



UNIVERSIDAD
POLITECNICA
DE VALENCIA



Máster Universitario
en Tecnologías, Sistemas y
Redes de Comunicaciones

Estimación de la cobertura de los servicios de comunicaciones móviles 2G/3G en interiores a partir de medidas drive test

Autor: Juan José Calderón Colmenares

Director I: Narcís Cardona Marcet

Fecha de comienzo: Enero/15/2012

Lugar de trabajo: Grupo de Comunicaciones Móviles del iTEAM

1 Estimación de la cobertura de los servicios de comunicaciones móviles 2G/3G en interiores a partir de medidas de drive test

Objetivos —

1. Desarrollo de un modelo de propagación para interiores a partir de las medidas drive test y de las características del edificio (número de plantas, número de paredes y distancia a la referencia exterior) tomando como base el modelo de propagación empírico Multi-wall Cost 231.
2. Realizar una campaña de medidas de señal GSM 1800 MHz en interior y exterior basada en drive test, que permitan comparar los resultados obtenidos entre el modelo desarrollado y las pérdidas medidas.

Metodología —

Se realiza una campaña de medidas en el edificio ETSIT-1 donde se incluyen 4 puntos *outdoor* (ángulos del edificio: Norte, Sur, Este y Oeste) y 16 cubículos *indoor*, distribuidos en las 4 plantas del edificio; con estos datos en el laboratorio y con una serie de funciones diseñadas para el análisis y la obtención de los parámetros de ajuste del modelo y teniendo en cuenta el mejor punto de referencia exterior (de los 4 medidos) se hacen cinco pruebas que nos llevan a la consecución de 5 posibles modelos de los cuales solo 1 mostraba calidad. Para llegar a un mejor resultado se hace una nueva campaña de medidas que incluye 13 nuevos cubículos *indoor* y una nueva medición del punto *outdoor*; estas nuevas medidas realimentan el modelo obtenido en la primera fase y mediante dos pruebas más se ha llegado a la conclusión del modelo final, con unos valores de ajuste que se acomodan al diseño y a los parámetros de diseño (paredes, plantas, distancia) escogidos para dicho modelo; con estos valores de ajuste se procede a proponer el modelo y mostrar los resultados, para finalizar se establecerán unas recomendaciones en la realización de las medidas de campo para que al aplicar el modelo, este pueda brindar información confiable.

Desarrollos teóricos realizados —

Se han revisado brevemente los modelos de propagación empíricos *indoor* más utilizados; basados en esta bibliografía se describen los parámetros a tener en cuenta en el desarrollo de un modelo de propagación, tales como paredes atravesadas, distancia al punto de referencia y altura referenciada al número de plantas del cubículo. Igualmente se ha llevado a cabo el diseño de un modelo de propagación con datos reales tanto de parámetros de red como de diseño del edificio en base a medidas de drive test in situ para la banda 1800 MHz, ajustable para diferentes edificios y diferentes parámetros de RXLev. Se ilustran las pruebas realizadas con sus resultados hasta encontrar los valores de ajuste apropiados para el modelo propuesto y las recomendaciones necesarias para llevar a cabo una campaña de medidas que este acorde al modelo.

Desarrollo de prototipos y trabajo de laboratorio —

En el laboratorio se generaron 3 funciones que analizan los datos obtenidos en las campañas de medición, una función nos permite la lectura de los parámetros de la red (RXLev) y la información (altura, distancia, paredes) de los cubículos dentro del edificio con respecto a un punto de referencia, construyendo una matriz variable que depende de la cantidad de cubículos medidos; una segunda función, lee estos parámetros y mediante el método del simplex converge a los mínimos de la función que se convertirán a su vez en los parámetros (P_i) de ajuste del modelo y que nos llevan a la conclusión del modelo y una tercer función que

con el modelo ya establecido calcula las pérdidas ajustadas, también compara las pérdidas medidas con las ajustadas determinando así el error en el ajuste. El edificio escogido como escenario de mediciones fue ETSIT-1 y sus cubículos sirvieron para la calibración del modelo.

Resultados —

Se ha llegado a elaborar un documento que recopila de forma general el estado del arte en la materia, al enumerar y explicar algunos de los modelos de propagación empíricos más significativos, desarrollados y usados; igualmente se presenta un modelo de propagación **o2i** basado en medidas de drive test y soportado en el modelo multi-wall Cost 231, este modelo presenta 3 variables y 3 constantes, estas últimas; llamadas parámetros P_i , han sido calibradas a partir de las mediciones del parámetro $RXLev$; en este sentido ha sido importante el estudio realizado mediante dos campañas de medidas, donde fue determinante el proceso de selección de los cubículos a medir, los puntos de referencia *outdoor* a tomar y por supuesto los tiempos de medición que determinarían el número de muestras.

Líneas futuras —

Se ha de proceder a realizar campañas de medidas de drive test más extensas y de mayor duración que involucren las bandas 900 MHz – 1800 MHz con el fin de tener un universo mayor de muestras para realizar la calibración de futuros modelos de propagación **o2i**. Adicionalmente en torno a la geometría del edificio y sus cubículos tendrán que entrar a relacionarse el volumen y el área de los mismos con el fin de caracterizarlos de una manera más precisa ya que en áreas más abiertas o cerradas las condiciones de propagación cambian, teniendo especial cuidado en generalizar estas aéreas y volúmenes con alguna constante porque de no ser así se incurriría en un modelo particular y no en uno general y por último se podría pensar en caracterizar modelos **o2i** mediante drive test para servicio de datos, aprovechando así las cualidades del NEMO *Outdoor* que permite realizar una descarga FTP¹ en la tecnología HSDPA[1].

Publicaciones —

Se está preparando un paper el cual está en proceso de edición para ser publicado en las *XXII Jornadas Telecom I+D 2012* donde se mostrarán los principales resultados obtenidos en este trabajo fin de máster.

Abstract —

The estimation of indoor coverage from drive test measures presents a new way of calculating the propagation losses, this proposal based on the development of an outdoor to indoor (o2i) propagation model for the frequency band around 1800 MHz allows the operator to improve the indoor network coverage in order to provide better service to their subscribers. To demonstrate the reliability of o2i propagation model was made a comparison between the results (adjusted losses) and the losses measured through drive test measurements; the o2i propagation model developed in this work can predict indoor losses from the outdoor power transmitted considering the design parameters of buildings.

Autor: Calderón Colmenares Juan José, email: juacalco@upv.es
Director 1: Cardona Marcet Narcís, email: ncardona@iteam.upv.es
Fecha de entrega: 14-09-1

¹ Protocolo de transferencia de Archivos/Ficheros

INDICE

I. INTRODUCCION.	4
II. MODELO DE LA PROPAGACIÓN INDOOR. ESTADO DEL ARTE.	5
II.1. LOG-NORMAL SHADOWING PATH-LOSS MODEL.....	5
II.2. MODELO BASADO EN EL NÚMERO DE MUROS Y SUELOS (SIMPLIFICADO).....	6
II.3. MODELO ITU-R 1238-2.....	6
II.4. LINEAR PATH ATTENUATION MODEL.....	7
II.5. KEENAN-MOTLEY MODEL.....	8
II.6. ONE – SLOPE MODEL (ISM).	8
II.7. MULTI-WALL MODEL.....	9
II.8. MODELO DE PÉRDIDA DE TRAYECTO INDOOR MULTI-WALL COST 231(MWN).....	9
III. CAMPAÑAS DE MEDIDAS Y MÉTODO DE AJUSTE PARA EL MODELO DE PERDIDAS DE PROPAGACIÓN EN INTERIORES o2i.	10
III.1. CAMPAÑA DE MEDIDAS MEDIANTE DRIVE TEST.	11
III.2. PRIMERA CAMPAÑA DE MEDIDAS PARA RXLEV GSM-1800 MHz.	12
III.3. SEGUNDA CAMPAÑA DE MEDIDAS PARA RXLEV GSM-1800 MHz.	14
III.4. PUNTO DE REFERENCIA OUTDOOR PARA CALIBRAR EL MODELO	16
III.5. AJUSTE MEDIANTE PRIMERA MEDICION.	16
III.6. AJUSTE MEDIANTE SEGUNDA MEDICION.	18
III.7. DIAGRAMA DE FLUJO PARA METODO DE AJUSTE.	20
IV. RESULTADOS DEL MODELO DE PERDIDAS DE PROPAGACIÓN EN INTERIORES o2i.	21
IV.1. RESULTADOS MEDIANTE PRIMERA MEDICION.....	21
IV.2. RESULTADOS MEDIANTE SEGUNDA MEDICION.....	24
V. RESUMEN Y CONCLUSIONES.	32
VI.1. RESUMEN.	32
VI.2. CONCLUSIONES.	33
REFERENCIAS	35

I. INTRODUCCION.

El conocimiento de la cobertura de los servicios de comunicaciones móviles es un parámetro necesario para la correcta prestación de los servicios y la optimización energética de la red. Los operadores de comunicaciones móviles realizan a menudo campañas de medida drive test con el fin de conocer la cobertura y el estado de sus redes en escenarios *outdoor*. Sin embargo, debido a la dificultad de realizar medidas en el interior de edificios porque generalmente son de carácter privado y adicionalmente se requeriría medir una amplia y numerosa tipología de edificios los operadores buscan la solución en modelos ya establecidos para realizar estas estimaciones. En este trabajo de fin de máster se desarrollo un modelo capaz de estimar la cobertura en el interior de edificios a partir de las medidas drive test realizadas en el exterior que son más fáciles de tomar y que hacen parte del testeo habitual de cobertura por parte de los operadores proveedores.

Las paredes, suelos y techos atenúan la señal y provocan grandes variaciones en la potencia media recibida. Incluso los muebles y las estructuras metálicas de las paredes y techos tienen alto impacto, ya que refuerza la dispersión y la difracción [2] [3]. Existen muchos estudios sobre la propagación de la señal en el interior y corresponden a modelos que han sido generados en ambientes de laboratorio y/o cámaras anecoicas simulando el entorno (Edificaciones y obstáculos) y el parámetro de red $RXLe_x$, lo que puede generar en muchos de los casos márgenes de error muy grande que no brindan la confianza necesaria para hacer los respectivos ajustes que se necesitan en la red y así garantizar un óptimo servicio en los escenarios *indoor* [4]-[7].

Como respuesta a estas limitaciones y con el fin de ofrecer a los operadores un modelo que les permita mejorar la cobertura de sus redes en entornos *indoor* y así de forma competente mejorar la calidad de servicio percibida por el usuario surge la necesidad de proponer un modelo de propagación en interiores donde intervengan de forma directa los diferentes responsables de las pérdidas de potencia como lo son la geometría del emplazamiento y el nivel real de parámetro $RXLe_v$ que recibe y juntarlos en un modelo general que se considera más real.

Precisamente este trabajo mediante la herramienta de medición drive test NEMO proporcionada en el laboratorio [1], los planos de un emplazamiento real (ETSIT 1) y el desarrollo de algoritmos en matlab para el procesado de la información, busca el desarrollo de un modelo para predecir el nivel de señal en interiores o partir de las medidas drive test en el exterior ($\mathbf{o2i}$) y dar facilidad a los operadores para realizar los ajustes necesarios en la optimización de cobertura con el fin de ofrecer un mejor servicio en entorno *indoor* a sus usuarios.

Este modelo basado en el modelo MULTI-WALL COST 231[8], necesita de una amplia muestra de niveles de potencia recibida ($RXLe_v$) así como un número mínimo de cubículos *indoor* para realizar el ajuste y de las características del edificio (número de plantas, número de paredes y distancia a la referencia exterior); una vez garantizados estos aspectos se hace una propuesta de modelo que será descrita durante el desarrollo de este trabajo.

