubierto 24°C
<b>Humedad</b>	83 %	74 %
<b>Presión</b>	1017.9 [mb]	1013.5 [mb]

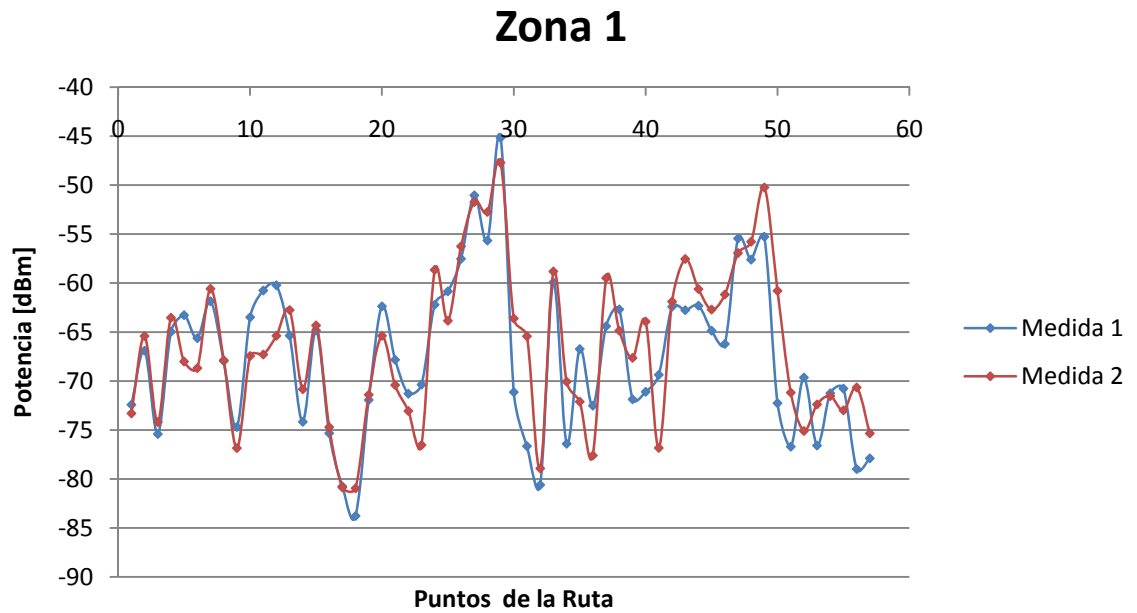


Figura 23 Mediciones espectro zona 1

El gráfico anterior ayuda a visualizar las mediciones tomadas para esta zona, se muestran las 57 estaciones medidas versus el nivel de potencia, medida 1 representa la medición en la jornada 1, medida 2 la medición en la jornada 2. Es importante tener en cuenta que los valores arrojados por el analizador de espectros no pueden ser contrastados directamente con las simulaciones que se realizarán, puesto que nos interesa conocer la potencia antes de la antena receptora, y el dato que se toma del analizador ya ha pasado tanto por la antena, como por el cable que conecta dicha antena al analizador.

$$\text{Valor real} = \text{Valor medido} - \text{Ganancia antena} + \text{pérdidas del cable.}$$

En una fase previa de caracterización de las antenas y de los cables utilizados se generó una tabla de correspondencia entre frecuencia y pérdidas de cable, para nuestro interés que es la banda de telefonía móvil dichas pérdidas son de 0,47 [dB]. La ganancia de la antena que debe tenerse en cuenta al momento de realizar el cálculo del enlace es de 11 [dBi]. Otro aspecto importante son las coordenadas, éstas son obtenidas en el geoportal en grados decimales, cada una de estas coordenadas se transformó en unidades UMT Bogotá para que sea posible el contraste con la simulación en Cellgis pues éstas son las coordenadas que usa el software. Conceptos que aplican a todas las mediciones realizadas en el proyecto, sin embargo en el Geoportal se pueden visualizar las coordenadas arrojadas por el GPS originalmente.

**5.1.2. Zona 2 La Concordia:** Para la zona número 2 (La Concordia), el generador se ubicó en la terraza de un sexto piso ubicado en la Carrera 20 N° 46B Bis 41 (Edificio El Mirador de La Pilita). Esta zona fue seleccionada porque es un sitio de gran concurrencia, y por tener diversos sitios de comercio, por tanto tenemos público expuesto a niveles de potencia por condiciones laborales, el barrio es un poco más pequeño que la zona 1, también el terreno que se buscaba para esta zona era más irregular y edificado, el acceso a la terraza era un poco más

limitada en tiempo, por lo cual las estaciones medidas son 47, sin embargo con esta cantidad de puntos se puede visualizar el comportamiento del canal inalámbrico y los niveles de potencia en este sector, se contaba con trayectos tanto de línea de vista, como sin línea de vista hacia la estación Base BS2 con el fin de ver que tan acertado es el simulador en ambos casos .

Se ejecutaron dos campañas diferentes, en donde varían tanto el horario como el clima de medición en diferente día y horario con lo que se busca desvanecer los errores causados por estas variables, de la misma forma que en la zona anterior, en la tabla que se adjuntan al final del documento aparecen medida 1 analizador correspondiente a la jornada 1 y medida 2 analizador que es la jornada 2 respectivamente y finalmente el promedio de ambas.

La frecuencia de la portadora es 1.914 Ghz con una potencia de 20 dBm, se procedió con la adquisición de datos por la autopista que delimita el edificio, existe justo en frente un edificio de las mismas características con lo cual se tenía la condición de línea de vista después de este obstáculo, esta ruta levemente inclinada será importante para determinar el funcionamiento de la herramienta frente a situaciones como ésta. Se podrá verificar en el análisis de resultados si la señal aumenta al sortear el obstáculo.

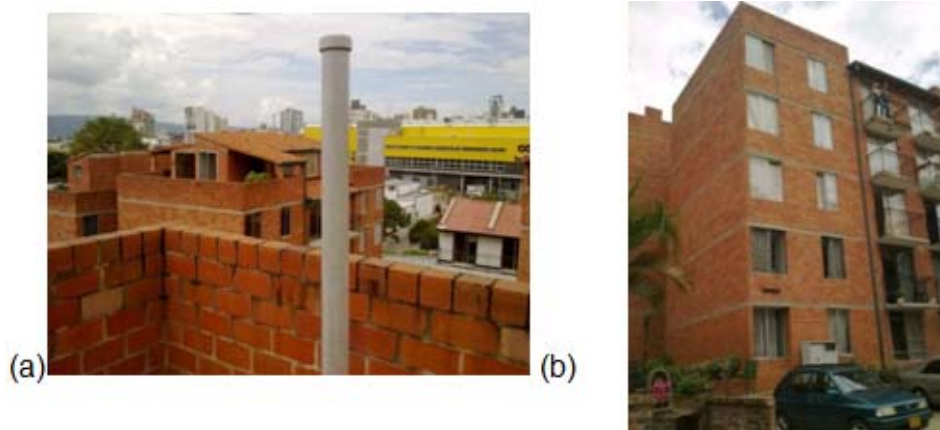


Figura 24 (a) Antena trasmisora. (b) Edificio en donde se situó la antena.

	<b>Jornada 1</b>	<b>Jornada 2</b>
<b>Horario</b>	Medio día - tarde	Tarde
<b>Día</b>	Miércoles, 13 de octubre.	Viernes, 12 de noviembre
<b>Temperatura</b>	Nubes y Claros 26 °C	ligera llovizna 20°C
<b>Humedad</b>	69 %	88 %
<b>Presión</b>	1015.6 mb	1014.6 mb

El gráfico siguiente, es decir la Figura 25 presenta el comportamiento de los niveles de potencia a lo largo del sector 2, es decir en los 47 puntos, en color azul los datos adquiridos en la jornada 1, en color rojo los datos que se tienen de la jornada 2.

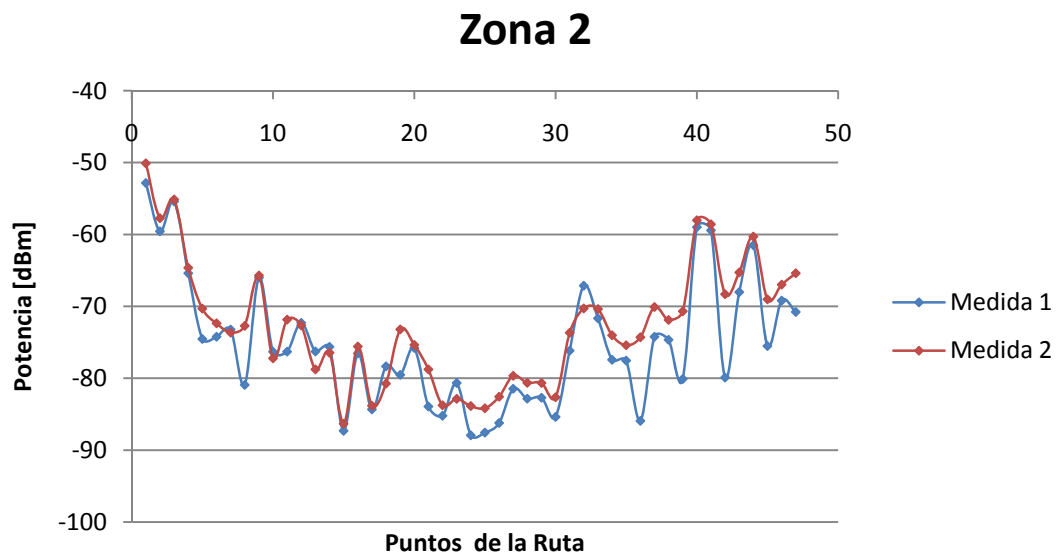


Figura 25 Mediciones espectro zona 2

Las medidas y gráficas por jornada y sector se encuentran en el grupo de investigación puesto que son gran cantidad de archivos. En el Geoportal se

encuentran los puntos de las rutas realizadas, en la siguiente figura se muestran las rutas 1 y 2 para la zona 2 (La Concordia). Así mismo la ubicación de la antena.

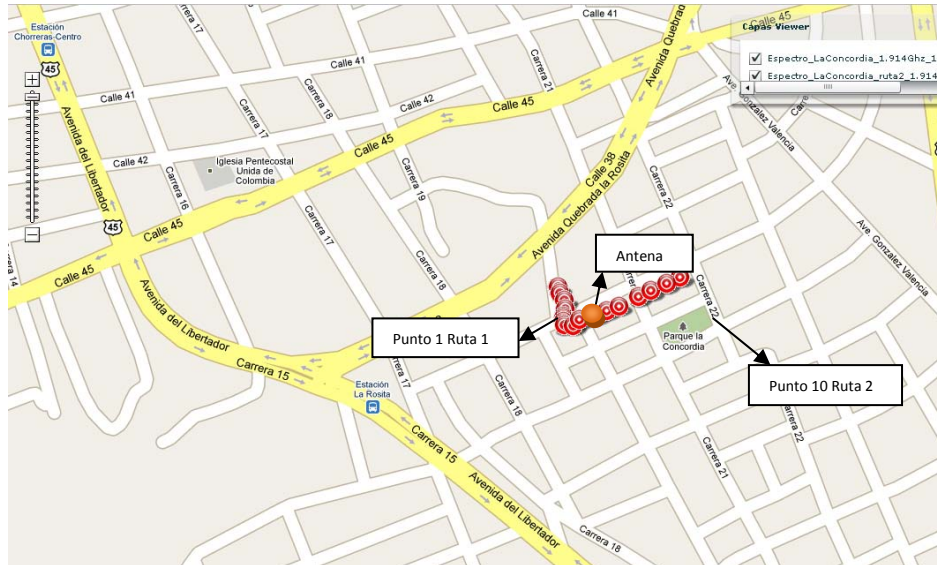


Figura26 Rutas de la zona 2.

**5.1.3. Zona 3 Sotomayor:** Esta zona corresponde a Sotomayor, en esta ocasión no se genera señal, sino se hace el estudio con los datos que se tienen de las antenas Tigo, uno de los factores que se tuvo en cuenta para elegir cual zona medir, se basó en el hecho de tener lugares sensibles cercanos a la antena, en este caso se encontraba el Colegio San Pedro y una Iglesia muy cercanos a la antena, por eso se decidió elegirla como punto de medida, además un importante criterio es la densidad de árboles que se encuentran en la zona, de forma que se pueda mirar si la herramienta está apta para esta clase de regiones o no, también las rutas cercanas a la estación base cuentan con varios cruces de vías, debido a que esta zona se midió en simultáneo con radiación entre punto y punto existía una diferencia en tiempo de al menos 10 minutos, por lo cual la labor fue mucho más demorada, para tener mediciones mucho más aseguradas se realizaron con equipos especializados y software que es utilizado por la empresa Tigo para ejecutar esta labor en su empresa.

Sin duda alguna, la mayor de las características que se quería abordar en esta zona era el tráfico de automóviles. De igual manera, se destaca por su condición parcial de NLOS hacia BS3, ya que sólo sobre un tramo del trayecto existía línea de vista.



Figura 27 (a) Sitio sensibles, iglesia. (b) Antena Tigo, Sotomayor

El software utilizado se llama TEMS Investigation 11.0.3 Data Collection perteneciente a la empresa Tigo, el cual se complementa con un celular especialmente adaptado a la herramienta y un Gps usado para geo-referenciar la posición. La interfaz de la herramienta podemos visualizarla en la figura 28. Las antenas son representadas en color blanco y la ruta es marcada a lo largo del recorrido con puntos de diferentes colores dependiendo el valor o nivel de señal que se obtenga en el mismo, el rango de valores que maneja cada color está definido por el fabricante de la herramienta.

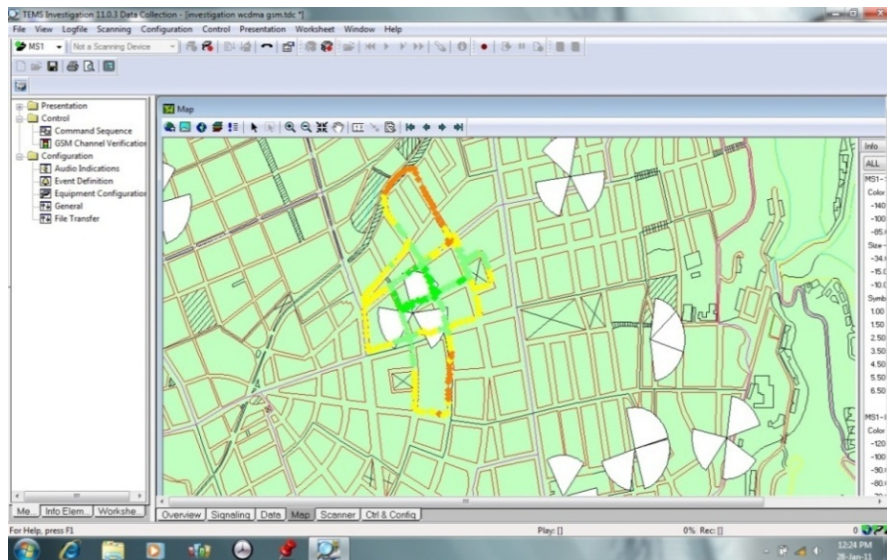


Figura 28 Software TEMS Investigation 11.0.3

	<b>Jornada 1</b>	<b>Jornada 2</b>
<b>Horario</b>	Mañana	Tarde-noche
<b>Dia</b>	Sábado, 16 de octubre	Viernes, 28 de enero
<b>Temperatura</b>	Nubes y claros 24 °C	Despejado 23 °C
<b>Humedad</b>	83 %	73%
<b>Presión</b>	1019 mb	1016 mb

A lo largo de estas jornadas se pudieron realizar mediciones en un total de 3742 puntos, que se tabulan en tablas a final del libro como anexo por la gran cantidad de puntos medidos, las dos tomas de mediciones sobre la misma ruta son exportadas por medio de la herramienta Arcgis y se visualizan en la gráfica 29.

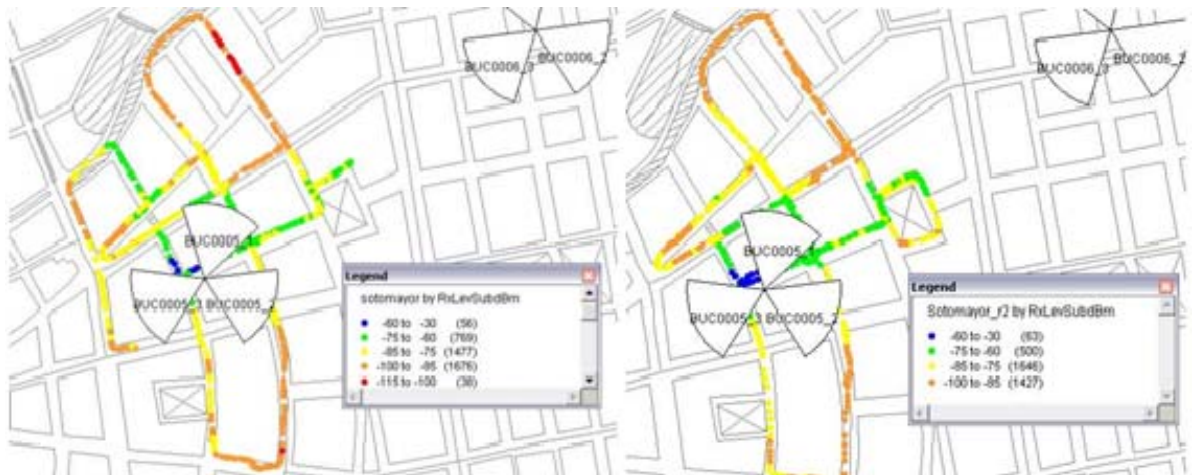


Figura 29 Recorrido Jornada 1 y Jornada 2 Sotomayor.

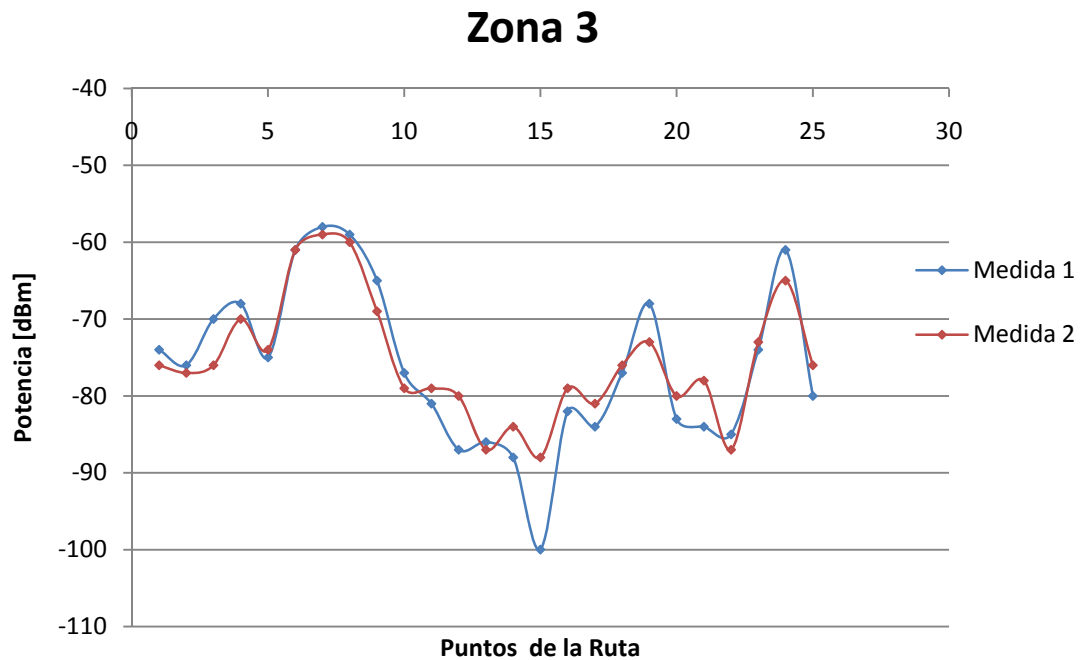


Figura 30 Mediciones espectro zona 3

#### 5.1.4. Zona 4 El Prado:

La última región se eligió por la forma de sus calles, es decir es una zona en la que la cuadrícula de calles y carreras está perfectamente definida, prototipo que se usará para saber si los niveles de señal mejoran frente a estas situaciones,

adicionalmente es un lugar de alta densidad residencial, pues existe una gran cantidad de edificios a lo largo de todo el recorrido, sin embargo la antena o radio base se encuentra ubicada en la parte superior de uno de los edificios más altos, también cabe resaltar que sus coordenadas son de fácil ubicación en el mapa con el que se realizan las simulaciones. En la gran mayoría de ruta se cuenta con (LOS), el sector asociado al recorrido es BUC0006\_1 correspondiente a telefonía Tigo, la portadora es la 552 que es la portadora que se encuentra más hacia el norte de las tres existentes en dicho sector.

Se tomaron datos en 4420 puntos de la ruta, se ejecutaron dos campañas para este sector de forma que al finalizar todas las mediciones se obtuvieron 8840 datos para el barrio El Prado, que caracterizan el área en el rango de interés. Se busca reducir los errores que puedan existir en los datos experimentales, por lo cual se ejecutaron dos jornadas de medición bajo diferentes condiciones climáticas y atmosféricas, los niveles de señal que corresponden a cada estación se pueden encontrar en la tabla del anexo A. La siguiente figura muestra los puntos de medidas en la zona 4 (El Prado).

