

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS
INDUSTRIALES Y DE TELECOMUNICACIÓN

UNIVERSIDAD DE CANTABRIA



Proyecto Fin de Carrera

**PROPUESTA ALTERNATIVA PARA DOTAR
DE INTERNET DE ALTA VELOCIDAD EN
ENTORNOS SIN ACCESO A FIBRA ÓPTICA:
CASO PARTICULAR CEIP LAS DUNAS DE
LIENCRES**

(Alternative proposal to provide high speed
Internet in environments without access to
optical fiber: particular case CEIP Las Dunas
in Liencres)

Para acceder al Título de

INGENIERO DE TELECOMUNICACIÓN

Autor: Pablo Mier Zorrilla
Julio - 2012

INGENIERÍA DE TELECOMUNICACIÓN

CALIFICACIÓN DEL PROYECTO FIN DE CARRERA

Realizado por: Pablo Mier Zorrilla

Director del PFC: Amparo Herrera Guardado

Título: “ Propuesta alternativa para dotar de Internet de alta velocidad en entornos sin acceso a fibra óptica: caso particular CEIP Las Dunas de Liencres”

Title: “Alternative proposal to provide high speed Internet in environments without access to optical fiber: particular case CEIP Las Dunas in Liencres “

Presentado a examen el día:

para acceder al Título de

INGENIERO DE TELECOMUNICACIÓN

Composición del Tribunal:

Presidente (Apellidos, Nombre): Tomás Fernández Ibáñez

Secretario (Apellidos, Nombre): Amparo Herrera Guardado

Vocal (Apellidos, Nombre): Manuel Cervero Torre

Este Tribunal ha resuelto otorgar la calificación de:

Fdo.: El Presidente

Fdo.: El Secretario

Fdo.: El Vocal

Fdo.: El Director del PFC
(sólo si es distinto del Secretario)

DEDICATORIA Y AGRADECIMIENTOS

Empecé esta carrera universitaria con la idea básica de superación personal, complementación académica y con ganas de aprender más y consolidar y ampliar lo ya sabido, intentando formarme como buen profesional y mejor persona. En ese camino, tengo mucho y a muchos que agradecer...

A mis padres, que son un ejemplo a seguir. Me han apoyado siempre y me han ayudado durante todos estos años tratando de darme siempre la mejor educación y formación posible.

A toda mi familia que siempre me ha apoyado.

A mis amigos de toda la vida por estar siempre ahí y ofrecerme esa vía de escape y distracción. A mi novia Mónica, por apoyarme incondicionalmente y estar ahí en los momentos difíciles. A mis buenos amigos y compañeros de clase Jonathan, Sergio, Victor, Santi, Carmen, Tachina...por haberme aguantado durante todos estos años.

Un agradecimiento especial a mi tutora del proyecto Amparo Herrera por su disposición durante este tiempo. A Luis Valle como codirector del proyecto y a Ramón Agüero por responder a las dudas surgidas durante la realización de este proyecto y proporcionarme toda la información de la que disponían.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	8
1. WIMAX	11
1.1 Evolución del Estándar IEEE 802.16.....	13
1.2 Especificaciones de la señal	17
1.3 Comparativa de Tecnologías.....	18
1.4 WIMAX Forum	24
1.5 WIMAX en España	24
2. RADIOENLACE	27
2.1 Banda de Trabajo	28
2.1.1 Banda Libre	29
2.1.1.1 Antenas y Equipos.....	30
2.1.2 Banda Licenciada	30
2.1.2.1 Antenas y Equipos.....	31
2.2 Parámetros Importantes	32
2.3 Central Telefónica en Cazoña	36
2.3.1 Banda Libre	37
2.3.2 Banda Licenciada	40
2.4 Peñacabarga	42
2.4.1 Banda Libre	43
2.4.2 Banda Licenciada.....	45
2.5 Telecentro Municipal en Liencres	46
2.5.1 Banda Libre	47
2.5.2 Banda Licenciada.....	49
2.6 Localización del Transmisor y el Receptor	50
2.6.1 Transmisor	50
2.6.2 Receptor.....	51
2.7 Análisis de Resultados	52
3. Wi-Fi	55
3.1 Arquitectura de redes Wi-Fi.....	56
3.2 Estándar Wi-Fi.....	57
3.3 Itinerancia y movilidad.....	66

3.4 Futuras evoluciones de la tecnología Wi-Fi.....	67
3.5 Wi-Fi Alliance	68
3.6 Ventajas y Desventajas.....	68
4 ESTUDIO DE COBERTURA	71
4.1 Situación actual	72
4.1.1 Problemática existente	73
4.2 Estudio de cobertura	73
4.2.1 Planta Baja	75
4.2.2 Planta Primera.....	87
4.2.3 Aulas 2.0	95
4.3 Solución Propuesta	104
4.3.1 Planta Baja	105
4.3.2 Planta Primera.....	110
4.3.3 Asignación de canales.....	113
4.4 Esquema de redes	114
4.4.1 Capacidad del Sistema.....	115
5. ANÁLISIS DE COSTES	117
5.1 Servicio Operador	118
5.2 Costes Radioenlace	118
5.2.1 Transmisor	118
5.2.2 Receptor.....	119
5.3 Cobertura Wi-Fi	119
5.4 Coste Total.....	119
6. CONCLUSIONES	120
BIBLIOGRAFÍA	122
GLOSARIO	124
ANEXOS.....	127

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Estándares WIMAX.....	16
Tabla 2. Comparativa de tecnologías	23
Tabla 3. Parámetros banda libre	37
Tabla 4. Parámetros banda con licencia	40
Tabla 5. Parámetros banda libre	43
Tabla 6. Parámetros banda con licencia	45
Tabla 7. Parámetros banda libre	47
Tabla 8. Parámetros banda con licencia	49
Tabla 9. Resumen de los resultados de los casos para el radioenlace	52
Tabla 10. Parámetros del caso óptimo	54
Tabla 11. Puntos de acceso actuales.....	74
Tabla 12. Asignación de canales.....	114
Tabla 13. Parámetros radioenlace.....	121
Tabla 14. Puntos de acceso configuración final	121

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Logotipo WIMAX Forum.....	24
Figura 2. Zonas Fresnel	33
Figura 3. Relación zona Fresnel-Tierra.....	35
Figura 4. Central Telefónica en Cazoña	36
Figura 5. Vista por satélite Cazoña-Las Dunas	37
Figura 6. Captura Radio Mobile Cazoña-Las Dunas banda libre.....	38
Figura 7. Captura Radio Mobile Cazoña-Las Dunas banda con licencia...	41
Figura 8. Peñacabarga	42
Figura 9. Vista por satélite Peñacabarga-Las Dunas	43
Figura 10. Captura Radio Mobile Peñacabarga-Las Dunas banda libre....	44
Figura 11. Captura Radio Mobile Peñacabarga-Las Dunas banda con licencia.....	45
Figura 12. Telecentro municipal de Liencres	46
Figura 13. Vista por satélite Telecentro-Las Dunas	47
Figura 14. Captura Radio Mobile Telecentro-Las Dunas banda libre	48
Figura 15. Captura Radio Mobile Telecentro-Las Dunas banda con licencia.....	49
Figura 16. Torre para el receptor	51
Figura 17. Logotipo Wi-Fi Alliance	68
Figura 18. Cobertura de los puntos de acceso actuales en planta baja	76
Figura 19. Zona de cobertura de los puntos de acceso actuales en planta baja	76
Figura 20. Cobertura punto de acceso 1 en planta baja	77
Figura 21. Cobertura punto de acceso 2 en planta baja	78
Figura 22. Cobertura punto de acceso 3 en planta baja	78
Figura 23. Cobertura punto de acceso 4 en planta baja	79
Figura 24. Cobertura punto de acceso 5 en planta baja	80
Figura 25. Cobertura punto de acceso 6 en planta baja	80
Figura 26. Cobertura punto de acceso 7 en planta baja	81
Figura 27. Cobertura punto de acceso 8 en planta baja	82
Figura 28. Cobertura punto de acceso 9 en planta baja	82
Figura 29. Cobertura de los puntos de acceso de la primera planta	

en planta baja	83
Figura 30. Zona de cobertura de los puntos de acceso de la primera planta en planta baja	84
Figura 31. Cobertura punto de acceso 14 en planta baja	84
Figura 32. Cobertura punto de acceso 16 en planta baja	85
Figura 33. Cobertura punto de acceso 17 en planta baja	86
Figura 34. Cobertura punto de acceso 15 en planta baja	86
Figura 35. Cobertura de los puntos de acceso actuales en la primera planta	87
Figura 36. Zona de cobertura de los puntos de acceso actuales en la primera planta	88
Figura 37. Cobertura punto de acceso 14 en la primera planta	89
Figura 38. Cobertura punto de acceso 16 en la primera planta	89
Figura 39. Cobertura punto de acceso 17 en la primera planta	90
Figura 40. Cobertura punto de acceso 15 en la primera planta	91
Figura 41. Cobertura de los puntos de acceso de la planta baja en la primera	92
Figura 42. Zona de cobertura de los puntos de acceso de la planta baja en la primera planta	92
Figura 43. Cobertura punto de acceso 1 en la primera planta	93
Figura 44. Cobertura punto de acceso 6 en la primera planta	94
Figura 45. Cobertura punto de acceso 7 en la primera planta	94
Figura 46. Cobertura punto de acceso 8 en la primera planta	95
Figura 47. Cobertura aulas 2.0 en planta baja	96
Figura 48. Zona de cobertura aulas 2.0 en planta baja	96
Figura 49. Cobertura punto de acceso 19 en aulas 2.0 de la planta baja ..	97
Figura 50. Cobertura punto de acceso 10 en aulas 2.0 de la planta baja ..	98
Figura 51. Cobertura punto de acceso 20 en aulas 2.0 de la planta baja ..	99
Figura 52. Cobertura punto de acceso 21 en aulas 2.0 de la planta baja ..	99
Figura 53. Cobertura aulas 2.0 en la primera planta	100
Figura 54. Zona de cobertura aulas 2.0 en la primera planta	101
Figura 55. Cobertura punto de acceso 20 en aulas 2.0 de la primera planta	101
Figura 56. Cobertura punto de acceso 21 en aulas 2.0 de la primera planta	102

Figura 57. Cobertura punto de acceso 19 en aulas 2.0 de la primera planta.....	103
Figura 58. Cobertura punto de acceso 10 en aulas 2.0 de la primera planta.....	103
Figura 59. Cobertura en la planta baja de la solución propuesta.....	105
Figura 60. Zona de cobertura de la solución propuesta en la planta baja .	106
Figura 61. Cobertura punto de acceso 3 en la solución propuesta en planta baja.....	106
Figura 62. Cobertura punto de acceso 4 en la solución propuesta en planta baja.....	107
Figura 63. Cobertura punto de acceso 6 en la solución propuesta en planta baja.....	108
Figura 64. Cobertura punto de acceso 1 en la solución propuesta en planta baja.....	109
Figura 65. Cobertura punto de acceso 17 en la solución propuesta en planta baja.....	109
Figura 66. Cobertura en la primera planta de la solución propuesta	110
Figura 67. Zona de cobertura de la solución propuesta en la primera planta.....	111
Figura 68. Cobertura punto de acceso 6 en la solución propuesta en la primera planta.....	111
Figura 69. Cobertura punto de acceso 1 en la solución propuesta en la primera planta.....	112
Figura 70. Cobertura punto de acceso 17 en la solución propuesta en la primera planta.....	113
Figura 71. Esquema de redes CEIP Las Dunas	115

INTRODUCCIÓN

La tendencia actual en el área de las comunicaciones hacia la utilización de sistemas de comunicaciones inalámbricos con alta velocidad de conexión ha repercutido tanto en el ámbito empresarial como personal, permitiendo que los usuarios no dependan de cables que les obliguen a permanecer conectados físicamente a la red.

Si a ello sumamos la cada vez más pronta incorporación de las nuevas tecnologías a la actividad docente, observamos que se ha creado un nuevo modelo de enseñanza que cada día engloba a alumnos de más temprana edad. Un claro ejemplo son las aulas 2.0 que se están implantando en los colegios y cada vez son más habituales.

Este proyecto se centra en el estudio de una nueva tecnología inalámbrica de banda ancha, WIMAX, para su implantación en el colegio CEIP Las Dunas de Liencres. En particular se pretende por un lado, diseñar el radioenlace que permita transportar esta señal WIMAX hasta la ubicación del colegio y posteriormente, distribuirla por el colegio de tal forma que se ofrezca servicio a toda su estructura.

En líneas generales, el estudio se inicia describiendo las características de la tecnología inalámbrica de banda ancha WIMAX; posteriormente se analizarán los distintos casos para la posible implantación del radioenlace. Una vez conocida la ubicación de este se procederá a realizar un estudio de cobertura en el colegio para determinar la configuración más óptima de distribuir la señal.

El trabajo se divide en 6 capítulos:

En **capítulo 1: WIMAX** se realiza una visión global de esta nueva tecnología inalámbrica de banda ancha analizando sus inicios y los diferentes estándares que han ido apareciendo. Se detallan sus características más importantes, cómo son velocidad, banda de trabajo, modulación...etc. y se comparan con las tecnologías competentes.

En el **capítulo 2: radioenlace**, se estudian con el programa Radio Mobile los diferentes casos posibles para la implantación del radioenlace y se determina

cual es la opción más óptima. Se tendrán en cuenta las ubicaciones de la central telefónica de Cazoña, Peñacabarga y el telecentro municipal de Liencres que dispone de conexión ONO.

El **capítulo 3: Wi-Fi**, realiza una descripción de las características de esta tecnología y hace un repaso de sus diferentes estándares.

Puesto que la finalidad del estudio es conseguir dar servicio a la totalidad del colegio, se realiza un estudio de cobertura con el programa CINDOOR para determinar la configuración más idónea que se debe implantar en el colegio de tal forma que se pueda ofrecer servicio en toda su área. También se hace un análisis de las capacidades y limitaciones del nuevo sistema de red propuesto. De esto se encarga el **capítulo 4: estudio de cobertura**.

Una vez conocidos todos los requerimientos necesarios para implantar esta tecnología inalámbrica de banda ancha, se hace en el **capítulo 5: análisis de costes** un presupuesto aproximado del gasto que conllevaría dicha implantación.

Concluimos el proyecto con una valoración de los resultados obtenidos en el **capítulo 6: conclusiones**.

1. WIMAX

WIMAX [1], acrónimo de Worldwide Interoperability for Microwave Access (interoperabilidad mundial para acceso por microondas) nombre dado por un foro homónimo (Wimax Forum), es la tecnología estandarizada para redes de comunicaciones que permite el acceso inalámbrico de última milla y el acceso móvil de banda ancha, también conocida como IEEE 802.16.

Se trata de una tecnología pensada para cubrir grandes distancias con un gran ancho de banda de forma inalámbrica. Puede ser una alternativa para ofrecer servicios de banda ancha a zonas donde el medio de transmisión físico (cobre, fibra óptica, cable) es de difícil implantación debido al coste o a la baja densidad de población como por ejemplo las zonas rurales. Los orígenes de WIMAX son las tecnologías LDMS y MMDS para acceso inalámbrico a través de microondas entre lugares ampliamente distanciados.

El estándar 802.16 fue diseñado para actuar en la banda de frecuencias de 10 GHz a 66 GHz mientras que el 802.16a actúa entre 2 GHz y 11 GHz. En España WIMAX opera en la banda del espectro de 5,6 GHz y de 2,4 GHz que no requieren licencia, y se tiene también la banda de 3,5 GHz que sí requiere licencia.

En el estándar se definen las diferentes capas de las que está compuesto, así como la formación de las tramas que representan el transporte entre las diferentes estaciones. También están definidas diversas funciones para una mejor QoS, como son la concesión de ancho de banda y canal, autenticación y seguridad.

Para lograr una interoperabilidad óptima, WIMAX funciona con una capa física y un control de acceso (MAC) similares y compatibles con el estándar HyperMAN. Soporta modulación adaptativa [2] que permite el intercambio de ancho de banda para lograr largas distancias. Los terminales receptores son en su mayoría ordenadores con antenas explícitas o integradas.

El estándar WIMAX ha sufrido gran cantidad de mejoras y revisiones con el fin de mejorar sus prestaciones. A continuación se hace un breve resumen en el

que se exponen las mejoras más significativas que se han ido experimentando a través de las diferentes versiones del estándar.

1.1 Evolución del estándar IEEE 802.16

802.16

El estándar original. En abril de 2002 el IEEE publica la versión definitiva del estándar. Una especificación avanzada para sistemas instalados de banda ancha inalámbrica utilizando arquitectura punto-a-multipunto (PMP) utilizando el espectro licenciado en el rango de 10 a 66 GHz.

802.16a

Aprobado en enero de 2003, fue el primer prototipo de esta tecnología, es una ampliación del estándar hacia bandas de 2 a 11 GHz para conectar a los hogares, las empresas y puntos de acceso a LAN inalámbrica. Mejora el rendimiento sin línea de visión directa, ideal para entornos con obstáculos como árboles y edificios. Con un rendimiento de hasta 70 Mbps y distancias de hasta más de 30 Km gracias al soporte de modulación adaptativa. Incorpora los protocolos PTP y PTMP.

La tecnología 802.16a también proporciona una baja latencia para los servicios sensibles al retardo, como el tráfico de voz sobre circuitos de conmutación o sobre IP.

802.16b

Es una extensión diseñada para dar una mejor calidad de servicio al protocolo, el cual se centra en las bandas de 5 a 6 GHz. Cubre modificaciones adicionales MAC y la capa física de las bandas exentas de licencia.

Permite adaptar la capa MAC de acuerdo al grado de servicio adecuado para cada aplicación resultando más eficiente e incluso puede priorizar los diferentes tipos de tráfico.

802.16c

Publicado en diciembre de 2002, se corrigen algunos errores de la versión inicial definiendo un conjunto de prestaciones y funciones. Permite la interoperabilidad y la consistencia entre sistemas específicos de diferentes fabricantes que trabajan en el ancho de banda de 10 a 66 GHz aumentando así la generalización y uso del estándar para el futuro.

802.16d

Es la última versión del estándar. Busca cubrir las necesidades que no han sido cubiertas por el estándar 802.16a utilizando el sistema de perfiles OFDM 256-FFT. Soporta tanto FDD como TDD en un rango de frecuencias entre 2 y 6 GHz.

802.16e

También conocido como WIMAX móvil. Se produjo su ratificación en diciembre de 2005 y está orientado a las comunicaciones inalámbricas a nivel MAN (Metropolitan Area Network). Surge de la necesidad de poder implantar un estándar en el área de las comunicaciones inalámbricas móviles de banda ancha. Permite a los usuarios seguir conectados en la red a una velocidad de hasta 150 Km/h.

802.16f

Representa el equivalente a las redes de mallas (Mesh Networks) de WiFi añadiendo, entre otras cosas, el desplazamiento entre varios puntos de acceso (Roaming) permitiendo ampliar la cobertura de la red.

802.16g

Define los procedimientos en la sección de gestión de traspaso móviles para solicitar información criptográfica, sin verificar las estaciones base. Esto conduce a una vulnerabilidad de interceptación en tiempo real en la red. Se concluye con sugerencias acerca de cómo se puede proteger una implementación WIMAX contra esta vulnerabilidad.

802.16i

Retirada en 2008, trataba sobre los procedimientos del plan de gestión y servicios.

802.16j

Esta modificación actualiza y amplía las especificaciones de la capa física de OFDMA y las mejoras en la capa de control de acceso al medio para las bandas licenciadas con capacidades de repetición.

802.16k

Modificación del estándar para interconectar los SSs (subscriber station) y pasar tramas Ethernet entre las conexiones punto a punto asociados a las SSs.

802.16m

Actualmente en desarrollo y se conocerá como WIMAX 2. La finalidad es la misma, tener una gran potencia para cubrir grandes áreas, de hasta 50 Km. En lo que concierne a la velocidad, el actual WIMAX es capaz de alcanzar 70 Mbps, con esta nueva generación se llegará a picos de 300 Mbps, una menor latencia y compatibilidad con redes VoIP.

Resumen de los diferentes estándares

Estándar	Información básica	Fecha	Rango
IEEE 802.16	Define redes inalámbricas de área metropolitana (WMAN) en bandas de frecuencia superiores a 10 GHz. El IEEE publicó la versión definitiva del estándar, utiliza el espectro licenciado en el rango de 10 a 66 GHz con capacidad de hasta 134 Mbps entre 3 y 10 Km.	Abril 2002	Obsoleto
IEEE 802.16a	El primer prototipo de esta tecnología, es una ampliación del estándar hacia bandas de 2 a 11 GHz con sistemas NLOS y LOS y los protocolos PTP y PTMP.	Enero 2003	Obsoleto
IEEE 802.16b	Es una extensión diseñada para dar una mejor calidad de servicio al protocolo centrada en la banda de 5 a 6 GHz.	2003	(Fusionado con 802.16a) Obsoleto
IEEE 802.16c	Define los perfiles para redes inalámbricas de área metropolitana en las bandas de frecuencia sin licencia. Permite la interoperabilidad entre sistemas específicos que trabajan en el ancho de banda de 10 a 66 GHz.	Diciembre 2002	Obsoleto
IEEE 802.16d	Es una revisión del estándar 802.16 para añadir los perfiles aprobados por el WIMAX Forum. Permite amplificadores más baratos y diferentes esquemas de antenas inteligentes. Soporta tanto FDD como TDD, utiliza un rango de frecuencias entre 2 y 6 GHz.	Octubre 2004	Activo
IEEE 802.16e	Conocido como WIMAX Móvil, permite que los clientes de tecnología móvil utilicen redes de área metropolitana inalámbricas. Permite a los usuarios seguir conectados en la red a una velocidad de hasta 150 Km/h	Diciembre 2005	Activo
IEEE 802.16f	Permite que se usen las redes en malla.	2005	Activo
IEEE 802.16g	Define los procedimientos en la sección de gestión de traspaso móviles para solicitar información criptográfica, sin verificar las estaciones base.	2007	Activo
IEEE 802.16h	Mejora la coexistencia de	-	En

	operaciones licenciadas.		desarrollo
IEEE 802.16i	Herramientas de control y. administración de la información.	2007	Retirado en 2008
IEEE 802.16j	Acceso basado en Relays.	2007	Activo
IEEE 802.16k	Introduce bridging.	2007	Activo
IEEE 802.16m	Llamado WIMAX 2 se llegará a picos de 300 Mbps, una menor latencia y compatibilidad con redes VoIP.	-	En desarrollo

Tabla 1. Estándares WIMAX

1.2 Especificaciones de la señal

En comunicaciones de acceso fijo (802.16d) se establece un enlace radio entre la estación base y un equipo de usuario. El alcance esta optimizado para tamaños de celda entre 7 y 10 Km y puede llegar a tener alcances de 50 Km. El ancho de banda es flexible y puede ir de 1,5 MHz a 20 MHz tanto para las bandas con licencia como para las que no la necesitan. Por lo tanto, en condiciones ideales, se pueden obtener velocidades máximas de 70 Mbps con un ancho de banda de 20 MHz compartido por todos los usuarios de la célula. En casos prácticos se han conseguido alcanzar entre los 30 Mbps y los 40 Mbps. WIMAX permite, además, la reutilización de frecuencias y la planificación del espectro para operadores comerciales.

Condiciones NLOS (No Line Of Sight)

No línea de vista [3], estas condiciones engloban la presencia de obstáculos tales como árboles, edificios, etc, en la línea de vista entre el transmisor y el receptor. Se transmiten las ondas a baja frecuencia (entre los 2 y los 11 GHz) para no sufrir interferencias por la presencia de objetos. Esto hace que el ancho de banda disponible sea menor. Las antenas que oferten este servicio tendrán cobertura de 65 km², es decir, tendrá un alcance de unos 8 Km.

Condiciones LOS (Line Of Sight)

Línea de vista, estas condiciones son las ideales para la comunicación entre el transmisor y el receptor puesto que no hay ningún obstáculo entre ambos y se ven directamente. Las antenas que oferten este servicio tendrán un amplio

despliegue de cobertura. La velocidad sube hasta los 70 Mbps y la señal llega a ser válida hasta en 50 Km en condiciones atmosféricas favorables.

1.3 Comparativa de tecnologías

En un mercado tan competitivo y lucrativo como el de las telecomunicaciones sería difícil creer que la emergente tecnología WiMAX iba a ser la única propuesta para la evolución de las comunicaciones inalámbricas. WiMAX se enfrenta a una gran variedad de tecnologías, tanto ya implantadas y muy desarrolladas como otras en desarrollo.

Las primeras a las que podemos hacer referencia son las tecnologías ADSL o la fibra óptica que constituyen la forma más optimizada de comunicación, al alcanzar los mejores rendimientos en cuanto a velocidad, seguridad, etc. Las redes inalámbricas no pueden superar a las cableadas en estos aspectos, por lo que su éxito se debe básicamente a no tener que estar atado a un cable para disponer de conexión. Más detalladamente, movilidad, facilidad de interconexión y abaratamiento de los costes sin renunciar a un acceso rápido y seguro. Este acceso probablemente no sea nunca tan rápido y seguro como en una red cableada, pero normalmente cumple lo exigible con creces.

Cuando el medio de propagación es aquel por el que se propagan las ondas electromagnéticas, las posibilidades aumentan enormemente y también los potenciales objetivos a los que se podrá dar servicio. Surgen por tanto multitud de tecnologías como el archiconocido WiFi que permite comunicaciones en red de área local o las redes celulares que son la base de la telefonía móvil.

Los estándares de WiMAX ofrecen estas dos vertientes sobre las que se trabaja en el mercado. Por un lado el acceso fijo en el que se establece un enlace entre la estación base y el usuario que no se mueve (al menos no demasiado) y otro acceso que otorga movilidad completa mediante la instalación de una red celular en la que el usuario puede desplazarse, por ejemplo, en un vehículo. Por tanto, tenemos dos mercados distintos, el primero en el que WiMAX es análogo a los bucles de abonado cableados mediante los

cuales obtenemos acceso a teléfono/TV/Internet en nuestras casas pero ofreciéndolo de forma inalámbrica y el segundo en que compite con las redes celulares *GSM*, *GPRS*, *UMTS* y sobretodo con *LTE*, la evolución de estas últimas y en proceso de implantación al igual que WiMAX.

Sin olvidarnos de la red WiFi, pero en este caso no como tecnología competidora sino más bien como complemento a WiMAX debido a que WiMAX trabaja sobre redes inalámbricas metropolitanas y WiFi sobre Redes de Área Local (LAN).

También es importante hacer mención de las tecnologías *LDMS* y *MMDS* para acceso inalámbrico a través de microondas ya que han sido las principales precursoras de la tecnología WiMAX al intentar establecer comunicaciones entre lugares ampliamente distanciados.

A continuación describiremos de forma resumida las tecnologías presentes para tener una mejor perspectiva y así poder comparar entre ellas de una forma más eficiente.

WiFi

WiFi es el nombre que recibe la marca creada por *WiFi Alliance*, la organización comercial que adopta, prueba y certifica que los productos que dicen cumplir con el estándar *IEEE 802.11* realmente lo hacen.

Este estándar define el uso de los dos niveles inferiores de la arquitectura *OSI* (capa física y capa de enlace de datos), especificando sus normas de funcionamiento en una red de área local inalámbrica (*WLAN*).

Hoy en día pocos dispositivos que trabajen con comunicaciones y datos no cuentan con él, debido principalmente a que complementan las redes cableadas. Proporcionan una solución de conectividad en aquellas áreas donde sea complicado de establecer una infraestructura cableada, aportando gran movilidad, flexibilidad y rapidez en la instalación. Además, el hecho de que se

convirtiera en una tecnología masiva hizo que cuantos más productos la tuvieron, más se animaron a incorporarla.

LMDS

LMDS (*Local Multipoint Distribution System*) es una tecnología de comunicaciones inalámbricas de banda ancha que utiliza estaciones base distribuidas a lo largo de la zona que se pretende cubrir, de forma que en torno a cada una de ellas se agrupa un cierto número de usuarios, generando así una estructura basada en células también llamadas áreas de servicio donde cada célula tiene un radio medio de aproximadamente 4 Km.

Utiliza ondas radioeléctricas a altas frecuencias (28-40 GHz, microondas) en las que existen anchos de banda de unos 2GHz. Dado el ancho de banda disponible, LMDS puede ser soporte de una gran variedad de servicios simultáneos como televisión, telefonía, datos...

El abonado al sistema recibe la señal mediante una de las tres vías siguientes: desde el emisor principal de la célula si existe visibilidad directa, desde un repetidor en zonas de sombra o mediante un rayo reflejado en alguna superficie plana como la pared de un edificio. La antena receptora puede ser de dimensiones muy reducidas (16x16 cm). Permite la transmisión de datos de forma simétrica y dedicada independientemente del nivel de ocupación que otros clientes hagan. LMDS por tanto implementa el bucle de abonado de forma inalámbrica con una infraestructura muy rápida de montar. Además es muy fácil de ampliar gracias a la naturaleza intrínsecamente modular de la arquitectura.

LMDS no llegó a despegar comercialmente, aparte de por la competencia, porque no era una tecnología especialmente buena en temas como la propagación, puesto que en muchos de los casos era casi imprescindible la visibilidad directa entre emisor y receptor y también sufría atenuaciones bastante importantes por la lluvia. La idea es bastante parecida a WiMAX, luego puede considerarse precursor en la idea de sustituir el bucle de abonado cableado por el inalámbrico.

MMDS

MMDS (*Multichannel Multipoint Distribution Service*) es una tecnología inalámbrica de telecomunicaciones usada para el establecimiento de una red de banda ancha de uso general o, más comúnmente, como método alternativo de recepción de programación de televisión por cable. Utilizado normalmente en áreas rurales poco pobladas donde instalar redes de cable no es económicamente viable.

Se emplean frecuencias de microondas con rangos de 2 GHz a 3 GHz. La recepción de las señales entregadas vía MMDS requiere una antena especial de microondas y un decodificador que se conecta a receptor de televisión. Es una tecnología similar a LMDS en aspectos como topología de la red, pero en este caso las áreas de cobertura son mucho mayores y es menos sensible a la lluvia. Sin embargo, sufre una importante atenuación por los edificios por lo que se requiere visibilidad directa en la mayoría de los casos.

Las aplicaciones a las que se destinó son más concretas (TV) que lo que busca WiMAX. Además WiMAX pretende que la cobertura sea buena dentro de su radio de acción, sin importar tanto los obstáculos como ocurre con esta tecnología.

GSM

El Sistema Global para las Comunicaciones Móviles GSM (*Groupe Special Mobile*) es un sistema estándar para la comunicación mediante teléfonos móviles que incorporan la tecnología digital. Cualquier cliente GSM puede conectarse a través de su teléfono con su ordenador y puede enviar y recibir e-mails, faxes, navegar por Internet, así como utilizar otras funciones digitales de transmisión de datos, incluyendo el *Servicio de Mensajes Cortos* (SMS), diseñado como parte de este estándar y que después se ha usado en otros ámbitos.

GSM y sus sucesores GPRS y UMTS se consideran los orígenes de la tecnología LTE, principal competidora de WiMAX.

GPRS

El *Servicio General de Paquetes Vía Radio* GPRS (*General Packet Radio Service*) es una extensión del sistema GSM para la transmisión de datos por paquetes, permitiendo velocidades de transferencia de 56 a 144 Kbps. Permite el uso de servicios tales como SMS, MMS, Internet, WAP, correo electrónico y WWW con la mejora de la transmisión de paquetes, que permite mejores tasas de transferencia. Normalmente se usa GSM para las llamadas y todo aquel tráfico que sea recomendable cobrar por tiempo y GPRS para aquel tráfico que interese ser cobrado por volumen.

UMTS

El *Sistema Universal de Telecomunicaciones Móviles* UMTS (*Universal Mobile Telecommunications System*) es el sucesor de GSM, ya que este no podía seguir un camino evolutivo para llegar a brindar servicios de los considerados de tercera generación (3G). Aunque su uso está pensado principalmente para teléfonos móviles, la red UMTS no está limitada a estos dispositivos, pudiendo ser utilizada por otros. Sus tres grandes características son las capacidades multimedia, una velocidad de acceso a Internet elevada que permite transmitir audio y vídeo en tiempo real y una transmisión de voz equiparable a la de las redes fijas.

LTE

LTE (*Long Term Evolution*) es un nuevo estándar de la norma 3GPP definida por unos como una evolución de la norma UMTS (3G) y para otros como un nuevo concepto de arquitectura evolutiva (4G). Comparado con las tecnologías 2G y 3G anteriores, LTE permite una experiencia de usuario mejorada al dar servicios como televisión interactiva, vídeo de alta definición o juegos de gran exigencia.

La arquitectura LTE ha dado un cambio radical respecto a sus predecesoras al basarse en IP. Esto se hace con el objetivo de extender masivamente los servicios basados en IP. Además la arquitectura también se aprovecha de la

infraestructura GSM existente, con lo cual es un punto muy a su favor respecto a WiMAX ya que los costes se reducen en gran medida.

El objetivo de LTE es dar un servicio con tasas de descarga de 100 Mbps y 50 Mbps de subida a una frecuencia de 20 MHz. LTE utiliza OFDM para la descarga y FDMA para la subida. El hecho de que FDMA se utilice para la subida se debe a que el envío de datos mediante esta técnica es menos costoso energéticamente, lo cual es deseable para alargar la duración de la batería de los terminales.

Una de las características principales de LTE es la flexibilidad del espectro que utiliza. Puede ser desplegado en anchos de banda que van desde 1.4 MHz hasta 20 MHz. Es capaz de transmitir y recibir a la vez mediante el uso de multiplexación por división en frecuencia o por división en el tiempo.

TABLA RESUMEN

A continuación una pequeña tabla comparando las características de WiMAX frente a las tecnologías mas utilizadas para transmisión de datos. Algunos de los valores son orientativos dependiendo de la versión del estándar de cada tecnología o también, por ejemplo, de las restricciones normativas de cada país.

	WiFi	LMDS	MMDS	GSM	GPRS	UMTS	LTE	WIMAX
Velocidad	54 Mbps	8 Mbps	1-2 Mbps	9.6 Kbps	170 Kbps	2 Mbps	150 Mbps	70 Mbps
Frecuencia	2.4 GHz	20 GHz	2.5-2.7 GHz	380-1990 MHz	380-1990 MHz	2 GHz	700 MHz	2-66 GHz
Cobertura	100 m	8 Km	55 Km	35 Km	35 Km	35 Km	100 Km	50 Km
Licencia	No	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Ambas
Itinerancia	No	No	No	Si	Si	Si	Si	Si

Tabla 2. Comparativa de tecnologías

1.4 WIMAX Forum

El WiMAX Forum es una asociación sin ánimo de lucro formada por la industria para certificar y promocionar la compatibilidad e interoperabilidad de los productos inalámbricos de banda ancha basados en el estándar común IEEE 802.16e/ETSI HyperMAN. La meta del WiMAX Forum es acelerar la introducción de estos sistemas en el mercado.

Los productos WiMAX Forum Certified son interoperables y soportan los servicios de banda ancha fijos, nómadas, portátiles y móviles. El Forum se encarga de controlar, con la ayuda de los prestadores de servicio y reguladores, que los productos y sistemas certificados satisfagan las necesidades de los clientes y gobiernos adaptando y ampliando los estándares. Para realizar esta tarea el WIMAX Forum realiza congresos y exhibiciones para mostrar la tecnología de WIMAX (WIMAX Forum Congress Events Series).



Figura 1. Logotipo WIMAX Forum

1.5 WIMAX en España

WIMAX llegó a España [4] de la mano de Intel e Iberbanda. La empresa Iberbanda obtuvo la licencia nacional para poder usar la frecuencia de 3,5 GHz en el año 2000 aunque no sería hasta el año 2001 cuando empezó a explotarlo.

En el 2004, el grupo estadounidense Intel seleccionó a España como uno de los países piloto para implantar su nueva tecnología de acceso inalámbrico a Internet de alta velocidad. El 1 de Abril de ese mismo año se presentó en Madrid el acuerdo que habían sellado Intel e Iberbanda para materializar una oferta de conexión a Internet en España. Intel suministraría a Iberbanda y a sus

clientes los equipos necesarios para la implantación de la infraestructura, y desarrollaría un chip Centrino con dichas capacidades. Se pretendía así dar acceso a los nuevos usuarios de banda ancha en aquellas zonas que debido al déficit estructural y el gran gasto que supondría su implantación no tenían acceso a este servicio.

A finales de 2006 en España ya había un total de 20.469 líneas, más del doble que en el año 2005. La facturación alcanzó los 6,13 millones de euros, muy lejos de los 1.170 millones de euros que genera el ADSL.

Desde Alvarion ya han desplegado en España redes WIMAX de banda ancha entre otros clientes y operadores como el ya nombrado Iberbanda (participada en la actualidad por Telefónica), Euskaltel en el País Vasco, así como los proyectos singulares de extensión de banda ancha de Cataluña y el más extenso de todos de Castilla y León.

En Castilla y León a principios de 2006, se desplegó una red WIMAX de Alvarion por parte del operador Iberbanda y en abril de 2007 ya había cientos de Estaciones Base y miles de unidades de cliente dando servicios de banda ancha de alta velocidad tanto de voz como de datos, tanto para hogares como para empresas y PYMES.

En Andalucía se han implantado conexiones WIMAX de forma comercial en la ciudad de Sevilla por la operadora Instanet. El Ayuntamiento de Jerez y la Diputación de Cádiz han llevado la conexión a Internet de banda ancha a sus zonas rurales con la ayuda de la tecnología WIMAX. El servicio, con un precio de 15 euros mensuales, llega a más de un millar de personas que habitan en barriadas que no disponen de conexión telefónica de alta calidad. También se pretende cubrir toda Andalucía.

En Cataluña la empresa Neomedia ha desplegado este sistema, que da soporte a la red inalámbrica del Ayuntamiento de Barcelona.

En el País Vasco WIMAX se ha desarrollado comercialmente en la mayor parte de los municipios con la operadora Euskaltel, tanto para voz como para datos.

Desde febrero de 2007, el gobierno vasco da subvenciones del 100% de la instalación.

En Madrid la empresa Neomedia también ha realizado los proyectos con infraestructura WIMAX sobre banda de uso común. El Ayuntamiento de Alcorcón dispone de una red WIMAX formada por más de 70 radioenlaces y ha puesto en marcha un sistema de videovigilancia en edificios municipales y colegios mediante WIMAX. El proyecto consta de 120 cámaras conectadas entre sí mediante antenas inalámbricas.

En Alicante, la empresa de telecomunicaciones Marin Telecom ofrece, a través de su red WIMAX Aeromax con una superficie de cobertura actual de 2000 Km² y varias modalidades, desde banda estrecha hasta banda ancha (hasta 34 Mbps) y líneas de voz/fax a través del mismo sistema.

En lugares como el País Vasco, Cádiz, Sevilla, Murcia, Barcelona, Lérida o Madrid ya se comercializa esta tecnología.

En Málaga la empresa Clearwire inició en noviembre del 2008 los ensayos con la nueva red WIMAX, más potente y con más posibilidades de acceso desde cualquier punto de la ciudad. El plan de implantación aprobado por el Consistorio andaluz cuenta con 25 nodos repartidos por la capital que tendrán una instalación y ubicación similar a las antenas de telefonía en las cubiertas de los edificios. En Marzo del 2009, también en Málaga, Iberbanda y Alcatel-Lucent probaron el funcionamiento del WIMAX móvil en las inmediaciones del centro de I+D que el operador tiene allí. Los experimentos se realizaron con un autobús dotado de videocámaras, pantallas, teléfonos y ordenadores que en ningún momento perdieron la conexión.

Alcatel-Lucent anunció en diciembre el reenfoque de su I+D de WIMAX para centrarse en la oportunidad de negocio que predomina en el mercado: el DSL inalámbrico para el uso de datos en movilidad en portátiles y dispositivos Internet móviles (MID) y también para el uso nómada y residencial del PC.

2. RADIOENLACE

Un punto importante en este proyecto es el diseño del radioenlace a través del cual haremos llegar la señal de WIMAX hasta el colegio. Con el fin de alcanzar los propósitos establecidos, se han realizado diferentes pruebas con diferentes opciones tanto de operadores como de bandas de transmisión.

Con la ayuda del programa RADIO MOBILE realizaremos un estudio detallado del radioenlace desde los diferentes puntos de la orografía cercana al colegio en donde podemos disponer de la señal a transmitir. Básicamente nos centraremos en tres puntos: la central de Telefónica situada en Cazoña, Peñacabarga y un telecentro situado en Liencres muy cercano al colegio que dispone de conexión con ONO.

Como hemos dicho anteriormente, un aspecto importante es la banda de transmisión. A la hora de seleccionar una banda de trabajo es fundamental conocer las peculiaridades del escenario de trabajo y las ventajas e inconvenientes que ofrecen las diferentes alternativas.

A continuación, se va a analizar las características del sistema WIMAX en cada una de las dos bandas de frecuencia, libre y licenciada, así como el estudio del radioenlace para dichas bandas.

2.1 Banda de trabajo

La tecnología WIMAX es una de las alternativas con mayor potencial para acceso inalámbrico de banda ancha. Una vez decidida la tecnología, se deberá evaluar en que banda de trabajo se decide trabajar, si es en la banda licenciada o es en la banda libre.

Los beneficios de las soluciones basadas en WiMAX, tanto en espectro con licencia como de uso libre, sobre las soluciones cableadas, son la eficiencia en costes, escalabilidad y flexibilidad. A continuación se tratará de explicar detalladamente las características principales de estas dos alternativas y una vez conocidas estas se analizará cual es la más adecuada para nuestro escenario de trabajo.

2.1.1 Banda Libre

En Europa [5] la banda libre se sitúa en 5475-5725 MHz, en nuestro caso trabajaremos en 5600 MHz. Para la operación en estas bandas dentro de las limitaciones establecidas en la legislación española, no se exige disponer de licencia de uso del espectro. Este hecho implica que la utilización de esta banda esté sujeta a condiciones específicas como son el límite sobre la potencia que se puede radiar y los protocolos de comunicaciones que se pueden utilizar con el fin de garantizar el uso común de estas frecuencias.

