

PROYECTO FIN DE GRADO

TÍTULO: Diseño de una red Wi-Fi de alta densidad para el Teatro Real de Madrid

AUTOR/A: María Pérez Esteban

TITULACIÓN: Sistemas de Telecomunicación

TUTOR/A: Juan Moreno García-Loygorri

DEPARTAMENTO: IAC

VºBº TUTOR/A

Miembros del Tribunal Calificador:

PRESIDENTE/A: Ángel Manuel Groba González

TUTOR/A: Juan Moreno García-Loygorri

SECRETARIO/A: Francisco José Arqués Orobón

Fecha de lectura:

Calificación:



El Secretario/La Secretaria,

Resumen

El diseño de una red Wi-Fi eficiente y robusta es un factor imprescindible para satisfacer las altas demandas de conectividad a las que el mundo de las telecomunicaciones tiene que enfrentarse cada día.

Un ámbito en el que la conectividad es muy relevante es el ámbito cultural. En recintos como teatros, la infraestructura de red no se limita únicamente a dar acceso a Internet a los visitantes, sino que también tiene que ofrecer soporte a la comunicación interna del teatro, gestión de los eventos y otras necesidades operativas.

El propósito general de este proyecto es diseñar una red Wi-Fi para un edificio emblemático de Madrid como es el Teatro Real, de forma que cubra todas sus necesidades, tanto a nivel de operativa interna como de conectividad para los visitantes. Para este diseño se empleará la herramienta de Ekahau AI Pro. Esta tecnología nos servirá para planificar la conectividad en el recinto en el que se va a instalar la red Wi-Fi y permite diseñar una red que garantice los principios básicos de rendimiento en redes inalámbricas.

El Teatro Real ha sido la instalación seleccionada para llevar a cabo este proyecto dada su relevancia histórica y por convertirse en un referente tanto a nivel nacional como internacional para el mundo de la cultura. Ha apostado por la innovación tecnológica y la excelencia artística, lo cual le ha permitido crear una programación mucho más amplia que le permite llegar a numerosos públicos. Además, se ha convertido en la ópera nacional de referencia en España, la primera institución de las artes escénicas y musicales.

Abstract

The design of an efficient and robust Wi-Fi network is an essential requirement to meet the high connectivity demands that the telecommunications industry has to deal with on a daily routine.

One area where connectivity is more important than we think is the cultural sector. In locations such as theaters, the network infrastructure is not only focused on providing Internet access to visitors, but also has to support the theater's internal communication, event management and other operational needs.

The general objective of this project is to design a Wi-Fi network for an emblematic building in Madrid, such as the Teatro Real, to meet all its needs, both at the level of internal operations and connectivity for visitors. The Ekahau toolkit will be used for this design: Ekahau AI Pro. This technology will help us to plan the connectivity in the enclosure where the Wi-Fi network will be installed and will allow us to design a network that guarantees the basic principles of wireless network performance.

The Teatro Real was chosen to carry out this project because of its historical importance and the fact that it has become a national and international point of reference in the cultural world. It has opted for technological innovation and artistic excellence, which has allowed it to create a much broader programme that allows it to reach a wide audience. It has also become the reference national opera house in Spain, the first institution for the performing and musical arts.

Contenido

Resumen.....	1
Abstract	3
Índice de Figuras	7
Índice de Tablas.....	11
Lista de Acrónimos	13
1. Introducción.....	15
2. Marco Tecnológico	17
2.1. Estándares WiFi	17
2.1.1. IEEE 802.11	18
2.1.2. Variantes de IEEE 802.11	19
2.2. Topología de una red WiFi	20
2.2.1. BBS.....	20
2.2.2. ESS	21
2.2.3. IBSS	22
2.2.4. MBSS	22
3. Especificaciones y restricciones de diseño	25
3.1. Entorno de las instalaciones	26
3.2. Comunicaciones en el Teatro Real	35
4. Descripción de la solución propuesta	41
5. Resultados	47
5.1. Planta 0	50
5.2. Planta 1	56
5.3. Planta 2	62
5.4. Planta 6	68
5.5. Planta 8	74
5.6. Planta 9	80
5.7. Planta -1	86
5.8. Planta -2	92
5.9. Resumen comparativo de APs	98
6. Presupuesto	99
7. Impacto del Proyecto	101
8. Conclusiones.....	103
8.1. Conclusiones	103
8.2. Trabajos futuros	104
Bibliografía	107

ANEXO 1 – Creación de perfiles en Ekahau	111
ANEXO 2 – Mapas iniciales del Autoplanner	117

Índice de Figuras

Figura 1. Arquitectura IEEE 802.11	17
Figura 2. Canales de la banda 2,4 GHz [2]	18
Figura 3. Canales de la banda de 5 GHz [2]	18
Figura 4. Canales de la banda de 6 GHz [3]	19
Figura 5. Tecnología OFDM vs OFDMA.....	20
Figura 6. Topología BSS	21
Figura 7. Topología ESS	21
Figura 8. Topología IBSS	22
Figura 9. Topología MBSS	22
Figura 10. Teatro Real de Madrid [11].....	26
Figura 11. Sala principal [12]	27
Figura 12. Sala de orquesta [12].....	27
Figura 13. Foyer [12]	28
Figura 14. Salón de Falla [12].....	28
Figura 15. Terraza adyacente al Salón de Falla [12].....	29
Figura 16. Salón Arrieta [12]	29
Figura 17. Sala Gayarre [12].....	30
Figura 18. Salón de Baile [12]	30
Figura 19. Salón Carlos III [12]	31
Figura 20. Salón Felipe IV [12].....	31
Figura 21. Salón Vergara [12]	32
Figura 22. Planta 2: salones de fiestas y terraza [13].....	32
Figura 23. Plano Sala Principal [12]	33
Figura 24. Planta 0: camerinos individuales y sala principal [13].....	32
Figura 25. Planta 1: camerinos de coro y escalonía [13].....	33
Figura 26. Planta 6: Salas de ensayo de orquesta, ballet y estudios de cuerda y cantantes [13].....	34
Figura 27. Planta 8: Salas de ensayo de coro y escena [13]	34
Figura 28. Planta 9: Sala Gayarre [13].....	35
Figura 29. Planta -1: Entrada personal, zona de carga y camerinos de ballet	34
Figura 30. Planta -2. Camerinos de orquesta, servicio médico y cantina [13]	35
Figura 31. Conexión Sistema Omada [15]	43
Figura 32. Punto de Acceso Omada [16].....	43
Figura 33. PoE Switch Omada [17]	44
Figura 34. JetStream Switch Omada [18]	44
Figura 35. Router VPN Gigabit Omada [19]	45
Figura 36. Controlador Hardware Omada OC300 [20]	45
Figura 37. EAP235-Wall.....	45
Figura 38. Potencia de la señal (potencia) y leyenda en dBm.....	47

Figura 39. SNR y leyenda en dB.....	48
Figura 40. Data rate y leyenda en Mbps	48
Figura 41. Salud de la red y leyenda	49
Figura 42. Leyenda Interferencias de Canal	49
Figura 43. Planta 0: Potencia de la señal (nivel básico)	50
Figura 44. Planta 0: SNR, Interferencia de canal, Salud de la red y Data Rate (nivel básico)	51
Figura 45. Planta 0: Potencia de la señal (RTLS)	52
Figura 46. Planta 0: SNR, Interferencia de canal, Salud de la red y Data Rate (RTLS)	53
Figura 47. Planta 0: Potencia de la señal (alta densidad).....	54
Figura 48. Planta 0: SNR, Interferencia de canal, Salud de la red y Data Rate (alta densidad)	55
Figura 49. Planta 1: Signal Strength (nivel básico).....	56
Figura 50. Planta 1: SNR, Interferencia de canal, Salud de la red y Data Rate (nivel básico)	57
Figura 51. Planta 1: Potencia de la señal (RTLS)	58
Figura 52. Planta 1: SNR, Interferencia de canal, Salud de la red y Data Rate (RTLS)	59
Figura 53. Planta 1: Potencia de la señal (alta densidad).....	60
Figura 54. Planta 1: SNR, Interferencia de canal, Salud de la red y Data Rate (alta densidad)	61
Figura 55. Planta 2: Potencia de la señal (nivel básico)	62
Figura 56. Planta 2: SNR, Interferencia de canal, Salud de la red, Data Rate (nivel básico)	63
Figura 57. Planta 2: Potencia de la señal (RTLS)	64
Figura 58. Planta 2: SNR, Interferencia de canal, Salud de la red y Data Rate (RTLS)	65
Figura 59. Planta 2: Potencia de la señal (alta densidad).....	66
Figura 60. Planta 2: SNR, Interferencia de canal, Salud de la red y Data Rate (alta densidad)	67
Figura 61. Planta 6: Potencia de la señal (nivel básico)	68
Figura 62. Planta 6: SNR, Interferencia de canal, Salud de la red y Data Rate (nivel básico)	69
Figura 63. Planta 6: Potencia de la señal (RTLS)	70
Figura 64. Planta 6: SNR, Interferencia de canal, Salud de la red y Data Rate (RTLS)	71
Figura 65. Planta 6: Potencia de la señal (alta densidad).....	72
Figura 66. Planta 6: SNR, Interferencia de canal, Salud de la red y Data Rate (alta densidad)	73
Figura 67. Planta 8: Potencia de la señal (nivel básico)	74

Figura 68. Planta 8: SNR, Interferencia de canal, Salud de la red y Data Rate (nivel básico)	75
Figura 69. Planta 8: Potencia de la señal (RTLS)	76
Figura 70. Planta 8: SNR, Interferencia de canal, Salud de la red y Data Rate (RTLS)	77
Figura 71. Planta 8: Potencia de la señal (alta densidad).....	78
Figura 72. Planta 8: SNR, Interferencia de canal, Salud de la red y Data Rate (alta densidad)	79
Figura 73. Planta 9: Potencia de la señal (nivel básico)	80
Figura 74. Planta 9: SNR, Interferencia de canal, Salud de la red y Data Rate (nivel básico)	81
Figura 75. Planta 9: Potencia de la señal (RTLS)	82
Figura 76. Planta 9: SNR, Interferencia de canal, Salud de la red y Data Rate (RTLS)	83
Figura 77. Planta 9: Potencia de la señal modificado (alta densidad)	84
Figura 78. Planta 9: SNR, Interferencia de canal, Salud de la red y Data Rate (alta densidad)	85
Figura 79. Planta -1: Potencia de la señal (nivel básico)	86
Figura 80. Planta -1: SNR, Interferencia de canal, Salud de la red y Data Rate (nivel básico)	87
Figura 81. Planta -1: Potencia de la señal (RTLS).....	88
Figura 82. Planta -1: SNR, Interferencia de canal, Salud de la red y Data Rate (RTLS)	89
Ilustración 83. Planta -1: Potencia de la señal (alta densidad)	90
Figura 84. Planta -1: SNR, Interferencia de canal, Salud de la red y Data Rate (alta densidad)	91
Figura 85. Planta -2: Potencia de la señal (nivel básico)	92
Figura 86. Planta -2: SNR, Interferencia de canal, Salud de la red y Data Rate (nivel básico)	93
Figura 87. Planta -2: Potencia de la señal modificado (RTLS).....	94
Figura 88. Planta -2: SNR, Interferencia de canal, Salud de la red y Data Rate (RTLS)	95
Figura 89. Planta -2: Potencia de la señal (alta densidad)	96
Figura 90. Planta -2: SNR, Interferencia de canal, Salud de la red y Data Rate (alta densidad)	97
Figura 91. Objetivos de Desarrollo Sostenible [26]	101
Figura 92. Perfil smartphone	111
Figura 93. Perfil tablet	111
Figura 94. Perfil ordenador	112
Figura 95. Número de dispositivos planta -2	112
Figura 96. Número de dispositivos en la planta -1	113

Figura 97. Número de dispositivos en la planta 0	113
Figura 98. Número de dispositivos en la planta 1	114
Figura 99. Número de dispositivos en la planta 2	114
Figura 100. Número de dispositivos en la planta 6	115
Figura 101. Número de dispositivos en la planta 8	115
Figura 102. Número de dispositivos en la planta 9	116
Figura 103. Selección del perfil de simulación	116
Figura 104. Planta 0: Potencia de la señal, Salud de la red y SNR (nivel básico) .	117
Figura 105. Planta 0: Potencia de la señal, Salud de la red y SNR (RTLS)	118
Figura 106. Planta 0: Potencia de la señal, Salud de la red y SNR (alta densidad)	119
Figura 107. Planta 1: Potencia de la señal, Salud de la red y SNR (nivel básico) .	120
Figura 108. Planta 1: Potencia de la señal, Salud de la red y SNR (RTLS)	121
Figura 109. Planta 2: Potencia de la señal, Salud de la red y SNR (nivel básico) .	122
Figura 110. Planta 2: Potencia de la señal, Salud de la red y SNR (RTLS)	123
Figura 111. Planta 2: Potencia de la señal, Salud de la red y SNR (alta densidad)	124
Figura 112. Planta 6: Potencia de la señal, Salud de la red y SNR (nivel básico) .	125
Figura 113. Planta 6: Potencia de la señal, Salud de la red y SNR (RTLS)	126
Figura 114. Planta 6: Potencia de la señal, Salud de la red y SNR (alta densidad)	127
Figura 115. Planta 8: Potencia de la señal, Salud de la red y SNR (nivel básico) .	128
Figura 116. Planta 8: Potencia de la señal, Salud de la red y SNR (RTLS)	129
Figura 117. Planta 8: Potencia de la señal, Salud de la red y SNR (alta densidad)	130
Figura 118. Planta 9: Potencia de la señal, Salud de la red y SNR (nivel básico) .	131
Figura 119. Planta 9: Potencia de la señal, Salud de la red y SNR (RTLS)	132
Figura 120. Planta 9: Potencia de la señal, Salud de la red y SNR (alta densidad)	133
Figura 121. Planta -1: Potencia de la señal, Salud de la red y SNR (nivel básico)	134
Figura 122. Planta -1: Potencia de la señal, Salud de la red y SNR (RTLS).....	135
Figura 123. Planta -1: Potencia de la señal, Salud de la red y SNR (alta densidad)	136
.....	
Figura 124. Planta -2: Potencia de la señal, Salud de la red y SNR (nivel básico)	137
Figura 125. Planta -2: Potencia de la señal, Salud de la red y SNR (RTLS)	138
Figura 126. Planta -2: Potencia de la señal, Salud de la red y SNR (alta densidad)	139
.....	

Índice de Tablas

Tabla 1. Estándares WiFi	19
Tabla 2. Número de dispositivos estimados por planta en condiciones de mayor densidad	36
Tabla 3. Requisitos de cobertura con el nivel básico	37
Tabla 4. Requisitos de cobertura con RTLS	38
Tabla 5. Requisitos de cobertura con alta densidad	39
Tabla 6. Bandas WiFi 6	41
Tabla 7. Resumen comparativo de APs resultantes	98
Tabla 8. Desglose del presupuesto de suministro, instalación y puesta en marcha	99
Tabla 9. Desglose de costes de ingeniería	99

Lista de Acrónimos

AP: Access Point

BSS: Basic Service Set

ESS: Extended Service Set

IBSS: Independent Basic Service Set

IEEE: Institute of Electrical and Electronics Engineers

MBSS: Mesh Basic Service Set

OFDM: Orthogonal Frequency Division Multiplexing

OFDMA: Orthogonal Frequency Division Multiple Access

PoE: Power Over Ethernet

RTLS: Real-Time Locating System

RU: Resource Unit

SNR: Signal to Noise Ratio

VPN: Virtual Private Network

1. Introducción

La conectividad inalámbrica se ha convertido en un elemento fundamental en el desarrollo de infraestructuras modernas, permitiendo la optimización de procesos y la mejora de la experiencia de los usuarios. En el ámbito cultural, la disponibilidad de una red Wi-Fi eficiente y robusta es un requisito clave, no solo para proporcionar acceso a Internet a los visitantes, sino también para garantizar el correcto funcionamiento de los sistemas internos de gestión y comunicación. En este contexto, el Teatro Real de Madrid, como uno de los espacios culturales más importantes de España y referente internacional en el mundo de la ópera, requiere una solución de conectividad avanzada que responda a sus necesidades específicas.

El presente proyecto tiene como objetivo el diseño de una red Wi-Fi de alta calidad para el Teatro Real de Madrid, asegurando una cobertura óptima en todas sus instalaciones y adaptándose a la alta densidad de usuarios que pueden coincidir en sus eventos. La red debe garantizar un rendimiento eficiente, una conectividad estable y la capacidad de soportar la operativa interna del teatro, incluyendo la comunicación entre el personal, la gestión de eventos y el acceso a servicios digitales por parte de los asistentes.

Para el diseño de esta infraestructura, se empleará la avanzada herramienta de planificación de redes Wi-Fi *EkaHau AI Pro*, que permite realizar un análisis preciso de la cobertura y el rendimiento de la red. A través de esta solución, se podrá definir una topología de red adecuada que minimice interferencias, optimice la asignación de canales y garantice una experiencia de usuario fluida incluso en condiciones de alta demanda.

El informe del proyecto se estructura en varios capítulos. En el capítulo 2, se presenta el marco tecnológico, describiendo los estándares Wi-Fi y las características técnicas que influyen en el diseño de la red. El capítulo 3 aborda las especificaciones y restricciones de diseño, detallando los requisitos de cobertura, seguridad y capacidad que deben cumplirse. En el capítulo 4, se describe la solución propuesta, incluyendo la selección de equipos, la distribución de puntos de acceso y la metodología de implementación. Posteriormente, en el capítulo 5, se analizan los resultados obtenidos mediante simulaciones y pruebas de cobertura en distintas plantas del teatro. Finalmente, el capítulo 6 incluye el presupuesto del proyecto, el capítulo 7 discute su impacto en distintos ámbitos y el capítulo 8 presenta las conclusiones y propuestas de mejora.

Este proyecto busca no solo mejorar la conectividad del Teatro Real de Madrid, sino también establecer un modelo de referencia para la implementación de redes Wi-Fi en espacios culturales con alto tráfico de usuarios, garantizando un equilibrio entre innovación tecnológica y respeto por la infraestructura histórica del recinto.

2. Marco Tecnológico

La expansión de las redes WiFi ha transformado la conectividad a nivel mundial, brindando acceso a internet prácticamente en todas partes. Su implementación ha sido un éxito rotundo, permitiendo que millones de personas, en entornos urbanos y rurales, estén más conectadas que nunca. Esta infraestructura se ha convertido en un referente global, facilitando la comunicación, el trabajo y el acceso a la información, y convirtiéndose en un pilar fundamental para la vida moderna. Hoy en día, el WiFi no solo ha mejorado la experiencia digital, sino que ha impulsado el progreso social y económico en diversas áreas, desde la educación hasta el entretenimiento, por ello, en este capítulo se explicarán los estándares de WiFi existentes y se hará hincapié en la estructura de la red que será usada para el desarrollo de este proyecto.

2.1. Estándares WiFi

Como bien se sabe, las señales WiFi se transmiten en una banda de frecuencia específica que con el paso del tiempo va experimentando modificaciones con el cometido de que esta señal circule con unas características que le permitan obtener el mejor rendimiento posible. A las distintas fases de esta evolución de la banda de frecuencias de la red WiFi es a lo que se denomina estándares y son consensuados por agentes del sector de las Telecomunicaciones que colaboran con la mayor organización técnica de la industria de las comunicaciones inalámbricas: El Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos también conocido como IEEE. [1]

Estos profesionales determinaron que el estándar sería el IEEE 802.11 del que más tarde irían creando variantes. Sin embargo, el objetivo de este estándar siempre ha sido el mismo: el uso de numerosos y distintos dispositivos inalámbricos de forma simultánea sin que haya lugar a problemas de incompatibilidad.

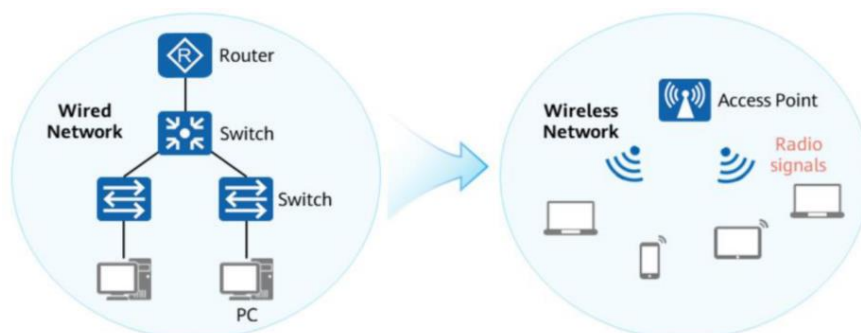


Figura 1. Arquitectura IEEE 802.11

2.1.1. IEEE 802.11

La versión original del estándar 802.11 fue publicada en 1997, soportaba velocidades de hasta 2 Mbps y trabajaba en dos bandas de frecuencias diferentes: 2,4 GHz y 5GHz. [2]

La banda de 2,4 GHz es la banda más antigua y la incorporan todos los routers. Como se muestra en la *Figura 2*, comienza en la frecuencia de 2.412 MHz y acaba en la 2.472 MHz y consta de 14 canales de 20 MHz cada uno, de modo que la mayoría de ellos se encuentran superpuestos.

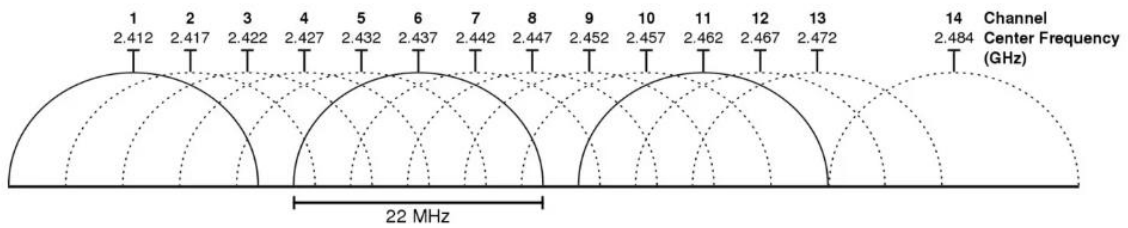


Figura 2. Canales de la banda 2,4 GHz [2]

Si se selecciona la opción de un único canal de 40 MHz una parte del espectro de esta banda quedaría libre.

Por otro lado, la banda de 5 GHz se encuentra entre las frecuencias de 5.180 MHz y 5.825 MHz y soporta 25 canales de 20 MHz, pudiendo formar 12 canales de 40 MHz, 6 canales de 80 MHz y 2 canales de 160 MHz tal y como se muestra en la *Figura 3*.

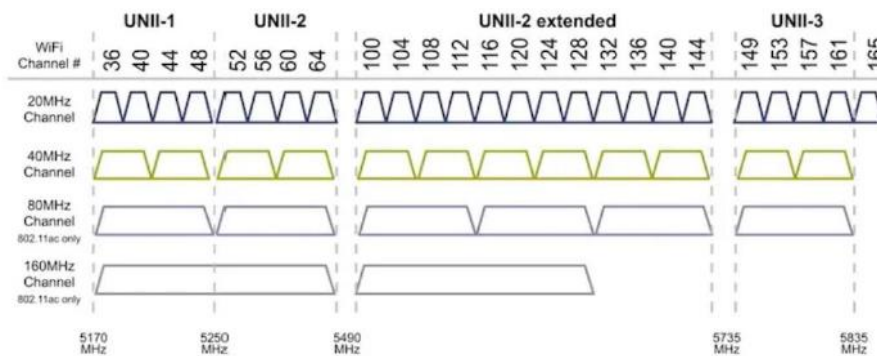


Figura 3. Canales de la banda de 5 GHz [2]

Años más tarde empezó a implementarse la banda de 6 GHz cuyo espectro añade 1,2 GHz de ancho, más del doble del tamaño de los espectros de 2,4 GHz y 5 GHz. Como puede observarse en la *Figura 4* su rango de frecuencias comienza en 5.925 MHz y acaba en 7.125 MHz como puede verse en la *Figura 4*. Ofrece hasta siete canales aún más grandes de 160 MHz, es decir, tiene más canales disponibles de modo que los usuarios experimentarán menos congestión e interferencia. [3]

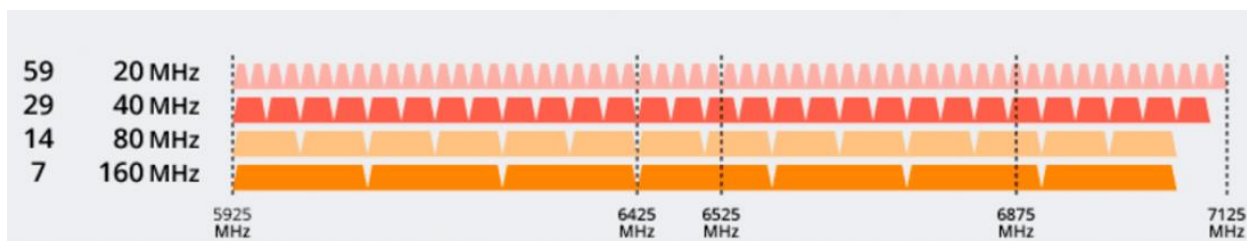


Figura 4. Canales de la banda de 6 GHz [3]

2.1.2. Variantes de IEEE 802.11

A partir del estándar original 802.11 surgieron diferentes variantes [4] en busca de la obtención de un mayor rendimiento y número de ventajas.

Tabla 1. Estándares WiFi

Estándar	Publicación	Bandas	Velocidad	Características
IEEE 802.11a	1999	5 GHz	hasta 54 Mbps	<ul style="list-style-type: none"> - No es compatible el estándar original - Alta velocidad y fiabilidad - Utiliza tecnología OFDM
IEEE 802.11b	1999	2,4 GHz	hasta 11 Mbps	<ul style="list-style-type: none"> - Compatible con el estándar original - Bajo costo y buena compatibilidad
IEEE 802.11g	2003	2,4 GHz	hasta 54 Mbps	<ul style="list-style-type: none"> - Compatible con el estándar original - Trabaja con OFDM
IEEE 802.11n	2009	2,4 GHz 5 GHz	hasta 600 Mbps	<ul style="list-style-type: none"> - WiFi 4 - Compatible con los estándares anteriores de 802.11 - Alta velocidad y buena compatibilidad.
IEEE 802.11ac	2013	5 GHz	hasta 6.9 Gbps	<ul style="list-style-type: none"> - WiFi 5 - Compatible con el estándar 802.11n
IEEE 802.11ax	2019	2,4 GHz 5 GHz	hasta 10 Gbps	<ul style="list-style-type: none"> - WiFi 6 - Mejora en la eficiencia espectral - Mayor cantidad de dispositivos conectados sin afectar la velocidad de la conexión - Mayor alcance y capacidad de penetración de paredes - Introduce tecnología OFDMA

La tecnología OFDM [5], cuya arquitectura se describe en la *Figura 5*, es una técnica de modulación utilizada en las redes Wi-Fi modernas cuya principal ventaja consiste en transmitir datos de manera eficiente en entornos con interferencias y multipath (rebotes de señal en obstáculos como paredes). OFDM divide el ancho de banda disponible en múltiples subportadoras ortogonales, en lugar de usar un solo canal amplio. Cada subportadora transmite una parte de los datos a baja velocidad, pero en conjunto permiten una transmisión de alta velocidad. Además,

al ser ortogonales, las subportadoras no interfieren entre sí, lo que maximiza la eficiencia del espectro. Esto mejora la resistencia a la interferencia y al desvanecimiento de la señal.

De la tecnología OFDM nació la OFDMA para mejorar el rendimiento en entornos de alta densidad de usuarios y dispositivos. En lugar de asignar todo el canal a un solo usuario, OFDMA divide el canal en múltiples recursos llamados RU (Resource Units) [6]. Cada usuario obtiene solo la cantidad de ancho de banda que necesita, permitiendo transmitir datos de múltiples dispositivos al mismo tiempo dentro del mismo canal.

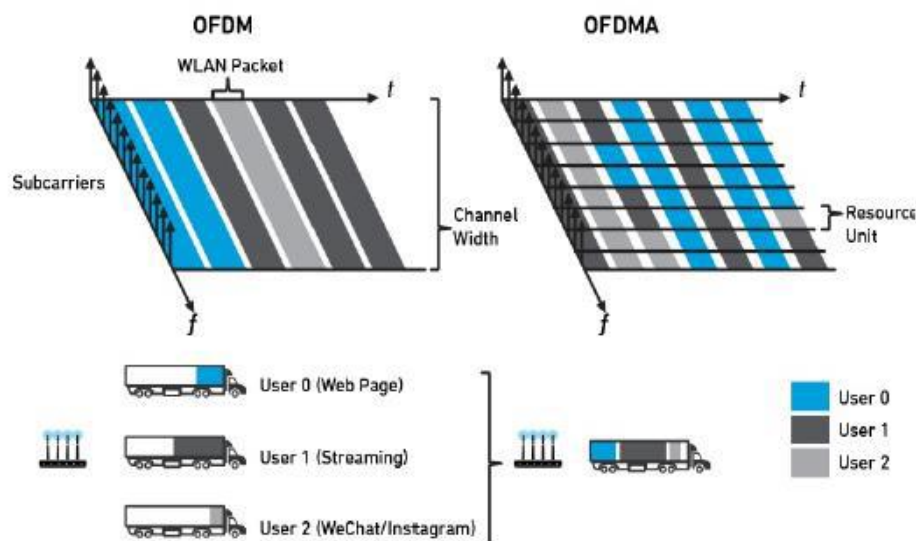


Figura 5. Tecnología OFDM vs OFDMA

2.2. Topología de una red WiFi

Se llama topología de red a la forma en la que se organizan y disponen los elementos que constituyen una red de comunicaciones, incluyendo sus nodos y las líneas utilizadas para asegurar la transmisión y recepción de datos de manera correcta y segura. [7] En función de cómo esté dispuesta la red se puede incrementar el flujo de datos transmitido por dicha red e incluso evitar que se produzcan cortes de información.

Existen cuatro tipos generales de topologías de redes inalámbricas: Basic Service Set (BSS), Extended Service Set (ESS), Independent Basic Service Set (IBSS) y Mesh Basic Service Set (MBSS). [8]

2.2.1. BBS

Esta topología consta de un punto de acceso (AP) y un conjunto de dispositivos tal y como indica la *Figura 6*. El AP permite compartir el acceso a internet y realiza las funciones de coordinación para que los distintos terminales que pretenden conectarse a la misma red establezcan comunicación.

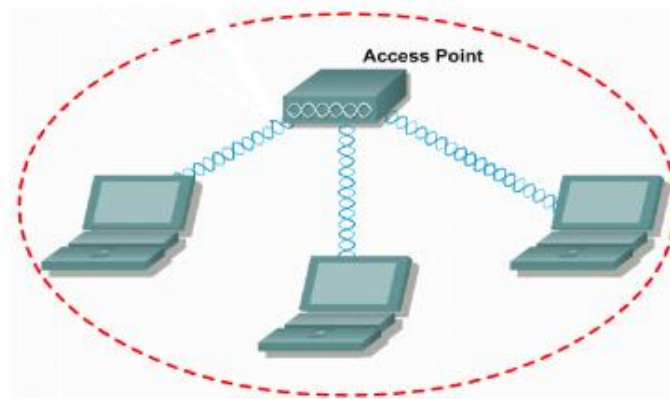


Figura 6. Topología BSS [9]

La topología del BSS es destacada por su sencillez, flexibilidad y por funcionar en su propia frecuencia, lo que reduce el riesgo de interferencias de otras redes resultando más adecuada para redes inalámbricas domésticas. [9]

2.2.2. ESS

Esta red es de mayor magnitud que las BSS ya que comunica varios BSS por medio de un sistema de distribución común, es decir, está constituida por un controlador que maneja diversos APs para compartir sus propiedades como puede verse en la *Figura 7*. En este tipo de comunicación, los AP analizan la cobertura y potencia de la señal de sus vecinos para adjudicar a cada cliente el AP que esté mejor posicionado con respecto a su posición.

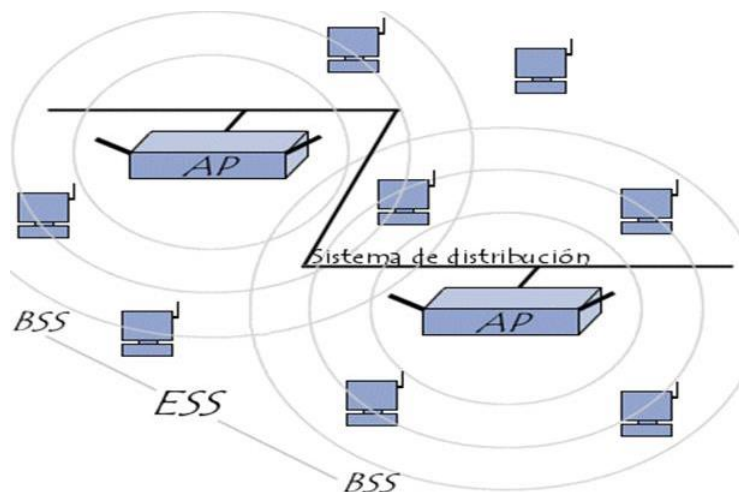


Figura 7. Topología ESS

La configuración ESS suele imponerse en instalaciones que necesitan cubrir una extensa área de cobertura como pueden ser oficinas, espacios públicos o lugares de alta concentración.

2.2.3. IBSS

Esta modalidad también recibe el nombre de red Ad-Hoc inalámbrica. Consiste en un tipo de red inalámbrica descentralizada, lo que significa que no depende de una infraestructura preexistente, tales como los AP o controladores de acceso, puesto que está pensada para permitir comunicaciones directas entre los distintos terminales que forman la red. Aquí los mismos dispositivos son los que crean la red WLAN y tienen la libertad de asociarse con cualquier otro dispositivo dentro del rango de enlace de la red dado que todos tienen el mismo estado como se explica en la *Figura 8*. [10]

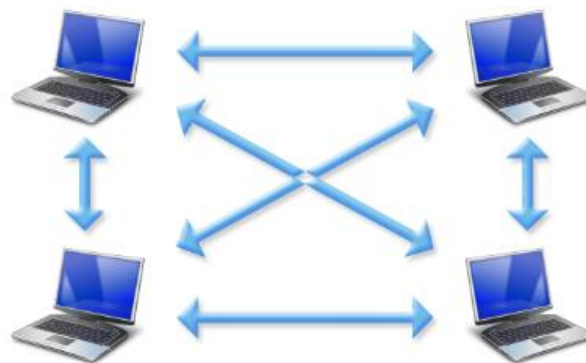


Figura 8. Topología IBSS

Las redes Ad-Hoc son muy fáciles de implementar y suelen ser utilizadas para transferencias de datos tipo bluetooth.

2.2.4. MBSS

Son redes donde los AP se conectan entre si como si fueran puertos de un switch inalámbrico. Comparten sus radiofrecuencias y utilizan una de sus antenas para conectarse entre ellos como bien se muestra en la *Figura 9*.

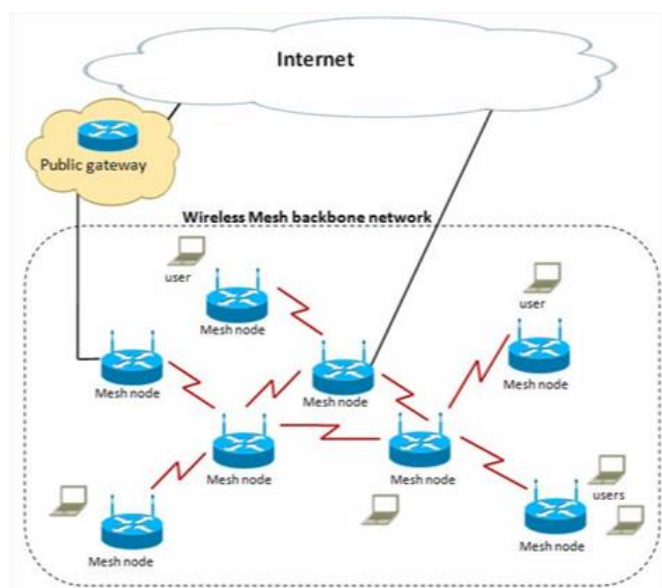


Figura 9. Topología MBSS

La topología de red MBSS cuenta con ventajas muy destacables a la hora de diseñar redes de alta densidad, como la capacidad de itinerancia, tolerancia a fallos entre algunos de sus enlaces y redundancia de todo el sistema. Además, ofrece cobertura total en toda el área a cubrir.

Para optimizar el rendimiento de MBSS es crucial considerar diversos factores técnicos que afectan la transmisión inalámbrica:

- Tecnología OFDM: para reducir la interferencia entre canales y mejorar la capacidad de transmisión en entornos con alta densidad de dispositivos.
- Interferencias: En redes MBSS, la interferencia puede provenir de otras redes Wi-Fi, dispositivos electrónicos o barreras arquitectónicas. La gestión eficiente de canales, la planificación de la potencia de transmisión y el uso de algoritmos de mitigación de interferencias son esenciales para mantener una conectividad estable.
- Bandas Libres: El Wi-Fi opera en bandas de frecuencia sin licencia, principalmente en 2.4 GHz, 5 GHz. Cada banda tiene características distintas en términos de alcance, capacidad de penetración y congestión de canales. En entornos con un gran tráfico de datos, la selección adecuada de bandas y canales es clave para minimizar interferencias y mejorar el rendimiento.
- Máscaras de Espectro: Las máscaras de espectro determinan los límites de potencia y ancho de banda de las señales transmitidas. En redes MBSS, es importante configurar correctamente las máscaras para evitar interferencias entre canales adyacentes y maximizar la eficiencia del espectro radioeléctrico.

3. Especificaciones y restricciones de diseño

El Teatro Real, mostrado en la *Figura 10*, está considerado como la máxima institución de las artes escénicas y musicales del país y es uno de los teatros de ópera más prestigiosos de Europa. Se sitúa en la Plaza de Oriente, frente al Palacio Real, y ha sido escenario de innumerables representaciones que han marcado la historia de las artes escénicas y musicales del país.

La génesis del Teatro Real se remonta a 1738, con la inauguración del Real Teatro de los Caños del Peral, preludio de lo que más tarde se convertiría en el actual Teatro Real. La construcción del Teatro Real comenzó el 23 de abril de 1818 y fue inaugurado el 19 de noviembre de 1850, sin embargo, en 1925 cerró debido a daños en el edificio y reabrió el 13 de octubre de 1966 como sala de música sinfónica. Después de un largo periodo de inactividad, reabrió sus puertas en 1997 tras una rehabilitación integral que modernizó sus instalaciones sin perder su esencia histórica. [11]

La singularidad del Teatro Real no solo reside en su historia y relevancia cultural, sino también en sus características arquitectónicas y estructurales que presentan desafíos y oportunidades únicas para la implementación de una red Wi-Fi eficiente:

1. Estructura arquitectónica compleja: El edificio combina elementos históricos con infraestructuras modernas, creando un entorno arquitectónico complejo que puede afectar a la propagación de señales inalámbricas.
2. Alta densidad de usuarios: Durante eventos, el teatro acoge a miles de asistentes que demandan conectividad de alta calidad. La red Wi-Fi debe ser capaz de soportar esta alta densidad sin comprometer el rendimiento y asegurando una experiencia óptima para todos los usuarios.
3. Integración de tecnologías modernas en un entorno histórico: La necesidad de incorporar tecnologías modernas, como sistemas de gestión de eventos, aplicaciones móviles para asistentes y soluciones de pago electrónico, exige una infraestructura de red robusta.
4. Requisitos de seguridad y fiabilidad: La protección de datos sensibles y la garantía de una conectividad fiable son esenciales, especialmente en un lugar de alto perfil institucional. Una red Wi-Fi bien diseñada contribuye a mantener la seguridad y la integridad de las operaciones del teatro.

Estas características hacen del Teatro Real un candidato idóneo para el estudio y diseño de una red Wi-Fi que no solo satisfaga las necesidades actuales de conectividad, sino que también preserve y respete su valor histórico y arquitectónico.

3.1. Entorno de las instalaciones

Para poder llevar a cabo el proyecto es necesario hacer un estudio previo de las instalaciones del Teatro Real. Las características generales del Teatro Real [11] son:

- Superficie: 7.8210 m².
- Área: 65.000 m² totales.
- Altura: 76 m.
- Aforo: 1.840 (ampliable hasta 1.958) espectadores.
- Butacas: 1.834 butacas.
- Personal estable implicado:
 - Administración: 35 personas.
 - Escenario: 190 personas.
 - Servicios: 105 personas (accesibilidad, bar/restaurante y seguridad)



Figura 10. Teatro Real de Madrid [11]

El Teatro Real consta de 22 plantas (8 en el subsuelo y 14 por encima del escenario). En las instalaciones del teatro encontramos 10 salas [12] que son las más concurridas de todo el teatro:

- Sala principal: goza de un reconocido prestigio internacional por su excepcional acústica. Su caja escénica hace que el escenario del Teatro Real pueda ofrecer las mejores posibilidades para los espectáculos más exigentes: conciertos, ponencias, entregas de premios, etc. Como se muestra en la *Figura 11*, tiene un aforo de 1.985 butacas distribuidas en seis plantas. Es la sala más grande de todo el edificio dado que alberga todo el espacio requerido para las butacas, escenario y backstage reservado para los espectáculos de mayor escala.



Figura 11. Sala principal [12]

- Sala de orquesta: se presenta en la *Figura 12*. Se encuentra en la planta 6 y se utiliza principalmente como sala de ensayos para la orquesta, aunque también se celebran entregas de premios, almuerzos, ruedas de prensa, recitales, etc. Su capacidad varía dependiendo del evento que tenga lugar aquí:
 - 200 en banquete
 - 300 en cóctel
 - 240 en teatro



Figura 12. Sala de orquesta [12]

- Foyer: también denominado Hall Principal, ocupa 3 niveles conectados por escaleras como se revela en la *Figura 13*: desde la planta 0 hasta la 2. Además de dar la bienvenida a todos los visitantes, este espacio puede usarse para realizar exposiciones, recitales, presentaciones, etc. Su capacidad puede variar:
 - 160 personas en banquete.
 - 200 personas en cóctel.



Figura 13. Foyer [12]

- Salón de Falla: se encuentra en la segunda planta y dispone de una terraza con vistas al Palacio Real, tal y como se muestra en las Figuras 14 y 15. Los invitados pueden gozar de visitar este salón accediendo gratuitamente en los intermedios de las actuaciones o en eventos privados como cócteles y presentaciones. La capacidad del Salón de Falla oscila dependiendo de si se hace uso de la terraza o no. Además, está conectado a dos rotondas, una a cada lado, que le permiten ampliar un poco más su capacidad:
 - 72 en banquete + 12 en cada rotonda.
 - 150 en cóctel (200 en la terraza).
 - 120 en teatro (tanto en la terraza como en el salón).



Figura 14. Salón de Falla [12]



Figura 15. Terraza adyacente al Salón de Falla [12]

- Salón Arrieta: expuesto en la *Figura 16*, se ubica en la planta 2 y se usa principalmente para cenas, cócteles, almuerzos y recitales. Al igual que todos los salones de la planta 2, los espectadores pueden pasear en los descansos de los espectáculos y su aforo es el siguiente:
 - 64 personas en banquete.
 - 125 en cóctel.
 - 100 en teatro.



Figura 16. Salón Arrieta [12]

- Sala Gayarre: es la única sala en la que se pueden festejar eventos que está situada en la novena planta. Esta sala tiene un aforo para 190 personas distribuidas en butacas, véase la *Figura 17*, con el fin de realizar recitales líricos y actos de naturaleza empresarial.