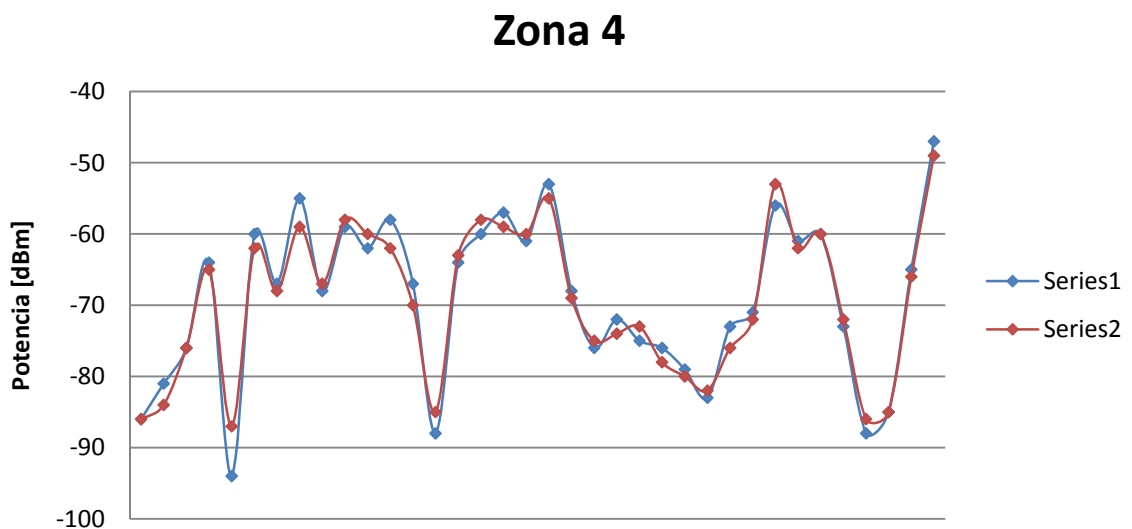


Figura 31 Mediciones espectro zona 4

Las jornadas realizadas en el sector se muestran en la figura 32, corresponden a las dos tomas de mediciones sobre la misma ruta que son exportadas mediante Arcgis. Tanto en la zona anterior como en ésta, cada punto de color representa un nivel de señal diferente:



Figura 32 Recorrido Jornada 1 y Jornada 2 El Prado

- 30 a -60 dBm = ●
- 60 a -75 dBm = ●
- 75 a -85 dBm = ●
- 85 a -100 dBm = ●
- 100 a -115 dBm = ●

	<b>Jornada 1</b>	<b>Jornada 2</b>
<b>Horario</b>	Mañana	Tarde
<b>Día</b>	Viernes, 28 de enero	Sábado, 29 de enero
<b>Temperatura</b>	Nubes y claros 22 °C	Despejado 23 °C
<b>Humedad</b>	83 %	73%

**Presión**

1019 mb

1016 mb

## **5.2. MEDICIONES DE RADIACIÓN EN ZONAS DE BUCARAMANGA**

Las medidas fueron realizadas en campo lejano, bastando para ello una sonda de campo eléctrico de banda ancha, en los emplazamientos de radiodifusión AM los niveles medidos resultaban más significativos, las medidas fueron todas en campo lejano, debido a la altura de suspensión de las antenas, y a los vallados circundantes a las torres lo que resultaba en una distancia de alejamiento suficiente.

Para el desarrollo de mediciones de radiaciones no ionizantes se utiliza normas internacionales reconocidas, las cuales ayudan a solventar la correcta funcionalidad de las mismas. Entre las más reconocidas y adoptadas se encuentra la Recomendación generada por la ICNIRP para limitar la exposición a campos eléctricos, magnéticos y electromagnéticos, al igual que las recomendaciones ITU-T K.52 E ITU-T K.61 expedidas por la Unión Internacional de Telecomunicaciones.

Luego de realizar la lectura correspondiente de las normas UIT-T k.52, se lista a continuación (tabla 1) los Límites de referencia ICNIRP que competen para las frecuencias utilizadas durante la medición de radiación no ionizante.

<b>TIPO DE EXPOSICIÓN</b>	<b>GAMA DE FRECUENCIAS</b>	<b>INTENSIDAD DE CAMPO ELÉCTRICO [V/m]</b>	<b>DENSIDAD DE POTENCIA [W/m<sup>2</sup>]</b>
Ocupacional	10-400 MHz	61	10
	400-2000 MHz	$3f^{1/2}$	$f/40$
	2-300 GHz	137	50
	10-400 MHz	28	2

Público en General	400-2000 MHz	$1,375f^{1/2}$	$f/200$
	2-300 GHz	61	10

Tabla 1 Límites de Referencia para radiación no ionizante.

**5.2.1. Zona 1 Sotomayor:** Se selecciona como primera zona, pues se tuvo en cuenta un lugar de la ciudad de donde se tuviera acceso a información de algunas antenas de telefonía móvil, además que en una etapa previa de inspección del lugar, se notó la cercanía de lugares públicos y sensibles como lo es el Colegio San Pedro Claver, restaurantes y la Iglesia a la antena de Tigo, de igual forma un parámetro relevante tuvo lugar en la lectura de bibliografía y antecedentes en el grupo, puesto que ya se han realizados mediciones de este tipo en zonas como: Uis, Provenza, cañaveral, aeropuerto, alto de los padres y los comuneros. Luego en la base de datos que busca tener Radiogis hacen falta zonas como ésta, al igual que antes no se contaba con información directamente de las empresas de telefonía por lo cual realizarla en un sector como Sotomayor de donde se cuenta con plena información es de carácter vital.

Cabe destacar que la cantidad de puntos de medición para la radiación no ionizante con respecto al número de estaciones medidas para el espectro radioeléctrico, es mucho menor debido a que el tiempo necesario en cada estación para esta parte del trabajo es de 6 minutos según norma UIT-T k.52. Luego la logística, la disponibilidad de equipos, así como la batería de los mismos dan lugar a un número menor de estaciones.

Ruta: 1	
Cantidad de estaciones a medir: 9	
Intervalo de captura: 4s	
Tipo de Medición: Densidad de potencia,	
<b>ANTENA:</b> 1106416,76 1279063,18	
<b>P</b>	<b>DENSIDAD DE POTENCIA</b>

U N T O	COORDENADA		Valor Máximo [mW/m <sup>2</sup> ]	Valor Promedio [mW/m <sup>2</sup> ]	Valor Mínimo [mW/m <sup>2</sup> ]
	1	1106603,2	1279195,19	2,63E-5	1,637E-5
2	1106566,78	1279174,1	1,722E-5	2,150E-5	3,661E-5
3	1106556,19	1278429,69	1,999E-5	2,675E-5	3,091E-5
4	1106543,69	1279124,27	2,322E-5	3,210E-5	4,107E-5
5	1106480,77	1279097,6	3,014E-5	3,845E-5	6,969E-5
6	1106432,2	1279074,27	2,384E-5	2,9473E-5	7,094E-5
7	1106388,04	1279059,8	6,616E-5	7,759E-5	9,264E-5
8	1106402,48	1279021,11	3,738E-5	4,619E-5	1,04E-4
9	1106422,54	1278939,31	2,722E-5	3,379E-5	6,096E-5

Tabla 2 Zona 1 Sotomayor.

**5.2.2. Zona 2 Villa Helena:** La segunda zona fue elegida pues allí se encuentra una antena de emisora AM, que es un foco bastante interesante por medir, fue posible gracias a que las coordenadas de dicho lugar se encuentran disponibles en el mapa obtenido para implementar en Cellgis, y al mismo tiempo a que esta ubicación y la información relevante de la antena fueron suministradas por el gerente de la emisora, bajo normas de confidencialidad.

La emisora de Am que se analiza es Lemas de Colombia localizada en Villa Helena del sur, a una frecuencia de operación de 1390 MHz.



Figura 33 (a)Antena Am y equipo narda recibiendo los datos. (b).Antena Am, Lemas de Colombia.

Ruta: 1					
Cantidad de estaciones a medir: 8					
Intervalo de captura: 4s					
Tipo de Medición: Densidad de potencia.					
ANTENA:					
P U N T O	COORDENADA		DENSIDAD DE POTENCIA		
			POTENCIA		
	Valor Promedio [mW/m <sup>2</sup> ]	Valor Máximo [mW/m <sup>2</sup> ]	Valor Mínimo [mW/m <sup>2</sup> ]		
1	7,081269	-73,097304	0,000110	0,000117	0,000104
2	7,080530	-73,096131	7,111E-5	9,633E-5	5,969E-5
3	7,080859	-73,096391	3,930E-5	4,522E-5	3,337E-5
4	7,081168	-73,096989	6,529E-5	7,262E-5	5,815E-5
5	7,081564	-73,096910	0,000229	0,000241	0,000197
6	7,082519	-73,097703	0,000233	0,000245	0,000220

7	7,082944	-73,097714	0,000335	0,000355	0,000314
8	7,083177	-73,097967	0,000149	0,000165	0,000140

Tabla 3 Zona 2 Villa Helena (La Cumbre).

Por medio del Geoportal puede ser visualizada la ruta seguida para esta zona, en la siguiente figura se muestran las estaciones medidas:

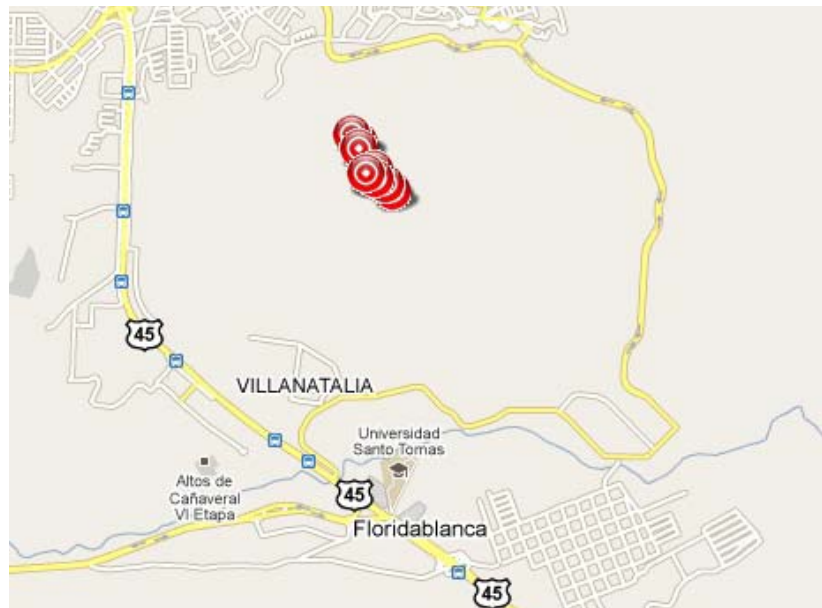


Figura 34 Estaciones de medición en la zona 2.

**5.2.3. Zona 3 Ruitoque:** En esta zona también se analiza una emisora de amplitud modulada, la versión Cellgis 1.0 que es la que actualmente se encuentra en funcionamiento, solo permite introducir mapas .asc de alturas, y aún no cuenta completamente con alguna forma de introducir mapas de terreno. La emisora es la básica de Rcn.

Ruta: 1
Cantidad de estaciones a medir: 10

Intervalo de captura: 4s					
Tipo de Medición: Campo Eléctrico					
Nivel de exigencia GPS: bajo					
ANTENA:					
PUNTO	COORDENADA		DENSIDAD DE POTENCIA POTENCIA		
			Valor Promedio [V/m]	Valor Máximo [V/m]	Valor Mínimo [V/m]
1	7,045247	-73,117817	13,910	23,130	13,500
2	7,045048	-73,117651	16,174	26,120	15,710
3	7,044717	-73,117068	16,556	17,220	14,900
4	7,044630	-73,116688	14,841	15,070	14,630
5	7,044384	-73,116189	15,509	15,740	14,570
6	7,044158	-73,115	8,241	8,337	8,097
7	7,044207	-73,115362	9,378	9,555	9,186
8	7,044103	-73,114952	8,003	8,203	7,418
9	7,044137	-73,114533	2,954	3,033	2,868
10	7,044281	-73,114152	4,895	5,044	3,389

Tabla 4 Zona 2 Ruitoque.

Para revisar de diferente forma la radiación en esta tercera zona, se cambió y en lugar de medir densidad de potencia [ $\text{mW}/\text{m}^2$ ] se mide campo eléctrico[V/m].



Figura35 Puntos de medición en Ruitoque, Emisora Rcn Am.

### 5.3. SIMULACIÓN DEL ESPECTRO RADIOELÉCTRICO EN BANDA DE TELEFONÍA MÓVIL.

Algunos de los algoritmos de propagación comúnmente utilizados son:

- Modelo Hata.
- Predicciones de propagación de DeJong
- Modelo Walfisch-Bertoni.
- COST 231 Walfisch-Ikegami.
- AndinoUis

El algoritmo de propagación AndinoUis es un importante aporte del grupo RadioGis que tiene en cuenta las posibles accidentalidades que se presentan en las zonas rurales y urbanas de la región andina. Principalmente combina el potencial del modelo COST231-Walfisch-Ikegami, modelo propuesto por el COST 231, la Teoría Uniforme de Difracción (UTD) y la difracción por múltiple filo de cuchillos con ajustes de aplicación práctica ya que ciertos parámetros tienen

mayor o menor relevancia debido a peculiaridades del relieve andino y a la necesidad de obtener simulaciones en tiempo real [2]. Cellgis nace del trabajo en equipo del grupo de investigación RadioGis, el grupo I2T de la universidad Icesi, la empresa Tesamerica y el ministerio de Comunicaciones, proyecto financiado por Colciencias, buscando desarrollar un servicio de apoyo a la gestión del espectro radioeléctrico. El grupo I2T desarrolló una versión inicial de la herramienta Cellgis, Radiogis desarrollo e integró mediante la implementación en lenguaje java el algoritmo de propagación para la región andina. En CellGis 1.0 se tiene un patrón de radiación Isotrópico, es decir modela una antena ideal que radia potencia con ganancia unitaria uniforme en todas las direcciones.

Las simulaciones se efectúan sobre un mapa raster de la ciudad de Bucaramanga, con dos tipos diferentes de antenas, trabajando en la banda de telefonía móvil, buscando así, analizar el desempeño de la herramienta sobre una ciudad con las características topográficas de la región andina; El mapa raster de la ciudad de Bucaramanga utilizado para realizar las simulaciones, se caracteriza por tener en cada celda un valor único dado por la altura de los edificios. El mapa es un archivo tipo ASCII que puede ser utilizado en Cellgis, fue posible obtenerlo al realizar una conversión del mapa facilitado con formato tipo ESRI a formato raster, conversión desarrollada con la herramienta ArcGis.

### **5.3.1. Pasos para generar la simulación.**

a) Al crear un nuevo proyecto se debe seleccionar el lugar del disco duro dónde quedará guardado el archivo del proyecto y la ubicación del mapa, recordando que el mapa es un mapa de alturas.

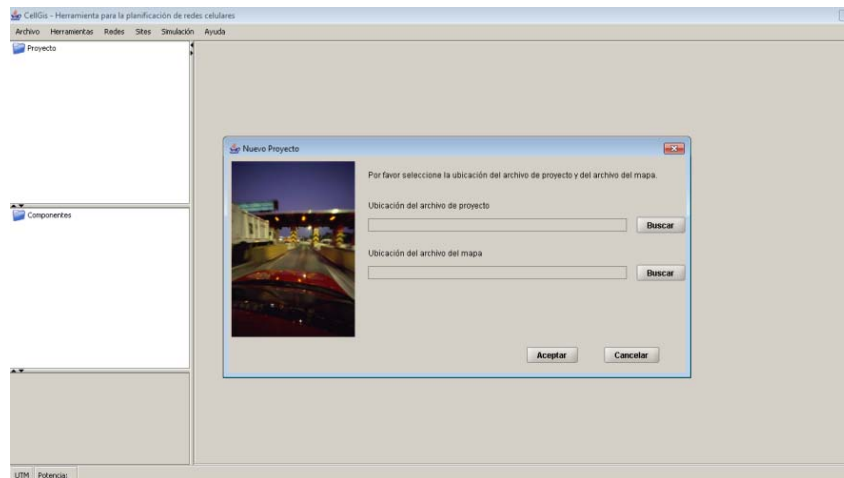


Figura 36 Interfaz Cellgis

b) Inicialmente, el proyecto no contiene ninguna red y simplemente despliega el mapa en el área de trabajo. Lo primero que debemos crear en nuestro simulador son las redes, pueden existir desde una hasta las que queramos tener sobre el mapa, posteriormente se generan los sites, los cuales solicitan un nombre único dentro del proyecto, la **altura de la torre** y la **altura del receptor** que se espera reciba la señal, es decir se digitan las alturas de las antenas que sirven de transmisor y receptor.

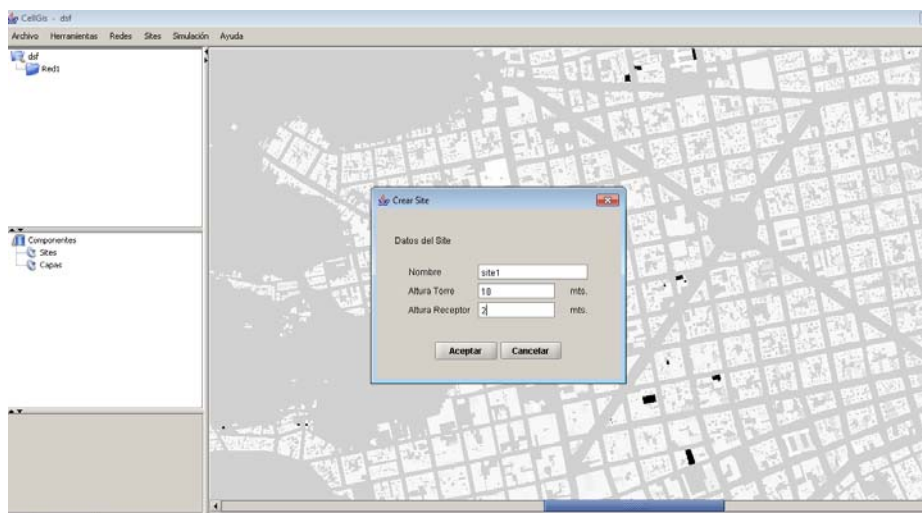


Figura 37 Ubicación de Estación Base

c) Los **sectores** son los elementos que conforman un **site**, este debe tener por lo menos un sector, cada sector nos pedirá el correspondiente site o enlace, el pire en dBm. La frecuencia en MHZ y la altura en mts de la antena transmisora, por defecto la antena es isotrópica, es decir un sector contiene la información del transmisor. Posteriormente se adiciona un site, es decir se selecciona el lugar donde será localizada la estación base, puede ser puesta por medio de un clic o con las coordenadas exactas en UTM, se representan por medio de puntos azules.

d) Finalmente, se puede simular una vez seleccionado el **sector**, y oprimido el botón **Aceptar**, se despliega la segunda parte del asistente. En esta, se debe seleccionar un **modelo de propagación** de entre los que haya disponibles, los cuadrantes sobre los que se generará cobertura, el radio máximo de alcance (en metros), y el color en el que será desplegado el resultado sobre el mapa. Este último se selecciona a través de un selector de colores que se invoca oprimiendo el botón **Color**.



Figura 38 Generación de la Cobertura

Con el modelo Andino Uis implementado en la herramienta Cellgis, el siguiente paso de importancia es realizar simulaciones de cobertura para validar su

funcionamiento o indicar falencias. Para ejecutar la simulación se requiere principalmente contar con:

Mapa: Para realizar cualquier simulación, o ejecutar los modelos de propagación en determinado software, en nuestro caso Cellgis es necesario contar con cartografía digital, dependiendo del modelo a usar. Un mapa tipo “raster” es el necesario para ser utilizado en la simulación sobre CellGis, esta imagen es de tipo matricial o bitmap. Se utiliza un mapa de Bucaramanga con extensión .asc el cual representa los valores de las alturas organizados en una matriz donde cada dato está separado por espacio y cada celda de la matriz representa una coordenada geoespacial. Este archivo inicia con la descripción de la matriz indicando el número de filas y el número de columnas, seguidamente se encuentra el valor de la coordenada geográfica que representa la celda inferior izquierda de esta matriz. En este caso se utilizó el mapa llamado edificios.asc y representa las alturas topográficas de la ciudad de Bucaramanga. Mapa obtenido para la simulación y que no puede ser utilizado con otros fines, más que el de este proyecto, pues su valor real es bastante alto, fue suministrado por un integrante del grupo Geomatica de la Uis.

Información de la Antena: Para estas mediciones se necesita gran cantidad de información específica de las antenas, como lo son altura de la antena, altura de la torre, referencia de la antena, pire, ganancia, azimut, tilt, entre otras.

El modelo de radiopropagación Andinouis [7] fue creado en el grupo de investigación Radiogis, modelo que fue generado con el fin de acoplarse a entornos como la región andina, regiones montañosas, ya que los demás algoritmos o modelos están basados en topografías tanto europeas como de estados unidos. Razón por la cual el algoritmo que se utilizará durante las simulaciones es éste.

Sobre el mapa de alturas se visualiza una capa cuadradas identificadas con un color elegidos, representa una zona de cobertura de potencia emitida por la antena. La antena emisora se localiza justo en su centro representada por un círculo azul, identificándose como nuestra fuente. Esta visualización es producida por el programa de planeación de redes celulares CellGis sobre el cual se puede ejecutar el algoritmo AndinoUIS y generar los archivos tipo raster correspondientes a cada zona de cobertura por cada antena transmisora, se genera entonces un archivo matricial de alturas para cada zona coloreada titulado “h1” y un archivo matricial con la potencia en cada punto de la zona en unidades de dBm titulado “Cobertura”. Para hallar la potencia en cada punto, es decir en las coordenadas que necesitamos, es necesario desplazar el mouse sobre el área de cobertura y visualizar en la pantalla dicho valor, o extraer mediante el comando el valor de la potencia en determinado punto.

Se realizaron dos tipos de simulaciones en Cellgis, la primera de ellas se realiza con la antena isotrópica que viene por defecto en Cellgis, sin embargo se sabe que las antenas utilizadas no son isotrópicas, por lo cual se decidió mejorar la versión de Cellgis con que se inició el proyecto y realizar una modificación al plugin, de esta forma se pudo llevar a cabo la integración del patrón de radiación de la antena en donde se especifica el grado y la atenuación, con este patrón se realiza una segunda simulación mediante Cellgis obteniendo una gran mejora en los resultados.