La mayoría de estas condiciones de utilización emanan de la regulación que fija el Ministerio de Industria para el uso del dominio público radioeléctrico. El Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencia (CNAF) recoge las condiciones de utilización del espectro en el Estado español por el que hace atribución de uso para las frecuencias, las potencias de emisión y los protocolos que hay que utilizar en cada banda.

La limitación de potencias máximas de emisión está orientada a buscar un equilibrio entre la cobertura de los puntos de acceso y las posibles interferencias entre emisores.

En España [6], las condiciones de uso compartido de la banda de 5 GHz se concretan en la nota UN-128 del CNAF. La PIRE máxima está restringida a 200 mW entre los 5,15 y 5,360 GHz y en 1 W en la banda comprendida entre los 5,470 y 5,725 GHz, siempre que se utilicen técnicas de control de potencia, soportadas por los puntos de acceso que se comercializan habitualmente.

Un punto a favor en esta banda es la gran disponibilidad de espectro (200 MHz) que permite el uso de anchos de canal mayores, siendo 10 MHz el ancho de banda más empleado, lo que permite una gran capacidad a nivel físico.

El método de duplexado es siempre TDD, lo que obliga a repartir el throughput disponible entre tráfico ascendente y descendente, pero permite establecer una asimetría en el tráfico ascendente/descendente que se adapte a la demanda concreta, lo que se traduce en un mayor aprovechamiento del espectro.

El elevado coste de la adquisición de espectro lleva a muchos operadores inalámbricos a considerar el uso de bandas sin licencia para áreas rurales o mercados emergentes. Este tipo de soluciones tiene una serie de ventajas como es el menor coste, la mayor escalabilidad o la mayor interoperatividad.

2.1.1.1 Antenas y equipos

A la hora de seleccionar el equipamiento necesario, al igual que la banda de trabajo, es fundamental conocer las características del entorno de trabajo y las ventajas e inconvenientes que ofrecen las diferentes opciones de equipamiento disponible.

Para el caso de operar en banda libre las características del equipamiento elegido se resumen a continuación.

-*Transmisor*: antena parabólica de disco de 29 dBi y frecuencia de operación 5470- 5725 MHz.

-*Unidad de control base*: ARBA-550 de Albentia Systems.

-*Receptor*: AB-MAX de Axxcelera en la banda de operación 5470-5850 MHz

Los datasheet correspondientes estan contenidos en el ANEXO B.

2.1.2 Banda Licenciada

Se trata de la primera banda utilizada para operadores de banda ancha con licencia, que generalmente se localiza entre los 3,4 y 3,6 GHz, nosotros trabajaremos en los 3,5 GHz y, como bien indica su nombre, para trabajar en ella se requiere de una licencia de uso del espectro radioeléctrico, que es un proceso muy variable en función del país en el que se quiera operar, teniendo que pasar por subastas, elevados precios y retardos considerables.

Las bandas entre 3,4 y 3,6 GHz han sido reservadas por la mayoría de los países para servicios fijos, móviles y/o por satélite, con la excepción de los Estados Unidos. En estas bandas el enfoque del foro WiMAX será el de

minimizar los requisitos técnicos y reglamentarios no necesarios que puedan inhibir el desarrollo de WiMAX para esta clase de operadores.

Ofrece la posibilidad de altas potencias de transmisión al carecer esta banda de limitación de potencia. Esta mayor potencia se consigue a cambio de un importante incremento en el coste del equipamiento debido a la etapa de potencia y el sistema de alimentación y disipación del equipo.

En ellas se opera tanto con TDD como con FDD, existiendo por lo general canales de 3,5 y 7 MHz. El ancho de canal más empleado es el de 3,5 MHz, puesto que mayores anchos de banda no son viables debido a la escasez del espectro y a la necesidad de reutilización de frecuencias, por lo que la mayor parte de las estaciones base sólo soportan ese ancho de banda.

Las estaciones base pueden operar en modo Full-Duplex, lo que teóricamente duplica la capacidad, a cambio de un importante aumento de coste debido al uso de duplexores.

A pesar de la barrera de entrada que nos obliga a la adquisición del espectro, trabajar en esta banda nos garantiza el uso exclusivo de una banda y nos permite conseguir una gran calidad y una interferencia muy baja.

2.1.2.1 Antenas y equipos

Una vez conocidas las ventajas y desventajas de trabajar en la banda licenciada, el equipamiento que se ha elegido para trabajar en esta banda es el expuesto a continuación.

- *Transmisor*: antena parabólica redonda en la frecuencia 3,5 GHz y 27 dBi de ganancia.

- *Unidad de control base*: ARBA-135 de Albentia Systems.

- *Receptor*: ExcelMAX de Axxcelera en la banda de operación 3,3-3,8 GHz

Los datasheet los podemos encontrar en el ANEXO B.

2.2 Parámetros importantes

El programa RADIO MOBILE a través de la herramienta *Radio Link* nos proporciona una gran variedad de parámetros determinantes del radioenlace. Vamos a fijar nuestra atención en aquellos que más caracterizan el radioenlace, los cuales vamos a describir de una forma general en este apartado y que más adelante particularizaremos para los diferentes casos de estudio.

Los parámetros [7] a estudiar son los siguientes:

Azimut: nos da la dirección hacia la que se ha de orientar la antena, en grados, desde el transmisor al receptor. Siendo el norte cero.

Ángulo de elevación: la inclinación en grados respecto al eje horizontal que ha de sufrir la antena. Expresado en grados.

Despeje a: la distancia en kilómetros entre el emisor y la obstrucción.

Distancia: la distancia en línea recta entre los dos extremos del radioenlace expresada en kilómetros.

Espacio libre, obstrucción, urbano, bosque y estadísticas: valores individuales en dB de las pérdidas generados por el modelo de propagación y que se calculan a partir de los datos de la orografía del terreno, clima, zona geográfica...

Pérdidas: la pérdida total expresada en dB que existe entre emisor y receptor. Es la suma de los valores individuales del modelo de propagación. Haremos un cálculo detallado de este parámetro para cada uno de los diferentes casos de estudio.

Campo E (campo eléctrico): campo eléctrico existente en la antena del receptor expresado en decibelios por microvoltio/metro (dBμV/m).

Nivel Rx: nivel de potencia recibida expresado en dBm o μV .

Rx relativo: la señal relativa en el receptor en dB con respecto a la sensibilidad del receptor. Se calcula como:

$$\text{RxRelativo} = \text{NivelRx} - \text{SensibilidadRX}$$

Peor Fresnel: la distancia al suelo expresada como factor F1.

Las zonas de Fresnel son utilizadas por la teoría de propagación para calcular las reflexiones y la pérdida de difracción entre un transmisor y un receptor. Estas zonas de Fresnel son numeradas y se denominan 'F1', 'F2', 'F3'; etc. Hay un número infinito de zonas de Fresnel, sin embargo, sólo las tres primeras tienen un efecto real en la propagación de radio.

Una zona de Fresnel es una elipse cilíndrica elaborada entre el transmisor y el receptor. El tamaño de la elipse está determinado por la frecuencia de funcionamiento y la distancia entre ambos puntos del radioenlace.

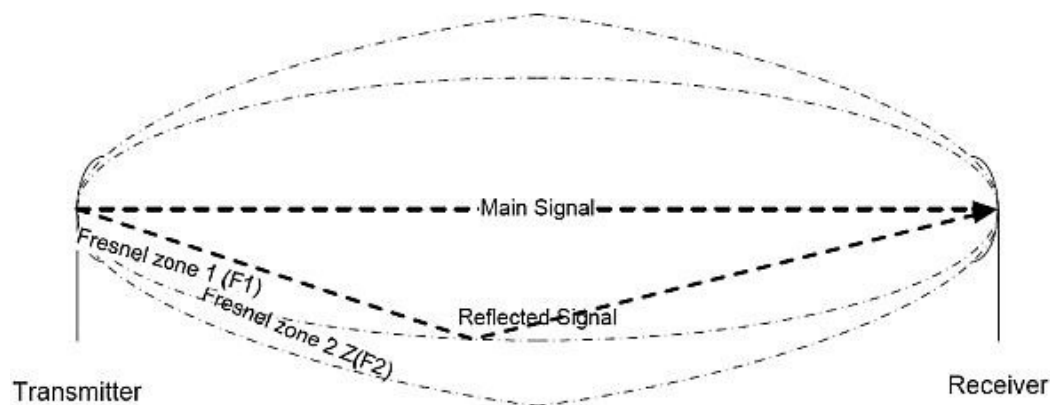


Figura 2. Zonas de Fresnel

Cuando una señal de radio viaja entre el transmisor y el receptor, puede viajar de varias maneras. Puede ir directamente entre el transmisor y el receptor (señal principal); puede reflejarse en el suelo y luego continuar hasta el receptor (señal reflejada); o puede ir a la izquierda o a la derecha y se refleja en una colina, por ejemplo.

El radio de la zona de Fresnel describe esta reflexión en relación a la longitud total del radioenlace. La figura anterior muestra las señales principal y reflejada y F1 (primera zona de Fresnel) y F2 (segunda zona de Fresnel). La reflexión puede ocurrir en cualquier lugar entre el transmisor y el receptor.

Cuando una señal se refleja pueden ocurrir dos cosas:

- La señal se invierte, es decir cambia de fase 180° .
- Dado que la señal se refleja y no va en línea recta, viaja un poco más hasta el punto de refracción y después al receptor. Por lo tanto, la señal se desplaza aun más en fase por la diferencia de longitud del camino.

Durante un largo camino esto puede equivaler a 180° o más. Esto es importante porque la antena de recepción no puede diferenciar entre una señal principal y una reflejada dado que ambas viajan en la misma frecuencia.

Cuando una antena recibe una señal principal y una señal reflejada, ambas se combinan y se suman a la antena. Si son 360° desplazado (en fase) no hay ningún problema. Sin embargo, si la suma son 180° (fase opuesta), se cancelará y el receptor no recibirá nada.

Fresnel Zona 1 (F1)

El primer radio de la zona de Fresnel se calcula de manera que la diferencia de longitud de camino entre la señal principal y una señal reflejada desde la distancia del radio F1 es 180° . Una señal reflejada que cambia en 180° el camino de la trayectoria más 180° del punto de reflexión actual hacen un total de 360° de desplazamiento de fase. Por lo tanto, las dos señales, la principal y la reflejada, llegan a la antena con 360° (en fase) y no afectan al funcionamiento del receptor.

Fresnel Zona 2 (F2)

El radio de la segunda zona de Fresnel se calcula de manera que la diferencia de longitud entre las señales principal y reflejada desde el tubo de Fresnel sea 360° . Esto es crítico, puesto que una señal reflejada tiene un sistema

automático de cambio de fase 180° más la diferencia del camino de la trayectoria que es 360° , lo que supone un cambio total de 540° . Matemáticamente, 540° y 180° son el mismo desplazamiento de fase, por lo tanto ambas señales se cancelarán sin dejar señal en el receptor.

La segunda zona de Fresnel es la zona de reflexión que no se desea a la hora de diseñar un radioenlace.

Fresnel Zona 3 (F3)

La tercera zona de Fresnel tiene una diferencia del camino de la trayectoria de 540° que sumado a los 180° de la reflexión hacen un total de 720° , con lo cual ambas señales están en fase.

Y así sucesivamente es lo que ocurre a lo largo de todas las zonas de Fresnel. Por lo tanto el objetivo es tener en cuenta las zonas de Fresnel impares que son las que nos proporcionan ambas señales en fase y no producen ningún efecto adverso.

Otro aspecto importante derivado de las zonas de Fresnel es el diámetro de la zona de Fresnel. El componente importante de radio de la zona de Fresnel es la holgura entre la elipse de la zona de Fresnel y la superficie de la Tierra como podemos ver en la figura.

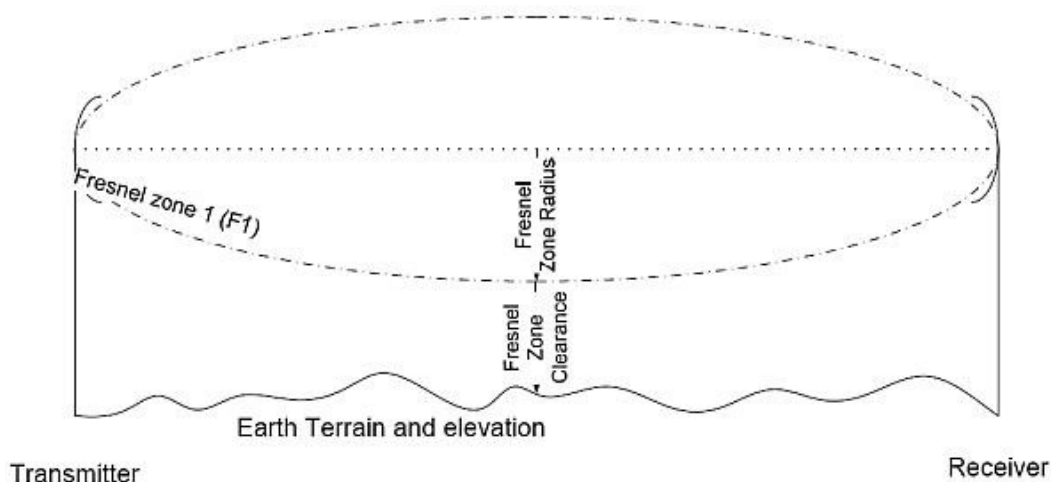


Figura 3. Relación Zona Fresnel-Tierra

Si la relación zona Fresnel de la Tierra despejado / radio zona Fresnel es mayor que el 60%, la ruta de acceso de radio se considera “claro, línea de vista” y no incurre en pérdidas de difracción.

2.3 Central Telefónica de Cazoña

Una de las posibles localizaciones que estudiaremos para situar el punto de partida del radioenlace será la central de Telefónica situada en Cazoña. Será la primera de las opciones que contemplaremos en lo que al operador Movistar se refiere.



Figura 4. Central Telefónica en Cazoña

El edificio está situado a unos 7,5 Km del CEIP Las Dunas en línea recta. Sus coordenadas obtenidas de Google Earth son 43°27'30,80" N, 3°50'29,09" O. Teniendo en cuenta las características anteriormente expuestas que nos ofrece la tecnología WIMAX, deberíamos lograr, a priori, la consecución del radioenlace sin necesidad de ningún repetidor.

A continuación una imagen tomada por satélite donde se muestra la localización del radioenlace y el perfil topográfico del mismo.

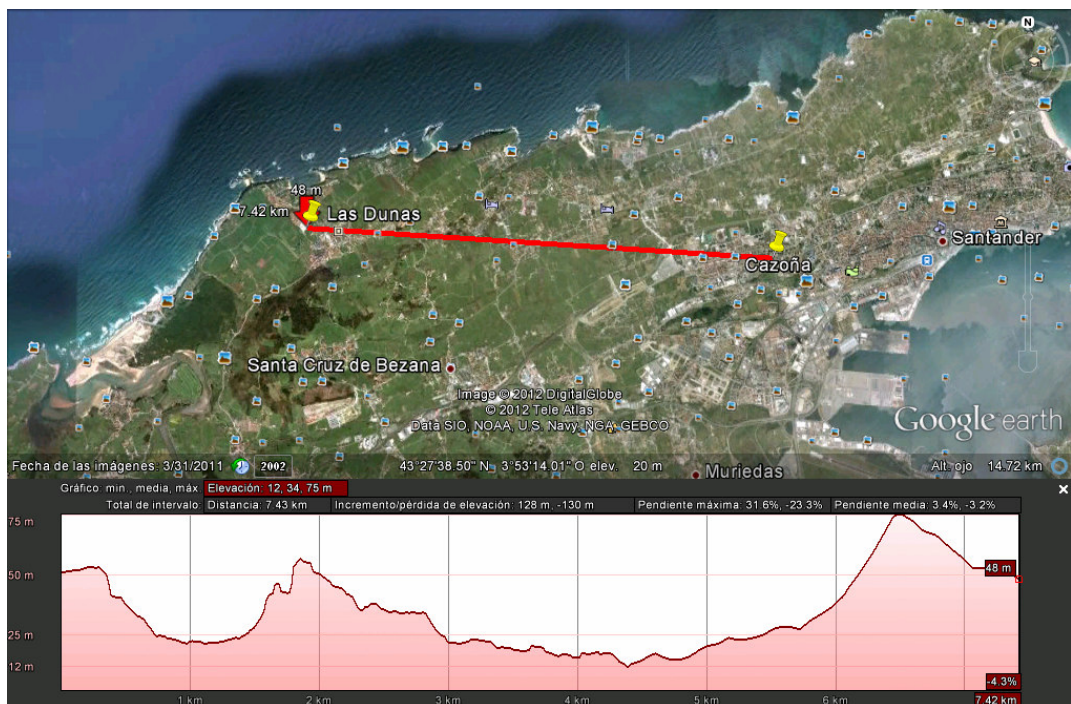


Figura 5. Vista por satélite Las Dunas-Cazoña

Una vez conocida la disposición de esta primera opción pasamos a realizar el estudio del radioenlace tanto para la banda libre como para la banda licenciada.

2.3.1 Banda Libre

Comenzamos el estudio analizando el radioenlace para la banda exenta de licencia. En la siguiente tabla recordamos los parámetros más relevantes de los equipos elegidos para esta banda.

Frecuencia	5,6 GHz
Ganancia Antena TX	29 dBi
Ganancia Antena RX	18 dBi
Sensibilidad Receptor	-92 dBm
Limitación PIRE	1 W
Potencia TX	1,45 dBm
Pérdidas línea	0,5 dB

Tabla 3. Parámetros banda libre

Debido a la limitación de 1 W de PIRE que tenemos en esta banda, debemos jugar con los valores de potencia transmitida y ganancia de la antena para que se cumpla dicha limitación. La siguiente expresión nos facilitará el trabajo.

$$\boxed{\text{PIRE} = \text{Potencia TX} + \text{Ganancia Antena}}$$

Con el programa RADIO MOBILE e introduciendo los datos expuestos en la tabla anterior realizamos la simulación del radioenlace obteniendo la siguiente captura.

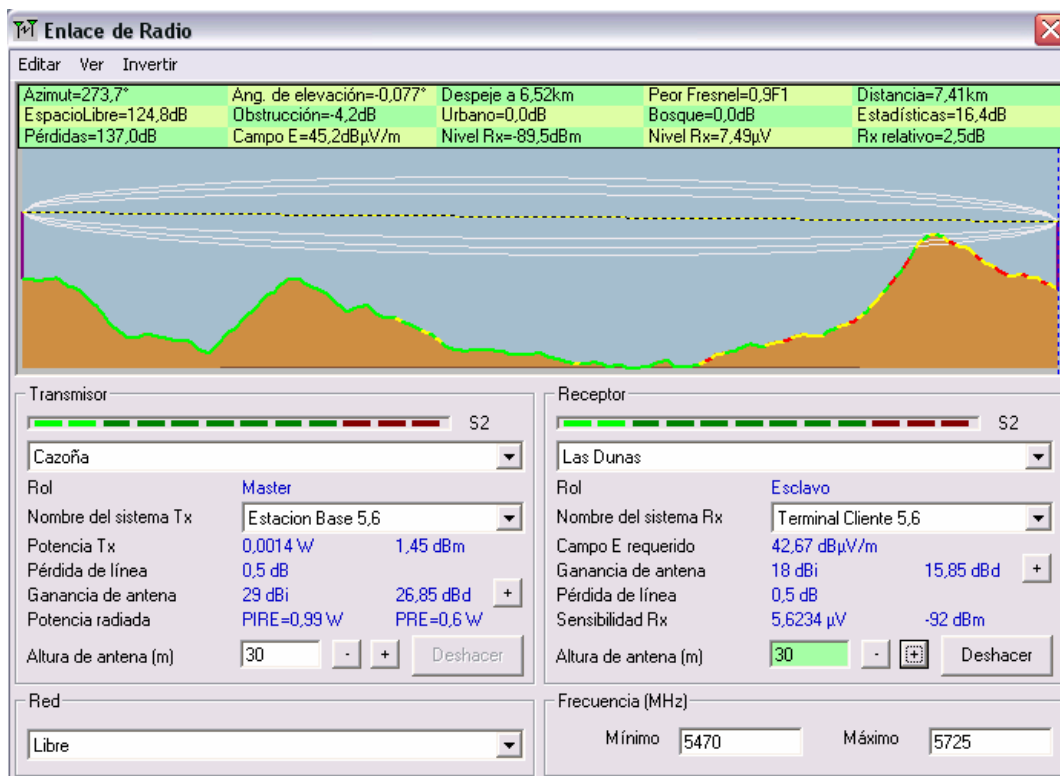


Figura 6. Captura Radio Mobile Cazoña-Las Dunas banda libre

Como podemos observar, RADIO MOBILE nos ofrece el perfil topográfico del terreno que abarca el radioenlace así como una visión de cómo quedaría formado dicho radioenlace sobre el terreno, es decir, nos muestra las antenas en el transmisor y en el receptor y las elipses que forman las zonas de Fresnel.

En la zona situada debajo del dibujo del perfil podemos observar que RADIO MOBILE nos muestra los datos introducidos anteriormente correspondientes al sistema transmisor y receptor.

En el transmisor podemos ver parámetros tales como la potencia Tx fijada anteriormente con ayuda de la expresión de PIRE; pérdidas en la línea fijadas inicialmente; ganancia de la antena en dBi(respecto a un dipolo isotrópico de $\lambda/4$) y dBd (respecto a un dipolo de $\lambda/2$); potencia radiada expresado como PIRE (potencia isotrópica radiada efectiva) referida al valor de la ganancia de la antena en dBi, este valor es el que debe estar por debajo de 1W para cumplir con la limitación de la banda, y PRE (potencia radiada efectiva) referida al valor de la ganancia de la antena en dBd, valores fijados por el fabricante de la antena.

En el receptor vemos datos del campo eléctrico requerido; ganancia de la antena receptora en dBi y dBd, datos fijados por el fabricante al igual que en el transmisor; pérdidas de la línea que son fijadas inicialmente en función de la distancia de la antena al receptor y al transmisor, y la sensibilidad del sistema receptor, expresada en dBm y μV , que es un parámetro proporcionado por el fabricante.

Otro factor muy importante es la altura a la que se debe situar las antenas transmisora y receptora. RADIO MOBILE no tiene en cuenta edificios, es decir, toma como punto de partida el suelo por lo tanto la altura de los edificios esta incluida en el valor dado en el programa. Para determinar sus valores utilizamos el método de 'prueba y error' es decir, vamos modificando sus valores hasta obtener el valor de señal deseado en el receptor que haga que la comunicación se pueda establecer. Está condicionado a los obstáculos que se puedan encontrar en el camino, es decir, a si nos encontramos en situación de línea de visión directa (menos altura requerida al no haber obstáculos), o no hay condiciones de línea de visión directa, (se necesita más altura para librar mejor los obstáculos).

Encima del perfil encontramos los parámetros propios del radioenlace que explicamos anteriormente, y son los que nos van a caracterizar el mismo.

Para este caso concreto de la central Telefónica de Cazoña en banda libre vemos que la PIRE es de 0,99W con lo cual cumplimos la limitación exigida y

necesitamos situar ambas antenas a unos 30 m del suelo para obtener un nivelRx de 89,5 dBm y por lo tanto un valor de RxRelativo de 2,5 dB.

$$RxRelativo = -89,5 - (-92) = 2,5 \text{ dB}$$

En cuanto a las pérdidas, nos encontramos un obstáculo a 6,52 Km que nos introduce -4,2 dB. Esto junto con los demás valores de pérdidas calculados por el modelo, Estadísticas=16,4 dB y las pérdidas en espacio libre 124,8 dB nos conforman las pérdidas totales del radioenlace.

$$PérdidasTotales = 124,8 + 16,4 + (-4,2) = 137 \text{ dB}$$

A pesar del obstáculo y las pérdidas conseguimos llegar al receptor con un nivel de señal apto, por lo tanto, podemos decir que el radioenlace en banda libre desde la central Telefónica de Cazoña es viable.

2.3.2 Banda Licenciada

Pasamos a analizar el radioenlace desde la misma ubicación pero esta vez en banda con licencia, en la cual no tenemos limitación de potencia y hemos elegido como valor de potencia de transmisión 20 dBm para asegurarnos de que emitimos con suficiente potencia. Los parámetros más importantes de los equipos elegidos para esta banda son:

Frecuencia	3,5 GHz
Ganancia Antena TX	27 dBi
Ganancia Antena RX	16,5 dBi
Sensibilidad Receptor	-96 dBm
Limitación PIRE	-
Potencia TX	20 dBm
Pérdidas línea	0,5 dB

Tabla 4. Parámetros banda con licencia

Introducimos estos datos en RADIO MOBILE y obtenemos los siguientes resultados:

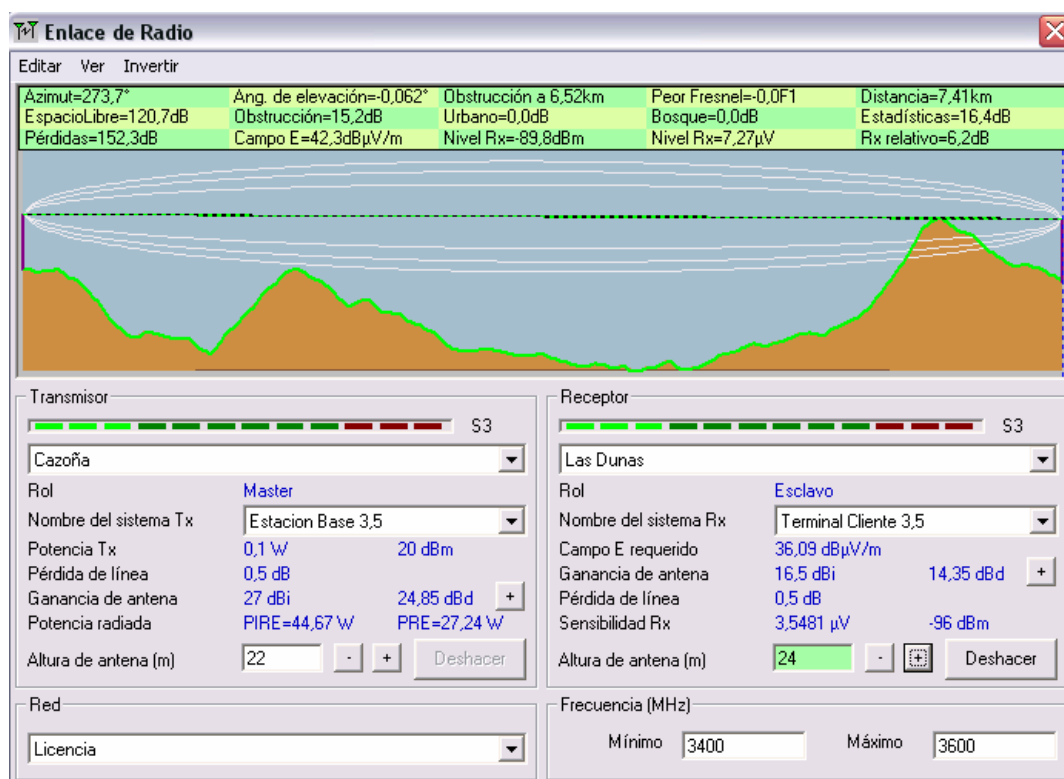


Figura 7. Captura Radio Mobile Cazoña-Las Dunas banda con licencia

Al igual que en el caso anterior, tenemos mostrados los datos correspondientes al sistema transmisor y receptor, que básicamente son los expuestos en la tabla anterior y que son fijos para el diseño por lo tanto no los vamos a detallar más ampliamente.

Nos vamos a centrar en las alturas y en los niveles de señal que llegan al receptor. En este caso vamos a tener unas alturas de 22 m en transmisión y 24 m en recepción. Respecto al caso en banda libre, estamos emitiendo con más potencia por lo tanto se requiere menos altura para evitar el obstáculo. Con estas alturas conseguimos un nivelRx de -89,8 dBm y por consiguiente 6,2 dB de RxRelativo, es decir, 6,2 dB por encima de la sensibilidad del sistema Rx.

$$RxRelativo = -89,8 - (-96) = 6,2\text{ dB}$$

En este caso, tenemos unas pérdidas de 120,7 dB por espacio libre, de 15,2 dB debido al obstáculo y las obtenidas del modelo que son 16,4 dB por estadísticos. Lo que nos hacen un total de 152,3 dB de pérdidas totales.

$$P\acute{e}rdidasTotales = 120,7 + 16,4 + 15,2 = 152,3\text{ dB}$$

En banda licenciada tenemos más pérdidas que en banda libre debido a que emitimos con más potencia, al emitir más nos exponemos a perder más, pero llegamos con más margen de señal al receptor, por tanto habra que analizar las necesidades que tenemos para decantarnos por uno u otro, en cualquier caso vemos que desde la central Telefónica de Cazoña ambos radioenlaces son realizables, tanto en banda libre como en banda licenciada.

2.4 Peñacabarga

Otra de las posibles localizaciones que vamos a analizar para establecer el radioenlace sera el pico de Peñacabarga. Al estar situado en alto es el punto de encuentro por excelencia en Cantabria elegido por operadores de Internet, telefonía móvil y televisión para situar sus repetidores y antenas. Sera otra de las opciones que contemplaremos para trabajar con el operador Movistar.

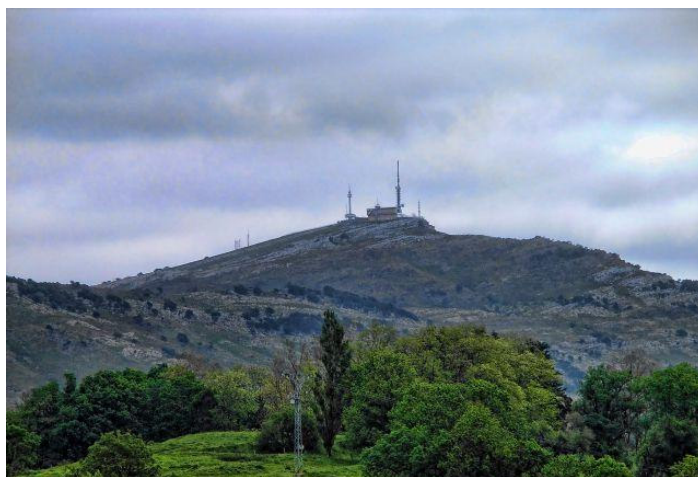


Figura 8. Peñacabarga

El está situado a unos 15,5 Km del C.E.I.P Las Dunas en línea recta. Sus coordenadas obtenidas de Google Earth son 4322'43,52" N, 346'45,54" O. A continuación una imagen tomada por satélite donde se muestra la localización del radioenlace y su perfil topográfico.

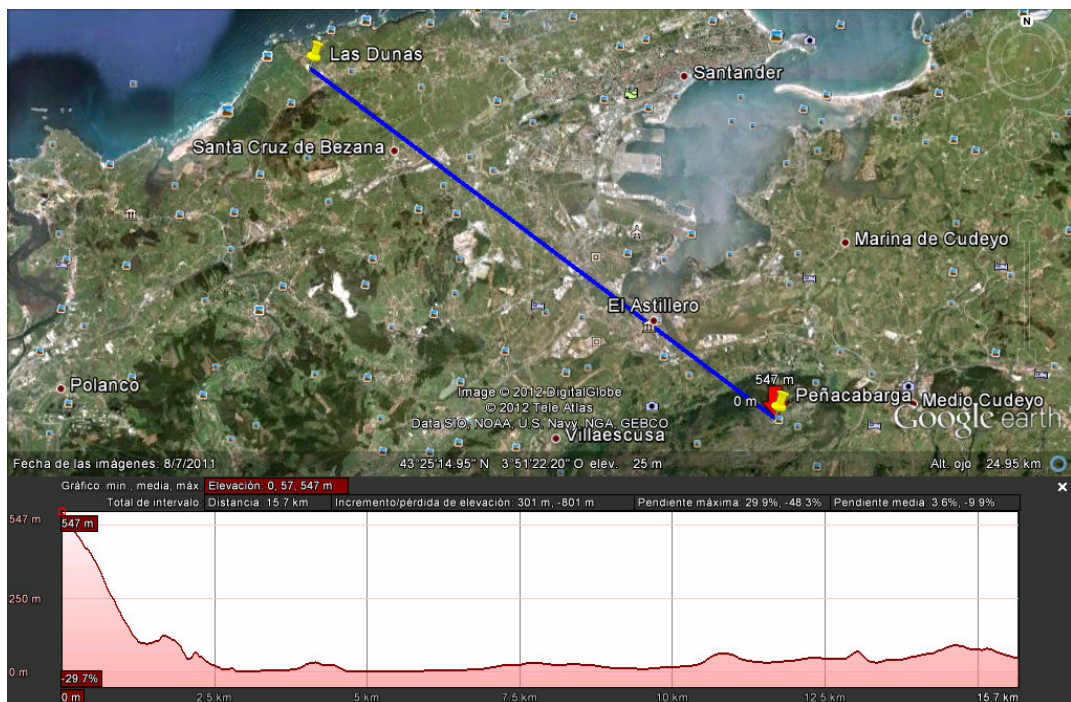


Figura 9. Vista por satélite Peñacabarga-Las Dunas

Conocida la localización pasamos a analizar el diseño del radioenlace para las bandas libre y licenciada.

2.4.1 Banda Libre

Iniciamos el estudio del diseño del radioenlace en la banda libre. En la siguiente tabla recordamos los parámetros más relevantes de los equipos elegidos para esta banda.

Frecuencia	5,6 GHz
Ganancia Antena TX	29 dBi
Ganancia Antena RX	18 dBi
Sensibilidad Receptor	-92 dBm
Limitación PIRE	1 W
Potencia TX	1,45 dBm
Pérdidas línea	0,5 dB

Tabla 5. Parámetros banda libre

Con estos datos introducidos en RADIO MOBILE obtenemos la siguiente captura de la simulación.

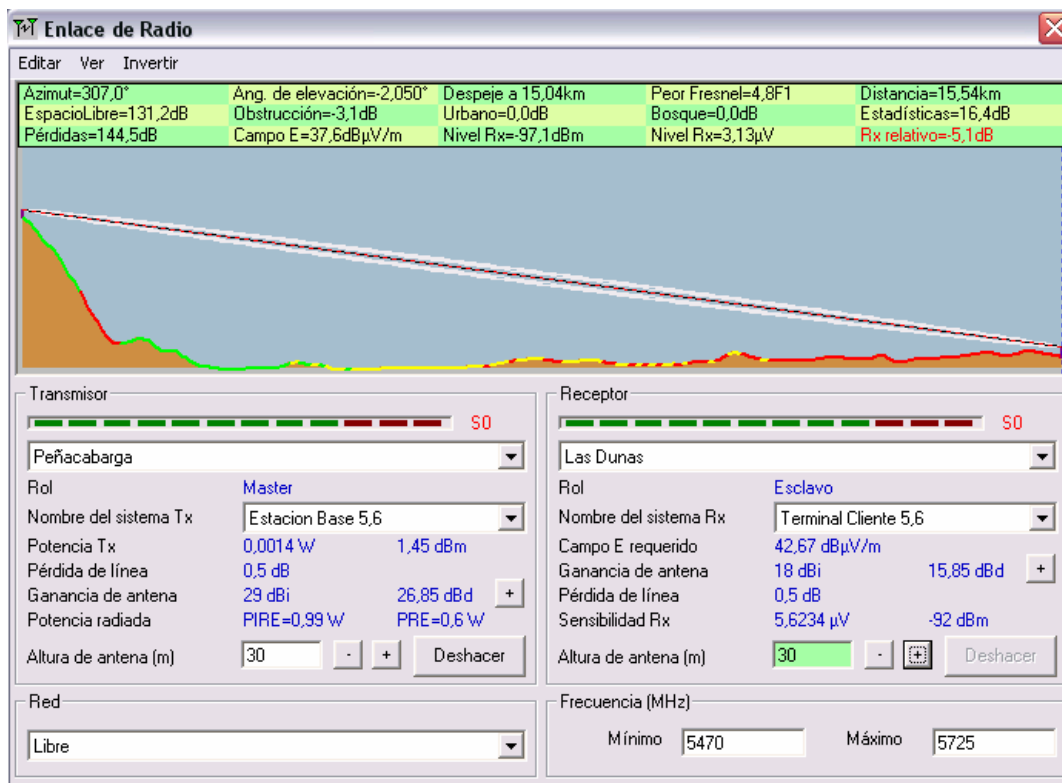


Figura 10. Captura Radio Mobile Peñacabarga-Las Dunas banda libre

Para este caso observamos que el parámetro RXRelativo aparece en rojo y con valor negativo, lo cual quiere decir que no llega suficiente señal al receptor, respecto de su nivel de sensibilidad, para que la comunicación se realice con éxito. Concretamente nos faltan 5,1 dB para que el receptor detecte la señal. A pesar de encontrarnos en una situación de línea de visión directa, la limitación de PIRE de la banda hace que no podamos emitir con la suficiente potencia para transportar la señal a lo largo del radioenlace y llegar al receptor con un nivel apto. Se ha probado a cambiar la ganancia de la antena y aumentar la potencia de transmisión, a modificar las alturas de ambas antenas y aún así no conseguimos establecer el radioenlace, con lo cual este diseño no es una opción válida para el radioenlace. Necesitaríamos instalar un repetidor en un punto intermedio para conseguir llegar al receptor, lo cual incrementaría notablemente el coste del diseño, por lo tanto es una opción que no nos interesa puesto que disponemos de otras opciones para realizar la comunicación.

2.4.2 Banda Licenciada

Continuamos con el análisis del diseño del radioenlace para Peñacabarga en la banda licenciada. Los parámetros de los equipos elegidos para esta banda son:

Frecuencia	3,5 GHz
Ganancia Antena TX	27 dBi
Ganancia Antena RX	16,5 dBi
Sensibilidad Receptor	-96 dBm
Limitación PIRE	-
Potencia TX	20 dBm
Pérdidas línea	0,5 dB

Tabla 6. Parámetros banda con licencia

Los resultados obtenidos con RADIO MOBILE son los que se muestran a continuación.

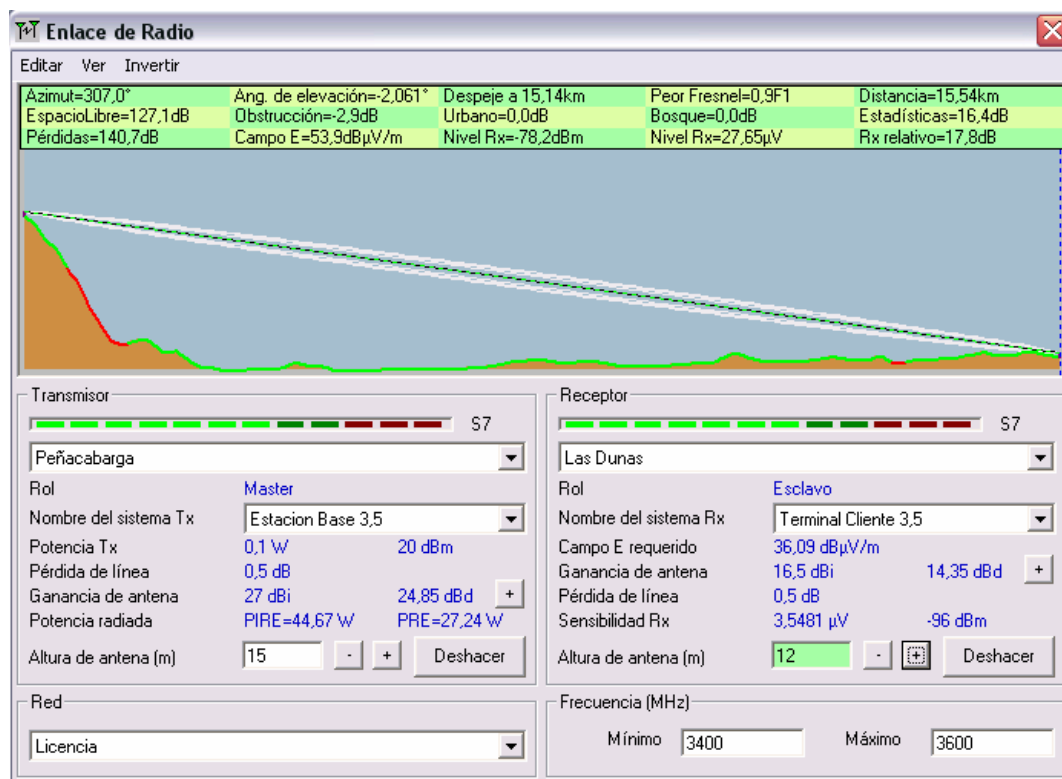


Figura 11. Captura Radio Mobile Peñacabarga-Las Dunas banda con licencia

En este caso al no tener limitación de potencia y estar el transmisor y el receptor en visión directa necesitamos poca altura de las antenas para establecer la comunicación. Vemos como con 15 y 12 m en trasmisor y

receptor respectivamente conseguimos un nivel relativo de 17,8 dB sobre la sensibilidad del receptor.

$$RxRelativo = -78,2 - (-96) = 17,8 \text{ dB}$$

Las pérdidas que tenemos son de 127,1 dB por espacio libre, de -2,9 dB debido a un pequeño obstáculo que nos encontramos a 15,14 Km, prácticamente ya en los alrededores del colegio, concretamente a unos 400m y las obtenidas del modelo que son 16,4 dB por estadísticos. Lo que nos hacen un total de 140,7 dB aproximadamente de pérdidas totales.

$$PérdidasTotales = 127,1 + 16,4 - 2,9 = 140,6 \text{ dB}$$

En el caso de Peñacabarga únicamente es realizable la opción para la banda con licencia para la cual llegamos con muy bien nivel de señal respecto a la sensibilidad del receptor.

