



OPTIMIZACIÓN DE REDES MÓVILES EN ESCENARIOS INDOOR CON ALTO NUMERO DE USUARIOS MEDIANTE WALK-TEST

Pablo Pérez Bernal

Tutor: Narciso Cardona Marcet

Trabajo Fin de Grado presentado en la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Telecomunicación de la Universitat Politècnica de València, para la obtención del Título de Graduado en Ingeniería de Tecnologías y Servicios de Telecomunicación

Curso 2019-20

Valencia, 11 de noviembre de 2020



Agradecimientos

Ha sido un largo viaje hasta llegar finalmente aquí, tras muchos años de dedicación al mundo de las telecomunicaciones llego el momento de cerrar una etapa y poner fin al grado de telecomunicaciones que durante tanto tiempo había dejado aparcado.

Este trabajo se lo dedico a mi familia que siempre me ha apoyado y me ha dado todo lo necesario para llegar a donde estoy ahora, sin su apoyo nunca hubiera sido posible llegar a este punto y llegar a ser el profesional que soy hoy en día.

También se lo dedico a mis compañeros de trabajo que he tenido en las diferentes empresas de telecomunicaciones que día tras día y apoyándonos los unos en los otros hemos conseguido ir creciendo profesionalmente.

Y finalmente se lo quiero dedicar a mi pareja, Ana, esa personita que esta todos los días a mi lado y que me aguanta tanto en los malos momentos como en los buenos, ella ha sido la que me ha animado a terminar esta etapa de mi vida y sin su apoyo hubiera sido complicado el animarme a cerrar este episodio.



Resumen

Las redes de telefonía móvil actuales siguen creciendo en número de usuarios, instalaciones y tecnologías, y por ello es necesaria una constante monitorización con la que realizar ajustes sobre la misma y optimizarla a las nuevas necesidades.

Durante la optimización de una red móvil en escenarios *indoor* con diferentes diseños tanto de macro-celdas como despliegues de celdas *indoor*, podemos encontrarnos con infinidad de problemas. Desde zonas con problemas de cobertura, zonas con polución de pilotos, zonas con congestión de usuarios...

Se han realizado varios análisis basándose en medidas de *walk test* (con la herramienta NemoAnalyze) en diferentes escenarios *indoor* (centros comerciales, estaciones AVE, estadios...) en redes con multitecnología (LTE, UMTS, GSM) obteniendo una serie de problemas típicos en este tipo de áreas:

- Problemas de cobertura de señal
- Problemas de polución de pilotos
- Problemas de congestión de usuarios
- Problemas de parametrización
- Otros problemas

Tras la detección de los problemas con la herramienta y enriqueciendo los resultados con contadores de red se proponen diferentes soluciones tanto de parametrización como físicas con la intención de solucionar o al menos mitigar los problemas, realizando una evolución del rendimiento de la red.



Resum

Les xarxes de telefonia mòbil d'avui continuen creixent en el nombre d'usuaris, instal·lacions i tecnologies, i per tant és necessari un monitoratge constant amb el qual fer ajustos a la mateixa i optimitzar-lo a les noves necessitats.

Durant l'optimització d'una xarxa mòbil en escenaris *indoor* amb diferents dissenys tant amb macro-cel·les com desplegaments de antenes al interior, podem trobar-nos amb infinitat de problemes. Zones amb problemes de cobertura, zones amb pol·lució de pilots, zones amb congestió d'usuaris ...

S'han realitzat diverses anàlisis basant-se en mesures de *walk test* (amb l'eina NemoAnalyze) en diferents escenaris *indoor* (centres comercials, estacions AVE, estadis de futbol ...) en xarxes amb multi-tecnologia (LTE, UMTS, GSM) obtenint una sèrie de problemes típics en aquest tipus d'àrees:

- Problemes de cobertura de senyal
- Problemes de contaminació de pilots
- Problemes de congestió d'usuaris
- Problemes de parametrització
- Altres problemes

Després de la detecció dels problemes amb l'eina i enriquint els resultats amb comptadors de xarxa es proposen diferents solucions tant de parametrització com físiques amb la intenció de donar solució o almenys mitigar els problemes, fent una evolució del rendiment de la xarxa.



Abstract

Today's mobile phone networks are in a continuous growing up in number of users, facilities and technologies, therefore constant monitoring is necessary to plan and optimize it to the new needs.

During the optimization of a mobile network in indoor scenarios with different designs of both macro-cells and deployments of indoor cells, we can find many problems. From areas with coverage problems, areas with pilot pollution, areas with user congestion ...

Several analyses have been performed based on walk test measurements (with the NemoAnalyze tool) in different indoor scenarios (shopping centres, AVE stations, stadiums ...) in networks with multitechnology (LTE, UMTS, GSM) obtaining a series of typical problems in this type of areas:

- Signal coverage problems
- Pilot pollution problems
- User congestion problems
- Parameterization problems
- Other problems

After the detection of the problems with the tool and enriching the results with network counters, different parameterization and physical solutions are proposed with the intention of solving or at least mitigating the problems, making an evolution of the network performance.



Índice

| | |
|---|----|
| Resumen | |
| Resum | |
| Abstract | |
| Glosario | |
| MIMO Multiple Input Multiple Output | 5 |
| Capítulo 1. Introducción | 6 |
| 1.1 Introducción | 6 |
| 1.2 Objetivos | 6 |
| Capítulo 2. Herramientas utilizadas | 7 |
| 2.1 Introducción | 7 |
| 2.2 Herramientas KeyShight | 7 |
| 2.2.1 Introducción | 7 |
| 2.2.2 Nemo Handy | 7 |
| 2.2.3 Nemo Analyze..... | 8 |
| 2.3 Ericsson Network Manager..... | 9 |
| 2.4 Huawei U2020 | 9 |
| 2.5 Business Objects 6.1 | 10 |
| Capítulo 3. Metodología del proceso de optimización..... | 11 |
| 3.1 Introducción | 11 |
| 3.2 Fase de selección..... | 11 |
| 3.3 Fase de planificación..... | 12 |
| 3.4 Preanálisis de la zona de medidas | 13 |
| 3.5 Fase de medidas en campo..... | 14 |
| 3.6 Fase de procesamientos de los datos | 14 |
| 3.7 Fase de análisis de los datos..... | 15 |
| 3.7.1 Visión general | 15 |
| 3.7.2 Visión global | 15 |
| 3.7.3 Visión estática | 15 |
| 3.7.4 Análisis problemas detectados | 15 |
| 3.7.5 Soluciones problemas detectados..... | 16 |
| 3.7.6 Conclusiones | 16 |
| 3.8 Fase de acciones..... | 16 |
| 3.9 Fase de monitorización..... | 16 |
| 3.10 Fase de conclusiones | 17 |



| | | |
|-------------|--------------------------------|----|
| Capítulo 4. | Casos Prácticos..... | 18 |
| 4.1 | Introducción | 18 |
| 4.2 | Estaciones de Tren | 18 |
| 4.2.1 | Introducción | 18 |
| 4.2.2 | Planificación..... | 18 |
| 4.2.3 | Medidas en campo..... | 19 |
| 4.2.4 | Análisis de datos..... | 20 |
| 4.2.5 | Acciones de optimización | 21 |
| 4.2.6 | Monitorización | 21 |
| 4.2.7 | Conclusiones | 22 |
| 4.3 | Aeropuertos | 23 |
| 4.3.1 | Introducción | 23 |
| 4.3.2 | Planificación..... | 23 |
| 4.3.3 | Medidas de campo..... | 24 |
| 4.3.4 | Análisis de datos..... | 25 |
| 4.3.5 | Acciones de optimización | 27 |
| 4.3.6 | Monitorización | 27 |
| 4.3.7 | Conclusiones | 27 |
| 4.4 | Centros Comerciales | 28 |
| 4.4.1 | Introducción | 28 |
| 4.4.2 | Planificación..... | 28 |
| 4.4.3 | Medidas de campo..... | 29 |
| 4.4.4 | Análisis de datos..... | 30 |
| 4.4.5 | Acciones de optimización | 32 |
| 4.4.6 | Monitorización | 32 |
| 4.4.7 | Conclusiones | 33 |
| 4.5 | Estadios deportivos | 34 |
| 4.5.1 | Introducción | 34 |
| 4.5.2 | Planificación..... | 34 |
| 4.5.3 | Medidas de campo..... | 34 |
| 4.5.4 | Análisis de datos..... | 35 |
| 4.5.5 | Acciones de optimización | 36 |
| 4.5.6 | Monitorización | 36 |
| 4.5.7 | Conclusiones | 37 |
| Capítulo 5. | Presupuesto..... | 38 |
| 5.1 | Introducción | 38 |
| 5.2 | Costes de materiales..... | 38 |



| | | |
|-------------|--|----|
| 5.2.1 | Equipo optimizador | 38 |
| 5.2.2 | Equipo de medidas | 38 |
| 5.2.3 | Otros..... | 39 |
| 5.3 | Costes del personal..... | 39 |
| 5.4 | Coste total..... | 39 |
| 5.4.1 | Coste mínimo | 39 |
| 5.4.2 | Coste máximo..... | 40 |
| 5.5 | Conclusiones | 40 |
| Capítulo 6. | Conclusiones y trabajos futuros | 41 |
| 6.1 | Conclusiones | 41 |
| 6.2 | Trabajos futuros..... | 41 |
| Capítulo 7. | Bibliografía..... | 42 |
| Capítulo 8. | Anexos..... | 43 |
| 8.1 | Scripts utilizados en NEMO..... | 43 |
| 8.2 | Eventos LTE en reportes de medidas | 44 |
| 8.3 | Tarjetas de acreditación para zonas de aeropuertos | 45 |
| 8.4 | Medidas estación de tren | 46 |
| 8.4.1 | Planta 0..... | 46 |
| 8.4.2 | Planta 1 | 46 |
| 8.4.3 | Planta 2..... | 46 |
| 8.4.4 | Andenes..... | 46 |
| 8.5 | Medidas aeropuerto..... | 47 |
| 8.5.1 | Terminal 1 | 47 |
| 8.5.2 | Terminal 2 Planta 0 | 47 |
| 8.5.3 | Terminal 2 Planta 1 | 48 |
| 8.5.4 | Terminal 2 Planta 2 | 48 |
| 8.5.5 | Terminal 3 | 49 |
| 8.5.6 | Terminal 4 Planta 0 | 49 |
| 8.5.7 | Terminal 4 Planta 1 | 50 |
| 8.5.8 | Terminal 4 Planta 2 | 50 |
| 8.6 | Medidas centro comercial | 51 |
| 8.6.1 | Planta 0..... | 51 |
| 8.6.2 | Planta 1 | 51 |
| 8.6.3 | Planta 2..... | 52 |
| 8.6.4 | Aparcamiento -1 | 52 |
| 8.6.5 | Leroy Merlin | 53 |
| 8.6.6 | MediaMarkt..... | 53 |



| | | |
|-------|---------------------------------|----|
| 8.7 | Medidas estadio de futbol | 54 |
| 8.7.1 | Grada Fondo..... | 54 |
| 8.7.2 | Grada Norte..... | 54 |
| 8.7.3 | Grada Preferente..... | 55 |
| 8.7.4 | Grada Sur..... | 55 |



GLOSARIO

Lista de acrónimos utilizados en este proyecto:

- 3GPP** 3rd Generation Partnership Project
- ANR** Automatic Neighbour Relations
- CAP** Certificado de Actuación Profesional
- EcNo** Energy per Chip over the Noise
- HO** HandOver
- InterFreq** Inter frecuencia
- InterRAT** Inter Radio Access Technology
- IntraFreq** Intra frecuencia
- IP** Internet Protocol
- KPI** Key Performance Indicators
- LTE** Long Term Evolution
- Mbps** Megabit Per Second
- MIMO** Multiple Input Multiple Output
- O&M** Operations and Maintenance
- PCI** Physical Cell Identifier
- PDCCH** Physical Downlink Control Channel
- PDSCH** Physical Downlink Shared Channel
- PRB** Physical Resource Block
- PSS** Primary Synchronization Sequence
- QoS** Quality of Service
- ROE** Relación Onda Estacionaria
- RSCP** Received Signal Code Power
- RSRP** Reference Signals Received Power
- RSRQ** Reference Signal Received Quality
- RSSI** Received Signal Strength Indicator
- SSS** Secondary Synchronization Sequence
- UMTS** Universal Mobile Telecommunication System
- WCDMA** Wideband Code Division Multiple Access



Capítulo 1. Introducción

1.1 Introducción

En la actualidad las redes móviles de los principales países gozan de una cierta estabilidad en sus KPIs¹. Son redes maduras en las que la optimización se centra en solucionar problemas donde un mayor número de usuarios se vayan a ver afectados, de ahora en adelante nos referiremos a los lugares donde tenemos concentración de tráfico y de usuarios como *hotspots*, o puntos calientes en español.

Las principales características de este tipo de escenarios son que en un espacio pequeño reúnen a una gran cantidad de usuarios generando grandes volúmenes de tráfico tanto de datos como de voz, por lo que por lo general se instalan complejos sistemas de antenas con tal de mantener y ofrecer un buen servicio para sus clientes.

En este trabajo se mostrará el uso de una herramienta de análisis para la caracterización de las condiciones radio en este tipo de escenario, así como la descripción de una serie de casos de uso en diferentes lugares detectando los problemas y posibles soluciones para mejorar la experiencia del usuario.

1.2 Objetivos

- Documentar y configurar las herramientas utilizadas en el análisis y la optimización de redes móviles
- Desarrollar una metodología válida para afrontar la optimización de un *hotspot* con éxito
- Detectar y monitorizar los principales problemas de optimización que solemos encontrar dentro de espacios con mucha afluencia de gente
- Cuantificar las mejoras producidas tras la aplicación de las soluciones de optimización
- Determinar los costes, materiales y personal mínimo para una correcta actividad de optimización

¹ KPI: Key Performance Indicators. Indicadores clave de rendimiento

Capítulo 2. Herramientas utilizadas

2.1 Introducción

Para el correcto desempeño de este trabajo se han utilizado una serie de herramientas específicas tanto del ámbito de las telecomunicaciones, como del ámbito de la gestión y procesamiento de datos.

Se han usado las herramientas de KeyShigt para todo lo concerniente a la obtención, procesamiento y análisis de datos de walk-test.

Para la gestión de la red se han usado las herramientas propias de Ericsson “ENM” y Huawei “M2020”, dependiendo del tipo de despliegue que tuviera la red en el lugar del análisis.

Finalmente, para la correcta monitorización de los cambios se ha usado la herramienta “Business Objects”, que es el gestor y visualizador de datos usado para almacenar todos los contadores de red.

2.2 Herramientas KeyShight

2.2.1 Introducción

Empresa Americana fundada en 2014 y encargada en la creación de testeo de equipos electrónicos, así como equipos de medidas y software.

Para este proyecto utilizaremos una de sus herramientas “Nemo Handy” para la realización de las medidas en campo y de uno de sus softwares “Nemo Analyze” para poder procesar y analizar las medidas realizadas en campo.

2.2.2 Nemo Handy

Nemo Handy es una solución basada en Android para medir y monitorear la interfaz radio de las redes inalámbricas, y la calidad del servicio y la calidad de la experiencia de las aplicaciones móviles. Las características de Nemo Handy incluyen pruebas de calidad de voz, pruebas de calidad de vídeo, mediciones en interiores, pruebas con un navegador web real y soporte de mapas en vivo. Ofrece métricas completas de nivel de aplicación en llamadas de voz, calidad de voz, transferencias de datos FTP/HTTP, navegación HTML, streaming de vídeo de YouTube, pruebas de calidad de vídeo, pruebas de Facebook, pruebas de LinkedIn, pruebas de Twitter, pruebas de línea, pruebas de Netflix, pruebas de Instagram, pruebas de Dropbox, pruebas de WhatsApp, pruebas de correo electrónico, mensajería SMS y MMS y ping.

Los datos de medición de Nemo Handy proporcionan una imagen completa y detallada de la interfaz radioeléctrica y la calidad de las aplicaciones probadas. Los datos detallados y completos de la interfaz radioeléctrica grabados con Nemo Handy son óptimos para la planificación de la red, la implementación, la verificación, la optimización y el mantenimiento. Las métricas de rendimiento de las aplicaciones son vitales en la evaluación comparativa de servicios móviles y la calidad del servicio y la calidad de la experiencia. La grabación continua de las métricas de la interfaz radioeléctrica garantiza que siempre se puedan encontrar las causas de una calidad de servicio inferior a la satisfactoria.

Nemo Handy se puede utilizar como un teléfono normal con el registro de la aplicación en segundo plano, o como una herramienta de medición activa con datos en tiempo real. El pequeño tamaño de Nemo Handy y sus amplias capacidades de medición lo convierten en la herramienta ideal para realizar mediciones en interiores y exteriores. Nemo Handy registra y muestra coordenadas geográficas utilizando el receptor GPS interno del móvil.

Todos los parámetros de red soportados por la interfaz de rastreo móvil del terminal, incluidos los mensajes de señalización, se registran y se ponen a disposición para su reproducción con Nemo Analyze.

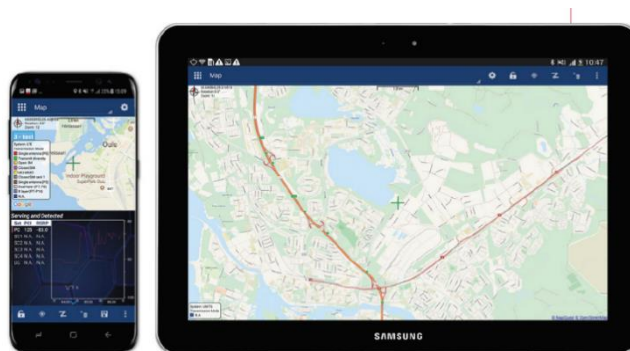


Figura 1. Nemo Handy

2.2.3 Nemo Analyze

Nemo Analyze es una herramienta de análisis potente y versátil para realizar benchmarking, solución de problemas e informes estadísticos basados en datos de drive-test. Nemo Analyze ayuda a optimizar los procesos al permitir la automatización de toda la cadena de procesamiento de datos. El software incorpora un innovador motor de base de datos de bajo mantenimiento que ha sido diseñado y optimizado específicamente para el postprocesamiento de alto rendimiento de los datos de drive-test.

Nemo Analyze ofrece un conjunto completo de indicadores clave de rendimiento (KPI) específicos de las últimas tecnologías inalámbricas y una amplia gama de vistas de datos para ofrecer la mejor visualización de los datos, fácil de configurar y usar, y escalable para satisfacer las necesidades de las organizaciones de cualquier tamaño.

Nemo Analyze es compatible con el análisis QoS/QoE de todas las aplicaciones compatibles con las herramientas de medición de Nemo, incluidas las llamadas de voz, YouTube, Facebook, LinkedIn, Twitter, Netflix, WhatsApp, Instagram, FTP y HTTP.