II. MODELO DE LA PROPAGACIÓN INDOOR. ESTADO DEL ARTE.

Un modelo de propagación es un conjunto de expresiones matemáticas, diagramas, y algoritmos utilizados para representar las características de radiopropagación en un entorno determinado. En general, la predicción de los modelos pueden ser empírica (también llamado estadístico) o teórica (también llamado determinista), o una combinación de estas dos. Mientras que los modelos empíricos se basan en mediciones, los modelos teóricos se basan en los principios fundamentales de los fenómenos de propagación de ondas de radio [9].

Por distintas razones, en ocasiones es difícil comparar los resultados de diferentes investigaciones; las pérdidas de propagación dependen de muchos factores como lo son la frecuencia, las condiciones de propagación a lo largo del edificio, la altura del receptor, la posición del edificio respecto al transmisor, los materiales de construcción y el número y tipo de ventanas del mismo. El modelo apropiado debe ser seleccionado basándose en las necesidades de diseño [10].

Los modelos empíricos se utilizan en el diseño de la red, mientras los modelos determinísticos se utilizan para las aplicaciones de alta precisión. Los primeros son menos complejos y necesitan menos parámetros de entrada, pero no predicen el desvanecimiento instantáneo de la señal [11] [12].

A continuación se presenta una pequeña selección y descripción de los modelos de propagación empíricos más destacados y que han servido de base para la realización de este trabajo [13].

II.1. LOG-NORMAL SHADOWING PATH-LOSS MODEL.

La mayor parte de los modelos empíricos se basan en el siguiente modelo (origen de referencia no encontrado o no definido), según el cual, las pérdidas en entornos cerrados se pueden expresar según una ecuación en función de la distancia entre transmisor y receptor como:

$$L(d) = PL(d_0) + 10n \log\left(\frac{d}{d_0}\right) + X\sigma \quad dB \quad (1)$$

Donde:

n - variable de pérdida de trayecto

$PL(d_0)$ - pérdida a distancia cercana de referencia

$X\sigma$ - desviación típica

Donde n es una variable de pérdida de trayecto que depende del tipo de entorno. La Tabla 1 muestra los valores típicos de n para diferentes entornos. $X\sigma$ es una variable aleatoria expresada en

dB que indica una desviación típica de σ dB. $PL (do)$ se calcula utilizando el modelo de propagación en espacios abiertos realizando medidas de campo. [14]

<i>Entorno</i>	<i>N</i>
Edificios (condiciones de visión directa)	1.6 a 2
Edificios (sin visión directa)	2 a 4
Edificios (sin visión directa, separación de uno a tres pisos)	4 a 6

Tabla 1. Variable de pérdida de trayecto

Este modelo es una técnica de estimación de pérdidas de propagación en entornos cerrados muy práctica y que tiene como principal ventaja que tiene en cuenta todos los factores que influyen en la propagación.

II.2. MODELO BASADO EN EL NÚMERO DE MUROS Y SUELOS (SIMPLIFICADO).

Caracteriza la pérdida de trayecto en interior por un exponente fijo de 2 (como en el espacio libre) y unos factores de pérdida relacionados con el número de suelos y muros que atraviesa la línea recta entre emisor y receptor. [14]

$$L = L_1 + 20 \log_{10}(r) + (n_f * a_f) + (n_w * a_w) \quad dB \quad (2)$$

Donde

r = distancia en metros en línea recta

L_1 = pérdida de referencia con $r=1$ metro

a_f = atenuación por cada suelo que atraviesa

a_w = atenuación por cada muro que atraviesa

n_f = número de suelos que atraviesa

n_w = número de muros que atraviesa

II.3. MODELO ITU-R 1238-2.

El objetivo, como sucede en el caso de los sistemas de exteriores, es garantizar una cobertura eficaz de la zona deseada (para garantizar un trayecto fiable, cuando se trata de sistemas punto a punto) y evitar la interferencia tanto dentro del sistema como con otros sistemas. No obstante, en interiores la cobertura depende notablemente de la geometría de los edificios, cuyos límites afectan además a la propagación [15].

$$L_{total} = 20 \log_{10} f + N \log_{10} d + L_f(n) - 28 \quad dB \quad (3)$$

Donde:

N : coeficiente de pérdida de potencia debida a la distancia

f : frecuencia (MHz)

d : distancia de separación (m) entre la estación de base y el terminal portátil (siendo $d > 1$ m)

7 Estimación de la cobertura de los servicios de comunicaciones móviles 2G/3G en interiores a partir de medidas de drive test

L_f : factor de pérdida de penetración en el suelo (dB)

n : número de pisos entre la estación de base y el terminal portátil ($n \in \mathbb{N}$).

En la tabla 2 y tabla 3 se indican los parámetros típicos basados en el resultado de algunas medidas que se han realizado. Al final de este punto se especifican adicionalmente directrices generales.

<i>Frecuencia</i>	<i>Edificio residencial</i>	<i>Edificio de oficinas</i>	<i>Edificio comercial</i>
900 MHz	–	33	20
1,2-1,3 GHz	–	32	22
1,8-2 GHz	28	30	22
4 GHz	–	28	22
5,2 GHz	–	31	–
60 GHz	–	22	17

Tabla 2. Coeficientes de pérdida de potencia, N

Frecuencia	Edificio residencial	Edificio de oficinas	Edificio comercial
900 MHz	–	9 (1 piso) 19 (2 pisos) 24 (3 pisos)	–
1,8-2 GHz	$4n$	$15 + 4(n - 1)$	$6 + 3(n - 1)$
5,2 GHz	–	16 (1 piso)	–

Tabla 3. Factores de pérdida de penetración en el suelo, L_f (dB), siendo n el número de pisos penetrados.

En las diferentes bandas de frecuencia en que no se disponga de un coeficiente de pérdida de potencia aplicable a los edificios residenciales, puede utilizarse el correspondiente a los edificios de oficinas [16].

Este modelo solo tiene en cuenta explícitamente el número de suelos. Las pérdidas en el mismo piso por atravesar muros, se incluyen implícitamente cambiando el exponente en la pérdida de trayecto, en el caso de los sistemas radioeléctricos de interiores, la predicción de la propagación difiere en cierta medida de la que se efectúa en relación con los sistemas de exteriores.

II.4. LINEAR PATH ATTENUATION MODEL.

Para un transmisor y un receptor que se encuentran en la misma planta, Andelman propuso el “*Linear path attenuation model*” [17]. El path loss medido en dB se obtiene del path loss en espacio libre (*PLFS*) más un factor que es lineal del rango que experimentalmente se ha obtenido.

La fórmula utilizada en este modelo es:

$$P_L(d) = P_{L_{FS}} + ad \quad dB \quad (4)$$

Dónde a es el coeficiente de atenuación lineal y d es la distancia entre transmisor y receptor. En el caso de un ambiente de oficinas, el coeficiente a sería 0.47 dB/m. Este modelo es bastante más simple que el modelo Log-Normal Shadowing Path Loss, y no tiene en consideración efectos de desvanecimiento. Sólo toma en consideración la pérdida en espacio libre. Este modelo es susceptible de ser específico de un sitio, esto es debido a que el valor de a varía de un entorno a otro y debe ser medido con precisión para poder demostrar los beneficios de este modelo [18].

II.5. KEENAN-MOTLEY MODEL.

Motley propuso un modelo que se basa tanto en la teoría, como en las medidas hechas en la práctica. Este modelo mide el *path loss* mediante la fuerza de la señal recibida y una distancia de referencia [19].

$$PL_{KM}(d) = PL_M + 10n \log_{10} d + K_F PL_{FS} \quad dB \quad (5)$$

PL_M : es el *path loss* medido a 1 metro.

PL_{FS} : es el *path loss* en espacio libre; incluyendo pérdidas por penetración a través de suelos/techos.

K_F : número de suelos/techos penetrados.

Este modelo depende tanto de la teoría como del *path loss* medido. El *path loss* medido es una buena forma de saber el comportamiento del modelo. Sin embargo este modelo no puede ser utilizado para predecir el nivel de señal recibido, dado el requerimiento de medidas del *path loss* reales [20].

II.6. ONE – SLOPE MODEL (ISM).

El *one-slope model (ISM)* asume una dependencia lineal entre *path loss* (dB) y la distancia logarítmica, las paredes y otros elementos no son considerados en este modelo [21].

$$L = L_0 + 10_n \log_{10} d \quad dB \quad (6)$$

Donde:

L_0 = Pérdidas a un metro de distancia.

n = índice de disminución de potencia.

d = Distancia desde el transmisor al receptor en metros.

Este modelo es muy fácil de usar porque solo la distancia entre receptor y transmisor aparece como parámetro de entrada [22].

II.7. MULTI-WALL MODEL.

Este modelo está caracterizado por un exponente de $n=2$, como *path loss* en el espacio libre; junto con factores de pérdida relacionados con el número de plantas (n_f) y muros (n_w) que interceptan la línea en visión directa a la distancia (d) entre los terminales [23].

$$PL_{MW} = PL_1 + 20 \log_{10} d + n_f a_f + n_w a_w \quad dB \quad (7)$$

PL_1 : *path loss* a 1 metro.

a_f : factor de atenuación de suelos.

a_w : factor de atenuación de muros.

n_f : número de suelos atravesados.

n_w : número de muros atravesados.

II.8. MODELO DE PÉRDIDA DE TRAYECTO INDOOR MULTI-WALL COST 231(MWN).

Es la base y guía del modelo propuesto en este trabajo; que, junto con la técnica de drive test, constituyen el diseño del modelo **o2i**. Está basado en el modelo COST 231[24]; el modelo COST 231 es un modelo empírico que tiene en cuenta las pérdidas de propagación en espacio abierto así como las pérdidas introducidas por las paredes, suelos y techos penetrados en el trayecto directo entre transmisor y receptor [16].

El modelo de pérdida de trayecto *indoor* Basado en COST 231 [8] es el modelo de propagación *indoor* utilizado en UMTS. Se ha recogido del ETSI TR-101-112 ch. B.1.8, la cual es una especificación de los procedimientos seleccionados para la elección de las tecnologías de transmisión de radio para UMTS y está definido así [25]:

$$L = L_{FS} + L_c + \sum(k_{wi} * L_{wi}) + n \left(\frac{(n+2)}{(n+1)} b \right) + L_f \quad dB \quad (8)$$

Donde:

L_{FS} = pérdida en espacio libre entre transmisor y receptor

L_c = constante de pérdida fijada normalmente en 37 dB.

k_{wi} = número de paredes de tipo i penetradas

n = número de suelos penetrados

L_{wi} = pérdida debida a muro de tipo i

L_f = pérdida entre suelos adyacentes

b = parámetro empírico

Tipo de Pérdida	Descripción	Factor (dB)
Lf	<i>Suelos (estructura típica)</i>	
	- Baldosas	18,3
	- Revestimientos de hormigón	
- Espesor típico < 30 cm		
Lw1	<i>Muros internos finos</i>	
	- Yeso - Muros con muchos Huecos (ventanas)	3,4
Lw2	<i>Muros internos</i>	
	- Hormigón, Ladrillos - Mínimo numero de huecos	6,9

Tabla 4. Valores medios de los factores de pérdida

La Figura 1 Muestra las pérdidas por planta que se encontraron con el modelo MULTI-WALL COST 231[16], nótese que las pérdidas adicionales por planta disminuyen a medida que las plantas aumentan; parece obvio ya que entre más altura, más cerca de los transmisores se encontrara el terminal o dispositivo móvil [22].