2.5 Telecentro municipal en Liencres

La última de las posibles localizaciones que vamos a analizar para establecer el radioenlace es un telecentro municipal que opera con ONO. Será la única opción que estudiaremos del operador ONO.



Figura 12. Telecentro municipal de Liencres

El centro está situado en las siguientes coordenadas según Google Earth 43°27'39,45" N, 3°55'33,50" O a una distancia de 600 metros aproximadamente

del colegio CEIP Las Dunas. En la siguiente imagen podemos ver por satélite su localización exacta.

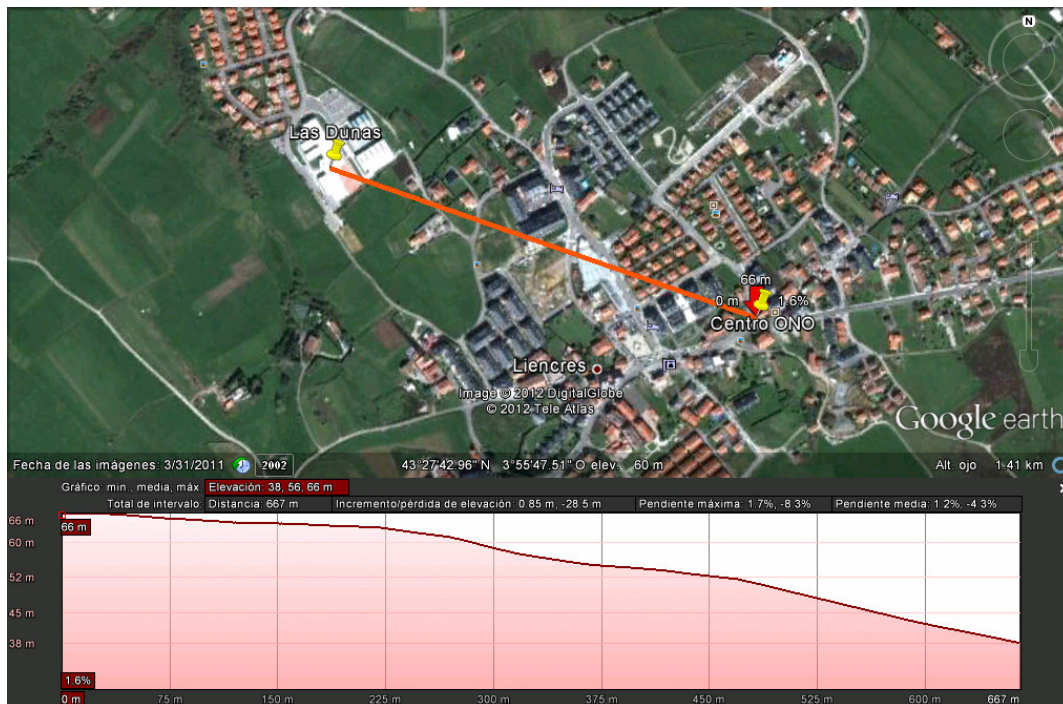


Figura 13. Vista por satélite Telecentro-Las Dunas

Al igual que hemos hecho en los casos anteriores pasamos a estudiar el diseño del enlace para las dos bandas de trabajo elegidas.

2.5.1 Banda Libre

Comenzamos analizando el comportamiento del radioenlace para la banda libre. En la siguiente tabla se muestran los parámetros más importantes de los equipos elegidos para esta banda.

Frecuencia	5,6 GHz
Ganancia Antena TX	29 dBi
Ganancia Antena RX	18 dBi
Sensibilidad Receptor	-92 dBm
Limitación PIRE	1 W
Potencia TX	1,45 dBm
Pérdidas línea	0,5 dB

Tabla 7. Parámetros banda libre

La simulación obtenida en RADIO MOBILE es la siguiente.

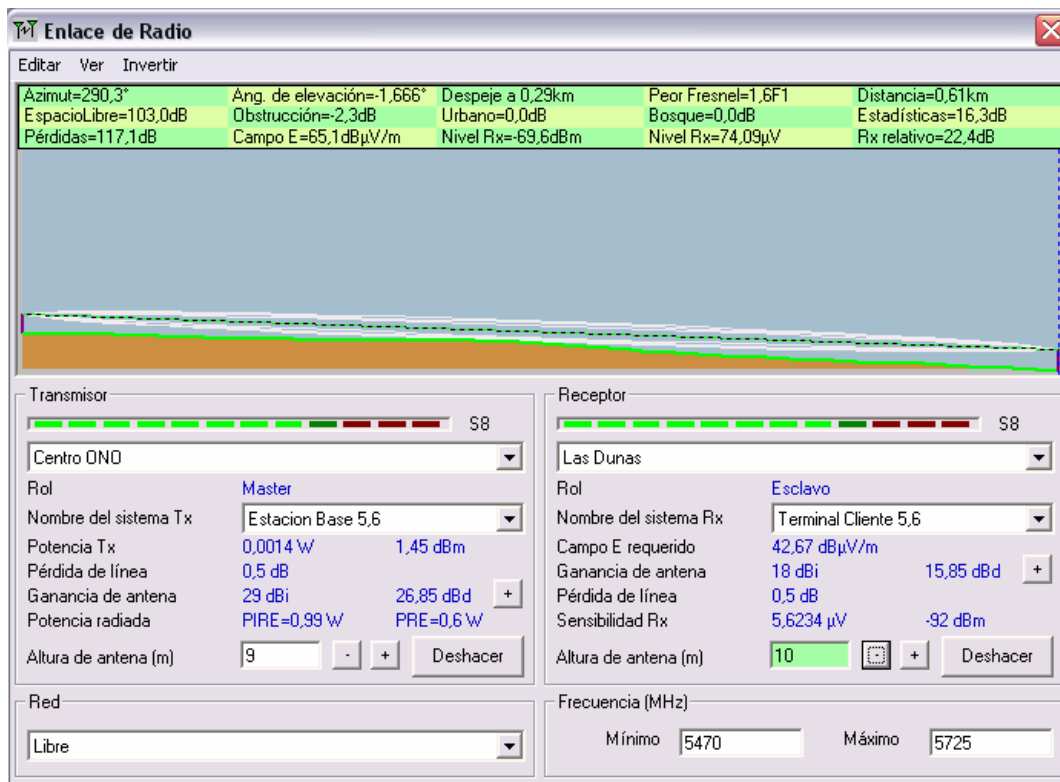


Figura 14. Captura Radio Mobile Telecentro-Las Dunas banda libre

Como podemos observar a penas tenemos obstáculos, únicamente la pendiente del terreno, estando su punto más pronunciado a 290m, y disponemos de una línea clara de visión directa. Gracias a la inexistencia de obstáculos bruscos y la corta longitud del radioenlace, con la potencia necesaria para cumplir la limitación de potencia de la banda logramos establecer la comunicación con un nivel de señal en el receptor de 22,4 dB sobre su sensibilidad.

$$Rx\ Relativo = -69,6 - (-92) = 22,4\ dB$$

En cuanto a las pérdidas obtenidas tenemos 103 dB por espacio libre, de -2,3 dB por obstáculos y las obtenidas del modelo que son de 16,3 dB por estadísticos. Lo que nos conduce a tener 117,1 dB aproximadamente de pérdidas totales.

$$PérdidasTotales = 103 + 16,3 - 2,3 = 117,1\ dB$$

Cómo hemos dicho anteriormente, conseguimos alcanzar el receptor con un nivel de señal muy bueno y con alturas en las antenas no excesivamente altas,

9 m en el transmisor y 10 m en el receptor, por lo tanto podemos afirmar que este diseño del radioenlace es altamente viable.

2.5.2 Banda Licenciada

Analizamos ahora el radioenlace para el caso de trabajar en la banda licenciada. En esta banda los parámetros más importantes de los equipos son los siguientes.

Frecuencia	3,5 GHz
Ganancia Antena TX	27 dBi
Ganancia Antena RX	16,5 dBi
Sensibilidad Receptor	-96 dBm
Limitación PIRE	-
Potencia TX	20 dBm
Pérdidas línea	0,5 dB

Tabla 8. Parámetros banda con licencia

Con estos datos RADIO MOBILE nos muestra los siguientes resultados.

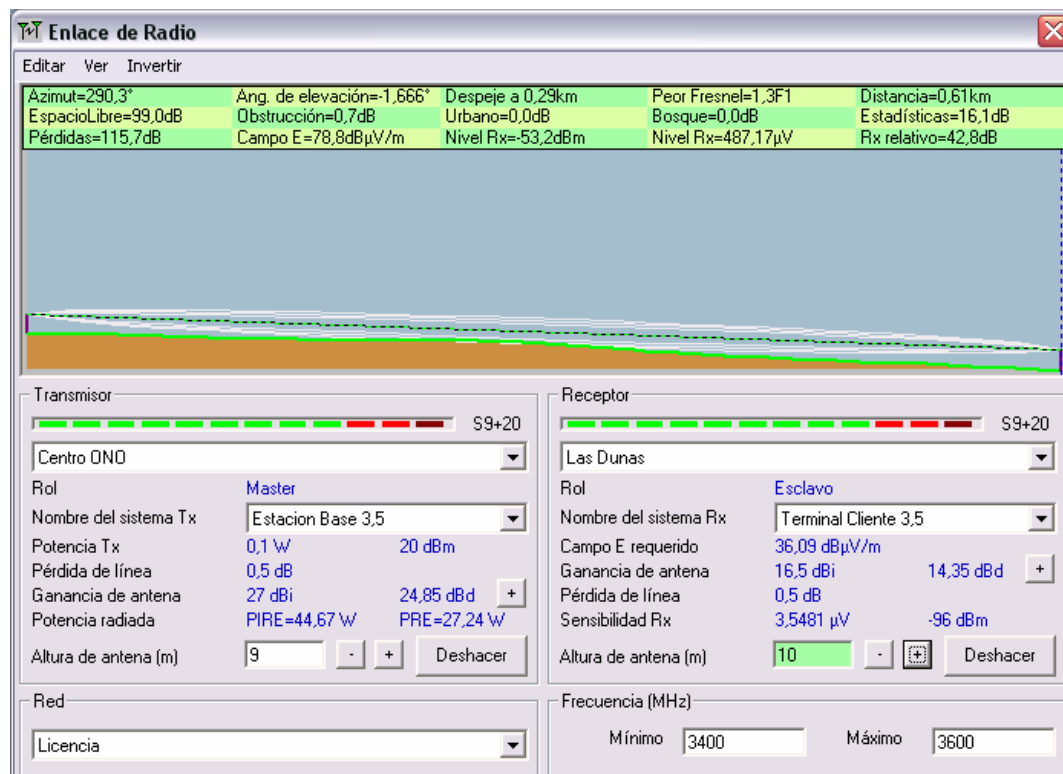


Figura 15. Captura Radio Mobile Telecentro-Las Dunas banda con licencia

Disponemos de un radioenlace muy limpio, sin apenas obstáculos y con un nivel de señal en recepción altamente favorable, 42,8 dB de RxRelativo, que es el mayor valor conseguido en todos los casos estudiados. No olvidemos que en esta banda no tenemos límite de potencia y podemos transmitir con valores elevados, lo cual hace que tengamos niveles tan buenos de señal en el receptor.

$$RxRelativo = -53,2 - (-96) = 42,8 dB$$

Las alturas de ambas antenas son las mismas que para el caso anterior, 9 m para el transmisor y 10 m para el receptor, por tratarse de un perfil carente de obstáculos pronunciados y por la corta distancia, como hemos comentado anteriormente. En cuanto a las pérdidas obtenidas tenemos 99 dB por espacio libre, de 0,7 dB por obstrucción y las calculadas por el modelo que son de 16,1 dB por estadísticos. Con lo cual tenemos un total de 115,7 dB de pérdidas.

$$PérdidasTotales = 99 + 16,1 + 0,7 = 115,8 dB$$

Al igual que dijimos para el caso en la banda libre, para la banda licenciada el radioenlace se comporta de una forma muy favorable, por lo tanto este telecentro municipal se decanta como una de las opciones más idóneas para la implantación de la estructura de dicho radioenlace.

2.6 Localización del transmisor y receptor

Una vez analizadas todas las posibilidades para el diseño del radioenlace podemos observar que se nos presentan alturas de las antenas muy variables tanto para transmisión como para recepción dependiendo de cada caso de estudio.

2.6.1 Transmisor

Para la colocación del transmisor no tenemos problemas. Recordemos que RADIO MOBILE toma como referencia el suelo, por lo tanto tenemos que contar también con la altura de los edificios.

Para los casos de la centra Telefónica de Cazoña y el telecentro municipal con conexión de ONO en Liencres únicamente colocando un mástil en lo alto del edificio conseguimos la altura deseada. En Peñacabarga tampoco hay ningún problema puesto que los operadores tienen allí colocadas sus torretas y mástiles los cuales nos permiten alcanzar la altura necesaria para colocar el transmisor.

2.6.2 Receptor

En cuanto al receptor disponemos de dos opciones en el colegio.

- Colocar la antena receptora con un mástil en el mismo tejado del colegio. La altura del colegio es de unos 8 m aproximadamente, con lo cual esta es la opción más apropiada para el caso del telecentro. Al situar la antena justo encima del mismo colegio nos evitamos metros de cable y sus correspondientes pérdidas, únicamente los pocos metros que separan la antena del armario central de comunicaciones.
- La segunda opción es colocar el receptor en una torreta que se encuentra en un alto a unas decenas de metros del colegio, concretamente al lado del polideportivo, la cual mide unos 16 m. Con esto y sumando a la altura que tiene el alto donde esta situada respecto del suelo del colegio prácticamente conseguimos la altura suficiente para los casos de Cazoña y Peñacabarga, incluso si fuese necesario se podría colocar un mástil en lo alto para lograr la altura deseada.



Figura 16. Torre para el receptor

La colocación de los mástiles o torretas deben cumplir con las especificaciones expuestas en el apartado 4.2, características de los elementos de captación, de la norma técnica de infraestructura común de telecomunicaciones para la captación, adaptación y distribución de señales de radiodifusión sonora y televisión, procedentes de emisiones terrenales y de satélite. Dicho apartado está contenido en el ANEXO C.

En el caso de que fuera necesaria la instalación de torretas, en el ANEXO C podemos encontrar las características más significativas de varios tipos diferentes.

2.7 Análisis de resultados

Finalmente, ya realizado el estudio para cada uno de los diferentes casos, pasamos a confrontar los resultados obtenidos y así poder elegir una de las opciones como la más indicada para la realización del radioenlace. En la siguiente tabla se muestra a modo de resumen los datos más relevantes obtenidos de cada diseño.

	Banda Libre 5,6 GHz			Banda Licenciada 3,5 GHz		
	Cazoña Teléfonica	Peñacabarga	Telecent. municipal	Cazoña Teléfonica	Peñacabarga	Telecent. municipal
Distancia (Km)	7,41	15,54	0,61	7,41	15,54	0.61
RxRelativo (dB)	2,5	-	22,4	6,2	17,8	42,8
Sensibilidad (dBm)	-92			-96		
Altura Tx (m)	30	-	9	22	15	9
Altura Rx (m)	30	-	10	24	12	10
Pérdidas (dB)	137	-	117,1	152,3	140,7	115,7

Tabla 9. Resumen de los resultados de los casos para el radioenlace

Observando los datos expuestos en la tabla anterior enseguida nos damos cuenta de que la mejor opción es sin duda el telecentro en Lienes tanto si trabajamos en la banda libre como en la banda licenciada.

Es el caso donde más señal nos llega al receptor, es decir, donde el parámetro RxRelativo es mayor, obteniendo unos valores de señal por encima de la sensibilidad de nuestro receptor de 22,4 dB y 42,8 dB para la banda libre y licenciada respectivamente.

Otro factor importante son las pérdidas totales, siendo el caso para el cual el radioenlace tiene menores pérdidas, siendo estas de 117,1 dB para la banda libre y 115,7 dB para la banda con licencia. Esto es debido a que, como ya comentamos anteriormente, transmisor y receptor están prácticamente en visión directa lo cual hace que la comunicación sea muy directa y clara, además de que en el terreno apenas aparecen obstáculos interponiéndose entre ambas partes y estas se encuentran a poca distancia, formando un radioenlace relativamente corto.

Por último, la colocación de las antenas, las cuales requieren de unas alturas de 9 y 10 metros, valores no excesivamente grandes que perfectamente podemos alcanzar con la altura de los edificios y un pequeño mástil en lo alto, evitando pérdidas por cableado y resultando una colocación más estética.

Elegida la localización más óptima, sólo nos queda elegir en que banda el radioenlace nos aporta mayores beneficios. Vemos que en ambas bandas disponemos de un nivel de señal en recepción más que aceptable, por lo tanto en este aspecto no encontramos relevancia. En cuanto a las pérdidas, tampoco encontramos mucha diferencia, 115,7 y 117,1 dB. Por lo tanto, para determinar nuestra elección nos vamos a guiar por un factor muy importante y simple, el coste. Para trabajar en la banda con licencia necesitamos adquirir una parte del espectro, lo cual conlleva un coste y para trabajar en la banda libre no se requiere de licencia alguna, con lo cual, en igualdad de prestaciones nos decantamos por la banda exenta de licencia.

Una vez determinada nuestra elección, mostramos en la siguiente tabla los parámetros que definen nuestro diseño de radioenlace para dotar de Internet de alta velocidad al colegio CEIP Las Dunas de Liencres.

Distancia	0,61 Km
Banda	Libre 5,6 GHz
Potencia Tx	1,45 dBm
Ganancia Antena Tx	29 dBi
PIRE	0,99 W
Altura Tx	9 m
Ganancia Antena Rx	18 dBi
Sensibilidad Rx	-92 dBm
Altura Rx	10 m
Nivel Rx	-69,6 dBm
Rx Relativo	22,4 dB
Pero Fresnel	1,61F1
Pérdidas	117,1 dB
Áng. Elevación	-1,666°

Tabla 10. Parámetros del caso óptimo

3. Wi-Fi

El acrónimo Wi-Fi [8] se utiliza para identificar los productos que incorporan cualquier variación de la tecnología inalámbrica de los estándares IEEE 802.11, que permiten la creación de redes de área local sin hilos conocidas como WLAN4, y que son plenamente compatibles con los de cualquier otro fabricante que utilice estos estándares.

Las características generales de funcionamiento de una red Wi-Fi son las mismas que las de una red con cableado. La particularidad es que el Wi-Fi utiliza el aire como medio de transmisión.

3.1 Arquitectura de redes Wi-Fi

La arquitectura de estas redes es bastante sencilla y muy fácilmente escalable. Esto ha permitido que con el tiempo su uso haya evolucionado hacia redes de área extensa, principalmente en núcleos urbanos.

Los componentes básicos de una red Wi-Fi son:

- El punto de acceso (AP): es la unión entre las redes con cable y la red Wi-Fi, o entre diversas zonas cubiertas por redes Wi-Fi, que actúa entonces como repetidor de la señal entre estas zonas. Es el dispositivo que gestiona la información y la hace llegar a destino.
- Antena: son los elementos que envían al aire las señales en forma de ondas electromagnéticas con contienen la información. Cada tipo de antena tiene unas propiedades geométricas que hacen que dirija la energía electromagnética en unas ciertas direcciones del espacio. Las antenas omnidireccionales emiten en todas las direcciones mientras que las antenas sectoriales reducen el sector angular hacia el cual emiten. Una antena omnidireccional, en cambio, ofrece una superficie de cobertura más extendida.
- Un Terminal Wi-Fi: es una tarjeta de red de área local que cumple la certificación Wi-Fi y permite la conexión de un terminal de usuario en una red 802.11. Éste puede tener forma de dispositivo externo Wi-Fi,

que se instala en el PC del usuario, o bien puede encontrarse ya integrado en los ordenadores portátiles. Las principales diferencias entre este tipo de tarjetas y una tarjeta Ethernet convencional son el cifrado de datos, el identificador de red (ESSID), el canal y el ajuste de velocidad.

- Antena de usuario: la antena de usuario proporciona la cobertura necesaria a un usuario para el acceso a la red Wi-Fi.

En cuanto a la topología, en las redes Wi-Fi podemos encontrar dos tipos de topologías:

Redes sin infraestructura: no necesitan un sistema fijo que interconecte algunos elementos de la arquitectura. Son redes que no han tenido un éxito comercial. Los ejemplos más habituales que podemos encontrar son las redes ad hoc.

Red en modo infraestructura: una red en modo infraestructura trabaja utilizando puntos de acceso. Presenta una eficiencia superior a la red ad hoc, ya que este modo gestiona y transporta cada paquete de información en su destino, mejorando la velocidad del conjunto. En este modo de funcionamiento, la tarjeta de red se configura automáticamente para utilizar el mismo canal radio que utiliza el punto de acceso más próximo de la red. En esta topología se encontrarían dos posibilidades: la primera consiste a que el punto de acceso actúe como interconexión entre la red Wi-Fi y otra red sobre cables, como una red de área local, un acceso ADSL, etc. El segundo escenario consiste en que el punto de acceso actúe como interconexión entre dos puntos de acceso que dan acceso Wi-Fi a usuarios ubicados en zonas diferentes.

3.2 Estándar Wi-Fi

La creación de los estándares que han dado lugar al Wi-Fi es una tarea llevada a cabo por el International Electrical and Electronic Engineers (Asociación Internacional de Ingenieros Electrónicos y de Telecomunicaciones), conocido por las siglas IEEE. Este organismo es una asociación profesional que se

encarga de la publicación de artículos, realización de conferencias y redacción de estándares, como el muy popular Ethernet.

El IEEE dispone de una extensa familia de estándares correspondientes a las redes de área local, la 802. Dentro de esta familia se encuentran iniciativas bien diferentes, separadas esencialmente por el alcance que se pretende obtener.

Para el caso concreto de las redes sin hilos de alcance reducido, con coberturas de menos de 100 metros y capacidades de unos pocos Mbps se creó la subfamilia de estándares nombrada 802.11 y que fue aprobada en 1997, popularmente conocida como Wi-Fi.

Describe las funciones y servicios que debe implementar un dispositivo para poder integrarse en una red 802.11 y poder moverse dentro de ella. Además, permite la superposición de diferentes redes 802.11 en una misma zona sin problemas de funcionamiento en cada una de ellas ni de transferencia de tráfico entre ellas [9].

A continuación se presentan algunos de los aspectos más relevantes para analizar las redes Wi-Fi como son el alcance y el rendimiento, la calidad de servicio, la seguridad, la movilidad y el estado de la estandarización de cara a mejoras futuras.

Independientemente de la banda de frecuencia en que trabajan, todos los estándares de la subfamilia 802.11 comparten algunas limitaciones que es conveniente conocer antes de tomar una decisión sobre coberturas, alcance o velocidades que se pueden alcanzar.

- **Alcance:** Aunque comercialmente se habla típicamente de un alcance de hasta 100 metros, este dato depende, en primer lugar, de la ubicación y de la presencia de obstáculos en el camino entre el punto de acceso y el terminal, y en segundo lugar, de las condiciones meteorológicas y de las interferencias. Así, en espacio abierto, con buenas condiciones meteorológicas y antenas exteriores de los terminales, este alcance puede ser bastante superior. Sin

embargo, en el interior de un edificio, donde las paredes representan un obstáculo muy importante, la distancia será notablemente inferior. Asimismo, si hay otras redes Wi-Fi próximas, o sencillamente otras fuentes de interferencias, es también muy probable que las distancias disminuyan.

- **Ancho de banda:** Nominalmente, los diferentes estándares pueden alcanzar, físicamente (es decir, en el canal aéreo, descontando cualquier ineficiencia que puedan introducir los protocolos superiores), decenas de Mbps de velocidad. Ahora bien, a causa del efecto de los protocolos necesarios para transportar la información de usuario sobre el canal aéreo, la velocidad útil es mucho menor. Además, en función de las condiciones del entorno y, por lo tanto, de la calidad de cada comunicación entre un terminal y el punto de acceso, la anchura de banda de esta comunicación se adapta, con el fin de utilizar codificaciones más robustas ante interferencias y/o errores. Es por eso que a veces nos encontremos con una conexión con el punto de acceso de 11 Mbps, otros en 5 Mbps, en 2 Mbps o, incluso, en 1 Mbps. Aunque las últimas versiones del estándar nos ofrecen conexiones de 54 Mbps y hasta 300 Mbps

- **Calidad de servicio:** No todo el tráfico tiene la misma importancia desde el punto de vista de cada usuario. Así, se puede considerar que una llamada de VoIP tendría que tener prioridad sobre una transferencia de ficheros. Los protocolos más extendidos de Wi-Fi, como ahora b y g, no incluyen ningún mecanismo para priorizar un tipo de tráfico sobre uno otro, lo cual resulta muy perjudicial cuando se mezclan flujos de tráfico con requerimientos muy diferentes, como voz y datos. La consecuencia es que Wi-Fi es poco adecuado para transportar tráfico exigente en términos de calidad, como VoIP, no tanto para que no funcione adecuadamente, como porque no se puede garantizar cuándo y en qué condiciones funcionará. El 802.11e, como se verá después, introduce mejoras en este aspecto.

- **Seguridad:** En un principio, las redes Wi-Fi no presentaban mecanismos de seguridad muy sofisticados, ya que el énfasis se puso en cómo transmitir datos sobre el aire, que era un desafío tecnológico más urgente. Con el éxito de esta tecnología, sin embargo, y la publicación de las debilidades de los mecanismos de seguridad originales, se hizo necesario introducir mejoras en este aspecto.

De hecho, la falta de seguridad de estas redes es uno de sus grandes detractores. Como veremos, el 802.11i resuelve la mayoría de las debilidades originales, hasta el punto de hacerlas comparables en seguridad en las redes fijas.

- **Movilidad:** Popularmente, se considera que las redes Wi-Fi son móviles, ya que no hay que conectarse desde una ubicación fija para acceder a los servicios que nos ofrece, y además se puede ir caminando y navegando por Internet o leyendo el correo electrónico al mismo tiempo. Estrictamente hablando, eso se considera itinerancia, y no movilidad. De hecho, no es posible utilizar una red Wi-Fi desde un vehículo en movimiento a velocidad normal, por razones físicas asociadas a la velocidad. Además, incluso cuando nos movemos a baja velocidad (caminando), a causa del escaso alcance de cobertura de un punto de acceso, rápidamente tenemos que establecer conexión con otro punto de acceso, la cual implica "saltar" del uno al otro. También en este aspecto el estándar presenta deficiencias que pueden hacer que perdamos brevemente la conexión e incluso tengamos que volver a conectarnos manualmente. Estas restricciones son compensadas en las últimas versiones del estándar.

A continuación se expondrán brevemente las características de las versiones más destacadas del estándar en cuanto a velocidad de transmisión de datos y de banda de frecuencia de uso, que de hecho son los dos parámetros principales del sistema.

802.11b

Fue aprobado en 1999 y define la creación de redes sin hilos a la frecuencia de 2.4 GHz, consiguiendo una velocidad de transmisión más alta que el estándar original con una tipología de modulación que permite alcanzar "en el aire" hasta 11 Mbps, cosa que supone una velocidad efectiva para los usuarios de aproximadamente 5.5 Mbps. Hasta hace poco era la tecnología más extendida, pero ahora ha sido sustituida por 802.11g, que ofrece las mismas ventajas (banda de uso libre, simplicidad de funcionamiento...), pero con más ancho de

banda, y que, además, es compatible con b, lo cual permite mezclar dispositivos de ambos tipos en la misma red.

802.11a

Este estándar define la creación de redes sin hilos a la frecuencia de 5 GHz y al igual que la vertiente 802.11b fue aprobado en 1999.

La información de un usuario se transmite modulando digitalmente una señal de la banda de 5 GHz con los datos del usuario. La modulación que se utiliza en este estándar difiere de la del 802.11b, y es especialmente útil en entornos donde pueden aparecer grandes interferencias, por ejemplo, en transmisiones móviles en trenes. En cambio, es incompatible con 802.11b, ya que trabaja en otra frecuencia. Supone la primera mejora de velocidad. El estándar 802.11a permite alcanzar velocidades de transmisión máximas de hasta 54 Mbps, cosa que supone una velocidad efectiva de aproximadamente 36 Mbps.

802.11g

En el año 2003 surge este estándar que mejora el 802.11b, ya que trabaja igualmente a la frecuencia de 2.4 GHz, pero varía la modulación (en este caso es idéntica a la de 802.11a) hasta alcanzar igualmente velocidades de transmisión máximas de hasta 54 Mbps, cosa que supone una velocidad efectiva de aproximadamente 36 Mbps. Su capacidad de trabajar conjuntamente con el equipamiento 802.11b lo hace doblemente interesante, porque permite mantener el equipamiento anterior y migrar lentamente al nuevo estándar. En la actualidad es el estándar más utilizado en lo que a Wi-Fi se refiere.

802.11n

Aprobado en 2007. El objetivo del nuevo estándar 802.11n es mejorar todavía más el alcance y sobre todo la anchura de lado de las redes Wi-Fi, de manera que sea comparable a las redes de área local fijas. Cómo hoy en día eso es

sinónimo de Ethernet, la velocidad que se pretende alcanzar como mínimo son 100 Mbps, logrando en ocasiones alcanzar los 300 Mbps.

La solución utilizada en 802.11n consiste a reducir las ineficiencias, pero sobre todo a aprovechar lo que en principio es una gran desventaja de los sistemas sin hilos: las interferencias provocadas por las reflexiones de la señal en paredes, edificios, etc., que hacen que lleguen diversas copias de la misma señal ligeramente distorsionadas y retrasadas en el receptor. La gran innovación del 802.11n es el uso de más de una antena en cada punto de acceso y en cada terminal, de manera que se puedan aprovechar los "rebotes" y combinarlos para obtener una señal mejor. Al mismo tiempo, se puede enviar más de una señal a la vez (diversas antenas). Combinando ambos efectos, se consigue una transmisión más eficaz y más robusta, y en definitiva, más anchura de banda para el usuario. Esta técnica se llama MIMO (Multiple-input, Multiple-output). Ya se pueden encontrar en el mercado productos de algunos fabricantes que implementan la técnica MIMO.

802.11e

Esta enmienda fue creada entre 2003 y 2005 con el fin de dar soporte de calidad de servicio. Como se ha indicado, uno de los grandes problemas de las redes Wi-Fi es que no proveen ningún mecanismo para dar prioridad a ciertos tipos de tráfico sobre otros (calidad de servicio). Eso es especialmente grave si se mezclan voz y datos en la misma red sin hilos. El nuevo estándar 802.11e da respuesta a este problema.

Hace falta evaluar qué necesidad real, para un uso concreto, tenemos de mecanismos de éste estilo. Claro está que son convenientes en el caso de querer dar VoIP de buena calidad, todo y que hay despliegues con tecnología 802.11g que ofrecen el servicio sencillamente dimensionando la red para que haya capacidad excedente sobradamente, y por lo tanto, no haya nunca "atascos". En la mayoría de escenarios, sin embargo, la necesidad de QoS es más difícil de justificar.

802.11i

Aprobado en 2004. Se centra en la seguridad en las redes Wi-Fi. Éste es uno de los aspectos más importantes para la popularización definitiva de las redes Wi-Fi. Todas las tecnologías radio son vulnerables a priori por el hecho de utilizar el aire como medio de transmisión (ya que en principio es un medio accesible a todo el mundo, que quiera escuchar nuestras comunicaciones), por eso hay que imponer estrictas medidas de seguridad a la hora de implementar estas redes.

En terminos generales, los requerimientos de seguridad en una red de comunicaciones son los siguientes:

- Autenticación: La garantía de que el servicio se ofrece únicamente a los usuarios autorizados y que el servicio es ofrecido por a quien dice ofrecerlo.
- Confidencialidad: La garantía de que sólo los usuarios autorizados pueden acceder al contenido de la información enviada. Implica la implantación de mecanismos de cifrado de la información que se transmite por la red.
- Integridad: La garantía de que la información no pueda ser alterada ni cambiada en el transcurso de su transmisión por una red.
- Disponibilidad: La garantía de que la información es accesible para los usuarios autorizados de forma sencilla y en cualquier momento.

En particular, la tecnología Wi-Fi tradicional (es decir, los estándares b, g y a) provee actualmente seguridad mediante dos atributos: la confidencialidad y la autenticación.

Con respecto a la confidencialidad:

- WEP: es un sistema de cifrado estándar propuesto por el comité 802.11, que comprime y cifra los datos que se transmiten a través de las ondas de radio.

Este sistema es vulnerable, ya que es sencillo obtener la manera cómo han sido cifrados los datos. La clave está fija (no cambia nunca) y es la misma para todos los usuarios de una red. WEP es soportado por la mayoría de fabricantes de productos Wi-Fi.

Con respecto a la autenticación:

- Autenticación abierta: Es el mecanismo de autenticación por defecto que permite que cualquier dispositivo pueda obtener acceso a la red. Los datos se transmiten sin ningún tipo de cifrado.
- Autenticación de clave compartida: Es un mecanismo de reconocimiento que utiliza la clave WEP de la red para identificar al cliente. El proceso consiste en el envío por parte del punto de acceso de un texto que posteriormente el cliente cifra con la clave de red y lo devuelve al punto de acceso. Si este proceso se resuelve satisfactoriamente, se inicia el mismo proceso en sentido inverso. De esta manera se produce una autenticación mutua. Este sistema es vulnerable, ya que es sencillo obtener la clave de cifrado, el algoritmo no se considera seguro.
- Autenticación por dirección MAC: Es un mecanismo de identificación basado en listas de control de acceso que contienen las direcciones físicas de los equipos (direcciones MAC7). Cada punto de acceso establece las direcciones que son válidas para cada cliente en su red. Este sistema también es vulnerable ya que es sencillo capturar las direcciones permitidas por un punto de acceso concreto.

Con respecto a los mecanismos de autenticación, dos son las mejoras principales: en primer lugar, la inclusión de un servidor de autenticación externo. Hoy día RADIUS (Remote Access Dial-In User Service) es el estándar en redes fijas, y 802.11i prevé la interconexión de un servidor de este tipo. En segundo lugar, la introducción de un mecanismo más seguro de cifrado sobre el canal aéreo, basado en claves más seguras y que cambian periódicamente. El problema reside en cómo obtener la primera clave.

Aparte de eso, durante el proceso de autenticación, los interlocutores intercambian toda la información sobre las claves que utilizarán para el cifrado (y que serán diferentes de las hechas servir para la autenticación) y los algoritmos de cifrado escogidos. Esta información viaja, lógicamente, encriptada sobre el canal.

Con respecto a los mecanismos de cifrado, las mejoras propuestas son:

- WPA (Wi-Fi Protected Access, también conocido como TKIP): Sistema de cifrado creado para eliminar las principales debilidades de seguridad de las redes sin hilos y de WEP. Se trata de un paso intermedio para sistemas que todavía no son totalmente compatibles con 802.11i, ya que se puede implementar con una sencilla actualización del software de los productos b y g. Hace un proceso de encriptación más fuerte que WEP, pero las claves de cifrado son estáticas, cosa que lo hace todavía vulnerable.
- WPA2: Utiliza un nuevo sistema de cifrado, nombrado AES, considerado uno de los más seguros actualmente.

Además, la clave cambia en cada sesión, y es diferente para cada usuario.

El problema más grave que encara se mantiene, a pesar de las mejoras mencionadas, es como conseguir la primera clave, nombrada llave maestra, que se utilizará para la autenticación inicial, y que permitirá conseguir todas las claves subsiguientes.

El 802.11i se puede considerar el paso que lleva las redes sin hilos al mismo estándar de seguridad que las redes fijas. Como serie de mecanismos transversales a la tecnología de transporte utilizados, no se encontrarán productos en el mercado bajo esta denominación. Lo que pasará es que los productos de otros estándares, como 802.11n o 802.11g, incorporarán los mecanismos del 802.11i, y serán compatibles.

Siempre está la posibilidad de incorporar medidas de seguridad en redes Wi-Fi a nivel de aplicación. Es decir, siempre es posible utilizar software especializado que cifre los datos del usuario y que los transmita a través de

una conexión segura, como por ejemplo usando redes privadas virtuales (VPN), o las posibilidades de los navegadores actuales (SSL, HTTPS).

3.3 Itinerancia y movilidad

Una de las utilidades más interesantes de la tecnología sin hilos es la posibilidad de cambiar de red sin necesidad de modificar la configuración del sistema, es decir, ofrecer Itinerancia (roaming) entre los diferentes puntos de acceso. Esta característica permite que el usuario pueda moverse por el territorio sin tener que hacer ninguna modificación en su PC de la misma manera que en el entorno a la telefonía móvil, es decir que no se pierde la cobertura y que se permite la movilidad entre diferentes islas Wi-Fi.

A fin de que la red permita itinerancia se tienen que configurar los puntos de acceso para que trabajen en diferentes canales de frecuencia, de manera que no se produzcan problemas de funcionamiento en aquellas zonas en que se crucen las coberturas de diferentes puntos de acceso, y el usuario "salte" de manera transparente de uno al otro.

Para la interconexión de puntos de acceso de diferentes fabricantes creando una única red por la cual los usuarios puedan moverse libremente, se ha aprobado recientemente el estándar 802.11f que, entre otros aspectos, define el registro de un punto de acceso dentro de una red y el intercambio de información con el otros puntos de acceso para permitir la funcionalidad mencionada.

Aun así, el problema más grave de la itinerancia entre islas Wi-Fi de diferentes propietarios deriva de la falta de estándares sobre intercambio de información de autenticación.

La movilidad pura, es decir, el hecho de poder mantener una comunicación en movimiento sin interrupciones a velocidades elevadas, es todavía un objetivo lejano de la subfamilia 802.11.

Actualmente, un nuevo estándar está en preparación, el 802.11p, que se ocupará precisamente de las comunicaciones en vehículos.

3.4 Futuras evoluciones de la tecnología Wi-Fi

Los resultados más inmediatos, desde el punto de vista del usuario, serán sin duda la aparición de productos que implementan el estándar 802.11e y que, por lo tanto, dan la posibilidad de proveer de calidad de servicio a ciertos tipos de tráfico, especialmente la VoIP. Eso podría convertir la VoIP en una alternativa viable para dar cobertura a entornos rurales o de difícil acceso sin necesidad de desplegar infraestructura fija.

Evidentemente, sólo como solución en el acceso más inmediato al usuario, ya que el Wi-Fi no está pensado como red de transporte, aunque hay iniciativas que han conseguido despliegues de gran alcance mediante esta tecnología.

El siguiente paso en esta evolución será la finalización del estándar 802.11n, y la aparición de productos que lo implementan. Si alcanzan el rendimiento que todo el mundo espera, éstos productos pondrán al mismo tiempo las redes de área local basadas en tecnología sin hilos y las más tradicionales basadas en FastEthernet, y abrirán la puerta a despliegues alternativos, completamente desprovistos de cableado, en entornos de oficinas y otras redes corporativas de pequeña dimensión.

Más a largo plazo se encuentran los trabajos, que acaban de empezar, para alcanzar la movilidad en vehículos (802.11p), mecanismos más rápidos (y estandarizados) de itinerancia entre puntos de acceso (802.11r) y para simplificar la interoperación de redes Wi-Fi con otras tecnologías (802.11u). Este último estándar es particularmente importante para escenarios donde se quieran combinar redes Wi-Fi con redes de telefonía móvil, salto de la una en la otra sin tener que cortar la comunicación. Otras iniciativas destacadas son las de mejorar los mecanismos de gestión de las redes Wi-Fi (802.11v) y simplificar la creación de redes “mesh”, en las cuales los nodos actúan de repetidores los unos de los otros, y simplifican el despliegue de redes de

alcance importante y con redundancia sin necesidad de puntos de acceso adicionales (802.11s).

3.5 Wi-Fi Alliance

La WIFI Alliance es una asociación encargada de promover la tecnología Wi-Fi y certificar los productos con el sello “Wi-Fi certified” si estos cumplen con el estándar 802.11. No obstante, cabe destacar que si un dispositivo no está certificado mediante la Wi-Fi Alliance pueden funcionar perfectamente con el estándar 802.11.

La WIFI Alliance es un sello de calidad, puesto que el dispositivo que esté certificado con ellos, funciona correctamente con el estándar 802.11. Las funciones principales que ha de cumplir para dicha certificación son:

- Interoperabilidad para asegurar que los productos de los proveedores de los diferentes equipos pueden operar entre ellos sin problemas
- Compatibilidad con anteriores versiones para permitir el trabajo tanto de los dispositivos antiguos como de los nuevos
- Innovación mediante la introducción de nuevos programas de certificación como la como la última tecnología y las especificaciones para entrar en el mercado.



Figura 17. Logotipo Wi-Fi Alliance

3.6 Ventajas y desventajas

A modo de resumen, mostramos a continuación una serie de ventajas y desventajas más relevantes acerca de esta tecnología sin hilos.

Las redes Wi-Fi poseen una serie de ventajas, entre las cuales podemos destacar:

- Al ser redes inalámbricas, la comodidad que ofrecen es muy superior a las redes cableadas porque cualquiera que tenga acceso a la red puede conectarse desde distintos puntos dentro de un rango suficientemente amplio de espacio.
- Una vez configuradas, las redes Wi-Fi permiten el acceso de múltiples ordenadores sin ningún problema ni gasto en infraestructura, no así en la tecnología por cable.
- La Wi-Fi Alliance asegura que la compatibilidad entre dispositivos con la marca Wi-Fi es total, con lo que en cualquier parte del mundo podremos utilizar la tecnología Wi-Fi con una compatibilidad total.

Pero como red inalámbrica, la tecnología Wi-Fi presenta los problemas intrínsecos de cualquier tecnología inalámbrica. Algunos de ellos son:

- Una de las desventajas que tiene el sistema Wi-Fi es una menor velocidad en comparación a una conexión con cables, debido a las interferencias y pérdidas de señal que el ambiente puede acarrear.
- La desventaja fundamental de estas redes existe en el campo de la seguridad. Existen algunos programas capaces de capturar paquetes, trabajando con su tarjeta Wi-Fi en modo promiscuo, de forma que puedan calcular la contraseña de la red y de esta forma acceder a ella. Las claves de tipo WEP son relativamente fáciles de conseguir con este sistema. La alianza Wi-Fi arregló estos problemas sacando el estándar WPA y posteriormente WPA2, basados en el grupo de trabajo 802.11i. Las redes protegidas con WPA2 se consideran robustas dado que proporcionan muy buena seguridad. Este problema se agrava si consideramos que no se puede controlar el área de cobertura de una conexión, de manera que un receptor se puede conectar desde fuera de la zona de recepción prevista.