Nemo Analyze ofrece soporte para todas las principales tecnologías inalámbricas, incluyendo 5G NR, NB-IoT, LTE-M, LTE-A CA, VoLTE/ViLTE, VoWiFi y mMIMO.

Nemo Analyze es un conjunto completo de gráficos, mapas y otras vistas de datos para un análisis y reproducción detallados, es la solución perfecta para tareas de postprocesamiento e informes estadísticos para usuarios con necesidades específicas de informes y análisis de KPI. Nemo Analyze permite la creación de KPI personalizados y tareas de análisis personalizadas con KPI Workbench, un motor de scripting basado en diagramas de flujo gráfico. Los informes personalizados se pueden exportar a Microsoft Excel, Microsoft PowerPoint y Microsoft Word.

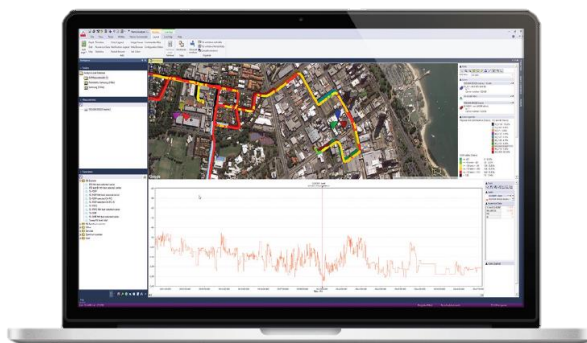


Figura 2. Nemo Analyze

2.3 Ericsson Network Manager

Ericsson Network Manager (ENM) es una plataforma del OSS y un conjunto de aplicaciones de gestión de redes que soportan la operación y el mantenimiento radio, transporte y redes principales. Es un sistema de software distribuido y paralelo que soporta las siguientes características críticas para el negocio:

- Alta disponibilidad y tolerancia a errores: Esto garantiza que los errores en los procesos de software, controlados o no, estén contenidos y no sean consecuencias para las operaciones
- Escalado horizontal: Esta es la capacidad de escalar o reducir la capacidad del sistema OSS, eligiendo diferentes variantes de implementación
- Actualización: Se actualiza secuencialmente los componentes de software mientras permanece en servicio. Esto elimina la necesidad de períodos de congelación de configuración

ENM comprende un conjunto de diferentes aplicaciones de gestión que soportan los diversos elementos asociados con la gestión. También contiene aplicaciones de gestión más avanzadas, centrándose en la automatización. Las aplicaciones se controlan mediante interfaces humanas o interfaces de máquina, esto varía de una aplicación a otra. Todas las aplicaciones admiten ayuda en línea integrada. Esta ayuda en línea contiene descripciones generales, tutoriales y vídeos para ayudar a explicar las operaciones comunes de la red.

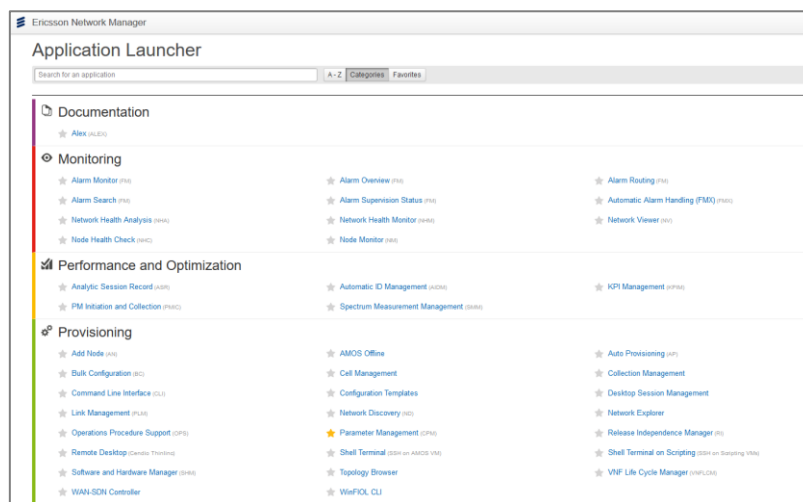


Figura 3. Ericsson Network Manager

2.4 Huawei U2020

Es un sistema de gestión de equipos desarrollado por Huawei.

U2020 es un sistema unificado de administración de red (NMS) para múltiples dominios que se aplica para minimizar los costos de O&M y a aportar beneficios de red a los operadores. Soporta no sólo la gestión unificada de equipos multidominio, sino también la gestión unificada en las capas de elementos y redes, gestionando equipos de transporte, equipos de acceso y equipos IP.

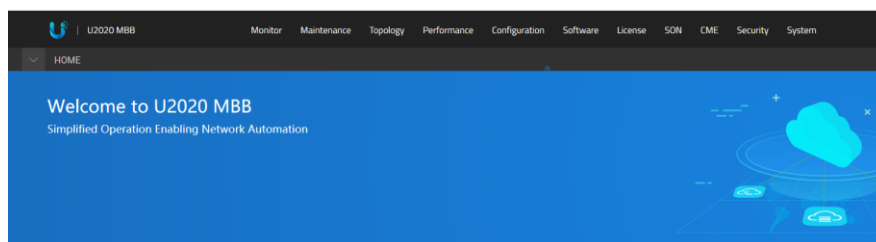


Figura 4. Huawei M2020

2.5 Business Objects 6.1

Es una herramienta SAP dedicada a la gestión y análisis de bases de datos.

Con ella se pueden crear consultas simples con el fin de elaborar informes y organizar los datos de nuestras bases de datos, manipular variables y fórmulas para realizar cálculos sobre nuestros datos.

Organizar y ver informes que contienen una gran cantidad de datos y ver esos datos en formato tabal o gráfico.

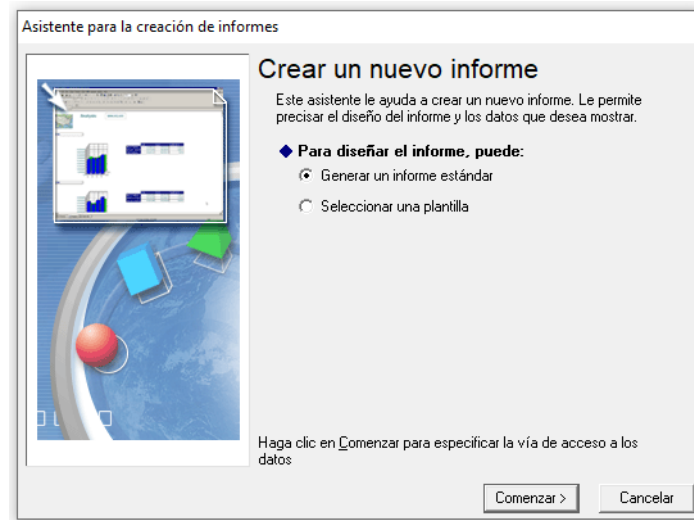


Figura 5. Business Objects 6.1

Capítulo 3. Metodología del proceso de optimización

3.1 Introducción

En este punto vamos a tratar temas desde la selección y planificación de nuestros análisis hasta las conclusiones que deberíamos sacar de cada uno de nuestros análisis.

Durante el despliegue de las redes de comunicación se tienen en cuenta las necesidades de los usuarios finales para determinar por el equipo de planificación donde y que tipo de nodos se tienen que desplegar para poder cubrir todas las necesidades tanto actuales como futuras a medio plazo.

Muchas veces hay zonas donde la necesidad de recursos de red es mayor que la planificada, por lo que empezamos a detectar carencias o problemas los cuales se pueden resolver mediante la optimización de los recursos actuales, opción barata, o mediante el despliegue de nuevos recursos.

3.2 Fase de selección

A la hora de decidir qué *hotspot* vamos a analizar y optimizar, de todo el territorio donde tengamos desplegada nuestra red, deberemos tener en cuenta una serie de condiciones y parámetros para centrar nuestros esfuerzos en aquellos que nos vayan a reportar mayores beneficios o un impacto mayor sobre la experiencia de los usuarios.

Entre los factores determinantes a la hora de seleccionar nuestro *hotspot* que debemos tener en cuenta son los siguientes:

- **Densidad de tráfico:** uno de los principales factores a tener en cuenta será el volumen de tráfico que se cursa en cada uno de los posibles candidatos a optimizar. Si la cantidad de datos que se cursan o el número de llamadas es alto el impacto que tengamos en nuestra optimización afectará a un mayor número de usuarios a la vez que el impacto en los KPIs globales de nuestra red.
- **Diseño especial:** el siguiente factor que se deberá tener en cuenta a la hora de priorizar un *hotspot* u otro diferente es si en el mismo hemos realizado algún tipo de trabajo o despliegue de un sistema de antenas propio para el mismo. Es importante asegurarse que ese sobrecoste que ha tenido nuestro *hotspot* esté dando buen rendimiento y no estemos malgastando equipos y dinero.
- **Condiciones Radio:** Será también muy importante tener en cuenta las condiciones iniciales antes de realizar nuestro análisis de optimización. Deberemos priorizar aquellos *hotspots* donde veamos que actualmente tenemos algún tipo de problema y lo que es más importante, donde veamos que tenemos margen de mejora. Este punto es muy importante ya que deberemos descartar tanto *hotspots* que actualmente tengan buenas condiciones, ya que seremos incapaces de obtener beneficios, así como *hotspots* donde las condiciones aun sin ser buenas por el despliegue actual veamos que los esfuerzos de optimización tampoco nos reportarían beneficios.
- **Situación geográfica:** hay que tener en cuenta también la situación geográfica del *hotspot* a analizar, ya que es un factor que tendrá un impacto directo en los gastos finales del análisis. No será lo mismo ir a analizar una estación de tren en una gran ciudad cercana a nuestras oficinas, realizando las pruebas el mismo día. Que tener que desplazarnos con avión a una ciudad lejana teniendo que realizar noche para preparar todas las medidas.
- **Quejas de usuarios:** por último, pero no menos importante, también es importante tener en cuenta si tenemos una concentración de quejas de cliente en el mismo *hotspot* a analizar o en sus inmediaciones, ya que al solucionar el problema en esa área tendremos un impacto directo en la experiencia de usuarios actualmente descontentos con el servicio prestado.

Con todos estos factores deberemos de pesar cada uno de nuestros diferentes *hotspots* para terminar con una lista de candidatos final. En nuestros casos los factores que más peso han tenido han sido la densidad de tráfico, el disponer de un diseño especial y la situación geográfica. Finalmente nos hemos quedado con un subgrupo con alta cantidad de tráfico, en algunos casos continua durante toda la semana como los aeropuertos y las estaciones de tren, otros casos con picos muy importantes de tráfico como los estadios de fútbol. Todos nuestros seleccionados disponen de algún diseño especial instalado en el mismo, con mayor o menor despliegue. Y finalmente hemos tenido en cuenta lugares a los que nos pudiéramos desplazar utilizando un AVE para reducir gastos.

3.3 Fase de planificación

A la hora de afrontar nuestro análisis de optimización deberemos tener en cuenta una serie de aspectos que tendremos que planificar antes de empezar a tomar medidas en el mismo. Estos aspectos variaran dependiendo del lugar y tipo de *hotspot*.

- **Aspectos económicos a tener en cuenta:** antes de realizar las mediciones hay que planificar bien todos los gastos derivados que van a aplicarse y que dependiendo del tipo de *hotspot* a medir y de su ubicación pueden variar.
 - Gastos del viaje: hay que mirar vuelos, billetes de tren, alquiler de vehículo, transporte público,
 - Gastos del hospedaje/dietas: dependiendo de los días necesarios para realizar las mediciones es posible que se requiera de varios días donde el ingeniero encargado de las mediciones tenga que pernoctar, por lo que habrá que tener en cuenta los gastos de hotel, así como los gastos de las dietas de los días de trabajo
 - Gastos de las instalaciones: algunos lugares como los aeropuertos son necesarios tener tarjetas de acceso para poder tener libre acceso a todos los lugares donde se quieren realizar las medidas, por lo general estas tarjetas llevan unos costes adicionales para las gestiones de tramitación, a parte de estos gastos también existen otros gastos como el tener ciertas licencias o títulos que te acrediten a tener derecho para poder estar en los lugares, como por ejemplo el curso en seguridad de la aviación sin el cual no puedes tramitar una tarjeta de acceso a las zonas del aeropuerto.

- **Aspectos geográficos a tener en cuenta:**
 - Movilidad desde oficina al lugar de medidas: hay que planificar bien el viaje desde el lugar donde el ingeniero trabaja de forma continua hasta el lugar donde va a realizar las mediciones. Para ellos hay que tener en cuenta cuanto tiempo va a requerir desplazarse hasta el lugar. Si el *hotspot* está cerca es posible que en el mismo día el ingeniero sea capaz de ir, realizar las mediciones y volver. Pero si el *hotspot* está lejos tendremos que planificar el viaje y los tipos de transporte a utilizar para optimizar el tiempo de trabajo del ingeniero.
 - Movilidad en el lugar de medidas: días antes de realizar las mediciones es necesario descargarse los mapas de las instalaciones a medir, para trazar la ruta que se desea seguir a la hora de realizar las mediciones. Se tiene que realizar una ruta sencilla la cual cubra sobre todo todas las zonas donde la gente tenga acceso para tener luego una foto completa a la hora de realizar el análisis. También sería interesante seleccionar varias zonas donde se espere gran acumulación de personas para poder realizar algunas medidas estáticas más completas en dichas zonas ya que serán más críticas e importantes desde un punto de vista estratégico para la operadora.

- **Aspectos de la herramienta a tener en cuenta:**

De cara a realizar unas buenas mediciones y tener todo lo necesario para poder analizar con éxito posteriormente el *hotspot* es muy importante planificar que tipo de dispositivos vamos a necesitar, así como que tipo de mediciones vamos a necesitar.

Para eso días previos a viajar al lugar tendremos que definir un script con medidas que se ajuste lo mejor posible a la tipología de *hotspot* que vamos a medir y al tipo de problemas relacionados que pensemos o sepamos que actualmente tiene el lugar donde se van a realizar las medidas.

- **Aspectos radio a tener en cuenta:**

El último paso de nuestra planificación será el realizar un preanálisis de la zona que vamos a medir para tener claro todos los aspectos importantes que debemos digitalizar una vez en campo. Para ello será necesario conocer la topología de red de la zona, para tener claro cuáles son las servidoras que vamos a estar midiendo, será necesario la descarga de los CAPs ² para tener claro la correcta localización de las estaciones bases, así como sus principales parámetros, altura, azimut, tilt, tipo de antena (anchos de haz, potencia...) portadoras y tecnologías desplegadas y en caso de tener algún tipo de diseño especial, la distribución y ubicación de cada una de las antenas.

3.4 Preanálisis de la zona de medidas

Antes de realizar el desplazamiento hasta el lugar donde se realizarán las medidas es importante realizar un preanálisis desde la oficina con el objetivo de conocer la distribución de todas las antenas del entorno y si podemos detectar mediante contadores de red algún problema previo a realizar las medidas. Este tipo de preanálisis nos ayudará a centrar los esfuerzos a la hora de medir en zonas donde es conocido los problemas.

Este tipo de preanálisis contiene la siguiente información:

- Información sobre todas las antenas del entorno, su ubicación, colocación, tipo de antena y datos físicos como el tilt y el azimut aplicado en las mismas.
- Datos estadísticos de todas las antenas del entorno extraídos de la red en las últimas semanas, como la tasa de caídas de llamadas, porcentaje de éxito en la accesibilidad a la red, estadísticas de congestión, niveles de *throughput* promedios, datos de RSSI para descartar posibles problemas de ROE o de ruido *uplink*, datos de *timing advanced* para descartar problemas de sobre alcance o infra alcance y cualquier otro estadístico que nos pueda ayudar a centrar posibles problemas. Hay que tener en cuenta que estos datos son sobre toda la zona de cobertura de la celda, por lo que podemos llegar a observar problemas pero que realmente no están sucediendo en la zona de nuestro *hotspot* o incluso, al contrario, que se nos enmascaren posibles problemas por tener buenos KPIs generales la celda, pero un problema muy puntual en nuestra zona de análisis. Para este tipo de casos es por los que necesitamos nuestro análisis de *walk-test* que si nos dará información en las zonas concretas.
- Información proporcionada por el cliente sobre quejas de usuarios, está información es muy útil porque nos proporciona focos concretos donde los clientes de nuestro proveedor de telefonía no están contentos con los servicios

² CAP: Certificado de Actuación Profesional. Documento expedido por el Colegio de Ingenieros que tiene como objeto confirmar y registrar cada una de las actuaciones profesionales de los colegiados.

3.5 Fase de medidas en campo

Durante el día o los días de las medidas hay que tener una serie de cosas en cuenta para así evitar perder el tiempo en gestiones o en recorridos. Es muy importante optimizar nuestro tiempo de medidas ya que es donde el presupuesto de nuestro trabajo se nos puede disparar, necesitando más días para realizar las medidas o incluso perdiendo algún día por algún tema de accesos.

- Gestiones de accesos: es muy importante días antes tener toda la documentación necesaria y sobre todo quedar con las autoridades pertinentes para que nos den acceso a las instalaciones. Para ello será necesario contactar con ellos y tener un número de teléfono de contacto para evitar retrasos y aprovechar el tiempo
- Planificación de las rutas: hay que tener claro la ubicación de todas las zonas del recinto y el cómo acceder a ellas para optimizar los recorridos, esto nos puede llegar a ahorrar horas de trabajo teniendo claro los recorridos a realizar. También es importante conocer si alguna de las zonas no es accesible debido a obras en las instalaciones o a prohibiciones de acceso
- Planificar las medidas: Dependiendo del tipo de *hotspots* hay que saber seleccionar que tipo de medidas se quieren realizar, para ello tendremos que generar unos scripts en la herramienta de medición que incluyan todas las posibles opciones de cara a poder realizar un buen análisis posteriormente
- Observación de puntos críticos durante las medidas. Es trabajo del ingeniero de campo que a la vez que va realizando las mediciones vaya monitorizando con el fin de detectar lugares críticos o con problemas muy importantes con el fin de realizar unas mediciones en profundidad en estos puntos. Todos estos puntos son susceptibles de realizar unas mediciones con scripts especiales en estático con el fin de detectar durante el análisis el foco del problema
- Nomenclatura de los logs de medidas. Es importante que el nombre que le demos al log de medidas nos de la información suficiente para que el ingeniero que realice el análisis de los datos sea capaz de diferenciar el log a que *hotspot* pertenece, que tipo de script se ha utilizado, que zona dentro del *hotspot* es este log en específico y en qué fecha y hora se han realizado las medidas.
- Finalización y gestión de las medidas. Al terminar el día y tras recopilar toda la información, los ficheros generados por la herramienta se deben de ubicar en una ruta accesibles por el resto de los ingenieros con el fin de poder procesarlos y analizarlos.

3.6 Fase de procesamientos de los datos

Con el fin de poder analizar los datos recogidos mediante el terminal móvil y la aplicación Nemo Handy, hay que procesarlos con la herramienta del computador Nemo Analyze donde el ingeniero experto en optimización podrá realizar cálculos y estadísticos sobre las medidas realizadas.