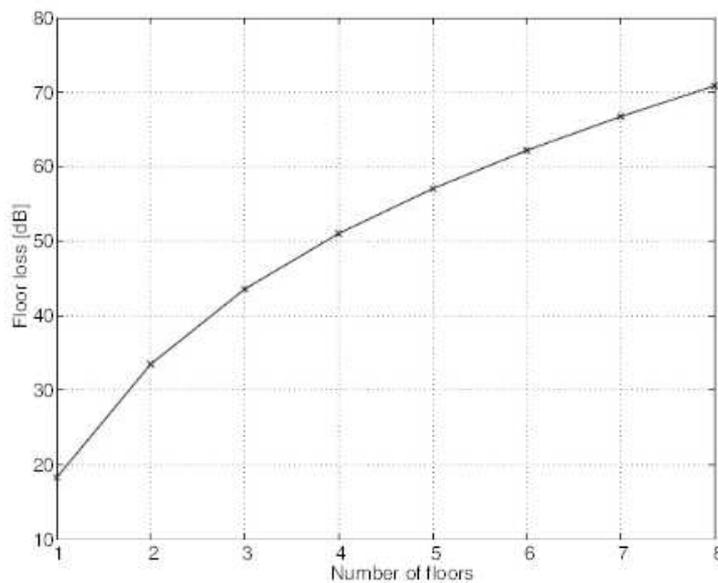


Fig.1. Perdidas por planta en MULTI-WALL cost 231

III. CAMPAÑAS DE MEDIDAS Y MÉTODO DE AJUSTE PARA EL MODELO DE PERDIDAS DE PROPAGACIÓN EN INTERIORES o2i.

En principio y teniendo como base el modelo empírico MULTI-WALL COST 231 y con la intención de diseñar un modelo de propagación o2i ajustado a medidas drive test utilizando puntos

de referencias exteriores [26]; se traza como meta encontrar los valores ideales de ajuste que se adapten a los objetivos y que logren cumplir que:

$$L(\text{dB}) = p_1 * 10 \log_{10} d + p_2 * h + p_3 * w \quad (10)$$

El punto inicial ha sido escogido de tal manera que los mínimos globales o valores de ajuste tuvieran unos valores positivos para P_1 y P_3 y negativos para P_2 , esto teniendo en cuenta que la distancia y el número de paredes están ubicados en un plano horizontal y la altura en plano vertical acusando mayores pérdidas entre más baja sea la planta y justificando así su número negativo ya que generalmente las antenas de propagación se encuentran a una altura superior y la radiación es obviamente de arriba hacia abajo.

Donde p_1, p_2, p_3 son los valores de ajuste calibrados para d, h, w respectivamente y que de ahora en adelante corresponderán a distancia, altura y número de paredes; con las pruebas de ajuste escogidas como definitivas.

Para realizar el ajuste del modelo fueron necesarias 7 pruebas utilizando los diferentes cubículos del emplazamiento, pruebas que fueron realizadas tomando como referencia el punto *outdoor* sur; con la primera campaña de medidas se realizaron 5 pruebas de las cuales 4 han sido absolutamente descartadas, la segunda campaña de medida que sirvió de refuerzo a la primera ha permitido realizar 2 pruebas más; ambas pruebas exitosas.

La realización de estas pruebas nos llevaron a calibrar el modelo y se hicieron mediante el proceso de algoritmos programados con Matlab; cuya función permitió hallar el mínimo mediante el método del simplex, haciendo uso de un punto inicial definido previamente. (Capítulo IV)

III.1. CAMPAÑA DE MEDIDAS MEDIANTE DRIVE TEST.

La idea principal de utilizar un drive test es la realización de medidas en espacios o terrenos amplios mediante un conjunto de dispositivos que son necesarios para llevar a cabo la medición; consiste en caracterizar el comportamiento de las redes (potencias, CQI, calidad etc.) en determinadas localizaciones que con simple estadística no podríamos hacerlo o tendríamos un margen de error muy alto.

La realización de un drive test trae como ventaja principal que las medidas realizadas van directamente asociadas a un punto geográfico exacto en un instante de tiempo determinado lo que permite captar niveles de señal específicos y con precisión casi absoluta.

La técnica a seguir es realizar directamente llamadas, (pasar de idle a activo) mediante un dispositivo adecuado para esto y almacenar la información de red en ficheros propios del software para posteriormente analizar los parámetros que se van a evaluar.

Para la realización de un drive test será necesario un ordenador portátil el cual tenga en

funcionamiento el software licenciado para realizar el drive test, adicionalmente de un terminal móvil compatible con este software y un dispositivo GPS para marcar la información geográfica del punto de medida; la herramienta utilizada en este trabajo para realizar las medidas drive test será el Nemo *Outdoor* proporcionado por el grupo de comunicaciones Móviles de iTeam.

Por último decir que la potencia recibida se mide bajo la primitiva *RXLev* del equipo de medición drive test.

III.2. PRIMERA CAMPAÑA DE MEDIDAS PARA RXLEV GSM-1800 MHz.

La primera campaña de medida planteo como objetivo la medida del parámetro de red *RXLev* GSM-1800 MHz en cubículos *indoor* del edificio ETSIT-1 y en cuatro puntos *outdoor* (norte, sur, este, oeste) del mismo; con mediciones mínimas de 3 minutos por cubículo con el fin de obtener 250 o más muestras del parámetro *RXLev* para poder validar el modelo en el laboratorio.

Se midieron 16 cubículos *indoor* distribuidos en las 4 plantas presentados en la tabla 5 y 4 puntos *outdoor* para un total de 20 mediciones; se complementan los datos necesarios para el modelo mediante el programa autocad haciendo el conteo de paredes (*Po2i*) y la distancia (*do2i* mt) a los puntos de referencia [11].

A partir de ahora y durante todo el documento se utilizarán las siguientes convenciones para referirnos a los cubículos del edificio, esto con el fin de dar continuidad a la terminología utilizada en la programación.

<i>Nombre original</i>	<i>Convención</i>	<i>Ubicación</i>
Aula B-5	aula5_0	Planta 0
Aseos	aseos_0	
Pasillo de despachos	pasil_0	
Lab. sistemas y circuitos	siYct_0	
Aseos	aseos_1	planta 1
Informática 5	info5_1	
Lab. instrumentación	instr_1	
Lab. microcontroladores	mcroc_1	planta 2
Sala ordenadores	compu_2	
Informática 3	info3_2	
Lab. Imagen y Sonido	imYso_2	
Aseos	aseos_2	planta 3
Dirección escuela	direc_3	
Secretaria escuela	secre_3	
Sala de técnicos	sa_te_3	
Lab. Micros y cocos	lb_co_3	

Tabla 5: Cubículos primera medición

En la figura 2 a-d se puede observar la distribución de los cubículos en el edificio ETSIT_1, junto con sus distancias a los puntos de referencia *outdoor*; esta información se complementa con el número de paredes y plantas que se han traspasado y con la medida del parámetro *RXLev* en media de cada uno de ellos y de la referencia vistas en Tabla 6.

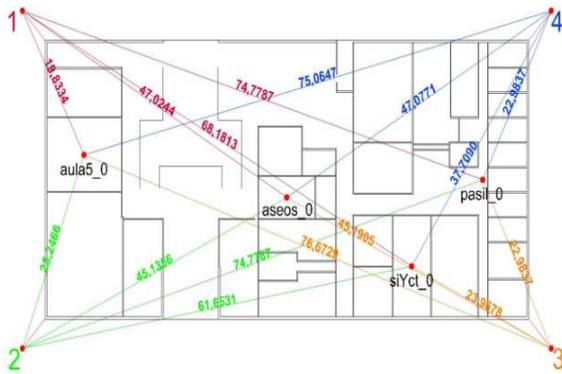


Fig.2.a. Cubículos planta 0

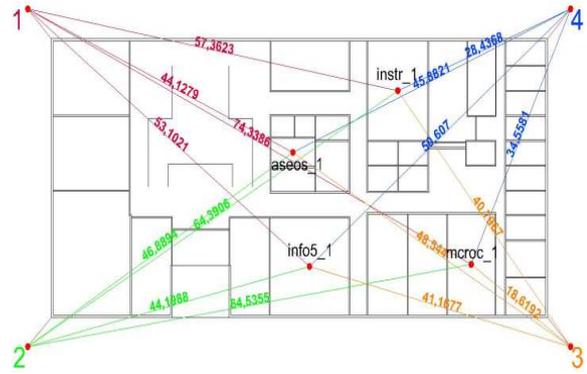


Fig.2.b. Cubículos planta 1

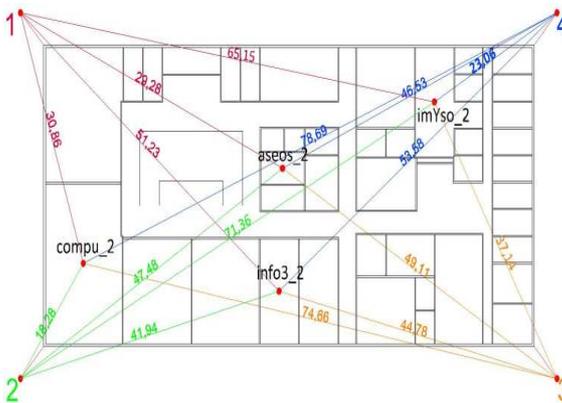


Fig.2.c. Cubículos planta 2

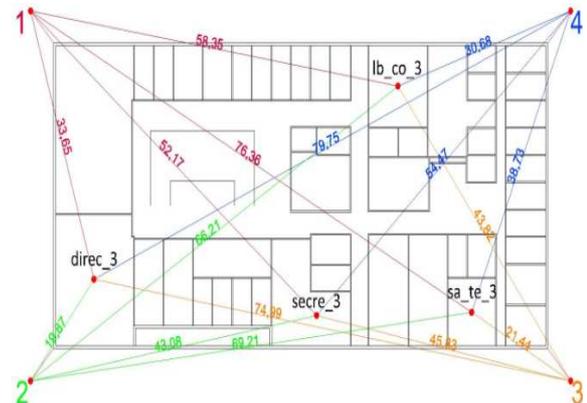


Fig.2.d. Cubículos planta 3

Es necesario aclarar que aunque en la figura 2 a-d se observan las distancias a todos los cubículos desde las referencias, la tabla 6 solo contiene información de las distancias, paredes y plantas respecto al punto de referencia Sur (3), esto obedece a que a través de este punto se realizará el calibrado del modelo porque desde allí se midió un mejor nivel de RXLev y así se evitan incongruencias.

	Cubículos	Rxlev (dBm)	Rxref3_S(dBm)	Lo2i(dB)	do2i(mt)	Po2i	h(Plantas)
Planta0	aula5_0	-83,5796	-63,273	20,3066	76,6729	8	0
	aseos_0	-92,4698	-63,273	29,1968	45,1905	9	0
	pasil_0	-78,7058	-63,273	15,4328	22,9837	5	0
	siYct_0	-84,5611	-63,273	21,2881	23,9678	4	0
Planta1	aseos_1	-86,9113	-63,273	23,6383	48,544	8	1
	info5_1	-83,342	-63,273	20,069	41,1677	5	1
	instr_1	-84,2879	-63,273	21,0149	40,7967	8	1
	mcroc_1	-75,9475	-63,273	12,6745	18,6192	3	1
Planta2	compu_2	-83,9646	-63,273	20,6916	74,66	7	2
	info3_2	-74,9328	-63,273	11,6598	44,78	6	2
	aseos_2	-91,6646	-63,273	28,3916	49,11	9	2
Planta3	direc_3	-79,2827	-63,273	16,0097	74,99	10	3
	secre_3	-80,6090	-63,273	17,336	45,83	4	3
	sa_te_3	-71,1109	-63,273	7,8379	21,44	3	3
	lb_co_3	-73,9648	-63,273	10,6918	43,82	9	3

Tabla 6: Parámetros primera medición

Lo anterior estará más detallado en el numeral método de ajuste para el modelo de propagación **o2i**, para caracterizar las $Lo2i(dB)$ ha sido utilizada la siguiente relación (ec.9).

$$Lo2i(dB) = Rxlev(dBm) - Rxref3_S(dBm) \quad (9)$$

III.3. SEGUNDA CAMPAÑA DE MEDIDAS PARA RXLEV GSM-1800 MHZ.

La segunda medición plantea como objetivo reafirmar el punto *outdoor* sur como la referencia a tomar para hacer el calibrado y escoger 13 nuevos cubículos distribuidos en las 4 plantas vistos en la tabla 7 para enriquecer y complementar los 16 anteriores y así mejorar los resultados obtenidos; en este punto del trabajo ya se han hecho pruebas en el laboratorio con la primera medición obteniendo un primer modelo que se acerca al resultado deseado pero que es muy mejorable luego del análisis de la segunda medición [11].

