

UNIVERSIDAD POLITECNICA DE VALENCIA

ESCUELA POLITECNICA SUPERIOR DE GANDIA

I.T. Telecomunicación (Sist. de Telecomunicación)



UNIVERSIDAD
POLITECNICA
DE VALENCIA



ESCUELA POLITECNICA
SUPERIOR DE GANDIA

“Diseño de la red inalámbrica del Instituto de Educación Secundaria de Almussafes”

*TRABAJO FINAL DE
CARRERA*

Autor/es:

Marcos Claramunt García

Director/es:

D. Jaime Lloret Mauri

GANDIA, 2015

Índice de tablas e imágenes.....	0
Capítulo 1.- Introducción	1
1.1.- Introducción.....	1
1.2.- Objetivos.....	2
1.3.- Precedentes del proyecto	2
1.4.- Estructura del proyecto	3
Capítulo 2.- WiFi	4
2.1.- Introducción.....	4
2.2.- Fundamentos.....	4
2.3.- Estándares de los sistemas Wifi	5
2.3.- Modelos de propagación.....	11
2.4.- Elementos básicos de una red	12
2.5.- Infraestructuras típicas redes Wifi	13
2.6.- Seguridad.....	13
2.7.- Pérdidas de la señal.....	18
2.8.- Roaming.....	19
2.9.- Cálculo de usuarios por punto de acceso	20
2.10.- Aplicaciones de las redes Wifi.....	21
Capítulo 3.- Diseño de la red inalámbrica.....	22
3.1.- Introducción.....	22
3.2.- Formulación.....	22
3.3.- Método de trabajo.....	26
3.4.- Interferencias en los puntos de acceso	29
Capítulo 4.- Desarrollo del mapa de cobertura del IES.....	32
4.1.- Introducción.....	32
4.2.- Planta baja.....	34
4.3.- Planta primera.....	36
4.4.- Planta segunda	44
4.5.- Presupuesto	51
Capítulo 5.- Conclusiones	52
5.1.- Valoración personal	52
5.2.- Trabajos futuros	53
Bibliografía	54

Índice de tablas e imágenes

Tabla 1 Estándar con su modulación	6
Tabla 2 Máxima distancia permitida en función del número de paredes atravesadas.	28
Tabla 3 Medidas de interferencias entre canales.....	30
Tabla 4 Medidas de interferencias en APs.....	31
Tabla 5 Medidas de señal en la pared 14.....	35
Tabla 6 Medidas de señal en el AP1 planta baja	35
Tabla 7 Medidas de señal en el AP2 y AP3 planta baja	36
Tabla 8 Medidas de señal en la pared 1.....	37
Tabla 9 Medidas de señal en la pared 2.....	38
Tabla 10 Medidas de señal en la pared 3.....	39
Tabla 11 Medidas de señal en la pared 4.....	40
Tabla 12 Medidas de señal en la pared 12.....	41
Tabla 13 Medidas de señal en la pared 13.....	42
Tabla 14 Medidas de señal en el AP1 planta primera	43
Tabla 15 Medidas de señal en el AP2 planta primera	43
Tabla 16 Medidas de señal en el AP3 planta primera	43
Tabla 17 Medidas de señal en el AP4 planta primera	43
Tabla 18 Medidas de señal en el AP5 y AP6 planta primera.....	43
Tabla 19 Medidas de señal en la pared 5.....	44
Tabla 20 Medidas de señal en la pared 6.....	45
Tabla 21 Medidas de señal en la pared 7.....	46
Tabla 22 Medidas de señal en la pared 8.....	47
Tabla 23 Medidas de señal en la pared 9.....	48
Tabla 24 Medidas de señal en la pared 10.....	48
Tabla 25 Medidas de señal en la pared 11.....	48
Tabla 26 Medidas de señal en el AP1, AP2, AP3 y AP4 planta segunda.....	50
Tabla 27 Medidas de señal en el AP5 planta segunda.....	50
Tabla 28 Medidas de señal en el AP6 planta segunda.....	50
Tabla 29 Presupuesto equipos	51
Tabla 30 Presupuesto cables.....	51
Tabla 31 Presupuesto cables y conectores.....	51
Tabla 32 Presupuesto eléctrico	51
Imagen 1 Red Privada Virtual	15
Imagen 2 Pérdidas WiFi	18
Imagen 3 Roaming	19
Imagen 4 Paredes consecutivas empleadas para el cálculo de pérdidas por paredes.	27
Imagen 5 Elementos de una misma subred.....	29
Imagen 6 Interferencia por 2 APs.....	30
Imagen 7 Access Point y tarjeta Gold Avaya utilizadas en este proyecto.....	32
Imagen 8 Superposición de coberturas.....	33
Imagen 9 Plano general de medidas planta baja.....	34
Imagen 10 Plano ampliado de medidas planta baja.....	34
Imagen 11 Plano general de APs en la planta baja.....	35
Imagen 12 AP1 planta baja.....	35
Imagen 13 APs 2 y 3 planta baja	36
Imagen 14 Plano general de medidas planta primera	37
Imagen 15 Plano ampliado de medidas planta primera pared 1	37
Imagen 16 Plano ampliado de medidas planta primera pared 2.....	38
Imagen 17 Plano ampliado de medidas planta primera pared 3.....	39
Imagen 18 Plano ampliado de medidas planta primera pared 4.....	40
Imagen 19 Plano ampliado de medidas planta primera pared 12	41
Imagen 20 Plano ampliado de medidas planta primera pared 13	42
Imagen 21 Plano general de AP en la planta primera.....	42
Imagen 22 APs 1, 2, 3 y 4 planta primera.....	42
Imagen 23 APs 5 y 6 planta primera.....	43
Imagen 24 Plano genérico de medidas planta segunda.....	44