- Hay que señalar que esta tecnología no es compatible con otros tipos de conexiones sin cables como Bluetooth, GPRS, UMTS, etc

4. ESTUDIO DE COBERTURA

Una vez diseñado el radioenlace habiendo logrado transportar la señal desde el operador del servicio hasta el colegio CEIP Las Dunas sólo nos queda distribuir dicha señal por el mismo con el fin de proporcionar cobertura a todo el área del colegio. Este estudio de cobertura lo realizaremos con la ayuda del programa CINDOOR propiedad de la Universidad de Cantabria. En las simulaciones se tendrá en cuenta el rayo directo y la primera reflexión.

Para ello analizaremos, en primer lugar, la situación actual de la red interna del colegio para posteriormente identificar los principales problemas y los aspectos más ventajosos que nos encontramos, los cuales podremos utilizar para definir la solución más óptima.

4.1 Situación actual

El colegio CEIP Las Dunas cuenta actualmente con 5 líneas de 1 Mbps, es decir, 5 Mbps con los cuales se ofrece servicio WiFi a las instalaciones, aulas y despachos.

Están configurados de tal forma que 3 Mbps están destinados a dar servicio a las 4 aulas 2.0 instaladas en los últimos años, en donde cada alumno dispone de un laptop a través del cual tiene acceso a Internet conectándose previamente a la red Wi-Fi destinada a las aulas 2.0. Este tipo de clases cada vez son más habituales en los colegios y están implantadas con la finalidad de acercar y familiarizar a los alumnos de primaria con Internet y las nuevas tecnologías.

Los 2 Mbps restantes están destinados a ofrecer Internet Wi-Fi al resto del colegio a través de una serie de puntos de acceso distribuidos por el colegio y a los despachos del profesorado mediante cable. La peculiaridad que tienen estas dos líneas es que están dispuestas en paralelo, es decir, 2 líneas paralelas de 1Mbps de tal forma que cuando una de ellas falla se obtiene conexión a través de la otra.

4.1.1 Problemática existente

Varios son los problemas que nos encontramos en la configuración actual del colegio. El primero de ellos es la falta de ancho de banda disponible para dar servicio a tantos usuarios conectados simultáneamente, así como la pésima configuración de la red interna desperdiciando ancho de banda. Ambas cosas ya hacen que, a priori, el acceso a Internet sea difícil y reducido.

Otro factor importante es la distribución de los puntos de acceso a lo largo del colegio. No siguen una colocación lógica ni óptima siendo evidentes las interferencias entre puntos próximos emitiendo en el mismo canal. En este aspecto centraremos nuestro estudio de cobertura.

4.2 Estudio de cobertura

El colegio dispone actualmente de unos 40 habitáculos entre los cuales encontramos aulas, salas y despachos. Para dar servicio a estas instalaciones están dispuestos por el colegio unos puntos de acceso de la marca D-LINK (ANEXO B) concretamente 13. A parte, tenemos 4 aulas 2.0 en cada una de las cuales hay situados 2 puntos de acceso de la marca TP-LINK (ANEXO B). Si sumamos ambas distribuciones tenemos un total de 21 puntos de acceso dentro del colegio. En los planos contenidos en el ANEXO A podemos observar ambas configuraciones.

Una vez conocida la disposición de los puntos de acceso vamos a pasar a realizar un estudio en profundidad de cada planta y de cada punto de acceso por separado con el fin de ver como interfieren entre ellos y el área que cubre cada uno.

Primeramente vamos a determinar el canal por el que transmite cada punto de acceso. Para ello utilizamos un programa alojado en Linux utilizado para la auditoria de redes, Beini 1.2.2. A continuación se muestra la tabla con los resultados obtenidos.

Planta	AP	MAC	Channel	Descripción
0	1	00:1B:11:B6:1E:1C	9	DLink
0	2	00:1B:11:B6:1D:FA	1	DLink
0	3	00:1B:11:B6:20:04	13	DLink
0	4	00:1B:11:B6:1C:4F	1	DLink
0	5	00:1B:11:BF:9A:09	9	DLink
0	6	00:1B:11:BF:9E:86	13	DLink
0	7	00:1B:11:B6:23:77	1	DLink
0	8	00:1B:11:B6:1B:37	5	DLink
0	9	00:1B:11:B6:20:4F	5	DLink
0	10	00:23:CD:20:35:4D	5	2.0 ABAJO 6A
0	11	00:23:CD:19:3C:D7	1	2.0 ABAJO 6B
0	18	00:23:CD:20:33:9F	13	2.0 ABAJO 6A
0	19	00:23:CD:20:35:1A	9	2.0 ABAJO 6B
1	12	-	1	2.0 ARRIBA 5A
1	13	-	9	2.0 ARRIBA 5B
1	14	00:1B:11:B6:20:1C	5	DLink
1	15	00:1B:11:B6:20:01	1	DLink
1	16	00:1B:11:B6:1E:2D	9	DLink
1	17	00:1B:11:B6:1F:FE	13	DLink
1	20	00:23:CD:20:35:22	13	2.0 ARRIBA 5A
1	21	00:23:CD:20:34:0A	5	2.0 ARRIBA 5B

Tabla 11. Puntos de acceso actuales

Hay 2 puntos de acceso, concretamente los números 12 y 13, correspondientes a las aulas 2.0 de los que no se dispone información puesto que estaban desconectados. El responsable del centro nos ha comunicado sus correspondientes canales de transmisión.

Teniendo en cuenta que la separación entre canales de la que disponemos es de máximo 4 [10], es decir, podemos transmitir por los canales 1, 5, 9, 13, rápidamente vemos que hay puntos de acceso próximos emitiendo por el mismo canal que interferirían entre ellos debilitando la señal. Este hecho que se produce es lógico teniendo en cuenta la reducida variedad de canales para transmitir, únicamente 4, en relación a la gran cantidad de puntos de acceso que hay en la misma área. Es inevitable que haya puntos de acceso que interfieran en estas condiciones. En el ANEXO A encontramos un plano donde se muestra la distribución según los canales de emisión de los puntos de acceso. Sin profundizar demasiado podemos observar claros casos de ejemplo, como pueden ser los puntos de acceso 17 y 18 emitiendo por el canal 13 situados uno encima del otro, los puntos 12 y 15 muy próximos

transmitiendo por el canal 1 o el punto 16 y el punto 19 trabajando en el canal 9 situados a escasos metros.

Seguidamente vamos a pasar a analizar la cobertura en cada planta de forma independiente. Vamos a estudiar en profundidad cada punto de acceso por separado, tanto para la red Wi-Fi global del colegio como para las aulas de 2.0, así como la forma en que afectan los puntos de acceso de la planta inferior a la superior y viceversa.

4.2.1 Planta Baja

Planta Baja AP Propios

En primer lugar vamos a estudiar la cobertura de la que disponemos en la planta baja teniendo en cuenta los puntos de acceso situados en ella misma. Estos están colocados a unos 2,5m sobre el suelo. En este caso, el número que tiene cada punto de acceso se corresponde con el orden establecido en el plano contenido en el ANEXO A.

CINDOOR nos va a ofrecer un mapa de cobertura según los parámetros de diseño que le introducimos en relación a la velocidad de trabajo y a la potencia radiada. En este caso, la frecuencia de trabajo será 2,45 GHz y 50 mW de potencia de transmisión para los puntos de acceso con una velocidad de 54 Mbps. El mapa de cobertura correspondiente a la planta que da acceso al colegio según la disposición de los puntos de acceso que están situados en ella es el siguiente:

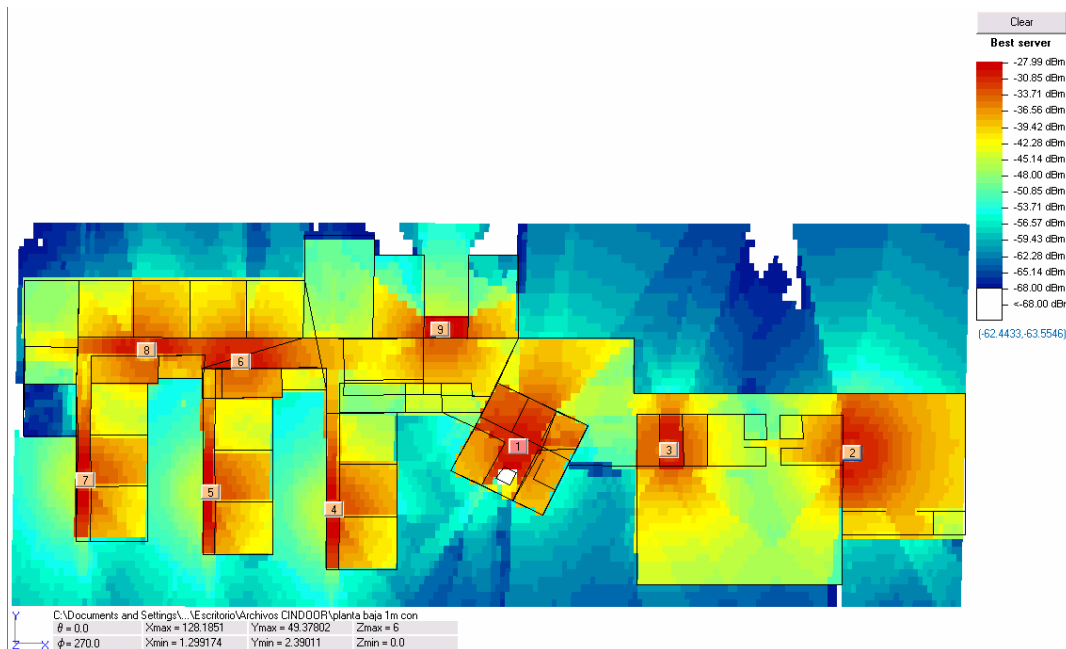


Figura 18. Cobertura de los puntos de acceso actuales en planta baja

Podemos observar como hay puntos de acceso que su área de cobertura se solapa con otros puntos, como por ejemplo los puntos de acceso 8 y el 6. Para verlo de una forma más clara, CINDOOR nos da la opción de conocer el área que abarca cada punto de acceso.

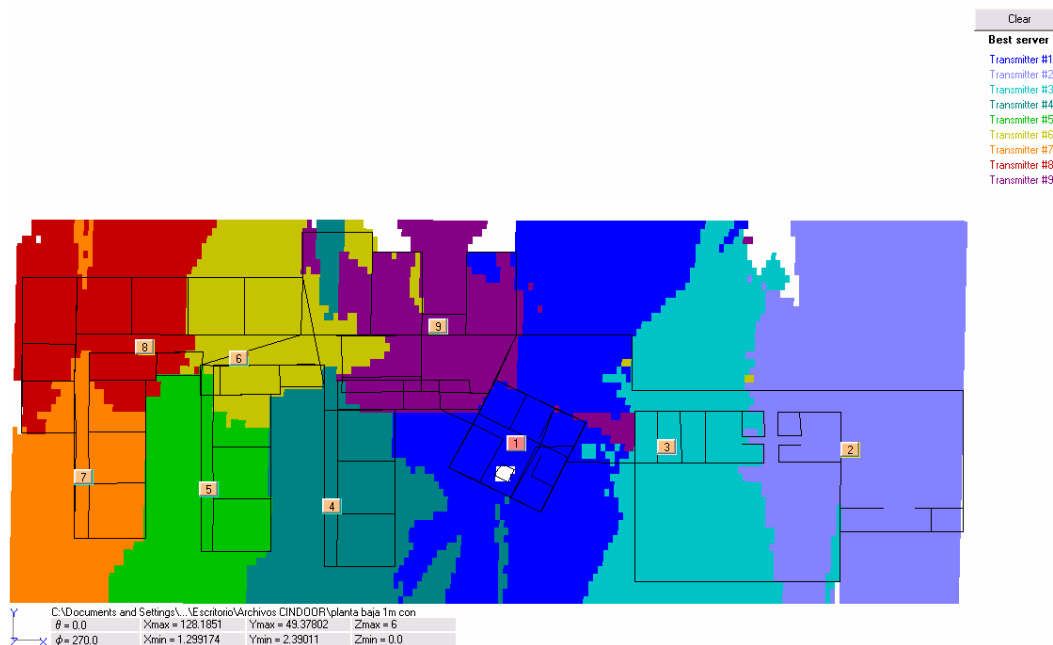


Figura 19. Zona de cobertura de los puntos de acceso actuales en planta baja

Distinguimos perfectamente como hay puntos de acceso que su área de cobertura está limitada por otros puntos, es decir, tenemos superposición de zonas de cobertura, lo cual nos da una idea de lo sobredimensionada que esta la red Wi-Fi del colegio en cuanto a puntos de acceso se refiere.

Pasamos a analizar el área que cubre cada punto de acceso por separado. Se va a seguir el orden numérico por el cual aparecen en los planos del ANEXO A.

Punto de acceso 1

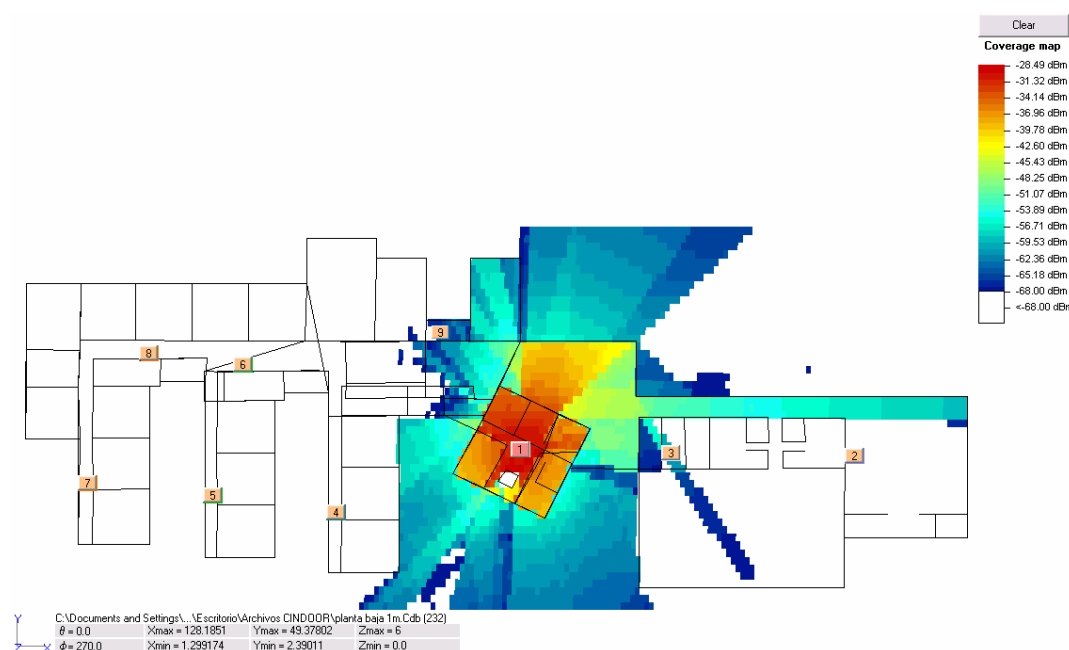


Figura 20. Cobertura punto de acceso 1 en planta baja

Este punto cubre totalmente la zona de conserjería y el hall de acceso.

Punto de acceso 2

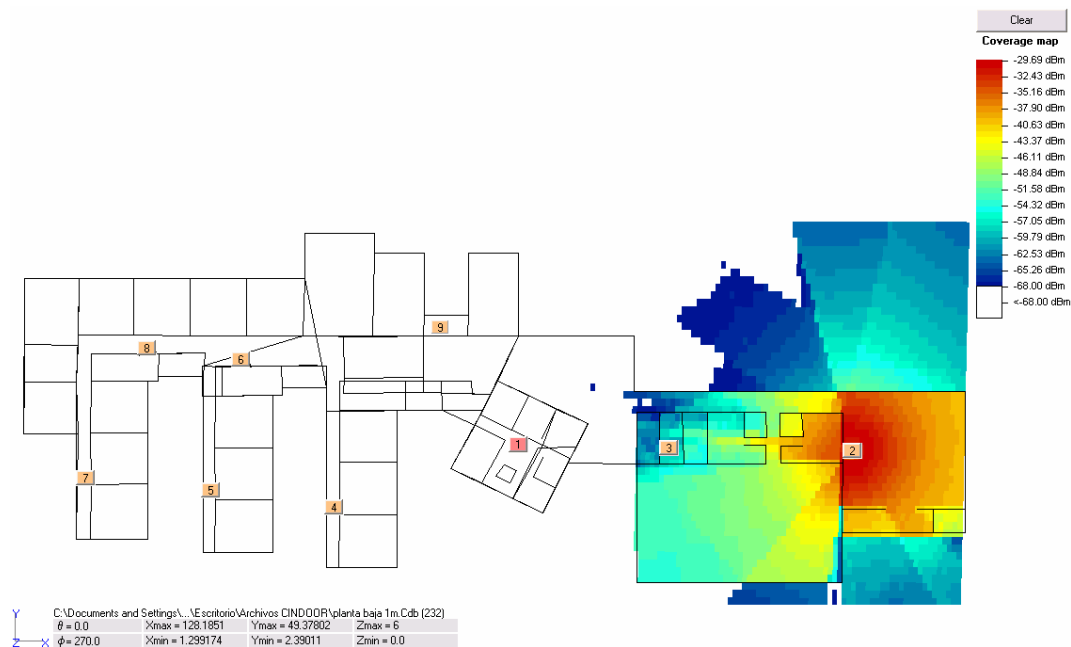


Figura 21. Cobertura punto de acceso 2 en planta baja

Según está colocado este punto de acceso, damos cobertura a la zona del comedor y el gimnasio. Incluso vemos como parte de la señal sale hacia el exterior.

Punto de acceso 3

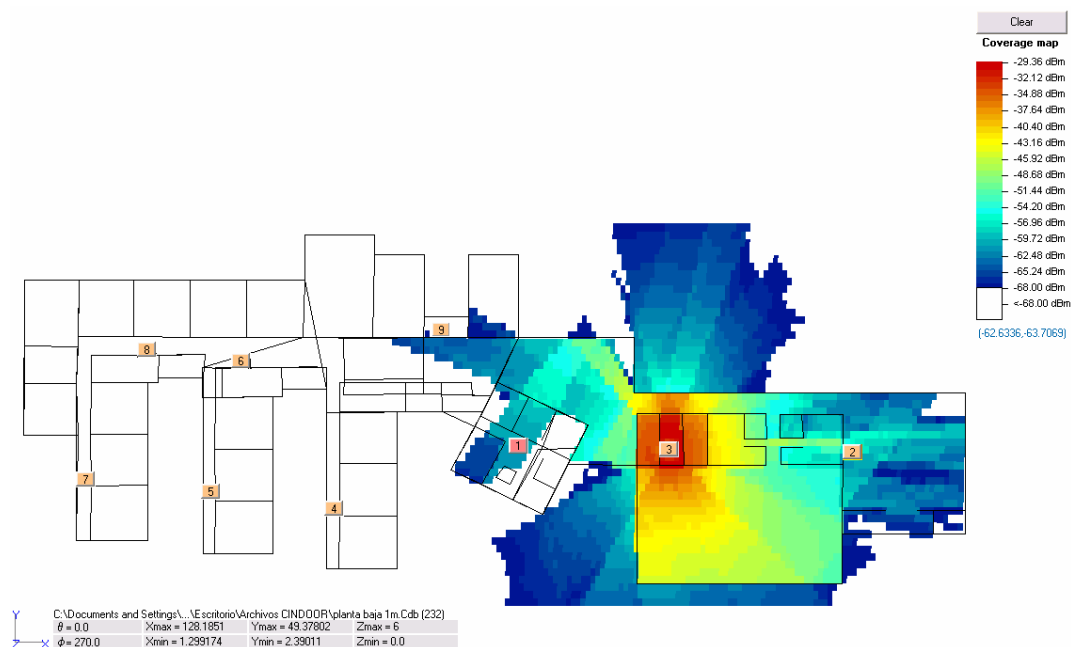


Figura 22. Cobertura punto de acceso 3 en planta baja

Este punto de acceso cubre la zona del gimnasio, comedor y hall, por lo tanto aquí tenemos el primero caso de solapamiento. Los AP 2 y 3 dan servicio prácticamente la misma zona.

Punto de acceso 4

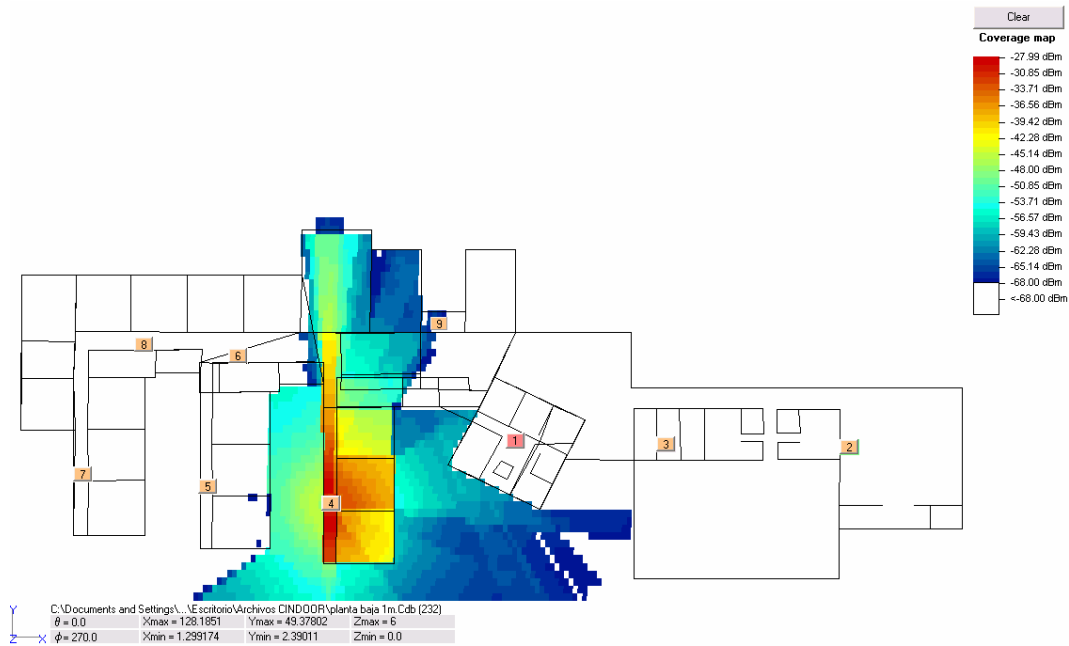


Figura 23. Cobertura punto de acceso 4 en planta baja

El punto de acceso número 4 abastece de señal al primer pasillo vertical que nos encontramos en la geometría del edificio. Gran cantidad de señal va hacia el exterior ya que el pasillo no tiene mucha anchura. Además se puede apreciar como la señal no traspasa el segundo pasillo ni entra en la zona de conserjería debido a que la señal está llegando al límite de su alcance y la composición de los muros exteriores del edificio se hacen muy gruesos para atravesarlos con la potencia que se llega.

Punto de acceso 5

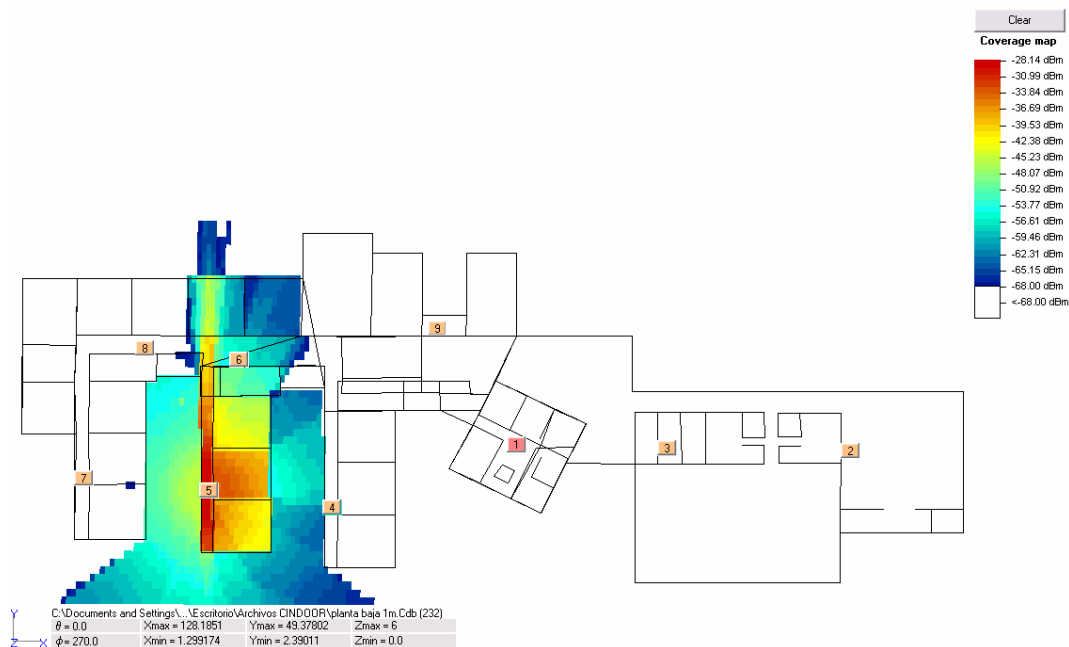


Figura 24. Cobertura punto de acceso 5 en planta baja

Vemos como el AP número 5 cubre el segundo pasillo vertical que nos encontramos ocurriendo lo mismo que sucedía para el punto de acceso 4.

Punto de acceso 6

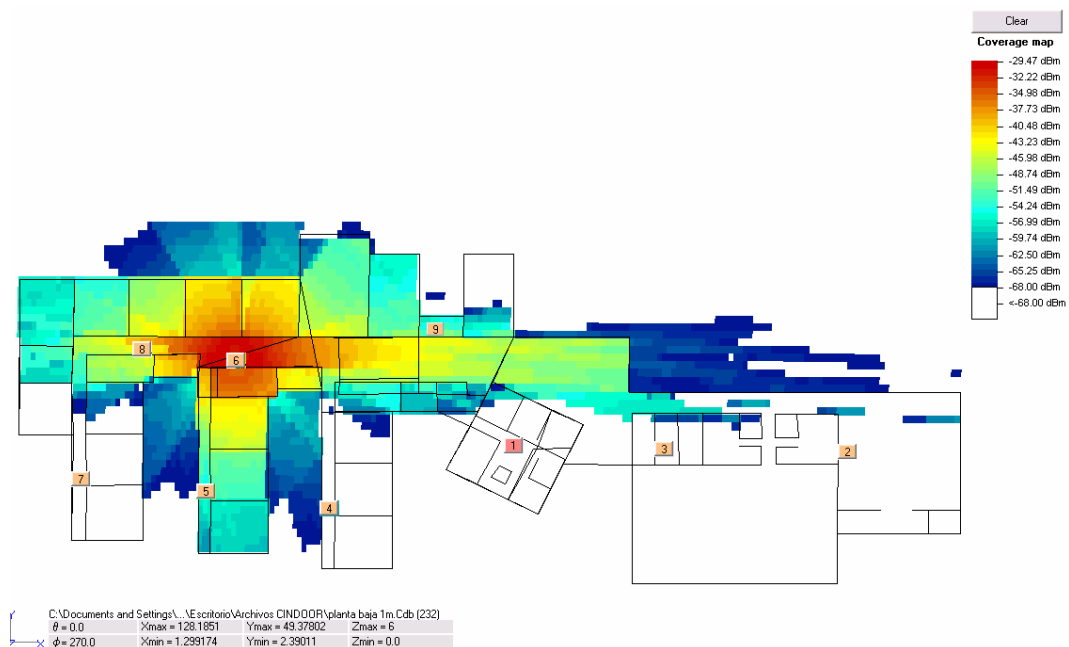


Figura 25. Cobertura punto de acceso 6 en planta baja

Este punto de acceso es uno de los que más área cubre. Da cobertura a prácticamente todo el pasillo horizontal, segundo pasillo vertical, aulas y el hall de acceso.

Punto de acceso 7

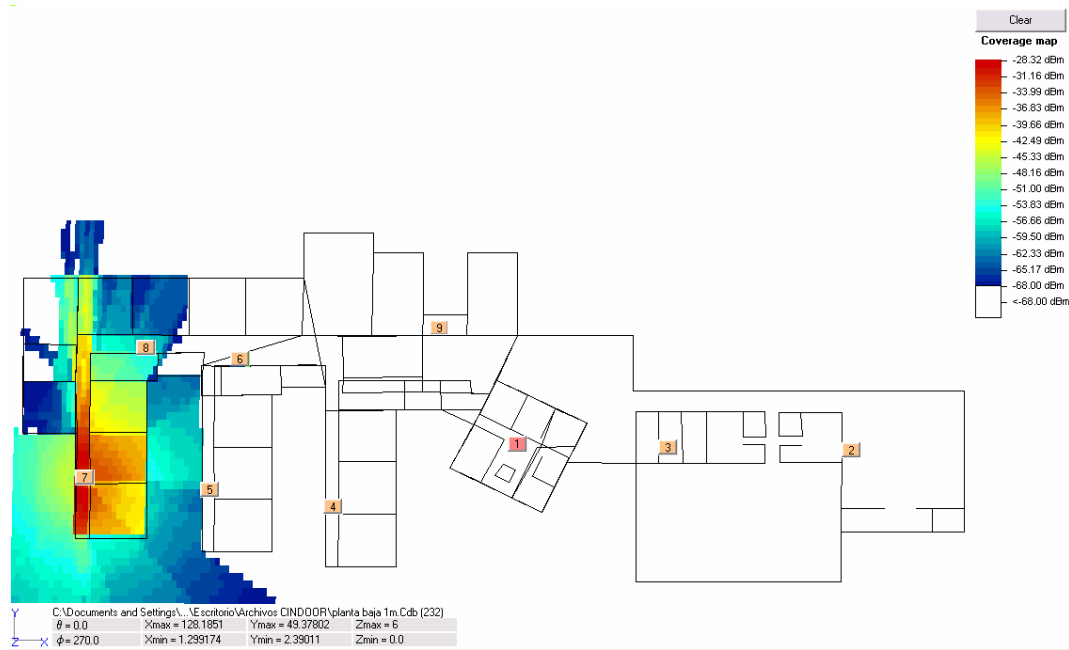


Figura 26. Cobertura punto de acceso 7 en planta baja

El punto de acceso número 7 cubre la zona del tercer pasillo vertical y las aulas 2.0 de la planta baja.

Punto de acceso 8

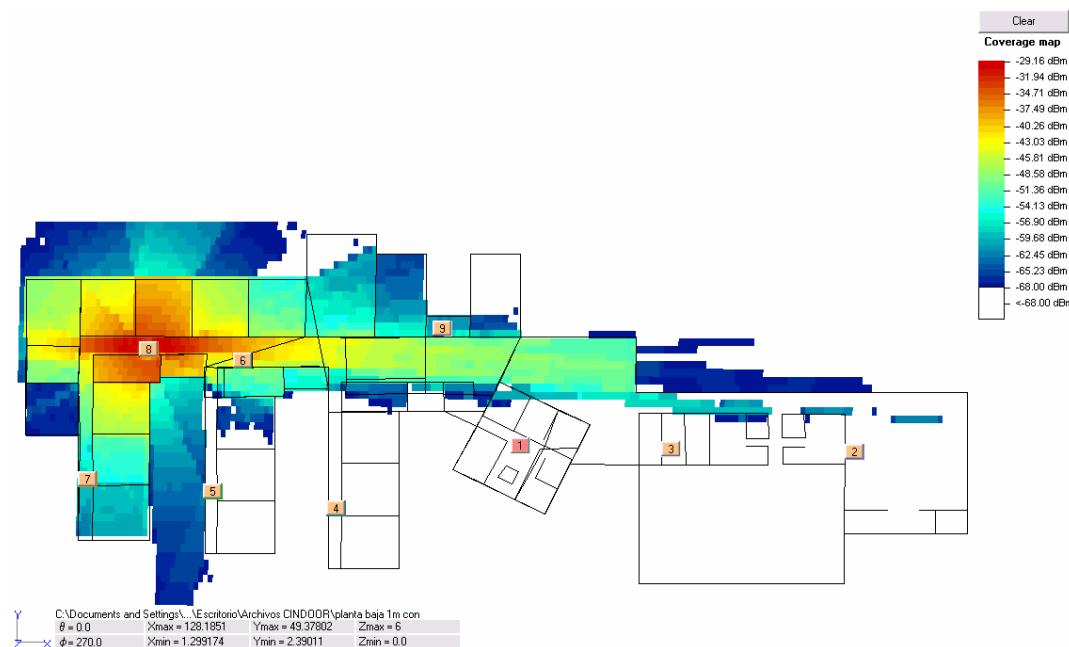


Figura 27. Cobertura punto de acceso 8 en planta baja

Este punto de acceso, al igual que ocurría con el número 6, cubre gran parte del área del colegio. Abarca el tercer pasillo, la mayoría de aulas así como todo el pasillo horizontal y el hall.

Punto de acceso 9

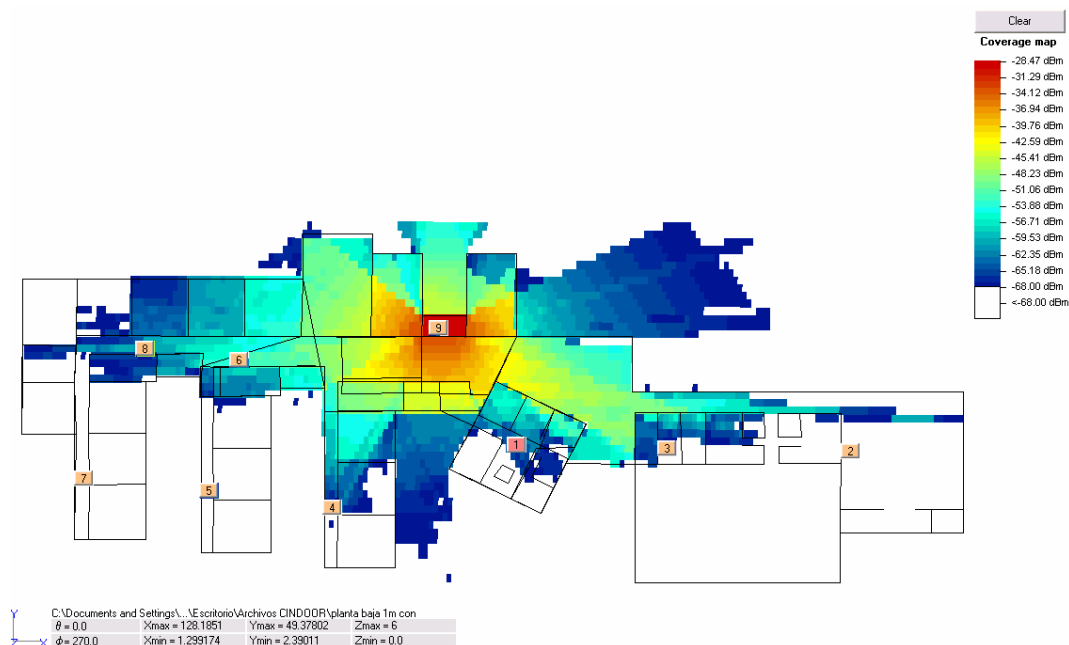


Figura 28. Cobertura punto de acceso 9 en planta baja

Con este punto de acceso cubrimos zonas completas como el pasillo horizontal y las aulas próximas, pero cubre zonas incompletas como son conserjería y el primer pasillo vertical.

Planta Baja AP Primera Planta

Una vez vista la cobertura que tenemos en la planta baja ofrecida por los puntos de acceso situados en ella misma, pasamos a estudiar la cobertura que los 4 puntos de acceso colocados en la primera planta nos ofrecen en la planta baja. Estos puntos están situados a unos 5,5m sobre el suelo, es decir, 3m que tiene la planta baja más los 2,5m a los que están colocados en la pared. El mapa de cobertura obtenido con CINDOOR es el siguiente:

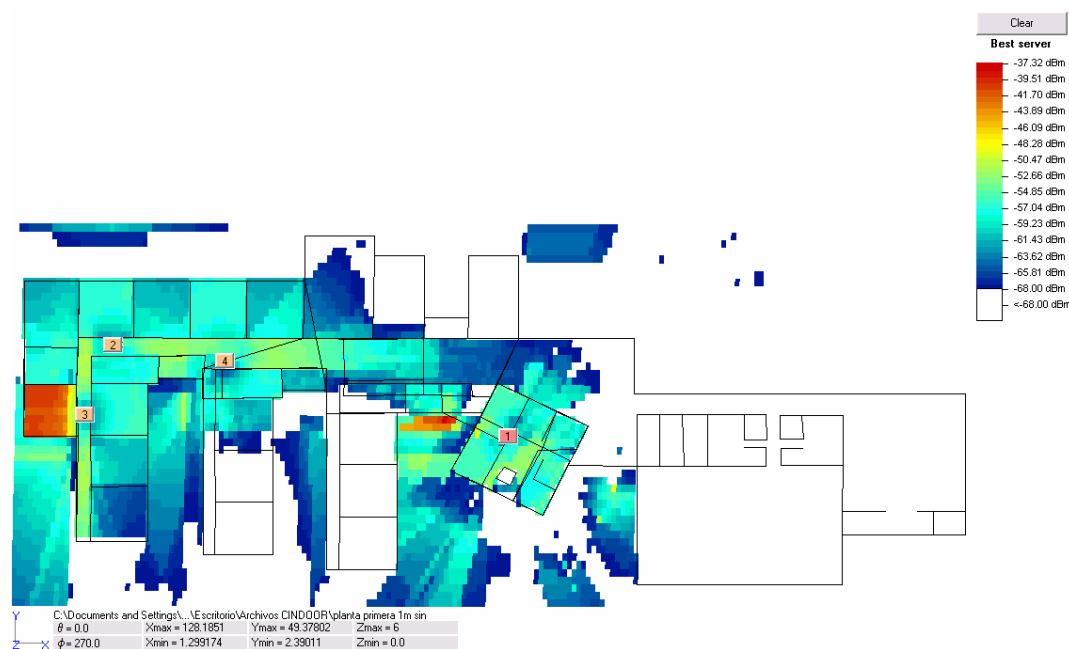


Figura 29. Cobertura de los puntos de acceso de la primera planta en planta baja

Observamos como los puntos que están en planta superior también dan servicio a la planta baja.

El área focalizada por cada punto de acceso se puede observar en la siguiente captura.

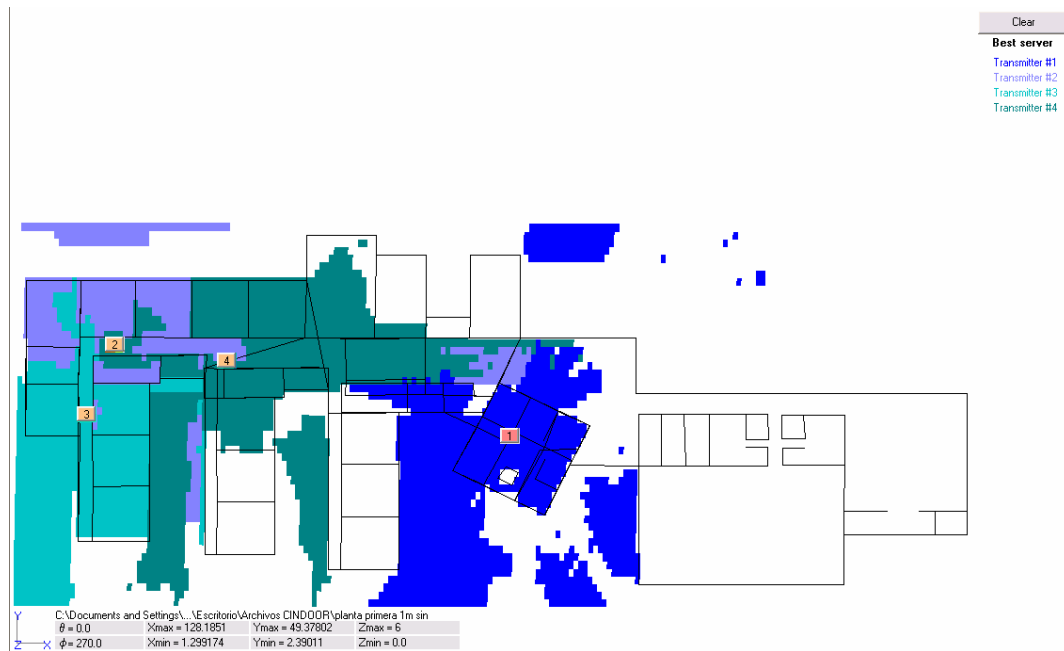


Figura 30. Zona de cobertura de los puntos de acceso de la primera planta en planta baja

Al igual que ocurría con los puntos de acceso de la primera planta, vemos como las zonas que cubre cada punto se mezclan entre si.

A continuación el análisis de cada punto de acceso de forma independiente.

