

Propuesta de una metodología para el diseño de sistemas DAS indoormulti-operadora con la selección del modelo de propagación outdoor-indoor

Jhonny A. Villota, Pablo Lupera Morillo, Ricardo X. Llugsi,

Escuela Politécnica Nacional, Quito-Ecuador.

Resumen— En el presente artículo se analiza inicialmente el problema de cobertura en ambientes indoor. Para esto, se comparan y validan varios modelos indoor y outdoor de propagación utilizados para determinar las pérdidas de potencia producidas en ambientes urbanos para sistemas WCDMA en las bandas de 850 MHz y 1900 MHz con las mediciones de RSCP (Potencia de Código Recibida) realizadas dentro del edificio de la Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica (FIEE/FIQA) de la Escuela Politécnica Nacional. Posteriormente, se presenta una metodología para el diseño de sistemas de antenas distribuidas (DAS) multi-operadora para ambientes indoor y se cuantifica la mejora en los niveles de RSCP en cada piso del edificio mediante predicciones de cobertura obtenidas con la herramienta iBwave DESIGN.

Índices — Modelos de propagación indoor/outdoor, DAS, sistemas WCDMA.

I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad los sistemas WCDMA son uno de los sistemas celulares de mayor despliegue alrededor del mundo debido a su relativo bajo costo de implementación y su versatilidad en cuanto al tipo de uso que el usuario final le puede dar a estas redes ya sea para voz o datos; sin embargo, la densidad de edificaciones en áreas urbanas hacen que la penetración de la señal hacia interiores sea un problema que se debe considerar especialmente en la planificación de redes móviles de este tipo.

Los modelos de propagación disponibles para ambientes urbanos consideran atenuaciones generales y no son efectivas para evaluar la penetración de la señal hacia el interior de edificaciones específicas. Si los objetivos de cobertura son edificaciones medianas y grandes, los sistemas de este tipo tienen dos problemas: falta de cobertura en los pisos inferiores y exceso de interferencia en los pisos superiores. Este problema se puede solucionar con el despliegue de un sistema de antenas distribuidas en interiores.

Las pérdidas de potencia que experimenta una señal que viaja por un medio inalámbrico se pueden estimar a través de varios modelos matemáticos basados en la distancia transmisor-receptor y en las características físicas del ambiente en el que viaja la señal; sin embargo, los resultados que se obtienen pueden variar ampliamente de un modelo a otro de acuerdo a la densidad de obstrucciones y al tipo de material.

En la sección II del presente artículo se aplican varios

modelos de propagación para exteriores e interiores y se presenta una comparación con las mediciones realizadas con teléfonos de ingeniería, con la finalidad de determinar la combinación de modelos de propagación outdoor/indoor que más se acerque a las mediciones en el entorno urbano que rodea al edificio FIEE/FIQA de la Escuela Politécnica Nacional en las bandas 850/1900 MHz. Este estudio previo se realiza con la finalidad de establecer los modelos de propagación que permitan estimar de mejor manera los niveles de señal en interiores y detectar las deficiencias de cobertura.

Debido a la sensibilidad a la interferencia que presentan los sistemas WCDMA, no es recomendable aumentar la potencia de transmisión de una estación base con la finalidad de que la señal penetre al interior de edificaciones. Cuando los objetivos de cobertura requieren alcanzar pisos inferiores de una edificación, una solución altamente efectiva para no contaminar otras zonas son los sistemas de antenas distribuidas. En la sección III de este artículo se plantea una metodología para el diseño de DAS enfocado a múltiples operadoras sobre una misma infraestructura. Finalmente en la sección IV se presentan las conclusiones.

II. ANÁLISIS TEÓRICO MEDIANTE MODELOS DE PROPAGACIÓN

A. Método de análisis

En los análisis teóricos se consideró la distribución de estaciones base de 3 operadoras que se encuentran alrededor y dan servicio al edificio. El método de análisis teórico planteado considera únicamente los efectos de atenuación determinados con los modelos de propagación, sin considerar efectos como reflexión, propagación por multitrayectoria o difracción en paredes. La Fig. 1 muestra el método de aplicación de los modelos de propagación para exteriores e interiores en el edificio en estudio. Se plantea realizar un cálculo de propagación para el exterior con los modelos de propagación outdoor y un cálculo de propagación para interiores con los modelos de propagación indoor.

Los modelos de propagación outdoor aplicados desde la estación base hasta el exterior del edificio fueron [1, 2, 3]:

- ✓ Atenuación en espacio libre (FSPL),
- ✓ Ikegami,
- ✓ Borde plano,
- ✓ Walfisch – Bertoni,
- ✓ COST 231 – Walfisch – Ikegami

En cambio, los modelos indoor aplicados desde las paredes exteriores del edificio hacia el interior fueron[1, 4, 5, 6]:

- ✓ ITU-R P.1238,
- ✓ Log – distancia,
- ✓ Pendiente única,
- ✓ Motley – Keenan,
- ✓ Cost 231 – Multi-pared.