Imagen 25 Plano ampliado de medidas planta primera pared 5	44
Imagen 26 Plano ampliado de medidas planta primera pared 6	45
Imagen 27 Plano ampliado de medidas planta primera pared 7	46
Imagen 28 Plano ampliado de medidas planta primera pared 8	47
Imagen 29 Plano ampliado de medidas planta primera pared 9	47
Imagen 30 Plano ampliado de medidas planta primera pared 10	48
Imagen 31 Plano ampliado de medidas planta primera pared 11	48
Imagen 32 Plano genérico de AP en la planta segunda.....	49
Imagen 33 APs 1, 2, 3 y 4 planta segunda.....	49
Imagen 34 AP5 planta segunda.....	50
Imagen 35 AP6 planta segunda.....	50

AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo ha sido realizado en colaboración con el profesor D. Jaime Lloret Mauri, a quien quiero agradecer la confianza depositada en mí a la hora de aceptar este proyecto. Personalmente quiero dedicarle el trabajo a mi familia, por el apoyo que me ofrecen siempre. Dar las gracias a todo el profesorado de la titulación por aquellos días que ahora echamos de menos. A mis compañeros de clase también un gran abrazo, y desearles toda la suerte del mundo en sus carreras.

CAPÍTULO 1.- INTRODUCCIÓN

1.1.- Introducción

Este proyecto se encarga del diseño y cobertura de la red inalámbrica del Instituto de Educación Secundaria de Almussafes. Dejando indicados los lugares idóneos donde colocar los puntos de acceso, buscando un equilibrio entre el número de puntos de acceso y calidad de servicio, es decir entre coste y rendimiento.

Se trata de un edificio diseñado en la década del 2000 con ausencia de red inalámbrica, la cuál sería de gran beneficio para la movilidad de alumnos, profesores y personal administrativo. Así como de gran utilidad para organización de eventos puntuales tales como congresos, eventos, exposiciones, etc... Además, actualmente existen todo tipo de protocolos audiovisuales que aprovechan estas infraestructuras de red.

En este proyecto se pretende dar acceso a Internet a través de wifi en un centro de educación reglada, para el desarrollo de sus funciones. Este servicio será completamente gratuito. Para ello contamos con los recursos de personal y financieros que proporcione la administración competente para la explotación y mantenimiento de la red.

