



**AJUSTE DEL MODELO DE PROPAGACIÓN HATA COST 231 PARA UN  
ENTORNO METROPOLITANO**

**ALEJANDRO ULLOA CASTAÑEDA**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOMECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y  
TELECOMUNICACIONES**

**BUCARAMANGA**

**2006**

**AJUSTE DEL MODELO DE PROPAGACIÓN HATA COST 231 PARA UN  
ENTORNO METROPOLITANO**

ALEJANDRO ULLOA CASTAÑEDA

**Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título  
de Ingeniero Electrónico**

Director

HOMERO ORTEGA BOADA  
Ph.D Ciencias de la Ingeniería

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOMECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y  
TELECOMUNICACIONES**

**BUCARAMANGA**

**2006**

A Dios, por permitirme tantas oportunidades,  
A mis papas por guiarme a vivirlas.  
A mi hermana por su valuable compañía  
Al combo del proyecto TEM por su enseñanza  
A todos mis amigos

## **AGRADECIMIENTOS**

A mi familia por incentivar me en todo momento la perseverancia y responsabilidad para llevar a cabo este trabajo de investigación, más aún encontrándome muy lejos de casa.

A la empresa Siemens y el grupo de ingeniería región andina por darme la oportunidad de participar en un proyecto en el exterior y aprender demasiado, en base al cual propuse este trabajo de investigación para compartir la experiencia y apoyar los intereses del grupo Radio GIS.

A todos mis compañeros de la universidad por permitirme formarme como profesional a su lado.

A mi director Homero Ortega por su paciencia y colaboración para asesorarme a larga distancia.

Al grupo de trabajo del proyecto Telefónica Perú por su apoyo y colaboración con el uso de la herramienta y fotografías para esta investigación.

## CONTENIDO

		PÁG.
1.	INTRODUCCIÓN	19
1.1	Descripción del Contenido	22
2.	RADIOPROPAGACIÓN: RAZONES FÍSICAS, PROBLEMAS TÉCNICOS Y CLASIFICACIÓN DE MODELOS	24
2.1	Introducción a los Modelos de Propagación	24
2.2	Zona de Fresnel	25
2.3	Razones Físicas	27
2.3.1	Reflexión	29
2.3.2	Dispersión o Scattering	30
2.3.3	Difracción	31
2.3.4	Absorción	32
2.3.5	Efecto Doppler	32
2.4	Problemas Técnicos	32
2.4.1	Path loss	32
2.4.2	Fading	33
2.4.3	Interferencia intersímbolo	34
2.5	Modelos de propagación para macro escenarios	34
2.5.1	Modelos empíricos	35
2.5.2	Modelos determinísticos	37
2.5.3	Modelos semi determinísticos	39
2.6	Criterio de Lee	40
3	MODELO DE PROPAGACIÓN HATA COST 231	41
3.1	Historia	41
3.2	Algoritmo Hata modificado para la Herramienta	42
3.2.1	Valores iniciales	45

3.3	Factores Adicionales	48
3.3.1	Altura Efectiva	48
3.3.2	Calculo de pérdidas por difracciones	51
3.3.3	Modelos de una y dos piezas	55
4	CARTOGRAFIA DIGITAL Y CLASIFICACIÓN EN TIPOS DE CLUTTER	57
4.1	Cartografía Digital y Base de datos de terreno	57
4.1.1	Proyecciones Cartográficas	58
4.1.2	Datum	59
4.1.3	Universal Transverse Mercator	59
4.2	Mapas digitales recomendados para Modelos de predicción	60
4.3	Clutter	61
5	PUNTOS DE MEDICIONES, RUTAS Y CAMPAÑA DE MEDIDAS	70
5.1	Requisitos previos para calibrar el modelo	70
5.2	Descripción del equipo utilizado	73
5.2.1	Sistema Radiante Transmisor	73
5.2.2	Sistema Receptor	74
5.3	Rutas y configuraciones utilizadas en cada punto transmisor	75
5.3.1	Urbano Denso: Zona Empresarial San Isidro	76
5.3.2	Urbano Denso: Centro	78
5.3.3	Urbano Medio: México	80
5.3.4	Urbano Bajo: Zárate	82
5.3.5	Industrial	84
5.3.6	Suburbano:Pro	86
5.3.7	Suburbano: La Molina	88
5.3.8	Área Abierta: Lurín	90
6	POST PROCESAMIENTO DE DATOS Y PROCESO DE AJUSTE	93

6.1	Proceso de Ajuste	96
6.2	Resultados Ajuste del Modelo Lima 1900	101
6.2.1	Resultados ruta San Isidro	103
6.2.2	Resultados ruta Centro	106
6.2.3	Resultados ruta México	108
6.2.4	Resultados ruta Zárate	110
6.2.5	Resultados ruta Industrial	112
6.2.6	Resultados ruta Pro	114
6.2.7	Resultados ruta La Molina	116
6.2.8	Resultados ruta Lurín	118
7	ANÁLISIS PARALELO MODELO HATA COST 231 PARA LIMA EN 1900 MHZ Y ANDINO UIS PARA BUCARAMANGA EN LA BANDA TDMA	120
7.1	Modelo Andino UIS	120
7.2	Similitudes Modelo Andino UIS – Modelo Lima 1900	127
7.3	Diferencias Modelo Andino UIS – Modelo Lima 1900	129
7.4	Sugerencias para el ajuste del Modelo Hata Cost 231 para entornos metropolitanos de tipo andino	132
8	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	135
	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	142
	ANEXOS	144

## LISTA DE FIGURAS

		PÁG.
Figura No. 2.1	Esquema de la zona de fresnel	27
Figura No. 2.2	Onda Plana	28
Figura No. 2.3	Representación de los mecanismos	29
Figura No. 2.4	Efectos de reflexión causando dispersión	31
Figura No. 2.5	Principio del mecanismo de difracción	31
Figura No. 3.1	Método de altura absoluto	48
Figura No. 3.2	Método de altura promedio	49
Figura No. 3.3	Método de altura relativo	49
Figura No. 3.4	Método de altura de la pendiente	50
Figura No. 3.5	Método de Bullington para difracción	52
Figura No. 3.6	Método Epstein Paterson para la difracción	53
Figura No. 3.7	Método Atlas Japonés para la difracción	54
Figura No. 3.8	Método Deygout para la difracción	54
Figura No. 3.9	Esquema modelo Hata de dos piezas	55
Figura No. 4.1	Proyección cilíndrica transversal	58
Figura No. 4.2	Zonas del sistema Universal Transverse Mercator	60
Figura No. 4.3	Mapa de Lima metropolitana con tipos de clutter	64
Figura No. 5.1	Diagrama del sistema radiante transmisor para las pruebas	73
Figura No. 5.2	Diagrama del sistema receptor utilizado en las pruebas	74
Figura No. 5.3	Ruta campaña de medidas San Isidro	77
Figura No. 5.4	Ruta sobre el mapa de clutter denso San Isidro	78
Figura No. 5.5	Ruta campaña de medidas Centro Lima	79

Figura No. 5.6	Ruta sobre el mapa de clutter del Centro de Lima	80
Figura No. 5.7	Ruta campaña de medidas zona media urbana México	81
Figura No. 5.8	Ruta sobre el mapa de clutter de zona medio urbana México	82
Figura No. 5.9	Ruta campaña de medidas zona baja urbana Zárate	83
Figura No. 5.10	Ruta sobre el mapa de clutter de zona urbana Zárate	84
Figura No. 5.11	Ruta campaña de medidas zona Industrial	85
Figura No. 5.12	Ruta sobre el mapa de clutter de zona industrial	86
Figura No. 5.13	Ruta campaña de medidas zona suburbana Pro	87
Figura No. 5.14	Ruta sobre el mapa de clutter de zona suburbana Pro	88
Figura No. 5.15	Ruta campaña de medidas zona suburbana La Molina	89
Figura No. 5.16	Ruta sobre el mapa de clutter zona suburbana La Molina	90
Figura No. 5.17	Ruta campaña de medidas zona área abierta Lurín	91
Figura No. 5.18	Ruta sobre el mapa de clutter de zona área abierta Lurín	92
Figura No. 6.1	Datos de entrada para la calibración: coordenadas del transmisor	93
Figura No. 6.2	Datos de entrada para la calibración: frecuencia y EIRP del transmisor	94
Figura No. 6.3	Datos de entrada para la calibración: tipo de antena, altura, pérdida de cables	94

Figura No. 6.4	Información sobre la antena transmisora: patrón de radiación vertical	95
Figura No. 6.5	Información sobre la antena transmisora: patrón de radiación horizontal	95
Figura No. 6.6	Información del filtro sobre las medidas	97
Figura No. 6.7	Gráfica de nivel vs distancia para las medidas en Lima en 1900 Mhz	99
Figura No. 6.8	Gráfica de error vs Distancia para todos los puntos de pruebas en Lima	100
Figura No. 6.9	Niveles de señal obtenidos en la campaña de medidas en la ruta San Isidro	104
Figura No. 6.10	Niveles de error para la ruta de San Isidro con el modelo ajustado Lima 1900	105
Figura No. 6.11	Niveles de señal obtenidos en la campaña de medidas en la ruta Centro	106
Figura No. 6.12	Niveles de error para la ruta de Centro con el modelo ajustado Lima 1900	107
Figura No. 6.13	Niveles de señal obtenidos en la campaña de medidas en la ruta urbana México	108
Figura No. 6.14	Niveles de error para la ruta de México con el modelo ajustado Lima 1900	109
Figura No. 6.15	Niveles de señal obtenidos en la campaña de medidas en la ruta urbana Zárate	110
Figura No. 6.16	Niveles de error para la ruta de Zárate con el modelo ajustado Lima 1900	111
Figura No. 6.17	Niveles de señal obtenidos en la campaña de medidas en la ruta urbana Industrial	112
Figura No. 6.18	Niveles de error para la ruta de Industrial con el modelo ajustado Lima 1900	113
Figura No. 6.19	Niveles de señal obtenidos en la campaña de medidas en la ruta suburbana de Pro	114

Figura No. 6.20	Niveles de error para la ruta de Pro con el modelo ajustado Lima 1900	115
Figura No. 6.21	Niveles de señal obtenidos en la campaña de medidas en la ruta de La Molina	116
Figura No. 6.22	Niveles de error para la ruta de La Molina con el modelo ajustado Lima 1900	117
Figura No. 6.23	Niveles de señal obtenidos en la campaña de medidas en la ruta de Lurín	118
Figura No. 6.24	Niveles de error para la ruta de Lurín con el modelo ajustado Lima 1900	119
Figura No. 7.1	Mediciones Barrio Bucaramanga validación modelo Andino UIS	123
Figura No. 7.2	Mediciones Barrio Provenza validación modelo Andino UIS	123
Figura No. 7.3	Mediciones Barrio San Luís validación modelo Andino UIS	124
Figura No. 7.4	Resultados simulaciones modelo Andino UIS	126

### **LISTA DE FOTOGRAFÍAS**

		PÁG.
Fotografía No. 1	Clutter de tipo denso urbano	65
Fotografía No. 2	Clutter de tipo denso urbano	65
Fotografía No. 3	Clutter de tipo medio urbano	66
Fotografía No. 4	Clutter de tipo bajo urbano	66
Fotografía No. 5	Clutter de tipo industrial	67
Fotografía No. 6	Clutter de tipo suburbano:	67
Fotografía No. 7	Clutter de tipo suburbano con vegetación	68
Fotografía No. 8	Clutter de tipo área abierta	68

## LISTA DE TABLAS

		PÁG.
Tabla No. 2.1	Clasificación de los tipos de celdas o escenarios	35
Tabla No. 3.1	Valores iniciales para el ajuste del modelo Hata en la banda de 1900 Mhz	45
Tabla No. 3.2	Valores iniciales para entornos europeos	46
Tabla No. 4.1	Descripción de los tipos de clutter	63
Tabla No. 5.1	PIRE San Isidro	77
Tabla No. 5.2	PIRE Centro de Lima	79
Tabla No. 5.3	PIRE México	81
Tabla No. 5.4	PIRE Zárate	83
Tabla No. 5.5	PIRE Industrial	85
Tabla No. 5.6	PIRE Pro	87
Tabla No. 5.7	PIRE La Molina	89
Tabla No. 5.8	PIRE Lurín	91
Tabla No. 6.1	Valores iniciales recomendados para la banda de 1900 Mhz	96
Tabla No. 6.2	Resultados estadísticos generales del modelo ajustado Lima 1900	102
Tabla No. 6.3	Resultados estadísticos por ruta del modelo ajustado Lima 1900	103
Tabla No. 6.4	Resultados estadísticos del modelo ajustado Lima 1900 para la ruta densa urbana de San Isidro	104
Tabla No. 6.5	Resultados estadísticos del modelo ajustado Lima 1900 para la ruta densa urbana del centro de Lima	106
Tabla No. 6.6	Resultados estadísticos del modelo	108

	ajustado Lima 1900 para la ruta media urbana de México	
Tabla No. 6.7	Resultados estadísticos del modelo ajustado Lima 1900 para la ruta baja urbana de Zárate	110
Tabla No. 6.8	Resultados estadísticos del modelo ajustado Lima 1900 para la ruta baja urbana Industrial	112
Tabla No. 6.9	Resultados estadísticos del modelo ajustado Lima 1900 para la ruta suburbana de Pro	114
Tabla No. 6.10	Resultados estadísticos del modelo ajustado Lima 1900 para la ruta suburbana de La Molina	116
Tabla No. 6.11	Resultados estadísticos del modelo ajustado Lima 1900 para la ruta de área abierta de Lurín	118
Tabla No. 7.1	Resultados del modelo Andino UIS.	126
Tabla No. 7.2	Parámetros utilizados en las pruebas del sistema TDMA para el modelo Andino UIS	129
Tabla No. 7.3	Resultados ajuste modelo Lima 1900	129

## LISTA DE ANEXOS

		PÁG.
ANEXO A	Mapa relieve área metropolitana de Lima	144
ANEXO B	Plots de cobertura con el modelo Lima 1900	145

## OBJETIVOS

### OBJETIVO GENERAL

Realizar un estudio sobre el ajuste del modelo de propagación Hata COST 231<sup>1</sup> al área metropolitana de una ciudad de tipo andino como Lima mediante la clasificación en tipos de clutter<sup>2</sup>.

### OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Estudiar y analizar los fundamentos teóricos necesarios para realizar el ajuste del modelo de propagación Hata COST 231 para macro escenarios: mecanismos físicos de la radio propagación, problemas técnicos de la radio propagación y relación del algoritmo Hata COST 231 con la herramienta utilizada para el ajuste.
- Describir las características de las campañas de medidas que deben realizarse para desarrollar el ajuste del modelo de propagación Hata COST 231 para macro escenarios, en base a la clasificación en tipos de clutter.
- Analizar los resultados obtenidos en el ajuste del modelo de propagación empírico Hata COST 231 para la ciudad de Lima en la banda de 1900 Mhz y los resultados obtenidos con el modelo de propagación semi determinístico Andino UIS<sup>3</sup> para la ciudad de Bucaramanga en la banda de TDMA.

---

<sup>1</sup> Algoritmo modificado sobre la formula original de Okumura Hata (COST 231) para la banda de 1900 Mhz.

<sup>2</sup> Termino utilizado para designar una zona en la cual se presentan características muy similares de radio propagación

<sup>3</sup> Carreño Y. Tesis de Grado: Desarrollo del Modelo de propagación Andino UIS, UIS, Bucaramanga, 2005

## RESUMEN

**TÍTULO:** AJUSTE DEL MODELO DE PROPAGACIÓN HATA COST 231 PARA UN ENTORNO METROPOLITANO

**AUTOR:** ALEJANDRO ULLOA CASTAÑEDA \*\*

**PALABRAS CLAVES:** Modelo de propagación, Macro escenarios, Ajuste de modelo de propagación, Clutter, Herramienta de Simulación.

### DESCRIPCIÓN:

El modelado de la radio propagación resulta de valiosa utilidad al momento de realizar la planeación de una red inalámbrica; el hecho que nuestra región presente particularidades del terreno ha llamado la atención del grupo radio GIS para realizar investigaciones sobre el tema.

Se presenta como alternativa, un procedimiento para llevar a cabo el ajuste del modelo de propagación para un entorno metropolitano de tipo andino como Lima para la banda de 1900 Mhz, en base al algoritmo Hata COST 231, mediante la clasificación del macro escenario en diferentes tipos de clutter o uso de la tierra que presentan características similares de atenuación para el enlace de radio, para lo cual son indispensables una serie de requisitos que son presentados, incluyendo la planeación de una estratégica campaña de medidas, el ingreso de datos filtrados a la herramienta utilizada para las iteraciones que cuenta con una base de terreno digital de gran veracidad, el análisis del paso a paso de la calibración de los parámetros que componen el modelo. El manejo de los mecanismos como la altura efectiva y las pérdidas de difracción en el algoritmo que se ajusta son igualmente mencionados.

Los resultados y el procedimiento aplicado en la investigación, se presentan en un análisis paralelo junto a lo obtenido hasta el momento con el modelo Andino UIS en la ciudad de Bucaramanga, verificando los pros y los contras entre el uso de un modelo empírico como el Hata o uno semideterminista como el desarrollado en la universidad.

Está investigación puede ser la base para un futuro desarrollo de la calibración del modelo para la ciudad de Bucaramanga mediante la aplicación de una herramienta diseñada al interior de la universidad que maneje la clasificación de tipos de clutter desde un mapa digital de buena resolución.

---

\* Tesis

\*\* Facultad de Ciencias Fisicomecánicas  
Programa de ingeniería Electrónica  
Director: PhD. Homero Ortega Boada

## SUMMARY

**TITLE:** MODEL TUNING WITH THE HATA COST 231 ALGORITHM FOR A METROPOLITAN AREA.

**AUTHOR:** ALEJANDRO ULLOA CASTAÑEDA \*\*

**KEY WORDS:** Propagation Model, Macro scenarios, Propagation Model calibration, Model Tuning, Radio propagation software tool.

### DESCRIPTION

Model Tuning for the radio propagation is valuable utility for the wireless network planning; our region present special topography of the land and it is interesting to the group radio GIS in order to do investigations on that topic.

Appears like alternative, a procedure to carry out the adjustment of the model of propagation for metropolitan surroundings of Andean type as Lima for the band of 1900 Mhz, on the basis of the Hata COST 231 algorithm, by means of the classification of the macro cells in different types from clutter or earth use that presents similar characteristics of attenuation for the radio link, for which a series of requirements that are presented, including the planning of a strategic campaign of measures is indispensable, the data entry filtered to the tool used for the iterations that counts on a digital land base of great veracity, the analysis of step by step of the calibration of the parameters that compose the model. Also the handling of the mechanisms like the effective height and the losses of diffraction in the algorithm that adjusts is mentioned. The results and the procedure applied in the investigation, appear in a parallel analysis with the Modelo Andino UIS developed for Bucaramanga city, verifying the pros and the cons between the use of an empirical model like the Hata or one semideterminist like the developed into the university.

It is investigation can be the base for a future development of the calibration of the model for Bucaramanga city by means of the application of a tool designed into the university that take the classification of types of clutter from a digital map of good resolution.

---

\* Tesis

\*\* Facultad de Ciencias Fisicomecánicas  
Program of Electronic Engineer  
Director: PhD. Homero Ortega Boada

## 1. INTRODUCCIÓN

Es bien claro que en estos momentos los sistemas de comunicaciones están repercutiendo enormemente en el desarrollo de nuestra sociedad, los medios inalámbricos son cada vez los más importantes y usados, tecnologías como redes celulares, Wifi y Wimax se están convirtiendo en un aliado más para nuestra convivencia del día a día.

Las predicciones que se requieren para un planeamiento apropiado de la cobertura de un sistema inalámbrico, la determinación de efectos multidireccionales así como para interferencia y los cálculos del número de celdas, son la base para el proceso de alto nivel del planeamiento de una red.

Los ambientes donde estos sistemas son instalados, comprenden desde de áreas internas hasta áreas rurales extensas; por lo tanto los métodos de predicción de propagación de la señal se requieren para una gama entera de escenarios: macro, micro y pico celdas, incluyendo panoramas y situaciones de interior en ambientes especiales como los túneles y a lo largo de ferrocarriles. Los fenómenos que influyen la propagación de la onda de radio se pueden describir generalmente por cuatro mecanismos básicos: Reflexión, absorción, difracción, y dispersión; para la predicción práctica de la propagación en un ambiente verdadero estos mecanismos se deben describir por aproximaciones, para lo cual se requiere de una base de datos digital que se aproxime lo mayor posible a las características del terreno, alturas, datos de uso de la tierra y de la definición de algoritmos matemáticos que los modelen.

Se presentan entonces, tres alternativas para proponer un acercamiento mediante algoritmos a la propagación de las ondas electromagnéticas, los modelos deterministas, los semideterministas y los acercamientos empíricos desarrollados y regulados por la COST 231 para los diferentes escenarios. En los diversos

ambientes los modelos se requieren en términos de los fenómenos físicos dominantes y de la especificación de los datos digitales del terreno.

La definición de los escenarios se deja más clara más adelante, la presente investigación, centra su interés en el modelado para escenarios macro de entornos metropolitanos; partiendo del proceso llevado a cabo para el ajuste del modelo Hata COST 231 en la banda de 1900 Mhz para la ciudad de Lima, haciendo uso de la clasificación en tipos de clutter.

Los modelos de propagación son algoritmos matemáticos que buscan modelar las pérdidas de un enlace de radio lo mejor posible. En el caso de los modelos de propagación empíricos, necesitan ser calibrados con base a los datos obtenidos en una campaña de medidas, de lo contrario se podría obtener predicciones erróneas de cobertura. Las medidas de la intensidad de señal de una onda continua en el tiempo generada por transmisores ubicados estratégicamente, ayudan a producir un algoritmo que se ajuste a las condiciones particulares del entorno. La calidad de un modelo de propagación dependerá de la validez y de la significación de los datos de la campaña de medidas, así como de la calidad de una base digital del terreno.

El grupo de investigación Radio GIS, esta interesado en modelar la radio propagación en entornos andinos; ha realizado trabajos de investigación, entre ellos el Modelo Andino UIS<sup>4</sup>, donde se realizan modificaciones sobre el modelo Walfish Ikegami, planteando un algoritmo semi determinista con expresiones fundamentadas en principios físicos de difracción, validada solo para algunos sectores de una radio base; sin embargo el uso del modelo Hata COST 231, que facilita ajustes mucho más extensos de tal forma que una sola formula podría usarse para toda un área metropolitana aplicando técnicas para la altura efectiva del móvil y difracción hasta el momento no ha sido tema de estudio. El algoritmo Hata COST 231, utilizado para modelar las pérdidas de radio propagación, fue

---

<sup>4</sup> Carreño Y. Tesis de Grado: Desarrollo del Modelo de propagación Andino UIS, UIS, Bucaramanga, 2005

formulado inicialmente con base a pruebas realizadas en la ciudad de Tokio, por tal motivo es necesario calibrarlo a las condiciones particulares de un entorno metropolitano andino conociendo que la clasificación de los usos del terreno o clutter de una ciudad como las nuestras es muy diferente por ejemplo a un entorno europeo.

Nuestras ciudades andinas construidas cerca de los cerros o sobre ellos, presentan en sus generalidades tipos muy bien diferenciados del uso del suelo. Por lo general la zona céntrica conserva rastros coloniales con calles angostas y edificaciones de tipo casonas y/o castillos, la zona moderna con altos edificios convirtiéndose en ambientes densos y de altas pérdidas para la propagación; igualmente hacia los extremos las ciudades se han ido extendiendo hasta llegar a espacios suburbanos y abiertos en la periferia, apareciendo en el camino sectores urbanos cuyo tamaño de edificaciones y separación entre las vías muestran distintas características para la radio propagación, sin mencionar igual otras zonas con particular comportamiento para los enlaces de radio como los sectores industriales.

La presente investigación pretende mostrar el estudio realizado sobre el procedimiento para el ajuste del modelo de propagación Hata COST 231 para el área metropolitana de una ciudad de tipo andino como Lima mediante el uso de la clasificación de tipos de clutter; llevada a cabo gracias al uso de una herramienta que por medio de iteraciones genera una formula ajustada a un buen número de puntos muestra sobre recorridos estratégicamente planeados, haciendo referencia a zonas que presentan diferentes comportamientos hacia la radio propagación.

Igualmente se plantea un análisis paralelo de los resultados obtenidos en una tesis de pregrado anteriormente realizada y el modelo Lima 1900 desarrollado en esta; se busca enriquecer el trabajo realizado al interior del grupo de investigación Radio GIS, que tiene su especial atención en el modelado de la radio propagación en entornos Andinos, para este caso se evalúa una ciudad menos escarpada que Bucaramanga pretendiendo mostrar un procedimiento efectivo para lograr un ajuste para toda un área metropolitana; se estudia lo siguiente: Como se realiza el

ajuste del modelo de propagación Hata COST 231 para un entorno metropolitano y cuales son sus resultados en una ciudad como Lima y su relación con respecto a los obtenidos con el modelo Andino UIS para Bucaramanga, exponiendo las conclusiones alcanzadas.

## **1.1 DESCRIPCION DEL CONTENIDO**

El estudio del procedimiento realizado para el ajuste del modelo Hata COST 231 para un entorno metropolitano se extiende a lo largo de los seis primeros capítulos.

El segundo capítulo hace referencia a el marco teórico que fundamenta el estudio de cualquier ajuste de modelo de propagación: razones físicas, problemas técnicos vistos en cualquier enlace inalámbrico para visualizar los inconvenientes que podrían causarse si de alguna u otra forma no se obtienen un eficiente modelo que simule el comportamiento de la señal a nivel de radio en un sistema de comunicaciones, se hace una breve explicación del criterio utilizado al momento de desarrollar cualquier tipo de campaña de medidas.

En el tercero se establecen los parámetros utilizados por el algoritmo Hata COST 231 y la herramienta con la cual se desarrolla su ajuste, mostrando la fórmula base, los parámetros que la describen, los valores iniciales recomendados para comenzar cualquier tipo de iteraciones para la calibración. Igualmente aparecen métodos con los cuales se aproximan las pérdidas por difracción como el cálculo de las alturas efectivas y los métodos de filo de cuchillo que pueden seleccionarse en la herramienta utilizada para el proceso.

En el cuarto se detalla la forma de realizar la clasificación en tipos de clutter mediante el apoyo de fotografías descriptivas, haciendo referencia igualmente a la

importancia del uso de una buena fuente de datos de terreno digital mostrando los conceptos básicos para su entendimiento.

El proceso como tal durante su ejecución y post procesamiento es desarrollado en los capítulos cinco y seis donde se muestran las recomendaciones, exponen las rutas diseñadas escogidas estratégicamente y muestran los resultados estadísticos obtenidos en la calibración para la Lima metropolitana en la banda de 1900 Mhz.

El análisis paralelo junto con una descripción general del modelo andino UIS, son presentados en el capítulo siete, analizando las diferencias y similitudes entre un modelo validado mediante una campaña de medidas en unos cuantos sectores con características particulares de un entorno escarpado y un modelo ajustado en base a una campaña de medidas para toda un área metropolitana.

En base al procedimiento realizado para la calibración del modelo Hata COST 231, se proponen alternativas para su uso.

Los lectores avanzados en el tema de la radio propagación y ajustes de modelos podrían omitir el segundo capítulo, no en vano se citan referencias bibliográficas al final para aquellos que deseen profundizar en el marco teórico necesario para desarrollar la calibración de un algoritmo para la descripción del enlace de radio.

A lo largo del documento aparecen figuras y gráficas que pretenden mostrar de forma amigable al lector las diferentes temáticas desarrolladas. Se debe tener en cuenta que la finalidad de ésta investigación era la de desarrollar un estudio sobre el procedimiento llevado a cabo para el ajuste del modelo de propagación para el área de Lima metropolitana y realizar un análisis con los resultados obtenidos por un trabajo anterior.

Finalmente se citan las conclusiones alcanzadas en el desarrollo de esta investigación que significan el principal aporte del presente trabajo.

## **CAPITULO 2**

### **RADIOPROPAGACIÓN: RAZONES FÍSICAS, PROBLEMAS TÉCNICOS Y CLASIFICACIÓN DE MODELOS**

#### **2.1 INTRODUCCION A LOS MODELOS DE PROPAGACIÓN**

Para el desarrollo de esta investigación, es importante conocer los fundamentos teóricos que describen la forma en que las ondas se propagan de tal forma que se tenga la claridad de los conceptos necesarios para proponer el ajuste del modelo de predicción, igualmente reconocer los tipos de modelos existentes para establecer la relación con los dos algoritmos estudiados en ésta investigación.

Los mecanismos físicos de la radio propagación son únicos y su naturaleza no depende del ambiente considerado; sin embargo existirán pérdidas de la señal para un canal en particular; que por lo tanto deberá ser modelado para acercarse a la realidad y poder establecer criterios válidos que contribuyan en el diseño de un sistema de comunicaciones inalámbrico.

La radio propagación guarda una importante relación con el ambiente; debiéndose considerar con importancia el tipo de terreno que aparece entre un equipo transmisor y uno receptor; si se considera una superficie plana cubierta con densa vegetación, o las casas en un área suburbana, o los edificios en un centro de ciudad moderno etc.

Los modelos de propagación son el proceso para adaptar la atenuación de radio a la realidad. Calibrar sus parámetros puede clasificar diversos ambientes como áreas urbanas o rurales. Por lo tanto, diversas fórmulas estadísticas o determinísticas existen para investigar panoramas apropiados con una alta confiabilidad.

Los modelos de propagación son más eficientes cuando solamente se consideran los fenómenos físicos más importantes. Los fenómenos tomados en cuenta y su grado de detalle, dependen del tipo de interés en modelar la señal: valor medio, valores estadísticos, pérdidas o cualquier otra característica.

Entre los mecanismos físicos que describen el comportamiento de las ondas electromagnéticas se encuentran: Difracción, Reflexión, Dispersión, Absorción y efecto Doppler; estos son mecanismos de propagación de la señal y se ven reflejados en problemas técnicos como los siguientes: Path Loss, Fading, Interferencia Inter símbolo.

El estudio de los fenómenos de propagación en las comunicaciones móviles, puede verse dificultado por los siguientes aspectos:

-La distancia entre una radio base y un móvil nunca será estática, puede variar de algunos metros a varios kilómetros.

-Las estructuras artificiales y naturales pueden causar problemas en la propagación no calculables ocasionadas por tamaños variables en proporción a la longitud de onda de la señal.

-No se conoce con detalle las características del medio: altura y densidad de árboles, colinas, etc.

Sin embargo; existen dos planteamientos para atacar las anteriores dificultades:

- Modelos que están más cercanos a la realidad, basándose en ajustes con base a medidas experimentales o modelos empíricos.
- Modelos generados a partir de modelos físicos matemáticos de la propagación de las ondas electromagnéticas o determinísticos.

## **2.2 ZONA DE FRESNEL**

En comunicaciones por radio o inalámbricas, la zona de Fresnel es una zona de despeje adicional que hay que tener en consideración además de existir una visibilidad directa entre la antena receptora y la transmisora.

Este factor deriva de la teoría de ondas electromagnéticas respecto de la expansión de las mismas al viajar en el espacio libre. Esta expansión resulta en reflexiones y cambios de fase al pasar sobre un obstáculo. El resultado es un aumento o disminución en el nivel de intensidad de señal recibido.

En comunicaciones por radio, una zona de Fresnel, nombrada en honor del físico Auguste Jean Fresnel, es uno de los elipsoides de revolución concéntricos teóricamente infinitos que definen volúmenes en el patrón de radiación de la abertura circular (generalmente).

La sección transversal de la primera zona de Fresnel es circular. Las zonas subsecuentes de Fresnel son anulares en la sección transversal, y concéntricas con las primeras. El concepto de las zonas de Fresnel se puede también utilizar para analizar interferencia por obstáculos cerca de la trayectoria de la señal de radio. La obstrucción máxima permisible para considerar que no hay obstrucción es el 40% de la primera zona de Fresnel, considerándose como Línea de vista (LOS), el caso contrario cuando las obstrucciones son más significativas es considerado como sin línea de Vista (NLOS).

Para establecer las zonas de Fresnel, primero se debe determinar la línea de vista de RF ("RF LoS", en inglés), que en términos simples es una línea recta entre la antena transmisora y la receptora. Ahora la zona que rodea el *RF LoS* es la zona de Fresnel. El radio de la sección transversal de la primera zona de Fresnel tiene su máximo en el centro del enlace. En este punto, el radio  $r$  se puede calcular como sigue:

$$r = 548 \sqrt{\frac{d}{4f}} \quad (2.1)$$

$r$  = radio en metros (m).

$d$  = distancia en kilómetros (km).

$f$  = frecuencia transmitida en megahercios (MHz).

La fórmula genérica de cálculo de las zonas de Fresnel es:

$$r_n = 548 \sqrt{\frac{nd_1d_2}{fd}} \quad (2.2)$$

Donde:

$r_n$  = radio de la enésima zona de Fresnel.

$d_1$  = distancia desde el transmisor al objeto en km.

$d_2$  = distancia desde el objeto al receptor en km.

$d$  = distancia total del enlace en km.

$f$  = frecuencia en MHz.

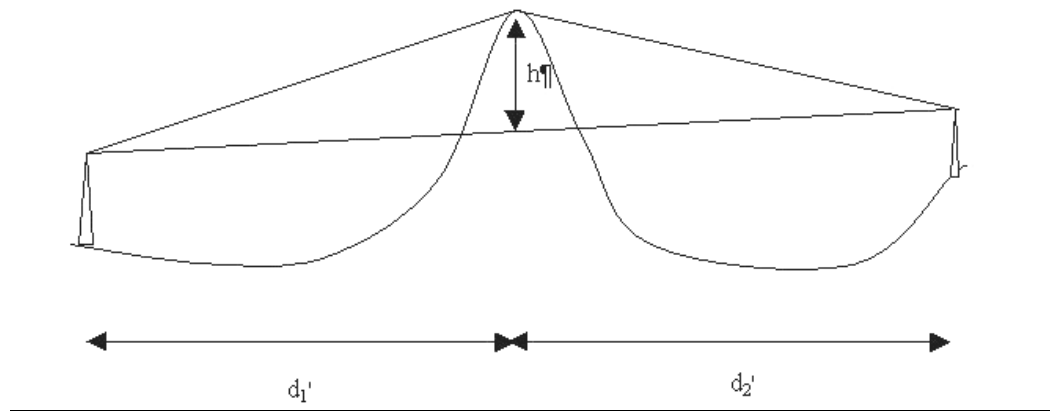


Figura No.2.1. Esquema de la zona de Fresnel,  $h \cdot \pi$  es el radio en este caso

### 2.3 RAZONES FÍSICAS

Para facilitar el trabajo en radio propagación por lo general se hace uso de la aproximación de onda plana, tal como se presenta en la figura 2.2

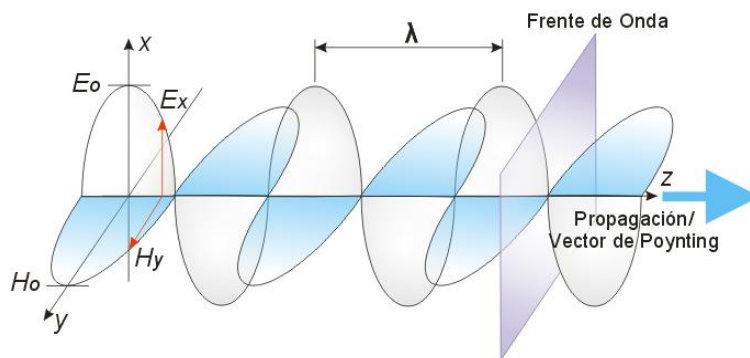


Figura No. 2.2. Onda plana

Se suponen dos ondas sinusoidales simples de amplitudes  $E_o$  y  $H_o$  que definen el campo eléctrico y el campo magnético respectivamente. Las ecuaciones que describen esta representación en un medio ideal sin pérdidas se presentan a continuación.

$$E = E_o \cos(\omega t - kz) \hat{x} \quad (2.3)$$

$$H = I \cos(\omega t - kz) \hat{y} \quad (2.4)$$

$$k = \frac{2\pi}{\lambda} \quad (2.5)$$

Donde  $\omega = 2\pi f$  es la frecuencia angular,  $t$  es el tiempo transcurrido,  $k$  es el número de onda,  $z$  es la distancia a lo largo del eje  $z$  y los indicadores  $\hat{x}$  y  $\hat{y}$  son los vectores unitarios en la dirección  $x$  y  $y$  positivas. Las ecuaciones (2.3) y (2.4) satisfacen las ecuaciones de Maxwell, por lo cual su relación de amplitudes para un medio dado es una constante (ecuación 2.6) y se denomina impedancia de onda. En espacio libre esta impedancia es aproximadamente igual a  $377\Omega$ .

$$\frac{|E|}{|H|} = \frac{E_x}{H_y} = \frac{E_o}{H_o} = \sqrt{\frac{\mu}{\epsilon}} = Z \quad (2.6)$$

Donde  $\mu$  es la permeabilidad del medio y  $\epsilon$  la permitividad del mismo. De las ecuaciones (2.4) y (2.5) también se puede establecer el *Vector de Poynting*:

$$S = E \times H^* \quad (2.7)$$

De (2.7) se intuye que el Vector de Poynting tendrá una dirección según la regla de la mano derecha; en este caso en la dirección z de propagación según la figura No. 2.2

En la práctica, los parámetros constitutivos en las regiones por las cuales se propagan las ondas, no son constantes y deben considerarse los límites entre los medios (entre el aire y la tierra, entre edificios y el aire, entre la tierra y la atmósfera, etc.). Estos efectos de frontera ocasionan cambios en la amplitud, fase y dirección de propagación de las ondas. Casi todos pueden ser entendidos en términos de simples mecanismos de propagación sobre las ondas planas.<sup>5</sup>

Bajo ésta teoría, la onda de radio obra recíprocamente con el ambiente en el cual se propaga, es decir, con la atmósfera, las características del terreno, los edificios, las paredes, los árboles, etc., con la absorción, la reflexión, la difracción y la dispersión.