Ficheros generados por el terminal móvil:

- Archivo *.nmf: fichero con todos los datos recogidos durante las medidas
- Archivo *.csv: archivo con un resumen muy básico de las medidas realizadas
- Archivo *.png.tab: archivo con la información de la posición exacta de la medida sobre un mapa de tipo imagen para casos donde no sea posible usar el GPS
- Archivo *.png: imagen del mapa usando cuando no sea posible usar el GPS

Este proceso suele durar unos minutos y es aconsejable que dentro del programa tratemos de guardar los datos procesados en subcarpetas que nos identifiquen las medidas por nombre de *hotspot* y fecha de las medidas realizadas

3.7 Fase de análisis de los datos

Esta es la fase más importante y donde más tiempo y esfuerzo tendremos que invertir. Con la intención de contemplar todos los posibles problemas que tenemos en el *hotspot*, estructuraremos en análisis en las siguientes partes:

3.7.1 Visión general

En este apartado se expondrán las diferentes medidas realizadas en el recinto con una visión geográfica de los KPIs más relevantes. Se quiere de un vistazo rápido poder identificar problemas de cobertura (RSRP y RSCP) además de problemas en la calidad de la llamada (RSRQ, EcN0 y SNR). También es interesante tener claro cuál es nuestra servidora principal en cada sección del recinto la cual identificaremos a través de su PCI o PSC dependiendo de la tecnología.

3.7.2 Visión global

Para esta sección lo que se busca no es una visión geolocalizada, sino una visión estadística. Dividiremos el *hotspot* en diferentes regiones y sacaremos valores estadísticos y cuantificativos de las medidas realizadas.

Para nuestros análisis hemos sacado valores promedios, máximos y mínimos de cobertura, calidad, latencia, *throughput downlink*, *throughput uplink*, valores de llamadas caídas, llamadas bloqueadas, fallos de conexión.

Esta información nos proporciona una visión rápida de en qué puntos nuestra conexión a tenido más problemas y nos ayudará a centrar nuestros esfuerzos del estudio.

3.7.3 Visión estática

Este apartado es similar al de la visión global, pero particularizado para las medidas en profundidad realizadas por el ingeniero de campo, las cuales selecciono por diferentes motivos. Zonas donde se concentra un mayor número de gente o zonas con problemas detectados durante las mediciones.

A parte de las medidas realizadas en la visión global, también se podrán incluir otra serie de mediciones más específicas, sobre todo de experiencia de usuario, para determinar la percepción de los usuarios sobre la calidad de la red. En el presente trabajo se ha realizado algún ejemplo con medidas particulares de aplicaciones con gran penetración de usuarios, como los son YouTube, Whatsapp y Facebook. Donde se han medido valores como el tiempo percibido por el usuario al realizar alguna acción o las características de resolución al reproducir un video en *streaming*.

3.7.4 Análisis problemas detectados

Agrupando toda la información de los tres apartados previos, tendremos que ser capaces de determinar cuáles son las zonas o puntos donde la red tiene algún tipo de problema en nuestro *hotspot*. Cada uno de los problemas detectados tendrán que ser analizados con la herramienta a fondo para determinar el origen del problema o la deficiencia existente en la red.

Para ello realizaremos diferentes análisis valiéndonos no solo de los datos recabados durante las medidas sino también del resto de fuentes de información disponible, como puedan ser contadores de red, parámetros y configuración de red o información de incidencias en la red o quejas de usuarios.

Con todas esta información describiremos el problema y acotaremos las diferentes causas que puedan estar produciéndolo.

3.7.5 Soluciones problemas detectados

Para cada uno de los problemas detectados deberemos ser capaces de proporcionar algún tipo de solución para corregir el problema o en el peor de los casos como mínimo reducir el problema todo lo que podamos. Este tipo de soluciones serán de varios tipos:

- Soluciones optimización por parámetros: serán soluciones que realizando un cambio de parametrización en la red consigamos evitar o reducir el problema existente. Cambios en los umbrales, aumento o disminución de potencias, definición de vecinas,
- Soluciones estructurales optimizables: serán soluciones que mediante algún cambio físico en la red actual consigamos evitar o reducir los problemas existentes. Cambios en las orientaciones de la antena, tilt mecánico o eléctrico sin disponibilidad de RET, ...
- Soluciones estructurales de despliegue: para este tipo la conclusión a la que se llega es que para mejorar las condiciones será necesario el despliegue de algún tipo de tecnología, algún nuevo nodo o de un nuevo diseño especial
- Incidencias: este tipo de soluciones se realizarán cuando observemos que el despliegue actual tiene algún tipo de malfuncionamiento y sea necesario revisar o cambiar el equipo existente. Problemas de interferencia externas, sistema radiante dañado, algún problema en alguna de las conexiones, algún sistema pasivo mal conectado, ...

3.7.6 Conclusiones

Finalmente tenemos que ser capaces de dar una valoración del estado actual del *hotspot*, así como de concretar los problemas existentes y las soluciones aportadas y sobre todo el impacto que se espera conseguir en cuanto esas soluciones sean aplicadas

3.8 Fase de acciones

Una vez definidas las diferentes acciones a realizar para solucionar o mitigar los problemas detectados en el *hotspot* será importante llevarlas a cabo en el menor tiempo posible.

El primer paso será presentar las soluciones a nuestro contacto en el operador y discutir con él y el equipo de optimización las diferentes acciones con el objetivo de ir alineados con otros posibles trabajos en la zona o con sus políticas de parametrización.

Una vez se tiene el ok del operador hay dos posibilidades. Que directamente nos den acceso a su red y seamos nosotros mismo los que apliquemos el cambio “red bajo llave”, o que les tengamos que pasar un script con todos los cambios y sean ellos mismos los que realicen los cambios y una vez realizados nos den *feedback* de cuando han sido aplicados.

En ambos casos es muy importante que la comunicación sea fluida y transparente. Con el fin de ser capaces de regresar al estado anterior si después de los cambios se detectará algún problema, toda la información tiene que quedar registrada, para nuestro proyecto utilizaremos un archivo Excel en formato tabla donde se recopilará toda la información previa y posterior al cambio, así como la fecha exacta en que se aplicaron los diferentes cambios.

3.9 Fase de monitorización

Una vez realizados los cambios hay que realizar un seguimiento de estos en los días posteriores. El objetivo principal es determinar si lo que se buscaba con el cambio se ha conseguido, pero aparte de eso tendremos que definir un *cluster*³ de celdas en el entorno donde se han realizado los cambios con el fin de observar si debido a nuestras acciones hemos empeorado algún otro KPI de la región y de si el impacto ya sea positivo o negativo cumple con los estándares del operador.

³ Cluster: Conjunto de celdas que comparte una misma zona de influencia



Este tipo de análisis se realizarán de manera inmediata mediante los contadores de red, observando los principales KPIs de las celdas involucradas en nuestro cluster. En el caso de observar algún comportamiento negativo o no deseado se procederá a realizar un *fine tuning*⁴ de nuestros cambios o en el peor de los casos un roll-back de los mismo para volver a la situación original.

De forma menos inmediata y en los casos que sea necesario volveremos a enviar a nuestro ingeniero de campo a volver a realizar las medidas para verificar que los problemas se han solucionado.

3.10 Fase de conclusiones

El último punto en nuestro análisis será la realización de un reporte final, en nuestro trabajo lo llamaremos *post-mortem*, donde se recojan todos los datos relevantes del *hotspot*, problemas detectados y soluciones propuestas “Nuestro informe de análisis” y donde añadiremos la parte de monitorización y las conclusiones sobre el impacto que han tenido nuestros cambios sobre la red.

Este apartado es muy importante ya que nos ayudará a determinar una relación entre tipos de problemas y acciones empleadas donde hayamos tenido éxito de cara a posteriores análisis.

Se convertirá en el fondo en una guía de buenas prácticas a la hora de optimizar ciertos problemas.

⁴ Fine Tunning: anglicismo usado cuando se realiza un proceso de optimización más preciso tras una primera iteración

Capítulo 4. Casos Prácticos

4.1 Introducción

Para este trabajo se ha seleccionado un grupo de casos prácticos donde se podrá observar la metodología de trabajo en diferentes escenarios donde nos encontraremos con problemas cotidianos en todas las redes de telecomunicaciones del mundo y se propondrán una serie de acciones con las que mejorar las condiciones radio del usuario

4.2 Estaciones de Tren

4.2.1 Introducción

Uno de los casos prácticos que vamos a analizar en el trabajo son las estaciones de tren. Este tipo de *hotspot* está definido generalmente por una serie de edificios donde se aglomera gran cantidad de gente en ciertos puntos como pueden ser la zona de restaurantes, las taquillas y la zona de espera así como zonas con menor aglomeración de gente como son los andenes, que en muchos casos están abiertos al aire libre y en otros de ellos están en subterráneo, por lo que las redes móviles que suelen cubrir estos lugares tienen que combinar tanto macro celdas que den apoyo a la gran cantidad de gente que se puede acumular, así como diseños *indoors* que den cobertura en lugares donde las condiciones radio de las macro celdas se vean degradadas.

El caso concreto que vamos a ver es la estación de Atocha en Madrid. Una de las principales estaciones de tren de toda España, que combina tanto trenes de alta velocidad, como trenes de cercanías y conexiones con el metro.

4.2.2 Planificación

4.2.2.1 Planos de las instalaciones

Los planos que se recolectaron para este análisis fueron los de las plantas 0, 1 y 2 de la estación de trenes adjuntos en los anexos, así como la zona de taquillas de la parada de metro

4.2.2.2 Plano de topología

Antes de ir a realizar las medidas en campo se realizó una comprobación de los nodos que cubren tanto la estación como sus alrededores.

Existe un nodo de diseño especial cubriendo la zona de la estación de cercanías, así como cinco nodos más en el entorno que dan cobertura tanto a la estación de tren como a sus alrededores.

Tras el análisis realizado se decidió desplegar un nuevo diseño especial para mejorar las condiciones en toda la estación. Dicho diseño ya ha sido desplegado.

4.2.2.3 Medidas realizadas

Para este tipo de hotspots de gran tamaño se realizan dos tipos de medidas, unas en movilidad con la que se trata de tener un mapeado de todas las zonas de la estación y otro tipo de medidas estáticas en las zonas donde hemos detectado los mayores problemas con la idea de tener más información en dichos puntos. Se adjunta definición de scripts en los anexos.

4.2.2.4 Permisos

Al tratarse de una zona abierta se pidió al cliente una hoja acreditativa para realizar las medidas, así como informar a las autoridades de la estación de los trabajos que se estaban llevando a cabo.

4.2.2.5 Planificación de tiempos

Se estipuló un día para realizar todas las medidas. Por lo que dio tiempo no solo al desplazamiento al lugar de las medidas, sino también a realizar todas las medidas. No fue necesario el pernoctar en el destino.

4.2.3 Medidas en campo

Las principales medidas usadas en movilidad para observar el comportamiento de la red son los niveles de potencia de la señal, para detectar posibles huecos de cobertura, los niveles de calidad, para detectar problemas derivados de polución de celda o de congestión de usuarios y los PCI⁵ de las celdas para conocer cuál es nuestra servidora en cada parte de la estación.

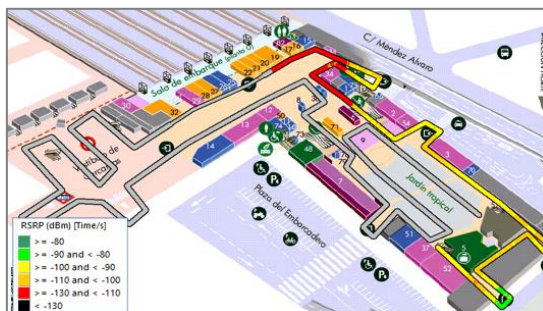


Figura 6. RSRP Planta 0 Estación de Atocha

Podemos observar de la figura 6 que cuando nuestros niveles de potencia empeoran y pasamos a tener niveles rojos (-130dBm y -110dBm) finalmente perdemos la señal LTE. El resto del recorrido, la zona gris, la conexión se estableció en UMTS.



Figura 7. RSRQ Planta 0 Estación de Atocha

En cuanto a los niveles de calidad no tenemos ningún punto excesivamente con problemas como podemos observar en la figura 7. Con niveles por encima de -15dB.

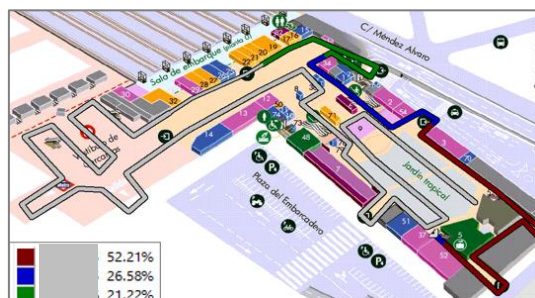


Figura 8. PCI Planta 0 Estación de Atocha

Finalmente observamos que las principales servidoras de esta zona son tres servidoras diferentes. El resto de las imágenes se adjuntan en el anexo.

⁵ Physical Cell Identifier. Es la identificación de una celda LTE y esta formado por el PSS y el SSS

4.2.4 Análisis de datos

Como hemos contemplado en la figura 7, nuestro principal problema se centra en la zona de la planta 0 donde se pierde la cobertura. En nuestras conversaciones con el cliente corroboramos que, en dicha zona, que se encuentra la zona de facturación a los trenes de alta velocidad, las conexiones de datos eran deficientes.

Como podemos observar de la gráfica de la figura 9, aun teniendo unos niveles de potencia aceptables en la zona se observaban problemas en la velocidad del *throughput* en *downlink*, derivada a su vez en problemas de asignación de PRBs⁶.

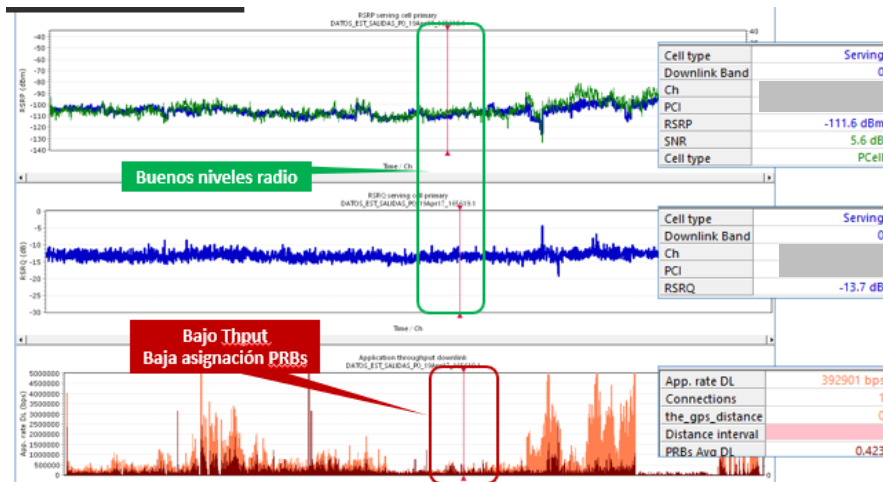


Figura 9. Gráficas del active set de la zona problemática

Una de las principales causas por las que se asignan pocos PRBs a un usuario suele ser por problemas de congestión en los canales de PDCCH y de PDSCH. Como podemos ver en las gráficas de la figura 10 ambos canales de la principal servidora tienen problemas de congestión a lo largo del día.

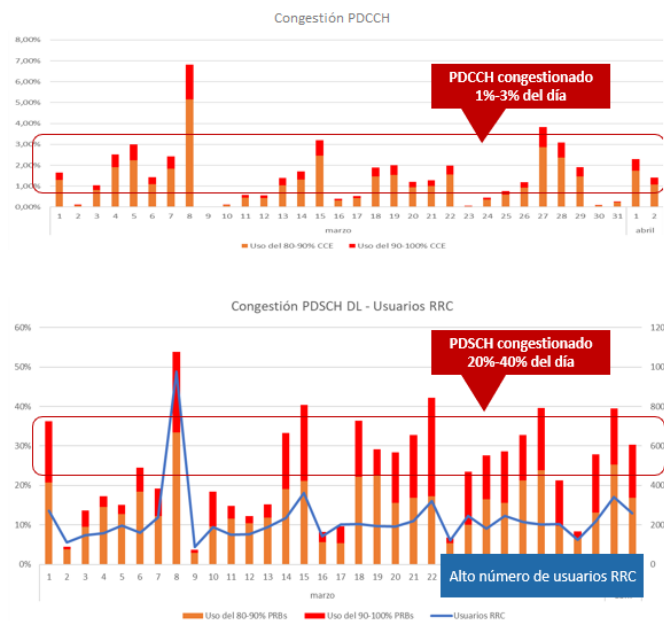


Figura 10. Gráficas congestión principal servidora

⁶ PRB: Physical Resource Block. Elemento más pequeño de la asignación de recursos asignado por el planificador del nodo LTE

4.2.5 Acciones de optimización

Con tal de dar solución a los problemas de cobertura en la zona de facturación el cliente nos comentó que ya tenía proyectado el despliegue de un nuevo nodo de diseño *indoor* para mejorar las condiciones radio y no tener huecos de cobertura.

Este nuevo despliegue cuando se lleve a cabo también ayudará a suavizar los problemas de congestión actuales que sufren algunas de las celdas macros que dan servicio a la estación, al absorber parte de su tráfico.

Se le propuso al cliente una serie de acciones con tal de suavizar los problemas de congestión actuales hasta tener el despliegue realizado. Estas acciones se basaban en volcar parte del tráfico cursado en LTE con problemas debido a la gran congestión que se tenía hacia otras celdas de UMTS también con buenos niveles radio y sin cursar tanto tráfico, donde se estaban obteniendo mejores niveles de *throughput*.

Para llevar a cambio dicho cambio se utilizó una funcionalidad de Ericsson “Inter-RAT Offload to WCDMA” que se basa en desbordar tráfico de la celda LTE a su cosector UMTS cuando está se encuentra congestionada.

A parte de estas acciones ya se ha desplegado el nuevo diseño especial con lo que se ha conseguido mejorar la cobertura y las condiciones de congestión en toda la zona.

4.2.6 Monitorización

Tras activación de la funcionalidad se empezaron a tener HO por Load Balancing de la celda LTE a sus celdas UMTS cosector (U2100/U900) como se observa en la figura 11, entre 200 y 250 HO por hora.