Dependiendo del tipo de servicio de acceso inalámbrico a Internet que se quiera dar, las implicaciones y requisitos legales son diferentes. En España, la CMT (Comisión del Mercado de las Telecomunicaciones) es el órgano que regula las condiciones legales para instalar redes wifi municipales, y la principal norma que ha publicado para regularlo es la Circular 1/2010, de 15 de junio de 2010, de la Comisión del Mercado de las Telecomunicaciones, por la que se regulan las condiciones de explotación de redes y la prestación de servicios de comunicaciones electrónicas por la Administraciones Públicas.

Atendiendo a esta normativa y dependiendo del modelo de servicio que queremos ofrecer, se han de tener en cuenta los posibles requisitos legales al instalar una red wifi para la autoprestación de estos servicios. Entendemos por autoprestación un servicio de comunicaciones limitado a los usuarios del instituto. Hemos de tener en cuenta que para este modelo de servicio, la red wifi es una parte de la red interna, por lo que no será necesaria la notificación e inscripción del proveedor en el registro de la CMT, no quedando por ello exento de las demás obligaciones generales para la actuación de las Administraciones Públicas como explotadoras de redes o prestadoras de servicios, quedando exentas además del cumplimiento de las obligaciones establecidas en la Ley General de Telecomunicaciones y demás normativa de desarrollo. [1]

1.2.- Objetivos.

El proyecto tiene como fin el estudio del edificio y el diseño de la colocación de los puntos de acceso y antenas necesarias para dotar de cobertura de red inalámbrica al edificio.

En el momento actual el acceso de los estudiantes a las redes informáticas desde el IES solo se puede realizar desde las diversas aulas de informáticas y los diferentes laboratorios a través de conexiones de cable. Tal situación es completamente insuficiente si se pretende hacer un uso intensivo de las nuevas tecnologías con finalidades de enseñanza, de aprendizaje y de investigación.

Las aulas de informática y laboratorios, no deberían ser el único punto donde los usuarios del edificio puedan conectarse a la red y a Internet por lo tanto este tipo de configuración no se considera ser una solución adecuada para el acceso universal de los estudiantes a las redes, tanto en términos de costes de adquisición, mantenimiento y reposición, como en términos de disponibilidad de espacios y de los recursos humanos necesarios.

Las aulas de informática y laboratorios seguirán siendo necesarios aun cuando todos los estudiantes dispusieran de su propio ordenador, dado que determinados cursos o prácticas pueden requerir un software específico que no se disponga en los ordenadores de los estudiantes. Además, muchos estudiantes pueden necesitar el acceso a la red, posibilidades de impresión y software específico que, por las exigencias de licencia y por sus costes, deben residir en ordenadores públicos del IES.

La solución de ordenadores portátiles y redes inalámbricas se está acometiendo por muchos edificios en todo el mundo. Se trata de que todos los estudiantes dispongan de un ordenador portátil de su propiedad por medio del cual puedan acceder a las redes informáticas a través de redes inalámbricas implementadas.

Los costes básicos de adquisición, mantenimiento y reposición de los ordenadores se trasladan a sus usuarios. Al no existir instalaciones fijas, o ser éstas de escasa magnitud (puntos de acceso y conexiones eléctricas), el problema de espacios se reduce de forma drástica.

1.3.- Precedentes del proyecto

Hasta la fecha de ejecución de este proyecto, “Diseño de la red inalámbrica de Instituto de Educación Secundaria de Almussafes”, en la Escuela Politécnica Superior de Gandía, ya había varios proyectos relacionados con el diseño de redes inalámbricas. A continuación voy a nombrar los diferentes proyectos relacionados con éste:

En septiembre de 2003, Salvador Vicente Martínez Pizarro entrego un proyecto titulado “Diseño de la Red local inalámbrica de la Escuela Politécnica Superior De Gandía”`. Cuyo director fue Jaime Lloret Mauri, profesor de esta escuela. Consistía en el diseño de la red de la Escuela Politécnica Superior de Gandía. [2]