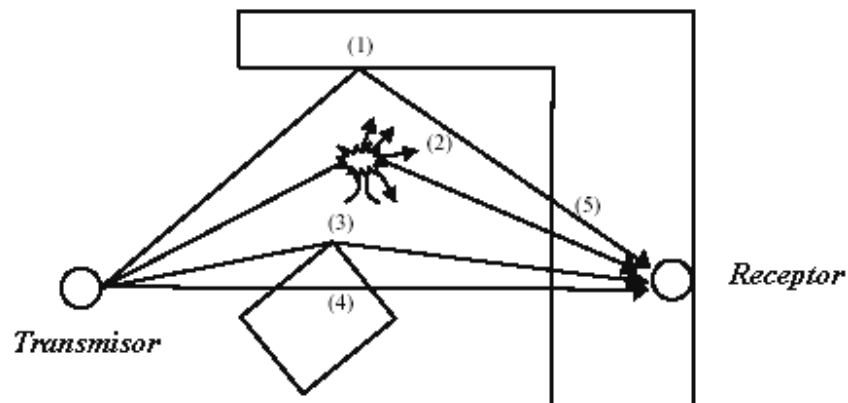


Figura No. 2.3. Representación de los mecanismos de (1) reflexión, (2) scattering, (3) difracción, (4) absorción.

### 2.3.1 Reflexión

Las ondas electromagnéticas que llegan de cierta dirección a una superficie con dimensiones mayores comparadas a su longitud de onda son (parcialmente) reflejadas por ésta superficie; los campos reflejados de la onda se relacionan con

<sup>5</sup> GARCIA PAOLO, Tesis de Grado: Cobertura para sistemas móviles celulares en entorno urbano escarpado

los campos de la onda del incidente con un coeficiente de reflexión.<sup>6</sup> La intensidad de la onda reflejada depende de la frecuencia, el tipo de material, la polarización de la onda y el ángulo de incidencia.

La expresión más común para la reflexión es el coeficiente de reflexión de Fresnel que es válido para un límite infinito entre dos medios, por ejemplo: aire y concreto; depende de la polarización y de la longitud de onda del campo de la onda del incidente y de la constante dieléctrica y de la conductividad de cada medio. El uso del coeficiente de reflexión de Fresnel es muy popular en herramientas software para simulaciones.

Este mecanismo se utiliza principalmente para modelar la reflexión de la superficie de tierra y de las paredes de los edificios; se ha utilizado para interpretar medidas en algunos ambientes particulares tales como zonas densas con edificios altos en el centro de ciudades, micro- células, ambientes indoor y para macro escenarios, haciendo referencia a reflexiones cerca del móvil.

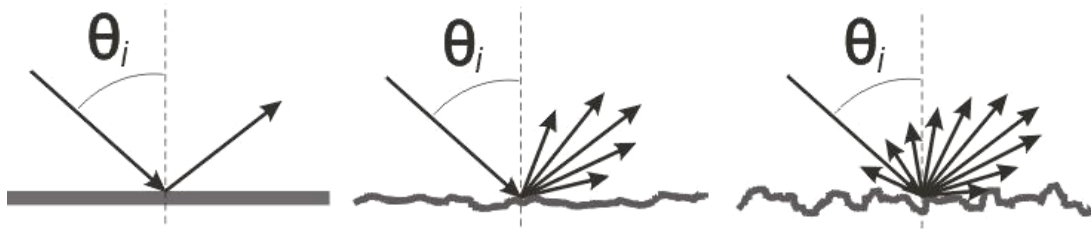
### **2.3.2 Dispersión o Scattering**

Ocurre en las ondas de radio debido al contacto con superficies rugosas de objetos, estructuras o superficies irregulares (vegetación, postes de luz, puentes), cuando el tamaño de dichas irregularidades es comparable a la longitud de onda de las señales propagadas.

Cuando la superficie se hace progresivamente rugosa, la onda reflejada comienza a dispersarse desde un gran número de puntos de la superficie, ensanchando la energía dispersada, como se aprecia en la figura No 2.4. Esto reduce la energía en la dirección de reflexión natural e incrementada la energía irradiada en otras direcciones. El grado de dispersión depende del ángulo de incidencia y de la rugosidad de la superficie comparada con la longitud de onda.

---

<sup>6</sup> Rappaport, T.S, "Wireless Communications – Principles and Practice", Prentice Hall, New Jersey, U.S.A., 1996.



*Figura 2.4. Efectos de una superficie rugosa en la reflexión, causando dispersión*

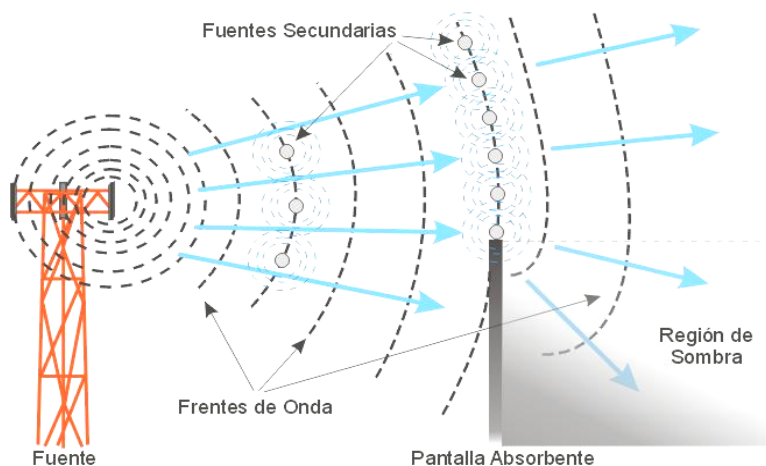
Cuando la superficie es rugosa se presenta una reducción en la amplitud de la componente reflejada principal y puede ser establecida por la aplicación de un factor de rugosidad, el cual depende del ángulo de incidencia y de la desviación estándar en las alturas de la superficie.

Este mecanismo no considera la dispersión verdadera de la energía de radio en varias direcciones, sino la reducción de la energía reflejada debido a los componentes difusos dispersados en el resto de las direcciones.

### 2.3.3 Difracción

La difracción puede ser explicada como una dispersión aparente de las ondas alrededor de los obstáculos.

Este efecto es denominado difracción y se rige por el principio de *Huygens*, donde cada elemento de un frente de onda en un instante de tiempo puede ser considerado como el centro de una fuente secundaria, lo cual ocasiona nuevas ondas esféricas y un frente de onda conformado por la suma de las mismas.



*Figura No. 2.5. Principio del mecanismo de difracción*

### **2.3.4 Absorción**

Las pérdidas por absorción debidas a los árboles o la absorción del cuerpo son también difíciles de cuantificar con precisión.

Otra causa de este tipo de pérdidas son las ocasionadas por los efectos atmosféricos, tales efectos no son tenidos en cuenta al momento de modelar a bajas frecuencias; sin embargo deben considerarse con importancia cuando se trabajan en frecuencias superiores a los 60 GHz, no es el caso de este procedimiento que se realiza para 1900 Mhz.

### **2.3.5 Efecto Doppler**

Las ondas de luz, sonido y otras formas de propagación de energía tienen un factor de desplazamiento captado por un observador en movimiento.

Cuando un transmisor o un receptor están en movimiento, la frecuencia de la portadora recibida presenta variaciones con respecto a la frecuencia de la portadora que se transmitió, produciendo de esta manera la pérdida parcial por instantes de tiempo o completa de la señal que fue transmitida. Si la distancia entre el transmisor y el receptor aumenta, la frecuencia disminuye, cuando la frecuencia aumenta la distancia entre el transmisor y el receptor disminuye.

El denominado Corrimiento Doppler en los sistemas inalámbricos, como la radio, no es más que la pérdida parcial o completa de la señal que ha sido transmitida, debido al movimiento de uno de los puntos involucrados en la transmisión. Esto implica un cambio de frecuencia en la portadora que fue recibida con respecto a la frecuencia de la portadora que fue transmitida.

## **2.4 PROBLEMAS TÉCNICOS**

### **2.4.1 Path Loss**

Toda señal electromagnética sufre pérdidas de propagación ocasionadas por la distancia desde la antena transmisora, el comportamiento de la atenuación es de tipo exponencial.

Este término es de uso general en comunicaciones y la propagación inalámbrica de la señal. La pérdida de trayectoria puede ser debido a muchos efectos tales como pérdida del espacio libre, refracción, difracción, reflexión, pérdidas en los conectores, y absorción. La pérdida de trayectoria es afectada por factores tales como contornos del terreno, diversos ambientes (urbano, rural, y vegetación), medio de la propagación (aire seco o húmedo), la distancia entre el transmisor y el receptor, la altura y la localización de las antenas, etc. La pérdida de trayectoria o path loss se puede representar por el exponente de pérdida de trayectoria, cuyo valor está normalmente entre 2 y 4 (donde está 2 para la propagación en el espacio libre, 4 está para relativamente los ambientes de pérdidas). En algunos escenarios, tales como edificios y otros ambientes de interior, el exponente de la pérdida de trayectoria puede alcanzar valores hasta de seis.

Al momento de realizar cálculos de cobertura y link budget<sup>7</sup> se realiza el análisis de la atenuación de la señal en todo su recorrido desde la salida del transmisor debida a las diferentes circunstancias. Un algoritmo de propagación no es más que el modelado matemático del path loss para describir las pérdidas desde la salida EIRP del transmisor hasta la señal percibida por el receptor.

#### **2.4.2 Fading**

Ocurre en diferentes escalas, debido a distintas causas, aparece estadísticamente en distintos tipos y diferentes probabilidades de distribución. Para atacar este problema se debe llegar a plantear un margen que permita al equipo receptor manejar esas caídas de nivel con una probabilidad especificada.

##### *- Fast Fading*

Aparece debido a propagaciones multitrayectoria, el nivel del receptor se ve afectado por las interferencias de distintos caminos de la señal, este problema

---

<sup>7</sup> Término inglés utilizado para describir las pérdidas que sufre un enlace de comunicaciones desde la salida transmisora hasta el receptor, tienen en cuenta atenuaciones en los conectores, ganancias de antena, pérdidas de radio propagación.

técnico, se maneja cambiando las frecuencias de transmisión y manejando diversidad de antenas en el up link.

El campo resultante en el receptor es la suma de los campos de los diferentes caminos, usualmente existen dos subtipos de clasificación.

- Rice Fading

Cuando existe una trayectoria predominante, con Línea de vista (LOS).

- Rayleigh Fading

Describe la situación donde no existe una trayectoria predominante, no hay una situación de Línea de vista (NLOS), todas las contribuciones a la señal del receptor son comparables entre ellas y llegan con una distribución estadística.

-*Slow Fading*

Denota la variación del nivel significativo de la señal sobre una escala larga de tiempo, la más importante razón para este problema es el shadowing cuando el receptor se encuentra en movimiento.

### **2.4.3 Interferencia Intersimbolo**

Si los tiempos de retardo de las ondas propagándose exceden substancialmente el tiempo de bit de un enlace digital, los grupos que difieren producen serias interferencias inter símbolos, por lo tanto la interferencia propia de múltiples señales se aproxima a la interferencia del co-canal a través de desvanecimientos *Rayleigh* incoherentes.

## **2.5 MODELOS DE PROPAGACIÓN PARA MACRO ESCENARIOS**

Las predicciones se basan en el conocimiento de la topografía, del uso de la tierra y de la información de la altura. Se reconocen como macro escenarios o macro

celdas, aquellos donde las antenas transmisoras se encuentran ubicadas en las azoteas de los edificios y las señales electromagnéticas estarán involucradas principalmente en los mecanismos de difracción y dispersión para describir sus pérdidas.

TIPO DE ESCENARIO	RADIO DE CELDA	POSICIÓN TÍPICA DE RADIO BASE
Macro celda	1 a 30 Km.	Outdoor, ubicada por encima de las azoteas de todas las edificaciones.
Pequeña Macro Celda	0.5 a 3 Km.	Outdoor, ubicada por encima de las azoteas de varias edificaciones.
Micro celda	Hasta 1 Km.	Outdoor, con alturas inferiores al promedio de las edificaciones.
Pico celda	Hasta 500 m	Indoor o Outdoor con alturas muy inferiores a las edificaciones.

*Tabla No. 2.1. Clasificación de los tipos de celdas o escenarios, ubicación de los macro escenarios.*

### **2.5.1 Modelos Empíricos**

En el modelamiento empírico-estadístico las características del canal son deducidas a partir de los datos muestrales obtenidos en campañas de medidas.

Un aporte importante del COST 231 es el desarrollo de los modelos de propagación para áreas urbanas en las bandas de 900 y 1800 MHz. De acuerdo con extensas campañas de medida en ciudades europeas, COST 231 ha

investigado diversos modelos existentes y ha creado nuevos modelos de propagación.

El modelo COST Hata que será presentado en el presente trabajo hace parte de esta clasificación.

#### *Ventajas:*

- \* En el caso de ser formulados con base a mediciones diseñadas estratégicamente pueden llegar a ser considerados válidos para la zona en la cual fue realizada la campaña de medidas.
- \* Son modelos sencillos y sin gran complejidad matemática realizados a partir de regresiones de puntos tomados, de fácil ajuste.
- \* No necesitan procesos de validación ya que fueron realizados precisamente partiendo de una campaña de medidas.

#### *Desventajas*

- \* Son necesarios equipos de adquisición de datos complejos y costosas campañas de medidas.
- \* Una campaña de medidas mal elaborada sería la causa de un modelo completamente erróneo.

Entre los modelos empíricos se encuentran: Path loss, ITU, Okumura Hata y COST Hata.

#### *- Modelos Path Loss*

Son frecuentemente derivados a partir de la regresión lineal de los datos muestrales. Solo se modifica una componente de su algoritmo según el tipo de terreno a evaluar.

Son adecuados cuando se requiere realizar una predicción rápida y sencilla, obviamente no son recomendados para situaciones en las que se requiere un nivel de predicción alto.

*- Modelo ITU*

Originalmente desarrollado para sistemas de radio broadcasting, esta basado en medidas en las bandas UHF y VHF; las diferentes topografías son descritas por medio de parámetros y deltas de alturas.

Este modelo describe la radio propagación para frecuencias entre los 30 y los 1000 Mhz y distancias entre los 10 y 1000 Km.

*- Modelo Okumura Hata*

Desarrollado en base a medidas realizadas en la ciudad de Tokio, este modelo empírico asume superficies homogéneas, manejando la clasificación del uso del suelo para hacer la distinción de las pérdidas para zonas en particular y es comúnmente utilizado para modelar macro escenarios aproximando un algoritmo para grandes extensiones.

*- Modelo COST Hata*

Tema de ésta investigación, es la extensión del algoritmo Okumura Hata para frecuencias superiores, en el siguiente capítulo se estudia a fondo.

## **2.5.2 Modelos Determinísticos**

Considerando las ecuaciones de Maxwell y algunas condiciones de límite, los mecanismos de propagación de la onda electromagnética se pueden investigar desde un punto de vista teórico. Este acercamiento es conceptual similar a realizar medidas reales; pero las "medidas simuladas" tienen la ventaja de proporcionar un control mucho mejor sobre los ambientes de la propagación.

Los modelos determinísticos de propagación le dan un tratamiento netamente físico a la descripción de los fenómenos implicados en la radio propagación. Son muy apropiados en los casos en que la planeación de las redes requieren un gran nivel de aproximación.

### *Ventajas:*

- \* El ambiente y la geometría se modelan fácilmente con algoritmos matemáticos y valores establecidos en tablas.
- \* Pueden ajustarse a diferentes zonas sin necesidad de una tediosa campaña de medidas.

### *Desventajas*

- \* Se debe contar con extensa bases de datos para escenarios específicos, como por ejemplo bases de datos topográficas y constantes de materiales.
- \* Los resultados de las simulaciones en software podrán estar lejanos a la realidad.
- \* Se necesita gran capacidad de hardware y software para su procesamiento.
- \* Necesitan validarse por medio de una campaña de medidas.
- \* Son algoritmos extensamente elaborados y que necesitan de alta complejidad matemática para su ajuste.

Entre este tipo de están: Modelo de Diferencias Finitas y Modelo del Rayo.

### *- Modelo de Diferencia Finita*

Utiliza diferencias finitas para reemplazar las derivadas parciales de las ecuaciones de campos electromagnéticos buscando solucionarlas, supone que los campos se vuelven nodos de una gran grilla; discretiza el dominio computacional en intervalos y calcula los campos en cada punto del intervalo con las ecuaciones gobernantes (Maxwell o las ecuaciones de onda), el sistema de ecuaciones lineales planteado se soluciona con una compleja matriz.

Una muy alta precisión para la predicción de pérdidas que se llega a obtener.

Se requiere una muy alta precisión de los datos de superficie que deben estar correctamente parametrizados y apropiados para la grilla que se manejará.

#### *- Modelo del Rayo*

Maneja la propagación con geometría óptica, modelándola como enlaces lineales entre transmisor y receptor; existirán pérdidas de espacio libre hasta el primer obstáculo y desde la reflexión o difracción de éste hasta el siguiente o hasta la antena receptora. El algoritmo toma únicamente un número máximo de reflexiones o difracciones. También se obtiene una alta precisión para la predicción de path loss o pérdidas de espacio libre.

#### **2.5.3 Modelos Semi determinísticos**

Para la mayoría de los entornos, existen características tan particulares y complejas que es más conveniente formular modelos partiendo de algoritmos teóricos junto con calibraciones producto de campañas de medidas tomadas directamente en las zonas de interés.

El uso de la combinación de los dos tipos empíricos y determinísticos, usualmente requiere de términos adicionales al algoritmo volviéndolo más complejo.

Este tipo de modelos requiere de una extensa campaña de medidas que permita modelar cada una de las zonas a estudiar, su esencia teórica no le permite ser muy flexible.

El modelo Andino UIS que será analizado en el presente trabajo pertenece a esta clasificación.

Los modelos semideterminísticos son elegidos cuando el diseño de la interfaz radio de un sistema de comunicación móvil y la elección de los parámetros del radio enlace para el uso de entornos tanto outdoors como indoors, requieren de una completa descripción de los campos electromagnéticos<sup>8</sup>.

En esta clasificación se pueden mencionar: el modelo Walfisch Ikegami y el modelo Andino UIS.

#### *- Modelo COST 231 - Walfisch-Ikegami*

El COST 231 propuso una combinación de los modelos de Walfisch y de Ikegami.

---

<sup>8</sup> CARREÑO, Yair; Tesis de Grado: Desarrollo del Modelo de propagación Andino UIS

El modelo permite una mejor aproximación a las pérdidas en la trayectoria por la consideración de más datos para describir el ambiente urbano: Las alturas de los edificios, el ancho de las vías, la separación entre edificios y la orientación de las vías con respecto a la trayectoria de radio directa.

Para mayor información sobre este modelo se puede consultar la investigación *“Cobertura para sistemas móviles celulares en entorno urbano escarpado”*<sup>9</sup>.

## **2.6 CRITERIO DE LEE**

Establece que el muestreo de una señal por un receptor en movimiento debe hacerse cada 40 longitudes de onda, de tal forma que el valor medido corresponda lo más cercano al valor medio de la señal que sufre variaciones continuamente por pérdidas de slow, fast fading y multitrayectorias.

Se ha llegado entonces a la claridad acerca de los fenómenos físicos que describen el comportamiento de las ondas electromagnéticas, de esta forma al momento de evaluar el comportamiento de un algoritmo que modela un enlace de radio se poseen los conceptos necesarios para entenderlo.

La ubicación del modelo Hata COST 231 dentro de la clasificación de algoritmos empíricos permite evaluar las ventajas y desventajas respecto a un modelo de tipo semideterminista como el Andino UIS.

---

<sup>9</sup> García Ariza Alexis Paolo, Cobertura para sistemas móviles celulares en entorno urbano escarpado, Universidad Industrial de Santander, Escuela de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones, Bucaramanga, Colombia, 2002.

## CAPITULO 3

### MODELO DE PROPAGACIÓN HATA COST 231

Es fundamental que se conozca con propiedad el algoritmo Hata COST 231, cuya calibración para un entorno metropolitano es motivo del estudio de ésta investigación. En este capítulo se exponen la formulación Hata original y la modificada para uso de la herramienta utilizada en la calibración, la descripción de la fórmula y sus valores ha ser ajustados, al igual que los métodos con los cuales se puede modelar las pérdidas de difracción y relaciones de altura según las características del entorno a analizar.

#### 3.1 HISTORIA

El modelo Okumura Hata, esta basado en datos empíricos obtenidos por Okumura en los años 60 en campañas de medidas realizadas en la ciudad de Tokio y en desarrollos realizados por Hata a la fórmula original mediante correcciones de términos para diferentes ambientes.

Este modelo es de tipo isotrópico y asume una superficie de tipo casi plana, obstáculos como edificaciones no se encuentran especificados; sin embargo, los diferentes tipos de superficies: zonas densas de las ciudades, urbanas, suburbanas, villas, zonas rurales son distinguidas por factores de corrección en el algoritmo.

Debido a que el modelo base de Okumura Hata, no puede ser aplicado directamente a sistemas en bandas de frecuencia superiores a 1500 Mhz, COST 231<sup>10</sup> ha extendido el modelo de Hata a la banda de los 1500 a los 2000 Mhz analizando las curvas de propagación de Okumura en la banda de frecuencia superior, formulando el modelo Hata COST 231 con el cual se trabajará en esta investigación en la banda de los 1900 Mhz.

---

<sup>10</sup> Cooperación europea en el campo de los desarrollos científicos y técnicos

El uso del modelo Hata COST 231 se restringe a los escenarios de macro-células grandes y pequeñas, es decir alturas de la antena de la estación base sobre niveles superiores y adyacentes a las azoteas de las edificaciones. Las fórmulas de Okumura y Hata COST 231 no se deben utilizar para los escenarios micro y pico celulares.

*“La valoración de las pérdidas de trayectoria del Modelo Hata COST 231 es realizada por los modelos empíricos, solamente si la superficie del terreno es de características irregulares y los parámetros requeridos para los modelos semi-deterministas no pueden ser determinados”<sup>11</sup>.*

### 3.2 ALGORITMO HATA MODIFICADO PARA LA HERRAMIENTA

En el caso en particular de ésta investigación, será analizado el proceso para macro escenarios, a continuación se verá la estructura del algoritmo Hata COST 231

$$L = 46.3 + 33.9 \cdot \log(f/\text{MHZ}) - 13.82 \cdot \log(H_{bs}/m) - a \cdot (H_{ms}/m) + s \cdot \log(d/\text{km}) - c \quad (3.1)$$

$$\begin{aligned} a &= [1.1 \cdot \log(f) - 0.7] \cdot H_{ms} - [1.56 \cdot \log(f) - 0.8] \\ s &= 44.9 - 6.55 \cdot \log(H_{bs}/m) \end{aligned} \quad (3.2)$$

Cuatro parámetros son utilizados para la valoración de las pérdidas de propagación por el modelo de Hata: Frecuencia, distancia, altura de la antena de la estación base y la altura de la antena móvil, en la expresión L son las pérdidas en dB que tiene la señal, f es la frecuencia de trabajo, H<sub>bs</sub> es la altura de la estación base, H<sub>ms</sub> es la altura promedio del móvil, a es un factor de corrección para la altura promedio del móvil, c hace referencia a las pérdidas que aparecen para un tipo de terreno en particular: centro de la ciudad, área suburbana, rural, etc.

---

<sup>11</sup> CHICHON, Dieter; Propagation Prediction Models

Puede observarse la relación que guarda el modelo con la clasificación del terreno sobre el cual se estará estudiando, el valor de c estará ajustándose según sea necesario.

La herramienta utilizada para el estudio del modelo, maneja el algoritmo Hata COST 231 expresando las pérdidas por propagación de la siguiente forma:

Path loss (dB) =  $P_{trx} - P_{rx} =$

$$K1 + K2 \cdot \log(d) + K3(H_{ms}) + K4 \cdot \log(H_{ms}) + K5 \cdot \log(H_{eff}) + K6 \cdot \log(H_{eff}) \cdot \log(d) + K7 \cdot \text{Difrac} + K_{clutter}. \quad ^{12} \quad (3.3)$$

Donde:

$P_{rx}$  = Potencia medida por el receptor en dBm.

$P_{trx}$  = Potencia de transmisión EIRP en dBm.

$K1$  = Constante offset de pérdidas.

$K2$  = Factor constante que relaciona las perdidas con el logaritmo de la distancia.

$K3$  = Factor de corrección para la fórmula Hata para la altura efectiva del móvil.

$K4$  = Factor de compensación de ganancia debida a la altura del móvil.

$K5$  = Factor de compensación de ganancia debida a la altura de la estación base.

$K6$  = Factor de la fórmula Hata para relacionar las perdidas con la relación altura estación base y distancia del móvil.

$K7$  = Factor para las pérdidas por difracción.

$K_{clutter}$  = Factor de corrección particular para cada tipo de terreno en dB.

$d$  = distancia Transmisor-Receptor en kilómetros.

$H_{eff}$  = altura efectiva de la antena transmisora en metros.

$H_{ms}$  = altura del móvil en metros.

$\text{Difrac}$  = Pérdidas por difracción en dB.

---

<sup>12</sup> Ecuación tomada del manual interno de SIEMENS: *Model Tuning concepts TornadoN Macro [2]*

La correspondiente relación entre la fórmula COST 231 Hata y la utilizada por la herramienta es la siguiente:

$$L = 46.3 + \underset{K1}{33.9} \cdot \log(f) + \underset{K2}{49.9} \cdot \log(d) - \underset{K5}{13.82} \cdot \log(H_{bs}) - \underset{K6}{6.55} \cdot \log(H_{bs}) \cdot \log(d) - a(H_{ms}) + \underset{K3}{L_{clutter}}$$

(3.4)

Con  $H_{bs}$  igual a la altura de la radio base.

En el algoritmo modificado de la herramienta,  $K4$  y  $K7$  son adiciones que se incluyen para acercar a un más la fórmula a los fenómenos reales: la altura efectiva del móvil (terreno escarpado) y difracción de la señal.<sup>13</sup>

El término  $L_{clutter}$  corresponde al original  $c$  y hace relación a que tanto se tendrán de más o menos pérdidas en el tipo de terreno respecto al centro de la ciudad de Tokio, donde fue realizada la campaña de medidas que originó el algoritmo.

El aumento del clutter tiene que ser definido para cada clutter que exista en la base de datos del terreno. Este valor se trata como el aumento de la clase individual del clutter con respecto a la referencia el centro de Tokio.

Prácticamente hablando, esta idea permite utilizar el mismo algoritmo en cada ambiente (urbano o rural), cambiando de puesto simplemente la curva básica para ajustar el comportamiento de la señal para cada área de la clase de uso del terreno (urbano, abierto, bosque, mar, etc.).

En este caso el algoritmo Hata COST 231, puede entenderse como un modelo empírico, al contener términos: frecuencia, alturas, distancias,  $L_{clutter}$ , que se ajustarán a la zona en particular de estudio con ayuda de los valores recogidos en una campaña de medidas.

El modelo Hata COST 231 y el Okumura Hata son válidos únicamente para modelar escenarios macro, debido a su naturaleza isotrópica, en donde no tienen

---

<sup>13</sup> Relación tomada del manual: *Model Tuning concepts TornadoN Macro [2]*

una referencia en tres dimensiones para valorar las pérdidas, sino clasifican todo un terreno en especial que maneja valores muy similares de atenuación.

### 3.2.1 Valores Iniciales

El sistema de los parámetros K1, K2, K3, K5, K6 para un modelo general de la herramienta TORNADON se interpreta como modelo transformado de Hata.

En base al algoritmo se tiene:

$$L = 46.3 + 33.9 \cdot \log(f) + 49.9 \cdot \log(d) - 13.82 \cdot \log(H_{bs}) - 6.55 \cdot \log(H_{bs}) \cdot \log(d) - a(H_{ms}) + L_{clutter}$$

$$K1 \qquad K2 \qquad K5 \qquad K6 \qquad K3 \qquad (3.5)$$

Se tendría que  $K1 = 46.3 + 33.9 \cdot \log(f)$ , para  $f = 1900$   $K1 = 157.44$

Sin embargo, como valores recomendados a utilizar en la herramienta como iniciales para las constantes que conforman el algoritmo para ajustar en la banda de 1900 Mhz (aparecen especificados para 1800Mhz<sup>14</sup>), están los siguientes:

	1-pieza	2-piezas
$K1_{near}$	159.7	159.7
$K2_{near}$	44.9	54.1
$K1_{far}$	159.7	
$K2_{far}$	44.9	
K3	0	
K4	0	
K5	-13.82	
K6	-6.55	
K7	0.5..0.3*	

Tabla No. 3.1. Los valores iniciales recomendados en la banda de 1900 Mhz.

<sup>14</sup> Relación tomada del manual: *Model Tuning concepts TornadoN Macro*

En base a medidas realizadas, se han encontrado valores para las pérdidas en diferentes tipos de clutter en la banda de 1900 Mhz, estos son aconsejables introducirlos como iniciales al momento de realizar una calibración con el modelo. A continuación se citarán valores que describen un entorno típico europeo; se toman únicamente como referencia para realizar el estudio en la ciudad de Lima.

<b>TIPO DE CLUTTER</b>	<b>OFFSET (dB)</b>	<b>COMENTARIO</b>
Urbano Denso >10 pisos, calles estrechas	0	Tipo centro de Tokio, dado como referencia
Médico urbano 6...7 pisos,	-3	Tipo centro de Munich
Suburbano 4...5 pisos	-(11..15)	Mediana separación entre calles
Suburbano 3...4 pisos	-(13..17)	Suburbios Aislados
Industrial	-(12..15)	Construcciones de grandes extensiones
Áreas abiertas, bajas construcciones	-(17..20)	
Villas, areas abiertas	-(18..20)	
Zona Forestal Tropical	-(6..10)	Árboles de hasta 30m
Zona forestal densa	-(13..15)	
Zona forestal baja	-(18..20)	
Semi abierta, rural, casas esparcidas	-(20..25)	
Area abierta	-(25..30)	
Area abierta árida	-35	
Rios, Mar , Lagos	-35	

*Tabla No. 3.2. Valores para entornos Europeos*

En Europa central los valores cercanos a cero y alrededor a 12dB son factibles para las áreas urbanas.

Los tipos de clutter y sus respectivos valores de pérdidas son diferentes, puesto que el entorno de una ciudad nunca es igual a otro; igual debe aclararse que las pérdidas o factores serán diferentes según la frecuencia en la cual se realice el ajuste; a menor frecuencia menores pérdidas.

Las zonas urbanas andinas son muy distintas a las desarrolladas urbes europeas, además la topografía es muy variada al estar dentro de la metrópoli, distribuidas indistintamente las zonas industriales, áreas abiertas, parques, zonas suburbanas, etc con dimensiones diferentes. Dentro de las características pueden existir analogías o similitudes que pueden tomarse para citar los nuevos valores; los factores para clutter tienen que ser definidos para cada tipo que exista en la base de datos del terreno.

Incluso el modelo original de Hata, presentaba factores de corrección para los clutter: "área suburbana" y "abierta".

Los factores se eligen de manera que el nivel de señal que prevalece en el nivel de la calle (altura media del móvil de 1.5m) se predecirá en un panorama de igual a la de ciudad (Tokio), es decir un  $L_{clutter}$  igual a cero; el nivel de señal en el resto de los panoramas (suburbanos, bosque, etc) es ajustado a partir de los factores del clutter presentados en las tablas anteriores, todos los valores intermedios son posibles, dependiendo de la superficie y de las estructuras propias de la zona a describir.

### 3.3 FACTORES ADICIONALES

La herramienta usada para el proceso de calibración, permite realizar ajustes para factores adicionales como la altura efectiva de la antena, la aplicación del modelo de difracción y el uso de un modelo de dos piezas.

#### 3.3.1 Altura Efectiva

Hay varias opciones en el modelo estándar para determinar la altura eficaz de la antena. En cada caso el método apropiado se debe determinar del perfil del terreno que prevalece. Si solamente un camino específico necesita ser cubierto en terreno montañoso, la opción puede ser diferente a la de un área entera metropolitana.

La herramienta utilizada, permite manejar dinámicamente los efectos de la altura relativa de la radio base con respecto al móvil en movimiento gracias al perfil del terreno cargado en la base de datos, dichos efectos son escalados con el factor  $K_4$ .

Para contrarrestar los efectos que puedan traer la resolución del mapa digital, la altura efectiva de la antena transmisora con respecto al móvil puede ser calculada a partir de uno de los siguientes cuatro métodos:

##### - Método Absoluto

La altura efectiva de la radio base es igual a su altura sobre el terreno proporcionada en la base de datos, un mapa digital de alto nivel de resolución facilita el uso de este método.

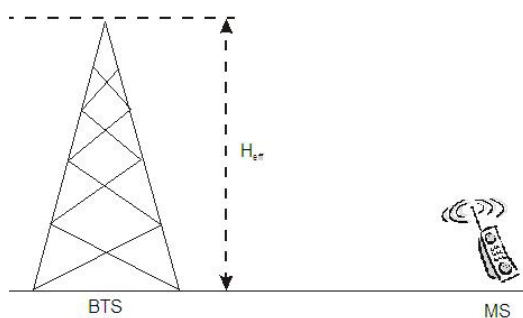


Figura No. 3.1. Método Absoluto

- Método del Promedio

Es tomada como altura efectiva sobre la tierra el promedio sobre las alturas que toma la radio base respecto al móvil en movimiento sobre un terreno ondulado, la base de datos de la cartografía digital es la encargada de referenciar la altura para cada punto sobre el terreno.

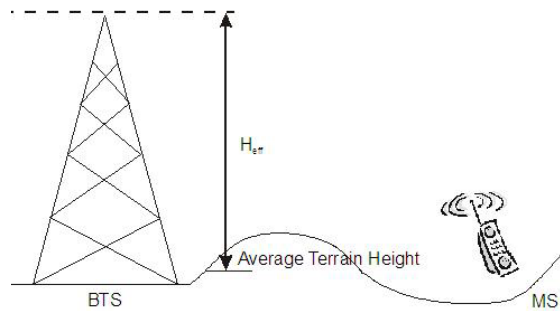


Figura No. 3.2. Método del promedio

- Método Relativo

Utilizado cuando el móvil se encuentra por debajo del nivel del piso de la radio base transmisora, en este caso la altura efectiva es tomada de la siguiente forma:

$$H_{\text{eff}} = H_b + H_{\text{ob}} - H_{\text{om}} \quad (H_{\text{ob}} > H_{\text{om}}) \quad (3.7)$$

$$H_{\text{eff}} = H_b \quad (H_{\text{ob}} \leq H_{\text{om}}) \quad (3.8)$$

$H_b$  es la altura de la antena transmisora sobre el nivel del suelo de su estructura.

$H_{\text{ob}}$  es la altura de antena transmisora sobre el nivel del suelo referencia.

$H_{\text{om}}$  es la altura del móvil sobre el nivel del suelo referencia.

