UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA DE TELECOMUNICACIONES

MODELADO EN BASE A OBSERVACIONES DE LA CONDICIÓN DE LÍNEA DE VISTA EN CANALES DE RADIO CELULAR URBANOS.

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

Presentado ante la

UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO

Como parte de los requisitos para optar al título de

INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES.

REALIZADO POR: *Br. Negrín B, Eduardo A.*

TUTOR: *Prof. Badra, Renny E.*

FECHA: *13 de Marzo de 2012.*

UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA DE TELECOMUNICACIONES

MODELADO EN BASE A OBSERVACIONES DE LA CONDICIÓN DE LÍNEA DE VISTA EN CANALES DE RADIO CELULAR URBANOS.

Este jurado; una vez realizado el examen del presente trabajo ha evaluado su contenido con el resultado: 20 PUNTOS.

J U R A D O E X A M I N A D O R

Nombre: Renny Badra. **Nombre:** Luis Fernández. **Nombre:** Jesús Lugo.

REALIZADO POR: *Br. Negrín B, Eduardo A.*

TUTOR: *Prof. Badra, Renny E.*

FECHA: ***13 de Marzo*** *de 2012.*

Resumen

Este trabajo de grado surge de la necesidad de enriquecer la base de conocimientos existente en relación al modelado de la condición de línea de vista en canales de radio celular con cobertura de macroceldas en zonas urbanas. Para ello se realizó una campaña con un número considerable de mediciones en seis (6) zonas urbanas de la ciudad de Caracas, donde se tomaron en cuenta ciertas condiciones que afectan la línea de vista y para este tipo de modelaje. La recolección de datos otorgó de forma exhaustiva información de visibilidad de antenas celulares de sistemas comerciales existentes en función de la distancia, la altura de la celda y la altura de edificaciones cercanas. Dentro de las zonas urbanas a objeto de estudio, se consideraron las de un tipo de edificación (altas, bajas, casas, quintas) en un tipo de área (plana, montañosa) abarcando de manera amplia a la ciudad de Caracas. El trabajo de campo se realizó con ayuda de equipos y programas especialmente diseñados para ello, los cuales constituyen un esfuerzo de importantes proporciones. A través del uso del receptor Sistema Global de Posicionamiento (GPS), se almacenaron las mediciones a nivel de calle alrededor de la estación base considerada, así como características del trazado de las calles para el establecimiento de un buen recorrido, con la finalidad de evaluar los datos para la estimación de la probabilidad de línea de vista (PLOS). La etapa de procesamiento de los datos recolectados en la Campaña de Mediciones da inicio a la postulación de modelos matemáticos (Lineal, Gaussiano y Exponencial) para determinar el modelo general que más se ajuste a los resultados obtenidos. Haciendo uso de la herramienta CF Tools del “software” Matlab se analizaron los resultados mediante el ajuste de curvas a la data recolectada, resultando de mejor ajuste el Modelo Lineal. Una vez determinado el modelo general se analizó el parámetro distancia de corte involucrado con su expresión matemática para probar la posible dependencia en función de la altura de la antena celular en todas las zonas a consideración. Finalmente se realizaron las conclusiones y recomendaciones pertinentes a los resultados obtenidos en base al modelado general y posibles hipótesis estudiadas que permitan ser el punto de partida para futuras simulaciones de sistemas de comunicaciones celulares.

Agradecimientos

A DIOS, el ser más grande que me otorgó la salud y las fuerzas necesarias para continuar con mucha dedicación cada una de las metas que me he trazado hasta llegar a conseguirlas. En ti confío y en ti siempre confiaré.

A mi tutor, Prof. Renny Badra, por sus correcciones, sugerencias, paciencia e infinita enseñanza. Ha sido un honor para mí poder haber culminado este Trabajo Especial de Grado bajo su excelente tutoría. Es un gran ejemplo a seguir, espero llegar a tener la sabiduría y experiencia que lo cataloga con un alto grado de calidad, excelencia y reconocimiento. ¡Muchisimas Gracias!.

A mis Padres, Osmalia Bueno y Carlos Negrín, quienes me enseñaron el valor del estudio, a valorar lo que tengo, a lograr cada una de mis metas a pesar de las dificultades. Gracias a su cariño, apoyo, dedicación, esfuerzo, palabras de aliento, tolerancia, incondicional compañía y amor. Orgulloso de ser quién soy gracias a ustedes, gracias por darme la vida y por enseñarme a ser cada día mejor persona, ¡los amo!.

A mi hermano, Carlos E. Negrín, quien a pesar de las adversidades me apoyó en la distancia justo en el momento en el que más lo necesitaba. Por siempre estarás presente, ¡te quiero!. Confío en que algún día el silencio deje de estar.

A mi estimada Yossi Vallera, quién contribuyó a la finalización de un semestre bien complicado gracias a la confianza que me brindó al prestarme su computador portátil. En mí podrás encontrar un incondicional amigo.

A mis amistades, especialmente a Jorge Ortíz, Gusmary Sáez, Maidelin Rivas, quienes contribuyeron con su compañía y apoyo en el desarrollo de la Campaña de Mediciones. ¡Gracias por estar, los quiero!.

Y a todas aquellas personas que de una u otra forma, colaboraron, participaron y estuvieron pendientes en la realización de esta investigación, hago extensivo mi más sincero agradecimiento.

Dedicatoria

A mi madre, Osmalia M. Bueno, quien permanentemente me apoyó con su espíritu alentador, ejemplo de superación, ejemplo de mujer luchadora, emprendedora, dedicada enteramente en mi formación tanto profesional como personal. Tus sacrificios, tu compañía en todo momento, tu mano amiga siempre dispuesta a ayudarme a levantar justo en los momentos en que lo necesitaba, tus ganas de hacer de mi cada día una mejor persona… por todos esos largos años de incansable trabajo buscando siempre brindarme lo mejor, la mejor educación, la mejor formación. Tu amor, calor de madre, comprensión y confianza serán por siempre mi mayor felicidad.

A mi padre, P. Carlos Negrín, quién siempre ha aportado ese granito de arena que nunca está de más, granito de arena que siempre me ayudó a seguir adelante y vencer cada uno de los obstáculos presentados durante mi carrera, en todos mis caminos, durante toda mi vida. Por toda la paciencia y apoyo brindado, por siempre estar pendiente de mí como el gran padre que eres y serás por siempre.

A un paso de alcanzar la gran meta de ser Ingeniero en Telecomunicaciones, quiero dedicarles este gran logro. Son el mejor regalo que Dios ha podido darme, por siempre mi triunfo será de ustedes y para ustedes, ¡Los Amo!.

Eduardo.

Índice General

Resumen III
Agradecimientos IV
Dedicatoria V
Índice General VII
Índice de Figuras XI
índice de Tablas XV
Introducción 16
Capítulo I 18
Planteamiento del Proyecto. 18
I.1. Planteamiento del Problema. 18
I.2. Objetivos. 20
I.2.1. Objetivo General. 20
I.2.2. Objetivos Específicos. 20
I.3. Limitaciones y Alcances. 21
I.4. Justificación. 22
Capítulo II 24
Marco Teórico 24
II.1. Sistemas de Comunicaciones. Generalidades. 24
II.1.1. Estructura por capas. 24
II.1.2. Sistemas Celulares. 30
II.1.3. Las simulaciones en el desarrollo de sistemas de comunicación. 32
II.2. Técnicas de Montecarlo. 35
II.2.1. Ley fuerte de los grandes números. 35
II.3. Modelos del Canal de Radio Celular. 36
II.4. Antecedentes. 41

II.4.1. Modelaje LOS/NLOS. 41
II.4.2. Condiciones que afectan la existencia de LOS. 43
II.5. Estimación de la distancia a partir de coordenadas geográficas. 44
II.6. Medida de Bondad de ajuste R^2 46
Capítulo III 47
Metodología 47
III.1. FASE I: Documentación. 47
III.2. FASE II: Recolección de datos. 47
III.3. FASE III: Modelaje y Evaluación. 48
III.4. FASE IV: Escritura del libro a entregar. 48
Capítulo IV 49
Desarrollo 49
IV.1. FASE I: Documentación. 49
IV.2. FASE II: Recolección de datos. 50
IV.3. FASE III: Modelaje y Evaluación. 54
IV.3.1. Software(s) utilizados para el análisis de datos. 54
IV.3.2. Procedimiento para el procesamiento de los datos. 56
IV.3.3. Ajuste de modelos. 57
Capítulo V 58
Resultados 58
V.1. Modelos Postulados. 58
V.1.1. Modelo Lineal. 58
V.1.2. Modelo Gaussiano. 59
V.1.3. Modelo Exponencial. 60
V.2. Resultados obtenidos para la Zona 1: Altamira-La Castellana. 60
V.2.1. Edificio Castevilla. 61

V.2.2. Centro Deportivo Eugenio Mendoza. 62
V.2.3. Clínica El Ávila. 62
V.2.4. Don Bosco 63
V.2.5. Farmahorro. 63
V.2.6. Tony Romas. 64
V.3. Resultados obtenidos para la Zona 2: Av. Victoria. 65
V.3.1. Edificio Paterdam (Antena 1). 65
V.3.2. Edificio Paterdam (Antena 2). 66
V.3.3. Edificio Danino. 66
V.3.4. Edificio Rea. 67
V.3.5. C.C. Multiplaza Victoria (Antena 1). 68
V.3.6. C.C. Multiplaza Victoria (Antena 2). 69
V.4. Resultados obtenidos para la Zona 3: Centro de Caracas. 70
V.4.1. Centro Profesional Urdaneta. 70
V.4.2. Edificio Bancario. 71
V.4.3. Edificio Insbanca. 71
V.4.4. Edificio Lecuna. 72
V.4.5. Edificio Parza. 72
V.4.6. Edificio Sudameris. 73
V.5. Resultados obtenidos para la Zona 4: Colinas de Bello Monte. 74
V.5.1. Edificio Cantv Colinas de Bello Monte. 74
V.5.2. Edificio Flavia (Antena 1). 75
V.5.3. Edificio Flavia (Antena 2). 75
V.5.4. Edificio Yoraco (Antena 1). 76

V.5.5. Edificio Yoraco (Antena 2). 76
V.5.6. Metromed…….. 77
V.6. Resultados obtenidos para la Zona 5: Montalbán. 78
V.6.1. Ant6. 78
V.6.2. Res. Gersil I (Ant 1). 79
V.6.3. Res. Gersil I (Ant 2). 79
V.6.4. Res. O´Higgins……..80
V.6.5. Edificio Taxco…… ..80
V.6.6.Torre Cantv Montalbán. 81
V.7. Resultados obtenidos para la Zona 6: Santa Mónica Los Chaguaramos. 82
V.7.1. Torre Cantv Santa Mónica. 82
V.7.2. Edificio Milano. 83
V.7.3. Edificio Monte Rosa. 83
V.7.4. Edificio Río Caribe. 84
V.7.5. Edificio Vegliante. 84
V.7.6. Edificio Zory. 85
V.8. Procedimiento para la determinación del Modelo General. 86
Capítulo VI 91
Conclusiones y Recomendaciones 91
Bibliografía 94
ANEXOS 96
A.) Registro del altura y coordenadas geográficas correspondiente a la antena celular Farmahorro……97
B.) Registro de mediciones tomadas en la antena celular Farmahorro. 98

Índice de Figuras

Figura 2.1. Ejemplo de estructura por capas (Modelo OSI). 26
Figura 2.2. Espectro de frecuencias. 27
Figura 2.3. Antenas celulares en Torres de telecomunicaciones. 28
Figura 2.4. Tipos de ondas en radiocomunicaciones 29
Figura 2.5. Áreas de cobertura de una estación base 31
Figura 2.6. Jerarquía de Celdas (Elaboración propia). 32
Figura 2.7. Elementos básicos de un sistema de comunicaciones 33
Figura 2.8. Representación Línea de Vista Visual 38
Figura 2.9. Trazado de calles 44
Figura 2.10. Distancia Geográfica 45

Figura 4.1. Sistema de Posicionamiento Global GPS. Garmin nuvi (1390LMT) (Fotografía tomada al Receptor GPS). 50
Figura 4.2. Altura de la antena celular a partir de una edificación cercana sobre una pendiente alta. 52
Figura 4.3. Estrategia de recorrido de las zonas 53
Figura 4.4. Ilustración del procedimiento para el procesamiento de los datos 56

Figura 5.1. Representación gráfica del modelo lineal. 59
Figura 5.2. Ajuste de los modelos postulados a los datos recolectados de la antena celular (Edificio Castevilla). 61
Figura 5.3. Ajuste de los modelos postulados a los datos recolectados de la antena celular (Centro Deportivo Eugenio Mendoza). 62
Figura 5.4. Ajuste de los modelos postulados a los datos recolectados de la antena celular (Clínica El Ávila). 62

Figura 5.5. Ajuste de los modelos postulados a los datos recolectados de la antena celular (Don Bosco)..... 63
Figura 5.6. Ajuste de los modelos postulados a los datos recolectados de la antena celular (Farmahorro)..... 63
Figura 5.7. Ajuste de los modelos postulados a los datos recolectados de la antena celular (Tony Romas)..... 64
Figura 5.8. Ajuste de los modelos postulados a los datos recolectados de la antena celular 1 del Edificio Paterdam. 65
Figura 5.9. Ajuste de los modelos postulados a los datos recolectados de la antena celular 2 del Edificio Paterdam. 66
Figura 5.10. Ajuste de los modelos postulados a los datos recolectados de la antena celular (Edificio Danino)..... 66
Figura 5.11. Ajuste de los modelos postulados a los datos recolectados de la antena celular (Edficio Rea). 67
Figura 5.12. Ajuste de los modelos postulados a los datos recolectados de la antena celular 1 del C.C. Multiplaza Victoria..... 68
Figura 5.13. Ajuste de los modelos postulados a los datos recolectados de la antena celular 2 del C.C. Multiplaza Victoria..... 69
Figura 5.14. Ajuste de los modelos postulados a los datos recolectados de la antena celular (Centro Profesional Urdaneta)..... 70
Figura 5.15. Ajuste de los modelos postulados a los datos recolectados de la antena celular (Edificio Bancario). 71
Figura 5.16. Ajuste de los modelos postulados a los datos recolectados de la antena celular (Edificio Insbanca). 71
Figura 5.17. Ajuste de los modelos postulados a los datos recolectados de la antena celular (Edificio Lecuna)..... 72
Figura 5.18. Ajuste de los modelos postulados a los datos recolectados de la antena celular (Edificio Parza)..... 72

Figura 5.19. Ajuste de los modelos postulados a los datos recolectados de la antena celular (Edificio Sudameris). 73
Figura 5.20. Ajuste de los modelos postulados a los datos recolectados de la antena celular (Edificio Cantv Colinas de Bello Monte). 74
Figura 5.21. Ajuste de los modelos postulados a los datos recolectados de la antena celular 1 del Edificio Flavia. 75
Figura 5.22. Ajuste de los modelos postulados a los datos recolectados de la antena celular 2 del Edificio Flavia. 75
Figura 5.23. Ajuste de los modelos postulados a los datos recolectados de la antena celular 1 del Edificio Yoraco. 76
Figura 5.24. Ajuste de los modelos postulados a los datos recolectados de la antena celular 2 del Edificio Yoraco. 76
Figura 5.25. Ajuste de los modelos postulados a los datos recolectados de la antena celular (Edificio Metromed). 77
Figura 5. 26. Ajuste de los modelos postulados a los datos recolectados de la antena celular (Ant6). 78
Figura 5.27. Ajuste de los modelos postulados a los datos recolectados de la antena celular 1 del Edificio Gersil I. 79
Figura 5.28. Ajuste de los modelos postulados a los datos recolectados de la antena celular 2 del Edificio Gersil I. 79
Figura 5.29. Ajuste de los modelos postulados a los datos recolectados de la antena celular del Edificio O´Higgins. 80
Figura 5.30. Ajuste de los modelos postulados a los datos recolectados de la antena celular Edificio Taxco. 80
Figura 5.31. Ajuste de los modelos postulados a los datos recolectados de la antena celular (Cantv Montalbán). 81
Figura 5.32. Ajuste de los modelos postulados a los datos recolectados de la antena celular (Cantv Santa Mónica). 82

Figura 5.33. Ajuste de los modelos postulados a los datos recolectados de la antena celular (Edificio Milano). 83
Figura 5.34. Ajuste de los modelos postulados a los datos recolectados de la antena celular (Edificio Monte Rosa). 83
Figura 5.35. Ajuste de los modelos postulados a los datos recolectados de la antena celular (Edificio Río Caribe). 84
Figura 5.36. Ajuste de los modelos postulados a los datos recolectados de la antena celular (Edificio Vegliante). 84
Figura 5.37. Ajuste de los modelos postulados a los datos recolectados de la antena celular (Edificio Zory). 85

Índice de Tablas

Tabla 2.1. Algunos de los modelos matemáticos más comúnmente usados para el canal de radio celular urbano en los casos LOS y NLOS. 39

Tabla 4.1. Zonas Urbanas de la ciudad de Caracas. 51

Tabla 5.1. Resumen de valores obtenidos de R^2 y parámetros para los modelos postulados para la Zona 1. 64
Tabla 5.2. Resumen de valores obtenidos de R^2 y parámetros para los modelos postulados para la Zona 2. 69
Tabla 5.3. Resumen de valores obtenidos de R^2 y parámetros para los modelos postulados para la Zona 3. 73
Tabla 5.4. Resumen de valores obtenidos de R^2 y parámetros para los modelos postulados para la Zona 4. 77
Tabla 5.5. Resumen de valores obtenidos de R^2 y parámetros para los modelos postulados para la Zona 5. 81
Tabla 5.6. Resumen de valores obtenidos de R^2 y parámetros para los modelos postulados para la Zona 6. 85
Tabla 5.7. Valores de R^2 promedio por cada uno de los modelos postulados. 88
Tabla 5.8. Valores promedio de la distancia de corte para cada una de las zonas. 89

Introducción

Es primordial que en el destino de un sistema de comunicaciones se recupere el mensaje transmitido, de ahí se pueden analizar factores de rendimiento, relación señal a ruido, calidad de servicio, probabilidad de error, entre otros [12]. Las simulaciones numéricas son herramientas fundamentales para el análisis, desarrollo y optimización de sistemas celulares debido a que permiten predecir el funcionamiento del sistema a un costo bajo y en un ambiente controlado. La simulación que se efectúa en el sistema de comunicación inalámbrico hace énfasis en la capa física, capa correspondiente a una arquitectura de red que contiene las especificaciones eléctricas, mecánicas y de procedimiento en la transmisión entre sistemas finales [5]. Es por ello que es esencial contar con modelos numéricos del canal de radio celular que sean a la vez eficientes y fieles a la realidad.

Este trabajo especial de grado está estructurado en 6 capítulos: (Planteamiento del Proyecto, Marco Teórico, Metodología, Desarrollo, Resultados y Conclusiones/Recomendaciones). La Metodología está compuesta por cuatro (4) fases (Documentación, Recolección de Datos, Modelaje y Evaluación que conllevan a la escritura del libro a entregar), lo cual constituyen la base fundamental para el alcance del objetivo general planteado.

Uno de los aspectos claves a considerar en el modelado del canal de radio en sistemas móviles celulares es la existencia o no de la línea de vista (LOS, del inglés “Line Of Sight”), debido a su relevancia en cuanto al tipo de modelos de propagación que aplican en cada caso. El presente trabajo atiende la necesidad de proponer un modelo que permita realizar la predicción de la existencia de línea de vista en sistemas celulares urbanos [14]. El diseño se origina a partir de modelos ya existentes basándose en una campaña de

observaciones mediante la utilización de un receptor GPS (Sistema de Posicionamiento Global) en diferentes zonas de la ciudad de Caracas.

La propuesta de un modelo matemático para el modelado de la condición de línea de vista del canal de radio celular se realizó partiendo de mediciones recolectadas a nivel de calle en macroceldas de ambientes urbanos, posteriormente se procede con el procesamiento de la información recolectada para luego aplicar las técnicas de análisis de datos y ajuste de modelos a los datos recolectados con la finalidad de estudiar posibles dependencias respecto a condiciones que afectan la predicción de la línea de vista (altura de la celda, altura de edificaciones cercanas a la celda, trazado de las calles, tipo de área, etc.).

Por otra parte, es importante determinar la factibilidad en cuanto a la postulación de uno o varios modelos matemáticos, así como también cuantificar el error de los modelos postulados sobre los datos recolectados para identificar si el modelo planteado aplica tanto para un número reducido de observaciones como para un número significativo, es decir si corresponde a un modelo global o a un caso particular de la condición.

La existencia de técnicas experimentales para el estudio de procesos aleatorios forma parte esencial en la generación del desarrollo de un modelo experimental. Las técnicas experimentales a usar en este trabajo de grado son conocidas como técnicas de Montecarlo que unidas a las herramientas otorgadas por los diferentes “software(s)” utilizados constituyen un gran aporte para el alcance de los objetivos del presente Trabajo Especial de Grado.

Capítulo I
Planteamiento del Proyecto.

El presente Capítulo abarca el planteamiento del problema, el objetivo general sobre el cual se despliegan los objetivos específicos, las limitantes que presenta el proyecto haciendo referencia a los alcances y las justificaciones que indican las razones por las cuales se realiza el trabajo así como también las motivaciones que llevaron a su realización.

I.1. Planteamiento del Problema.

Se plantea la necesidad de proponer un modelo que permita predecir la condición de línea de vista en sistemas celulares urbanos. Este esfuerzo se diseña a partir de una campaña de mediciones mediante la utilización de un receptor GPS (Global Positioning System) en diferentes zonas de la ciudad de Caracas, con la finalidad de recolectar los datos a nivel de calle enfocados principalmente en la presencia de línea de vista con respecto a un conjunto de celdas (transmisores comerciales de redes de comunicación celular), para posteriormente analizar los datos y postular el modelo matemático, el cual se aspira a que incorpore la variable altura dentro del modelo, y posiblemente otras.