### **5.3.2. Zona 1 Barrio San Francisco:**

Los datos que se tendrán en cuenta para llevar a cabo la simulación de esta zona son:

- Tipo de mapa: Mapa de Bucaramanga de alturas, tipo raster.
- Altura de la torre: 18 [m]

- Altura del receptor: 2 [m]
- Frecuencia=1900[MHz]
- Pire:
  - (Pent – pérdidas en el cable +Gt)=(25 dBm-0,47dB+11 dBi)=35,53 dBm.

Tal como se muestra en la figura 39, *Cellgis* en su parte inferior izquierda tiene tres recuadros, de izquierda a derecha, muestra las coordenadas en unidades UTM-Bogotá y la potencia en el punto. Así fue como se obtuvieron los valores expuestos en el presente capítulo.



Figura 39 Visualización del valor de potencia

### 5.3.3. Zona 2: Barrio la Concordia:

Los datos a partir de los cuales se genera la simulación son:

- Tipo de mapa: Mapa de Bucaramanga de alturas, tipo raster.
- Altura de la torre: 17 [m]
- Frecuencia: 1914 [MHz]
- Altura del receptor: 2 [m]
- Pire:  
(Pent – pérdidas en el cable +Gt) =(20 dBm-0,47dB +11 dBi)=30,53 dBm.

#### 5.3.4. Zona 3: Barrio Sotomayor:

Las portadoras de GSM tienen un ancho de banda de 200kHz, dentro de la información suministrada por la empresa TIGO existe un parámetro importante para tener en cuenta, éste es el Bcch(*Broadcast Control Channel*), que nos da el número de canal absoluto de la radiofrecuencia (Arfcn), es decir especifica cierta frecuencia usada para la transmisión y la recepción dentro de redes sin hilos.

En Sotomayor según tablas de TIGO encontramos el canal para esta zona: 550. A partir de este dato, nos remitimos a la tabla Ted:Bss, en ella se encuentran las frecuencias de enlace ascendente y descendente (uplink y downlink), en nuestro caso nos interesa la frecuencia de enlace descendente: 1937.8 [MHz].

Determinada esta frecuencia se procede a buscar entre la lista suministrada la correspondiente referencia de antena para mirar su Ganancia: 17,7 [dBi]. Los datos que han de necesitarse para generar la cobertura en esta zona son:

- Tipo de mapa: Mapa de Bucaramanga de alturas, tipo raster.
- Altura de la torre: 30 [m]
- Frecuencia: 1937.8 [MHz]
- Altura del receptor: 2 [m]

- Pire:  
 $(P_{\text{ant}} + G_{\text{t}}) = (40.1658 \text{ dBm} + 17.7 \text{ dBi}) = 75.5658 \text{ [dBm]}$ .

La demás información de la antena como patrón de radiación, referencia de la antena, etc no puede ser compartido pues está bajo normas de confidencialidad. Cellgis arroja una matriz de alturas y una matriz de cobertura, en el mapa se visualiza un cuadrado de color que nos está indicando la zona en la cual estamos simulando la irradiación de la antena, así que habrá que mirar cada una de las coordenadas de las mediciones reales que fueron tomadas para realizar un análisis comparativo. La antena se ubica en el centro del recuadro.

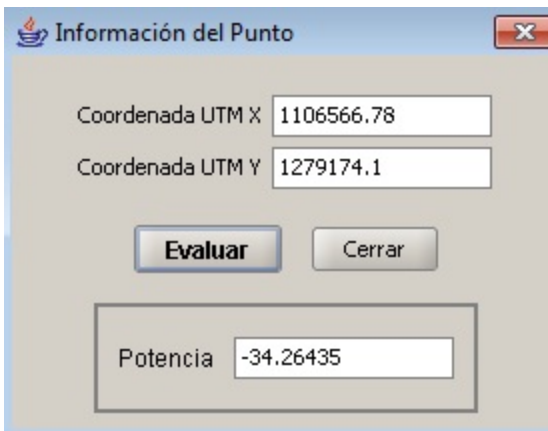


Figura 40 Información en cada Punto de Simulación

### 5.3.5. Zona 3: Barrio el Prado:

La información fundamental que es requerida para realizar la simulación de este sector es:

- Tipo de mapa: Mapa de Bucaramanga de alturas, tipo raster.
- Altura de la torre: 45 [m]
- Frecuencia: 1938.2 [MHz]
- Altura del receptor: 2 [m]
- Pire:

$$(P_{\text{ant}}+G_{\text{t}})=(58,2 \text{ dBm}+17,7\text{dBi})=75,5658 \text{ [dBm]}.$$

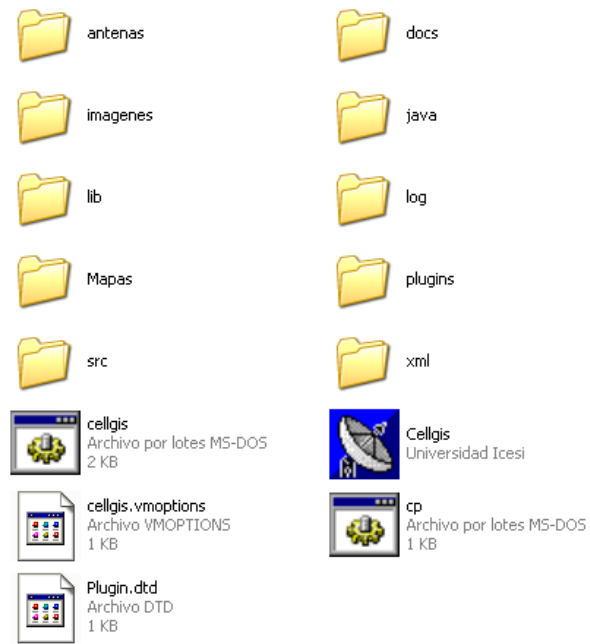
Para la simulación tanto de la zona anterior como de ésta es importante no equivocarnos en la selección correcta de la frecuencia a usar, debido a que a lo largo de toda la ruta se debe estar enganchado o realizar el *attach* a la misma Bcch para mitigar errores que se puedan incurrir en el momento en que se comience a variar de sector de enganche para el celular..

#### **5.4. MEJORAS EN LA SIMULACIÓN.**

Las primeras simulaciones ejecutadas mediante la herramienta *Cellgis 1.0* arrojan diferencias muy grandes como se visualiza en las tablas correspondientes en el anexo B, fueron realizadas con el patrón de radiación de una antena isotrópica, pues en el programa viene definido por los diseñadores de la herramienta este patrón de radiación, y se define como una antena que radía energía uniformemente en todas las direcciones. Debido al error tan significativo que se encontró para esta clase de simulación, se procedió a generar un complemento que pudiera incluir el patrón de radiación de diferentes antenas, para garantizar así que la generación de que la cobertura tenga características de fidelidad respecto de la que se encuentra realmente instalada.

En la carpeta antenas de la figura 41 se anexan los patrones de radiación de los tres tipos de antenas utilizados en este proyecto, cada uno de ellos cuenta con el nombre de la antena respectiva, el tilt, la frecuencia y la ganancia. Este complemento es una aplicación que le aporta una función nueva y muy específica a la herramienta, de esta forma, se puede realizar una planeación de la red o simulación de una red existente con la seguridad de que se estará teniendo en cuenta las verdaderas características de la antena necesaria. Consiste en un

archivo de 360 filas por 90 columnas en el que cada celda tendrá información específica.



*Figura 41 Complemento para Patrón de Radiación*

# Capítulo 6

## 6. ANÁLISIS DE RESULTADOS

En primera instancia, se analiza que los datos obtenidos durante las mediciones de radiación no ionizante se encuentren por debajo de los niveles de referencia correspondientes a su frecuencia para la exposición poblacional a campos electromagnéticos. Posteriormente se examinarán los resultados de las medidas promedio de campo de espectro radioeléctrico comparados con las simulaciones para cada uno de los puntos.

### 6.1 VERIFICACIÓN CUMPLIMIENTO DE NORMAS PARA LAS MEDICIONES DE RADIACIÓN NO IONIZANTE.

Debido al auge del uso de las telecomunicaciones, la radiación electromagnética no ionizante que emiten y el impacto que éstas puedan producir sobre nosotros son focos de gran interés, por lo cual se realiza la verificación del cumplimiento de los límites impuestos por normativas estatales para las emisiones de radiación. Mediante las fórmulas adoptadas para los niveles máximos permitidos en Colombia se realizan los respectivos cálculos dependiendo de la zona y la frecuencia que se midió, con el fin de contrastar cada estación de medición con respecto a dicho límite.

**6.1.1. Zona Sotomayor:** La fuente analizada en esta ocasión es de telefonía móvil y la frecuencia a la cual opera es de 1937.8 [MHz], el tipo de medición realizada es Densidad de potencia por lo cual debemos remitirnos a la Tabla 1 columna correspondiente a Densidad de Potencia, un aspecto a tener en cuenta radica en

las unidades, estos límites están dados en  $[W/m^2]$ , para mediciones de esta zona se toma el valor promedio pues según la norma UIT-T k.52 es el que debemos usar para corroborar si cumple los límites impuestos. El tipo de exposición para este caso es público en general, pues en esta zona se pueden encontrar estudiantes de colegio, transeúntes, asistentes a la iglesia por la cercanía que ésta tiene con la estación base, aparte encontramos un parque aledaño. La gama de frecuencias corresponde a 400-2000 [MHz], de esta forma según la tabla 1 el límite se calcula de la siguiente forma:

$$\frac{f}{200} = 9,689 [W/m^2].$$

De los datos tomados experimentalmente se debe comparar la columna de valor promedio con respecto al límite, de esta forma el valor máximo que se obtuvo durante las mediciones es:

$$7,76E-05[mW/m^2]=0,07759[W/m^2]$$

Como se ve claramente no se supera el límite, pues los niveles de radiación están muy por debajo. De igual forma si se tuviera en cuenta el mayor valor de todos los registrados en esta zona, teniendo en cuenta que dicho nivel es:

$$1,04E-04[mW/m^2]=0,10 [W/m^2]$$

Valor que sigue siendo muy inferior al límite exigido.

## Radiación Sotomayor

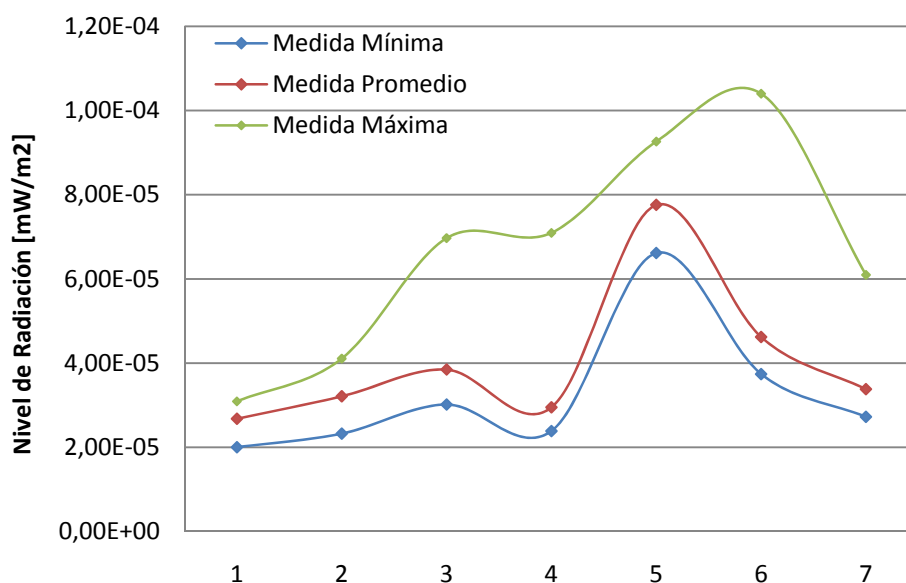


Figura 42 Mediciones de Radiación Sotomayor

**6.1.2. Zona Villa Helena:** En esta zona la fuente corresponde a una antena de emisora AM, la emisora Lemas de Colombia opera a una frecuencia de 1390 [MHz], al igual que en la zona anterior, el tipo de exposición es público en general, en este caso y aunque se encuentra retirada del centro de la ciudad, está localizada en un barrio de alta vulnerabilidad, y pocos recursos económicos. El tipo de medición que se efectuó fue Densidad de Potencia, la gama de frecuencias corresponde a 400-2000 [MHz], con éstos datos y en base a la tabla 2, el límite para este sector se calcula así:

$$\frac{f}{200} = 6.95 \text{ [W/m}^2\text{]}$$

Debido a que el sector la Cumbre (Villa Helena) es residencial, el tipo de exposición que se ajusta es público en general, de gran interés pues a pocos metros de la estación base se encuentran densidad de casas, canchas, y colegios. Se busca poder comprobar si los límites de los niveles de radiación a los cuales

están expuestos los residentes cercanos a la estación base están superando los valores permitidos por las normas que se encuentran vigentes en Colombia, para lo cual se busca si durante el recorrido existe alguna medición que supere el límite anteriormente hallado.

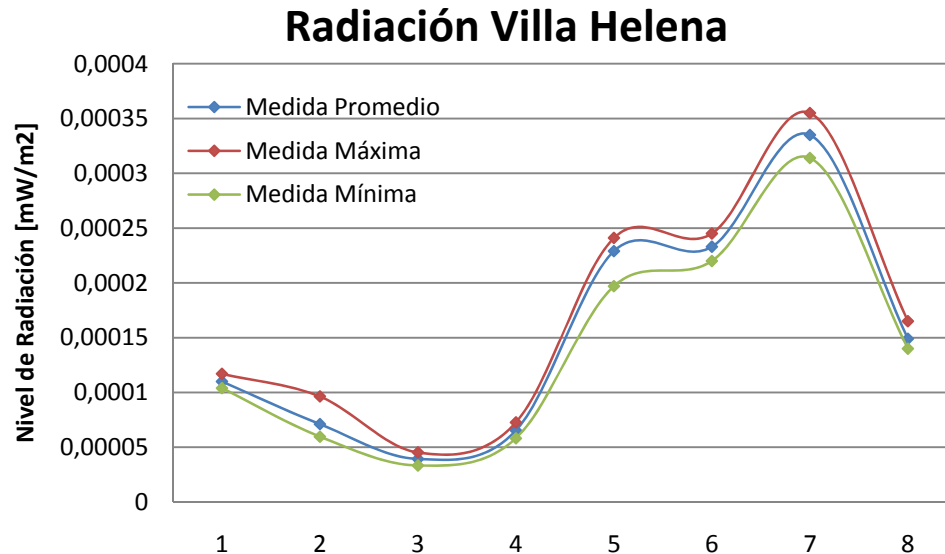


Figura43 Mediciones de Radiación Villa Helena

En ese orden de ideas, se ubica el máximo valor obtenido durante el recorrido en la columna de medición promedio que es la más propicia para ser comparada, este nivel es:

$$0,000335[\text{mW}/\text{m}^2] = 0,335 [\text{W}/\text{m}^2]$$

Gracias a las mediciones se comprueba el cumplimiento de las normas estandarizadas para Colombia, en cuanto a radiación no ionizante. Pues los valores están muy por debajo de los límites propuestos en las normas.

**6.1.3. Zona Ruitoque:** La estación Base que se analiza en esta ocasión es la Emisora Básica Rcn, la cual opera a una frecuencia de 800 [MHz] y con una potencia de 100 [kW], se encuentra localizada a 2 [km] de un colegio y a 3 [km] del

casco urbano, razones por las que fue seleccionado este sector. El tipo de exposición es público en general, se realizaron las tres zonas correspondientes a este tipo de exposición por ser uno de los focos más interesantes y de mayor preocupación en la actualidad, y sobre los que se están realizando estudios en el mundo acerca de los impactos en la salud que estas exposiciones conllevan. Las mediciones realizadas fueron de Campo eléctrico, diferente a las regiones anteriores en donde se tomó la Densidad de Potencia, esto con el fin de manejar los diferentes conceptos y límites que existen.

El límite según la norma para este caso se calcula de la siguiente manera:

$$1,375f^{1/2} = 38,89 \text{ [V/m]}$$

Para asegurar que no se han superado los límites se localizará en la tabla de los valores obtenidos en Ruitoque tanto el valor más grande de la medición promedio, como el dato máximo de radiación que se adquirió en toda la zona. Así:

Valor máximo de la medición promedio = 16,556 [V/m]

Valor máximo de todo el recorrido = 26,12 [V/m]

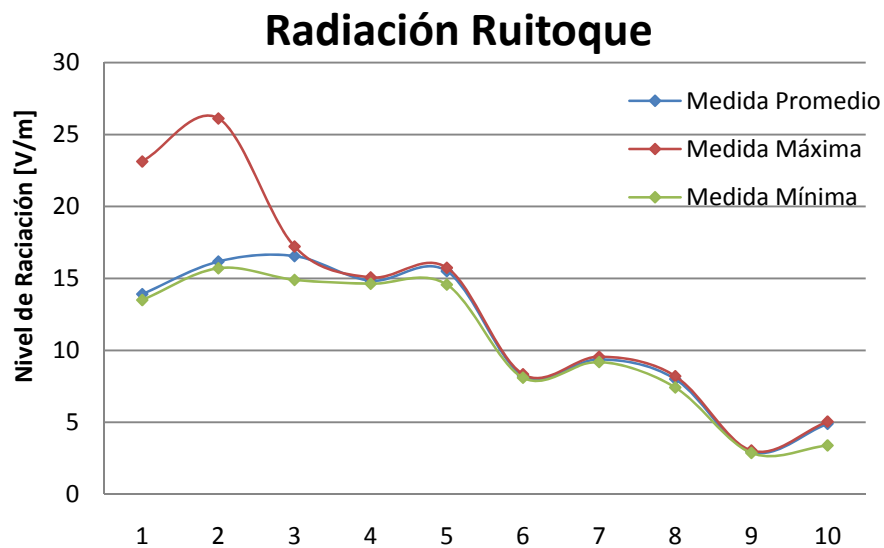


Figura 44 Mediciones de Radiación Ruitoque

Como se puede directamente ninguno de los dos valores supera el límite de referencia para la exposición a campos electromagnéticos, sin embargo se nota que existen valores significativos, y si no son controlados correctamente en algún caso podrían sobrepasar los límites establecidos.

## **6.2 ANÁLISIS ESPECTRO RADIOELÉCTRICO.**

A continuación se presenta el análisis comparativo tanto gráfico como estadístico de los resultados de la cobertura generada en las respectivas simulaciones y las mediciones tomadas. El modelo de propagación trabaja para las frecuencias a las que estamos trabajando que es la banda de telefonía móvil, alrededor de 1900 [MHz]. Las potencias de predicción de la herramienta y las mediciones de campo por cada área, se presentan en el anexo A, sin embargo en las siguientes subsecciones se comentan los datos más relevantes y análisis que se pueden realizar de los datos.

Se utilizó un promedio de 10.104 puntos de medición, cada uno ejecutado en dos diferentes jornadas para un total de 20.208 mediciones realizadas, que incluyen medidas para la banda de telefonía móvil y convergencias de vías. Este número de mediciones es suficiente para validar la herramienta propuesta, si se considera el total de datos registrados en el desarrollo de validación de otros modelos y herramientas, que oscilan en el rango de 300 a 400 estaciones.

Para cada uno de los sectores se realiza un estudio estadístico que implica un análisis de varianza, en este caso el estudio realizado es el ANOVA mediante el cual se puede corroborar si los valores obtenidos experimentalmente y los simulados varían significativamente (Anexo E).

De igual forma se procedió a obtener la diferencia entre las mediciones y las simulaciones, cabe resaltar que el nivel de señal de las rutas realizadas no se puede contrastar directamente con las simulaciones. Para las zonas 1 y 2, se deben tener en cuenta tanto la ganancia de la antena receptora, como la pérdida en los cables, para las zonas 3 y 4, las pérdidas relevantes radican en las pérdidas In Car que son 6 [dBm], de esa manera se debe recalculan los valores experimentales teniendo en cuenta las anteriores consideraciones.

### 6.2.1. San Francisco, Zona 1:

El primer gráfico (figura 45) que se presenta es la comparación entre los datos de medición y simulación mediante Cellgis sin incluir el arreglo del patrón de radiación, a simple vista se ve la gran diferencia entre ambas series, estadísticamente la diferencia máxima que se encuentra para este caso es de 49,04 [dBm] y una diferencia promedio de 14,69 [dBm], valores demasiado altos, lo cual nos indica que la simulación no está cumpliendo su objetivo, ni tampoco se está modelando de forma correcta el canal inalámbrico.