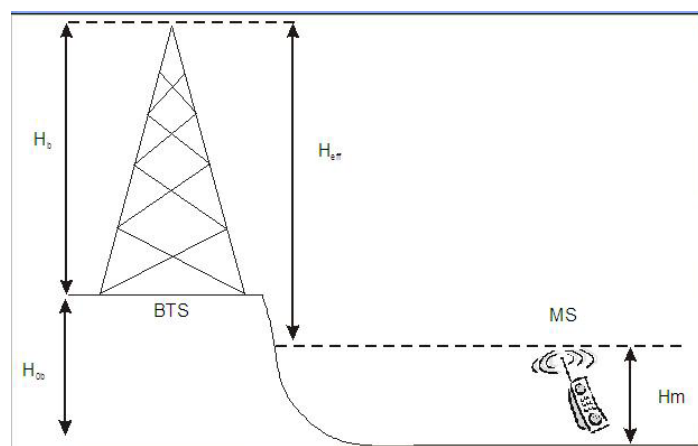
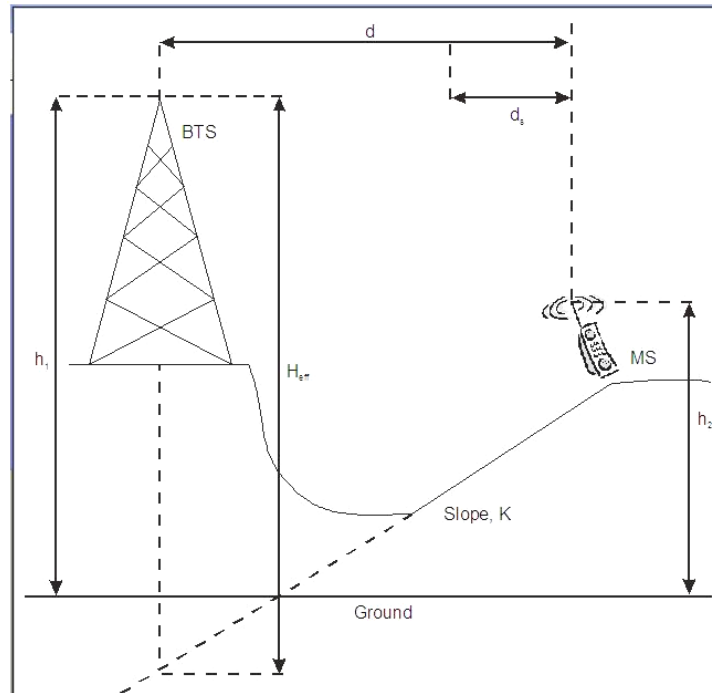


Figura No. 3.3 Método Relativo

**- Método de la Pendiente**

Utilizado para modelar alturas efectivas para casos muy específicos en donde se encuentran precipitaciones del terreno entre la radio base y el móvil, además para mapas digitales de muy poca resolución.



**Figura No. 3.4. Método de la Pendiente**

Calculada mediante  $H_{eff} = h_1 - (h_2 - K \cdot d)$ , (3.9)

Donde:

$h_1$  es la altura sobre el nivel del mar de la antena transmisora.

$h_2$  es la altura sobre el nivel del mar del móvil.

$K$  es la pendiente calculada sobre una distancia definida ( $d_s$ ), medida a lo largo del perfil desde la radio base hasta donde empieza el desplazamiento del móvil.

$D$  es la distancia entre el móvil y la radio base.

Los términos de  $d_s$ ,  $H_{eff}$  máxima y  $H_{eff}$  mínima son especificados para los cálculos de la herramienta.

Este método es utilizado únicamente para modelar situaciones muy puntuales, no es aplicable en este caso que se desea modelar un algoritmo para todo un entorno metropolitano y se cuenta con un mapa con valores aceptables de resolución.

Para efectos de este trabajo de investigación, se tomará el método de la altura absoluta, ajustando los cálculos a las alturas de la base de datos de la cartografía digital.

### **3.3.2 Cálculo de pérdidas por difracciones**

El otro término adicional a la expresión, es el que hace referencia a las pérdidas por difracción,  $K_7$  que es aplicado a métodos diferentes según la zona de estudio. Las pérdidas debido a la obstrucción por obstáculos del terreno son determinadas por el uso de los modelos para la difracción del terreno promedio o filo de cuchillo, ajustando las difracciones múltiples causadas por obstáculos adyacentes que producirían altas atenuaciones totales.

Los algoritmos existentes para el cálculo de pérdidas por difracciones son los siguientes:

-Terreno promedio

-Modelos de Filo de Cuchillo:      Método Epstein-Paterson  
   Método Bullington  
   Método Deygout  
   Método Atlas Japones

*-Terreno promedio*

En la mayoría de los casos, es suficiente realizar estimaciones en base a promedios del terreno para calcular las perdidas por difracción. Este algoritmo arroja buenos valores cuando se estudian obstrucciones para la primera zona de Fresnel en casos donde exista Línea de Vista (LOS).

La formula usada para los cálculos es la siguiente:

$$Ad = 10 - 20 \cdot h/rf \quad (3.10)$$

Donde  $A_d$  son las pérdidas por difracción en dB,  $h$  es la diferencia en metros entre la más significativa obstrucción y la línea de la trayectoria de la señal,  $r_{f1}$  es el radio en metros del elipsoide que describe la primera zona de Fresnel.

#### - Métodos de Filo de Cuchillo

Para modelar pérdidas causadas por obstrucciones a la primera zona de Fresnel en casos donde no exista línea de vista (NLOS) se utilizan los modelos de filo de cuchillo.

Cuando los obstáculos no impiden la línea de vista, el método del terreno promedio es automáticamente usado por la herramienta y en caso contrario utiliza el modelo de filo de cuchillo seleccionado.

Dentro de los algoritmos del método de filo de cuchillo están:

#### Método Bullington

Calcula las pérdidas de difracción sobre múltiples obstrucciones, considerando la posición de la obstrucción sobre una línea horizontal del transmisor al receptor y asumiendo como nuevo transmisor la obstrucción más significativa, este es un método simple; sin embargo, las pérdidas causadas por otras obstrucciones significativas a la primera zona de Fresnel son calculadas con valores menores a los reales.

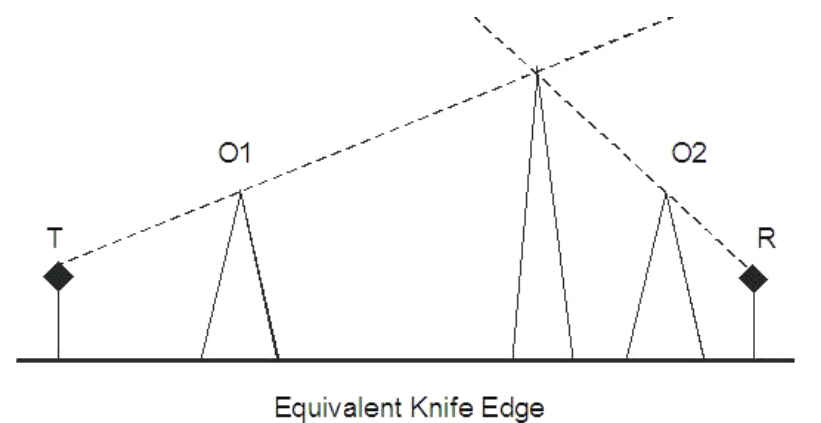
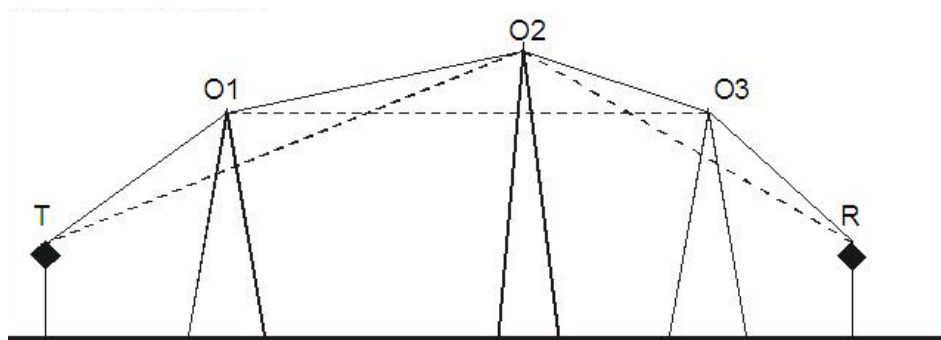


Figura No.3.5. En el método Bullington las pérdidas son calculadas asumiendo como transmisor la obstrucción más significativa.

### Método Epstein Peterson

Esta técnica asume las pérdidas totales por difracción como la suma de las atenuaciones debidas a las más significativas obstrucciones.

Los cálculos asumen a cada obstrucción como parejas transmisoras receptoras hasta llegar finalmente al móvil. Este método no ignora obstrucciones significativas; sin embargo da pequeños valores de pérdidas para obstáculos que se encuentran cercanos entre si.



*Figura No. 3.6. Las pérdidas de la primera obstrucción son calculadas asumiendo como receptor al segundo obstáculo (T-O1-O2), las de la segunda asumiendo como transmisor al primer obstáculo (O1-O2-O3), finalmente es calculada la pérdida hasta el receptor asumiendo como transmisor al segundo obstáculo (O2-O3-R)*

### Método Atlas Japonés

No es usado comúnmente, funciona similar al método Epstein Peterson, al sumar las pérdidas por los obstáculos más importantes; a diferencia, no asume como transmisores a las obstrucciones sino a proyecciones sobre el plano vertical del transmisor original. Permite mejores resultados para obstrucciones cercanas; sin embargo su complejidad no hace extensivo su uso.

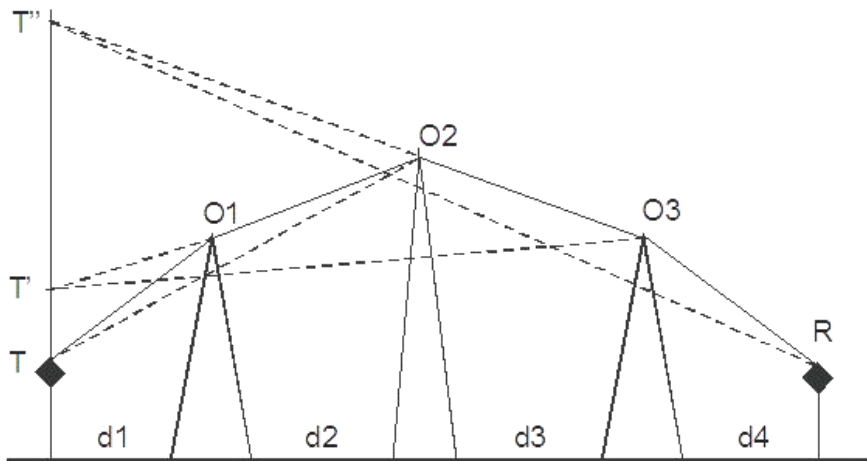


Figura No. 3.7. Las pérdidas totales están dadas por la suma de las pérdidas de  $T-O1-O2$ ,  $T'-O2-O3$  y  $T''-O3-R$

### Método Deygout

Calcula las pérdidas a partir de obstrucciones significativas dentro de un grupo de ellas.

Las pérdidas totales son dadas por la suma de todas las pérdidas calculadas. Este método provee buenos resultados para pocos números de obstrucciones; sin embargo cuando no existen filos significativos, son sobre estimadas las pérdidas.

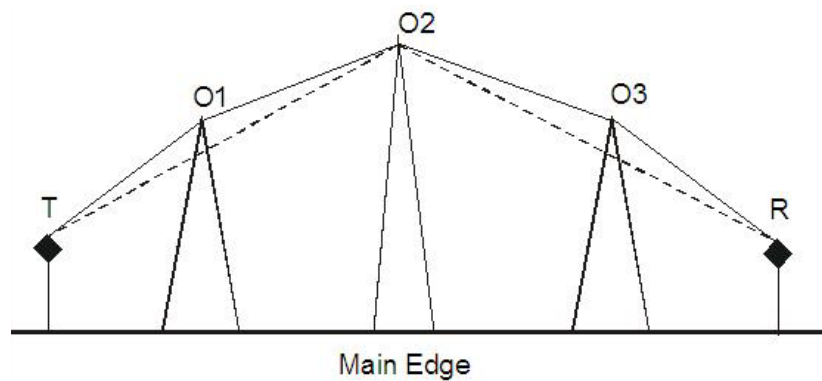


Figura No 3.8. Esquema del método Deygout para cálculo de difracciones.

Para efectos de esta investigación, el método utilizado para calcular las pérdidas de difracción en casos de NLOS será el Epstein Peterson, dado que toma en cuenta un buen número de obstrucciones y que la topografía de la zona metropolitana de Lima no presenta ondulaciones montañosas muy cercanas.

### **3.3.3 Modelos de una y dos piezas**

Al examinar la fórmula Hata 231 ajustada a la herramienta TORNADON para macro escenarios, los parámetros pueden ser distinguidos entre los originales y los extendidos. Los originales K1, K2, K3, K5 y K6, investigado por Hata y el COST231 se deben diferenciar levemente al calibrar el modelo para no disminuir la confiabilidad de la fórmula original. Una extensión de la fórmula Hata se refiere a fluctuaciones pesadas de la señal cerca de la estación base, causadas por LOS (línea de vista de la antena transmisora y cumplimiento del criterio de Fresnel) y las trayectorias de NLOS (no línea de vista),

La propagación de la señal muestra un comportamiento distinto para distancias mayores donde no existe LOS para la mayoría de los puntos, volviéndose indiferente NLOS o LOS, en forma opuesta a la importancia que tiene la línea de vista para puntos más cercanos al transmisor; este fenómeno es tenido en cuenta y se presenta a partir de un modelo de dos piezas.

La fórmula modificada permite manejar entonces la calibración para puntos cercanos y lejanos, mostrando valores más pesimistas de la señal cerca de la antena transmisora. Un modelo más realista debe abarcar factores modificados para ajustar el comportamiento en la zona cercana, en el caso de esta investigación, solo se manejarán los valores de las constantes K1 y K2 cercanos. Para las distancias por encima de 1km, las constantes de la ecuación son suficientes.

El modelo estándar de la herramienta ofrece la opción de generar un modelo de dos piezas. Una forma aceptada para modelar la sección cercana, es tomar la

atenuación de la fórmula de espacio libre hasta una distancia de 20m y la atenuación calculada con la fórmula de Hata hasta la distancia de 1km.

Al diseñar un modelo de dos piezas, el planificador debe cerciorarse de que la atenuación en el punto de transición (por general para  $d = 1000m$ ) corresponda al mismo valor para ambas partes; el factor de  $K1_{near}$  se debe adaptar por consiguiente a:

$$K1_n = K1_f + (K2_f - K2_n) \quad (3.11)$$

En este caso para el análisis del funcionamiento del modelo solo se aplican las constantes para el modelo de una pieza, por tanto es suficiente considerar las medidas tomadas a menos de un kilómetro de distancia de la antena transmisora.

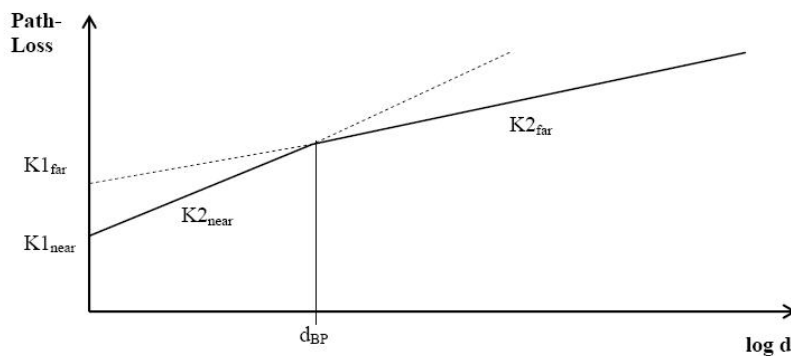


Figura No. 3.9. Esquema modelo de dos piezas

Se estudio entonces la estructura del modelo Hata COST 231 modificado para su ajuste por la herramienta, alcanzando el conocimiento de los métodos utilizados para modelar las pérdidas por difracción, ajuste de alturas y dejando claro los parámetros que se deben modificar para la calibración reconociendo los valores iniciales propuestos.

## **CAPITULO 4**

### **CARTOGRAFIA DIGITAL Y CLASIFICACIÓN EN TIPOS DE CLUTTER**

Es indispensable para desarrollar un proceso de ajuste por medio de la clasificación de tipos de clutter, en donde la representación digital del terreno resulta de elevada importancia, poseer los cimientos para manejar información de tipo geográfico, por tanto son citados los principios necesarios para un buen desenvolvimiento, al igual que los mapas recomendados para ser usados al momento de realizar un procedimiento de ajuste de modelos de predicción de nivel de señal.

La razón de esta propuesta esta en utilizar como mecanismo para el ajuste la clasificación en tipos de clutter, por este hecho, se realiza un descripción de tal forma que se obtenga la claridad sobre los distintos tipos de uso de terreno o clutter que pueden llegar a aparecer en un área metropolitana de tipo andino.

#### **4.1 CARTOGRAFÍA DIGITAL Y BASE DE DATOS DE TERRENO**

La información cartográfica es un elemento fundamental en la gestión y el uso de las redes inalámbricas, los mapas digitales contienen información acerca del uso del suelo, altura de los obstáculos naturales y datos de tipo vectorial como: calles, ríos, etc. Un mapa digital es una base de datos que contiene información geográfica.

La más pequeña unidad que aparece en un mapa es llamada píxel, las dimensiones típicas de los mapas utilizados para telecomunicaciones son de píxeles que representan desde decenas a centenas de metros; la medida de la capacidad presentada en el píxel se reconoce como la resolución del mapa.

Cada píxel contiene datos acerca de:

-Uso del suelo o clutter, haciendo referencia a la clasificación de la cual hace parte que ofrece características similares a la radio propagación.

-Datos de altura, presenta información de la topografía del terreno, sin tener en cuenta las edificaciones artificiales y vegetación densa.

-Datos vectoriales, haciendo referencia a calles, ríos, avenidas que facilitan el trabajo sirviendo como referencia de la ubicación.

-Datos informativos, no los contienen todos los mapas, facilitan la ubicación y reconocimiento de datos geográficos.

El mapa utilizado en la investigación, contiene datos de clutter, altura y vectoriales con una resolución de 25 m.

Para facilitar el entendimiento del manejo del mapa digital, es necesario clarificar algunos conceptos.

#### 4.1.1 Proyecciones Cartográficas

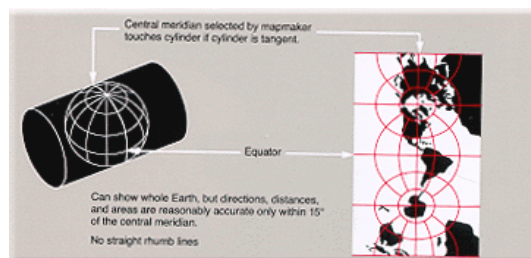
Una proyección cartográfica es una fórmula matemática que permite representar la forma curva de la tierra en un plano. Este proceso inevitablemente distorsiona al menos una de estas propiedades: forma, área, distancia, dirección.

Para solucionar estos problemas se han desarrollado diferentes proyecciones. Se proyecta la esfera terrestre sobre una superficie desarrollable que puede ser tangente o secante a la esfera. Cada una de estas proyecciones difiere en la forma en que maneja el área, la forma, la distancia y la dirección.

Algunas de las proyecciones más simples son realizadas mediante figuras geométricas, como conos y cilindros.

En este caso en particular se utilizará la proyección cilíndrica transversal Universal Transverse Mercator, se deja claro primero a que corresponde este tipo de proyección.

##### *Proyección Cilíndrica Transversal*



*Figura No. 4.1. Proyección cilíndrica transversal.*

Los meridianos son las líneas tangenciales; el meridiano central se ubica en la zona que se va a trabajar, lo que permite minimizar las distorsiones en esa región.

#### **4.1.2 Datum**

Un punto en la tierra se debe expresar definiendo un Datum y el elipsoide utilizado como modelo. Un Datum es un punto tomado como referencia en la tierra para realizar la proyección, su ubicación se establece a partir del geocentro, o centro de la tierra establecido para la proyección; adicionalmente la tierra se puede modelar por medio de un elipsoide, de estos existen varios tipos como Elipsoide de Clarck, Elipsoide Internacional, etc. Utilizar uno u otro depende de la conveniencia que represente el elipsoide en el área de interés.

El elipsoide es WGS84 (World Global System 1984) elipsoide Internacional.

#### **4.1.3 Universal Transverse Mercator**

Es uno de los sistemas más utilizados a nivel mundial, abreviado con las siglas UTM utiliza un sistema de proyección Transverse Mercator dividiendo en 60 zonas, de 6° cada una al planeta; cada una de ellas tiene su meridiano central a partir del cual se extiende 3° hacia el este y 3° hacia el oeste, a su vez se subdividen en zona norte y sur tomando como referencia la línea ecuatorial.

Para evitar valores de coordenadas negativas se asigna un valor al meridiano central (falso este) y un valor al Ecuador (falso norte). El falso este es de 500000.

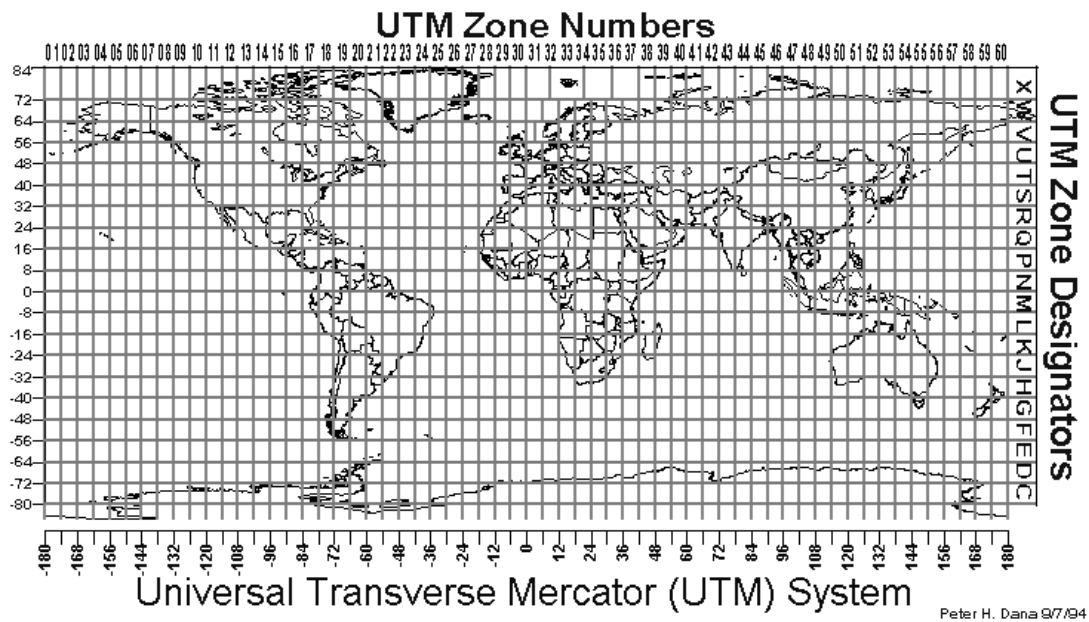


Figura 4.2. Zonas del Sistema Universal Transverse Mercator.

El WGS84 elipsoide Internacional Proyección UTM (Universal Transversal of Mercator) es el más utilizado a nivel mundial, igualmente usado en este caso, la proyección de la ciudad de Lima corresponde a la hoja UTM 18 Sur.

En forma Genérica se habla de WGS84 Zona 18 Sur, significando no solo el Datum sino también el elipsoide internacional.

Los datos que arroja un GPS de latitud y longitud en grados para Georeferenciar un sitio, son insuficientes si no se especifica el Datum con el que dichos valores fueron adquiridos; el GPS deberá programarse al Datum que corresponda al utilizado por la cartografía en donde se va a localizar los puntos de medición.

#### 4.2 MAPAS DIGITALES RECOMENDADOS PARA MODELOS DE PREDICCIÓN

Al igual que una buena campaña de medidas, la calidad en los datos del mapa digital es también esencial al momento de lograr correctos modelos de predicción, a continuación se mencionarán las características sugeridas para alcanzar ajustes lo más precisos posibles, se deberá tener en cuenta que esos parámetros no son aplicables para todas las situaciones, en este caso en particular para el entorno metropolitano de Lima, se utilizó un mapa de 25 m de resolución.

Es importante que los datos del mapa estén lo más actualizados posibles, la resolución manejada para las alturas se recomienda que sea la misma utilizada para el plano horizontal. Para soportar diferentes escenarios en razón de su tamaño son necesarios mapas con distintas precisiones.

Las bases de datos usadas del terreno tienen las resoluciones típicas recomendadas por píxeles para escenarios:

-Para las áreas urbanas y entorno metropolitano: 20m, 25m o 50m.

-Para las áreas regionales: 20m, 50m o 100m (dependiendo de las características de la superficie regional).

-Para las "micro celdas" y ambientes indoor: Mapas digitales especialmente diseñados resoluciones de hasta 5m y bases de datos en tres dimensiones.

Debe saberse, que la calidad de la base de datos del terreno es también dependiente de la fuente usada y de su exactitud, es decir tolerancias para el plano (x,y) y alturas (z).

Puesto que la fórmula de Hata COST 231 es un acercamiento estadístico puro para las predicciones del comportamiento de radio de la propagación, el uso de resoluciones más pequeñas para sus áreas de aplicación no se justifica.

#### **4.3 CLUTTER**

Como se menciona en el capítulo anterior, la fórmula Hata COST 231 ajustada a la herramienta, modela las pérdidas para tipos de terreno similares mediante factores aplicados a ellos en particular.

El uso del terreno es denominado Clutter, como en la mayoría de los casos sucede, toda una zona definida por el mismo clutter ofrece características similares a la radio propagación. La clasificación en Clutter es utilizada tanto para el ajuste del modelo de propagación como para el estudio y planeación de tráfico para una red inalámbrica.

Para las diferentes zonas que se desee ajustar, siempre existirán diferencias en la topografía, por lo tanto los clutter se convierten en clasificaciones propias de entornos particulares.

Dentro de la clasificación propuesta originalmente por Hata, se manejaban pérdidas para áreas abiertas y suburbanas que modificaban el algoritmo original

propuesto para el denso centro de Tokio; sin embargo para obtener modelos más cercanos a la realidad, es necesario extender esa clasificación incluyendo varios ambientes.

Los mapas digitales dentro de su base de datos de clutter, incluyen clasificaciones que se obtienen mediante el estudio de fotos satelitales, es necesario que se verifique en campo la exactitud de esa información, proponiendo y realizando actualizaciones.

Cabe resaltar que la enumeración de los tipos de clutter para un entorno, es el resultado de un dedicado análisis y el número propuesto será partiendo de la precisión que se quiera obtener. Los estudios realizados anteriormente pueden establecer bases que permitan aproximar a la clasificación de la zona.

Para áreas metropolitanas aparecen los siguientes tipos propuestos.

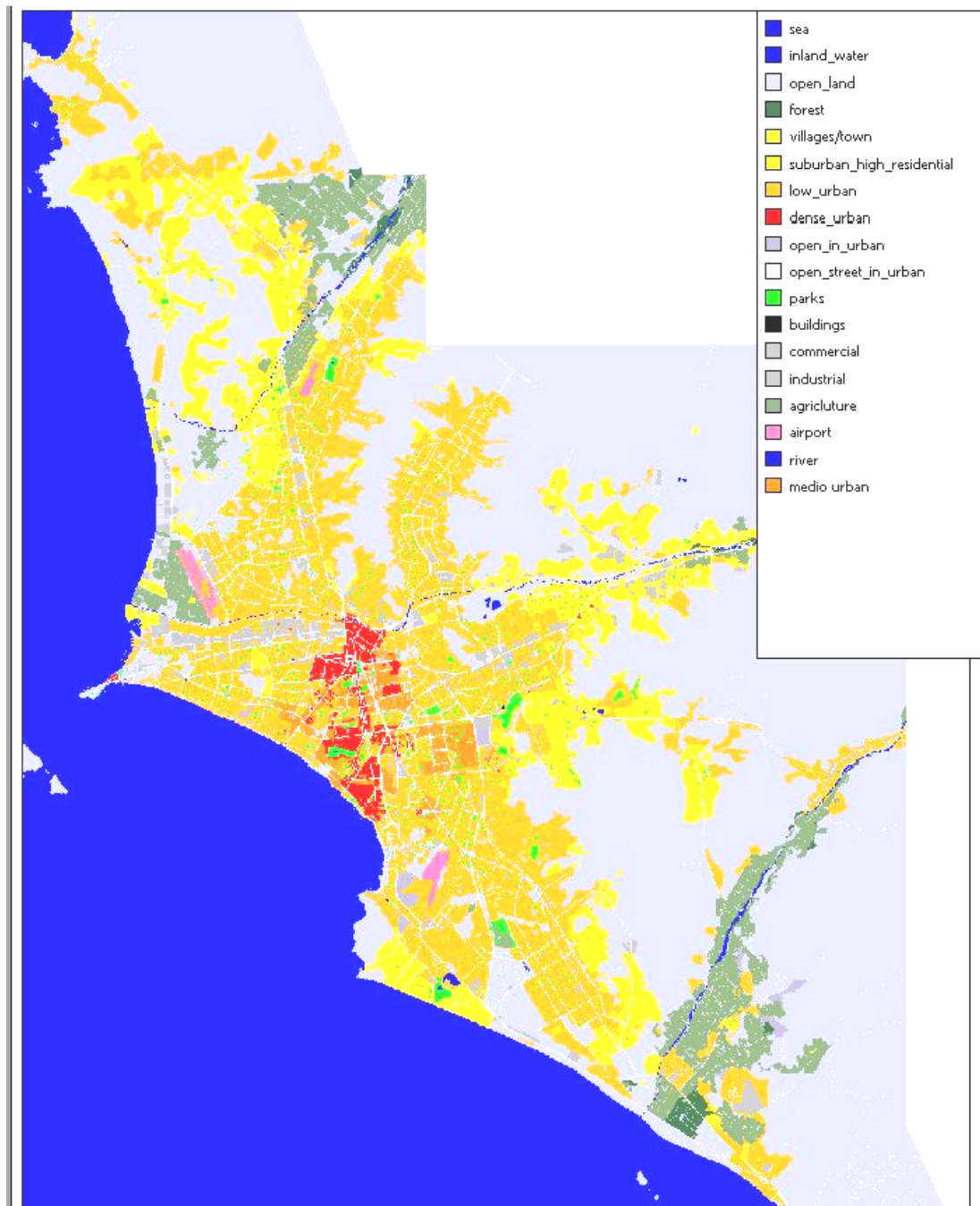
<b>TIPO CLUTTER</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>EJEMPLO</b>
<b>Mar</b>	Mar, oceano	Mar Atlántico
<b>Aguas Internas</b>	Lagos, Rios	Río Magdalena
<b>Áreas abiertas</b>	Espacios abiertos en entornos rurales	Afuera de Bucaramanga
<b>Forestal</b>	Densa vegetación, pinos, eucalyptus, cercado de algunos clubes	Arborización sabana de Bogotá
<b>Villa</b>	Casas esparcidas en ambientes rurales, construcciones bajas	Universidad Industrial de Santander
<b>Suburbano/residencial</b>	Casas pequeñas sin densidad de construcciones elevadas, aparecen en los entornos suburbanos.	Barrio Diamante II
<b>Urbano</b>	Corresponde a la mayor proporción de un casco urbano. Puede subdividirse en urbano: urbano medio y urbano bajo según las características de la ciudad.	Cabecera del Llano

<b>Denso urbano</b>	Construcciones elevadas muy cercanas entre si, alturas entre los 30 y 40 metros. Centros Históricos	Centro Internacional Bogotá
<b>Área abierta urbana</b>	Áreas abiertas en medio de centros urbanos	Lotes en la Ciudadela Real de Minas
<b>Área abierta urbana por calles</b>	Canales, espacio abierto producto de las calles, avenidas	Cualquier avenida
<b>Parques</b>	Áreas abiertas arborizadas, áreas de recreación, clubes, campos de golf, etc.	Parque San Pio, Club Campestre
<b>Buildings</b>	Construcciones de más de 40 metros, normalmente en los centros de las ciudades.	Torre Colpatria Bogotá
<b>Comercial</b>	Centros comerciales, de compras, malls	Area de CC Cañaverál
<b>Industrial</b>	Areas con edificaciones industriales	Zona Palenque

*Tabla 4.1. Descripción de los tipos de clutter mencionando ejemplos del área metropolitana de Bucaramanga.*

En el caso particular de Lima, se trabaja con un mapa digital que enumera dieciocho (18) tipos de clutter, fue necesario realizar un ajuste proponiendo una nueva clasificación: “medio urbana”, que diferenciara entre las zonas densas y bajas urbanas propuestas en el mapa inicial.

Para la realización de la campaña de medidas se definen los ambientes que serán analizados, las fotografías panorámicas permiten una aproximación.



*Figura No. 4.3. Mapa de Lima metropolitana con la clasificación en tipo de clutter*

Se incluyen los seis (6) tipos de clutter analizados para la ciudad de Lima y fotografías que permiten un mayor entendimiento a cerca de la clasificación.

- Urbano Denso: San Isidro (Edificios zona Empresarial) y Francia (Centro de Lima)



*Fotografía No. 1 Sector empresarial de San Isidro, clasificado como clutter tipo denso urbano*



*Fotografía No. 2 Zona centro de la ciudad de Lima, clasificado como clutter tipo denso urbano.*

- Medio Urbano: México



*Fotografía No.3 Zona residencial y comercial México, clasificada como clutter tipo medio urbano*

- Bajo Urbano: Zarate



*Fotografía No. 4 Zona residencial Zarate, clasificada como clutter tipo bajo urbano.*

- Industrial: Industrial



*Fotografía No. 5 Zona Industrial clasificada como su clutter homónimo.*

- Suburbano: Pro



*Fotografía No. 6 Zona residencial de Pro en la periferia, clasificada como clutter tipo suburbano.*

- Suburbano: La Molina (zona suburbana con densidad de vegetación)



*Fotografía No. 7 Zona residencial de La Molina a las afueras de la ciudad, clasificada como clutter tipo suburbano con mayor vegetación que la zona de Pro*

- Rural: Lurin



*Fotografía No. 8 Zona de Lurin a las afueras de la ciudad cerca al mar, será analizado como clutter de tipo rural y área abierta.*

A través de este capítulo se llega a entender acerca de el manejo de la información digital de las características del terreno, el uso de resoluciones indicadas para los diferentes entornos, indicando que en este caso la resolución de 25 m utilizada para el procedimiento de ajuste para el área metropolitana de Lima en un entorno macro es una buena opción.

En un área metropolitana pueden aparecer distintas zonas que presenten comportamientos particulares a la radio propagación, la descripción y la ayuda de las fotografías permiten que se tenga una claridad sobre la forma en que se realiza la clasificación, particularmente se reconocen los ocho puntos escogidos en la ciudad de Lima para llevar a cabo la campaña de medidas del proceso de ajuste.

## **CAPITULO 5**

### **PUNTOS DE MEDICIONES, RUTAS Y CAMPAÑA DE MEDIDAS**

#### **5.1 REQUISITOS PREVIOS PARA CALIBRAR EL MODELO**

A continuación se menciona que debe tener en cuenta en el procedimiento de la campaña de medidas para el ajuste del modelo de propagación Hata COST 231 para un entorno metropolitano, en este caso en particular para la ciudad de Lima en la banda de 1900 Mhz .

Para la ubicación de la antena transmisora se escogen sitios, de tal forma que aproximadamente en un radio de un kilómetro a su redonda existe en gran porcentaje las mismas características que describan el clutter a analizar. En este caso se ajustará un modelo pesimista de tal forma, que las mayores pérdidas involucradas con los obstáculos se tendrán en cuenta en el radio inferior a un kilómetro como fue descrito en el capítulo 3, utilizando un modelo de una pieza.

Las rutas no deben realizarse sobre más de un tipo de clutter en gran proporción, deberán pasar lo menos posible por las vías principales y anchas, debido a que éstas hacen parte de la clasificación open street in urban (área abierta producto del espacio entre las edificaciones por las calles anchas) y las mediciones tomadas sobre el recorrido podrían llegar a ser significativas respecto a las obtenidas del clutter que se desea analizar ocasionando desviaciones en su ajuste.

Las pruebas se deben realizar sobre una banda de frecuencia sin uso, la metodología será mediante un transmisor de onda continua radiando una onda senoidal constante en el tiempo, cuya transformada será un impulso en la frecuencia en la cual se sintoniza el transmisor; el ancho de banda del transmisor no deberá ser mayor a 10 khz, para lograr una transmisión más fina y libre de componentes de ruido; transmitiendo a una potencia superior a los 42 dBm, valor típico para una estación radio base celular; preferiblemente la prueba se debe realizar en las frecuencias más altas disponibles puesto que se presentan mayores pérdidas, permitiendo ajustar en forma pesimista los mayores niveles de

señal; en este caso en particular para la banda de 1900 se desarrollo en los 1952 Mhz.

La prueba debe realizarse de tal forma que se toman muestras cada 40 longitudes de onda, cumpliendo con el criterio de Lee que establece que en este caso se logra medir un nivel medio de la señal con mayor efectividad.

La sensibilidad del equipo receptor deberá ser lo suficientemente buena para tomar medidas a niveles de -100 dBm, de tal forma que reconozca las señales que sufren pérdidas de Rayleigh Fading, el ancho de banda de sintonía de recepción deberá ser lo más fino posible (10 - 30kHz) que permita filtrar la componente principal transmitida, evitando componentes de ruido.

Las muestras para la frecuencia de 1952 Mhz, serán entonces para la longitud de onda,  $\lambda = c/f$ ; lo que corresponde para 40 longitudes de onda aproximadamente cada 6 metros.

Para cada punto transmisor, es recomendado realizar por lo menos entre 100 a 150 medidas en promedio a la redonda; no menos de 3,5 horas de recorrido de mediciones, una duración más pequeña de la campaña de medidas se permite solamente, si todas las calles con las suficientes muestras de nivel de señal se han medido. No se justifica tomar puntos muy cerca del equipo transmisor, los comportamientos de campo cercano de la antena influyen sobre la señal y finalmente medidas más cerca que 100 m serán filtradas al momento del ajuste.

Es recomendable que los datos hayan sido recogidos a lo largo de una trayectoria radial desde la antena transmisora, de tal forma que se pueda analizar la disminución de la señal a lo largo de la distancia.