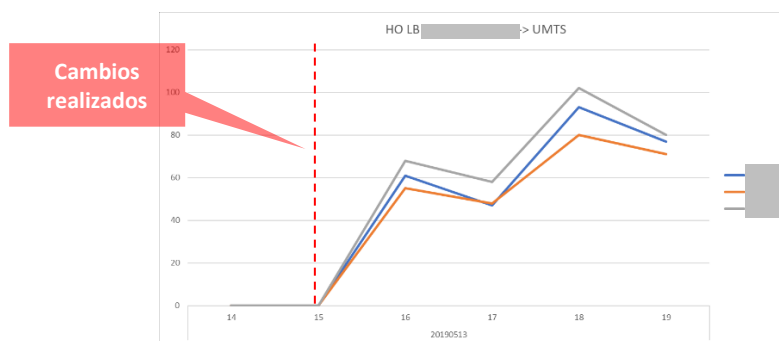


Figura 11. HO LB desde celda LTE a celdas UMTS

Tras el nuevo despliegue del diseño especial se ha remedido las condiciones de la planta donde se observaban los mayores problemas y cómo podemos observar en la figura 12 las mejoras en cobertura son evidentes. Manteniendo la conexión en todo momento en LTE y a su vez con niveles mejores que -100dBm.

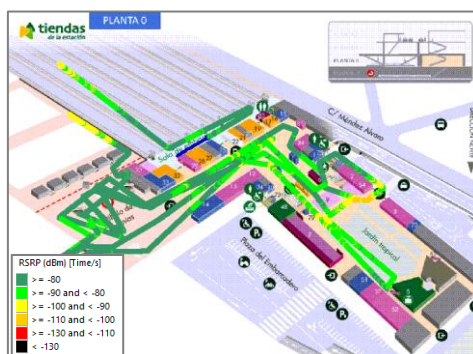


Figura 12. Niveles de cobertura tras nuevo despliegue



4.2.7 Conclusiones

Se realizó una encuesta a directivos de la compañía que usaban habitualmente esta conexión de trenes preguntándoles sobre su experiencia. Justo en la zona del arco de seguridad donde antiguamente tenían problemas para cargar su billete con el móvil la sensación general de los directivos que es esos problemas se había reducido drásticamente.

Aunque el objetivo de las compañías de telefonía es que el usuario final tenga a su servicio la red más puntera en el momento, en casos como este y tras realizar un estudio de las condiciones del entorno concluimos que tecnologías como el UMTS pueden salvar situaciones críticas donde tecnologías más modernas como el LTE por diferentes factores no cumplan las expectativas.

Claramente tras el nuevo despliegue las condiciones en toda la estación al disponer de un diseño dedicado para ella, mejoro considerablemente la experiencia de usuario. Esto es debido a una mejor cobertura *indoor* y a una reducción en la carga que soportaban las antenas externas.

4.3 Aeropuertos

4.3.1 Introducción

Continuando con los casos prácticos nos encontramos con los aeropuertos. Este tipo de *hotspot* es bastante similar al de las estaciones de tren, pero con la peculiaridad de que suele estar situado a las afueras de las ciudades, por lo que las contribuciones de otras macro celdas suelen ser menor. Hay que tener en cuenta que la afluencia de gente, en estas instalaciones, suelen ser de larga duración es decir más de 2 horas, por lo que el uso del teléfono móvil es alto. También hay que tener en cuenta que en este tipo de lugares existe bastante sistemas radiantes de otros tipos que pueden llegar a producir interferencias en nuestros sistemas radiantes.

4.3.2 Planificación

4.3.2.1 Planos de las instalaciones

Los planos que se recolectaron para este análisis fueron los planos de las terminales 1, 2, 3 y 4 del aeropuerto, así como un plano del tramo cubierto por un tren de conexión entre dos terminales.

4.3.2.2 Plano de topología

Antes de ir a realizar las medidas en campo se realizó una comprobación de los nodos que cubren tanto el aeropuerto como sus alrededores.

El aeropuerto cuenta con 24 nodos exclusivos para dar cobertura a todas las instalaciones, así como tres nodos de macroceldas que dan cobertura tanto a las carreteras de acceso al aeropuerto como a la zona de aparcamiento.

4.3.2.3 Medidas realizadas

Para este tipo de hotspots de gran tamaño se realizan dos tipos de medidas, unas en movilidad con la que se trata de tener un mapeado de todas las zonas del aeropuerto, este tipo de medidas en zonas con tanto despliegue de diseño especial son muy importantes con el objetivo de detectar posibles antenas defectuosas, y otro tipo de medidas estáticas en las zonas donde hemos detectado los mayores problemas con la idea de tener más información en dichos puntos.

4.3.2.4 Permisos

Los aeropuertos son hotspots de categoría especial en los que son necesaria una serie de documentación para tener derecho a poder desplazarte con libertad a la hora de realizar los trabajos. En especial es necesario haber aprobado un curso de seguridad en la aviación donde se te informa de todas las medidas de seguridad necesarias y a su vez de la adquisición de una tarjeta de acceso azul que da permiso a acceder tanto a las zonas públicas y de oficinas como a las zonas de acceso controlado.

Se adjunta en el anexo información sobre las diferentes tarjetas de accesos en los aeropuertos.

4.3.2.5 Planificación de tiempos

Debido al gran tamaño del hotspot se estipularon 3 días para realizar todas las medidas, así como 1 días para los desplazamientos. Por lo que finalmente se tuvo que pernoctar 3 noches en las cercanías del hotspot.

De los tres días se dedicaron los 2 primeros a realizar las medidas de las terminales internacionales y el último día a la terminal de vuelos nacionales.

4.3.4 Análisis de datos

Analizando todas las medidas del aeropuerto se detectan tres zonas con diferentes problemas.

La primera zona como ya hemos comentado anteriormente se trata de los problemas de cobertura que existen en la planta 1 de la terminal 4. Zona que según nuestro mapa de despliegue debería de estar cubriendo la celda A como ya vimos en la figura 13 y que como podemos ver en la figura 16 en su zona de cobertura tenemos aportaciones de otras celdas, pero no de nuestra celda A.

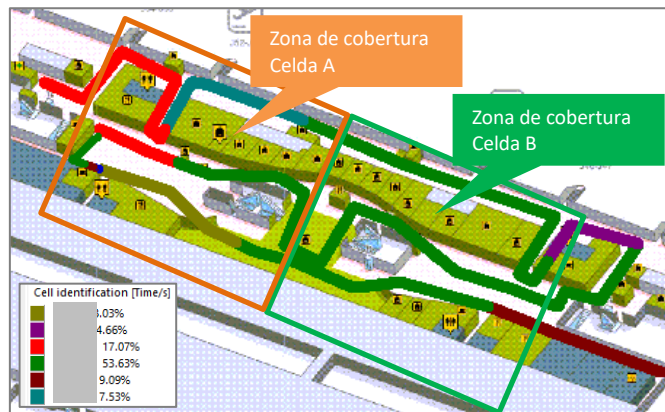


Figura 16. PCI Planta 1 Terminal 4

Vemos como la zona de cobertura B su principal servidora es la del PCI verde que corresponde a nuestra celda B, pero en cambio en nuestra zona de cobertura A tenemos hasta 4 servidoras principales y ninguna de ellas la es nuestra celda A.

Si lo observamos con las gráficas de cobertura y de calidad figura 17, podemos observar claramente como en la Zona B tiene buenos niveles tanto de RSRP como de RSRQ y se ve claramente los picos de potencia cada vez que pasamos cerca del sistema radiante, en cambio en la zona A los niveles están degradados y no se observan los picos de potencia del sistema radiante.

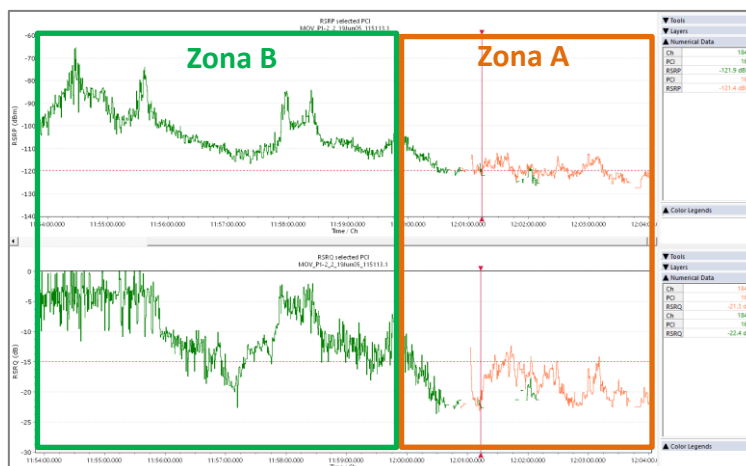


Figura 17. Gráficas de cobertura y calidad Planta 1 Terminal 4

Con las comunicaciones que tuvimos con cliente se nos confirmó que ese sistema radiante estaba desconectado debido a que producía problemas de interferencias y actualmente tenía problemas de ROE⁷ y que estaban a la espera de poder llevar un equipo para revisarlo.

⁷ ROE: Relación de onda estacionaria. Se dice que tiene problemas de ROE un sistema radiante cuando existe reflexión de nuestra señal y por lo tanto se pierde parte de la señal transmitida, también se le suele llamar como pérdidas de retorno.

El siguiente problema que se detectado es un panel de radiación de uno de los diseños especiales el cual se encontraba actualmente sin radiar debido a que se había cortado en enlace entre la antena y el nodo. En la figura 18 podemos observar la distribución de los paneles donde podemos observar hasta 4 antenas (A6-A9) distribuidas por la planta 0 de la terminal 1.

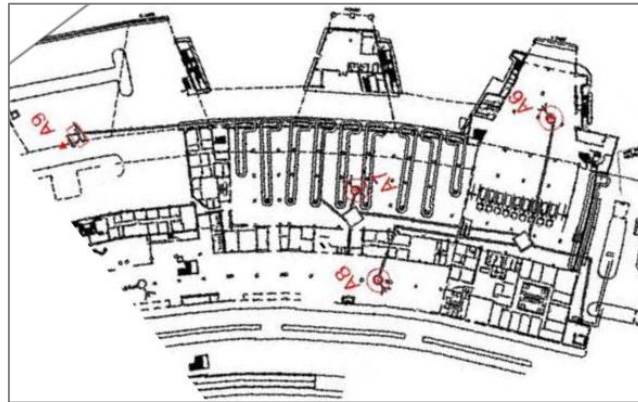


Figura 18. CAP Planta 0 Terminal 1

Si observamos las medidas de potencias tomadas con el terminal figura 19 se puede ver claramente como en la zona de la A7 tenemos buenos niveles de RSRP con valores entre -80dBm y -90dBm en cambio en la zona de la A6 no tenemos buenos niveles de RSRP con valores por debajo de -120dBm.

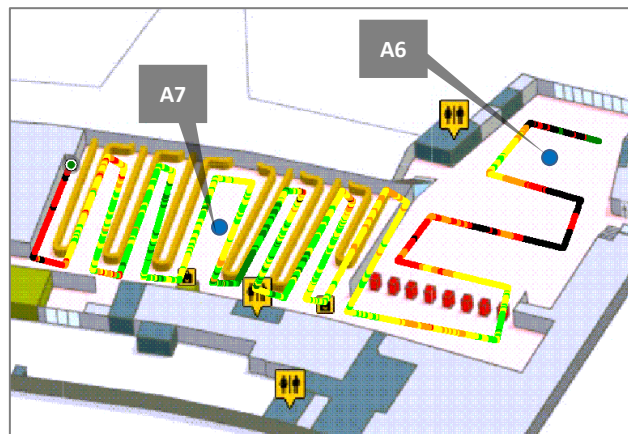


Figura 19. RSRP Planta 0 Terminal 1

El último problema detectado como ya vimos en la figura 15, son los problemas de cobertura que existen en el tren de conexión entre las terminales. En dicho trayecto como observamos se pierde la conexión LTE. Sin embargo, aunque luego terminamos reconectando a UMTS el *handover* entre las dos tecnologías no se realiza correctamente por lo que se llega a perder la continuidad de la conexión como se observa en la figura 20.

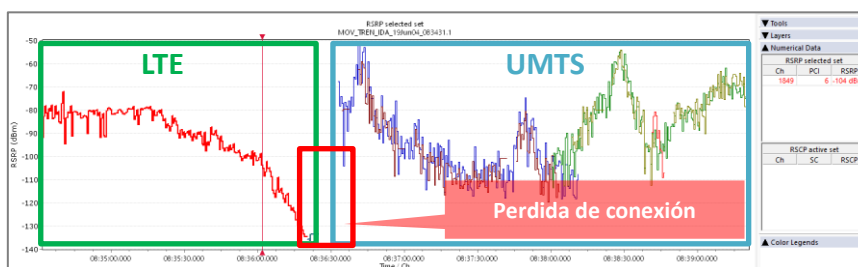


Figura 20. Niveles de potencia recorrido tren

4.3.5 Acciones de optimización

Para los dos primeros problemas se decidió enviar un equipo de campo con tal de revisar los sistemas radiantes defectuosos y solucionarnos, estas tareas quedaron a cargo del operador tras ser reportadas con los análisis realizados.

En cuanto al problema de desconexión en las vías de tren que conectan las dos terminales, viendo que el terminal tardaba demasiado en realizar el *handover* entre LTE y UMTS y para mejorar la continuidad de señal. Se recomendó modificar el evento A2, que es el encargado de determinar a que nivel de potencia debemos empezar a medir posibles celdas a las que realizar un *handover*, y el evento B2, que es el encargado de decidir a que nivel de potencia debemos estar para realizar el *handover* entre distintas tecnologías. Ambos valores se adelantaron con tal de realizar el *handover* antes de perder nuestra conexión.

4.3.6 Monitorización

Tras acelerar el traspaso de LTE a UMTs se mejoraron los KPIs de caídas de las celdas involucradas en el trayecto como se puede observar en la figura 21, observando un aumento en el número de HOs hacia 3G así como un aumento en el porcentaje de éxitos en los HOs LTE-UMTS.

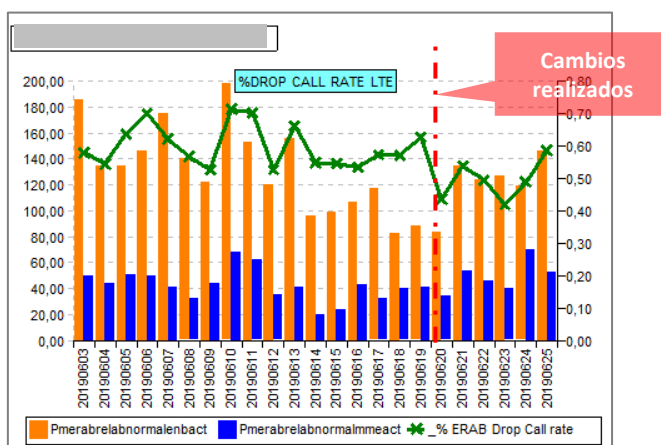


Figura 21. Conexiones y porcentaje de caídas celda zona tren

4.3.7 Conclusiones

En diseños especiales de la envergadura de aeropuertos en los que podemos llegar a tener más de 10 nodos involucrados con más de 50 celdas *indoors*, es conveniente realizar análisis periódicos para conocer el estado de nuestros sistemas radiantes, ya que muchas veces pueden pasar desapercibidos problemas graves en contadores debido a que de una misma rama tenemos conectados varios sistemas radiantes. Estos problemas pueden derivar en pérdidas de servicio en zonas grandes dentro de nuestras instalaciones provocado una mala experiencia al usuario final por las malas condiciones suministradas.

A parte de esto hay que tener en cuenta los problemas de polución que nos pueden estar generando no solo los mismos nodos del recinto sino nodos del entorno, ya que los aeropuertos suelen estar ubicados en zonas amplias y despejadas.

La última cosa que hay que tener en cuenta son los posibles problemas a la hora de dar servicio a zonas *indoor*, como subterráneos, metros, trenes y aparcamientos que pueden tener las instalaciones, estas zonas solo serían accesibles con sistemas radiantes dedicados o con sistemas macros de bandas anchas como pueda ser el L800 o el U900

4.4 Centros Comerciales

4.4.1 Introducción

Este tipo de *hotspot* se caracteriza por tener horas puntuales a lo largo de la semana con picos de tráfico. Su situación general dentro de las ciudades o en el extrarradio de estas los hacen idóneos para estar cubiertos por macro celdas del entorno, aun así, su estructura de carácter generalmente *indoor* obliga en muchos casos a desplegar diseños especiales para mejorar la cobertura de algunas de sus zonas más internas y zonas de aparcamiento que suelen encontrarse en algún subterráneo.

Mención especial a los sábados donde tienen su máximo de afluencia y donde hay que tener optimizado el entorno para los aumentos de capacidad que van a tener las diferentes celdas que den cobertura a la zona.

4.4.2 Planificación

4.4.2.1 Planos de las instalaciones

Los planos que se recolectaron para este análisis fueron las plantas 0, 1 y 2, así como la planta -1 donde se ubica el aparcamiento y los planos de las grandes superficies del Leroy Merlin, Mediamarkt y Carrefour.

4.4.2.2 Plano de topología

El centro comercial bajo estudio contaba con un nodo de diseño especial con varias antenas distribuidas a lo largo de las diferentes plantas de este. En las zonas donde se carece de cobertura del diseño especial llegaban las aportaciones de varios nodos del entorno como se puede observar en la figura 22.



Figura 22. Mapa topología de la zona

4.4.2.3 Medidas realizadas

En los centros comerciales se realizan las en movilidad con la que se trata de tener un mapeado de todas las zonas y las más importantes en estos entornos las medidas estáticas en las zonas donde hemos detectado los mayores problemas y en zonas donde mayor concentración de gente solemos tener como pueden ser las principales tiendas comerciales o el área de restauración para conocer mejor la experiencia de usuario que tienen los clientes

4.4.2.4 Permisos

Al tratarse de una zona abierta se pidió al cliente una hoja acreditativa para realizar las medidas, así como informar a las autoridades de la estación de los trabajos que se estaban llevando a cabo.

4.4.2.5 Planificación de tiempos

Por lo general se suele emplear un día para realizar todas las medidas de un centro comercial, solo en casos muy particulares de centros comerciales de gran envergadura se ha necesitado planificar dos días de medidas. En este caso solo se requirió un día de medidas, aunque al encontrarse a bastante distancia de donde se encuentran las oficinas fue necesario realizar noche en la ciudad para regresar al día siguiente.

Puede ser interesante en casos como este planificar en una misma semana varios centros comerciales a medir con tal de aprovechar el desplazamiento a la ciudad objetivo.

4.4.3 Medidas de campo

A parte de los mallados en potencia como hemos visto en los anteriores casos analizados para comprobar las huellas de cobertura y las servidoras en cada zona de nuestro centro comercial, es interesante en este tipo de *hotspots* realizar medidas en las zonas de mayor afluencia de gente o donde sospechemos que mayor número de usuarios pueden estar realizando uso de nuestra red, para poder conocer la experiencia de los usuarios en esos puntos.