Las simulaciones numéricas conforman una herramienta fundamental para el análisis, desarrollo y optimización de sistemas celulares. Además, permiten predecir el funcionamiento del sistema a un bajo costo y en un ambiente controlado. Por otra parte, son utilizadas intensivamente tanto por los fabricantes de dispositivos usados en este tipo de sistemas como por las compañías operadoras, así como por investigadores y desarrolladores en general. Particularmente importantes son las simulaciones a nivel de enlace, que están enfocadas en el estudio del comportamiento del radioenlace. Este tipo de simulaciones

involucran un modelado de todos los elementos que conforman la capa física del enlace. De éstos, el único elemento que cae fuera del estricto control humano es el canal de radio celular, cuya complejidad y naturaleza fuertemente aleatoria hacen que su modelado constituya un importante reto en la investigación.

Debido a su complejidad y variabilidad, el modelado de canales de radio celular se ha basado tradicionalmente en la realización de campañas exhaustivas de mediciones, seguidas de una fase de análisis de datos, para conducir finalmente al ajuste de los modelos. Las mediciones de campo son realizadas con ayuda de equipos y programas especialmente diseñados para ello, y constituyen un esfuerzo de importantes proporciones. El modelo de pérdidas por propagación postulado por Okumura [1] es considerado como el pionero de este tipo de desarrollos.

Los esfuerzos por proponer y mejorar los modelos matemáticos del canal de radio celular se han intensificado en los últimos quince años [2]. Como corolario de esta vasta multiplicidad de esfuerzos, algunos organismos internacionales como la International Telecommunication Union (ITU) y la European Telecommunications Standards Institution (ETSI) han propuesto modelos estándar que recogen los más importantes consensos existentes en cuanto a modelos de los fenómenos de propagación que caracterizan los canales de radio celular. En estos estándares se integran un conjunto de modelos matemáticos determinísticos y estadísticos de distinta índole. El conjunto de modelos a aplicar, así como sus parámetros, típicamente se eligen en función de la distancia de propagación, la frecuencia, el tipo de ambiente (macrocelda, microcelda, urbano, suburbano, rural), así como de la localización del usuario móvil (ambientes exteriores o dentro de edificios) y de la existencia o no de línea de vista entre la ubicación del dispositivo portátil y la antena celular.

I.2. Objetivos.

Los Objetivos comprenden el objetivo general del proyecto y los objetivos específicos a cumplir para su realización.

I.2.1. Objetivo General.

Proponer un modelo matemático para el modelado de la condición de línea de vista del canal de radio celular a partir de mediciones en celdas de ambientes urbanos de la ciudad de Caracas.

I.2.2. Objetivos Específicos.

1. Diseñar los detalles de la Campaña de Mediciones.
2. Realizar la Campaña de Mediciones y procesar la información recolectada.
3. Aplicar técnicas de análisis de datos y ajuste de modelos a los datos recolectados, estudiando posibles dependencias respecto a la altura de las antenas y de las edificaciones existentes en la zona.
4. Determinar la factibilidad en cuanto a la postulación de uno o varios modelos matemáticos para la condición de línea de vista.
5. Cuantificar el error de los modelos postulados sobre la data recolectada.
6. Proponer un conjunto de recomendaciones acerca de la aplicabilidad del modelo y sobre futuros trabajos sobre el tema.

I.3. Limitaciones y Alcances.

Los objetivos se alcanzaron mediante el correcto seguimiento de la metodología y cumplimiento puntual del cronograma planteado. El proyecto incluye la utilización del software matlab para la simulación de resultados.

Se implementó la campaña de mediciones con observaciones reales debido a que en los modelos existentes acerca del estudio de LOS (Línea de Vista) no estaban incluidas. Esto es una ventaja, ya que otros esfuerzos de modelado se basan en técnicas de trazamiento de rayos, las cuales no consideran con precisión todas las características físicas de la zona.

En las observaciones no se considera el despeje de la primera zona de fresnel. Se considera únicamente la existencia o no existencia de Línea de Vista. Esto es a la vez una limitación y un alcance. Es una limitación pues el despeje de la línea de vista no necesariamente implica despeje de la primera zona de fresnel. Pero es una ventaja ya que de esta forma los resultados encontrados son independientes de la banda de frecuencia de operación del sistema, la cual afecta las dimensiones de las zonas de fresnel.

Se estudia la dependencia de la variable altura de la antena como parte del modelo de la PLOS (Probabilidad de Línea de Vista) para las ubicaciones a nivel de calle en macroceldas urbanas, lo cual es un aporte importante de este esfuerzo. La PLOS se define como el valor numérico entre cero (0) y uno (1) y representa la línea de vista dada entre una estación móvil y la antena celular, un valor más cercano a uno (1) refleja una mayor visión respecto a la antena, y por ende, menos obstrucciones entre ambos.

I.4. Justificación.

Este trabajo se enfoca en el estudio de la condición LOS (Línea de Vista) para canales de radio en macroceldas urbanas mediante la realización de una campaña de mediciones de campo. Su motivación inicia con las siguientes consideraciones:

- Existe una escasa justificación experimental para los modelos LOS existentes, y hasta donde se conoce, no se han reportado campañas de mediciones con el fin de estudiar dicha condición.

- Los modelos para propagación en celdas urbanas a nivel de calle no incorporan la influencia de la altura de la antena de la estación base, con excepción de [3], el cual fue obtenido con una muestra experimental relativamente pequeña y recomienda una investigación adicional para confirmar y aclarar los resultados obtenidos.

- A medida en que las bandas utilizadas por los sistemas celulares operan a frecuencias cada vez más altas, el tamaño de las celdas se hace cada vez menor, elevando la probabilidad de línea de vista. Es por ello que la disponibilidad de modelos para la condición LOS/NLOS en macroceldas cobra mayor importancia.

- En los sistemas celulares en la banda de 1900 MHz, donde operan la mayoría de las redes 3G, las macroceldas poseen radios pequeños (del orden de 1000 metros), y por ende la presencia de ubicaciones LOS es relativamente mucho más frecuente que en la banda de 850 MHz [4].

- En los sistemas móviles WiMAX 802.16-e que operan por encima de la banda de UHF (300Mhz a 3Ghz) la presencia de LOS tiene una importancia mucho mayor debido a las dificultades de la propagación en situaciones NLOS [4].

- La predicción del desempeño de las técnicas de localización de móviles celulares basados en señales terrestres se basan fuertemente en la predicción de la condición de LOS/NLOS debido a que ésta influye decisivamente en el desempeño de estos sistemas [4].

- Los trabajos previos del modelaje no representan la realidad de forma exacta al ignorar posibles condiciones que afectan la existencia de LOS, de las cuales se pueden mencionar: tipo de área, altura de edificaciones cercanas, trazado de las calles, entre otras.

Capítulo II
Marco Teórico

En el siguiente capítulo se desarrolla de lo general a lo específico los puntos teóricos que son la base fundamental del proyecto. Se inicia con el estudio de los sistemas de comunicaciones haciendo énfasis en la capa más inferior (capa física), la continuación se lleva a cabo con el estudio de las herramientas a utilizar para el modelado de un sistema de comunicaciones, se desarrollan los antecedentes de modelos del canal de radio celular para finalizar con el estudio del modelaje de la condición de Línea de Vista.

II.1. Sistemas de Comunicaciones. Generalidades.

La comunicación es la transferencia de información con sentido desde un lugar a otro. Dicha información se corresponde con un patrón físico al cual se le ha asignado un significado comúnmente acordado, patrón que debe ser único (separado y distinto) que es enviado por un transmisor para luego ser detectado e interpretado por un receptor. Pero, sea cual fuese el mensaje, el objeto de un sistema de comunicación es proporcionar una réplica aceptable de él en su destino. El conjunto de componentes o subsistemas que permiten la transferencia de información conforman un sistema de comunicaciones.

II.1.1. Estructura por capas.

La implementación de una estructura por capas, donde cada una realice una función específica, es una arquitectura viable en los sistemas de comunicaciones. Cada nivel es un módulo independiente que provee un servicio para el nivel superior dentro de la

arquitectura o modelo. Debido a la conformación de un conjunto de protocolos y capas se permite la comunicación entre dispositivos formando una arquitectura de red.

El modelaje de un sistema de comunicación mediante una estructura por capas establece una menor complejidad en la transmisión debido a que cada capa o nivel realizará una función específica. En la parte más inferior de la estructura por capas encontramos la capa física, indispensable en cualquier transmisión.

La capa física define las especificaciones eléctricas, mecánicas de procedimiento y funcionales, para activar y mantener el enlace físico entre sistemas finales (Ver fig.2.1). La transmisión consta del procesamiento banda base, canalización, expansión y modulación, y en la recepción, la demodulación, demultiplexación de canales de código y procesamiento banda base.

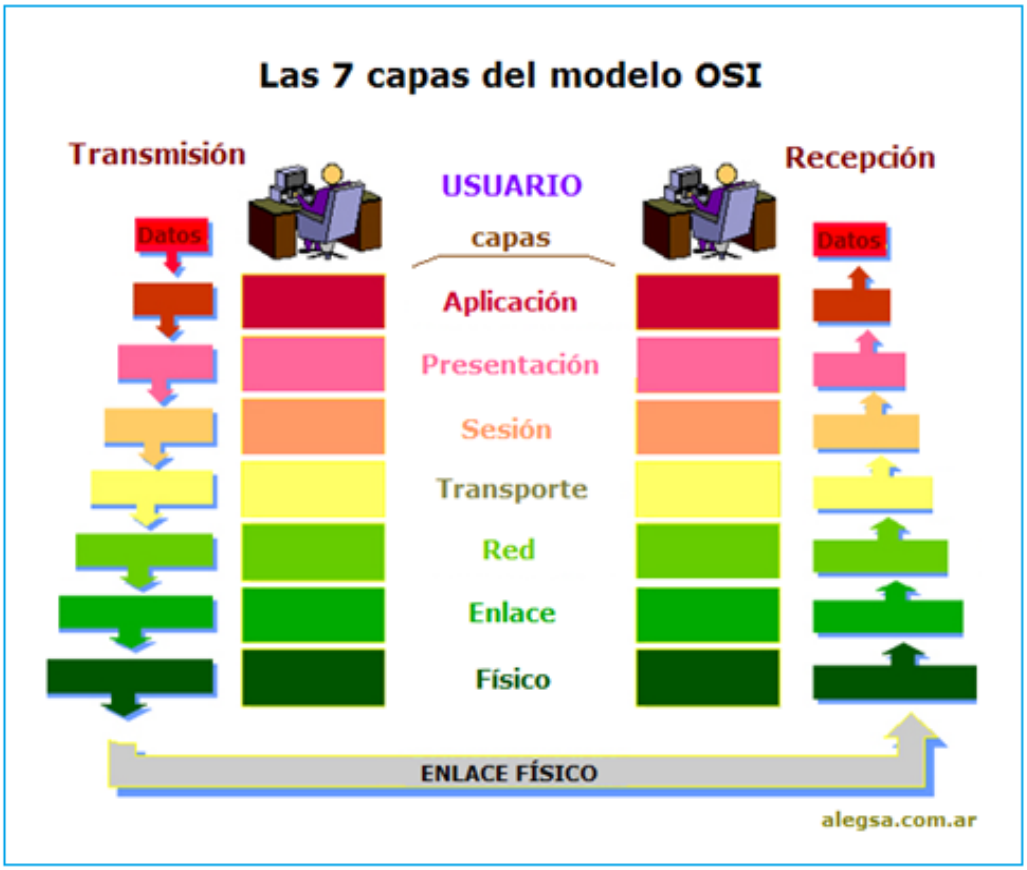


Figura 2.1. Ejemplo de estructura por capas (Modelo OSI) [5].

Por otra parte, la transmisión involucra dos tipos de medios [6]: **medios guiados** y **medios no guiados**. La diferencia entre ambos radica en que los medios guiados se basan en la propagación de campos electromagnéticos limitados en el espacio debido a la presencia de elementos conductores (alambre, guía de onda, fibra óptica, par trenzado, coaxial), mientras que en los medios no guiados los campos electromagnéticos no son limitados por elementos conductores (ondas de radio, luz infrarroja).

El medio de transmisión o canal objeto de estudio se caracteriza por ser un **medio no guiado** ya que utiliza transmisiones inalámbricas. En las transmisiones inalámbricas se radia energía electromagnética por medio de una antena y luego se recibe esta energía con

otra antena. Las radiocomunicaciones, se caracterizan por utilizar rangos de frecuencia de trabajo diferentes (Ver fig.2.2). Cada uno tiene su propia facilidad de instalación y mantenimiento, ancho de banda, retardo y costos variables.

Figura 2.2. Espectro de frecuencias [7].

Hay dos tipos de antenas para la emisión y recepción de energía de radio en sistemas celulares: direccional y omnidireccional. En la direccional, toda la energía se concentra en un haz que es emitido en una cierta dirección, por lo que tanto el emisor como el receptor deben estar alineados. En la omnidireccional, la energía es dispersada en múltiples direcciones, por lo que varias antenas pueden captarla.

El tipo de antena a considerar corresponde a las antenas celulares tipo panel, caracterizadas por ser antenas sectorizadas con un ángulo de emisión de la energía de 90º o 120º. Este tipo de antenas es una de las más usadas por los operadores de telefonía celular gracias a su característica sectorizada correspondiente a proveer cobertura en un sector determinado. La ubicación de este tipo de antenas depende del tipo de zona a considerar. Para zonas urbanas con tipo de edificación (casas-quintas) la colocación de las antenas celulares generalmente es en torres (Ver fig.2.3), mientras que para zonas urbanas con tipo de edificación (edificios de tamaño variable) generalmente la colocación de las antenas celulares se hace en su parte más alta (terraza/azotea).

Figura 2.3. Antenas celulares en Torres de telecomunicaciones [8].

Para enlaces punto a punto se suelen utilizar microondas (altas frecuencias), mientras que para enlaces con varios receptores posibles se utilizan las ondas de radio a frecuencias menores.

Las ondas de radio son un tipo de radiación electromagnética que es fácil de generar y puede cubrir grandes distancias, además, en ciertas bandas de frecuencia puede penetrar edificaciones; ahí radica su uso primordial en las comunicaciones. La mayoría de las ondas de radio pasan libremente a través de la atmósfera de la tierra, pero algunas frecuencias pueden ser reflejadas o absorbidas por las partículas cargadas de la ionósfera. En la figura 2.4 se aprecian los tipos de ondas en radiocomunicaciones.

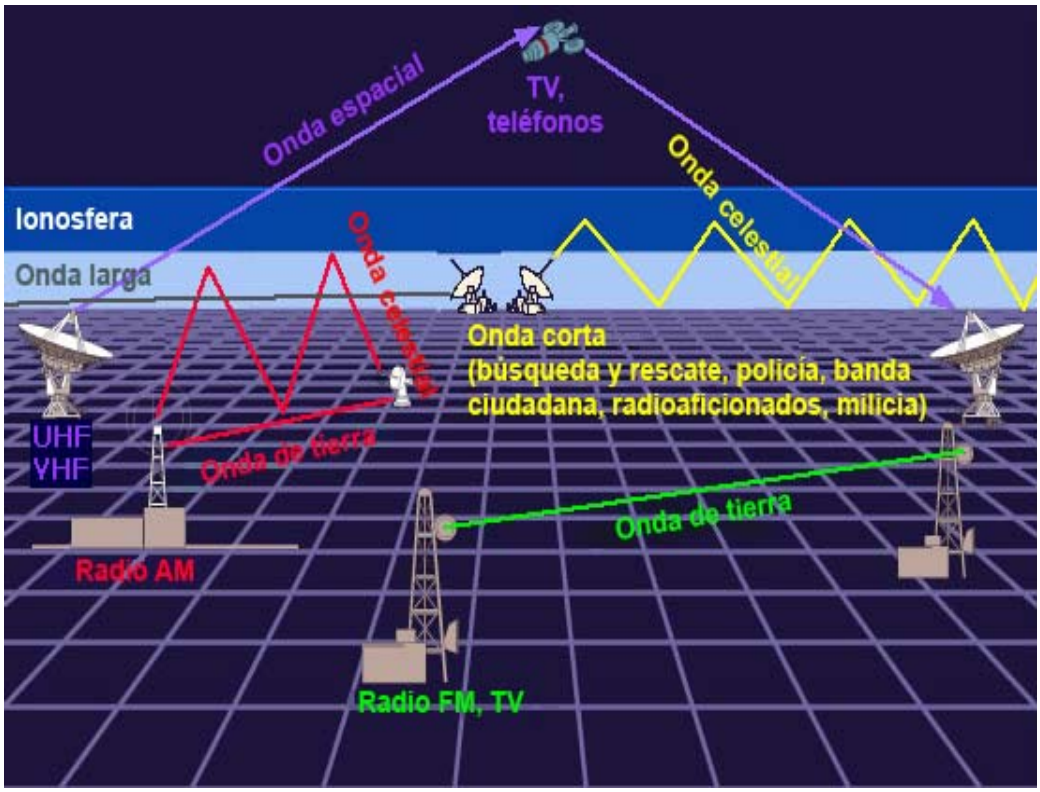


Figura 2.4. Tipos de ondas en radiocomunicaciones [9].

II.1.2. Sistemas Celulares.

El sistema celular fue un gran avance en la solución del problema de la congestión espectral y de la capacidad del usuario en las comunicaciones móviles personales. Consiste en un sistema basado en varios niveles de células con muchos transmisores de baja potencia (celdas pequeñas), en donde cada una proporciona cobertura a sólo una pequeña porción del área de servicio llamada “celda”.

El concepto celular está ligado a la reutilización de frecuencias a una distancia adecuada dentro de un mapa celular. El mapa celular contiene todas aquellas estaciones base dispuestas de manera irregular donde cada una tiene asignado un cierto número de canales en el sistema. Las estaciones base están interconectadas a una red central o núcleo de la red.

Por otra parte, mediante la reutilización de frecuencias se permite a un mismo radio canal ser usado simultáneamente en múltiples transmisores y receptores siempre y cuando éstos están suficientemente separados para evitar la interferencia. La idea de transmitir los niveles de potencia lo suficientemente bajos es para no interferir con la ubicación más cercana donde el mismo canal es reutilizado.

El área de cobertura de una estación base no posee una forma específica. Un área con cobertura circular no es válida debido a que existirá el problema del solapamiento [10]. Para ello la forma del área ideal que cubra un terreno amplio y que disminuya la cantidad de estaciones base a utilizar sería de forma hexagonal (Ver fig.2.5).

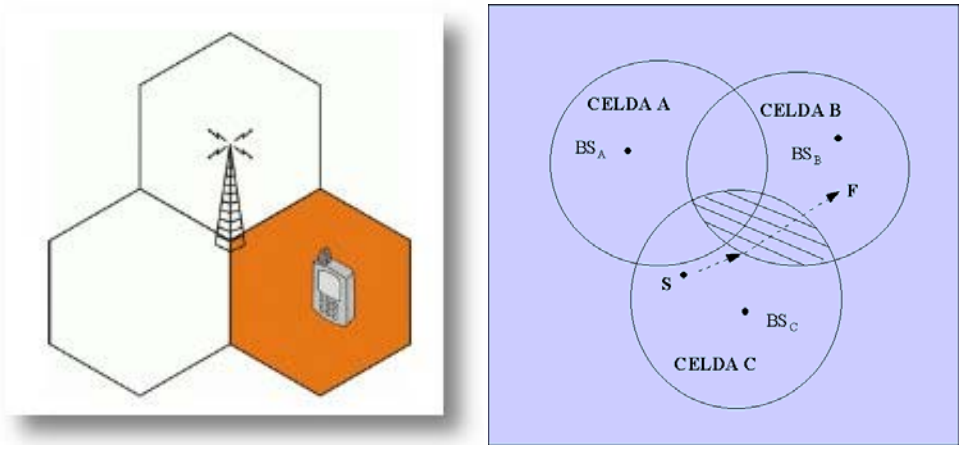


Figura 2.5. Áreas de cobertura de una estación base [10,11].

La figura 2.5 es solo una referencia convencional ya que la cobertura real estará influida por una multitud de factores que son objeto de este trabajo.

La forma hexagonal mostrada en la Figura 2.5 es conceptual y es un modelo simple de la cobertura de radio para cada radio base, pero ha sido universalmente adoptado debido a su fácil manejo y análisis dentro del sistema celular [11]. La comunicación entre celdas y estaciones móviles se establece mediante la llamada **interfaz de radiofrecuencia** o interfaz de aire de un sistema celular.

Las celdas se pueden organizar de forma jerárquica de acuerdo a su tamaño. Dentro de la jerarquía de celdas se encuentran las picoceldas, microceldas, y macroceldas (Ver fig.2.6). El radio de cobertura de las picoceldas está entre 10 y 100m; las microceldas son utilizadas generalmente en ciudades y poseen un radio de cobertura que va de 100 a 500m, mientras que las macroceldas tienen un radio de cobertura entre 500m y 20km, siendo generalmente utilizadas tanto en áreas rurales y suburbanas como en ciudades.

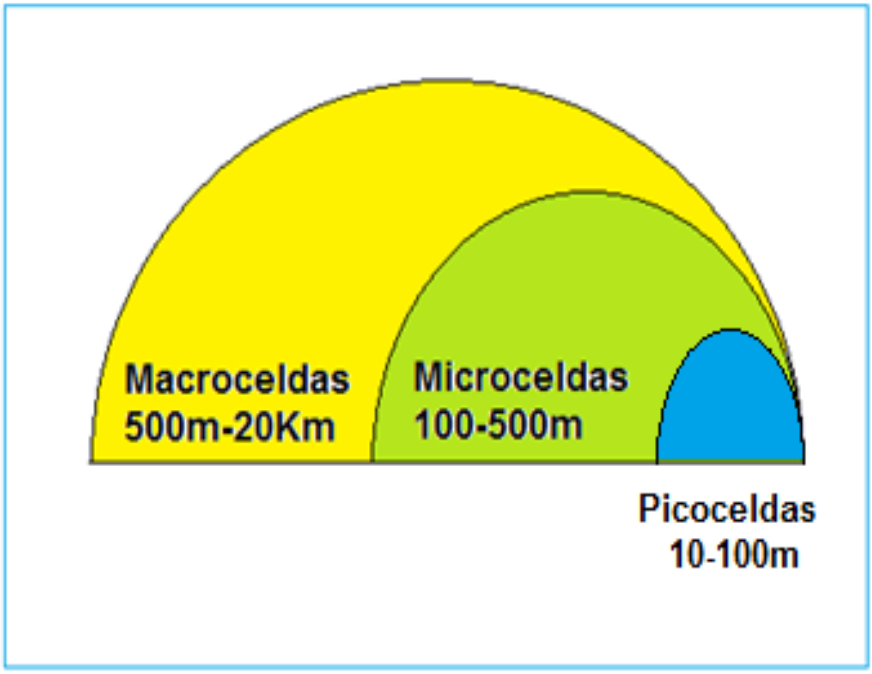


Figura 2.6. Jerarquía de Celdas (Elaboración propia).