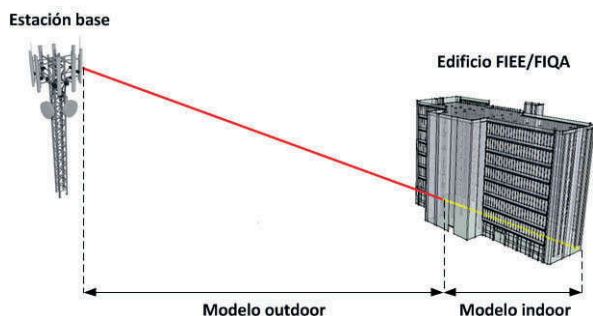


Fig. 1. Método de aplicación de los modelos de propagación para exteriores e interiores.

Los cálculos teóricos del nivel de señal recibida en el edificio con los modelos de propagación se realizan tomando en cuenta que la frecuencia de operación es de 850 MHz para las operadoras Claro y Movistar, mientras que para la operadora CNT la banda de frecuencia es de 1900 MHz.

B. Modelos de propagación versus mediciones

En la tabla I se muestra la mediana en dBm de los niveles de RSCP (ReceivedSignalCodePower) medidos mediante walk test en la planta baja del edificio FIEE/FIQA para las redes de las operadoras de telefonía móvil que dan servicio en la zona analizada. En la misma tabla también se especifica la distancia media entre el edificio y las estaciones base de cada operadora.

TABLA I
NIVELES MEDIDOS DE RSCP Y DISTANCIA PROMEDIO ENTRE EDIFICIO FIEE/FIQA Y ESTACIONES BASE DE CADA OPERADORA

Operadora / Banda	Claro / 850 MHz	CNT / 1900 MHz	Movistar / 850 MHz
Niveles de RSCP [dBm] (Mediana)	-86.4	-105.2	-99.4
Distancia FIEE/FIQA-estación base [m] (Media)	162	522	179

Se observa que los niveles de RSCP guardan una relación directa pero no lineal con la distancia media entre el edificio y las estaciones base de cada operadora.

En la tabla II se muestra la mediana en dBm de los niveles de RSCP calculados con las combinaciones de los modelos outdoor/indoor para la operadora Claro en la banda de 850 MHz.

TABLA II
NIVELES DE SEÑAL CALCULADOS CON LAS COMBINACIONES DE LOS MODELOS DE PROPAGACIÓN OUTDOOR INDOOR PARA LA OPERADORA CLARO

Modelo indoor	ITU-R	Log – distancia	Pendiente única	Motley – Keenan	COST 231 – Multi-pared	
Atenuación en espacio libre	-93.59	-99.76	-156.22	-86.15	-93.6	
Ikegami	-	-110.45	-117.68	-172.92	-103.63	-111.29
Borde plano	-	-110.28	-117.51	-172.74	-103.46	-111.12
Walfisch – Bertoni	-	-130.32	-137.08	-192.9	-123.65	-130.73
COST 231 – Walfisch – Ikegami	-122.2	-129.08	-184.78	-115.74	-	-122.58

Del análisis realizado se observa que los niveles de señal calculados se acercan a las mediciones cuando se aplica el modelo de propagación en espacio libre (FSPL), exceptuando la combinación FSPL/pendiente única, la cual no guarda relación con las mediciones, mostrando una diferencia de 69.82 dB respecto a las mediciones. Se puede notar que la combinación FSPL/Motley–Keenan presenta una diferencia de apenas 0.25 dB respecto a las mediciones.

En la tabla III se presenta la mediana en dBm de los niveles de RSCP calculados con las posibles combinaciones de los modelos outdoor/indoor para la operadora CNT en la banda de 1900 MHz.

TABLA III
NIVELES DE SEÑAL CALCULADOS CON LAS COMBINACIONES DE LOS MODELOS DE PROPAGACIÓN OUTDOOR INDOOR PARA LA OPERADORA CNT

Modelo indoor	ITU-R	Log – distancia	Pendiente única	Motley – Keenan	COST 231 – Multi-pared	
Atenuación en espacio libre	-	-112.96	-132.4	-178.65	-108.18	-115.65
Ikegami	-	-137.67	-157.31	-203.14	-134.17	-141.93
Borde plano	-	-142.73	-162.37	-208.17	-139.13	-146.03
Walfisch – Bertoni	-	-162.69	-166.19	-212	-143.02	-150.6
COST 231 – Walfisch – Ikegami	-	-162.69	-180.66	-229.6	-157.72	-167.99

De los cálculos teóricos para la operadora CNT se observa que las predicciones de señal en el ambiente outdoor se aproximan más a las mediciones cuando se utiliza el modelo de propagación en el espacio libre. En este caso también se excluye la combinación del modelo en el espacio libre con el modelo pendiente única pues muestra una diferencia de 73.45 dB respecto a las mediciones. Así mismo, la combinación FSPL/Motley–Keenan es la de menor desviación con 2.98 dB de diferencia respecto a las mediciones.