Nombre original	Convención	Ubicación
Relaciones internacionales	r_int_0	Planta 0
Servicios generales	s_gen_0	
Técnicos electrónica	t_elc_0	
Electrónica de potencia	e_pot_0	
Despacho	despa_0	
Lab. Microelectrónica	m_elc_1	Planta 1
Archivos	archi_1	
Despacho	despa_1	
Ingeniería Tráfico	in_tr_2	Planta2
Sis. Tiempo real	r_dis_2	
Pasillo de despachos	pasil_2	
Servicios Telemáticos	s_tel_3	Planta 3
Despacho	despa_3	

Tabla 7: Cubículos segunda medición

Nuevamente y siguiendo la línea de trabajo anterior se observa la distribución de estos nuevos cubículos junto con las distancias, esta vez solo se tendrán en cuenta al punto de referencia *outdoor* sur ya que en la sección anterior se ha aclarado que este sería el punto escogido para el calibrado. Ver Figura 3 a-d.

15 Estimación de la cobertura de los servicios de comunicaciones móviles 2G/3G en interiores a partir de medidas de drive test

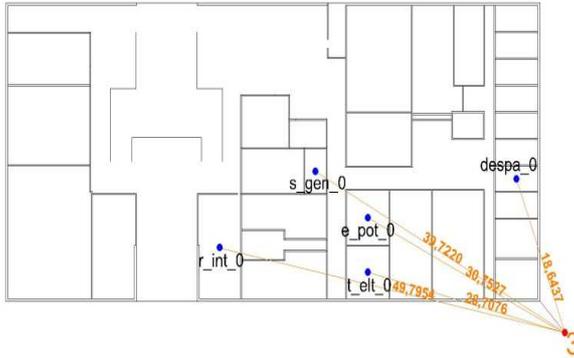


Fig.3.a. Cubículos planta 0

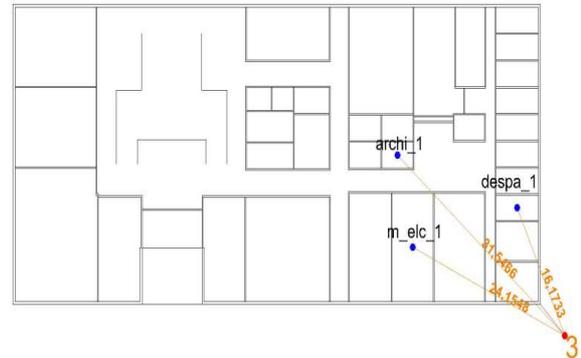


Fig.3.b. Cubículos planta 1

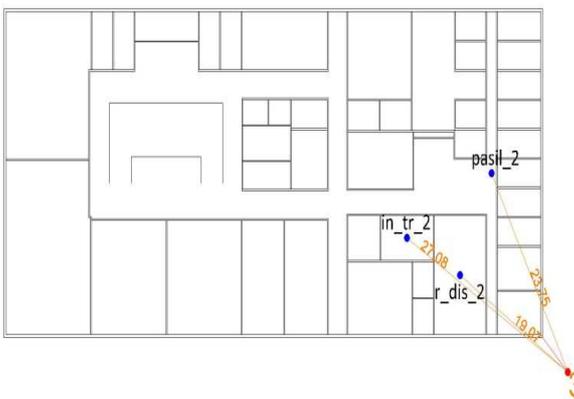


Fig.3.c. Cubículos planta 2

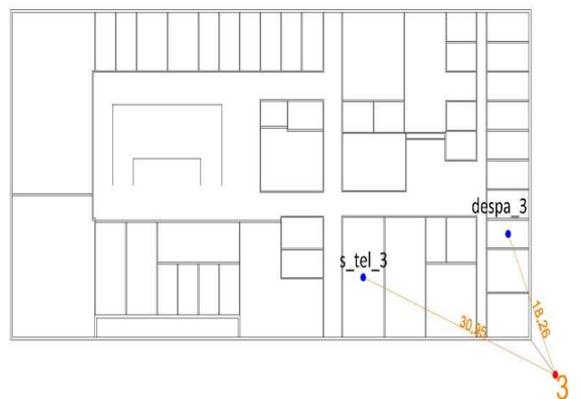


Fig.3.d. Cubículos planta 3

A continuación el resultado de esta segunda medición donde se incluyen solamente los cubículos de esta campaña de medidas junto con todos los parámetros necesarios para calcular el modelo, aclarando nuevamente que el conteo de paredes (**Po2i**) y la distancia (**do2i** mt) fueron realizados con la ayuda de autocad y presentados en la tabla 8.

	Cubículos	Rxlev(dBm)	Rxref3_S(dBm)	Lo2i(dB)	do2i(mt)	Po2i	h(Plantas)
Planta0	r_int_0	-88,3187	-63,273	25,0457	49,7954	6	0
	s_gen_0	-94,4450	-63,273	31,1720	39,722	7	0
	t_elc_0	-72,0791	-63,273	8,8061	28,7076	3	0
	e_pot_0	-83,5541	-63,273	20,2811	30,7527	5	0
	despa_0	-68,7527	-63,273	5,4797	18,6437	3	0
Planta1	m_elc_1	-73,5679	-63,273	10,2949	24,1548	4	1
	archi_1	-85,5659	-63,273	22,2929	31,5466	6	1
	despa_1	-71,6571	-63,273	8,3841	16,1733	3	1
Planta2	in_tr_2	-78,3025	-63,273	15,0295	27,08	4	2
	r_dis_2	-73,7308	-63,273	10,4578	19,07	3	2
	pasil_2	-69,6436	-63,273	6,3706	23,75	5	2
Planta3	s_tel_3	-80,5178	-63,273	17,2448	30,95	4	3
	despa_3	-69,1945	-63,273	5,9215	18,26	3	3

Tabla 8: Parámetros primera medición

Para finalizar y como dato muy importante, las medidas del parámetro RXLev de la segunda campaña de medidas referentes a *outdoor* solo se hicieron para el punto sur, con el fin de afirmarlo como punto de calibrado; esta medida entrego como resultado en media -65,123 dBm, reafirmando el punto como el mejor de los medidos en entorno *outdoor*; para efectos prácticos el calibrado del modelo de propagación se hará con el RXLev *outdoor* sur de la primera medida (-63,273 dBm), ya que este no difiere en media con el mismo tomado en la segunda medición; la tecnología medida tanto en primera como en segunda campaña fue GSM-1800 MHz, el ARFCN² 551 que equivale a 1807 MHz de frecuencia.

III.4. PUNTO DE REFERENCIA OUTDOOR PARA CALIBRAR EL MODELO

Las referencias *outdoor* fueron medidas a una distancia de 5 metros en promedio desde los ángulos norte, sur, este y oeste del emplazamiento ETSIT-1 visto en figura 2, con 5 minutos en promedio para cada medición, esto con el fin de obtener un número suficiente de datos del parámetro RXLev; lo anterior sumado a un punto inicial cercano al mínimo general garantizaría que al compilar la función esta no convergiera a un mínimo local.

El punto de referencia escogido para realizar la calibración del modelo fue el punto sur ya que el parámetro RXLev en media era mayor al medido en los otros puntos, ver tabla 9; por lo tanto los ajustes y los resultados están dados en torno a este punto de referencia.

<i>Rxref1_N</i>	<i>Rxref2_O</i>	<i>Rxref3_S</i>	<i>Rxref4_E</i>
-73,9894	-76,3666	-63,273	-65,8585

Tabla 9: Parámetro RXLev referencia outdoor

Se escoge la referencia con potencia mayor (*Rxref3_S*) ya que al mirar las potencias medias medidas en el emplazamiento *outdoor* se podían ver cubículos cuyas mediadas arrojaban potencias medias superiores a los otros puntos *outdoor*; obviamente a la hora de calibrar un modelo es incongruente que se presenten ganancias desde la referencia (TX) hasta los cubículos (RX), si lo que queremos es hacer una estimación de las pérdidas.

III.5. AJUSTE MEDIANTE PRIMERA MEDICION.

Para este primer ajuste (mínimos globales P) se hicieron 5 pruebas en las que se incluyeron diferentes cubículos del emplazamiento ETSIT-1, solo una prueba resulto optimista (ver resultados capítulo IV); las otras 4 fueron descartadas; a continuación se relacionan los cubículos utilizados para cada prueba y la configuración definitiva de los mismos que ha entregado un resultado rescatable.

Primera prueba: Realizada con todos los cubículos de la primera campaña de medidas (16 locations); prueba descartada, mínimos de ajuste incoherentes y el error muy grande.

² Número absoluto de canal de radio frecuencia

Tercera prueba: Realizada con todos los cubículos de las plantas dos y tres medidos en la primera campaña (8 locations); la decisión de estos cubículos no fue arbitraria, son los cubículos con una mayor altura, se pretendía mejorar los mínimos de ajuste, error muy grande, prueba descartada.

Cuarta prueba: Realizada con todos los cubículos de las plantas dos y tres medidos en la primera campaña excepto aseos_2 e imYso_2 (6 locations), la decisión de estos cubículos obedece a una mejora hecha a la prueba tres, fueron excluidos los cubículos con mayor error para afinar el modelo; prueba descartada, el error es aceptable, pero los mínimos de ajuste incoherentes.

Quinta prueba: Realizada con todos los cubículos (13 locations) excepto aseos_1_2 e imYso_2, que entregaban mayor error; prueba descartada, mínimos incoherentes y error muy grande.

Las anteriores pruebas han sido descartadas y no tendrán una descripción mas detalla en este documento.

Segunda prueba: Realizada con todos los cubículos ubicados en el sector sur del edificio ETSIT-1 y por lo tanto cercanos al punto de referencia sur (10 locations).

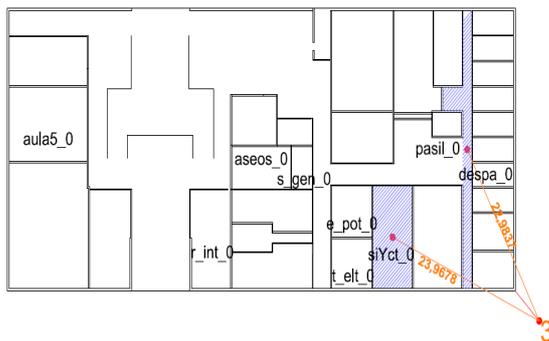


Fig.4.a. Cubículos planta 0 en segunda prueba

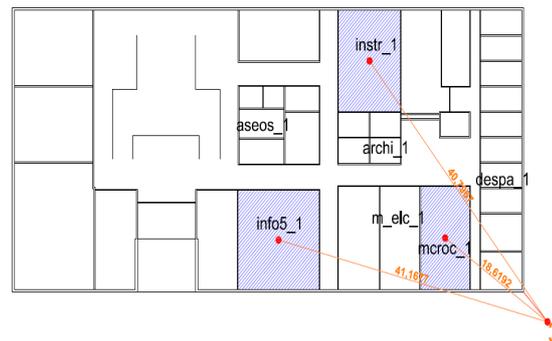


Fig.4.b. Cubículos planta 1 en segunda prueba

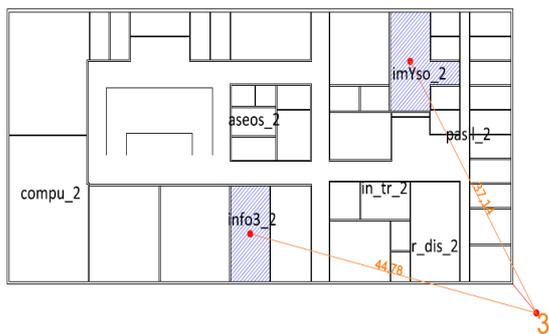


Fig.4.c. Cubículos planta 2 en segunda prueba

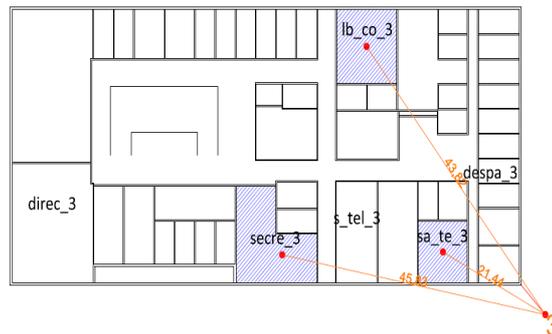


Fig.4.d. Cubículos planta 3 en segunda prueba

La selección de cubículos (sombreado azul) se ha hecho por cercanía física de los mismos con el punto de referencia 3, se decide por estos cubículos ya que al estar en cercanía con la referencia

En esta oportunidad la selección de cubículos (sombreado azul) no se ha hecho con referencia a las distancias al punto 3 sino al mínimo error (diferencia de 5 en valor absoluto) encontrado al hacer la prueba 6.