II.1.3. Las simulaciones en el desarrollo de sistemas de comunicación.

Claude Shannon y Warren Weaver en la década de 1940s concibieron un modelo de comunicación lo suficientemente general que en su forma original contenía 5 elementos: fuente de información, transmisor, medio de transmisión, receptor y destinatario final o sumidero, todos dispuestos en cascada como se aprecia en la figura 2.7. A partir de este modelo básico se constituye el punto inicial o de partida para el estudio de los sistemas de comunicación [12].

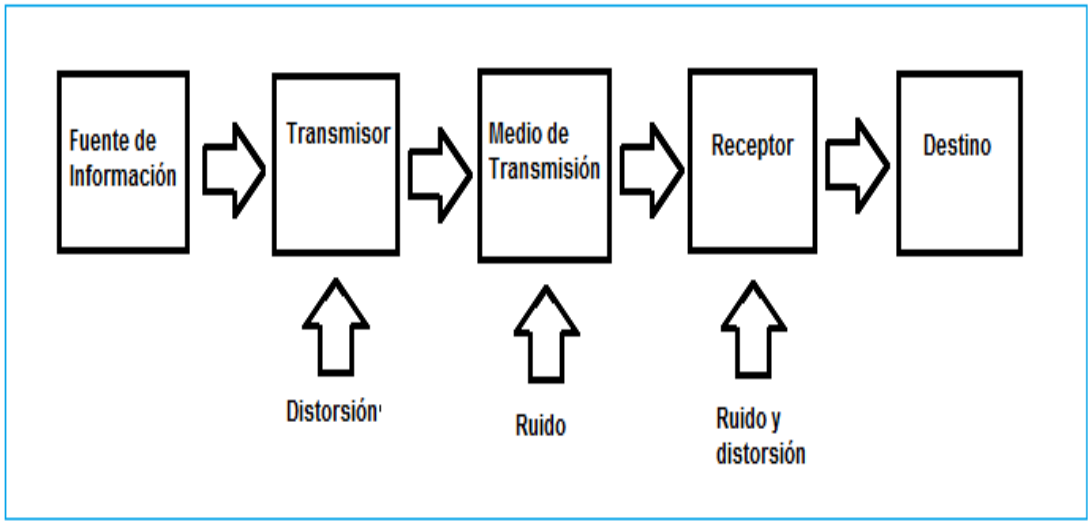


Figura 2.7. Elementos básicos de un sistema de comunicaciones [12].

El mensaje a transmitir se origina en la fuente de información, pasa por el transmisor (TX) que genera la señal modulada, la señal modulada es insertada en el medio de transmisión quien es el encargado del transporte de la información entre terminales distantes, para luego ser recibida por el receptor (RX) quien extrae de la señal modulada la información transmitida.

A partir del modelo genérico de sistemas de comunicaciones es factible el desarrollo de proyectos enfocados en el medio de transmisión (modelos de canal) para diversas aplicaciones. El estudio, análisis y desarrollo de modelos de canal en los sistemas de comunicaciones debe contener unas bases sólidas que validen toda teoría y práctica ejecutada.

En el desarrollo de sistemas de comunicaciones se identifican las siguientes etapas: **concepción, diseño, optimización, operación y mantenimiento**. Este conjunto de etapas está ligado al objetivo que se desea lograr.

La concepción conlleva el estudio del contexto del problema, la identificación de los objetivos del proyecto, efectividad del sistema, objetivos específicos del modelamiento y definición del sistema que se va a desarrollar. En la etapa de diseño se dimensiona el sistema mediante la selección y configuración de diversos componentes. La optimización implica la capacidad que tiene el modelo de conseguir mejores resultados a un menor costo. Por su parte, la operación es la etapa en donde se garantiza que haya un buen funcionamiento, monitoreo y gestión del sistema. Finalmente, en la etapa de mantenimiento se comprueba regularmente el sistema buscando condiciones de error y eventos inusuales, garantizando así su vida útil.

Una herramienta importante para el desarrollo de modelos en sistemas de comunicaciones son las **simulaciones**. Estas herramientas son fundamentales para el análisis, desarrollo y optimización de sistemas celulares. Además, permiten predecir el funcionamiento del sistema a un bajo costo y en un ambiente controlado. Las etapas de diseño y optimización planteadas en el desarrollo de sistemas de comunicaciones son las que se benefician principalmente de las simulaciones.

Igualmente, son utilizadas intensivamente tanto por los fabricantes de dispositivos usados en este tipo de sistemas como por las compañías operadoras, así como por investigadores y desarrolladores en general. Particularmente importantes son las simulaciones a nivel de enlace, que están enfocadas en el estudio del comportamiento del radioenlace. Este tipo de simulaciones involucran un modelado de todos los elementos que conforman la capa física del enlace.

La simulación del sistema de comunicaciones es realizada típicamente haciendo uso de técnicas numéricas. Dentro las técnicas numéricas más importantes se encuentran las llamadas **técnicas o métodos de Montecarlo** [13].

II.2. Técnicas de Montecarlo.

Son métodos numéricos que permiten resolver problemas físicos y matemáticos mediante la simulación, utilizando variables aleatorias. Se orientan a la solución de problemas por métodos típicamente numéricos, pero que dependen de factores aleatorios o se pueden asociar a un modelo probabilístico (resolución de integrales de muchas variables, minimización de funciones, etc.). La base es la generación de números aleatorios los cuales se usan para calcular probabilidades [13].

Las técnicas de Montecarlo, se basan típicamente en la utilización de números aleatorios en la computación científica. Los números aleatorios son utilizados como herramienta para el cálculo de parámetros que no son aleatorios.

II.2.1. Ley fuerte de los grandes números.

Sea X una variable aleatoria, se escribe su valor esperado como . Si es posible la generación de con N realizaciones de X, independientes, entonces se establece la aproximación:

—

La ley fuerte de los grandes números establece que como . Los son aleatorios y podrían ser diferentes cada vez que se ejecute el programa. Por otra parte, se asume que la media A, no es aleatoria sino determinística [13]. Dentro de la ley fuerte de los grandes números se engloban varios teoremas que describen el comportamiento del promedio de una sucesión de variables aleatorias conforme aumenta su número de ensayos.

La frase "ley de los grandes números" es también usada ocasionalmente para referirse al principio de que la probabilidad de que cualquier evento posible (incluso uno improbable) ocurra al menos una vez en una serie, incrementando con el número de eventos en la serie.

En la obtención de un modelo de una variable aleatoria es posible basarse en las Técnicas de Montecarlo a través de la realización de un número elevado de observaciones de esa variable aleatoria, tal como se desprende de la ley fuerte de los grandes números.

II.3. Modelos del Canal de Radio Celular.

El modelaje del canal de comunicaciones puede ser considerado determinístico o estadístico dependiendo de su comportamiento. El único elemento que cae fuera del estricto control humano es el **canal de radio celular**, cuya complejidad y naturaleza fuertemente aleatoria hacen que su modelado constituya un importante reto en investigación.

Debido a su complejidad y variabilidad, el modelado de canales de radio celular se ha basado tradicionalmente en la realización de campañas exhaustivas de mediciones, seguidas de una fase de análisis de datos, para conducir finalmente al ajuste de los modelos. Las mediciones de campo son realizadas con ayuda de equipos y programas especialmente diseñados para ello, y constituyen un esfuerzo de importantes proporciones. El modelo de pérdidas por propagación postulado por Okumura [1] es considerado como el pionero de este tipo de desarrollos.

Los esfuerzos por proponer y mejorar los modelos matemáticos del canal de radio celular se han intensificado en los últimos quince años [2]. Como corolario de esta vasta multiplicidad de esfuerzos, algunos organismos internacionales como la International Telecommunication Union (ITU) y la European Telecommunications Standards Institution (ETSI) han propuesto modelos estándar que recogen los más importantes consensos existentes en cuanto a modelos de los fenómenos de propagación que caracterizan los canales de radio celular.

En estos estándares se integran un conjunto de **modelos matemáticos determinísticos y estadísticos** de distinta índole. El conjunto de modelos a aplicar, así como sus parámetros, típicamente se eligen en función de la distancia de propagación, la frecuencia, el tipo de ambiente (macrocelda, microcelda, urbano, suburbano, rural), así como de la localización del usuario móvil (ambientes exteriores o dentro de edificios) y de la existencia o no de línea de vista entre la ubicación del dispositivo portátil y la antena de la celda.

La condición de línea de vista describe el canal de propagación como aquél en el cuál, dado un transmisor y un receptor situado a una distancia dada, se transmite una señal radioeléctrica sin obstrucciones físicas directas entre el transmisor y el receptor, considerando que la señal se propaga a lo largo de una línea recta entre ambos extremos. Ver fig. 2.8.

Figura 2.8. Representación Línea de Vista Visual [14].

En ambientes de propagación celulares, el modelado para la determinación de la condición designada con las siglas LOS/NLOS (del inglés “Line of Sight”, “Non-Line of Sight) ha recibido relativamente escasa atención, a pesar de su gran importancia.

La Tabla 2.1 muestra algunas de las diferencias más importantes entre los modelos matemáticos utilizados para predecir la propagación en la banda de UHF (300Mhz-3Ghz) en ubicaciones LOS respecto a las ubicaciones NLOS.

Tabla 2.1. Algunos de los modelos matemáticos más comúnmente usados para el canal de radio celular urbano en los casos LOS y NLOS [3].

Fenómeno a modelar	**Puntos con LOS**	**Puntos sin LOS**
Pérdidas por propagación a gran escala en función de la distancia.	Modelo de propagación en espacio libre (posiblemente ajustado).	Modelo empírico basado en mediciones o modelo de propagación exponencial
Ensombrecimiento	Distribución log normal con desviación estándar 4-6 dB	Distribución log normal con desviación estándar 8-10 dB
Pérdidas por propagación a pequeña escala	Desvanecimiento Rice	Desvanecimiento Rayleigh
Perdidas por penetración en estructuras	No aplica	Aplica en una fracción de los casos

Como se desprende de la información en dicha tabla, la exactitud de la predicción de la propagación en canales móviles celulares depende fuertemente de la presencia de LOS.

Los modelos de propagación predicen las pérdidas en decibeles de la potencia en un ambiente muy singular. Los modelos a menudo se basan en modelos probabilísticos. Estos modelos probabilísticos permiten calcular la probabilidad de que la señal llegue o no llegue a su destino con suficiente potencia. Algunos de estos modelos se basan en mediciones en un lugar de interés.

Se toma un número determinado de mediciones que se promedian y se puede entonces establecer los modelos de propagación en estos medios. De esta forma, cada modelo sirve para un entorno en específico. Punto importante a destacar, es que algunos de estos modelos sirven de base para el desarrollo de otros modelos, es por eso que no se puede separar las teorías matemáticas de la información estadística que se puede adquirir del medio de interés.

En frecuencias superiores a 3GHz, en la cual operan la mayoría de los sistemas inalámbricos fijos, la disponibilidad de línea de vista cobra una importancia mucho mayor, ya que en su ausencia la propagación se ve mucho más afectada que en la banda UHF [2].

La propagación multitrayecto en el canal de radio origina efectos de desvanecimiento a pequeña escala como cambios rápidos en la intensidad de la señal sobre pequeñas distancias, modulación en frecuencia aleatoria debido a la variación de los desplazamientos Doppler sobre diferentes señales multitrayecto, dispersión temporal (ecos) causados por retardos de propagación multitrayecto [2]. El desvanecimiento de Rayleigh para puntos sin LOS (sin línea de vista) es causado por la recepción de trayectoria múltiple . La antena móvil recibe un gran número N de ondas reflejadas y dispersadas. El desvanecimiento se debe al movimiento de la antena. Por su parte para puntos con LOS la señal dominante no sufre desvanecimiento alguno, pero si existen componentes con desvanecimiento (Desvanecimiento Rice).

II.4. Antecedentes.

A continuación se desarrollan los antecedentes que están relacionados directamente con el modelaje de la condición de Línea de Vista/ No línea de Vista desde sus inicios hasta trabajos desarrollados en la actualidad.

II.4.1. Modelaje LOS/NLOS.

Los modelos estándar de disponibilidad de LOS a nivel de calle en sistemas celulares [15,16], suelen postular que la condición de línea de vista (LOS) es tan poco frecuente que en la mayoría de los modelos para canales de radio debe asumirse que no existe (NLOS), con excepción de los modelos correspondientes a microceldas.

Más aún, en este tipo de canales para microceldas se suele postular un modelo que expresa la probabilidad de LOS como una función linealmente decreciente en función de la distancia, hasta una distancia máxima de 300m [16]. Sin embargo, a medida que las bandas utilizadas por los sistemas celulares operan a frecuencias cada vez más altas (banda de 1900 MHz, banda de 2600 MHz, etc.), el tamaño de las celdas se hace cada vez menor, es decir, el radio de cobertura se hace cada vez más pequeño, lo que implica el aumento de la probabilidad de existencia de la condición de LOS, como ha sido demostrado experimentalmente [3]. Es por ello que la disponibilidad de modelos para la condición LOS/NLOS en macroceldas cobra mayor importancia para la operación de los sistemas en las bandas de frecuencia más elevadas.

Otros trabajos previos han postulado modelos basados en técnicas numéricas de trazamiento de rayos [17], en ocasiones combinados con técnicas analíticas [4]. La desventaja de estos simuladores es que no representan la realidad de forma exacta al ignorar, por ejemplo, el efecto de la vegetación y otros obstáculos no representados en los datos geográficos de relieve, los cuales además son escasos y costosos. Dichos trabajos

referenciados se limitan a estudiar la condición de LOS entre edificios, más no en cuanto a cobertura a nivel de la calle. Dependen de un modelo para simulaciones de sistemas de comunicaciones móviles.

Recientemente ha sido publicado un modelo LOS/NLOS basado en la realización de una campaña de observaciones para macroceldas urbanas, el cual establece que la probabilidad de LOS decrece linealmente en función de la distancia a la estación base. Asimismo, involucra la posible dependencia de la variable altura de la antena de radio para la determinación de la probabilidad de Línea de vista PLOS [3]. Sin embargo, los resultados obtenidos por [3] provienen de una muestra experimental relativamente pequeña, y recomienda una investigación adicional para confirmar y aclarar los resultados obtenidos.

Por otra parte, las simulaciones a nivel de sistema requieren estimaciones de la probabilidad de línea de vista. Para conjuntos de datos relativamente limitados o supuestos y aproximaciones con respecto a la ubicación de los obstáculos en un camino directo, (macroceldas en ambientes suburbanos), es posible determinar la existencia de las condiciones de propagación de NLOS/LOS mediante la siguiente ecuación representada por un modelo exponencial [22].

II.4.2. Condiciones que afectan la existencia de LOS.

De los antecedentes presentados, así como del análisis a futuro del problema, puede establecerse que la condición de LOS/NLOS está posiblemente relacionada con los siguientes aspectos de la red celular:

- **Altura de la celda:** a medida en que la celda es más alta, generalmente la probabilidad de línea de vista es mayor.

- **Tipo de área:** la naturaleza del entorno (urbano, sub-urbano, rural, con macroceldas o microceldas) puede influenciar la existencia de LOS.

- **Altura de las edificaciones cercanas a la celda:** las edificaciones son obstáculos que afectan directamente la existencia de LOS en la medida en que la altura sobrepase la altura de la celda.

- **Trazado de las calles:** puede considerarse un posible factor que afecte la disponibilidad de línea de vista en la medida en que el trazado tenga más ramificaciones con respecto a la estación base (Ver fig. 2.9).

Figura 2.9. Trazado de calles [18].

II.5. Estimación de la distancia a partir de coordenadas geográficas.

Como la Tierra es aproximadamente una esfera se pueden aplicar los conceptos de la trigonometría esférica para el cálculo de la distancia entre dos puntos. Cada punto M de la Tierra está localizado por sus coordenadas geográficas: **longitud y latitud** (Ver fig.2.10).

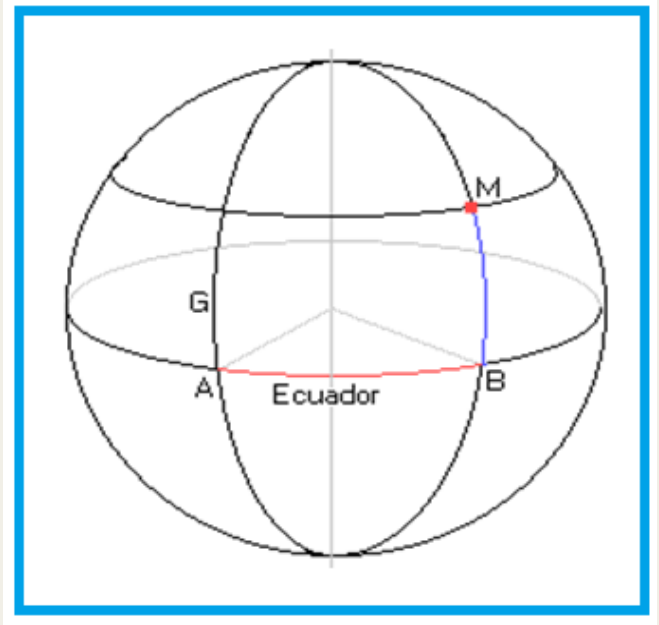


Figura 2.10. Distancia Geográfica [19].

Se denomina longitud del punto M a la graduación del arco AB (medido sobre el ecuador, siendo G el meridiano de Greenwich o meridiano origen). Se determina la posición indicando si está al Este (+) o al Oeste (-). El arco BM determina la latitud del punto M. Se determina la posición si está al Norte (+) o al Sur (-) del Ecuador.

Obteniendo las coordenadas geográficas de dos puntos (P1,P2), se puede calcular la distancia entre ellos mediante la aplicación de la Ley del coseno (Ver ec.5). Cada uno de los puntos viene expresado por sus valores de latitud y longitud respectivamente que serán usados para el cálculo de la distancia geográfica. Los valores de latitud y longitud deben estar en radianes.

II.6. Medida de Bondad de ajuste R^2.

La bondad de ajuste o coeficiente de determinación ($\mathbf{R^2}$) es una manera comúnmente usada [23] de medir la aproximación del modelo postulado a la nube de puntos experimentales. $\mathbf{R^2}$ puede tomar valores entre 0 y 1 (0 y 100 en términos de tanto por ciento). Cuanto más se aproxime a 1 mejor será el ajuste a la nube de puntos y más fuerte será la relación entre las variables que el modelo quiere captar.

El valor de $\mathbf{R^2}$ sirve entonces, para medir de qué modo las diferencias entre los verdaderos valores de una variable y los de su aproximación mediante una curva de regresión son pequeños en relación con los de la variabilidad de la variable que se intenta aproximar. Por esta razón estas cantidades miden el grado de bondad del ajuste [23].

Capítulo III
Metodología

El presente capítulo comprende los métodos, técnicas y procedimientos requeridos llevados a cabo en el desarrollo de la investigación. La metodología usada está compuesta por cuatro (4) fases: Documentación, Recolección de datos, Modelaje y evaluación para finalizar con la fase correspondiente a la Escritura del libro a entregar.

III.1. FASE I: Documentación.

- A través de libros, trabajos especiales de grado, libros electrónicos, entre otros. Se realizó una investigación a fondo acerca del modelado de la condición de Línea de Vista/No Línea de Vista.
- Se analizó el comportamiento de posibles modelos y como éstos son generados.
- Se estudió en detalle los parámetros necesarios para la elaboración del modelado de predicción de Línea de Vista.

III.2. FASE II: Recolección de datos.

- Se estableció una Campaña para la recolección de datos correspondientes a las observaciones, haciendo uso de un receptor GPS sobre una muestra de 36 celdas, 120 observaciones por cada una (aproximado).
- A través del establecimiento de criterios puntuales se determinó la selección de las zonas de la ciudad en la cual se realizaron las mediciones, así como la determinación de la misma.

- Se identificaron y especificaron las antenas celulares a utilizar como referencia para las mediciones.
- Se procesó la información recolectada en tiempo real haciendo uso de dispositivos electrónicos que almacenan la data eficientemente.
- Se definieron todas aquellas estrategias para el recorrido de la zona, así como el equipamiento y otros detalles relativos a la recolección de la información.
- Se realizaron los cálculos previos para determinar la probabilidad de Línea de Vista en macroceldas urbanas.

III.3. FASE III: Modelaje y Evaluación.

- Vaciado de los datos en herramientas idóneas para su procesamiento.
- Determinación de las tendencias en los datos, así como selección de la familia de modelos que podría representarlos de forma óptima.
- Ajuste de los modelos seleccionados y cálculo de los errores.
- Elaboración de conclusiones y recomendaciones del trabajo.
- Utilización del software Matlab.

III.4. FASE IV: Escritura del libro a entregar.

La escritura del libro a entregar corresponde a la fase de finalización del proyecto. Esta fase se inició con la fase I correspondiente a la documentación hasta la elaboración de conclusiones y recomendaciones de la fase III. Comprende la descripción detallada de los 6 Capítulos que conforman el Trabajo Especial de Grado.

Capítulo IV
Desarrollo

El presente capítulo comprende el desarrollo de la metodología utilizada en el Trabajo Especial de Grado haciendo referencia a cada una de sus fases (documentación, recolección de datos, modelaje y evaluación, escritura del libro a entregar). El desarrollo de la investigación incluye todos los procedimientos, técnicas, métodos llevados para el alcance de cada uno de los objetivos específicos y del objetivo general.

IV.1. FASE I: Documentación.

El desarrollo de la investigación inicia con la fase I de la metodología correspondiente a la documentación. Comprende toda la bibliografía consultada, trabajos especiales de grado y libros electrónicos. Se realizó una investigación a fondo acerca del modelado de la condición de Línea de Vista/No Línea de Vista analizando el comportamiento de posibles modelos y cómo éstos pueden ser generados. Esta fase es considerada el inicio de la investigación debido a que se recopiló la información necesaria que forma parte de una base lo suficientemente sólida para la realización del Trabajo Especial de Grado.