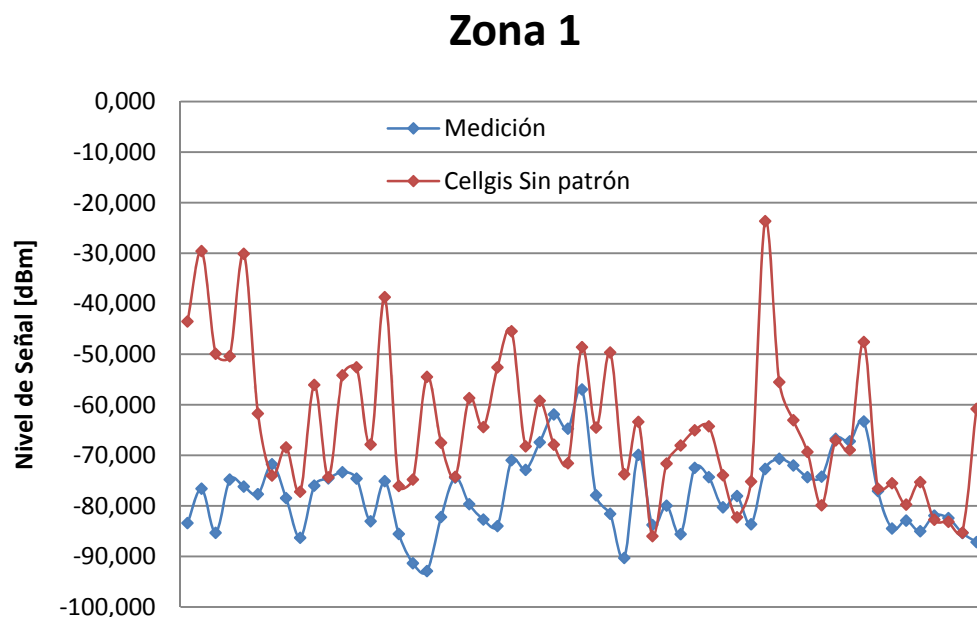


Figura 45 Comparación sector San Francisco Antena Isotrópica

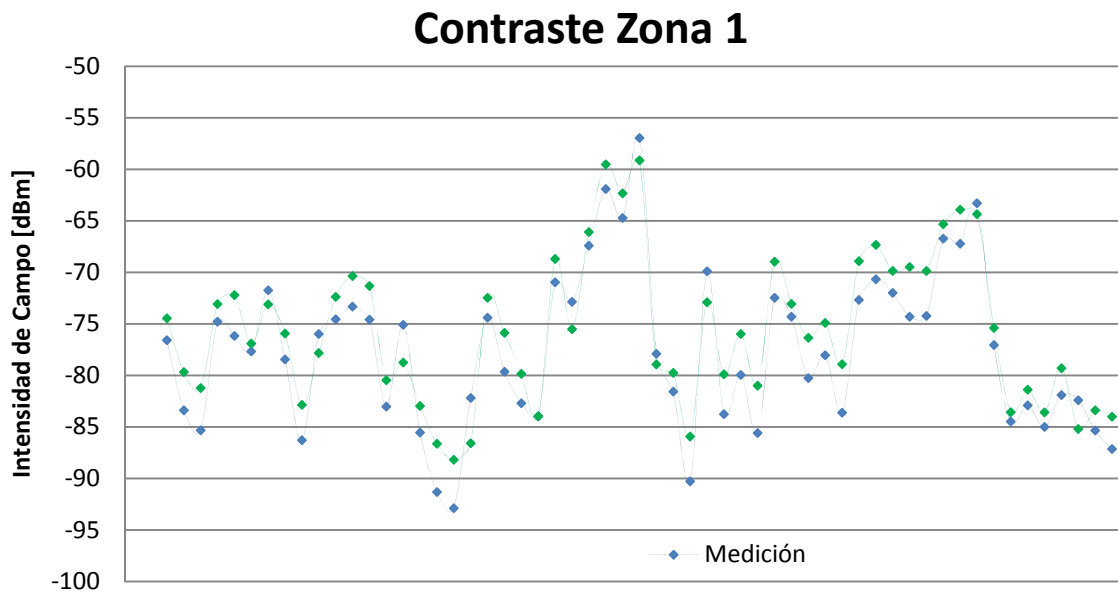


Figura 46 Contraste sector San Francisco

Mediante el gráfico 46, se puede mostrar el correcto funcionamiento de la herramienta *Cellgis*, se observa la mínima diferencia que se presenta para esta zona en la mayoría de los datos, luego de realizar una segunda simulación con el patrón de radiación implementado en la herramienta

<b>ANÁLISIS COMPARATIVO ESTADÍSTICO</b>							
	Medición	Cellgis Sim 1	$ \Delta $	Error (%)	Cellgis Sim 2	$ \Delta $	Error (%)
<b>Mediana</b>	-77,678	-67,499	10,179	13,104	-75,928	1,75	2,253
<b>Promedio</b>	-77,536	-63,923	13,613	17,557	-75,612	1,924	2,481
<b>Desviación estándar</b>	6,109	11,268	5,159	84,454	5,844	0,265	4,331
<b>OTROS PARÁMETROS</b>							

	<b>Coefficiente de Correlación</b>	<b>Δ Máx</b>	<b>Δ Mín</b>	<b>Δ promedio</b>
Cellgis con Patrón vs Medición	0,951	4,833	0,020	2,765
Cellgis sin Patrón vs Medición	0,274	49,04	0,06	14,69

Tabla 5 Parámetros estadísticos San Francisco

En el análisis estadístico de la tabla 5 se visualizan los errores encontrados en las desviaciones estándar tanto para comparaciones entre campañas de medida y simulación 1, como para las realizadas entre las mediciones y el Cellgis incluido el patrón de radiación, es decir simulación 2, se ve claramente como de un error del 84,454% en las desviaciones se obtiene un 4,331% para el producto final, razón por la cual se valida en esta zona el funcionamiento de la herramienta. La desviación estándar en este proyecto cobra gran importancia, ya que representa el alejamiento de los datos tanto de medición como de simulación con respecto a su valor medio, su importancia dentro de la mayoría de cálculos estadísticos radica en el hecho de que es un indicador preciso de la variabilidad entre grupos de números. En la tabla anterior se hace evidente que la diferencia entre las desviaciones de los datos y la simulación mejorada es de 0,265, valor bastante bajo en comparación con los obtenidos en la simulación 1 y demás tesis que abordan esta clase de herramientas.

El valor del coeficiente de correlación indica que se tiene una correlación positiva alta entre los dos resultados, referenciando como correlación positiva perfecta cuando este valor es igual a 1, que significaría una perfecta correspondencia entre ambos valores. La diferencia promedio entre las mediciones y simulaciones es de 2,765 [dBm]. El proceso del análisis estadístico de varianzas Anova para esta zona es descrito en el Anexo E, sección E.1.

### 6.2.2. La Concordia, Zona 2:

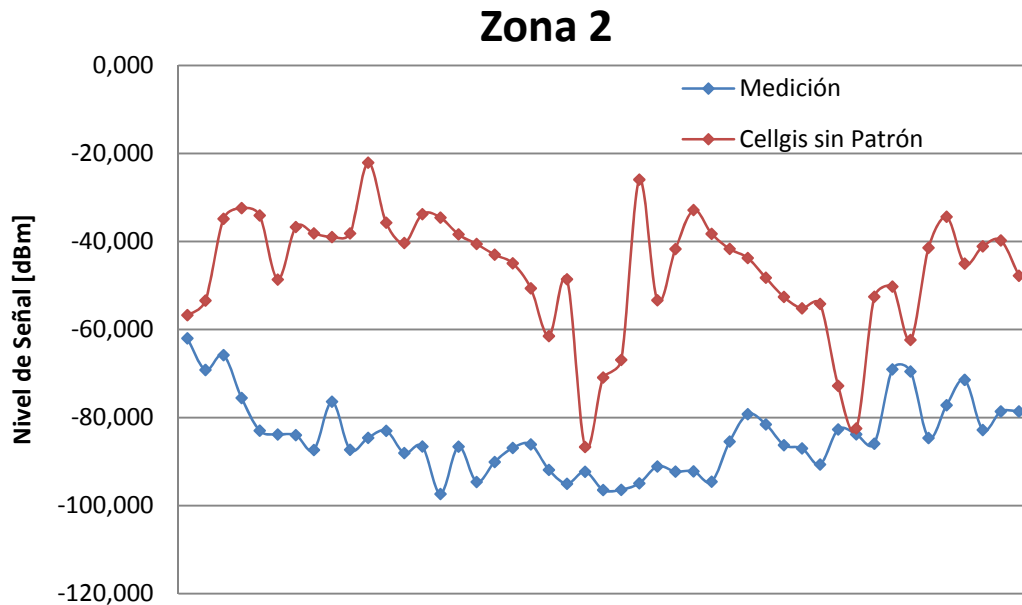


Figura 47 Comparación sector La Concordia Antena Isotrópica

Mediante la Figura 47 se puede resaltar la gran cantidad de puntos para los cuales los valores de la simulación distan significativamente de los datos experimentales, por lo cual es claro que este tipo de simulación con antena isotrópica no es la más adecuada para este fin. Estadísticamente se obtiene la máxima diferencia en el punto 29 siendo 68,99 [dBm] y un promedio de 37,90[dBm], valores inaceptables para la planificación celular acertada mediante un software como éste.

A través de la figura 48 se observa en términos generales la similitud de las variables, de todas formas existen puntos en donde la diferencia es un poco más notoria. La zona la concordia en donde se realizaron las mediciones, son rutas en las cuales el terreno es bastante irregular y existían entre la antena transmisora y la antena receptora algunos edificios más altos, por lo cual el valor de la medición no es el mismo que arroja la simulación en algunos casos. Sin embargo, la tendencia de la simulación va acorde a la tendencia de las mediciones hechas.

## Contraste Zona 2

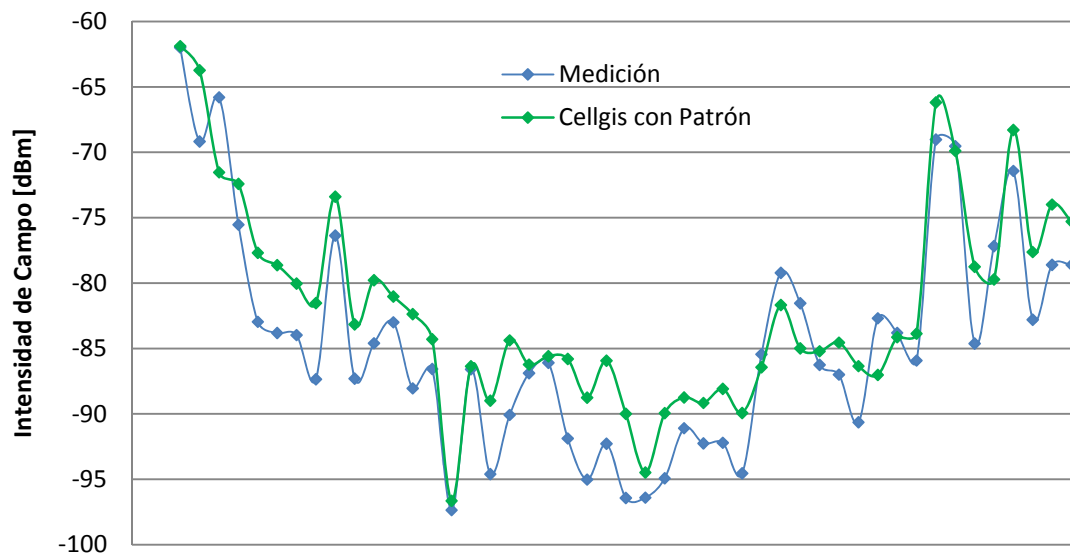


Figura 48 Contraste sector La Concordia

<b>ANÁLISIS COMPARATIVO ESTADÍSTICO</b>							
	Medición	Cellgis Sim 1	$ \Delta $	Error (%)	Cellgis Sim 2	$ \Delta $	Error (%)
Mediana	-85,920	-42,979	42,941	49,97	-84,142	1,778	2,069
Promedio	-84,457	-46,558	37,898	44,87	-81,801	2,657	3,146
Desviación estándar	6,471	13,575	7,104	109,7 9	6,079	0,392	6,063
<b>OTROS PARÁMETROS</b>							
		<b>Coefficiente de</b>	<b><math>\Delta</math> Máx</b>	<b><math>\Delta</math> Mín</b>	<b><math>\Delta</math> promedio</b>		

	Correlación			
Cellgis con Patrón vs Medición	0,934	6,44	0,11	3,52
Cellgis sin Patrón vs Medición	0,042	68,99	1,32	37,90

Tabla 6 Parámetros estadísticos La Concordia

Estadísticamente la correlación de la herramienta con las mediciones es de 0,934, significando así que ambas series de datos tienen una relación muy estrecha, la correlación indica la fuerza de una relación entre dos variables, razón por la cual se valida el adecuado desempeño del Cellgis con el complemento en esta área de Bucaramanga.

### 6.2.3. Sotomayor, Zona 3:

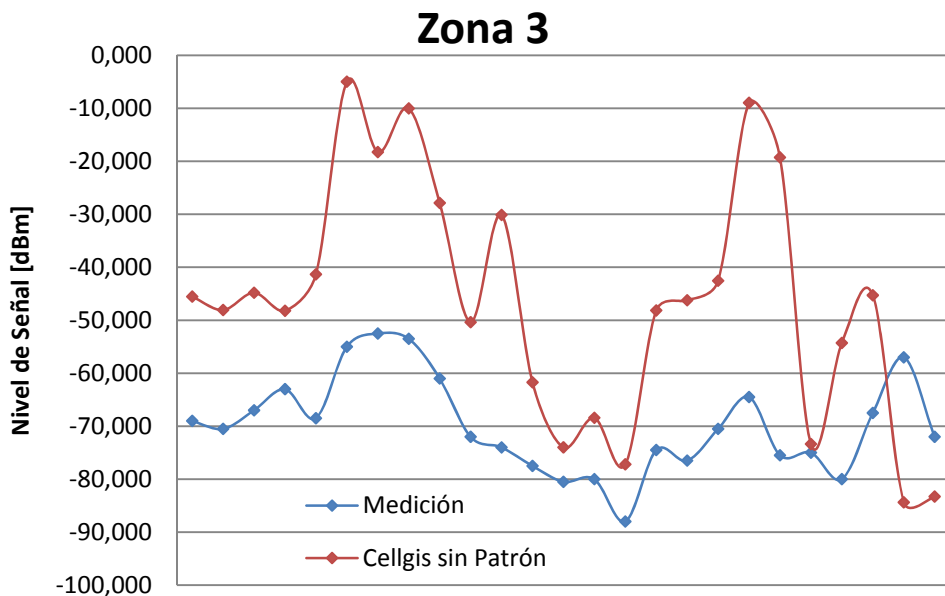


Figura 49 Comparación sector Sotomayor Antena Isotrópica

Tal como se ha venido notando en las zonas anteriores, en este sector según la figura 49, la simulación con antena isotrópica tampoco funciona, ni cobra validez en la ejecución de simulación, este hecho también tiene una gran evidencia pues el error existente es del 221%, encontrando diferencias hasta de 56,25[dBm].

La representación de los datos en la gráfica 50 permite contemplar la tendencia que tanto valores experimentales como simulados tienen, corroborando que los datos de la simulación son cercanos a los alcanzados en la práctica. En términos estadísticos el error entre las desviaciones estándar de ambas cantidades es del 10,101% que en comparación con las tres zonas anteriores es más grande, pero que en general un error del 10% en desviaciones de simulación es un valor realmente pequeño, teniendo en cuenta las modificaciones y pérdidas que existen en la vida real para el canal inalámbrico.

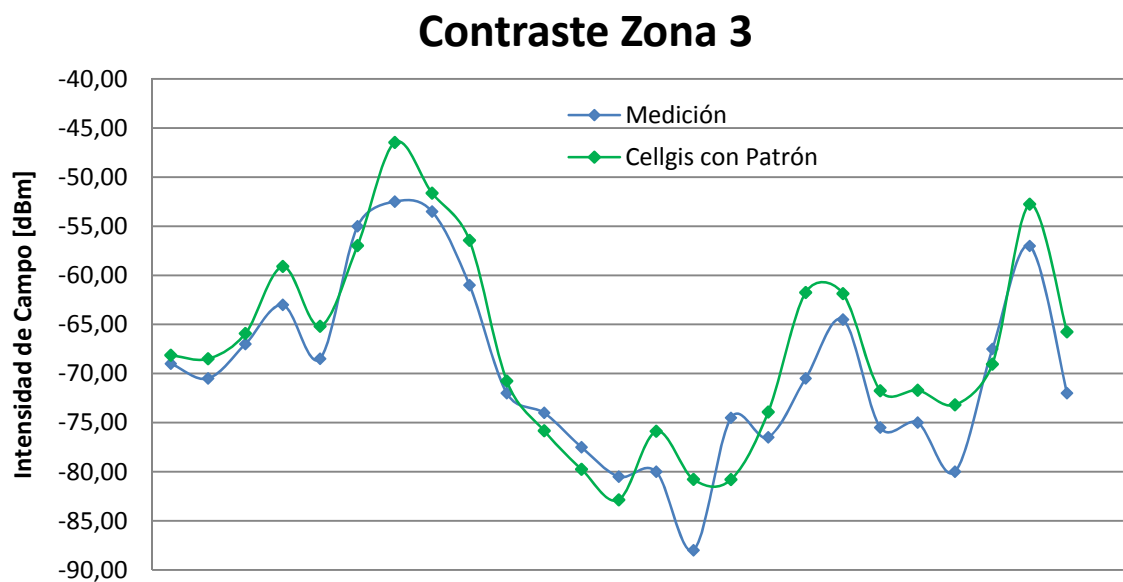


Figura 50 Contraste sector Sotomayor

<b>ANÁLISIS COMPARATIVO ESTADÍSTICO</b>							
	Medición	Cellgis Sim1	Δ	Error (%)	Cellgis Sim2	Δ	Error (%)
Mediana	-70,500	-46,234	24,266	34,419	-68,490	2,010	2,851
Promedio	-69,800	-46,264	23,536	33,719	-67,466	2,334	3,343
Desviación estándar	7,144	22,983	15,839	221,71	7,866	0,722	10,101
<b>OTROS PARÁMETROS</b>							
	<b>Coefficiente de Correlación</b>		<b>Δ Máx</b>	<b>Δ Mín</b>	<b>Δ promedio</b>		
Cellgis con Patrón vs Medición	0,931		8,76	0,87	3,63		
Cellgis sin Patrón vs Medición	0,571		56,25	1,63	26,63		

Tabla 7 Parámetros estadísticos Sotomayor

En esta zona vemos como a partir de la segunda estación de la medición los datos comienzan a diferir de los captados con los instrumentos, sin embargo esto se debe a la densa población de arborización que existe a partir de este punto en esta zona. La tendencia de los resultados sin embargo, sigue la curva de las mediciones reales.

Basándose en el coeficiente de correlación que fue hallado para el área de Sotomayor 0,931, se puede verificar la buena correlación existente entre ambas series de valores. Aunque la diferencia máxima o delta máximo que se encontró

en el contraste de cada estación (Anexo A) es de 8,76, cabe aclarar que este valor se pertenece a solo una de las estaciones y no a gran cantidad de datos.

#### 6.2.4. El Prado, Zona 4:

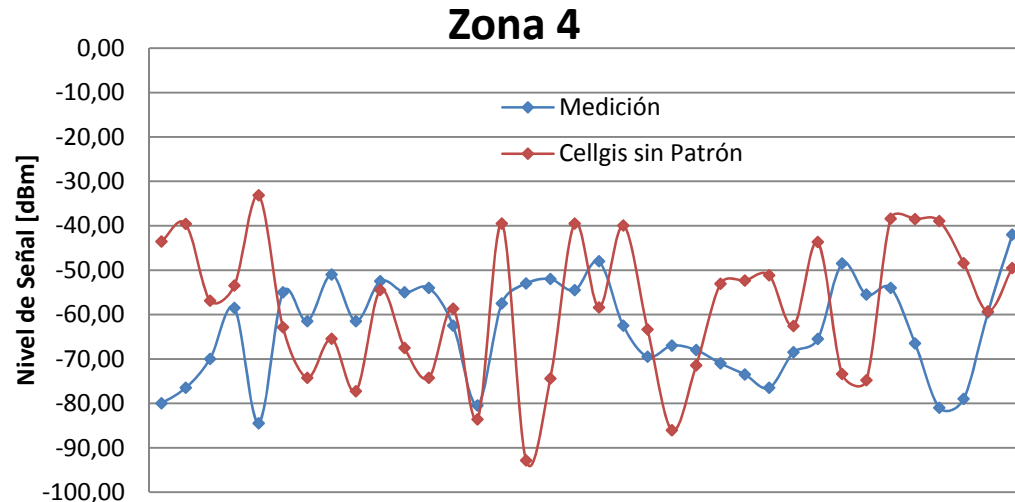


Figura 51 Comparación sector El Prado Antena Isotrópica

El coeficiente de correlación hallado para la figura 51 es de -0,293, por lo cual es evidente que no existe una buena correlación entre los datos prácticos y los valores simulados, y por el contrario tiene correlación negativa. Y al igual que en las tres zonas anteriores la disimilitud entre las mediciones llega hasta los 51,39 [dBm].

## Contraste Zona 4

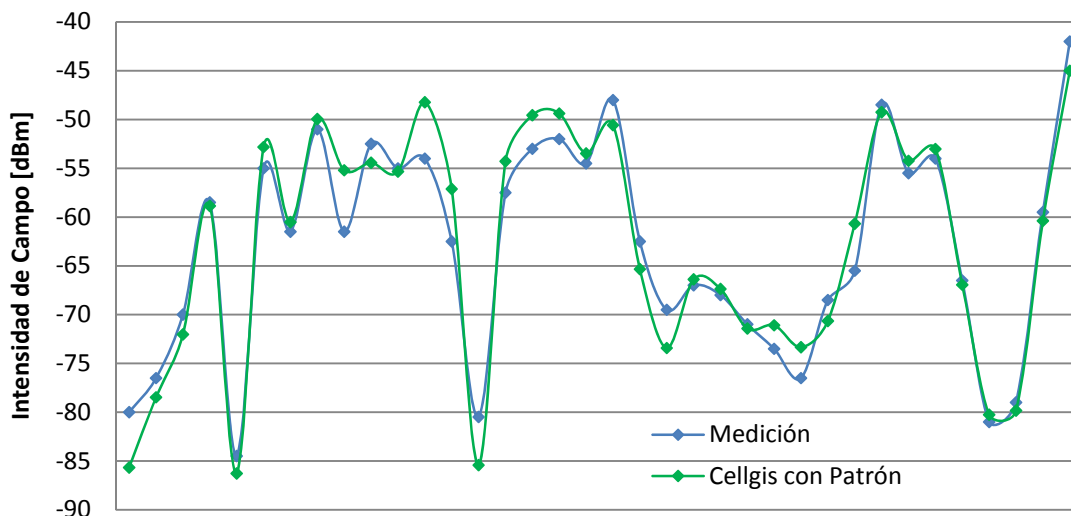


Figura 52 Contraste sector El Prado

Con base en la representación gráfica de la medición y simulación (Figura 52), se puede distinguir de forma clara la semejanza entre ambas, permitiendo comprobar que la herramienta arroja resultados cercanos a los dados por la adquisición de datos.