El sistema GPS debe estar referenciado a la proyección del mapa digital utilizado en el análisis, en éste caso a WGS 84 y su precisión debe ser mayor al distanciamiento de las medidas, haciendo referencia a los 40 lamdas, para la prueba será de 6 metros, igualmente deberá estar en la capacidad de referenciar las muestras equidistancialmente.

Debe utilizarse para la transmisión una antena de tipo omni direccional, con ganancia alrededor de 6 - 8 dBi y con una apertura media vertical significativa: aproximadamente mayor a 10°.

Para la ubicación de la antena transmisora en el sitio, se deberá garantizar que no existan obstrucciones cercanas para el ángulo de su apertura media vertical. No deben existir problemas de conectores, el equipo transmisor debe estar calibrado, de tal forma que se tenga a la salida de la antena la mayor potencia posible.

Todas las especificaciones del sistema transmisor y de la antena usada deben ser indicadas detalladamente: pérdidas en los conectores, ganancia de la antena, patrón de radiación, EIRP (Potencia radiada efectiva isotrópica).

Para el ajuste de Lima en la banda de 1900 fue utilizada una antena Andrew, cuyo patrón de radiación fue cargado en la herramienta para el ajuste.

La posición exacta (longitud, latitud en UTM WGS 84), altura sobre nivel del mar para el sitio del transmisor de la prueba y altura sobre el nivel del suelo de la antena tienen que ser documentadas.

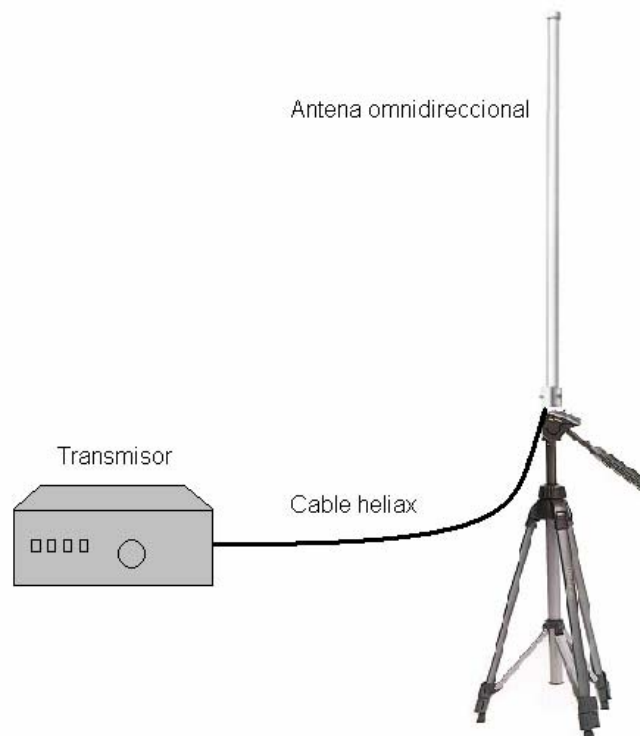
## 5.2 Descripción del Equipo Utilizado

### 5.2.1 Sistema Radiante Transmisor

Está compuesto por los siguientes equipos:

- Un transmisor Gator de radiofrecuencia que opera en la banda de 1900 Mhz.
- Un Feeder 7/8" Andrew de 98,42 pies de longitud.
- Dos jumpers Andrew de 1/2", uno de 9,86 pies y otro de 6,56 pies de longitud, utilizados según las configuraciones de altura de cada sitio.
- Una antena tipo omnidireccional marca Andrew Referencia -ASPP 2936E

A continuación se muestra el diagrama del sistema radiante:



*Figura No. 5.1. Diagrama del sistema radiante transmisor utilizado en las pruebas*

### 5.2.2 Sistema Receptor

La unidad móvil receptora está integrada por:

- Un vehículo de doble tracción acondicionado para el paso de cables, montaje de antenas e instalación eléctrica especial para la alimentación de los equipos.
- Una antena omnidireccional operando en la banda de 1850-1990 MHz con ganancia 5.6 dBi, marca RADIALL LARSEN.
- Software TEMS Investigador 2.1. con sensibilidad de recepción de -105 dBm
- GPS.

Para la realización de las mediciones se utiliza la técnica de Lee. Esta técnica consiste en tomar muestras del nivel de potencia de la portadora cada 40 lambdas sobre un vehículo en movimiento a una velocidad entre 20 y 80 km/h. Los datos se almacenan por punto con el nivel promedio de potencia, y la latitud y longitud. A continuación se muestra un diagrama del sistema receptor.

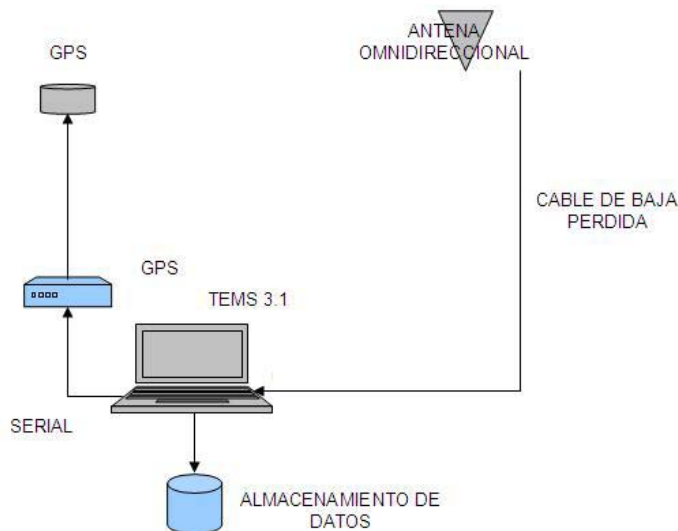


Figura No. 5.2. Diagrama del sistema receptor utilizado en las pruebas

### **5.3 RUTAS Y CONFIGURACIONES UTILIZADAS EN CADA PUNTO TRANSMISOR**

El ajuste del modelo de calibración, haciendo uso de mapas digitales con la clasificación del uso del terreno, que permite reflejar el comportamiento de la radio propagación, debe llevarse a cabo con la selección de los puntos de prueba adecuados y representativos.

Un modelo completamente ajustado significaría la realización de pruebas para cada uno de los tipos de clasificación o clutter que describan geográficamente un área metropolitana, en este caso, sin embargo, algunas zonas no representan mayor importancia al momento del ajuste, por tal motivo únicamente fueron tomados 8 puntos para realizar las pruebas en la ciudad de Lima.

Las rutas deben realizarse de tal forma que la gran parte del recorrido se realice sobre el tipo de clutter que se desea calibrar, no se deben repetir los trazados, puesto que al momento de la calibración medidas sobre el mismo punto pueden arrojar desviaciones estándar y errores significativos alejados de las mediciones al relacionar mayor cantidad de medidas favorable o desfavorablemente.

Se realizan las pruebas en 8 puntos relevantes que permitan modelar el comportamiento general de la radio propagación en la ciudad de Lima; para tal fin se escogen dos puntos en la zona densa urbana donde se registra la mayor cantidad de pérdidas. La topología que corresponde a la mayor extensión de la ciudad esta clasificada como media y baja urbana, corresponde a otros dos puntos de medidas.

Es necesario un punto adicional a una zona que permita ver el comportamiento de la radiofrecuencia cerca del mar, con áreas abiertas que permita modelar la radio propagación para los corredores de playas que se encuentran a las afueras de la ciudad, igualmente se analiza la zona suburbana periférica típica, la zona

compuesta por casas esparcidas y vegetación (igualmente clutter suburbano), y la zona industrial que cubre una proporción significativa.

No se justifica realizar pruebas en las zonas forestales puesto que su extensión no se encuentra en gran proporción y en las áreas despobladas periféricas.

Los sitios de prueba seleccionados para cubrir los clutters de interés fueron los siguientes:

*Clutter de tipo urbano denso:* Zona empresarial de San Isidro y Centro de Lima

*Clutter de tipo urbano medio:* México

*Clutter de tipo urbano bajo:* Zarate

*Clutter de tipo industrial:* Zona Industrial Av. Argentina

*Clutter de tipo suburbano:* Pro y Área de La Molina

*Clutter de tipo área abierta y corredor de playa:* Zona de Lurín

A continuación se presentan las configuraciones utilizadas para cada uno de los puntos mencionados anteriormente. Vale la pena aclarar que los PIRE del sistema radiante fueron diferentes para cada estación, debido a la variación en la instalación del mismo, uso de coaxiales de longitudes diferentes de acuerdo a las características físicas de cada lugar.

Para cada punto de medición se incluye el trayecto realizado sobre el tipo de clutter característico.

### **5.3.1 Urbano Denso: Zona Empresarial San Isidro**

Georreferenciación equipo transmisor:

Coordenadas Datum WGS84

Latitud. 12° 5' 48.7" S

Longitud. 77° 2' 12.1" W

En base a los requisitos mencionados anteriormente, se presenta el siguiente trayecto para cubrir la zona densa urbana de San Isidro caracterizada por ser un sector empresarial de alta concentración de edificios.

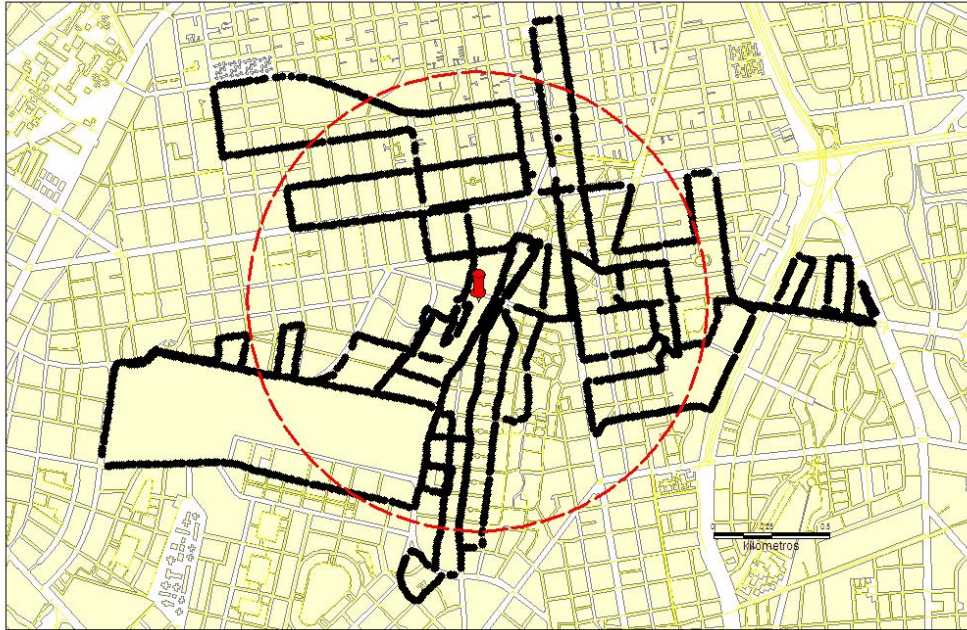
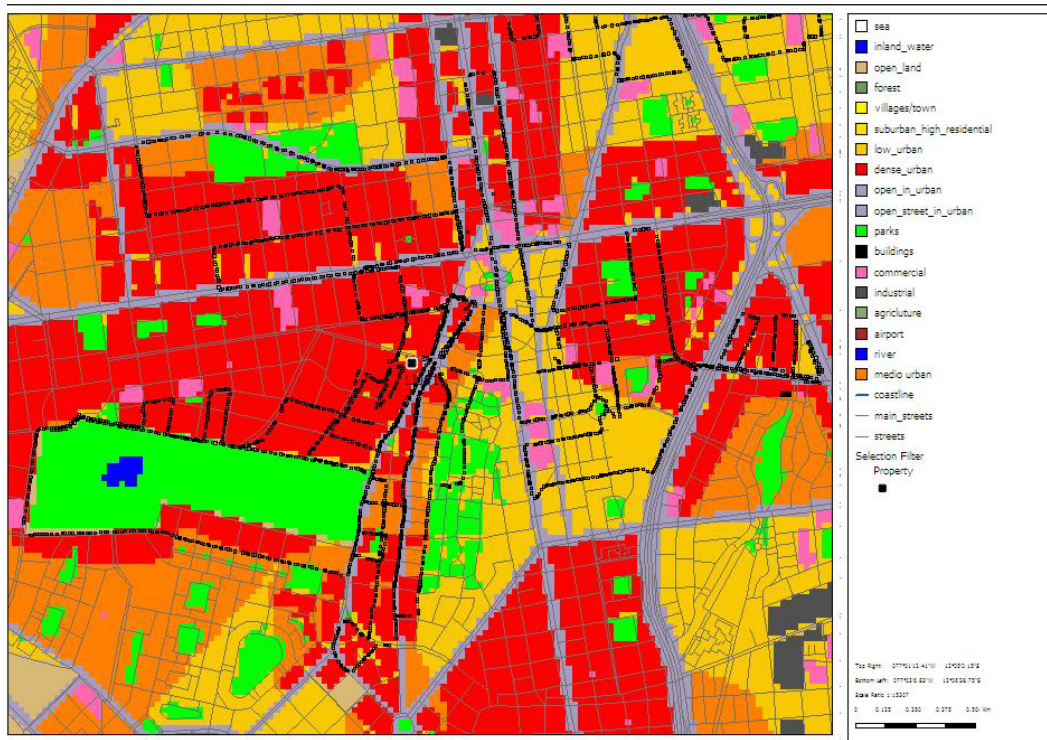


FIGURA No. 5.3. Ruta elaborada en MapInfo. El círculo rojo muestra un radio de 1 km a la redonda del punto donde se ubica el equipo transmisor en la zona de San Isidro

La antena correspondiente al sistema transmisor fue ubicada en la parte alta de una radio base celular existente, la cual tiene una altura aproximada de 30 m y está soportada sobre la terraza de un edificio de seis pisos. En total, la antena fue puesta a una altura de 48 m sobre el nivel del terreno.

PARAMETRO	VALOR
Frecuencia (Mhz)	1957.2
Potencia TX (dBm)	36.021
Potencia TX (W)	4
Pérdida de Cables	3.75668
Ganancia antena TX (dBi)	8.2
<b>PIRE Tx (dBm)</b>	<b>40.46</b>
PIRE Tx (W)	11.13

Tabla No. 5.1. PIRE San Isidro\_DU



*FIGURA No. 5.4. Trayecto de la campaña de medidas en la zona empresarial de San Isidro, aparece a la derecha el color que representa a cada tipo de clutter. En rojo y en mayor proporción denso urbano.*

### 5.3.2. Urbano Denso: Centro

Georreferenciación equipo transmisor

Coordenadas Datum WGS84

Latitud. 12° 3' 9.5" S

Longitud. 77° 2' 14.1" W

En base a los requisitos mencionados anteriormente, se presenta el siguiente trayecto para cubrir la zona densa urbana del centro de la ciudad de Lima, típico sector céntrico andino: construcciones grandes y antiguas, museos, iglesias, edificios y calles estrechas, que causan grandes pérdidas en la radio propagación por efectos de difracciones y reflexiones.

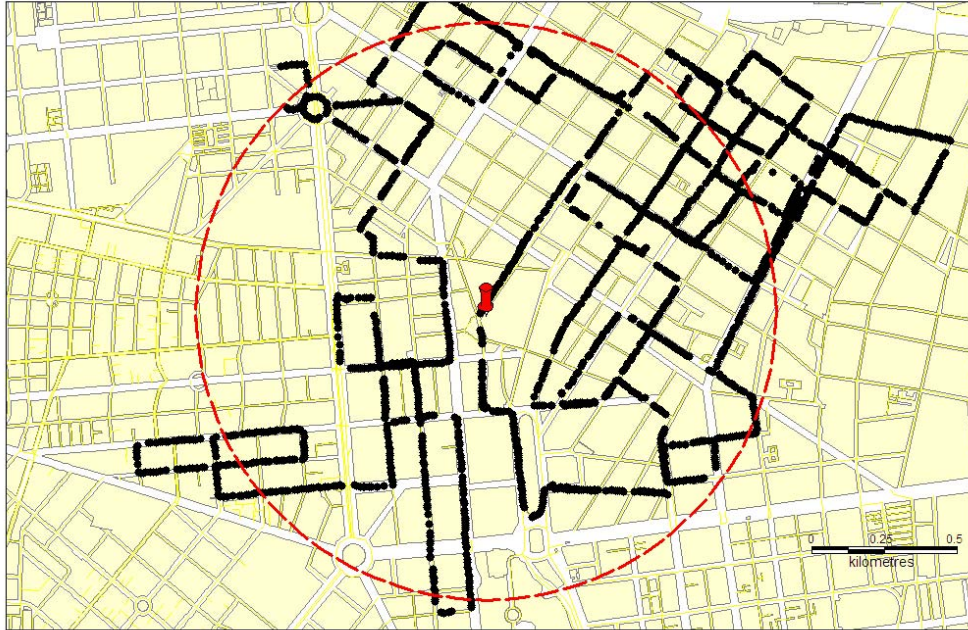
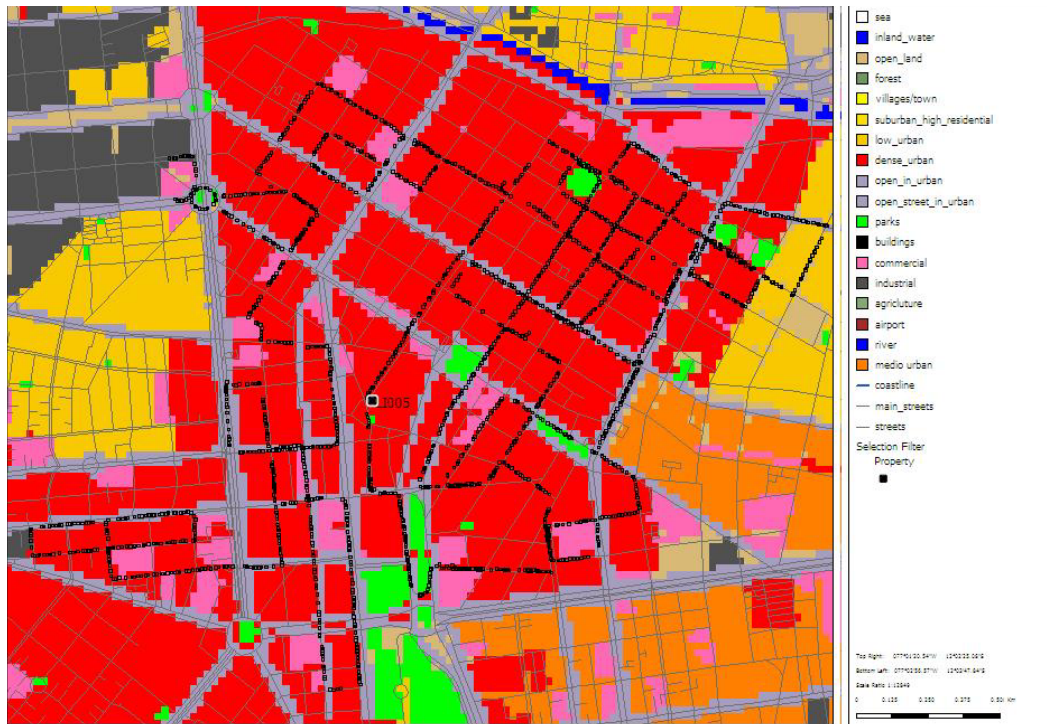


FIGURA No. 5.5. Ruta elaborada en MapInfo. El círculo rojo muestra un radio de 1 km a la redonda del punto donde se ubica el equipo transmisor en la zona centro de la ciudad de Lima

La antena correspondiente fue ubicada en la terraza de un edificio de 7 pisos, alcanzando una altura aproximada de 24 m sobre el nivel del terreno.

PARAMETRO	VALOR
Frecuencia (Mhz)	1952
Potencia TX (dBm)	37.00
Potencia TX (W)	5.012
Pérdida de Cables	0.18734
Ganancia antena TX (dBi)	8.2
<b>PIRE Tx (dBm)</b>	<b>45.01</b>
PIRE Tx (W)	31.72

Tabla No. 5.2. PIRE Centro\_ DU



*FIGURA No. 5.6. Trayecto de la campaña de medidas en la zona centro, aparece a la derecha el color que representa a cada tipo de clutter. En rojo y en mayor proporción denso urbano.*

### 5.3.3. Urbano Medio: México

Georreferenciación equipo transmisor

Coordenadas Datum WGS84

Latitud. 12° 4' 36.2" S

Longitud. 77° 1' 28.1" W

En base a los requisitos mencionados anteriormente, se presenta el siguiente trayecto para cubrir la zona media urbana, haciendo referencia a una zona con edificaciones de hasta 5 pisos y calles medianamente anchas.



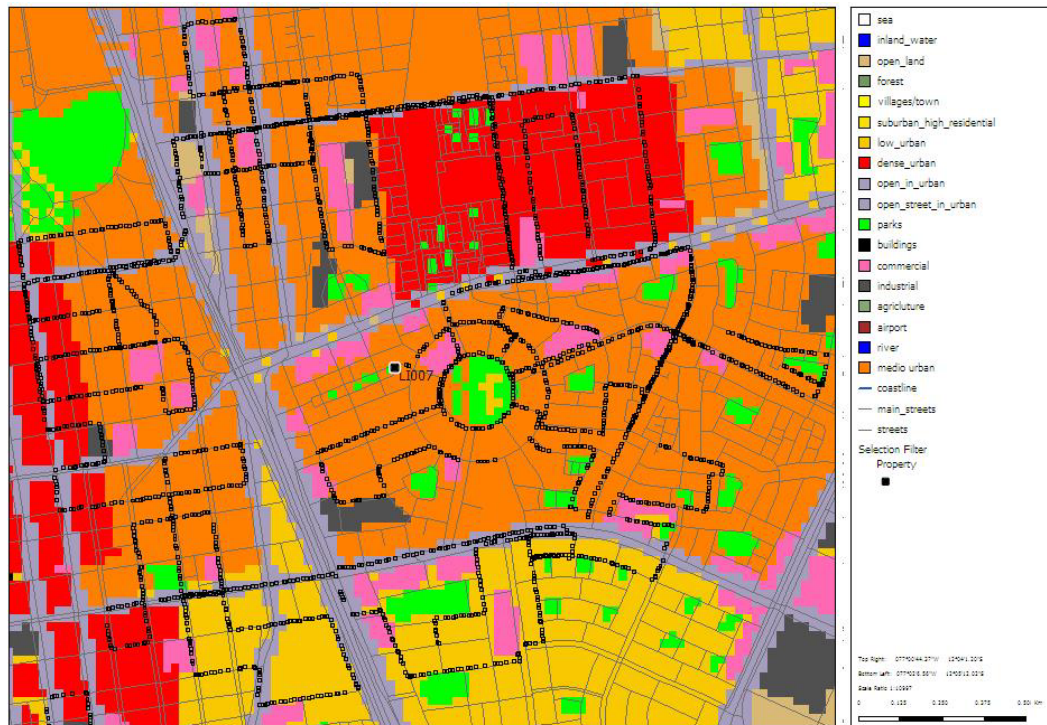
FIGURA No. 5.7. Ruta elaborada en MapInfo<sup>15</sup>. El círculo rojo muestra un radio de 1 Km. a la redonda del punto donde se ubica el equipo transmisor en la zona de México

La antena correspondiente al sistema transmisor fue ubicada en la parte alta de una radio base de 25 m encontrada, En total la antena fue ubicada a 25 m sobre el nivel del terreno.

PARAMETRO	VALOR
Frecuencia (Mhz)	1952
Potencia TX (dBm)	40.00
Potencia TX (W)	10
Pérdida de Cables	3.75668
Ganancia antena TX (dBi)	8.2
<b>PIRE Tx (dBm)</b>	<b>44.44</b>
<b>PIRE Tx (W)</b>	<b>31.72</b>

Tabla No. 5.3. PIRE México\_MU

<sup>15</sup> Herramienta software para ubicación geográfica.



*FIGURA No. 5.8. Trayecto de la campaña de medidas en la zona urbana de México, aparece a la derecha el color que representa a cada tipo de clutter. En naranja y en mayor proporción el clutter tipo medio urbano.*

### 5.3.4 Urbano bajo: Zárate

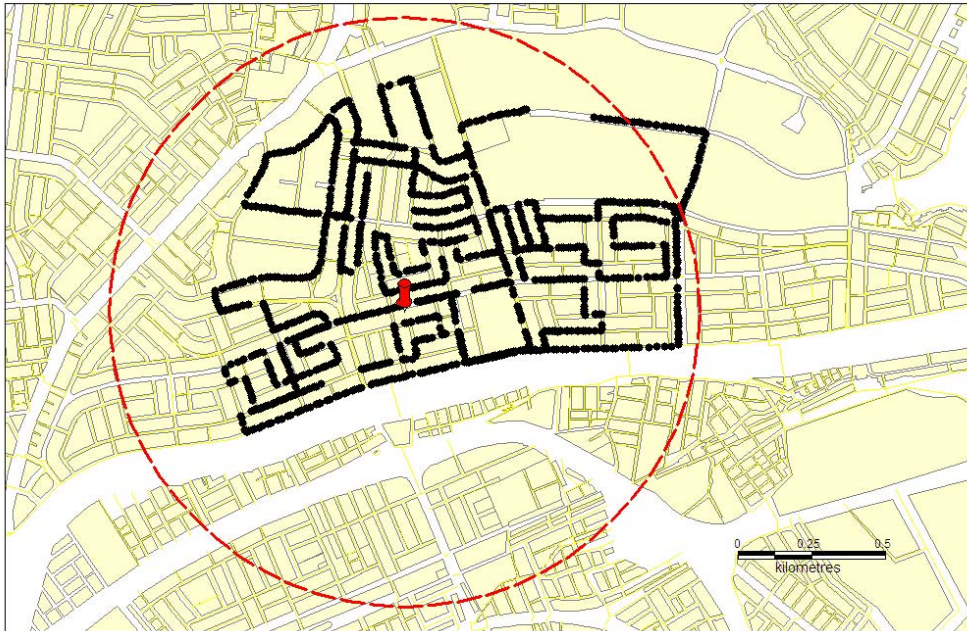
Georreferenciación equipo transmisor

Coordenadas Datum WGS84

Latitud. 12° 1' 31.4" S

Longitud. 76° 59' 59.9" W

En base a los requisitos mencionados anteriormente, se presenta el siguiente trayecto para cubrir la zona urbana baja, haciendo referencia a una zona con edificaciones de hasta 3 pisos y calles medianamente anchas.

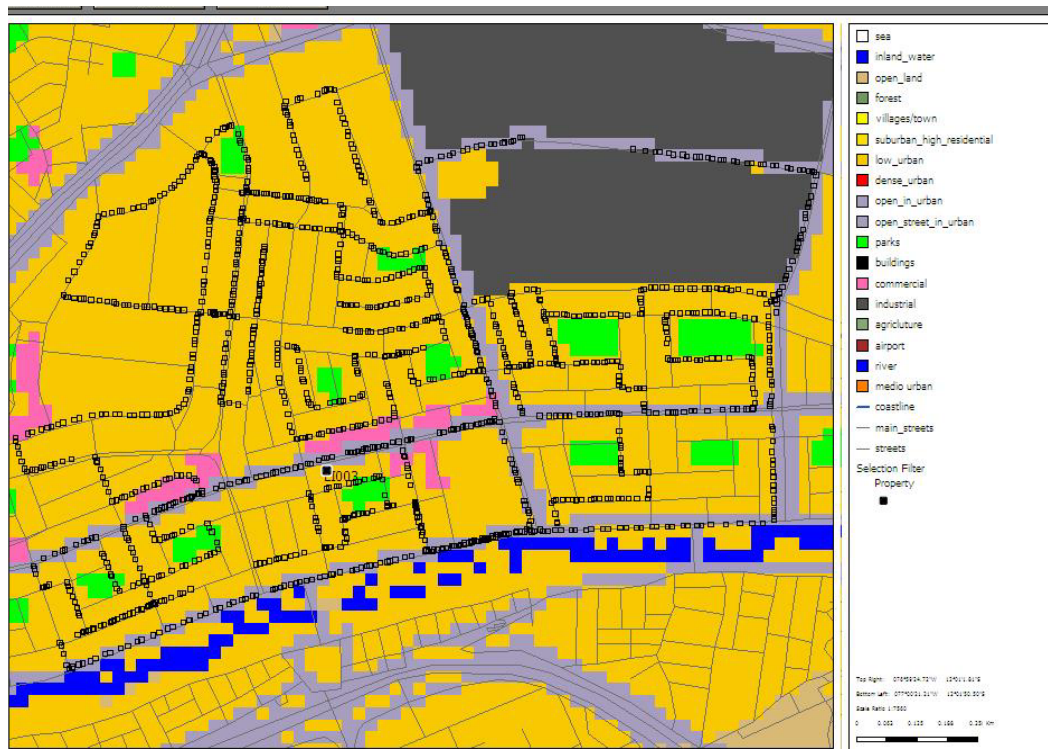


*FIGURA No. 5.9. Ruta elaborada en Mapinfo. El círculo rojo muestra un radio de 1 Km. a la redonda del punto donde se ubica el equipo transmisor en la zona de Zarate, la ruta no es más extensa porque a su alrededor se encuentran otros tipos de clutter, igualmente las vías no fueron favorables.*

La antena correspondiente al sistema transmisor fue ubicada en la parte baja de una radio base celular existente sobre una terraza de un edificio de 3 pisos, a 6 m de la estructura; en total esta antena fue instalada a una altura de 15 m sobre el nivel del terreno.

<b>PARAMETRO</b>	<b>VALOR</b>
Frecuencia (Mhz)	1952
Potencia TX (dBm)	37.00
Potencia TX (W)	5.012
Pérdida de Cables	0.18734
Ganancia antena TX (dBi)	8.2
<b>PIRE Tx (dBm)</b>	<b>45.01</b>
<b>PIRE Tx (W)</b>	<b>31.72</b>

*Tabla No. 5.4.. PIRE Zárate\_ BU*



*FIGURA No. 5.10. Trayecto de la campaña de medidas en la zona urbana de Zárte, aparece a la derecha el color que representa a cada tipo de clutter. En ocre y en mayor proporción el clutter de tipo bajo urbano.*

### 5.3.5 Industrial

Coordenadas Datum WGS84

Georreferenciación equipo transmisor

Latitud. 12° 2' 44.1" S

Longitud. 77° 4' 25.3" W

En base a los requisitos mencionados anteriormente, se presenta el siguiente trayecto para cubrir la zona industrial, haciendo referencia a sector de fábricas, construcciones amplias con techos en aluminio y espacios abiertos.

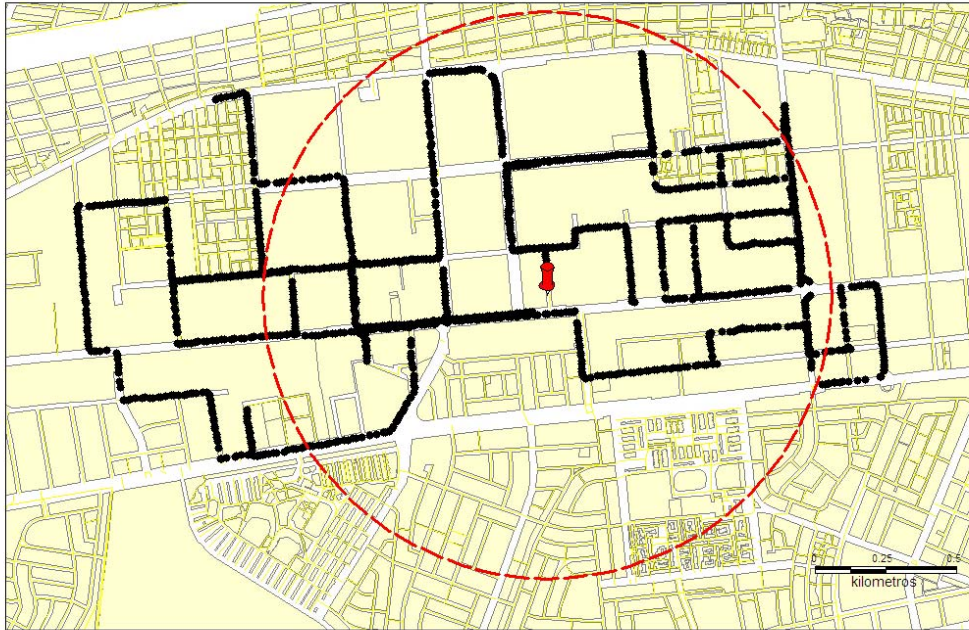
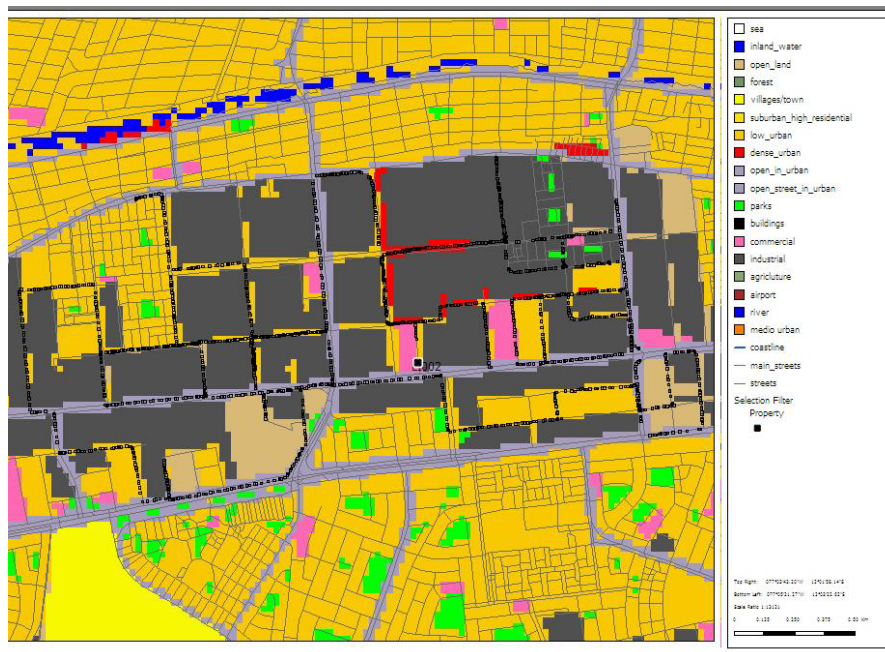


FIGURA No. 5.11. Ruta elaborada en Mapinfo. El círculo rojo muestra un radio de 1 Km. a la redonda del punto donde se ubica el equipo transmisor en la zona Industrial.

La antena correspondiente al sistema transmisor fue ubicada en la parte alta de una radio base celular, la cual tiene una altura aproximada de 25 m. En total la antena fue puesta a una altura de 25 m sobre el nivel del terreno.

PARAMETRO	VALOR
Frecuencia (Mhz)	1952
Potencia TX (dBm)	37.00
Potencia TX (W)	5.012
Pérdida de Cables	3.756
Ganancia antena TX (dBi)	8.2
<b>PIRE Tx (dBm)</b>	<b>41.44</b>
PIRE Tx (W)	13.94

Tabla No. 5.5. PIRE Industrial\_IN



*FIGURA No. 5.12. Trayecto de la campaña de medidas en la zona Industrial, aparece a la derecha el color que representa a cada tipo de clutter. En gris oscuro y en mayor proporción el clutter de tipo industrial.*

### 5.3.6. Suburbano: Pro

Coordenadas Datum WGS84

Georreferenciación equipo transmisor

Latitud. 11° 57' 28.8" S

Longitud. 77° 4' 32.2" W

En base a los requisitos mencionados anteriormente, se presenta el siguiente trayecto para cubrir la zona periférica suburbana, haciendo referencia a un sector con casas de no más de 3 pisos y espacios abiertos. Se comienza a diferenciar de la zona urbana porque comienzan a aparecer discontinuidades en las construcciones.