En abril de 2004, se presentaba un proyecto de Juan Francisco Baldoví Ortells, titulado “Diseño de coberturas para wlan's en zonas de área extensa”. En él, se demostraba la validez de un método de trabajo que facilitaba enormemente el cálculo y diseño de los mapas de cobertura necesarios para implantar una red inalámbrica de grandes dimensiones basada en los protocolos *IEEE 802.11b* e *IEEE 802.11g*, eliminando así el principal inconveniente con que nos encontrábamos anteriormente: la excesiva complejidad que requiere el proceso de asegurar las coberturas en toda la zona. [3]

Proyecto presentado por Verónica Espada titulado “Diseño y cobertura de la red Wireless de la EPSA”, este proyecto formaba parte de una serie de proyectos que se estaban haciendo en todas las escuelas de la Universidad Politécnica de Valencia –UPV–, para conseguir que en todas las escuelas de la UPV de Valencia, Gandía y Alcoy, se tenga conexión inalámbrica a las redes. Y dar un apoyo a las aulas de informática y laboratorios que muchas veces tanta falta hace. [4]

En el año 2011, se expuso el proyecto realizado por Laura Ferrando Moratal titulado “Rediseño y planificación de la red inalámbrica del CRAI”, dirigido por los profesores Jaime Lloret Mauri y Sandra Sendra Moratal. En él, se realizaba el estudio de la cobertura actual que ofrecen los puntos de acceso en su actual ubicación, y proponer, en función de los resultados obtenidos, el rediseño de la colocación de estos, para obtener la máxima cobertura posible dentro del edificio. [5]

1.4.- Estructura del proyecto

Para conseguir los anteriores objetivos, se ha optado por estructurar este trabajo en los siguientes apartados:

En el capítulo 1 se describen los objetivos y antecedentes de este trabajo y se detallan los contenidos de cada una de las secciones.

En el capítulo 2 se exponen los fundamentos teóricos necesarios para la mejor comprensión de las aportaciones realizadas en esta memoria.

El capítulo 3, se describe el estudio de la cobertura del IES, la formulación utilizada para realizar los diferentes cálculos, el método de trabajo utilizado, el efecto de las interferencias y se realiza un breve estudio sobre antenas.

En el capítulo 4, se muestran las medidas de señal obtenidas al realizar las mediciones con el punto de acceso, obtenidas en las diferentes plantas del edificio.

Para finalizar el PFC, en el capítulo 5, se establecerán las conclusiones obtenidas, exponiendo la opinión personal y proponiendo posibles trabajos futuros.

CAPÍTULO 2.- WiFi

2.1.- Introducción

WiFi es una marca de la Wi-Fi Alliance [6], la organización comercial que adopta, certifica y prueba que los equipos cumplen los estándares 802.11. Inicialmente era muy habitual que los puntos de acceso inalámbricos fuesen definidos por los propios fabricantes y los visitantes con estaciones clientes que intentaban comunicarse con los puntos de acceso no pudiesen, al tener hardware de otros fabricantes. Por ésta razón la Wi-Fi Alliance estandarizó el mercado con el sello WiFi. Todos los equipos que lleven el sello de WiFi podrán trabajar juntos, independientemente del fabricante. La Wi-Fi Alliance estaba formada inicialmente por:

- 3Com
- Aironet (hoy parte de CISCO)
- Harris
- Lucent
- Nokia
- Symbol Technologies

Sin embargo actualmente cuenta con más de 150 miembros. El nombre “oficial” de esta alianza es WECA (Wireless Ethernet Compatibility Alliance). Hay que tener en cuenta tres aspectos importantes sobre las redes WiFi:

- Son muy fáciles de adquirir.
- Son bastante complejas de configurar manualmente aunque ya existen interfaces amigables.
- Es extremadamente importante su protección.

En los siguientes apartados de WiFi iremos explicando con detalle dichos aspectos.