Figura 17. Sala Gayarre [12]

- **Salón de Baile:** es el salón más grande y destacado de la segunda planta por su singular decoración como se exhibe en la *Figura 18*. Cuenta con un techo estrellado y se exhiben los trajes utilizados en las obras más históricas. Se puede alquilar junto al resto de salones de este piso para celebrar fiestas, cenas, entregas de premios, etc. Alberga:
 - 350 personas en banquete.
 - 400 en cóctel.
 - 240 en teatro.



Figura 18. Salón de Baile [12]

- **Salón Carlos III:** se encuentra interconectado con el resto de los salones de la segunda planta y al igual que estos sus principales usos son para celebrar cócteles, cenas, almuerzos y recitales, véase la *Figura 19*. Cuenta con espacio para:
 - 64 personas en banquete.
 - 125 en cóctel.
 - 100 en teatro.



Figura 19. Salón Carlos III [12]

- Salón Felipe V: mostrado en la *Figura 20*, es contiguo al resto de salones de la planta 2. De igual modo, es el lugar de celebración de presentaciones, recitales, cenas y almuerzos y cuenta con el mismo aforo que las demás salas:
 - 64 personas en banquete.
 - 125 personas en cóctel.
 - 100 en teatro.



Figura 20. Salón Felipe IV [12]

- Salón Vergara: mostrado en la *Figura 21*. Espacio dedicado a la celebración de banquetes, recitales y presentaciones con un aforo variable:
 - 64 personas en banquete.
 - 125 personas en cóctel.
 - 100 personas en teatro.



Figura 21. Salón Vergara [12]

Todos los salones de la segunda planta están interconectados de forma interna exceptuando el Salón de Falla tal y como se indica en la Figura 22. Además de utilizarse para diferentes eventos, los espectadores pueden pasear por estos salones en los descansos intermedios de las obras artísticas celebradas en la sala principal, por eso es necesario que puedan albergar una gran cantidad de visitantes y que la red inalámbrica pueda disponer de recursos para ellos.

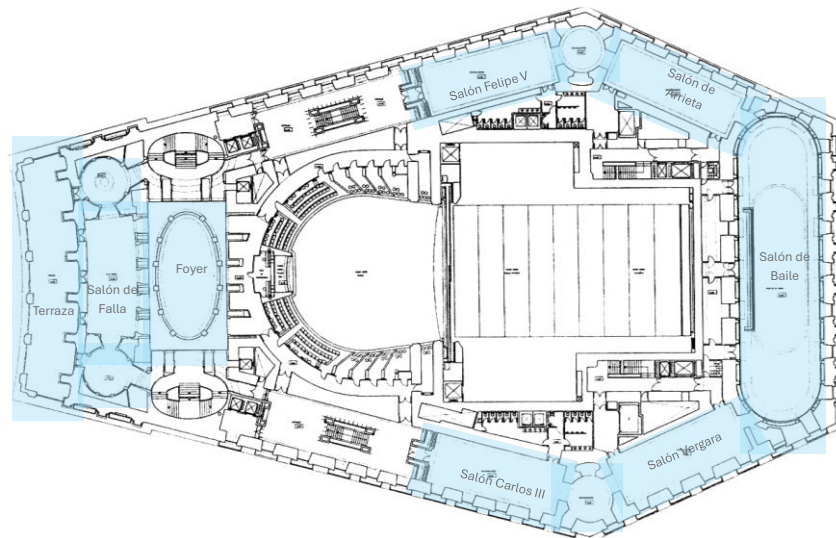


Figura 22. Planta 2: salones de fiestas y terraza [13]

Al tratarse de un teatro la mayor parte de las salas son para ensayos de orquesta, bailarines y cantantes, salas de almacenaje, talleres y camerinos, de modo que la mayor parte de dispositivos que se van a usar en el edificio serán smartphones, tablets y ordenadores portátiles. No obstante, hay que tener en cuenta que no en todas las plantas del teatro se concentra la misma cantidad de gente:

- Plantas de la 0 a la 6: en su mayoría conforman un único espacio abierto ocupado por el escenario principal y el patio de butacas, de modo que estos

serán los pisos donde haya más densidad de dispositivos. Su estructura se muestra en las Figuras 23, 24, 25 y 26.

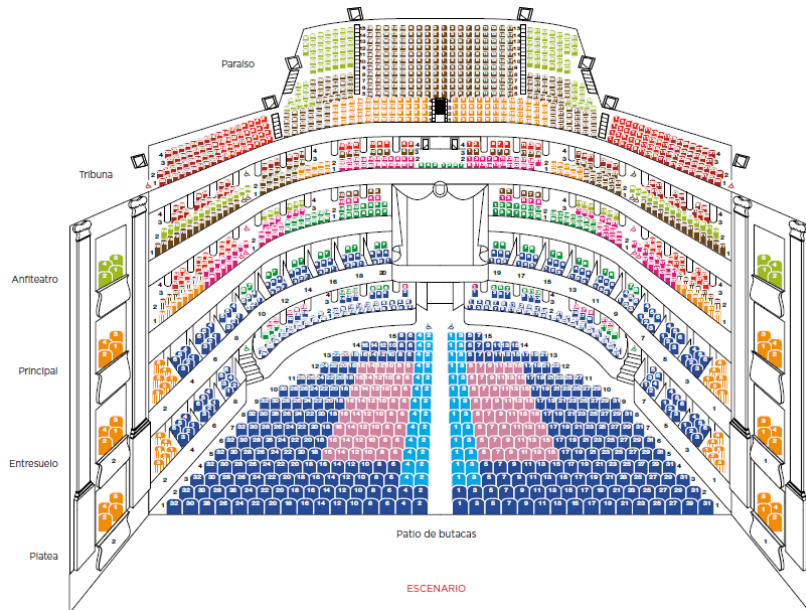


Figura 23. Plano Sala Principal [12]

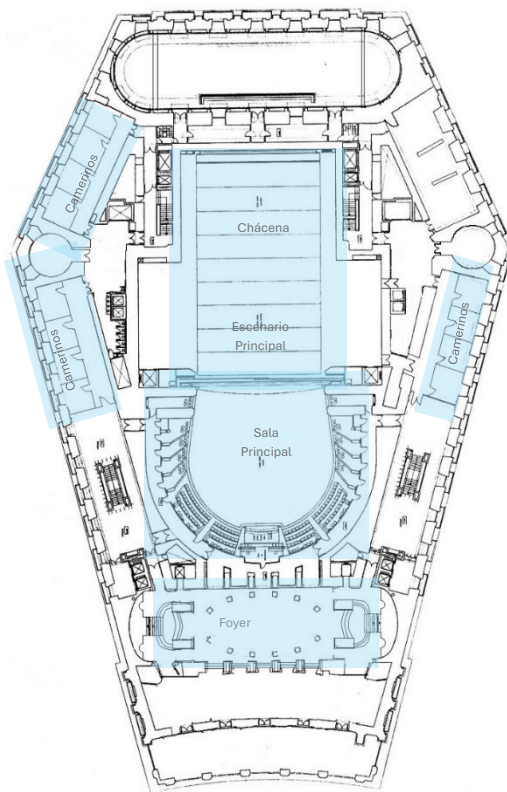


Figura 24. Planta 0: camerinos individuales y sala principal [13]

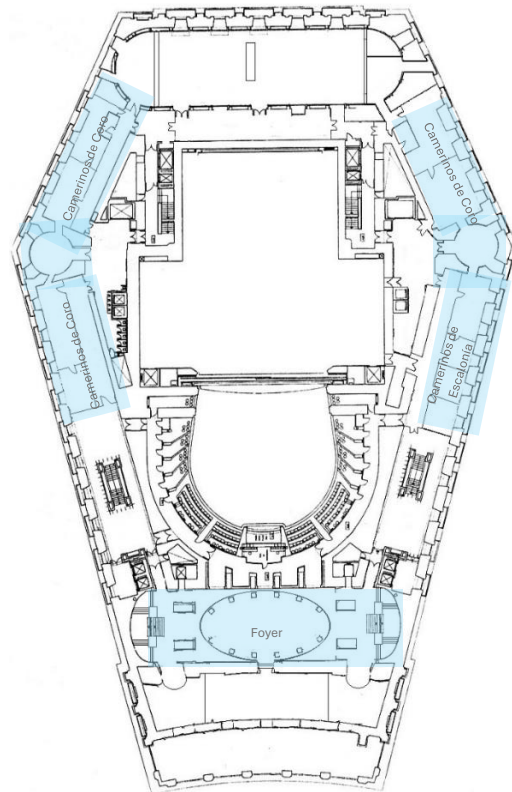


Figura 25. Planta 1: camerinos de coro y escalonía [13]

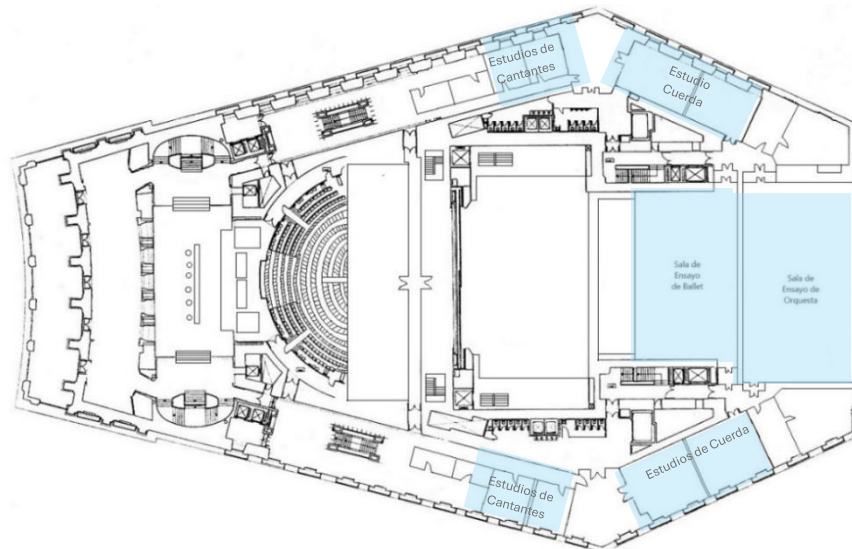


Figura 26. Planta 6: Salas de ensayo de orquesta, ballet y estudios de cuerda y cantantes [13]

- Planta 8: aloja la sala de ensayos de escena y de coro principalmente como puede verse en la Figura 27.

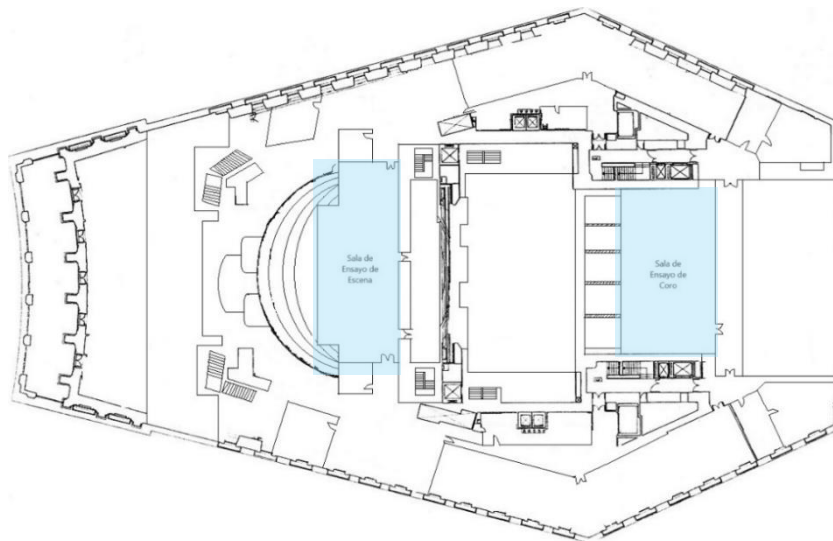


Figura 27. Planta 8: Salas de ensayo de coro y escena [13]

- Planta 9: destaca la “Sala Gayarre”, un salón de actos que se utiliza para realizar tanto recitales líricos como actos empresariales que requieran proyección audiovisual. Véase la Figura 28.

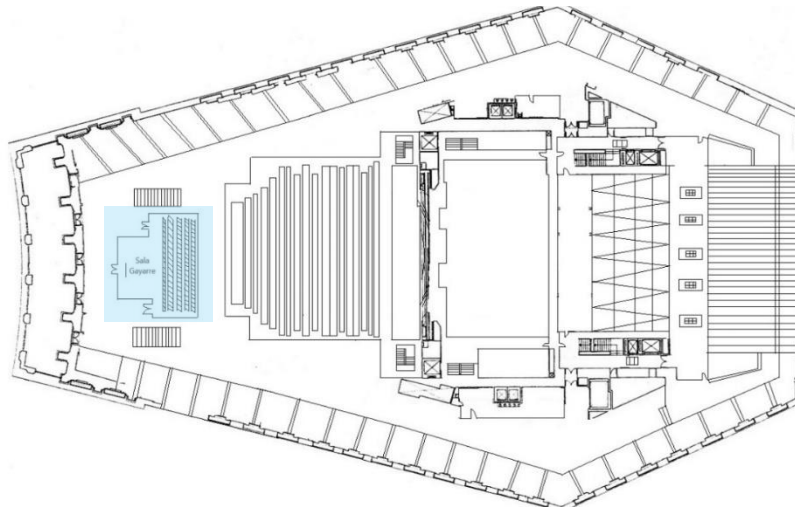


Figura 28. Planta 9: Sala Gayarre [13]

- Plantas subterráneas: dedicadas a almacenaje y talleres para el preparado de la puesta en escena (decorados del escenario, vestuario...) como se indica en las Figuras 29 y 30.

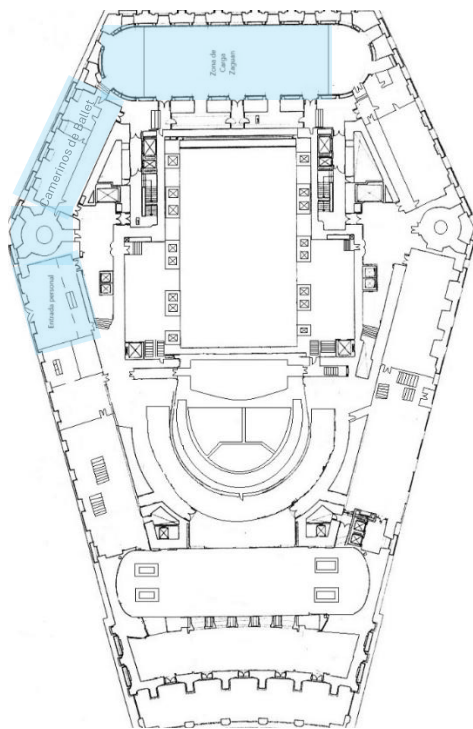


Figura 29. Planta -1: Entrada personal, zona de carga y camerinos de ballet [13]

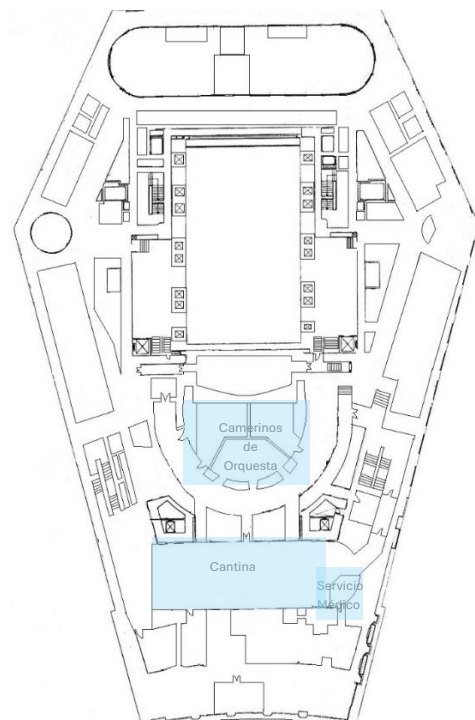


Figura 30. Planta -2. Camerinos de orquesta, servicio médico y cantina [13]

3.2. Comunicaciones en el Teatro Real

Dada toda la información del subapartado anterior se puede analizar la densidad de usuarios que habrá en cada planta y, por tanto, estimar la cantidad de dispositivos que accederán a la red WiFi de forma simultánea. Suponiendo el caso de que el aforo del teatro esté lleno y teniendo en cuenta que el personal propio del Teatro Real está repartido por todos los pisos se establecerá lo siguiente:

Tabla 2. Número de dispositivos estimados por planta en condiciones de mayor densidad

Planta	Usuarios	Dispositivos
Planta -2	95 músicos 45 personal de escenario 17 personal de servicios auxiliares 3 médicos	- 160 teléfonos móviles - 65 ordenadores -95 tablets
Planta -1	15 personal servicios auxiliares 21 bailarines 50 personal escenario 20 personal de carga	- 106 teléfonos móviles - 65 ordenadores
Planta 0	1.958 espectadores 60 personal escenario 24 personal servicios auxiliares 21 bailarines 58 actores 55 coristas 95 músicos 10 administración	- 2.281 teléfonos móviles - 94 ordenadores -208 tablets
Planta 1	1.958 espectadores 190 personal escenario 20 personal servicios auxiliares 21 bailarines 58 actores 55 coristas 95 músicos	-2.397 teléfonos móviles -210 ordenadores -208 tablets
Planta 2	1.958 espectadores 190 personal escenario 20 personal servicios auxiliares 21 bailarines 58 actores 55 coristas 95 músicos	-2.397 teléfonos móviles -210 ordenadores -208 tablets
Planta 6	1.958 espectadores 190 personal escenario 6 personal servicios auxiliares 21 bailarines 58 actores 55 coristas 95 músicos	-2.383 teléfonos móviles -196 ordenadores -208 tablets
Planta 8	58 actores 55 coristas 30 administración	-143 teléfonos móviles -30 ordenadores -113 tablets
Planta 9	190 espectadores 5 personal de escenario 3 personal servicios auxiliares	-198 teléfonos móviles -8 ordenadores -5 tablets

Esta estimación se ha realizado en el supuesto de que la capacidad del teatro esté ocupada en su totalidad dado el estreno de un espectáculo de gran relevancia. Además, hay que tener en cuenta que de los 1.958 espectadores que puede albergar la sala principal, 1.050 pueden repartirse por los salones de la planta 2 y 200 a lo largo de las 3 plantas del foyer en los entreactos del espectáculo, por lo que será necesario que la conexión de la red sea muy estable tanto dentro como fuera de la sala principal especialmente en los pisos 0,1 y 2.

Dada la aproximación anterior del número de usuarios que puede albergar el teatro, se puede llegar a la conclusión de que el proyecto se encuentra en un entorno de alta densidad, por lo que los requisitos técnicos serán muy exigentes a la hora de diseñar la red WiFi. Por “entorno de alta densidad” se entiende un espacio o área donde hay una gran concentración de personas o dispositivos dentro de una zona determinada. Este concepto es especialmente importante en el diseño de redes y sistemas tecnológicos donde la capacidad de manejar un alto número de conexiones simultáneas es crucial para garantizar un buen rendimiento. Estos entornos requieren de infraestructuras de red avanzadas que aseguren un funcionamiento eficiente y sin interrupciones ante una demanda intensiva de ancho de banda.

Se van a llevar a cabo 3 diseños con especificaciones diferentes que variarán dependiendo de lo restrictivo que sea cada uno y así concluir cual proporciona la mejor solución. Los requisitos de cobertura vendrán dados por los perfiles de Ekahau que se han seleccionado para hacer este estudio: Ekahau Best Practices, RTLS y Aruba VHD Guideline.

1. Nivel Básico

Este diseño se simulará con el perfil de “Ekahau Best Practices” que es el menos restrictivo de todos. Su propósito es garantizar un diseño que maximice la cobertura y la capacidad de la red, siguiendo las directrices generales que Ekahau considera óptimas para la mayoría de los entornos. Utiliza una configuración conservadora, ideal para áreas con tráfico moderado y cobertura estándar donde no se requieren condiciones extremadamente específicas, como pueden ser los pasillos, escaleras y zonas administrativas. Los requisitos de cobertura que establece este perfil son los siguientes:

Tabla 3. Requisitos de cobertura con el nivel básico

Requisitos	2.4 GHz	5 GHz	6 GHz
Potencia de la señal principal	-67 dBm	-65 dBm	-67 dBm
Potencia de la señal secundaria	OFF	OFF	OFF
Relación señal a ruido	20 dB	20 dB	20 dB

Velocidad de los datos	20 Mbps	20 Mbps	20 Mbps
Interferencia de canal	2	2	2
Tiempo de ida y vuelta	200 ms	200 ms	200 ms
Pérdida de paquetes	0 %	0 %	0 %

2. RTLS

Real-Time Location Services está orientado a aplicaciones que requieren servicios de localización y seguimiento en tiempo real dentro de un área determinada. Los requisitos de cobertura suelen ser más estrictos dado que la simulación se enfoca en la precisión de la ubicación de los dispositivos, por lo que se utilizan más puntos de acceso. RTLS proporciona una cobertura más densa y precisa para soportar sistemas de localización en tiempo real, asegura una cobertura de señal que permita el funcionamiento de tecnologías como Bluetooth Low Energy (BLE) o Wi-Fi RTLS. Las zonas más adecuadas para el diseño de una red Wi-Fi mediante RTLS serán los camerinos, áreas de personal y almacenes.

Tabla 4. Requisitos de cobertura con RTLS

Requisitos	2.4 GHz	5 GHz	6 GHz
Potencia de la señal principal	-62 dBm	-62 dBm	-62 dBm
Potencia de la señal secundaria	OFF	OFF	OFF
Relación señal a ruido	7 dB	7 dB	7 dB
Velocidad de los datos	2 Mbps	2 Mbps	2 Mbps
Interferencia de canal	5	5	5
Tiempo de ida y vuelta	300 ms	300 ms	300 ms
Pérdida de paquetes	5 %	5 %	5 %

3. Alta densidad

Este diseño es ideal para entornos con una gran cantidad de conexiones simultáneas. Se seguirá el modelo de “Aruba VHD Guideline” que sigue las directrices de Aruba Networks, un proveedor líder de soluciones de red que abarca desde Wi-Fi, seguridad, gestión de redes, hasta infraestructura cableada. Sus soluciones integran IA y machine learning para optimizar el rendimiento y la seguridad de las redes. Aruba proporciona sus propias recomendaciones en función de sus productos y soluciones para asegurar que las redes Wi-Fi funcionen de manera óptima con sus puntos de acceso. Algunas de las ventajas que proporciona este perfil son las siguientes:

- Optimización para entornos de alta densidad: el perfil de Aruba está diseñado teniendo en cuenta las grandes congestiones que se producen en los escenarios donde se manejan miles de dispositivos.
- Gestión eficiente de canales y cobertura: el sistema de Aruba utiliza estrategias avanzadas para asignar canales de frecuencia de manera que minimicen las interferencias y optimicen la capacidad de la red. Además, los puntos de acceso se configuran de manera que cambien de canal si detectan interferencias o si las condiciones del entorno cambian.
- Garantiza que siempre haya cobertura disponible, incluso si algún AP tiene problemas.
- Proporciona directrices sobre cómo posicionar los APs para asegurar que haya cobertura uniforme en todas las áreas, evitando tanto la sobrecobertura como las zonas muertas.

Por todas estas características se determina que los espacios más apropiados para el diseño de este tipo de red son las áreas donde haya más congestión de personas como la sala principal, anfiteatro y los salones de eventos.

Los requisitos de cobertura de este perfil son:

Tabla 5. Requisitos de cobertura con alta densidad

Requisitos	2.4 GHz	5 GHz	6 GHz
Potencia de la señal principal	-65 dBm	-65 dBm	-65 dBm
Potencia de la señal secundaria	-75 dBm	-75 dBm	-75 dBm
Relación señal a ruido	25 dB	25 dB	25 dB
Velocidad de los datos	24 Mbps	24 Mbps	24 Mbps
Interferencia de Canal	1	1	1
Tiempo de ida y vuelta	300 ms	300 ms	300 ms
Pérdida de paquetes	5 %	5 %	5 %

4. Descripción de la solución propuesta

Para este proyecto se ha decidido seleccionar el estándar IEEE 802.11ax como la opción más adecuada dadas sus grandes ventajas frente al resto de estándares WiFi.

Este estándar, también conocido como WiFi 6, utiliza tanto la banda de frecuencias de 2.4 GHz como la de 5 GHz para poder explotar al máximo las ventajas de ambas:

Tabla 6. Bandas WiFi 6

Ventajas de la banda de 2.4 GHz	Ventajas de la banda de 5 GHz
<ul style="list-style-type: none"> • Cobertura extensa • Alto nivel de penetración: no se aprecian mucho las interferencias al atravesar paredes • Compatibilidad con todos los dispositivos (todos pueden conectarse a esta banda) 	<ul style="list-style-type: none"> • Alta velocidad • Gran ancho de banda: esto evita que los dispositivos se solapen • Compatibilidad con dispositivos que utilizan estándares de WiFi superiores al IEEE 802.11n • Disponibilidad de mayor número de canales

Se ha realizado un estudio de mercado y se ha escogido el sistema Omada implementado por TP-Link como la mejor opción para diseñar este proyecto. Este sistema funciona de manera óptima con la arquitectura MBSS específica de Omada.

Omada Mesh optimiza la distribución del tráfico y mejora la redundancia del sistema. Este enfoque permite que los puntos de acceso se comuniquen entre sí de forma inalámbrica, creando rutas alternativas para la transmisión de datos en caso de congestión o fallo de un enlace. Omada Mesh utiliza algoritmos dinámicos para seleccionar la mejor ruta de comunicación en tiempo real, minimizando la latencia y equilibrando la carga entre los APs. Además, reduce la dependencia de cableado estructurado, lo que facilita la instalación en zonas donde la infraestructura física es limitada o de difícil acceso. En redes de alta densidad, esta topología mejora la eficiencia espectral y la estabilidad de la conexión al permitir una distribución más uniforme del tráfico de usuarios.

El sistema Omada [14] ha sido desarrollado como consecuencia de la gran exigencia empresarial que se ha impuesto sobre las soluciones WiFi en entornos de alta densidad tales como la hostelería, educación, eventos deportivos en grandes estadios, centros comerciales, teatros y un largo etcétera. Este sistema permite controlar la red desde una única interfaz con acceso a la nube para poder llevar a cabo su administración desde cualquier lugar.

La solución de TP-Link se ha seleccionado tras evaluar sus características técnicas [15] en comparación con otras alternativas del mercado. Cuenta con numerosas ventajas que se numeran a continuación:

- El sistema está diseñado para distribuir eficazmente entre los distintos puntos de acceso la carga de usuarios, minimizando la congestión y manteniendo un rendimiento estable.
- Soporta mecanismos de itinerancia optimizados que permiten el cambio automático de AP sin que el usuario perciba interrupciones en la conexión. Equilibra la cantidad de usuarios en todos los puntos de acceso para garantizar el mayor rendimiento posible para todos.
- La red permite operar en doble banda por lo que puede reasignar los dispositivos a la banda menos saturada y optimizar el rendimiento global.
- Su tecnología permite alcanzar hasta 390 Mbps de throughput en la banda de 5 GHz atravesando dos muros. Esto presenta una buena relación entre potencia de transmisión y atenuación en entornos con obstáculos.
- Selecciona automáticamente las frecuencias de trabajo para minimizar las interferencias de canales que se encuentran superpuestos pertenecientes a otras redes Wi-Fi cercanas.
- Permite la conectividad inalámbrica entre los puntos de acceso, con lo que las implementaciones inalámbricas son más flexibles y convenientes.
- Los APs seleccionados incluyen Beamforming, una tecnología que focaliza la señal en la dirección de los dispositivos conectados. Esta tecnología proporciona una mejora considerable en la estabilidad y el alcance de la conexión.
- Ofrece una mejor protección y privacidad a los usuarios, puesto que separa los datos de administración de la red de los datos del usuario, sin que el tráfico del usuario pase a través de la nube.

A pesar de que algunos de los competidores de TP-Link poseen equipamiento con características similares, se ha determinado que el sistema Omada de TP-Link ofrece la mejor relación entre prestaciones técnicas y coste.

El esquema de conexionado de los elementos necesarios para integrar una red Omada se expone a continuación en la *Figura 31*:

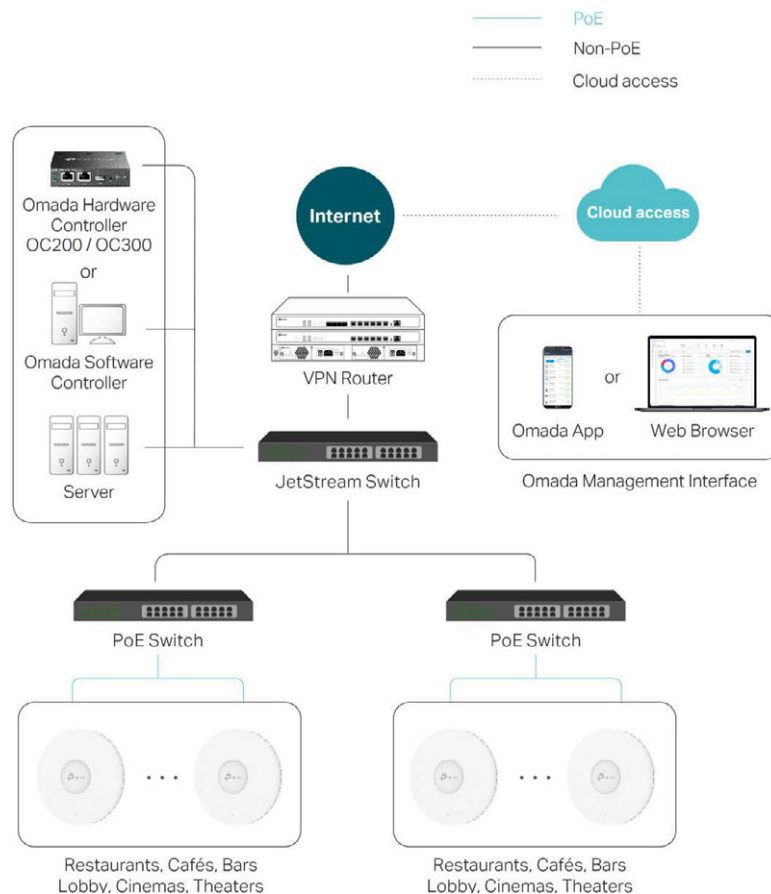


Figura 31. Conexión del Sistema Omada [15]

TP-Link tiene una variedad generosa de dispositivos para la instalación de una red WiFi, sin embargo, para llevar a cabo este proyecto de la forma más adecuada posible se ha seleccionado el siguiente equipamiento:

1. EAP660HD: Punto de Acceso WiFi 6 de montaje de techo [16]

Ofrece una velocidad de hasta 2402 Mbps en 5GHz y 1148 Mbps en 2,4GHz para alcanzar un total de 3550 Mbps. Tiene una capacidad de conectividad mínima de 1000 usuarios simultáneos estables. Su aspecto es el enseñado en la Figura 32.



Figura 32. Punto de Acceso Omada [16]

2. PoE Switch TL- SG3428XMP [17]

Switch al que se conectan los distintos APs que están repartidos por todo el espacio. Como se observa en la *Figura 33*, posee 24 puertos PoE+ a Gigabit, de hasta 30W de salida PoE por puerto, y 4 SFP+ a 10G. Su función principal es ayudar en el enrutamiento interno del tráfico para una mayor eficacia a través de su enrutamiento estático.



Figura 33. PoE Switch Omada [17]

3. JetStream Switch TL-SG3428X [18]

Switch intermedio entre los PoE Switch y el Router. Como se ve en la *Figura 34*, el hardware es igual que el switch PoE SG3428XMP puesto que también posee 24 puertos Gigabit y 4 SFP+ a 10G. Tiene una capacidad de switching de 128 Gbps.



Figura 34. JetStream Switch Omada [18]

4. VPN Router TL-ER7206 [19]

Cuenta con acceso a la nube y a la aplicación Omada para una administración muy sencilla de la red. Admite varios protocolos de VPN para que los usuarios establezcan conexiones VPN de forma más flexible. Además, los puertos SFP de 1 gigabit y los puertos RJ45 de 5 gigabit proporcionan conectividad por cable de alta velocidad. Véase la *Figura 35*.



Figura 35. Router VPN Gigabit Omada [19]

5. Controlador Hardware de Omada OC300 [20]

Expuesto en la *Figura 36*. Soporta hasta 500 puntos de acceso Omada, 100 Switches Omada, 100 Routers Omada y un máximo de 5 OLTs GPON DeltaStream. Accede directamente a la nube a través de la aplicación Omada sin necesidad de pasar por el router para poder administrar la red.



Figura 36. Controlador Hardware Omada OC300 [20]

Además del equipamiento mencionado que es el propuesto para el presente proyecto inicialmente se ha tenido que añadir otro punto de acceso más según se desarrollaban las simulaciones con Ekahau con el fin de cubrir todas las zonas posibles. El AP extra añadido es el mostrado a continuación en la *Figura 35*:



Figura 37. EAP235-Wall [21]

El EAP235-Wall es un punto de acceso de TP-Link de montaje de pared de doble banda compatible con el sistema de Omada. Presenta 4 puertos Gigabit, un puerto de enlace descendente que admite el paso de PoE para proporcionar alimentación al dispositivo cableado. Posee gestión centralizada a través de la nube y de la aplicación de Omada.

Este punto de acceso no es el que presenta mejores condiciones para ser instalado en redes de alta densidad, pero es el más reciente que aparecía en el sistema de Ekahau y por ello ha sido seleccionado para llevar a cabo este proyecto para áreas puntales del Teatro Real.

5. Resultados

En este proyecto solo se estudiará la conectividad en las plantas -2, -1, 0, 1, 2, 6, 8 y 9 para no hacer reiterativo el diseño, dado que las plantas seleccionadas son muy similares al resto.

Para diseñar la red primero se deben de crear los perfiles para los dispositivos que se van a utilizar en el edificio tal y como se explica en el *Anexo 1*. A continuación, se hará uso de la herramienta AutoPlanner que simula de forma óptima cuántos APs tiene que haber en cada planta y su posición para que pueda haber cobertura en toda la planta.

Como se explicó en el capítulo de *Especificaciones y Restricciones del Proyecto*, se van a realizar tres simulaciones distintas, sin embargo, en todas ellas los perfiles de los dispositivos usados serán los mismos. Únicamente cambiarán los requisitos técnicos y por tanto la estimación de las posiciones de los APs según Ekahau.

Para comprender los resultados de este capítulo se adjuntan seguidamente los mapas de calor junto con sus leyendas en las *Figuras 37, 38, 39, 40 y 41*:

- Signal strength: es la potencia de la señal medida en dBm. Se usa para verificar la cobertura de la red y asegurarse de que los dispositivos reciben una señal adecuada en todas las áreas.

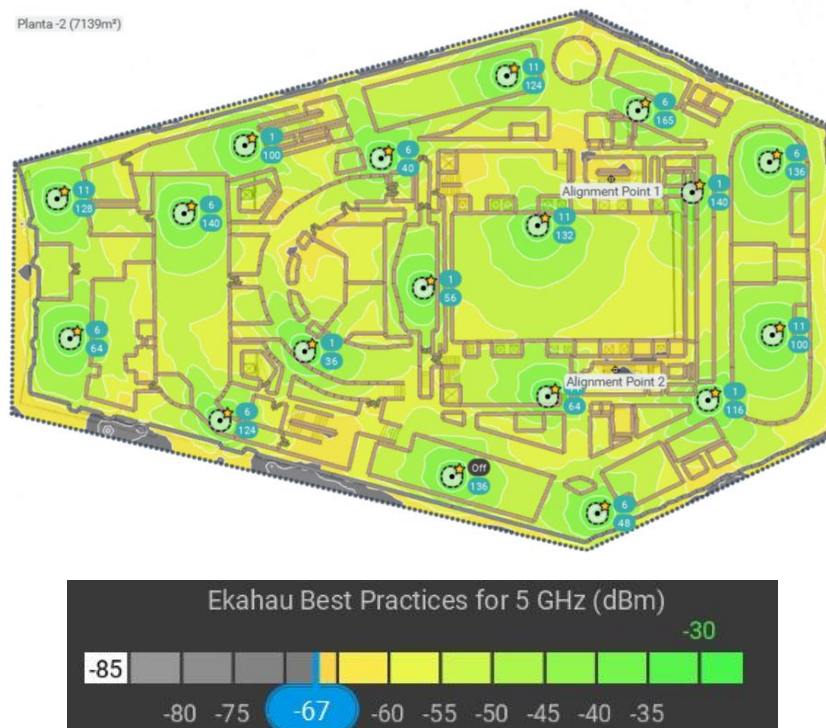


Figura 38. Potencia de la señal (potencia) y leyenda en dBm

- SNR: se refiere a la relación señal a ruido entre la potencia de la señal Wi-Fi y el ruido ambiental en dB. Un SNR alto significa una señal clara con menos interferencias, mientras que un SNR bajo puede indicar problemas de conectividad.

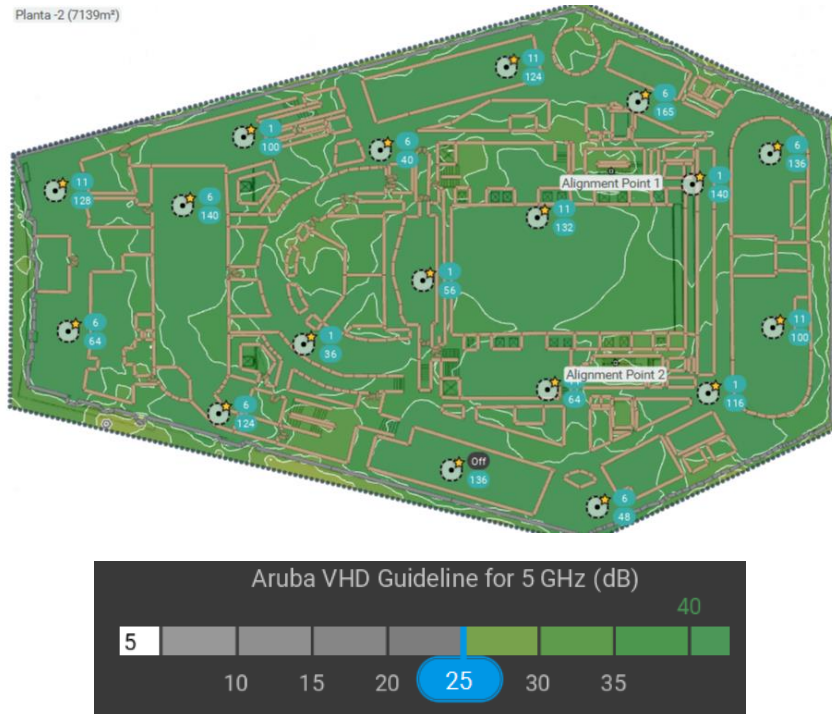


Figura 39. SNR y leyenda en dB

- Data rate: representa la velocidad teórica de transmisión de datos en Mbps. Es clave para garantizar que los dispositivos tengan suficiente ancho de banda para sus necesidades



Figura 40. Data rate y leyenda en Mbps

- Network health: la salud de la red evalúa la calidad general de la red Wi-Fi basándose en varios parámetros como fuerza de señal, interferencia y capacidad. Ayuda a identificar problemas en la infraestructura inalámbrica.

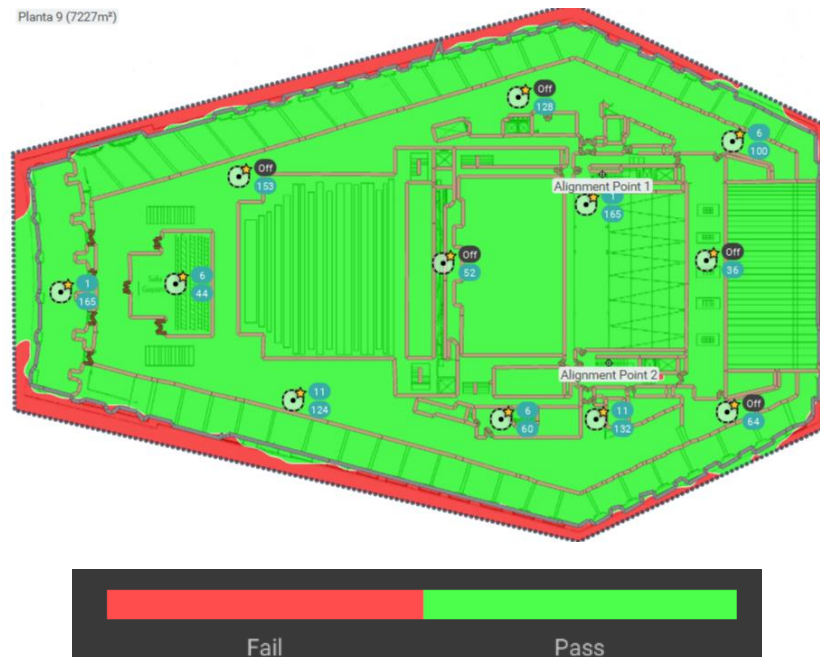


Figura 41. Salud de la red y leyenda

- Interferencia de canal: indica las áreas donde hay interferencia por solapamiento de canales Wi-Fi. Es útil para detectar problemas de congestión en redes con múltiples APs y minimizar el uso de canales superpuestos.

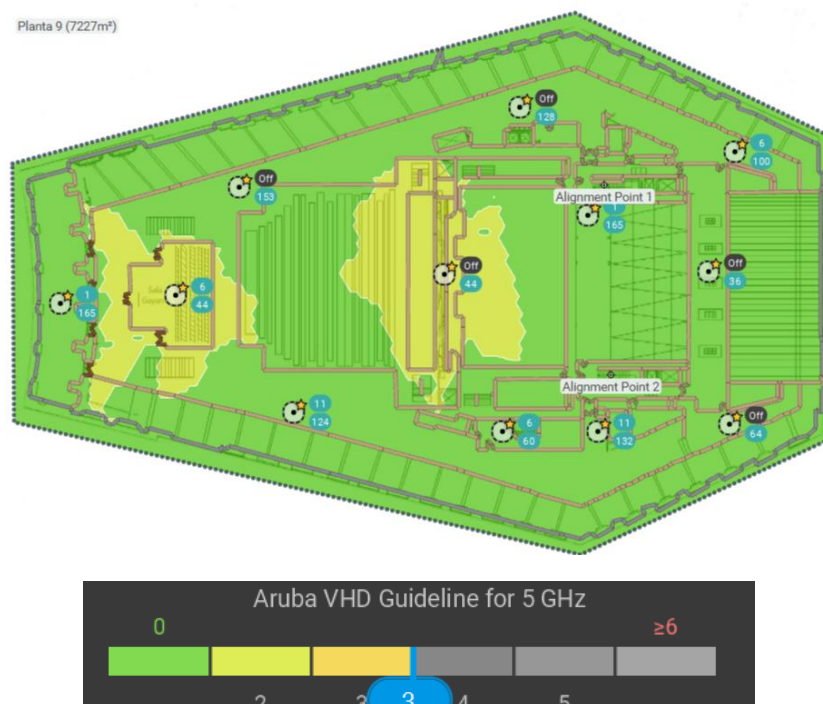


Figura 42. Leyenda Interferencias de Canal

5.1. Planta 0

1. Nivel básico

En los mapas de calor iniciales presentes en el *Anexo 2* se ve que hay zonas a las que no llega la señal WiFi impidiendo que se cumpla la verificación del buen funcionamiento de la red diseñada. El problema principal se sitúa en la zona del escenario y el patio de butacas, donde la potencia de la señal es muy leve o nula. Esto se debe a que los APs seleccionados para la simulación son de montaje de techo y esta zona es un espacio abierto de 6 plantas donde el techo se sitúa a una altura demasiado elevada, por eso ni si quiera se han establecido APs dentro de esas zonas. Para poder solucionar esto algunos de los APs que se encuentran en los pasillos se han desplazado a la sala principal y se han cambiado por otro modelo de AP de montaje de pared.