Como podemos observar en la figura 23 extraída del análisis donde podemos observar los resultados de dichas medidas que se realizaron en la zona de caja del Leroy Merlín y donde podemos observar que en general la experiencia de usuario era deficiente con velocidades de transferencia de datos bajas, por debajo de 1 Mbps y valores radio tanto en LTE como en UMTS algo degradados.

| | | Leroy Merlin | |
|----------------|----------------------------|--------------|---|
| Estática - Voz | # HTTP Browsers | 5 | 😊 |
| | # HTTP Browsers failure | 0 | 😊 |
| | FFTP Throughput DL (5Mb) | 824 Kbps | 😟 |
| | FFTP Throughput DL (100Mb) | 908 Kbps | 😡 |
| | FFTP Throughput UL | 125 Kbps | 😡 |
| | Latencia | 115.6 | 😡 |
| | %UMTS | 49% | 😡 |
| | RSCP Medio | -98.1 | 😟 |
| | Ec/N0 Medio | -10.9 | 😟 |
| | %LTE | 51% | 😡 |
| | RSRP Medio | -109.9 | 😟 |
| | RSRQ Medio | -11.6 | 😟 |

Figura 23. Resultados de medidas estáticas en el Leroy Merlín

Las medidas que se realizan para este tipo de análisis son las siguientes:

- **#HTTP Browsing:** Número de intentos de conexión a una dirección web
- **#HTTP Browsing failure:** Número de fallos al intentar conectar a una dirección web
- **FFTP Throughput DL (5Mb):** Velocidad de descarga de un archivo de 5Mb
- **FFTP Throughput DL (100Mb):** Velocidad de descarga de un archivo de 100Mb
- **FFTP Throughput UL:** Velocidad de subida de un archivo de 5Mb
- **Latencia:** Tiempo de retardo, calculado realizando una serie de pings a la red
- **%UMTS:** Porcentaje de muestras cursadas en UMTS
- **RSCP Medio:** Nivel de potencia media cursada en UMTS
- **Ec/N0 Medio:** Nivel de señal ruido media cursada en UMTS
- **%LTE:** Porcentaje de muestras cursadas en LTE
- **RSRP Medio:** Nivel de potencia media cursada en LTE
- **RSRQ Medio:** Nivel de calidad recibida media cursada en LTE

4.4.4 Análisis de datos

Tras el análisis del centro comercial se detectaron principalmente dos problemas importantes que afectaban a la experiencia de usuario.

El primer problema como hemos podido ver en la figura 23 se trataba de los problemas de cobertura *indoor* en el Leroy Merlin, este gran almacén carece de un sistema *indoor* dedicado y este cubierto principalmente por una celda cercana al centro comercial ubicada en la azotea de un edificio colindante. Los niveles de cobertura como podemos ver en la figura 24 se encuentran en varias zonas por debajo de los -120dBm en LTE, por lo que se termina conectando el terminal a UMTS con niveles cercanos a los -100dBm.

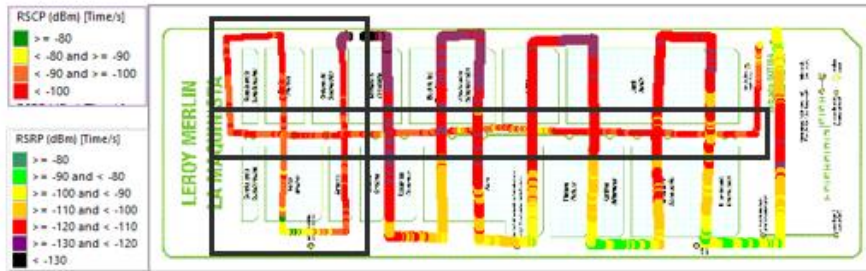


Figura 24. Niveles de potencia Leroy Merlin

El segundo problema detectado se encuentra en la tercera planta del centro comercial, donde se observan niveles de calidad degradados, valores de RSRQ por debajo de los -20dB como se puede observar en la figura 25.

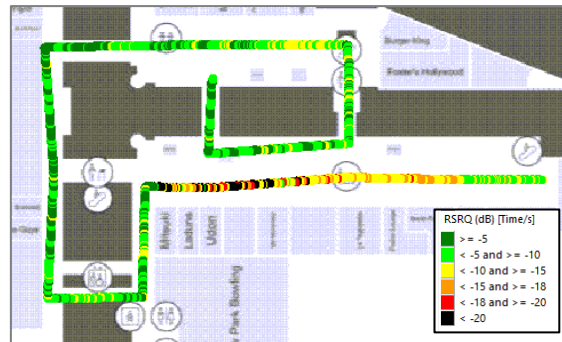


Figura 25. Niveles de calidad planta 3

La zona coincide exactamente donde se realiza el *handover* entre la celda de la macro exterior celda A hacia la celda del diseño especial celda B como se aprecia en la figura 26.

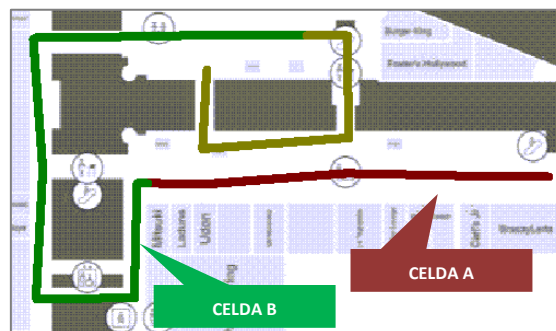


Figura 26. PCI servidora planta 3

Para obtener conclusiones sobre el problema que produce este efecto se decide estudiar la señalización de la conexión, con el fin de descubrir que tipo de mensajes se envían entre el terminal y el nodo.

En la figura 27 se puede observar la señalización de la conexión justo en el punto donde peores niveles de calidad se miden, durante estos instantes obtenemos una sucesión de mensajes de evento A3 y A5⁸, estos eventos se producen cuando el terminal está detectando otra celda en el entorno con mejores niveles de señal y pide realizar el *handover* hacia dicha celda. En este caso podemos ver que la celda que esta detectando es la celda con PCI 12, que corresponde con nuestra celda B que la está midiendo con unos niveles de RSRP de -84dBm y de RSRQ de -10.5dB, valores mejores que los niveles de la celda A a la que estamos conectados.

| Event ID | System | Transf. dir. | Time | Sub channel | Message name | Msg. type | Measurement event | measurement_event_str |
|----------|--------|--------------|----------|--------------|--------------|-------------------|-------------------|-----------------------|
| 313. | RRC | LTE FDD | Downlink | 15:07:17.250 | PCCH | Paging | | |
| 314. | RRC | LTE FDD | Uplink | 15:07:17.312 | DCCH | MeasurementReport | | |
| 315. | | | | 15:07:17.312 | | | Event A3 | Event A3 |
| 316. | RRC | LTE FDD | Uplink | 15:07:17.630 | DCCH | MeasurementReport | | |
| 317. | | | | 15:07:17.630 | | | Event A5 | Event A5 |
| 318. | RRC | LTE FDD | Uplink | 15:07:17.792 | DCCH | MeasurementReport | | |
| 319. | | | | 15:07:17.792 | | | Event A3 | Event A3 |
| 320. | RRC | LTE FDD | Uplink | 15:07:18.271 | DCCH | MeasurementReport | | |
| 321. | | | | 15:07:18.271 | | | Event A3 | Event A3 |
| 322. | RRC | LTE FDD | Uplink | 15:07:18.671 | DCCH | MeasurementReport | | |
| 323. | | | | 15:07:18.671 | | | Event A5 | Event A5 |
| 324. | RRC | LTE FDD | Uplink | 15:07:18.751 | DCCH | MeasurementReport | | |
| 325. | | | | 15:07:18.751 | | | Event A3 | Event A3 |
| 326. | RRC | LTE FDD | Uplink | 15:07:19.480 | DCCH | MeasurementReport | | |
| 327. | | | | 15:07:19.480 | | | Event A3 | Event A3 |
| 328. | RRC | LTE FDD | Uplink | 15:07:19.715 | DCCH | MeasurementReport | | |
| 329. | | | | 15:07:19.715 | | | Event A5 | Event A5 |
| 330. | RRC | LTE FDD | Downlink | 15:07:19.808 | PCCH | Paging | | |
| 331. | RRC | LTE FDD | Uplink | 15:07:19.960 | DCCH | MeasurementReport | | |
| 332. | | | | 15:07:19.960 | | | Event A3 | Event A3 |
| 333. | RRC | LTE FDD | Uplink | 15:07:20.440 | DCCH | MeasurementReport | | |
| 334. | | | | 15:07:20.440 | | | Event A3 | Event A3 |
| 335. | RRC | LTE FDD | Uplink | 15:07:20.728 | DCCH | MeasurementReport | | |
| 336. | | | | 15:07:20.728 | | | Event A5 | Event A5 |
| 337. | RRC | LTE FDD | Uplink | 15:07:20.964 | DCCH | MeasurementReport | | |
| 338. | | | | 15:07:20.964 | | | Event A3 | Event A3 |
| 339. | RRC | LTE FDD | Uplink | 15:07:21.441 | DCCH | MeasurementReport | | |
| 340. | | | | 15:07:21.441 | | | Event A3 | Event A3 |

Figura 27. Señalización de zona con malos niveles de RSRQ

Si observamos este comportamiento en la gráfica se puede observar como los niveles de RSRQ en la celda A se van degradando hasta que finalmente perdemos la conexión y en idle reaseleccionamos a la celda B, figura 28.

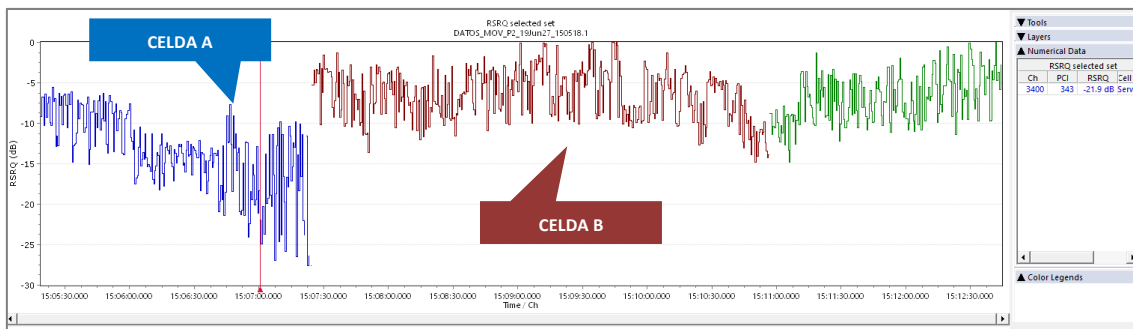


Figura 27. Gráfica de niveles de RSRQ en planta 3

Este tipo de comportamiento, donde en una zona donde vamos degradando paulatinamente y observamos una sucesión de eventos en señalización proponiendo un *handover* pero que no se terminan de realizar, es típico de que tenemos una celda del entorno sin configurar como vecina, imposibilitando de esa manera la ejecución del *handover*.

En UMTS este problema era bastante común ya que todas las relaciones de vecindad se debían definir manualmente, pero en LTE es difícil de observar debido a que aparecieron funcionalidades que automáticamente crean las relaciones de vecindad faltantes, esta funcionalidad se denomina ANR⁹.

⁸ Eventos Ax: en el anexo explicación de los diferentes eventos en LTE

⁹ ANR: Automatic Neighbour Relation, funcionalidad que automáticamente crea y elimina relaciones de vecindad basándose en contadores de la red

4.4.5 Acciones de optimización

Para el problema de cobertura en el Leroy Merlín, se aumentó la potencia de la celda macro exterior con el fin de ofrecer mejores niveles de cobertura en el interior del centro comercial y mantener durante más tiempo nuestras conexiones en LTE sin tener que hacer uso de la red UMTS ofreciendo así mejores experiencias de usuario.

En cuanto al problema de calidad de la planta 3, tras revisar la parametrización de las antenas del entorno se encontró que la funcionalidad del ANR se encontraba desconectada por lo que se activó el parámetro ANRMeasON con el fin de que la propia funcionalidad generara las relaciones de vecindad faltantes y no tener el problema de movilidad detectado.

4.4.6 Monitorización

Tras los cambios de potencia se redujo los *handovers* hacia UMTS y se observó un aumento del tráfico cursado en LTE, obteniendo el resultado esperado. Este aumento de tráfico no produjo degradación en los KPIs de la celda y a su vez mejoró la experiencia de los usuarios que ahora tenían conexión LTE en vez de conexión UMTS.

En cuanto a la activación de la funcionalidad se generaron las vecinas faltantes en la zona con un aumento considerable en el número de HOs y con una tasa de éxito por encima del 98% como podemos observar en la figura 28.

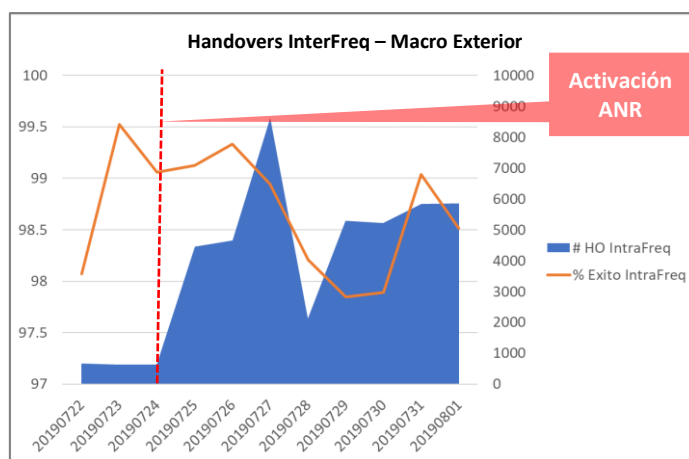


Figura 28. Gráfico número de handovers y tasa de éxito macro exterior

Además, en este caso tuvimos la posibilidad de volver a realizar medidas en campo y se pudo observar que la mejora considerable en los niveles de calidad comparando la figura 25 con la figura 29, ahora los niveles de calidad se mantenían por encima en todo momento de los -15dB, ya que al tener definida la relación de vecindad el *handover* se realizaba antes de empeorar los niveles.

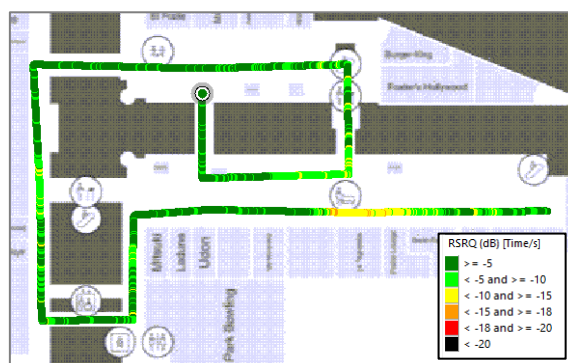


Figura 29. Niveles de calidad planta 3 tras aplicar los cambios



4.4.7 Conclusiones

Los centros comerciales combinan tanto zonas de exterior como zonas *indoor*, algunas de ella en subterráneos o con varios pisos por encima de las mismas que impiden una buena cobertura con las celdas macro de los alrededores. Por ellos se suelen combinar con sistemas *indoor* que cubran las deficiencias en estos puntos.

El problema es que estos sistemas *indoor* suelen desplegarse por convenios con grandes almacenes o grandes marcas y algunos de los establecimientos quedan desprovistos de estos sistemas radiantes, por lo que hay que realizar una buena planificación de todos los nodos del entorno para cubrir las necesidades de los usuarios.

Otro de los inconvenientes que solemos detectar son problemas de calidad provocados al tener una gran cantidad de servidoras en el entorno, ya que por lo general los centros comerciales se encuentran en zonas urbanas con mucho despliegue.

Finalmente, en este caso en particular nos hemos encontrado con un problema de relaciones de vecindad no definidas, esto fue debido a que se estaba desplegando una nueva banda en la zona y en estos casos puede pasarse por alto el definir las vecindades de la nueva banda desplegada o como sucedió no activar la funcionalidad del ANR para que se generen de forma automática. Por lo que siempre es conveniente en zonas donde se está realizando nuevos despliegues el revisar este tipo de parametrización.

4.5 Estadios deportivos

4.5.1 Introducción

Zonas de alta aglomeración de gente en días y horas muy puntuales. Existen tanto al aire libre como los estadios de fútbol como interiores como los pabellones de baloncesto. Por la gran cantidad de asistencia que suelen tener se instalan diseños especiales para soportar la alta carga de tráfico que suelen cursar, por lo que hay que ir con especial cuidado con los problemas derivados por la interferencia entre los diferentes sistemas radiantes.

4.5.2 Planificación

4.5.2.1 Planos de las instalaciones

El plano utilizado en este análisis es la ubicación de las distintas gradas del campo, así como la distribución de todas las antenas del diseño especial que hay en el mismo.

4.5.2.2 Plano de topología

En cuanto a la topología de la zona hay que destacar que el estadio se encuentra en zona urbana, principalmente cubierto por el diseño especial, pero con aportaciones de algunos nodos del entorno.

4.5.2.3 Medidas realizadas

Para este tipo de hotspots de gran tamaño se realizan dos tipos de medidas, unas en movilidad con la que se trata de tener un mapeado de todas las zonas del estadio, este tipo de medidas en zonas con tanto despliegue de diseño especial son muy importantes con el objetivo de detectar posibles antenas defectuosas, y otro tipo de medidas estáticas en las zonas donde hemos detectado los mayores problemas con la idea de la experiencia de usuario en dichos puntos críticos.

4.5.2.4 Permisos

Para acceder al campo hay que realizar una solicitud a la gestión del centro deportivo con la intención de que nos faciliten el acceso. En muchos de estos casos seremos acompañados por algún miembro del equipo de seguridad del campo que nos proporcionará el acceso a las distintas ubicaciones del estadio.

4.5.2.5 Planificación de tiempos

Un día es suficiente para realizar todas las medidas del recinto, dependiendo de la ubicación del estadio podemos necesitar algún día extra para realizar el desplazamiento

Como en los centros comerciales, puede ser interesante planificar en una misma semana varios *hotspots* a medir con tal de aprovechar el desplazamiento a la ciudad objetivo.

4.5.3 Medidas de campo

Se realizó un mapeado de todas las zonas de gradas, para conocer tanto los niveles de potencia como los niveles de calidad en todos los puntos del campo de fútbol. El objetivo era verificar el correcto funcionamiento de todos los sistemas radiantes del diseño especial instalado en el estadio.

A parte de la zona de gradas también se realizaron medidas en la zona de los pasillos de acceso a las mismas, el museo del estadio y la zona de la oficina.

4.5.4 Análisis de datos

Se detecta uno de los paneles que dan cobertura en la grada norte con problemas de radiación, esto afecta a la cobertura en toda esta parte del estadio. Como podemos observar en la figura 30 con la información de la situación de los paneles en la zona noroeste, tenemos dos paneles que cubren esa curva de la grada.