2.2.- Fundamentos

Una red inalámbrica Wifi es un sistema de comunicación de datos que proporciona conexión inalámbrica entre equipos situados dentro de la misma área de cobertura (interior o exterior) En lugar de utilizar el par trenzado, fibra óptica o cable coaxial, este tipo de redes Wifi transmiten y reciben datos a través de ondas electromagnéticas. [7]

Para conseguir este tipo de comunicaciones el modelo de interconexión de sistemas abiertos más conocidos es el modelo OSI, el cual se divide en los siguientes niveles:

- Nivel de aplicación: servicios de red a aplicaciones
- Nivel de presentación: Representación de los datos
- Nivel de Sesión: Comunicación entre dispositivos de la red
- Nivel de Transporte: Conexión extremo a extremo y fiabilidad de los datos
- Nivel de Red: Determinación de ruta e IP (Direccionamiento lógico)
- Nivel de Enlace de Datos: Direccionamiento físico (MAC y LLC)
- Nivel Físico: Señal y transmisión binaria

2.3.- Estándares de los sistemas Wifi

Con el fin de evitar el problema creado por los distintos fabricantes, el IEEE definió el estándar original 802.11 basado en el anterior 802 para redes cableadas. Fue publicado en 1999 y reafirmado en 2003. El estándar 802.11 se rige por los siguientes protocolos: [8]

- IEEE Std 802.11a TM -1999,
- IEEE Std 802.11b TM -1999, IEEE Std 802.11b-1999 / Corrección 1-2001,
- IEEE Std 802.11d TM -2001,
- IEEE Std 802.11g TM -2003,
- IEEE Std 802.11h TM -2003,
- IEEE Std 802.11i TM -2004,
- IEEE Std 802.11j TM -2004
- IEEE Std 802.11e TM -2005.
- IEEE Std 802.11k TM -2008: Medición de recursos radio de LAN inalámbricas
- IEEE Std 802.11r TM -2008: Configuración servicio rápido básico (Basic Service Set BSS) Transición
- IEEE Std 802.11y TM -2008: 3.650 a 3.700 MHz Funcionamiento en EE.UU.
- IEEE Std 802.11w TM -2009: Protección y gestión de marcos (Frames)
- IEEE Std 802.11n TM -2009: Mejoras para aumentar el rendimiento
- IEEE Std 802.11p TM -2010: El acceso inalámbrico en vehículos
- IEEE Std 802.11z TM -2010: Extensión para la configuración de enlace directo (Direct LS)
- IEEE Std 802.11v TM -2011: IEEE 802.11 Gestión de red inalámbrica
- IEEE Std 802.11u TM -2011: Interconexión con redes externas
- IEEE Std 802.11s TM -2011: Creación de mallas de redes.

En el estándar 802.11 se define el uso de los dos niveles inferiores de la arquitectura o del modelo OSI:

- Nivel Físico: Señal y transmisión binaria o capa física
- Nivel de Enlace de Datos: Direccionamiento físico (MAC y LLC)

2.3.1.- La capa física de 802.11:

La capa física se refiere a las transformaciones que se hacen a las secuencias de bits para transmitirlos de un lugar a otro. En el protocolo 802.11 esta capa física la componen dos subcapas:[9]

- PLCP (Physical Layer Convergence Protocol):

Se encarga de codificación y modulación.

- Preámbulo (144 bits = 128 sincronismo + 16 inicio trama).
- HEC (Header Error Control): CRC 32
- Modulación (propagación) DSSS, FHSS u OFDM.

- PMD (Physical Medium Dependence):

Es la que crea la interfaz y controla la comunicación hacia la capa MAC (a través del SAP: Service Access Point).

En la siguiente tabla mostramos las modulaciones de los estándares más utilizados:

Estándar	Modulación
802.11	FHSS, DSSS, IR
802.11b	DSSS
802.11g	DSSS y OFDM
802.11a	OFDM
802.11n	MIMO-OFDM

Tabla 1 Estándar con su modulación

DISTINTAS MODULACIONES UTILIZADAS

IR

Este medio de transmisión fue definido y utilizado en las primeras versiones del 802.11. Su espectro está comprendido entre los 850 y 950 nm, con velocidades de 1 y 2 Mbps, usando modulación PPM. Por lo que se usan frecuencias muy altas para transportar los datos. Pero tienen un gran inconveniente, y es que al igual que la luz, los infrarrojos no pueden traspasar los objetos opacos. Por lo que el emisor y el receptor tienen que tener visión directa. Por lo que habitualmente permiten unas distancias muy pequeñas (máximas típicas de 90 centímetros a 1 metro). Por lo que su funcionalidad se ve reducida drásticamente, siendo inviables para usuarios móviles.