En esta última prueba el error en la mayoría de los 29 cubículos es muy bajo, los mínimos de ajuste se acomodan a lo esperado, se han usado 16 cubículos, los restantes 13 han servido para probar y comprobar el modelo obteniendo resultados satisfactorios.

Se presentó el método de ajuste realizado en el trabajo mediante 7 pruebas; los resultados (mínimos de ajuste y modelo $Lo2i$) serán descritos en el capítulo IV.

III.7. DIAGRAMA DE FLUJO PARA METODO DE AJUSTE.

A medida que las tareas se completaban y las pruebas y mediciones se desarrollaban surgían diferentes opciones para encontrar los resultados, de forma descriptiva se puede presentar este proceso que resume el método a continuación, Ver figura 7.

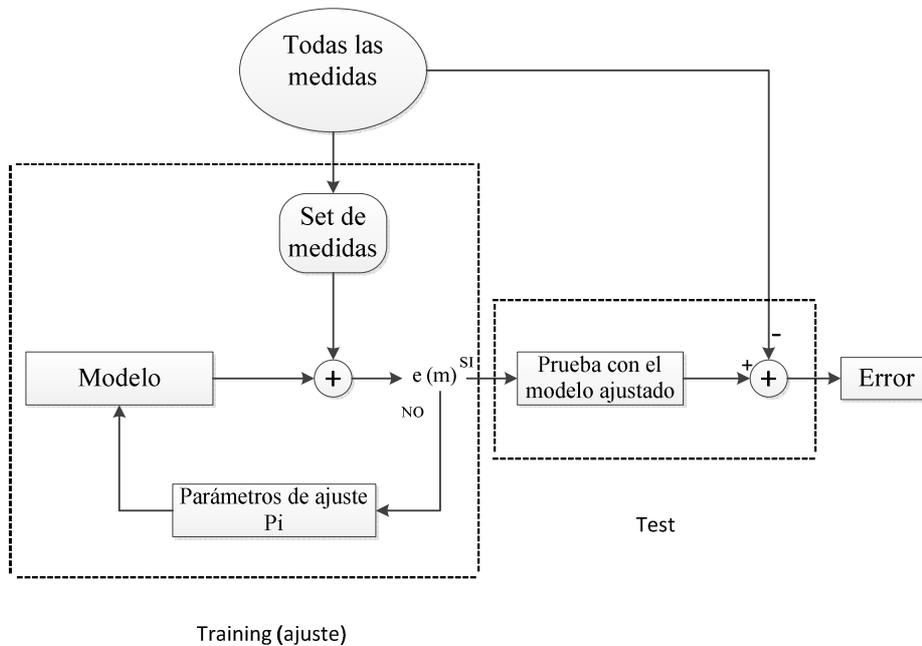


Fig.7. Método de Ajuste Para el modelo de Propagación o2i

Con un respectivo set de medidas escogidas de las mediciones generales se ha buscado generar un grupo de parámetros de ajuste P_i que minimizara el error (perdidas ajustadas – pérdidas medidas) en primer lugar de la sección de entrenamiento; cuando este error fue mínimo y los parámetros de error coherentes se ha dispuesto la aplicación del modelo a todas las medidas, utilizando los parámetros P_i que nos generaban un menor error (prueba 7).

IV. RESULTADOS DEL MODELO DE PERDIDAS DE PROPAGACIÓN EN INTERIORES $\alpha 2i$.

IV.1. RESULTADOS MEDIANTE PRIMERA MEDICION.

Una vez realizadas las pruebas 1, 3, 4, 5 y modificando los puntos de inicio para la función de ajuste basada en el método del simplex y cuya tarea es encontrar los parámetros de ajuste o mínimos globales, los valores de ajuste obtenidos después de calibrar los 4 modelos se presentan a continuación.

	P_1	P_2	P_3
<i>Prueba1</i>	14,96	-1,78	-0,63
<i>Prueba3</i>	13,93	-1,12	-0,98
<i>prueba4</i>	14,85	-1,05	-1,31
<i>prueba5</i>	16,06	-3,01	-0,88

Tabla 10: Parámetros de Ajuste primeras pruebas

Los valores de ajuste que se reflejan en la tabla 10 determinaron la creación de 4 modelos de propagación $\alpha 2i$; al utilizar estos modelos para realizar la respectiva medición de pérdidas y confrontarlas con las pérdidas $Lo2i$ (dB) de tabla 6 los resultados indicaron una diferencia (error) muy grande, lo que da por descartados los modelos.

De igual forma aunque la diferencia (error) mostrara valores aceptables, los modelos tendrían igualmente que ser descartados o recalculados mediante el ajuste del punto inicial (simplex) de la función creada para calcular los valores de ajuste P_i , porque todos ellos tienen como valor P_3 un número negativo, lo que hace incoherente el modelo.

Como estas pruebas han sido descartadas no se presentan en este documento los valores de las pérdidas $Lo2i$ que fueron calculadas con los respectivos modelos 1, 3, 4, 5 lo que no quiere decir que no hayan podido servir como base para el ajuste del punto inicial y realimentar junto con el modelo 2 a los modelos 6 y 7 (definitivo).

Continuando con los resultados en primera medición se tiene la prueba 2, los valores de ajuste obtenidos después de calibrar el modelo se presentan a continuación.

	P_1	P_2	P_3
<i>Prueba2</i>	17,65	-3,61	-1,01

Tabla 11: Parámetros de Ajuste prueba 2

Los valores de ajuste que se reflejan en la tabla 11 determinaron la creación de un modelo de propagación $\alpha 2i$ (ec.11); al utilizar este modelo para realizar la respectiva medición de pérdidas y confrontarlas con las pérdidas $Lo2i$ (dB) de tabla 6, los resultados indicaron una diferencia (error)

aceptable, lo que en principio soluciona uno de los dos inconvenientes presentados con los modelos descritos anteriormente.

$$L(dB) = 17,65 * 10 \log_{10} d - 3.61 * h - 1.01 * w \quad (11)$$

Este modelo debió ser descartado porque presenta la misma incoherencia en los valores de ajuste o mínimos globales vista en los modelos anteriormente mencionados; sin embargo, la proximidad de las pérdidas medidas $Lo2i(dB)$ de tabla 6 con las pérdidas calculadas con el modelo representaron una motivación para llevar a cabo la finalización del modelo por lo menos para que sirviera de base en la escogencia de los cubículos a medir en segunda campaña y además dando un punto de partida para el próximo punto de inicio (simplex) en la función de ajuste.

Como primer paso la tabla 12 muestra la diferencia (error) entre las pérdidas **Lo2i** medidas con drive test y pérdidas **Lo2i** calculadas con el modelo solo para los cubículos (10 locations) que sirvieron como base para encontrar los valores de ajuste P_i .

<i>Cubículos de prueba_2</i>	<i>Lo2i ajustada con modelo</i>	<i>Lo2i medida drive test</i>	<i>Diferencia (error)</i>
pasil_0	17,2288	15,4328	1,796
siYct_0	20,8059	21,2881	-0,4822
info5_1	19,8148	20,069	-0,2542
instr_1	17,29	21,0149	-3,7249
mcroc_1	15,3373	12,6745	2,6628
info3_2	15,8383	11,6598	4,1785
imYso_2	12,3687	6,2029	6,1658
secre_3	17,0001	17,336	-0,3359
lb_co_3	9,0156	10,6918	-1,6762
sa_te_3	9,6399	7,8379	1,802

Tabla 12: Perdidas Lo2i y error sección de entrenamiento prueba 2

A raíz de esta comparación de pérdidas donde solo 3 cubículos presentan un resultado de error aceptable y los demás presentan un resultado de error bueno se ha decidido no descartar el modelo y utilizarlo para generar las pérdidas de todos los cubículos (16 locations) y observar que tan buena es la predicción del modelo, ver Tabla 13.

<i>Todos los Cubículos</i>	<i>Lo2i ajustada con modelo</i>	<i>Lo2i medida drive test</i>	<i>Diferencia (error)</i>
aula5_0	25,1344	20,3066	4,8278
aseos_0	20,0631	29,1968	-9,1337
pasil_0	17,2288	15,4328	1,796
siYct_0	20,8059	21,2881	-0,4822
aseos_1	18,0558	23,6383	-5,5825
info5_1	19,8148	20,069	-0,2542
instr_1	17,29	21,0149	-3,7249
mcroc_1	15,3373	12,6745	2,6628
compu_2	18,7404	20,6916	-1,9512
info3_2	15,8383	11,6598	4,1785

aseos_2	13,4933	28,3916	-14,8983
imYso_2	12,3687	6,2029	6,1658
direc_3	12,1177	16,0097	-3,892
secre_3	17,0001	17,336	-0,3359
lb_co_3	9,0156	10,6918	-1,6762
sa_te_3	9,6399	7,8379	1,802

Tabla 13: Perdidas Lo2i y error con el primer modelo

A la vista de los resultados anteriores los valores deficientes son justificables; Todos los aseos (0,1,2) representan 3 de los 4 valores de error más altos, los aseos se encuentran en el centro del edificio ETSIT_1 recibiendo contribuciones de los 4 puntos medidos, era difícil definir a que punto de contribución podrían relacionarse; imYso aunque es parte de la sección de entrenamiento no presento un resultado favorable, pero como en todo modelo no se podía esperar que todos los cubículos tuvieran una correcta predicción.

Para validar la fiabilidad de este modelo de propagación **o2i** se caracterizará mediante la función distribución densidad de probabilidad del error (diferencia (error) tablas 12 y 13) el comportamiento de esta población (conjunto de cubículos), con el fin de comparar la desviación típica estándar (σ) del error de la sección de entrenamiento (prueba2) de la figura 8, con la desviación típica estándar (σ) del error de la sección completa (16 locations) de la figura 9.