En la tabla IV se muestra la mediana en dBm de los niveles de RSCP calculados con las combinaciones de los modelos

outdoor/indoor para la operadora Movistar en la banda de 850 MHz.

TABLA IV.
NIVELES DE SEÑAL CALCULADOS CON LAS COMBINACIONES DE LOS MODELOS DE PROPAGACIÓN OUTDOOR INDOOR PARA LA OPERADORA MOVISTAR

Modelo indoor		ITU-R	Log - distancia	Pendiente única	Motley - Keenan	COST 231 - Multi-pared
Modelo outdoor	Atenuación en espacio libre	-95.93	-103.13	-158.51	-89.38	-97.13
	Ikegami	-110.39	-117.7	-172.82	-103.14	-110.75
	Borde plano	-113.07	-119.81	-175.65	-106.11	-113.88
	Walfisch - Bertoni	-131.71	-139.84	-194.13	-126.01	-133.13
	COST 231 - Walfisch - Ikegami	-129.24	-135.87	-191.82	-121.93	-129.71

Al analizar los resultados se confirma lo obtenido anteriormente en el caso del ambiente outdoor, el modelo más aproximado a las mediciones es el FSPL. Respecto a la mejor combinación, los resultados en el caso de esta operadora difieren respecto a las anteriores, pues los modelos FSPL y COST 231-Multi-pared son la mejor combinación según su mediana, la cual difiere en 2.27 dB de las mediciones.

En la Fig. 2 se muestra la mediana obtenida en las mediciones de RSCP comparándola con el valor de la mediana de los cálculos teóricos del modelo FSPL combinado con los otros modelos.

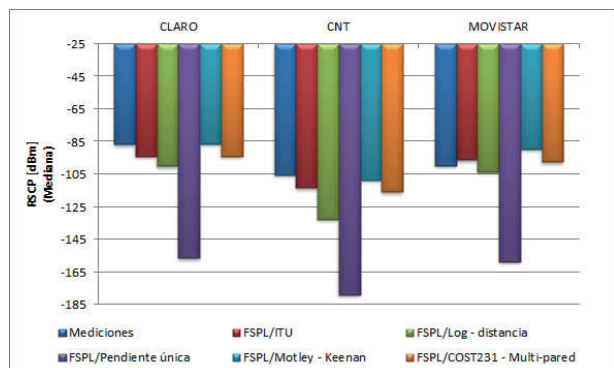


Fig. 2. Mediana de los niveles de RSCP medidos y calculados en la planta baja del edificio FIEE/FIQA para las tres operadoras evaluadas.

Para un análisis más detallado del modelo FSPL combinado con los otros modelos se presenta en la figura 3 la distribución acumulativa de las muestras de RSCP medidas y calculadas de la operadora Claro. Esta distribución guarda relación con la mediana mostrada en la Fig. 2; sin embargo, agrega un detalle de precisión mayor, pues además de confirmar que la combinación FSPL/pendiente única no es adecuada para el caso de estudio, se observa que la distribución de muestras de la combinación FSPL/log-distancia tampoco se asemeja a los resultados de las mediciones y combinaciones restantes. La

Fig. 3 también confirma que la combinación de los modelos de espacio libre y Motley-Keenan es la más cercana a las mediciones. Se observa además que la combinación FSPL e ITU-Rocupa la segunda posición en cuanto a semejanza de su distribución acumulativa respecto a las mediciones.

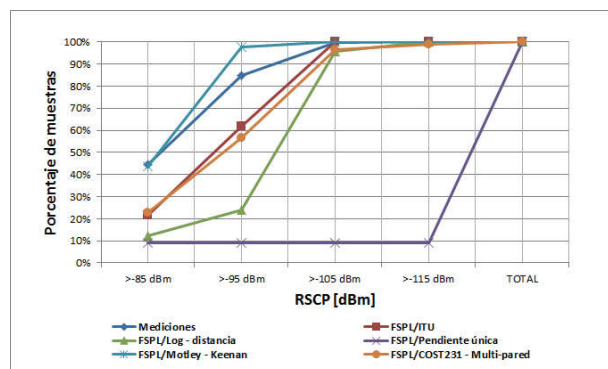


Fig. 3. Distribución acumulativa de muestras de RSCP calculadas y medidas en la planta baja del edificio FIEE/FIQA para la operadora Claro.