Por otra parte se estudió en detalle los parámetros necesarios para la determinación del modelado de predicción de línea de vista. Los parámetros están incluídos dentro del capítulo II (Marco Teórico) y hacen referencia a las condiciones que afectan la línea de vista.

IV.2. FASE II: Recolección de datos.

Posterior a la fase de documentación, el desarrollo continúa con la fase de recolección de datos. Esta fase comprende el establecimiento de la campaña de mediciones haciendo uso de un receptor GPS (Ver fig.4.1) sobre una muestra de 36 celdas, 120 observaciones por cada una. El valor de 120 observaciones por cada celda es aproximado debido a que puede aumentar o disminuír dependiendo de los factores que afectan la condición de línea de vista.

Figura 4.1. Sistema de Posicionamiento Global GPS. Garmin nuvi (1390LMT) (Fotografía tomada al Receptor GPS).

A través del establecimiento de criterios puntuales se determinó la selección de las zonas de la ciudad de Caracas en la cual se realizaron las mediciones (observaciones). Se eligieron 6 zonas de la ciudad de Caracas con diferentes características tanto de tipo de área (plana, montañosa) como tipo de edificación predominante (edificios bajos, medianos, altos y casas-quintas). En la Tabla 4.1 se especifican las zonas seleccionas con sus diversas características.

Tabla 4.1. Zonas Urbanas de la ciudad de Caracas (Elaboración propia).

Nº	Zona Urbana	Av. Principal	Tipo de Edificación	Tipo de Área	Nº celdas por zona.
1	Montalbán	Montalbán I	Casas-Quintas	Plana	6
2	Centro	Urdaneta	Altas	Plana	6
3	Av Victoria/Las Acacias	Victoria	Bajas y medianas	Plana	6
4	Santa Mónica/Los Chaguaramos	Principal	Bajas y medianas	Plana	6
5	Bello Monte	Colinas de Bello Monte	Altas	Montañosa	6
6	Altamira-La Castellana.	Av. Luis Roche	Casas-Quintas.	Montañosa	6

Una vez seleccionadas las zonas a objeto de estudio se procede con el proceso de identificación del total de antenas celulares a considerar para iniciar las observaciones de línea de vista/ no línea de vista. Para ello, se realizó un primer recorrido en cada una de las zonas seleccionadas en donde se recolectaron los datos correspondientes a la ubicación, nombre de la edificación asociada a la antena, así como también fotografías para dar un mayor soporte a la información recolectada (Ver Anexos).

Seguido al proceso de identificación de antenas celulares se procede con la toma de mediciones de la variable altura. Para las alturas de antenas en torres autosoportadas se realizaron varias visitas a las compañías de telefonía móvil (Cantv, Movistar y Digitel)

debido a que el acceso requiere de una capacitación previa y está totalmente restringido para las personas cuya identificación no es proveniente de dichas operadoras. La información fue suministrada por parte del personal técnico especializado para el mantenimiento y acceso a las torres.

Con respecto a la medición de la altura de una antena celular en las azoteas de edificios, el procedimiento consistió en obtener la diferencia entre la altura sobre el nivel del mar desde la (azotea/terraza) con la altura sobre el nivel del mar ubicado en la planta baja, de esa manera se obtiene la altura del edificio y por ende una estimación de la altura de la antena celular.

Sin embargo, en algunos casos el acceso a las (azoteas/terrazas) de los edificios está igualmente restringido, por ende, se buscó la manera de estimar la medición de la altura a partir de la altura de una edificación cercana a la antena celular que presente un tamaño similar. En otros casos, el procedimiento para obtener la altura de una antena celular se basó en aprovechar las condiciones del terreno entre edificaciones altas sobre una pendiente baja respecto a edificaciones medianas sobre una pendiente alta (Ver fig.4.2).

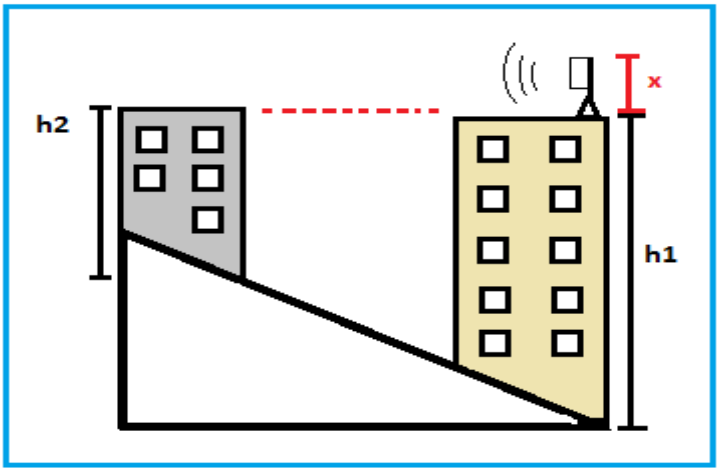


Figura 4.2. Altura de la antena celular a partir de una edificación cercana sobre una pendiente alta (Elaboración propia).

La información recolectada se fue almacenando de una manera eficiente en los dispositivos electrónicos (receptor GPS, computador, dispositivos de almacenamiento de datos, entre otros). Una vez realizado el registro de alturas correspondientes al total de antenas celulares, se establecieron las estrategias para el recorrido de las zonas tomando en cuenta el trazado de las calles así como también el equipamiento y otros detalles de carácter general. El recorrido comprende una trayectoria circular respecto a la antena celular a nivel de calle realizando cruces a las aceras paralelas por cada 50 m (aproximado) hasta llegar a un punto en el cual se pierde la línea de vista.

Partiendo de una estrategia de recorrido a nivel de calle (Ver fig.4.3) se inició la Campaña de Observaciones de LOS/NLOS con respecto a cada una de las antenas celulares ubicadas en las distintas zonas de la ciudad de Caracas. El almacenamiento de puntos se detiene cuando la no existencia de línea de vista (NLOS) se mantiene constante a partir de una cierta distancia con respecto a la antena celular.

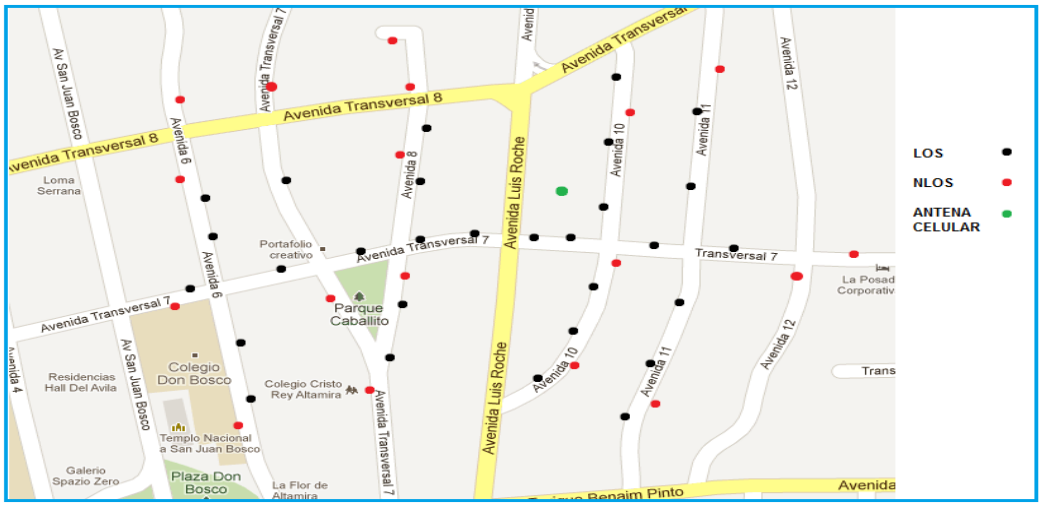


Figura 4.3. Estrategia de recorrido de las zonas [20].

La realización de los cálculos previos para la determinación de la probabilidad de Línea de Vista en las macroceldas urbanas de la ciudad de Caracas culmina con la Fase II del Trabajo Especial de Grado.

IV.3. FASE III: Modelaje y Evaluación.

La fase de modelaje y evaluación abarca el proceso de vaciado de los datos obtenidos en la campaña de mediciones sobre herramientas idóneas para su procesamiento. Dentro de las herramientas usadas están los equipos electrónicos, dispositivos de almacenamiento de datos y software necesarios para la organización y estructura de los datos.

Dentro de esta fase se incluye también la determinación de las tendencias en los datos, así como la selección de la familia de modelos que pueden representarlos de forma óptima, el ajuste de los modelos seleccionados y cálculos de los errores para finalizar con la elaboración de conclusiones y recomendaciones del Trabajo Especial de Grado

IV.3.1. Software(s) utilizados para el análisis de datos.

Para el análisis y procesamiento de los datos se utilizaron los siguientes programas ("software"):

- **Venrut 2011:** usado para cargar el mapa detallado de Venezuela tanto en el dispositivo Garmin como en el "software" Map Source.

- **Map Source de Garmin:** usado para el vaciado de los datos correspondientes a los puntos de línea de vista/ no línea de vista sobre el mapa correspondiente a una zona específica, estableciendo el recorrido con respecto a la antena celular así como las coordenadas geográficas de los puntos recolectados. El map source de Garmin permitió comprobar valores de distancia entre un punto móvil y una antena celular obtenidos con la fórmula de distancia geográfica.

- **Microsoft Office 2007 (Excel):** usado para la elaboración de tablas de distancia geográfica existente entre un punto de observación y la estación base (antena celular). Con la distancia geográfica entre cada punto de observación y la antena celular se procede a indicar con un uno (1) el punto con línea de vista y con un cero (0), el punto sin línea de vista. De esta manera se generan las columnas correspondientes a la distancia geográfica en metros y los puntos de LOS/NLOS que corresponden a un tipo de variable discreta-binaria, variable que será utilizada al aplicar la ley fuerte de los grandes números.

- **Google Earth 2011:** usado para cargar los puntos desde el dispositivo Garmin y enlazarlos con el programa Map Source. Google Earth 2011 ofrece una mejor vista detallada del recorrido de las zonas, características del terreno, tipo de área, altura sobre el nivel del mar de puntos específicos, entre otras características de interés.

- **"Software" Matlab:** usado para la generación, análisis de curvas y cálculo de probabilidad de línea de vista/ No Línea de Vista.

IV.3.2. Procedimiento para el procesamiento de los datos.

Usando el “software” Microsoft Excel se ordenó de menor a mayor la matriz cuyas columnas contienen la distancia de un punto respecto a la antena y los puntos de LOS/NLOS. Las dimensiones de esta matriz son (N, 2) donde N representa el número de observaciones de cada celda. Esta matriz se guardó como un archivo de texto simple delimitado por tabulaciones con la finalidad de importar la data del “software” Excel al “software” Matlab.

Con la matriz importada al “software” Matlab, se generó una nueva matriz cuyas dos columnas contienen el punto medio por cada 50 metros de recorrido y la probabilidad de línea de vista. Establecer intervalos de 50 metros de recorrido es un factor que permite estimar la probabilidad de línea de vista a partir del apegado de observaciones dentro de cada intervalo. Este procedimiento se puede apreciar en la figura 4.4., y obedece a lo establecido en la ley fuerte de los grandes números.

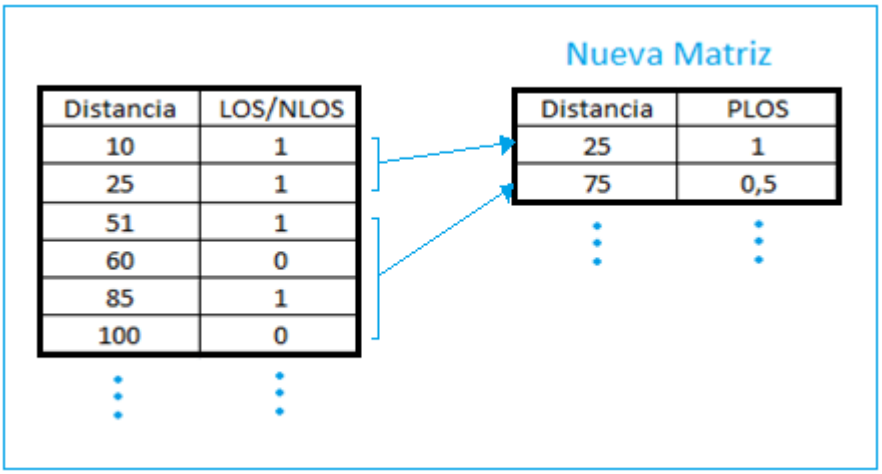


Figura 4.4. Ilustración del procedimiento para el procesamiento de los datos (Elaboración propia).

IV.3.3. Ajuste de modelos.

Esta etapa comprende la postulación de uno o varios modelos matemáticos para el análisis de resultados obtenidos en la Campaña de Mediciones mediante el uso de la herramienta CF Tools del "software" Matlab.

Es necesario el ajuste de modelos luego del procesamiento de los datos, lo cual permite determinar el modelo general que más contribuye con el problema planteado. En el posterior capítulo de resultados se encuentran los detalles correspondientes con la etapa de ajuste de modelos a la data recolectada.

Capítulo V
Resultados

El presente Capítulo abarca los resultados obtenidos durante el desarrollo del Trabajo Especial de Grado.

Dentro del ajuste de curvas a los datos obtenidos se postulan los siguientes modelos matemáticos en función de los criterios que se establecen a continuación:

- Se escogieron modelos sencillos que sean fáciles de usar y que tengan solo un (1) grado de libertad (un solo parámetro).

- Se seleccionaron modelos similares a otros que ya anteriormente han sido postulados por otros autores [3,22].

V.1. Modelos Postulados.

De acuerdo a los criterios mencionados anteriormente se postulan los siguientes modelos matemáticos:

V.1.1. Modelo Lineal.

Sea do el parámetro que corresponde a una distancia de corte con el eje x medida en metros (m), se establece la siguiente ecuación lineal:

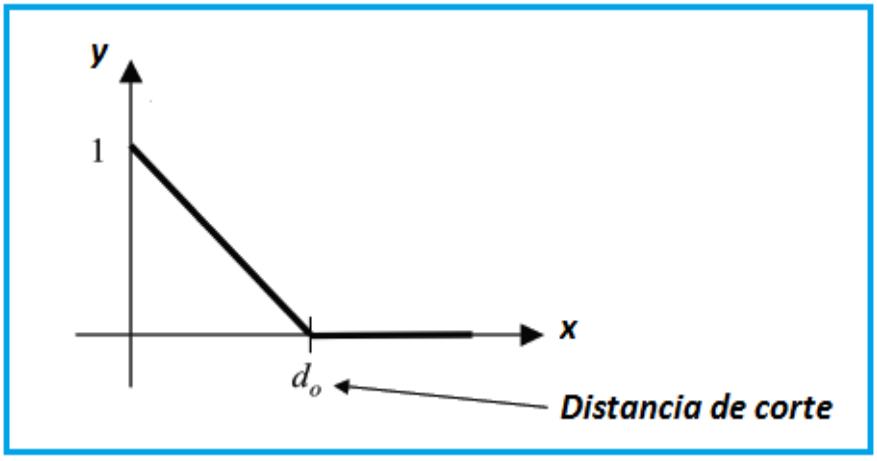


Figura 5.1. Representación gráfica del modelo lineal [3].

V.1.2. Modelo Gaussiano.

Se define d1, como el parámetro que representa la desviación estándar de la campana de Gauss en el modelo gaussiano. A medida en que d1 es mucho mayor al promedio de los datos, la desviación estándar será mayor, por lo tanto la campana de gauss presenta una mayor anchura. Caso contrario ocurre cuando d1 se acerca a cero (0).

El modelo gaussiano establece la siguiente ecuación matemática:

V.1.3. Modelo Exponencial.

Se define d2, como el parámetro que representa la constante de decaimiento del modelo exponencial. Indica el grado de decaimiento que presenta la curva a lo largo del eje x.

El modelo exponencial establece la siguiente ecuación matemática:

—

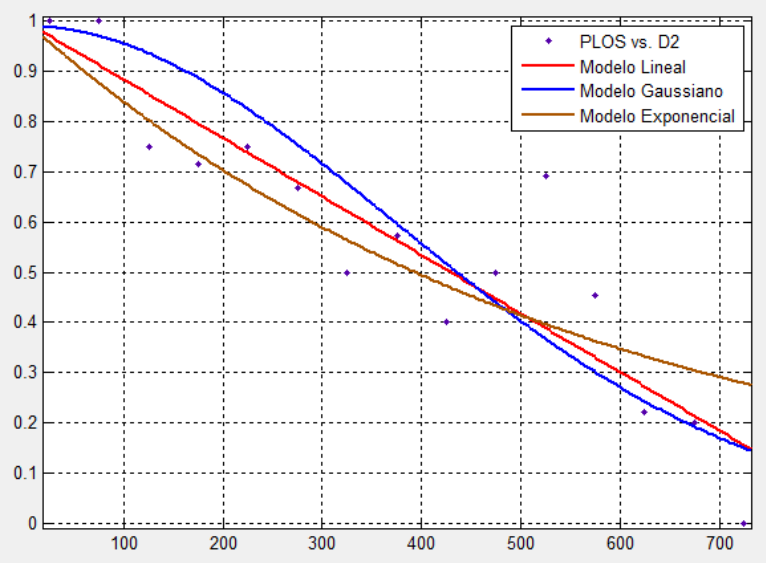
A continuación se presentan las gráficas correspondientes con el análisis de resultados por cada una de las zonas de la Campaña de Mediciones. Cada gráfica refleja los resultados obtenidos luego del procesamiento de los datos vinculados al ajuste de curvas con los modelos postulados (lineal, gaussiano y exponencial). La curva identificada con el color (rojo) corresponde al modelo lineal, (azul) corresponde al modelo gaussiano y (marrón) al modelo exponencial.

V.2. Resultados obtenidos para la Zona 1: Altamira-La Castellana.

En las siguientes gráficas se evidencia el comportamiento de la probabilidad de línea de vista por cada cierto recorrido en metros para 6 celdas correspondientes a la zona 1. Se ha determinado que este comportamiento es decreciente hasta llegar al punto sobre el cual la probabilidad de línea de vista se hace cero (0). Por otra parte, se aprecia que a pesar de que el comportamiento de las gráficas es decreciente, existen puntos con pequeñas variaciones entre valores altos y mínimos. El modelo que más se ajusta a los resultados obtenidos para esta zona corresponde a un modelo lineal.

V.2.1. Edificio Castevilla.

Altura de la antena: 35mts.	**Número de mediciones:** 89.	**Distancia máxima de medición:** 730mts.

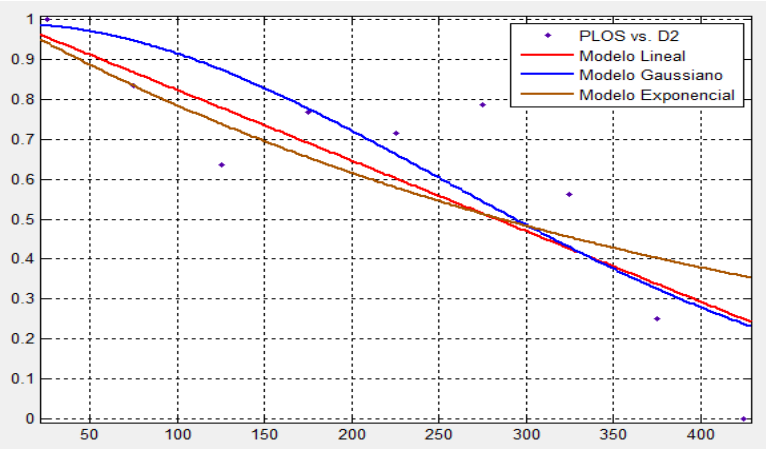


d [m]	PLOS
25	1
75	1
125	0.7500
175	0.7143
225	0.7500
275	0.6667
325	0.5000
375	0.5714
425	0.4000
475	0.5000
525	0.6923
575	0.4545
625	0.22
675	0.20
725	0

Figura 5.2. Ajuste de los modelos postulados a los datos recolectados de la antena celular (Edificio Castevilla).

V.2.2. Centro Deportivo Eugenio Mendoza.

Altura de la antena: 35mts.	**Número de mediciones:** 90.	**Distancia máxima de medición:** 440mts.

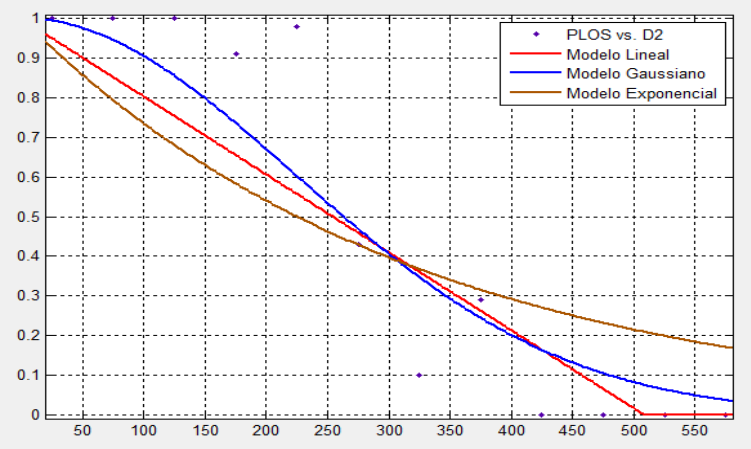


d [m]	PLOS
25	1
75	0.8333
125	0.6364
175	0.7692
225	0.7143
275	0.7857
325	0.5625
375	0.2500
425	0

Figura 5.3. Ajuste de los modelos postulados a los datos recolectados de la antena celular (Centro Deportivo Eugenio Mendoza).

V.2.3. Clínica El Ávila.

Altura de la antena: 62mts.	**Número de mediciones:** 101.	**Distancia máxima de medición:** 430mts.