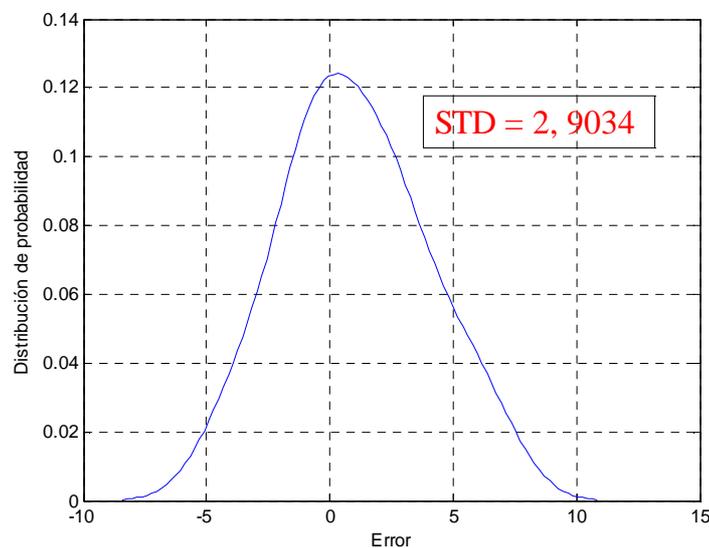


Fig.8. FDP sección de entrenamiento Prueba 2

El resultado obtenido con el cálculo de la STD y la distribución de densidad de probabilidad vistas en la figura 8 y 9 permite comprobar que efectivamente la desviación (STD) es menor con la sola sección de entrenamiento, esto es lógico ya que fueron los cubículos escogidos para tal empresa; desviación media de nuestro modelo tendría el siguiente valor:

$$\Delta Media = |2.9034 - 5.4079| = 2.5042 \quad (12)$$

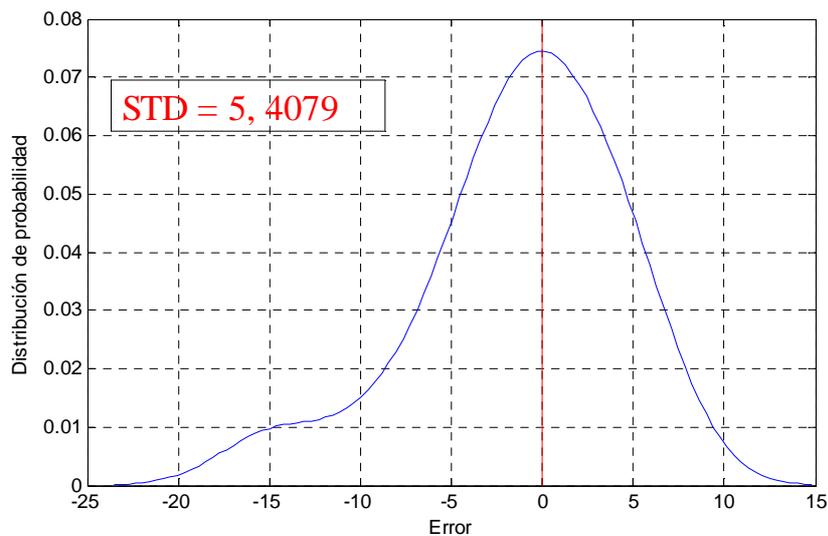


Fig.9. FDP sección completa Prueba 2

Como las Pérdidas medidas en el modelo de prueba 2 son mayores a las pérdidas ajustadas el error es menor a 0 (cero), ver tabla 13, en este caso se está diciendo que el modelo predice menos pérdidas que las reales lo que lo convierte en un modelo optimista, ver figura 9.

IV.2. RESULTADOS MEDIANTE SEGUNDA MEDICION.

Una vez realizadas las pruebas 6 Y 7 modificando de forma definitiva los puntos de inicio para la función de ajuste basada en el método del simplex y cuya tarea es encontrar los parámetros de ajuste o mínimos globales, los valores de ajuste obtenidos después de calibrar los 2 modelos se presentan a continuación.

Se ha definido $P_{inicial} = [10 -4 0.5]$ como el punto inicial definitivo para el ajuste de estas dos pruebas, basados en esto la prueba 6 muestra:

	P_1	P_2	P_3
Prueba6	7,06	-2,17	1,62

Tabla 14: Parámetros de Ajuste prueba 6

Los valores de ajuste que se reflejan en la tabla 14 determinaron la creación de un segundo modelo de propagación $o2i$ (ec.13); al utilizar este modelo para realizar la respectiva medición de pérdidas y confrontarlas con las pérdidas $Lo2i$ (dB) de la tabla 8 los resultados indicaron una diferencia (error) notablemente mejor que la prueba 2, solucionando uno de los dos inconvenientes presentados con los modelos 1, 3,4 y 5.

$$L(dB) = 7,06 * 10 \log_{10} d - 2.17 * h + 1.62 * w \quad (13)$$

Este modelo bajo los ajustes realizados con el $P_{inicial}$ brinda coherencia en los valores de ajuste o mínimos globales al observar que $P_{3(w)}$ obtiene ya un valor positivo, solucionando así el segundo problema presentado en todos los anteriores ajustes incluyendo el del modelo 1 (ec.11) ; la proximidad de las pérdidas medidas $Lo2i(dB)$ de la tabla 8 con las pérdidas calculadas con el modelo no es la esperada, además fueron utilizados para el ajuste 23 cubículos de los 29 medidos en total, lo que no garantiza que sea un modelo general sino que se acerque más a un modelo particular del edificio ETSIT_1; con estos resultados el modelo no es viable, sin embargo servirá de realimentación para el modelo definitivo; la tabla 15 muestra la diferencia (error) entre las pérdidas **L02i** medidas con drive test y pérdidas **L02i** calculadas con el modelo solo para los cubículos (23 locations) que sirvieron como base para encontrar los valores de ajuste P_i .

<i>Cubículos de prueba_6</i>	<i>Lo2i ajustada con modelo</i>	<i>Lo2i medida drive test</i>	<i>Diferencia (error)</i>
pasil_0	17,6894	15,4328	2,2566
siYct_0	16,2016	21,2881	-5,0865
info5_1	17,3007	20,069	-2,7683
instr_1	22,1219	21,0149	1,1070
mcroc_1	11,6362	12,6745	-1,0383
info3_2	16,9996	11,6598	5,3398
imYso_2	19,6588	6,2029	13,4559
secre_3	11,6628	17,336	-5,6732
sa_te_3	7,7182	7,8379	-0,1197
lb_co_3	19,6069	10,6918	8,9151
r_int_0	21,6754	25,0457	-3,3703
s_gen_0	22,5989	31,172	-8,5731
t_elc_0	15,1384	8,8061	6,3323
e_pot_0	18,5819	20,2811	-1,6992
despa_0	13,8154	5,4797	8,3357
m_elc_1	14,0503	10,2949	3,7554
archi_1	18,1012	22,2929	-4,1917
despa_1	11,2046	8,3841	2,8205
in_tr_2	12,2254	15,0295	-2,8041
r_dis_2	9,5343	10,4578	-0,9235
pasil_2	13,4396	6,3706	7,0690
s_tel_3	10,4596	17,2448	-6,7852
despa_3	7,2261	5,9215	1,3046

Tabla 15: Perdidas Lo2i y error sección de entrenamiento prueba 6

Una vez obtenidas las pérdidas de la sección de entrenamiento de la prueba 6, lo único que queda es encontrar con el modelo (ec. 13) las pérdidas para todos los cubículos (29 locations) y de esta forma observar que tan buena es la predicción del modelo, ver tabla 16.

En comparación con los resultados del modelo 1 se encuentra una mejoría notable en los cubículos donde se presentaban los problemas más graves (aseos 0_1_2); sin embargo persiste el problema con el cubículo imYso_2 que siendo parte de la sección de entrenamiento, nuevamente presenta un resultado no favorable.

Siendo más puntuales y estrictos podríamos justificar por ejemplo que el cubículo lb_co_3 se encuentra cubierto con respecto al punto de referencia sur por la cámara anicónica de ETSIT_1 generando una serie de aislamientos e interferencias radioeléctricas que no permiten asegurar una predicción fiable; caso similar tenemos para despa_0 ya que este sector del edificio cuenta con un enrejado prominente donde entran en comunión reflexiones de todo tipo haciendo la predicción no fiable; s_gen_0 (exactamente es una extensión de aseos_0) se encuentra ubicado detrás de los aseos_0, presentando la misma característica descrita para aseos 0_1_2 en modelo_1, en general los otros cubículos han tenido errores mediante la predicción del modelo en torno a 0 y 6.

<i>Todos los Cubículos</i>	<i>Lo2i ajustada con modelo</i>	<i>Lo2i medida drive test</i>	<i>Diferencia (error)</i>
aula5_0	26,2309	20,3066	5,9243
aseos_0	26,2269	29,1968	-2,9699
pasil_0	17,6894	15,4328	2,2566
siYct_0	16,2016	21,2881	-5,0865
aseos_1	22,6548	23,6383	-0,9835
info5_1	17,3007	20,069	-2,7683
instr_1	22,1219	21,0149	1,1070
mcroc_1	11,6362	12,6745	-1,0383
compu_2	20,1826	20,6916	-0,5090
info3_2	16,9996	11,6598	5,3398
aseos_2	22,1314	28,3916	-6,2602
imYso_2	19,6588	6,2029	13,4559
direc_3	22,8699	16,0097	6,8602
secre_3	11,6628	17,336	-5,6732
sa_te_3	7,7182	7,8379	-0,1197
lb_co_3	19,6069	10,6918	8,9151
r_int_0	21,6754	25,0457	-3,3703
s_gen_0	22,5989	31,172	-8,5731
t_elc_0	15,1384	8,8061	6,3323
e_pot_0	18,5819	20,2811	-1,6992
despa_0	13,8154	5,4797	8,3357
m_elc_1	14,0503	10,2949	3,7554
archi_1	18,1012	22,2929	-4,1917
despa_1	11,2046	8,3841	2,8205
in_tr_2	12,2254	15,0295	-2,8041
r_dis_2	9,5343	10,4578	-0,9235
pasil_2	13,4396	6,3706	7,0690
s_tel_3	10,4596	17,2448	-6,7852
despa_3	7,2261	5,9215	1,3046

Tabla 16: Perdidas Lo2i y error con el segundo modelo

Nuevamente se caracterizará mediante la función distribución densidad de probabilidad del error (diferencia (error) tablas 15 y 16) el comportamiento de esta población (conjunto de cubículos), con el fin de comparar la desviación típica estándar (σ) del error de la sección de entrenamiento (prueba2) de la figura 10, con la desviación típica estándar (σ) del error de la sección completa (16 locations) de la figura 11.

El resultado obtenido con el cálculo de la STD y la distribución de densidad de probabilidad vistas en la figura 10 y 11 permite comprobar que la desviación (STD) es mayor pero prácticamente igual con la sola sección de entrenamiento, esto no es lógico ni coherente ya que los cubículos fueron escogidos tener un error menor, la diferencia es prácticamente nula, esto sustenta que el modelo de la prueba 6 al utilizar tantos cubículos de entrenamiento (23 de 29) se convirtió en un modelo de propagación particular para la ETSIT – 1 lo que se desvía del objetivo del trabajo.