En la Fig. 4 se presenta la distribución acumulativa de las muestras de RSCP medidas y calculadas de RSCP de la operadora CNT. Se observa que las combinaciones FSPL/pendiente única y FSPL/log-distancia no son las adecuadas, pues la distribución de sus muestras difiere de las mediciones. De igual forma, se confirma que la distribución del modelo FSPL/Motley-Keenan es el más adecuado, seguido por la combinación de modelos FSPL/ITU-R.

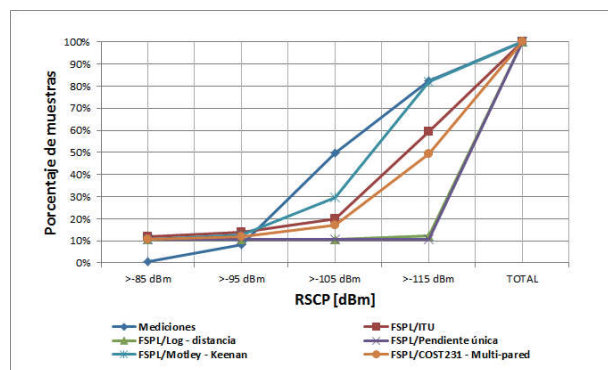


Fig. 4. Distribución acumulativa de muestras de RSCP calculadas y medidas en la planta baja del edificio FIEE/FIQA para la operadora CNT.

En la Fig. 5 se presenta la distribución de las muestras de RSCP medidas y calculadas de la operadora Movistar. A diferencia de las otras operadoras, según la distribución de las muestras, la combinación más cercana a las mediciones es la de los modelos FSPL/ITU seguida por FSPL/COST 231-Multi-pared.

C. Descripción de los modelos aplicables al caso de estudio

A continuación se presentan las ecuaciones y variables de los modelos que más se acercan a las mediciones. Los parámetros utilizados y su representación en los modelos son:

r: Distancia entre la estación base y el móvil [m].
 R: Distancia entre la estación base y el móvil [km].
 λ : Longitud de onda de la portadora [m].
 f_c : Frecuencia de portadora [MHz].

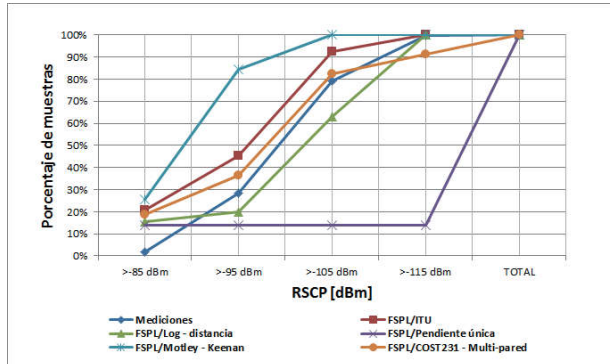


Fig. 5. Distribución acumulativa de muestras de RSCP calculadas y medidas en la planta baja del edificio FIEE/FIQA para la operadora Movistar.

La atenuación en espacio libre se calcula con el modelo de Friis y la ecuación para el cálculo se presenta en (1) [2]:

$$L_F = 20 \log \frac{4}{r} \quad (1)$$

En forma logarítmica, considerando la frecuencia en MHz y la distancia R en Km, se tiene (2):

$$L_F = 32.45 + 20 \log(R) + 20 \log(f_c) \quad (2)$$

El modelo Motley-Keenan fue el que permitió obtener resultados más cercanos a las mediciones para dos operadoras. En este modelo para el cálculo de la atenuación en indoors consideran las pérdidas en espacio libre y las pérdidas generadas por la cantidad de paredes y pisos que atraviesa la señal hasta llegar al receptor como se muestra en la Fig. 6.

Las pérdidas para este modelo están dadas por (3) [6]:

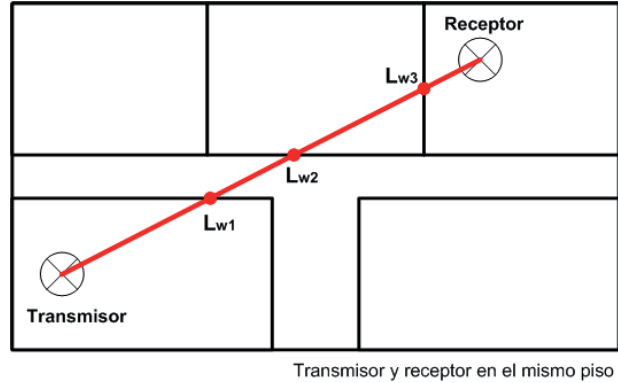
L_o son las pérdidas por atenuación en espacio libre a 1

$$L_{MK} = L_o + 10n \log(d) + \sum_j N_{wj} L_{wj} + \sum_i N_{fi} L_{fi} \quad (3)$$