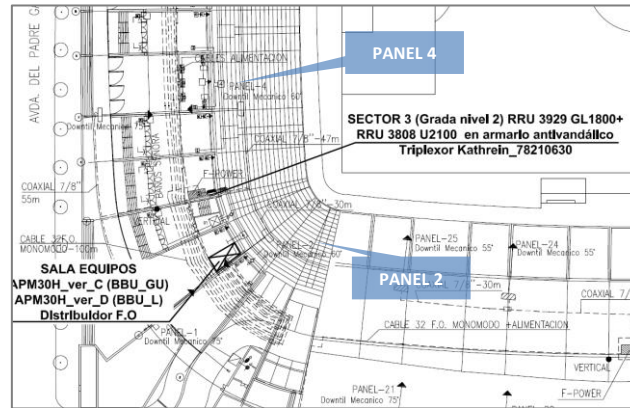


Figura 30. CAP Grada Noroeste

En cambio, como se puede observar en las medidas de campo, figura 31, no tenemos niveles de señal en la zona que debería de cubrir el panel 4. Para realizar este análisis se saca los niveles de señal filtrando por el PCI de la celda del diseño especial.

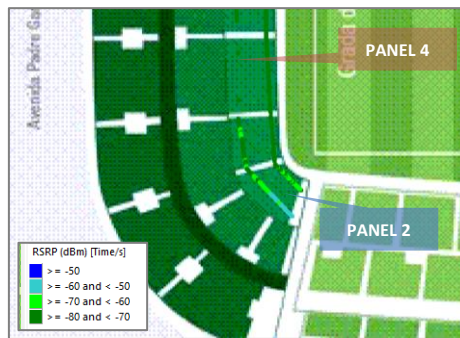


Figura 31. Niveles de RSRP Grada Noroeste PCI diseño especial

Otra forma de ver el mismo comportamiento es observando la gráfica con la evolución de cobertura según nos vamos desplazando por las gradas. Lo que deberíamos observar son los diferentes picos de potencia de los paneles que cubren las gradas, pero como observamos en la figura 32, no se consigue observar el pico de cobertura del panel 4.

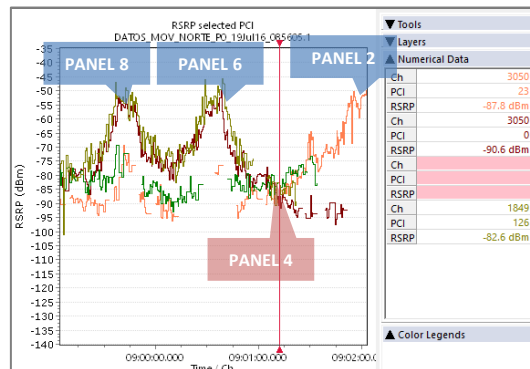


Figura 32. Niveles de RSRP Grada Norte

Otro problema detectado se debía a que la zona baja y alta de las gradas si que disponían de paneles de diseño especial, pero en la zona central no. Por lo que la calidad en esa área se encontraba degradada debido a la polución generada por todos los nodos del diseño especial ya que en esa zona como podemos observar en la figura 33 no teníamos ninguna servidora predominante y nos llegaban aportaciones de todos los nodos del diseño especial por igual. Esto provoca problemas tanto de pimponeo¹⁰ como una mala experiencia de usuario.

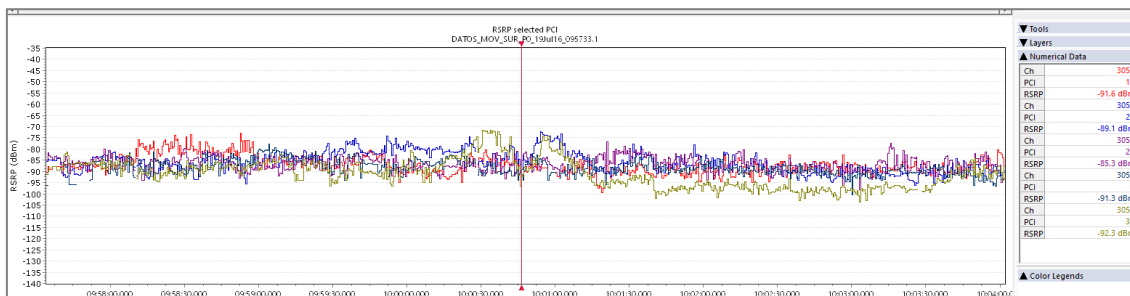


Figura 33. Niveles de RSRP zona central

4.5.5 Acciones de optimización

Se propuso revisar el sistema radiante y elementos pasivos del panel 4, para ello se envió a un técnico que verifico el correcto funcionamiento de todos los componentes pasivos, (diplexores, mezcladores, ...).

Se detecto que el problema se debía a una infiltración de agua en el conector del panel y se sustituyó por uno nuevo.

Para dar solución al problema de calidad se recomendó la activación de la funcionalidad de MIMO¹¹, reducir la potencia de los sistemas radiantes o cambiarlos por unos más directivos para reducir la polución en todo el estadio y mejorar la calidad de transmisión.

4.5.6 Monitorización

Tras la sustitución del conector del panel 4 se volvieron a realizar medidas para observar su correcto funcionamiento. Para ello se envió un técnico a medir los niveles de señal justo debajo del panel para observar si los niveles de medidas eran los correctos. Como se observa en la figura 34 donde comparamos los niveles del panel antes y después de cambiar el conector, los niveles de potencia detectados por el terminal mejoraron en 14dB de potencia.

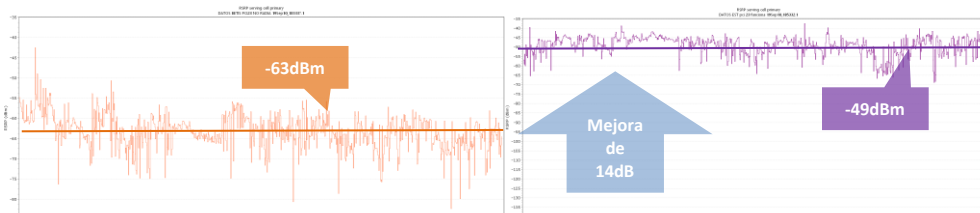


Figura 34. Niveles de RSRP antes y después de la sustitución del conector del panel 4

Los cambios para mejorar la calidad no se pudieron aplicar debido en gran parte a la necesidad de unos elementos pasivos para poder realizar la configuración deseada del MIMO y los contratiempos por culpa del COVID-19.

¹⁰ Pimpono: efecto no deseado que se produce cuando una conexión realiza *handovers* entre una celda y otra sin llegar a quedarse en ninguna de las dos

¹¹ MIMO: empleo simultáneo de varias antenas transmisoras y receptoras con el fin de mejorar la velocidad y la calidad de la transmisión



4.5.7 Conclusiones

El principal problema en los estadios suele ser que son recintos muy abiertos con varios nodos del diseño especial que son difícilmente controlables sus huellas, por lo que suele tener problemas de polución afectando a la experiencia de usuario. Por eso una planificación de huellas en este tipo de entornos es muy importante, así como elegir correctamente los sistemas radiantes, por lo general muy directivos.

Otro gran problema, sobre todo en los estadios deportivos, es el crecimiento en tráfico inmenso durante los descansos del evento deportivo. Donde en pocos minutos se concreta la gran mayoría de tráfico. Para eso es importante saber distribuir bien el tráfico entre todos los elementos que se disponen, así como haber planificado bien los recursos necesarios en los picos de tráfico.

Finalmente, el otro problema al que nos solemos encontrar en estos recintos es el mismo que teníamos en los aeropuertos, ya que debido a tener unos diseños especiales con gran cantidad de nodos y a la vez gran cantidad de sistemas radiantes, será necesario una revisión periódica de los mismos para evitar pérdidas de servicio.

Capítulo 5. Presupuesto

5.1 Introducción

Para calcular el presupuesto a la hora de realizar un proyecto de optimización hay que tener en cuenta no solo los costes directos de la compra de materiales necesarios sino a parte los costes del personal y los derivados de los viajes realizados.

Es importante conocer los costes totales a la hora de ofrecer los servicios a una empresa de cara a obtener beneficios con el trabajo realizado.

En este punto se va a realizar una estimación de los costes totales a la hora de optimizar un *hotspot* pequeño y cercano y se va a comparar con los costes de realizar una optimización de un *hotspot* grande y lejano.

5.2 Costes de materiales

5.2.1 Equipo optimizador

| Artículo | Coste |
|--|----------------|
| Portátil gama medio-alta (Intel i5, 8GB RAM, disco SSD 500GB...) | 600€ |
| Pantalla auxiliar | 150€ |
| Licencia de Windows | 260€/por año |
| Licencia de Microsoft Office | 130€/por año |
| Licencia de Nemo Analyze | 8.000€/por año |
| Terminal Móvil + tarifa | 400€/por año |
| Material de oficina (Mesa, silla, ...) | 400€ |
| TOTAL | 9.640€ |

Tabla 1. Costes equipo optimizador

5.2.2 Equipo de medidas

| Artículo | Coste |
|--|----------------|
| Portátil gama medio-alta (Intel i5, 8GB RAM, disco SSD 500GB...) | 600€ |
| Pantalla auxiliar | 150€ |
| Licencia de Windows | 260€/por año |
| Licencia de Microsoft Office | 130€/por año |
| Terminal Nemo Handy (5G Capability) | 2.000€/por año |
| Terminal Móvil + tarifa | 400€/por año |
| Material de oficina (Mesa, silla, ...) | 400€ |
| TOTAL | 3.940€ |

Tabla 2. Costes equipo medidas

5.2.3 Otros

| Artículo | Coste |
|--|---------------|
| Servidor en la nube para pruebas de descarga | 720€/por año |
| Conexión fibra alta capacidad | 540€/por año |
| TOTAL | 1.260€ |

Tabla 3. Otros costes de materiales

5.3 Costes del personal

| Artículo | Coste |
|--|--------------|
| Ingeniero de optimización (por día de trabajo) | 280€/por día |
| Ingeniero de campo (por día de trabajo) | 200€/por día |

Tabla 4. Costes del personal

5.4 Coste total

5.4.1 Coste mínimo

Para los costes mínimos tendremos en cuenta un hotspot reducido y cercano a las oficinas. Las principales características de este tipo de hotspot es que no requiere más de un día para realizar las medidas y por lo general el análisis de estas será más sencillo. A parte de eso los gastos de transporte se reducen considerablemente.

| Artículo | Coste por día | días | Coste |
|-----------------------------------|---------------|------|---------------|
| Ingeniero de campo | 200€ | 1 | 200€ |
| Ingeniero de optimización | 280€ | 3 | 840€ |
| Dietas ingeniero optimización | 50€ | 1 | 50€ |
| Transporte ingeniero optimización | 20€ | 1 | 20€ |
| TOTAL | | | 1.110€ |

Tabla 5. Costes mínimos

5.4.2 Coste máximo

Para los costes máximos tendremos en cuenta un hotspot de gran tamaño y lejano a las oficinas. Las principales características de este tipo de hotspot es que requeriremos de más de un día para realizar las medidas y por lo general el análisis de estas será más laborioso y nos puede llevar incluso más de una semana. A parte de eso deberemos tener en cuenta gastos de viaje, hospedaje y dietas.

| Artículo | Coste por día | días | Coste |
|-----------------------------------|---------------|------|---------------|
| Ingeniero de campo | 200€ | 5 | 1.000€ |
| Ingeniero de optimización | 280€ | 6 | 1.680€ |
| Dietas ingeniero optimización | 50€ | 5 | 250€ |
| Vuelos ingeniero optimización | 100€ | 2 | 200€ |
| Hospedaje ingeniero optimización | 60€ | 4 | 240€ |
| Transporte ingeniero optimización | 20€ | 5 | 100€ |
| TOTAL | | | 3.470€ |

Tabla 6. Costes máximos

5.5 Conclusiones

Como se puede comprobar hay un gasto inicial muy importante para poder disponer de las herramientas necesarias para poder realizar el proyecto. Como mínimo deberíamos de disponer de un ingeniero de campo que realizará las medidas y de un ingeniero de optimización que realizará los análisis, por lo que nuestros gastos iniciales de 13.580€ para el primer año.

Una vez con las herramientas para poder realizar nuestros análisis hay que tener en cuenta que si se puede realizar unos dos análisis pequeños o 1 análisis grande por semana nuestros gastos podrán variar a la semana en unos 2.000€ a 3.500€, eso harían unos 100.000€ a 200.000€ al año.

Para que los gastos no se nos disparen y podamos tener beneficios deberemos de optimizar nuestros recursos con tal de poder realizar el mayor número de análisis en el menor tiempo posible. Con ese propósito y con tal de poder ofrecer precios a nuestros clientes atractivos nuestros dos principales puntos de ahorro será el tiempo que invierta cada uno de los ingenieros en sus actividades.

El ingeniero de campo deberá de planificar los viajes con tal de aprovechar los desplazamientos largos para medir no solo un hotspot de la ciudad a la que se desplace sino tratar de aprovechar el desplazamiento con el objetivo de cubrir el mayor número de hotspots posibles.

El ingeniero de optimización por su lado tendrá que ser capaz de solapar varios análisis a la vez, planificando su tiempo sería capaz por ejemplo de en un mismo día monitorizar un análisis ya en marcha y a su vez empezar el siguiente análisis de un hotspot nuevo.

En conclusión, viendo que los gastos de las herramientas y el presupuesto general es alto, con el objetivo de obtener beneficios será necesaria una buena planificación del tiempo de trabajo de cada uno de los ingenieros. Por eso tener una metodología de trabajo nos puede ayudar a acelerar y automatizar varios de nuestros procesos haciéndonos ahorrar tiempo en nuestro día a día.

Capítulo 6. Conclusiones y trabajos futuros

6.1 Conclusiones

La red móvil está compuesta por un gran número de dispositivos radiantes que tratan de cubrir las necesidades de sus usuarios. Debido a numerosos factores entre los que encontramos la movilidad de usuarios, crecimiento de poblaciones o aumento en las necesidades de las aplicaciones de hoy en día, tenemos que estar preparados para afrontar las posibles carencias de la red y ser capaces de optimizarlas.

Como hemos estado viendo en este trabajo uno de los puntos más críticos de la red son zonas de alto consumo de recursos, ya que en estos puntos nuestra red será más débil y además cualquier problema que surja tendrá un impacto en un mayor número de usuarios.

Para poder prevenir o solucionar los posibles problemas que puedan surgir en nuestra red tenemos diferentes enfoques con los que ir adaptando la misma, uno de ellos es la optimización basada en medidas de walk-test. Que como hemos visto es una herramienta muy potente ya que nos da una visión fiel de la experiencia final del usuario y nos ayuda a centrarnos en los puntos donde se detectan los problemas.

El problema de este tipo de análisis como hemos podido observar es su alto coste en recursos y por esos es tan importante preparar una metodología de trabajo con el fin de optimizar nuestros recursos y ser capaces de obtener beneficios a un bajo coste.

Entre los puntos más importantes dentro de nuestra metodología tendremos todos los apartados correspondientes a la planificación y selección del hotspot a analizar. Una buena selección y planificación del hotspot nos ayudará a reducir los gastos de nuestro análisis y de esa manera aumentar nuestros beneficios.

Desde el punto de vista del análisis será muy importante no solo detectar el problema sino de ser capaces de entender por qué se produce, proponer una solución y sobre todo ser capaces de monitorizar que nuestra propuesta de optimización genera los resultados previsto sin derivar en otros problemas.

Por todos estos motivos disponer de una metodología de trabajo a la hora de enfrentarnos a la optimización de hotspots es importante dentro del día a día de un ingeniero de optimización de redes. Es una herramienta con la que seremos capaces de planificar nuestro tiempo, automatizar tareas y dar valor a nuestros análisis.

6.2 Trabajos futuros

Con la evolución constante dentro del mundo de las tecnologías donde ya tenemos aquí la nueva generación de redes móviles 5G, será importante el ir evolucionando nuestros análisis aportando cada vez mayor valor a los mismos.

Hoy en día ya somos capaces de realizar walk-test con terminales 5G y de esta forma monitorizar realizar análisis sobre nuestra red 5G, la cual se está desplegando en los principales operadores de todo el mundo. Por lo que incluir análisis de optimización de 5G tiene que ser una de las principales evoluciones a corto plazo dentro de los análisis de optimización.

A parte de eso cabe destacar que se puede aplicar tecnología punta para aportar no solo valor sino para mejorar nuestros procesos de medidas, hoy en día ya se han realizado pruebas de walk-test usando drones para no tener a un ingeniero paseándose por nuestro hotspot.

Ahora mismo el techo dentro de las telecomunicaciones es nuestra imaginación, si podemos imaginarlo podemos realizarlo.



Capítulo 7. Bibliografía

- [1] Ericsson, “Ericsson Network Manager Overview” Help Center ENM
- [2] Huawei, “U2020 Overview of MML Management”
<http://huawei/hedex/portal/infocenterhome.do> [Online]
- [3] ipv6go, “Tutorial LTE”
http://www.ipv6go.net/lte/downlink_canales_fisicos.php [Online]
- [4] Keysight Technologies Inc, “Nemo Analyze Technical Overview”
<http://www.keysight.com/find/contactus> [Online]
- [5] Keysight Technologies Inc, “Nemo Handy Technical Overview”
<http://www.keysight.com/go/quality> [Online]
- [6] MPRICAL, “PRB-Physical Resource Block”
<https://www.mpirical.com/glossary/prb-physical-resource-block> [Online]
- [7] Telefunda, “Difference between EcNo, RSCP and RSSI”
<http://telefunda.blogspot.com/2014/03/difference-between-ecnorscp-and-rssi.html> [Online]
- [8] Teltonika, “RSRP and RSRQ”
https://wiki.teltonika-networks.com/view/RSRP_and_RSRQ [Online]
- [9] WINCOM, “LTE Glosario PCI”
<https://www.winncom.com/es/lte/glossary/157/pci-.html> [Online]



Capítulo 8. Anexos

8.1 Scripts utilizados en NEMO

Se utiliza la siguiente secuencia de acciones durante las medidas:

- *Wait* de 5 segundos, con el fin de que el terminal seleccione a la red
- Descarga desde el FTP de un archivo de 5Mb y una pausa de 5 segundos cinco veces consecutivas, para medir el *throughput* en bajada de ficheros pequeños
- Descarga desde el FTP de un archivo de 100Mb y una pausa de 5 segundos cinco veces consecutivas, para el *throughput* en bajada de ficheros grandes
- Subida al FTP de un archivo de 5Mb y una pausa de 5 segundos cinco veces consecutivas, para comprobar el *throughput* en subida de ficheros pequeños
- Subida al FTP de un archivo de 10Mb y una pausa de 5 segundos cinco veces consecutivas, para comprobar el *throughput* en subida de ficheros medianos
- Ping a 5 direcciones web de las más usadas en España (Google.es, Youtube.com, Amazon.es, Facebook.com, Marca.com), para comprobar la latencia
- Acceso a 5 direcciones web de las más usadas en España (Google.es, Youtube.com, Amazon.es, Facebook.com, Marca.com), para comprobar posibles fallos de conexión

Este script se usa en bucle para las medidas continuas para ir comprobando el comportamiento a lo largo de todo el *hotspot* bajo análisis.

Para las medidas en las zonas degradadas o de mayor tráfico detectado que se realizan en estático se realiza tres repeticiones del script.