De este modo, la cobertura de la red Wifi quedaría como se muestra en las *Figuras 43 y 44*:

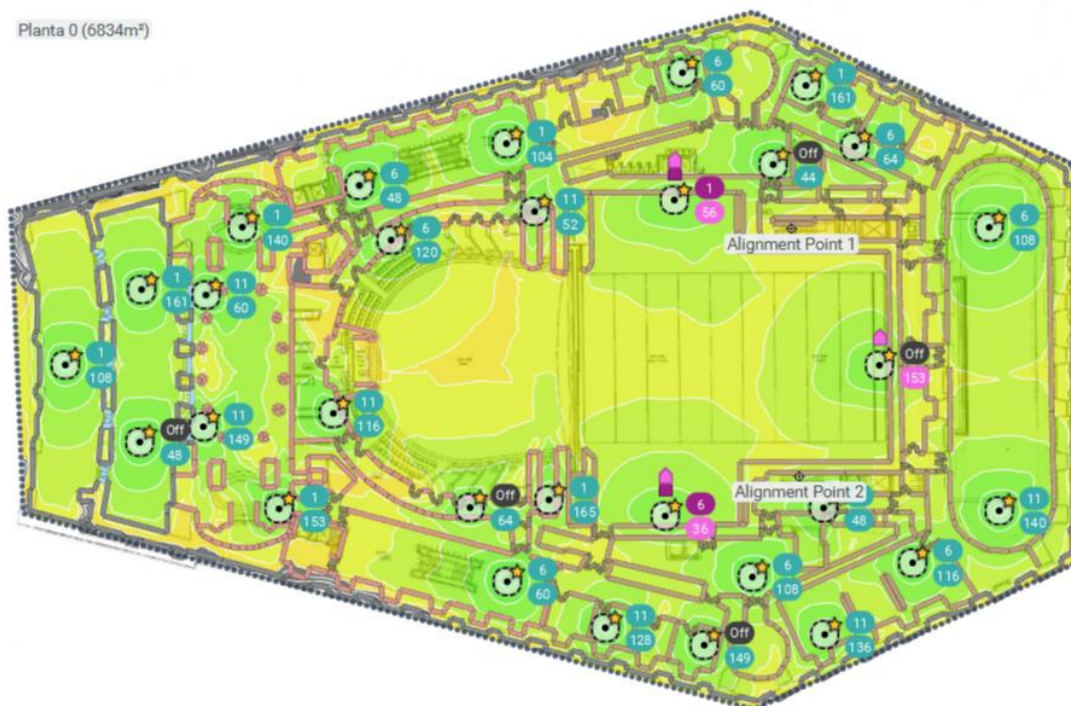


Figura 43. Planta 0: Potencia de la señal (nivel básico)

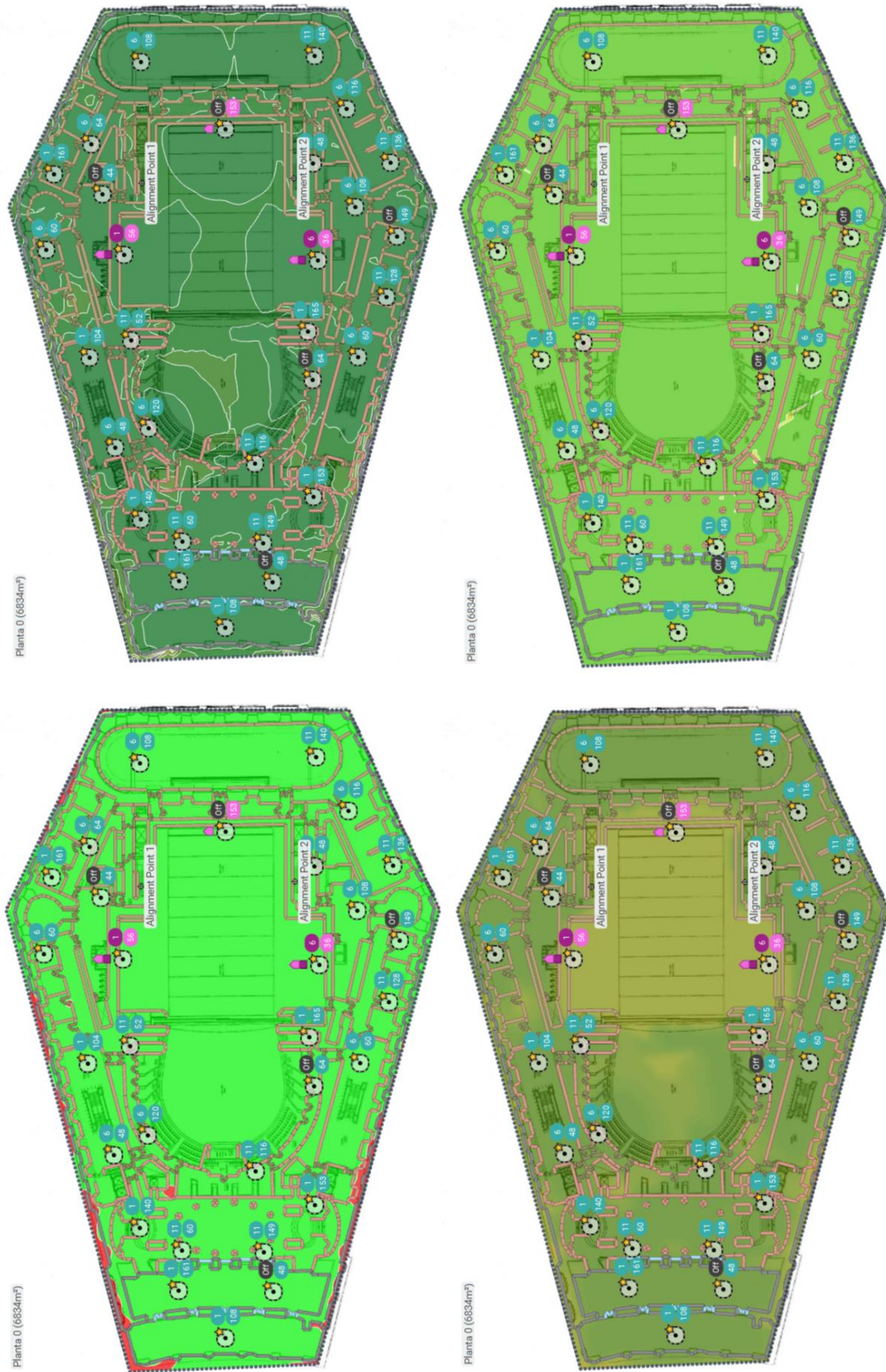


Figura 44. Planta 0: SNR, Interferencia de canal, Salud de la red y Data Rate (nivel básico)

En las imágenes anteriores pueden distinguirse los APs de montaje de techo, representados con círculos transparentes, de los APs de montaje de pared, representados con círculos morados. Cada uno de los APs está asociado con dos números, son los números de los canales en las bandas de 2,4 GHz y 5GHz en los que trabaja cada uno de los APs.

Para que los APs no generen interferencias de canal se ha medido meticulosamente cual es el canal de trabajo más adecuado para cada uno de ellos.

Con las anteriores modificaciones se aseguran unas condiciones de potencia de la señal que oscilan entre -61 dBm y -41 dBm, relación señal a ruido entre 34 y 46 dB y un rango de 165 Mbps a 300 Mbps de data rate. Este valor más bajo de data rate se debe a que el AP de montaje de pared seleccionado ofrece como máximo 173 Mbps, es por ello que únicamente en el escenario hay 173 Mbps de data rate y en el resto de la planta hay más de 200 Mbps.

2. RTLS

Para esta simulación ha sido más fácil llevar a cabo las modificaciones porque se partía de una situación de cobertura total. Como RTLS se basa en la localización de dispositivos móviles, posiciona un mayor número de APs con respecto al nivel básico. Al haber más APs en los alrededores de estas salas es más sencillo cubrir toda la sala principal y el escenario. No obstante, es necesario realizar diversos cambios que pueden apreciarse en las Figuras 45 y 46.



Figura 45. Planta 0: Potencia de la señal (RTLS)

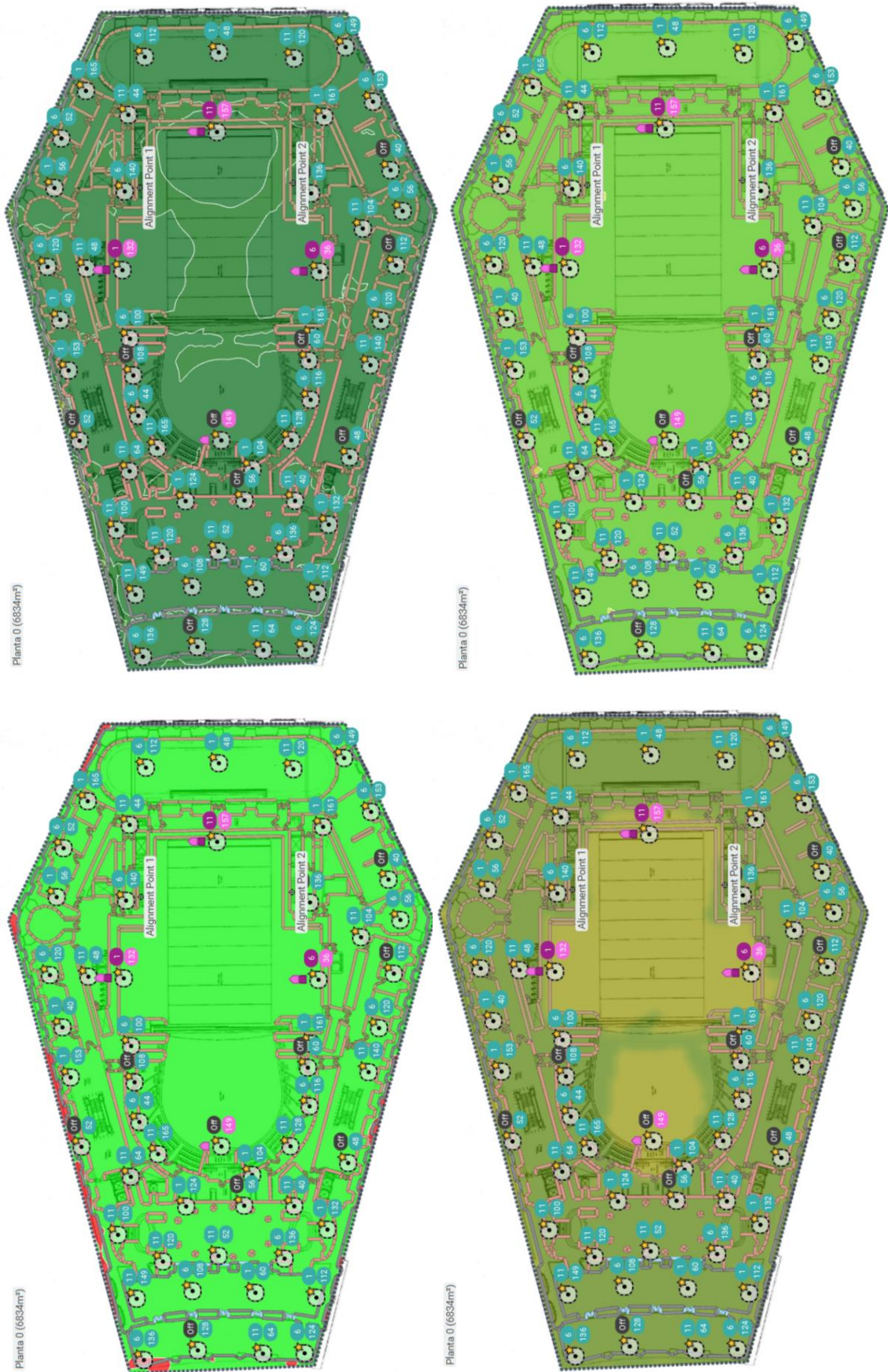


Figura 46. Planta 0: SNR, Interferencia de canal, Salud de la red y Data Rate (RTLS)

Al igual que en el nivel básico se han añadido APs de montaje de pared en la sala principal y en el escenario. Esta vez no se ha hecho para poder cubrir esta zona porque, como se ha mencionado previamente, esta zona ya estaba cubierta con los APs iniciales, si no que se ha hecho para mejorar la potencia de la señal en este espacio. Además, se han reubicado más APs en los pasillos laterales y camerinos para reducir las zonas de baja emisión.

En este caso, se cumplen los requisitos de potencia de la señal, pero no los de velocidad de los datos. A pesar de que en ciertas partes del patio de butacas sí se cumple una velocidad superior a 200 Mbps, los APs de montaje de pared impiden tener una velocidad superior a 173 Mbps dadas sus características. Sin embargo, las condiciones de esta planta hacen obligatoria la integración de estos puntos de acceso.

Con los cambios descritos anteriormente se asegura un valor mínimo de -58 dBm de potencia de la señal en el peor de los casos, 41 dB de relación señal a ruido y entre 173 Mbps y 300 Mbps de data rate debido a los APs de montaje de pared.

3. Alta densidad

Con los parámetros de alta densidad se reproduce una situación intermedia entre los dos escenarios anteriores puesto que no se simulan tantos APs como en RTLS, pero la ubicación en la que estos se posicionan es mucho más estratégica para que la señal llegue a zonas más complejas.

Para poder solventar el problema de la salud de la red y que la señal sea capaz de alcanzar todos los rincones de esta planta se añadirán APs de montaje de pared y se reorganizará la posición de otros ya existentes. De este modo se obtienen los resultados expuestos en las Figuras 47 y 48:



Figura 47. Planta 0: Potencia de la señal (alta densidad)

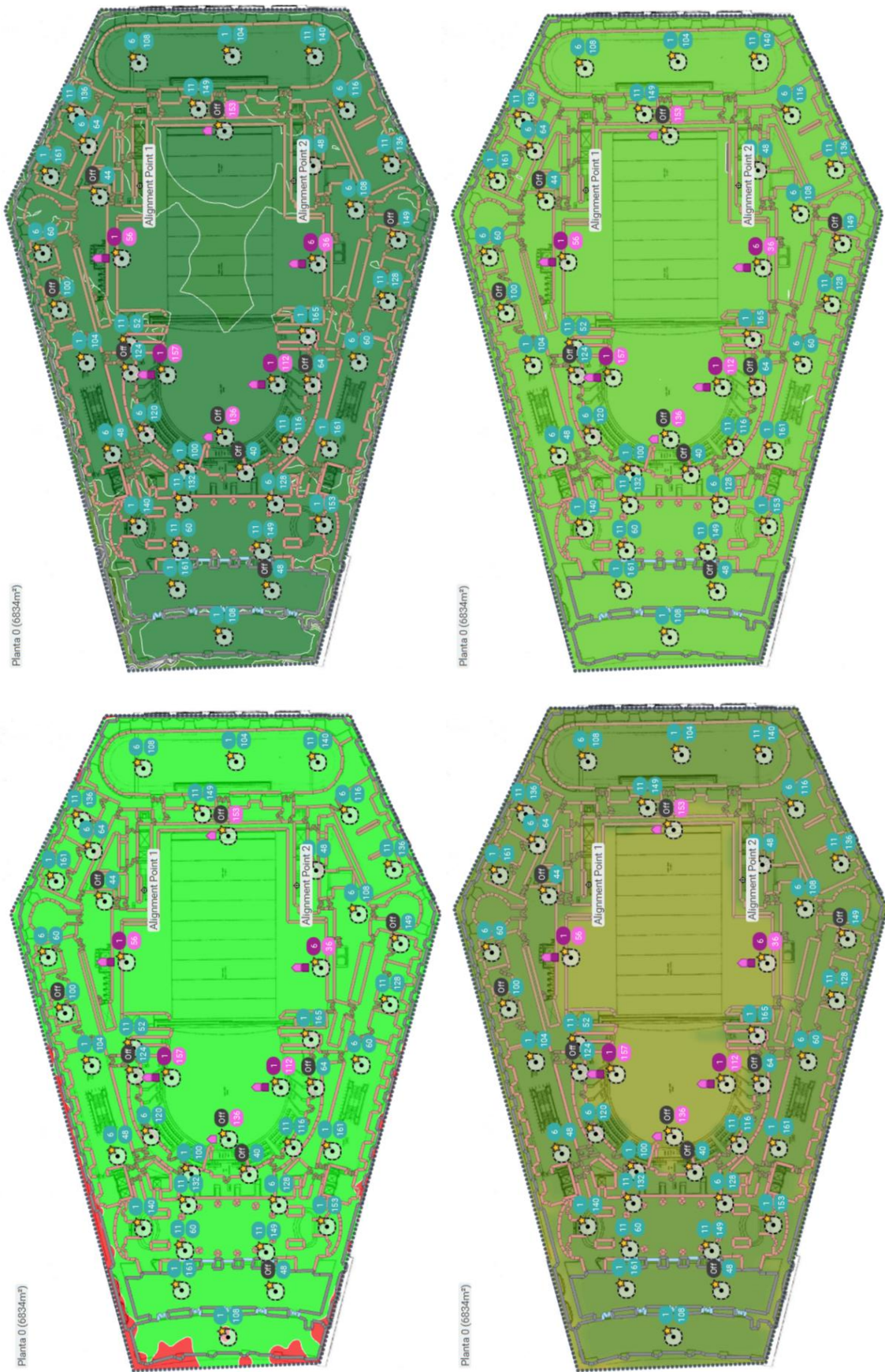


Figura 48. Planta 0: SNR, Interferencia de canal, Salud de la red y Data Rate (alta densidad)

Para que no existan interferencias de canal se ajusta el canal en el que trabajará cada uno de los APs. Además, en algunos de los puntos de acceso se ha deshabilitado el canal disponible de la banda de 2,4 GHz. Esto se debe a que se están usando únicamente los canales 1, 6 y 11 para establecer las conexiones en esta banda puesto que no se produce superposición entre ellos. Al ser solo 3 canales es más fácil que se produzcan interferencias de canal y para evitarlo es necesario desactivar la radio de 2,4 GHz en ciertos APs. Por otro lado, en el mapa de calor de la salud de la señal se comprueba que existen ciertos espacios donde no se cumplen los requisitos de salud. Estas son zonas exteriores a las instalaciones del teatro, por lo tanto, no es relevante para este proyecto que se cumplan las condiciones en estos sitios.

Se garantizan -58 dBm de potencia de la señal, 41 dB de relación señal a ruido y de 173 Mbps a 300 Mbps. Se verifica el cumplimiento de los requerimientos técnicos para el nivel de alta densidad a excepción de la velocidad de los datos que, como ya se ha mencionado, se debe a los puntos de acceso de montaje de pared integrados en la sala principal.

5.2. Planta 1

1. Nivel básico

Al contrario que en la planta 0, en la planta 1 no es necesario cubrir la zona correspondiente al escenario ni el patio de butacas, sin embargo, sí que es esencial cubrir el anfiteatro correspondiente a este piso. Esto podría llevarse a cabo implementando APs de montaje de pared en esta zona o bien dejando los APs de montaje de techo en un pasillo externo cerca de la zona que se desea cubrir. Para este perfil de simulación se ha elegido establecer APs de montaje de techo en los pasillos contiguos al anfiteatro tal y como se muestra en las Figuras 49 y 50.

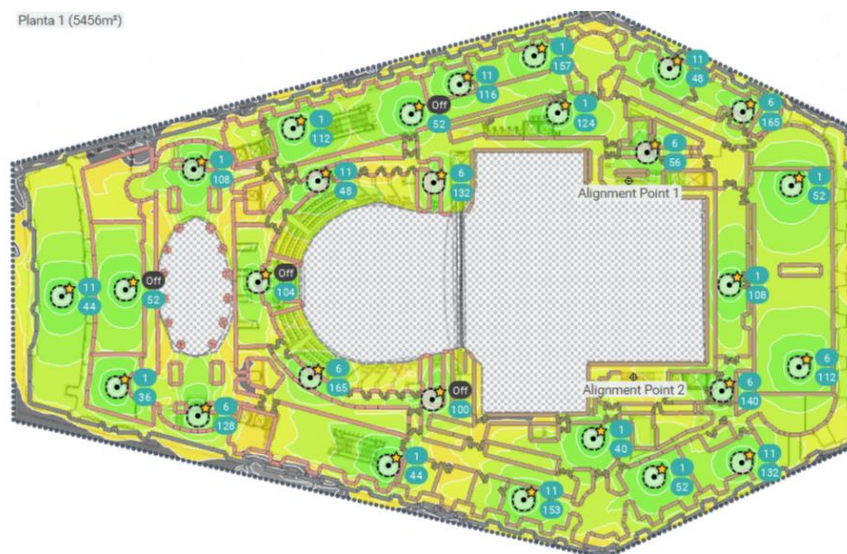


Figura 49. Planta 1: Signal Strength (nivel básico)

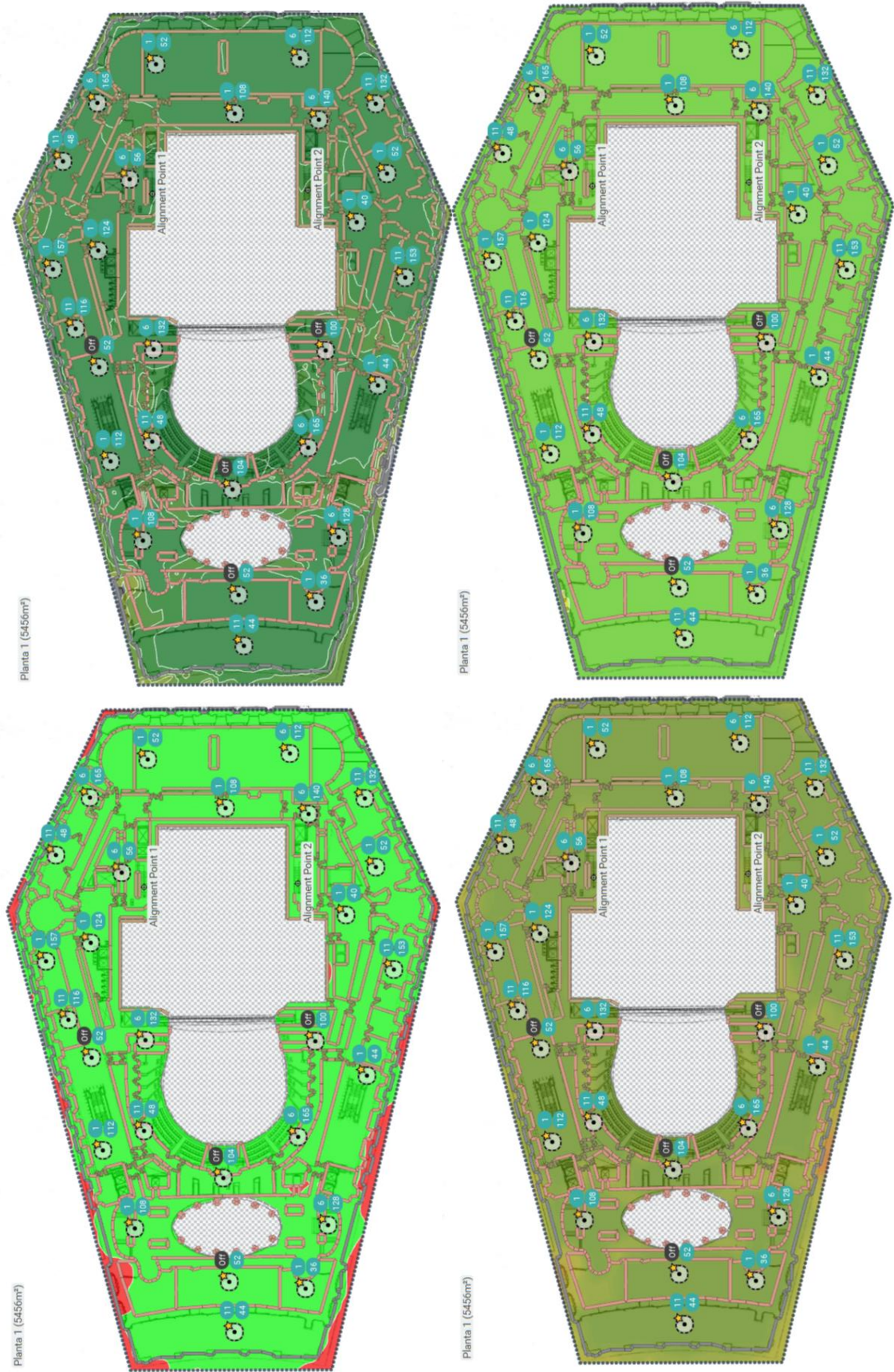


Figura 50. Planta 1: SNR, Interferencia de canal, Salud de la red y Data Rate (nivel básico)

En esta planta se garantizan unos valores mínimos de -61 dBm de potencia de señal, 37 dB de SNR y 173 Mb/s de data rate en las zonas más desfavorables. Como puede comprobarse en las capturas hay ciertas partes de los mapas donde no se cumplen algunas de las condiciones como es el caso de “Salud de la red”, sin embargo, estas zonas no se ubican dentro del Teatro Real, por lo que no es relevante que la red cubra esta zona.

Además, en este piso se da una pequeña interferencia de canal en una de las salas situadas abajo a la izquierda. No obstante, esta zona se encuentra fuera de las inmediaciones del teatro, por lo que no supone ningún impedimento en el diseño de esta red.

2. RTLS

Al contar con mayor número de APS no será necesario añadir APs de montaje de pared para cubrir el anfiteatro porque ya habrá muchos APs concentrados en los pasillos adyacentes con acceso a esta zona como se observa en la Figuras 51 y 52.

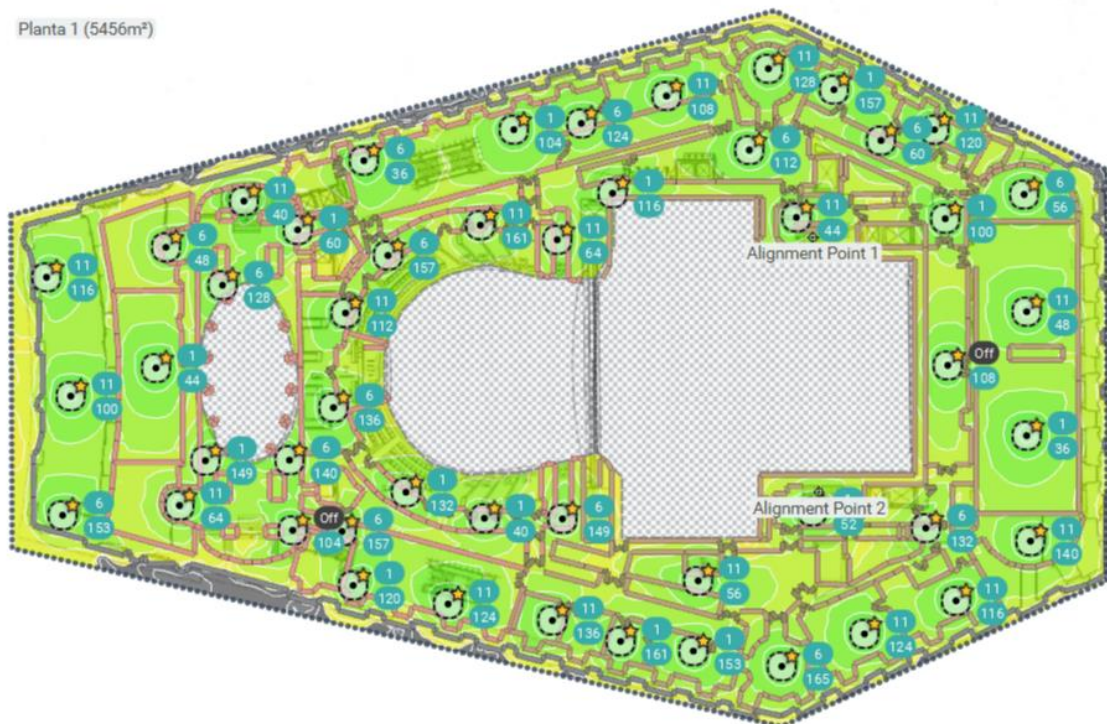


Figura 51. Planta 1: Potencia de la señal (RTLS)

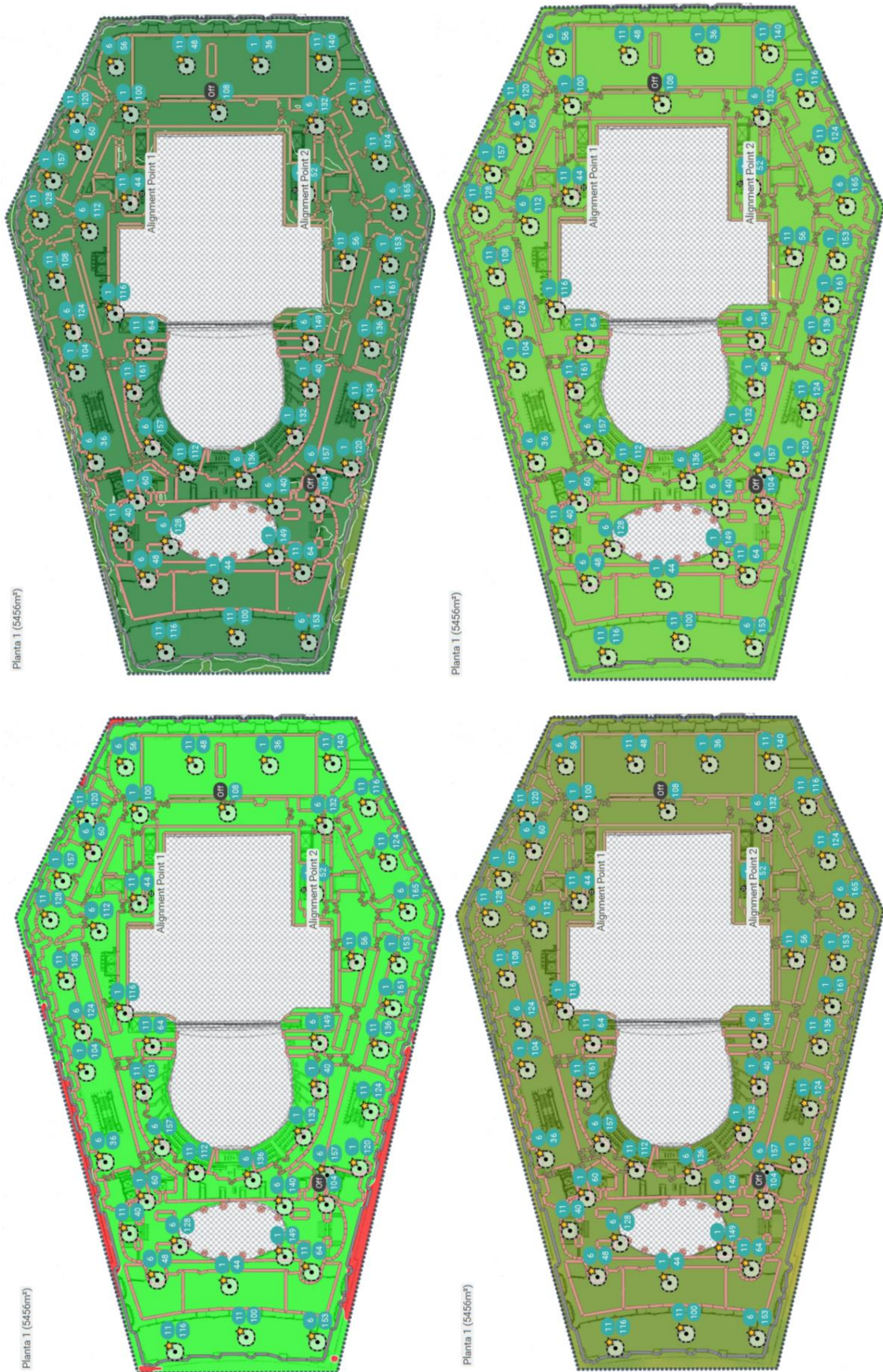


Figura 52. Planta 1: SNR, Interferencia de canal, Salud de la red y Data Rate (RTLs)

En esta planta se garantizan unos valores mínimos de -54 dBm de potencia de señal, 40 dB de SNR y alrededor de los 257 Mb/s de data rate. Aquí se cumplen todas las especificaciones mencionadas en el *Capítulo 3*, incluido el parámetro de velocidad de los datos debido a que no se han instalado APs de montaje de pared. A partir de esta planta, puede usarse este método en cualquiera de las simulaciones si se desea garantizar una velocidad de datos superior a 200 Mbps.

3. Alta densidad

A pesar de que este diseño estima la posición más estratégica para que la potencia llegue exitosamente a todas las áreas del piso será necesario mover algunos APs unos metros para ampliar el rango de cobertura y así poder alcanzar las zonas deseadas, por ejemplo, es conveniente que haya al menos un AP en los pasillos que conectan unos camerinos con otros para que se establezca una potencia cercana a los -47 dBm en lugar de una potencia de -60 dBm. Estos cambios se representan en las *Figuras 53 y 54*.

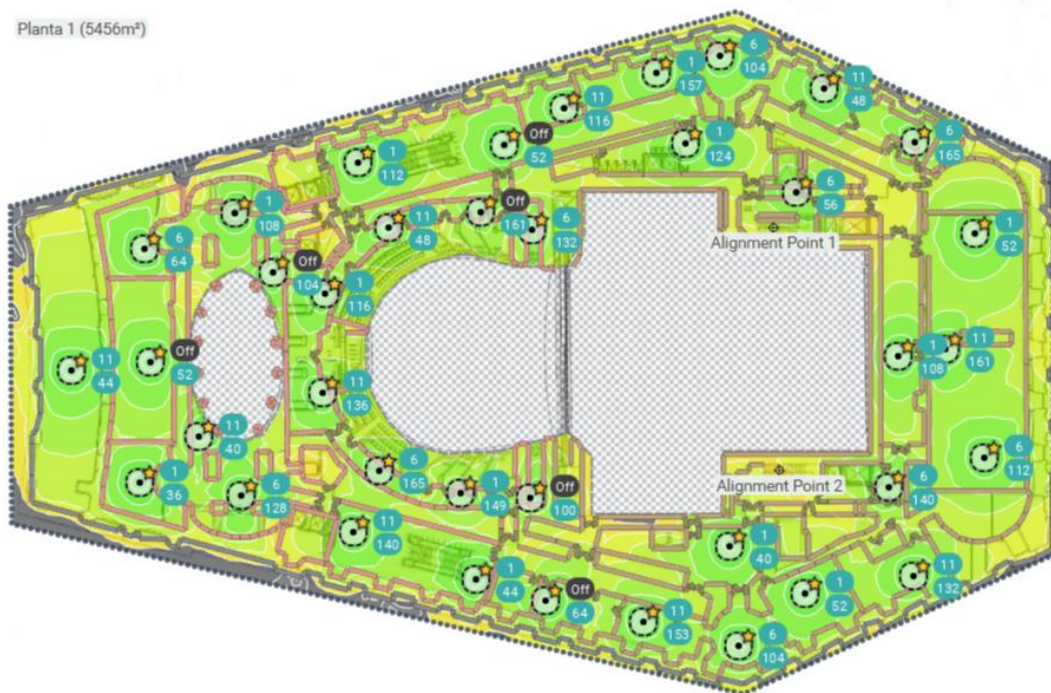


Figura 53. Planta 1: Potencia de la señal (alta densidad)

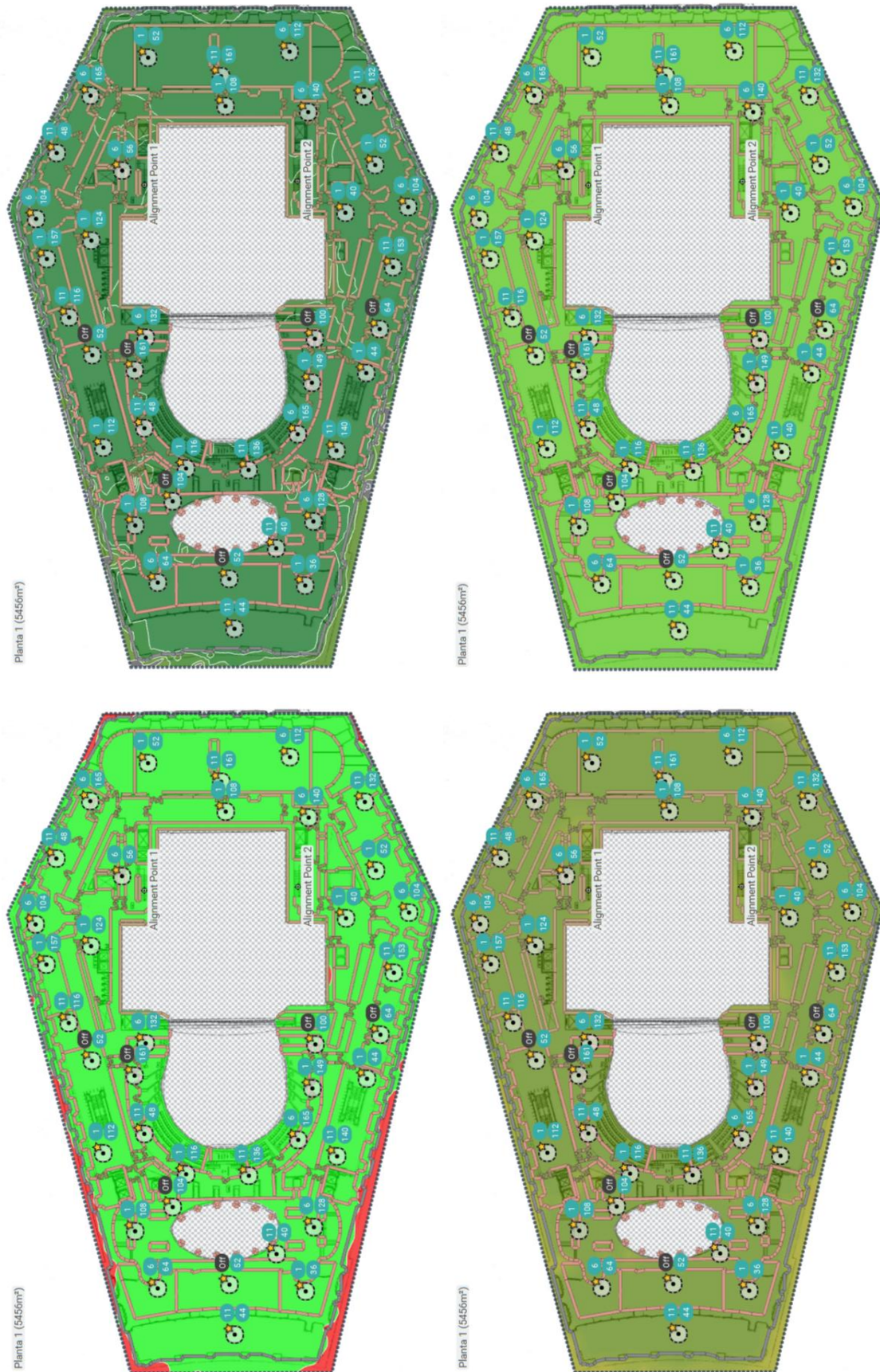


Figura 54. Planta 1: SNR, Interferencia de canal, Salud de la red y Data Rate (alta densidad)

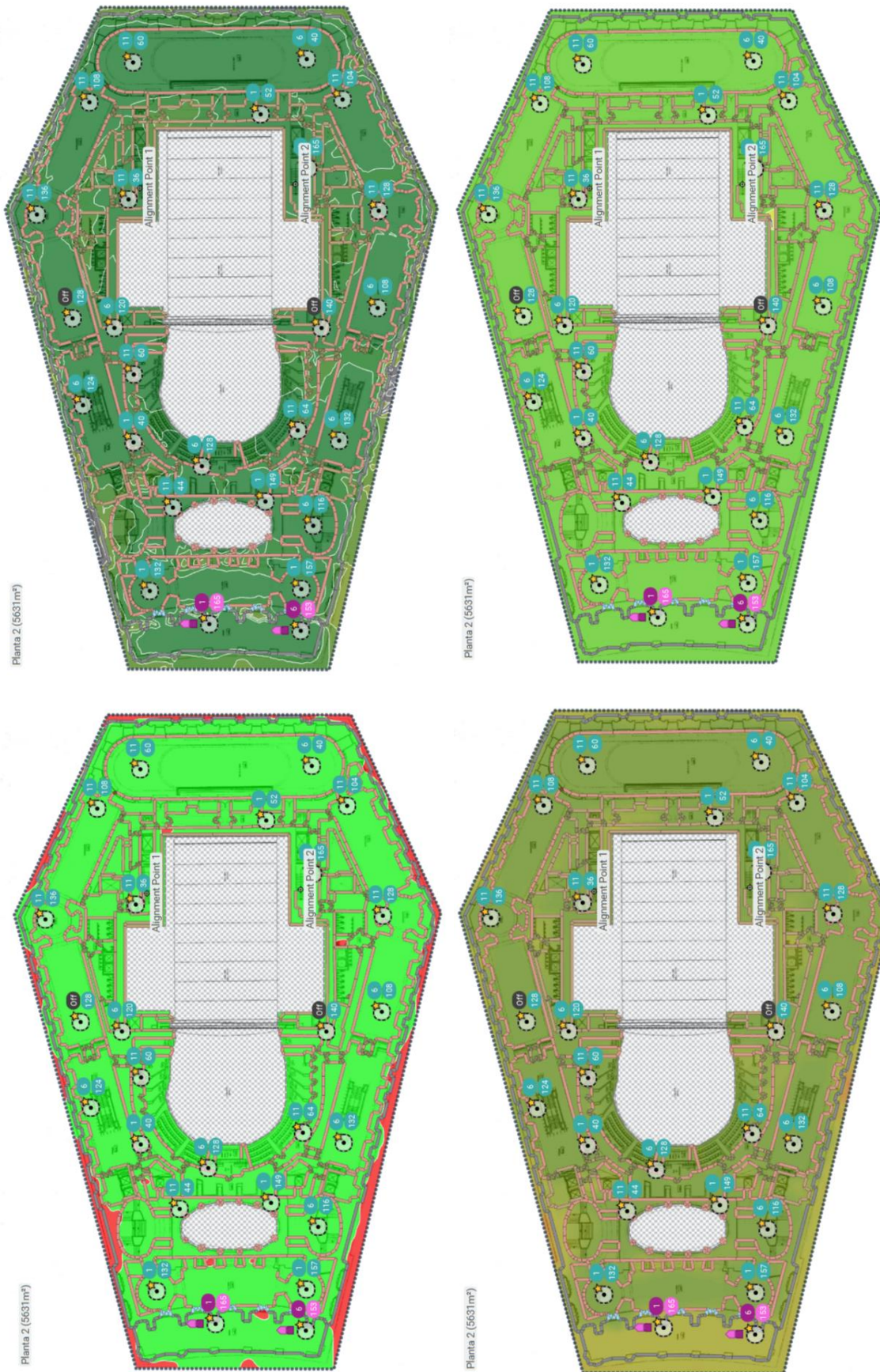


Figura 56. Planta 2: SNR, Interferencia de canal, Salud de la red, Data Rate (nivel básico)

Se garantizan unas condiciones mínimas de -62 dBm de potencia de señal, 40 dB de SNR y 257 Mbps de forma general. La particularidad de este piso es que se han vuelto a instalar APs de montaje de pared, pero esta vez no ha sido en el anfiteatro sino en la terraza. Aunque cabría la posibilidad de no integrar APs en esta área y dejar que los APs del salón adyacente diesen conectividad a la terraza, se ha decidido establecer APs de montaje de pared porque los muros que separan la terraza del salón es de hormigón y este material genera mucha más interferencia que el mármol o el resto de paredes interiores, por ello, aunque la velocidad de los datos sea peor que con los APs de montaje de techo se ha preferido garantizar que la señal llega con suficiente potencia.