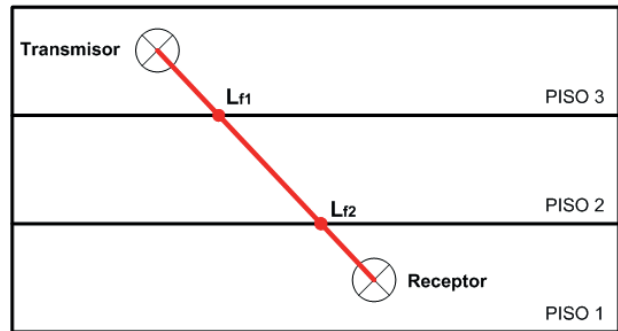
metro de distancia, n es el exponente de pérdida en el trayecto, N_{wj} y N_{fi} corresponden al número de paredes y pisos respectivamente. L_{wj} y L_{fi} son los factores de atenuación dependientes del material de las paredes y pisos. Los valores típicos de estos parámetros son: $n=2$, $L_f=20$ dB, $L_w=3$ dB.

Finalmente, el modelo ITU-R brinda una segunda aproximación para los cálculos teóricos que se acerca a las mediciones efectuadas. Las pérdidas para este modelo en ambientes indoor están dadas por la recomendación ITU-R P.1238 en (4) [4]:

$$L_{ITU} = 20 \log f_c + N \log d + L_f(n) \quad (4)$$



Transmisor y receptor en el mismo piso



Transmisor y receptor en diferentes pisos

Fig. 6. Propagación considerada en el modelo Motley-Keenan.

Dónde:

N : Coeficiente de pérdidas por distancia.

d : Distancia entre la antena transmisora y el móvil [m].

$L_f(n)$: Factor de pérdidas por penetración de pisos.

n : Número de pisos entre transmisor y receptor.

Estos modelos podrían ser utilizados para predecir los niveles de señal en interiores previo a la aplicación de la metodología para el diseño de un sistema DAS.

III. METODOLOGÍA PARA EL DISEÑO DE DAS

Para el diseño de sistemas de antenas distribuidas multi-operadora en edificaciones la metodología propuesta se muestra en la Fig. 7.

A. Evaluación, diseño y planificación

En esta etapa se evalúan los niveles de cobertura y calidad existentes mediante walk test dentro y fuera del área de interés o se estiman dichos niveles a través de los modelos de propagación propuestos en la sección II de este trabajo. Además se verifica el ambiente outdoor de propagación RF, considerando si las edificaciones vecinas generan atenuaciones adicionales al sistema existente.

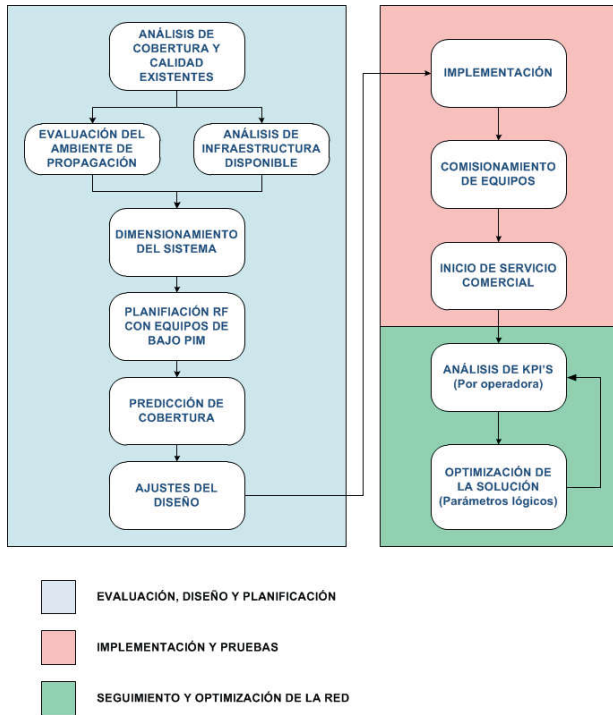


Fig. 7. Metodología propuesta para el diseño de DAS multi-operadora.

Luego se requiere de un análisis minucioso de la infraestructura disponible de cada operadora, de acuerdo a su distribución de estaciones base y de equipos de red en la zona cercana al edificio, con la finalidad de definir la conexión que se realizará desde la infraestructura existente de los operadores hasta el punto central del sistema DAS multioperadora. En la Fig. 8 se muestra el esquema general de radio sobre fibra para el sistema DAS propuesto en el edificio FIEE/FIQA.