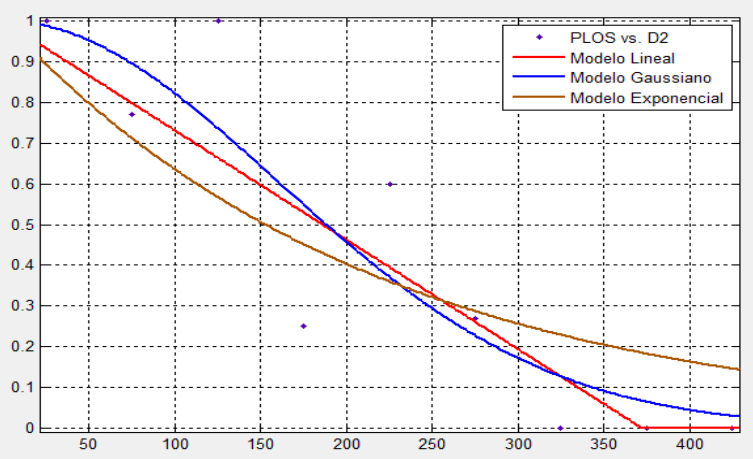


d [m]	PLOS
25	1
75	1
125	1
175	0,91
225	1
275	0,43
325	0,1
375	0,29
425	0
475	0
525	0
575	0

Figura 5.4. Ajuste de los modelos postulados a los datos recolectados de la antena celular (Clínica El Ávila).

V.2.4. Don Bosco.

Altura de la antena: 45mts.	**Número de mediciones**: 98.	**Distancia máxima de medición:** 430mts.

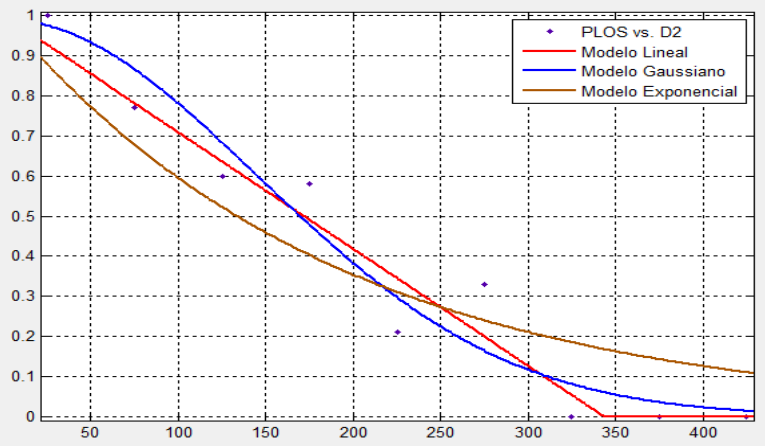


d [m]	PLOS
25	1
75	0,77
125	1
175	0,25
225	0,6
275	0,27
325	0
375	0
425	0

Figura 5.5. Ajuste de los modelos postulados a los datos recolectados de la antena celular (Don Bosco).

V.2.5. Farmahorro:

Altura de la antena: 30mts	**Número de mediciones:** 94	**Distancia máxima de medición:** 390mts

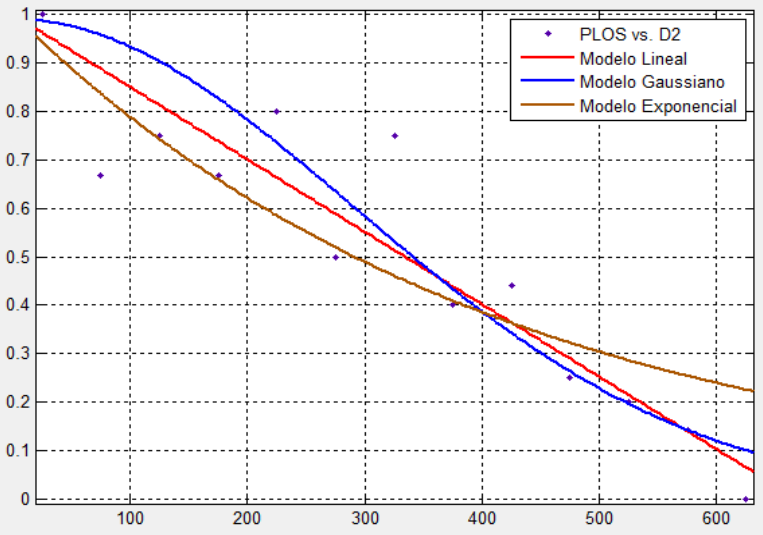


d [m]	PLOS
25	1
75	0,77
125	0,6
175	0,58
225	0,21
275	0,33
325	0
375	0
425	0

Figura 5.6. Ajuste de los modelos postulados a los datos recolectados de la antena celular (Farmahorro).

V.2.6. Tony Romas:

Altura de la antena: 28mts.	**Número de mediciones:** 74	**Distancia máxima de medición:** 635mts



d [m]	PLOS
25	1
75	0.6667
125	0.7500
175	0.6667
225	0.8000
275	0.50
325	0.7500
375	0.40
425	0.44
475	0.25
525	0.2000
575	0.1429
625	0

Figura 5.7. Ajuste de los modelos postulados a los datos recolectados de la antena celular (Tony Romas).

A continuación se presenta la Tabla 5.1 que expresa los valores obtenidos de R^2 y de los parámetros escogidos por cada uno de los modelos postulados.

Tabla 5.1. Resumen de valores obtenidos de R^2 y parámetros para los modelos postulados para la Zona 1.

Modelo	Parámetro [m]	V.2.1	V.2.2	V.2.3	V.2.4	V.2.5	V.2.6
Lineal		0.8297	0.7358	0.8176	0.8192	0.9514	0.8544
	do	938.3	566	508.2	372.1	343.6	668.3
Gaussiano		0.7489	0.7276	0.8707	0.8224	0.9356	0.7889
	d1	572.2	355.6	315.8	226	205.2	412.6
Exponencial		0.7824	0.636	0.6796	0.7106	0.8666	0.7705
	d2	635.72	411.52	324.25	219.97	192.30	418.76

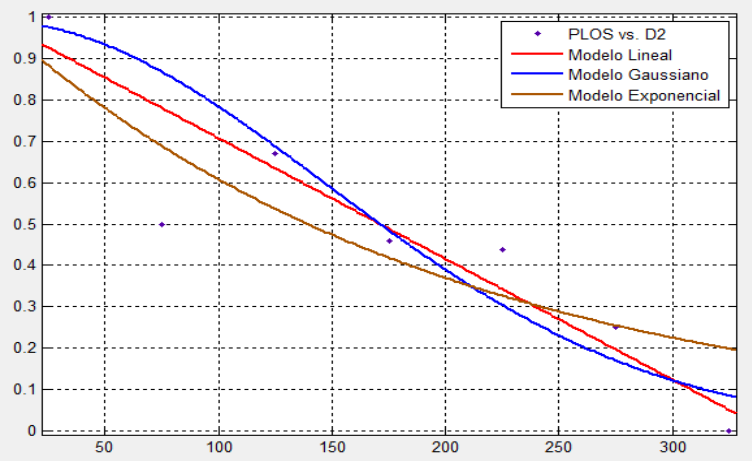
Los valores resaltados en la tabla representan el valor máximo de R^2 obtenidos luego de realizar comparaciones entre los modelos por cada una de las celdas. El modelo lineal presenta valores de R^2 máximo en 4 antenas celulares contra 2 obtenidos del ajuste con el modelo gaussiano. Los valores de R^2 obtenidos con el modelo exponencial son inferiores a los obtenidos con los otros dos modelos.

V.3. Resultados obtenidos para la Zona 2: Av. Victoria.

En las siguientes gráficas se evidencia el comportamiento de la probabilidad de línea de vista por cada cierto recorrido en metros para 6 celdas correspondientes a la zona 2. A su vez, se aprecia que a pesar de que el comportamiento de las gráficas es decreciente, existen puntos con pequeñas variaciones entre valores altos y mínimos. El modelo que más se ajusta a los resultados obtenidos para esta zona corresponde a un modelo lineal.

V.3.1. Edificio Paterdam (Antena 1).

Altura de la antena: 52mts.	**Número de mediciones:** 90	**Distancia de medición máxima:** 340mts

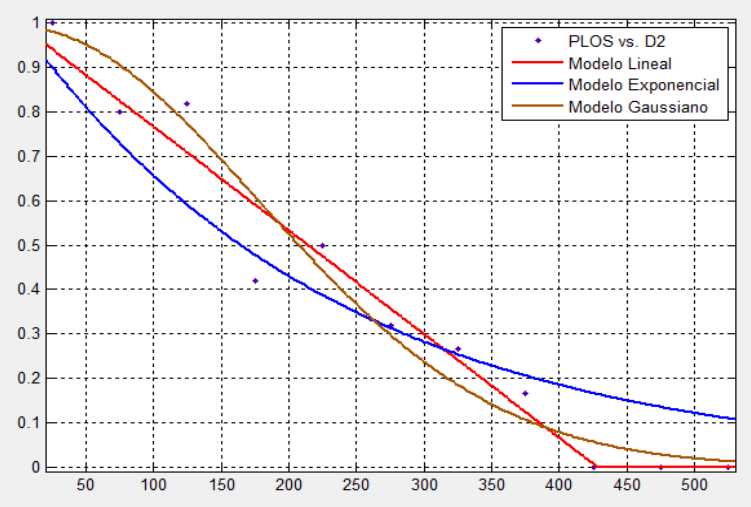


d [m]	PLOS
25	1
75	0,5
125	0,67
175	0,46
225	0.4375
275	0.25
325	0

Figura 5.8. Ajuste de los modelos postulados a los datos recolectados de la antena celular 1 del Edificio Paterdam.

V.3.2. Edificio Paterdam (Antena 2).

Altura de la antena: 52mts.	**Número de mediciones:** 100	**Distancia máxima de medición:** 440mts

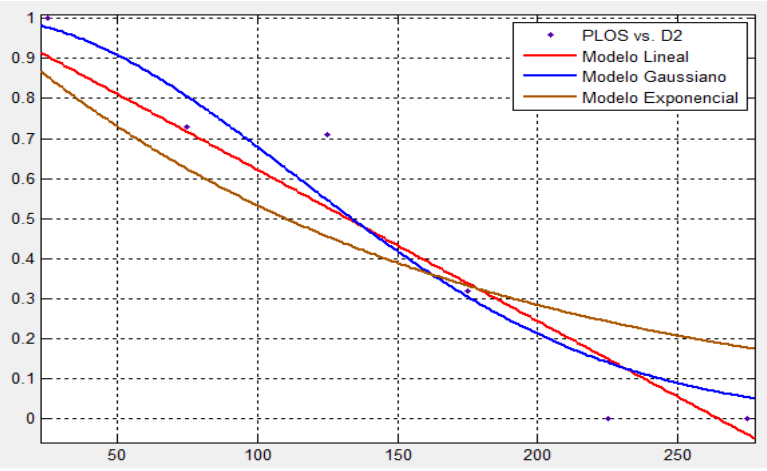


d [m]	PLOS
25	1
75	0.80
125	0.8182
175	0,42
225	0,5
275	0,32
325	0.2667
375	0.1667
425	0
475	0
525	0

Figura 5.9. Ajuste de los modelos postulados a los datos recolectados de la antena celular 2 del Edificio Paterdam.

V.3.3. Edificio Danino.

Altura de la antena: 35mts.	**Número de mediciones:** 92.	**Distancia máxima de medición:** 300mts.

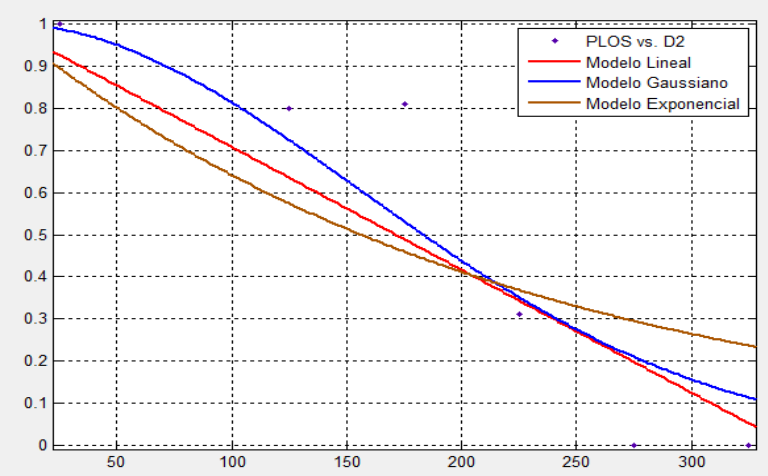


d [m]	PLOS
25	1,00
75	0,73
125	0,71
175	0,32
225	0,00
275	0,00

Figura 5.10. Ajuste de los modelos postulados a los datos recolectados de la antena celular (Edificio Danino).

V.3.4. Edificio Rea.

Altura de la antena: 55mts.	**Número de mediciones:** 100	**Distancia máxima de medición:** 340mts.

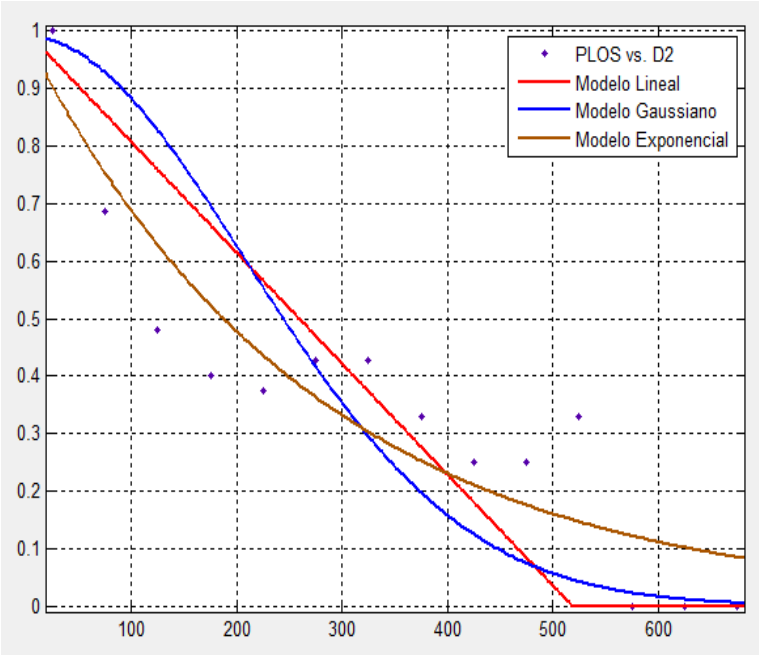


d [m]	PLOS
25	1
125	0,8
175	0,81
225	0,31
275	0
325	0

Figura 5.11. Ajuste de los modelos postulados a los datos recolectados de la antena celular (Edficio Rea).

V.3.5. C.C. Multiplaza Victoria (Antena 1).

Altura de la antena: 60mts.	**Número de mediciones:** 131.	**Distancia máxima de medición:** 775mts.

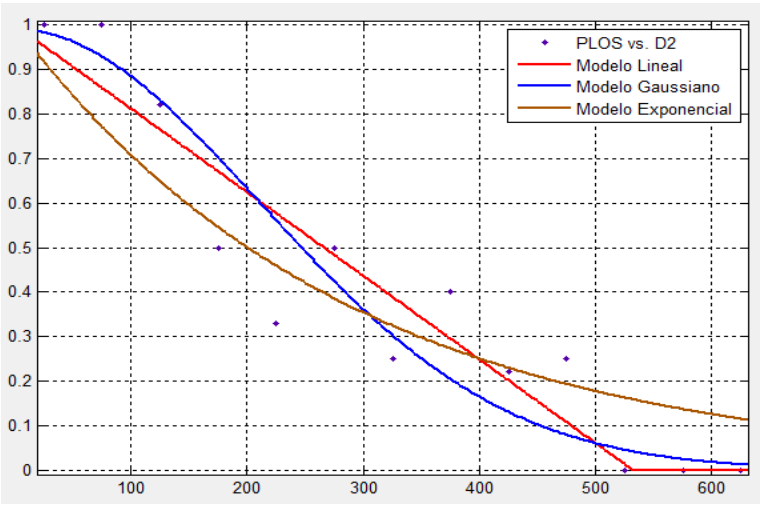


d [m]	PLOS
25	1
75	0.6875
125	0.4814
175	0.40
225	0.375
275	0.4285
325	0.4285
375	0.33
425	0.25
475	0.25
525	0.33
575	0
625	0
675	0
725	0
775	0

Figura 5.12. Ajuste de los modelos postulados a los datos recolectados de la antena celular 1 del C.C. Multiplaza Victoria.

V.3.6. C.C. Multiplaza Victoria (Antena 2).

Altura de la antena: 60mts.	**Número de mediciones:** 83.	**Distancia máxima de medición:** 630mts.



d [m]	PLOS
25	1
75	1
125	0.82
175	0.50
225	0.33
275	0.50
325	0.25
375	0.40
425	0.22
475	0.25
525	0
575	0
625	0

Figura 5.13. Ajuste de los modelos postulados a los datos recolectados de la antena celular 2 del C.C. Multiplaza Victoria.

A continuación se presenta la Tabla 5.2 que expresa los valores obtenidos de R^2 y de los parámetros escogidos por cada uno de los modelos postulados.

Tabla 5.2. Resumen de valores obtenidos de R^2 y parámetros para los modelos postulados para la Zona 2.

Modelo	**Parámetro [m]**	**V.3.1**	**V.3.2**	**V.3.3**	**V.3.4**	**V.3.5**	**V.3.6**
Lineal		0.83	0.9603	0.9233	0.8166	0.622	0.887
	do	342.2	428.1	264.6	342.7	518.5	532.2
Gaussiano		0.7154	0.9467	0.9359	0.854	0.5153	0.8738
	d1	207	250.9	160.6	219.9	295.3	298.7
Exponencial							
	d2	200.52	236.74	158.67	224.82	274.42	288.60

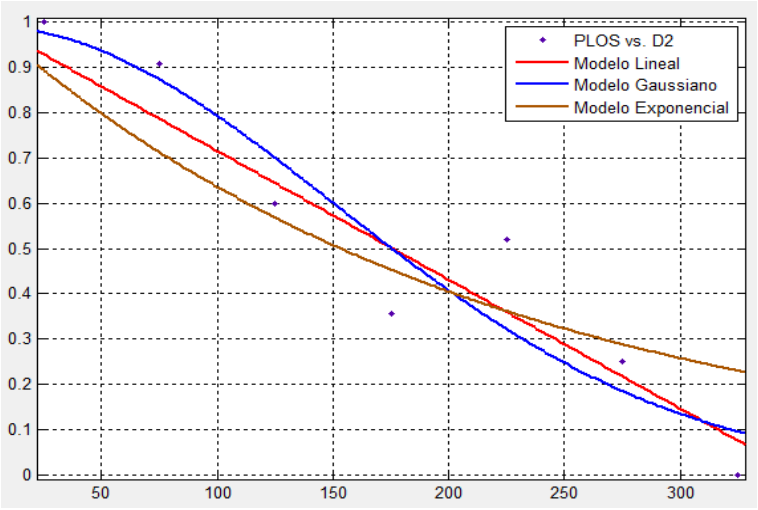
Los valores resaltados en la tabla representan el valor máximo de R^2 obtenidos luego de realizar comparaciones entre los modelos por cada una de las celdas. El modelo líneal presenta valores de R^2 máximos en 3 antenas celulares contra 2 valores máximos obtenidos del ajuste con el modelo gaussiano y 1 valor máximo obtenido del modelo exponencial.

V.4. Resultados obtenidos para la Zona 3: Centro de Caracas.

En las siguientes gráficas se evidencia el comportamiento de la probabilidad de línea de vista por cada cierto recorrido en metros para 6 celdas correspondientes a la zona 3. A su vez, se aprecia que a pesar de que el comportamiento de las gráficas es decreciente, existen puntos con pequeñas variaciones entre valores altos y mínimos. En esta zona, el modelaje de mayor ajuste está dividido entre el modelo lineal y el modelo exponencial.

V.4.1. Centro Profesional Urdaneta.

Altura de la antena: 62mts.	**Número de mediciones:** 108.	**Distancia máxima de medición:** 350mts.

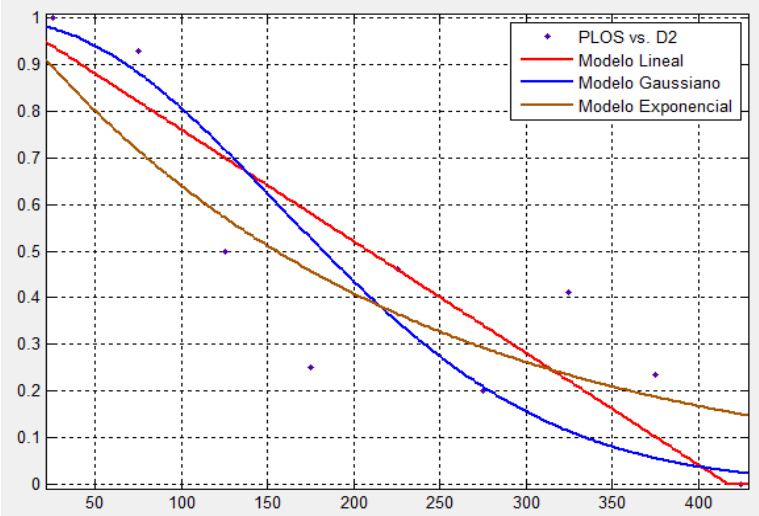


d [m]	PLOS
25	1
75	0.9091
125	0.6000
175	0.3548
225	0.5185
275	0.2500
325	0

Figura 5.14. Ajuste de los modelos postulados a los datos recolectados de la antena celular (Centro Profesional Urdaneta).

V.4.2. Edificio Bancario.

Altura de la antena: 66mts.	**Número de mediciones:** 112	**Distancia máxima de medición:** 450mts.

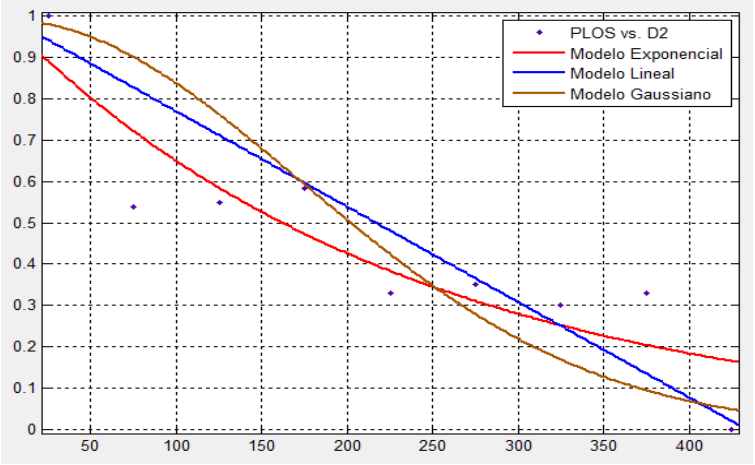


d [m]	PLOS
25	1
75	0.9286
125	0.5000
175	0.2500
225	0.4615
275	0.2000
325	0.4118
375	0.2353
425	0

Figura 5.15. Ajuste de los modelos postulados a los datos recolectados de la antena celular (Edificio Bancario).