DSSS

Con la técnica DSSS se genera un patrón de bits redundante (señal de chip) para cada uno de los bits que componen la señal. Cuanto mayor sea esta señal, mayor será la resistencia de la señal a las interferencias. El estándar IEEE 802.11 recomienda un tamaño de 11 bits, pero el óptimo es de 100. En recepción es necesario realizar el proceso inverso para obtener la información original.

La secuencia de bits utilizada para modular los bits se conoce como secuencia de Barker (también llamado código de dispersión o PseudoNoise). Es una secuencia rápida diseñada para que aparezca aproximadamente la misma cantidad de 1 que de 0.

Solo los receptores a los que el emisor haya enviado previamente la secuencia podrán recomponer la señal original. Además, al sustituir cada bit de datos a transmitir, por una secuencia de 11 bits equivalente, aunque parte de la señal de transmisión se vea afectada por interferencias, el receptor aún puede reconstruir fácilmente la información a partir de la señal recibida. Esta secuencia proporciona 10.4 dB de aumento del proceso. Una vez aplicada la señal de chip, el estándar IEEE 802.11 definió dos tipos de modulación para la técnica de espectro ensanchado por secuencia directa (DSSS), la modulación DBPSK (Differential Binary Phase Shift Keying) y la modulación DQPSK (Differential Quadrature Phase Shift Keying). Posteriormente se desarrolló la CCK.

Modulación:

- 1 Mbps: DBPSK (modulación por desplazamiento de fase bivalente diferencial).
- 2 Mbps: DQPSK (modulación por desplazamiento de fase cuadrivalente diferencial).
- 5,5 / 11 Mbps: CCK (modulación de código complementario) o PBCC (codificación convolucional binaria de paquetes).

Tanto en Estados Unidos como en España la banda Industrial, Científica y Médica (ICM en España o ISM en EE.UU.) de 2,4 GHz, de uso común, se extiende desde 2400 a 2483,5 MHz. Sin embargo el número de canales para la implementación americana y europea no es el mismo. Hay que tener en cuenta que la señal DSSS de cada canal no se limita sólo a éste, si no que interfiere en el resto de los canales. Dicha señal ocupa 22 MHz y los canales tienen una separación de 5 MHz.

En el caso de Estados Unidos ([FCC](#) Federal Communications commission en USA) la tecnología DSSS utiliza un rango de frecuencias que va desde los 2,412 GHz hasta los 2,462 GHz (usando 11 canales), mientras que en Europa ([ETSI](#) European Telecommunications Standards Institute), en Europa la tecnología DSSS utiliza el rango de frecuencias que va desde 2,412 GHz hasta los 2,472 GHz (usando 13 canales). Este ancho de banda se subdivide en canales de 5 MHz, como ya hemos mencionado. En el caso de España se utilizan los canales entre 1 y 13, preferentemente los canales 1,7 y 13 para evitar interferencias, mientras que en Estados Unidos son el 1, 6 y 11. En cuanto a potencias de transmisión, la diferencia es más notable puesto que la regulación es mucho más permisiva en Estados Unidos. A grandes rasgos, en esta banda, la FCC aprueba transmitir 40 veces, 16 dB más, la potencia máxima permitida en España. [10]

FHSS

La tecnología de espectro ensanchado por salto en frecuencia (FHSS) consiste en transmitir una parte de la información en una determinada frecuencia durante un intervalo de tiempo inferior a 400 ms (llamado dwell time). Pasado este tiempo se cambia la frecuencia de emisión y se sigue transmitiendo en otra frecuencia. De esta manera cada tramo de información se va transmitiendo en una frecuencia distinta durante un intervalo muy corto de tiempo. El orden en los saltos de frecuencia se determina según una secuencia pseudo aleatoria almacenada en unas tablas, y que tanto el emisor y el receptor deben conocer.

