

realiza una prueba diferente, ya sea en cantidad, tipo o duración de las llamadas. Además de esto, en algunas tipologías de mayor envergadura la metodología a realizar puede variar; por ejemplo, en una feria de muestras puede ser necesario entrar y salir en repetidas ocasiones a los diferentes pabellones, debiendo colocar un marcador en cada pabellón. Es común que el modo de medir cada tipología lo decida el cliente.

En este proyecto, el ámbito geográfico de estudio son algunas capitales de provincia concretas, por lo que en cada una de estas ciudades será necesario realizar una cantidad de medidas de acuerdo al número de habitantes de cada una de ellas; para lo cual, a lo largo del proyecto, se realiza un rápido control semanal, en el que se ponderan el número de mediciones por el número de habitantes de la ciudad, y se harán modificaciones en la planificación para que todas las capitales tengan aproximadamente el mismo porcentaje. El resultado final debe ser una cantidad de medidas de acuerdo a la población de cada ciudad. El resultado de la operación *Población fija/Número de medidas realizadas* debe ser igual para cada una de las ciudades comprendidas en este proyecto.

Uno de los resultados presentados al cliente es un mapa con los puntos de medidas. A lo largo de la campaña se harán revisiones periódicas de esta visión geográfica de las medidas, ya que las medidas deberán estar distribuidas por toda la ciudad para que el KPI reportado de una ciudad se ajuste lo máximo a la situación real. Estas revisiones (la periodicidad depende de la duración total del proyecto) permiten realizar modificaciones en la campaña a tiempo para que el resultado final sea el adecuado. Para poder dibujar estos mapas, el software utilizado para realizar las pruebas debe tener acceso a las coordenadas GPS de cada medida. Esta necesidad de coordenadas se soluciona con el uso de una antena GPS, descrita en el apartado 3.

5 Comparación entre medidas estimadas y reales

Las medidas realizadas en entornos indoor pueden complementarse con las medidas realizadas en outdoor. La planificación de ambos proyectos se coordina de manera que coincidan en tiempo y localización. Esto es, el proyecto de outdoor suele tener una duración anual, ya que su cobertura geográfica es mucho más extensa, mientras que el proyecto indoor suele cubrir un número limitado de ciudades, por lo que su límite temporal es más reducido.

Así, se planifica de manera que las ciudades cubiertas por ambos proyectos se midan al mismo tiempo, pudiendo comparar ambas medidas. Esto se hace así ya que en numerosas ocasiones, la red

tiene problemas temporales como caídas de nodos, saturación, o simplemente se modifican algunos parámetros de la red para optimizar su uso. Si las medidas se realizasen en meses diferentes, sería necesario considerar estas posibles modificaciones o caídas de la red, y en ocasiones sería imposible la comparación, ya que las condiciones no serían las mismas.

Es frecuente que una vez realizado un estudio de benchmarking, el operador demande un nuevo estudio en ciertos puntos de acción. Esto es debido a posibles modificaciones que se hayan realizado a la red tras un proceso de optimización y se desee comprobar el resultado obtenido. También puede deberse a un error conocido en la red en un momento determinado, como una saturación o la caída de un nodo o parte del núcleo. Este tipo de incidencias son registradas y comparadas con los resultados del benchmarking, de manera que se solicita una nueva medida en esa zona concreta para comprobar que el problema era temporal y tener una visión del comportamiento de la red en condiciones normales. Idealmente, este informe sobre incidencias de la red se reporta en tiempo real, por lo que la planificación de las medidas se modificaría para evitar remedidas.

La comparación entre medidas indoor y outdoor se lleva a cabo ya que existen varios métodos para estimar la cobertura indoor a través de la outdoor. Así, una vez obtenidos los resultados de cobertura outdoor, se hace uso de uno de estos métodos para estimar las curvas de cobertura indoor y poder evaluar cuánto de preciso es el método utilizado en las medidas indoor, e incluso detectar posibles errores en una de las dos medidas.

Por motivos de confidencialidad, el método usado en este trabajo no puede describirse detalladamente, por lo que se opta por describir los métodos más usados. Estos métodos son el COST231, cálculo Okumura-Hata y el modelo UMTS TR 101 112 es usado como base en el método desarrollado en la práctica.

5.1 Modelo de Cálculo Okumura-Hata

El factor de penetración indoor (PI) es el factor de desvanecimiento que sufre la señal en el paso de un ambiente outdoor a uno indoor.

5.1.1.1 Pérdidas de penetración hacia el interior de edificios.

Para cálculos de cobertura indoor, se consideran pérdidas de penetración que han sido medidas en varios tipos de edificios en pisos sobre el nivel de tierra y subterráneos.

Las pérdidas de penetración en edificios, dependen del medio ambiente y del tipo de edificio. Esta es la diferencia entre la magnitud

del campo principal fuera de los edificios y las magnitudes del campo principal sobre el piso considerado.