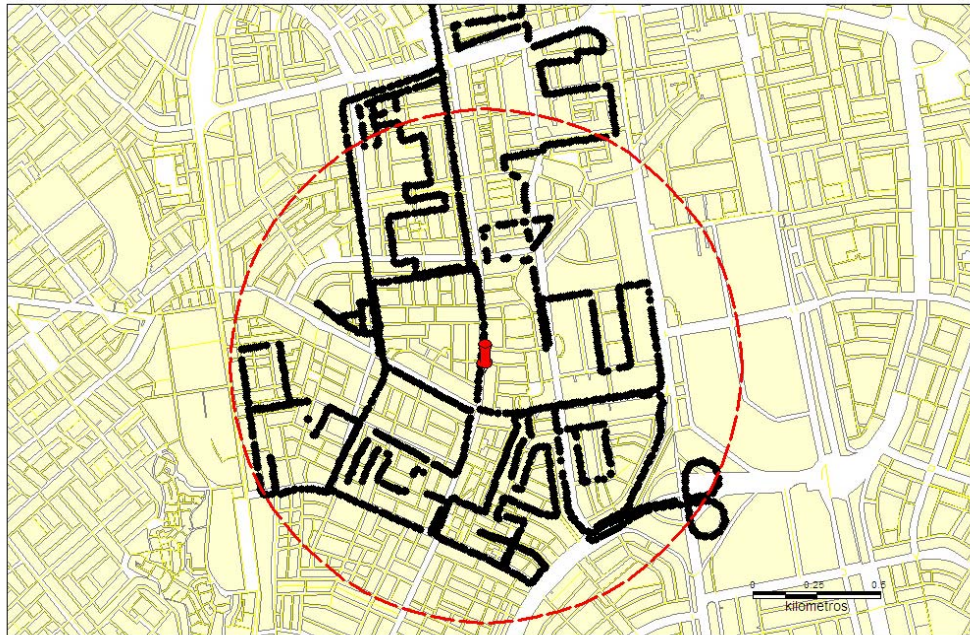
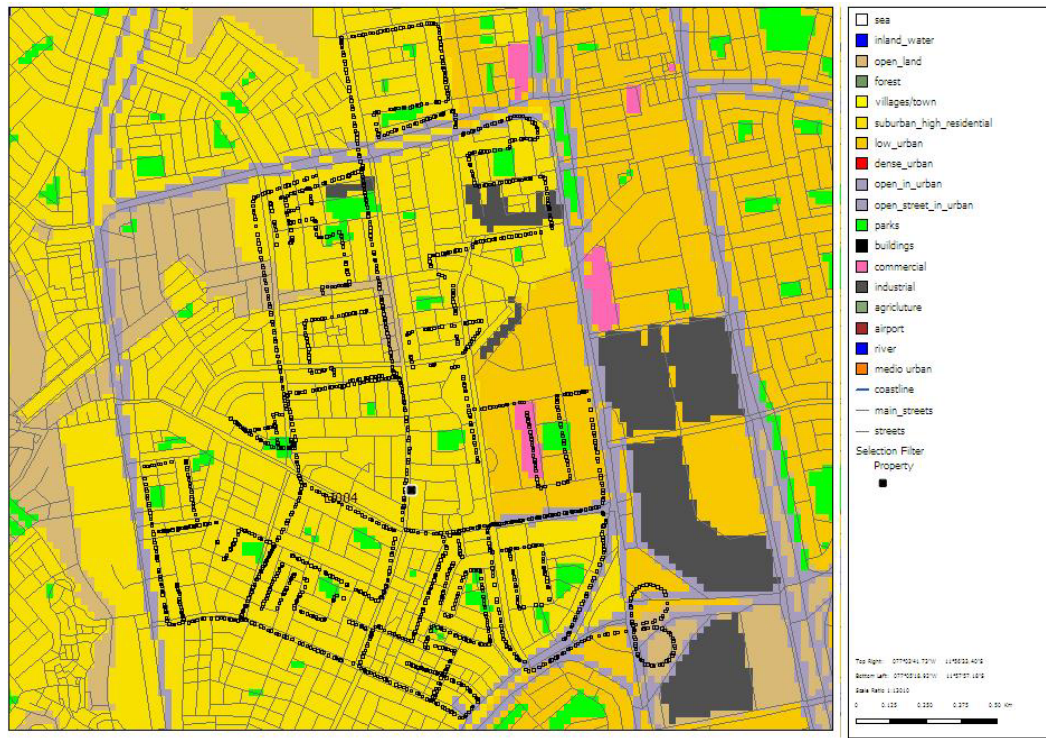


FIGURA No. 5.13. Ruta elaborada en Mapinfo. El círculo rojo muestra un radio de 1 km a la redonda del punto donde se ubica el equipo transmisor en la zona periférica suburbana de Pro.

La antena correspondiente fue ubicada en la parte alta de una radio base celular, la cual tiene una altura aproximada de 35 m sobre el nivel del terreno.

PARAMETRO	VALOR
Frecuencia (Mhz)	1952
Potencia TX (dBm)	37.00
Potencia TX (W)	5.012
Pérdida de Cables	0.18734
Ganancia antena TX (dBi)	8.2
PIRE Tx (dBm)	45.01
PIRE Tx (W)	31.72

Tabla No. 5.6. PIRE Pro\_ SU



*FIGURA No. 5.14. Trayecto de la campaña de medidas en la zona periférica suburbana de Pro, aparece a la derecha el color que representa a cada tipo de clutter. En amarillo claro y en mayor proporción el clutter de tipo suburbano, la zona baja urbana (ocre) aparece en una pequeña proporción del trayecto*

### 5.3.7. Suburbano: La Molina

Georreferenciación equipo transmisor

Coordenadas Datum WGS84

Latitud. 12° 4' 58.7" S

Longitud. 76° 55' 41.3" W

En base a los requisitos mencionados anteriormente, se presenta el siguiente trayecto para cubrir la zona periférica, haciendo referencia a un sector con casas *dispersas* de no más de 3 pisos, espacios abiertos y vegetación; las construcciones están más distanciadas entre sí que en el área suburbana.

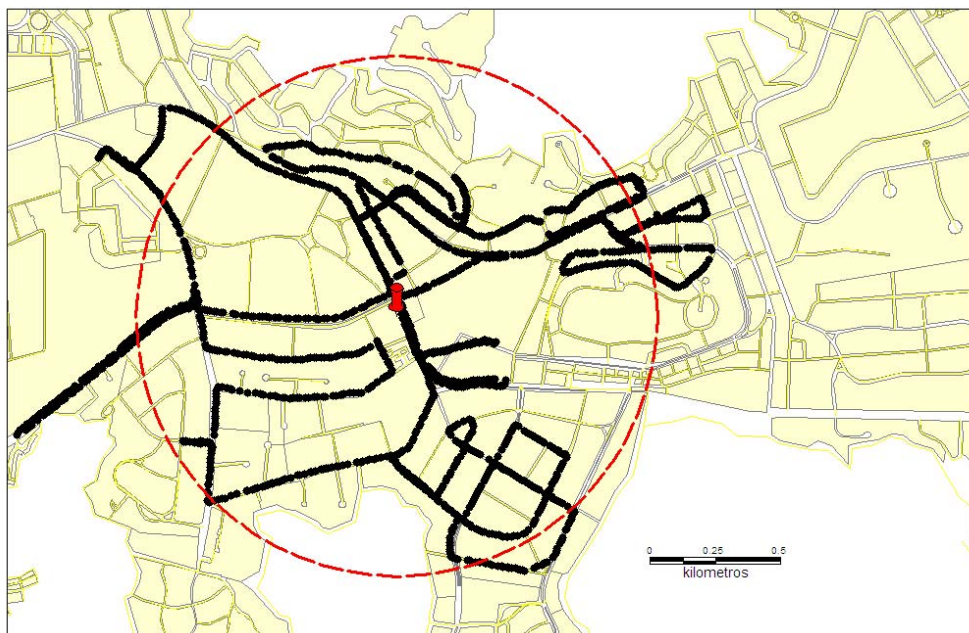
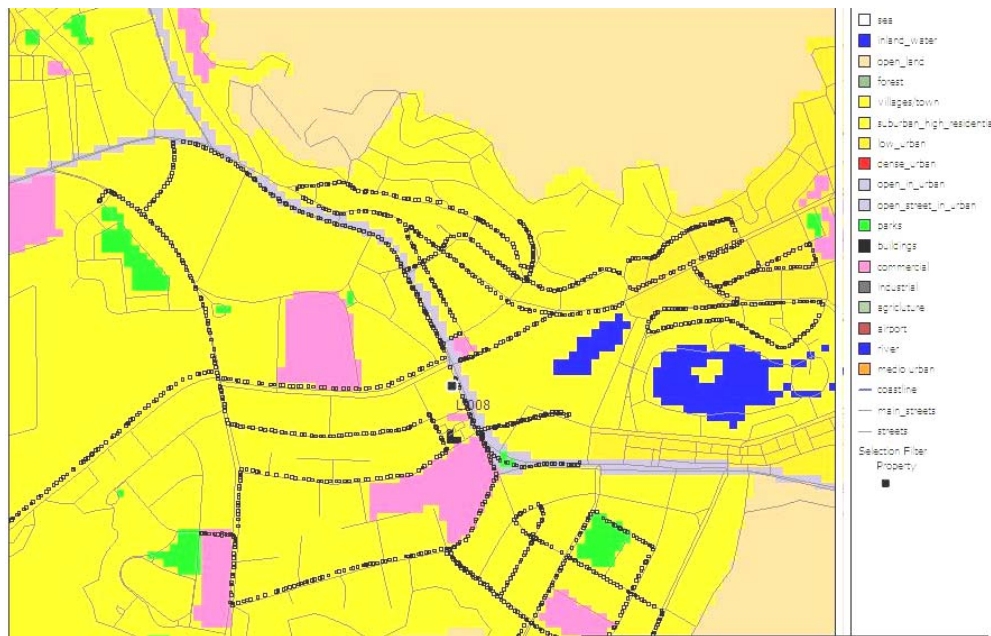


FIGURA No. 5.15. Ruta elaborada en Mapinfo. El círculo rojo muestra un radio de 1 km a la redonda del punto donde se ubica el equipo transmisor en la zona periférica de La Molina.

La antena correspondiente al sistema transmisor fue ubicada en la parte media de una radio base de 60 m. En total la antena fue ubicada a 30 m sobre el nivel del terreno.

PARAMETRO	VALOR
Frecuencia (Mhz)	1952
Potencia TX (dBm)	40.00
Potencia TX (W)	10
Pérdida de Cables	3.75668
Ganancia antena TX (dBi)	8.2
<b>PIRE Tx (dBm)</b>	<b>44.44</b>
PIRE Tx (W)	27.82

Tabla No. 5.7. PIRE La Molina\_VI



*FIGURA No. 5.16. Trayecto de la campaña de medidas en la zona periférica tipo villa, aparece a la derecha el color que representa a cada tipo de clutter. En amarillo y en mayor proporción clutter tipo suburbano.*

### 5.3.8. Área abierta: Lurín

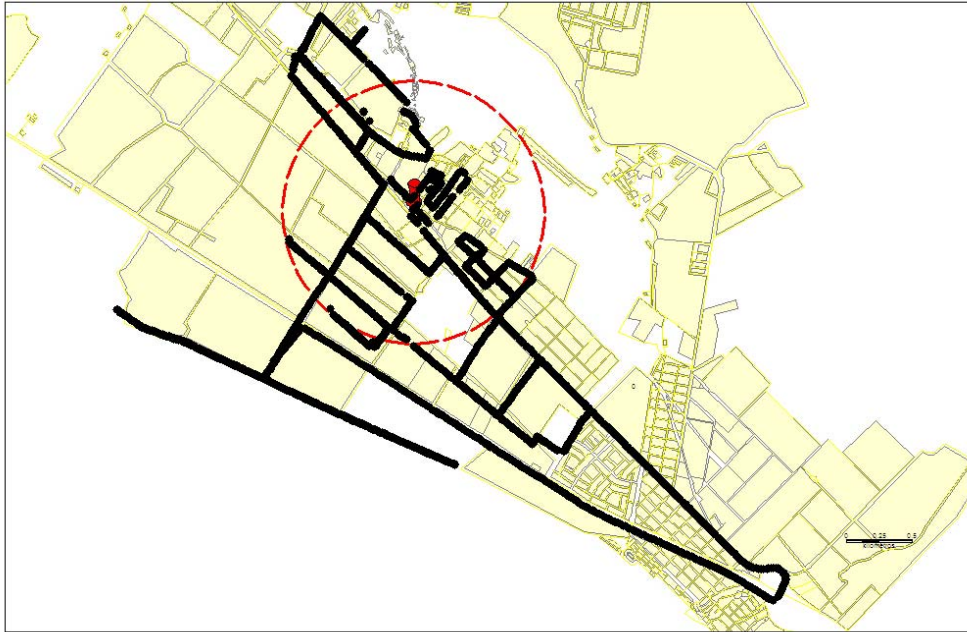
Georreferenciación equipo transmisor

Coordenadas Datum WGS84

Lat. 12° 16' 33.1" S

Long. 76° 52' 13.8" W

En base a los requisitos mencionados anteriormente, se presenta el siguiente trayecto para cubrir un sector a las afueras de la parte urbana, aún en la zona metropolitana, haciendo referencia a un sector de área abierta que caracteriza a los corredores de playas cercanos al mar.

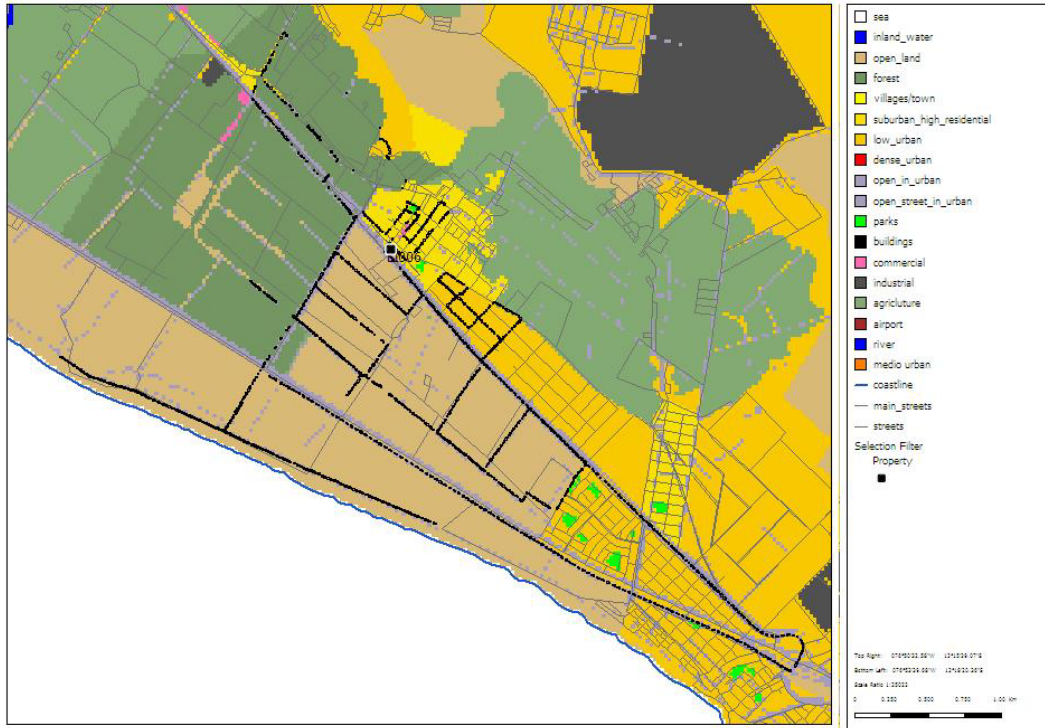


*FIGURA No. 5.17. Ruta elaborada en Mapinfo. El círculo rojo muestra un radio de 1 Km. a la redonda del punto donde se ubica el equipo transmisor en la zona abierta de Lurín. En la parte de abajo se encuentra el océano Pacífico.*

La antena correspondiente fue ubicada en la parte alta de una radio base celular de 20 m ubicada sobre la terraza de un edificio de 4 pisos. En total la antena fue ubicada a 32 m sobre el nivel del terreno.

<b>PARAMETRO</b>	<b>VALOR</b>
Frecuencia (Mhz)	1952
Potencia TX (dBm)	37.00
Potencia TX (W)	10
Pérdida de Cables	0.18734
Ganancia antena TX (dBi)	8.2
<b>PIRE Tx (dBm)</b>	<b>45.01</b>
PIRE Tx (W)	31.72

Tabla No.5.8.. PIRE Lurín\_OA



**FIGURA No. 5.18.** Trayecto de la campaña de medidas en las afueras de la ciudad, cerca al mar, aparece a la derecha el color que representa a cada tipo de clutter. En café y en mayor proporción clutter tipo área abierta, abajo el mar en blanco.

Las características que debe tener una campaña de medidas necesarias para el ajuste del modelo de propagación Hata COST 231 mediante la clasificación en tipos de clutter, fueron descritas, el trazado de las rutas cubriendo como mínimo el radio de un kilómetro a la redonda para evaluar las pérdidas de trayectoria cercana; al igual que la información necesaria para cada punto al momento de ejecutar las pruebas; altura de la antena transmisora, coordenadas, PIRE del sistema radiante.

## CAPITULO 6

### POST PROCESAMIENTO DE DATOS Y PROCESO DE AJUSTE

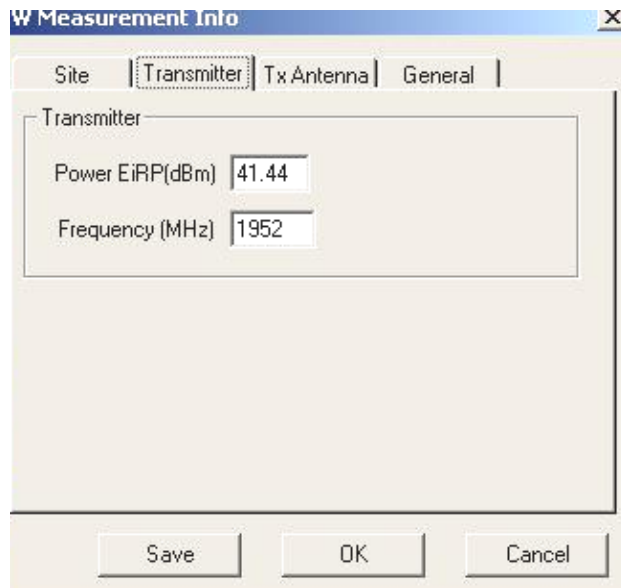
Con los datos de la campaña de medidas para cada uno de los ocho puntos, se procede a realizar el ajuste del modelo Hata COST 231 para la banda de 1900 Mhz para la ciudad de Lima.

Es necesario ingresar a la herramienta utilizada, la información para cada uno de los sitios transmisores: los datos del EIRP, altura de la antena, coordenadas (Sistema WGS 84), al igual que cada punto con nivel de señal georreferenciado obtenido en los recorridos son cargados como un archivo texto con encabezado y separado por tabulación; el patrón de radiación de la antena utilizada es ingresado igualmente en formato planet<sup>16</sup>.

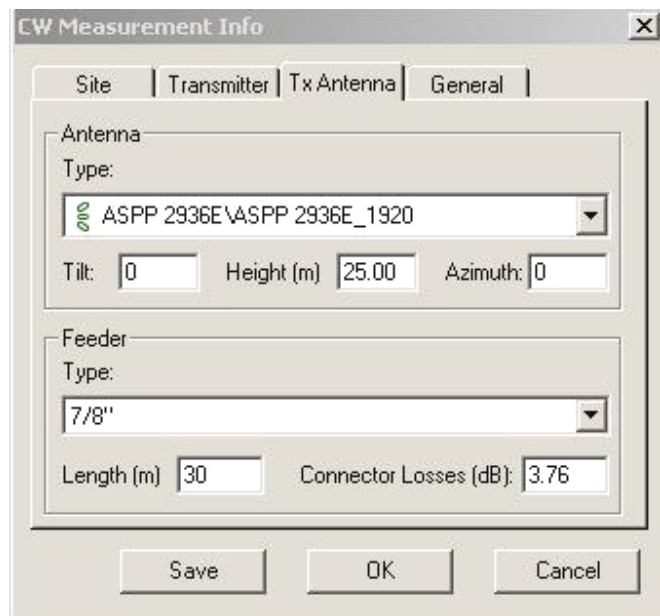
Field	Value
ID	LI002
Name	Industrial
Longitude	077°04'25.30\"W
Latitude	12°02'44.10\"S
Type	Mast
Ground Height (m)	0

*Figura No. 6.1. Datos de entrada para la herramienta: Información del transmisor, se debe ingresar para cada uno de los ocho puntos, en este caso aparecen las coordenadas del sitio en Industrial*

<sup>16</sup> Tipo de formato texto con un encabezado.



*Figura No. 6.2. Datos de entrada para la herramienta: Información del transmisor, aparecen la frecuencia de trabajo y el EIRP en el sitio Industrial.*



*Figura No. 6.3. Datos de entrada para la herramienta: Información del transmisor, aparece el tipo de antena, la altura y la especificación de los cables en el sitio Industrial. La antena utilizada fue la misma en los ocho puntos.*

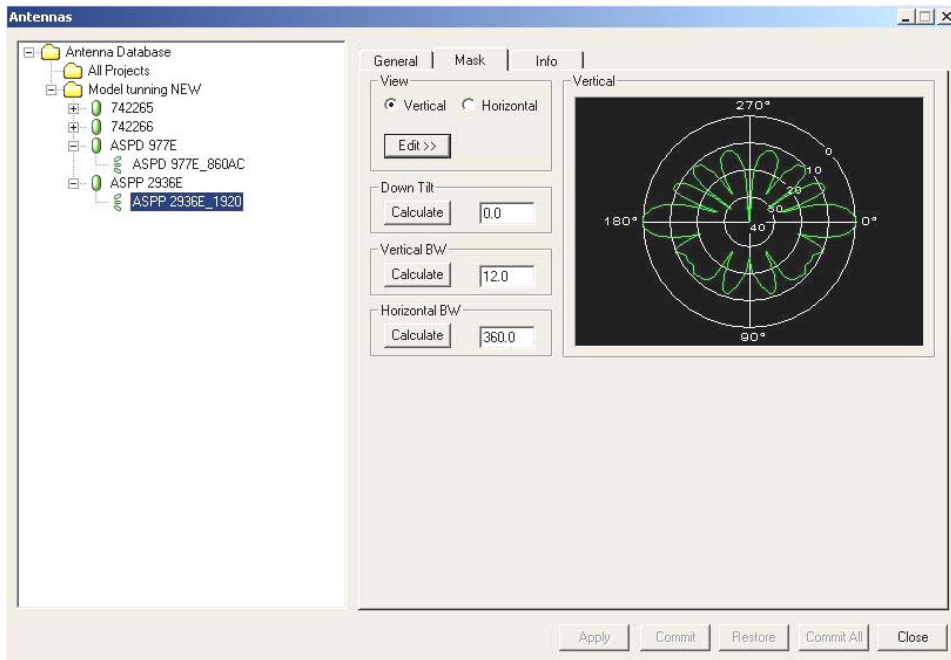


Figura No. 6.4. Información de la antena transmisora utilizada en la prueba, son cargados los datos en formato planet, se permite visualizar el patrón de radiación vertical.

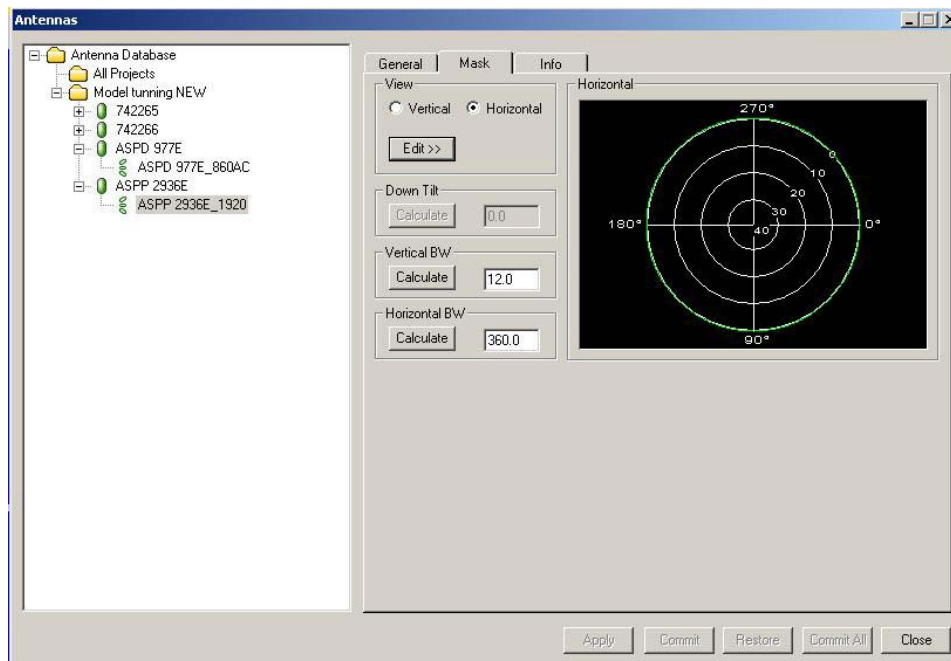


Figura No. 6.5. Información de la antena transmisora utilizada en la prueba, se visualiza el patrón de radiación horizontal.

## 6.1 PROCESO DE AJUSTE

El algoritmo Hata COST 231 ajustado a la herramienta fue mencionado en el capítulo 3 y es el siguiente:

$$K1 + K2 \cdot \log(d) + K3(Hms) + K4 \cdot \log(Hms) + K5 \cdot \log(Heff) + K6 \cdot \log(Heff) \cdot \log(d) + K7 \text{Difrac} + K_{\text{clutter}} \quad ^{17} \quad (6.1)$$

Cuyos valores iniciales con base a estudios anteriores son:

	1-pieza	2-piezas
K1 <sub>near</sub>	159.7	159.7
K2 <sub>near</sub>	44.9	54.1
K1 <sub>far</sub>	159.7	
K2 <sub>far</sub>	44.9	
K3	0	
K4	0	
K5	-13.82	
K6	-6.55	
K7	0.5..0.3*	

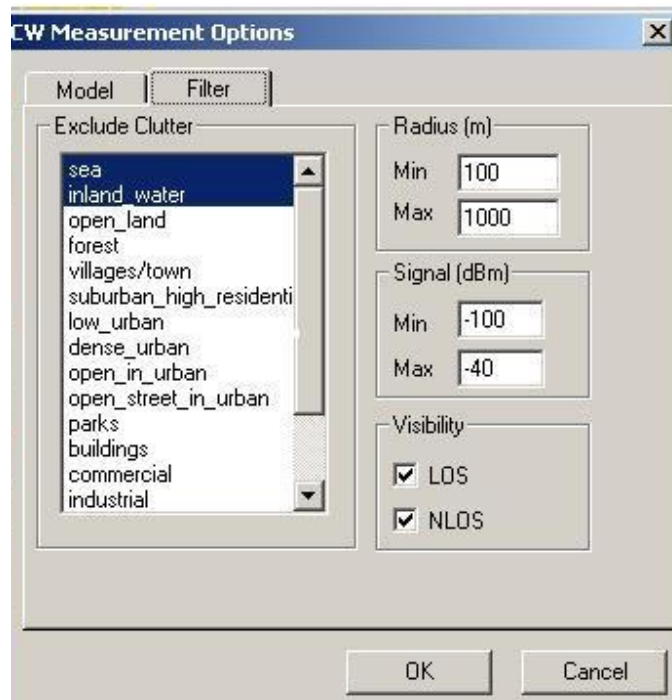
Tabla No. 6.1. Los valores iniciales recomendados en la banda de 1900

Al cargar los datos de la campaña de medidas: se debe tener en cuenta que no deben existir puntos repetidos que alteren el ajuste, tampoco aquellos con niveles de señal inferiores a la sensibilidad del receptor que en este caso fue de -105 dBm, porque podrían ser medidas producto de ruido. Igualmente debe dejarse un margen de distancia respecto a la transmisión en campo cercano para que el comportamiento de las ondas no sea influenciado por los efectos de la antena transmisora.

Se selecciona como valor máximo permisible de sensibilidad -100 dBm y mínimo de distancia 100 m.

<sup>17</sup> Ecuación tomada del manual interno de SIEMENS: *Model Tuning concepts TornadoN Macro*

Los tipos de clutter que no fueron tomados en cuenta en los recorridos deben ser excluidos, para evitar ajustar sobre zonas no analizadas.



*Figura No. 6.6. Información del filtro sobre las medidas, se seleccionan los tipos de clutter que no fueron analizados, los rangos de distancia, nivel y visibilidad.*

Si existen puntos cuyos niveles difieren completamente del comportamiento normal, deben eliminarse y no ingresarse a la herramienta; si la razón de su desviación se reconoce (por ejemplo un túnel) y el mapa se encuentra correctamente calibrado, los resultados individuales de medidas que se desvían de la extensión normal, no deben ser consideradas para anularse.

El nivel de la señal en el receptor presenta un decrecimiento exponencial a lo largo de la distancia, con una distribución normal uniforme en áreas con construcciones homogéneas. La desviación estándar típica está aproximadamente en 7dB en áreas urbanas; deberá calibrarse, de tal forma que el error obtenido este del lado

de un modelo pesimista, es decir que las pérdidas simuladas sean menores a las medidas reales.

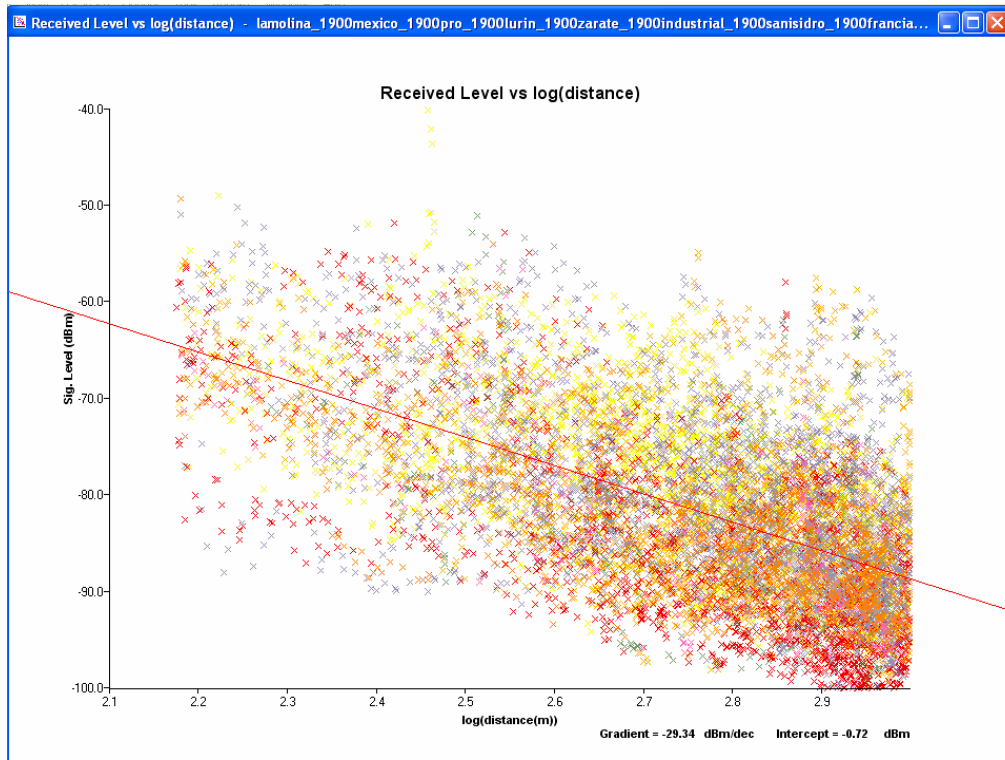
No es práctico ni necesario procurar utilizar todos los medios disponibles para forzar el valor RMS del error por debajo del valor de la desviación estándar típica; en términos prácticos, un error del RMS alrededor de 8dB se puede considerar como un resultado muy bueno de la calibración. Para el término del error significativo, es recomendable alcanzar un valor levemente negativo (aproximadamente -3dB... -2dB), de tal forma que se prevea un margen de seguridad pesimista leve en el valor de la predicción<sup>18</sup>.

Inicialmente, los factores de pérdida para cada tipo de clutter corresponden a los valores propuestos en el capítulo 3, se realizan los ajustes a los parámetros K2, K1 y K7 del algoritmo y solo al final se modifican los pesos de clutter.

En este caso para el análisis del funcionamiento del modelo solo se aplican las constantes para el modelo de una pieza, por tanto es suficiente considerar las medidas tomadas a menos de un kilómetro de distancia de la antena transmisora. La herramienta esta en la capacidad de mostrar en una sola gráfica, el nivel de señal en función de la distancia radial para todos y cada uno de los puntos georreferenciados de los ocho recorridos realizados, en base a ésta y al valor inicial propuesto, se estima el valor del parámetro K2 del algoritmo.

---

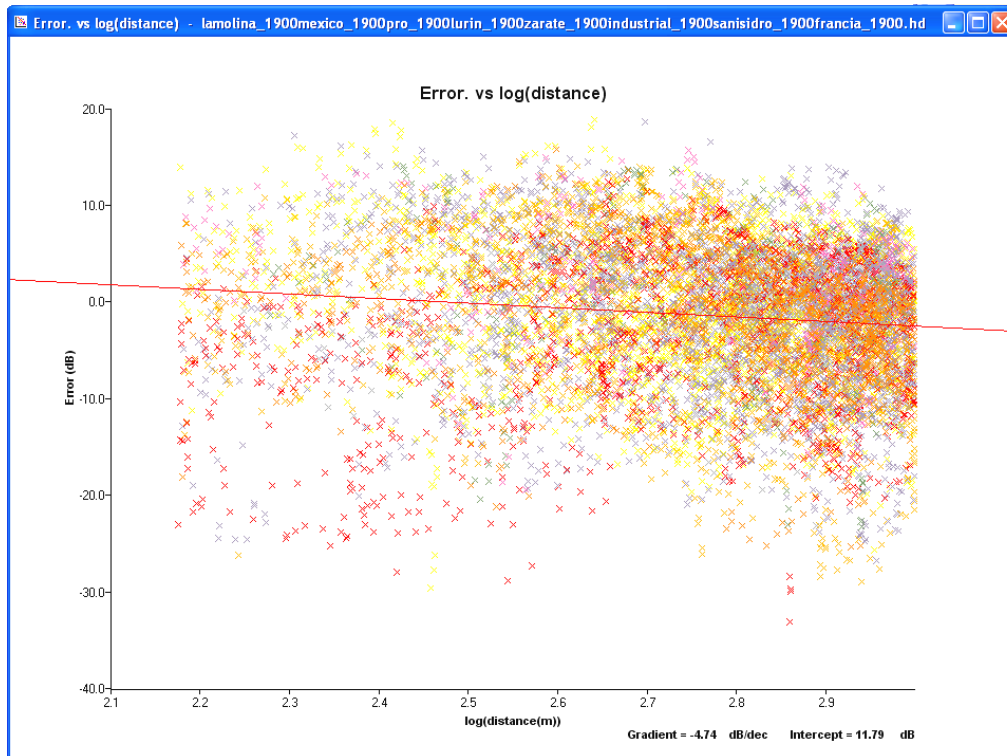
<sup>18</sup> Manual interno de SIEMENS: *Model Tuning concepts TornadoN Macro*



*Figura No. 6.7. Grafica de nivel vs distancia para todos y cada uno de los puntos georreferenciados de los ocho recorridos realizados para la ciudad de Lima, la línea roja indica la predicción hecha por el modelo Lima 1900.*

Un parámetro muy importante es también la pendiente de la curva de la regresión del error, cuanto más cercano este a cero, más fielmente se ajustará al decrecimiento real de la señal con la distancia desde la estación base. Una muestra positiva leve de la pendiente de la curva de la regresión del error (máximo +10 dB) también posibilita igualmente un acercamiento pesimista sano para dar una probabilidad más alta que el nivel simulado con el modelo sea menor al real, evitando al usarlo diseños con huecos de cobertura.

Después de estimar K2, el siguiente parámetro que se debe comenzar a mover en cifras muy pequeñas partiendo del valor inicial propuesto es K1, intentando obtener un error significativo positivo cercano a 0.



*Figura No. 6.8. Grafica de Error (dB) vs Distancia para todos y cada uno de los puntos georreferenciados de los ocho recorridos realizados para la ciudad de Lima, en rojo la pendiente de la curva cercana a cero.*

Los efectos de difracción cuyo factor es el término K7 en la expresión, ocurren únicamente cuando no existe Línea de Vista; por tanto K7 se determina filtrando las medidas de puntos LOS, el filtrado lo realiza automáticamente la herramienta mediante un cálculo hecho sobre el mapa digital.

El algoritmo utilizado es el método Epstein-Peterson, puesto que se está calibrando un modelo para escenarios macro, y en este caso se asumen las pérdidas totales por difracción como la suma de las atenuaciones debidas a las más significativas obstrucciones.

Después de calibrar el factor de pérdidas por difracción, nuevamente se reajusta el valor de K1 sobre todos los datos LOS y NLOS para disminuir el valor del error.

Los valores de K3, K4, K5 y K6 permanecen iguales a los valores iniciales propuestos:

- K3 es el factor de corrección para la altura efectiva del móvil, para este caso en particular de la ciudad de Lima, se utiliza la altura absoluta, K3 igual a cero, debido a que en gran proporción la ciudad esta en una superficie plana y se pretende un modelo ajustado a todo el entorno metropolitano,

- K4 es el factor de compensación de ganancia debido a la altura del móvil, igualmente es ajustado a cero por el hecho de utilizarse como altura efectiva el método absoluto.

- K5, y K6 como factores de compensación para la altura de la antena transmisora, K5 es igual al término propuesto por Hata de -13.82.

Igualmente K6 factor para relacionar las pérdidas involucradas con la altura de la antena transmisora y la distancia del móvil, permanece igual al establecido en el algoritmo Hata COST 231, con el valor de -6.55.

Finalmente se realiza el ajuste con los factores para cada tipo de clutter tomando como referencia los mencionados en el capítulo 3.