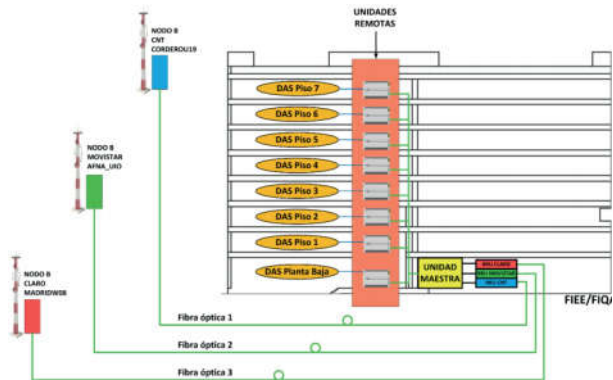


Fig. 8. Esquema general de la solución DAS considerando la infraestructura existente de las operadoras.

Posteriormente, se procede al dimensionamiento del sistema, considerando la cantidad de tráfico que se espera en horas pico para cada operadora. Dichas estimaciones de tráfico se realizan con las estadísticas de penetración de telefonía móvil y participación de mercado proporcionadas

generalmente por el ente regulador de telecomunicaciones de cada país y con estimaciones de la cantidad de personas que frecuentan la zona de interés. En la Fig. 9 se muestran los resultados del dimensionamiento del DAS por pisos y en la Fig. 10, como ejemplo, se puede observar la distribución propuesta de antenas en la planta baja del edificio.

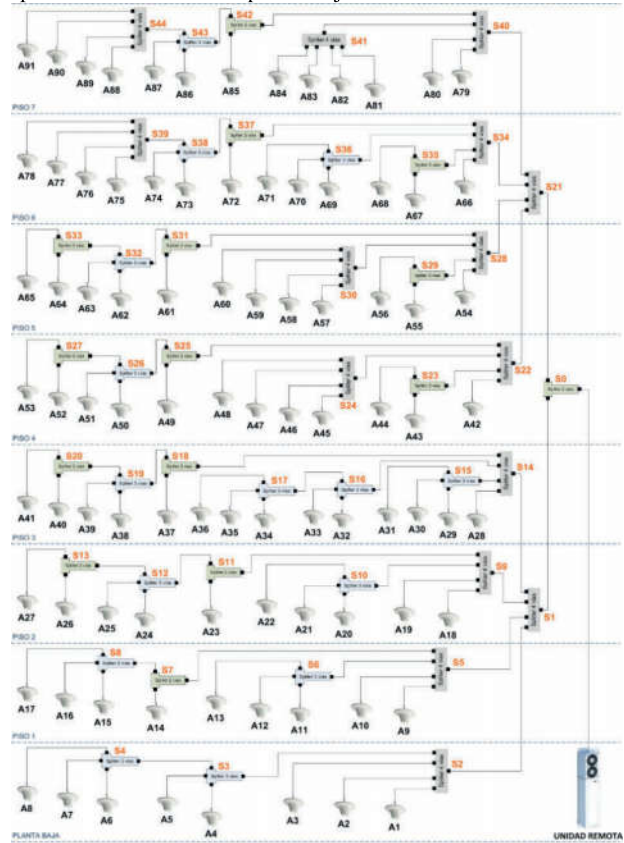


Fig. 9. Distribución del sistema de antenas DAS y conexiones RF.

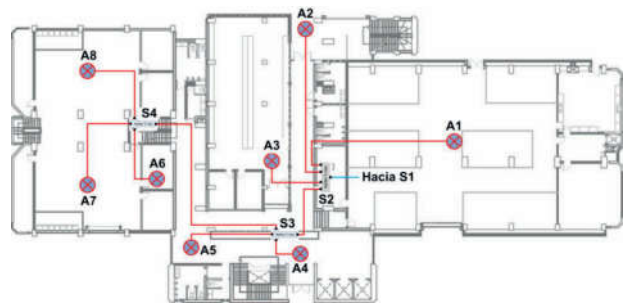


Fig. 10. Distribución de antenas en la planta baja.

La planificación RF consiste en definir las frecuencias y canales óptimos para causar el mínimo impacto a la red inalámbrica exterior, tomando en cuenta que pueden existir zonas en donde la sobrepogación del sistema DAS puede causar interferencia a estaciones base cercanas, disminuyendo de este modo el desempeño de la red. En nuestro caso las unidades remotas utilizadas en cada piso tienen una potencia de transmisión máxima de 28 dBm y las antenas del sistema

DAS son omnidireccionales.

Otro aspecto a considerarse durante el diseño del DAS multi-operadora es la utilización de equipos pasivos menos propensos a problemas de intermodulación pasiva (PIM); aunque su costo es mayor que los equipos tradicionales, la inversión en sistemas multi-operadora es indispensable para evitar este tipo de problemas.