Punto de acceso 1 planta primera (efecto en planta baja)

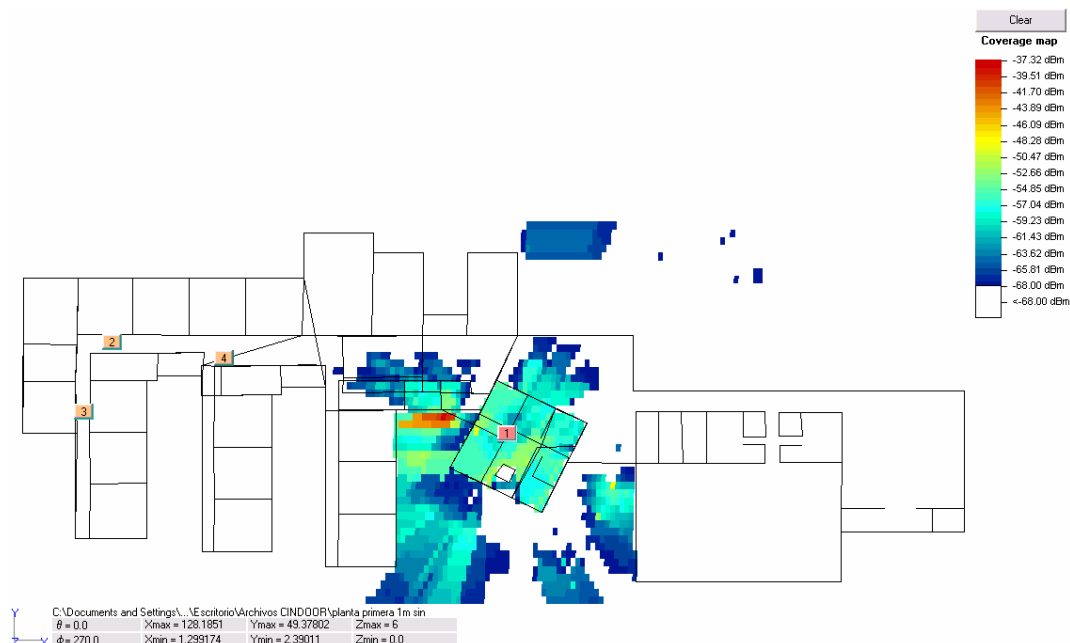


Figura 31. Cobertura punto de acceso 14 en planta baja

Este punto situado en la primera planta en la zona de los despachos se corresponde con el punto número 14 según los planos del ANEXO A. Su señal llega a la zona de conserjería y débilmente al hall.

Punto de acceso 2 planta alta (efecto en planta baja)

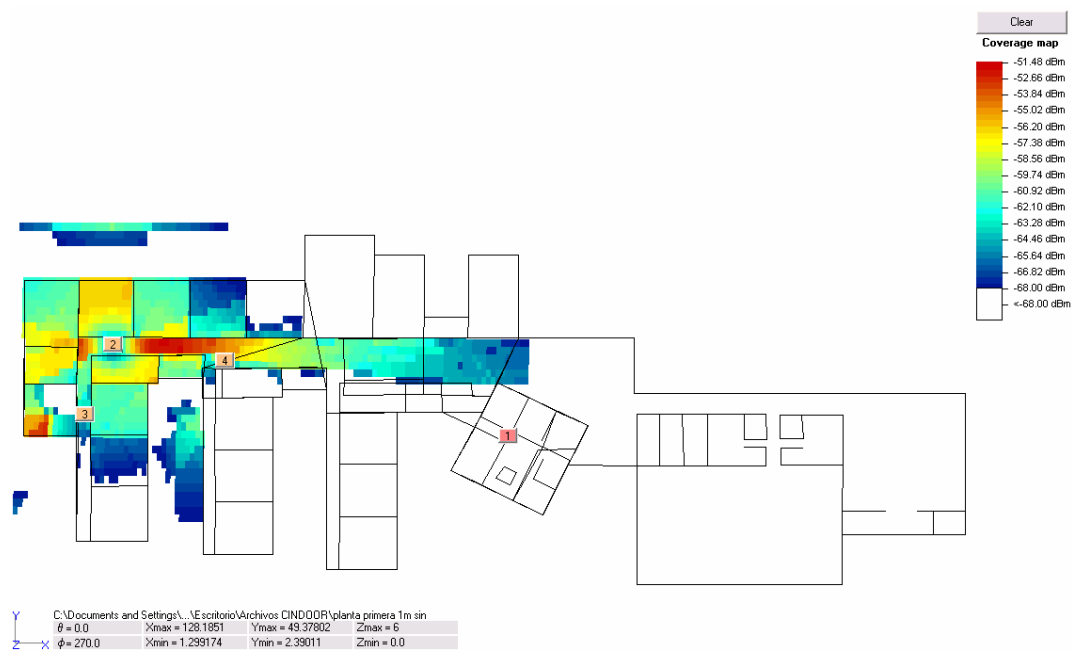


Figura 32. Cobertura punto de acceso 16 en planta baja

El punto número 2 se corresponde con el AP 16 en el plano del ANEXO A. Este punto a pesar de estar situado en la planta de arriba llega a dar servicio a la mayoría de las clases y el pasillo horizontal de la planta inferior.

Punto de acceso 3 planta alta (efecto en planta baja)

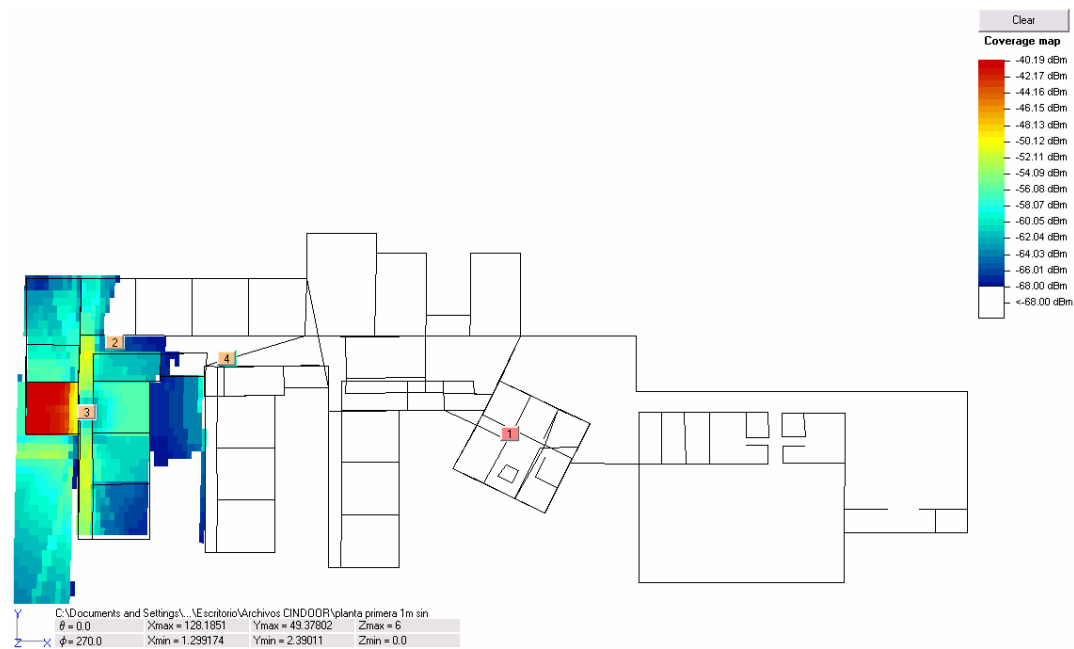


Figura 33. Cobertura punto de acceso 17 en planta baja

El punto de acceso 3 se corresponde con el que aparece en el ANEXO A como número 17. Su señal llega hasta la zona inferior del tercer pasillo vertical.

Punto de acceso 4 planta alta (efecto en planta baja)

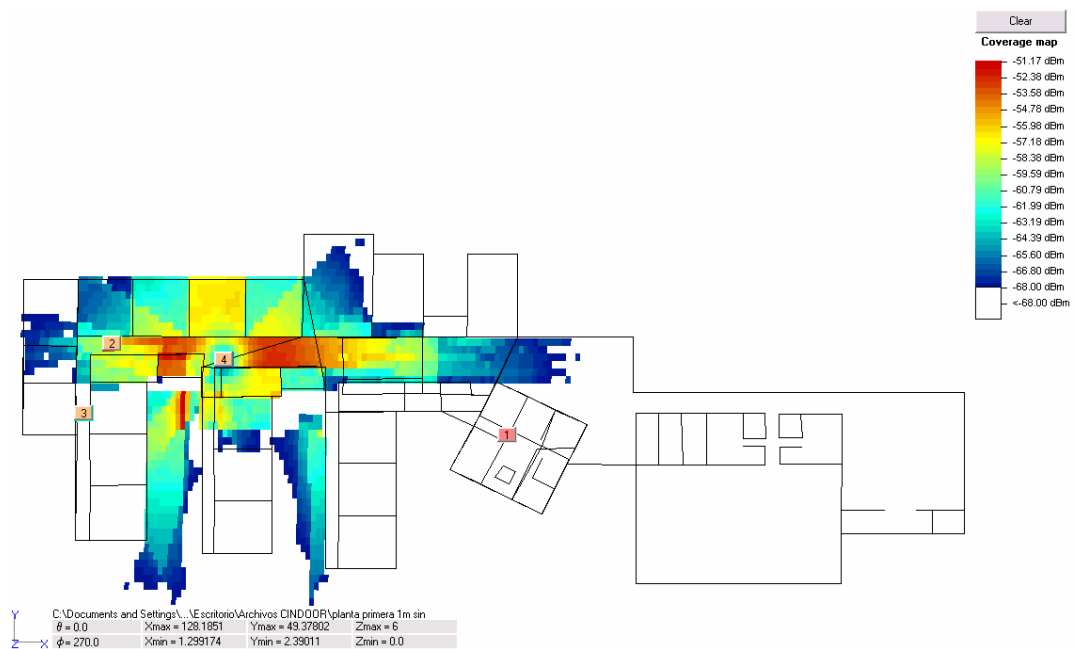


Figura 34. Cobertura punto de acceso 15 en planta baja

El AP 4 llega a dar cobertura a prácticamente todo el pasillo horizontal de la planta inferior y a las aulas situadas en este. En el plano que podemos encontrar en el ANEXO A aparece como AP número 15.

4.2.2 Planta Primera

Planta Primera AP Propios

Ahora que ya hemos realizado el estudio de cobertura para la planta baja, pasamos a analizar la cobertura en la planta superior. Comenzamos analizando la cobertura que ofrecen los puntos de acceso pertenecientes a la primera planta. Estos puntos de acceso están situados a unos 5,5m sobre el suelo de la planta baja.

El mapa global de cobertura con todos los puntos de acceso obtenido con CINDOOR es el siguiente:

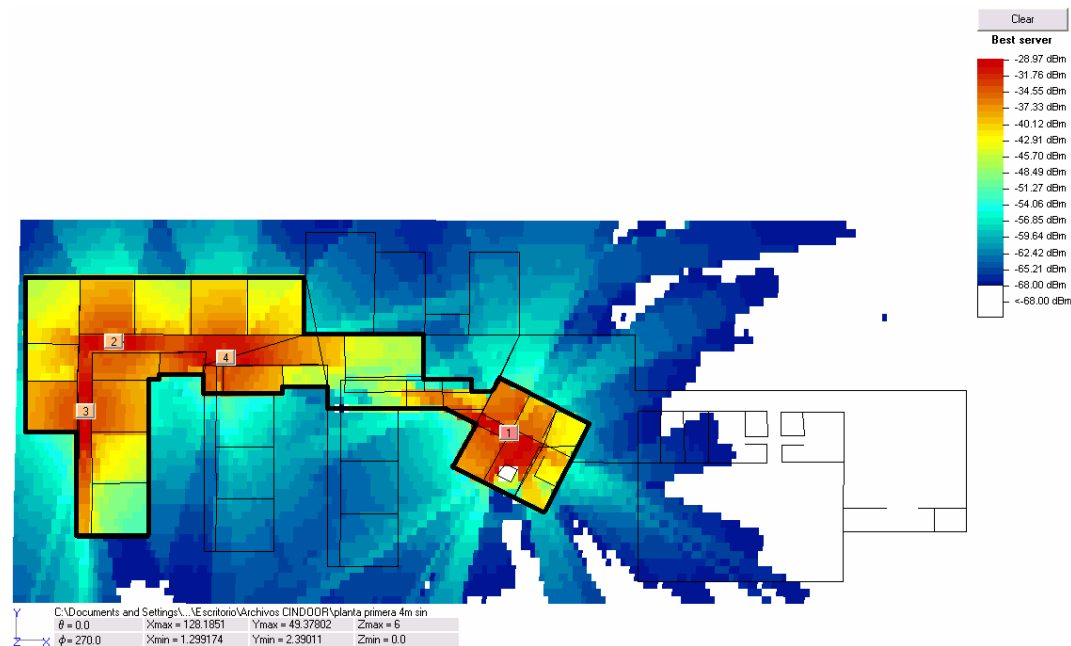


Figura 35. Cobertura de los puntos de acceso actuales en la primera planta

Nos encontramos con la misma situación que teníamos en la planta inferior. Las zonas de cobertura de algunos puntos se juntan dando idea de lo sobrecargada que está la planta.

En la siguiente captura que muestra la zona de alcance de cada punto de acceso podemos observarlo de una forma más clara.

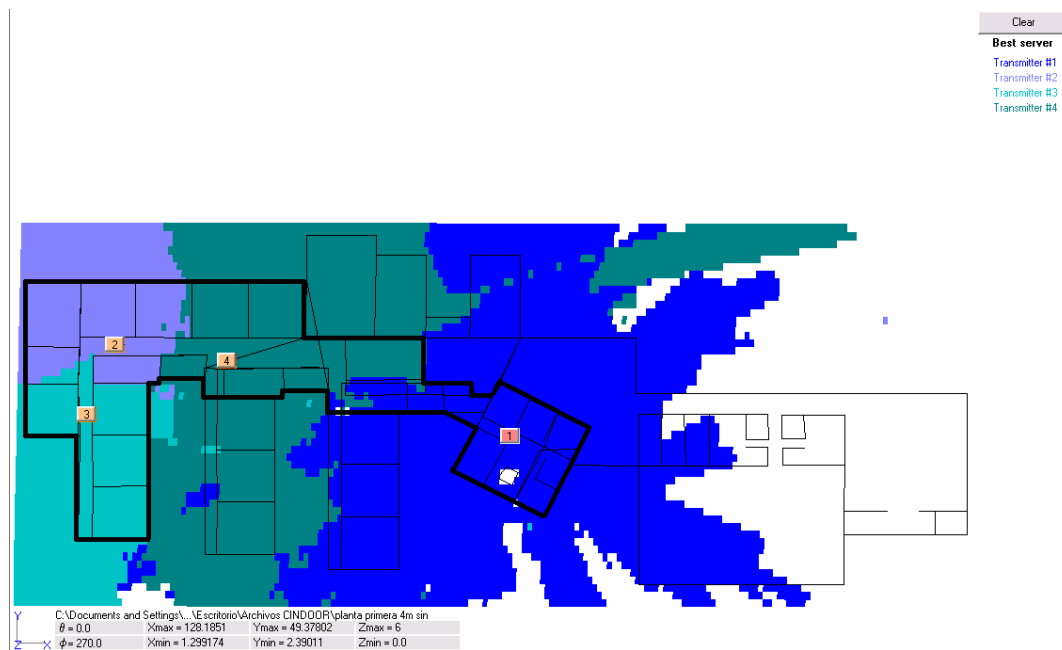


Figura 36. Zona de cobertura de los puntos de acceso actuales en la primera planta

La zona de cobertura de los puntos de acceso 2 y 4 de la imagen o la zona de los puntos 2 y 3 son un ejemplo de esta sobrecarga.

A continuación vamos a estudiar de forma separada la cobertura ofrecida por cada punto de acceso.

Punto de acceso 1 planta primera

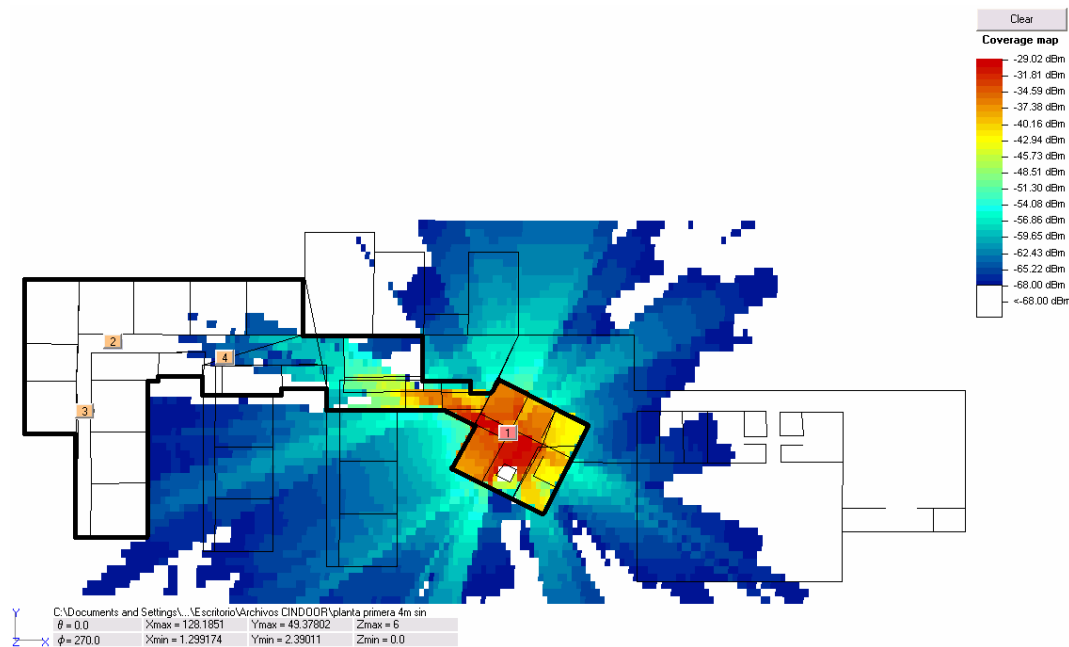


Figura 37. Cobertura punto de acceso 14 en la primera planta

Este punto de acceso se corresponde con el número 14 según el plano disponible en el ANEXO A. Su radio de cobertura cubre la zona de los despacho y parte del pasillo.

Punto de acceso 2 planta primera

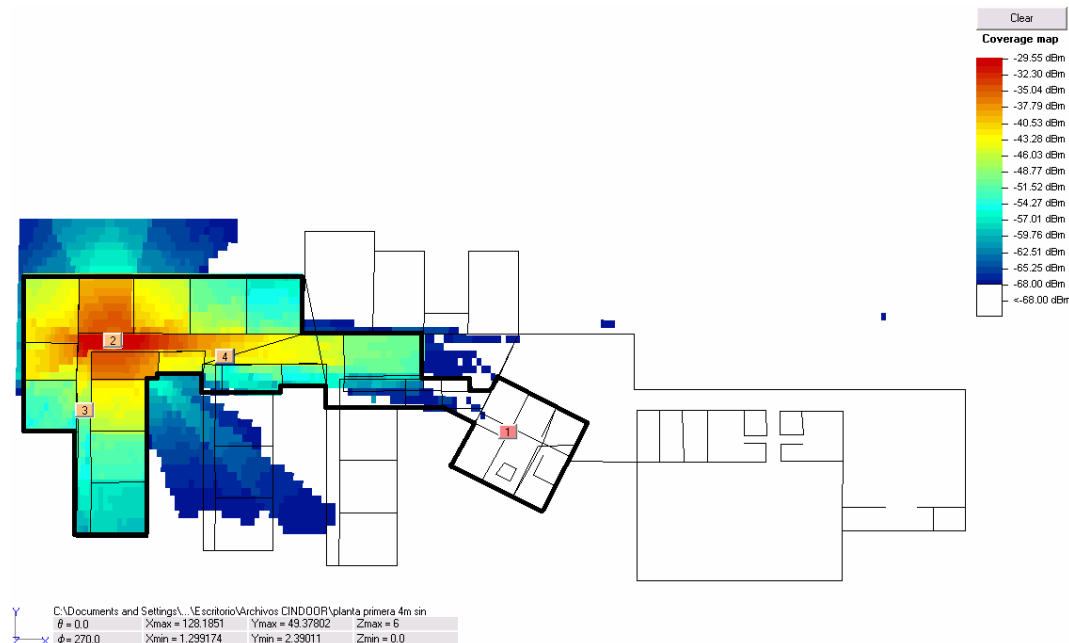


Figura 38. Cobertura punto de acceso 16 en la primera planta

El punto de acceso número es el representado como número 16 en el plano contenido en el ANEXO A. Prácticamente ofrece servicio a la totalidad de la planta superior, incluidos aulas y pasillo.

Punto de acceso 3 planta primera

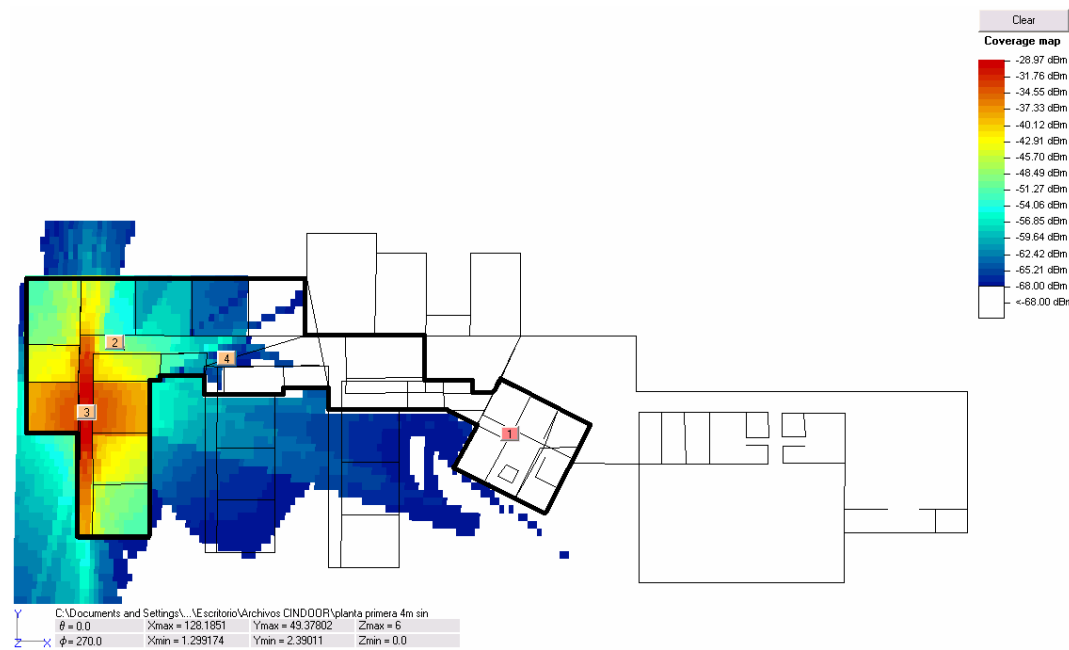


Figura 39. Cobertura punto de acceso 17 en la primera planta

Se corresponde con el punto de acceso número 17 en el plano del ANEXO A. La señal que transmite cubre el pasillo vertical y las aulas disponibles en esta planta.

Punto de acceso 4 planta primera

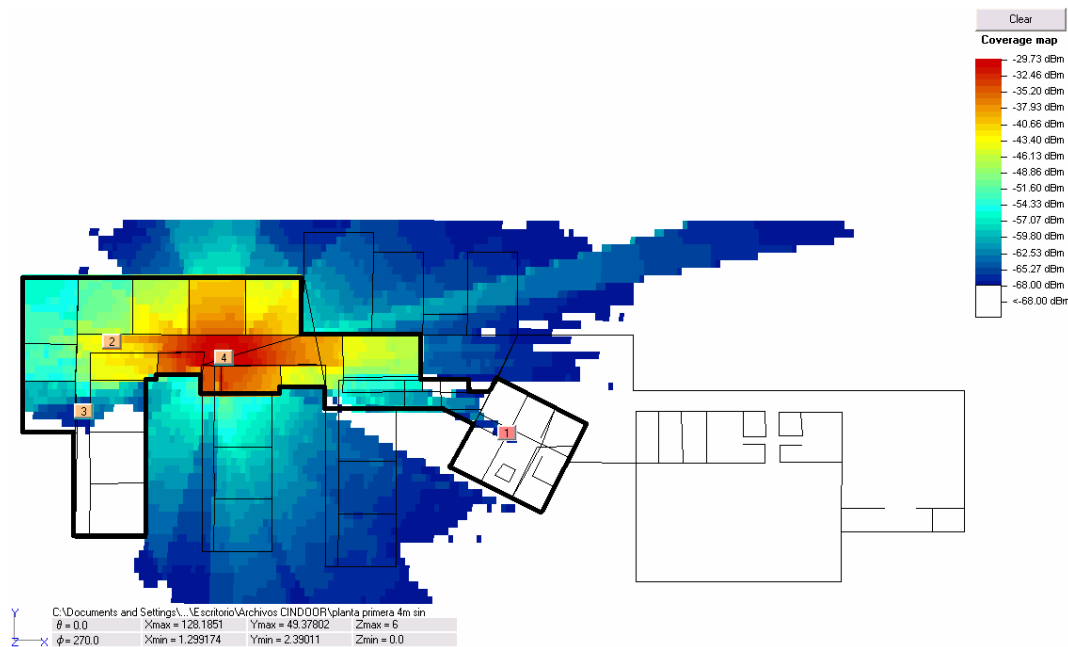


Figura 40. Cobertura punto de acceso 15 en la primera planta

Este punto de acceso le encontramos en el ANEXO A como el número 15. Su radio de cobertura cubre muy bien la mayoría de la superficie de la planta.

Planta Primera AP Planta Baja

Pasamos a analizar la cobertura que nos ofrecen en esta planta los puntos de acceso situados en la planta inferior. Recordamos que estos puntos están colocados a unos 2,5m del suelo. La captura que representa la zona de cobertura de todos los puntos en conjunto es la siguiente:

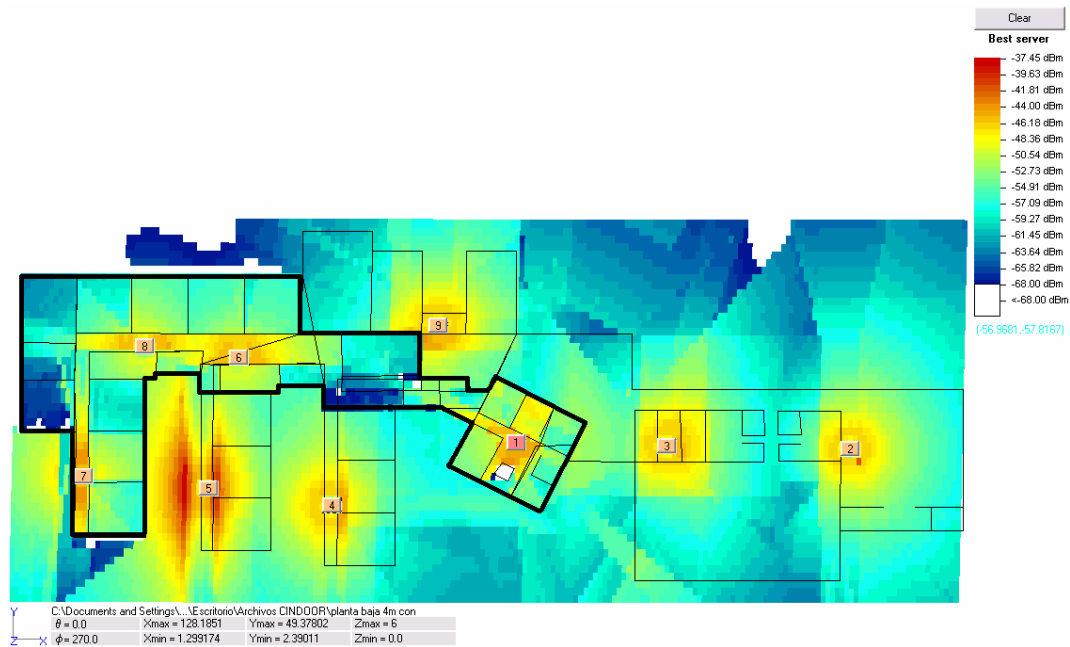


Figura 41. Cobertura de los puntos de acceso de la planta baja en la primera planta

Observamos como muchos puntos se quedan fuera de la superficie de la primera planta. Para verificar los puntos que no nos dan servicio a la planta superior vamos a utilizar la captura que nos muestra la zona que cubre cada punto de acceso.

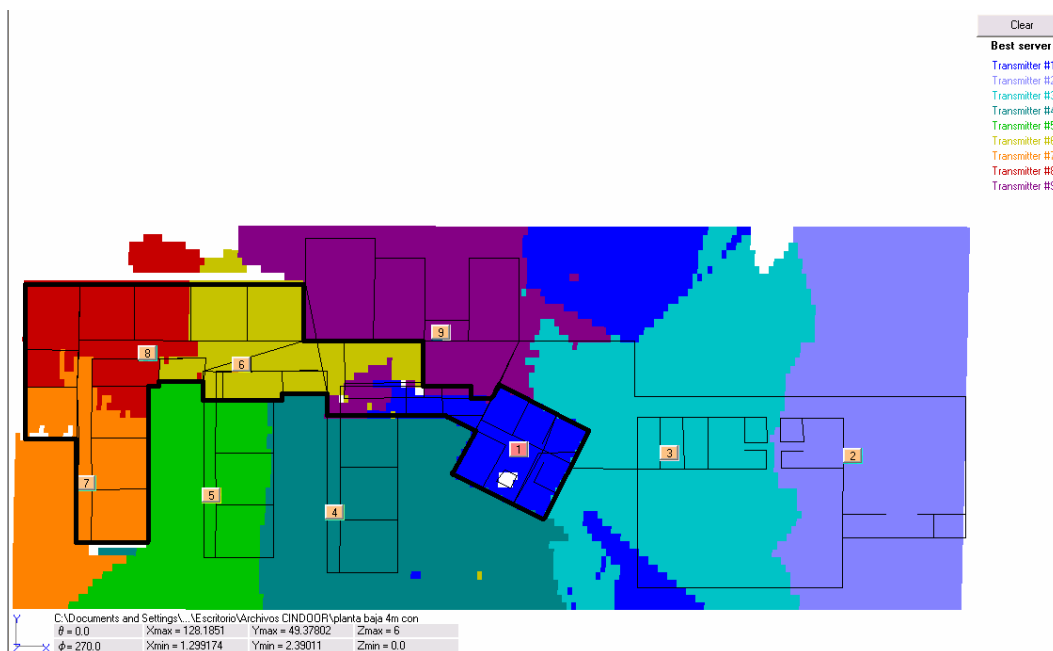


Figura 42. Zona de cobertura de los puntos de acceso de la planta baja en la primera planta

Concretamente, la zona de alcance de los puntos de acceso 2,3,4,5 y 9 no excede los límites de la superficie de la primera planta por lo tanto vamos a obviar sus casos dada su carencia de interés para el estudio de esta planta. Recordamos que los puntos de acceso siguen la numeración reflejada en el plano contenido en el ANEXO A.

Punto de acceso 1 de la planta baja (efecto en planta primera)

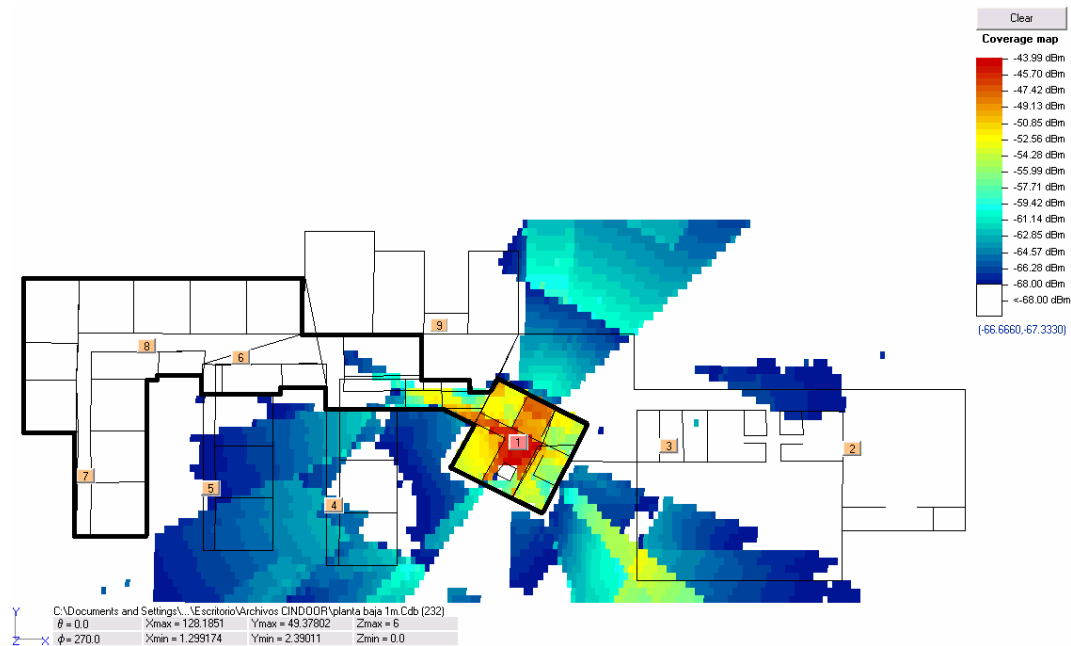


Figura 43. Cobertura punto de acceso 1 en la primera planta

El punto de acceso número 1 ofrece señal a la zona de los despachos.

Punto de acceso 6 de la planta baja (efecto en planta primera)

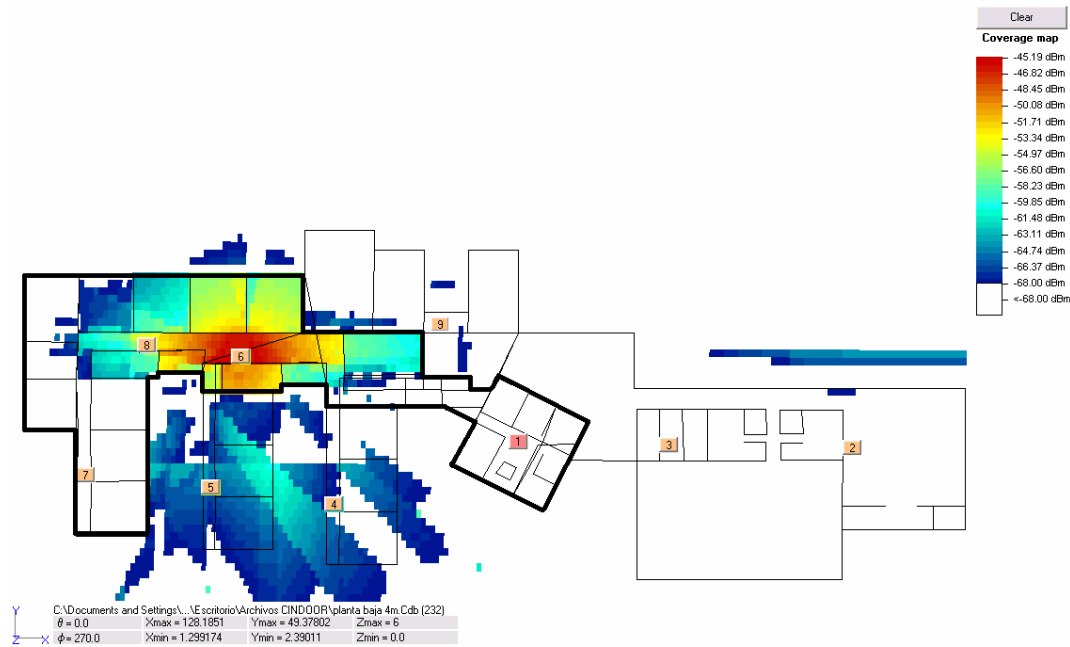


Figura 44. Cobertura punto de acceso 6 en la primera planta

Este punto de acceso nos da servicio al pasillo horizontal y las aulas adyacentes.

Punto de acceso 7 de la planta baja (efecto en planta primera)

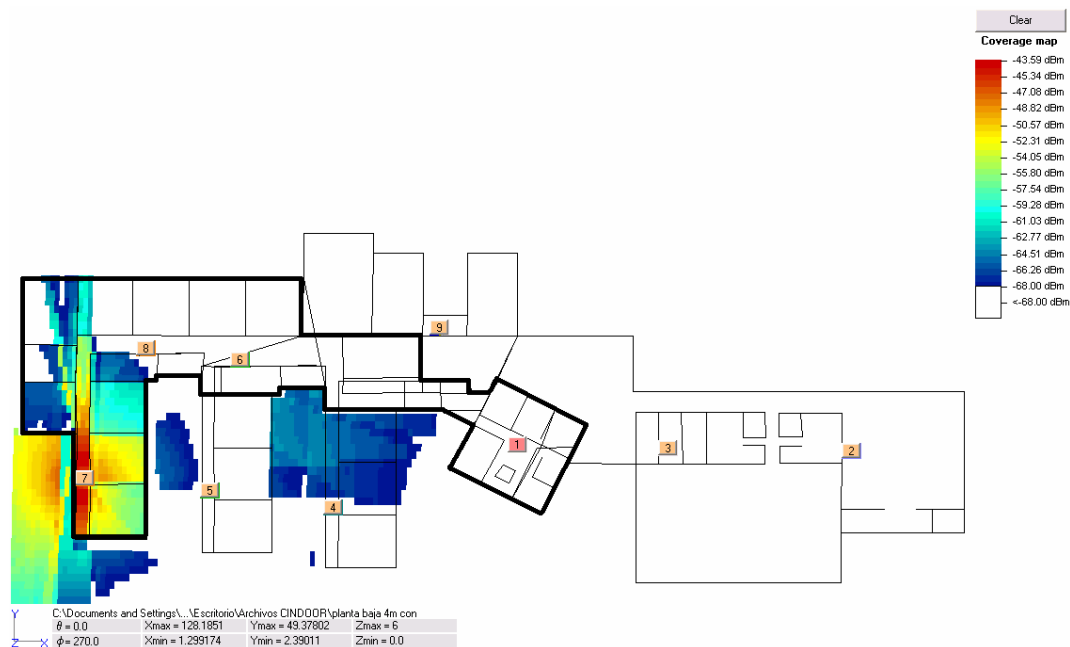


Figura 45. Cobertura punto de acceso 7 en la primera planta

El radio de cobertura del AP 7 nos cubre la mayoría del pasillo vertical.

Punto de acceso 8 de la planta baja (efecto en planta primera)

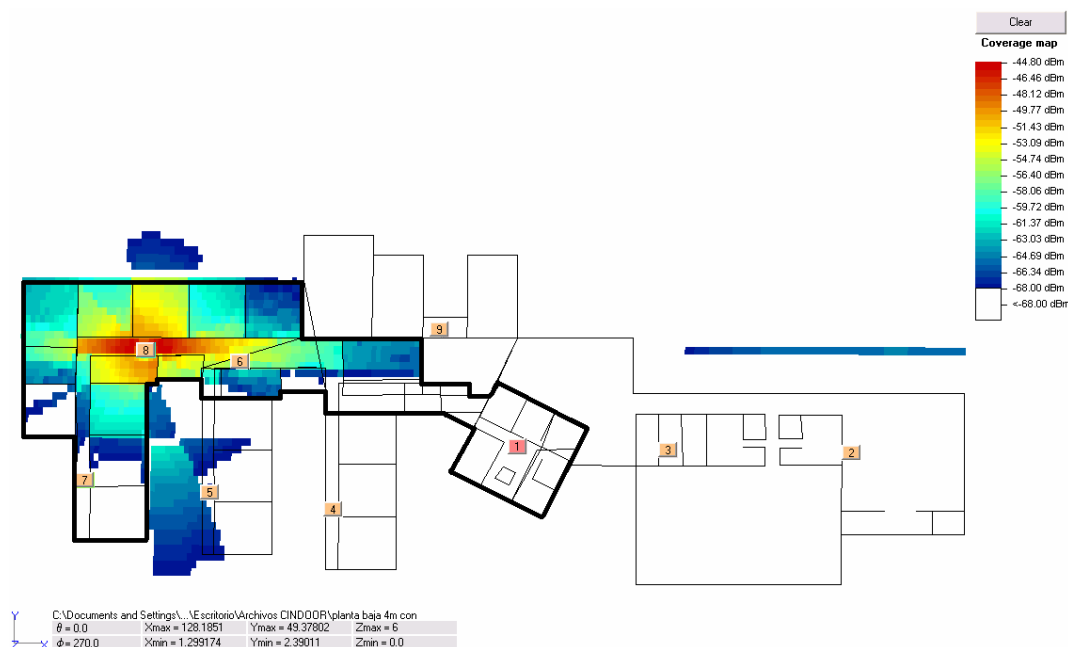


Figura 46. Cobertura punto de acceso 8 en la primera planta

El área de cobertura de este punto de acceso, a pesar de estar colocado en la planta inferior, cubre prácticamente la totalidad de la planta superior con la excepción de la zona de los despachos y un par de aulas.

4.2.3 Aulas 2.0

El colegio CEIP Las Dunas cuenta con cuatro aulas 2.0, dos en la planta baja y dos en la planta superior. Inicialmente la configuración de cada aula esta formada por dos puntos de acceso en cada aula. En nuestro caso se ha simplificado y se va a estudiar un punto de acceso por clase. La situación de los puntos de acceso pertenecientes a estas aulas se puede apreciar en el plano que aparece en el ANEXO A.