En este caso el modelo Lima 1900 fue ajustado obteniéndose un error significativo negativo pero cercano a cero, levemente pesimista; sin embargo en casos contrarios, para obtener ajustes más finos y disminuir el error significativo acercándolo a los rangos aceptables, es necesario revisar modificaciones sobre los algoritmos utilizados para la altura efectiva del móvil, las pérdidas de difracción y analizar el uso del modelo de dos piezas, todos los anteriores se mencionan en el capítulo 3.

## **6.2 RESULTADOS AJUSTE DEL MODELO LIMA 1900**

La evaluación de la estadística del error de la predicción hecha con el modelo ajustado, genera los siguientes datos estadísticos:

Numero de muestras

Error significativo medio= Promedio de la diferencia entre la Predicción con el modelo y los valores medidos en las pruebas para cada punto.

Error cuadrático medio = Promedio del valor RMS del error significativo calculado para cada punto.

Desviación estándar,

$$SD = \sqrt{\frac{\sum (desviaciones)^2}{n}} \quad (6.2)$$

Donde las desviaciones son calculadas para cada punto y n es el número de puntos evaluados.

Coefficiente de correlación: Es un índice de relación entre los niveles medidos y el valor obtenido con el algoritmo ajustado, su valor esta entre -1 y 1; con su valor absoluto más cercano a 1, la correlación es más fuerte.

En base a las iteraciones realizadas en la herramienta se ajusta el modelo sobre los ocho recorridos realizados, consiguiendo globalmente los siguientes datos:

<b>Model</b>	<b>Num. Bin</b>	<b>Mean Error</b>	<b>RMS Error</b>	<b>Std.Dev. Error</b>	<b>Corr. Coeff.</b>
Lima1900	10106	-1.3	7.5	7.4	0.6410

*Tabla No. 6.2. Resultados estadísticos generales del modelo Lima 1900 ajustado según la campaña de medidas*

Para el margen aceptable de 8 dB en el Error RMS, una desviación estándar cercana a 7 dB y el error significativo, el modelo Lima 1900 fue aceptablemente ajustado.

Para cada uno de los recorridos analizados se obtienen los siguientes resultados:

<b>Site ID</b>	<b>Site Name</b>	<b>Num. Bins</b>	<b>Mean Error</b>	<b>RMS Error</b>	<b>Std.Dev. Error</b>	<b>Corr. Coeff.</b>
LI008	La Molina	1172	0.5	7.5	7.5	0.6766
LI007	Mexico	2012	-1.5	5.8	5.6	0.7096
LI004	Pro	1249	-3.3	7.0	6.2	0.5610
LI006	Lurín	508	-8.4	13.1	10.1	0.1127
LI003	Zarate	1226	4.6	6.7	4.8	0.8034
LI002	Industrial	957	-4.7	7.3	5.6	0.7539
LI001	San Isidro	1654	-3.3	8.6	7.9	0.5241
LI005	Centro	1328	1.6	6.9	6.8	0.7200

*Tabla No. 6.3. Resultados estadísticos por rutas del modelo Lima 1900 ajustado según la campaña de medidas.*

Las rutas del clutter medio urbano México y denso urbano Centro, fueron las que arrojaron valores más favorables, el hecho que estos dos recorridos fueran realizados en su mayor proporción sobre los tipos de clutter a analizar influyó en la eficiencia de su ajuste.

El ajuste para áreas abiertas llevado a cabo en Lurín, mostró los valores menos favorables, las pocas pérdidas que sufre la señal en espacios abiertos no fueron correctamente asignadas al factor de corrección de este tipo de clutter puesto que influían en el ajuste de las otras zonas, optándose por desfavorecer al clutter menos afectado por las pérdidas. Igualmente el recorrido realizado en este caso fue corto, resultando en muestras que si bien sobre pasan el número permitido no arrojaron un buen resultado en el ajuste.

## 6.2.1. Resultados ruta San Isidro

Clutter	Num. Bins	Mean Error	RMS Error	Std.Dev. Error	Corr. Coeff.
Low_urban	238	-2.4	7.6	7.2	0.4232
dense_urban	525	-7.0	10.9	8.4	0.6781
open_street_in_urban	603	-2.1	7.3	7.0	0.4598
Parks	94	3.0	7.6	7.0	0.2682
Comercial	33	-3.5	7.4	6.6	0.7465
medio urban	161	-0.7	6.0	6.0	0.6135

Tabla No.6.4. Resultados estadísticos del modelo Lima 1900 ajustado según la campaña de medidas para la ruta urbana densa de San Isidro.

Se puede observar que para este caso el tipo de clutter denso urbano que se deseaba analizar fue sobre el cual existieron mayor número de muestras, teniendo en cuenta que las áreas abiertas por las calles aparecen en gran parte de esta zona.

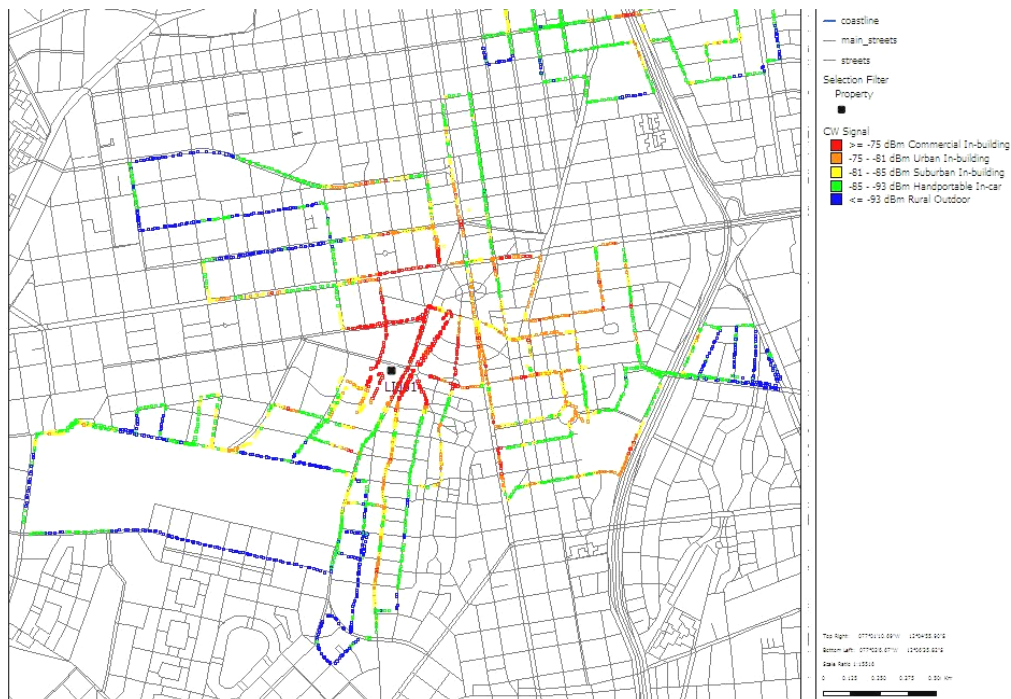
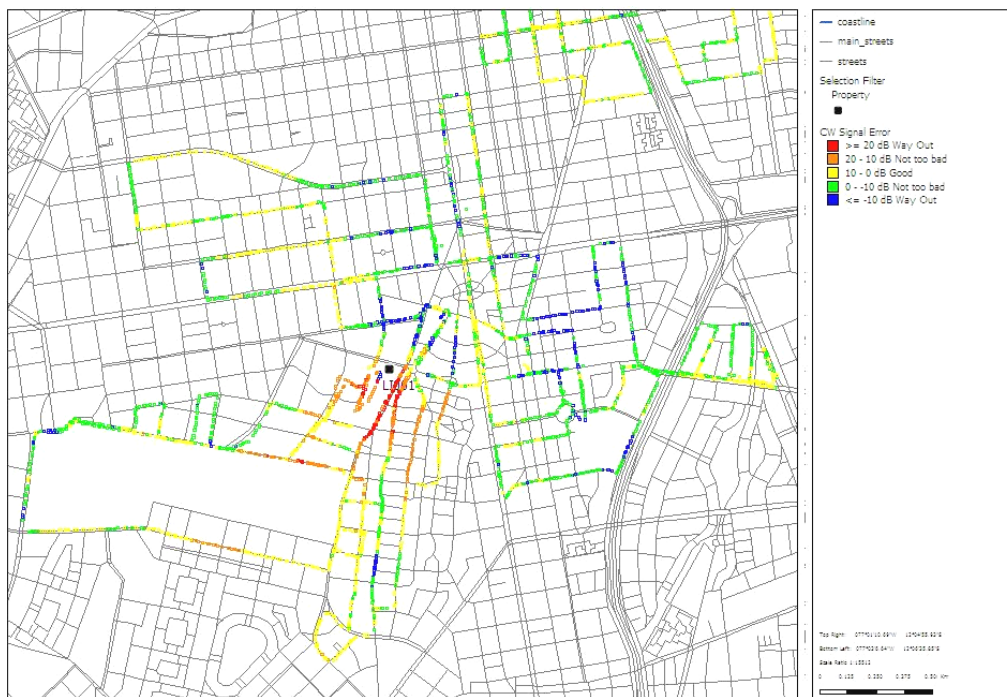


Figura No. 6.9. Niveles de señal obtenidos en la campaña de medidas en la ruta de San Isidro



*Figura No. 6.10. Niveles de error alcanzados en la ruta de San Isidro con el Modelo Hata Cost 231 ajustado Lima 1900.*

El error más significativo, corresponde a la zona que presentaba una menor característica de urbano denso, existían construcciones de bajo tamaño, casas a lo sumo de tres pisos.

La media del error obtenido es negativa, previniendo un modelo pesimista con mayores pérdidas para este clutter denso.

Se obtienen buenos resultados del ajuste en forma global para este recorrido.

## 6.2.2. Resultados ruta Centro

Clutter	Num. Bins	Mean Error	RMS Error	Std.Dev. Error	Corr. Coeff.
dense_urban	798	0.0	6.4	6.4	0.7525
open_street_in_urban	433	4.2	7.3	6.0	0.7805
Parks	30	-5.2	10.4	9.2	0.4997
Comercial	67	7.0	8.4	4.7	0.7522

Tabla No. 6.5. Resultados estadísticos del modelo Lima 1900 ajustado según la campaña de medidas para la ruta urbana densa Centro de Lima.

Las calles estrechas en esta zona se visualizan en la diferencia de muestras tomadas sobre el clutter “open street in urban” con respecto a San Isidro.

Existen en su mayor parte puntos evaluados como urbano densos, permiten alcanzar muy buenos resultados.

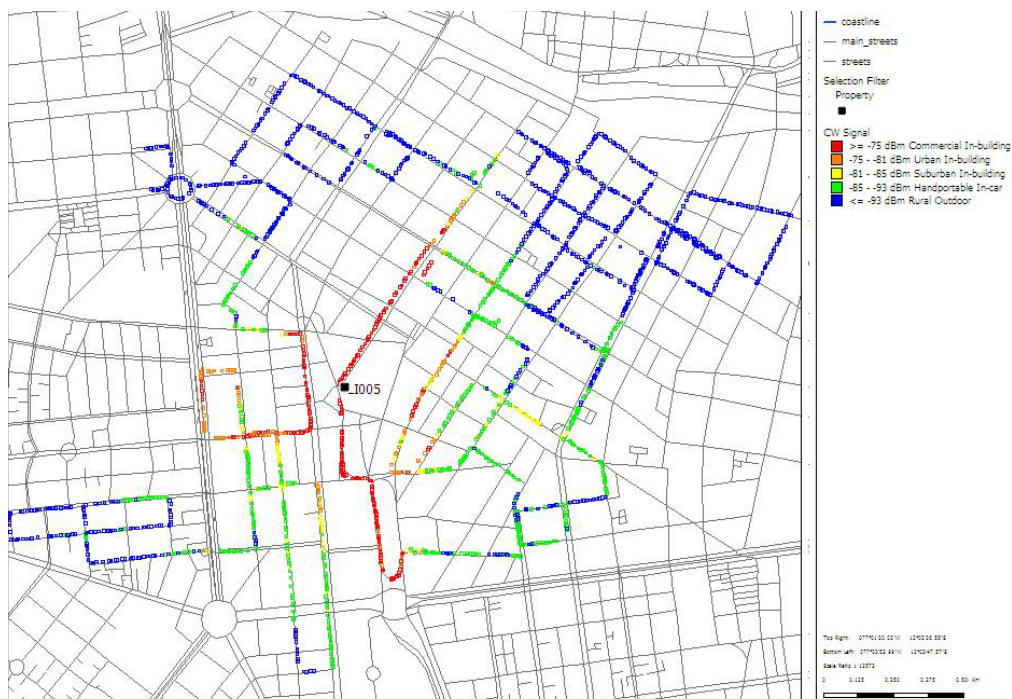
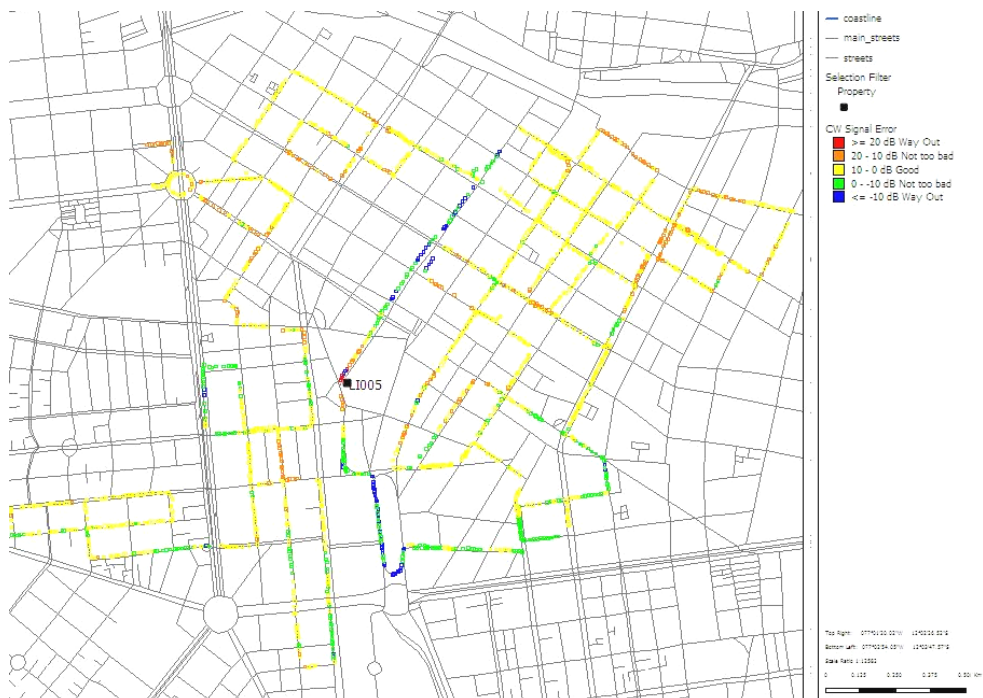


Figura No. 6.11. Niveles de señal obtenidos en la campaña de medidas en la ruta del Centro



*Figura No. 6.12. Niveles de error alcanzados en la ruta Centro con el Modelo Hata Cost 231 ajustado Lima 1900.*

Se alcanza muy buenos resultados en el ajuste del algoritmo para este recorrido, es notable la diferencia con la ruta San Isidro donde existe gran influencia de espacios abiertos por vías.

Las calles estrechas, las construcciones elevadas caracterizan perfectamente toda la zona del recorrido y garantizaron obtener un buen ajuste.

Predominan los puntos con error por defecto, siguiendo la sugerencia de un modelo pesimista.

### 6.2.3. Resultados ruta México

Clutter	Num. Bins	Mean Error	RMS Error	Std.Dev. Error	Corr. Coeff.
low_urban	191	-0.2	3.9	3.9	0.5695
Dense_urban	172	-1.1	4.2	4.0	0.6874
open_street_in_urban	556	-0.5	4.7	4.7	0.5542
Parks	40	-3.4	9.1	8.5	0.9406
Comercial	97	3.0	6.2	5.4	0.7969
Industrial	24	-2.1	8.4	8.3	0.6346
Medio urban	932	-2.9	6.7	6.0	0.7099

Tabla No. 6.6. Resultados estadísticos del modelo Lima 1900 ajustado según la campaña de medidas para la ruta media urbana México.

El clutter medio urbano, evaluado en esta ruta, presenta un aceptable ajuste por el modelo Lima 1900.

Igualmente aparece en forma significativa los espacios abiertos producto de vías principales.

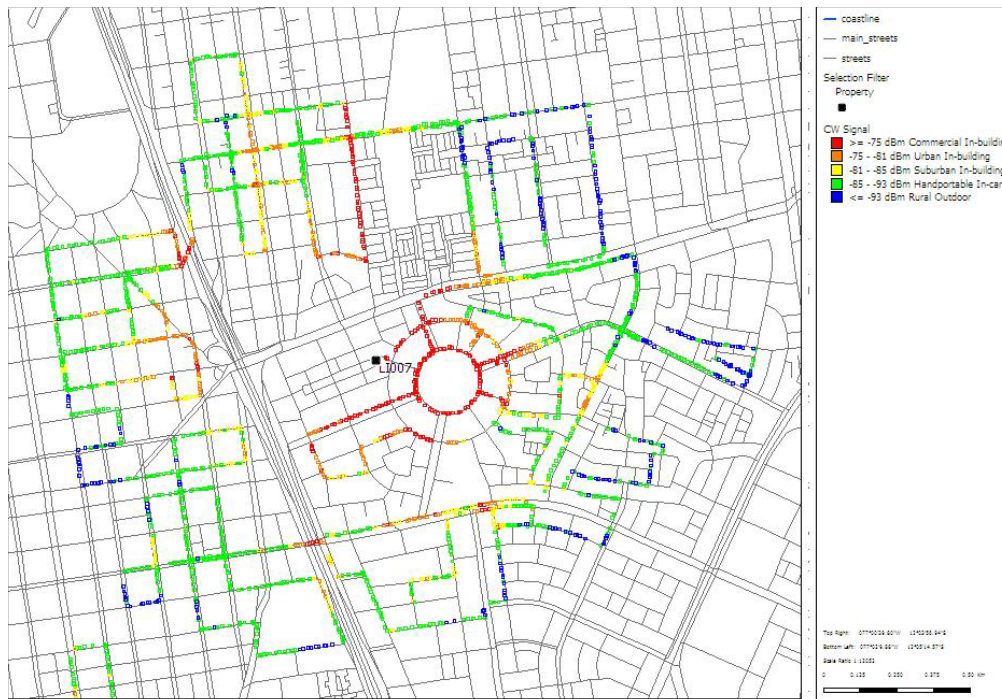
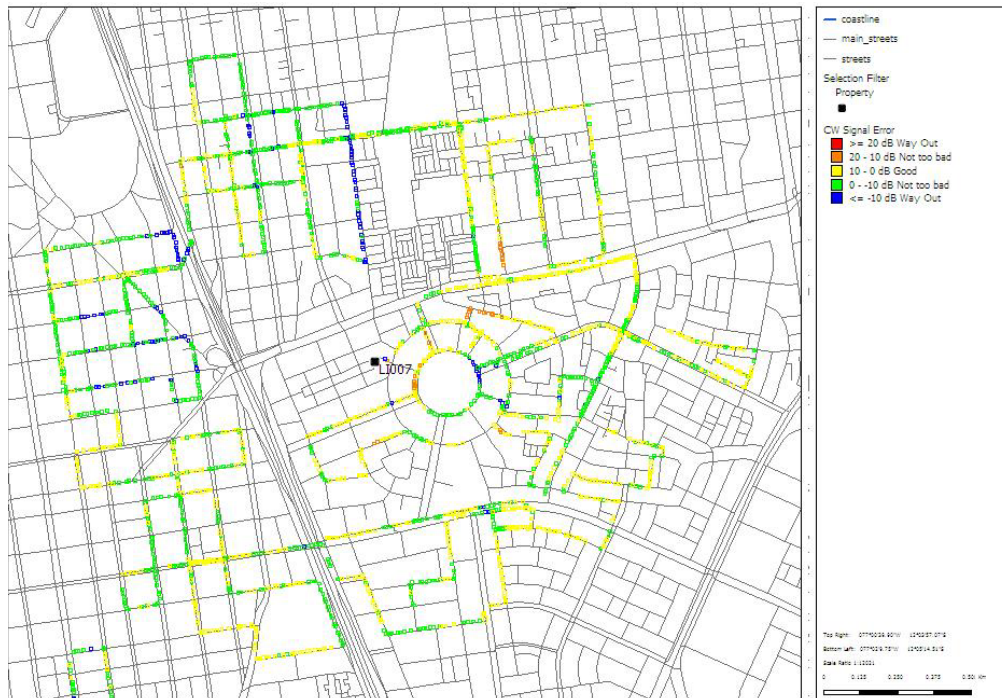


Figura No. 6.13. Niveles de señal obtenidos en la campaña de medidas en la ruta de México



*Figura No. 6.14. Niveles de error alcanzados en la ruta de México con el Modelo Hata Cost 231 ajustado Lima 1900.*

Se obtienen buenos resultados en el ajuste, se observa el recorrido a la redonda del sitio transmisor gracias a la facilidad de las calles en esta zona se consiguió una ruta adecuada.

Predominan los errores por defecto al igual que el recorrido anterior.

### 6.2.4. Resultados ruta Zárate

Clutter	Num. Bins	Mean Error	RMS Error	Std.Dev. Error	Corr. Coeff.
Low_urban	892	5.3	6.6	4.0	0.8429
Open_street_in_urban	293	2.2	6.7	6.3	0.6760
Parks	23	8.3	8.7	2.9	0.8409
Comercial	17	5.6	7.1	4.4	0.7937
Industrial	1	3.5	3.5	0.0	0.0000

Tabla No. 6.7. Resultados estadísticos del modelo Lima 1900 ajustado según la campaña de medidas para la ruta urbana baja de Zarate.

El ajuste de la zona baja urbana se consigue con eficiencia, las muestras corresponden en gran cantidad a la zona a analizar.

En este sector las calles son de mediana envergadura, por tal razón las muestras evaluadas como “espacio abierto de vías” se encuentran en una cantidad razonable.

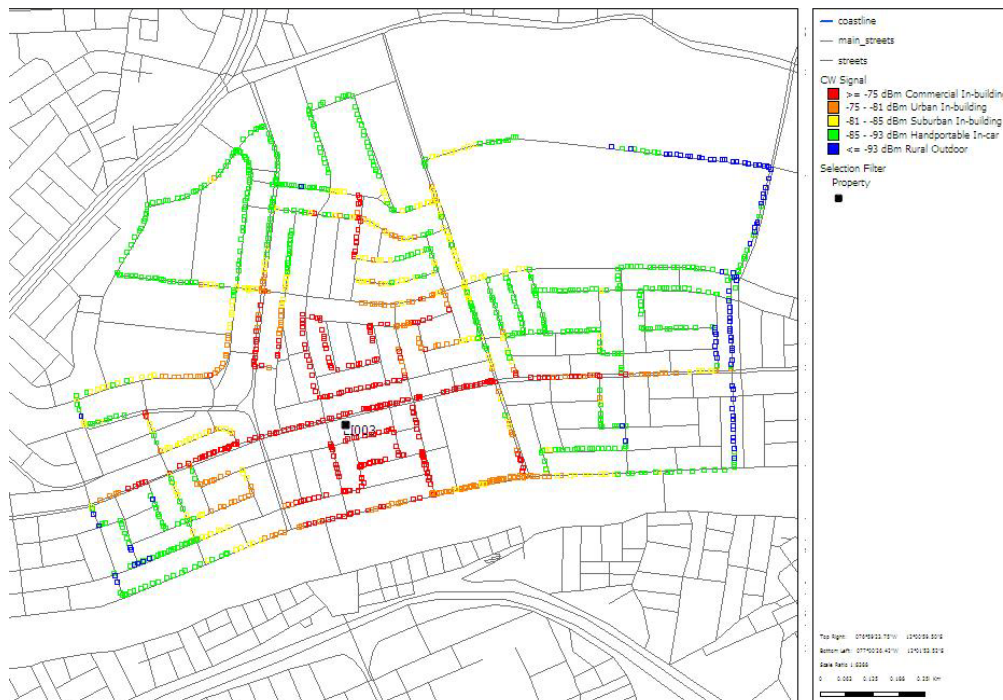
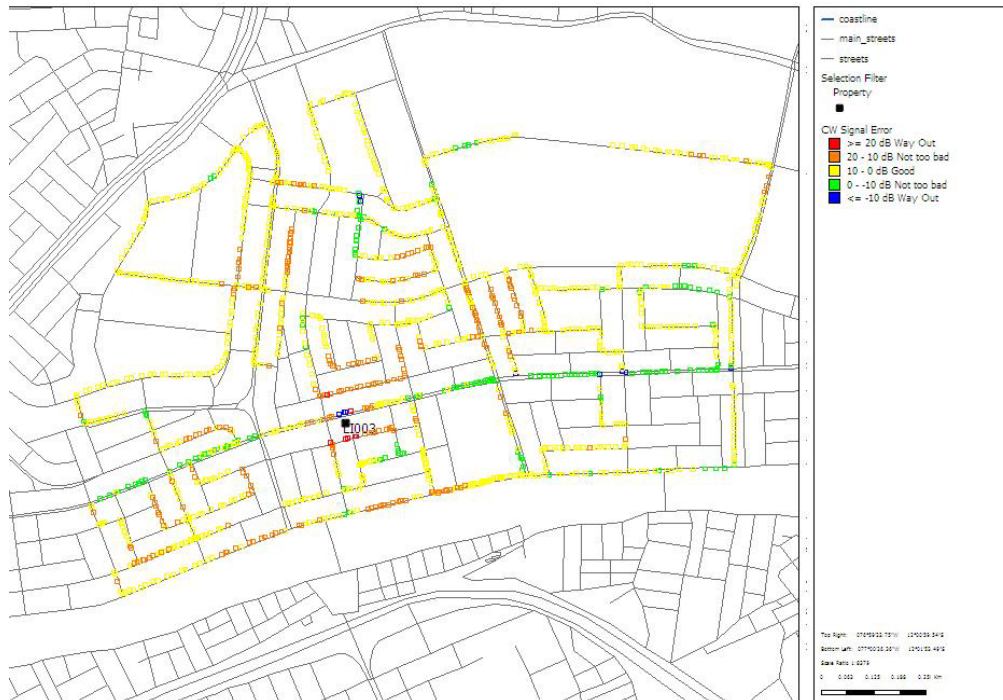


Figura No. 6.15. Niveles de señal obtenidos en la campaña de medidas en la ruta de Zarate



*Figura No. 6.16. Niveles de error alcanzados en la ruta de Zarate con el Modelo Hata Cost 231 ajustado Lima 1900.*

Aunque no se obtiene un modelo pesimista en este caso, se logra un muy buen ajuste con errores dentro del rango permitido para casi todos los puntos.

### 6.2.5. Resultados ruta Industrial

Clutter	Num. Bins	Mean Error	RMS Error	Std.Dev. Error	Corr. Coeff.
low_urban	283	-5.6	7.6	5.2	0.8189
dense_urban	89	-9.0	9.9	4.2	0.8182
open_street_in_urban	238	-5.9	8.0	5.4	0.7527
Parks	6	-4.5	6.2	4.6	0.9941
Comercial	22	-1.4	4.9	4.8	0.7682
Industrial	319	-2.0	5.5	5.2	0.7627

Tabla No. 6.8. Resultados estadísticos del modelo Lima 1900 ajustado según la campaña de medidas para la ruta Industrial.

El mapa digital describe muy bien a la zona de este recorrido, la mayoría de los clutter involucrados obtienen buenos valores de correlación.

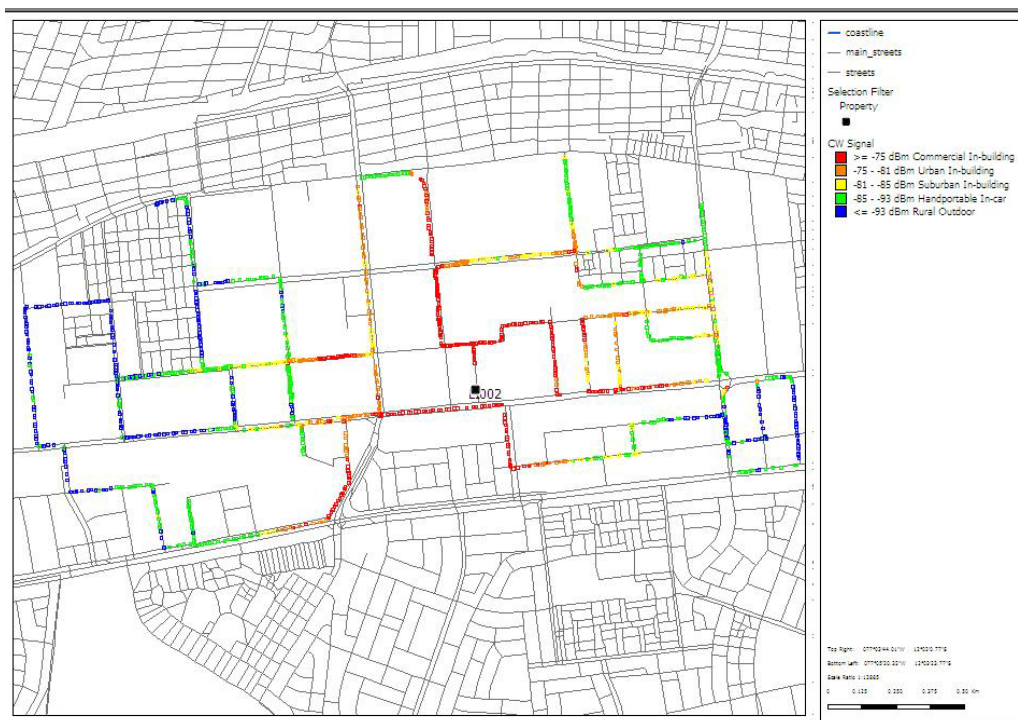


Figura No. 6.17. Niveles de señal obtenidos en la campaña de medidas en la ruta Industrial



*Figura No. 6.18. Niveles de error alcanzados en la ruta Industrial con el Modelo Hata Cost 231 ajustado Lima 1900.*

Los lotes grandes y construcciones con techos metálicos caracterizan a esta zona. Las pequeñas casas y vías permiten analizar que ninguna zona podría describirse perfectamente con un solo tipo de clutter.

## 6.2.6. Resultados ruta Pro

Clutter	Num. Bins	Mean Error	RMS Error	Std.Dev. Error	Corr. Coeff.
suburban_high_residential	1070	-2.8	6.8	6.2	0.5883
low_urban	67	-8.3	9.7	5.0	0.0080
open_street_in_urban	53	-5.0	5.4	2.1	0.7300
Parks	35	-4.7	10.5	9.5	0.1951
Comercial	24	-5.1	6.3	3.8	0.3753

Tabla No. 6.9. Resultados estadísticos del modelo Lima 1900 ajustado según la campaña de medidas para la ruta suburbana de Pro.

Por encontrarse en una zona periférica, la gran parte de esta zona esta clasificada como suburbana permitiendo con este recorrido obtener el mayor número de medidas significativas del clutter particular a ser analizado.

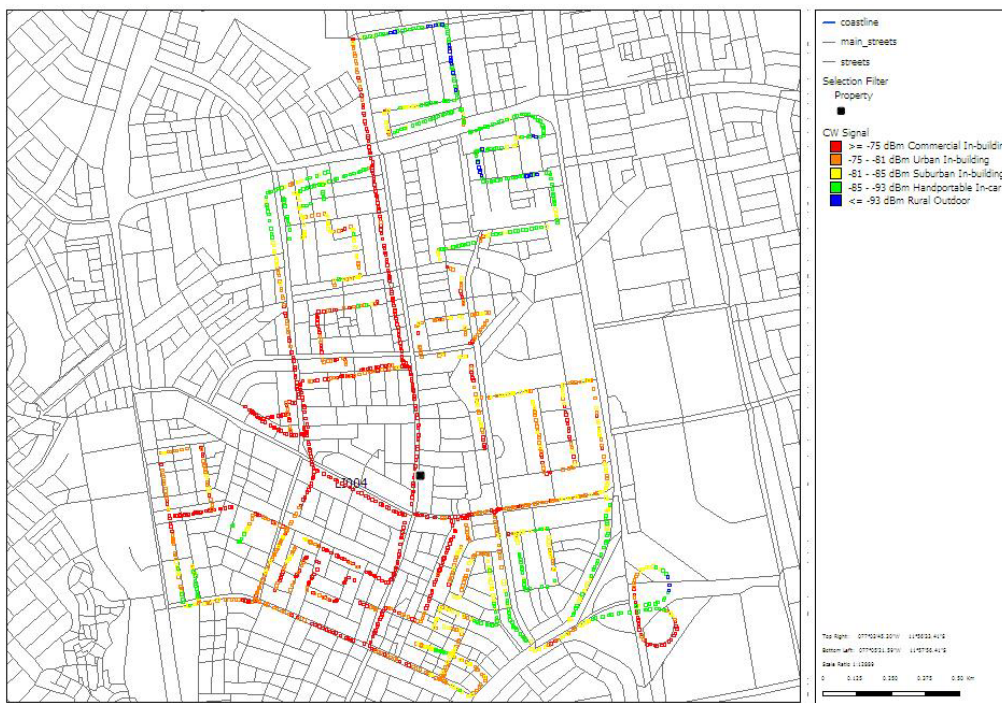
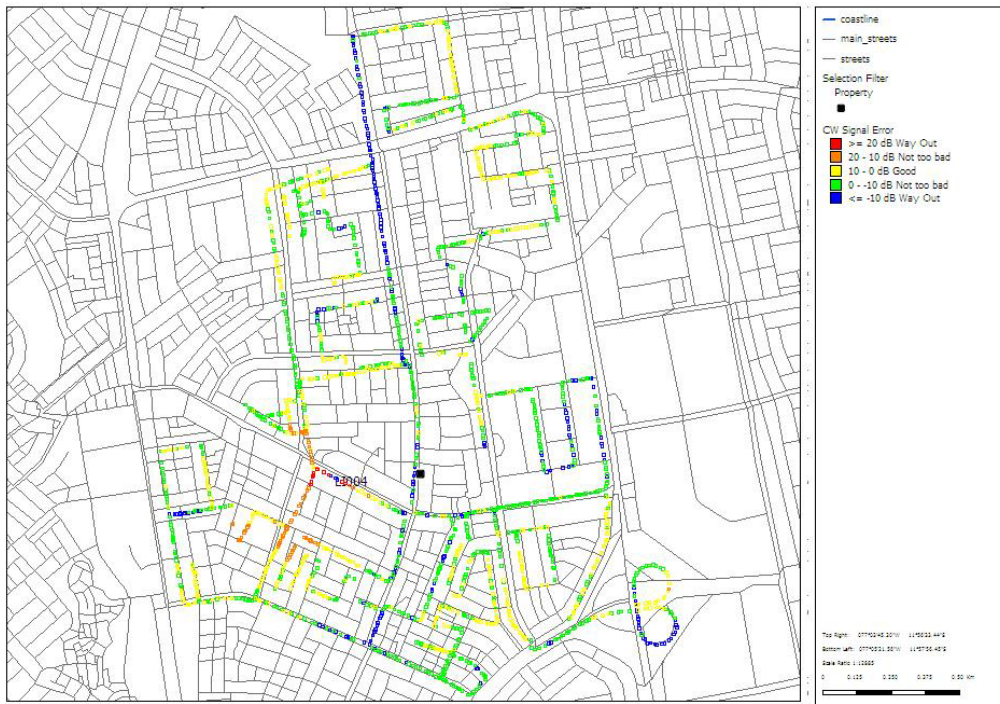


Figura No. 6.19. Niveles de señal obtenidos en la campaña de medidas en la ruta de Pro



*Figura No. 6.20. Niveles de error alcanzados en la ruta Pro con el Modelo Hata Cost 231 ajustado Lima 1900.*

El buen nivel de señal alcanza radios significantes con respecto a los recorridos anteriores, en las periferias de las ciudades andinas, el número de construcciones comienza a ser menor y el espacio abierto a aumentar causando menores pérdidas por difracciones a la señal transmitida.

La mayor cantidad del error fue por defecto, siguiendo los lineamientos de un modelo pesimista.

### 6.2.7. Resultados ruta La Molina

Clutter	Num. Bins	Mean Error	RMS Error	Std.Dev. Error	Corr. Coeff.
suburban_high_residential	940	-0.6	7.7	7.6	0.6302
Low_urban	81	0.9	3.5	3.4	0.4735
open_street_in_urban	85	-0.9	9.2	9.3	0.4514
Parks	12	7.2	7.7	2.9	0.9346
Comercial	54	-1.6	8.3	8.3	0.4675

Tabla No. 6.10. Resultados estadísticos del modelo Lima 1900 ajustado según la campaña de medidas para la ruta suburbana de La Molina.

Al igual que lo sucedido en la ruta suburbana anterior, en este caso aparecen en mayor proporción los puntos a analizar. Es un espacio con corredores comerciales y vías anchas que se reflejan en las estadísticas.