V.4.3. Edificio Insbanca.

Altura de la antena: 56mts.	**Número de mediciones:** 80	**Distancia máxima de medición:** 450mts.

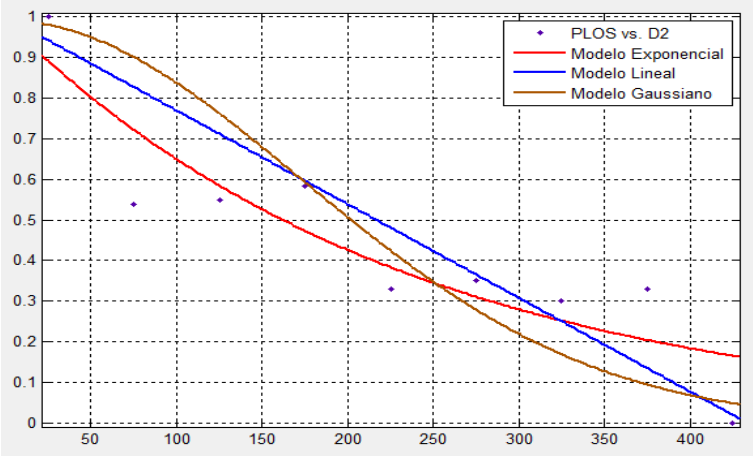


d [m]	PLOS
25	1
75	0.5385
125	0.555
175	0.5833
225	0.333
275	0.35
325	0.3077
375	0.33
425	0

Figura 5.16. Ajuste de los modelos postulados a los datos recolectados de la antena celular (Edificio Insbanca).

V.4.4. Edificio Lecuna.

Altura de la antena: 27mts.	**Número de mediciones:** 96	**Distancia máxima de medición:** 450mts.

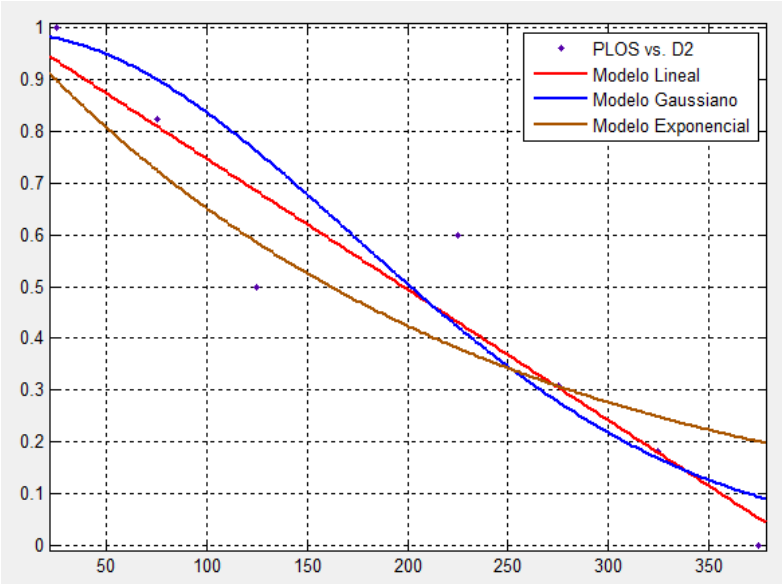


d [m]	PLOS
25	1
75	0.5385
125	0.55
175	0.5833
225	0.33
275	0.35
325	0.30
375	0.33
425	0

Figura 5.17. Ajuste de los modelos postulados a los datos recolectados de la antena celular (Edificio Lecuna).

V.4.5. Edificio Parza.

Altura de la antena: 45mts.	**Número de mediciones:** 109.	**Distancia máxima de medición:** 400mts.

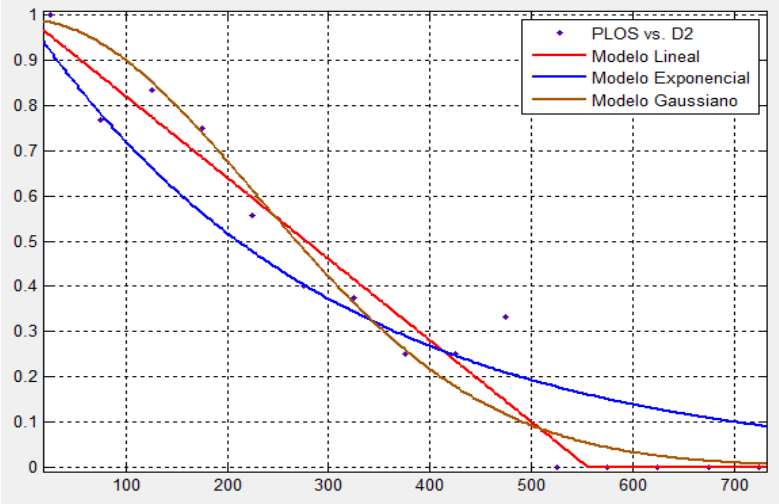


d [m]	PLOS
25	1
75	0.8235
125	0.5000
225	0.6000
275	0.3077
325	0.1818
375	0

Figura 5.18. Ajuste de los modelos postulados a los datos recolectados de la antena celular (Edificio Parza).

V.4.6. Edificio Sudameris.

Altura de la antena: 63mts	**Número de mediciones:** 86	**Distancia máxima de medición:** 700mts.



d [m]	PLOS
25	1
75	0.7692
125	0.8333
175	0.7500
225	0.5556
275	0.4000
325	0.3750
375	0.2500
425	0.2500
475	0.3333
525	0
575	0
625	0
675	0

Figura 5.19. Ajuste de los modelos postulados a los datos recolectados de la antena celular (Edificio Sudameris).

A continuación se presenta la Tabla 5.3 que expresa los valores obtenidos de R^2 y de los parámetros escogidos por cada uno de los modelos postulados.

Tabla 5.3. Resumen de valores obtenidos de R^2 y parámetros para los modelos postulados para la Zona 3.

Modelo	Parámetro [m]	V.4.1	V.4.2	V.4.3	V.4.4	V.4.5	V.4.6
Lineal		0.9003	0.7304	0.708	0.706	0.9079	0.9536
	do	351.4	417.4	434.7	433.5	395.5	555.7
Gaussiano		0.8876	0.7041	0.5574	0.5577	0.8459	0.94
	d1	212.3	220.5	245.7	244.3	243.7	324.5
Exponencial		0.8162	0.7984	0.8186	0.8194	0.8411	0.8887
	d2	220.70	223.36	238.54	237.02	232.66	303.21

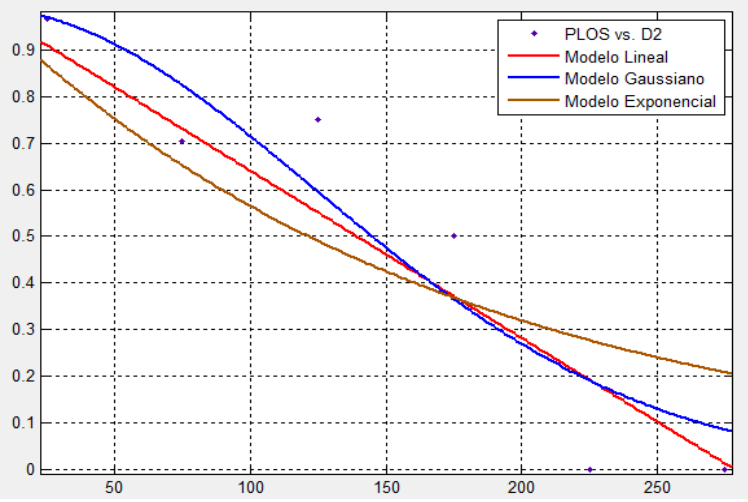
Los valores resaltados en la tabla representan el valor máximo de R^2 obtenidos luego de realizar comparaciones entre los modelos por cada una de las celdas. El modelo líneal presenta valores de R^2 máximos en 3 antenas celulares contra 3 valores máximos obtenidos del ajuste con el modelo exponencial. Los valores de R^2 obtenidos con el modelo gaussiano son inferiores a los obtenidos con el modelo exponencial y lineal.

V.5. Resultados obtenidos para la Zona 4: Colinas de Bello Monte.

En las siguientes gráficas se evidencia el comportamiento de la probabilidad de línea de vista por cada cierto recorrido en metros para 6 celdas correspondientes a la zona 4. A su vez, se aprecia que a pesar de que el comportamiento de las gráficas es decreciente, existen puntos con pequeñas variaciones entre valores altos y mínimos. En esta zona, el modelaje de mayor ajuste corresponde con el modelo lineal.

V.5.1. Edificio Cantv Colinas de Bello Monte.

Altura de la antena: 49mts	**Número de mediciones:** 99	**Distancia máxima de medición:** 300mts.

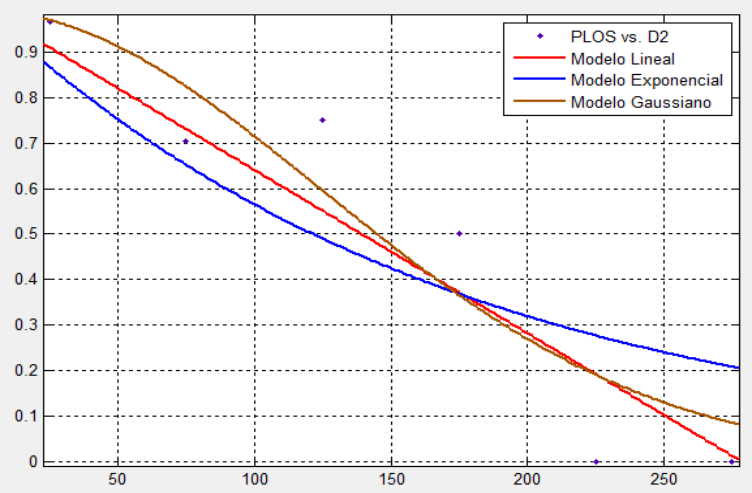


d [m]	PLOS
25	1
75	0,77
125	0,7
175	0,75
225	0,5
275	0

Figura 5.20. Ajuste de los modelos postulados a los datos recolectados de la antena celular (Edificio Cantv Colinas de Bello Monte).

V.5.2. Edificio Flavia (Antena 1).

Altura de la antena: 52mts	**Número de mediciones:** 96	**Distancia máxima de medición:** 300mts

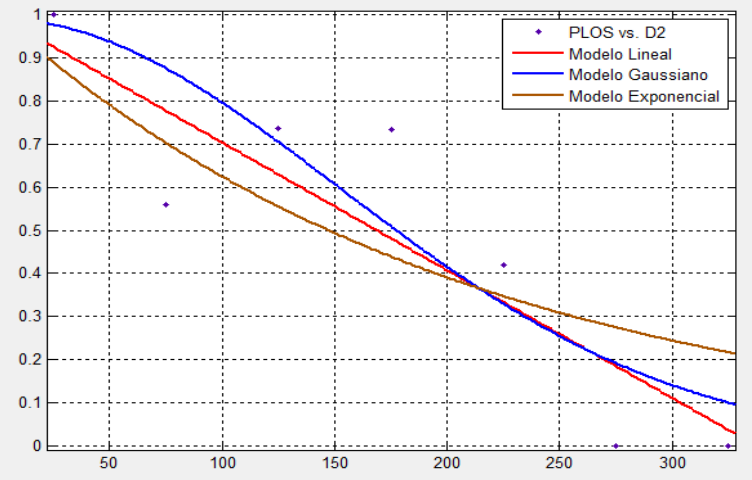


d [m]	PLOS
25	1
75	0,66
125	0,66
175	0,56
225	0
275	0

Figura 5.21. Ajuste de los modelos postulados a los datos recolectados de la antena celular 1 del Edificio Flavia.

V.5.3. Edificio Flavia (Antena 2).

Altura de la antena: 52mts	**Número de mediciones:** 95	**Distancia máxima de medición:** 350mts

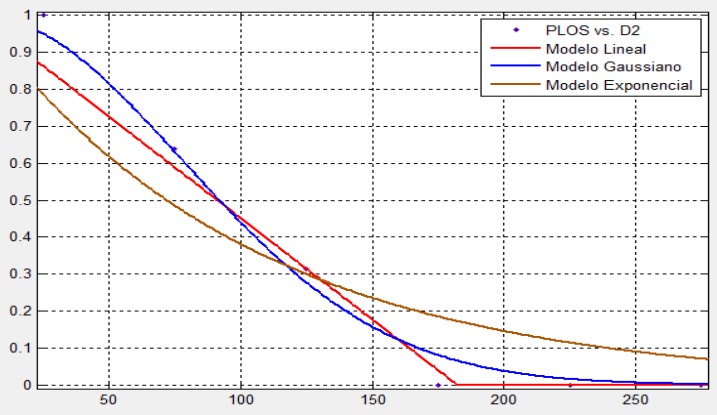


d [m]	PLOS
25	1
75	0.56
125	0.7368
175	0.7333
225	0.42
275	0
325	0

Figura 5.22. Ajuste de los modelos postulados a los datos recolectados de la antena celular 2 del Edificio Flavia.

V.5.4. Edificio Yoraco (Antena 1).

Altura de la antena: 66mts	**Número de mediciones:** 92	**Distancia máxima de medición:** 300mts



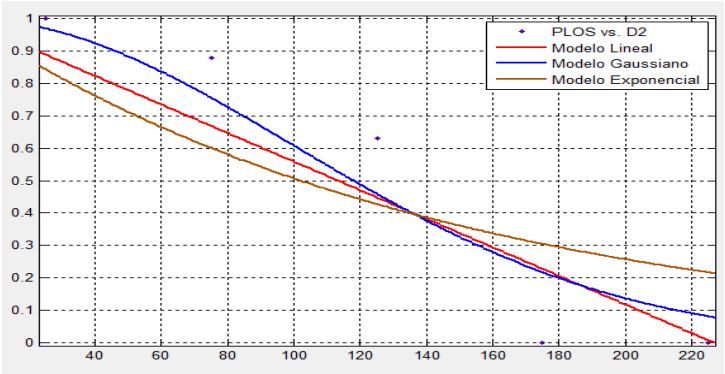
d [m]	PLOS
25	1
75	0,55
125	0,64
175	0,31
225	0
275	0

Figura 5.23. Ajuste de los modelos postulados a los datos recolectados de la antena celular 1 del Edificio Yoraco.

V.5.5. Edificio Yoraco (Antena 2).

Altura de la antena: 66mts	**Número de mediciones:** 101	**Distancia máxima de medición:** 300mts

Altura de la antena: 66mts.

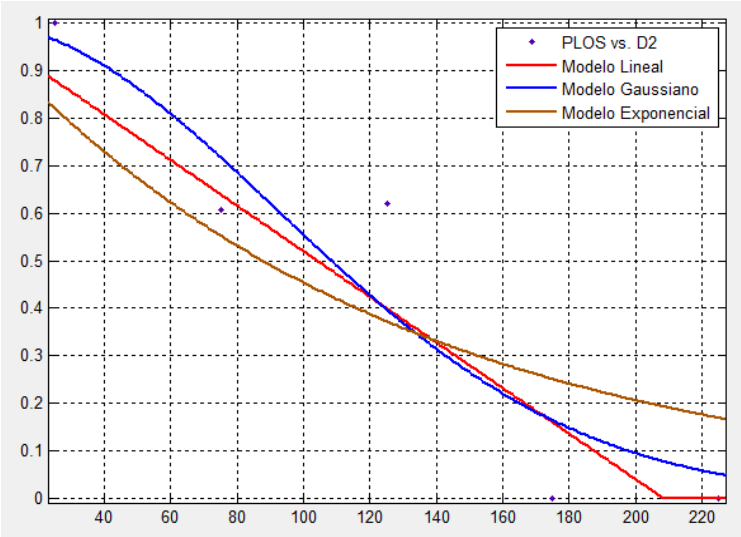


d [m]	PLOS
25	1
75	0,88
125	0,63
175	0,61
225	0
275	0

Figura 5.24. Ajuste de los modelos postulados a los datos recolectados de la antena celular 2 del Edificio Yoraco.

V.5.6. Metromed.

Altura de la antena: 28mts.	**Número de mediciones:** 79.	**Distancia máxima de medición:** 250mts.



d [m]	PLOS
25	1
75	0.6061
125	0.6190
175	0
225	0

Figura 5.25. Ajuste de los modelos postulados a los datos recolectados de la antena celular (Edificio Metromed).

A continuación se presenta la Tabla 5.4 que expresa los valores obtenidos de R^2 y de los parámetros escogidos por cada uno de los modelos postulados.

Tabla 5.4. Resumen de valores obtenidos de R^2 y parámetros para los modelos postulados para la Zona 4.

Modelo	Parámetro [m]	V.5.1	V.5.2	V.5.3	V.5.4	V.5.5	V.5.6
Lineal		0.8818	0.8818	0.8035	0.9737	0.8446	0.8828
	do	278.5	278.5	337.3	182.3	226.5	208.2
Gaussiano		0.8781	0.8781	0.7626	0.9879	0.8913	0.8788
	d1	175.3	175.3	214.5	110.3	141.6	130
Exponencial		0.7353	0.7353	0.6788	0.8605	0.6899	0.7542
	d2	174.94	174.94	212.17	103.59	146.84	126.36

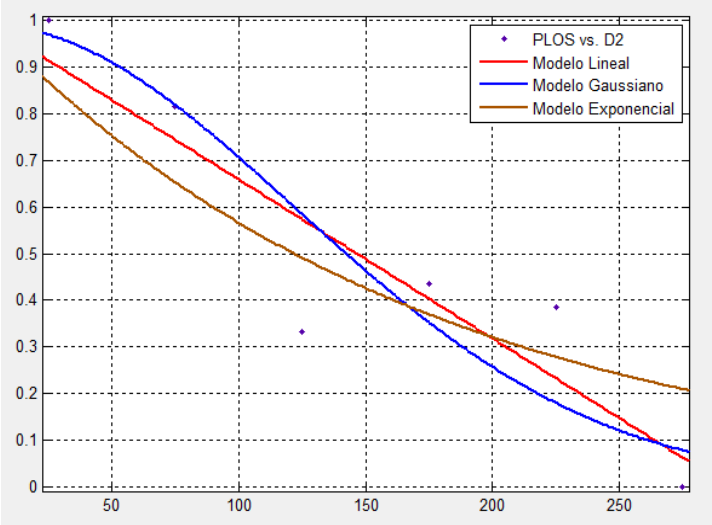
Los valores resaltados en la tabla representan el valor máximo de R^2 obtenidos luego de realizar comparaciones entre los modelos por cada una de las celdas. El modelo lineal presenta valores de R^2 máximos en 4 antenas celulares contra 2 valores máximos obtenidos del ajuste con el modelo gaussiano.

V.6. Resultados obtenidos para la Zona 5: Montalbán.

En las siguientes gráficas se evidencia el comportamiento de la probabilidad de línea de vista por cada cierto recorrido en metros para 6 celdas correspondientes a la zona 5. A su vez, se aprecia que a pesar de que el comportamiento de las gráficas es decreciente, existen puntos con pequeñas variaciones entre valores altos y mínimos. En esta zona, el modelaje de mayor ajuste corresponde con el modelo gaussiano.

V.6.1. Ant6.

Altura de la antena: 39mts.	**Número de mediciones:** 99.	**Distancia máxima de medición:** 300mts.



d [m]	PLOS
25	1
75	0.8148
125	0.333
175	0.4348
225	0.3846
275	0

Figura 5. 26. Ajuste de los modelos postulados a los datos recolectados de la antena celular (Ant6).

V.6.2. Res. Gersil I (Ant 1).

Altura de la antena: 38mts.	**Número de mediciones:** 83.	**Distancia máxima de medición:** 700mts.

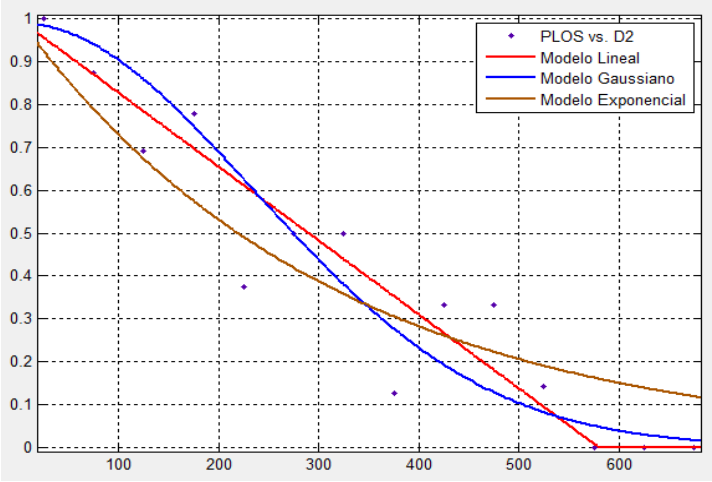


Figura 5.27. Ajuste de los modelos postulados a los datos recolectados de la antena celular 1 del Edificio Gersil I.

d [m]	PLOS
25	1
75	0.8750
125	0.6923
175	0.7778
225	0.3750
275	0.5000
325	0.5000
375	0.1250
425	0.3333
475	0.3333
525	0.1429
575	0
625	0
675	0

V.6.3. Res. Gersil I (Ant 2).

Altura de la antena: 38mts.	**Número de mediciones:** 77.	**Distancia máxima de medición:** 600mts.