2. RTLS

Como RTLS genera muchos más puntos de acceso no será necesario establecer APs de montaje de pared en la zona del anfiteatro, con la gran concentración de estos que hay en los pasillos contiguos será suficiente para cubrir este espacio exitosamente. Únicamente se pondrán APs de montaje de pared en la terraza para asegurar la conectividad en esta área, aunque no se cumplan los requisitos de velocidad de los datos.

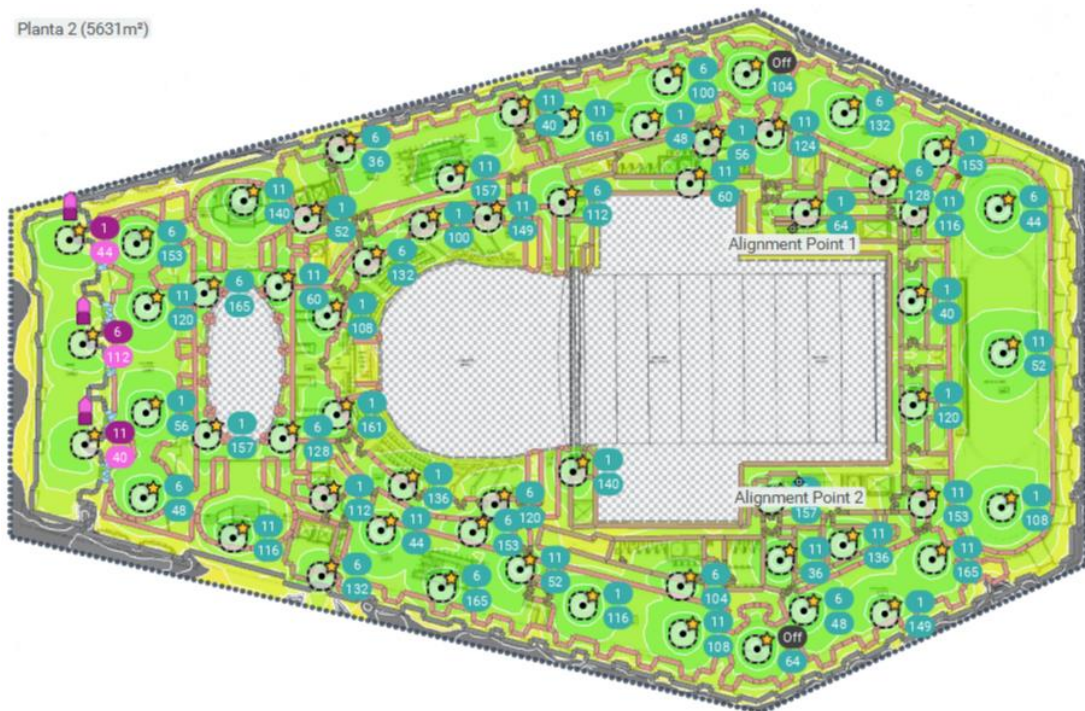


Figura 57. Planta 2: Potencia de la señal (RTLS)



Figura 58. Planta 2: SNR, Interferencia de canal, Salud de la red y Data Rate (RTLS)

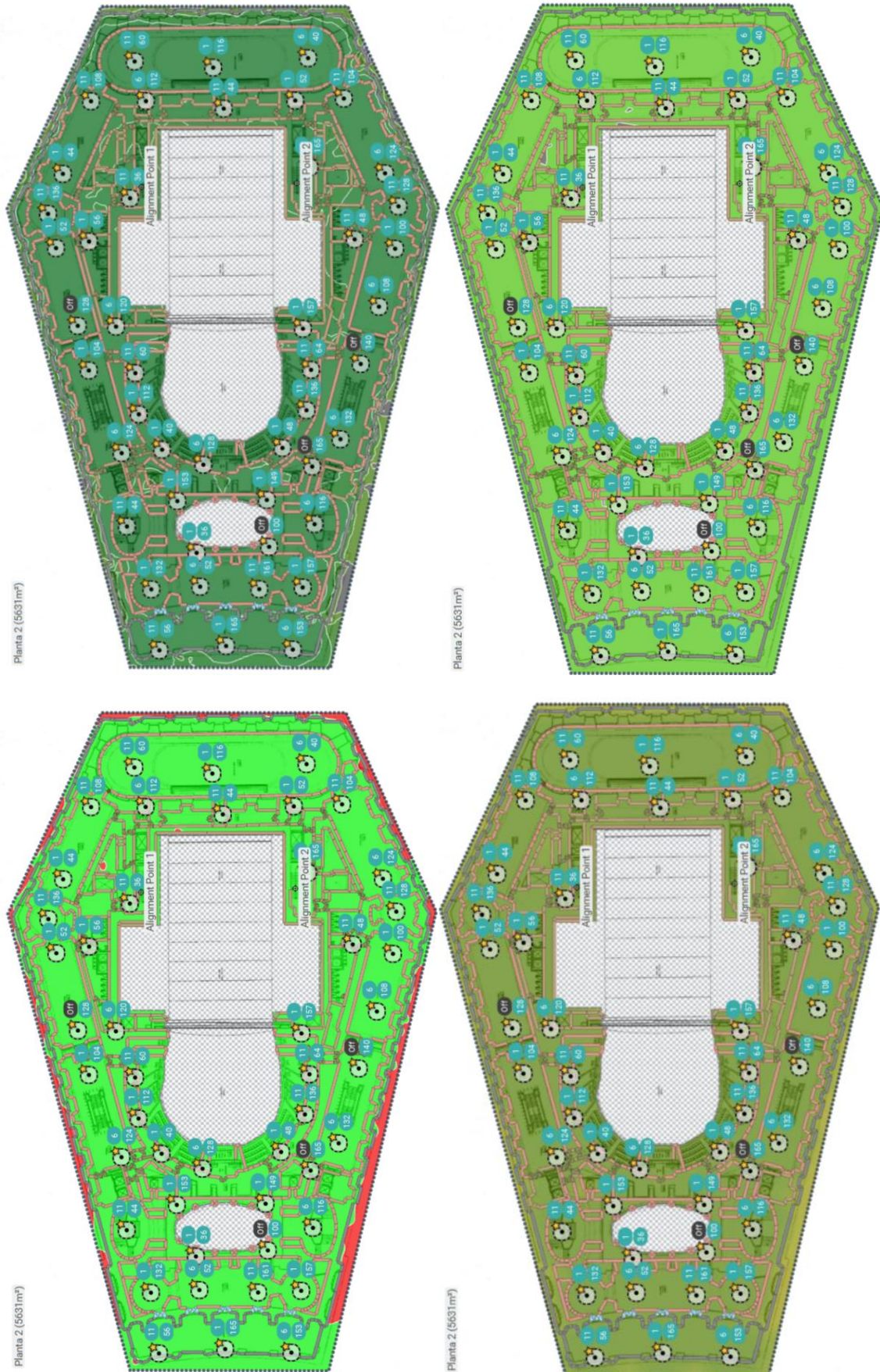


Figura 60. Planta 2: SNR, Interferencia de canal, Salud de la red y Data Rate (alta densidad)

Se obtienen valores mínimos de -58 dBm de potencia de señal, 40 dB de SNR y 257 Mb/s de data rate. También puede comprobarse como en la zona del foyer y los pasillos laterales al anfiteatro poseen más de 2 APs por diversos motivos: el foyer consta de varias columnas monumentales de mármol que obstaculizan bastante el paso de la señal. El anfiteatro de la planta 2 es un espacio lleno de butacas que alojará una gran cantidad de espectadores, por ello es necesario que se localice un punto de acceso cada pocos metros. Además, al estar situados en el pasillo exterior tienen que atravesar un muro que hará que el rango de su cobertura sea menor que en un espacio abierto.

5.4. Planta 6

1. Nivel básico

Aunque en este piso se ubica el “paraíso”, que es otra zona más de butacas, no habrá tanta congestión de usuarios como en los pisos anteriores. Esta planta está más enfocada a los ensayos de orquesta, ballet, músicos y cantantes en el día a día por lo que será necesario cubrir bien todas estas zonas principalmente. Esta planta cuenta con la ventaja de que ya no hay más espacios abiertos, el paraíso es la última zona de butacas, por lo que situando varios APs de montaje de techo en las áreas requeridas se conseguirá cumplir con los requisitos de la red fácilmente.

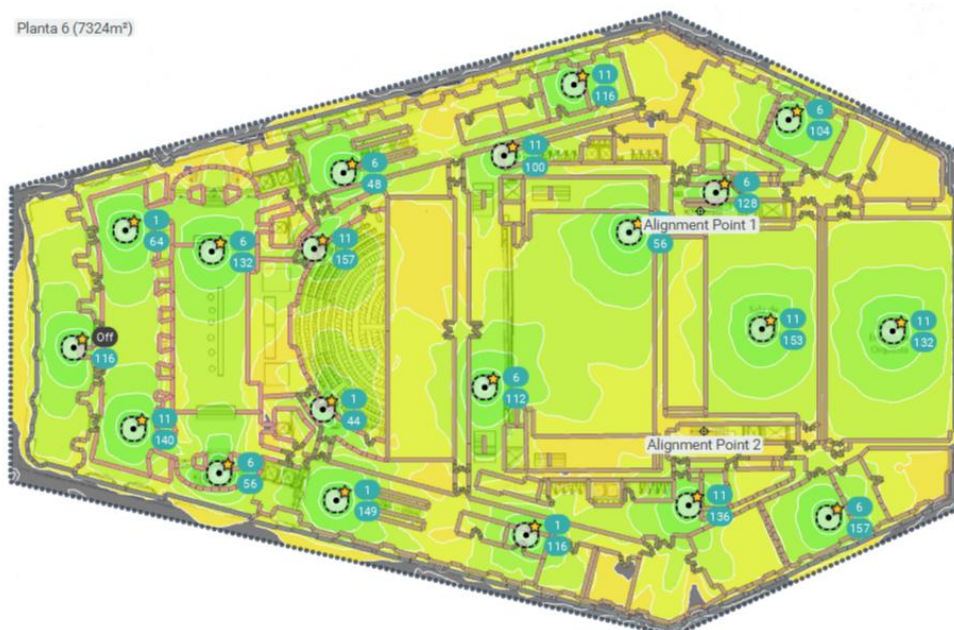


Figura 61. Planta 6: Potencia de la señal (nivel básico)

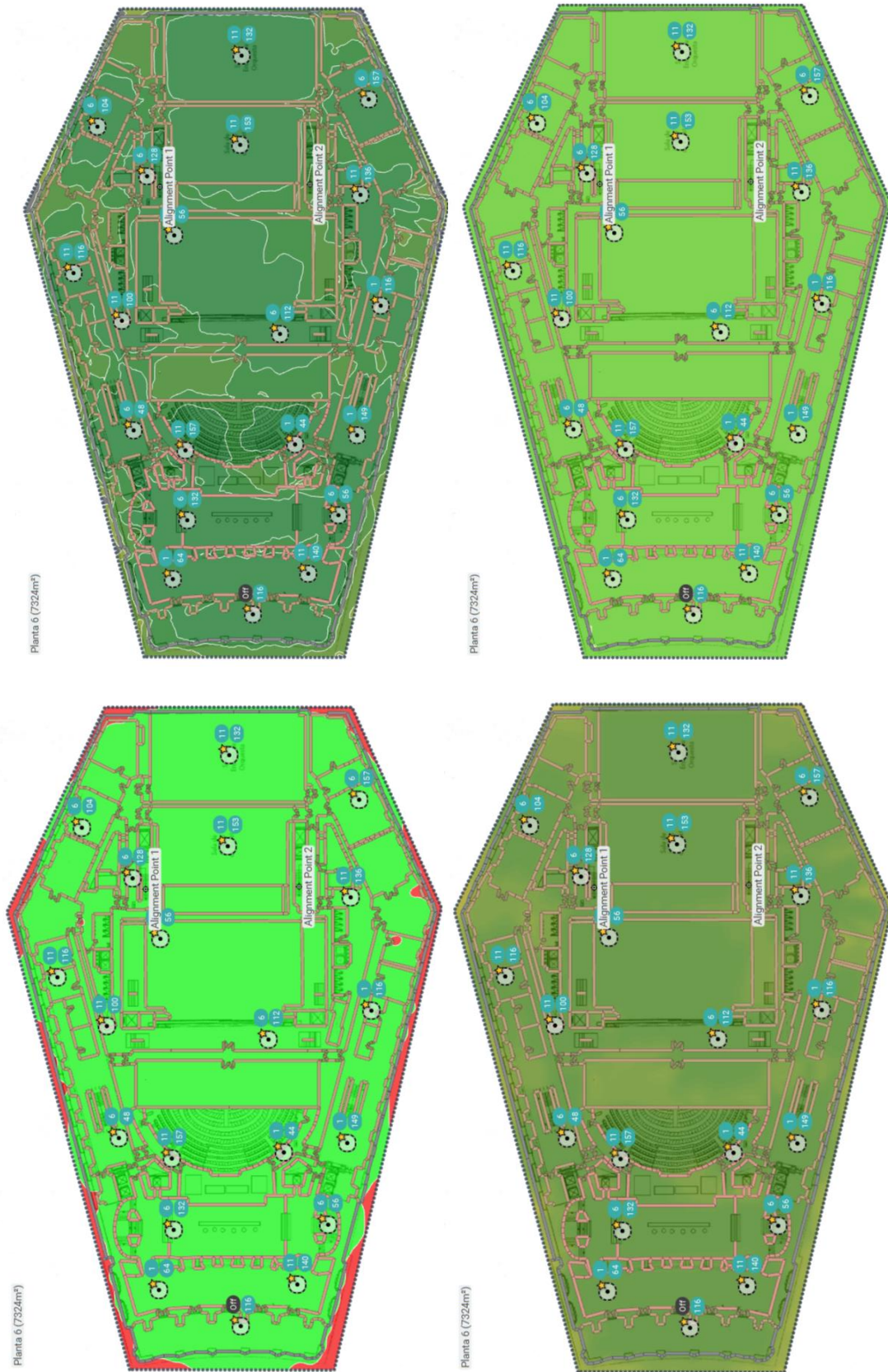


Figura 62. Planta 6: SNR, Interferencia de canal, Salud de la red y Data Rate (nivel básico)

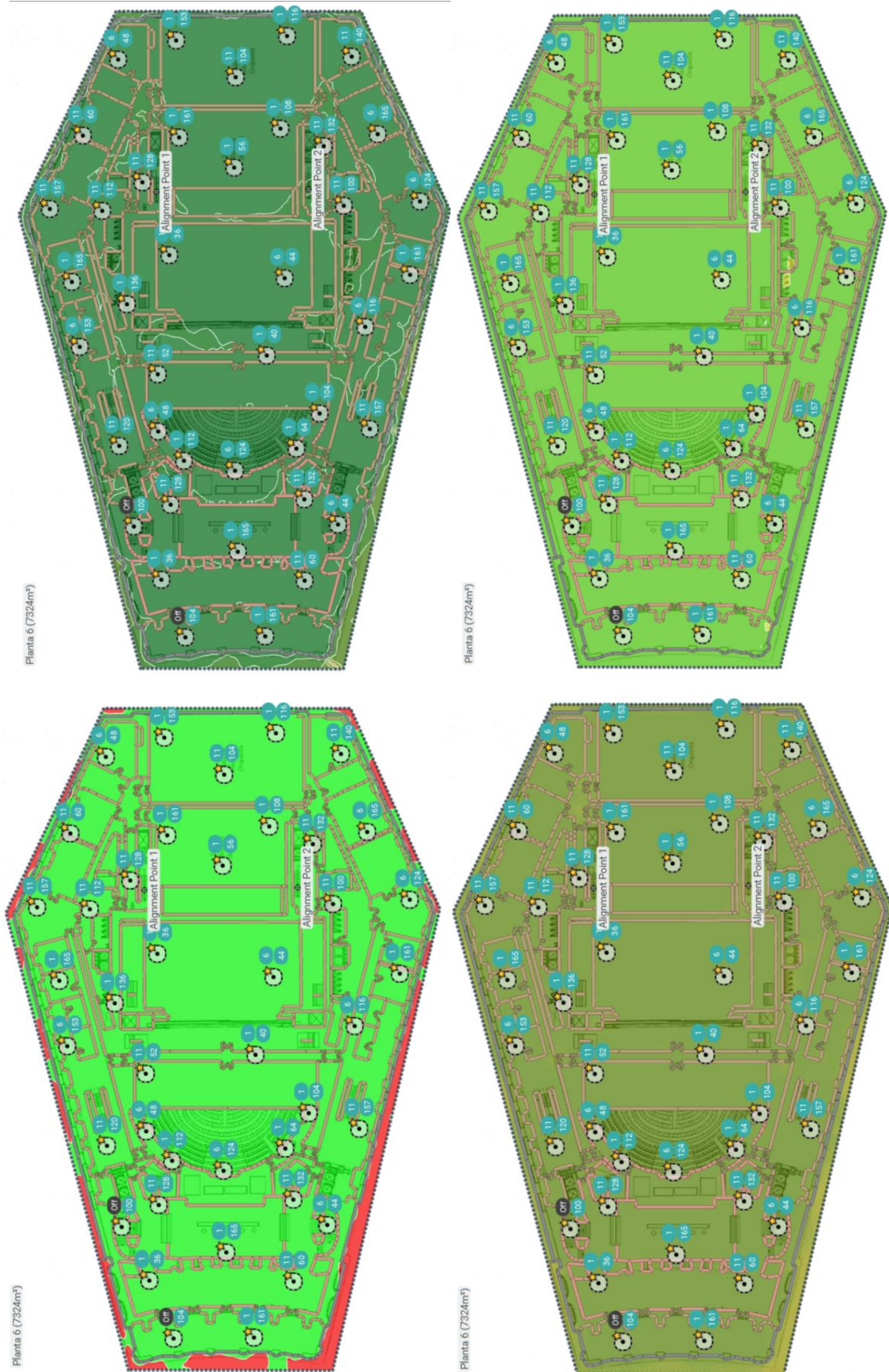


Figura 64. Planta 6: SNR, Interferencia de canal, Salud de la red y Data Rate (RTLS)

Se asegura conexión estable en toda la planta con una potencia mínima de -55 dBm, que supone una mejora considerable con respecto al nivel básico. Por otro lado, tanto en los valores de SNR como los de data rate se mantienen muy similares: 40 dB como mínimo de SNR y 285 Mbps de data rate en toda la planta. Con esto se consigue reducir las zonas de sombra en salas de ensayo de ballet, orquesta y músicos y se mejora la experiencia de las redes internas.

3. Aruba VHD Guideline

Considerando que los requisitos técnicos de alta densidad son mucho más exigentes que los del nivel básico se situarán más puntos de acceso en las zonas de paraíso y salas de ensayo para que la cobertura sea igual de uniforme que en RTLS. En este perfil también se han simulado numerosos APs, por lo que también se cumplirán los requerimientos holgadamente en zonas menos importantes como escaleras, aseos y pasillos.

Al estar más distribuidos los APs es más sencillo evitar las interferencias de canal incluso en la banda de 2,4 GHz, por eso apenas hay APs que tengan deshabilitada la radio asociada a esta banda.

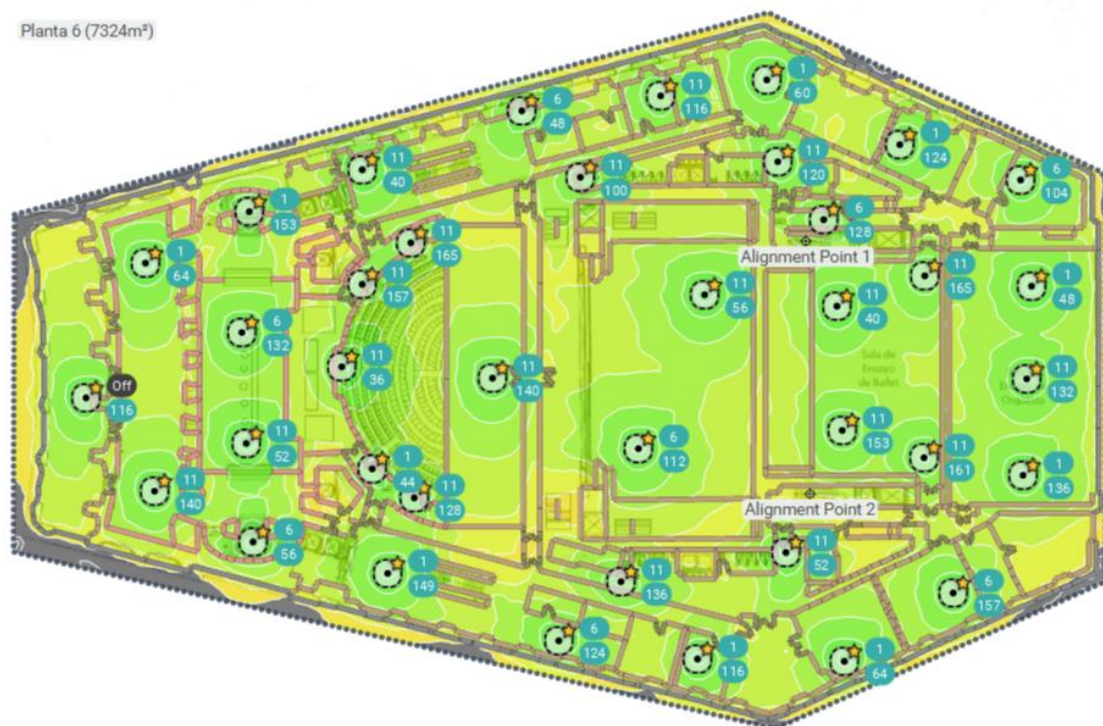


Figura 65. Planta 6: Potencia de la señal (alta densidad)

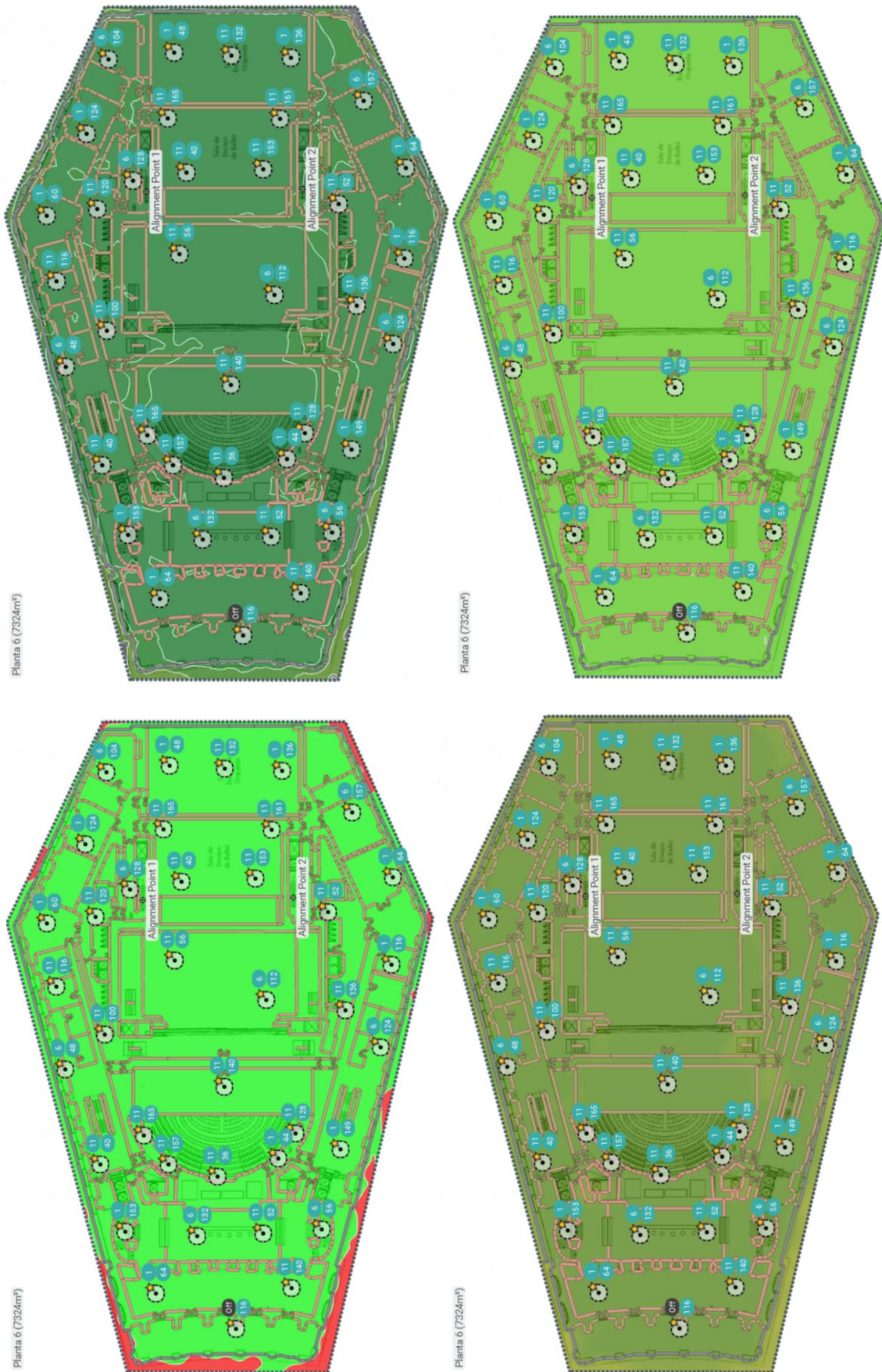


Figura 66. Planta 6: SNR, Interferencia de canal, Salud de la red y Data Rate (alta densidad)

Gracias al buen posicionamiento de los APs y la gran variedad de canales que existe entre unos y otros, se consiguen resultados como los mostrados en las *Figuras 65 y 66*: sin interferencias de canal y garantizando -57 dBm de potencia de señal, más de 40 dB de SNR y 257 Mbps de data rate en toda la planta.

También puede apreciarse que en los exteriores del teatro no se cumplen las condiciones de salud de la red. Puesto que son zonas externas al teatro no nos interesa cubrirlas.

5.5. Planta 8

1. Nivel básico

A medida que se van subiendo pisos la congestión de usuarios es menor porque empiezan a ubicarse las distintas salas de ensayo para los diferentes grupos de artistas que más tarde actuarán en los espectáculos que celebra el teatro. En el caso de la planta 8 es imprescindible cubrir únicamente la sala de ensayo de escena y la sala de ensayo de coro. A pesar de que hay más salas en este piso no se ha especificado qué hay concretamente en cada zona, por ello se cubrirán, pero no se les prestará tanta atención como a los dos espacios mencionados anteriormente. Como en los anteriores casos, se repositicionarán los APs correspondientes para que no haya lugar a interferencias.

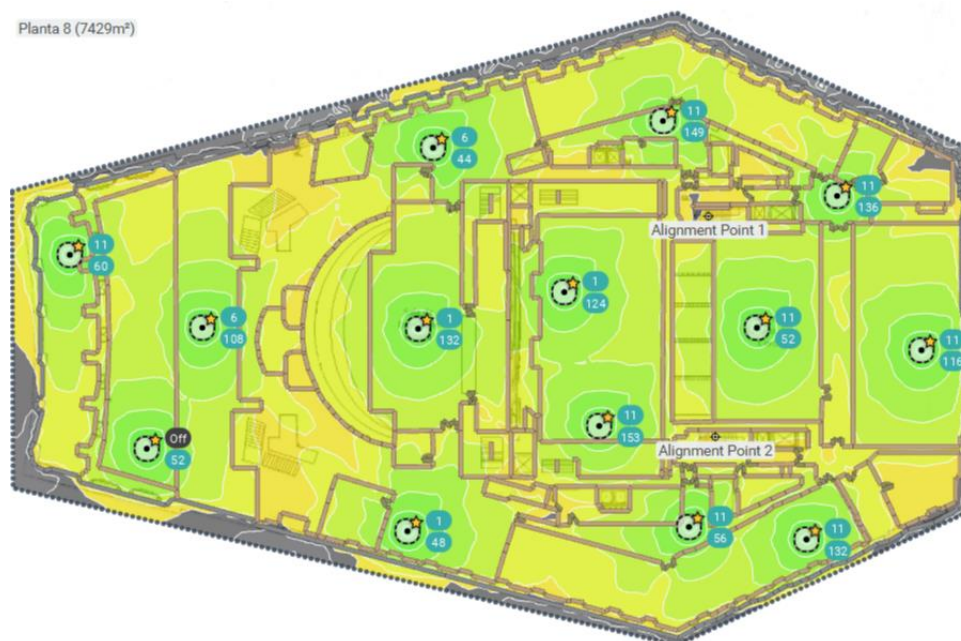


Figura 67. Planta 8: Potencia de la señal (nivel básico)

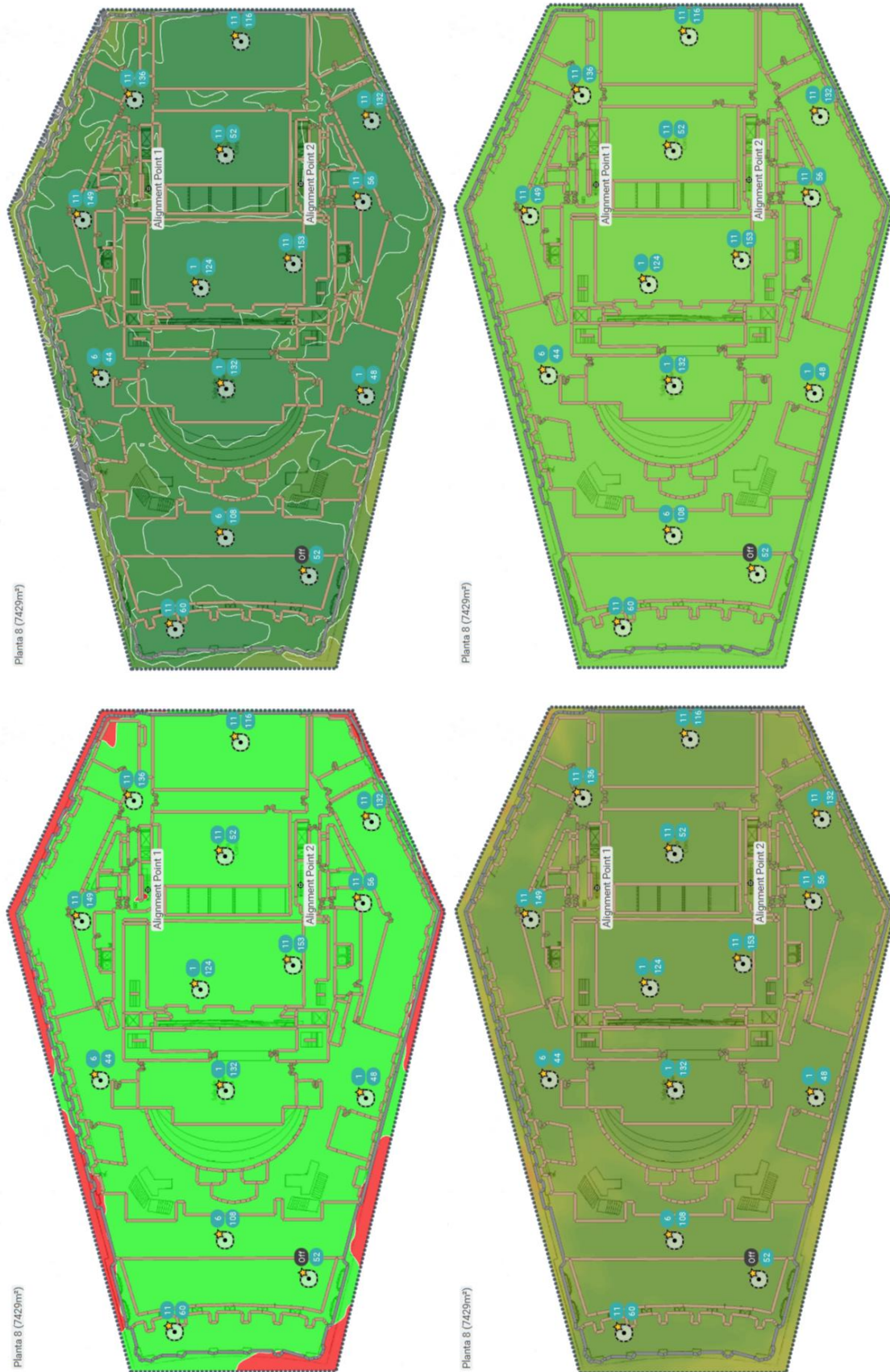


Figura 68. Planta 8: SNR, Interferencia de canal, Salud de la red y Data Rate (nivel básico)

Como se observa en las Figuras 67 y 68, los APs se han distribuido a lo largo de todo el espacio ocupado por la planta 8 de modo que habrá más distancia entre un punto de acceso y otro excepto entre la sala de ensayo de escena y la sala de ensayo de coro. En este habitáculo se han añadido los APs necesarios para que se puedan cubrir ambas zonas exitosamente de forma simultánea sin sobrecargarlas con APs adicionales. Se cumplen -63 dBm de potencia de la señal en zonas críticas de escaleras y -58 dBm en las salas de ensayo relevantes; 33dB de SNR en la zona de escaleras y hasta 48 dB en las salas de ensayo. Además, se verifica el requisito de data rate con un mínimo de 210 Mbps y un máximo de 300 Mbps.

Por otro lado, se puede seguir observando como en el mapa de “Salud de la red” los bordes del teatro aparecen en color rojo. Al igual que en los mapas de las plantas anteriores no supone un problema que no se cumpla esta condición en estas zonas porque está a las afueras del teatro.

2. RTLS

Inicialmente en este caso se posicionaron muchos APs en las paredes adyacentes a la calle en toda la planta. Aquí no es necesario que haya tantos puntos de acceso porque estos espacios son muy cercanos al exterior y no es de interés para este proyecto que la red Wi-Fi salga del teatro. Por ello, los APs se redistribuirán en zonas más céntricas y donde son imprescindibles, como en la sala de ensayos de escena y coro como se muestra en las Figuras 69 y 70.

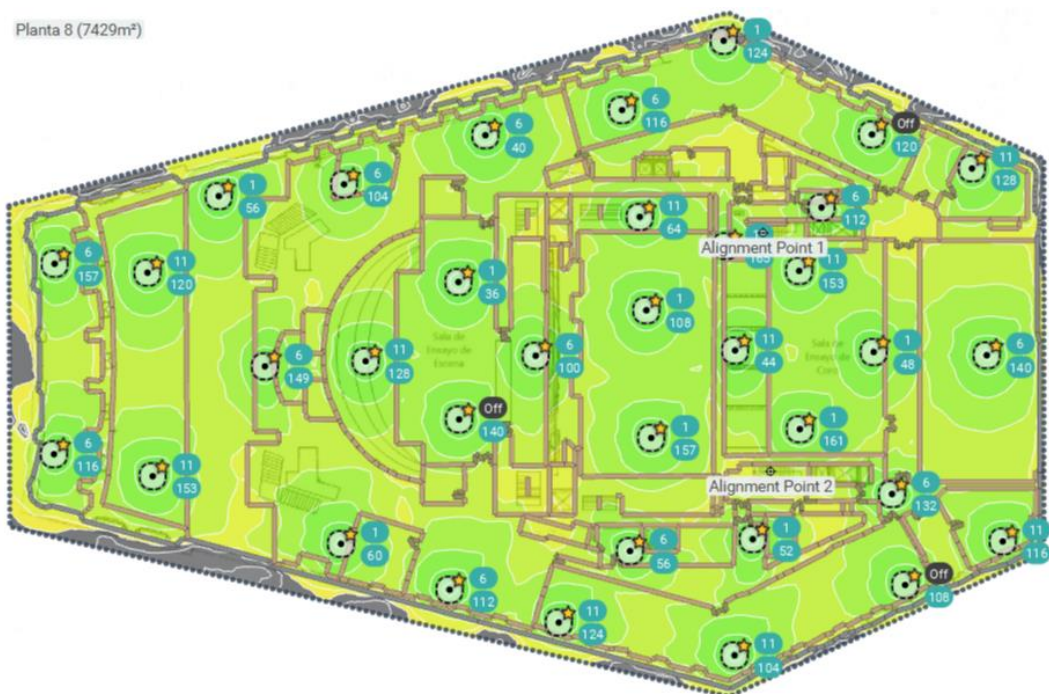


Figura 69. Planta 8: Potencia de la señal (RTLS)

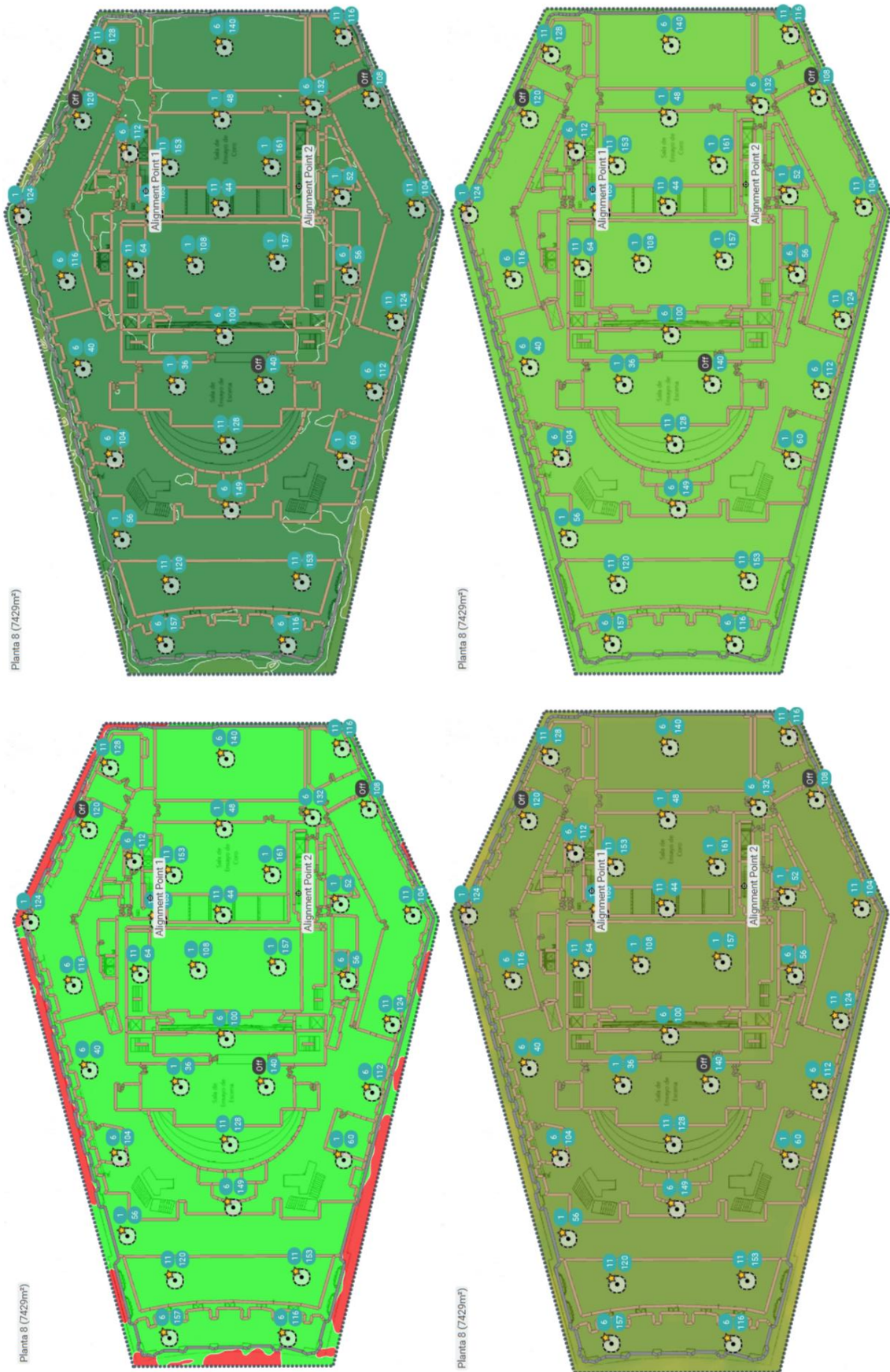


Figura 70. Planta 8: SNR, Interferencia de canal, Salud de la red y Data Rate (RTLS)

Los resultados obtenidos verifican -57 dBm de potencia de la señal. Aunque se hayan posicionados menos APs en esta planta que con respecto a otras plantas, se puede confirmar que RTLS sigue manteniendo buenos valores de potencia de señal. Además, también se siguen cumpliendo holgadamente los valores de SNR y data rate con una media de 44 dB y 285 Mbps sucesivamente.

3. Alta densidad

Para la simulación de alta densidad en esta planta se seguirá el mismo método que para los otros perfiles de simulación, se redistribuirán los APs. Aunque este perfil de simulación ya ubica de forma óptima los puntos de acceso es conveniente que las salas de ensayo estén bien cubiertas, de modo que se han reubicado en estos espacios algunos APs que estaban posicionados en las escaleras puesto que estas no son zonas tan relevantes como las áreas de ensayo.

De este modo puede verse la nueva distribución de APs y las condiciones que se cumplen en esta planta en los mapas de calor mostrados en las *Figuras 71 y 72*.