Aulas 2.0 Planta Baja

Comenzamos analizando la cobertura de la que disponemos en las dos aulas de la planta baja, incluyendo el servicio ofrecido tanto por los puntos de acceso situados en la misma planta como por los pertenecientes a la planta superior. La vista global de la cobertura en las aulas es la siguiente:

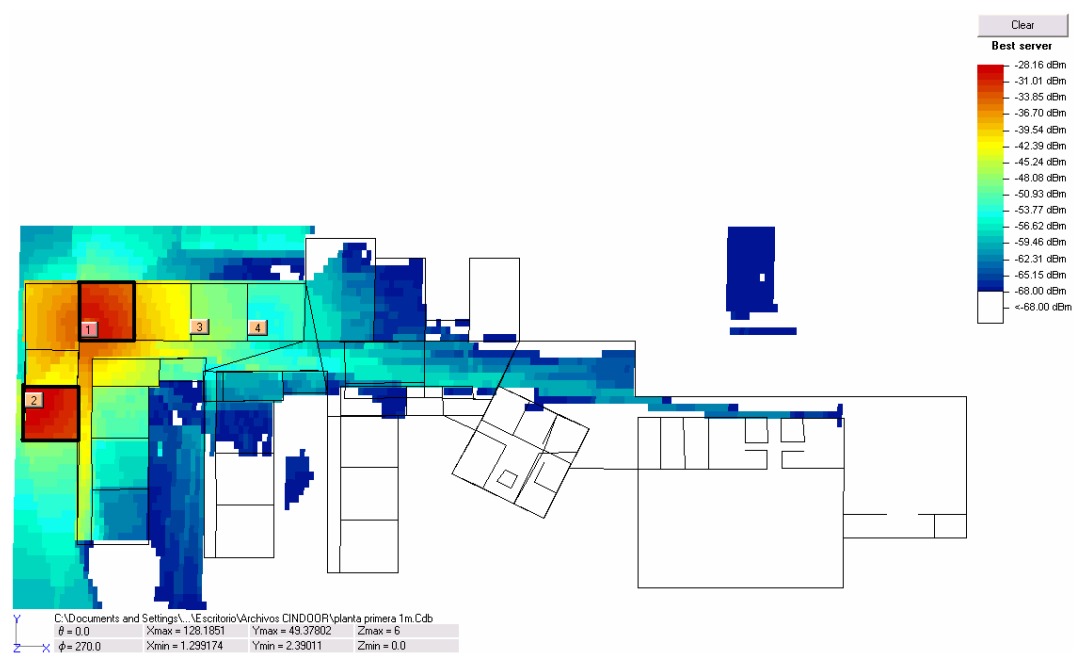


Figura 47. Cobertura aulas 2.0 en planta baja

Observamos claramente como cada punto de acceso cubre perfectamente su aula predeterminada.

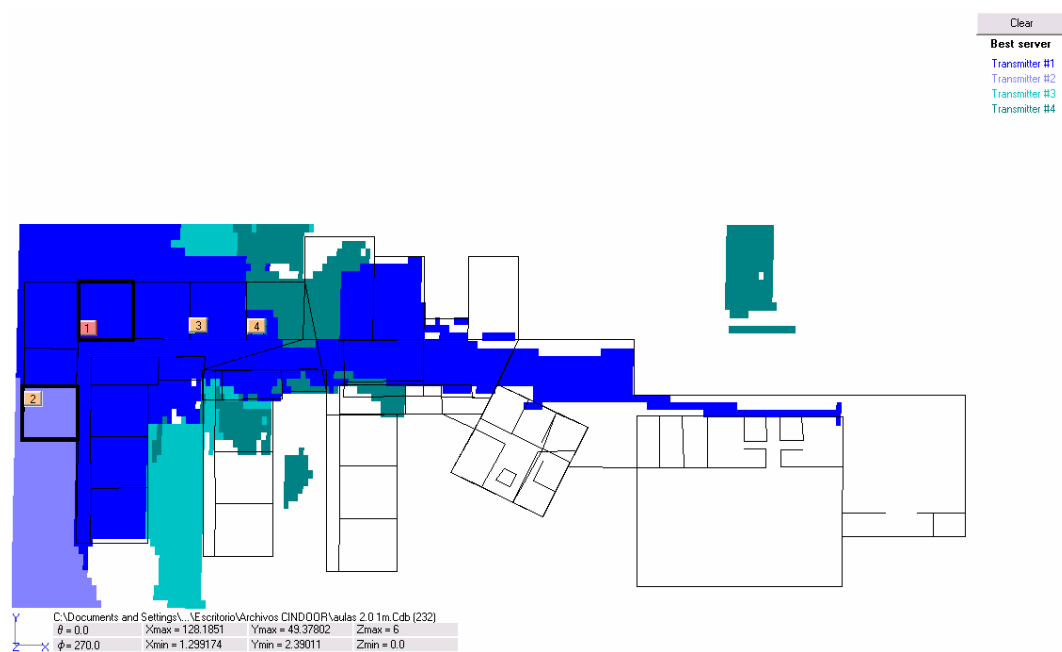


Figura 48. Zona de cobertura aulas 2.0 en planta baja

Mostrando la zona que abarca cada punto de acceso podemos apreciarlo. Pasamos a estudiar cada punto de acceso de forma independiente.

Punto de acceso 1 aulas 2.0 planta baja

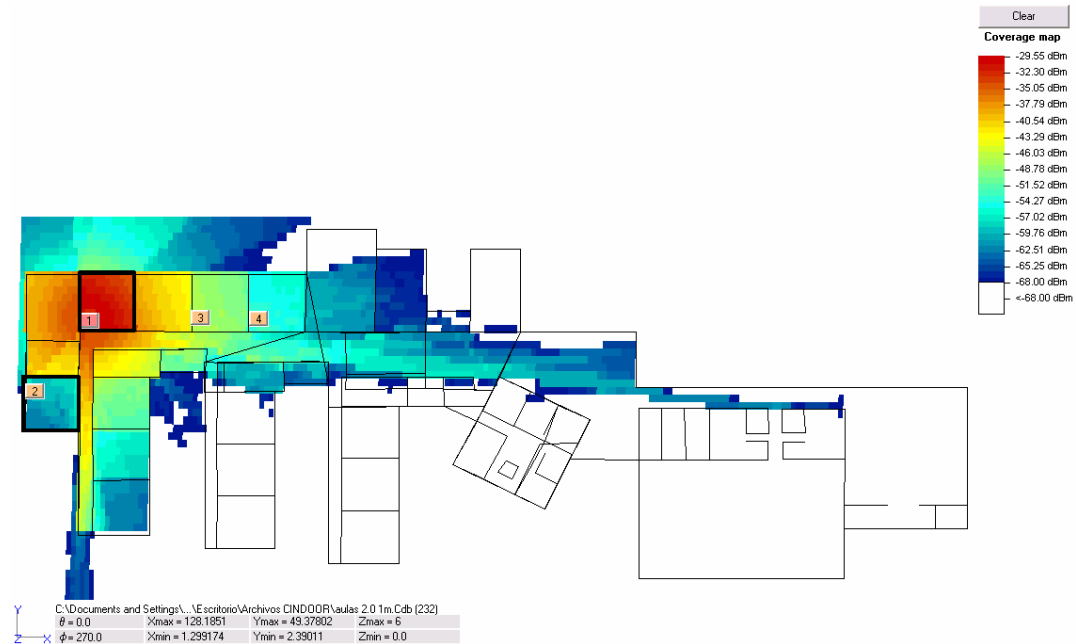


Figura 49. Cobertura punto de acceso 19 en aulas 2.0 de la planta baja

Este punto de acceso es el que aparece en el ANEXO A como número 19. Da servicio a la clase en la que esta colocado y su señal llega hasta el otro aula 2.0.

Punto de acceso 2 aulas 2.0 planta baja

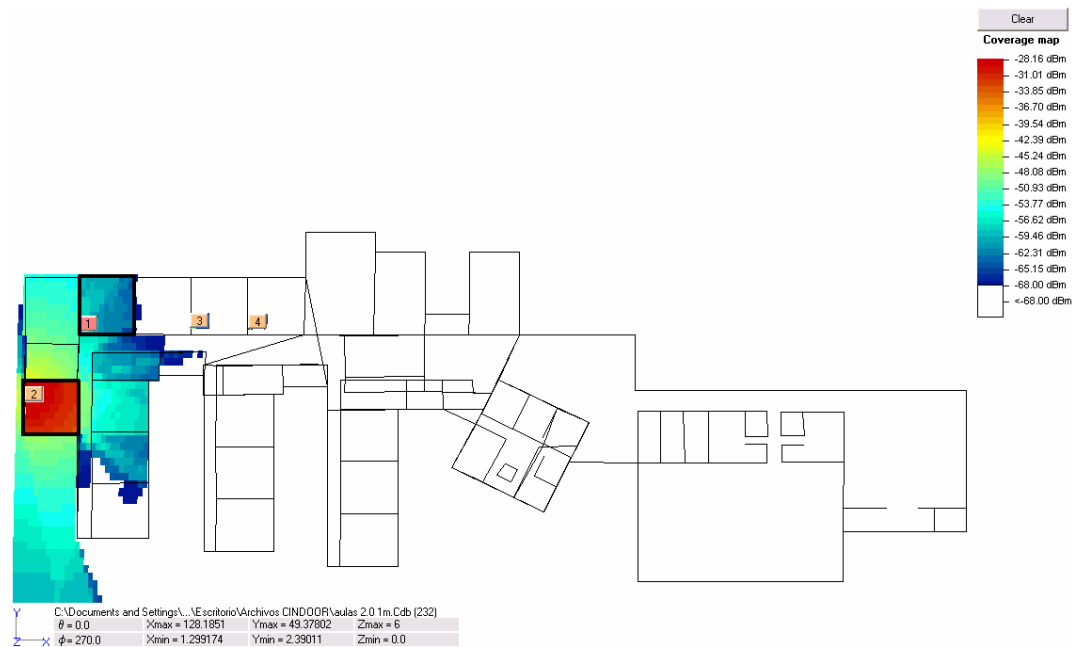


Figura 50. Cobertura punto de acceso 10 en aulas 2.0 de la planta baja

El punto de acceso 2 se corresponde con el número 10 según el plano del ANEXO A. En esta aula nos encontramos una situación un poco diferente puesto que esta aula fue añadida posteriormente a la estructura del colegio por lo que se entiende que las paredes que la forman se comportan como muros exteriores ofreciendo más atenuación al paso de la señal. Vemos como también cubre su clase y llega hasta la otra aula 2.0.

Punto de acceso 3 aulas 2.0 primera planta (efecto en planta baja)

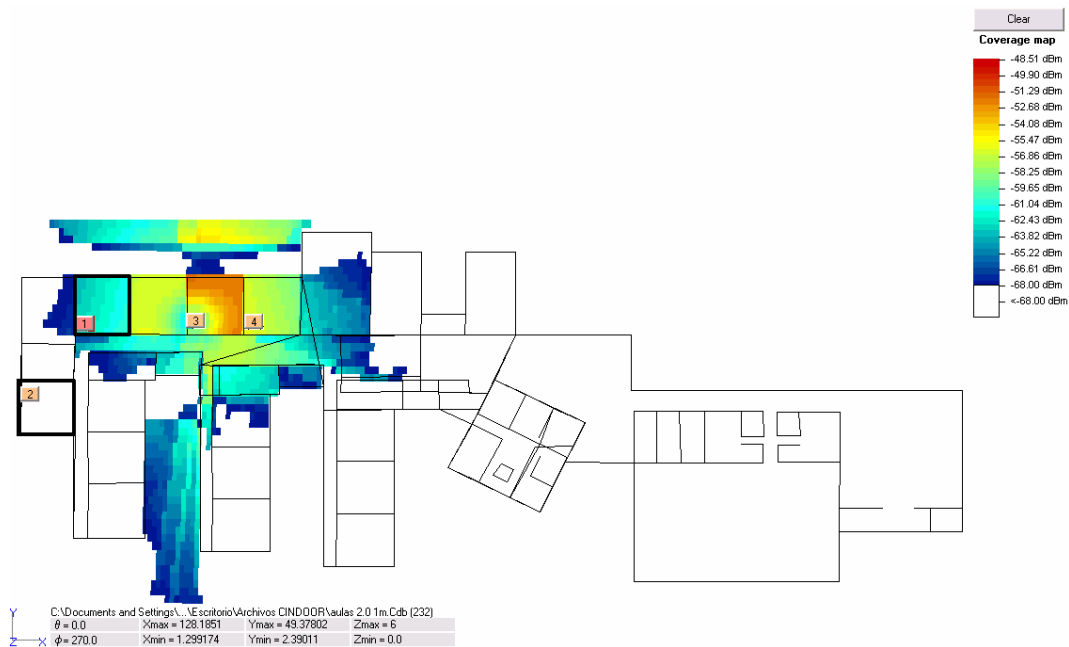


Figura 51. Cobertura punto de acceso 20 en aulas 2.0 de la planta baja

Este punto de acceso esta situado en la primera planta pero aun así su señal alcanza una de las aulas 2.0 situadas en la planta inferior. En el ANEXO A le podemos encontrar como el AP número 20.

Punto de acceso 4 aulas 2.0 primera planta (efecto en planta baja)

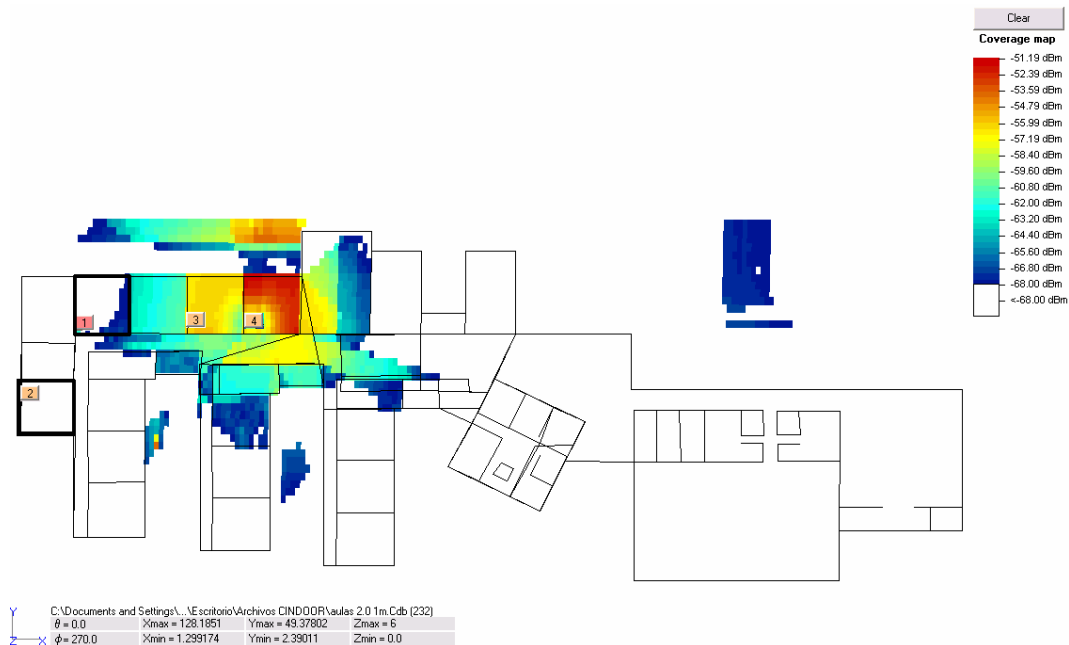


Figura 52. Cobertura punto de acceso 21 en aulas 2.0 de la planta baja

El punto de acceso 4 corresponde con el número 21 en el ANEXO A. Se encuentra en la planta superior y al estar más alejado apenas nos ofrece servicio a las aulas 2.0 de la planta baja.

Aulas 2.0 Planta Primera

Pasamos ahora a estudiar el comportamiento de los puntos de acceso para dar servicio a las aulas 2.0 situadas en la planta superior.

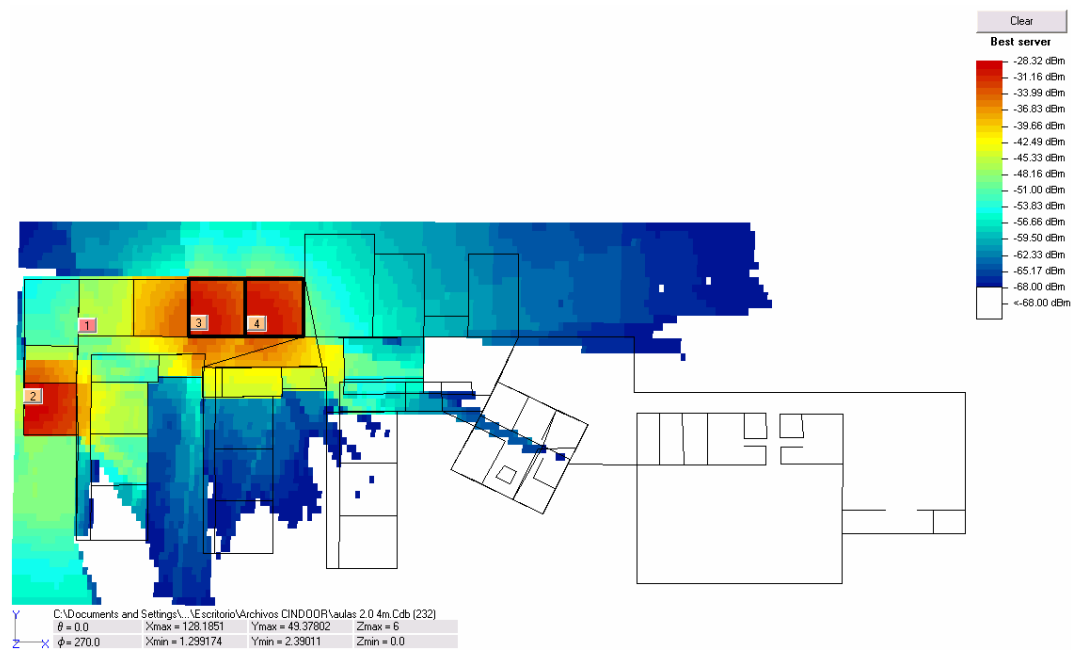


Figura 53. Cobertura aulas 2.0 en la primera planta

Al igual que para el caso de la planta baja, cubrimos perfectamente ambas aulas.

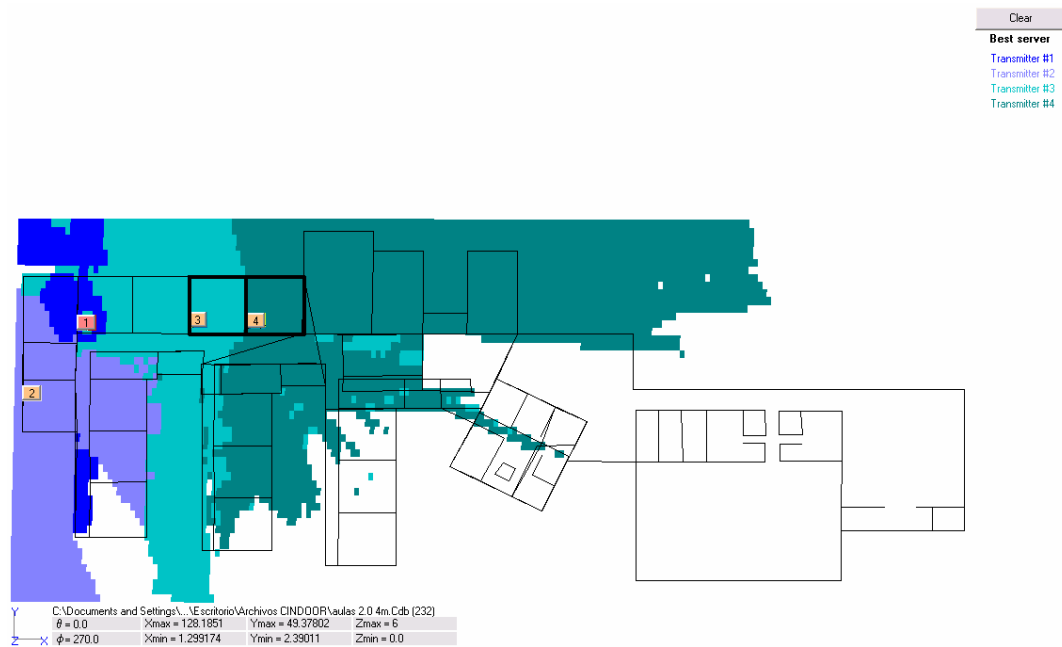


Figura 54. Zona de cobertura 2.0 en la primera planta

Las zonas de cobertura de cada punto abarcan la totalidad de la superficie de dichas aulas.

Analizamos cada punto de acceso por separado comenzando por los AP propios de la planta superior.

Punto de acceso 3 aulas 2.0 primera planta

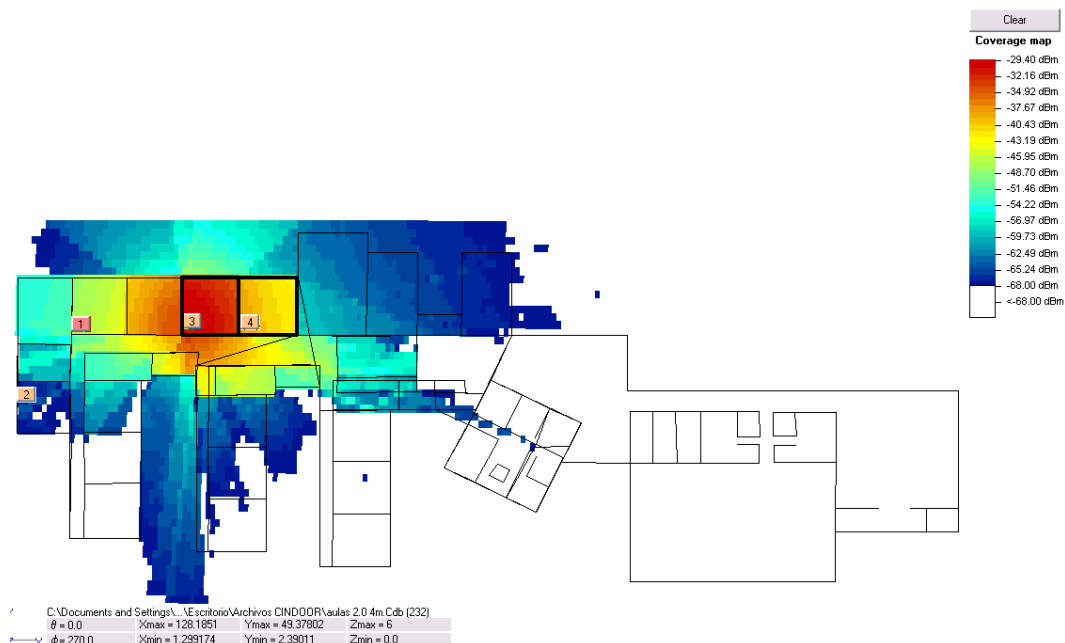


Figura 55. Cobertura punto de acceso 20 en aulas 2.0 de la planta baja

Punto de acceso número 20, ofrece servicio prácticamente las dos aulas 2.0 al ser estas adyacentes.

Punto de acceso 4 aulas 2.0 primera planta

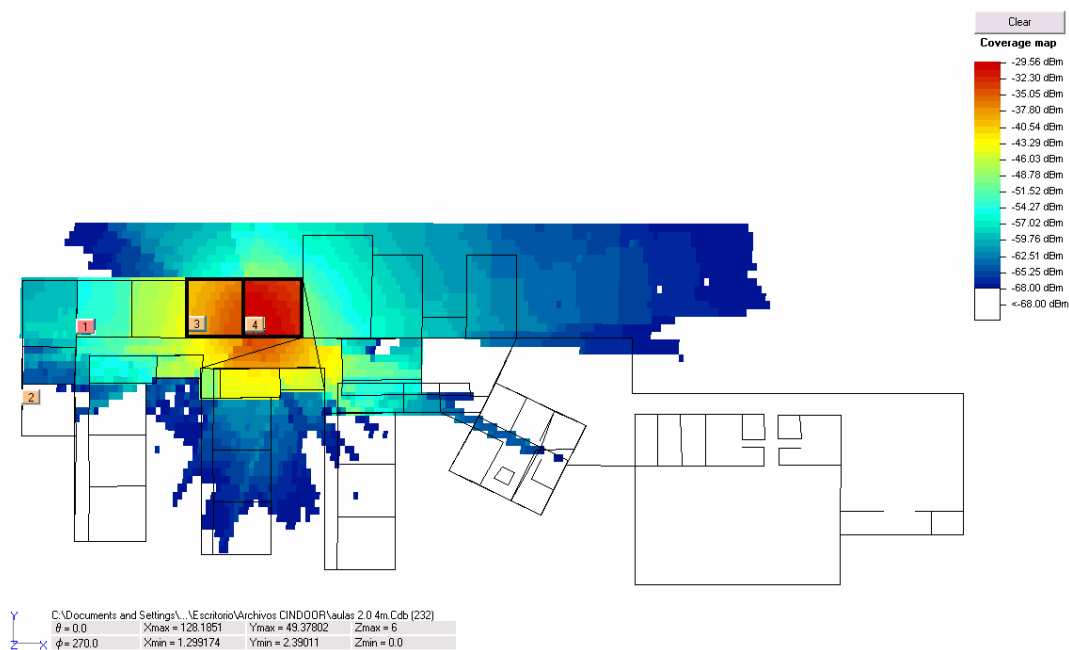


Figura 56. Cobertura punto de acceso 21 en aulas 2.0 de la planta baja

La misma situación que para el caso anterior, cubre perfectamente ambas aulas. Es el punto de acceso número 21.

Punto de acceso 1 aulas 2.0 planta baja (efecto en planta primera)

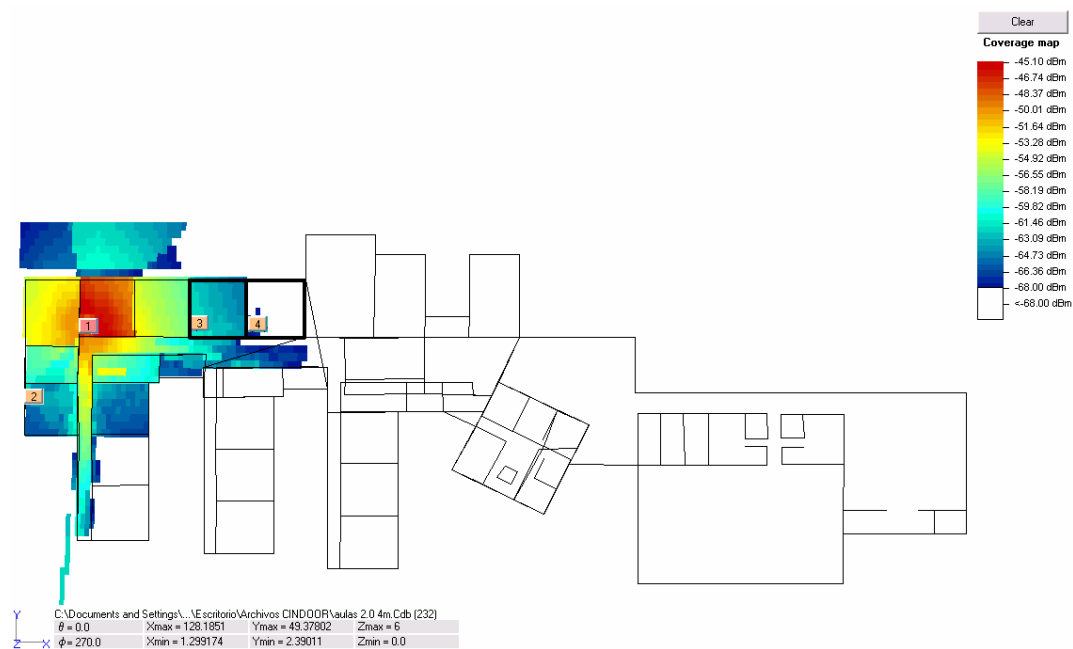


Figura 57. Cobertura punto de acceso 19 en aulas 2.0 de la planta baja

Este punto de acceso esta situado en la planta baja pero su radio de cobertura alcanza la primera de las aulas 2.0.

Punto de acceso 2 aulas 2.0 planta baja (efecto en planta primera)

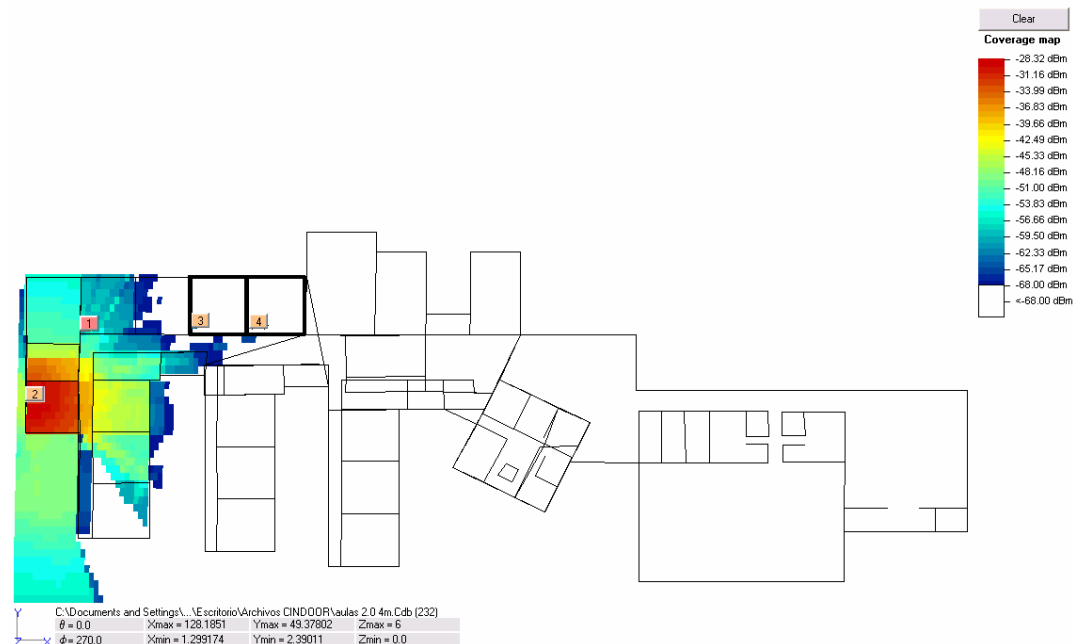


Figura 58. Cobertura punto de acceso 10 en aulas 2.0 de la planta baja

Este punto de acceso (número 10 en el ANEXO A) al encontrarse en una situación un tanto diferente al resto, dado las características de sus paredes, no nos ofrece servicio en ninguna de las aulas 2.0 de la primera planta.

CONCLUSIONES AULAS 2.0

Realizado el estudio de cobertura en las aulas 2.0 llegamos a la conclusión de que en cuanto a cobertura no tenemos ningún problema. Tenemos colocado un punto de acceso en cada clase y logramos ofrecer una buena calidad de servicio. El problema en este tipo de clases viene dado por la capacidad. No olvidemos que en cada clase hay unos 20 equipos que se van a conectar al mismo punto de acceso, por lo tanto si coinciden dos clases a la vez en funcionamiento con un solo punto de acceso no es suficiente, para dar cobertura a las clases si, pero no para soportar la capacidad requerida. Más adelante se volverá a comentar este aspecto ya que hay más factores que nos van a influir en la capacidad de nuestro sistema.

4.3 Solución Propuesta

Después de haber analizado la cobertura proporcionada y la zona cubierta por cada punto de acceso en ambas plantas pasamos a proponer un esquema óptimo acorde a las características y requerimientos del sistema. No es la única solución que podemos encontrar, puede haber más configuraciones que nos garanticen servicio en todo el colegio, pero la propuesta a continuación es la que parece más idónea y requiere menor número de puntos de acceso. Se ha mantenido la colocación de los puntos de acceso y únicamente se dejaron activos los suficientes para lograr cubrir toda la superficie del colegio.

Observando las zonas de cobertura que abarca cada punto de acceso llegamos a la conclusión de que la solución más óptima es el esquema compuesto por los puntos de acceso 1,3,6,4 situados en la planta baja y el punto de acceso 17 en la planta superior, además de los 4 puntos de acceso correspondientes cada una de las aulas 2.0. En el ANEXO A podemos encontrar los planos con la distribución de los puntos de acceso para la

configuración propuesta. Es una solución propuesta para la red Wi-Fi global del colegio, para los puntos de acceso correspondientes a las aulas 2.0 vimos que no había ningún problema de cobertura sino más bien de capacidad por lo tanto en cada aula de este tipo se dejará colocado un punto de acceso y formarán una subred, esto lo veremos más adelante, con lo cual en este apartado no se tendrán en cuenta los puntos de acceso pertenecientes a las aulas 2.0.

Al igual que hicimos en el estudio de cobertura, analizaremos cada planta por separado diferenciando el área que cubre cada punto de acceso.

4.3.1 Planta Baja

Con la configuración propuesta la superficie de la planta baja queda totalmente cubierta. Mostramos la captura proporcionada por CINDOOR.

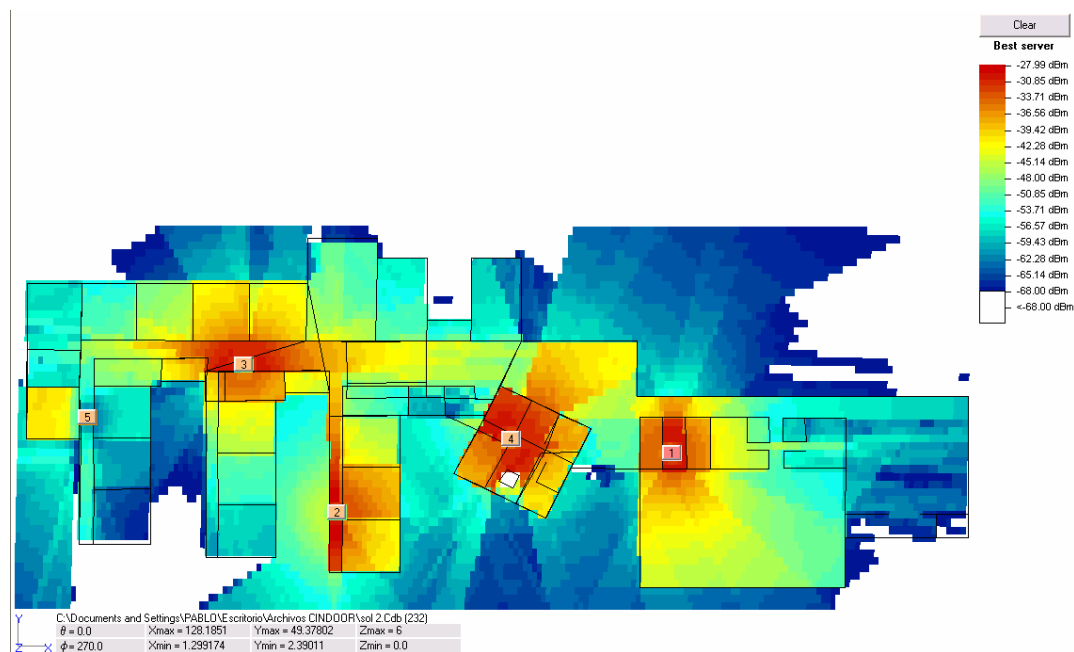


Figura 59. Cobertura en la planta baja de la solución propuesta

En la siguiente imagen se puede observar la zona cubierta por cada punto de acceso.

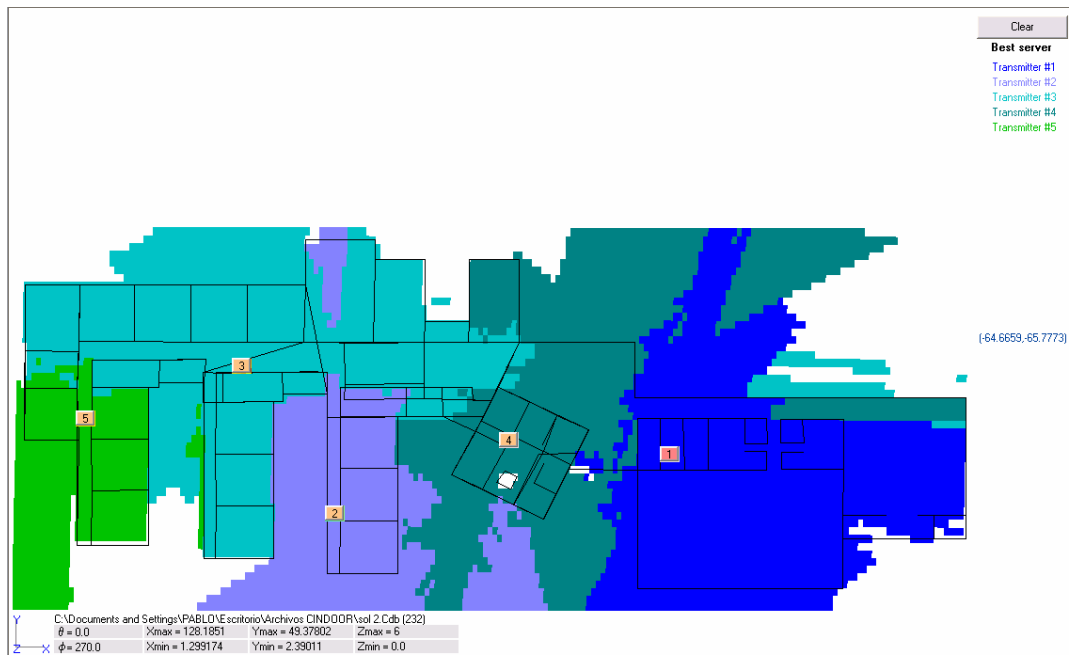


Figura 60. Zona de cobertura de la solución propuesta en la planta baja

Pasamos a analizar cada punto de acceso por separado y profundizar más en la zona cubierta por cada AP.

Punto de acceso 1 planta baja

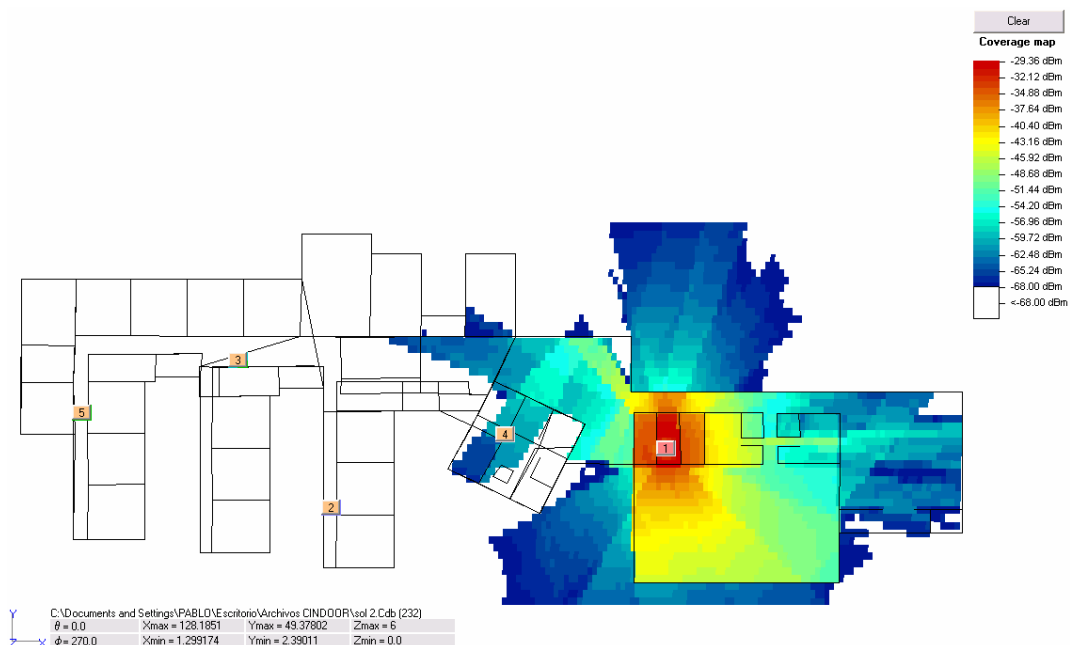


Figura 61. Cobertura punto de acceso 3 en la solución propuesta en planta baja

Este punto de acceso está situado en la planta baja y como podemos ver cubre el hall de entrada, la zona del gimnasio y el comedor, ambos son espacios muy grandes que en alguna ocasión pueden ser utilizados como lugar de reunión, presentaciones o cualquier acto de cara al público y por lo tanto es interesante que se puede acceder al servicio desde su ubicación. En el ANEXO A se corresponde con el punto de acceso número 3.

Punto de acceso 2 planta baja

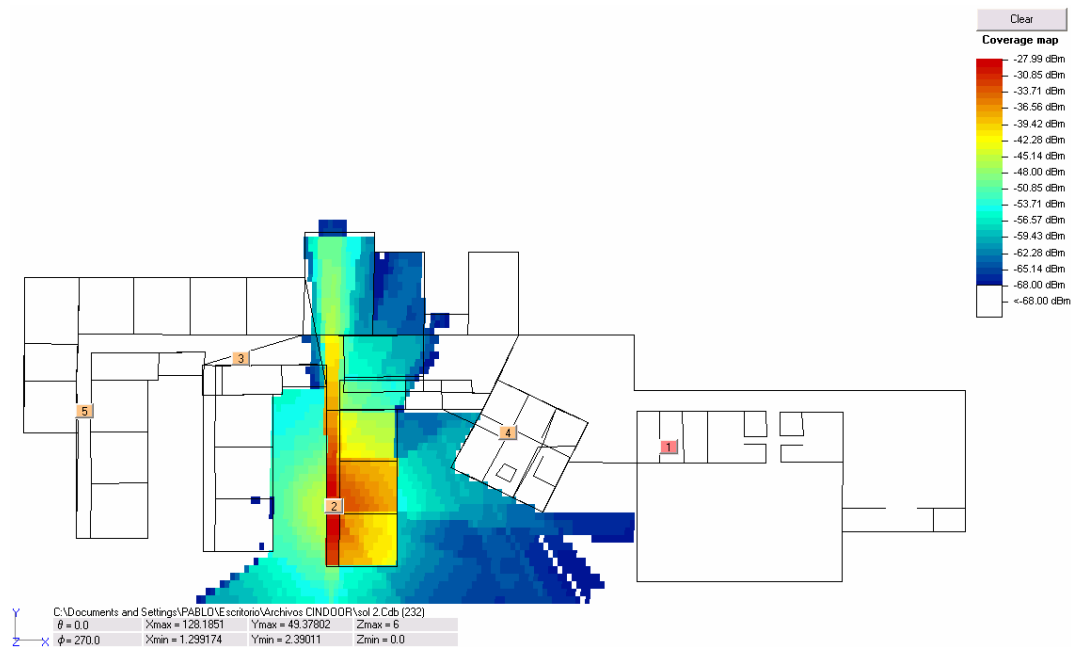


Figura 62. Cobertura punto de acceso 4 en la solución propuesta en planta baja

En el ANEXO A aparece como punto de acceso número 4. Al estar colocado en la planta baja, cubre perfectamente el primero de los pasillos verticales y toda la zona cercana a la sala de usos múltiples.