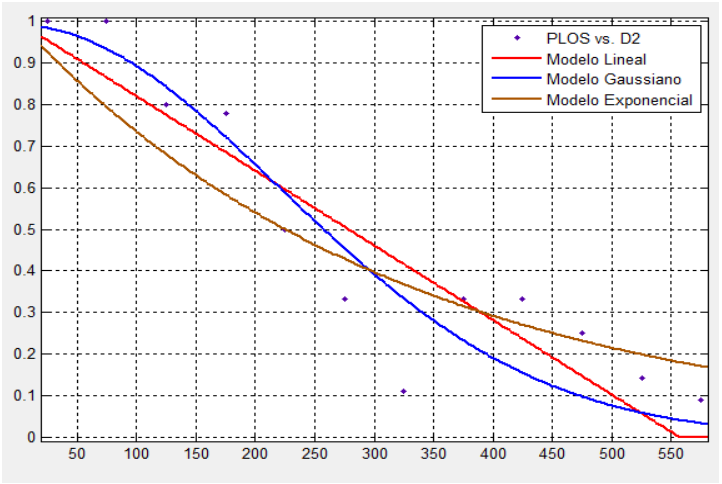
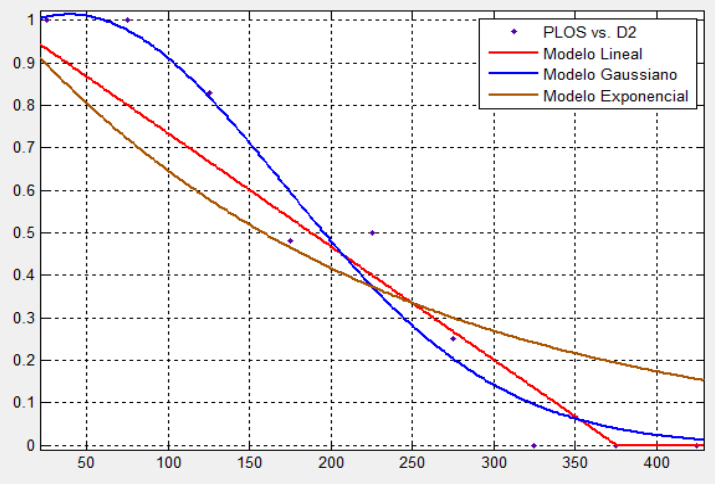


Figura 5.28. Ajuste de los modelos postulados a los datos recolectados de la antena celular 2 del Edificio Gersil I.

d [m]	PLOS
25	1
75	1
125	0,8
175	0,78
225	1
275	0,17
325	0,67
375	0,67
425	0,78
475	0,5
525	0,5
575	0,09

V.6.4. Res. O´Higgins.

Altura de la antena: 67mts.	**Número de mediciones:** 82.	**Distancia máxima de medición:** 450mts.

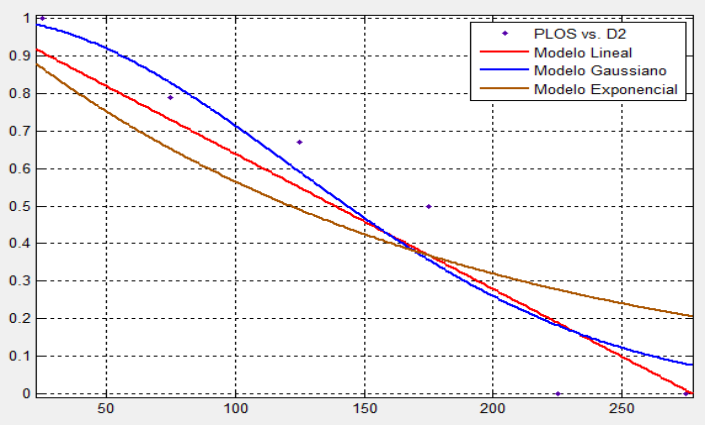


d [m]	PLOS
25	1
75	1
125	0,83
175	0,48
225	0,5
275	0,25
325	0
375	0
425	0

Figura 5.29. Ajuste de los modelos postulados a los datos recolectados de la antena celular del Edificio O´Higgins.

V.6.5. Edificio Taxco.

Altura de la antena: 42mts.	**Número de mediciones:** 84.	**Distancia máxima de medición:** 300mts.

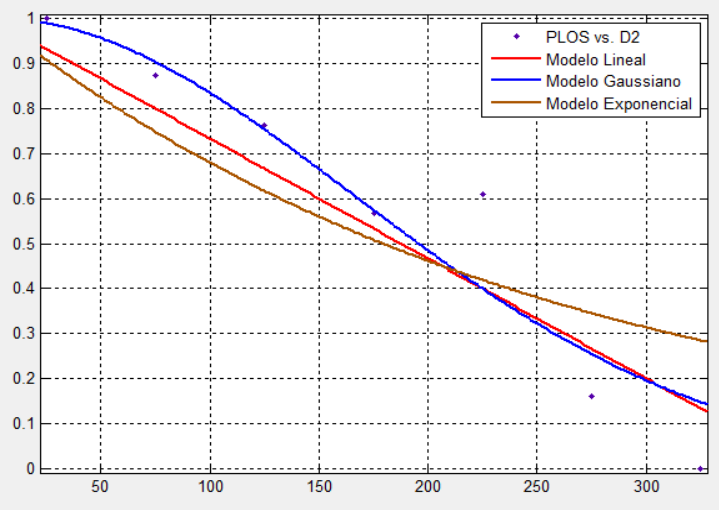


d [m]	PLOS
25	1
75	0,79
125	0,67
175	0,5
225	0
275	0

Figura 5.30. Ajuste de los modelos postulados a los datos recolectados de la antena celular Edificio Taxco.

V.6.6. Torre Cantv Montalbán.

Altura de la antena: 28mts.	**Número de mediciones:** 116.	**Distancia máxima de medición:** 350mts.



d [m]	PLOS
25	1
75	0.875
125	0.7631
175	0.5676
225	0.61
275	0.16
325	0

Figura 5.31. Ajuste de los modelos postulados a los datos recolectados de la antena celular (Cantv Montalbán).

A continuación se presenta la Tabla 5.5 que expresa los valores obtenidos de R^2 y de los parámetros escogidos por cada uno de los modelos postulados.

Tabla 5.5. Resumen valores obtenidos de R^2 y parámetros para los modelos postulados para la Zona 5.

Modelo	Parámetro [m]	V.6.1	V.6.2	V.6.3	V.6.4	V.6.5	V.6.6
Lineal		0.8477	0.8912	0.8426	0.9272	0.9082	0.8842
	do	293.2	579.5	556.7	375.8	277.3	375
Gaussiano		0.8153	0.8616	0.8741	0.9694	0.9214	0.9063
	d1	172.2	332.2	311.6	186.3	172.2	234.8
Exponencial		0.8015	0.8592	0.8492	0.7928	0.7611	0.752
	d2	175.50	315.65	324.25	228.31	175.00	258.06

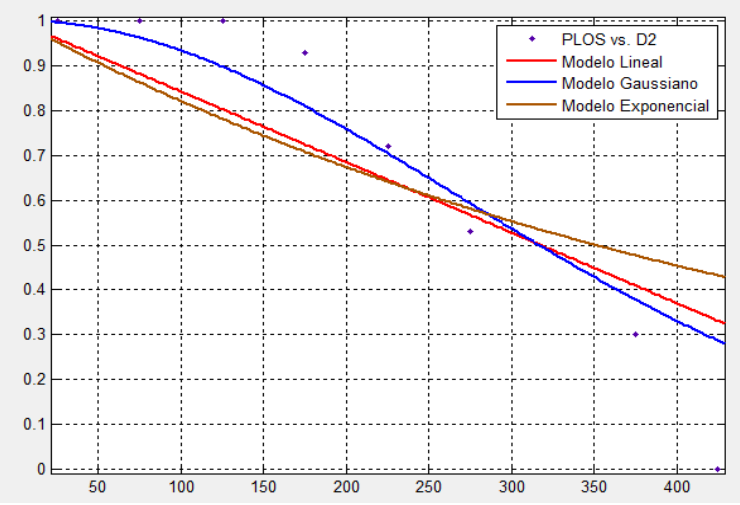
Los valores resaltados en la tabla representan el valor máximo de R^2 obtenidos luego de realizar comparaciones entre los modelos por cada una de las celdas. El modelo líneal presenta valores de R^2 máximos en 2 antenas celulares contra 4 valores máximos obtenidos del ajuste con el modelo gaussiano.

V.7. Resultados obtenidos para la Zona 6: Santa Mónica Los Chaguaramos.

En las siguientes gráficas se evidencia el comportamiento de la probabilidad de línea de vista por cada cierto recorrido en metros para 6 celdas correspondientes a la zona 6. A su vez, se aprecia que a pesar de que el comportamiento de las gráficas es decreciente, existen puntos con pequeñas variaciones entre valores altos y mínimos. En esta zona, el modelaje de mayor ajuste corresponde con el modelo lineal.

V.7.1. Torre Cantv Santa Mónica.

Altura de la antena: 37mts.	**Número de mediciones:** 94.	**Distancia máxima de medición:** 450mts.

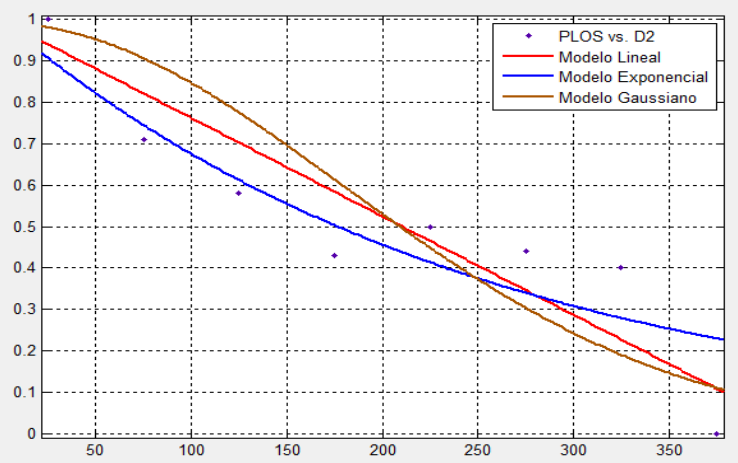


d [m]	PLOS
25	1
75	1
125	1
175	0,93
225	0,72
275	0,53
325	0,81
375	0,3
425	0

Figura 5.32. Ajuste de los modelos postulados a los datos recolectados de la antena celular (Cantv Santa Mónica).

V.7.2. Edificio Milano.

Altura de la antena: 36mts.	**Número de mediciones:** 91.	**Distancia máxima de medición:** 400mts.

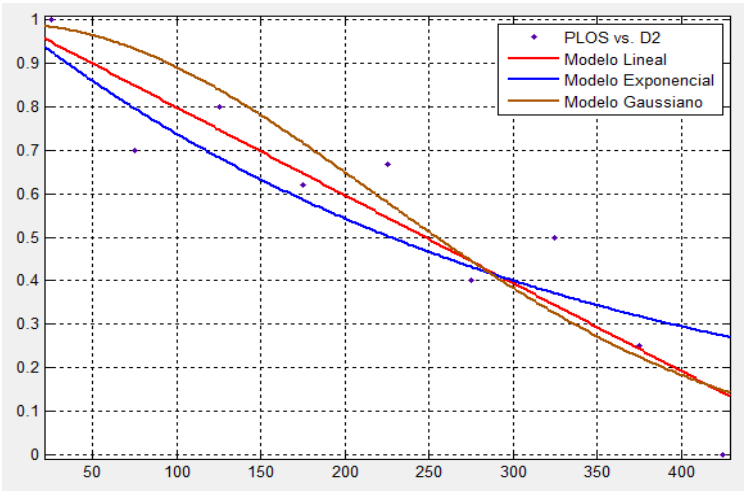


d [m]	PLOS
25	1
75	0,71
125	0,58
175	0,43
225	0,5
275	0,44
325	0,4
375	0

Figura 5.33. Ajuste de los modelos postulados a los datos recolectados de la antena celular (Edificio Milano).

V.7.3. Edificio Monte Rosa.

Altura de la antena: 48mts.	**Número de mediciones:** 100.	**Distancia máxima de medición:** 450mts.

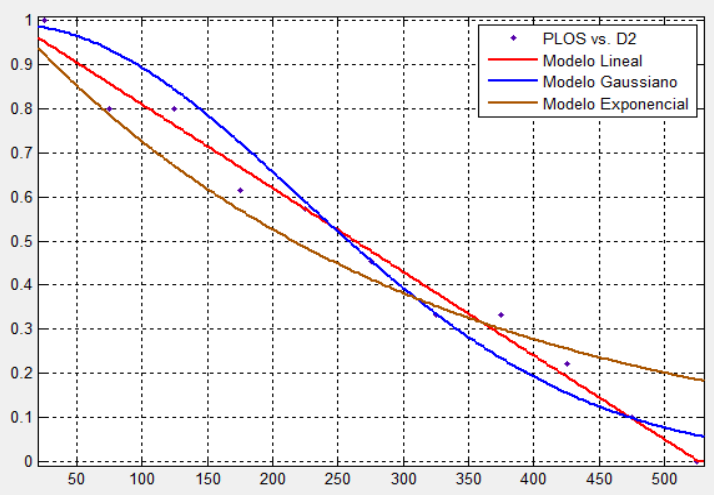


d [m]	PLOS
25	1
75	0.7000
125	0.8000
175	0.6190
225	0.6667
275	0.4000
325	0.5000
375	0.2500
425	0

Figura 5.34. Ajuste de los modelos postulados a los datos recolectados de la antena celular (Edificio Monte Rosa).

V.7.4. Edificio Río Caribe.

Altura de la antena: 42mts.	**Número de mediciones:** 96.	**Distancia máxima de medición:** 550mts.

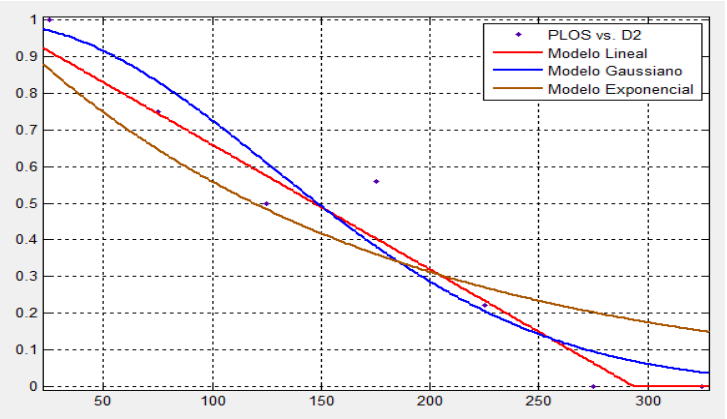


d [m]	PLOS
25	1
75	0.8000
125	0.8000
175	0.6154
225	0.5714
275	0.4545
325	0.3333
375	0.3333
425	0.2222
475	0.1000
525	0

Figura 5.35. Ajuste de los modelos postulados a los datos recolectados de la antena celular (Edificio Río Caribe).

V.7.5. Edificio Vegliante.

Altura de la antena: 43mts.	**Número de mediciones:** 104.	**Distancia máxima de medición:** 300mts.

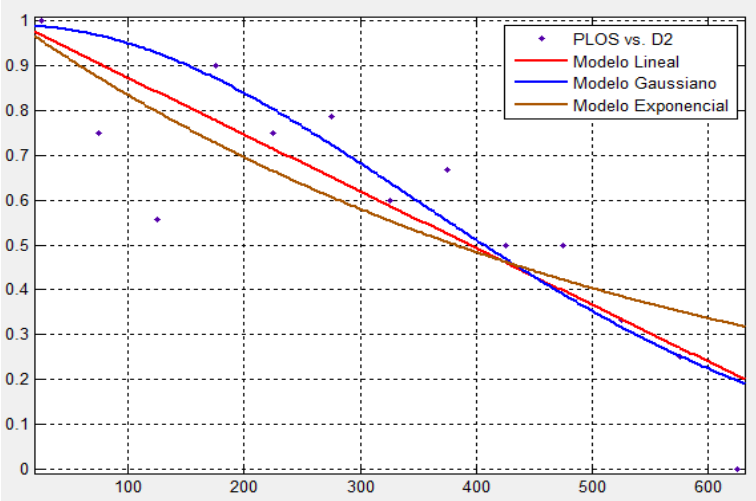


d [m]	PLOS
25	0,75
75	0,5
125	0,56
175	0,22
225	0
275	0

Figura 5.36. Ajuste de los modelos postulados a los datos recolectados de la antena celular (Edificio Vegliante).

V.7.6. Edificio Zory.

Altura de la antena: 32mts.	**Número de mediciones:** 104.	**Distancia máxima de medición:** 650mts.



d [m]	PLOS
25	1
75	0.7500
125	0.5556
175	0.9000
225	0.7500
275	0.7857
325	0.6000
375	0.6667
425	0.5000
475	0.5000
525	0.3333
575	0.2500
625	0

Figura 5.37. Ajuste de los modelos postulados a los datos recolectados de la antena celular (Edificio Zory).

A continuación se presenta la Tabla 5.6 que expresa los valores obtenidos de R^2 y de los parámetros escogidos por cada uno de los modelos postulados.

Tabla 5.6. Resumen de valores obtenidos de R^2 y parámetros para los modelos postulados para la Zona 6.

Modelo	Parámetro [m]	V.7.1	V.7.2	V.7.3	V.7.4	V.7.5	V.7.6
Lineal		0.6763	0.8129	0.8765	0.9842	0.9521	0.7608
	do	635	420.6	495.2	526.2	293.6	788.5
Gaussiano		0.7768	0.8616	0.8228	0.9494	0.9288	0.713
	d1	380.1	253	307.9	312.1	179.5	491.7
Exponencial		0.5811	0.8223	0.7887	0.9142	0.8441	0.6734
	d2	505.05	254.25	326.90	310.94	171.52	549.45

El modelo líneal presenta valores de R^2 máximos en 4 antenas celulares contra 2 valores máximos obtenidos del ajuste con el modelo gaussiano.

Una vez obtenidos los valores de bondad de ajuste para cada uno de los modelos postulados (Lineal, Gaussiano y Exponencial), se procede con el análisis de los valores que hacen referencia a "R-square" (R^2), sabiendo que a medida en que el valor se aproxima a uno (1) se tiene un mejor ajuste del modelo con respecto a los valores reales. En base a ello, se tomaron en cuenta los valores de R^2 de cada uno de los modelos para así determinar cuál puede ser considerado como un modelo general, cuyo comportamiento con respecto a los resultados obtenidos sea el más aceptable.

V.8. Procedimiento para la determinación del Modelo General.

El procedimiento para la determinación del modelo que más se ajusta a los resultados consiste en promediar los valores de R^2 obtenidos por cada modelo (Lineal, Gaussiano y Exponencial) con la finalidad de comparar dichos valores y elegir cuál es el modelo más apropiado.

En la Tabla 5.7, al realizar el cálculo de los distintos promedios de R^2 por cada una de las zonas se evidencia que los resultados de R^2 promedio obtenidos con el modelo lineal son superiores a los obtenidos con el modelo gaussiano en 3 de las 6 zonas que abarcan la campaña de mediciones (zona 1, zona 2 y zona 6). De acuerdo a estos resultados se puede afirmar que el mejor ajuste para las zonas correspondientes a un tipo de edificaciones bajas y medianas en un área plana se relaciona con un modelo lineal (zonas 2 y 6).

Por otra parte, se evidencia en la Tabla 5.7 que el modelo gaussiano se adapta muy bien a la zona 4 de edificaciones altas para un área montañosa y a la zona 5 con un tipo de edificación (Casas-Quintas) dentro de un área considerada como plana. Sin embargo, al comparar los valores de R^2 promedio entre ambos modelos (Lineal y Gaussiano) se

evidencia que la variación entre ellos es muy pequeña, por lo tanto, el ajuste del modelo lineal también es prácticamente igual de preciso para estas condiciones.

En lo que respecta a la zona 1, con un tipo de edificación (Casas-Quintas) dentro de un área montañosa se evidencia en la Tabla 5.7 que el modelo lineal se adapta muy bien a los resultados.

Por su parte, el modelo exponencial se ajusta mejor a la zona 3 de edificaciones altas para un área plana. Sin embargo, en la zona 3 al comparar los valores de R^2 promedio entre ambos modelos (Lineal y Exponencial) se evidencia que la variación entre ellos es muy pequeña, por lo tanto, el modelo lineal también es considerable para estas condiciones.

Por consiguiente, se ha determinado que el modelo lineal se ajusta mejor sobre el promedio de todas las zonas, y por ende, es considerado como el modelo general para la predicción de línea de vista en canales de radio celular urbanos.

Tabla 5.7. Valores de R^2 promedio por cada uno de los modelos postulados (Elaboración propia).

ZONA 1	ALTAMIRA-LA CASTELLANA		Casas-Quintas				
							R-square promedio
Lineal	0,8297	0,7358	0,8176	0,8192	0,9514	0,8544	0,834683333
Gaussiano	0,7489	0,7276	0,8707	0,8224	0,9356	0,7889	0,815683333
Exponencial	0,7824	0,636	0,6796	0,7106	0,8666	0,7705	0,74095
ZONA 2	**AV. VICTORIA**		**Edificaciones Bajas y Medianas**				
Lineal	0,83	0,9603	0,9233	0,8166	0,622	0,887	0,839866667
Gaussiano	0,7154	0,9467	0,9359	0,854	0,5153	0,8738	0,80685
Exponencial	0,7969	0,8873	0,7846	0,6597	0,84	0,8627	0,8052
ZONA 3	**CENTRO**		**Edificaciones Altas**				
Lineal	0,9003	0,7304	0,708	0,706	0,9079	0,9536	0,8177
Gaussiano	0,8876	0,7041	0,5574	0,5577	0,8459	0,94	0,748783333
Exponencial	0,8162	0,7984	0,8186	0,8194	0,8411	0,8887	0,8304
ZONA 4	**COLINAS DE BELLO MONTE**		**Edificaciones Altas**				
Lineal	0,8818	0,8818	0,8035	0,9737	0,8446	0,8828	0,878033333
Gaussiano	0,8781	0,8781	0,7626	0,9879	0,8913	0,8788	0,879466667
Exponencial	0,8162	0,7984	0,8186	0,8194	0,8411	0,8887	0,8304
ZONA 5	**MONTALBÁN**		**Casas-Quintas**				
Lineal	0,8477	0,8912	0,8426	0,9272	0,9082	0,8842	0,883516667
Gaussiano	0,8153	0,8616	0,8741	0,9694	0,9214	0,9063	0,89135
Exponencial	0,8015	0,8592	0,8492	0,7928	0,7611	0,752	0,802633333
ZONA 6	**SANTA MÓNICA**		**Edificaciones Bajas y Medianas**				
Lineal	0,6763	0,8129	0,8765	0,9842	0,9521	0,7608	0,8438
Gaussiano	0,7768	0,8616	0,8228	0,9494	0,9288	0,713	0,842066667
Exponencial	0,5811	0,8223	0,7887	0,9142	0,8441	0,6734	0,770633333
Modelo/Zonas	**Zona 1**	**Zona2**	**Zona 3**	**Zona 4**	**Zona 5**	**Zona 6**	**Promedio**
Lineal	0,8346	0,8398	0,8177	0,878	0,8835	0,8438	0,849574833
Gaussiano	0,8156	0,80685	0,7487	0,8795	0,8914	0,8421	0,830672211
Exponencial	0,7409	0,8052	0,8304	0,8304	0,8026	0,7706	0,796694438

En la Tabla 5.8 se evidencia que el parámetro (do) del modelo lineal presenta un valor promedio mínimo igual a 252 mts (zona 4) y un valor promedio máximo igual a 566 mts (zona 1). Las variaciones presentes en el valor promedio del parámetro (do) dependen del tipo de área (plana-montañosa) y tipo de edificaciones cercanas a la celda (bajas, medianas, altas, casas-quintas).