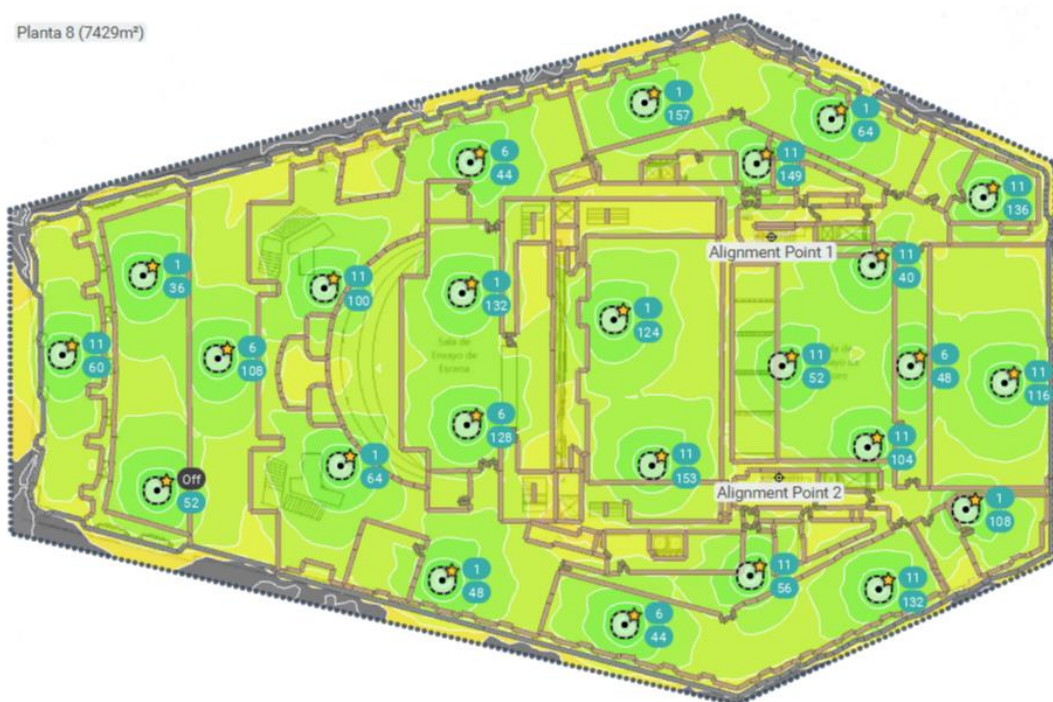


Figura 71. Planta 8: Potencia de la señal (alta densidad)

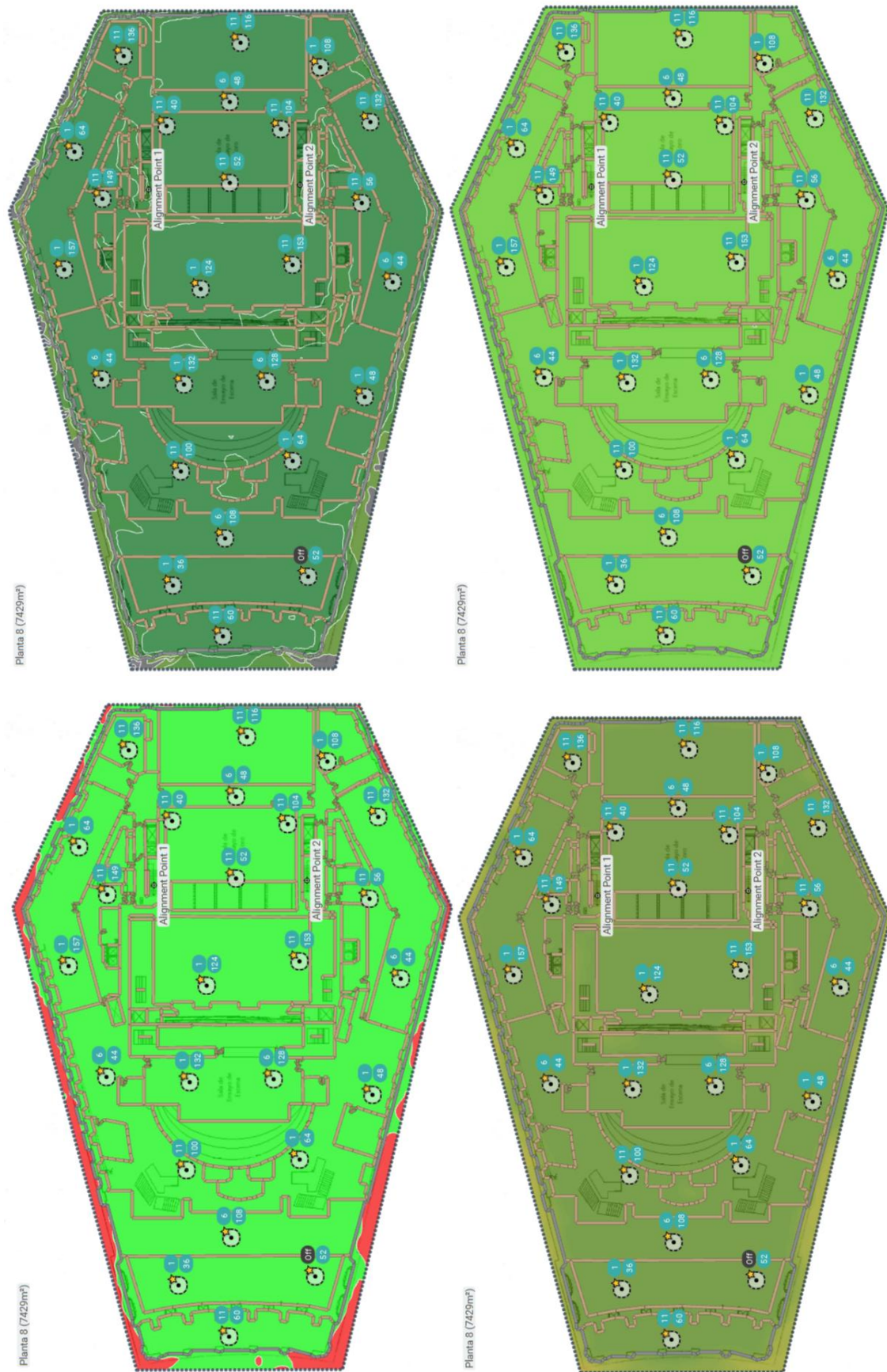


Figura 72. Planta 8: SNR, Interferencia de canal, Salud de la red y Data Rate (alta densidad)

Con esta nueva distribución las interferencias de canal son nulas en ambas bandas dado que al haber menos puntos de acceso y estar mucho más separados es más difícil que los 3 canales de la banda de 2,4 GHz se superpongan o que coincidan en la banda de 5 GHz dada la gran diversidad de canales que existen en esta.

Además, al problema de la salud de la red ya existente desde plantas anteriores en los bordes del teatro se suma una disminución de la velocidad de los datos en las mismas zonas. Sin embargo, mientras las condiciones de data rate se cumplan en el interior del teatro la simulación se considera correcta.

Se garantizan valores de más de 40 dB para el parámetro de SNR y alrededor de 287 Mbps de data rate, los cuales son muy favorables y cumplen con creces los requisitos de conectividad.

5.6. Planta 9

1. Nivel básico

En la planta 9 se ubica la sala Gayarre, un pequeño auditorio con capacidad para 190 personas, por lo que la concurrencia de usuarios en esta planta será muy baja comparada con cualquier la de las plantas anteriores. Además de los usuarios que visitarán la sala Gayarre también habrá trabajadores distribuidos a lo largo de la planta 9, pero los usuarios totales seguirán sin exceder los 220 dispositivos, por lo que se distribuirán los APs existentes a lo largo de toda el área de este piso sin necesidad de sobrecargarla.

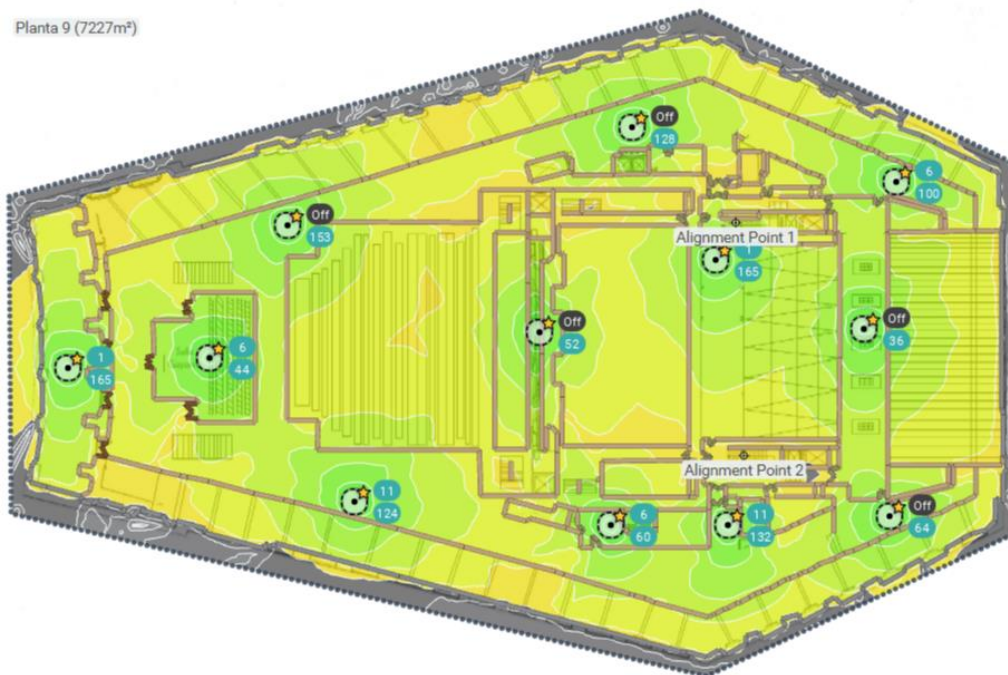


Figura 73. Planta 9: Potencia de la señal (nivel básico)

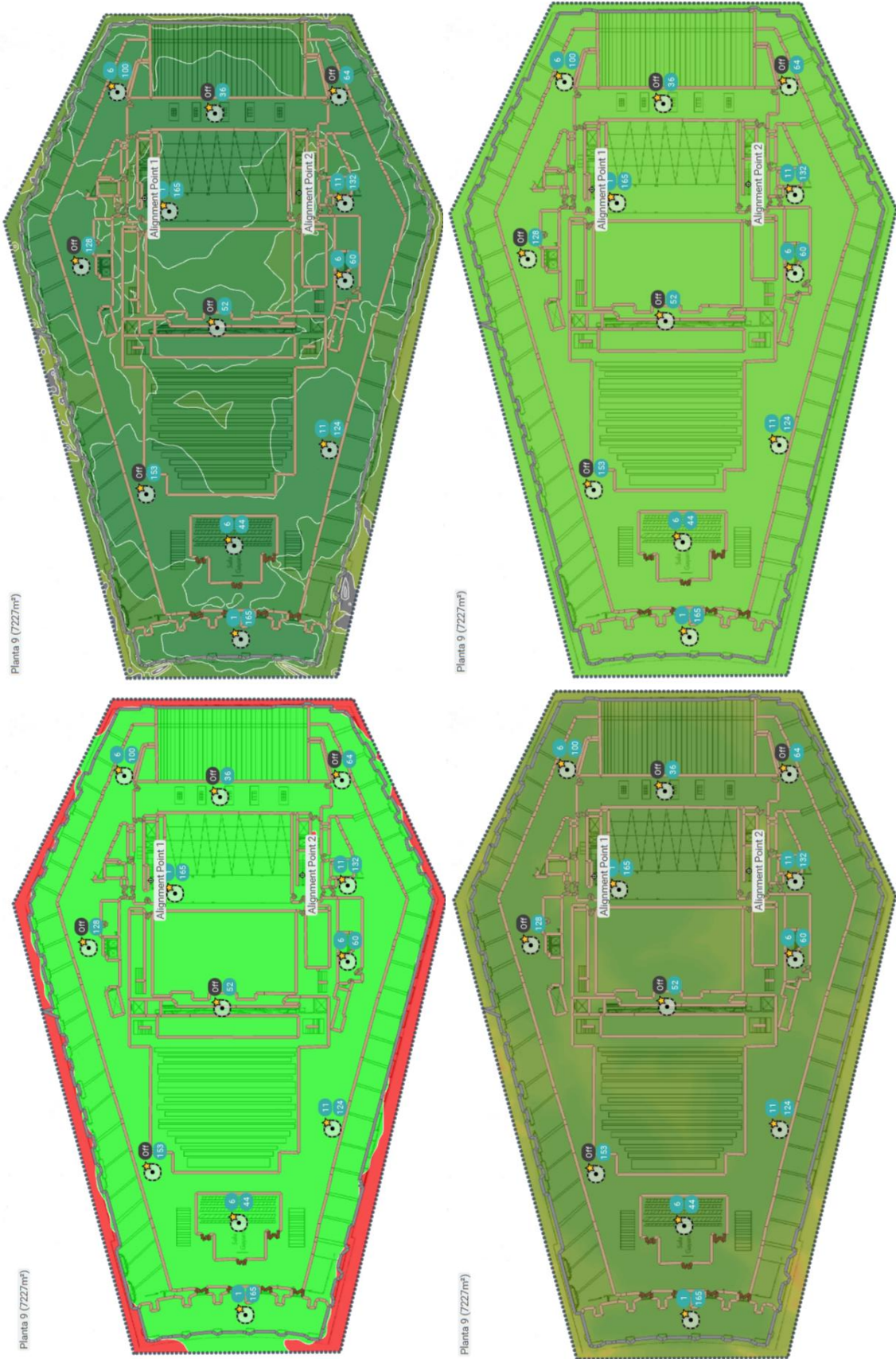


Figura 74. Planta 9: SNR, Interferencia de canal, Salud de la red y Data Rate (nivel básico)

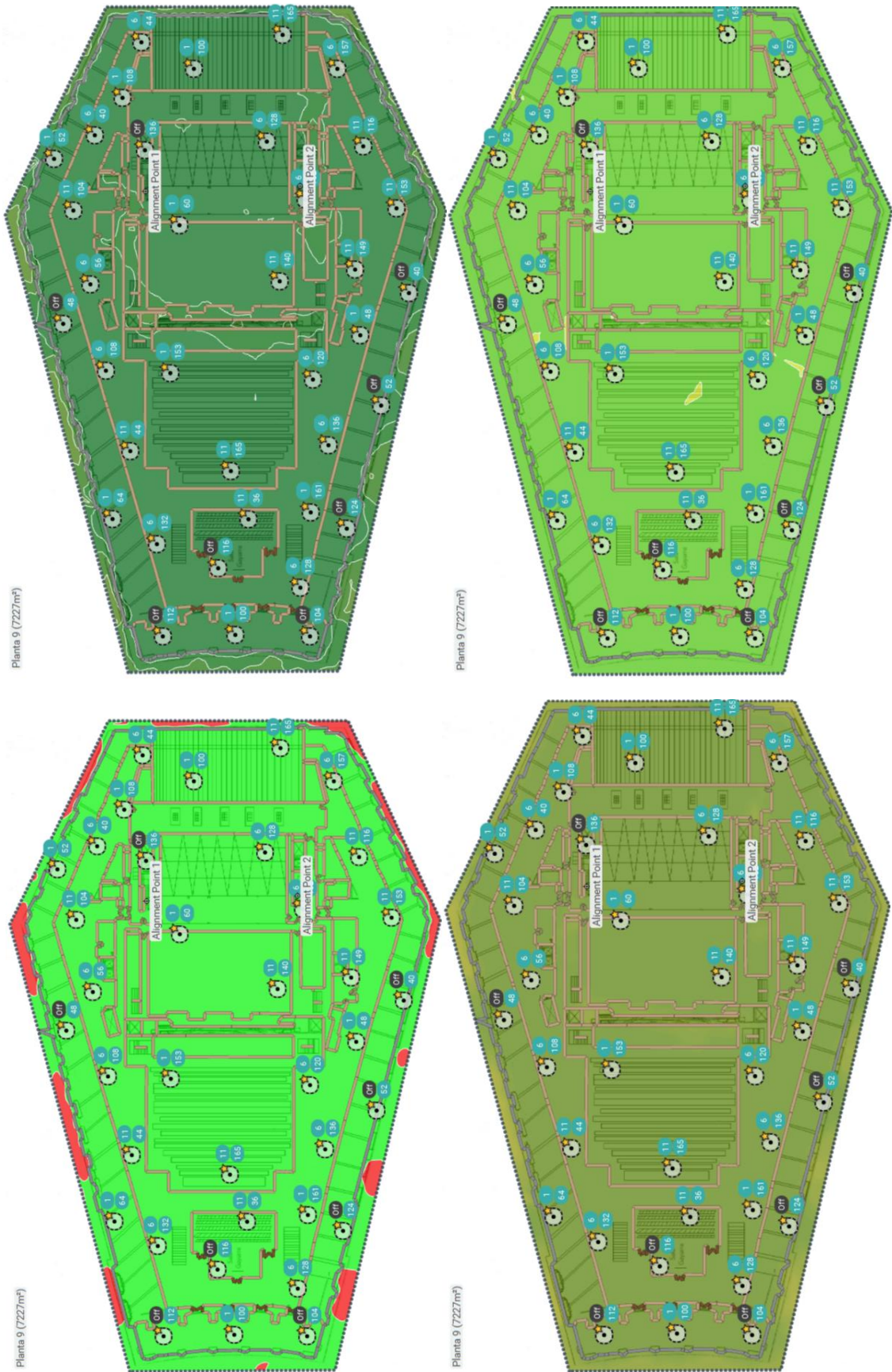


Figura 76. Planta 9: SNR, Interferencia de canal, Salud de la red y Data Rate (RTLs)

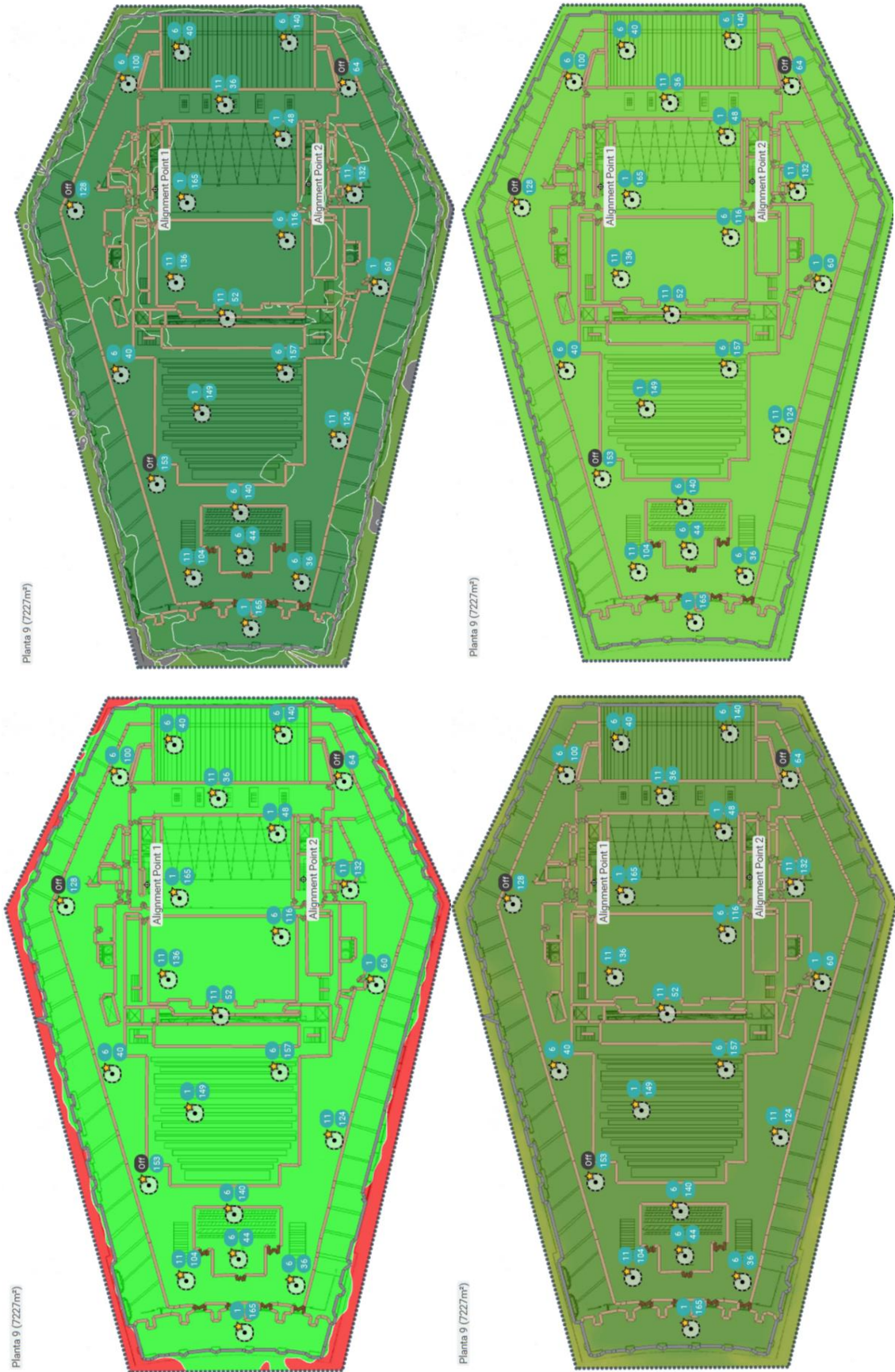


Figura 78. Planta 9: SNR, Interferencia de canal, Salud de la red y Data Rate (alta densidad)

Gracias a la posición estratégica en la que se sitúa cada AP se tienen valores satisfactorios de SNR y data rate, siendo estos de 44 dB y 285 Mbps sucesivamente, tal y como se aprecia en la *Figura 78*. Para esta planta la simulación de alta densidad es la más adecuada de todas puesto que genera el número de APs suficientes para que la conectividad sea precisa y se tenga una red robusta sin interferencias de canal.

5.7. Planta -1

1. Nivel básico

Las plantas subterráneas están dedicadas principalmente a realizar trabajos internos del teatro. En la planta -1 se ubica la zona de carga representada en el lateral derecho del mapa de calor de la *Figura 79*. Seguidamente se encuentra la entrada del personal junto con los camerinos de ballet justo en la esquina superior izquierda de la zona de carga. Estas son las zonas que nos interesa cubrir principalmente, aunque en el resto de las salas habrá más personal puesto que esta planta está repleta de talleres.

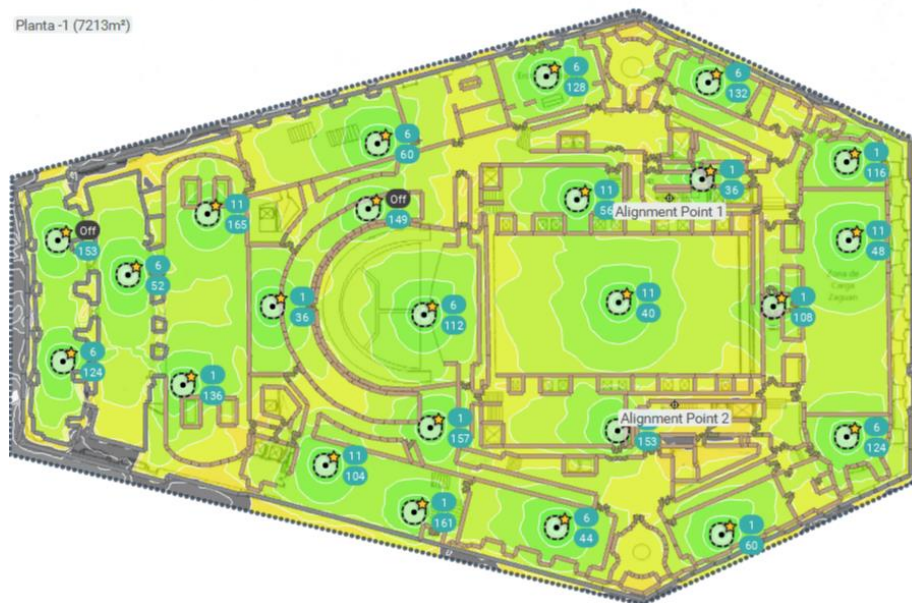


Figura 79. Planta -1: Potencia de la señal (nivel básico)

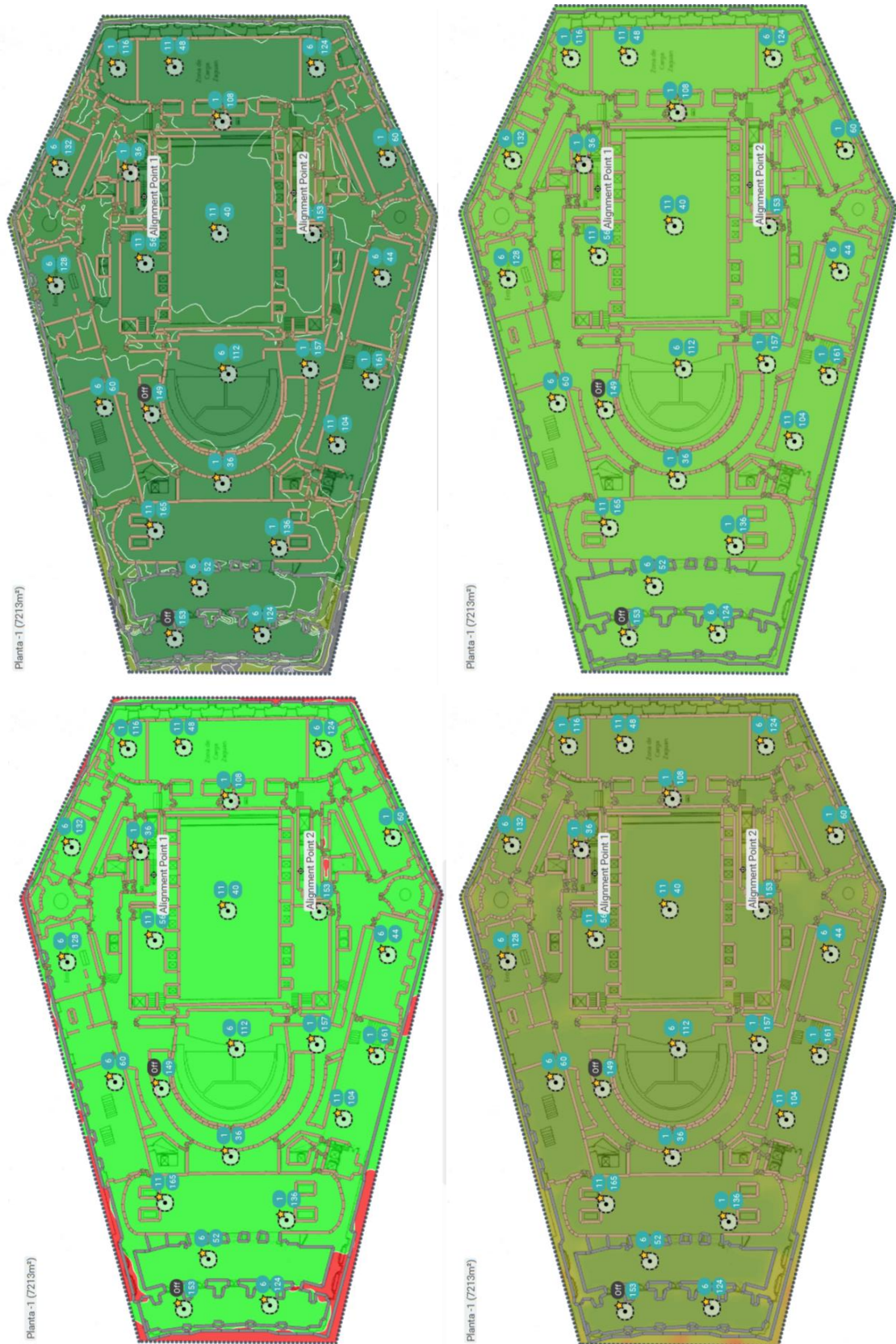


Figura 80. Planta -1: SNR, Interferencia de canal, Salud de la red y Data Rate (nivel básico)

En esta planta se ha tenido que modificar la posición de los APs existentes para poder cubrir con éxito todo el espacio de la planta -1. Se asegura el mínimo de potencia de la señal a -60 dBm.

Además, por lo observado en la *Figura 80*, con estas condiciones se tienen 37 dB de SNR en el caso menos satisfactorio y un rango de 230-300 Mbps de data rate. Por lo general la condición de salud de la red es buena y las interferencias de canal son nulas.

2. RTLS

Como RTLS es el perfil que genera más APs, habrá una gran concentración de estos en todas las salas y pasillos, por lo que lo esperable es que los resultados cumplan con creces los requerimientos técnicos, incluidas las zonas menos concurridas como las escaleras o los pasillos.

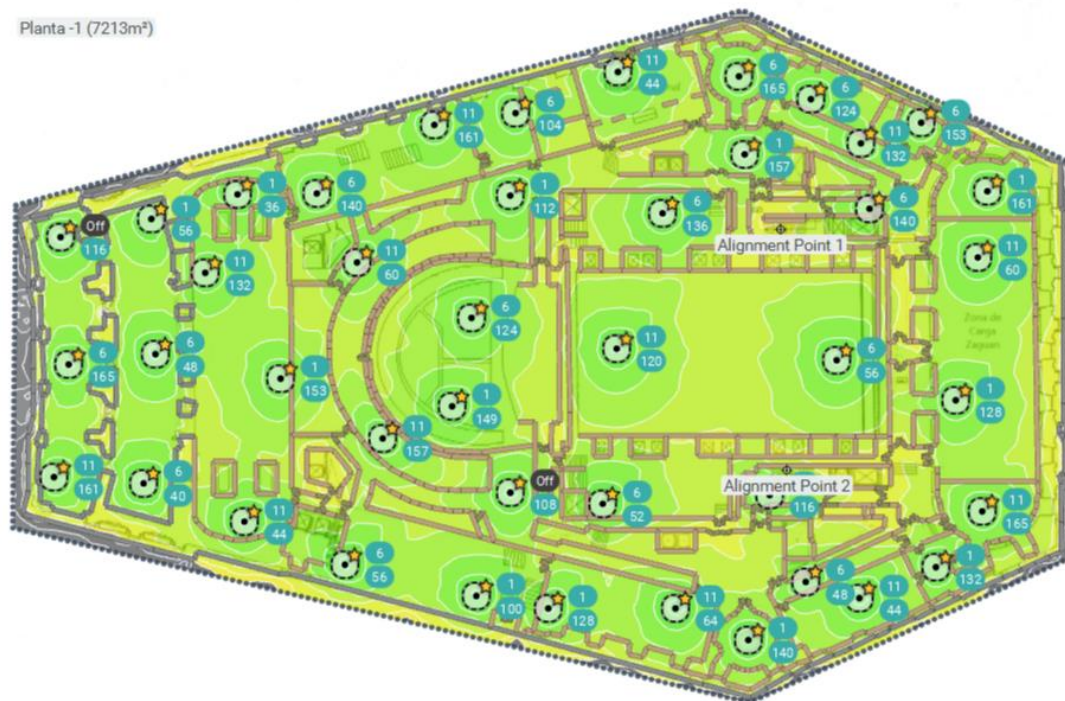


Figura 81. Planta -1: Potencia de la señal (RTLS)

Según lo representado en la *Figura 81*, la potencia de la señal ofrece un mínimo de -50 dBm para toda el área ocupada por la planta -1, siendo el máximo de -45 dBm.

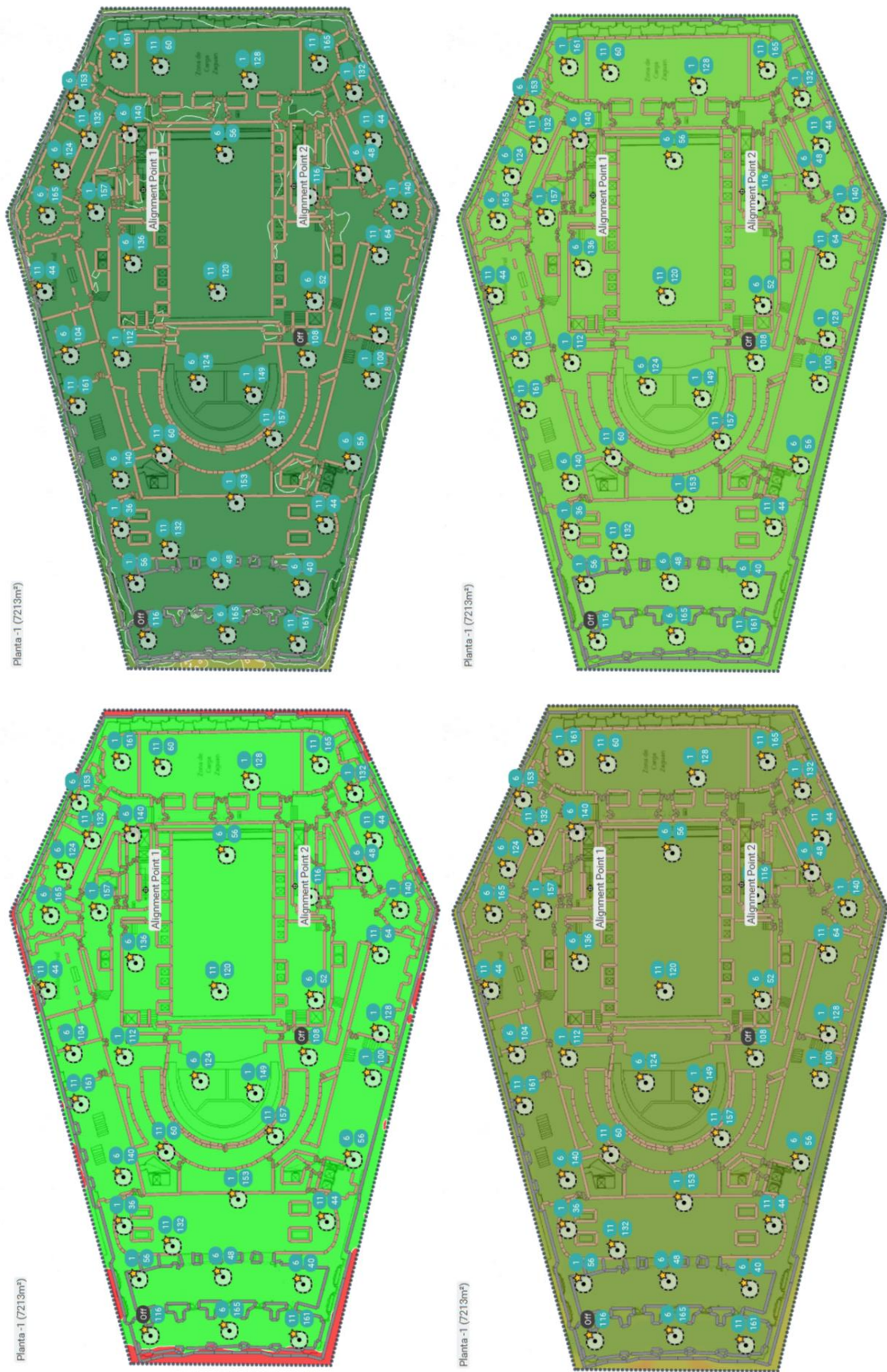


Figura 82. Planta -1: SNR, Interferencia de canal, Salud de la red y Data Rate (RTLs)

En la *Figura 82* se puede verificar que la relación de señal a ruido cumple con los requisitos siendo esta superior a 42 dB. Además, no existen interferencias de canal porque se ha calculado meticulosamente el canal en el que tiene que trabajar cada AP para que no haya superposición entre ellos.

En la misma figura se verifica una buena salud de la red puesto que existen más APs y se cubren todas las zonas necesarias del teatro. Para la velocidad de los datos se aseguran de media 285 Mbps.

3. Alta densidad

Con las condiciones de alta densidad iniciales en esta planta hay zonas que quedan fuera del alcance de la red, por lo que ha sido estrictamente necesario añadir algunos APs para evitar este problema. Además, se reubicarán puntos de acceso para que se dé una conexión uniforme por toda la planta.

Según la *Figura 83* insertada a continuación, el valor mínimo de potencia de la señal se establece en -57 dBm para las zonas más críticas y el máximo supera los -40 dBm.

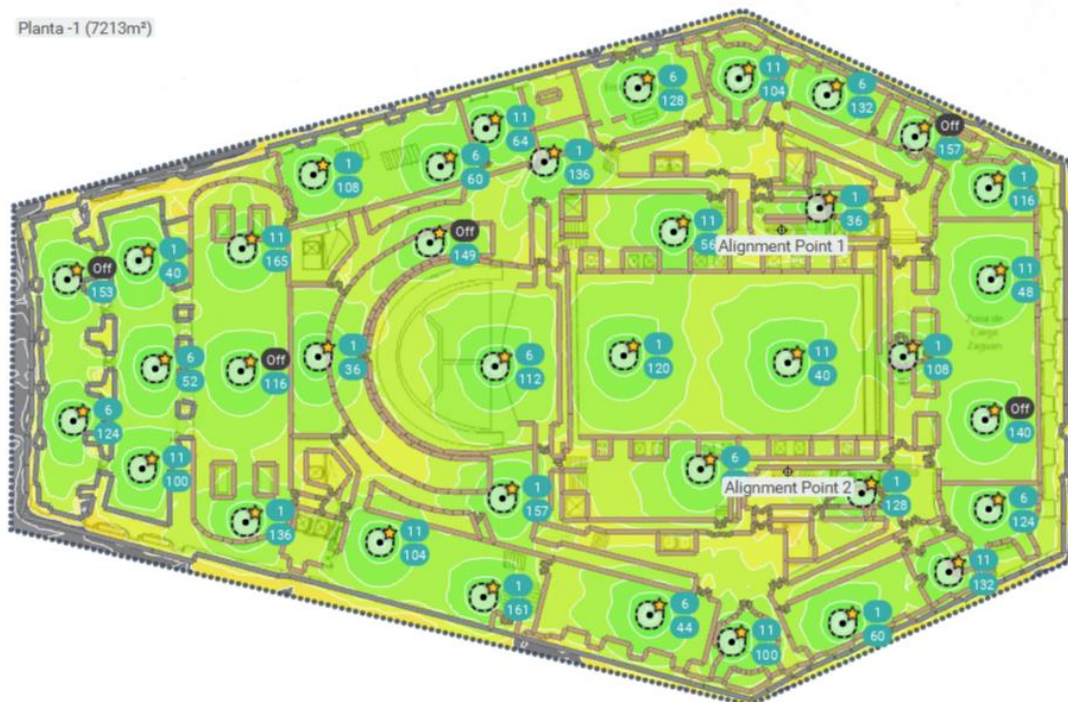


Ilustración 83. Planta -1: Potencia de la señal (alta densidad)

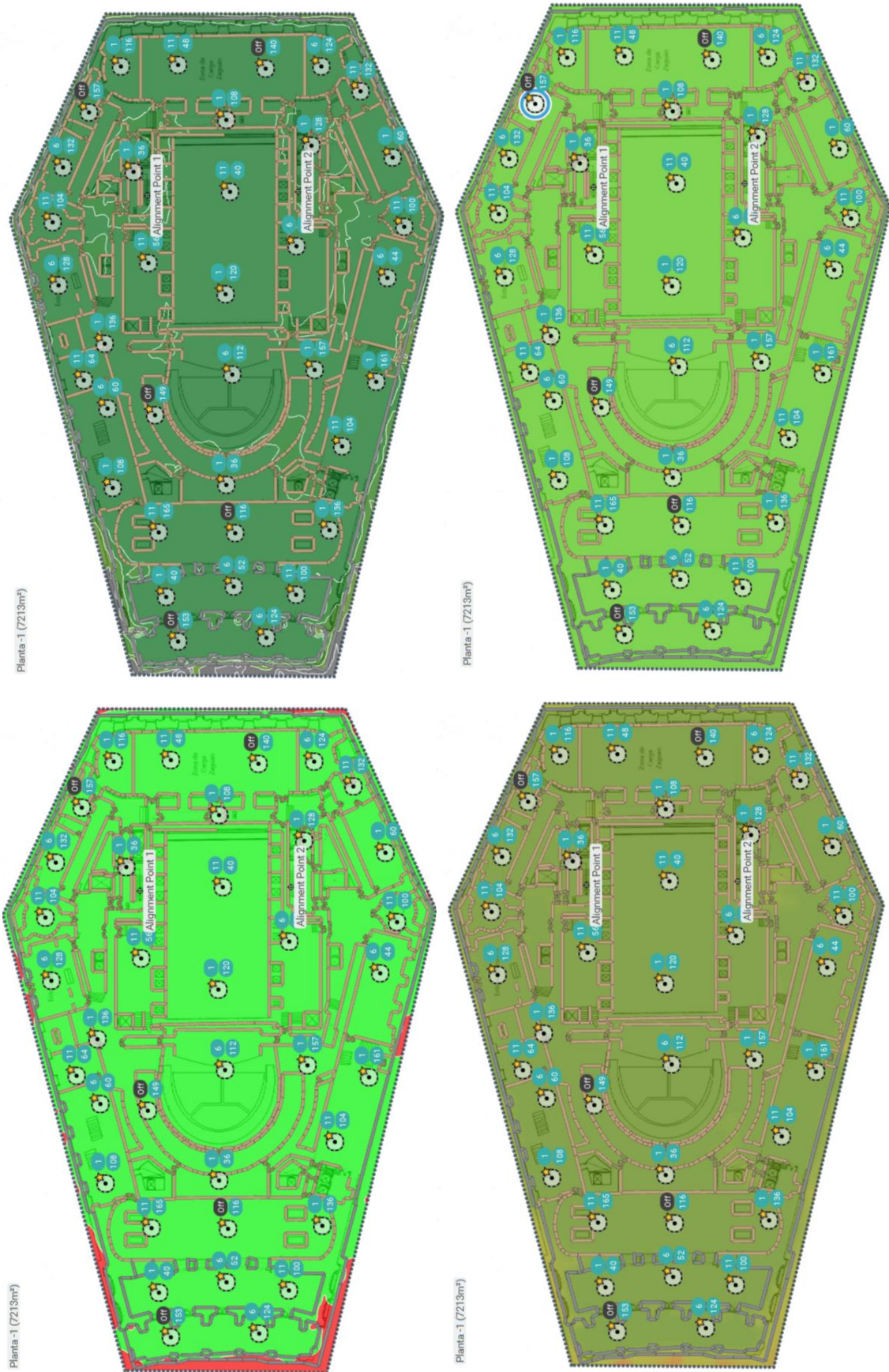


Figura 84. Planta -1: SNR, Interferencia de canal, Salud de la red y Data Rate (alta densidad)

Tras cambiar la distribución de los APs a las zonas de interés se garantizan 43 dB de SNR y entre 285 Mbps y 300 Mbps de data rate tal y como se indica en la *Figura 84*.

5.8. Planta -2

1. Nivel básico

La planta -2, al igual que la planta -1, también es un área dedicado-única y exclusivamente a los trabajadores del Teatro Real. Es una zona de talleres donde se construye y prepara la puesta en escena de los espectáculos, pero también es donde está ubicado el servicio médico. Para llevar a cabo las modificaciones en esta planta se tendrá en cuenta la misma lógica que se aplicó en la planta -1.

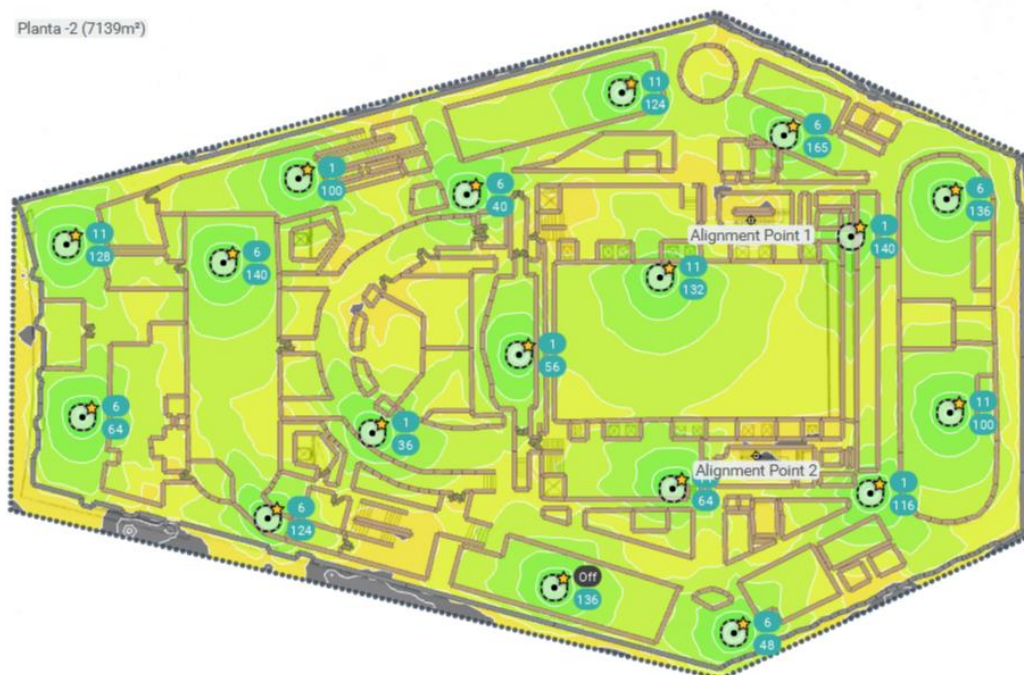


Figura 85. Planta -2: Potencia de la señal (nivel básico)

En la *Figura 85* se muestra como con la nueva disposición de APs hay conectividad en toda la planta -2 a pesar de que las zonas a -60 dBm son muy abundantes. No supone ningún problema porque la mayoría de estas zonas son pasillos y escaleras que conectan una planta con otra.