<b>ANÁLISIS COMPARATIVO ESTADÍSTICO</b>							
	Medición	Cellgis Antena Isotrópica	$ \Delta $	Error (%)	Cellgis con Patrón	$ \Delta $	Error (%)
<b>Mediana</b>	-62,000	-57,633	4,367	7,043	-60,450	1,550	2,500
Promedio	-63,222	-58,168	5,053	7,993	-62,955	0,267	0,423
Desviación estándar	9,219	15,637	6,418	69,619	10,373	1,154	12,520
<b>OTROS PARÁMETROS</b>							
		Coeficiente de	$\Delta$ Máx	$\Delta$ Mín	$\Delta$ promedio		

	<b>Correlación</b>			
Cellgis con Patrón vs Medición	0,972	6,30	0,34	2,32
Cellgis sin Patrón vs Medición	-0,293	51,39	0,21	18,13

Tabla 8 Parámetros estadísticos El Prado

En este sector el coeficiente de correlación de 0,972 nos asegura una muy buena relación entre las series de datos, ya que el valor del coeficiente es elevado, a lo cual se denomina correlación fuerte.

## CONCLUSIONES

Mediante los datos adquiridos se ha comprobado que en los emplazamientos de telefonía, no se encontró ningún punto de medida donde se registre suficiente potencia promediada como para superar el umbral definido por las normas. Todos los datos obtenidos para telefonía móvil son demasiado pequeños comparado con su límite permitido.

En las fuentes de radiodifusión AM las medidas fueron todas en campo lejano, debido a la altura de suspensión de las antenas, y a los vallados circundantes a las torres lo que resultaba en una distancia de alejamiento suficiente, los niveles medidos resultaban más significativos que para el caso de telefonía móvil, por lo cual es importante realizar constantes monitoreos sobre esta clase de estaciones base con el fin de corroborar que se estén cumpliendo las normas establecidas.

Un factor bastante influyente en la desviación de las simulaciones con respecto a las medidas, es atribuida al gps, pues el existente en Radiogis es un gps con error de hasta 5 [m], la exactitud de las coordenadas geográficas de cada sitio de medición depende directamente del GPS utilizado, de las condiciones climáticas de forma que el margen de error en la lectura del gps es variable, Cellgis es una herramienta en la cual dependiendo de la coordenada geográfica a consultar nos arroja una potencia dada, es así como la exactitud de las coordenadas en el punto de medición es vital, pues en los resultados de la simulación con solo cambiar un metro en la posición, la diferencia entre los valores de potencia de un lugar a otro pueden ser significativas. De forma que si la ubicación de una estación medida está desplazada de la realidad, los valores pueden verse gravemente afectados.

La inclusión del patrón de radiación de la antena a simular, es el factor fundamental como se pudo corroborar mediante los análisis estadísticos de

contraste las diferencias entre la simulación utilizando la antena isotrópica son muy grandes respecto a las mediciones, errores que sin duda alguna son completamente mejorados mediante el uso adecuado del patrón de radiación para cada sector.

La irregularidad en la topografía de las zonas o sectores sobre el que se realiza la medida tiene gran incidencia en los resultados obtenidos, el efecto del terreno influye de forma considerable en los resultados, es decir una de las posibles causas de la diferencia en los resultados de las simulaciones con las medidas realizadas es debida a la zona de medición. Bucaramanga no es una ciudad completamente plana por lo que la geografía afecta los resultados, si se quiere hacer predicciones en regiones montañosas se debe implementar un algoritmo que pueda simular los efectos del terreno, posiblemente usando una aproximación por difracción de cilindros, reflexión con la tierra y otros efectos que hoy en día con la capacidad computacional existente pueden llegar a ser igualmente eficientes.

Para la creación y puesta en funcionamiento de Servicios Basados en Localización (LBS) que permitan monitorear automática y continuamente los niveles de radiación electromagnética y verificar el cumplimiento de la recomendación Internacional UIT-T. K52, debe primero validarse la versión siguiente de Cellgis 2.0 para poder implementarlo, puesto que la siguiente versión contará con modelos que mejoraran significativamente los resultados obtenidos con Cellgis 1.0.

Como se puede visualizar en las gráficas obtenidas de contraste para niveles de potencia, en algunas rutas los resultados obtenidos en comparación con los valores simulados son más óptimos que para otras. Esto tiene su explicación, tanto en el desnivel de terreno, como en los cruces de las calles, pues éste es el comportamiento que tiene el modelo Andinouis por defecto. Este modelo tiene su zona crítica y obtiene un mayor error en sitios en donde convergen las calles.

En el barrio Sotomayor, se ve una diferencia notable entre los valores, pero cabe resaltar que gran parte de las estaciones medidas se encuentran rodeadas de una alta densidad de vegetación y/o árboles, el modelo Andinouis y los demás modelos disponibles en Cellgis no tienen en cuenta la dispersión causada por los árboles, que es un factor relevante y de gran importancia si se requiere realizar una planificación muy cercana a la realidad. La implementación de otros algoritmos en la herramienta programados en java y que tengan en cuenta las pérdidas por esta clase de dispersión, tendrá un aporte directo en la exactitud de la predicción de los niveles de señal, de forma que el error sea aún menor.

La presencia de automóviles en los lugares de medición afectan los valores obtenidos, pues ellos reflejan la señal, sin embargo los problemas que puedan causar esta fuente de error son inevitables.

Mediante el análisis estadístico de los datos obtenidos de las Campañas de Medidas y los resultados de las simulaciones empleando las respectivas herramientas de planificación (Cellgis), se determinan diversas problemáticas que aportan ruido multiplicativo.

El ejecutar diversas campañas de medición sobre las mismas estaciones y puntos de medición, aporta repetibilidad y exactitud a los datos obtenidos, pues como vemos el canal inalámbrico es muy variante.

El path loss que se genera por la difracción que ocurre en los techos de los edificios y las montañas cobra gran importancia en el cálculo de las pérdidas por filo de cuchillo, cálculo que se ve afectado en gran medida por la distancia existente entre el transmisor y el receptor. No obstante, en presencia de múltiples obstáculos modelados por filos de cuchillo, la característica de path loss se

determina principalmente por el número de obstáculos entre la radio base y el móvil y las difracciones ocurridas en los mismos.

Es de vital importancia resaltar que las características del archivo de antenas se encuentra conformado por una matriz de 360 por 90, en donde las filas representan el azimut de la antena y las columnas son los grados de inclinación. De esta manera para cada posición de azimut e inclinación se tiene una ganancia puntual de la antena, lo que permite tener en cuenta dentro la simulación de radiopropagación las características de la antena

Un parámetro que fue tenido en cuenta durante la ejecución del proyecto, tiene lugar en el movimiento relativo entre el receptor y el transmisor, pues contribuyen fuertemente en el retardo de los rayos multicaminos, de forma que si la velocidad de los objetos que rodean es mayor a la del receptor incluso pueden dominar los efectos a pequeña escala. En todas las rutas se mantuvo una velocidad moderada.

Mediante este trabajo, se consolida la unión entre empresa y grupos de investigación del país, en nuestro caso RadioGIS, el I2T, Iemas de Colombia y Tigo, en donde todos están basando sus mayores esfuerzos e intereses en convertir a CellGis, en la herramienta más completa y de mayores características para generar diferentes servicios en las telecomunicaciones. Esto genera que la comunicación entre diferentes instituciones educativas sea mayor y que el enfoque investigativo se incremente para el desarrollo de nuevas herramientas dentro del país.

En base a los análisis realizados se concluye que los resultados son aceptables y consistentes dentro de las especificaciones que se esperaban obtener, sin embargo existen algunos factores que deberían tenerse en cuenta, bien sea integrando otros modelos de propagación que los tenga en cuenta o modificando

el modelo AndinoUis; Estos factores de gran importancia son tener en cuenta una constante que modele los materiales de los diferentes edificios, la temperatura o condiciones climáticas, pues todo esto afecta el comportamiento del canal y así mismo el valor de los niveles de señal que se obtienen.

Las zonas que más se acercaron a la simulación fueron San Francisco y El Prado, según los estudios estadísticos que se realizaron el coeficiente de correlación para estos sectores son los más altos, además las diferencias que se encontraron entre las mediciones y simulaciones son bajas teniendo diferencias promedio para San Francisco de 1,924 [dBm] y para El Prado de 0,26 [dBm], esto debido a que son sectores más planos y que tienen una ruta mejor definida, para los cuales el algoritmo AndinoUis funciona perfectamente. En términos generales las 4 zonas satisfacen todos los indicadores estadísticos, de forma favorable para determinar que la herramienta está en condiciones para realizar planificación celular. Los sectores La Concordia y Sotomayor tienen diferencias promedio un poco mayores del orden de 2,05 [dBm] y 2,3 [dBm] respectivamente, pero que siguen siendo aceptables, estas diferencias son debido a que el terreno es más escarpado, la zona es más densa en árboles y cuenta con abundantes obstáculos.

Finalmente, todos los objetivos planteados en el plan presentado para el desarrollo de esta investigación se cumplieron satisfactoriamente.

## RECOMENDACIONES

Teniendo en cuenta la experiencia adquirida a través del desarrollo del presente trabajo investigativo se establecen algunas recomendaciones que son cruciales para el mejoramiento de las simulaciones realizadas con la herramienta.

- Se debe contar con un equipo GPS de más precisión, pues al momento de visualizar en la herramienta los niveles de potencia, es de vital importancia tener la ubicación acertada del punto medido, de lo contrario este efecto contribuye al incremento del error obtenido.
- Para obtener resultados más precisos se debe conocer el patrón de radiación de la antena transmisora, así mismo se debe realizar la modificación del complemento de antenas con los parámetros relevantes de las estaciones base que se deseen simular.
- Como se mencionó a lo largo del trabajo, la zona en la que se realiza la medición es un parámetro a considerar al momento de evaluar los resultados, por lo cual, si se requiere hacer predicciones en regiones montañosas se debe implementar un algoritmo que pueda simular los efectos del terreno, posiblemente usando aproximación por difracción de cilindros, reflexión con la tierra y otros efectos que hoy en día con la capacidad computacional existente pueden llegar a ser igualmente eficientes.
- Uno de los factores que tiene influencia directa en el incremento de los errores típicos obtenidos, es el uso de una cartografía desactualizada, por lo cual a la hora de realizar la simulación se debe contar con la cartografía necesaria.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] C. Rodríguez, S. Muñoz, H. Ortega, "A geo-referenced measurement tool of Non-ionizing Electromagnetic radiation Levels". IEEE Latin American Conference on Communications 2009 LATINCOM. ISBN: 978-958-99032-1-6. Universidad Industrial de Santander. Grupo de Investigación en radiocomunicaciones RadioGIS, Medellín, 2009.
- [2] C. Ardila. "Herramienta de planificación celular CellGis, Manual del usuario. Universidad ICESI". Disponible en: <http://cellgis.net/downloads>.
- [3] Ayuntamiento Ciudad de Leon y Universidad de Leon Consultado 28 de enero de 2010. "Resumen Mapa de radiaciones no ionizantes de la ciudad de León". Disponible:  
[http://www.aytoleon.es/web/cms/leon/areas/medio\\_ambiente/antenas/index.jsp?actionMenu=am\\_medioambiente\\_antenas](http://www.aytoleon.es/web/cms/leon/areas/medio_ambiente/antenas/index.jsp?actionMenu=am_medioambiente_antenas).
- [4] Murillo-Fuentes, Juan J. Fórmulas de Radiopropagación en Decibelios. Sevilla, España.
- [5] Forero, Celso Andrés. Implementación de Servicio en Telecomunicaciones para Apoyo a la Gestión del Espectro Radioeléctrico.
- [6] N. A Leon, M. S Ruiz "Propuesta metodológica para evaluar las posibles afectaciones sobre la salud humana generada por radiaciones electromagnéticas producidas por la antena radar del centro nacional de aeronavegación en el aeropuerto internacional el nuevo dorado, Bogota D.C", Univeridad de la Salle, pp. 79-82, 105. 2008. Disponible:  
<http://tegra.lasalle.edu.co/dspace/handle/10185/1480>
- [7] Y. Carreño, 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.

- [8] 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
- [9] UNIÓN INTERNACIONAL DE TELECOMUNICACIONES, Recomendación UIT-T K.52. Orientación sobre el cumplimiento de los límites de exposición de las personas a los campos electromagnéticos, Febrero de 2000.
- [10] COMISIÓN REGULADORA DE COMUNICACIONES (CRT). Colombia. Informe consolidado de la cantidad de abonados del servicio de telefonía móvil celular en Colombia. <http://www.siest.gov.co/siest/>. [Citado 10 febrero 2010]
- [11] ICNIRP, Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic and electromagnetic field (up to 300 GHz).
- [12] IEEE, IEEE Standard for Safety Levels with Respect to Human Exposure to Radio Frequency Electromagnetic Fields, 3 kHz to 300 GHz Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic and electromagnetic field (up to 300 GHz).
- [13] GISGERRAM
- [14] J. Rugeles, A. Jaimes, V. Sánchez, O. Mantilla, E. Sastoque, Análisis de los límites de exposición humana a campos electromagnéticos de acuerdo a la norma UIT-K.52 para frecuencias entre 10 kHz y 3 GHz en áreas urbanas de Bucaramanga.
- [15] Díaz García, Wilson A. Proaño Salvatierra, Felipe W. *“Análisis de Mediciones de Radiaciones No Ionizantes en Ambientes Interiores y Exteriores en Predios de la ESPOL”*. Guayaquil – Ecuador.
- [16] Bengt Knave. RADIACIONES NO IONIZANTES, Riesgos generales.

## ANEXO A

### INFORMACIÓN MEDICIONES Y SIMULACIONES CON PATRÓN DE RADIACIÓN

En este anexo se encuentran las tablas correspondientes a cada una de las 4 zonas, especificando las coordenadas, la cantidad de puntos, los resultados de ambas jornadas de medición, el promediado de las dos, la medida incluyendo las pérdidas que deben ser tenidas en cuenta y el valor de nivel de señal que se obtiene de la simulación en Cellgis incluyendo el patrón de radiación y finalmente la diferencia entre estas dos últimas.

#### A.1. ZONA 1: Sector San Francisco.

punto	coordenadas		Medida 1 [dBm]	Medida 2 [dBm]	Medida Promedio [dBm]	Medida Final [dBm]	Cellgis con Patrón [dBm]	Δ
1	1,1055799453	12.803.175.584	-72,411	-73,3	-72,856	-83,386	-79,679	3,707
2	11.055.887.965	12.803.114.320	-66,89	-65,409	-66,063	-76,593	-74,457	2,136
3	11.055.643.533	12.803.185.706	-75,414	-74,176	-74,795	-85,325	-81,231	4,094
4	11.055.434.265	12.803.171.138	-64,973	-63,528	-64,251	-74,781	-73,08	1,701
5	11.054.902.902	12.803.090.151	-63,278	-68,003	-65,641	-76,171	-72,212	3,959
6	11.054.663.666	12.803.023.905	-65,626	-68,67	-67,148	-77,678	-76,916	0,762
7	11.054.405.631	12.803.143.193	-61,856	-60,575	-61,216	-71,746	-73,101	1,355
8	11.054.270.324	12.803.571.822	-67,959	-67,874	-67,917	-78,447	-75,928	2,519
9	11.054.416.130	12.803.999.190	-74,687	-76,844	-75,766	-86,296	-82,863	3,433
10	11.054.723.541	12.804.042.842	-63,485	-67,429	-65,457	-75,987	-77,825	1,838
11	11.055.251.960	12.803.768.037	-60,75	-67,285	-64,018	-74,548	-72,384	2,164
12	11.055.344.534	12.803.523.665	-60,214	-65,379	-62,797	-73,327	-70,358	2,969
13	11.055.394.903	12.803.209.769	-65,369	-62,748	-64,059	-74,589	-71,322	3,267

14	11.055.410.880	12.802.905.018	-74,169	-70,836	-72,503	-83,033	-80,465	2,568
15	11.055.463.690	12.802.597.886	-64,828	-64,311	-64,57	-75,1	-78,747	3,647
16	11.055.477.541	12.802.430.161	-75,325	-74,705	-75,015	-85,545	-82,968	2,577
17	11.056.186.719	12.802.303.822	-80,743	-80,846	-80,795	-91,325	-86,636	4,689
18	11.056.255.450	12.802.309.496	-83,777	-80,937	-82,357	-92,887	-88,183	4,704
19	11.056.399.265	12.802.808.141	-71,931	-71,404	-71,668	-82,198	-86,592	4,394
20	11.056.361.061	12.803.174.908	-62,367	-65,372	-63,87	-74,4	-72,475	1,925
21	11.056.238.730	12.803.561.164	-67,82	-70,413	-69,117	-79,647	-75,875	3,772
22	11.056.212.655	12.803.703.670	-71,283	-73,058	-72,171	-82,701	-79,85	2,851
23	11.056.127.885	12.804.031.628	-70,357	-76,539	-73,448	-83,978	-83,958	0,02
24	11.056.050.766	12.804.222.572	-62,209	-58,655	-60,432	-70,962	-68,701	2,261
25	11.056.004.785	12.804.492.849	-60,838	-63,836	-62,337	-72,867	-75,515	2,648
26	11.055.963.538	12.804.847.321	-57,52	-56,247	-56,884	-67,414	-66,092	1,322
27	11.055.881.898	12.805.146.404	-51,035	-51,718	-51,377	-61,907	-59,518	2,389
28	11.055.921.843	12.805.417.475	-55,667	-52,734	-54,201	-64,731	-62,338	2,393
29	11.055.793.617	12.805.982.533	-45,157	-47,709	-46,433	-56,963	-59,141	2,178
30	11.056.071.191	12.806.206.168	-71,132	-63,61	-67,371	-77,901	-78,937	1,036
31	11.056.374.168	12.806.315.562	-76,65	-65,419	-71,035	-81,565	-79,756	1,809
32	11.056.694.534	12.806.032.337	-80,604	-78,916	-79,76	-90,29	-85,939	4,351
33	11.056.805.240	12.805.628.852	-59,917	-58,814	-59,366	-69,896	-72,911	3,015
34	11.056.837.563	12.805.433.513	-76,403	-70,058	-73,231	-83,761	-79,895	3,866
35	11.056.936.064	12.804.995.591	-66,73	-72,115	-69,423	-79,953	-75,975	3,978
36	11.057.021.625	12.804.582.836	-72,519	-77,598	-75,059	-85,589	-80,998	4,591
37	11.057.018.103	12.804.505.404	-64,397	-59,487	-61,942	-72,472	-68,965	3,507
38	11.057.153.397	12.803.789.197	-62,689	-64,848	-63,769	-74,299	-73,068	1,231
39	11.057.170.563	12.803.504.113	-71,855	-67,632	-69,744	-80,274	-76,358	3,916
40	11.057.038.113	12.803.443.618	-71,099	-63,918	-67,509	-78,039	-74,914	3,125
41	11.056.577.238	12.803.408.862	-69,366	-76,827	-73,097	-83,627	-78,914	4,713
42	11.055.913.278	12.804.223.515	-62,411	-61,89	-62,151	-72,681	-68,914	3,767
43	11.055.738.958	12.804.227.454	-62,762	-57,531	-60,147	-70,677	-67,328	3,349
44	11.055.551.188	12.804.205.557	-62,313	-60,604	-61,459	-71,989	-69,868	2,121
45	11.056.470.874	12.804.380.754	-64,857	-62,698	-63,778	-74,308	-69,475	4,833
46	11.056.969.110	12.804.453.071	-66,217	-61,166	-63,692	-74,222	-69,858	4,364

47	11.057.379.459	12.804.581.738	-55,451	-56,937	-56,194	-66,724	-65,33	1,394
48	11.057.678.256	12.804.635.206	-57,607	-55,771	-56,689	-67,219	-63,923	3,296
49	11.057.891.902	12.804.610.457	-55,275	-50,241	-52,758	-63,288	-64,348	1,06
50	11.057.960.405	12.804.431.170	-72,259	-60,796	-66,528	-77,058	-75,384	1,674
51	11.058.049.217	12.803.931.165	-76,698	-71,184	-73,941	-84,471	-83,574	0,897
52	11.058.121.604	12.803.360.461	-69,644	-75,093	-72,369	-82,899	-81,385	1,514
53	11.058.184.694	12.803.127.703	-76,577	-72,382	-74,48	-85,01	-83,584	1,426
54	11.058.222.437	12.802.982.763	-71,237	-71,541	-71,389	-81,919	-79,302	2,617
55	11.058.308.922	12.802.421.305	-70,765	-72,989	-71,877	-82,407	-85,202	2,795
56	11.058.404.925	12.802.000.015	-78,982	-70,657	-74,82	-85,35	-83,394	1,956
57	11.058.524.698	12.801.755.205	-77,897	-75,342	-76,62	-87,15	-84,003	3,147
		<b>Promedio</b>	<b>-67,408</b>	<b>-66,607</b>		<b>-77,536</b>	<b>-75,612</b>	

## A.2. ZONA 2: La Concordia.

punto	coordenadas		Medida 1 [dBm]	Medida 2 [dBm]	Medida Promedio [dBm]	Medida Final [dBm]	Cellgis con Patrón [dBm]	Δ
1	1105785.17	1278564.9	-52,827	-50,096	-51,462	-61,992	-61,885	0,107
2	1105787.27	1278564.79	-59,559	-57,732	-58,646	-69,176	-63,739	5,437
3	1105789.27	1278557.5	-55,405	-55,13	-55,268	-65,798	-71,533	5,735
4	1105795.7	1278547.67	-65,386	-64,624	-65,005	-75,535	-72,42	3,115
5	1105797.05	1278536.28	-74,546	-70,308	-72,427	-82,957	-77,695	5,262
6	1105794.2	1278526.87	-74,223	-72,354	-73,289	-83,819	-78,631	5,188
7	1105794.09	1278523.77	-73,235	-73,653	-73,444	-83,974	-80,044	3,930
8	1105794.32	1278519.13	-80,936	-72,711	-76,824	-87,354	-81,533	5,821
9	1105794.89	1278514.7	-65,985	-65,698	-65,842	-76,372	-73,4	2,972
10	1105807.15	1278513.85	-76,325	-77,223	-76,774	-87,304	-83,163	4,141
11	1105815,53	1278521,27	-76,287	-71,85	-74,069	-84,599	-79,781	4,818
12	1105819,07	1278520,17	-72,286	-72,643	-72,465	-82,995	-81,029	1,966
13	1105839,27	1278528,18	-76,27	-78,764	-77,517	-88,047	-82,375	5,672