Tabla 5.8. Valores promedio de la distancia de corte para cada una de las zonas (Elaboración propia)

Zonas	**Antenas Celulares**							
	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**		
Zona 1	938	566	508	372	344	668	<do>	566
Zona 2	342	428	265	343	519	532	<do>	405
Zona 3	351	417	435	434	396	556	<do>	431
Zona 4	279	279	337	182	227	208	<do>	252
Zona 5	293	580	557	376	277	375	<do>	410
Zona 6	635	421	495	526	294	789	<do>	527
Todas las Zonas	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	<<do>>	432
<do>	566	405	431	252	410	527	St	163,04

Al promediar los valores de los promedios del parámetro (do) para todas las zonas se establece que alrededor de los **432mts** será el punto a partir del cual la probabilidad de línea de vista se hace cero. El valor de la distancia de corte promedio encontrada puede validarse con [3], el cual establece una distancia de corte de 300mts para el modelo lineal establecido en microceldas urbanas.

Con respecto a la posible inclusión de la variable altura de la antena (h) al modelo lineal, se ha determinado que no se observa un comportamiento coherente del parámetro do en función de h que permita establecer cierta dependencia. Al realizar un análisis global

(todas las zonas) se ha encontrado que el valor de la desviación estándar de la distancia de corte normalizada contra su media es mucho menor que el valor de la desviación estándar del cociente entre distancia de corte y altura de antena normalizado contra su media, lo cual permite concluir que no es posible establecer una dependencia entre el parámetro do y la variable altura de la antena para el modelo general.

De esta manera se puede decir que el modelo lineal con una distancia de corte promedio de 432mts es el modelo que más se ajusta a los resultados obtenidos en la campaña de mediciones para tipos de área (plana, montañosa) en presencia de edificaciones bajas, medianas, altas y casas-quintas.

Capítulo VI
Conclusiones y Recomendaciones

En este trabajo especial de grado se ha estudiado el problema del modelaje de la condición de línea de vista en canales de radio celular urbanos, llegándose a la postulación de un modelo de PLOS linealmente decreciente. El modelo general establecido comprende un parámetro denotado como distancia de corte, este parámetro representa el punto a partir del cual la probabilidad de línea de vista se hace cero (0). El valor promedio postulado para esa distancia de corte es de 432m.

La conveniencia en cuanto a la postulación de uno o varios modelos matemáticos para el estudio de la predicción de la condición de línea de vista debe estar enfocada considerando la mayor simplicidad posible, es decir, un (1) sólo parámetro y poca complejidad en su expresión matemática. Esta consideración se debe a que la naturaleza del canal de radio es muy compleja.

Se ha determinado que el modelo lineal se ajusta considerablemente a los resultados obtenidos en la campaña de mediciones debido a que refleja altos valores de bondad de ajuste, esto quiere decir que la curva resultante en donde se representa la probabilidad de línea de vista con respecto a la distancia está muy cercana a los puntos que representan los datos obtenidos.

Por otra parte, se observó que para cada una de las celdas correspondientes a las diferentes zonas, el parámetro (do) presenta cierta variabilidad, lo cual refleja la existencia de una dependencia local, es decir, la ubicación de cada una de las celdas y características propias de las zonas hace que exista tal variabilidad entre las distancias de corte.

Al probar la hipótesis de la posible dependencia de la variable altura al modelo general se ha encontrado que la desviación estándar del parámetro (do) normalizado es menor que la desviación estándar del parámetro (do/h) normalizado, lo cual está en contradicción con estudios anteriores [3]. De esta manera, se puede decir que no se pudo encontrar ningún criterio que permita afinar la estimación de esa distancia de corte (do) en función de alguna de las condiciones que afectan la línea de vista, más allá de su valor promedio.

Los valores promedio de la distancia de corte se encuentran dentro de un rango que está entre los 252-566m. Haciendo uso de esta información se recomienda a los usuarios externos tomar el valor promedio postulado considerando su rango de variabilidad.

La manera más sencilla y precisa de ajustar el parámetro (do) es simplemente haciéndolo constante e igual al promedio hallado. Al realizar la prueba de desviación estándar normalizada al parámetro (do) se determinó un rango de valores moderado dentro de cada zona, es decir, relativamente pequeño. Este rango se ubica entre 15-38 % respecto al valor promedio.

Se ha encontrado que el modelo exponencial para la predicción de línea de vista en macroceldas urbanas no es tan preciso debido a que decrece mucho más que el modelo lineal y modelo gaussiano, esto expresa que la probabilidad de línea de vista se hará cero (0) en distancias muy superiores a las distancias que abarcan el rango (do) establecido por el modelo lineal, condición que se aleja de la realidad.

Otros modelos más complejos tales como los postulados recientemente en [22] también podrían aplicarse a la data recolectada. Además, se recomienda que en futuros trabajos se extienda el rango de mediciones, de forma que se recojan suficientes puntos a partir del cual la probabilidad de línea de vista se hace cero (0) con la finalidad de lograr un mejor ajuste al modelo general planteado.

Bibliografía

[1] Okumura, T., Ohmori, E. y Fukuda, K. *"Field Strngth and its variability in VHF and UHF land mobile service," Review Electrical Communication Laboratory.* 2008. págs. 825-873.

[2] Rappaport, T. S. *Wireless Communications Principles and Practice.* s.l. : Prentice-Hall, 1996.

[3] Badra, R.E. y Zambrano, A. *Street-Level LOS/NLOS model for urban macrocells based on observations.* s.l. : Wireless Communications and Networking Conference (WCNC). IEEE Issue Date: 28-31, 2011. págs. 1294-97.

[4] Biddiscombe, J.A. *Modelling line of sight availability for high frecuency urban radio networks.* s.l. : IEEE MTT-S Symposium on Technologies for Wireless Applications, 1999. págs. 105-110.

[5] Alegsa.com.ar. [En línea] 2011. www.alegsa.com.ar/Dic/osi.php.

[6] Tanenbaum. *Computer Networks.* s.l. : Fourth Edition. Prentice , 2003.

[7] Herramientas web para la enseñanza de protocolos de transmisión . [En línea] http://neo.lcc.uma.es/evirtual/cdd/tutorial/fisico/Mtransm.html.

[8] Mediciones de radiación celular . [En línea] http://www.ticovision.com/cgi-bin/index.cgi?action=viewnews&id=7156.

[9] Russel, R. Windows to the Universe. [En línea] 2005. http://www.windows2universe.org/php/404error.php.

[10] M. Malave. Sistemas de Comunicación Inalámbrica. Transmisión de voz. [En línea] http://neutron.ing.ucv.ve/revista-e/No2/mauriem.html.

[11] Kriptópolis. [En línea] http://www.kriptopolis.org/geoposicionamiento-gsm-4..

[12] Vega, C. *Sistemas de Telecomunicación.* Madrid : Santander, 2007.

[13] Olivier Capp´e, Simon J. Godstill and Eric Moulines. An overview of existing methods and recent advances in sequential Monte Carlo. [En línea] pags 1-3.

[14] Wireless Networking. Distribuidor Certificado. "Línea de Vista". [En línea] http://www.highwaytech.com.mx/lineavista.htm..

[15] Bauer, G. Jakoby, R. *Analysis for Fixed broadband Wireless Access Systems.* s.l. : European Conference on Wireless Technologies, 2007. págs. 229-232.

[16] *3GPP & 3GPP2. Spatial Channel Model AHG.* . 2003.

[17] ACTS Project AC215 . *Cellular Radio Access for Broadband Services (CRABS), Specification of next-generation of LMDS architecture, Deliverable D2P1B.* 1999.

[18] Cavenaire. [En línea] 2011. http://www.cavenaire.com.ve/contacto.html.

[19] Distancia Geográfica. [En línea] 2011. http://www.arrakis.es/~mcj/notas013.htm..

[20] Estrategia de recorrido de las zonas. [En línea] http://maps.google.es/..

[21] *ETSI Rec TR 125 996. UMTS Spatial Channel Model for MIMO simulations. Versión 9.* 2010.

[22] Pekka K, Juha M. Winner II Channel Models. 2007. Vol. D1.1.2 V1.2, pág. 82

[23] Relaciones entre variables. [En línea] 2011. http://halweb.uc3m.es/esp/Personal/personas/jmmarin/esp/EDescrip/tema6.pdf.

[24] Map Source software version 6.16.3 as of October 25, 2010.

[25] Google Earth software version 6. (2011).

ANEXOS

La sección de anexos ilustra el procedimiento llevado a cabo para la realización de la Campaña de Mediciones. A continuación se presenta una fotografía correspondiente a la antena celular de una zona específica con su respectivo registro de mediciones y ejemplo de los mapas utilizados para ilustrar el recorrido establecido. Este proceso fue llevado a cabo para cada una de las 36 celdas que abarcan la Campaña de Mediciones. Al final de la sección encontraremos el código usado en el “software” Matlab para la generación de la nueva matriz.

A.) Registro de altura y coordenadas geográficas correspondiente a la antena celular Farmahorro.

Zona Urbana: Altamira-La Castellana	Coordenadas Geográficas
Farmahorro	N 10º30.400’ W066º50.874’

B.) Registro de mediciones tomadas en la antena celular Farmahorro.

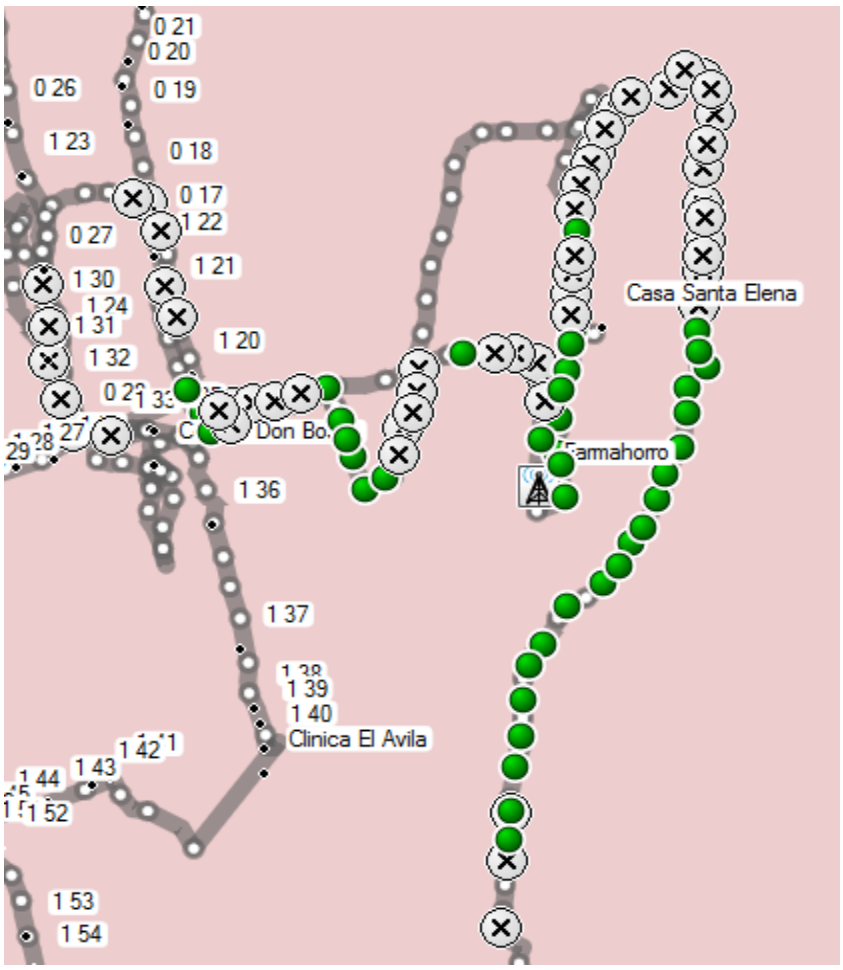
Altura de la antena: 30mts.

	PUNTO A (MÓVIL)		PUNTO B (ANTENA)			
Medición Nº	LatA(Rad)	LongA(Rad)	LatB(Rad)	LongB(Rad)	Dist (m)	LOS/NLOS
1	0,1833221	1,1667205	0,1833760	1,1667158	344,8580595	0
2	0,1833303	1,1667198	0,1833760	1,1667158	292,4139252	0
3	0,1833908	1,1667304	0,1833760	1,1667158	131,7852743	0
4	0,1833833	1,1667322	0,1833760	1,1667158	112,8843768	0
5	0,1833861	1,1667524	0,1833760	1,1667158	238,4801329	0
6	0,1834111	1,1667626	0,1833760	1,1667158	368,5173300	0
7	0,1834009	1,1667749	0,1833760	1,1667158	403,2992473	0
8	0,1833917	1,1667742	0,1833760	1,1667158	379,6831108	0
9	0,1833830	1,1667715	0,1833760	1,1667158	351,5890790	0
10	0,1833360	1,1667194	0,1833760	1,1667158	255,6693766	0
11	0,1833985	1,1666971	0,1833760	1,1667158	185,0962004	0
12	0,1834027	1,1666968	0,1833760	1,1667158	207,7140496	0
13	0,1834065	1,1666964	0,1833760	1,1667158	229,3319278	0
14	0,1834109	1,1666966	0,1833760	1,1667158	252,8250508	0
15	0,1834173	1,1667093	0,1833760	1,1667158	266,6186138	0
16	0,1833999	1,1667123	0,1833760	1,1667158	153,8983463	0
17	0,1833896	1,1667151	0,1833760	1,1667158	86,8422422	0
18	0,1833360	1,1667194	0,1833760	1,1667158	255,6693766	1
19	0,1833807	1,1666992	0,1833760	1,1667158	108,1161337	1
20	0,1833882	1,1666985	0,1833760	1,1667158	133,3184336	1
21	0,1833906	1,1666962	0,1833760	1,1667158	154,0074686	1
22	0,1833952	1,1666973	0,1833760	1,1667158	168,4973973	1
23	0,1833948	1,1667121	0,1833760	1,1667158	122,2655703	1
24	0,1833844	1,1667137	0,1833760	1,1667158	54,9623724	1
25	0,1833802	1,1667139	0,1833760	1,1667158	29,2714945	1
26	0,1833817	1,1667160	0,1833760	1,1667158	36,7106340	1
27	0,1833758	1,1667367	0,1833760	1,1667158	131,2014405	1
28	0,1833849	1,1667559	0,1833760	1,1667158	257,7754530	1
29	0,1833416	1,1667189	0,1833760	1,1667158	219,9362383	1
30	0,1833496	1,1667180	0,1833760	1,1667158	168,5048321	1
31	0,1833566	1,1667156	0,1833760	1,1667158	123,4311856	1

32	0,1833613	1,1667126	0,1833760	1,1667158	95,4544089	1
33	0,1833643	1,1667084	0,1833760	1,1667158	87,5151043	1
34	0,1833690	1,1667051	0,1833760	1,1667158	80,1628956	1
35	0,1833744	1,1667020	0,1833760	1,1667158	86,9490207	1
36	0,1833776	1,1667009	0,1833760	1,1667158	93,4683209	1
37	0,1834153	1,1666966	0,1833760	1,1667158	277,5924671	0
38	0,1834219	1,1666952	0,1833760	1,1667158	319,6344458	0
39	0,1834263	1,1666968	0,1833760	1,1667158	341,6957583	0
40	0,1834250	1,1667008	0,1833760	1,1667158	326,2979501	0
41	0,1834226	1,1667069	0,1833760	1,1667158	302,0810153	0
42	0,1834201	1,1667081	0,1833760	1,1667158	285,4064543	0
43	0,1834158	1,1667100	0,1833760	1,1667158	256,0787409	0
44	0,1834133	1,1667111	0,1833760	1,1667158	239,7811363	0
45	0,1834025	1,1667121	0,1833760	1,1667158	170,5686148	0
46	0,1833973	1,1667123	0,1833760	1,1667158	137,4087678	0
47	0,1833913	1,1667163	0,1833760	1,1667158	97,9065109	0
48	0,1833926	1,1667189	0,1833760	1,1667158	107,4526670	0
49	0,1834273	1,1666988	0,1833760	1,1667158	343,6841621	0
50	0,1833926	1,1667214	0,1833760	1,1667158	111,2779793	0
51	0,1833866	1,1667154	0,1833760	1,1667158	67,8641974	0
52	0,1834242	1,1667051	0,1833760	1,1667158	314,0607021	0
53	0,1834104	1,1667118	0,1833760	1,1667158	220,4925792	0
54	0,1834046	1,1667119	0,1833760	1,1667158	183,9390691	0
55	0,1834046	1,1666966	0,1833760	1,1667158	218,4452336	0
56	0,1834093	1,1666964	0,1833760	1,1667158	244,6092099	0
57	0,1834182	1,1666961	0,1833760	1,1667158	296,0966959	0
58	0,1834249	1,1666955	0,1833760	1,1667158	336,1848713	0
59	0,1833926	1,1666971	0,1833760	1,1667158	157,6196431	1
60	0,1833851	1,1666985	0,1833760	1,1667158	122,7135586	1
61	0,1833709	1,1667037	0,1833760	1,1667158	82,0411818	1
62	0,1833748	1,1667130	0,1833760	1,1667158	19,1465927	1
63	0,1833664	1,1667065	0,1833760	1,1667158	84,2488591	1
64	0,1833542	1,1667172	0,1833760	1,1667158	139,2685937	1
65	0,1833453	1,1667182	0,1833760	1,1667158	196,3007163	1
66	0,1833325	1,1667196	0,1833760	1,1667158	277,9182002	1
67	0,1833786	1,1667135	0,1833760	1,1667158	21,9138143	1
68	0,1833903	1,1667128	0,1833760	1,1667158	93,0548507	1
69	0,1833879	1,1667135	0,1833760	1,1667158	76,9368447	1

70	0,1833934	1,1667125	0,1833760	1,1667158	113,1186643	1
71	0,1833769	1,1667343	0,1833760	1,1667158	116,0237520	1
72	0,1833797	1,1667381	0,1833760	1,1667158	141,8779363	1
73	0,1833842	1,1667395	0,1833760	1,1667158	157,6066341	1
74	0,1833880	1,1667413	0,1833760	1,1667158	177,1044637	1
75	0,1833828	1,1667550	0,1833760	1,1667158	249,7869288	1
76	0,1833879	1,1667578	0,1833760	1,1667158	274,1210987	1
77	0,1833817	1,1667390	0,1833760	1,1667158	149,9681456	1
78	0,1834074	1,1667116	0,1833760	1,1667158	201,8634982	1
79	0,1833924	1,1667250	0,1833760	1,1667158	119,5104566	1
80	0,1833865	1,1667500	0,1833760	1,1667158	224,4335099	0
81	0,1833868	1,1667474	0,1833760	1,1667158	209,5532790	0
82	0,1833877	1,1667444	0,1833760	1,1667158	194,1637129	0
83	0,1833838	1,1667526	0,1833760	1,1667158	236,0517838	0
84	0,1833854	1,1667542	0,1833760	1,1667158	247,9087119	0
85	0,1833879	1,1667306	0,1833760	1,1667158	119,8057883	0
86	0,1833852	1,1667311	0,1833760	1,1667158	112,8257989	0
87	0,1833802	1,1667327	0,1833760	1,1667158	109,3568924	0
88	0,1833959	1,1667742	0,1833760	1,1667158	387,5728628	0
89	0,1833870	1,1667729	0,1833760	1,1667158	364,3093417	0
90	0,1833823	1,1667669	0,1833760	1,1667158	322,8299061	0
91	0,1834077	1,1667610	0,1833760	1,1667158	348,0491425	0
92	0,1834009	1,1667606	0,1833760	1,1667158	322,8513184	0
93	0,1833969	1,1667591	0,1833760	1,1667158	302,1939063	0
94	0,1834118	1,1667643	0,1833760	1,1667158	379,9201977	0

C.) Representación de los puntos LOS/NLOS (Antena Celular: Farmahorro) [24].



D.) Mapa correspondiente a la ubicación de antenas celulares en la zona 1: Altamira [25].

E.) Código usado en Matlab para la generación de la nueva matriz.

Código.m

```
nfilas=size(Matriz1,1)      % Indica el número de filas de la Matriz1
ncol=size(Matriz1,2)        % Indica el número de columnas de la Matriz1
x=50                        % Variable x inicializada en 50 metros
inc=0                       % Variable incremento, inc inicializada en 0
contador=0                  % Variable contador inicializada en 0
suma=0                      % Variable suma inicializada en 0


for i=1 : nfilas            %Definición de un ciclo for que va desde 1 hasta número de filas

        if Matriz1(i)<=x                % Recorrido por cada 50 metros (aproximado)
                contador=contador+1
                suma=suma+Matriz1(i,ncol)
                if suma==0
                plos(i)=0
                end
        else
                plos(i)=suma/contador   % Probabilidad de Línea de Vista
                d(i)=x/2+inc            % Punto medio por cada 50 metros
                inc=inc+25
                x=x+50
                suma=0
                suma= suma+Matriz1(i,ncol)
                contador=1
        end
end

plos=plos'          % Columna correspondiente a la Probabilidad de Línea de Vista
        d=d'                % Columna correspondiente a la Distancia en metros
```