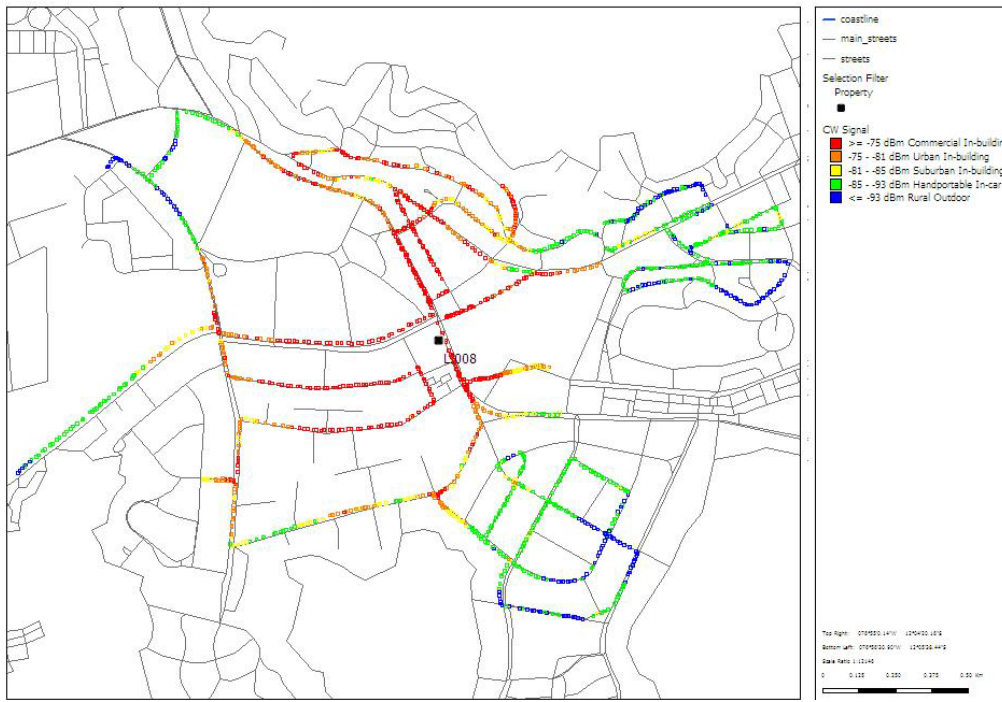
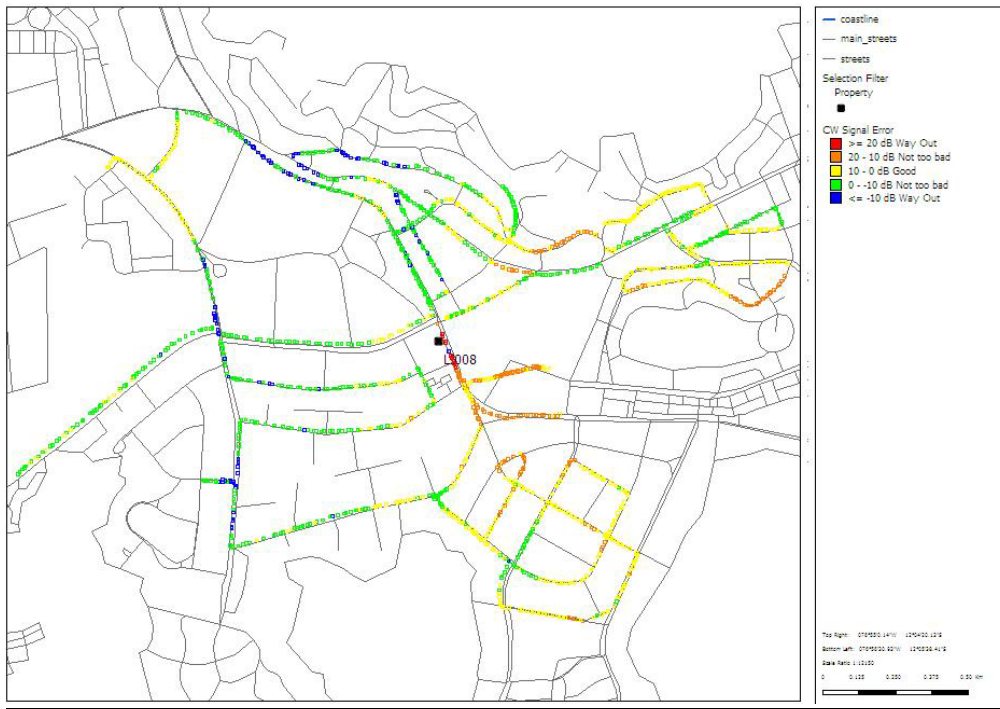


Figura No. 6.21. Niveles de señal obtenidos en la campaña de medidas en la ruta de La Molina



*Figura No.6.22. Niveles de error alcanzados en la ruta de La Molina con el Modelo Hata Cost 231 ajustado Lima 1900.*

Se reconocen niveles de señal muy similares a los observados en el recorrido de Pro, alcanza radios significantes.

Se alcanzan menores valores de error que en el recorrido anterior, la clasificación suburbana es más representativa en este caso, es una zona más alejada y existen menos cantidad de calles.

## 6.2.8. Resultados ruta Lurin

Clutter	Num. Bins	Mean Error	RMS Error	Std.Dev. Error	Corr. Coeff.
suburban_high_residential	116	3.2	6.8	6.0	0.1768
Low_urban	144	-15.0	16.7	7.4	0.0848
Open_street_in_urban	238	-10.2	13.1	8.3	0.4699
Parks	7	-6.1	7.1	3.8	-0.5063
Comercial	3	1.0	1.4	1.3	0.0788

Tabla No. 6.11. Resultados estadísticos del modelo Lima 1900 ajustado según la campaña de medidas para la ruta de espacios abiertos de Lurín.

No aparece el clutter de tipo área abierta puesto que el recorrido se realizó por vías y en el mapa digital no aparece ningún punto medido sobre esta.

La ruta fue más corta que las anteriores, esto pudo influir en los resultados y no se obtuvo un buen ajuste.

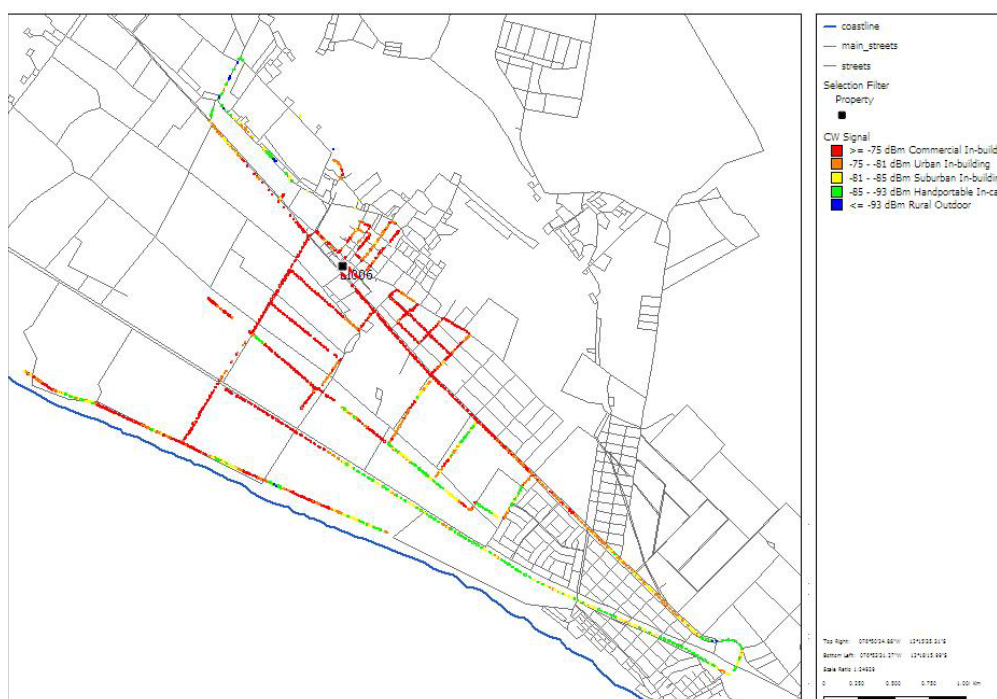
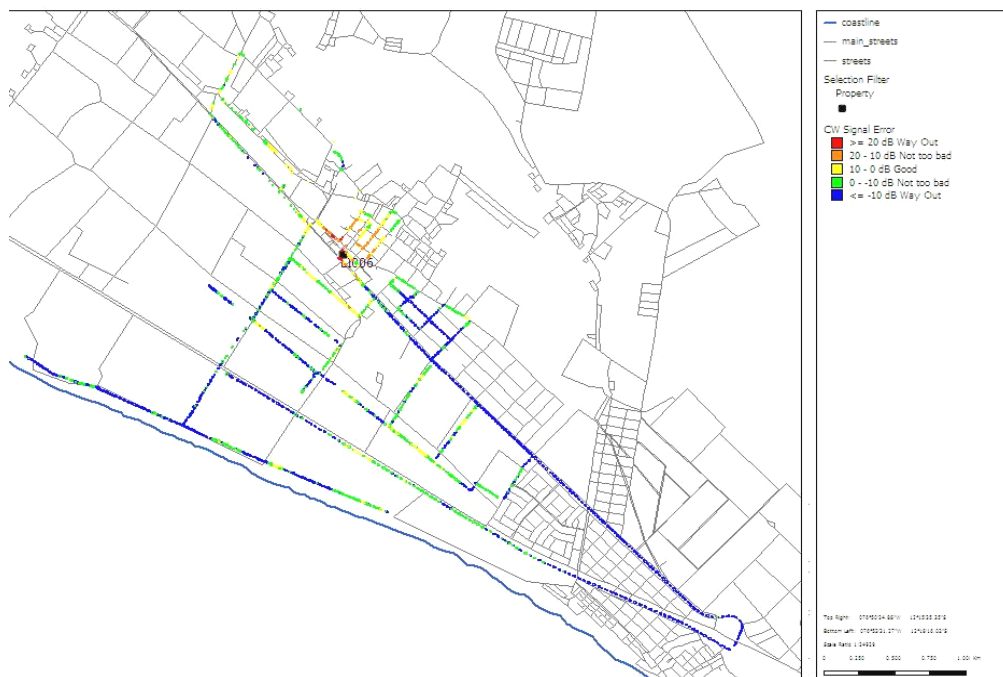


Figura No. 6.23. Niveles de señal obtenidos en la campaña de medidas en la ruta de Lurín.



*Figura No. 6.24. Niveles de error alcanzados en la ruta de Lurín con el Modelo Hata Cost 231 ajustado Lima 1900.*

El margen de error para este caso fue muy significativo para la mayoría del recorrido; sin embargo se realizó alcanzando errores para un modelo pesimista.

Observar los resultados alcanzados para cada uno de los puntos permiten analizar las diferencias encontradas dependiendo del tipo de clutter en el cual fue desarrollada las pruebas, se hizo notorio que en los casos donde las rutas cruzaban en mayor extensión evitando lo mayor posible el recorrido sobre vías abiertas se alcanzaron menores valores de error.

Se trato en lo posible de alcanzar en todos los recorridos errores válidos dentro de un modelo pesimista tal como es recomendable, así de está forma el nivel de predicción puede estar por debajo del real; sin embargo una de las deficiencias de este modelo es llegar a ajustar todos los entornos de una manera precisa, al alcanzar valores acertados para las zonas densas, en donde aparece el mayor nivel de atenuación de la señal, se estableció el modelo Lima 1900, aunque para el entorno bajo urbano (Zárate) y el área abierta (Lurín) no se consiguieron errores aceptables de modelo pesimista, si se alcanzaron desviaciones estándar permitidas para la gran mayoría de los puntos de toda la prueba.

## CAPITULO 7

### ANÁLISIS PARALELO MODELO HATA COST 231 PARA LIMA EN 1900 MHZ Y ANDINO UIS PARA BUCARAMANGA EN LA BANDA TDMA

Como un objetivo de esta investigación, esta el realizar un análisis paralelo de los resultados obtenidos para algunos recorridos en la ciudad de Bucaramanga con el modelo Andino UIS en la banda de TDMA con los alcanzados en el ajuste del modelo Lima 1900 en base al algoritmo Hata COST 231, para tal fin en esté capitulo inicialmente se da una descripción del Modelo Andino UIS, seguidamente se analizan las similitudes y diferencias de los dos procesos para finalmente llegar a establecer conclusiones y sugerencias para aplicar la calibración del modelo para un área metropolitana como Bucaramanga mediante el uso de la clasificación en tipos de clutter y el proceso similar al desarrollado con la herramienta usada en esta investigación.

#### 7.1 MODELO ANDINO UIS

En base a las investigaciones realizadas por el grupo de investigación Radio GIS en convenio con el Ministerio de Comunicaciones y la empresa Tesamérica Andina Ltda, fue formulado el modelo semideterminista Andino UIS<sup>19</sup> como trabajo de tesis de pregrado, apuntando hacia el interés de modelar bajo las condiciones andinas la radio propagación.

Las nuevas soluciones propuestas dentro del modelo Andino-UIS<sup>®</sup> que fue una modificación al Walfisch – Ikegami implican factores que aún no han sido considerados en la radio propagación, este es el caso del comportamiento de la señal en presencia de vías convergentes y la viabilidad de la aplicación de nuevas teorías de difracción sobre cilindros para modelamiento del terreno.

Conservando la esencia del modelo Walfish Ikegami, éste modelo incorpora a la estimación de Path Loss parámetros que describen las características de un

---

<sup>19</sup> CARREÑO Yair, Tesis de Grado: Desarrollo del Modelo de propagación Andino UIS

ambiente urbano, como lo son: alturas de edificios ( $h_{Roof}$ ), ancho de las calles ( $w$ ), separación entre edificios ( $b$ ) y orientación de las vías ( $\varphi$ ).<sup>1</sup>

El modelo distingue entre situaciones de línea de vista (LOS) y sin línea de vista (NLOS).

En el caso de LOS se aplica la fórmula:

$$L_b(dB) = -27.558 - 20\log(aux) + 20\log(f) \quad (7.1)$$

$$\text{Donde } aux = \frac{G_\theta}{r_1} \left( \cos\left(\frac{2\pi r_1}{\lambda}\right) - j \operatorname{sen}\left(\frac{2\pi r_1}{\lambda}\right) \right) + \frac{G_\phi}{r_2} \sigma_m \left( \cos\left(\frac{2\pi r_2}{\lambda}\right) - j \operatorname{sen}\left(\frac{2\pi r_2}{\lambda}\right) \right) \quad (7.2)$$

El parámetro  $aux$  permite que el modelo de propagación considere el patrón de radiación de la radio base (BS). Cada término puede observarse con claridad en el documento tesis: Modelo Andino UIS.

Para NLOS, el total de pérdidas están dadas por:

$$L_b = L_0 + L_{rts} + L_{msd} + L_{cv} \quad (7.3)$$

Los términos  $L_0$ ,  $L_{rts}$ , y  $L_{msd}$  son tomadas del modelo de propagación COST231.- Walfisch-Ikegami y son definidas:

- Las pérdidas por espacio libre  $L_0$  están dadas por:

$$L_0(dB) = 32.4 + 20\log(d) + 20\log(f) \quad (7.4)$$

Para  $d$  expresada en km y  $f$  expresada en MHz.

- Las pérdidas por difracción de múltiples filos de cuchillo antes del techo del edificio final  $L_{msd}$  son:

$$L_{msd} = L_{bsh} + k_a + k_d \operatorname{Log}(d) + k_f \operatorname{Log}(f) - 9 \operatorname{Log}(b) \quad (7.5)$$

Donde  $w$  es el ancho promedio de la vía en donde se encuentra el MS,  $\Delta h_{Mobile}$  es dado en metros,  $k_a$  y  $k_d$  dependen de las alturas de la radio base y  $k_f$  del entorno sobre el cual se va a analizar el modelo.

Las pérdidas ocasionadas por el techo del último edificio y un proceso de dispersión ocurrido a ésta altura  $L_{rts}$  son:

$$L_{rts} = -8.2 - 10\log(w) + 10\text{Log}(f) + 20\text{Log}(\Delta h_{Mobile}) + L_{Ori} \quad (7.6)$$

$$\Delta h_{Mobile} = h_{Roof} - h_{Mobile}.$$

El término adicional considerado por el modelo de propagación Andino-UIS describe las pérdidas por difracción en las convergencias de vías  $L_{cv}$ , y son dadas por:

$$L_{cv} = 20\log|s * e_{UTD}(\psi, s)| \quad (7.7)$$

Donde  $0 < \psi \leq 90^\circ$  y  $0.1 < s \leq 1Km$ . Hay que aclarar que  $d \approx s$ , luego  $d \leq 1Km$ .

Todas las formulaciones se pueden profundizar en el documento Modelo Andino UIS.

El modelo Andino UIS podría considerarse como semi determinista, contiene expresiones establecidas para referirse a las pérdidas de espacio libre y difracciones utilizando expresiones originales del algoritmo Walfisch Ikegami; adicionando el modelado del patrón de la antena para el caso de LOS y las pérdidas por difracción en el cruce de vías para el caso de NLOS que utilizan parámetros particulares de las pruebas realizadas.

Al momento de seleccionar las zonas en donde se llevaron a cabo las mediciones de validación del modelo Andino UIS para el sistema TDMA<sup>20</sup> en la banda de

---

<sup>20</sup> García Ariza Alexis Paolo, Cobertura para sistemas móviles celulares en entorno urbano escarpado, Universidad Industrial de Santander, Escuela de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones, Bucaramanga, Colombia, 2002.

800Mhz, se tuvieron en cuenta las características del entorno, se eligieron sectores ubicados sobre distintos tipos de topografía y zonas correspondientes a cruces de vías, se tomaron en cuenta tres zonas:

Barrio Bucaramanga, barrio que se caracteriza por estar ubicado sobre una colina, las mediciones para el sistema TDMA fueron llevadas a cabo a largo de tres rutas, una en la cima de la colina, otra en una pendiente de la falda y la última en la parte más baja del barrio donde termina la pendiente.

Barrio Provenza, es una zona urbana sobre terreno plano, cercana a la ubicación de la radio base. Las mediciones para el sistema TDMA se llevaron a cabo sobre tres rutas, una próxima a la BS y otras dos sobre una zona relativamente plana.

Barrio San Luis, se caracteriza por ser una zona urbana inclinada, se utilizaron dos rutas ubicadas sobre una vía.



Figura No. 7.1 Mediciones Barrio Bucaramanga

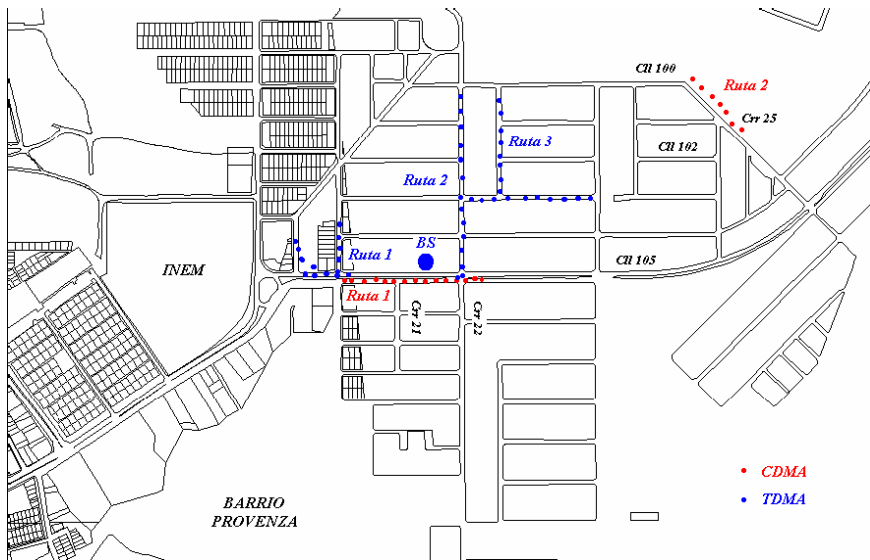


Figura No. 7.2 Mediciones Barrio Provenza

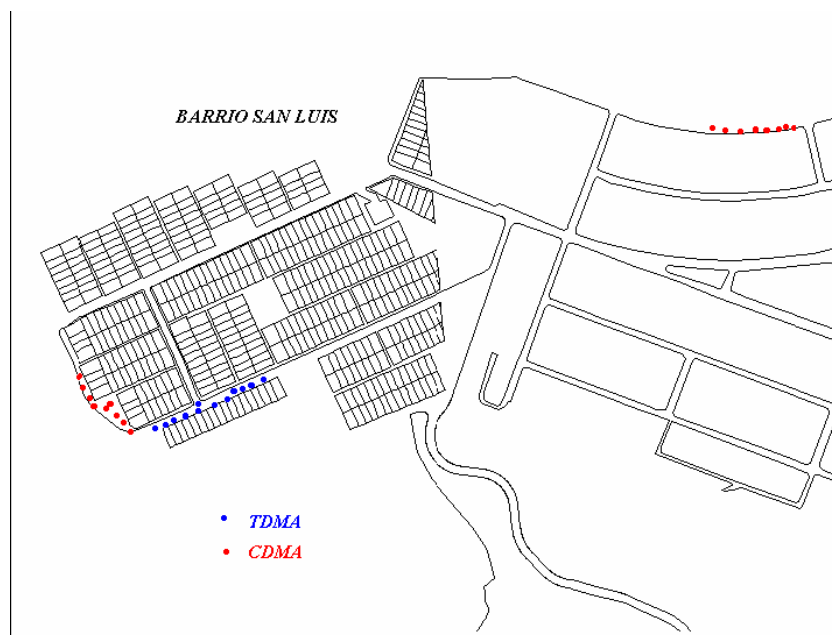


Figura No. 7.3 Mediciones Barrio San Luis

El modelo andino UIS, utiliza expresiones matemáticas adicionales para ajustar el algoritmo Walfisch Ikegami a situaciones particulares de convergencia de vías y pruebas realizadas sobre terrenos ondulados.

Para ajustar las alturas efectivas de las radio bases, utiliza los parámetros que propone el modelo Walfisch Ikegami para las pérdidas por difracciones (fórmula 7.5)

$$k_a = \begin{cases} 54 & \text{para } h_{Base} > h_{Roof} \\ 54 - 0.8\Delta h_{Base} & \text{para } d \geq 0.5km \text{ y } h_{Base} \leq h_{Roof} \\ 54 - 0.8\Delta h_{Base} \frac{d}{0.5} & \text{para } d < 0.5km \text{ y } h_{Base} \leq h_{Roof} \end{cases} \quad (7.8)$$

$$k_d = \begin{cases} 18 & \text{para } h_{Base} > h_{Roof} \\ 18 - 15 \frac{\Delta h_{Base}}{h_{Roof}} & \text{para } h_{Base} \leq h_{Roof} \end{cases} \quad (7.9)$$

Estableciendo complicaciones al momento de formularlo por el desconocimiento de la altura de las edificaciones para los cuales se aproxima por la formula:

$$h_{Roof} = \begin{cases} 3m * n_{floors} \rightarrow \text{para techos planos} \\ 3m * n_{floors} + 3m \rightarrow \text{para techos puntiagudos} \end{cases} \quad (7.10)$$

$b = 20 \dots 50m, w = b / 2, \varphi = 90^\circ$

donde  $n_{floors}$  es el número de pisos de los edificios. El modelo está restringido para  $800MHz \leq f \leq 2000MHz$ ,  $4m \leq h_{Base} \leq 50m$ ,  $1m \leq h_{Mobile} \leq 3m$  y  $0.02km \leq d \leq 5km$ , comportándose de forma muy adecuada para situaciones donde la altura de la antena de la BS es mayor que la de los edificios, que es el caso de los macro escenarios.

El término Kf en la fórmula para las pérdidas por difracciones, tiene en cuenta el tipo de clutter de cual se esta haciendo referencia.

$$k_f = -4 + \begin{cases} 0.7 \left( \frac{f}{925} - 1 \right) & \left\{ \begin{array}{l} \text{para ciudades medianas} \\ \text{y centros suburbanos con} \\ \text{mediana densidad de arboles} \end{array} \right. \\ 1.5 \left( \frac{f}{925} - 1 \right) & \text{para centros metropolitanos} \end{cases} \quad (7.11)$$

En este caso solo se evalúan dos tipos de clutter, centros densos de las ciudades

y áreas urbanas de mediana densidad.

Haciendo referencia al modelo Walfish Ikegami: “Este modelo es de tipo estadístico, esto implica que sus parámetros son obtenidos a partir de análisis empíricos y esto hace que el nivel de predicción del mismo esté limitado por el tipo de entorno en donde sea aplicado.”<sup>21</sup> Y no determinista porque únicamente posee valores característicos y no se considera ninguna base de datos topográfica de los edificios.<sup>22</sup>

El modelo andino UIS se formula a partir de los parámetros empíricos del Walfisch Ikegami junto con formulaciones teóricas para las pérdidas en convergencia de vías por tal razón el modelo es de tipo semi determinístico.

Los resultados obtenidos resumiendo las rutas realizadas para mediciones en el sistema TDMA en 800 Mhz en las tres zonas mencionadas anteriormente fueron los siguientes:

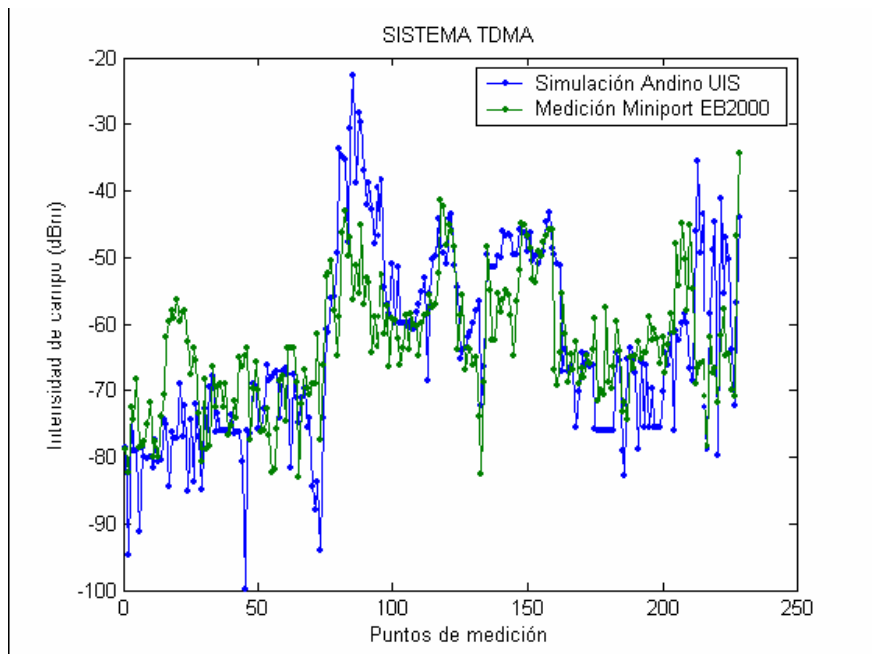
<b>RUTA</b>	<b># Medidas</b>	<b>MEDIANA</b>	<b>Mean Error</b>	<b>STD</b>	<b>COEF.CORR.</b>
<b>B. B/manga</b>	<b>74</b>	<b>7,71635</b>	<b>8,66825</b>	<b>6,40713</b>	<b>0,122891</b>
<b>Provenza</b>	<b>88</b>	<b>9,6264</b>	<b>10,35486</b>	<b>6,04675</b>	<b>0,0673</b>
<b>San Luis.</b>	<b>42</b>	<b>5,503</b>	<b>6,559007</b>	<b>5,41784</b>	<b>0,108571</b>

*Tabla No. 7.1 Resultados extraídos del trabajo de investigación: Modelo Andino UIS*

---

<sup>21</sup> García Ariza Alexis Paolo, Cobertura para sistemas móviles celulares en entorno urbano escarpado, Universidad Industrial de Santander, Escuela de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones, Bucaramanga, Colombia, 2002.

<sup>22</sup> Damosso Eraldo, COST 231 in the European Telecommunications Environment, CSELT, Italy



*Figura No. 7.4 Resultados extraídos del trabajo de investigación: Modelo Andino UIS, en azul simulaciones con el modelo, en verde las mediciones en campo.*

## 7.2 SIMILITUDES MODELO ANDINO UIS – MODELO LIMA 1900

El análisis de los resultados obtenidos mediante los dos modelos ajustados en condiciones distintas, se lleva a cabo evaluando las similitudes y diferencias al momento de realizar los dos estudios.

El proponer ajustar un modelo de propagación a un entorno en particular, involucra una serie de parámetros iguales en cualquiera sea el caso, uno de ellos es tomar un modelo existente formulado con anterioridad y cuya validez ha sido certificada, de tal forma que se analice muy bien su algoritmo para establecer en base a las variables y grado de importancia que les da si es buen criterio seleccionarlo para el entorno sobre el cual se desea: Indoor o outdoor, alta o baja frecuencia, escenario pico, micro o macro. En los dos casos, los modelos referencia son utilizados para escenarios macro, es decir donde la altura de la radio base esta por encima que las edificaciones.

La formulación del modelo Andino UIS, se establece partiendo del modelo Walfisch Ikegami, de carácter semideterminista, que maneja una serie de parámetros para tener en cuenta la altura de las edificaciones, espacio entre ellas y direcciones de las vías; sin embargo, el modelamiento a la realidad de un entorno a gran escala podría resultar engorroso por el uso de infinidad de variables.

El ajuste del modelo Lima 1900, realizado con la herramienta TornadoN, parte del modelo empírico Hata Cost 231, que permite el modelamiento a gran escala al manejar variables más generalizadas.

Igualmente, un modelo debe contar con una etapa de verificación que le permita evaluar su cercanía a la realidad, bien sea mediante una campaña de medidas posterior como es el caso del modelo Andino UIS o el ajuste estadístico sobre mediciones realizadas con anterioridad en el caso del modelo Lima 1900.

En el caso de entornos escarpados, se debe analizar el método con el cual se tiene en cuenta las alturas efectivas, para el caso del modelo Andino UIS, parte de las expresiones originales el Walfisch Ikegami, en donde se asignan valores a partir de rangos establecidos, mientras la herramienta TornadoN ajusta las alturas al momento de realizar los cálculos de ajuste sobre el modelo Hata por medio de métodos que utilizan los datos registrados en el mapa digital, aparecen referenciados en el capítulo 3. Para el caso de Lima por encontrarse su gran extensión sobre terrenos planos se utiliza el método de altura absoluto.

Las rutas para las campañas de mediciones deben escogerse partiendo de las condiciones especiales que se quieran analizar; si se desea realizar un ajuste mediante la clasificación en tipos de clutter se convierte relevante este aspecto.

Tanto el ajuste del modelo Lima 1900 como la propuesta del Modelo Andino UIS, manejan un entorno macro en donde las radio bases se encontraban por encima de las edificaciones y tomaron en cuenta las pérdidas por NLOS que tenía la señal a la redonda en un radio cercano a la antena transmisora para modelar las pérdidas de difracción.

Los fenómenos de campo cercano a la antena son tenidos en cuenta en los dos modelos, al estar excluido el Modelo Andino UIS partiendo de los rangos del

Walfisch Ikegami para su uso en distancias entre los  $0.02km \leq d \leq 5km$ , igualmente los datos con distancias inferiores a 100 m fueron filtrados al momento de la calibración de Lima 1900.

Las variables comunes en este caso para los dos modelos de propagación son las alturas de la radio base, del móvil, la distancia y la frecuencia; aunque la fórmula de Ikegami permite incluir pérdidas para dos diferentes tipos de clutter, la aproximación a las pérdidas según la topología son manejadas de una manera más óptima por los distintos factores que se incluyen en la formula modificada de Hata Cost 231 en el parámetro Lclutter.

El concepto de clutter por tanto es manejado con mayor importancia y es la base de la calibración del modelo Hata por tratarse de un algoritmo de carácter isotrópico, mientras que la formulación Andino UIS únicamente utiliza el parámetro para entorno medianamente denso que describe la única trayectoria existente entre la radio base sectorizada y las rutas de mediciones.

Para el ajuste de cualquier modelo de propagación, es bien sabido que los datos completos del transmisor deberán estar completamente documentados, haciendo referencia a la potencia EIRP, altura, tipo de antena.

PARAMETROS	VALOR
<b>Sistema TDMA/IS-136</b>	
PIRE del transmisor	42.48dBm
Ganancia del receptor	0dB
Ganancia antena 855DDH90E	12.1dBi
Frecuencia CCA	880.11MHz
Altura del Transmisor	40m
Altura del Receptor	1.7m
Downtilt de la antena	3°
Azimut de las antenas	40, 160 y 280°
Factor de curvatura K	1.33
Tamaño de celdas del grid para simulación	3m

*Tabla No. 7.2 Parámetros utilizados en las pruebas del sistema TDMA para el modelo Andino UIS, fuente: Tesis Modelo Andino UIS.*

### 7.3 DIFERENCIAS MODELO ANDINO UIS- MODELO LIMA 1900

En base a los resultados obtenidos con los modelos, se pueden diferenciar la correlación obtenida en los algoritmos, mientras el andino UIS alcanza una desviación estándar para cada uno de los tres recorridos que fue validado de: 6.40, 6.04 y 5.41 dB, para hacer referencia a rutas particulares y zonas específicas, el modelo Lima 1900, con el cual se propone una fórmula de ajuste para toda un área metropolitana se obtiene en el algoritmo final una desviación estándar de 7.4 dB.

Modelo	# Muestras	Mean Error	RMS Error	Std.Dev. Error	Corr. Coeff.
Lima1900	10106	-1.3	7.5	7.4	0.6410

*Tabla No. 7.3 Resultados obtenidos en el ajuste del modelo Lima 1900*

El modelo Walfisch Ikegami es normalmente usado para realizar acercamientos de la radio propagación para escenarios muy particulares; mientras que la fórmula de Hata se establece para facilitar un ajuste global mediante herramientas de simulación.

Debe tenerse en claro que el modelo Andino UIS, se propuso para evaluar las pérdidas de señal que existen en zonas escarpadas que constituyen dependiendo de la ciudad una porción significativa o no de su extensión, particularmente en la convergencia de vías, al momento de evaluar la calidad o planificar un sistema de comunicaciones mediante predicciones con este modelo, deberá estudiarse minuciosamente el entorno sobre el cual se realizará. El modelo Lima 1900 manejando los factores de clutter, facilita la aplicación de un solo algoritmo a un entorno metropolitano; no en vano la diferencia en el nivel de señal simulada con la realidad no será tan importante como para el caso en donde se deseará evaluar minuciosamente una sola radio base que cubre una zona escarpada a su redonda.

El uso de mapas digitales para realizar el ajuste del modelo y no para establecer las simulaciones sobre las cuales se evaluará, facilita igualmente la extensión del algoritmo para toda un área metropolitana.

En el caso de evaluar el ajuste del modelo Hata Cost 231 para el área metropolitana de Bucaramanga, sería práctico establecer algoritmos para zonas en particular que utilicen el método de la altura más pertinente, por ejemplo para el mismo sector en el cual se evaluó el modelo andino UIS, deberá utilizarse el método de la pendiente, mientras que para otros sectores escarpados más uniformemente podría ser el método promedio y para zonas con extensiones planas el mismo método absoluto sería indicado.

Las mediciones realizadas para validar el modelo andino UIS, utilizaron antenas directivas por tratarse de sectores de sitios existentes; el proceso de ajuste del modelo Hata COST 231 por tratarse de un modelo de carácter isotrópico, es decir que permite una aproximación de las pérdidas por path loss desde la antena transmisora a su redonda, utilizó una antena omni direccional.

La banda de frecuencia en la cual se desea ajustar el modelo no implica cambios en el procedimiento, en este caso el Walfisch Ikegami fue propuesto para la banda de 800 a 2000 Mhz; sin embargo las variables del algoritmo Hata si son únicamente para frecuencias entre los 1500 y los 2000 Mhz, en el caso de necesitar el ajuste en la banda TDMA de 800 Mhz, se debe calibrar en la herramienta la fórmula inicial de Okumura Hata.

La manera de proponer un algoritmo ajustado, se puede observar que es diferente en la propuesta del modelo semideterminista Andino UIS al modelo empírico Lima 1900, en el primero se proponen los términos de la expresión en base a estudios de teorías físicas, su validación es únicamente para verificar que tan aproximado fueron esos términos; mientras que el proceso de calibración para el modelo Hata Cost 231 en este caso para la banda de 1900 Mhz para el área metropolitana de Lima, consiste en utilizar las mediciones cambiando los términos del algoritmo y

maneja factores de clutter para poco a poco alcanzar una expresión que defina con un mínimo margen de error la radio propagación; en este último caso se establece que valores de desviación estándar cercanos a 7 dB pueden considerarse como buenos.

Por la misma naturaleza explicada en el párrafo anterior, la cantidad de muestras tomadas difiere, las campañas en las tres zonas de Bucaramanga fueron utilizadas únicamente para valorar puntos específicos como pendientes, faldas de colinas midiendo niveles de señal para sectores de una radio base; el ajuste de Lima se debió llevar a cabo con rutas a la redonda de los sitios escogidos como transmisores en distintas topologías para cumplir con el mínimo de 100 puntos, teniendo en cuenta el muestreo de Lee de cada 40 lambdas para lograr obtener valores medios de la señal y no tener problemas por decrecimientos rápidos y lentos (fast y slow fading), de tal forma que las muestras fueran lo más significativas.