Punto de acceso 3 planta baja

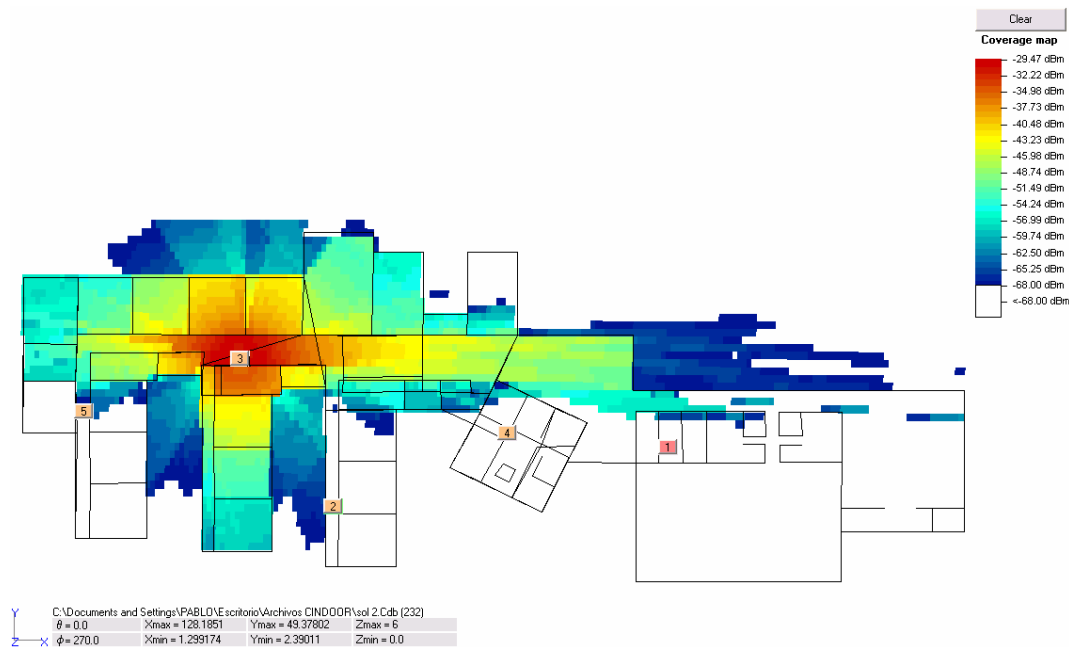


Figura 63. Cobertura punto de acceso 6 en la solución propuesta en planta baja

Este punto de acceso es uno de los que más superficie cubre. Si situación en la planta baja le permite abarcar todo el pasillo horizontal, las aulas comprendidas en él, el segundo pasillo vertical y parte del hall de entrada. En el ANEXO A está nombrado como punto de acceso número 6.

Punto de acceso 4 planta baja

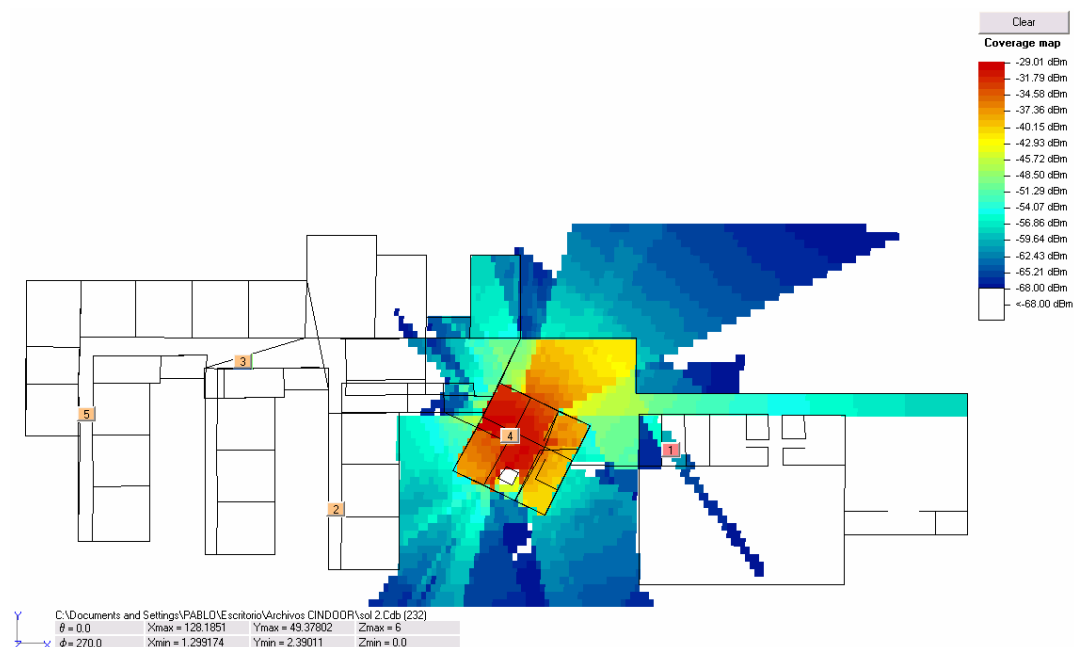


Figura 64. Cobertura punto de acceso 1 en la solución propuesta en planta baja

El punto de acceso 4, correspondido con el número 1 en el ANEXO A, esta colocado en la planta baja y se encarga de cubrir la zona de conserjería y parte del pasillo y del hall.

Punto de acceso 5 planta primera (efecto en planta baja)

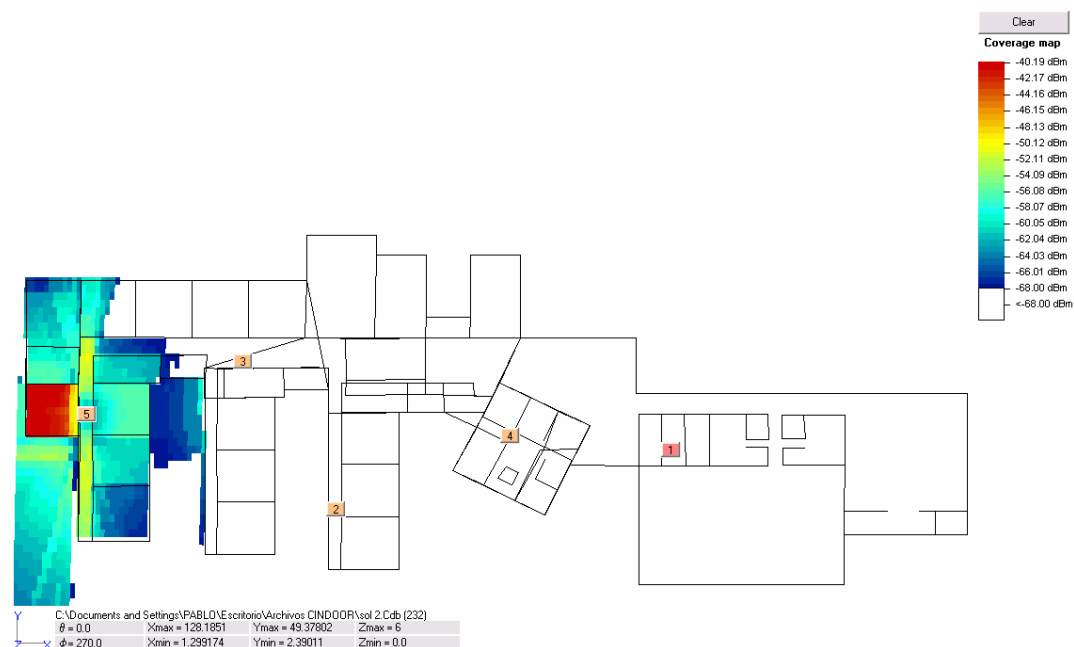


Figura 65. Cobertura punto de acceso 17 en la solución propuesta en planta baja

Es el único punto de acceso de la configuración que está colocado en la planta superior. A pesar de esto, cubre perfectamente la zona de la biblioteca y el tercer pasillo vertical. En el ANEXO A es el punto de acceso número 17.

4.3.2 Planta Primera

A continuación analizamos el comportamiento de nuestro sistema para cubrir la primera planta.

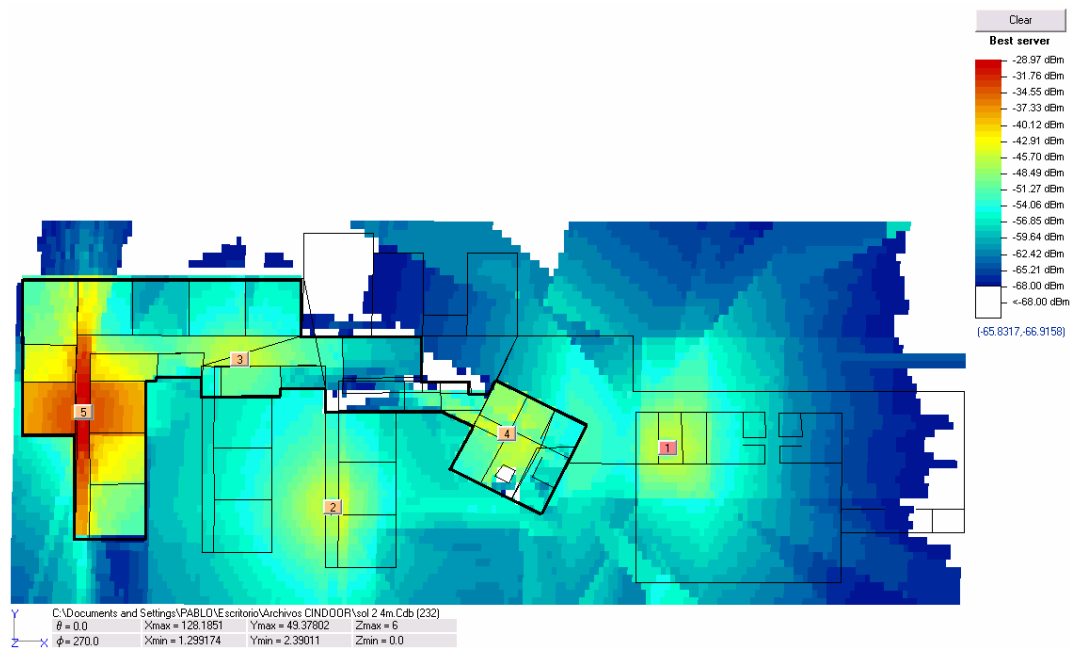


Figura 66. Cobertura en la primera planta de la solución propuesta

Podemos observar como a pesar de estar gran parte de los puntos de acceso situados en la planta baja logramos cubrir prácticamente toda la superficie de la primera planta. Esto es debido en gran parte a que los puntos de acceso de la planta baja se encuentran colocados a unos 2,5m del suelo y por lo tanto su señal alcanza ambas plantas.

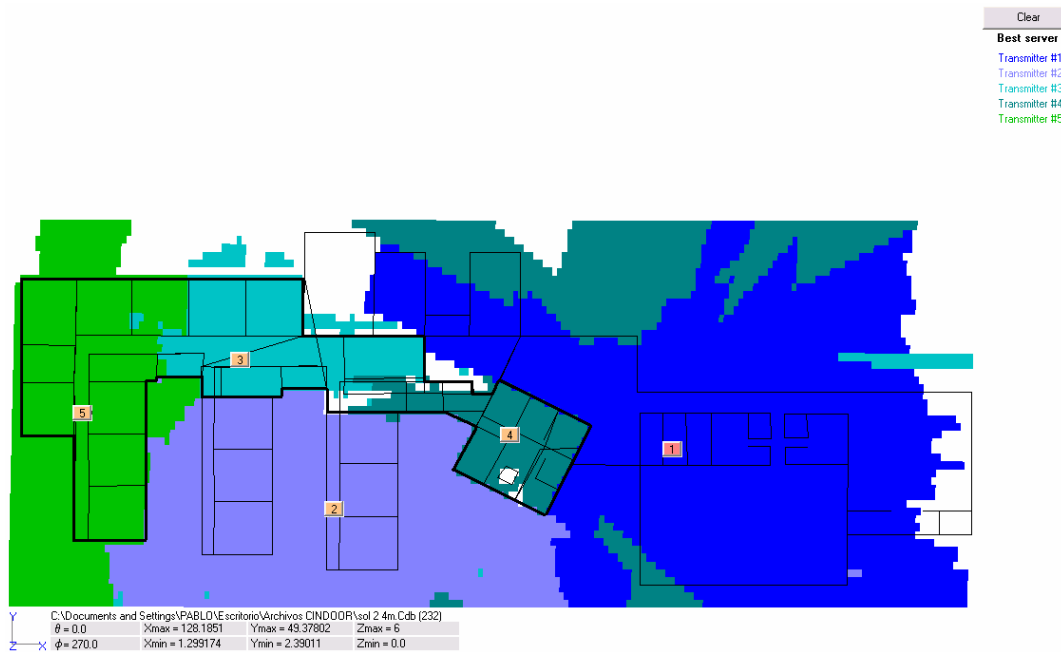


Figura 67. Zona de cobertura de la solución propuesta en la primera planta

En esta captura podemos apreciar como únicamente son tres puntos de acceso, 1, 6 y 17, los que se encargan de cubrir esta planta, con lo cual los otros dos puntos de acceso, 3 y 4, no se van a tener en cuenta en este apartado.

Punto de acceso 3 planta baja (efecto en planta primera)

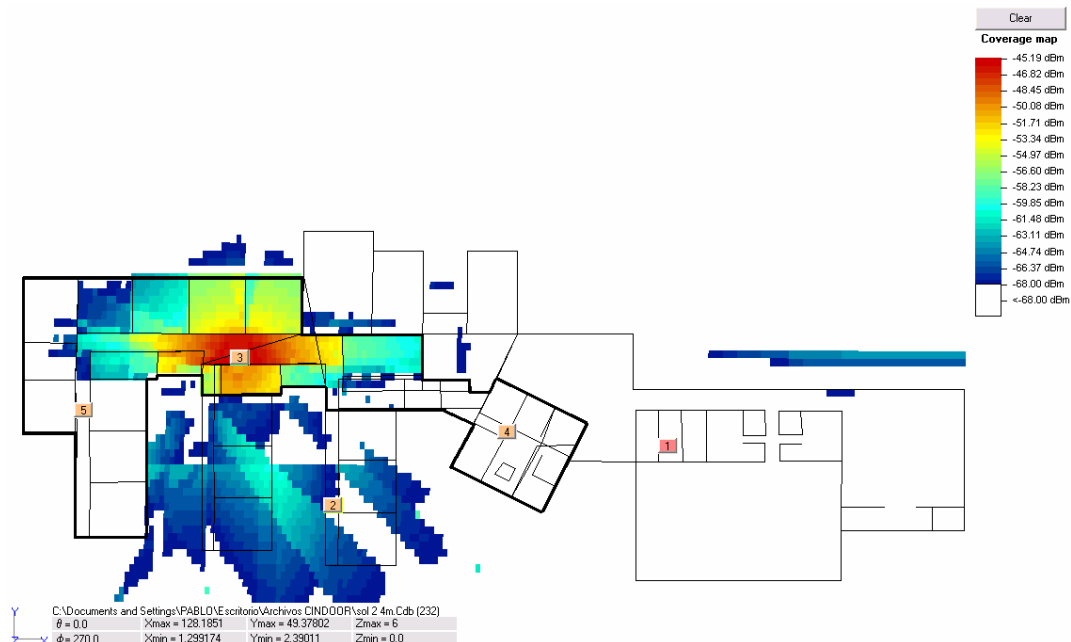


Figura 68. Cobertura punto de acceso 6 en la solución propuesta en la primera planta

Es el punto de acceso número 6 del ANEXO A, se encuentra situado en la planta baja y consigue cubrir gran parte del pasillo horizontal y sus aulas.

Punto de acceso 4 planta baja (efecto planta primera)

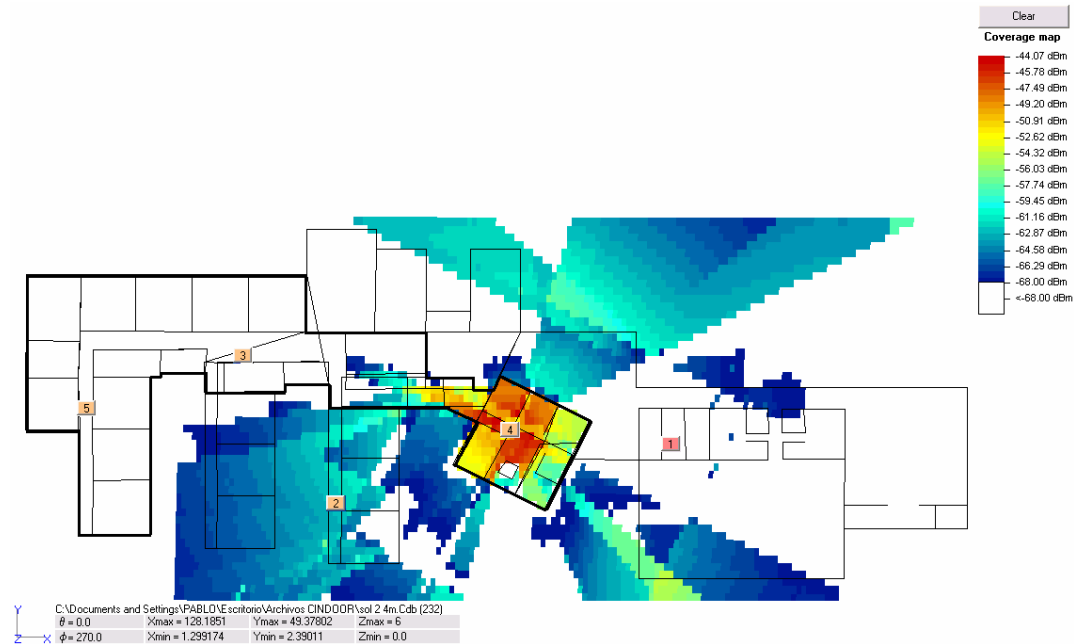


Figura 69. Cobertura punto de acceso 1 en la solución propuesta en la primera planta

Este punto de acceso es el que cubre la zona de los despachos. Está situado en la primera planta y es el AP número 1 en el ANEXO A.

Punto de acceso 5 planta primera

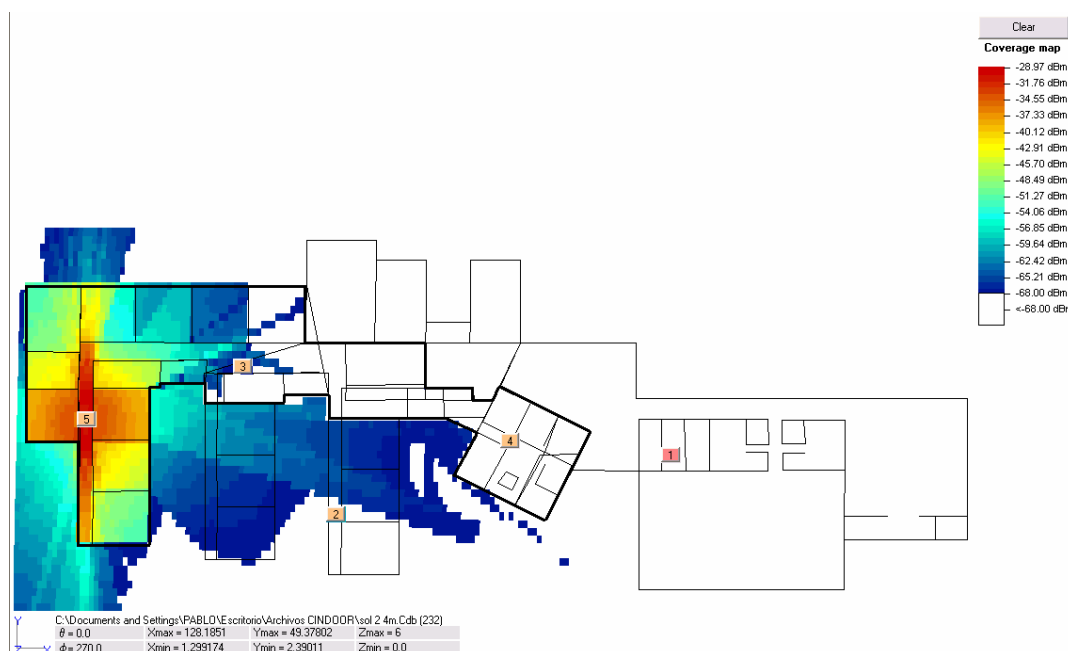


Figura 70. Cobertura punto de acceso 17 en la solución propuesta en la primera planta

Es el punto de acceso número 17. Al estar colocado en esta misma planta cubre la gran mayoría de esta, concretamente abarca prácticamente todas las aulas, el laboratorio y el pasillo vertical.

4.3.3 Asignación de canales

El esquema final propuesto queda, por lo tanto, formado por 9 puntos de acceso situados en distintas partes del colegio. Cinco de ellos se encargarán de ofrecer conexión Wi-Fi por todo el colegio y los cuatro restantes serán los que ofrezcan servicio a las aulas 2.0.

Para evitar interferencias entre ellos vamos a reordenar sus canales de transmisión. Utilizamos una separación de cuatro canales, es decir, dichos puntos de acceso podrán transmitir por los canales 1, 5, 9 y 13. Recordamos que cuantos más separados estén los canales en los puntos de acceso próximos menos interferencias se producirán. La asignación de canales queda con la siguiente distribución.

Punto de Acceso	Planta	Canal	Descripción
1	Baja	13	Wi-Fi colegio
3	Baja	1	Wi-Fi colegio
4	Baja	9	Wi-Fi colegio
6	Baja	5	Wi-Fi colegio
17	Primera	13	Wi-Fi colegio
10	Baja	5	Wi-Fi 2.0
19	Baja	9	Wi-Fi 2.0
20	Primera	1	Wi-Fi 2.0
21	Primera	13	Wi-Fi 2.0

Tabla 12. Asignación de canales de la solución propuesta

En el ANEXO A podemos encontrar un plano con la configuración de los puntos de acceso y su distribución según los canales de transmisión.

4.4 Esquema de redes

Para concluir este capítulo, se propone un esquema global de cómo quedaría el sistema de redes en el colegio y las características del mismo en cuanto a capacidad.

Primeramente decir que en el colegio tenemos tres partes bien diferenciadas que se encargan de distintas funciones y que por lo tanto requieren de diferentes recursos.

La primera de estas partes es la red Wi-Fi global del colegio que se encargará de ofrecer Internet Wi-Fi a todo el edificio. A esta red la llamaremos “DUNAS” y será la que formen los puntos de acceso D-Link con la configuración anteriormente mostrada.

La segunda parte será la correspondiente a las aulas 2.0, se creará una subred llamada “AULAS 2.0” que dará servicio a cada una de las cuatro aulas de este tipo disponibles en el colegio. Cada clase contará con un punto de acceso del tipo TP-Link para ofrecer conexión a los usuarios de cada clase. Estimaremos una media de 20 usuarios por aula 2.0.

Y la última parte, y no por ello menos importante, será la que conformen la zona de los despachos de la dirección. Formará otra subred llamada

“DESPACHOS” que dará servicio por cable a cada ordenador de la dirección dado que se entiende que estos ordenadores están continuamente conectados a Internet y requieren de una conexión más estable como es la que ofrece el cable.

Estos tres bloques partirán de un servidor alojado en el colegio que será a través del cual se accede al Internet proporcionado por nuestro radioenlace externo WIMAX nombrado en los capítulos anteriores.

El esquema de las redes del colegio sería el siguiente:

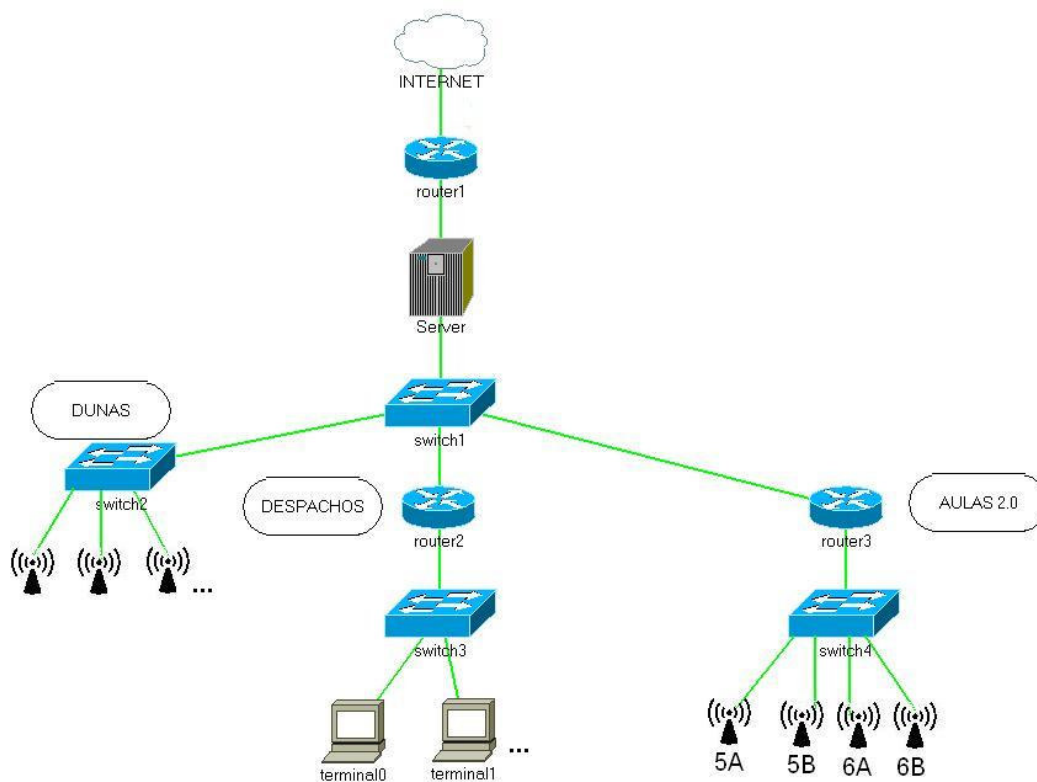


Figura 71. Esquema de redes CEIP Las Dunas

4.4.1 Capacidad del sistema

Una vez que tenemos formado el sistema general en el colegio vamos a hacer unos cálculos para determinar a cuantos usuarios podemos ofrecer servicio

simultáneamente y con que calidad. Recordamos que WIMAX nos ofrece en el receptor unos 30 Mbps,

Si deseamos garantizar una velocidad mínima por usuario de 512 Kbps podemos dar servicio a unos 60 usuarios de forma simultánea, es decir, con esta velocidad podrían por ejemplo estar activas dos de las aulas 2.0 (40 usuarios) y todavía podríamos ofrecer la misma calidad a otros 20 usuarios conectados desde distintas partes del colegio.

$$\frac{30\text{Mbps}}{512\text{Kbps}} = 58,59\text{usuarios}$$

Si el usuario no requiere de mucha velocidad para acceder a Internet, pongamos que con 256 Kbps es suficiente, se podría dar servicio a unos 120 usuarios. En este caso podrían estar las cuatro aulas 2.0 activas (80 usuarios) y aún accederían a Internet 40 usuarios más con esa velocidad.

$$\frac{30\text{Mbps}}{256\text{Kbps}} = 117,18\text{usuarios}$$

Si por el contrario se necesita una conexión con gran velocidad para transferencia o descarga de archivos, por ejemplo 1Mbps, podrían acceder 30 usuarios simultáneamente a esta velocidad.

$$\frac{30\text{Mbps}}{1\text{Mbps}} = 30\text{usuarios}$$

Las necesidades que tengamos son las que marcan la calidad que necesitamos y por consiguiente las limitaciones de capacidad del sistema.

5. ANÁLISIS DE COSTES

Finalmente, concluimos con un análisis de los costes que conlleva la implantación de la tecnología elegida, incluyendo el radioenlace y el servicio proporcionado por el operador establecido.

Detallaremos el estudio de costes en función de cada parte del proyecto.

5.1 Servicio Operador

El telecentro municipal de Liencres dispone de conexión con ONO, por lo tanto este será el operador elegido. Su tarifa mensual por ofrecernos el servicio WIMAX es de unos 39 € aproximadamente

5.2 Costes Radioenlace

Únicamente analizaremos el caso que hemos considerado mejor para su utilización. En este caso se trata del Telecentro de Liencres con conexión de ONO en la banda libre.

El radioenlace diseñado consta de dos partes, transmisor y receptor, en las cuales a su vez encontramos diferentes partes y aparatos.

5.2.1 Transmisor

El transmisor está formado por dos partes bien diferenciadas que son la antena y la unidad de control base. El coste de cada parte es el siguiente:

Antena parabólica de disco 133,58€. (Datasheet disponible en el ANEXO B)

Unidad de control base ARBA-550 de Albentia Systems 3400 €. (Datasheet disponible en el ANEXO B)

5.2.2 Receptor

El receptor está formado por una antena receptora modelo AB-MAX de la marca Axxcelera que su coste se aproxima a los 500 €. (Datasheet disponible en el ANEXO B)

5.3 Cobertura Wi-Fi

Toda la instalación y configuración interna que se ha establecido en el colegio se ha diseñado con la idea de utilizar los puntos de acceso y equipos ya instalados en el colegio, tanto en la red Wi-Fi principal como en las aulas 2.0, por lo tanto este apartado no nos supone ningún coste añadido.

5.4 Coste total

Una vez sabido el coste independiente de cada parte, veamos la suma del coste total de la instalación. Recordemos que el operador nos cobra una tarifa mensual por ofrecernos el servicio la cual no se ha añadido al coste final.

Transmisor antena parabólica de disco 29 dBi.....133,58 €

Unidad de control base ARBA-550 Albentia Systems3400 €

Receptor antena AB-MAX Axxcelera500 €

Cable de comunicaciones 15 m aprox.60 €

TOTAL4093,58 €

6. CONCLUSIONES

Finalmente, concluimos este proyecto mostrando los resultados obtenidos y las configuraciones determinadas en cada una de las partes. La ubicación elegida para el radioenlace como más óptima de acuerdo a los requerimientos es el telecentro municipal que dispone de conexión con ONO situado en Liencre.

En la siguiente tabla podemos ver los parámetros que definen nuestro diseño de radioenlace para dotar de Internet de alta velocidad al colegio CEIP Las Dunas de Liencre.

Distancia	0,61 Km
Banda	Libre 5,6 GHz
Potencia Tx	1,45 dBm
Ganancia Antena Tx	29 dBi
PIRE	0,99 W
Altura Tx	9 m
Ganancia Antena Rx	18 dBi
Sensibilidad Rx	-92 dBm
Altura Rx	10 m
Nivel Rx	-69,6 dBm
Rx Relativo	22,4 dB
Pero Fresnel	1,61F1
Pérdidas	117,1 dB
Áng. Elevación	-1,666º

Tabla 13. Parámetros radioenlace

En cuanto a la configuración elegida para ofrecer servicio a la estructura del colegio recordemos que era la formada por 9 puntos de acceso, 4 colocados en la planta baja, 1 situado en la primera planta y los 4 correspondientes a las aulas 2.0. En el ANEXO A tenemos el plano con la ubicación concreta de cada punto de acceso.

AP	Ubicación
1	Planta Baja
3	Planta Baja
4	Planta Baja
6	Planta Baja
17	Planta Primera
10	Aula 2.0 Planta Baja
19	Aula 2.0 Planta Baja
20	Aula 2.0 Planta Primera
21	Aula 2.0 Planta Primera

Tabla 14. Puntos de acceso configuración final

BIBLIOGRAFÍA

[1] Artículo “Estándar IEEE 802.16 WiMAX”. Pablo Gutiérrez, Gerardo González, José Maria Martínez, Alejandro Nicolás.

[2], [3] Artículo “WiMAX’s technology for LOS and NLOS enviroments”.
<http://www.wimaxforum.org/technology/downloads/WiMAXNLOSgeneral-versionaug04.pdf>

[4] Artículo “WiMAX”.
wikitel.info/wiki/WiMAX

[5] Artículo “Banda libre Vs. Banda licencia”. Albentia Systems. Septiembre 2009
http://www.albentia.com/Docs/WP/ALB-W-000005sp_LibrevsLicenciada_A3.pdf

[6] Artículo “El diferente uso del espectro en EEUU y en Europa”. José I. Alonso, Pablo Almorox, José A. Rodríguez.
<http://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=1112905>

[7] http://radiomobile.pe1mew.nl/?The_program:Tools_menu:Radio_Link_Profile

[8] Artículo “Tecnologías Wi-Fi y WIMAX”.
http://www.dip-badajoz.es/agenda/tablon/jornadaWIFI/doc/tecnologias_wifi_wmax.pdf

[9] Presentación “Regulación Técnica de los sistemas Wi-Fi”. José Manuel Riera Salís. Madrid 2008
http://www.rediris.es/eventos/foro-wifi/2008/wifi_salud_2.pdf

[10] PFC “Evaluación experimental del efecto de las interferencias sobre el rendimiento de redes IEEE 802.11n”. Laura de Berrazueta. 2011.

GLOSARIO

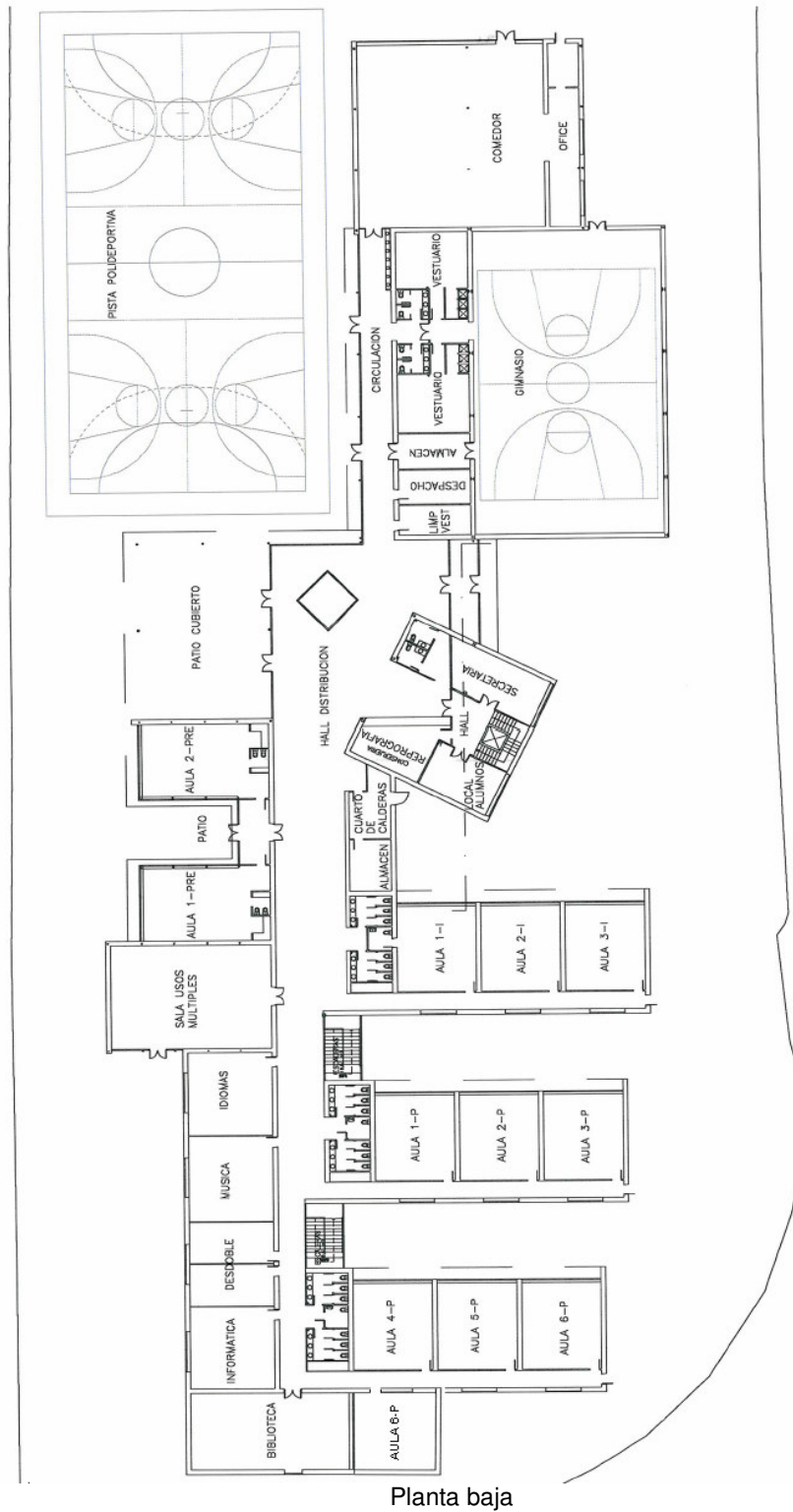
Término	Significado
ADSL	Asymmetric Digital Subscriber Line (Línea Asíncrona de Abonado Digital)
AP	Acces Point (Punto de acceso)
CNAF	Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias
dB	Decibelio
dBd	Decibelio relativo a dipolo $\lambda/4$
dBm	Decibelio relativo a 1 milivatio
ESSID	Identificador de red
FDD	Frequency Division Duplex
FDMA	Frequency Division Multiple Access (acceso múltiple por división de frecuencias)
FFT	Transformada rápida de Fourier (Fast Fourier Transform)
GHz	Gigahercio
GPRS	General Packet Radio Service (servicio general de paquetes vía radio)
GSM	Global System for Mobile Communications (sistema global para las comunicaciones móviles)
https	Hypertext Transfer Protocol Secure
I+D	Invesitación y desarrollo
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IP	Internet Protocol
Kbps	Kilobites por segundo
Km	Kilómetro
LAN	Local Área Network
LDMS	Local Multipoint Distribution Service (Sistema de Distribución Local Multipunto)
LOS	Line Of Sight (Línea de vista)
LTE	Long Term Evolution
M	Metros
MAC	Medium Access Control
MAN	Metropolitan Área Network
Mbps	Megabites por segundo
MHz	Megahercio
mimo	Multiple-input Multiple-output (Múltiple entrada múltiple salida)
MMDS	Multichannel Multipoint Distribution System (Servicio de Distribución Multipunto Multicanal)
MMS	Multimedia Messaging System (Sistema de Mensajería Multimedia)
mV	Microvoltio
mW	Miliwatios
NLOS	Non Line Of Sight (Sin linea de vista directa)
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing (Multiplexación por División de Frecuencia)
OFDMA	Orthogonal Frequency Division Multiple Access (acceso múltiple por división de frecuencia ortogonal)
OSI	Open Systems Interconnection (Interconexión abierta entre sistemas)
PIRE	Potencia Isotrópica Radiada Equivalente
PMP	Punto a Multipunto
PRE	Potencia Radiada Equivalente

PTMP	Protocolo Punto a Multipunto
PTP	Picture Transfer Protocol (Protocolo de transferencia de imágenes)
QoS	Quality Of Service (Calidad de servicio)
RADIUS	Remote Authentication Dial-In User Server
Rx	Receptor
SMS	Servicio de mensajes cortos
SS	Suscriber Station
TDD	Time-Division Duplex
Tx	Transmisor
UMTS	Sistema Universal de Telecomunicaciones Móviles
VoIP	Voz sobre IP
Vpn	Red privada virtual
WAP	Wireless Application Protocol (protocolo de aplicaciones inalámbricas)
Wep	Wired Equivalent Privacy
Wi-Fi	Wireless Fidelity
WIMAX	Worldwide Interoperability for Microwave Access (Interoperabilidad mundial para acceso por microondas)
Wlan	wireless lan, red inalámbrica
WMAN	Wireless Metropolitan Area Network
Wpa	Windows Product Activation
WWW	World Wide Web

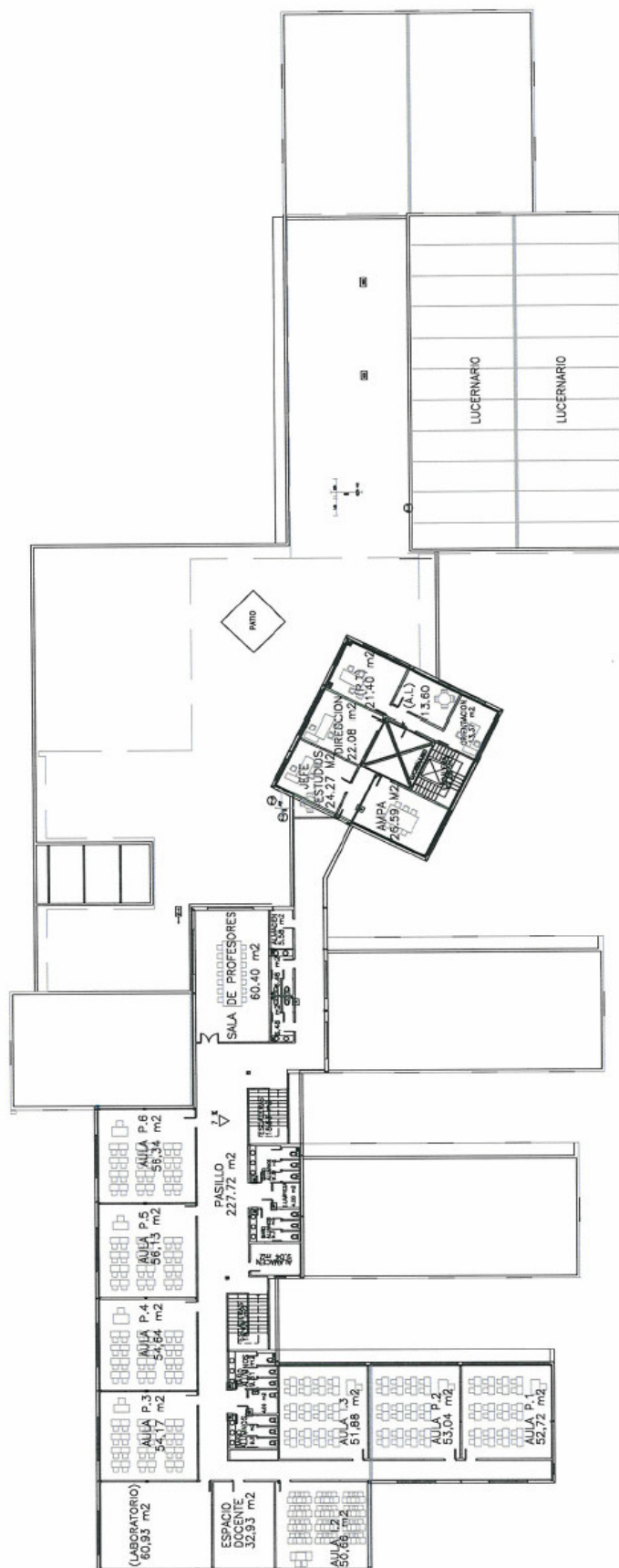
ANEXOS

ANEXO A

1. PLANOS DEL CENTRO



Planta baja

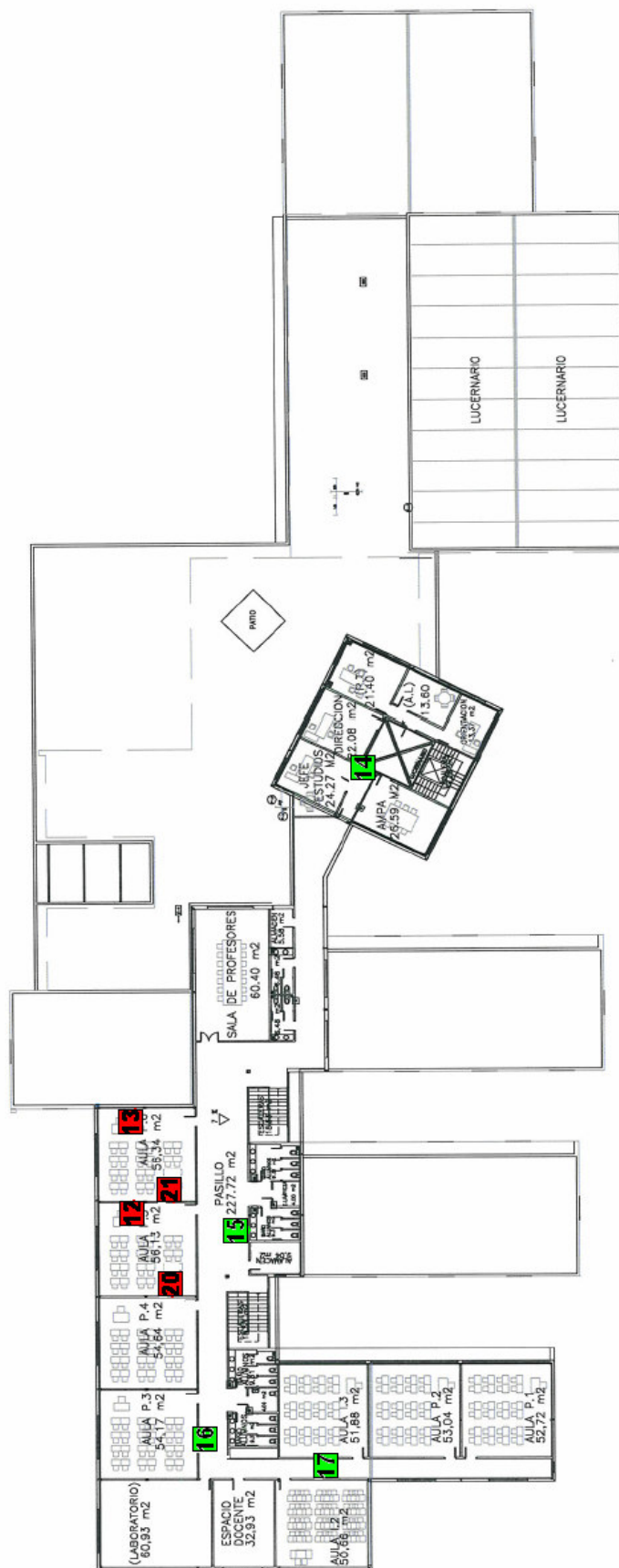


Planta primera

2. SITUACIÓN INICIAL PUNTOS DE ACCESO



Planta baja



Planta primera



3. SOLUCIÓN PROPUESTA PUNTOS DE ACCESO





135

4. ASIGNACIÓN DE CANALES



ANEXO B

1. ANTENA TX BANDA LIBRE



Código del Producto: CWAQ52

Antena parabólica de disco de ganancia 29 dBi y frecuencia de operativa de 5470 a 5725 MHz. Fabricada en ligero pero resistente aluminio. La parrilla se suministra dividida en dos partes para facilitar el transporte. Dispone de herraje de fijación que permite la orientación correcta de la antena. Se puede fijar directamente a pared o a mástil pues añade dos bridas metálicas en U.