La desviación media de nuestro modelo tendría el siguiente valor:

$$\Delta Media = |5.6085 - 5.4233| = 0.1832 \quad (14)$$

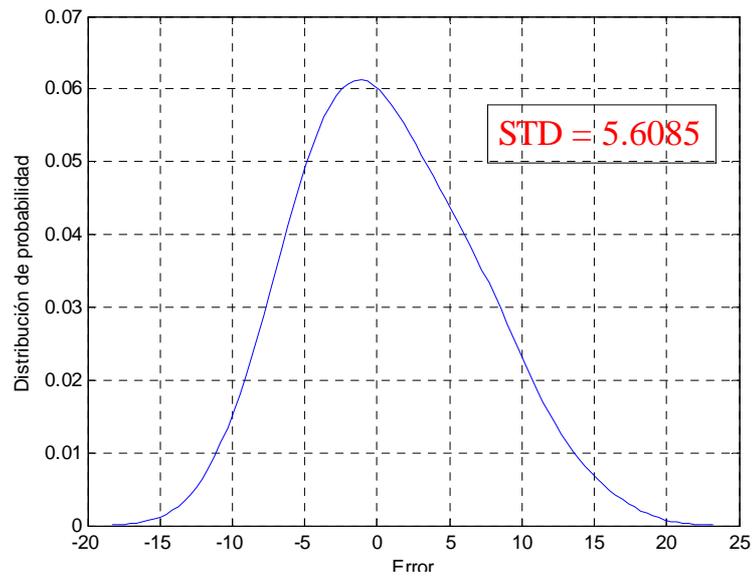


Fig.10. FDP sección de entrenamiento Prueba 6

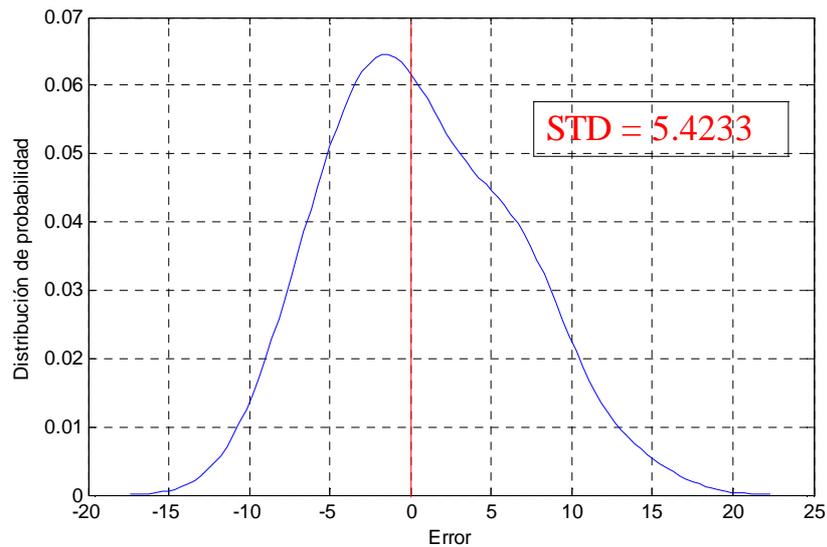


Fig.11. FDP sección de completa Prueba 6

Como las Pérdidas medidas en el modelo de prueba 6 son mayores a las pérdidas ajustadas el error es menor a 0 (cero), ver tabla 16, se está diciendo que el modelo predice menos pérdidas que las reales lo que lo convierte en un modelo optimista, aunque como lo hemos visto la desviación media del error es casi cero, ver figura 11.

Finalmente la prueba 7 determino el modelo de propagación o2i definitivo, utilizando los valores de $P_{inicial}$ indicados anteriormente y realimentados por los resultados de la prueba 6 (Modelo 2), estos son los valores de ajuste encontrados al calibrar el modelo.

	P_1	P_2	P_3
Prueba7	6,72	-2,44	2,03

Tabla 17: Parámetros de Ajuste definitivos

Para hallar estos valores la sección de entrenamiento se limito a incluir solo los cubículos de la prueba 6 sección completa (diferencia (error) tabla 16) cuyos valores de error fueran menores a 5 (en valor absoluto), teniendo así un universo de 16 cubículos para ser usados por la función ajuste.

Los valores de ajuste que se aprecian en la tabla 17 son definitivos y han permitido el diseño del modelo de propagación o2i, el cual estaba definido como objetivo de este trabajo; después de 7 pruebas y dos campañas de medidas el resultado final es el siguiente.

$$L(dB) = 6.72 * 10 \log_{10} d - 2.44 * h + 2.03 * w \quad (15)$$

Bajo la calibración realizada con el $P_{inicial}$ el modelo tiene valores de ajuste o mínimos globales capaces de garantizar la confiabilidad del modelo, presenta constantes p_i que acompañan a las variables d, h, w que cumplen con los requerimientos de signo deseados solucionando también el problema del modelo 1 (Ec.11) la proximidad de las pérdidas medidas $Lo2i(dB)$ de la tabla 8 con las pérdidas calculadas con el modelo se ajusta a una predicción fiable y confiable, además fueron

29 Estimación de la cobertura de los servicios de comunicaciones móviles 2G/3G en interiores a partir de medidas de drive test

utilizados para el ajuste 16 cubículos de los 29 medidos en total, lo que sirve de indicador para garantiza que este modelo de pérdidas de propagación trabaje como un modelo general y no como un modelo particular del edificio ETSIT_1 (situación de la prueba 6); con estos resultados el modelo diseñado se escoge como definitivo, los resultados no son perfectos pero como en todo modelo de predicción de perdidas existe un margen de error que en esta ocasión se ha intentado llevar al mínimo posible, la tabla 18 muestra la diferencia (error) entre las pérdidas **Lo2i** medidas con drive test y pérdidas **Lo2i** calculadas con el modelo solo para los cubículos (16 locations) que sirvieron como base para encontrar los valores de ajuste definitivos P_i .

<i>Cubículos de prueba_7</i>	<i>Lo2i ajustada con modelo</i>	<i>Lo2i medida drive test</i>	<i>Diferencia (error)</i>
aseos_0	29,3573	29,1968	0,1605
pasil_0	19,2780	15,4328	3,8452
aseos_1	25,0930	23,6383	1,4547
info5_1	18,5319	20,069	-1,5371
instr_1	24,5858	21,0149	3,5709
mcroc_1	12,1638	12,6745	-0,5107
compu_2	21,8756	20,6916	1,1840
secre_3	11,9254	17,336	-5,4106
r_int_0	23,5600	25,0457	-1,4857
e_pot_0	20,1274	20,2811	-0,1537
m_elc_1	14,9499	10,2949	4,6550
archi_1	19,7822	22,2929	-2,5107
despa_1	11,7530	8,3841	3,3689
in_tr_2	12,8370	15,0295	-2,1925
r_dis_2	9,7873	10,4578	-0,6705
despa_3	7,2143	5,9215	1,2928

Tabla 18: Perdidas Lo2i y error sección de entrenamiento prueba 7

Una vez obtenidas las pérdidas de la sección de entrenamiento de la prueba 7, lo único que queda es encontrar con el modelo (Ec. 15) las pérdidas para todos los cubículos (29 locations) y de esta forma observar que tan buena es la predicción del modelo, ver tabla 19.

<i>Todos los Cubículos</i>	<i>Lo2i ajustada con modelo</i>	<i>Lo2i medida drive test</i>	<i>Diferencia (error)</i>
aula5_0	27,8726	20,3066	7,5660
aseos_0	29,3573	29,1968	0,1605
pasil_0	19,2780	15,4328	3,8452
siYct_0	23,1925	21,2881	1,9044
aseos_1	25,0930	23,6383	1,4547
info5_1	18,5319	20,069	-1,5371
instr_1	24,5858	21,0149	3,5709
mcroc_1	12,1638	12,6745	-0,5107
compu_2	21,8756	20,6916	1,1840
info3_2	18,3577	11,6598	6,6979

aseos_2	24,7072	28,3916	-3,6844
imYso_2	15,2344	6,2029	9,0315
direc_3	23,5224	16,0097	7,5127
secre_3	11,9254	17,336	-5,4106
sa_te_3	7,6827	7,8379	-0,1552
lb_co_3	19,8660	10,6918	9,1742
r_int_0	23,5600	25,0457	-1,4857
s_gen_0	24,9275	31,172	-6,2445
t_elc_0	13,8731	8,8061	5,0670
e_pot_0	20,1274	20,2811	-0,1537
despa_0	14,6140	5,4797	9,1343
m_elc_1	14,9499	10,2949	4,6550
archi_1	19,7822	22,2929	-2,5107
despa_1	11,7530	8,3841	3,3689
in_tr_2	12,8370	15,0295	-2,1925
r_dis_2	9,7873	10,4578	-0,6705
pasil_2	14,4810	6,3706	8,1104
s_tel_3	10,7803	17,2448	-6,4645
despa_3	7,2143	5,9215	1,2928

Tabla 19: Perdidas Lo2i y error con modelo propuesto

Las pérdidas predichas por el modelo de propagación **o2i** definitivo (Ec. 15) se ajustan de forma más precisa (menor error) a las pérdidas medidas con drive test en comparación con los resultados del modelo 2; de forma excluyente serán tratados nuevamente algunos de los cubículos que han intervenido en la medida; esto como parte normal del error para un sistema de predicción como el diseñado, el problema con los cubículos aseos 0_1_2 definitivamente ha sido superado, incluso presentando un valor de error menor a otros cubículos, definitivamente el cubículo imYso como se demostró desde el primer modelo, no alcanza las expectativas de predicción, igual se incluye ya que como se ha dicho anteriormente, la predicación no puede ser aceptable en todos los cubículos, además hay que recordar que se trabajó bajo métodos de prueba error y que por supuesto este modelo está basado en un modelo empírico; la situación con lb_co_3 y despa_0 ha sido justificada en el modelo 2, indicando la posición con respecto a la cámara anecoica y el enrejado prominente en la planta baja; aula5_0 y direc_3 son los cubículos más alejados del punto de referencia_3 (sur) y por lo tanto difíciles de caracterizar respecto al mismo ya que con probabilidad muy alta presentara contribuciones de otros puntos así como ganancias por reflexiones de otros edificios como por ejemplo la UV o el ETSIT_2 en general los otros cubículos han tenido errores mediante la predicción del modelo en torno a 0 y 6 oscilando en su mayoría (13 cubículos) entre el 0 y el 3.

Finalmente y siguiendo el método de pruebas de modelos anteriores para validar la fiabilidad de este modelo de propagación **o2i** (ec.15) se caracterizará mediante la función densidad de probabilidad del error (diferencia (error) tablas 18 y 19) el comportamiento de esta población (conjunto de cubículos), con el fin de comparar la desviación típica estándar (σ) del error de la sección de entrenamiento (prueba7, 16 locations) visto en la figura 12, con la desviación típica estándar (σ) del error de la sección completa (29 locations) vista en la figura 13.

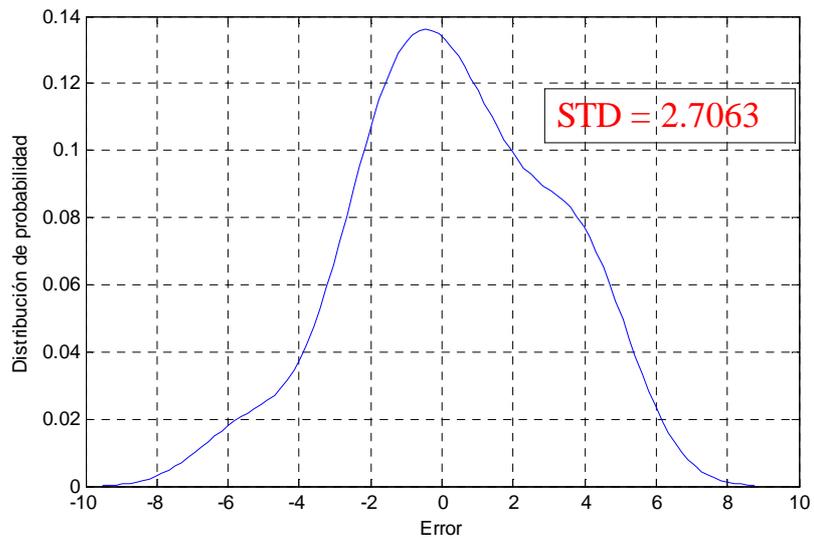


Fig.12. FDP sección de entrenamiento Prueba 7

El resultado obtenido con el cálculo de la STD y la distribución de densidad de probabilidad vistas en la figura 12 y 13 permite comprobar que la desviación es menor con la sola sección de entrenamiento, esto es lógico y coherente ya que los cubículos fueron escogidos para tener una desviación menor, la media de la desviación del error ya no es cero, esto porque el modelo de propagación es general y algún margen de error debe tener.