- Para áreas urbanas, en que la distribución de edificios es uniforme, con construcciones de concreto, del orden de 8 pisos, con longitudes de 35m, y calles con longitudes de 30m, los valores medios de penetración son de alrededor de 18 dB en el primer piso. Este valor puede variar desde menos de 10 dB hasta más de 35 dB dependiendo del material del edificio y su ancho.
- Para áreas urbanas medias, con edificios de 3 y 4 pisos y longitudes de 25 m calles de 30m a 50m, generalmente edificios de oficinas, con ventanas amplias, el factor medio de penetración es de aproximadamente 15 dB.
- Para áreas residenciales, en que las construcciones son principalmente casas o pequeños edificios y el largo de las calles de cerca de 50 m, el factor medio de penetración es del orden de 10 dB.

Estos valores sólo conciernen a pisos de nivel de tierra (primer piso). Para pisos superiores se esperan ganancias promedio de 2 dB por piso.

Sin embargo, de un país a otro, se tienen pequeñas variaciones en los valores de penetración debido a distintas normas de arquitectura (consideraciones anti-sísmicas...) y materiales de construcción (piedra, concreto, mármol...).

Las suposiciones de cobertura indoor correspondientes a los márgenes de penetración son para las áreas en que se requiere una cobertura indoor y para aparatos portátiles con antenas desplegadas:

5.1.1.2 Modelo considerado por el grupo COST

Este factor crítico depende de los requerimientos del operador para las características de la cobertura, particularmente importante de considerar para los aparatos portátiles.

Para su cálculo, se pueden considerar varias tipos de aproximaciones, y varias teorías o métodos de análisis de medidas. Uno de los métodos más prácticos es aquel obtenido de presentaciones en la Comunidad Europea por el Grupo COST231, el cual entrega las pérdidas en función del tipo de muros de los edificios, número de pisos y número de muros divisorios internos.

El modelo correspondiente es el siguiente:

$$PI = L_{ext} + p * L_p - L_f * (f - 1)$$

Donde:

| | | |
|-----------|---|-----------------------------------------|
| PI | : | Pérdidas de penetración indoor en dB |
| L_{ext} | : | Pérdidas en los muros exteriores |
| p | : | Número de muros interiores |
| L_p | : | Pérdidas en muros interiores (por muro) |
| f | : | Número de pisos |
| L_f | : | Ganancia por piso. |

Los valores medios propuestos para estos parámetros son:

| | | | | |
|-----------|---|------------------------------|---|-------|
| L_{ext} | : | Grosor de muros con ventanas | : | 13 dB |
| L_p | : | Muros interiores de madera | : | 2 dB |
| L_f | : | | : | 3 dB |

En orden a obtener los objetivos de cobertura, se deben cubrir varios pisos, en que el nivel de tierra es $L_f = 1$.

Entonces:

$$PI = 13 + 2 * p$$

Se considera que:

- Para una cobertura indoor sobre los 5 m dentro de edificios
 $p = 1$ así $PI = 15$ dB
- Para una cobertura indoor sobre los 10 m dentro de edificios
 $p = 2$ así $PI = 17$ dB

Se pueden realizar cálculos estadísticos conociendo la distribución de la magnitud del campo en el interior de un edificio y la distribución de dicha magnitud outdoor. Una estimación de la cobertura outdoor puede ser dada en términos del porcentaje de cobertura indoor en superficie en la red al nivel del primer piso (nivel de tierra) o en términos del porcentaje de un edificio con un mínimo de cobertura del X% al nivel del primer piso en la red.

Este factor de penetración usualmente entrega el margen más crítico. En los cálculos siguientes, se considerará el peor caso de entre este factor y el margen de handover (diferencia entre ambas señales recibidas para que se produzca el proceso de handover), combinado con el factor de penetración dentro de un automóvil. También se asumirá baja movilidad dentro de los edificios lo cual permite una simplificación.

5.2 Modelo UMTS TR 101 112

Es un modelo empírico para calcular la pérdida de propagación en un entorno móvil. El informe técnico del ETSI TR (Technical Report) 101 112 define el procedimiento y los criterios de selección utilizados en la comparación y evaluación de las diferentes tecnologías candidatas a la parte física de acceso radio UMTS.

Este documento describe los entornos utilizados en la evaluación de cada tecnología, proponiendo los diferentes modelos de pérdidas de trayecto a utilizar en cada uno de ellos. Las expresiones que se presentan aquí están particularizadas, pero pueden servir para obtener una expresión muy simplificada utilizable para cálculos preliminares.