Las pérdidas por difracción son manejadas de formas muy diferentes por los dos modelos, el algoritmo de Walfisch Ikegami, maneja dos expresiones para ello, una involucra minuciosamente la técnica de los filos de cuchillo incluyendo factores tales como espacio entre vías, altura de edificaciones, orientación de las calles y una segunda expresión para la difracción del obstáculo final; es importante reconocer que al momento de ajustar el modelo para el entorno metropolitano de Lima, con ayuda de la herramienta TORNADON, se tomo igualmente el método de los filos de cuchillo, utilizando la técnica de Epstein Paterson en donde se asumen las pérdidas totales por difracción como la suma de las atenuaciones debidas a las más significativas obstrucciones y se le aplica un factor adicional relacionado con el valor de pérdidas que podrían alcanzarse.

Aunque las condiciones topográficas de Lima y Bucaramanga son diferentes, el proceso de ajuste del modelo Hata Cost 231, permite visualizar las variables manejadas y la forma en la que sería óptima la calibración de un modelo para un

área metropolitana de tipo andino con el uso de los métodos para las alturas efectivas; es importante recalcar que el uso de un mapa digital con la información veraz del entorno, se convierte en el proceso para el Hata Cost 231 en una herramienta imprescindible.

Las variables adicionales propuestas en el modelo Andino UIS, con respecto a la formulación de Hata, corresponden a parámetros que describen pérdidas en convergencia de vías, incluyendo orientaciones de vías, patrones de antena y valores particulares para el número de edificaciones que producen las pérdidas por difracción; entonces es claro que el grado de complejidad del algoritmo va a depender de la exactitud y del área que se desee modelar, el hecho que la clasificación en tipos de clutter caracterice las pérdidas de toda una zona permite facilidades al momento de ajustar todo un entorno metropolitano pero lo más seguro es que no sea útil al momento de evaluar con exactitud un solo sector de una radio base.

#### **7.4 SUGERENCIAS PARA EL AJUSTE DEL MODELO HATA COST 231 PARA ENTORNOS METROPOLITANOS DE TIPO ANDINO**

Partiendo del análisis anterior, se llega a la conclusión que el parámetro más relevante al momento de evaluar el desempeño de un modelo para la radio propagación en un entorno metropolitano tipo andino con terreno escarpado, es la altura efectiva del móvil con respecto a la antena transmisora.

Para el caso particular de la ciudad de Bucaramanga, donde únicamente se plantea el modelo Andino UIS para una zona particular ubicada entre los barrios San Luis, Diamante II, Provenza y Bucaramanga, se podría hacer uso del procedimiento mediante la clasificación de tipos de Clutter mencionado en la presente investigación, aplicando el método de la altura de la pendiente que trabajaría con base a la base de datos digital del terreno.

Revisando los resultados, la desviación estándar para el modelo Andino UIS sobre las rutas particularmente analizadas, fue más baja que lo obtenido con el modelo Lima 1900; sin embargo el coeficiente de correlación muestra que existe una mejor relación entre el algoritmo propuesto y las mediciones para el caso de Lima 1900 en donde el valor es de 0.6410 en contrariedad a los valores cercanos a 0.1 del modelo Andino UIS.

Pensando en proponer un procedimiento de ajuste para toda un área metropolitana, sería ventajoso formular más de un algoritmo que trabaje con el método de altura según se aproxime más a las condiciones; no en vano haciendo uso de los factores de clutter para facilitar la aproximación de la fórmula de Hata a las pérdidas por difracciones, disminuyendo la complejidad de los parámetros para el algoritmo Walfisch Ikegami que relacionan el mecanismo de los filos de cuchillo. Será necesario entonces el uso de una herramienta capaz de extrapolar la información de un veraz mapa digital, programada para utilizar los métodos para las alturas, difracciones y realizar iteraciones de acuerdo a los parámetros establecidos.

## **CAPÍTULO 8.**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

Como parte de los trabajos realizados al interior del grupo de investigación Radio GIS, donde se tiene un alto interés en encontrar la forma de modelar la radio propagación para los terrenos característicos en nuestra zona andina, se presento el estudio del ajuste del modelo de propagación Hata COST 231 para un entorno metropolitano partiendo de la clasificación en tipos de clutter, tomando como ejemplo particular la calibración del algoritmo para el área de la ciudad de Lima en la banda de 1900 Mhz.

El marco conceptual desarrollado hasta el momento en los anteriores estudios titulados: “Cobertura para sistemas móviles celulares en terreno urbano escarpado”, “Radio propagación en las comunicaciones móviles con tecnología CDMA en terreno urbano escarpado” y “Desarrollo del modelo de propagación Andino UIS”, fue aprovechado y complementado en esta investigación, igualmente se toma como referencia un nuevo modelo de propagación: el algoritmo Hata COST 231 que permite el ajuste de una sola formula para un área extensa con ayuda de la clasificación en tipos de clutter.

A continuación se presentan las conclusiones de este trabajo de fin de carrera sobre el proceso de ajuste y resultados del análisis paralelo con los obtenidos en el desarrollo del modelo de propagación Andino UIS. Adicionalmente las recomendaciones personales del autor referentes al desarrollo de algoritmos de ajuste para entornos metropolitanos y sobre temas generales relacionados.

## **8.1 CONCLUSIONES**

Son presentadas de acuerdo a tópicos particulares y objetivos planteados para la investigación.

### **8.1.1 Acerca de los conceptos de radio propagación**

La finalidad de los modelos de propagación de establecer la totalidad de las pérdidas de path loss desde la antena transmisora hasta la receptora, las gráficas de los resultados permitieron verificar el decrecimiento exponencial del nivel de señal recibido con la distancia.

Adicionalmente a las pérdidas de espacio libre, quien tiene mayor importancia es el fenómeno de difracción causado por las obstrucciones en la línea de vista, el análisis de la diferencia entre lo medido en los clutter densos y los suburbanos y áreas abiertas lo demostró.

### **8.1.2 Acerca del algoritmo modificado Hata COST 231**

Para llevar a cabo el proceso de calibración por medio de la herramienta, los parámetros del algoritmo original son únicamente cambiados en su orden conservando la misma descripción; el valor de la altura efectiva de la radio base con respecto al móvil puede ser considerada más real con la aplicación de uno de los cuatro métodos propuestos de acuerdo a la topografía que más se aproxime al terreno en estudio. Para el caso particular de Lima cuya superficie es mayormente plana, el método absoluto proporcionó buenos resultados. Las pérdidas por difracción que están directamente relacionadas con la distribución de las obstrucciones entre la antena transmisora y el móvil, modeladas en este caso por el método de Epstein Peterson para una ciudad como Lima donde los obstáculos significativos no se encuentran muy cercanos entre sí, permitió un buen ajuste.

El uso del modelo de dos piezas no fue necesario, debido a que en este caso al igual que con el desarrollo del modelo Andino UIS, se busco ajustar las pérdidas para distancias inferiores a 1km, generando al mismo tiempo un modelo pesimista para distancias superiores.

### **8.1.3 Acerca del mapa digital utilizado**

Para el proceso de ajuste, el uso de un mapa de 25 m de resolución para el análisis del entorno urbano y área metropolitana resultó favorable; una mejor resolución podría resultar más costosa. Los datos adicionales como trazado de calles facilitaron la ubicación de los puntos transmisores.

La proyección utilizada en el GPS para las pruebas y en el mapa digital utilizado deber ser la misma, diferencias ocasionan desfases significativos y no permiten realizar ningún trabajo.

La clasificación del clutter provista en el mapa digital proporcionado, debe ser verificada mediante el análisis de campo, si es el caso modificarla o subdividirla de tal forma que se establezcan los tipos más cercanos a la realidad.

La calidad de un modelo depende mucho del grado de acercamiento a la realidad de la base de datos del terreno (mapa digital) utilizada. El comportamiento de las medidas a lo largo de la línea de separación entre dos áreas del clutter (urbano al lado de área abierta) es susceptible a la evaluación falsa del clutter debido a la posibilidad de asignación incorrecta del área.

### **8.1.4 Acerca de la clasificación de los tipos de clutter**

Cada ciudad esta constituida por zonas completamente diferentes, al momento de realizar la clasificación por clutter deberá analizarse muy bien buscando las zonas similares entre sí. En el caso de Lima fue necesario modificar la clasificación inicial urbana propuesta en el mapa basado en foto satelital y dividirla en dos urbana media y urbana baja, debido a que dentro del primer tipo establecido se encontraban dos zonas con características en las edificaciones notablemente distintas.

Dos zonas con el tipo de clutter diferente no significan que tengan pérdidas de propagación diferentes, para el caso de Lima el factor para parques fue el mismo utilizado para área comercial. El uso de tierra también resulta ventajoso al momento de realizar estudios de tráfico para una red, clasificando el número de abonados, la intensidad y prioridad según la zona a la cual se refiera.

Al momento de realizar el ajuste para un área metropolitana, no es necesario y tampoco resultaría económico, realizar pruebas para todos y cada uno de los tipos de clutter que la describen; lo recomendable resulta en escoger los puntos más representativos en cuanto a movimiento de personas y atenuaciones de nivel de señal que puedan existir.

Para las mismas distancias radiales respecto a la antena transmisora, se observan que las pérdidas son mucho mayores en el clutter denso urbano que en área abierta, apareciendo escaladamente en las clasificaciones intermedias; de esta forma se observa que las pérdidas por difracciones resultan más significativas que las de espacio libre.

La clasificación de los tipos de clutter en ciudades andinas resulta muy similar entre ellos; sin embargo son diferentes a los propuestos para Europa por las características de las edificaciones y estructura de las ciudades.

#### **8.1.5 Acerca de las características de la campaña de medidas para el ajuste.**

Se alcanzo el objetivo propuesto en el plan para esta investigación que fue describir las características de la campaña de medidas para el ajuste del modelo de propagación Hata COST 231 para macro escenarios en base a la clasificación en tipos de clutter entre las conclusiones de la campaña se tienen las siguientes:

A diferencia de las pruebas realizadas con antenas sectorizadas en la validación del modelo Andino UIS, el procedimiento de ajuste del algoritmo Hata COST 231 necesita el uso de antenas omnidireccionales respetando el principio isotrópico del algoritmo.

Se debe tener en cuenta que la potencia radiada isótropica es diferente para cada punto transmisor de la prueba de tal forma que esta relacionada con las pérdidas según la longitud y tipo de conectores utilizados

Los mejores niveles de ajuste se obtuvieron para las rutas en donde la proporción del tipo de clutter a analizar fue la más significativa dentro de las muestras tomadas. Se debe tener en cuenta que el espacio abierto producto de las avenidas puede influir desfavorablemente en el ajuste al momento de asignar el factor de clutter.

La ruta debe ser lo más extensa posible en cuanto a barrer un área con el mayor número de puntos equidistantes del transmisor, fue notoria la diferencia del nivel de correlación obtenido con el número de muestras realizado.

#### **8.1.6 Acerca del proceso de ajuste**

El término independiente en el algoritmo y el factor de las pérdidas por difracción, son los de mayor influencia en el modelo, leves cambios en sus valores representaban movimientos significativos en las gráficas de análisis.

Al momento de realizar el ajuste debe tenerse en cuenta de no incluir los tipos de clutter que no tienen puntos de medidas, la inclusión de ellos causo inconvenientes al iniciar el proceso.

La visualización de los niveles de recepción contra distancia y los niveles de error del modelo contra distancia facilitan el entendimiento del proceso y lo encaminan hacia buenos resultados.

#### **8.1.7 Acerca de los resultados del modelo Lima 1900**

Se obtiene un modelo ajustado para el área metropolitana de Lima en la banda de 1900 con un valor de desviación estándar de 7.4 dB, válida como aceptable y un error medio de -1.3 considerado dentro del modelo pesimista, de esta forma el algoritmo Hata COST 231 puede ser considerado como calibrado satisfactoriamente.

#### **8.1.8 Acerca del análisis paralelo con los resultados del modelo Andino UIS**

Uno de los objetivos principales de está investigación fue el de estudiar los resultados del algoritmo Andino UIS desarrollado anteriormente respecto a los alcanzados con el ajuste del modelo Hata COST 231 para la ciudad de Lima, el análisis formal se encuentra en el capítulo 7, a continuación se describen las conclusiones más importantes:

El algoritmo Andino UIS basado en la formula Walfisch Ikegami es útil al momento de modelar entornos específicos, se alcanzaron resultados de desviación menores

a los del modelo Lima 1900; sin embargo para calibrar una fórmula de predicción para todo un entorno metropolitano es mucho más práctico tomar como referencia la fórmula Hata COST 231 que utiliza parámetros más generales.

Para el ajuste del algoritmo Hata COST 231 a terrenos escarpados, es recomendable el uso del método de la altura efectiva más aplicable a la zona a ser analizada.

En vista de lograr una propuesta que realmente pueda servir como modelo para todo un entorno metropolitano de tipo andino, se recomienda el uso del algoritmo Hata COST 231, aplicando si es el caso algoritmos distintos dependiendo de las topografías particulares de acuerdo al uso del método de la altura efectiva para las radio bases.

La estructura del algoritmo Hata COST 231 fue diseñada para facilitar su adecuación a herramientas software que realicen su calibración mediante iteraciones de sus parámetros, en contraste con el modelo Walfisch Ikegami cuyos términos adicionales de calibración deben adicionarse en base a extensos estudios.

### **8.1.9 Acerca de la herramienta software necesaria**

Para el caso del ajuste del modelo Hata COST 231 para un área metropolitana, es recomendable el uso de una herramienta software capaz de extraer la información de una base digital de datos de terreno, que permita como datos de entrada la información completa de los puntos transmisores y los niveles de señal georreferenciados de la campaña de medidas.

Para optimizar el proceso, la herramienta software debe estar en la capacidad de realizar iteraciones de tal forma que en base a los parámetros de entrada del modelo y la información del mapa digital, sea capaz de encontrar los niveles de error y desviaciones estándar aceptables dentro del modelo pesimista.

## **8.2 RECOMENDACIONES**

Al momento de realizar los estudios de radio propagación, puede resultar mucho más valioso tratar de ajustar algoritmos que puedan modelar áreas extensas, reconociendo que la importancia de ellos esta en el uso de simulaciones para redes inalámbricas de comunicaciones que cubren grandes extensiones de terreno.

Dentro del pensum sería recomendable adicionar materias afines a sistemas de información geográfica.

La Universidad Industrial de Santander, debe estar conciente del crecimiento e influencia de las comunicaciones móviles de tal forma que promueva y apoye los aportes para su estudio a través de los grupos de investigación afines.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Techcom Consulting, *GSM Radio Network Planning and Optimization MN 1790*  
Siemens.

Carreño Lizarazo Yair I., *Desarrollo del modelo de propagación Andino UIS*,  
Universidad Industrial de Santander, Escuela de Ingeniería Eléctrica,  
Electrónica y Telecomunicaciones, Bucaramanga, Colombia, 2005

García Ariza Alexis P., *Cobertura para sistemas móviles celulares en entorno urbano escarpado*, Universidad Industrial de Santander, Escuela de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones, Bucaramanga, Colombia, 2002.

García Cristian y Melendez Jose, *Radiopropagación en las Comunicaciones Móviles con Tecnología CDMA en presencia de Terreno Escarpado*, Universidad Industrial de Santander, Escuela de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones, Bucaramanga, Colombia, 2004.

Simon R. Saunders, *Antennas and Propagation for Wireless Communication Systems*, Baffins Lane, Chichester, West Sussex U.K: John Wiley & Sons, Ltd., 1999.

Rappaport Theodore S., *Wireless Communications: Principles and Practice*  
New Jersey U.S: Prentice Hall PTR, Pág. 470. 1996.

Siemens A.G., *Asset User Reference Guide Version 4.2*  
Siemens, 2003

Gomolka J & Boera D., *Model Tuning Concepts TornadoN (Macro)*  
Siemens AG ICM N MS P6, 2004.

Garcia Danilo, *Model Tuning Report GSM 1800 Project Telemar*  
Siemens Ltda, Brasil, 2001

Lempianinen Jukka, *Radio Interface System Planning for GSM/GPRS/UMTS*,  
Academic Publisher, Helsinki 2001.

Graminhani Ricardo, *Model Calibration with Tornado*  
ICM N O P E Network Planning Siemens IC, 2004

Domosso Eraldo, *COST 231 in the European Telecommunications Environment*, CSELT, Italy.

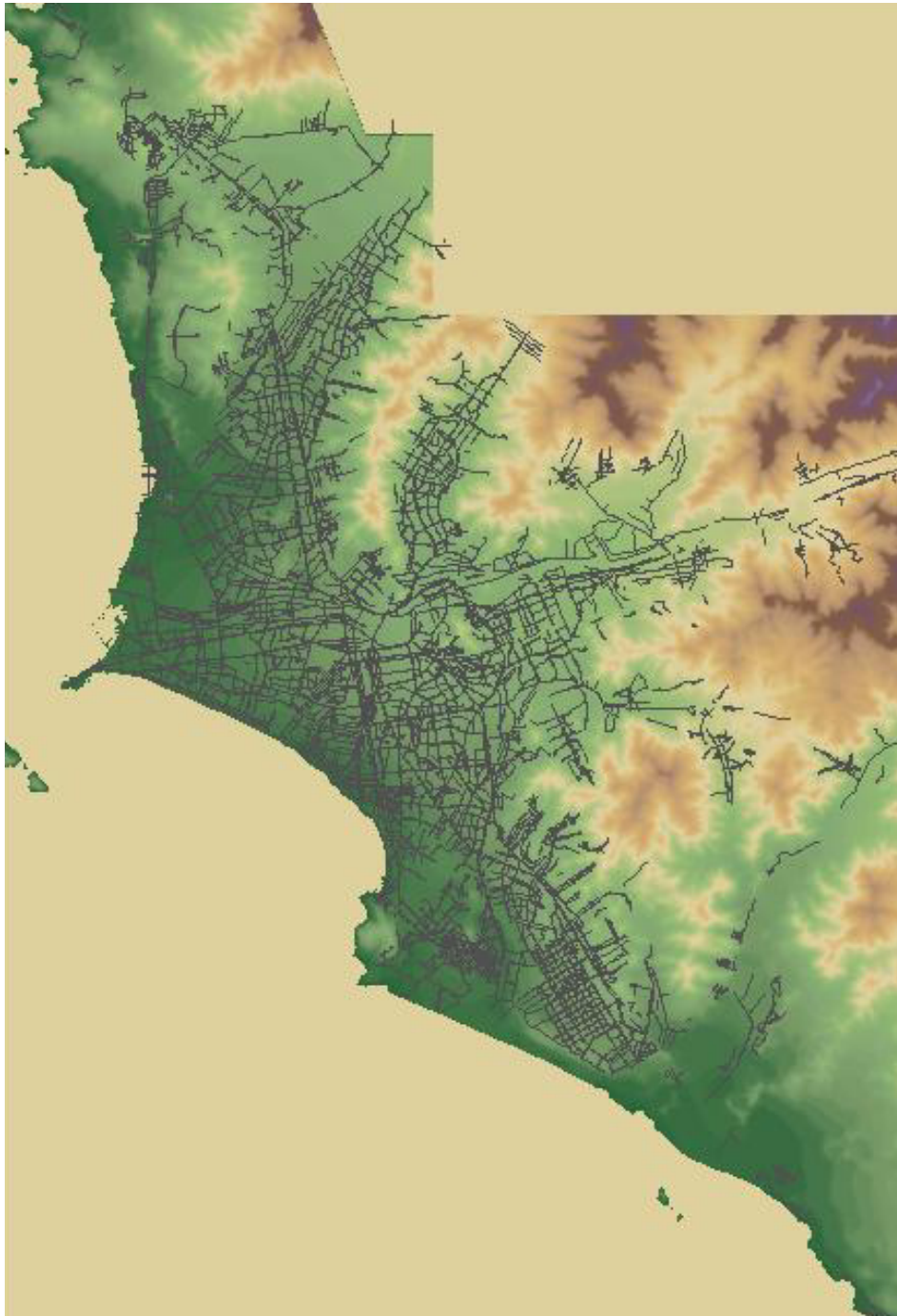
Cichon Dieter, *Propagation Prediction Models*  
IBP PIETZSCH GmbH, Germany

Fotografías Proyecto Telefónica Móviles GSM Siemens.

Mapas herramienta TornadoN, Proyecto Telefónica Móviles GSM Siemens.

## ANEXO A

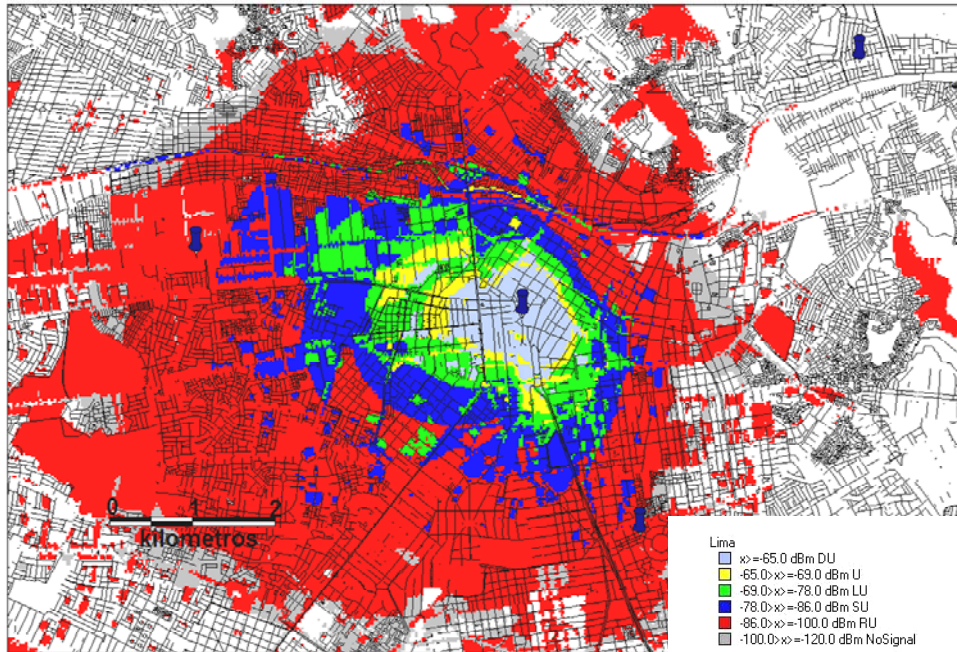
### MAPA DEL ÁREA METROPOLITANA DE LIMA



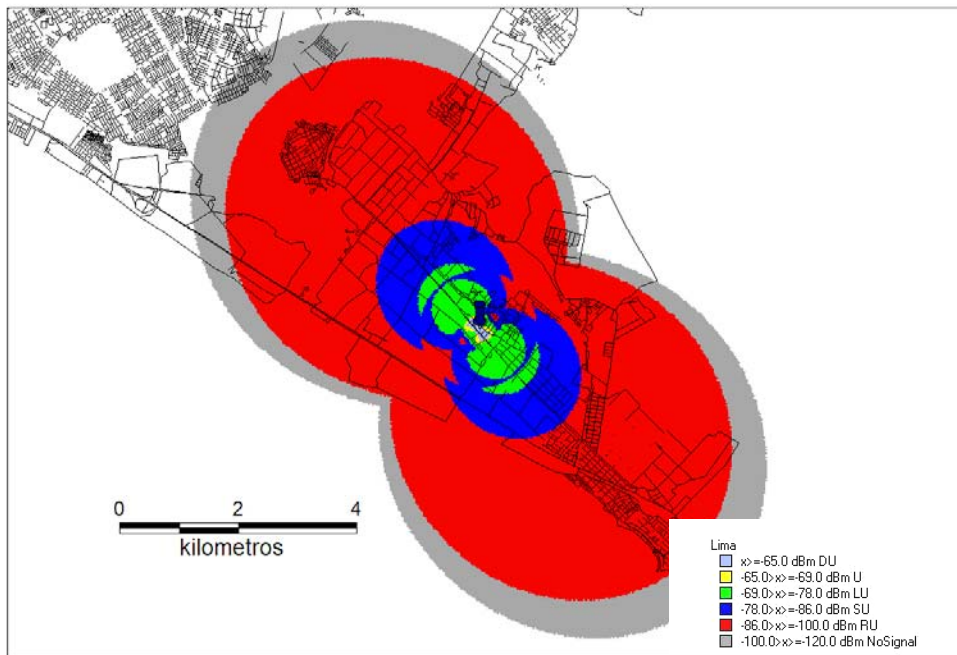
*Mapa del relieve*

## ANEXO B

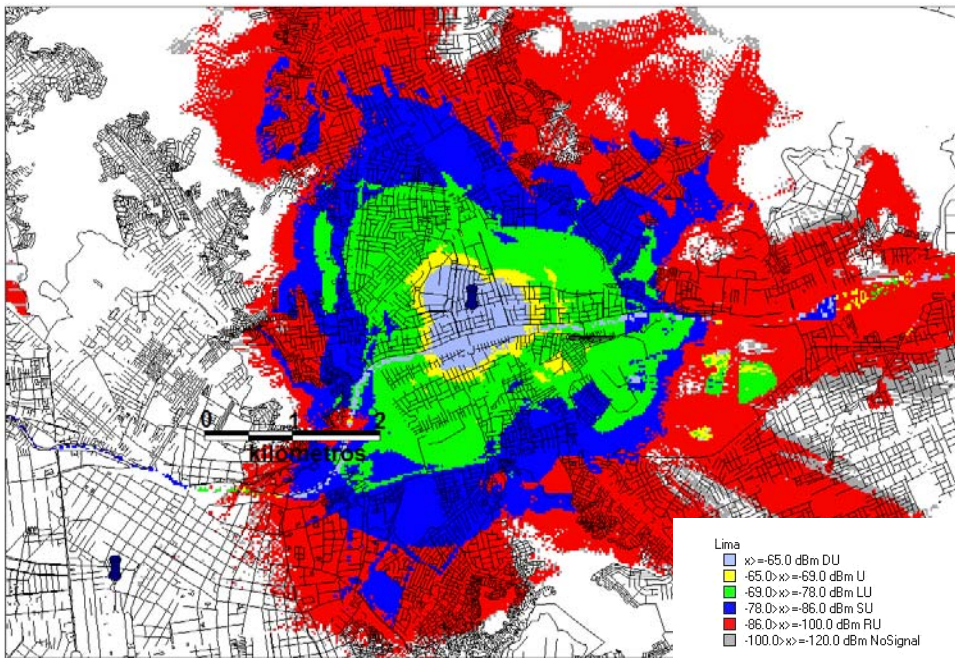
### PLOTS DE COBERTURA CON EL MODELO LIMA 1900 PARA LOS DIFERENTES TIPO DE CLUTTER



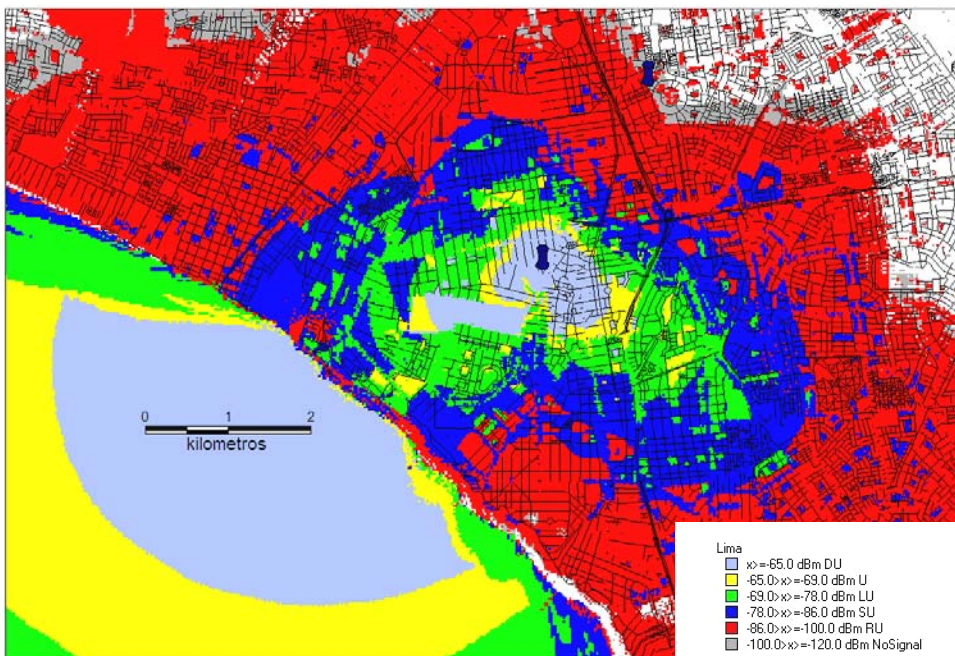
*Denso Urbano: Centro de Lima*



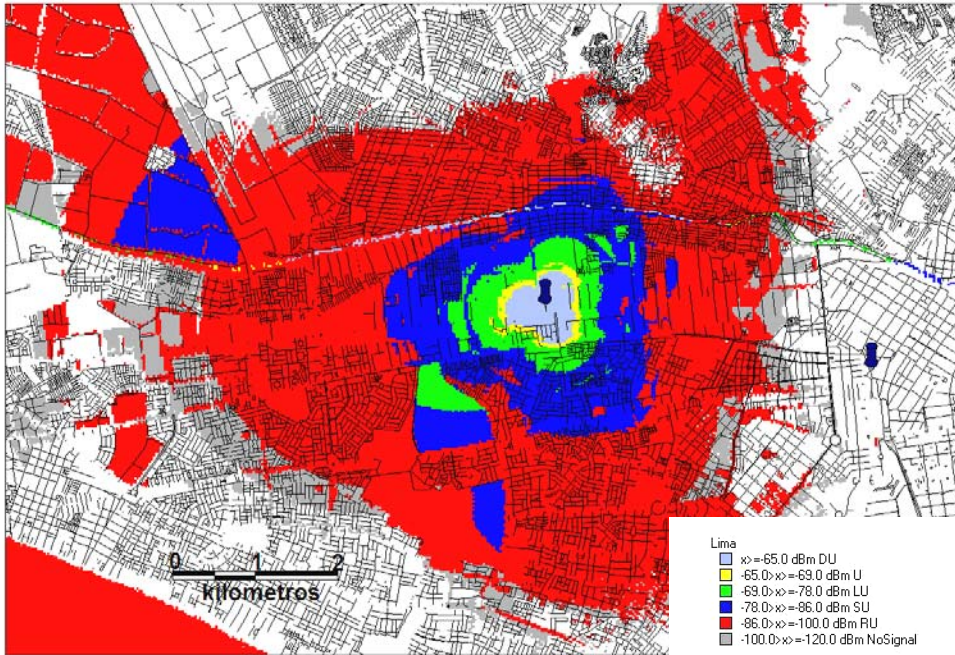
*Área Abierta: Lurín*



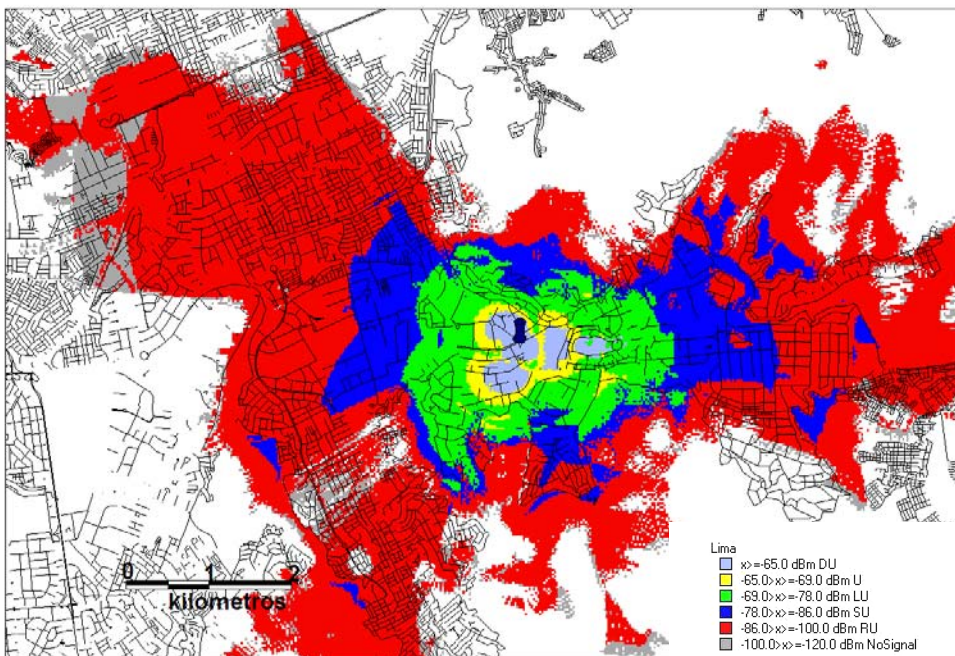
*Bajo Urbano: Zárate*



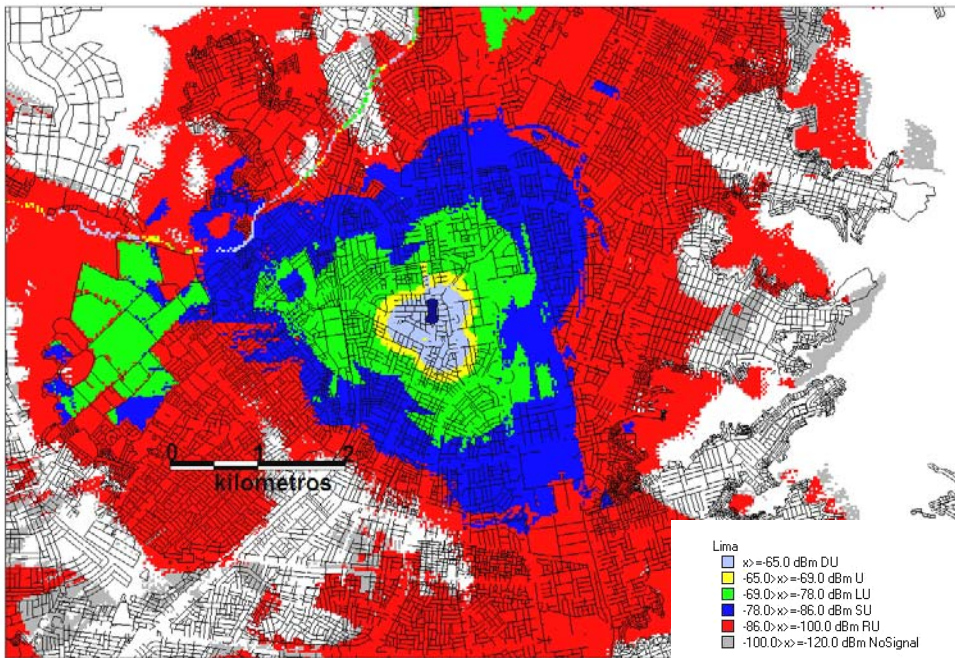
*Denso Urbano: San Isidro*



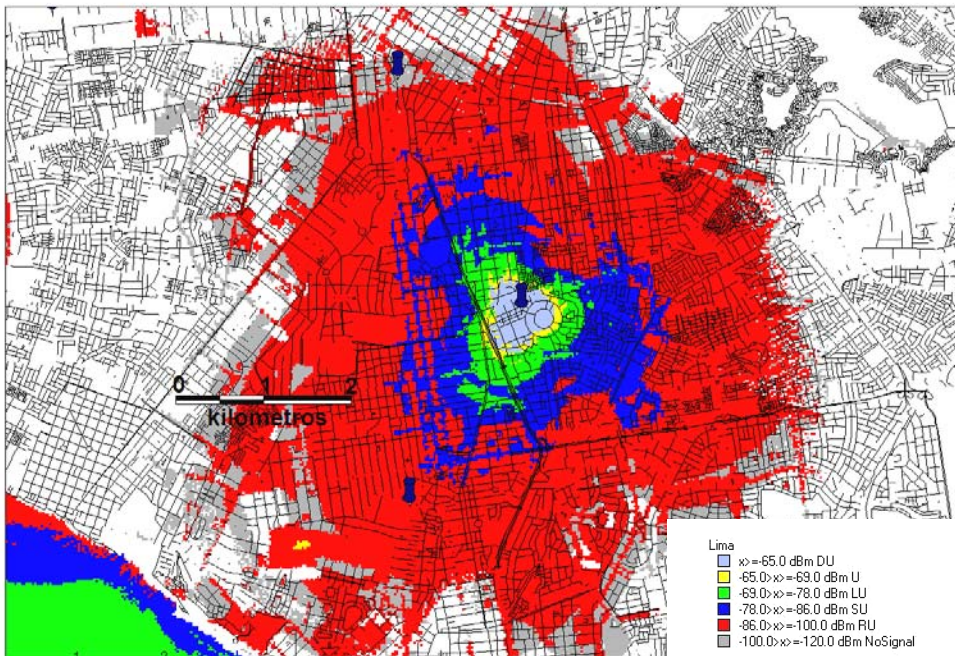
*Industrial*



*Suburbano: La Molina*



*Suburbano: Pro*



*Medio Urbano: México*