14	1105839,27	1278530,18	-75,637	-76,441	-76,039	-86,569	-84,294	2,275
15	1105852,41	1278534,07	-87,304	-86,343	-86,824	-97,354	-96,649	0,705
16	1105868,75	1278539,86	-76,532	-75,591	-76,062	-86,592	-86,362	0,230
17	1105894,79	1278552,74	-84,336	-83,823	-84,08	-94,61	-88,996	5,614
18	1105911,79	1278560,3	-78,336	-80,756	-79,546	-90,076	-84,379	5,697
19	1105932,32	1278569,74	-79,52	-73,202	-76,361	-86,891	-86,223	0,668
20	1105950,98	1278578,52	-75,777	-75,354	-75,566	-86,096	-85,592	0,504
21	1105646,98	1278392,77	-83,931	-78,763	-81,347	-91,877	-85,806	6,071
22	1105636,14	1278409,34	-85,211	-83,762	-84,487	-95,017	-88,763	6,254
23	1105642,25	1278421,02	-80,65	-82,863	-81,757	-92,287	-85,934	6,353
24	1105647,15	1278427,18	-87,935	-83,872	-85,904	-96,434	-89,995	6,439
25	1105686,34	1278471,2	-87,563	-84,175	-85,869	-96,399	-94,487	1,912
26	1105715,8	1278472,49	-86,227	-82,57	-84,399	-94,929	-89,948	4,981
27	1105741,89	1278474,08	-81,465	-79,659	-80,562	-91,092	-88,746	2,346
28	1105788,18	1278495,99	-82,83	-80,626	-81,728	-92,258	-89,161	3,097
29	1105879,13	1278592,65	-82,698	-80,653	-81,676	-92,206	-88,092	4,114
30	1105853,63	1278604,89	-85,385	-82,645	-84,015	-94,545	-89,933	4,612
31	1105852,36	1278624,24	-76,163	-73,663	-74,913	-85,443	-86,441	0,998
32	1105851,69	1278653,43	-67,115	-70,275	-68,695	-79,225	-81,681	2,456
33	1105669,48	1278610,04	-71,657	-70,375	-71,016	-81,546	-84,995	3,449
34	1105619,53	1278575,21	-77,427	-74,027	-75,727	-86,257	-85,208	1,049
35	1105637,69	1278547,91	-77,536	-75,396	-76,466	-86,996	-84,547	2,449
36	1105665,48	1278319,38	-85,933	-74,295	-80,114	-90,644	-86,348	4,296
37	1105603,95	1278391,76	-74,227	-70,094	-72,161	-82,691	-87,027	4,336
38	1105585,14	1278433,5	-74,647	-71,896	-73,272	-83,802	-84,142	0,340
39	1105576,48	1278468,82	-80,102	-70,677	-75,39	-85,92	-83,867	2,053
40	1105588.13	1278474.99	-58,981	-58,028	-58,505	-69,035	-66,197	2,838
41	1105620,32	1278491,34	-59,423	-58,572	-58,998	-69,528	-69,893	0,365
42	1105649,75	1278505,84	-79,897	-68,297	-74,097	-84,627	-78,755	5,872
43	1105669,68	1278512,64	-68,013	-65,284	-66,649	-77,179	-79,721	2,542
44	1105713,5	1278545,61	-61,493	-60,294	-60,894	-71,424	-68,3	3,124
45	1105755,78	1278582,87	-75,523	-69,023	-72,273	-82,803	-77,627	5,176
46	1105779,36	1278604,73	-69,193	-66,965	-68,079	-78,609	-73,993	4,616

47	1105781,37	1278586,24	-70,766	-65,384	-68,075	-78,605	-75,295	3,310
		<b>Promedio</b>	<b>-75,164</b>	<b>-72,690</b>		<b>-84,457</b>	<b>-81,801</b>	

### A.3. ZONA 3: Sotomayor.

punto	coordenadas		Medida 1 [dBm]	Medida 2 [dBm]	Medida Promedio [dBm]	Medida Final [dBm]	Cellgis con Patrón [dBm]	Δ
1	7.120.065	-73.112.387	-74,00	-76,00	-75,00	-69,00	-68,13	0,87
2	7.120.057	-73.112.392	-76,00	-77,00	-76,50	-70,50	-68,49	2,01
3	7.120.053	-73.112.390	-70,00	-76,00	-73,00	-67,00	-65,91	1,09
4	7.119.932	-73.112.563	-68,00	-70,00	-69,00	-63,00	-59,09	3,91
5	7.119.853	-73.112.705	-75,00	-74,00	-74,50	-68,50	-65,19	3,31
6	7.119.092	-73.113.643	-61,00	-61,00	-61,00	-55,00	-56,97	1,97
7	7.118.873	-73.114.115	-58,00	-59,00	-58,50	-52,50	-46,47	6,03
8	7.118.780	-73.114.327	-59,00	-60,00	-59,50	-53,50	-51,63	1,87
9	7.118.630	-73.114.440	-65,00	-69,00	-67,00	-61,00	-56,43	4,57
10	7.118.115	-73.114.280	-77,00	-79,00	-78,00	-72,00	-70,75	1,25
11	7.117.758	-73.114.162	-81,00	-79,00	-80,00	-74,00	-75,82	1,82
12	7.117.617	-73.114.142	-87,00	-80,00	-83,50	-77,50	-79,75	2,25
13	7.116.755	-73.114.110	-86,00	-87,00	-86,50	-80,50	-82,86	2,36
14	7.116.447	-73.113.605	-88,00	-84,00	-86,00	-80,00	-75,87	4,13
15	7.116.642	-73.113.238	-100,00	-88,00	-94,00	-88,00	-80,77	7,23
16	7.118.213	-73.113.332	-82,00	-79,00	-80,50	-74,50	-80,79	6,29
17	7.118.238	-73.113.315	-84,00	-81,00	-82,50	-76,50	-73,92	2,58
18	7.118.603	-73.113.435	-77,00	-76,00	-76,50	-70,50	-61,74	8,76
19	7.119.508	-73.113.840	-68,00	-73,00	-70,50	-64,50	-61,86	2,64
20	7.120.143	-73.114.177	-83,00	-80,00	-81,50	-75,50	-71,75	3,75
21	7.120.413	-73.114.417	-84,00	-78,00	-81,00	-75,00	-71,71	3,29
22	7.120.085	-73.113.060	-85,00	-87,00	-86,00	-80,00	-73,19	6,81
23	7.119.667	-73.112.847	-74,00	-73,00	-73,50	-67,50	-69,05	1,55
24	7.119.125	-73.113.627	-61,00	-65,00	-63,00	-57,00	-52,76	4,24

25	7.120.118	-73.114.237	-80,00	-76,00	-78,00	-72,00	-65,76	6,24
		<b>Promedio</b>	<b>-76,120</b>	<b>-75,480</b>		<b>-69,800</b>	<b>-67,466</b>	

#### A.4. ZONA 4: El Prado.

punto	coordenadas		Medida 1 [dBm]	Medida 2 [dBm]	Medida Promedio [dBm]	Medida Final [dBm]	Cellgis con Patrón [dBm]	Δ
1	7.119.050	-73.110.340	-86,00	-86,00	-86,00	-80,00	-85,68	5,680
2	7.119.058	-73.110.692	-81,00	-84,00	-82,50	-76,5,	-78,47	1,970
3	7.121.223	-73.111.057	-76,00	-76,00	-76,00	-70,00	-72,03	2,030
4	7.122.627	-73.111.308	-64,00	-65,00	-64,50	-58,50	-58,86	0,360
5	7.122.690	-73.111.323	-94,00	-87,00	-90,50	-84,50	-86,28	1,780
6	7.123.548	-73.111.475	-60,00	-62,00	-61,00	-55,00	-52,82	2,180
7	7.124.858	-73.111.680	-67,00	-68,00	-67,50	-61,50	-60,52	0,980
8	7.125.010	-73.110.858	-55,00	-59,00	-57,00	-51, 00	-49,96	1,040
9	7.125.230	-73.109.722	-68,00	-67,00	-67,50	-61,50	-55,2	6,300
10	7.124.990	-73.109.607	-59,00	-58,00	-58,50	-52,50	-54,44	1,940
11	7.123.462	-73.111.532	-62,00	-60,00	-61,00	-55, 00	-55,34	0,340
12	7.122.938	-73.110.145	-58,00	-62,00	-60,00	-54, 00	-48,24	5,760
13	7.123.100	-73.109.387	-67,00	-70,00	-68,50	-62,50	-57,13	5,370
14	7.123.100	-73.109.387	-88,00	-85,00	-86,50	-80,50	-85,43	4,930
15	7.122.277	-73.109.565	-64,00	-63,00	-63,50	-57,50	-54,29	3,210
16	7.122.270	-73.109.602	-60,00	-58,00	-59,00	-53, 00	-49,57	3,430
17	7.122.272	-73.109.597	-57,00	-59,00	-58,00	-52, 00	-49,38	2,620
18	7.122.192	-73.110.065	-61,00	-60,00	-60,50	-54,50	-53,49	1,010
19	7.122.083	-73.110.820	-53,00	-55,00	-54,00	-48, 00	-50,58	2,580
20	7.121.278	-73.111.123	-68,00	-69,00	-68,50	-62,50	-65,34	2,840
21	7.121.252	-73.111.012	-76,00	-75,00	-75,50	-69,50	-73,42	3,920
22	7.121.282	-73.110.818	-72,00	-74,00	-73,00	-67, 00	-66,39	0,610
23	7.121.418	-73.109.947	-75,00	-73,00	-74,00	-68, 00	-67,38	0,620
24	7.121.447	-73.109.742	-76,00	-78,00	-77,00	-71, 00	-71,43	0,430

25	7.120.282	-73.109.398	-79,00	-80,00	-79,50	-73,50	-71,09	2,410
26	7.119.935	-73.110.868	-83,00	-82,00	-82,50	-76,50	-73,35	3,150
27	7.121.187	-73.111.107	-73,00	-76,00	-74,50	-68,50	-70,66	2,160
28	7.121.923	-73.111.220	-71,00	-72,00	-71,50	-65,50	-60,68	4,820
29	7.123.458	-73.111.510	-56,00	-53,00	-54,50	-48,50	-49,25	0,750
30	7.124.392	-73.110.138	-61,00	-62,00	-61,50	-55,50	-54,23	1,270
31	7.124.402	-73.110.092	-60,00	-60,00	-60,00	-54,00	-53,02	0,980
32	7.121.898	-73.109.083	-73,00	-72,00	-72,50	-66,50	-66,94	0,440
33	7.119.290	-73.108.912	-88,00	-86,00	-87,00	-81,00	-80,27	0,730
34	7.119.272	-73.109.038	-85,00	-85,00	-85,00	-79,00	-79,84	0,840
35	7.125.062	-73.110.803	-65,00	-66,00	-65,50	-59,50	-60,38	0,880
36	7.124.758	-73.110.870	-47,00	-49,00	-48,00	-42,00	-45	3,000
		<b>Promedio</b>	<b>-69,111</b>	<b>-69,333</b>		<b>-63,222</b>	<b>-62,955</b>	

## ANEXO B

### INFORMACIÓN MEDICIONES Y SIMULACIONES CON ANTENA ISOTRÓPICA

El anexo cuenta con las tablas correspondientes a los diferentes sectores, especificando las coordenadas, la cantidad de puntos, los resultados de ambas jornadas de medición, el promediado de las dos, la medida incluyendo las pérdidas que deben ser tenidas en cuenta y el valor de nivel de señal que se obtiene de la simulación en Cellgis simulando con una antena isotrópica y finalmente la diferencia entre estas dos últimas.

#### B.1. Zona 1: San Francisco.

PUNTO	COORDENADA		Medida 1 [dBm]	Medida 2 [dBm]	Medida Promedio [dBm]	Medida Final [dBm]	Cellgis Antena Isotrópica [dBm]	Δ
1	11.055.799.453	12.803.175.584	-66,89	-65,409	-66,063	-83,386	-43,5	39,886
2	11.055.887.965	12.803.114.320	-72,411	-73,3	-72,856	-76,593	-29,576	47,017
3	11.055.643.533	12.803.185.706	-75,414	-74,176	-74,795	-85,325	-49,887	35,438
4	11.055.434.265	12.803.171.138	-64,973	-63,528	-64,251	-74,781	-50,373	24,408
5	11.054.902.902	12.803.090.151	-63,278	-68,003	-65,641	-76,171	-30,112	46,059
6	11.054.663.666	12.803.023.905	-65,626	-68,67	-67,148	-77,678	-61,718	15,96
7	11.054.405.631	12.803.143.193	-61,856	-60,575	-61,216	-71,746	-74,001	2,255
8	11.054.270.324	12.803.571.822	-67,959	-67,874	-67,917	-78,447	-68,42	10,027
9	11.054.416.130	12.803.999.190	-74,687	-76,844	-75,766	-86,296	-77,203	9,093
10	11.054.723.541	12.804.042.842	-63,485	-67,429	-65,457	-75,987	-56,054	19,933
11	11.055.251.960	12.803.768.037	-60,75	-67,285	-64,018	-74,548	-74,336	0,212
12	11.055.344.534	12.803.523.665	-60,214	-65,379	-62,797	-73,327	-54,154	19,173
13	11.055.394.903	12.803.209.769	-65,369	-62,748	-64,059	-74,589	-52,57	22,019

14	11.055.410.880	12.802.905.018	-74,169	-70,836	-72,503	-83,033	-67,847	15,186
15	11.055.463.690	12.802.597.886	-64,828	-64,311	-64,57	-75,100	-38,695	36,405
16	11.055.477.541	12.802.430.161	-75,325	-74,705	-75,015	-85,545	-76,067	9,478
17	11.056.186.719	12.802.303.822	-80,743	-80,846	-80,795	-91,325	-74,789	16,536
18	11.056.255.450	12.802.309.496	-83,777	-80,937	-82,357	-92,887	-54,467	38,42
19	11.056.399.265	12.802.808.141	-71,931	-71,404	-71,668	-82,198	-67,499	14,699
20	11.056.361.061	12.803.174.908	-62,367	-65,372	-63,87	-74,400	-74,254	0,146
21	11.056.238.730	12.803.561.164	-67,82	-70,413	-69,117	-79,647	-58,658	20,989
22	11.056.212.655	12.803.703.670	-71,283	-73,058	-72,171	-82,701	-64,405	18,296
23	11.056.127.885	12.804.031.628	-70,357	-76,539	-73,448	-83,978	-52,589	31,389
24	11.056.050.766	12.804.222.572	-62,209	-58,655	-60,432	-70,962	-45,429	25,533
25	11.056.004.785	12.804.492.849	-60,838	-63,836	-62,337	-72,867	-68,217	4,65
26	11.055.963.538	12.804.847.321	-57,52	-56,247	-56,884	-67,414	-59,197	8,217
27	11.055.881.898	12.805.146.404	-51,035	-51,718	-51,377	-61,907	-67,875	5,968
28	11.055.921.843	12.805.417.475	-55,667	-52,734	-54,201	-64,731	-71,567	6,836
29	11.055.793.617	12.805.982.533	-45,157	-47,709	-46,433	-56,963	-48,583	8,38
30	11.056.071.191	12.806.206.168	-71,132	-63,61	-67,371	-77,901	-64,494	13,407
31	11.056.374.168	12.806.315.562	-76,65	-65,419	-71,035	-81,565	-49,631	31,934
32	11.056.694.534	12.806.032.337	-80,604	-78,916	-79,76	-90,290	-73,727	16,563
33	11.056.805.240	12.805.628.852	-59,917	-58,814	-59,366	-69,896	-63,369	6,527
34	11.056.837.563	12.805.433.513	-76,403	-70,058	-73,231	-83,761	-86,004	2,243
35	11.056.936.064	12.804.995.591	-66,73	-72,115	-69,423	-79,953	-71,623	8,33
36	11.057.021.625	12.804.582.836	-72,519	-77,598	-75,059	-85,589	-68,048	17,541
37	11.057.018.103	12.804.505.404	-64,397	-59,487	-61,942	-72,472	-65,029	7,443
38	11.057.153.397	12.803.789.197	-62,689	-64,848	-63,769	-74,299	-64,254	10,045
39	11.057.170.563	12.803.504.113	-71,855	-67,632	-69,744	-80,274	-73,926	6,348
40	11.057.038.113	12.803.443.618	-71,099	-63,918	-67,509	-78,039	-82,25	4,211
41	11.056.577.238	12.803.408.862	-69,366	-76,827	-73,097	-83,627	-75,183	8,444
42	11.055.913.278	12.804.223.515	-62,411	-61,89	-62,151	-72,681	-23,64	49,041
43	11.055.738.958	12.804.227.454	-62,762	-57,531	-60,147	-70,677	-55,501	15,176
44	11.055.551.188	12.804.205.557	-62,313	-60,604	-61,459	-71,989	-63,038	8,951
45	11.056.470.874	12.804.380.754	-64,857	-62,698	-63,778	-74,308	-69,318	4,99
46	11.056.969.110	12.804.453.071	-66,217	-61,166	-63,692	-74,222	-79,885	5,663

47	11.057.379.459	12.804.581.738	-55,451	-56,937	-56,194	-66,724	-67,048	0,324
48	11.057.678.256	12.804.635.206	-57,607	-55,771	-56,689	-67,219	-68,927	1,708
49	11.057.891.902	12.804.610.457	-55,275	-50,241	-52,758	-63,288	-47,551	15,737
50	11.057.960.405	12.804.431.170	-72,259	-60,796	-66,528	-77,058	-76,589	0,469
51	11.058.049.217	12.803.931.165	-76,698	-71,184	-73,941	-84,471	-75,513	8,958
52	11.058.121.604	12.803.360.461	-69,644	-75,093	-72,369	-82,899	-79,744	3,155
53	11.058.184.694	12.803.127.703	-76,577	-72,382	-74,48	-85,010	-75,301	9,709
54	11.058.222.437	12.802.982.763	-71,237	-71,541	-71,389	-81,919	-82,734	0,815
55	11.058.308.922	12.802.421.305	-70,765	-72,989	-71,877	-82,407	-83,146	0,739
56	11.058.404.925	12.802.000.015	-78,982	-70,657	-74,82	-85,350	-85,292	0,058
57	11.058.524.698	12.801.755.205	-77,897	-75,342	-76,62	-87,150	-60,809	26,341
		<b>Promedio</b>	<b>-67,408</b>	<b>-66,607</b>		<b>-77,536</b>	<b>-63,923</b>	

## B.2. Zona 2: La Concordia.

PUNTO	COORDENADA		Medida 1 [dBm]	Medida 2 [dBm]	Medida Promedio [dBm]	Medida Final [dBm]	Cellgis Antena Isotrópica [dBm]	Δ
1	1105785.17	1278564.9	-52,827	-50,096	-51,462	-61,992	-56,734	5,258
2	1105787.27	1278564.79	-59,559	-57,732	-58,646	-69,176	-53,422	15,754
3	1105789.27	1278557.5	-55,405	-55,130	-55,268	-65,798	-34,843	30,955
4	1105795.7	1278547.67	-65,386	-64,624	-65,005	-75,535	-32,405	43,13
5	1105797.05	1278536.28	-74,546	-70,308	-72,427	-82,957	-34,080	48,877
6	1105794.2	1278526.87	-74,223	-72,354	-73,289	-83,819	-48,645	35,174
7	1105794.09	1278523.77	-73,235	-73,653	-73,444	-83,974	-36,709	47,265
8	1105794.32	1278519.13	-80,936	-72,711	-76,824	-87,354	-38,143	49,211
9	1105794.89	1278514.7	-65,985	-65,698	-65,842	-76,372	-38,977	37,395
10	1105807.15	1278513.85	-76,325	-77,223	-76,774	-87,304	-38,163	49,141
11	1105815,53	1278521,27	-76,287	-71,850	-74,069	-84,599	-22,069	62,53
12	1105819,07	1278520,17	-72,286	-72,643	-72,465	-82,995	-35,724	47,271
13	1105839,27	1278528,18	-76,270	-78,764	-77,517	-88,047	-40,323	47,724

14	1105839,27	1278530,18	-75,637	-76,441	-76,039	-86,569	-33,774	52,795
15	1105852,41	1278534,07	-87,304	-86,343	-86,824	-97,354	-34,567	62,787
16	1105868,75	1278539,86	-76,532	-75,591	-76,062	-86,592	-38,381	48,211
17	1105894,79	1278552,74	-84,336	-83,823	-84,080	-94,610	-40,559	54,051
18	1105911,79	1278560,3	-78,336	-80,756	-79,546	-90,076	-42,979	47,097
19	1105932,32	1278569,74	-79,520	-73,202	-76,361	-86,891	-44,944	41,947
20	1105950,98	1278578,52	-75,777	-75,354	-75,566	-86,096	-50,642	35,454
21	1105646,98	1278392,77	-83,931	-78,763	-81,347	-91,877	-61,495	30,382
22	1105636,14	1278409,34	-85,211	-83,762	-84,487	-95,017	-48,570	46,447
23	1105642,25	1278421,02	-80,650	-82,863	-81,757	-92,287	-86,701	5,586
24	1105647,15	1278427,18	-87,935	-83,872	-85,904	-96,434	-70,920	25,514
25	1105686,34	1278471,2	-87,563	-84,175	-85,869	-96,399	-66,898	29,501
26	1105715,8	1278472,49	-86,227	-82,570	-84,399	-94,929	-25,933	68,996
27	1105741,89	1278474,08	-81,465	-79,659	-80,562	-91,092	-53,346	37,746
28	1105788,18	1278495,99	-82,830	-80,626	-81,728	-92,258	-41,699	50,559
29	1105879,13	1278592,65	-82,698	-80,653	-81,676	-92,206	-32,850	59,356
30	1105853,63	1278604,89	-85,385	-82,645	-84,015	-94,545	-38,250	56,295
31	1105852,36	1278624,24	-76,163	-73,663	-74,913	-85,443	-41,666	43,777
32	1105851,69	1278653,43	-67,115	-70,275	-68,695	-79,225	-43,741	35,484
33	1105669,48	1278610,04	-71,657	-70,375	-71,016	-81,546	-48,233	33,313
34	1105619,53	1278575,21	-77,427	-74,027	-75,727	-86,257	-52,590	33,667
35	1105637,69	1278547,91	-77,536	-75,396	-76,466	-86,996	-55,183	31,813
36	1105665,48	1278319,38	-85,933	-74,295	-80,114	-90,644	-54,174	36,47
37	1105603,95	1278391,76	-74,227	-70,094	-72,161	-82,691	-72,811	9,88
38	1105585,14	1278433,5	-74,647	-71,896	-73,272	-83,802	-82,487	1,315
39	1105576,48	1278468,82	-80,102	-70,677	-75,390	-85,920	-52,552	33,368
40	1105588,13	1278474,99	-58,981	-58,028	-58,505	-69,035	-50,241	18,794
41	1105620,32	1278491,34	-59,423	-58,572	-58,998	-69,528	-62,374	7,154
42	1105649,75	1278505,84	-79,897	-68,297	-74,097	-84,627	-41,426	43,201
43	1105669,68	1278512,64	-68,013	-65,284	-66,649	-77,179	-34,378	42,801