8.2 Eventos LTE en reportes de medidas

Uno de los mensajes que más información nos aporta en la señalización de las medidas son los *measurement events* estos mensajes son enviados por el terminal a la red cuando se cumplen una serie de requisitos por lo general relacionados con los niveles de RSPR o RSRQ configurados en la red.

- Evento A1: Cuando la servidora supera un cierto threshold configurado
- Evento A2: Cuando la servidora es peor que un cierto threshold configurado
- Evento A3: Una vecina es un offset mejor que la servidora principal
- Evento A4: Una vecina supera un cierto threshold configurado
- Evento A5: La servidora es pero que un threshold1 y la vecina es mejor que un threshold2
- Evento A6: Una vecina es un offset mejor que la servidora secundaria
- Evento B1: Una vecina Inter-RAT supera un cierto threshold configurado
- Evento B2: La servidora es pero que un threshold1 y una vecina Inter-RAT es mejor que un threshold2

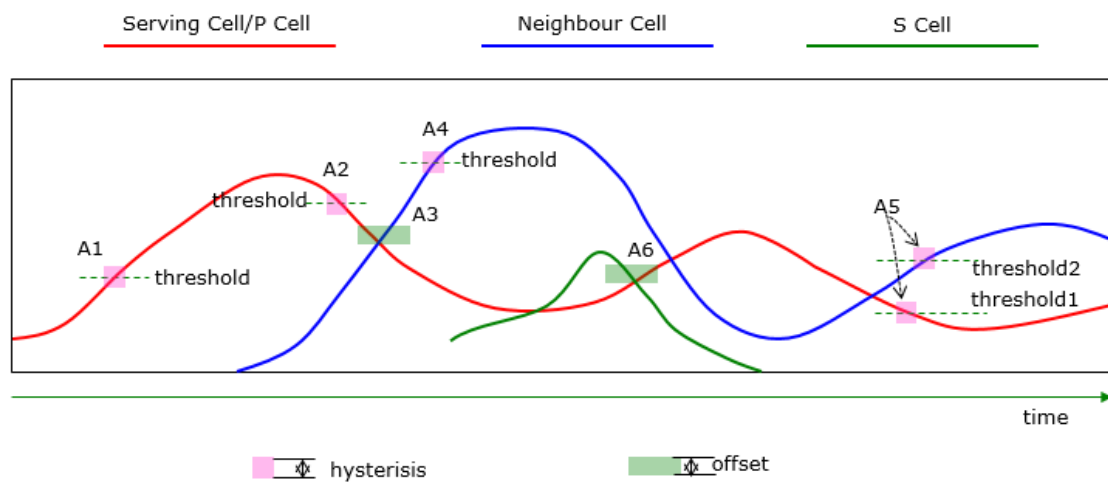


Figura 35. Ejemplo de activación de los eventos Ax

8.3 Tarjetas de acreditación para zonas de aeropuertos

Dependiendo de las necesidades de los trabajos existen una serie de tarjetas que dan acceso a diferentes áreas del aeropuerto, para este trabajo se necesitó una tarjeta blanca.

- Tarjeta Roja: Autoriza la permanencia en las zonas públicas y en las oficinas del aeropuerto, que no se encuentren en zona restringida de seguridad
- Tarjeta Azul: Autoriza la permanencia y el acceso por los pasos establecidos a las zonas del aeropuerto definidas como zonas de acceso controlado
- Tarjeta Amarilla: Además de oficinas y zonas de acceso controlado permite la permanencia y el acceso, por los pasos establecidos, a la zona restringida de seguridad situada en la zona aeronáutica, excepto al interior del edificio terminal, al patio de carrillos y el área de maniobras
- Tarjeta Blanca: Además de oficinas y zonas de acceso controlado (salas de recogida de equipajes, etc...) permite la permanencia y el acceso por los pasos establecidos, a la zona restringida de seguridad situada en el interior del edificio terminal
- Tarjeta Verde: Permite la permanencia y el acceso por los pasos establecidos a todas las zonas del aeropuerto excepto al área de maniobras y al patio de carrillos
- Tarjeta Pista: La acreditación "P" autoriza el acceso y permanencia a la zona de maniobras del aeropuerto
- Tarjeta Banda Roja: Autoriza el acceso y permanencia a la zona de composición de equipajes