La desviación media del error de nuestro modelo de propagación tendría el siguiente valor:

$$\Delta Media = |2.7063 - 4.6783| = 1.9720 \quad (16)$$

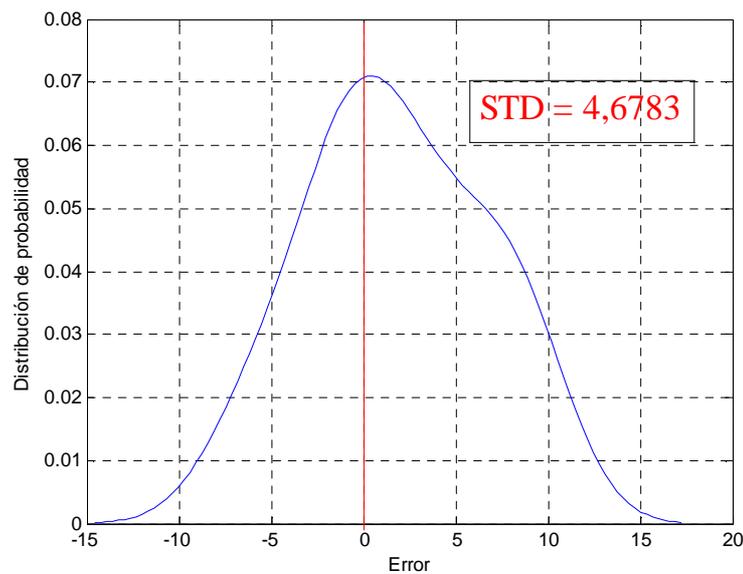


Fig.13. FDP sección completa Prueba 7

Como las Pérdidas medidas en el modelo de prueba 7 son menores a las pérdidas ajustadas el error es menor a 0 (cero), ver tabla 19, en este caso se está diciendo que el modelo predice más pérdidas que las reales lo que lo convierte en un modelo pesimista, ver figura 13.

V. RESUMEN Y CONCLUSIONES.

VI.1. RESUMEN.

Mediante las 2 campañas de medidas realizadas con drive test, haciendo mediciones mínimas de 3 minutos para garantizar un universo de más de 250 muestras por cubículo se ha establecido que:

El punto de referencia 3 denominado referencia Sur será el encargado de ejercer el papel de *tx_outdoor* ya que tiene el mejor RXLev medido durante las 2 campañas.

Los cubículos a medir en primera campaña de medidas serán 16 y en segunda campaña de medidas 13 siendo 29 el número total de cubículos medidos con NEMO drive test, distribuidos en toda la superficie de ETSIT_1; con ayuda de autocad se tendrá el número de plantas, paredes y distancia al punto de referencia sur de cada uno de los cubículos, así se han completado los datos necesarios para calibrar el modelo.

El modelo ha sido calibrado, ajustado y diseñado mediante la herramienta matlab; se han programado 3 funciones que procesarán todos los datos y que en última instancia entregarán unos valores de ajuste constantes que serán el complemento a los valores variables *d*, *h*, *w* (distancia, altura y paredes); para lograr esto ha sido necesario determinar el *P* inicial con el cual se garantiza el correcto funcionamiento del método del simplex en la búsqueda de los mínimos globales o valores de ajuste (evitando converger a mínimos locales), dentro del modelo de propagación *outdoor to indoor* (*o2i*); estos valores definitivos después de 7 pruebas realizadas son:

	<i>P</i> ₁	<i>P</i> ₂	<i>P</i> ₃
<i>P</i> _i Modelo <i>o2i</i>	6,72	-2,44	2,03

Tabla 20. *P*_i definitivos

El modelo de propagación *o2i* basado en ajuste de medidas drive test ha tomado como base el modelo empírico pérdidas de trayecto *indoor* MULTI –WAL cost 231 (MWN) que ha sido referenciado en el apartado II de este trabajo; con los parámetros de ajuste calibrados y el modelo base escogido, el modelo de propagación diseñado, probado y aceptado en este trabajo es el siguiente:

$$L(dB) = 6.72 * 10 \log_{10} d - 2.44 * h + 2.03 * w$$

A partir de la realización de las pruebas con el modelo de propagación *o2i* en los diferentes cubículos se ha determinado mediante las mediciones y gráficas de error la viabilidad y fiabilidad del modelo; así como los factores negativos y positivos de usar este modelo de predicción de

perdidas por propagación en interiores y por último determinar si se ha obtenido un modelo de carácter optimista, pesimista o con error cercano a cero (ideal), lo que ha entregado una serie de conclusiones basados en esta experiencia.

VI.2. CONCLUSIONES.

Se ha presentado un repaso muy breve de los principales modelos de propagación *indoor* presentes en la bibliografía; modelados con relación a distancias, frecuencias, paredes o plantas; pero todos son modelos empíricos donde su **comprobación no fue realizada a través de datos reales sino con el tiempo y la experiencia**; conociendo esto se ha planteado la necesidad de realizar este trabajo que ha permitido mediante un edificio real y unas mediciones drive test de red actual ajustar un **modelo de propagación o2i basado en Multi-wall** calibrado para la banda de 1800 Mhz; para las mediciones drive test se han presentado los parámetros y las exigencias mínimas necesarias para que el diseño del modelo fuera exitoso, así como han sido definidas las variables que deberán intervenir en el desarrollo de todo modelo de propagación **o2i**.

Se ha llevado a cabo el respectivo diseño del modelo **o2i** tomando como referencia el que a juicio es el más utilizado de los modelos empíricos, garantizando así una alta probabilidad de éxito en el momento en que sea necesaria la prueba del modelo **o2i**, o la adaptación del mismo para cualquier otro trabajo; este diseño ha sido realizado mediante el desarrollo de un algoritmo de matlab para el procesado de las bases de datos y el cálculo del modelo como tal.

Se ha resaltado la importancia de conocer de antemano los posibles o probables valores lógicos que deben tomar las constantes de ajuste de los modelos para escoger de forma correcta los P_i iniciales con el fin asegurar la convergencia de los algoritmos.

Como resultado de las pruebas los errores de predicción alcanzados por el modelo de propagación **o2i** pueden mejorar susceptiblemente al aumentar el número de puntos medidos, lo que generaría mayor nivel de confianza en el modelo; también se obtendrían mejores errores de predicción si en el modelo fueran incluidos más parámetros (por ejemplo superficie y volumen) que en esta ocasión no han sido tenidos en cuenta y que de una forma u otra tendrían un efecto en el resultado, esto realimentaría con más datos las funciones de matlab y afectaría de forma positiva los P_i (parámetros de ajuste) del modelo.

Se ha propuesto alguna futura línea de investigación, que relacione el área y el volumen de los cubículos con el fin de refinar los P_i y así tener en cuenta en absoluto todos los factores geométricos del establecimiento *indoor*.

AGRADECIMIENTOS

Agradecer al MCG (Grupo de comunicaciones móviles) del iTeam, en cabeza del Dr. Narcis Cardona Marcet por la confianza brindada durante el desarrollo de esta tesina; sin su colaboración intelectual y sin los elementos necesarios para el desarrollo del trabajo, este no hubiera podido llevarse a cabo.

Agradecer también a Msc. Jordi Joan Giménez Gandía miembro activo del MCG por la guía y referencia hecha al trabajo, aportando el conocimiento que tiene en esta materia.

Por último, como no podría ser de otra manera, agradezco el apoyo incondicional dado en la distancia por mi familia durante este tiempo; a mis padres y hermanos a quienes dedico este trabajo.

REFERENCIAS

- [1] Matamales Casañ Joaquín, “Análisis y optimización de las redes móviles de Vodafone en el campus de Vera de la UPV”, PFC, ETSIT –UPV, Marzo de 2008.
- [2] D. Molkdar, “Review on radio propagation into and within buildings”, IEE proceedings-H, 138(1):61-73, February 1991.
- [3] H. Hashemi, “The indoor radio propagation channel”, Proceedings of the IEEE, 81(7):943-967, July 1993.
- [4] A. Davidson and C. Hill, “Measurement of building penetration into medium buildings at 900 and 1500 MHz,” *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 46, no. 1, pp. 161–168, Feb. 1997.
- [5] A. F. de Toledo and A. D. Turkmani, “Propagation into and within buildings at 900, 1800 and 2300 MHz,” in *Proc. IEEE 42nd Veh. Technol. Conf.*, 1992, pp. 633–636.
- [6] A. F. de Toledo, A. D. Turkmani, and J. D. Parsons, “Estimating coverage of radio transmission into and within buildings at 900, 1800, and 2300 MHz,” *IEEE Pers. Commun.*, vol. 5, no. 2, pp. 40–47, Apr. 1998.
- [7] W. J. Tanis and G. J. Pilato, “Building penetration characteristics of 880 MHz and 1922 MHz radio waves,” in *Proc. IEEE 43rd Veh. Technol. Conf.*, 1993, pp. 206–209.
- [8] “Propagation Prediction Models”, COST 231 Final Rep., ch.4, pp. 17–21. 1996.
- [9] Aleksandar Neskovic, Natascha Neskovic y George Paunovic, “Modern approaches in modelling of mobile radio systems propagation environment”, IEEE Communications Surveys. Third Quarter 2000.
- [10] J.D. Parsons “The Mobile Radio Propagation Channel”, Electrical Engineering, Universidad de Liverpool UK. 2000.
- [11] Santiago Flores Asenjo, “Caracterización del canal radio móvil en el interior de edificios con múltiples plantas mediante técnicas de lanzamiento de rayos”, Departamento de Comunicaciones, Universidad Politécnica de Valencia, Gandía. 1998.
- [12] Sandra Sendra, Miguel Garcia, Carlos Turro y Jaime Lloret. “WLAN IEEE 802.11a/b/g/n Indoor Coverage and Interference Performance Study”, Universidad Politécnica de Valencia. 2011.
- [13] P. Pechač and M. Klepal, “Empirical Models for Indoor Propagation in CTU Prague Buildings”, *Radioengineering*, vol. 9, pp. 31–36. 2000.
- [14] Néstor García Fernández, “Modelo de cobertura en redes inalámbricas basado en radiosidad por refinamiento progresivo”, tesis doctoral. Universidad de Oviedo. Marzo de 2006.
- [15] Recomendación UIT-R p.1238-2, “datos de propagación y métodos de predicción para la planificación de sistemas de radiocomunicaciones de interiores y redes de radiocomunicaciones de área local en la gama de frecuencias de 900 MHz a 100 GHz”, Cuestión UIT-R 211/3. 2001.
- [16] Aleksandar Neskovic, Natasa Neskovic George Paunovic, “Modern approaches in modeling of mobile radio systems propagation environment”, IEEE Communications. University Of Belgrade. Third quarter 2000.
- [17] Simon R. Saunders. “Antennas and Propagation for Wireless Communication Systems”, editorial Wiley. 1999 p.p 284-285.

- [18] Dov Andelman, “*5GHz WLAN Indoor Coverage Range: Truths and Misconceptions*”, Israel. (2004).
- [19] J.M. Keenan and A.J. Motley, “*Radio coverage in buildings*”, British telecom technology Journal, 8(1):19-24, January 1990.
- [20] Nicola Cranley, “*Model for Wireless Lan Transmitter Location for Optimal Performance*”.Tesis Master. Septiembre 2004. Pag.20-23.
- [21] J. Beyer and R. Jakoby, “*Two Semi-Empirical and Fast Prediction Models for Urban Microcells Compared with Measurements at 919 and 1873 MHz*”, European Personal Mobile Communication Conference (EPMCC'97), Bonn, Germany, September 1997.
- [22] COST 231 final report, COST Action 231, “*Digital Mobile Radio Towards Future Generation Systems*”, European Commission / COST Telecommunications, Brussels, Belgium, 1999.
- [23] Cassio Bento Andrade y Roger Pierre Fabris Hoefel, “*IEEE 802.11 WLAN's: a comparison on indoor coverage models*”, Department Of Electrical Engineering, Federal University Of Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre, Brazil.2003.
- [24] J. E. Berg, “*4.6 building penetration,*” in “*Digital Mobile Radio Toward Future Generation Systems,*” COST Telecom Secretariat, Commission of the European Communities, Brussels, Belgium, pp. 167–174, COST 231 Final Rep., 1999. sec. 4.6.
- [25] ETSI TR 101 112, “*Selection procedures for the choice of radio transmission technologies of the UMTS*”, UMTS 30.03 version 3.2.0. Abril 1998.
- [26] Hideaki Okamoto, Koshiro Kitao and Shinichi Ichitsubo, “*Outdoor-to Indoor Propagation Loss Prediction in 800-MHz to 8-GHz Band for an Urban Area*”, *Members IEEE*, Vol. 58, no. 3, March 2009.