Los escenarios contemplados son:

- Entorno de interiores de oficina. Este entorno se caracteriza por las celdas de pequeño tamaño y las bajas potencias de transmisión en ubicaciones de interior. El desvanecimiento log-normal aparece con desviaciones estándar de 12 dB. El desvanecimiento rápido varía entre Rayleigh y Rice, con desplazamientos debido al efecto Doppler de velocidades típicas al caminar.
- Entorno de exterior a interior peatonal. Este entorno se caracteriza por celdas pequeñas y baja potencia de transmisión. En exteriores se sitúan antenas de baja altura. El desvanecimiento log-normal presenta razonablemente valores de desviación estándar de 10 dB en exteriores y 12 dB en interiores. Las penetraciones en los edificios provocan pérdidas de media 12 dB con desviación estándar de 8 dB. Las tasas de Rayleigh y/o Rice se fijan con velocidades típicas al caminar, pero a menudo se contempla un desvanecimiento más rápido debido a las reflexiones en los vehículos en movimiento.
- Entorno de test vehicular. Caracterizado por celdas más grandes y potencia consiguientemente mayor. Se diferencian las zonas urbanas, suburbanas y rurales. Los desvanecimientos log-normales se consideran de desviación estándar de 10 dB. Las velocidades consideradas son las típicas de los vehículos.

Una vez establecidos los entornos, se debe centrar en fijar los modelos de evaluación de las pérdidas en cada uno de ellos. Como es lógico, viendo la descripción realizada en los entornos el interés final es proporcionar una ecuación para el valor de la pérdida de trayecto media. El valor de las pérdidas en dB, L , no será en ningún caso un valor inferior al del valor de las pérdidas de espacio libre. El valor de

la altura de la antena del usuario se considera en todos los casos de 1,5 m.

5.2.1 Entorno de interiores de oficina

Utilizando la expresión general tomada del modelo COST 231, y aplicándola al entorno simplificado que se está considerando, la expresión queda como:

$$L(dB) = 37 + 30 \log R + 18,3n^{((n+2)/(n+1)-0,46)}$$

Donde:

- R : Separación entre transmisor y receptor en metros.
- n : Número de plantas en el trayecto.

5.2.2 Entorno de exterior a interior peatonal

El origen del modelo simplificado que aquí se incluye se encuentra en los trabajos de Xia, con la consideración de que la contribución a las pérdidas por difracción del tejado a la calle y las pérdidas por las pantallas difractantes que suponen los edificios desde la antena transmisora hasta llegar al último (este término dependerá de la situación de la antena por encima o por debajo del tejado).

El modelo a utilizar sigue la siguiente expresión, y considera que las antenas están próximas a la superficie del tejado:

$$L(dB) = 40 \log R - 30 \log f - 49$$

Donde:

- R : Separación entre transmisor y receptor en km.
- f : Frecuencia (2000 Mhz en el caso UMTS)

Se debe hacer notar que este modelo es absolutamente simplificado, utilizado en la evaluación de las tecnologías candidatas a la telefonía de tercera generación. Existe un refinamiento adicional utilizando el método COST Walfisch-Ikegami, que no se reproduce en este texto y que da cuenta de los aspectos relacionados con las diferencias entre macroceldas y microceldas.

5.2.3 Entorno de test vehicular

Este modelo es aplicable en los escenarios de test de las áreas urbanas y suburbanas fuera de la zona de edificios altos de altura uniforme:

$$L(dB) = 40(1 - 4 \cdot 10^{-3} \Delta h_b) \log R - 18 \log \Delta h_b + 21 \log f + 80$$

Donde:

- R : Separación entre transmisor y receptor en km.
- f : Frecuencia (2000 Mhz en el caso UMTS)

Δh_b : Altura de la estación base, expresada en metros y medida sobre la altura media de los tejados de los edificios.

6 Conclusiones y posibles líneas de trabajo

Las líneas de trabajo que se proponen a seguir en el futuro son las siguientes:

6.1 Factores sensibles a mejoría

6.1.1 Departamento comercial y técnico.

A menudo, el concepto de benchmarking puede inducir a errores. El concepto general es el de tener una visión global del comportamiento de la red, lo puede llevar a olvidar tener una visión real.

Es decir, a menudo en los estudios de benchmarking no se tienen en cuenta algunos factores clave, como puede ser zonas especialmente conflictivas o fuente de quejas de abonados. Normalmente el operador tiene sus propias preferencias sobre los emplazamientos en los que se deben realizar las medidas, como pueden ser los aeropuertos o las ferias de muestras, pero no siempre engloban estas zonas conflictivas. Realmente, para el operador móvil lo interesante es obtener la visión que tiene abonado del servicio, de manera que las soluciones que se propongan correspondan a una mejora del servicio final.

Una línea a seguir en un futuro puede ser el unir en la planificación del proyecto, tanto el departamento comercial como el técnico. De esta manera, las zonas que sean fuente de quejas o sugerencias de usuarios podrían ser incluidas en la planificación de las medidas atendiendo a una ponderación. Además, se podría hacer un estudio de cobertura según las zonas en los que la densidad de abonados preferentes sea mayor, de manera que la visión de la red esté ponderada según la densidad de abonados, no sólo del número de habitantes.

Aún así, debe llegarse a un compromiso para ceñirse a un estudio que tenga como trasfondo el benchmarking. De manera que las medidas no se harían de forma totalmente intencionada para obtener unos resultados según los abonados, sino que habría que incluir una planificación "a ciegas" donde las medidas se realizasen sin saber a priori lo que se va a encontrar.