Luego de realizar el diseño se procede a las predicciones de cobertura mediante herramientas de simulación como iBwave DESIGN, las cuales permiten verificar el alcance de cobertura del sistema DAS. Adicionalmente, estas herramientas permiten verificar errores de diseño para corregirlos antes de entregar la versión final a los responsables de la implementación de la solución de cobertura.

En la Fig. 11 se presentan los niveles medios de RSCP en cada piso del edificio FIEE/FIQA para la operadora Claro antes de la instalación DAS y los niveles que se esperarían al implementarse la solución DAS diseñada. Para esta operadora se observa una mejora promedio de 30 dB en cada piso al implementarse el DAS propuesto.

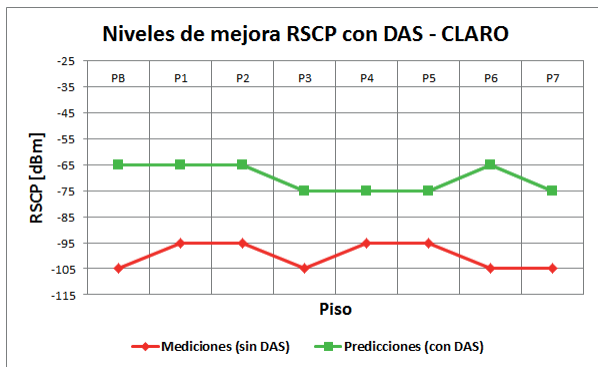


Fig. 11. Niveles de RSCP medidos (sin DAS) y predichos (con DAS) para la operadora Claro.

En la Fig. 12 se presentan los niveles de cobertura medidos en cada piso del edificio FIEE/FIQA para la operadora CNT y los niveles esperados al implementarse la solución DAS diseñada. Para esta operadora se observa una mejora promedio de 31.25 dB en cada piso al implementarse el DAS propuesto.

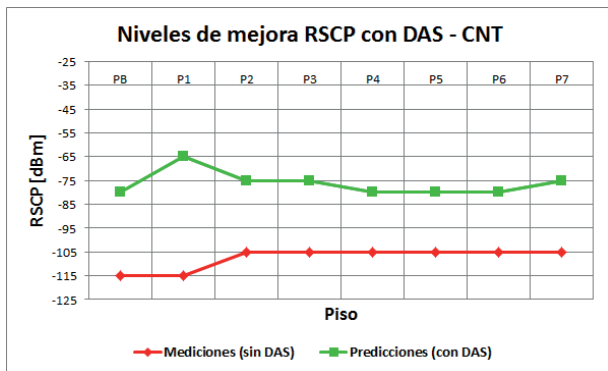


Fig. 12. Niveles de RSCP medidos (sin DAS) y predichos (con DAS) para la operadora CNT.

En la Fig. 13 se presentan los niveles de cobertura medidos en cada piso del edificio FIEE/FIQA para la operadora Movistar y los niveles esperados al implementarse la solución DAS diseñada. Para esta operadora se observa una mejora promedio de 32.5 dB en cada piso al implementarse el DAS propuesto.

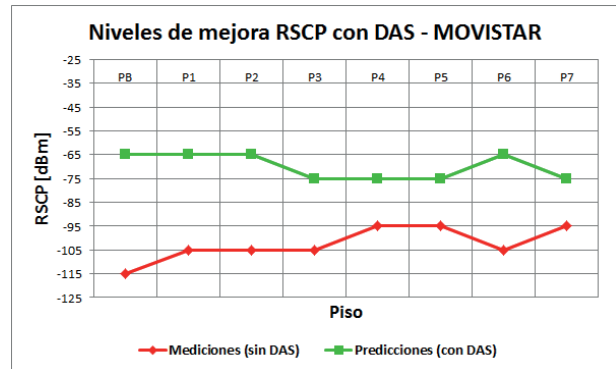


Fig. 13. Niveles de RSCP medidos (sin DAS) y predichos (con DAS) para la operadora Movistar.

B. Implementación y pruebas

Luego de que las operadoras aprueban el diseño se procede a su implementación y comisionamiento de los equipos activos. Para este proceso se requiere de personal ampliamente calificado, pues una solución multi-operadora requiere de una instalación precisa con las herramientas adecuadas [7].

El comisionamiento de equipos consiste en realizar una serie de pruebas para demostrar que se cumple con los parámetros mínimos acordados con las operadoras y entregarles la solución de cobertura en funcionamiento pleno para su inicio de operaciones comerciales.

C. Seguimiento y optimización de la red

Al igual que todas las estaciones base de una red celular, las soluciones DAS deben ser monitoreadas continuamente por cada operadora con el fin de verificar su correcto funcionamiento mediante el cumplimiento de los indicadores claves de desempeño (KPI). Este monitoreo constante permite a cada operadora conocer si el sistema requiere modificaciones lógicas o si se requiere nuevas portadoras o tecnologías para cubrir la demanda de tráfico generada en la zona de operación del DAS. La optimización mediante parámetros físicos en sistemas multi-operadora es posible de realizarse siempre y cuando todas las operadoras implicadas vean fallas en una determinada zona y lleguen a acuerdos para la modificación física en alguna parte del sistema.