44	1105713,5	1278545,61	-61,493	-60,294	-60,894	-71,424	-45,023	26,401
45	1105755,78	1278582,87	-75,523	-69,023	-72,273	-82,803	-41,091	41,712
46	1105779,36	1278604,73	-69,193	-66,965	-68,079	-78,609	-39,762	38,847
47	1105781,37	1278586,24	-70,766	-65,384	-68,075	-78,605	-47,772	30,833
		<b>Promedio</b>	<b>-75,164</b>	<b>-72,690</b>		<b>-84,457</b>	<b>-46,558</b>	

### B.3. Zona 3: Sotomayor.

PUNTO	COORDENADA		Medida 1 [dBm]	Medida 2 [dBm]	Medida Promedio [dBm]	Medida Final [dBm]	Cellgis Antena Isotrópica [dBm]	Δ
1	1106616,76	1279216,77	-74,00	-76,00	-75,00	-69,000	-45,537	23,463
2	1106616,21	1279215,88	-76,00	-77,00	-76,50	-70,500	-48,066	22,434
3	1106616,43	1279215,44	-70,00	-76,00	-73,00	-67,000	-44,815	22,185
4	1106597,35	1279202,02	-68,00	-70,00	-69,00	-63,000	-48,208	14,792
5	1106581,68	1279193,24	-75,00	-74,00	-74,50	-68,500	-41,336	27,164
6	1106478,22	1279108,86	-61,00	-61,00	-61,00	-55,000	-4,950	50,05
7	1106426,13	1279084,52	-58,00	-59,00	-58,50	-52,500	-18,250	34,25
8	1106402,73	1279074,19	-59,00	-60,00	-59,50	-53,500	-10,008	43,492
9	1106390,28	1279057,57	-65,00	-69,00	-67,00	-61,000	-27,848	33,152
10	1106408,07	1279000,65	-77,00	-79,00	-78,00	-72,000	-50,373	21,627
11	1106421,19	1278961,19	-81,00	-79,00	-80,00	-74,000	-30,112	43,888
12	1106423,43	1278945,60	-87,00	-80,00	-83,50	-77,500	-61,718	15,782
13	1106427,17	1278850,26	-86,00	-87,00	-86,50	-80,500	-74,001	6,499
14	1106483,03	1278816,31	-88,00	-84,00	-86,00	-80,000	-68,420	11,58
15	1106523,54	1278837,96	-100,00	-88,00	-94,00	-88,000	-77,203	10,797
16	1106512,79	1279011,70	-82,00	-79,00	-80,50	-74,500	-48,145	26,355
17	1106514,66	1279014,47	-84,00	-81,00	-82,50	-76,500	-46,234	30,266
18	1106501,32	1279054,82	-77,00	-76,00	-76,50	-70,500	-42,546	27,954
19	1106456,36	1279154,82	-68,00	-73,00	-70,50	-64,500	-8,945	55,555
20	1106418,98	1279224,98	-83,00	-80,00	-81,50	-75,500	-19,253	56,247
21	1106392,40	1279254,79	-84,00	-78,00	-81,00	-75,000	-73,375	1,625

22	1106542,40	1279218,82	-85,00	-87,00	-86,00	-80,000	-54,283	25,717
23	1106566,03	1279172,64	-74,00	-73,00	-73,50	-67,500	-45,284	22,216
24	1106479,98	1279112,51	-61,00	-65,00	-63,00	-57,000	-84,384	27,384
25	1106412,36	1279222,20	-80,00	-76,00	-78,00	-72,000	-83,294	11,294
			<b>-76,12</b>	<b>-75,48</b>		<b>-69,80</b>	<b>-46,26</b>	

#### B.4. Zona 4: El Prado.

PUNTO	COORDENADA		Medida 1 [dBm]	Medida 2 [dBm]	Medida Promedio [dBm]	Medida Final [dBm]	Cellgis Antena Isotrópica [dBm]	Δ
1	7.119.050	-73.110.340	-86,00	-86,00	-86,00	-80,00	-43,53	36,47
2	7.119.058	-73.110.692	-81,00	-84,00	-82,50	-76,50	-39,58	36,92
3	7.121.223	-73.111.057	-76,00	-76,00	-76,00	-70,00	-56,87	13,13
4	7.122.627	-73.111.308	-64,00	-65,00	-64,50	-58,50	-53,46	5,04
5	7.122.690	-73.111.323	-94,00	-87,00	-90,50	-84,50	-33,11	51,39
6	7.123.548	-73.111.475	-60,00	-62,00	-61,00	-55,00	-62,84	7,84
7	7.124.858	-73.111.680	-67,00	-68,00	-67,50	-61,50	-74,23	12,73
8	7.125.010	-73.110.858	-55,00	-59,00	-57,00	-51,00	-65,44	14,44
9	7.125.230	-73.109.722	-68,00	-67,00	-67,50	-61,50	-77,26	15,76
10	7.124.990	-73.109.607	-59,00	-58,00	-58,50	-52,50	-54,47	1,97
11	7.123.462	-73.111.532	-62,00	-60,00	-61,00	-55,00	-67,50	12,50
12	7.122.938	-73.110.145	-58,00	-62,00	-60,00	-54,00	-74,25	20,25
13	7.123.100	-73.109.387	-67,00	-70,00	-68,50	-62,50	-58,66	3,84
14	7.123.100	-73.109.387	-88,00	-85,00	-86,50	-80,50	-83,59	3,09
15	7.122.277	-73.109.565	-64,00	-63,00	-63,50	-57,50	-39,48	18,02
16	7.122.270	-73.109.602	-60,00	-58,00	-59,00	-53,00	-92,84	39,84
17	7.122.272	-73.109.597	-57,00	-59,00	-58,00	-52,00	-74,39	22,39
18	7.122.192	-73.110.065	-61,00	-60,00	-60,50	-54,50	-39,49	15,01
19	7.122.083	-73.110.820	-53,00	-55,00	-54,00	-48,00	-58,39	10,39
20	7.121.278	-73.111.123	-68,00	-69,00	-68,50	-62,50	-39,92	22,58

21	7.121.252	-73.111.012	-76,00	-75,00	-75,50	-69,50	-63,34	6,16
22	7.121.282	-73.110.818	-72,00	-74,00	-73,00	-67,00	-86,04	19,04
23	7.121.418	-73.109.947	-75,00	-73,00	-74,00	-68,00	-71,42	3,42
24	7.121.447	-73.109.742	-76,00	-78,00	-77,00	-71,00	-53,05	17,95
25	7.120.282	-73.109.398	-79,00	-80,00	-79,50	-73,50	-52,34	21,16
26	7.119.935	-73.110.868	-83,00	-82,00	-82,50	-76,50	-51,15	25,35
27	7.121.187	-73.111.107	-73,00	-76,00	-74,50	-68,50	-62,57	5,93
28	7.121.923	-73.111.220	-71,00	-72,00	-71,50	-65,50	-43,64	21,86
29	7.123.458	-73.111.510	-56,00	-53,00	-54,50	-48,50	-73,37	24,87
30	7.124.392	-73.110.138	-61,00	-62,00	-61,50	-55,50	-74,79	19,29
31	7.124.402	-73.110.092	-60,00	-60,00	-60,00	-54,00	-38,40	15,61
32	7.121.898	-73.109.083	-73,00	-72,00	-72,50	-66,50	-38,49	28,01
33	7.119.290	-73.108.912	-88,00	-86,00	-87,00	-81,00	-38,92	42,08
34	7.119.272	-73.109.038	-85,00	-85,00	-85,00	-79,00	-48,39	30,61
35	7.125.062	-73.110.803	-65,00	-66,00	-65,50	-59,50	-59,29	0,21
36	7.124.758	-73.110.870	-47,00	-49,00	-48,00	-42,00	-49,51	7,51
		<b>Promedio</b>	<b>-69,11</b>	<b>-69,33</b>		<b>-63,22</b>	<b>-58,17</b>	

## ANEXO C

### ANÁLISIS DE VARIANZAS: ANOVA

El análisis de varianzas ANOVA ayuda a determinar desde un punto de vista estadístico si diferentes muestras tomadas en diferentes condiciones son significativamente diferentes. Para emplear el análisis ANOVA se parte de tres premisas:

1. Todas las poblaciones de donde vengan los datos son normales.
2. Todas las poblaciones tienen igual  $\sigma^2$  poblacionales.
3. Las muestras son independientes entre sí.

Y se plantean dos hipótesis:

**H<sub>0</sub>** = La diferencia entre las varianzas de los tratamientos es igual a cero.

**H<sub>1</sub>** = Si hay diferencia entre las varianzas de los tratamientos.

Dentro del análisis se tienen en cuenta las siguientes variabilidades para todos los datos  $X_{i,j}$  de cada tratamiento o serie a comparar:

1. **Variación Total:** Entre cada dato  $X_{i,j}$  y la media total  $\bar{\bar{X}}$ .
2. **Variación entre Tratamientos:** Entre cada media de cada serie  $\bar{X}_i$  y la media total  $\bar{\bar{X}}$ .
3. **Variación del Tratamiento:** Entre cada dato  $X_{i,j}$  y la media de cada serie  $\bar{X}_i$ .

El procedimiento a seguir para hacer el tratamiento a los datos se explica a continuación:

- 1. Cálculo de Medias:** Se calcula la media de cada tratamiento  $\bar{X}_i$  y la media total de todas las muestras  $\bar{X}$ .

$$\bar{X} = \frac{\sum \sum X_{i,j}}{N}; N = n_1 + n_2 + \dots + n_n$$

$n_i$ : Cantidad de datos de cada tratamiento (serie)

- 2. Suma de cuadrados total (SCT):**

$$SCT = \sum \sum (X_{i,j} - \bar{X})^2$$

- 3. Suma de cuadrados de los tratamientos (SCTR):**

$$SCTR = \sum (\bar{X}_i - \bar{X})^2 * n_i$$

- 4. Suma de cuadrados de error (SCE):**

$$SCE = \sum \sum (X_{i,j} - \bar{X}_i)^2$$

En este punto se puede hacer una comprobación para saber si el proceso se ha elaborado de manera adecuada, luego se debe cumplir que:

$$SCE = SCT - SCTR$$

- 5. Cuadrado medio total (CMT):**

$$CMT = \frac{SCT}{N - 1}$$

*N: Cantidad de total de datos*

**6. Cuadrado medio de tratamiento (CMTR):**

$$CMTR = \frac{SCTR}{\#Tratamientos - 1}$$

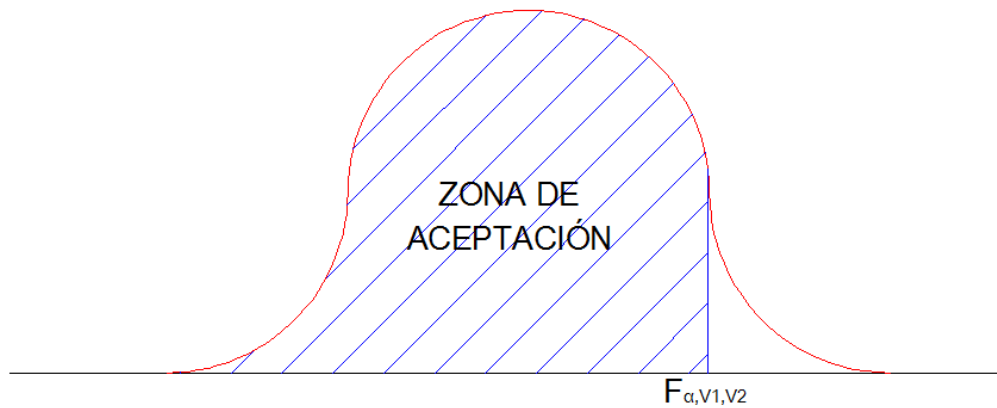
**7. Cuadrado medio del error (CME):**

$$CME = \frac{SCE}{N - \#Tratamientos}$$

**8. Razón F:** Es un indicador para validar o rechazar la hipótesis  $H_0$ .

$$F = \frac{CMTR}{CME}$$

**9. Zona de aceptación:** Se debe definir una zona de aceptación para contrastar la hipótesis  $H_0$ , para hacerlo se utiliza la distribución F de Fisher.



Para calcular F con la distribución F de Fisher, se debe determinar la significancia  $\alpha$  que se quiere manejar,  $V_1$  y  $V_2$ , donde:

$$V_1 = \#Tratamientos - 1$$

$$V_2 = N - \#Tratamientos$$

Una vez definida la zona de aceptación se mira si la Razón F calculada en el paso 8 está dentro de esta zona, si es así la hipótesis  $H_0$  es aceptada.

## ANEXO D

### ANÁLISIS DE VARIANZAS “ANOVA” PARA LAS MEDICIONES EN CADA ZONA

#### D.1. ZONA 1 SAN FRANCISCO:

Hipótesis:

$H_0 = \sigma_1^2 - \sigma_2^2 = 0$  --> No hay diferencia entre las dos mediciones, con un valor de significancia  $\alpha$ .

$H_1 = \sigma_1^2 - \sigma_2^2 \neq 0$  --> Si la varianza de una de las mediciones es mayor se determina que hay una variación en las mediciones.

1. Media de cada tratamiento y media General:

$X_1 =$	-67,408
$X_2 =$	-66,607
$X_{total} =$	-67,008

2. Suma de Cuadrados total (SCT):

29,1978	39,5956
0,0138	2,5552
70,6692	51,3874
4,1392	12,1069
13,9092	0,9910

1,9085	2,7639
26,5380	41,3771
0,9054	0,7508
58,9747	96,7567
12,4080	0,1777

39,1563	0,0770
46,1516	2,6520
2,6847	18,1433
51,2871	14,6574
4,7502	7,2711

69,1808	59,2515
188,6640	191,5041
281,2161	194,0310
24,2409	19,3292
21,5342	2,6749
0,6602	11,5974
18,2799	36,6086
11,2192	90,8495
23,0256	69,7643
38,0627	10,0584
90,0127	115,7884
255,1208	233,7688
128,6069	203,7328
477,4444	372,4321
17,0115	11,5430
92,9778	2,5233

184,8648	141,8124
50,2752	67,1334
88,2754	9,3056
0,0770	26,0866
30,3766	112,1587
6,8147	56,5579
18,6494	4,6634
23,4983	0,3900
16,7404	9,5450
5,5625	96,4226
21,1278	26,1888
18,0243	89,8041
22,0383	41,0048
4,6247	18,5718
0,6249	34,1231
133,5527	101,4150

88,3694	126,2589
137,6516	281,1155
27,5783	38,5827
93,9058	17,4432
6,9511	65,3753
91,5753	28,8853
17,8887	20,5526
14,1188	35,7783
143,3887	13,3189
118,5812	69,4639
<b>3465,0871</b>	<b>3448,6781</b>
$\Sigma$	<b>6913,765</b>

SCT=	6913,765
------	----------

3. Suma de Cuadrados de los tratamientos (SCTR):

9,1388
9,1388
18,2776

SCTR=	18,278
-------	--------

4. Suma de Cuadrados de Error (SCE):

25,031	44,795
0,268	1,435

64,097	57,288
5,929	9,481

17,056	1,949
3,175	4,256

30,824	36,386
0,304	1,605
52,985	104,794
15,389	0,676
44,328	0,460
51,752	1,508
4,157	14,893
45,712	17,884
6,656	5,272
62,680	65,576
177,825	202,747
267,947	205,346
20,458	23,010
25,411	1,525
0,170	14,485
15,016	41,614
8,697	98,643
27,029	63,236

43,164	7,679
97,771	107,331
268,072	221,685
137,849	192,463
495,103	357,138
13,869	8,983
85,416	1,412
174,137	151,509
56,114	60,732
80,912	11,909
0,460	30,337
26,123	120,800
9,066	50,696
22,268	3,094
19,777	1,050
13,624	7,231
3,834	104,447
24,969	22,251

21,585	82,375
25,958	36,037
6,507	15,281
1,418	29,605
142,968	93,511
96,058	117,421
147,208	267,849
23,533	33,769
86,306	20,948
5,000	72,011
84,072	33,350
14,662	24,343
11,270	40,729
133,960	16,402
110,021	76,299
<b>3455,948</b>	<b>3439,539</b>
$\Sigma$	<b>6895,488</b>

**SCE= 6895,488**

Comprobación

SCT -		
SCE =	SCTR	Delta
6895,488	6895,488	0,000
<b>OK</b>		

5. Cuadrado medio total (CMT):

**CMT= 61,184**

6. Cuadrado Medio del tratamiento (CMTR):

CMTR=	18,278
-------	--------

7. Cuadrado medio del Error (CME):

CME=	61,567
------	--------

8. Razón F:

$F_{\text{calculado}}$ =	0,297
--------------------------	-------

Aceptación

$\alpha$ =	0,01
$v_1$ =	1
$v_2$ =	112

Como:

$F_{\text{calculado}} < F_{\text{teórico}}$
---

$F_{\text{teórico}}$ =	6,867
------------------------	-------

Entonces:

Para ambas mediciones se tienen semejantes resultados
---

## D.2. ZONA 2 LA CONCORDIA:

Hipótesis:

$H_0 = \sigma_1^2 - \sigma_2^2 = 0$  --> No hay diferencia entre las dos mediciones, con un valor de significancia  $\alpha$ .

$H_1 = \sigma_1^2 - \sigma_2^2 \neq 0$  --> Si la varianza de una de las mediciones es mayor se determina que hay una variación en las mediciones.

1. Media de cada tratamiento y media General:

$X_1=$	-75,164
$X_2=$	-72,690
$X_{total}=$	-73,927

2. Suma de Cuadrados total (SCT):

445,2073	567,9135	19,4398	46,6361	13,0253	2,1581
206,4376	262,2760	31,2824	0,5255	144,1456	0,1355
343,0621	353,3248	3,4227	2,0365	0,0900	14,6914
72,9476	86,5446	100,0813	23,3875	0,5185	4,1247
0,3832	13,0967	127,3301	96,7285	38,1314	10,5621
0,0877	2,4741	45,1996	79,8532	223,3810	252,7762
0,4788	0,0750	196,2259	98,9043	210,3642	235,7741
49,1270	1,4785	185,9422	105,0228	35,6417	31,6962
63,0744	67,7154	151,2916	74,7026	34,9746	74,7003
5,7507	10,8640	56,8224	32,8566	154,6028	185,8569
5,5699	4,3137	79,2645	44,8775	2,5474	24,0486
2,6927	1,6485	76,9316	45,2399	22,4102	48,4686
5,4899	23,3972	131,2872	76,0046	9,9915	72,9818
2,9243	6,3205	5,0000	0,0697	<b>3660,4650</b>	<b>3367,0850</b>
178,9458	154,1586	46,4025	13,3366	$\Sigma$	<b>7027,550</b>
6,7864	2,7691	5,1526	12,6163		
108,3486	97,9321	12,2504	0,0100		

<b>SCT=</b>	<b>7027,550</b>
-------------	-----------------

3. Suma de Cuadrados de los tratamientos (SCTR):

71,9130
71,9130
143,8260

<b>SCTR=</b>	143,826
--------------	---------

4. Suma de Cuadrados de Error (SCE):

498,937	510,488	10,062	65,061	5,627	7,323
243,513	223,741	18,976	0,262	115,974	2,576
390,414	308,353	0,376	7,097	0,878	6,739
95,607	65,060	76,862	36,882	0,267	0,630
0,382	5,674	100,944	122,590	24,385	4,052
0,885	0,113	30,097	103,490	261,886	214,974
3,721	0,927	163,101	125,038	247,776	199,317
33,317	0,000	153,738	131,906	22,402	19,298
84,252	48,888	122,392	97,615	51,135	54,849
1,348	20,548	39,704	48,567	186,893	153,660
1,261	0,706	58,769	62,980	0,129	13,447
8,282	0,002	56,763	63,410	35,652	32,775
1,223	36,894	104,471	99,102	19,341	53,377
0,224	14,070	0,998	0,947	<b>3588,552</b>	<b>3295,172</b>
147,382	186,405	64,785	5,832	<b>Σ</b>	<b>6883,724</b>
1,872	8,416	12,298	5,359		
84,128	123,944	5,122	1,788		

<b>SCE=</b>	6883,724
-------------	----------

Comprobación

SCT -		Delta
SCE =	SCTR	
6883,724	6883,724	0,000

OK

5. Cuadrado medio total (CMT):

CMT=	75,565
------	--------

6. Cuadrado Medio del tratamiento (CMTR):

CMTR=	143,826
-------	---------

7. Cuadrado medio del Error (CME):

CME=	74,823
------	--------

8. Razón F:

Como:  $F_{\text{calculado}} < F_{\text{teórico}}$

$F_{\text{calculado}}=$	1,922
-------------------------	-------

Aceptación

$\alpha=$	0,01
$v1=$	1
$v2=$	92

$F_{\text{teórico}}=$	6,919
-----------------------	-------

<b>Entonces:</b>	Para ambas mediciones se tienen iguales resultados
------------------	--

**D.3. ZONA 3 SOTOMAYOR:**

Hipótesis:

$H_0 = \sigma_1^2 - \sigma_2^2 = 0$  --> No hay diferencia entre las dos mediciones, con un valor de significancia  $\alpha$ .