Especificaciones

- Frecuencia de operativa: 5470 a 5725 MHz.
- Ganancia: 29 dBi.
- VSWR: $\leq 1,5$.
- Ángulo de radiación horizontal: 6°.
- Ángulo de radiación vertical: 6°.
- Ratio F/B: > 35 dB.
- Polarización: Horizontal o vertical.
- Impedancia: 50 Ohm.
- Potencia máxima de entrada: 100 W.
- Conector: N hembra.
- Diámetro de la antena: 600 mm.
- Peso: 3,6 Kg.
- Diámetro del mástil de montaje: 40 a 70 mm.
- Velocidad máxima del viento: 241 Km/h.

2. UNIDAD CONTROL BASE

ARBA-550

Parámetros Radio			
Banda de frecuencia		5470-5725 MHz (ETSI) ó 5725-5825 MHz (FCC). Ver modelo en la información de pedido.	
Modulación		OFDM IEEE 802.16-2009 - 256 subportadoras, prefijo cíclico 1/4, 1/8, 1/16 ó 1/32	
Ancho de banda de canal soportado		1.75, 3.5, 7 y 10 MHz	
Modulación adaptativa		BPSK, QPSK, 16QAM y 64QAM	
Tasas de códigos FEC		1/2, 2/3 y 3/4 Reed-Solomon concatenado y Viterbi	
Máxima potencia de salida		+24 dBm	
Control de la potencia de transmisión		> 40 dB	
Modo de duplexión		TDD (Time Division Duplexing)	
Reserva de Uplink/Downlink		Programable desde 4:1 hasta 1:4	
Selección dinámica de frecuencia		Sí	
Sincronización TDD		Referencia externa o interna (10 MHz, 1pps). Requiere unidad ARBA-IDU	
Conector de antena		Tipo N, 50 ohms	
Parámetros RF	Modulación	Sensibilidad (1.75 MHz)	Sensibilidad (10 MHz)
	BPSK-1/2	-99.5 dBm	-92 dBm
	QPSK-1/2	-96.5 dBm	-89 dBm
	QPSK-3/4	-94 dBm	-86.5 dBm
	16QAM-1/2	-91 dBm	-83.5 dBm
	16QAM-3/4	-87.5 dBm	-80 dBm
	64QAM-2/3	-83.5 dBm	-76 dBm
	64QAM-3/4	-81.5 dBm	-74 dBm
Tráfico y Throughput			
Tasa de datos máxima en el aire		37.7 Mbps (64QAM-3/4, 10 MHz BW)	
Máximo Throughput agregado a nivel Ethernet.		34.9 Mbps	
Soporte de ARQ		Sí, según el estándar IEEE 802.16-2009 - Seleccionable para cada flujo de servicio	
Registro de usuarios simultáneo	Lite	30	
	Full	Ilimitado	
Cifrado		AES y 3DES	
Quality of Service (QoS)			
Tipos de QoS soportados		UGS, RTPS, nRTPS y BE (estándar IEEE 802.16-2009)	
Diferenciación de servicios	Capa-2	Dirección MAC origen/destino, EtherType, VLAN tag	
	Capa-3	Tipos de clasificadores: DSCP ToS, dirección IP origen/destino y subred.	
	Capa-4	Rango de puertos TCP, UDP origen/destino	
Flujos de Servicio diferenciados	Básico	Un servicio bidireccional por usuario.	
	Avanzado (3)	Diferenciación de servicios ilimitada por usuario	
Gestión y Aprovisionamiento			
Interfaces de gestión local		Web, Línea de comandos	
Interfaces de gestión remota		SNMP, XML-RPC	
Aprovisionamiento local de usuarios y servicios		Base de datos local XML	
Aprovisionamiento centralizado de usuarios y servicios		AAA Radius, LDAP, XML-RPC	
Funcionalidades de Red			
Funcionalidades de red de Capa-2		Bridging (IEEE 802.1), VLAN (IEEE 802.1q)	
Funcionalidades de red de Capa-3		Routing estático/dinámico, NAT, cliente/servidor DHCP	
CS soportados		Ethernet, IPv4oEthernet, VLAN, IPv4oVLAN	
Modos de networking		Modo bridge, rutado IP	
Interfaz de datos		10/100 Base-T Ethernet RJ45	
Parámetros físicos, mecánicos y eléctricos			
Tamaño		395 x 265 x 95 mm	
Peso de la Unidad exterior		3.2 kg	
Alimentación	Básica	802.3af compliant (PoE)	
	Opcional	12 ó 48 Voltios (conector aparte para alimentación con panel solar)	
Consumo de potencia		<18 Watts (en condiciones de tráfico máximo)	
Cumplimiento de estándares			
WiMAX		IEEE 802.16-2009 OFDM PHY	
Radio		ETSI EN 301 893, ETSI EN 302 502	
Medioambiental		ETSI EN 300 019-1-4 C4.1E (ODU), ETSI EN 300 019-1-3 C3.2 (IDU)	

3. RECEPTOR BANDA LIBRE

AB-MAX™



AB-MAX OPERATION

AB-MAX™ offers numerous options for provisioning and management. For small campus type networks, AB-MAX™ can be configured in a static environment via a web interface. For larger networks, AB-MAX™ can be configured via an automated provisioning server, where each unit can be provisioned and managed from a single location. AB-MAX™ also includes support MIB-2, WiMAX MIB, and Axxcelera custom MIB.

CELLSITE COMPONENTS

- One or more environmentally sealed Access Points (AP), each with an integrated 60° by 7° beam width patch antenna
- Six Access Points provide 360° geographic coverage
- Ethernet switch or router
- Backhaul equipment such as that offered by Axxcelera
- Other third party equipment as required

CUSTOMER PREMISES (CPE) COMPONENTS

- AB-MAX™ Customer Premises Equipment (CPE) with integrated 20° by 20° beam width single polarization patch antenna

NON LINE OF SIGHT

WiMAX technology includes OFDM, which provides greater non line of sight deployment options.

ENVIRONMENTAL CHARACTERISTICS

Temperature Range	-33°C to +55°C ambient temperature
Humidity	Up to 100% at 45°C
Wind Loading	120 miles/hour (~193 km/hour) per Bellcore GR-487-CORE section 3.31

SPECIFICATION SUMMARY

Operating Frequency Range	5.47 - 5.725 GHz, 5.725 - 5.850 GHz (Per U-NII and ISM band Specifications)
Channel Bandwidth	5, 10, or 15 MHz
Modulation	Dynamic Adaptive (BPSK, QPSK, 16QAM, 64QAM)

SPECIFICATION SUMMARY (Continued)

Transmit Power*	Access Point: +15 dBm (5.47 - 5.725 GHz), +18 dBm (5.725 - 5.850 GHz) CPE: +15 dBm (5.47 - 5.725 GHz), +18 dBm (5.725 - 5.850 GHz)
Integrated Antenna	Access Point: 16 dBi, dual-pol. programmable CPE: 18 dBi, single-pol.
Rx Sensitivity	-92 dBm
Dimension	CPE: 8"Hx8"Wx3.2"D (203mm x 203mm x 81mm) Access Point: 20"Hx10"Wx2.5"D (508mm x 254mm x 65mm)
Weight	CPE: 7.7lbs (3.5kg) Access Point: 11.0lbs (5.0kg)
Net Channel Throughput (bands without DFS)	47Mbps@15MHz, 31Mbps@10MHz, 15Mbps@5MHz
Net Channel Throughput (bands with DFS)	43Mbps@15MHz, 28Mbps@10MHz, 14Mbps@5MHz
Certification:	FCC, CE, WiMAX**
External Antenna (optional)	N-Type connector
Security	x.509 authentication, CBC-Mode 56-bit DES, AES-CCM mode
Protocols	Ethernet Bridging per IEEE802.1D, VLAN per IEEE 802.1Q (CPE only) Differentiated Services per IEEE802.1D/p DHCP client (CPE only)
Interfaces	RJ45 socket offering 100BaseT Ethernet
Error Control	1/2, 2/3, or 3/4 FEC
Regulatory Compliance	FCC 15.247, FCC 15.401-407, RSS-210 A8, RSS-210 A9, R&TTE Directive1999/5/EC, EN 301 893, EN 302 502; EMC: FCC Part 15, IC ICES-0003, EMC Directive 2004/108/EC, EN 301 489-1, EN 301 489-17; Safety: Low Voltage Directive 2006/95/EC, IEC 60950, EN 60950, UL 60950 * Actual transmit power level is subject to local regulatory constraints. **Planned

Axxcelera
B R O A D B A N D W I R E L E S S

a Moseley company.

82 Coromar Dr. Santa Barbara CA 93117 USA
tel 805-968-9621 fax 805-683-9638

e-mail: sales@axxcelera.com

web site: www.axxcelera.com

Axxcelera Broadband Wireless is certified to the ISO 9001:2000 Quality Management System standard.

Axxcelera reserves the right to make changes to specifications of products described in this data sheet at any time without notice.

© 2006 Axxcelera Corp. 4.05

Rev. 01/05/2010

4. ANTENA TX BANDA LICENCIA



Referencia: WI15

WI15 Descripción

Antena diseñada según las especificaciones WiMAX Forum Certified y que cumple con la normativa IEEE 802.16-2004. Antena de tipo parabólica con herrajes que la hacen orientable y ganancia de 27 dBi.

Especificaciones

- Frecuencia: 3.4 - 3.6 GHz.
- Ganancia: 27 dBi.
- VSWR: ≤ 2.0 .
- Polarización: Vertical.
- Gestión de potencia: 10 Watt.
- Ángulo de visión: 5.8 grados (H) y 8.3 grados (E).
- Diámetro de la antena: 900 mm.
- Profundidad de la antena: 260 mm.
- Peso: 5700 g (con herrajes).
- Incluye los herrajes necesarios para fijación a pared o mástil. Los herrajes permiten orientar el panel según las necesidades del usuario.
- Conector N-Hembra.

5. UNIDAD CONTROL BASE

ARBA-135

Radio parameters			
Frequency Band		3400-3600 MHz	
Modulation		OFDM IEEE 802.16-2009 - 256 subcarriers, cyclic prefix 1/4, 1/8, 1/16 or 1/32	
Supported channel bandwidth		1.75, 3.5, and 7 MHz	
Adaptive modulation		BPSK, QPSK, 16QAM and 64QAM	
FEC code rate		1/2, 2/3 and 3/4 concatenated Reed-Solomon and Viterbi	
Maximum output power		+20 dBm	
Transmit power control		> 40 dB	
Duplexing method		TDD (Time Division Duplexing)	
Uplink/Downlink allocation		Programmable from 4:1 to 1:4	
Antenna connector		N-type, 50 ohms	
RF parameters	Modulation	Sensitivity (3.5 MHz)	Sensitivity (7 MHz)
	BPSK-1/2	-95 dBm	-92 dBm
	QPSK-1/2	-93 dBm	-90 dBm
	QPSK-3/4	-89.5 dBm	-86.5 dBm
	16QAM-1/2	-86.5 dBm	-83.5 dBm
	16QAM-3/4	-83 dBm	-80 dBm
	64QAM-2/3	-79 dBm	-76 dBm
64QAM-3/4	-77 dBm	-74 dBm	
Data traffic and Throughput			
Maximum over-the-air data rate		26.2 Mbps (64QAM-3/4, CP=1/4, BW=7 MHz)	
Ethernet aggregated throughput		Basic	24.2 Mbps
ARQ support		Yes, per IEEE 802.16-2009 standard - Selectable per service flow	
Simultaneous registered users	Basic	30	
	Advanced	Unlimited	
	Lite	8	
Encryption		AES and 3DES	
Quality of Service (QoS)			
Supported QoS types		UGS, RTPS, nRTPS, eRTPS and BE (IEEE 802.16-2009 standard)	
Service differentiation	Layer-2	MAC source/destination address, EtherType, VLAN tag	
	Layer-3	DSCP ToS, IP source/destination address and subnet, Protocol type	
	Layer-4	TCP, UDP source/destination port range	
Differentiated service flows		Unlimited differentiated services per user	
Management and Provisioning			
Management local interfaces		Web, Command-Line Interface	
Management remote interfaces		SNMP, XML-RPC	
User and services local provisioning		XML local database	
User and services centralized provisioning		AAA Radius, LDAP, XML-RPC	
Network functionality			
Layer-2 Network functionality		Bridging (IEEE 802.1), VLAN (IEEE 802.1q)	
Layer-3 Network functionality		Static/Dynamic routing, NAT, DHCP server/client	
Supported CS		Ethernet, IPv4oEthernet, VLAN, IPv4oVLAN	
Networking modes		Bridge mode, IP routing	
Data interface		10/100 Base-T Ethernet RJ45	
Physical, Mechanical and Electrical			
Size		395 x 265 x 95 mm	
Outdoor Unit Weight		3.2 kg	
Power Supply		Basic	48V or 220VAC (802.3af PoE standard)
Power Consumption		<18 Watts (full traffic conditions)	
Standards Compliance			
WiMAX		IEEE 802.16-2009	
Environmental		ETSI EN 300 019-1-4 C4.1E (ODU), ETSI EN 300 019-1-3 C3.2 (IDU)	

6. RECEPTOR BANDA LICENCIA

ExcelMAX™



RF SPECIFICATIONS

Frequency Band	3.3-3.8 GHz
Air Interface Standard	802.16-2004 (D5)
Architecture	Point to Multipoint (PMP)
Duplex Scheme	Full Duplex FDD Half Duplex FDD TDD
Downlink/Uplink Traffic Ratio (TDD only)	Dynamic Adaptive
Synchronization (TDD only)	Integral GPS
RF Channel Sizes	7 MHz and 3.5 MHz
Modulation Types	Dynamic Adaptive: 64QAM, 16QAM, QPSK, BPSK, Uplink Sub-channelization
Coding Rates	1/2, 2/3 and 3/4
Sectorization	1 to 6 sectors
Net Channel Throughput	>18 Mbps (7 MHz, TDD) >40 Mbps (7 MHz, FDD)
Frequency Re-use Factor	3 (only 2 RF channels needed in site with 6 Access Points)
Net Channel Spectral Efficiency	2.8 bps/Hz/Access Point
Transmit Power	+27 dBm (subject to regulatory limits)
Receive Sensitivity	-96 dBm
Antenna Gain (external)	16.5 dBi (60 degree), 14 dBi (90 degree), 10 dBi (Omni)

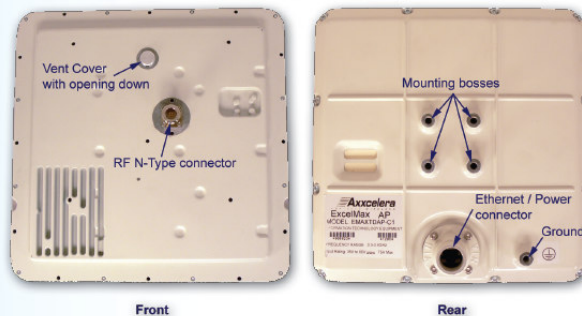
STANDARDS SUPPORTED

Air Interface	IEEE 802.16-2004 (D5)
Prioritization	IEEE 802.1p (8 prioritization levels)
Video Broadcast	IGMP
Security/Encryption	x.509 BS and SS authentication, CBC-Mode 56-bit DES, AES-CCM mode
Interfaces	10/100 Base T Full Duplex; External (Fiber, ATM, and E1/T1)
Network Management	SNMP, Telnet, HTTP
International Standards	Wireless performance R&TTE Directive 1999/5/EC, EN 302 326-2, EN 302 326-3, FCC Part 90 EMC Directive 2004/108/EC, EN 301 489-1, EN 301 489-4, FCC Part 15 Low Voltage Directive 2006/95/EC, IEC 60950, EN 60950, UL 60950
EMC	
Safety	

ENVIRONMENTAL CHARACTERISTICS

Operating Temperature	-33°C to +55°C (outdoor unit) -5°C to +40°C (indoor power supply)
Operating Humidity	10-100% condensing (outdoor unit) 10-90% non-condensing (indoor power supply)
Power supply	120-240 VAC 50-60 Hz or -40 to -60 VDC
Power consumption	35 Watts, nominal
Dimensions	24.1 cm x 24.1 cm x 6.4 cm (outdoor unit)
Weight	4.5 kg (outdoor unit)

ExcelMAX Access Point



Axxcelera
B R O A D B A N D W I R E L E S S

a Moseley company.

82 Coromar Dr. Santa Barbara CA 93117 USA
tel 805-968-9621 fax 805-685-9638
e-mail: sales@axxcelera.com
web site: www.axxcelera.com
Axxcelera Broadband Wireless is certified to the ISO 9001:2000 Quality Management System standard.
Axxcelera reserves the right to make changes to specifications of products described in this data sheet at any time without notice.
© 2006 Axxcelera Corp. 4.05

Rev. 03/23/2009

7. PUNTO DE ACCESO D-LINK

D-Link®

DWL-2200AP



108Mbps¹ Access Point With PoE

Technical Specifications			
Standards	+ IEEE 802.11b + IEEE 802.3af	+ IEEE 802.11g + IEEE 802.3u	+ IEEE 802.3 + IEEE 802.3x
Network Management	+ Web Browser interface - HTTP + AP Manager + SNMP Support - D-View Module - Private MIB + Command Line Interface - Telnet		
Wireless Signal Rate ¹	For 802.11g: + 108, 54, 48, 36, 24, 18, 12, 9 and 6Mbps For 802.11b: + 11, 5.5, 2, and 1Mbps		
Security	+ WPA-Personal + WPA2-Personal + 64/128/152-bit WEP + MAC Address Access Control List + WPA-Enterprise + WPA2-Enterprise + SSID Broadcast Disable		
Wireless Frequency Range	+ 2.4GHz to 2.4835GHz		
Wireless Operating Range ¹	802.11g (Full Power with 5dBi gain diversity dipole antenna) Indoors: + 98ft (30m) @ 54Mbps + 108ft (33m) @ 48Mbps + 121ft (37m) @ 36Mbps + 151ft (46m) @ 24Mbps + 203ft (62m) @ 18Mbps + 223ft (68m) @ 12Mbps + 256ft (78m) @ 9Mbps + 302ft (92m) @ 6Mbps Outdoors: + 328ft (100m) @ 54Mbps + 968ft (295m) @ 11Mbps + 1378ft (420m) @ 6Mbps		
Antenna Type	+ Dipole antenna with 5dBi gain		
Operating Voltage	+ 48VDC +/- 10% for PoE		
Radio and Modulation Type	For 802.11b: DSSS: + DBPSK @ 1Mbps + DQPSK @ 2Mbps + CCK @ 5.5 and 11Mbps For 802.11g: OFDM: + BPSK @ 6 and 9Mbps + QPSK @ 12 and 18Mbps + 16QAM @ 24 and 36Mbps + 64QAM @ 48 and 54Mbps DSSS: + DBPSK @ 1Mbps + DQPSK @ 2Mbps + CCK @ 5.5 and 11Mbps		
Transmit Output Power	For 802.11b: + 63mW (18dBm) + 40mW (16dBm) + 32mW (15dBm) + 23mW (13dBm) + 10mW (10dBm) + 6mW (7dBm) + 1mW (0dBm) For 802.11g: + 63mW (18dBm) + 40mW (16dBm) + 32mW (15dBm) + 6mW (7dBm) + 1mW (0dBm)		

Receiver Sensitivity	For 802.11b: + 1Mbps: -94dBm + 2Mbps: -90dBm + 5.5Mbps: -88dBm + 11Mbps: -85dBm For 802.11g: + 1Mbps: -94dBm + 2Mbps: -91dBm + 5.5Mbps: -89dBm + 6Mbps: -91dBm + 9Mbps: -90dBm + 11Mbps: -86dBm + 12Mbps: -89dBm + 18Mbps: -87dBm + 24Mbps: -84dBm + 36Mbps: -80dBm + 48Mbps: -76dBm + 54Mbps: -73dBm
Power Consumption	+ Max. with PoE: 8.5w + Max. without PoE: 7w
LEDs	+ Power + 10M/100M + WLAN
Temperature	+ Operating: 32°F to 104°F (0°C to 40°C) + Storing: -4°F to 149°F (-20°C to 65°C)
Humidity	+ Operating: 10%~90% (non-condensing) + Storing: 5%~95% (non-condensing)
Certifications	+ FCC Part 15 + UL + CSA
Dimensions (W x D x H)	4.29 x 5.59 x 1.22 inches (109mm x 142mm x 31mm)
Weight	0.44 lbs (200g)
Warranty	1 Year ²

8. PUNTO DE ACCESO TP-LINK

TP-LINK®

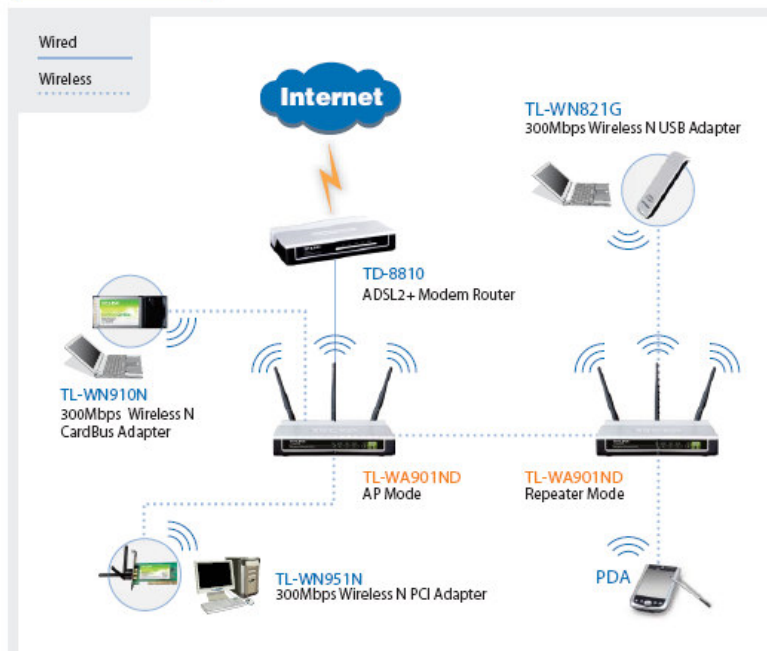
Specifications:

Standards	IEEE 802.11n, IEEE 802.11g, IEEE 802.11b
Interface	One Ethernet Port(RJ45) Supporting Passive PoE
Wireless Signal Rates With Automatic Fallback	11n: Up to 300Mbps(dynamic) 11g: Up to 54Mbps(dynamic) 11b: Up to 11Mbps(dynamic)
Frequency Range	2.4-2.4835GHz
Wireless Transmit Power	20dBm(Max)
Antenna	4dBi detachable Omni directional antenna*3
Modulation Technology	IEEE 802.11b: DQPSK, DBPSK, DSSS, and CCK IEEE 802.11g: BPSK, QPSK, 16QAM, 64QAM, OFDM
Receiver Sensitivity	270M: -68dBm@10% PER 130M: -68dBm@10% PER 11M: -85dBm@8% PER 6M: -88dBm@10% PER 1M: -90dBm@8% PER 256K: -105dBm@8% PER
Power Supply Unit	Input: localized to country of sale Output: 12VDC / 1A Switching PSU
Operating temperature	0°C~40°C (32°F~104°F)
Storage temperature	-40°C~70°C (-40°F~158°F)
Relative humidity	10%~90%, non condensation
Storage Humidity	5%~95% non-condensing
Dimensions	6.9*4.7*1.1 in.(174*120*28.8mm)



TL-WA901ND

Diagram:



ANEXO C

NORMA TÉCNICA DE INFRAESTRUCTURA COMÚN DE
TELECOMUNICACIONES PARA LA CAPTACIÓN,
ADAPTACIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE SEÑALES DE
RADIODIFUSIÓN SONORA Y TELEVISIÓN, PROCEDENTES
DE EMISIONES TERRENALES Y DE SATÉLITE

4.2.- CARACTERÍSTICAS DE LOS ELEMENTOS DE CAPTACIÓN

4.2.1.- Características del conjunto de elementos para la captación de servicios terrenales

Las antenas y elementos anexos: soportes, anclajes, riostras, etc. deberán ser de materiales resistentes a la corrosión o tratados convenientemente a estos efectos.

Los mástiles o tubos que sirvan de soporte a las antenas y elementos anexos, deberán estar diseñados de forma que se impida, o al menos se dificulte la entrada de agua en ellos y, en todo caso, se garantice la evacuación de la que se pudiera recoger.

Los mástiles de antena deberán estar conectados a la toma de tierra del edificio a través del camino más corto posible, con cable de, al menos, 12'5 mm² de sección.

La ubicación de los mástiles o torretas de antena, será tal que haya una distancia mínima de 5 metros al obstáculo o mástil más próximo; la distancia mínima a líneas eléctricas será de 1.5 veces la longitud del mástil.

La altura máxima del mástil será de 6 metros. Para alturas superiores se utilizarán torretas.

Los mástiles de antenas se fijarán a elementos de fábrica resistentes y accesibles y alejados de chimeneas u otros obstáculos.

Las antenas y elementos del sistema captador de señales soportarán las siguientes velocidades de viento:

- Para sistemas situados a menos de 20 m del suelo: 130 km/h.
- Para sistemas situados a más de 20 m del suelo: 150 km/h.

Los cables de conexión serán del tipo intemperie o en su defecto deberán estar protegidos adecuadamente.

4.2.2.- Características del conjunto para la captación de servicios por satélite

El conjunto para la captación de servicios por satélite, cuando exista, estará constituido por las antenas con el tamaño adecuado y demás elementos que posibiliten la recepción de señales procedentes de satélite, para garantizar los niveles y calidad de las señales en toma de usuario fijados en la presente norma.

· Seguridad

Los requisitos siguientes hacen referencia a la instalación del equipamiento captador, entendiendo como tal al conjunto formado por las antenas y demás elementos del sistema captador junto con las fijaciones al emplazamiento, para evitar en la medida de lo posible riesgos a personas o bienes.

Las antenas y elementos del sistema captador de señales soportarán las siguientes velocidades de viento:

- Para sistemas situados a menos de 20 m del suelo: 130 km/h.
- Para sistemas situados a más de 20 m del suelo: 150 km/h.

Todas las partes accesibles que deban ser manipuladas o con las que el cuerpo humano pueda establecer contacto deberán estar a potencial de tierra o adecuadamente aisladas.

Con el fin exclusivo de proteger el equipamiento captador y para evitar diferencias de potencial peligrosas entre éste y cualquier otra estructura conductora, el equipamiento captador deberá permitir la conexión de un conductor, de una sección de cobre de, al menos, 12'5 mm² de sección, con el sistema de protección general del edificio.

- Radiación de la unidad exterior.

Los límites a las radiaciones no deseadas serán los siguientes:

- Emisiones procedentes del oscilador local en el haz de $\pm 7^\circ$ del eje del lóbulo principal de la antena receptora.

El valor máximo de la radiación no deseada, incluyendo tanto la frecuencia del oscilador local como su segundo y tercer armónico, medida en la interfaz de la antena (ya considerados el polarizador, el transductor ortomodo, el filtro pasobanda y la guíaonda de radiofrecuencia) no superará los siguientes valores medidos en un ancho de banda de 120 kHz dentro del margen de frecuencias comprendido entre 2,5 y 40 GHz:

El fundamental: -60 dBm

El segundo y tercer armónicos: -50 dBm

- Radiaciones de la unidad exterior en cualquier otra dirección.

La potencia radiada isotrópica equivalente (p.i.r.e.) de cada componente de la señal no deseada radiada por la unidad exterior dentro de la banda de 30 MHz hasta 40 GHz, no deberá exceder los siguientes valores medidos en un ancho de banda de 120 kHz:

20 dBpW en el rango de 30 MHz a 960 MHz.

43 dBpW en el rango de 960 MHz a 2,5 GHz.

57 dBpW en el rango de 2,5 GHz a 40 GHz.

La especificación se aplica en todas las direcciones excepto en el margen de $\pm 7^\circ$ de la dirección del eje de la antena.

Las radiaciones procedentes de dispositivos auxiliares se registrarán por la normativa aplicable al tipo de dispositivo de que se trate.

· Inmunidad.

- Susceptibilidad radiada.

El nivel de intensidad de campo mínimo de la señal interferente que produce una perturbación que empieza a ser perceptible en la salida del conversor de bajo ruido cuando a su entrada se aplica un nivel mínimo de la señal deseada no deberá ser inferior a:

Rango de frecuencias (MHz)	Intensidad de campo mínima
Desde 1,15 hasta 2.000	130 dB(μ V/m)

La señal interferente deberá estar modulada en amplitud con un tono de 1 kHz y profundidad de modulación del 80 por 100.

- Susceptibilidad conducida.

A cada frecuencia interferente la inmunidad, expresada como el valor de la fuerza electromotriz de la fuente interferente que produce una perturbación que empieza a ser perceptible en la salida del conversor de bajo ruido cuando se aplica en su entrada el nivel mínimo de la señal deseada, tendrá un valor no inferior al siguiente:

Rango de frecuencias (MHz)	Intensidad de campo mínima
Desde 1,5 hasta 230	125 dB(μ V/m)

La señal interferente deberá estar modulada en amplitud con un tono de 1 kHz y profundidad de modulación del 80 por 100.

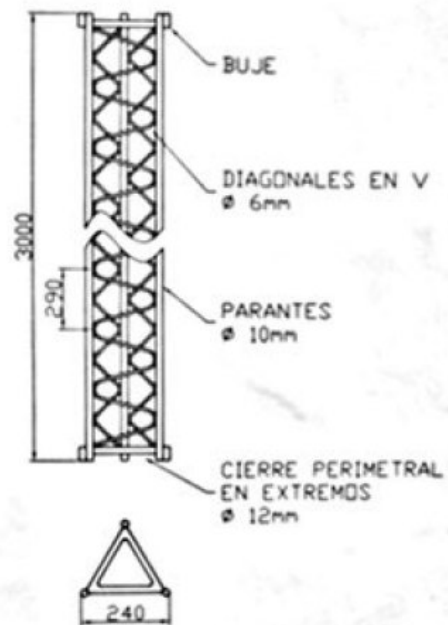
TORRES Y ACCESORIOS NORMALIZADOS



MODELO 10/6

Altura máxima 18 m ; Longitud del tramo 3 m Diámetro de los parantes $\varnothing$ 10 mm
 Separación entre parantes 225 mm de centro a centro montante Separación entre eje de bujes 240 mm
 Diámetro de las diagonales $\varnothing$ 6 mm Paso de las diagonales 290 mm Materiales Acero liso SAE (1010) Calidad F 24 Terminación Pintura galvanizado colores relamentarios Soldaduras Bajo atmósfera inerte

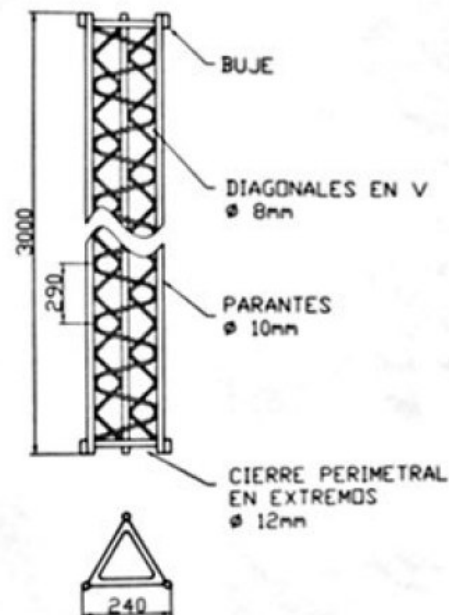
MODELO TM 106



MODELO 10/8

Altura máxima 30 m Longitud del tramo 3 m Diámetro de los parantes $\varnothing$ 10 mm Separación entre parantes 225 mm de centro a centro montante Separación entre eje de bujes 240 mm Diámetro de las diagonales $\varnothing$ 8 mm Paso de las diagonales 290 mm Materiales Acero liso SAE (1010) Calidad F 24 Terminación Pintura galvanizado colores relamentarios Soldaduras Bajo atm inerte

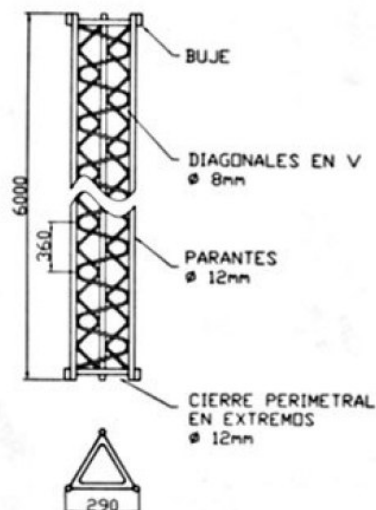
MODELO TM 108



MODELO 12/8

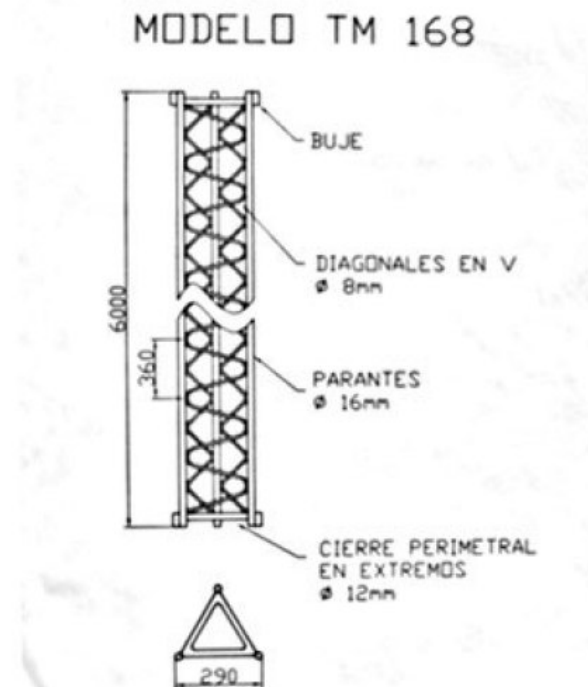
Altura máxima 36 m Longitud del tramo 6 m Diámetro de los parantes $\varnothing$ 12 mm Separación entre parantes 270 mm de centro a centro montante Separación entre eje de bujes 290 mm Diámetro de las diagonales $\varnothing$ 8 mm Paso de las diagonales Max 360 mm (325 mm) Materiales Acero liso SAE (1010) Calidad F 24 Terminación Pintura galvanizado colores relamentarios Soldaduras Bajo atm inerte

MODELO TM 128



MODELO 16/8

Altura máxima 48 m Longitud del tramo 6 m Diámetro de los parantes $\varnothing$ 16 mm Separación entre parantes 270 mm de centro a centro montante Separación entre eje de bujes 290 mm Diámetro de las diagonales $\varnothing$ 8 mm Paso de las diagonales Max 360 mm (325 mm) Materiales Acero liso SAE (1010) Calidad F 24 Terminación Pintura galvanizado colores relamentarios Soldaduras Bajo atm inerte

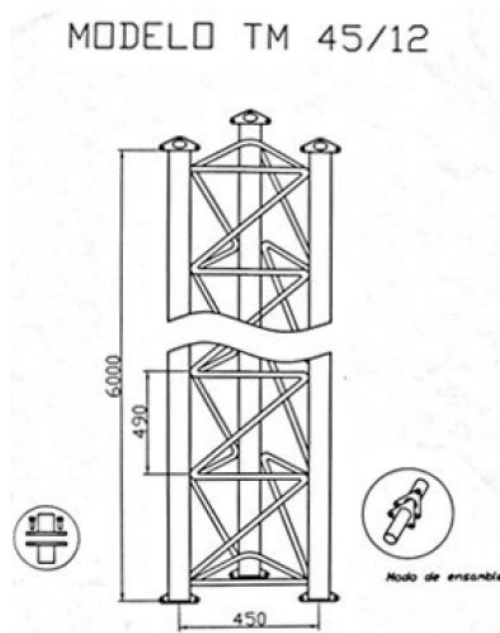


MODELO 35/12

Altura máxima 72 m Longitud del tramo 6 m Diámetro de los parantes Tubo 33.4 mm Separación entre parantes 350 mm de centro a centro montante Separación entre eje de bujes 400 mm Diámetro de las diagonales $\varnothing$ 12 mm Paso de las diagonales 490 mm Materiales Acero liso SAE (1010) Calidad F 24 Terminación Pintura galvanizado colores relamentarios Soldaduras Bajo atm inerte

MODELO 45/12

Altura máxima 102 m Longitud del tramo 6 m Diámetro de los parantes $\varnothing$ 42.2 mm Separación entre parantes 450 mm de centro a centro montante Adaptación con bridas Triangular Diámetro de las diagonales $\varnothing$ 12/14 mm Paso de las diagonales 450 mm Materiales Acero liso SAE (1010) Calidad F 24 Terminación Pintura galvanizado colores reglamentarios Soldaduras Bajo atm inerte



ACCESORIOS