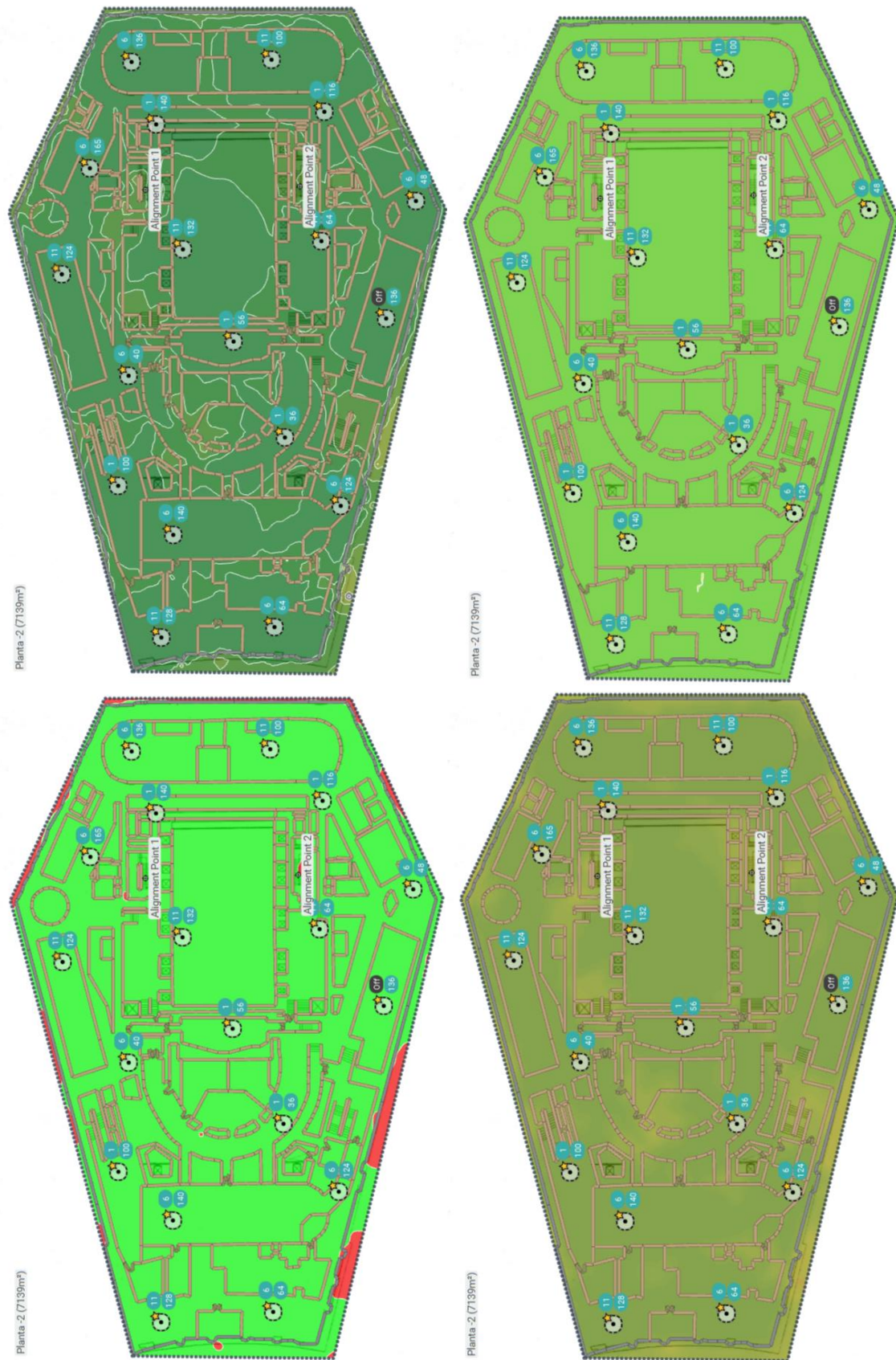


Figura 86. Planta -2: SNR, Interferencia de canal, Salud de la red y Data Rate (nivel básico)

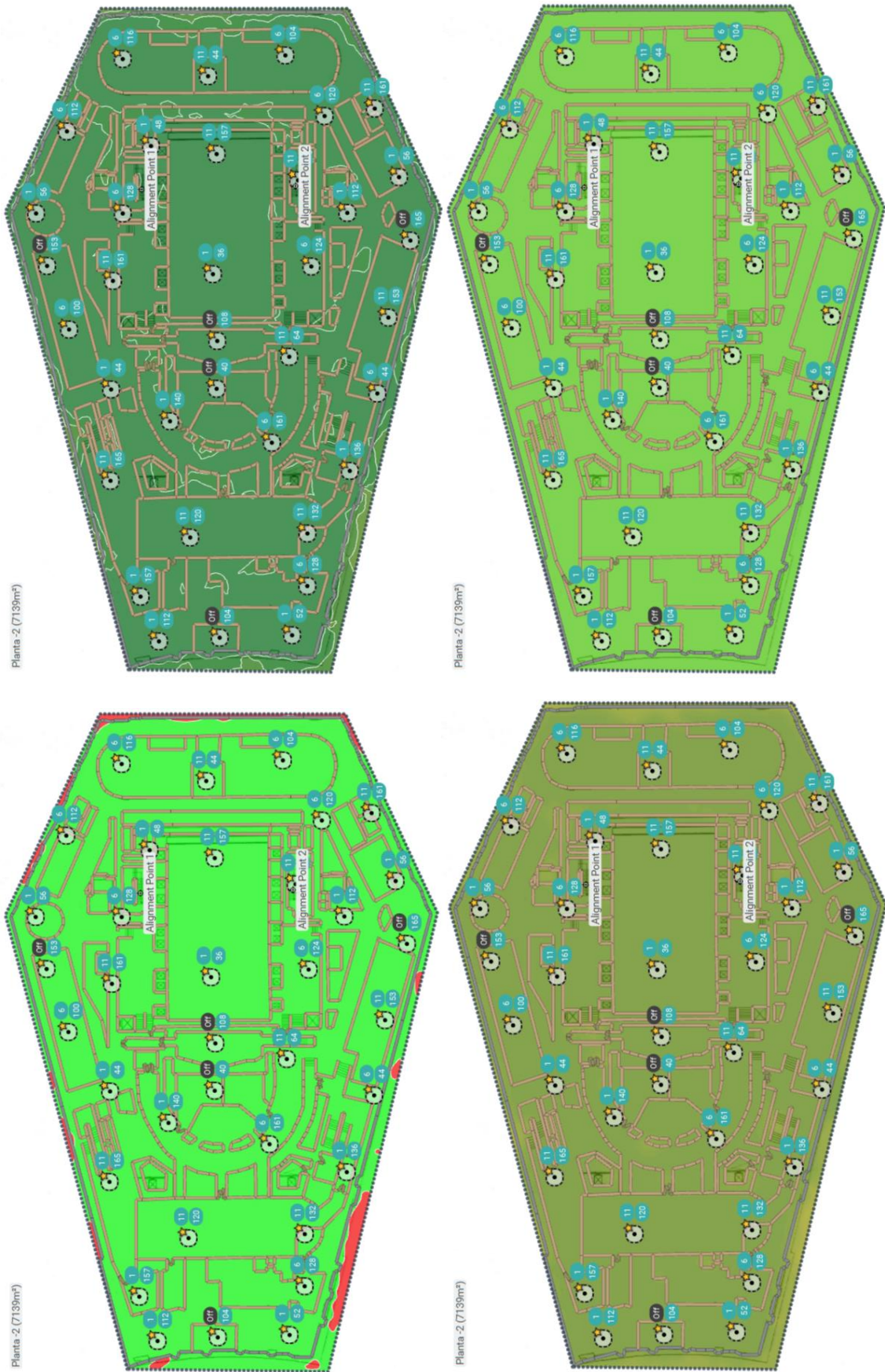


Figura 88. Planta -2: SNR, Interferencia de canal, Salud de la red y Data Rate (RTLs)

Los resultados de las Figuras 87 y 88 indican que, como se había predicho, el valor mínimo de potencia esperado en la planta -2 es de -52 dBm en las zonas más restrictivas como escaleras. Al estar tan juntos unos APs de otros la velocidad de datos media de la planta se establece alrededor de 282 Mbps. El parámetro de SNR será muy uniforme a lo largo de toda el área abarcada y oscilará entre 42 y 47 dB.

En cuanto a términos de salud e interferencias de canal, la red se muestra gran robustez sin presentar ningún problema.

3. Alta densidad

En esta última simulación también se han generado muchos APs, de modo que se ha reubicado la posición de algunos de ellos. Se ha decidido concentrar más puntos de acceso en las zonas dedicadas camerinos de orquesta, servicio médico y cantina. Todas estas salas están situadas del centro hacia la izquierda del mapa.

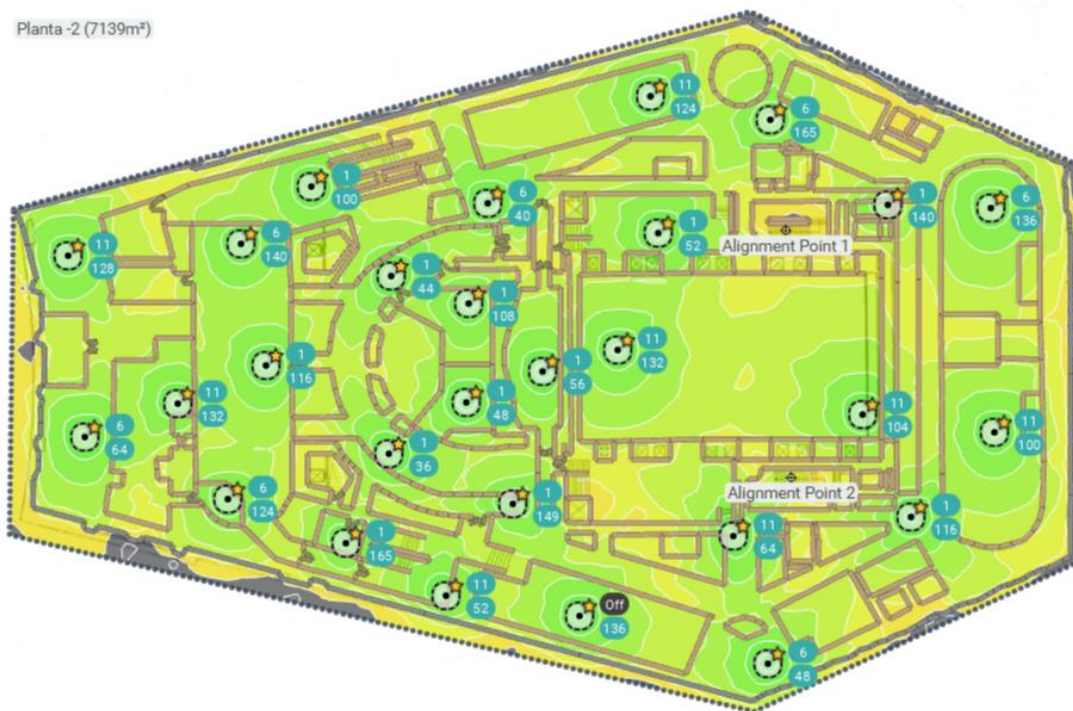


Figura 89. Planta -2: Potencia de la señal (alta densidad)

En esta sala se ha dejado por defecto el número de APs que genera el simulador de Autoplanner, aunque no es necesario que existan tantos APs en esta planta para cubrir todo el espacio que ocupa.

Como se verifica en la Figura 89 la potencia de la señal oscila entre -60 dBm y -53 dBm. En las zonas de interés la potencia de la señal está alrededor de los -55 dBm por lo que la conexión en estos espacios será satisfactoria.

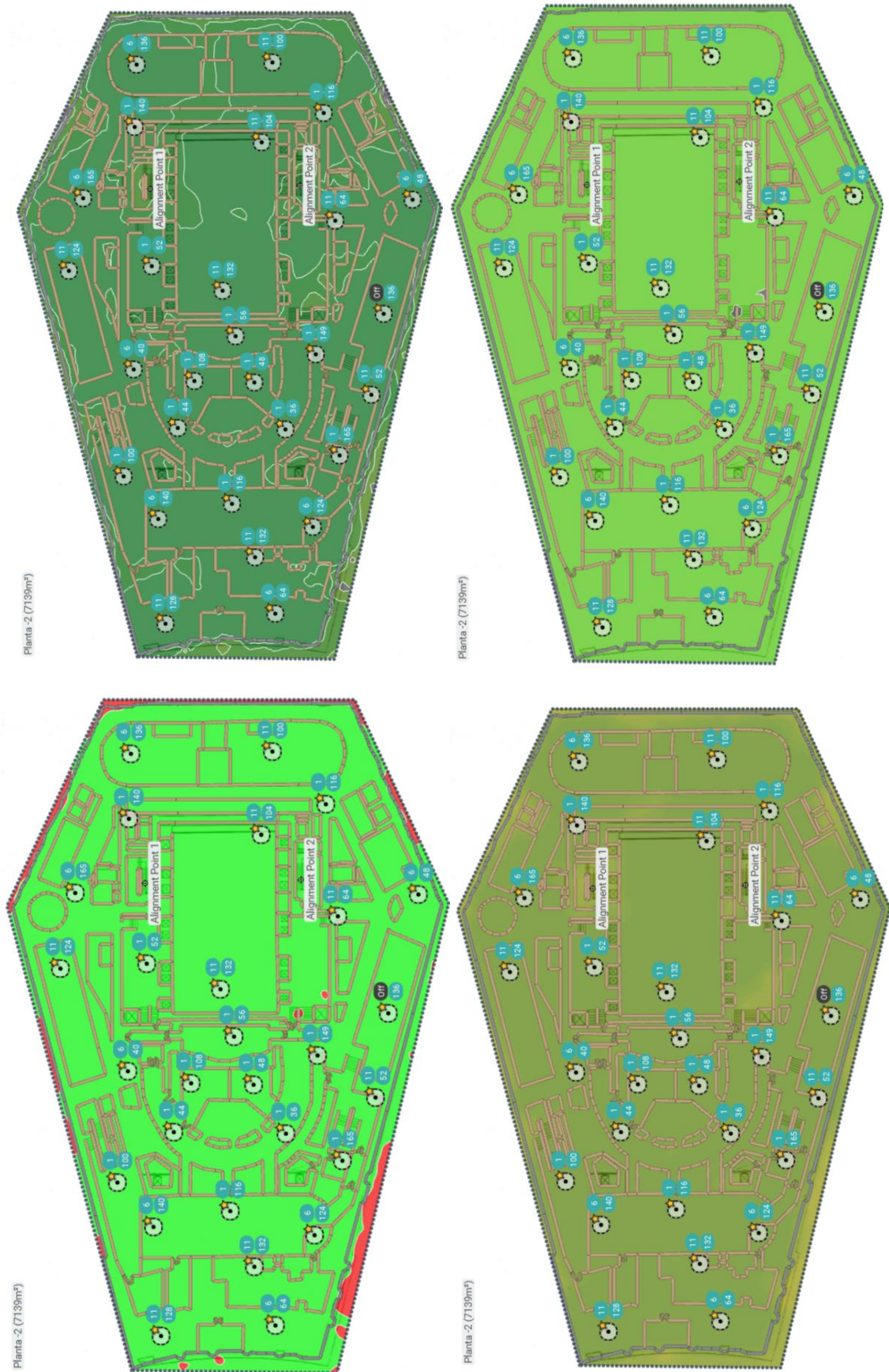


Figura 90. Planta -2: SNR, Interferencia de canal, Salud de la red y Data Rate (alta densidad)

Con los resultados obtenidos en la *Figura 90* se garantiza una SNR superior a 44 dB en el peor de los casos y alrededor de 285 Mbps de data rate de forma genérica. Los usuarios podrán conectarse de forma exitosa a la red en esta planta dado que la salud de la red pasa todos los requisitos y además no existen interferencias de canal entre los distintos APs.

5.9. Resumen comparativo de APs

Para completar el análisis de los resultados obtenidos en el apartado anterior, se añade a continuación una tabla resumen de la cantidad de puntos de acceso que se distribuyen en total por cada una de las plantas simuladas para cada uno de los perfiles seleccionados.

Tabla 7. Resumen comparativo de APs resultantes

Planta	Simulación	Número de APs
-2	Nivel básico	18
	RTLS	36
	Alta densidad	28
-1	Nivel básico	24
	RTLS	47
	Alta densidad	37
0	Nivel básico	30
	RTLS	51
	Alta densidad	43
1	Nivel básico	27
	RTLS	50
	Alta densidad	38
2	Nivel básico	26
	RTLS	61
	Alta densidad	47
6	Nivel básico	20
	RTLS	37
	Alta densidad	38
8	Nivel básico	14
	RTLS	34
	Alta densidad	25
9	Nivel básico	12
	RTLS	35
	Alta densidad	23

En total se han simulado 171 APs en el nivel básico, 351 en RTLS y 279 en el perfil de alta densidad. Estos resultados son coherentes para los escenarios que simula cada uno de los perfiles.

6. Presupuesto

Tras el estudio de la distribución de la red WiFi visto anteriormente, se puede realizar un desglose del coste que podría implicar este proyecto teniendo en cuenta tanto materiales como mano de obra y utilizando el modelo de alta densidad.

Tabla 8. Desglose del presupuesto de suministro, instalación y puesta en marcha

Elementos	Unidades	Valor	Total
Access Point: TP-Link EAP660 HD [22]	279	246,04€	68.645,16€
PoE Switch: TP-Link TL-SG3428XMP [23]	20	465,18€	9.303,6€
JetStream Switch: TP-Link TL-SG3428X [24]	2	260,94€	521,88€
VPN Router: TP-Link TL-ER7206 [25]	1	139,90€	139,90€
Controladora: TP-Link Omada OC300 [26]	1	195,05€	195,05€
Pequeño material	-	-	2.426,81€
Cableado	-	-	5.420€
Partida de instalación			5.000€
Técnicos de instalación de la red	168 horas	30€/hora	5.040€
Jefe de montaje	168 horas	49,45€/hora	8.307,6€
			105.000€

Tabla 9. Desglose de costes de ingeniería

Labores de ingeniería	Tarea	Unidades	Valor	Total
Ingeniero	Estudio de las instalaciones y diseño de la red WiFi	400 horas	78,84€	31.536€
Licencia Ekahau	-	1	4.900€	4.900€
Ordenador	-	1	90€	90€
				36.526€

De tal modo que si sumamos el importe total de cada uno de los desgloses se puede determinar que el proyecto tendrá un coste de 141.526€.

7. Impacto del Proyecto

La implementación de una red WiFi de alta calidad en el Teatro Real de Madrid no solo es un avance tecnológico, sino que también tiene un impacto significativo en diversos aspectos sociales, de salud, económicos, ambientales y tecnológicos. Este proyecto, además, está alineado con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) establecidos por la ONU [27], entre los cuales se incluyen:

- **ODS 8: Trabajo decente y crecimiento económico**, impulsando el empleo y el crecimiento en la industria tecnológica.
- **ODS 9: Industria, Innovación e Infraestructura**, mejorando la infraestructura tecnológica y promoviendo la innovación en el sector cultural
- **ODS 10: Reducción de las desigualdades**, facilitando el acceso igualitario a la cultura y la información
- **ODS 12: Producción y consumo responsables**, fomentando el uso responsable de los recursos tecnológicos y reduciendo el impacto ambiental.



Figura 91. Objetivos de Desarrollo Sostenible [27]

Estos objetivos se sitúan en los siguientes ámbitos:

1. **Ámbito Social:** El acceso a Internet ha transformado nuestra forma de interactuar con la cultura, y en el caso del Teatro Real, una red WiFi de alta capacidad no solo mejora la experiencia de los visitantes, sino que abre nuevas posibilidades de interacción. Los asistentes podrán acceder a contenidos exclusivos, obtener información sobre los espectáculos en tiempo real e incluso hacer reservas o compras de entradas de forma más ágil. Esta conectividad también mejora la inclusión social, permitiendo que

más personas accedan a la información cultural sin barreras. De este modo, el proyecto fomenta la igualdad de acceso a la tecnología, lo que está en consonancia con el ODS 10, "Reducción de las desigualdades". [28]

2. Sector Ambiental: El diseño de una red WiFi bien planificada puede tener un impacto positivo en la sostenibilidad del teatro. Al optimizar los recursos tecnológicos existentes y reducir la necesidad de infraestructura adicional como cables y dispositivos obsoletos, se contribuye a la reducción de residuos electrónicos. Además, la implementación de tecnologías eficientes puede disminuir el consumo energético del teatro, alineándose con los esfuerzos para reducir la huella de carbono y promover prácticas sostenibles. Este enfoque tiene relación con el ODS 12, "Producción y consumo responsables" al fomentar el uso racional de los recursos. [29]
3. Sector Económico: Este proyecto tiene un notable impacto en la economía, no solo en términos de eficiencia operativa, sino también en la creación de nuevas fuentes de ingresos. La conectividad mejorada puede ofrecer nuevas oportunidades para servicios digitales, como contenidos exclusivos o transmisiones en vivo de espectáculos. A su vez, el despliegue y mantenimiento de la infraestructura tecnológica generará empleo en el sector de las telecomunicaciones y las tecnologías de la información. De esta manera, el proyecto también contribuye al ODS 8, "Trabajo decente y crecimiento económico" fomentando la innovación y el desarrollo del sector tecnológico en España. [30]
4. En el ámbito tecnológico, la creación de una red WiFi avanzada en el Teatro Real representa un paso importante hacia la modernización de sus infraestructuras. A través de la conectividad, el teatro podrá integrar nuevas tecnologías, como sistemas de gestión de eventos en tiempo real, experiencias de realidad aumentada o interacciones virtuales con los espectadores. Esto no solo optimiza los servicios, sino que también puede atraer a un público más amplio y diverso, adaptándose a las demandas del mundo digital. Este enfoque está alineado con el ODS 9, "Industria, innovación e infraestructura" impulsando la innovación y el uso de nuevas tecnologías. [31]

8. Conclusiones

8.1. Conclusiones

Los resultados obtenidos para los 3 perfiles de simulación son específicos para 3 tipos de redes WiFi-diferentes, por ello cada uno será más o menos adecuado para el diseño que se ha llevado a cabo en el presente proyecto.

El porcentaje de validez de la red diseñada con *el nivel básico* es de un 92% mientras que con *RTLS* es de un 97% y con *alta densidad* es de un 94%, todos ellos en la banda de 5 GHz. Aunque el diseño está pensado para trabajar tanto en la banda de 2,4 GHz como en la de 5 GHz, la simulación obtiene mucho menos porcentaje de validez en la banda de 2.4 GHz. Esta es una banda más limitada y con muchos menos canales que la banda de 5GHz, por lo que es mucho más fácil que se generen interferencias de canal. Aun teniendo estos datos, con la simulación de *RTLS* se obtiene una validez de hasta un 90% mientras que en los otros perfiles a penas se alcanza el 70%.

Como las estimaciones del AutoPlanner eran bastante acertadas y a penas existían interferencias de canal no ha sido necesario modificar ningún carácter principal de los APs como podría ser la potencia o el tiempo de guardia, simplemente con cambiar la posición y el canal de cada uno ha servido para que la señal llegue de forma óptima a todas las zonas y se garanticen los valores mínimos establecidos.

El cambio más significativo que se ha realizado ha sido el del tipo de AP en ciertas salas. En la sala principal de la planta 0 y en la terraza de la planta 2 se han implementado APs de montaje de pared puesto que son zonas en las que no hay un techo donde poder instalar los puntos de acceso seleccionados para el proyecto en el capítulo 4. Aun así, para la simulación de nivel básico se decidió instalar APs de pared en más zonas además de las mencionadas y como consecuencia se ha obtenido un peor resultado en cuanto a la velocidad de los datos. Esto se debe a que el AP seleccionado está limitado a 173 Mbps y con este valor no se cumplen los valores mínimos establecidos para verificar la red WiFi. Se ha observado que el cambio es de casi 100 Mbps y la potencia de la señal es prácticamente la misma en ambos APs, por eso que en las simulaciones de *RTLS* y *alta densidad* se ha dado mayor importancia a cumplir el requisito de data rate y se ha decidido quitar los APs de pared de la sala principal en todas las plantas posibles y en su lugar se han puesto APs de montaje de techo encima de las puertas que dan acceso a la sala principal desde los pasillos.

Dados todos estos cambios y si se observan detenidamente los mapas de calor del capítulo 5 puede parecer que la simulación que ofrece mejores resultados es la basada en *RTLS* puesto que consta de un mayor número de APs y, por tanto, la

potencia de la señal será mayor y uniforme en casi todo el espacio. Sin embargo, la existencia de tantos APs es contraproducente porque es más fácil generar interferencias de canal y porque cuantos más APs se sitúen por planta, menos económico será el coste del proyecto. Por otro lado, aunque el perfil de nivel bajo cumple con los requisitos de cobertura tiene muy pocos APs para poder gestionar correctamente una red con tanta concentración de usuarios.

El perfil de *alta densidad* está más enfocado técnicamente a entornos con gran tráfico de datos debido a sus características avanzadas de optimización de canales, balanceo de carga, uso eficiente de las bandas de frecuencia, resiliencia en la red y la planificación precisa de la ubicación de los puntos de acceso. Estas capacidades hacen que sea ideal para manejar grandes volúmenes de tráfico sin comprometer la experiencia del usuario, asegurando una red Wi-Fi robusta y eficiente en lugares con una gran concentración de dispositivos. Además, posee el número suficiente de puntos de acceso para que el coste del proyecto no sea muy elevado.

8.2. Trabajos futuros

Existen varios aspectos del presente proyecto que podrían mejorarse con un estudio más detallado y con la aplicación de mediciones en campo. A nivel de simulación, se podrían optimizar los resultados instalando otro modelo de AP de montaje de pared dentro de la sala principal para que el data rate mejore considerablemente. Un ejemplo de AP compatible con el sistema Omada puede ser el EAP655-Wall [32] que puede trabajar hasta 2402 Mbps en la banda de 5 GHz.

Además, sería adecuado realizar un replanteo de la red in situ con la herramienta de Ekahau Sidekick y así obtener mediciones reales de cobertura. Con este replanteo se conseguiría:

- Medir la atenuación real de los materiales del Teatro Real y posteriormente ajustar este parámetro en el proceso de selección de muros en el software.
- Medir el impacto real de los muros y otros materiales en la propagación de la señal Wi-Fi.
- Evaluar el impacto de otras redes Wi-Fi cercanas y dispositivos Bluetooth que puedan generar interferencias.
- Mediciones del ruido electromagnético y las interferencias de canal para ajustar la selección de frecuencias.
- Realizar pruebas de estrés en un escenario real de alta densidad para comprobar el comportamiento de la red.
- Medir la velocidad de transmisión y la estabilidad de la red en las zonas críticas del teatro.

Otro aspecto que podría ser de gran interés en trabajos futuros sería mantener un monitoreo continuo y llevar a cabo un plan de mantenimiento preventivo. Con esto lo que se pretende es integrar herramientas que detecten fallos en cualquier punto de la red, situaciones de congestión extrema o degradación de las características del servicio, todo ello en tiempo real. Estos dispositivos de inspección de fallos formarían parte de un plan de mantenimiento que incluirá inspecciones periódicas del equipamiento instalado: puntos de acceso, cableado, pequeño material, etc. El mantenimiento no debe incluir solo el mantenimiento físico de los equipos instalados en el teatro, sino que también debe incluir actualizaciones de firmware y ajustes de configuración dependiendo de la evolución de la red.

Bibliografía

- [1] "Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE)", [ieeee.org](https://www.ieee.org/),
[<https://www.ieee.org/>]
- [2] "Bandas y frecuencias Wi-Fi: Todo lo que necesitas saber", *redeszone.net*,
[<https://www.redeszone.net/tutoriales/redes-wifi/bandas-frecuencias-wi-fi/#378589-banda-de-2-4-ghz-mas-cobertura-pero-menos-velocidad>]
- [3] "Diferencias entre 2.4 GHz y 5 GHz", *intel.la*,
[<https://www.intel.la/content/www/xl/es/products/docs/wireless/2-4-vs-5ghz.html>]
- [4] "Los diferentes estándares Wi-Fi actuales", *wifisafe.com*,
[<https://wifisafe.com/blog/los-diferentes-estandares-wifi-actuales/>]
- [5] "IEEE 802.11ax", *es.wikipedia.org*, [https://es.wikipedia.org/wiki/IEEE_802.11ax]
- [6] "Wi-Fi 6", *en.wikipedia.org*, [https://en.wikipedia.org/wiki/Wi-Fi_6]
- [7] "Topologías de red: qué son y cuáles son las más comunes", *tokioschool.com*,
[<https://www.tokioschool.com/noticias/topologias-red/>]
- [8] VOIPDO, "Topología de redes inalámbricas," *VOIPDO*,
[<https://www.voipdo.com/wp-content/uploads/2018/08/Topolog%C3%ADa-de-redes-inal%C3%A1mbricas.pdf>]
- [9] "Conjunto de Servicios Básicos (BSS)", *ninjaone.com*,
[<https://www.ninjaone.com/es/it-hub/endpoint-management/conjunto-de-servicios-basicos-bss/>]
- [10] "IBSS: Independent Basic Service Set", *portafolio3bd.blogspot.com*,
[<http://portafolio3bd.blogspot.com/p/ibss.html>]
- [11] "Teatro Real (Madrid)", *es.wikipedia.org*,
[[https://es.wikipedia.org/wiki/Teatro_Real_\(Madrid\)](https://es.wikipedia.org/wiki/Teatro_Real_(Madrid))]
- [12] "El Edificio del Teatro Real", *teatroreal.es*,
[<https://www.teatroreal.es/es/edificio>]
- [13] Teatro Real, "Ficha técnica Teatro Real Madrid," *Ópera La*, *operala.org*,
[<https://www.operala.org/ola/wp-content/uploads/2016/12/ficha-tecnica-teatro-real-madrid.pdf>]
- [14] "Omada SDN", *omadaneetworks.com*,
[<https://www.omadaneetworks.com/es/omada-sdn/>]

- [15] "Solución Wi-Fi de alta densidad", omadanetworks.com, [<https://www.omadanetworks.com/es/business-networking/solution/high-density-wifi/>]
- [16] "Punto de acceso Omada EAP660 HD", tp-link.com, [<https://www.tp-link.com/es/business-networking/omada-sdn-access-point/eap660-hd/>]
- [17] "Switch gestionado Omada SG3428XMP", omadanetworks.com, [<https://www.omadanetworks.com/es/business-networking/omada-switch-l3-l2-managed/sg3428xmp/>]
- [18] "Switch gestionado Omada SG3428X", omadanetworks.com, [<https://www.omadanetworks.com/es/business-networking/omada-switch-l3-l2-managed/sg3428x/>]
- [19] "Router empresarial Omada ER7206", omadanetworks.com, [<https://www.omadanetworks.com/es/business-networking/omada-router-wired-router/er7206/>]
- [20] "Controlador de hardware Omada OC300", omadanetworks.com, [<https://www.omadanetworks.com/es/business-networking/omada-controller-hardware/oc300/>]
- [21] "Punto de acceso Omada EAP235-Wall", tp-link.com, [<https://www.tp-link.com/es/business-networking/omada-sdn-access-point/eap235-wall/>]
- [22] "TP-Link EAP660 HD Omada", amazon.es, [https://www.amazon.es/TP-Link-EAP660-HD-Omada-Compatible/dp/B08GDC61NF/ref=sr_1_3_mod_primary_new]
- [23] "Switch TP-Link TL-SG3428XMP", pccomponentes.com, [<https://www.pccomponentes.com/tp-link-tl-sg3428xmp-switch-administrado-24-puertos-gigabit-poe-10-100-1000-4-puertos-sfp>]
- [24] "Switch TP-Link TL-SG3428X", pccomponentes.com, [<https://www.pccomponentes.com/tp-link-tl-sg3428x-switch-gestionado-l2-24-puertos-gigabit-4-sfp>]
- [25] "Router TP-Link TL-ER7206", amazon.es, [<https://www.amazon.es/TL-ER7206-Router-Gigabit-Ethernet-Negro/dp/B08W4RMZ8T>]
- [26] "Controlador de hardware TP-Link OC300", amazon.es, [<https://www.amazon.es/TP-Link-OC300-Controlador-de-Hardware/dp/B08KGWRDLQ>]
- [27] "Objetivos de Desarrollo Sostenible", un.org, [<https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>]

[28] "Reducción de las desigualdades", un.org,
[<https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/inequality/>]

[29] "Consumo y producción sostenibles", un.org,
[<https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/sustainable-consumption-production/>]

[30] "Crecimiento económico sostenible", un.org,
[<https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/economic-growth/>].

[31] "Industria, innovación e infraestructura", un.org,
[<https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/industry-innovation-infrastructure/>]

[32] "Punto de acceso Omada EAP655-Wall", omadanetworks.com,
[<https://www.omadanetworks.com/es/business-networking/omada-wifi-wall-plate/eap655-wall/>]

ANEXO 1 – Creación de perfiles en Ekahau

El presente proyecto trata de diseñar la red Wi-Fi de un teatro, por lo que los dispositivos que se van a usar en este serán smartphones, tablets y ordenadores que serán usados son fines de comunicación y para ejecutar operaciones sencillas como el uso de redes sociales y pagos mediante tecnología NFC. Como la red que se va a diseñar trabajará en las bandas de 2,4 GHz y 5 GHz, es decir, WiFi 6, los perfiles de los dispositivos deben crearse para que trabajen en estas bandas de la siguiente forma:

The screenshot shows the configuration for a 'Smartphone Worker' profile. The settings are as follows:

- Profile Name: Smartphone Worker
- Technology: Wi-Fi 6 (Wi-Fi 6 @ 2.4GHz ...)
- Max Supported Bandwidth: 160MHz
- MIMO: 2x2:2
- Offset @ 2.4 GHz: 0.0 dB
- Offset @ 5 GHz: 0.0 dB
- Band Selection: Automatic

Figura 92. Perfil smartphone

The screenshot shows the configuration for a 'Tablet Worker' profile. The settings are as follows:

- Profile Name: Tablet Worker
- Technology: Wi-Fi 6 (Wi-Fi 6 @ 2.4GHz ...)
- Max Supported Bandwidth: 160MHz
- MIMO: 2x2:2
- Offset @ 2.4 GHz: 0.0 dB
- Offset @ 5 GHz: 0.0 dB
- Band Selection: Automatic

Figura 93. Perfil tablet

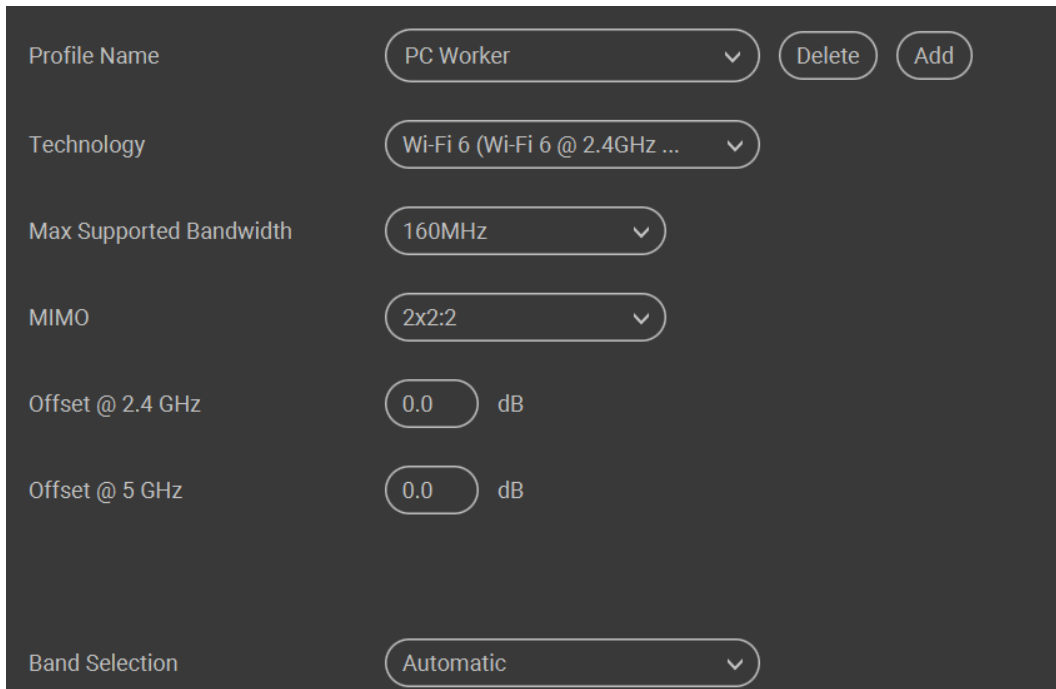


Figura 94. Perfil ordenador

Una vez se han determinado los perfiles de los dispositivos hay que indicar el número de dispositivos que se repartirán en cada planta en los ajustes de los requisitos de cobertura de Ekahau. Siguiendo la estimación de dispositivos que se calculó en el *Capítulo 3* se puede especificar la información pedida de la forma mostrada en las capturas adjuntadas a continuación:

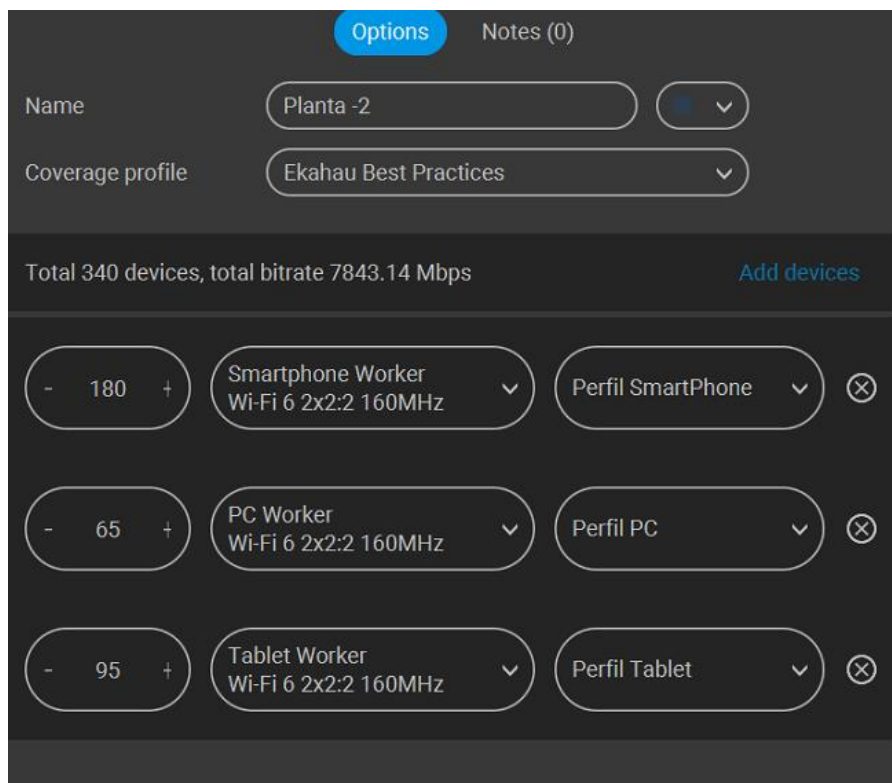


Figura 95. Número de dispositivos planta -2

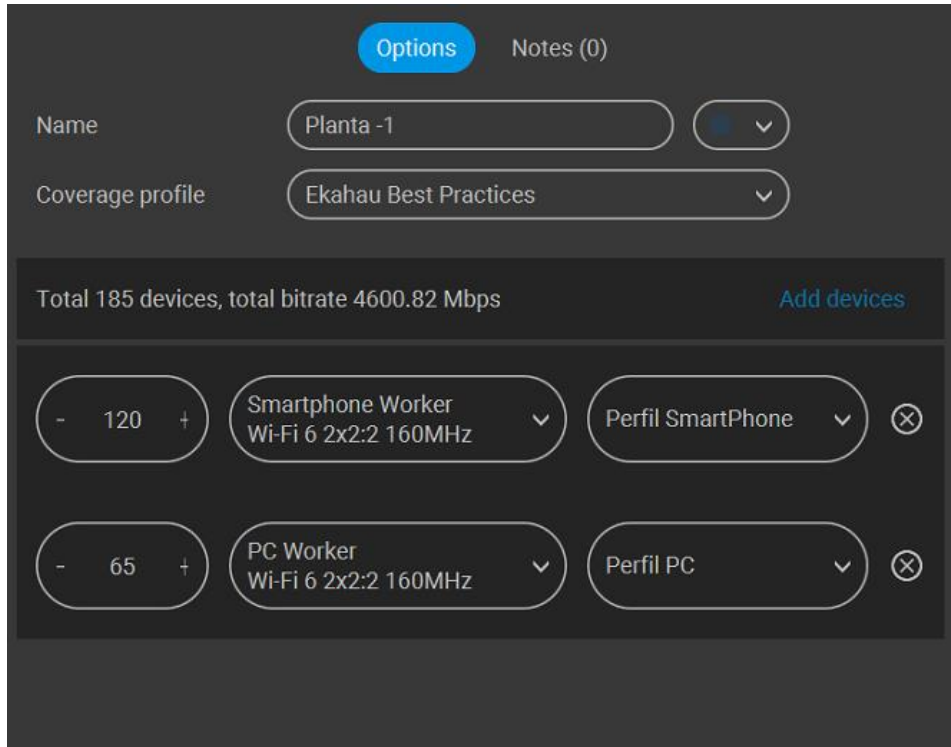


Figura 96. Número de dispositivos en la planta -1

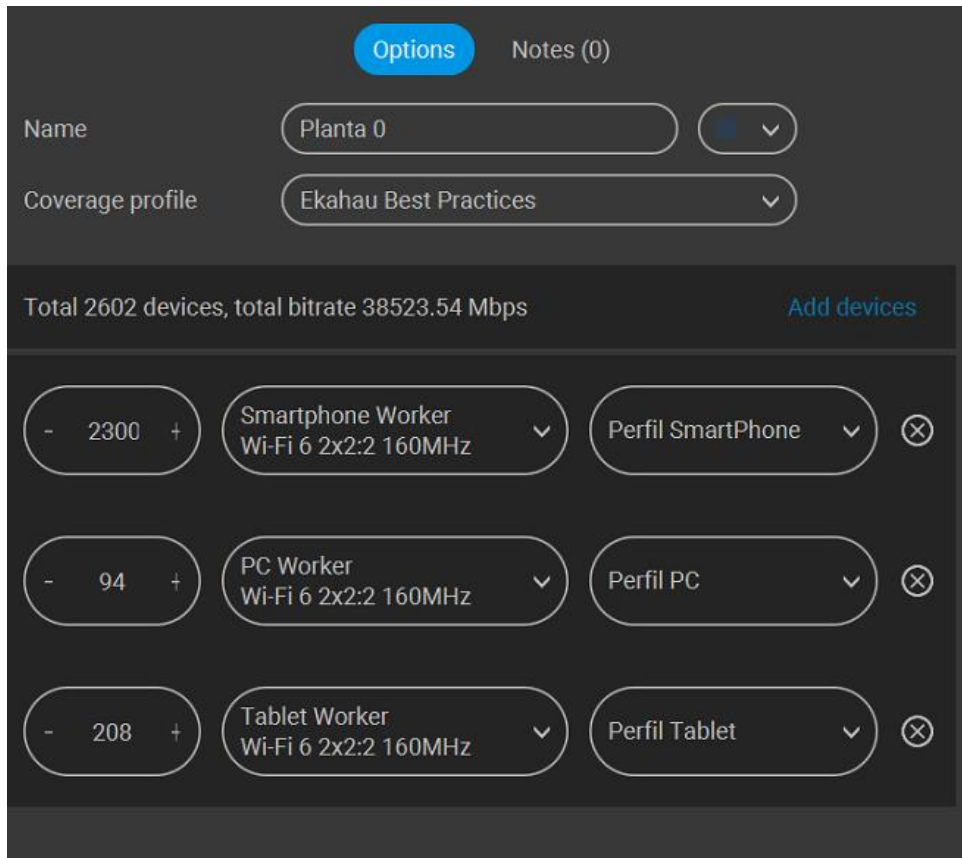


Figura 97. Número de dispositivos en la planta 0

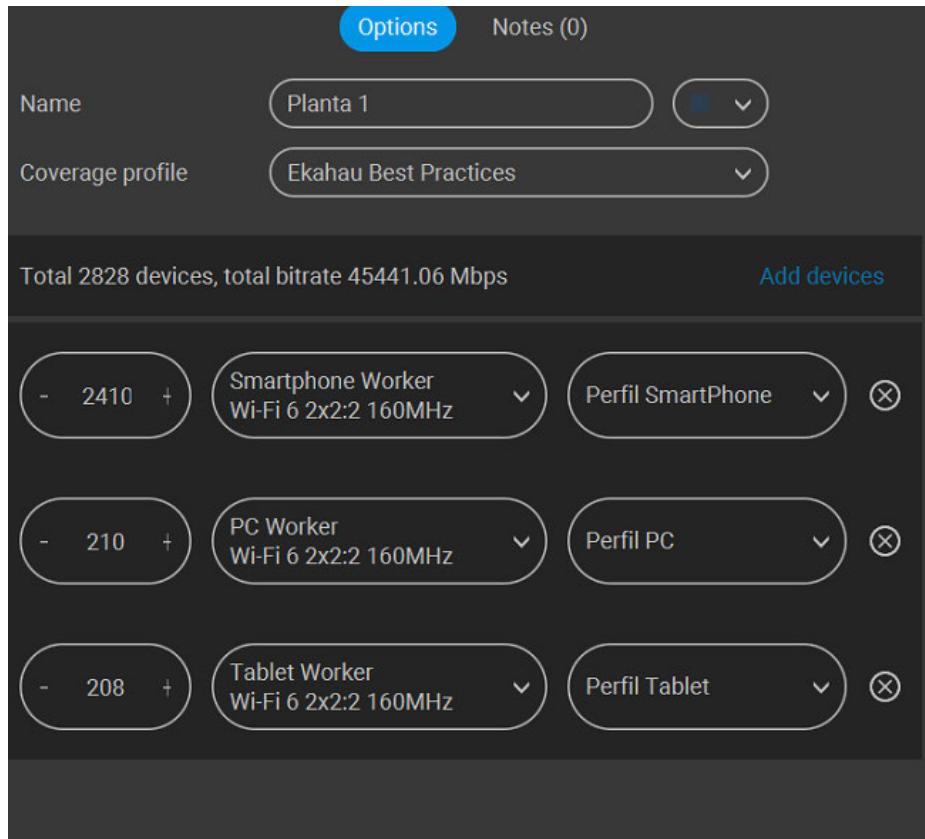


Figura 98. Número de dispositivos en la planta 1

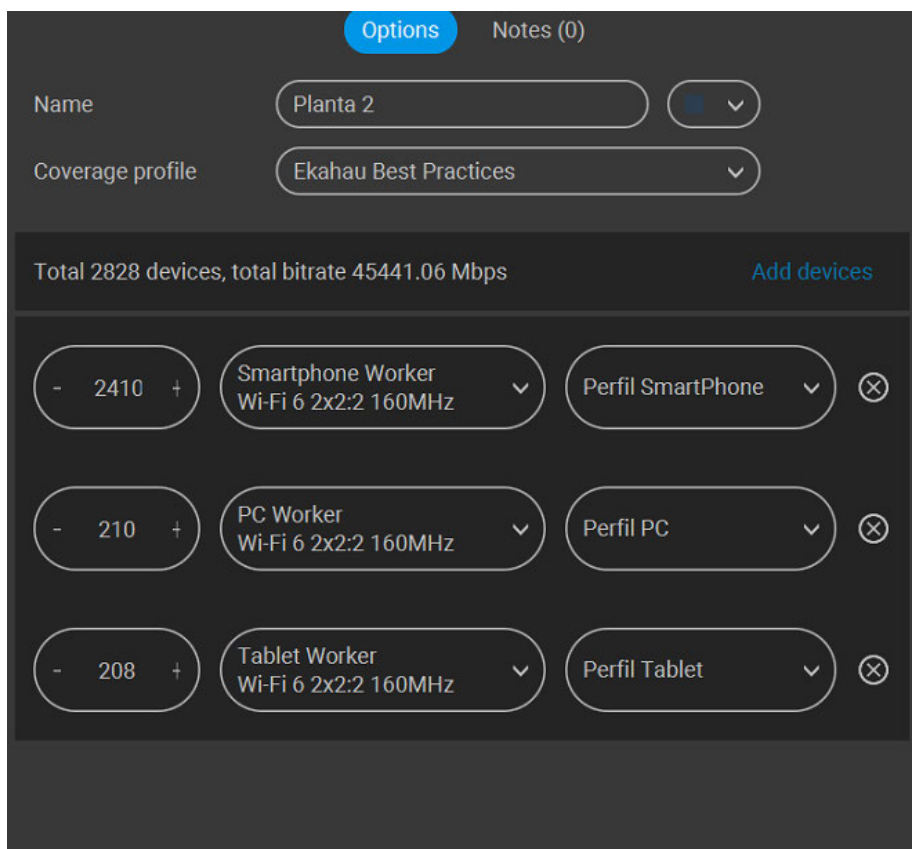


Figura 99. Número de dispositivos en la planta 2

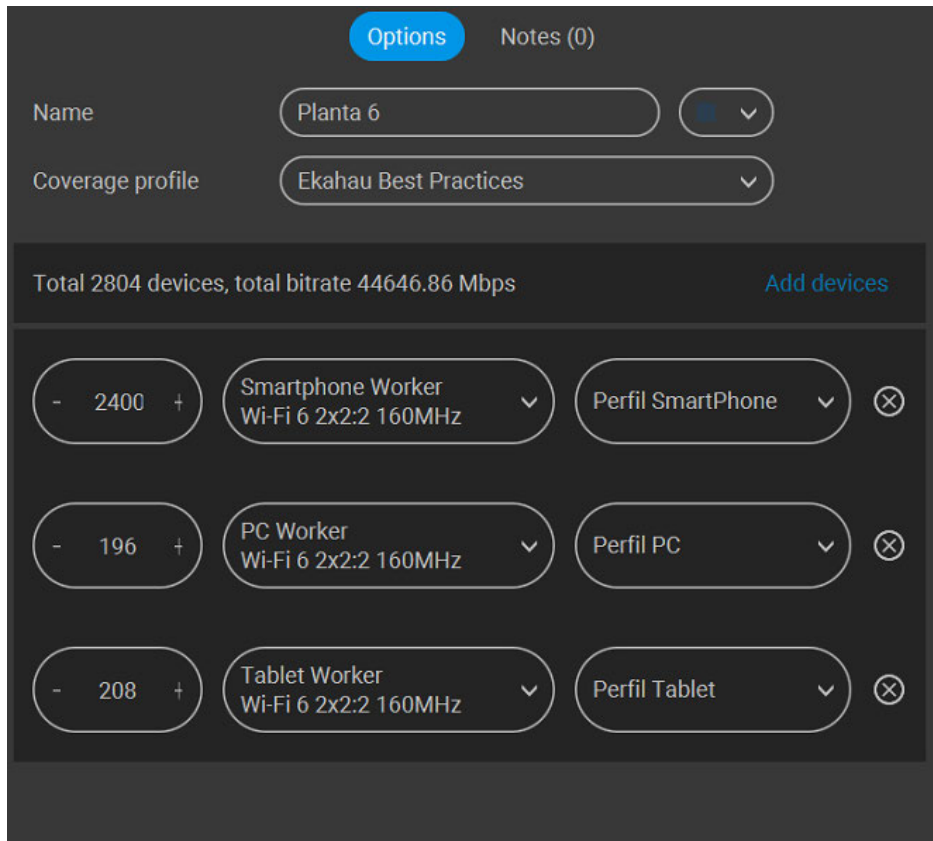


Figura 100. Número de dispositivos en la planta 6

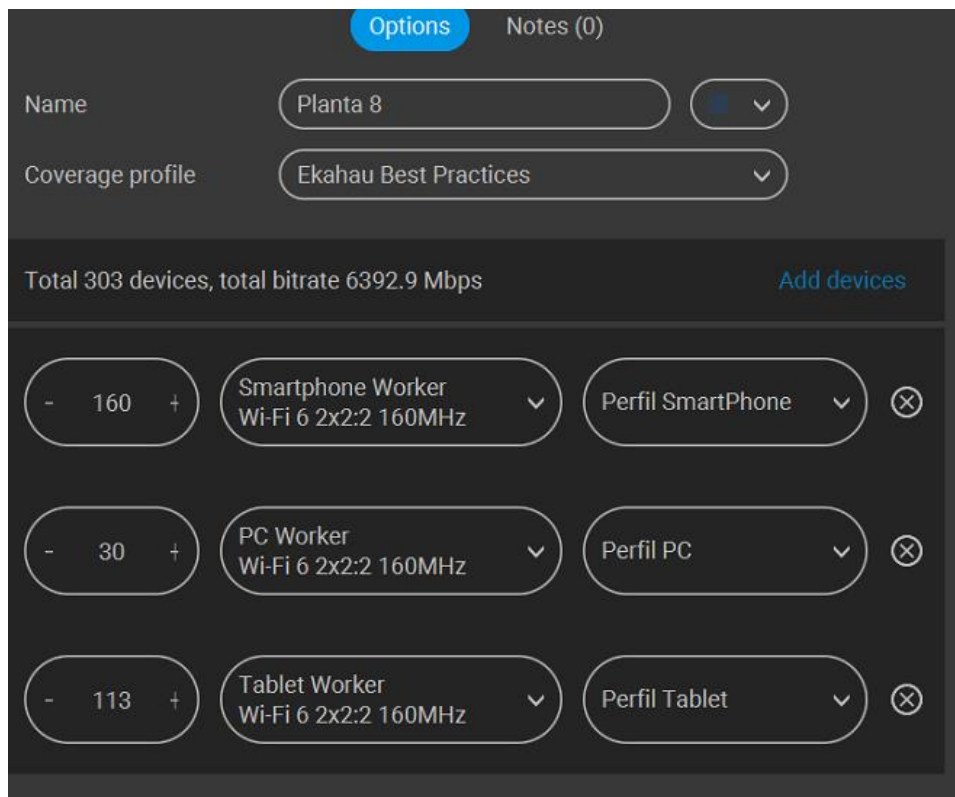


Figura 101. Número de dispositivos en la planta 8

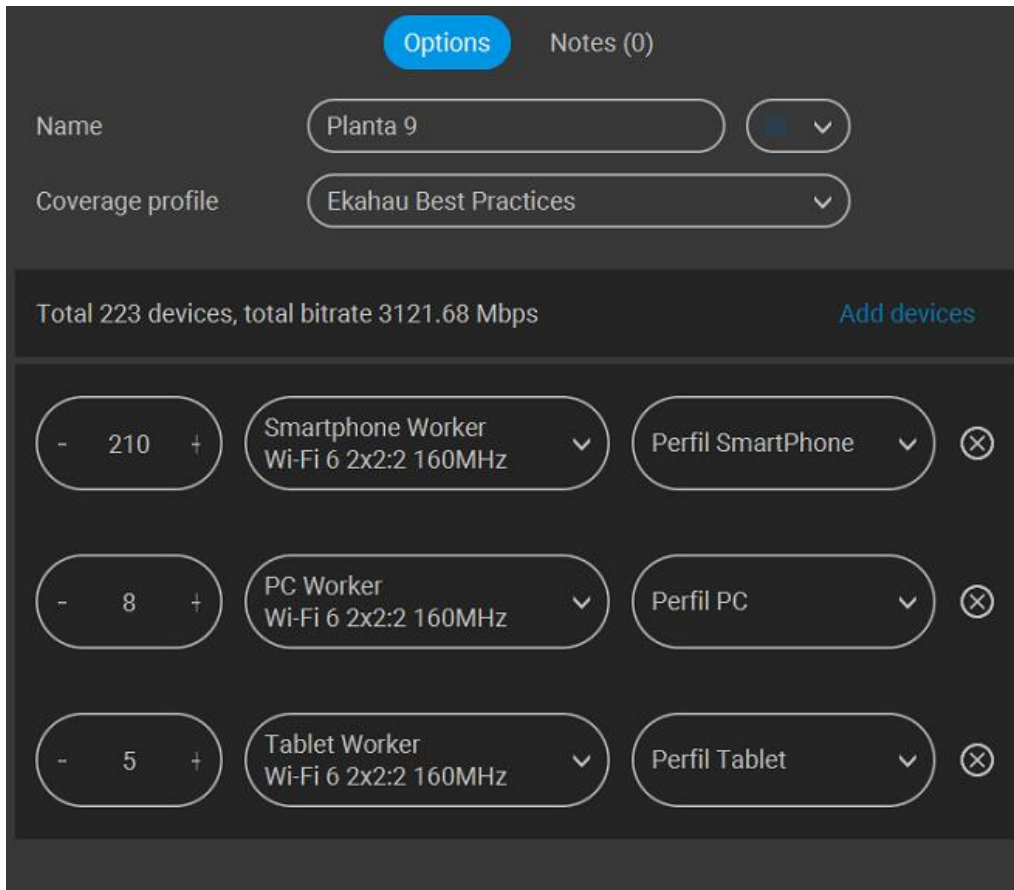


Figura 102. Número de dispositivos en la planta 9

Desde este mismo menú además de realizar la asignación de dispositivos a cada planta también puede asignarse el perfil de cobertura para llevar a cabo el estudio a los 3 niveles mencionados en la memoria de este proyecto.

Desde el menú mostrado en la siguiente figura pueden seleccionarse los perfiles de “Ekahau Best Practices”, “RTLS” o “Aruba VHD Guideline” en función de si queremos cubrir el nivel básico, RTLS o alta densidad.

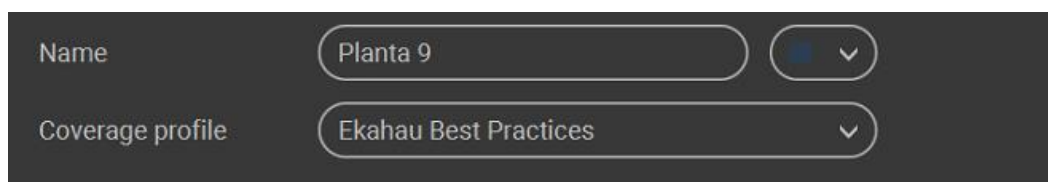


Figura 103. Selección del perfil de simulación

Este perfil debe ser seleccionado para cada una de las plantas del teatro, de lo contrario cada planta se simulará con un perfil diferente.

ANEXO 2 – Mapas iniciales del Autoplanner

1. Planta 0:

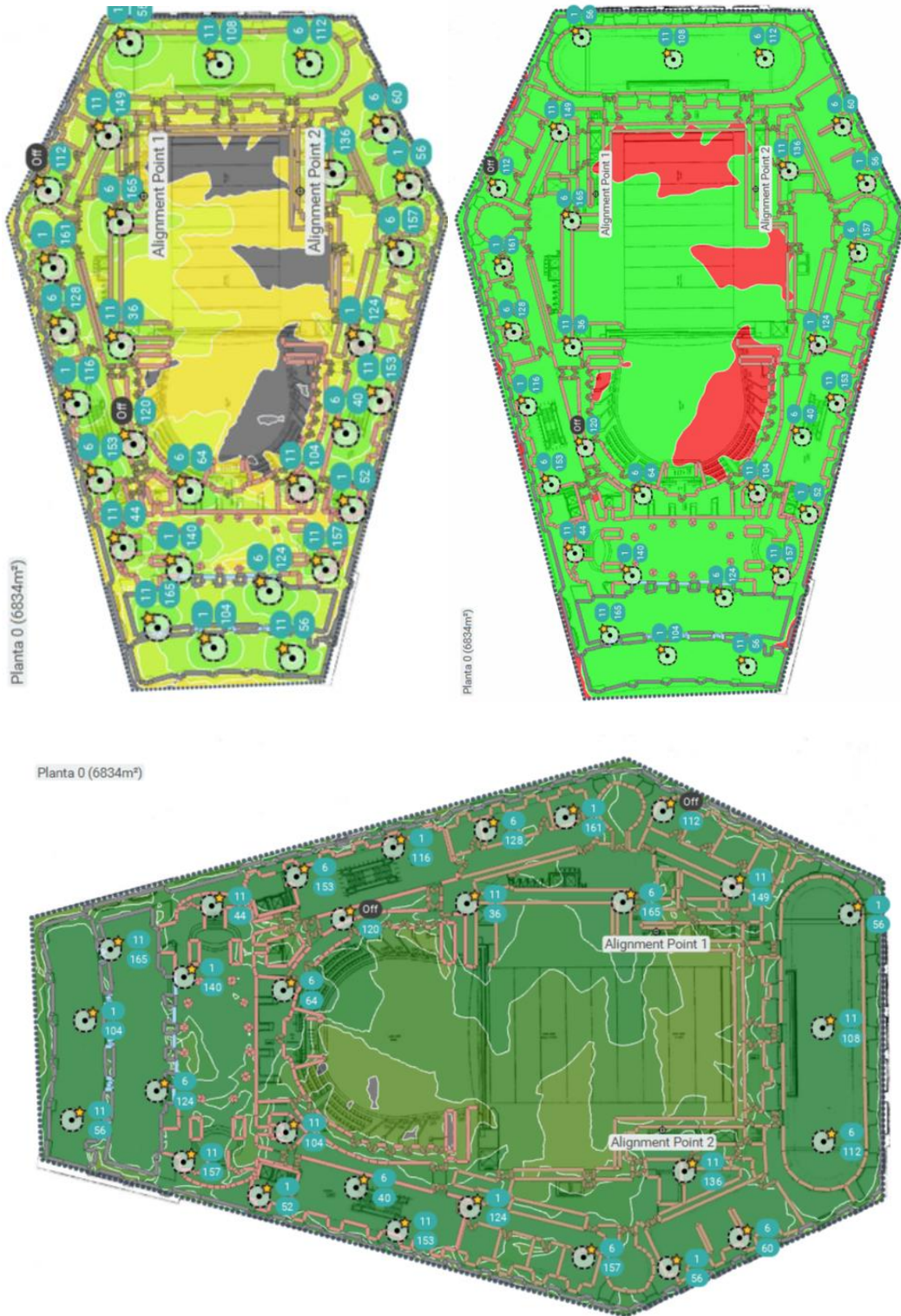


Figura 104. Planta 0: Potencia de la señal, Salud de la red y SNR (nivel básico)

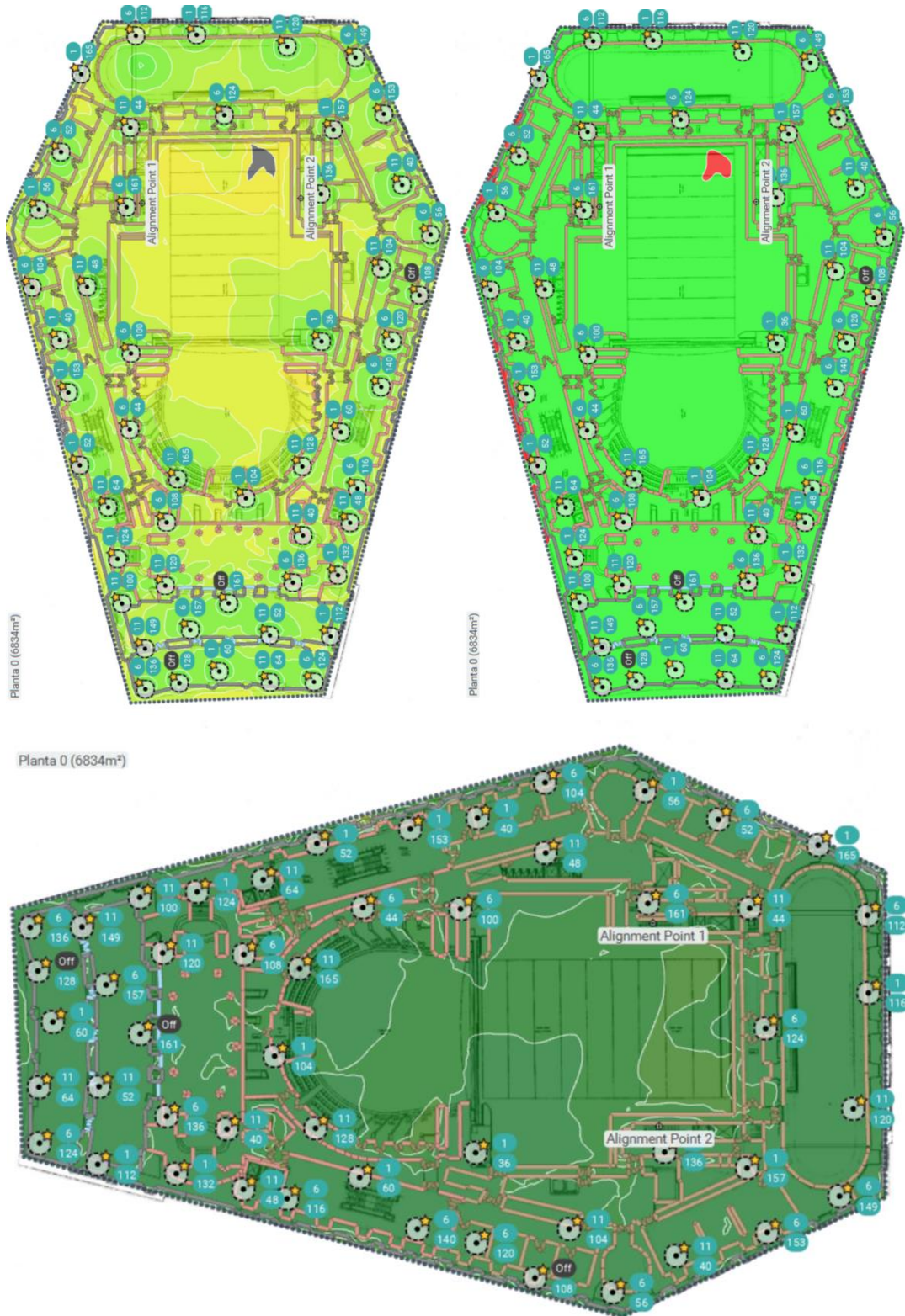


Figura 105. Planta 0: Potencia de la señal, Salud de la red y SNR (RTLS)

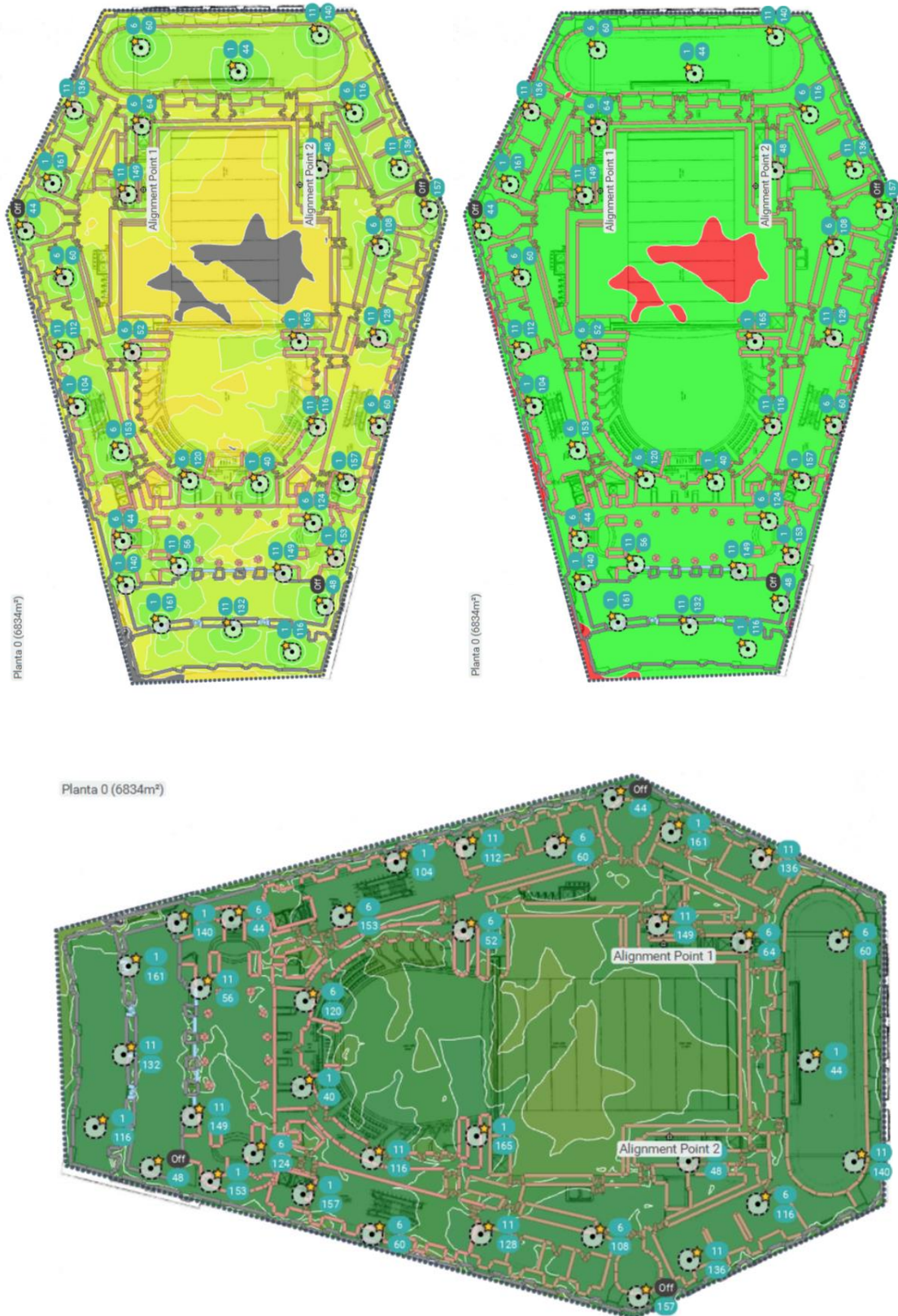


Figura 106. Planta 0: Potencia de la señal, Salud de la red y SNR (alta densidad)

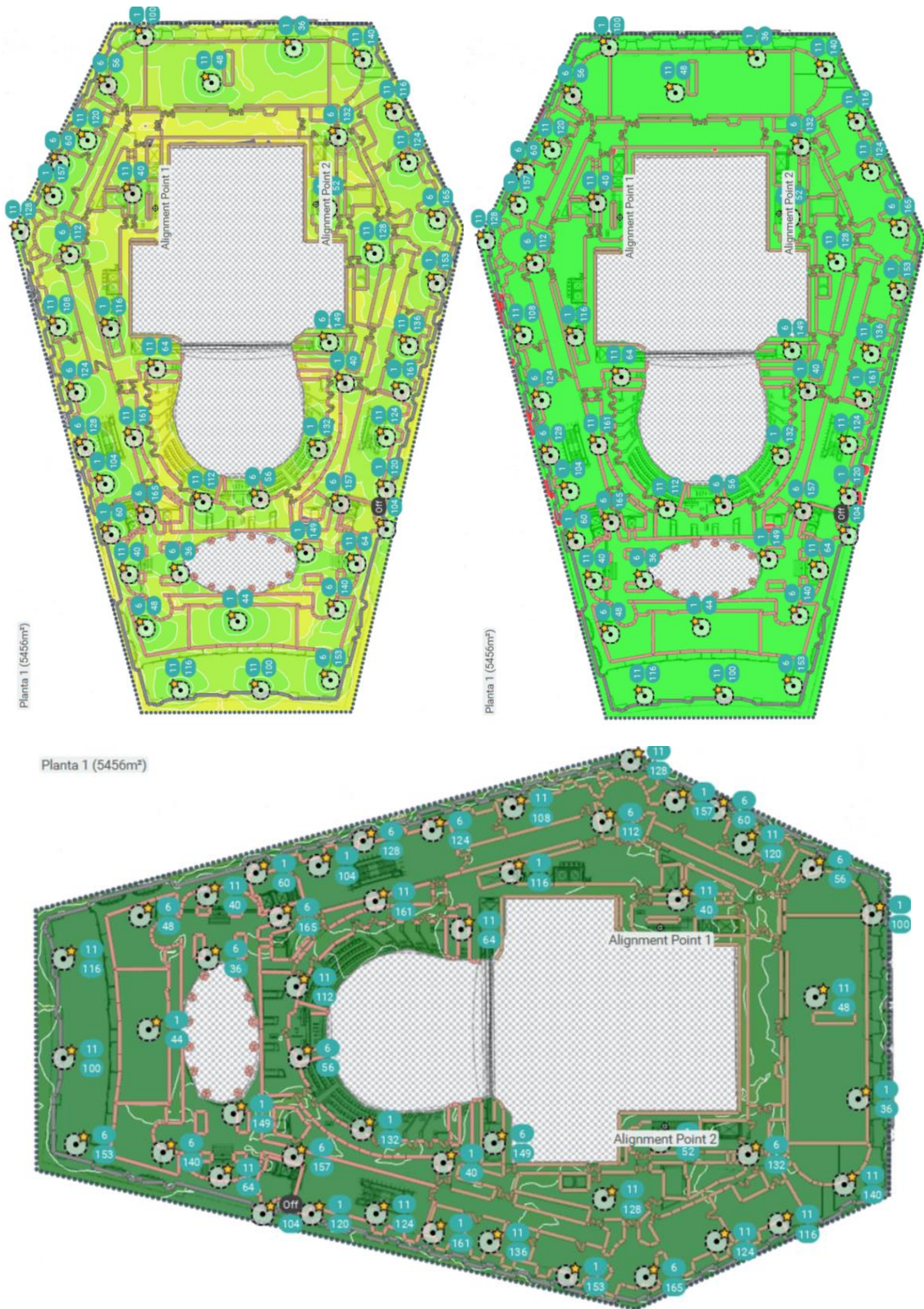


Figura 108. Planta 1: Potencia de la señal, Salud de la red y SNR (RTLs)

3. Planta 2:



Figura 109. Planta 2: Potencia de la señal, Salud de la red y SNR (nivel básico)

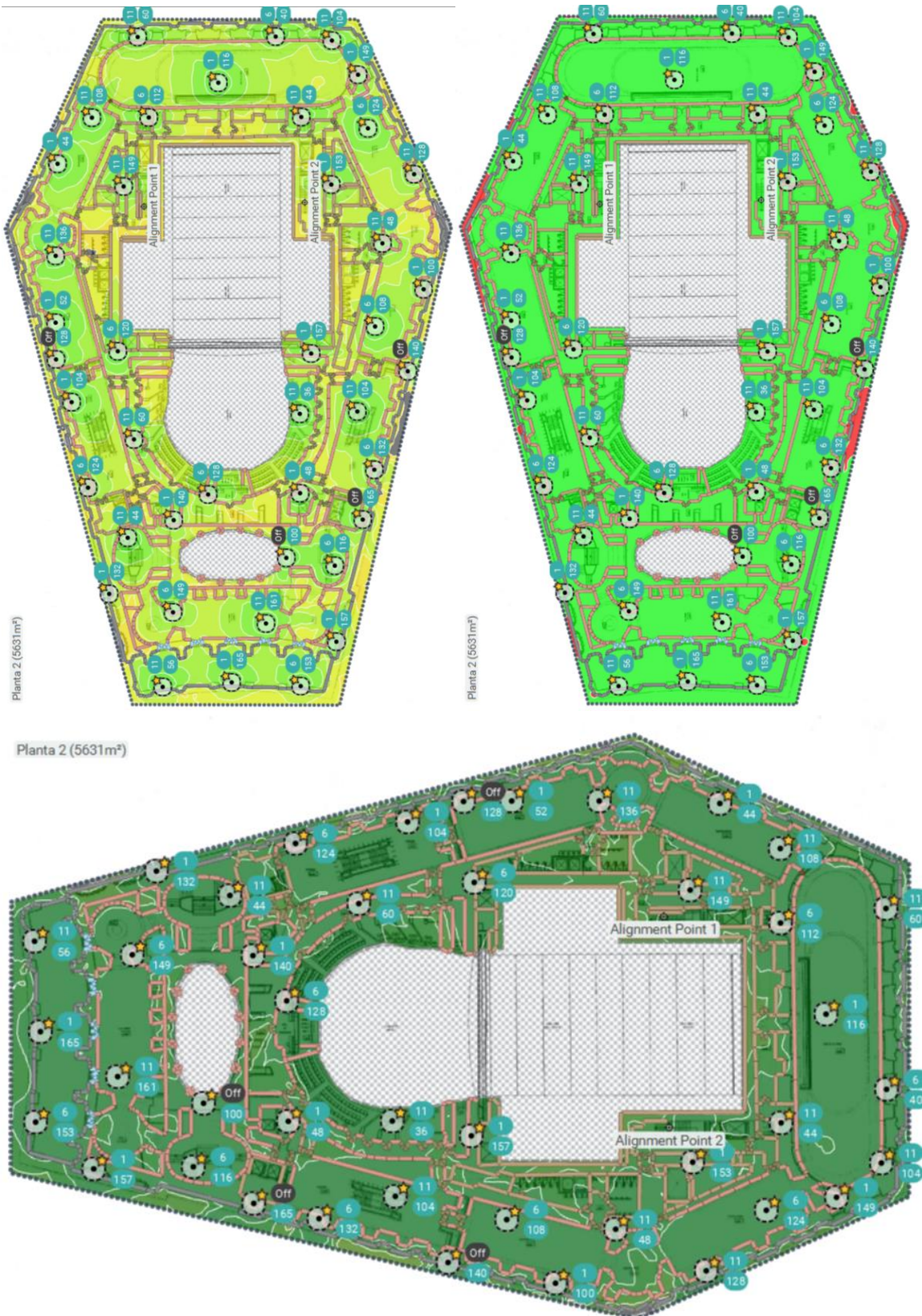


Figura 111. Planta 2: Potencia de la señal, Salud de la red y SNR (alta densidad)

4. Planta 6:

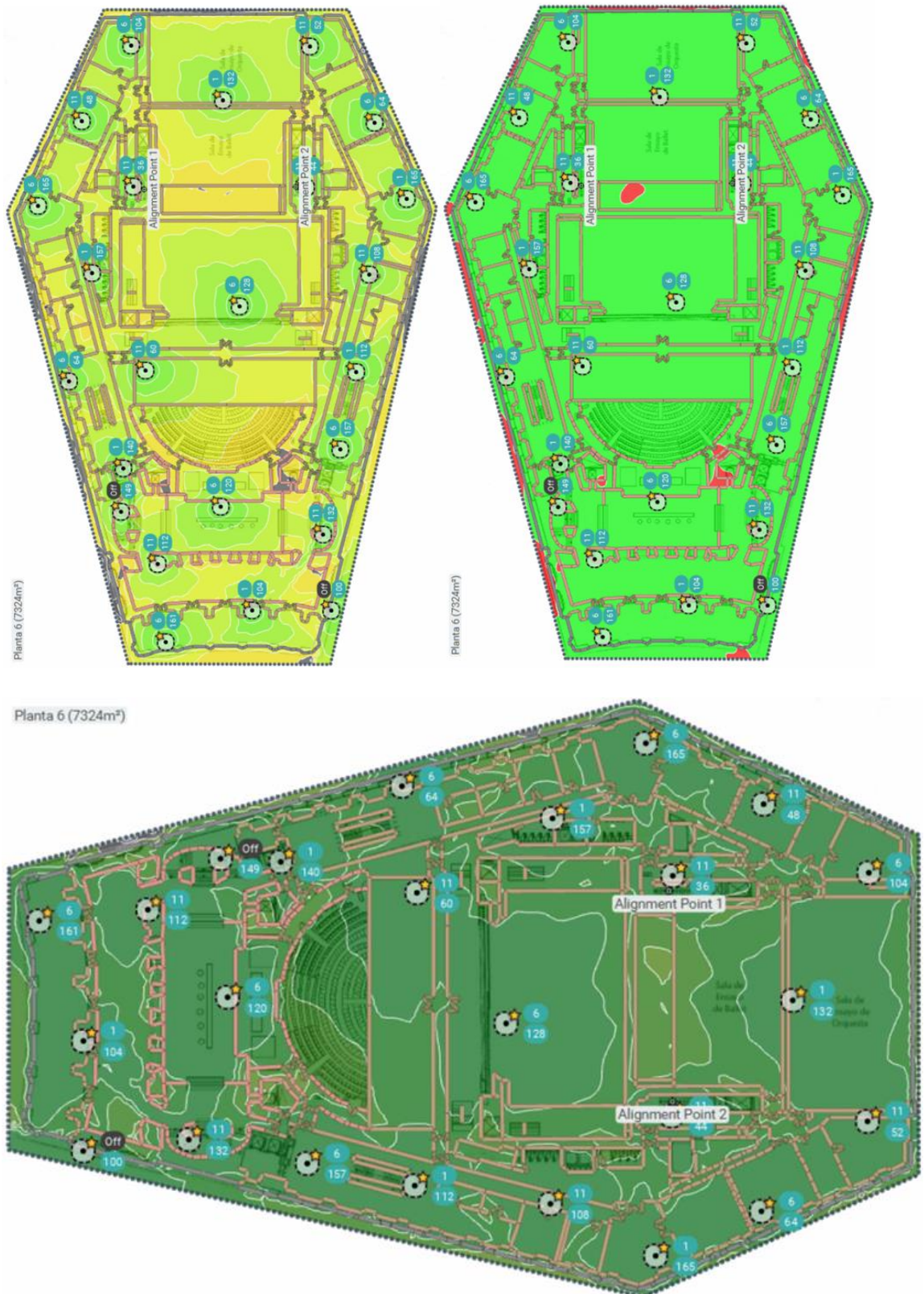


Figura 112. Planta 6: Potencia de la señal, Salud de la red y SNR (nivel básico)

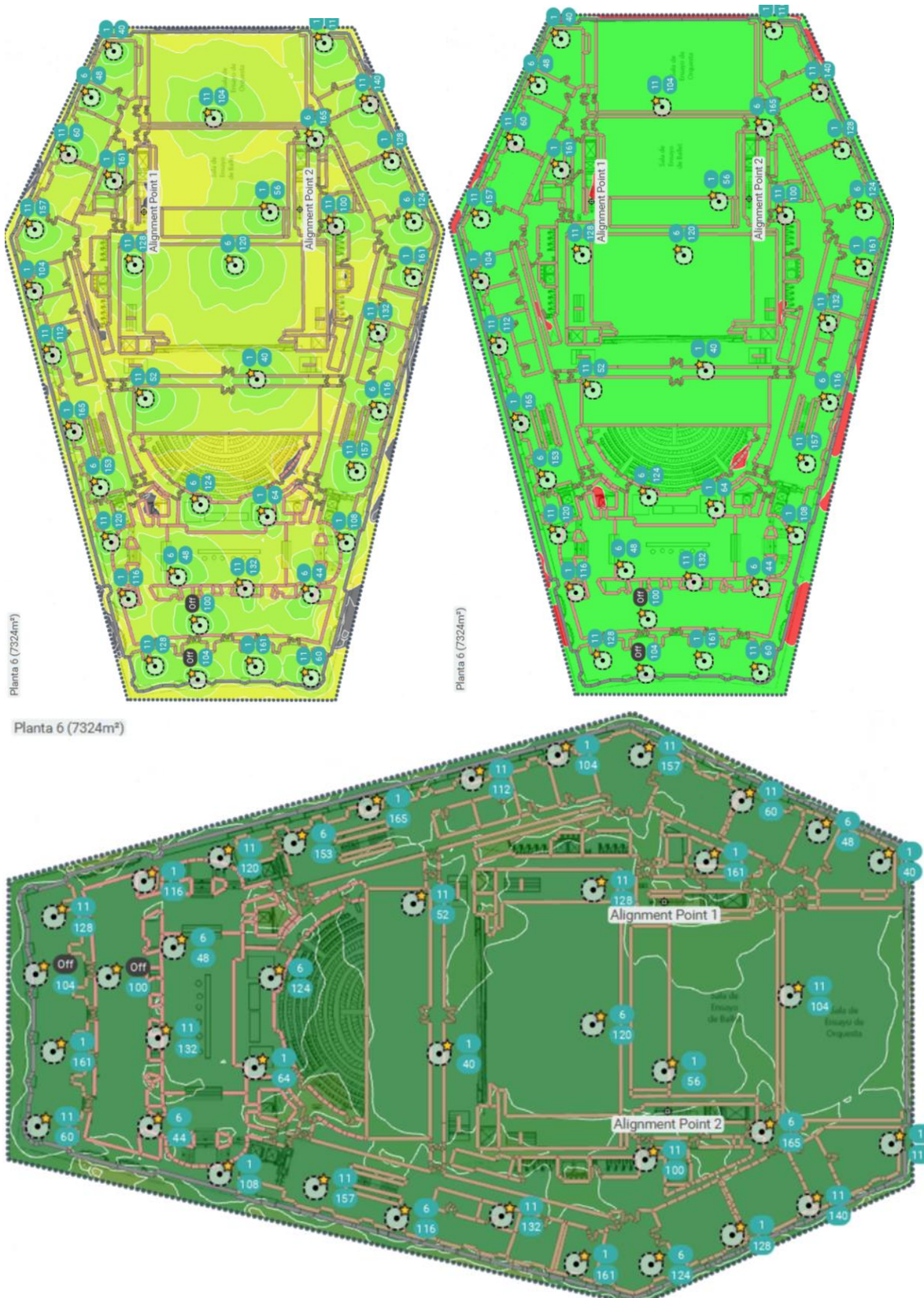


Figura 113. Planta 6: Potencia de la señal, Salud de la red y SNR (RTLS)

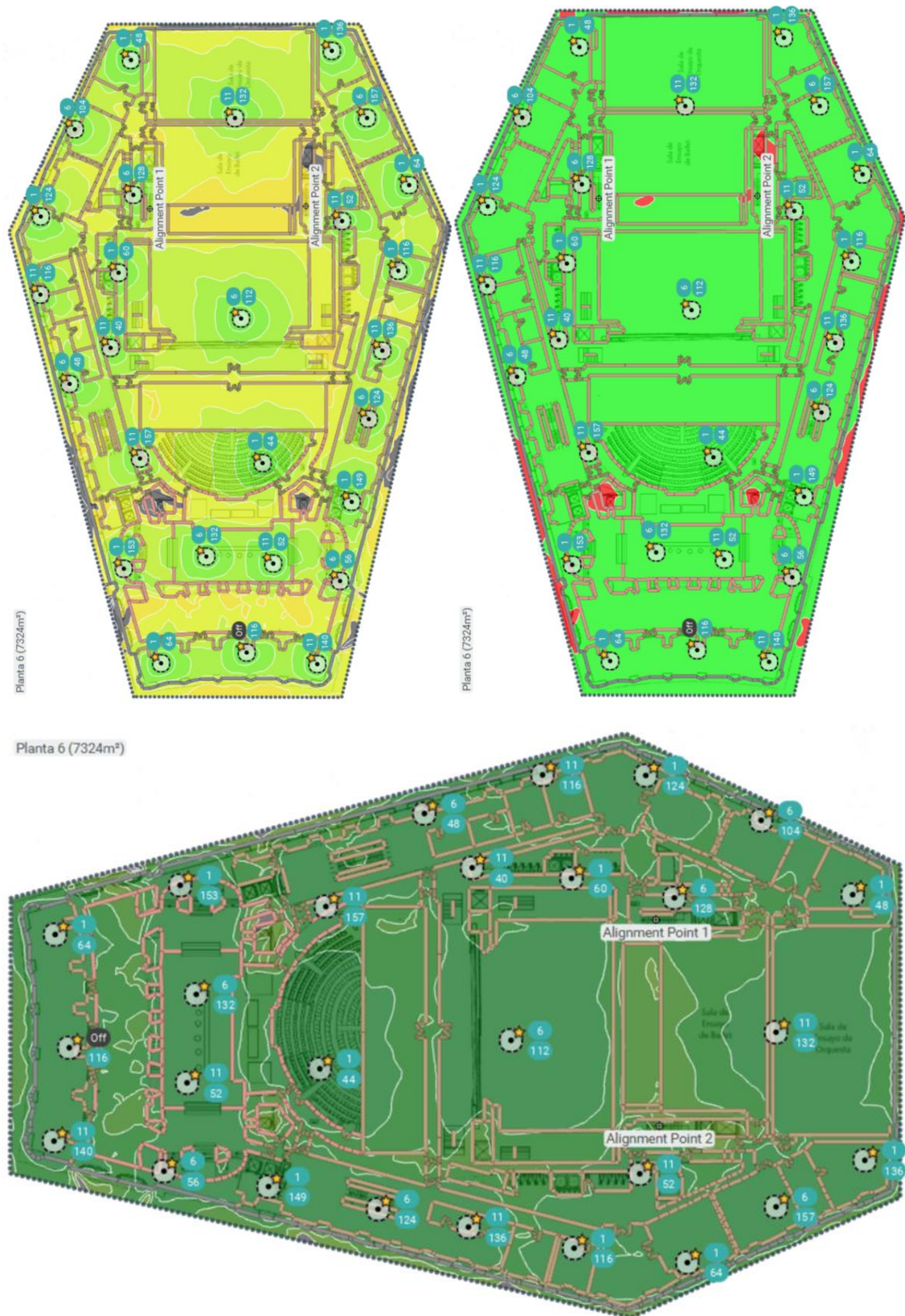


Figura 114. Planta 6: Potencia de la señal, Salud de la red y SNR (alta densidad)