$H_1 = \sigma_1^2 - \sigma_2^2 \neq 0$  --> Si la varianza de una de las mediciones es mayor se determina que hay una variación en las mediciones.

1. Media de cada tratamiento y media General:

$X_1 =$	-76,120
$X_2 =$	-75,480
$X_{total} =$	-75,800

2. Suma de Cuadrados total (SCT):

3,2400	0,0400	1,4400	10,2400	60,8400	7,8400
0,0400	1,4400	27,0400	10,2400	51,8400	17,6400
33,6400	0,0400	125,4400	17,6400	67,2400	4,8400
60,8400	33,6400	104,0400	125,4400	84,6400	125,4400
0,6400	3,2400	148,8400	67,2400	3,2400	7,8400
219,0400	219,0400	585,6400	148,8400	219,0400	116,6400
316,8400	282,2400	38,4400	10,2400	17,6400	0,0400
282,2400	249,6400	67,2400	27,0400	<b>2637,2000</b>	<b>1532,8000</b>
116,6400	46,2400	1,4400	0,0400	$\Sigma$	<b>4170,000</b>

<b>SCT =</b>	4170,000
--------------	----------

3. Suma de Cuadrados de los tratamientos (SCTR):

2,5600
2,5600
5,1200

**SCTR=** 5,120

4. Suma de Cuadrados de Error (SCE):

4,494	0,270
0,014	2,310
37,454	0,270
65,934	30,030
1,254	2,190
228,614	209,670
328,334	271,590
293,094	239,630
123,654	41,990
0,774	12,390

23,814	12,390
118,374	20,430
97,614	132,710
141,134	72,590
570,254	156,750
34,574	12,390
62,094	30,470
0,774	0,270
65,934	6,150
47,334	20,430

62,094	6,350
78,854	132,710
4,494	6,150
228,614	109,830
15,054	0,270
<b>2634,640</b>	<b>1530,240</b>
	<b>4164,880</b>

**SCE=** 4164,880

**Comprobación**

SCT -		Delta
SCE =	SCTR	
4164,880	4164,880	0,000
<b>OK</b>		

5. Cuadrado medio total (CMT):

**CMT=** 85,102

6. Cuadrado Medio del tratamiento (CMTR):

<b>CMTR=</b>	<b>5,120</b>
--------------	--------------

### 7. Cuadrado medio del Error (CME):

<b>CME=</b>	<b>86,768</b>
-------------	---------------

### 8. Razón F:

<b>F<sub>cálculado</sub>=</b>	<b>0,059</b>
-------------------------------	--------------

#### Aceptación

$\alpha=$	0,01
$v_1=$	1
$v_2=$	48

<b>F<sub>teórico</sub>=</b>	<b>7,194</b>
-----------------------------	--------------

Como: 

<b>F<sub>cálculado</sub> &lt; F<sub>teórico</sub></b>
---

Entonces:

Para ambas mediciones se tienen iguales resultados
--

### D.4. ZONA 4 EL PRADO:

Hipótesis:

$H_0 = \sigma_1^2 - \sigma_2^2 = 0$  --> No hay diferencia entre las dos mediciones, con un valor de significancia  $\alpha$ .

$H_1 = \sigma_1^2 - \sigma_2^2 \neq 0$  --> Si la varianza de una de las mediciones es mayor se determina que hay una variación en las mediciones.

1. Media de cada tratamiento y media General:

$X_1=$	-69,111
$X_2=$	-69,333
$X_{total}=$	-69,222

2. Suma de Cuadrados total (SCT):

281,4938	281,4938	352,6049	248,9383	14,2716	45,9383
138,7160	218,3827	27,2716	38,7160	3,1605	7,7160
45,9383	45,9383	85,0494	125,9383	174,8272	263,1605
27,2716	17,8272	149,3827	104,4938	67,6049	52,1605
613,9383	316,0494	67,6049	85,0494	85,0494	85,0494
85,0494	52,1605	263,1605	202,2716	14,2716	7,7160
4,9383	1,4938	1,4938	0,0494	352,6049	281,4938
202,2716	104,4938	45,9383	33,3827	248,9383	248,9383
1,4938	4,9383	7,7160	22,8272	17,8272	10,3827
104,4938	125,9383	33,3827	14,2716	493,8272	408,9383
52,1605	85,0494	45,9383	77,0494	<b>4526,0000</b>	<b>3950,4444</b>
125,9383	52,1605	95,6049	116,1605	$\Sigma$	<b>8476,44</b>
4,9383	0,6049	189,8272	163,2716		

<b>SCT=</b>	<b>8476,444</b>
-------------	-----------------

3. Suma de Cuadrados de los tratamientos (SCTR):

0,4444
0,4444
<b>0,8889</b>

<b>SCTR=</b>	0,889
--------------	-------

4. Suma de Cuadrados de Error (SCE):

285,235	277,778
141,346	215,111
47,457	44,444
26,123	18,778
619,457	312,111
83,012	53,778
4,457	1,778
199,123	106,778
1,235	5,444
102,235	128,444
50,568	87,111
123,457	53,778
4,457	0,444

356,790	245,444
26,123	40,111
83,012	128,444
146,679	106,778
65,790	87,111
259,568	205,444
1,235	0,111
47,457	32,111
8,346	21,778
34,679	13,444
47,457	75,111
97,790	113,778
192,901	160,444

15,123	44,444
3,568	7,111
171,901	266,778
65,790	53,778
83,012	87,111
15,123	7,111
356,790	277,778
252,457	245,444
16,901	11,111
488,901	413,444
<b>4525,556</b>	<b>3950,000</b>
	<b>8475,556</b>

**SCE= 8475,556**

Comprobación

SCT -		
SCE =	SCTR	Delta
8475,556	8475,556	0,000
<b>OK</b>		

5. Cuadrado medio total (CMT):

**CMT= 119,387**

6. Cuadrado Medio del tratamiento (CMTR):

CMTR=	0,889
-------	-------

7. Cuadrado medio del Error (CME):

CME=	121,079
------	---------

8. Razón F:

$F_{\text{calculado}}=$	0,007
-------------------------	-------

Aceptación

$\alpha=$	0,01
$v1=$	1
$v2=$	70

Como:

$F_{\text{calculado}} < F_{\text{teórico}}$
---

$F_{\text{teórico}}=$	7,011
-----------------------	-------

Entonces:

Para ambas mediciones  
se tienen iguales  
resultados

## ANEXO E

### ANÁLISIS DE VARIANZAS “ANOVA” PARA LA SIMULACIÓN COMPARADA CON LA MEDICIÓN

#### E.1. ZONA 1 SAN FRANCISCO:

Hipótesis:

$H_0 = \sigma_1^2 - \sigma_2^2 = 0$  --> No hay diferencia entre la simulación y la medición, con un valor de significancia  $\alpha$ .

$H_1 = \sigma_1^2 - \sigma_2^2 \neq 0$  --> Si la varianza de una de las series es mayor se determina que hay una variación en las mediciones.

1. Media de cada tratamiento y media General:

$X_1 =$	-77,536
$X_2 =$	-75,612
$X_{total} =$	-76,574

2. Suma de Cuadrados total (SCT):

0,0003	4,4834
46,3978	9,6385
76,5729	21,6839
3,2163	12,2109
0,1627	19,0306
1,2179	0,1167
23,3135	12,0645

3,5066	0,4178
94,5094	39,5464
0,3450	1,5640
4,1063	17,5595
10,5456	38,6437
3,9418	27,5877
41,7135	15,1367

2,1739	4,7202
80,4716	40,8781
217,5801	101,2357
266,1008	134,7595
31,6248	100,3522
4,7280	16,8051
9,4408	0,4892

37,5352	10,7295
54,8132	54,5175
31,4991	61,9905
13,7448	1,1223
83,9130	109,8808
215,1327	290,9209
140,2662	202,6752
384,6071	303,9236
1,7599	5,5819
24,9061	10,1226
188,1176	87,6957
44,6011	13,4205
51,6472	11,0264

11,4149	0,3593
81,2629	19,5682
16,8297	57,9030
5,1775	12,2949
13,6870	0,0468
2,1450	2,7569
49,7391	5,4737
15,1586	58,6818
34,7794	85,4960
21,0259	44,9758
5,1366	50,4015
5,5338	45,1101
97,0304	126,4366

87,5236	160,0580
176,5285	149,4849
0,2339	1,4171
62,3562	48,9944
40,0005	23,1418
71,1593	49,1344
28,5647	7,4398
34,0192	74,4354
77,0111	46,5069
111,8432	55,1840
<b>3242,3743</b>	<b>2907,8331</b>
$\Sigma$	<b>6150,207</b>

<b>SCT=</b>	<b>6150,207</b>
-------------	-----------------

3. Suma de Cuadrados de los tratamientos (SCTR):

52,7407
52,7407
105,4814

<b>SCTR=</b>	<b>105,481</b>
--------------	----------------

4. Suma de Cuadrados de Error (SCE):

0,890	1,335
34,219	16,536
60,664	31,568
7,592	6,414
1,864	11,563
0,020	1,699
33,528	6,308
0,829	0,100

76,732	52,570
2,400	4,895
8,930	10,423
17,718	27,610
8,687	18,408
30,214	23,547
5,936	9,825
64,139	54,104

190,128	121,518
235,644	158,018
21,731	120,550
9,836	9,844
4,455	0,069
26,674	17,956
41,495	69,648
43,222	47,769

21,803	0,010	25,647	44,189	203,015	126,889
102,461	90,640	10,480	6,474	0,229	0,052
244,276	259,033	7,495	0,556	48,090	63,386
163,976	176,212	0,253	0,488	28,758	33,322
423,261	271,310	37,096	10,900	55,856	63,545
0,133	11,052	23,574	44,870	19,208	13,612
16,230	17,169	47,050	68,633	23,724	91,959
162,656	106,637	30,773	32,999	61,054	60,552
58,374	7,298	10,422	37,669	92,423	70,401
38,747	18,340	10,985	33,114	<b>3189,634</b>	<b>2855,092</b>
5,840	0,131	116,906	105,730		<b>6044,726</b>
64,846	29,004	106,447	136,644		
				<b>SCE=</b>	<b>6044,726</b>

### Comprobación

SCT -		Delta
SCE =	SCTR	
6044,726	6044,726	0,000
<b>OK</b>		

5. Cuadrado medio total (CMT):

<b>CMT=</b>	<b>54,427</b>
-------------	---------------

6. Cuadrado Medio del tratamiento (CMTR):

7. Cuadrado medio del 

<b>CMTR=</b>	<b>105,481</b>
--------------	----------------

 Error (CME):

<b>CME=</b>	<b>53,971</b>
-------------	---------------

## 8. Razón F:

$F_{\text{calculado}} =$	1,954
--------------------------	-------

Aceptación

$\alpha =$	0,01
$v_1 =$	1
$v_2 =$	112

$F_{\text{teórico}} =$	6,867
------------------------	-------

Como:

$F_{\text{calculado}} < F_{\text{teórico}}$
---

**Para ambas series se tienen iguales resultados**

Entonces:

## E.2. ZONA 2 LA CONCORDIA:

Hipótesis:

$H_0 = \sigma_1^2 - \sigma_2^2 = 0 \rightarrow$  No hay diferencia entre la simulación y la medición, con un valor de significancia  $\alpha$ .

$H_1 = \sigma_1^2 - \sigma_2^2 \neq 0 \rightarrow$  Si la varianza de una de las series es mayor se determina que hay una variación en las mediciones.

1. Media de cada tratamiento y media General:

$X_1 =$	-84,457
$X_2 =$	-81,801
$X_{\text{total}} =$	-83,129

2. Suma de Cuadrados total (SCT):

446,7669	451,3017
194,6823	375,9667
300,3588	134,4640
57,6667	114,6797
0,0295	29,5269
0,4763	20,2308
0,7143	9,5164
17,8518	2,5468
45,6552	94,6508
17,4318	0,0012
2,1613	11,2082
0,0179	4,4094
24,1881	0,5683
11,8346	1,3575
202,3546	182,7941
11,9933	10,4532
131,8165	34,4233

48,2627	1,5628
14,1537	9,5737
8,8039	6,0671
76,5299	7,1671
141,3278	31,7435
83,8715	7,8688
177,0267	47,1439
176,0966	129,0073
139,2433	46,5006
63,4116	31,5522
83,3412	36,3867
82,3944	24,6327
130,3282	46,2963
5,3552	10,9703
15,2401	2,0963
2,5055	3,4825
9,7852	4,3228

14,9548	2,0111
56,4773	10,3629
0,1917	15,1955
0,4531	1,0264
7,7905	0,5448
198,6369	286,6879
184,9834	175,1880
2,2444	19,1307
35,4009	11,6135
137,0038	219,8951
0,1062	30,2705
20,4291	83,4640
20,4653	61,3694
<b>3402,8149</b>	<b>2841,2334</b>
$\Sigma$	<b>6244,048</b>

<b>SCT=</b>	<b>6244,048</b>
-------------	-----------------

3. Suma de Cuadrados de los tratamientos (SCTR):

82,9296
82,9296
165,8592

<b>SCTR=</b>	<b>165,859</b>
--------------	----------------

4. Suma de Cuadrados de Error (SCE):

504,685	396,628
233,515	326,219
348,165	105,422

79,606	87,994
2,251	16,855
0,407	10,046

0,233	3,085
8,391	0,072
65,370	70,569

8,104	1,856
0,020	4,079
2,138	0,595
12,887	0,330
4,460	6,217
166,328	220,477
4,557	20,807
103,080	51,775
31,571	6,648
5,923	19,558
2,686	14,375
55,054	16,044
111,510	48,476
61,306	17,086

143,444	67,149
142,607	160,946
109,659	66,381
44,021	48,240
60,853	54,176
60,044	39,583
101,764	66,137
0,972	21,534
27,376	0,014
8,475	10,205
3,239	11,611
6,446	7,543
38,277	20,679
3,119	27,316

0,429	5,482
2,140	4,270
237,844	243,470
222,881	141,789
0,029	9,275
52,972	4,324
169,864	182,264
2,736	17,418
34,201	60,958
34,248	42,322
<b>3319,885</b>	<b>2758,304</b>
	<b>6078,189</b>

<b>SCE=</b>	<b>6078,189</b>
-------------	-----------------

### Comprobación

SCT -	
SCE = SCTR	Delta
6078,189 6078,189	0,000
<b>OK</b>	

5. Cuadrado medio total (CMT):

<b>CMT=</b>	<b>67,140</b>
-------------	---------------

6. Cuadrado Medio del tratamiento (CMTR):

<b>CMTR=</b>	<b>165,859</b>
--------------	----------------

7. Cuadrado medio del Error (CME):

CME=	66,067
------	--------

8. Razón F:

$F_{\text{calculado}}$ =	2,510
--------------------------	-------

Aceptación

$\alpha$ =	0,01
$v_1$ =	1
$v_2$ =	92

Como:

$F_{\text{calculado}}$	<	$F_{\text{teórico}}$
------------------------	---	----------------------

$F_{\text{teórico}}$ =	6,919
------------------------	-------

Entonces:

Para ambas series  
se tienen iguales  
resultados

### E.3. ZONA 3 SOTOMAYOR:

Hipótesis:

$H_0 = \sigma_1^2 - \sigma_2^2 = 0$  --> No hay diferencia entre la simulación y la medición, con un valor de significancia  $\alpha$ .

$H_1 = \sigma_1^2 - \sigma_2^2 \neq 0$  --> Si la varianza de una de las series es mayor se determina que hay una variación en las mediciones.

1. Media de cada tratamiento y media General:

$X_1=$	-69,800
$X_2=$	-67,466
$X_{total}=$	-68,633

2. Suma de Cuadrados total (SCT):

0,1345	0,2532	11,3353	4,4808	17,0833	45,8762
3,4849	0,0205	28,8025	51,6501	47,1529	9,7144
2,6673	7,4158	78,6201	123,5832	40,5361	9,4667
31,7329	91,0727	140,8209	202,4018	129,2041	20,7644
0,0177	11,8556	129,2041	52,3713	1,2841	0,1737
185,8641	136,0302	375,0729	147,3019	135,3313	251,9585
260,2801	491,2074	34,4193	147,7878	11,3353	8,2553
229,0137	289,1088	61,8865	27,9503	<b>2017,0356</b>	<b>2327,1351</b>
58,2657	148,9181	3,4849	47,5162	$\Sigma$	<b>4344,171</b>

<b>SCT=</b>	<b>4344,171</b>
-------------	-----------------

3. Suma de Cuadrados de los tratamientos (SCTR):

34,0356
34,0356
68,0711

<b>SCTR=</b>	<b>68,071</b>
--------------	---------------

4. Suma de Cuadrados de Error (SCE):

0,640	0,440	46,240	70,164	299,290	440,849
0,490	1,048	1,690	5,182	265,690	250,792
7,840	2,422	219,040	110,174	77,440	121,802

4,840	10,782	22,090	177,518	104,040	32,760
17,640	69,783	44,890	41,649	5,290	2,508
59,290	150,887	0,490	32,792	163,840	216,278
114,490	236,963	28,090	31,432	4,840	2,912
104,040	70,620	32,490	18,349	<b>1983,000</b>	<b>2293,100</b>
331,240	176,986	27,040	18,008		<b>4276,100</b>

**SCE= 4276,100**

### Comprobación

SCT -		Delta
SCE =	SCTR	
4276,100	4276,100	0,000
<b>OK</b>		

5. Cuadrado medio total (CMT):

**CMT= 88,657**

6. Cuadrado Medio del tratamiento (CMTR):

**CMTR= 68,071**

7. Cuadrado medio del Error (CME):

**CME= 89,085**

8. Razón F:

<b>F<sub>cálculado</sub>=</b>	<b>0,764</b>
-------------------------------	--------------

### Aceptación

$\alpha=$	0,01
$v_1=$	1,00
$v_2=$	48,00

Como:

$F_{\text{cálculado}} < F_{\text{teórico}}$
---

<b>F<sub>teórico</sub>=</b>	<b>7,194</b>
-----------------------------	--------------

Entonces:

Para ambas series  
se tienen iguales  
resultados

#### E.4. ZONA 4 EL PRADO:

Hipótesis:

$H_0 = \sigma_1^2 - \sigma_2^2 = 0$  --> No hay diferencia entre la simulación y la medición, con un valor de significancia  $\alpha$ .

$H_1 = \sigma_1^2 - \sigma_2^2 \neq 0$  --> Si la varianza de una de las series es mayor se determina que hay una variación en las mediciones.

1. Media de cada tratamiento y media General:

$X_1=$	-63,222
$X_2=$	-62,955
$X_{\text{total}}=$	-63,089

2. Suma de Cuadrados total (SCT):

285,9951	510,3709
179,8654	236,5871
47,7673	79,9484
21,0554	17,8812
458,4476	537,8405
65,4256	105,4444
2,5237	6,5978
146,1345	172,3604
2,5237	62,2302
112,1187	74,7985
65,4256	60,0410
82,6029	220,4813
0,3465	35,5050

303,1565	499,1377
31,2326	77,4156
101,7801	182,7528
122,9573	187,9260
73,7642	92,1333
227,6662	156,4654
0,3465	5,0688
41,1059	106,7376
15,2990	10,8992
24,1217	18,4160
62,5901	69,5788
108,3970	64,0222
179,8654	105,2961

29,2831	57,3259
5,8148	5,8014
212,8276	191,5072
57,5870	78,4750
82,6029	101,3769
11,6376	14,8332
320,8179	295,2001
253,1723	280,6090
12,8781	7,3366
444,7295	327,1979
<b>4193,8649</b>	<b>5055,5992</b>
	<b>9249,464</b>

SCT=	9249,464
------	----------

3. Suma de Cuadrados de los tratamientos (SCTR):

0,6427
0,6427
1,2853

SCTR=	1,285
-------	-------

4. Suma de Cuadrados de Error (SCE):

281,494	516,426
176,299	240,715

45,938	82,356
22,299	16,769

452,744	544,056
67,605	102,718

2,966	5,929
149,383	168,870
2,966	60,140
114,966	72,505
67,605	57,988
85,049	216,531
0,522	33,931
298,522	505,126
32,744	75,082
104,494	179,158
125,938	184,281

76,077	89,586
231,716	153,141
0,522	5,688
39,410	109,516
14,272	11,799
22,827	19,581
60,494	71,826
105,633	66,178
176,299	108,056
27,855	59,367
5,188	5,176

216,744	187,827
59,633	76,126
85,049	98,704
10,744	15,880
316,049	299,809
248,938	285,103
13,855	6,631
450,383	322,382
<b>4193,222</b>	<b>5054,957</b>
	<b>9248,179</b>

**SCE= 9248,179**

Comprobación

SCT -	
SCE = SCTR	Delta
9248,179 9248,179	0,000
<b>OK</b>	

5. Cuadrado medio total (CMT):

**CMT= 130,274**

6. Cuadrado Medio del tratamiento (CMTR):

**CMTR= 1,285**

7. Cuadrado medio del Error (CME):

CME=	132,117
------	---------

8. Razón F:

$F_{\text{calculado}}$ =	0,010
--------------------------	-------

**Aceptación**

$\alpha$ =	0,01
$v_1$ =	1
$v_2$ =	70

$F_{\text{teórico}}$ =	7,011
------------------------	-------

Como:

$F_{\text{calculado}} < F_{\text{teórico}}$
---

Entonces:

Para ambas series  
se tienen iguales  
resultados