IV. CONCLUSIONES

La combinación adecuada de modelos para predecir los niveles de RSCP en el caso de estudio, es la que utiliza al modelo FSPL y Motley-Keenan, la cual muestra una diferencia respecto a las mediciones de 0.25 dB y 2.98 dB en el caso de las operadoras Claro y CNT respectivamente;

mientras que para la operadora Movistar la combinación FSPL/ITU-R es la de menor error con 2.27 dB respecto a las mediciones.

Se observa que la banda de frecuencia en la que se trabaja no repercute significativamente en la exactitud de los modelos elegidos, pues para las operadoras Claro y CNT la exactitud de los resultados es similar, a pesar de trabajar en diferentes bandas de frecuencias.

Si se tiene suficiente información de la edificación a evaluar, el modelo indoor más adecuado es el de Motley-Keenan; caso contrario, el modelo recomendado por la ITU-R es el que más se acerca a las mediciones.

Como un trabajo complementario al estudio realizado se sugiere analizar la efectividad de los modelos propuestos considerando otras edificaciones y sectores de la ciudad de Quito.

La metodología propuesta para el diseño de un sistema DAS cumple con lo esperado, ya que se logra una mejora significativa en los niveles indoor de señal. Con la implementación del DAS diseñado, según las predicciones realizadas con la herramienta iBwave DESIGN, los niveles de cobertura mejorarían en promedio 31,25 dB respecto a las mediciones que se tomaron en cada piso del edificio.

En [8] se puede revisar en detalle la metodología propuesta y la aplicación de la misma en el diseño del sistema DAS para el edificio FIEE/FIQA.

V. REFERENCIAS

- [1] Fujimoto K., "Mobile Antenna Systems Handbook", vol. 1, pp. 67-76, 2008.
- [2] Recomendación ITU-R P.525, "Cálculo de la atenuación en el espacio libre", 2016, [En línea]. Disponible: https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/p/R-REC-P.525-3-201611-I!!PDF-S.pdf. [Último acceso: Ago. 2017].
- [3] Recomendación ITU-R P.1411, "Datos de propagación y métodos de predicción para la planificación de los sistemas de radiocomunicaciones de exteriores de corto alcance y redes de radiocomunicaciones de área local en la gama de frecuencias de 300 MHz a 100 GHz", 2001, [En línea]. Disponible: https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/p/R-REC-P.1411-1-200102-S!!PDF-S.pdf.
- [4] [2] Recomendación ITU-R P.1238, "Propagation data and prediction models for the planning of indoor radiocommunication systems and radio local area networks in the frequency range 900 MHz to 100 GHz", 1997, [En línea]. Disponible: https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/p/R-REC-P.1238-0-199705-S!!PDF-E.pdf. [Último acceso: Ene. 2016].
- [5] [3] Seybold J., "Introduction to RF Propagation", vol. 1, pp. 67-68, 210-211, 2005.
- [6] [4] Glisic S., "Adaptive WCDMA Theory and Practice", vol. 1, pp. 243-244, 2003.

VI. BIOGRAFÍAS



Jhonny A. Villota, nació en Tulcán-Ecuador el 21 de Julio de 1989. Realizó sus estudios secundarios en el Instituto Tecnológico Bolívar. Es Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones por la Escuela Politécnica Nacional. Ha colaborado como ingeniero de radiofrecuencia en la empresa SESTEL S.A. en proyectos de diseño, implementación y optimización de sistemas celulares 3G y LTE para las operadoras de telefonía móvil en Ecuador. Áreas de interés: comunicaciones inalámbricas, sistemas celulares, microcontroladores, aeromodelismo. (jhalvico@yahoo.com)



Pablo Lupera Morillo, obtuvo el título de ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones en la Escuela Politécnica Nacional en el año 2002 y el título de Ph.D. en ciencias técnicas en la Universidad Estatal de Telecomunicaciones de San Petersburgo en Rusia en el año 2009. Sus áreas de investigación son el comportamiento del canal inalámbrico, técnicas de transmisión aplicadas en la capa física y la planificación y optimización de redes de comunicación móvil.



Ricardo Xavier Llugsí, Bachiller Técnico en Electrónica Industrial, Colegio Técnico Salesiano "Don Bosco". Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones, Escuela Politécnica Nacional (EC). Master of Science Communication Engineering, The University of Manchester (UK). Egresado de Maestría en Conectividad y Redes de Telecomunicaciones, Escuela Politécnica Nacional (EC).