5. Planta 8:

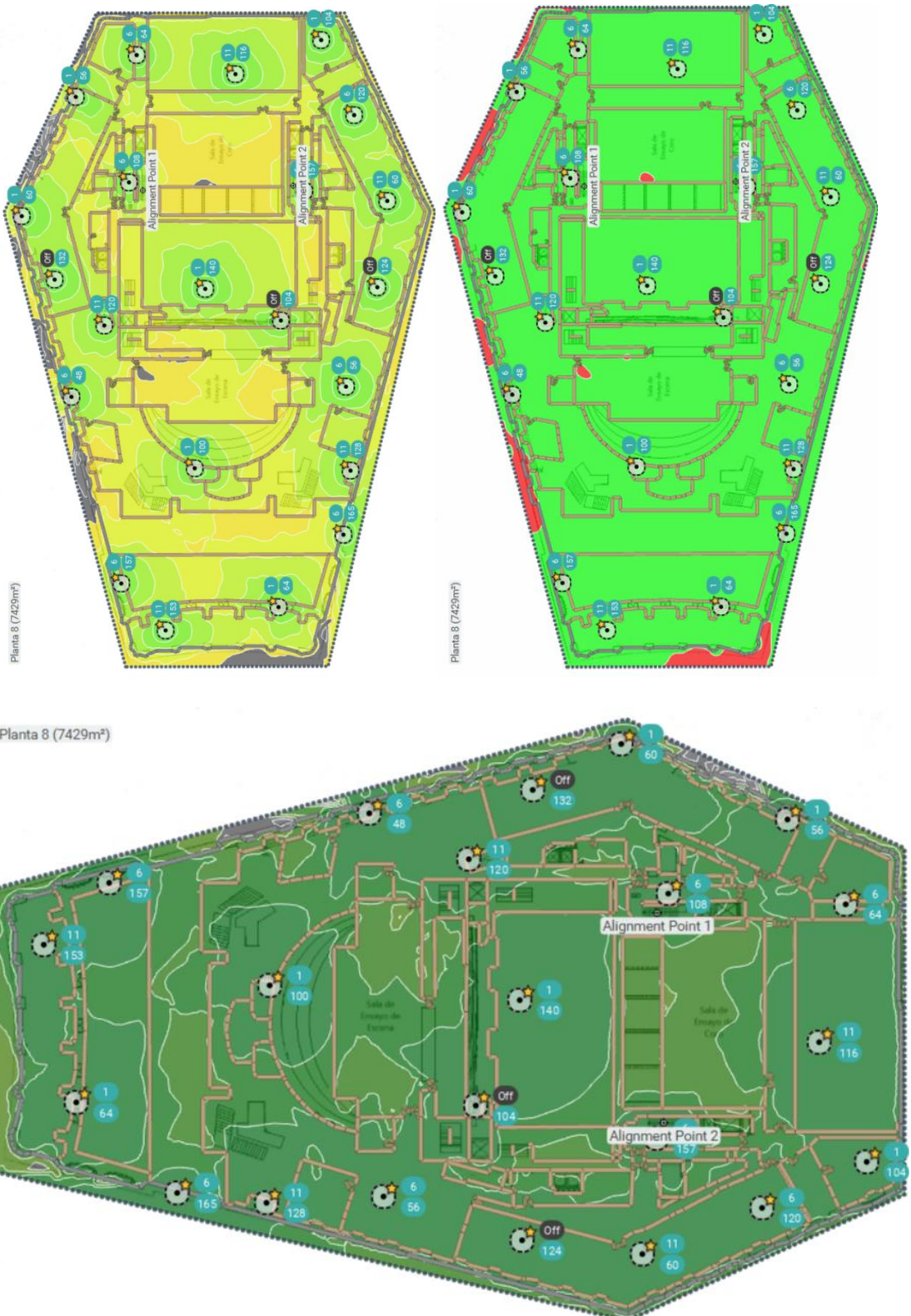


Figura 115. Planta 8: Potencia de la señal, Salud de la red y SNR (nivel básico)

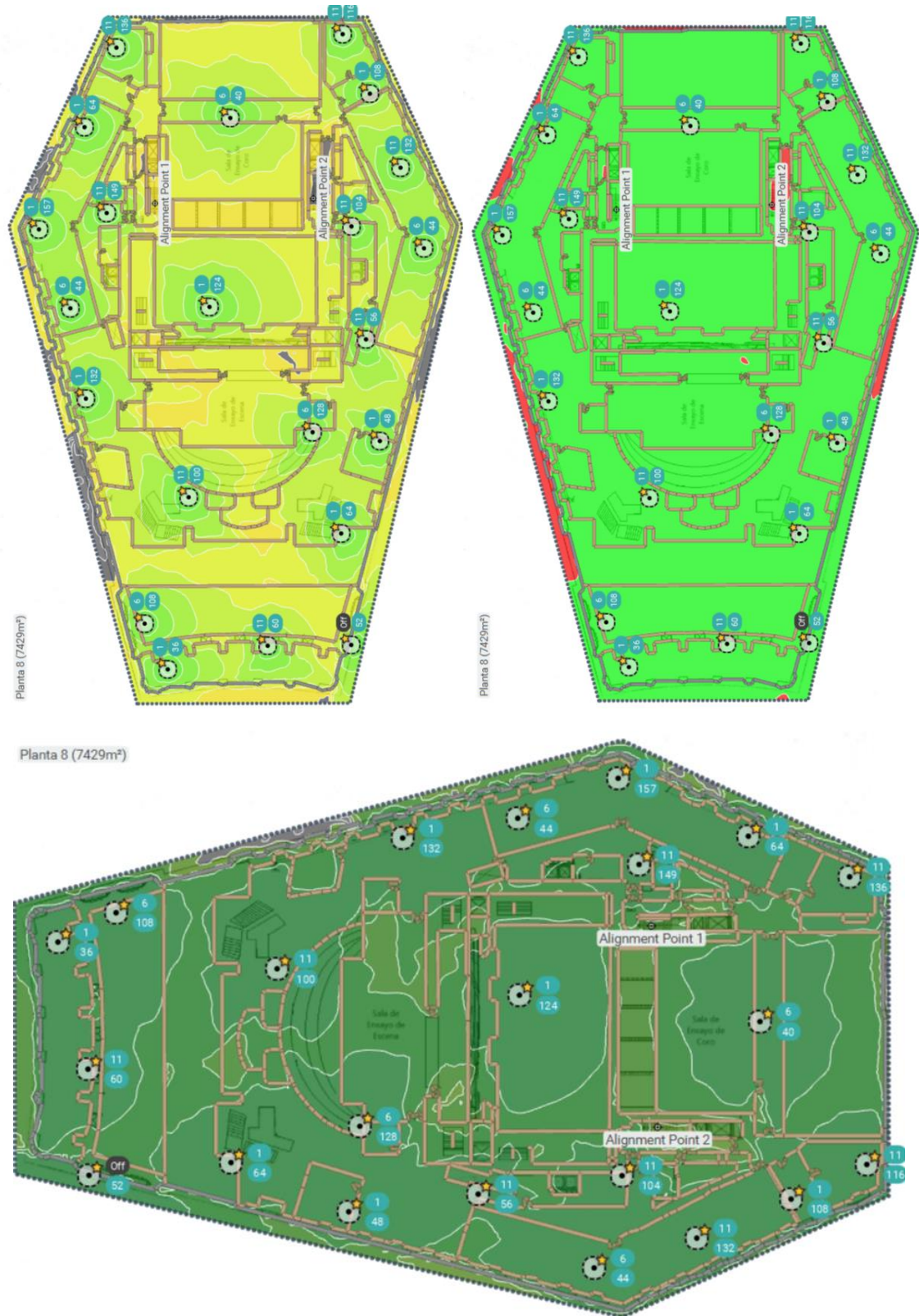


Figura 117. Planta 8: Potencia de la señal, Salud de la red y SNR (alta densidad)

6. Planta 9:

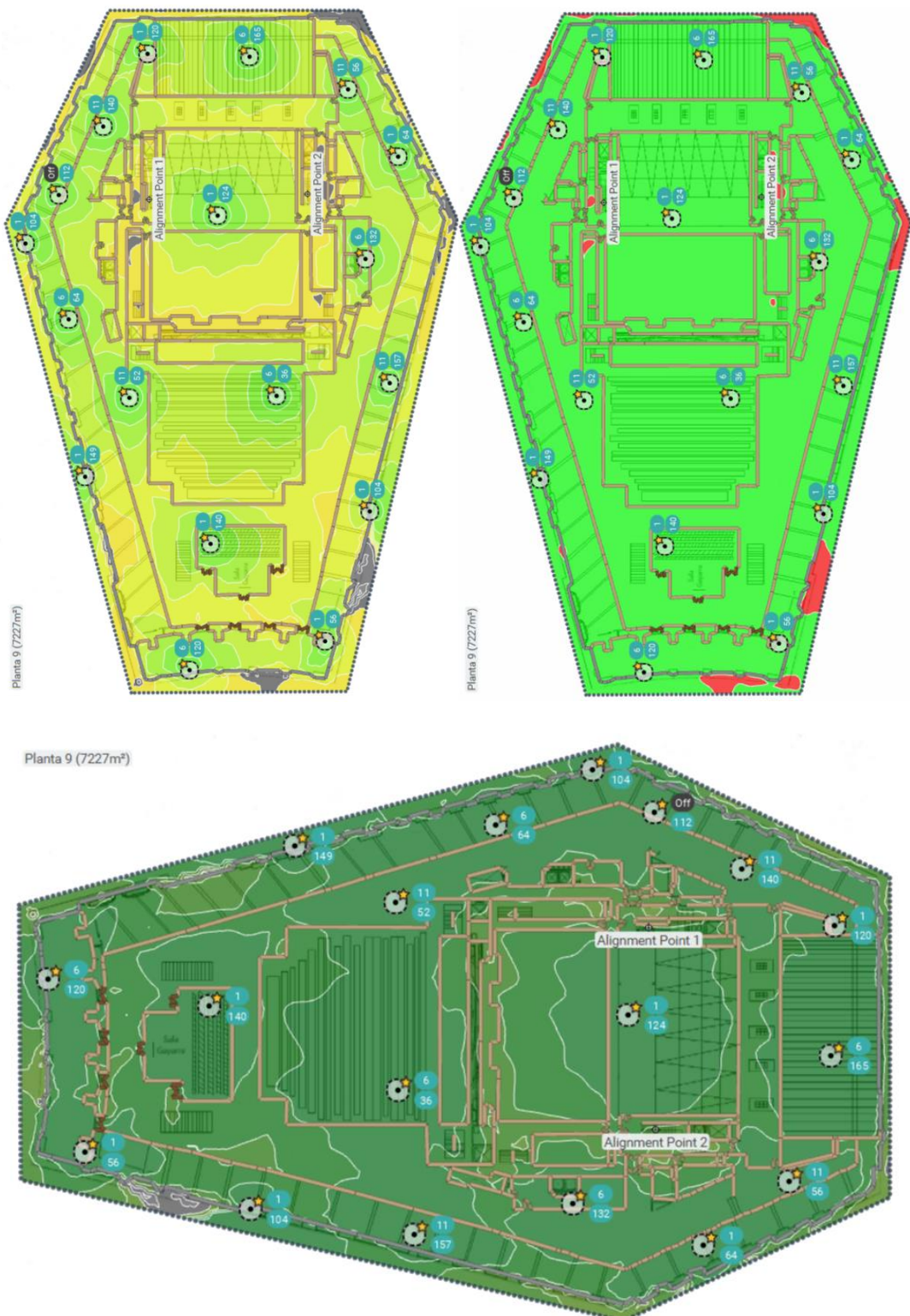


Figura 118. Planta 9: Potencia de la señal, Salud de la red y SNR (nivel básico)

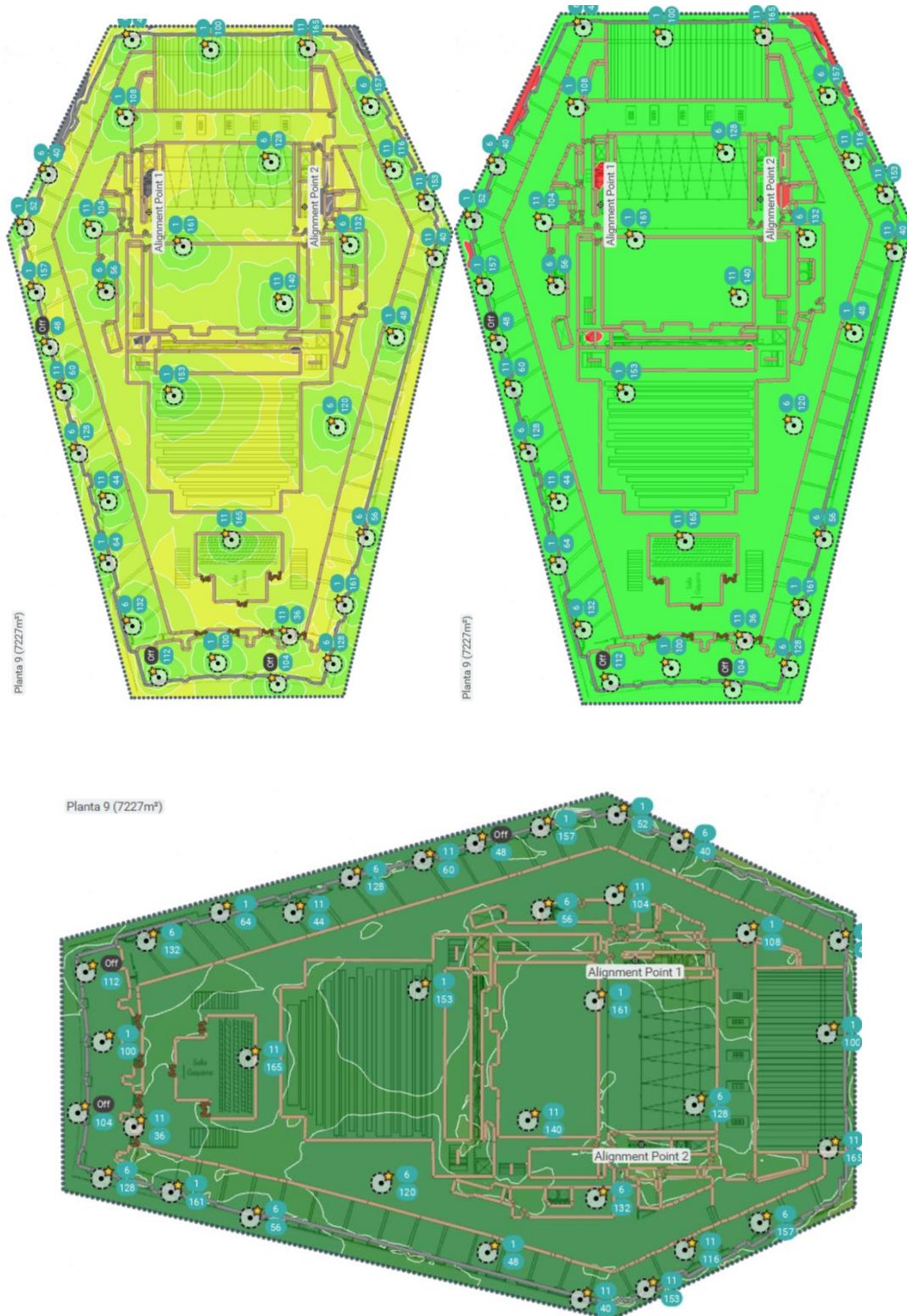


Figura 119. Planta 9: Potencia de la señal, Salud de la red y SNR (RTLS)

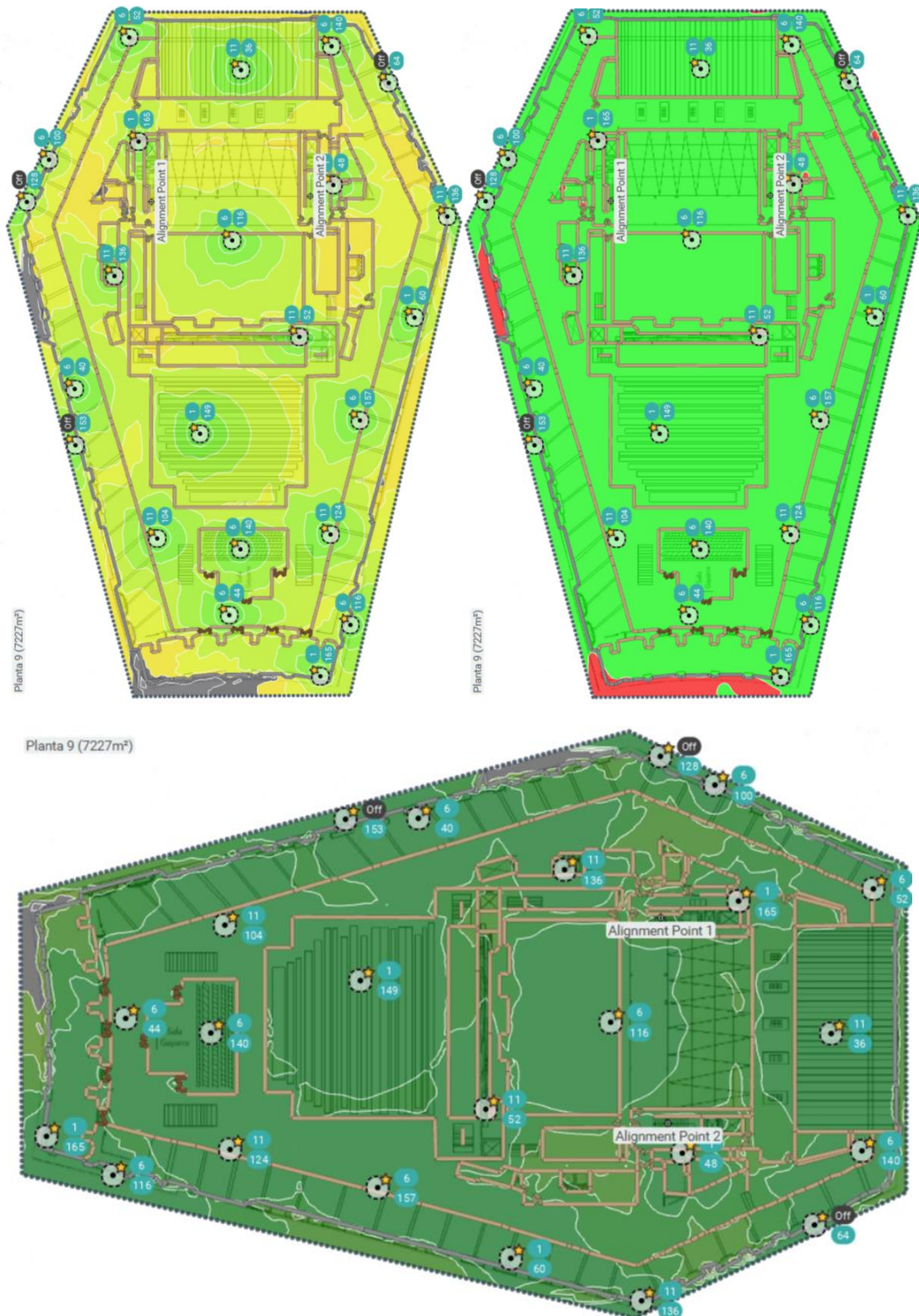


Figura 120. Planta 9: Potencia de la señal, Salud de la red y SNR (alta densidad)

7. Planta -1:

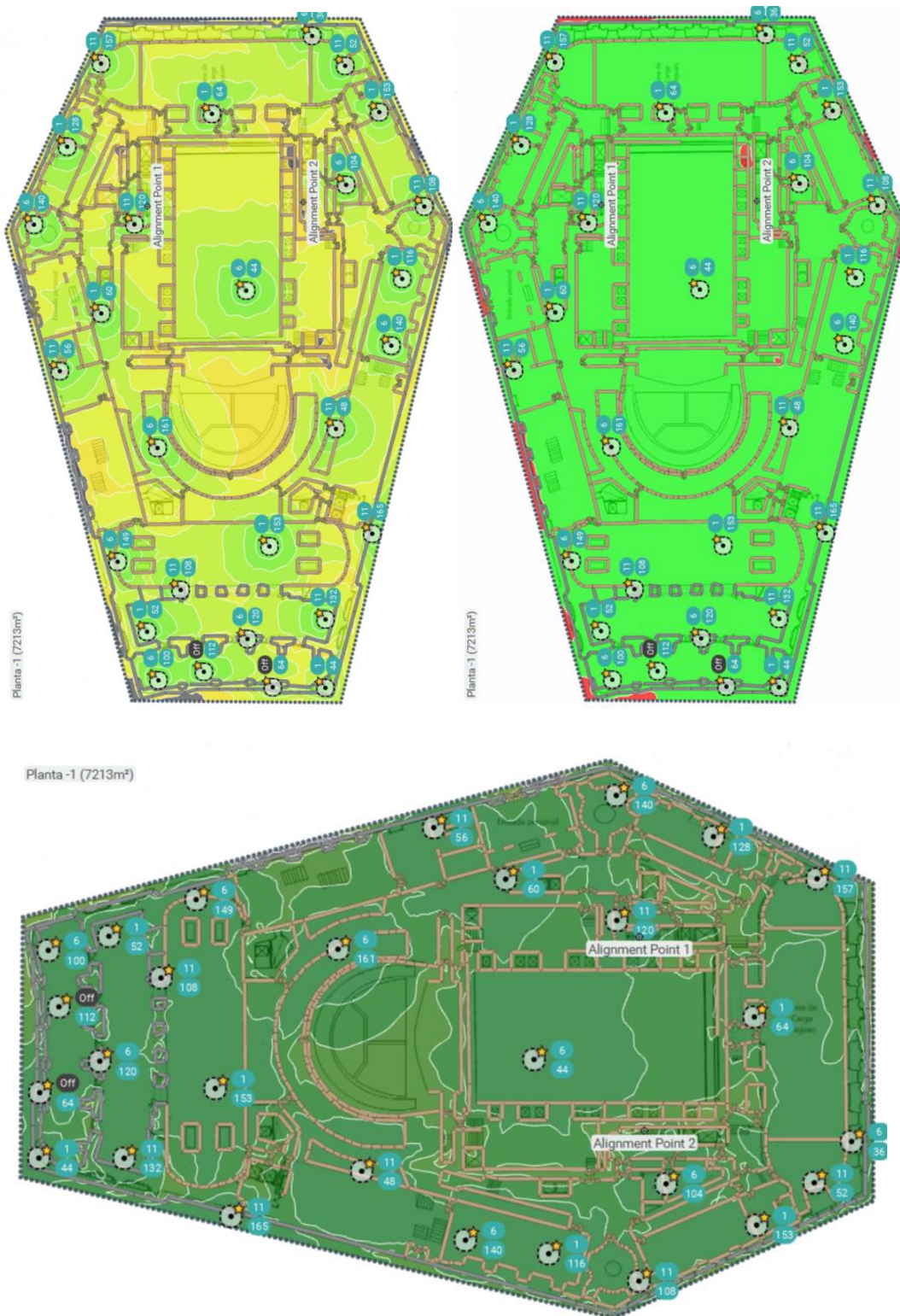


Figura 121. Planta -1: Potencia de la señal, Salud de la red y SNR (nivel básico)

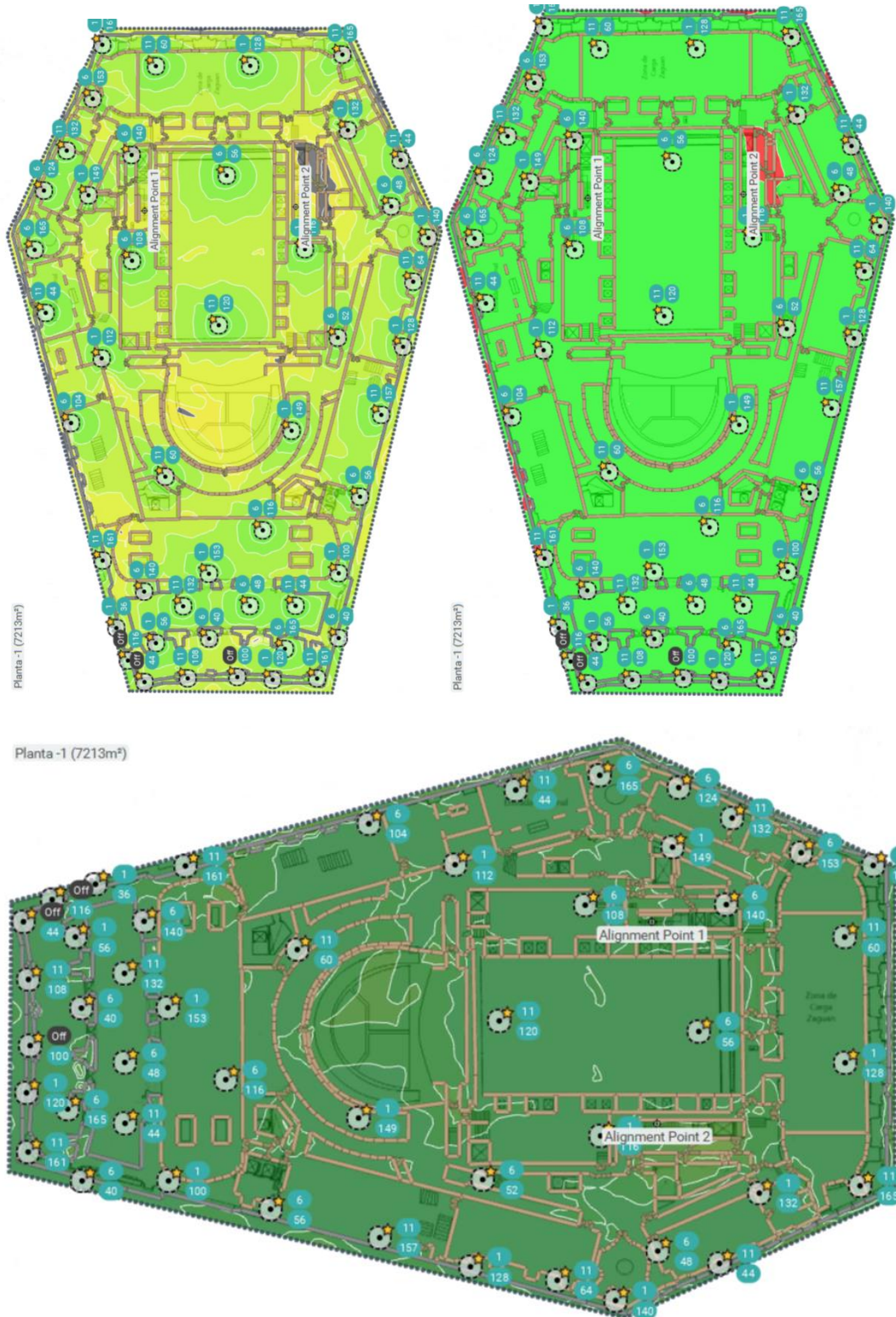


Figura 122. Planta -1: Potencia de la señal, Salud de la red y SNR (RTLS)

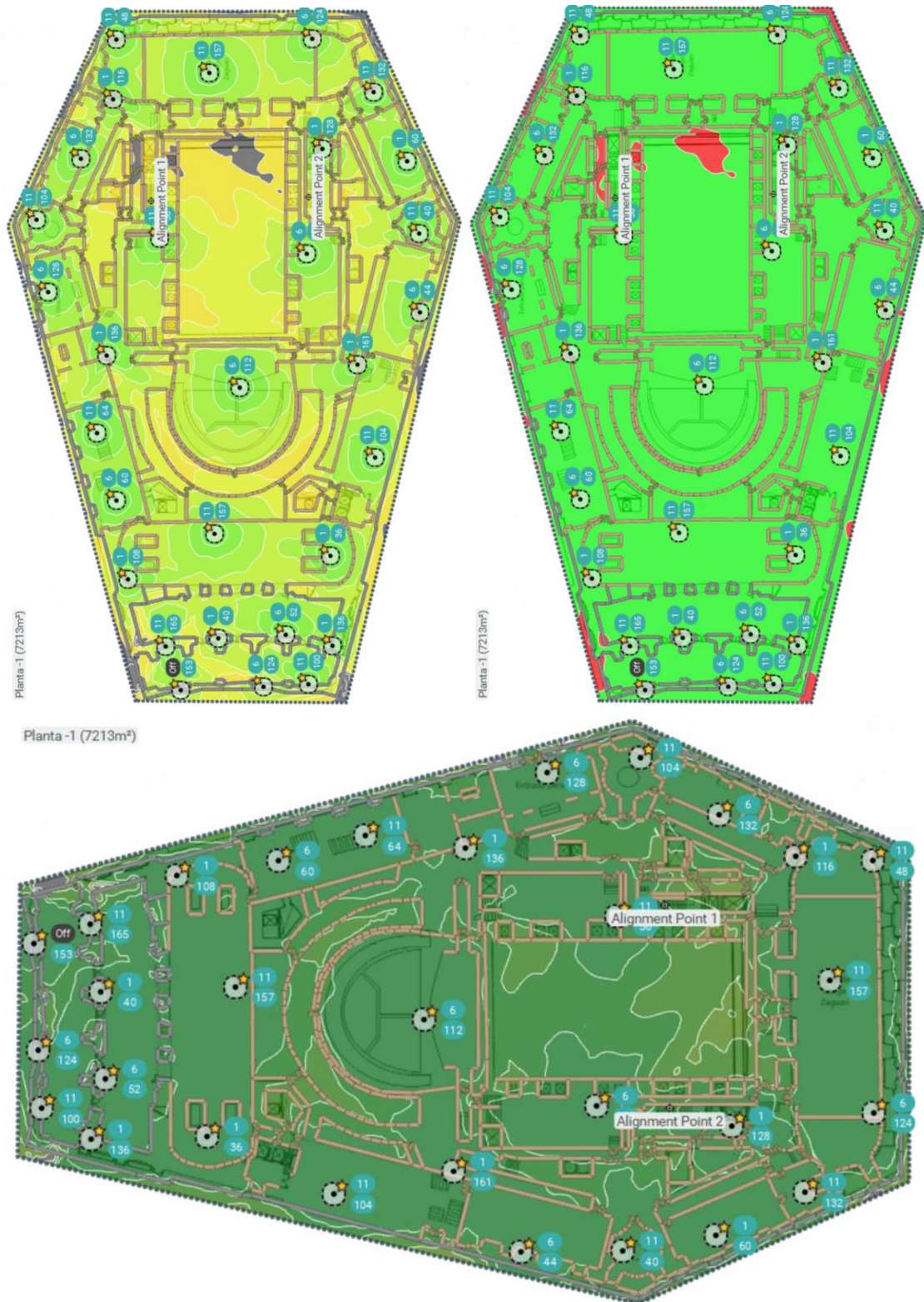


Figura 123. Planta -1: Potencia de la señal, Salud de la red y SNR (alta densidad)

8. Planta -2:

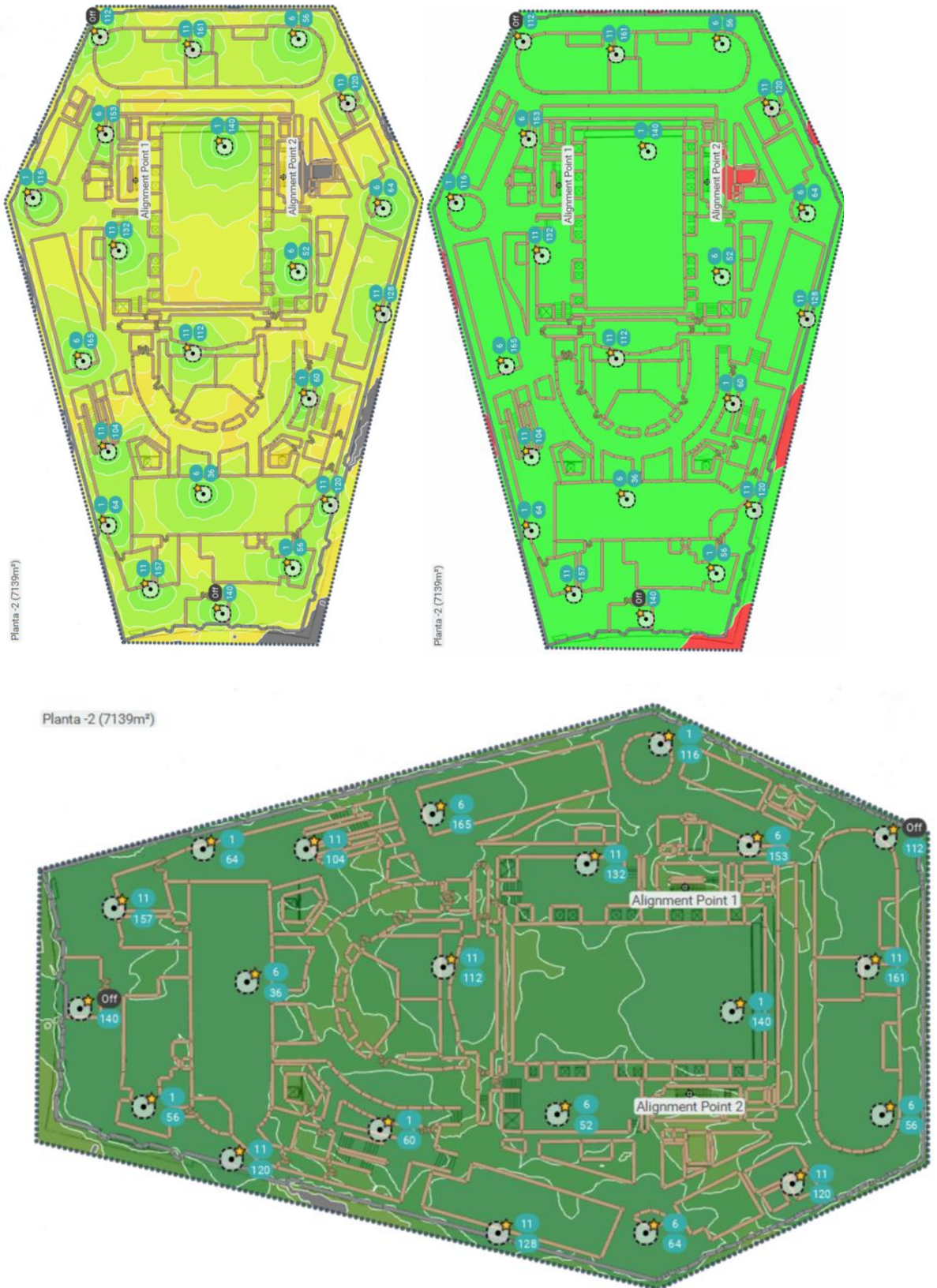


Figura 124. Planta -2: Potencia de la señal, Salud de la red y SNR (nivel básico)

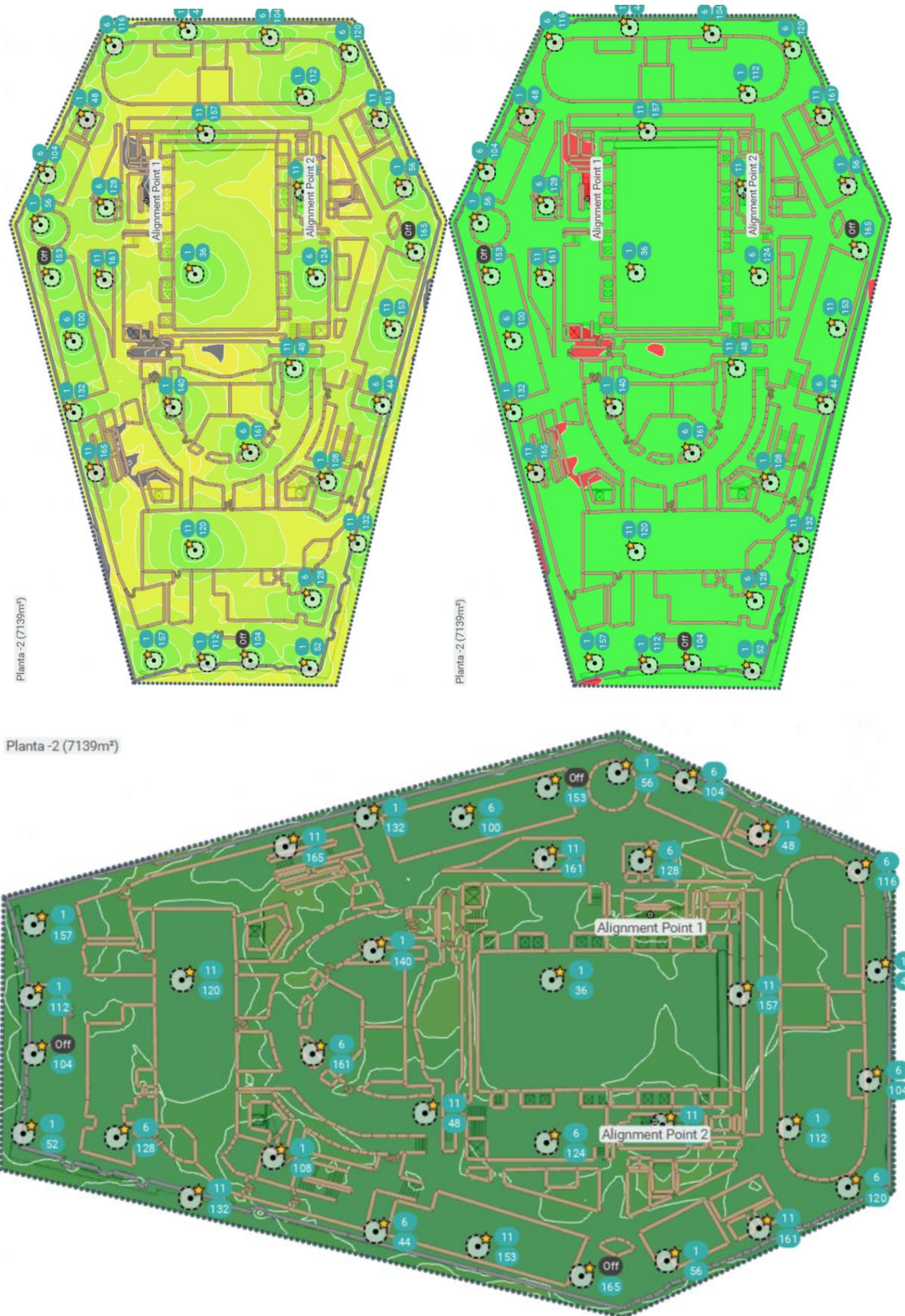


Figura 125. Planta -2: Potencia de la señal, Salud de la red y SNR (RTLs)

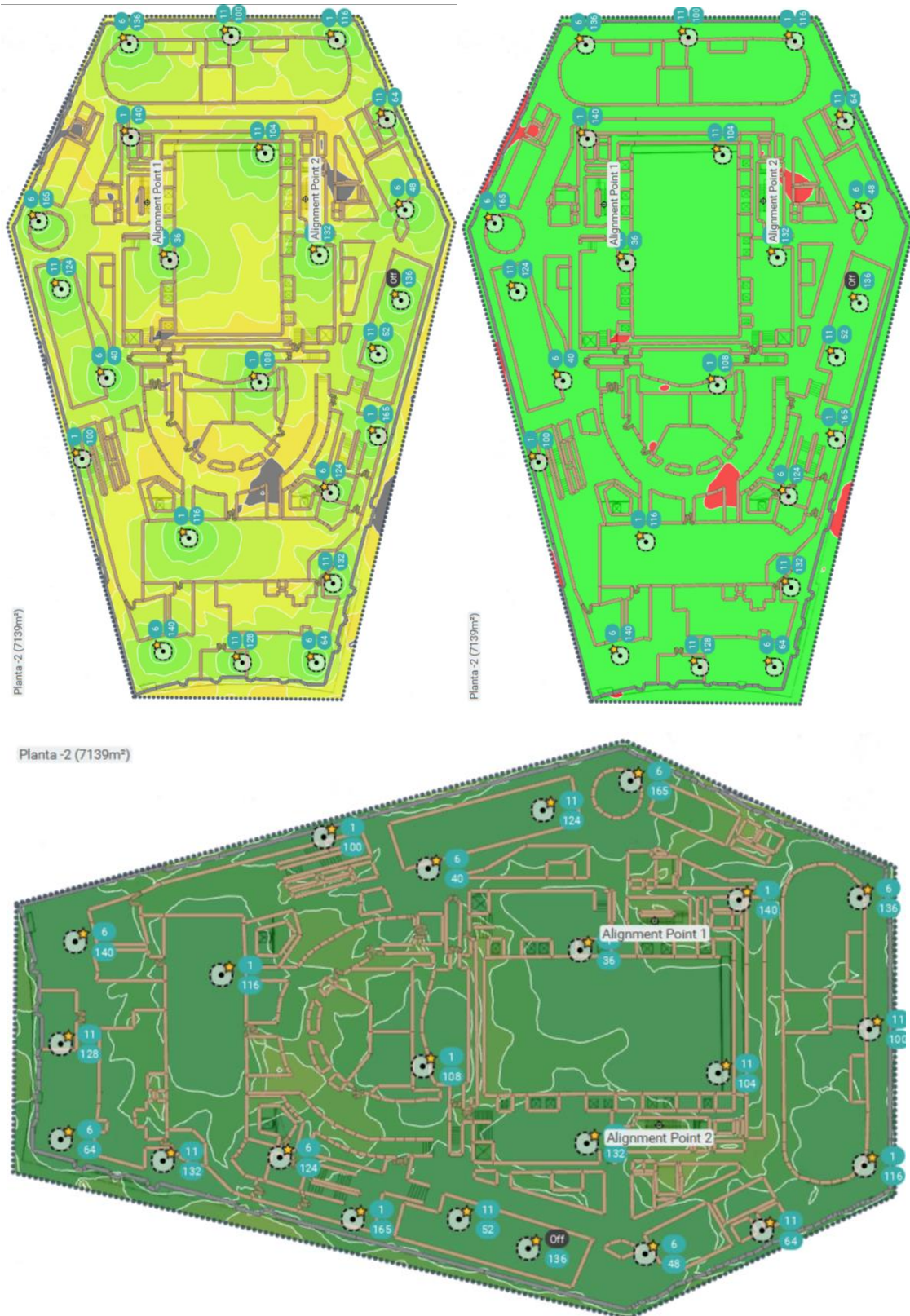


Figura 126. Planta -2: Potencia de la señal, Salud de la red y SNR (alta densidad)