Figura 36. Ejemplo tarjeta blanca

8.4 Medidas estación de tren

8.4.1 Planta 0

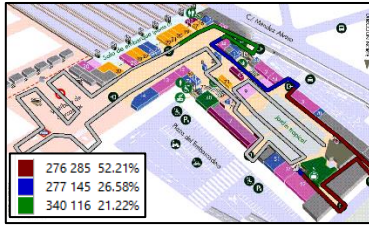


Figura 37. Servidoras planta 0

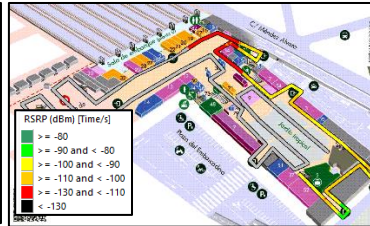


Figura 38. RSRP planta 0

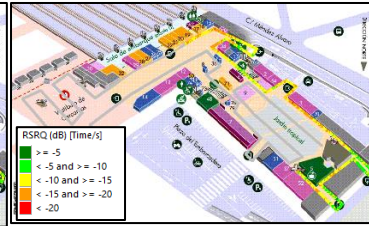


Figura 39. RSRQ planta 0

8.4.2 Planta 1

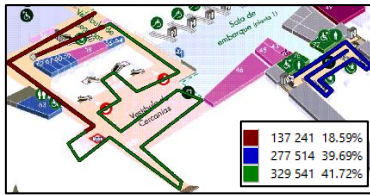


Figura 40. Servidoras planta 1

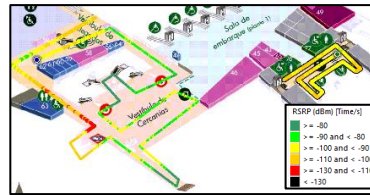


Figura 41. RSRP planta 1



Figura 42. RSRQ planta 1

8.4.3 Planta 2

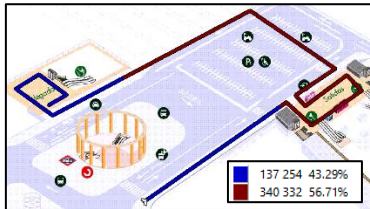


Figura 43. Servidoras planta 2

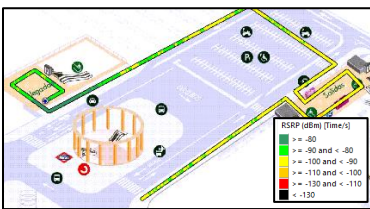


Figura 44. RSRP planta 2

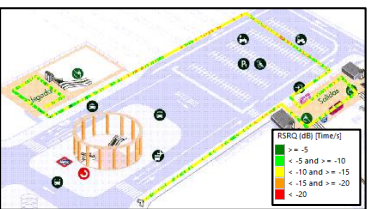


Figura 45. RSRQ planta 2

8.4.4 Andenes

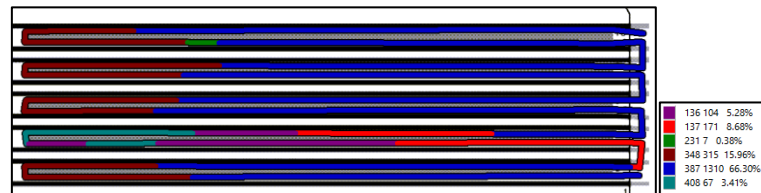


Figura 46. Servidoras andenes

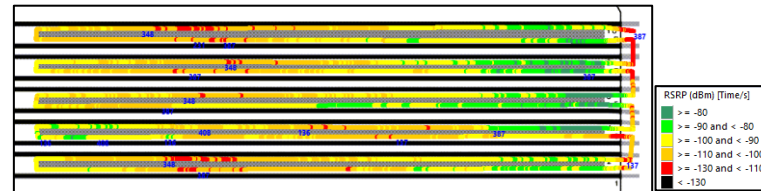


Figura 47. RSRP andenes

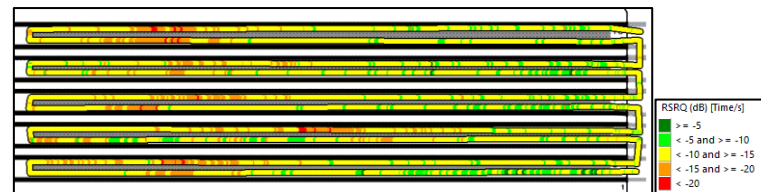


Figura 48. RSRQ andenes

8.5 Medidas aeropuerto

8.5.1 Terminal 1

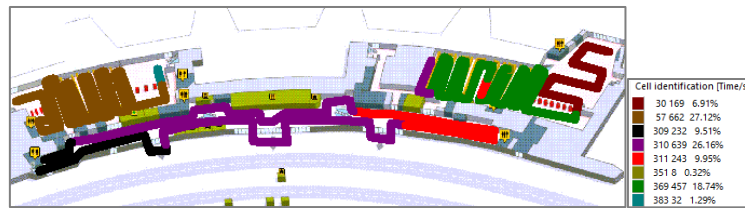


Figura 49. Servidoras Terminal 1

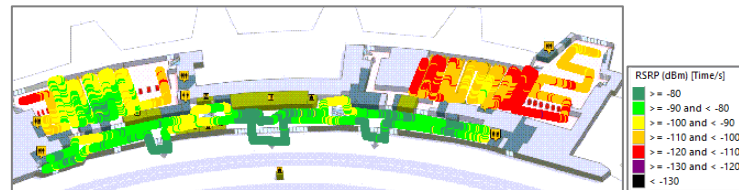


Figura 50. RSRP Terminal 1

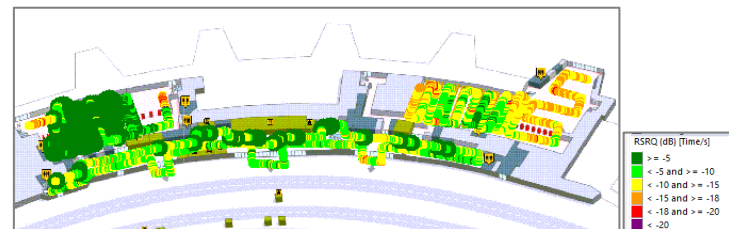


Figura 51. RSRQ Terminal 1

8.5.2 Terminal 2 Planta 0

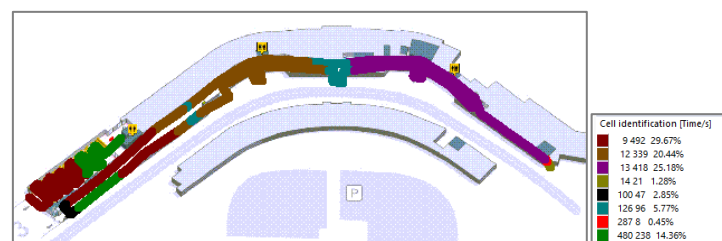


Figura 52. Servidoras Terminal 2 Planta 0

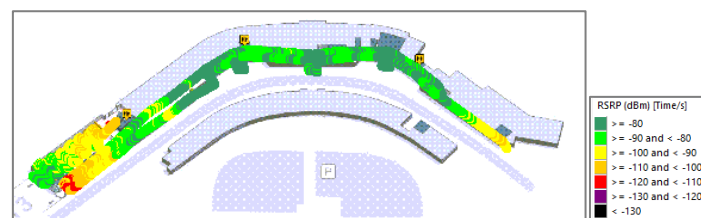


Figura 53. RSRP Terminal 2 Planta 0

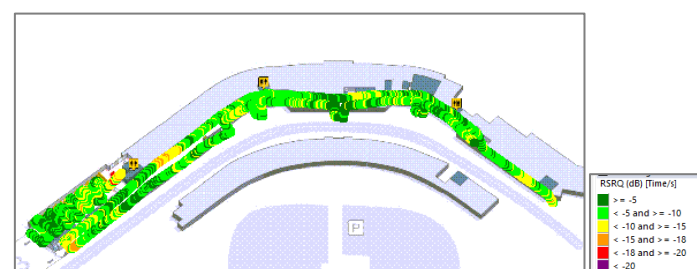


Figura 54. RSRQ Terminal 2 Planta 0

8.5.3 Terminal 2 Planta 1

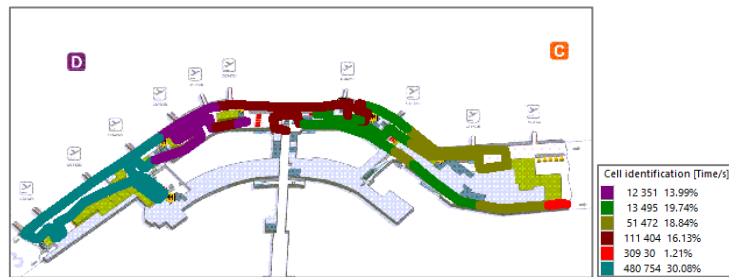


Figura 55. Servidoras Terminal 2 Planta 1

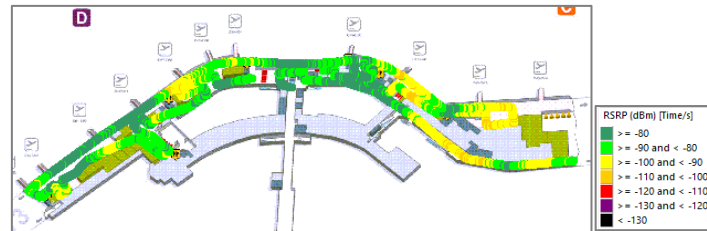


Figura 56. RSRP Terminal 2 Planta 1

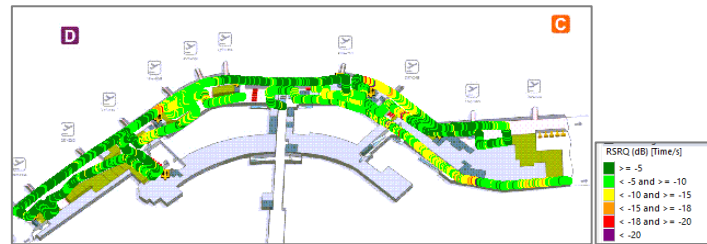


Figura 57. RSRQ Terminal 2 Planta 1

8.5.4 Terminal 2 Planta 2

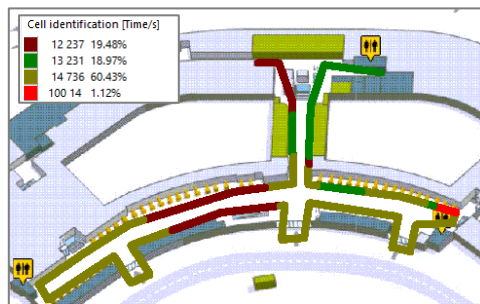


Figura 58. Servidoras Terminal 2 Planta 2

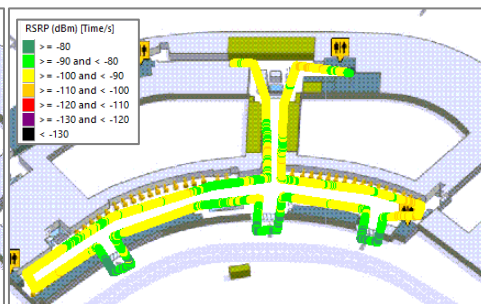


Figura 59. RSRP Terminal 2 Planta 2

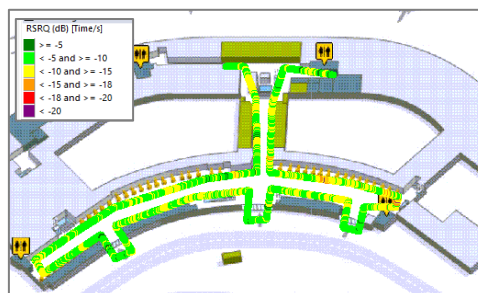


Figura 60. RSRQ Terminal 2 Planta 2

8.5.5 Terminal 3

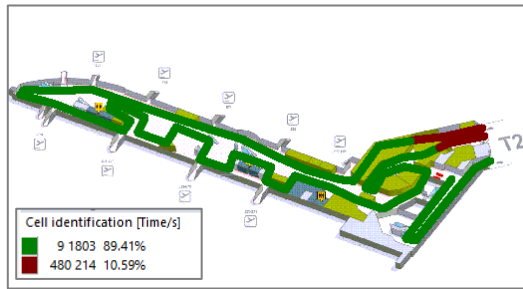


Figura 61. Servidoras Terminal 3

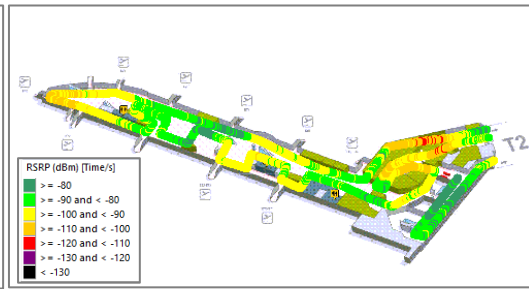


Figura 62. RSRP Terminal 3

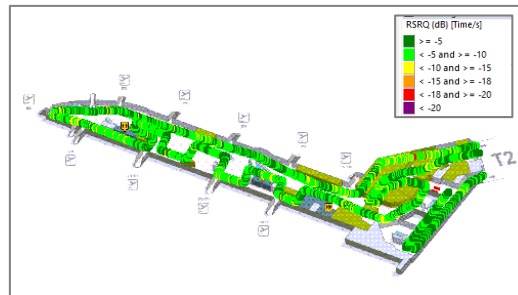


Figura 63. RSRQ Terminal 3

8.5.6 Terminal 4 Planta 0

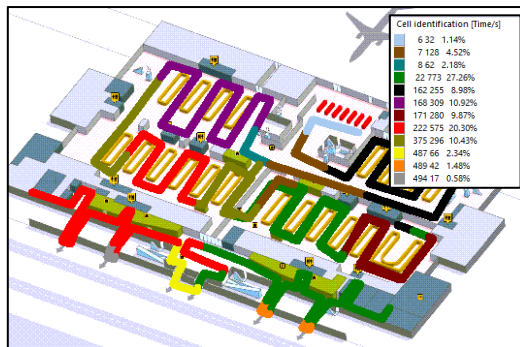


Figura 64. Servidoras Terminal 4 Planta 0

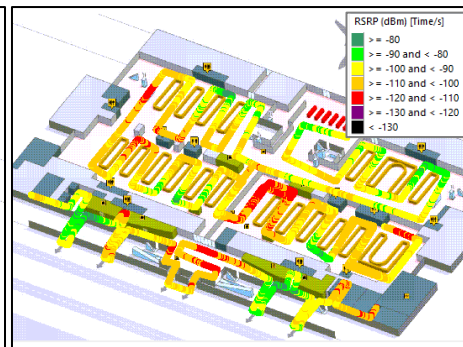


Figura 65. RSRP Terminal 4 Planta 0

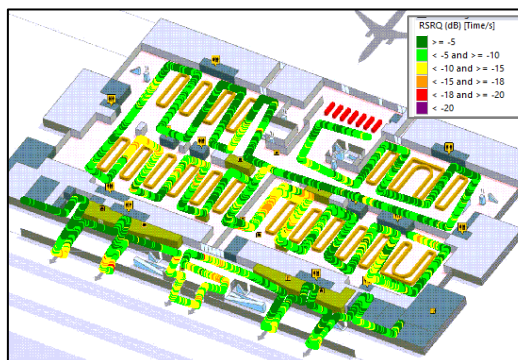


Figura 66. RSRQ Terminal 4 Planta 0

8.5.7 Terminal 4 Planta 1

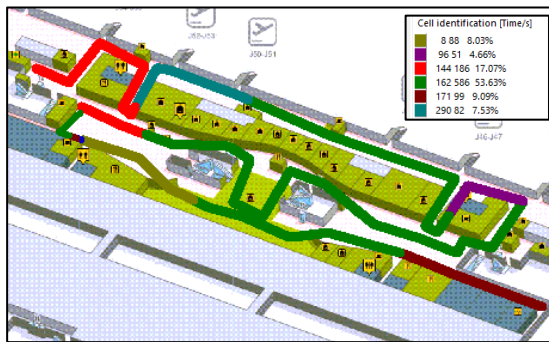


Figura 67. Servidoras Terminal 4 Planta 1

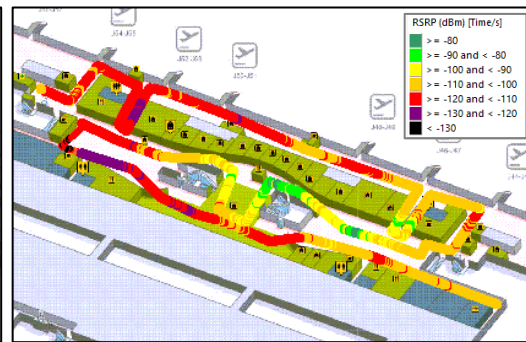


Figura 68. RSRP Terminal 4 Planta 1

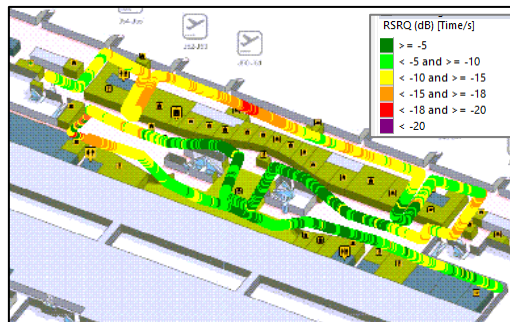


Figura 69. RSRQ Terminal 4 Planta 1

8.5.8 Terminal 4 Planta 2

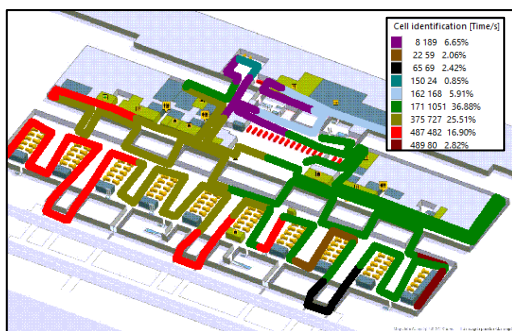


Figura 70. Servidoras Terminal 4 Planta 2

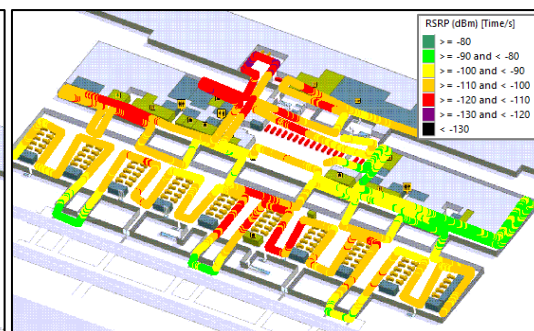


Figura 71. RSRP Terminal 4 Planta 2

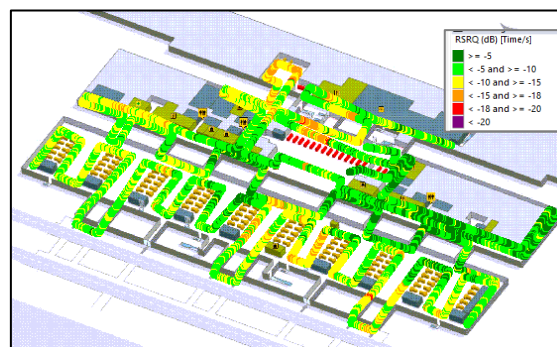


Figura 72. RSRQ Terminal 4 Planta 2

8.6 Medidas centro comercial

8.6.1 Planta 0

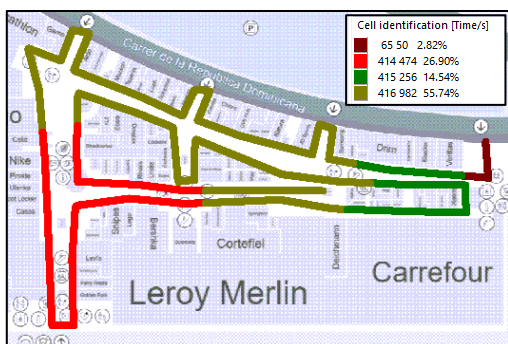


Figura 73. Servidoras Planta 0

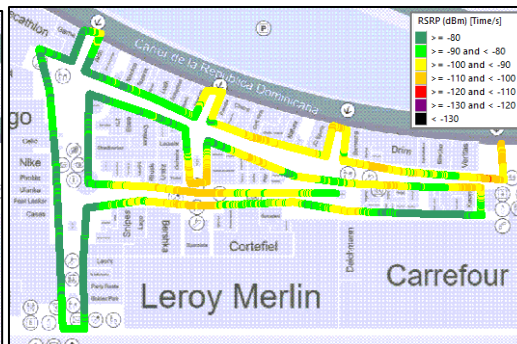


Figura 74. RSRP Planta 0

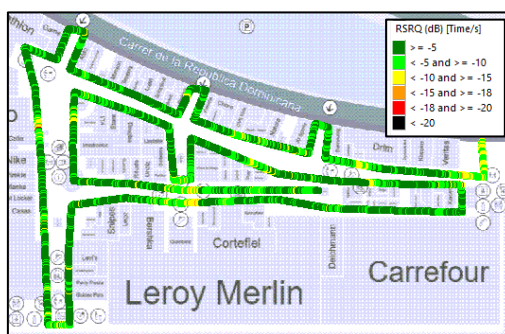


Figura 75. RSRQ Planta 0

8.6.2 Planta 1



Figura 76. Servidoras Planta 1

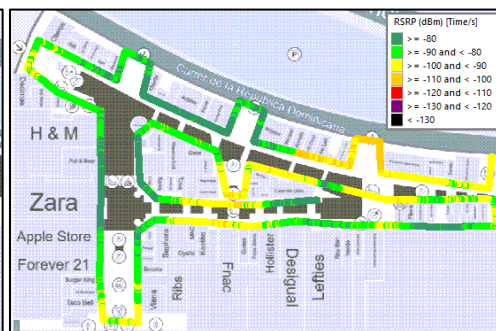


Figura 77. RSRP Planta 1

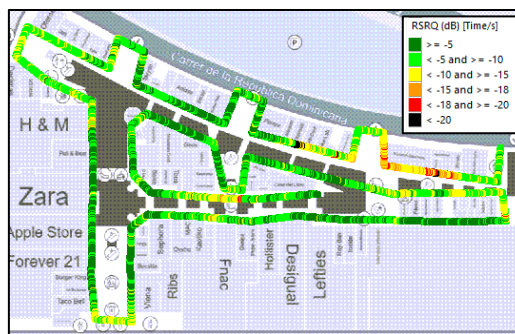


Figura 78. RSRQ Planta 1

8.6.3 Planta 2

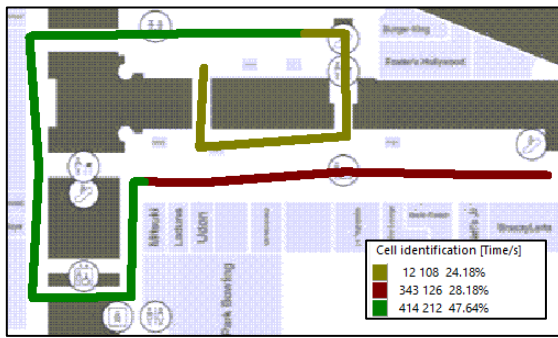


Figura 79. Servidoras Planta 2

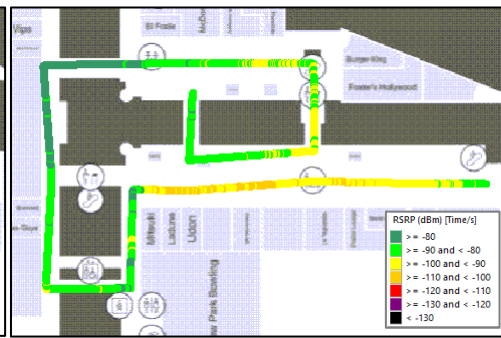


Figura 80. RSRP Planta 2

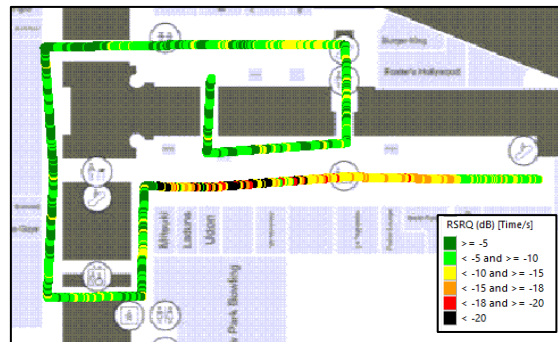


Figura 81. RSRQ Planta 2

8.6.4 Aparcamiento -1

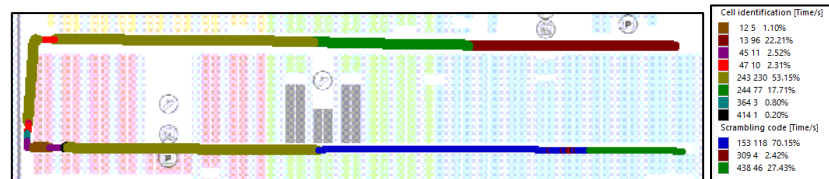


Figura 82. Servidoras Aparcamiento -1

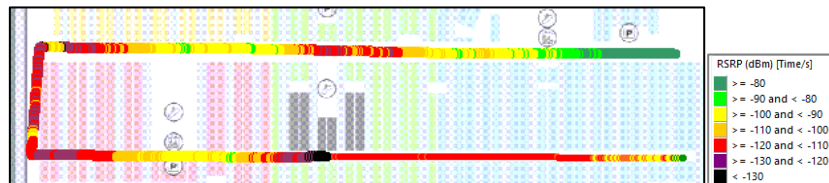


Figura 83. RSRP Aparcamiento -1

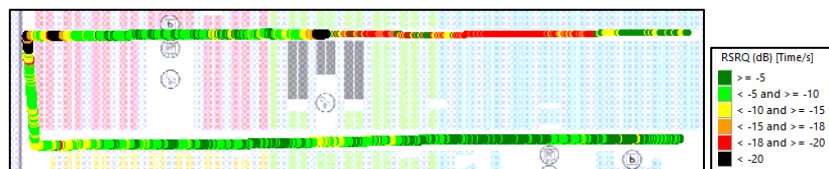


Figura 84. RSRQ Aparcamiento -1

8.6.5 Leroy Merlin

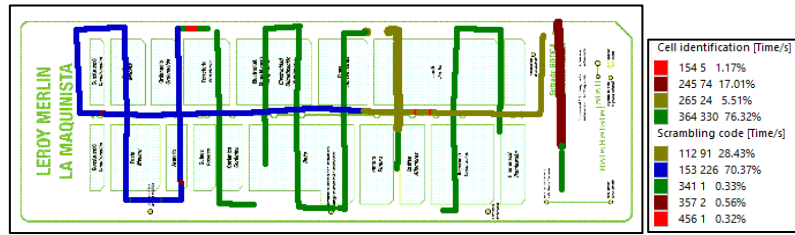


Figura 85. Servidoras Leroy Merlin

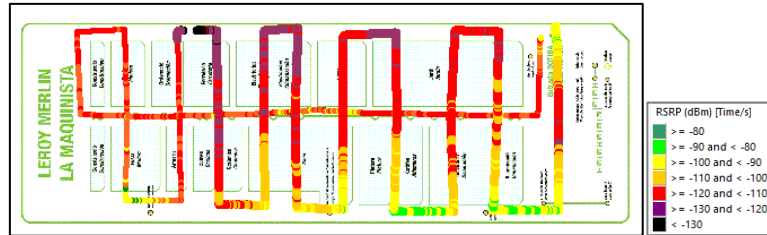


Figura 86. RSRP Leroy Merlin

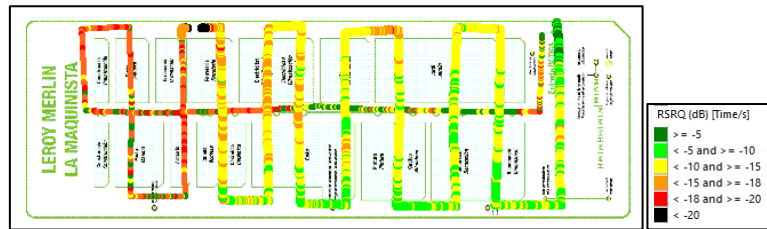


Figura 87. RSRQ Leroy Merlin

8.6.6 MediaMarkt

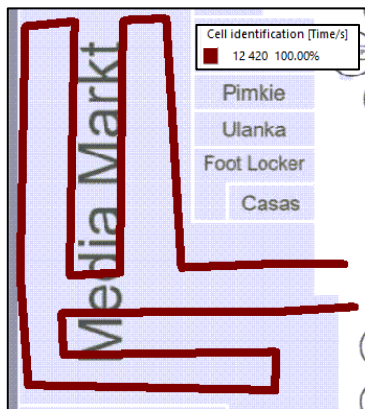


Figura 88. Servidoras MediaMarkt



Figura 89. RSRP MediaMarkt

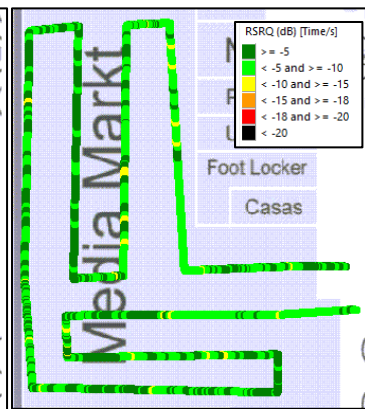


Figura 90. RSRQ MediaMarkt

8.7 Medidas estadio de futbol

8.7.1 Grada Fondo

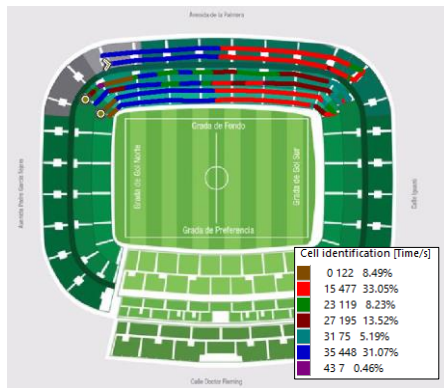


Figura 91. Servidoras Grada Fondo



Figura 92. RSRP Grada Fondo



Figura 93. RSRQ Grada Fondo

8.7.2 Grada Norte

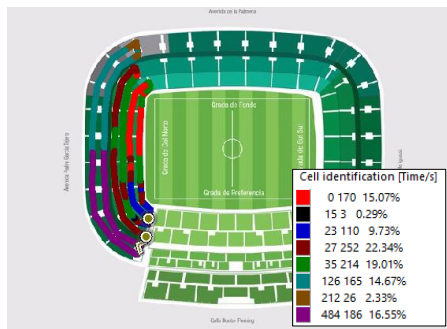


Figura 94. Servidoras Grada Norte



Figura 95. RSRP Grada Norte

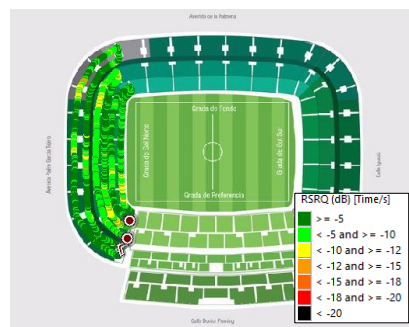


Figura 96. RSRQ Grada Norte

8.7.3 Grada Preferente

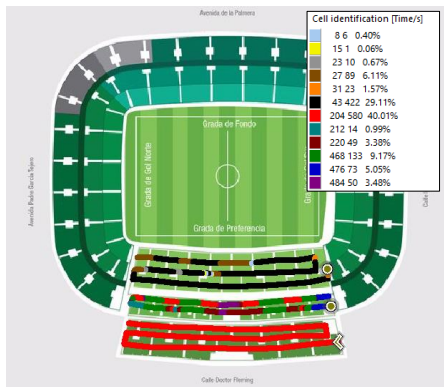


Figura 97. Servidoras Grada Preferente

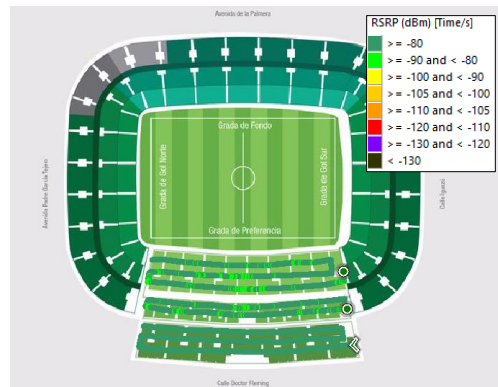


Figura 98. RSRP Grada Preferente

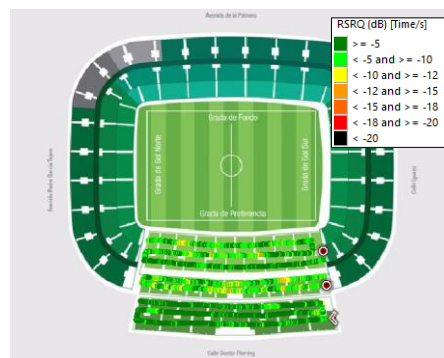


Figura 99. RSRQ Grada Preferente

8.7.4 Grada Sur



Figura 100. Servidoras Grada Sur



Figura 101. RSRP Grada Sur



Figura 102. RSRQ Grada Sur