Si se mantiene la sincronización en los saltos de frecuencias se consigue que, aunque en el tiempo se cambie de canal físico, a nivel lógico se mantiene un solo canal por el que se realiza la comunicación. Esta técnica también utiliza la zona de los 2.4 GHz, la cual organiza en 79 canales con un ancho de banda de 1 MHz cada uno. El número de saltos por segundo es regulado por cada país, así, por ejemplo, Estados Unidos fija una tasa mínima de saltos de 2.5 por segundo.

El estándar IEEE 802.11 define la modulación aplicable en este caso. Se utiliza la modulación en frecuencia FSK (Frequency Shift Keying). La técnica FHSS sería equivalente a una multiplexación

en frecuencia. El inconveniente del DSSS en relación con el FHSS es que es más vulnerable a las interferencias de banda estrecha.

OFDM

En una comunicación inalámbrica a alta tasa de bit, se requiere un gran ancho de banda, en estos casos el canal es susceptible a ser selectivo en frecuencia (no plano). Dividir el ancho de banda total en canales paralelos más estrechos, cada uno en diferente frecuencia (FDM), reduce la posibilidad de desvanecimiento por respuesta no plana en cada subportadora. Cuando estas subportadoras son ortogonales en frecuencia, se permite reducir el ancho de banda total requerido aún más, como se muestra en el siguiente esquema.

Los problemas de interferencia entre símbolos (ISI), y de interferencia intercanal (ICI) son eliminados del símbolo OFDM, cuando la longitud del tiempo de guarda es mayor al máximo valor del esparcimiento del retardo. En un transmisor OFDM el flujo original de datos con duración de símbolo T' es convertido serie a paralelo en J grupos de subportadoras con duración de símbolo T . La mayor eficiencia de ancho de banda se logra cuando esta duración T es igual a la duración por el número de grupos T' , no obstante lo usual es que se añada un tiempo de guarda o T_g .

OFDM puede eliminar el desvanecimiento selectivo en frecuencia cuando T_g es mayor que el esparcimiento del retardo del canal. El estándar 802.11a utiliza la banda de 5 GHz, usando la técnica de OFDM. En el caso de OFDM en la banda de 2.4 GHz, los canales utilizados son los mismos que en el 802.11b y hay que tener en cuenta que el ancho de banda del canal es de 20 MHz con lo que solo podrán trabajar tres canales a la vez, para que la interferencia no sea demasiado grande.

2.3.2.- La capa de enlace de 802.11:

La capa de enlace es la segunda capa del modelo OSI, es responsable de la transferencia fiable de información a través de un circuito de transmisión de datos. El objetivo de la capa de enlace es conseguir que la información fluya, libre de errores, entre dos máquinas que estén conectadas directamente. [9]

Se agrupará en el nivel de enlace, los dos subniveles que lo conforman (MAC: Medium Access Control y LLC: Logical Link Control). Desde el punto de vista de 802.11, solo interesa hacer referencia al subnivel MAC.

Capa MAC: Controla el flujo de paquetes entre 2 o más puntos de una red. Emplea la modulación CSMA/CA. Sus funciones principales son:

- Exploración: Envío de Beacons (balizas) que incluyen los SSID: Service Set identifiers o también llamados ESSID (Extended SSID).
- Autenticación: Proceso previo a la asociación. Existen dos tipos:

- Autenticación de sistema abierto: Obligatoria en 802.11, se realiza cuando el cliente envía una solicitud de autenticación con su SSID a un Punto de Acceso, el cual autorizará o no. Este método aunque es totalmente inseguro, no puede ser dejado de lado, pues uno de los puntos más fuertes de WiFi es la posibilidad de conectarse desde sitios públicos anónimamente (Terminales, hoteles, aeropuertos, etc.).
- Autenticación de clave compartida: Es el fundamento del protocolo WEP (hoy totalmente desacreditado), se trata de un envío de interrogatorio (desafío) por parte del Punto de Acceso al cliente.
- Asociación: Este proceso es el que le dará acceso a la red y solo puede ser llevado a cabo una vez autenticado.
- Seguridad: Mediante WEP, con este protocolo se cifran solamente los datos (no los encabezados), aunque actualmente se prefieren WPA Y WPA2.
- RTS/CTS (solicitud de envío/ preparado para enviar): El aspecto más importante es cuando existen “nodos ocultos”, pues a diferencia de Ethernet, en esta topología sí pueden existir nodos que no se escuchen entre sí y que solo lleguen hasta el Punto de Acceso, (Ej. su potencia está limitada, posee un obstáculo entre ellos, etc.), en estos casos se puede configurar el empleo de RTS/CTS. Otro empleo importante es para designar el tamaño máximo de trama (en 802.11 es: mínimo=256 y máximo=2312 Bytes).
- Modo ahorro de energía: Cuando está activado este modo, el cliente envía previamente al Punto de Acceso una trama indicando “que se irá a dormir”, el Punto de Acceso, coloca en su buffer estos datos. Se debe tener en cuenta que por defecto este modo suele estar inactivo (denominado Constant Awake Mode: CAM).
- Fragmentación: Es la capacidad que tiene un Punto de Acceso de dividir la información en tramas más pequeñas.

La información se envía en paquetes. El estándar IEEE 802.11 WiFi define distintos tipos de paquetes con diversas funciones. Veremos una muy breve descripción de los mismos. Hay 3 tipos diferentes de paquetes:

Los paquetes de Management establecen y mantienen la comunicación. Los principales son: “Association request”, “Association response”, “Beacon”, “Probe request”, “Probe response” “Autenticación”, etc.

Los paquetes de Control ayudan en la entrega de datos. Tienen funciones de coordinación.

Los paquetes de Datos contienen la dirección MAC del remitente y destinatario, el SSID, etc.

a) Paquetes de Management

Association Request:

Incluye información necesaria para que el Punto de Acceso considere la posibilidad de conexión. Uno de los datos es el SSID de la red inalámbrica WiFi o del Punto de Acceso al que se intenta conectar.

Association Response:

Es el tipo de paquete que envía el Punto de Acceso para avisar de la aceptación o denegación del pedido de conexión.

Beacon:

Periódicamente los Puntos de Acceso inalámbricos WiFi, envían "señales", como los faros, para anunciar su presencia y que todas las estaciones que estén en el rango (100 metros, aproximadamente) sepan que Puntos de Acceso están disponibles. Estos paquetes se denominan "Beacons" y contienen varios parámetros, entre ellos el SSID del Punto de Acceso.

Authentication:

Es el paquete por el cual el Punto de Acceso Inalámbrico acepta o rechaza a la estación que pide conectarse. Como vimos en la parte de seguridad WiFi, hay redes inalámbricas WiFi abiertas donde no se requiere autenticación y las redes inalámbricas protegidas donde se intercambian varios paquetes de autenticación con "desafíos" y "respuestas" para verificar la identidad del cliente.

Disassociation:

Es un tipo de paquete que envía la estación cuando desea terminar la conexión, de esta manera el Punto de Acceso Inalámbrico sabe que puede disponer de los recursos que había asignado a esa estación.

No obstante existen algunos tipos más de paquetes de Management, pero los más relevantes son los que se acaban de mencionar.

b) Paquetes de Control

Request to Send (RTS):

Su función es la de evitar colisiones. Es la primera fase antes de enviar paquetes de datos.

Clear to Send (CTS):

Tiene la función de responder a los RTS. Todas las estaciones que captan un CTS, saben que deben esperar un tiempo para transmitir pues alguien está ya usando el canal. Existe un tiempo de espera (slot time) que es distinto para el estándar WiFi 802.11b y para el estándar WiFi 802.11g.

Acknowledgement (ACK):

La estación receptora del paquete enviado, chequea el paquete recibido por si tiene errores. Si lo encuentra correcto, envía un "ACK" con lo cual el remitente sabe que el paquete llegó correcto, pues si no, lo debe enviar otra vez. Una vez que las demás estaciones captan el ACK, saben que el canal está libre y pueden intentar ellas enviar sus paquetes.

c) Paquetes de Datos:

Estos paquetes llevan mucha información de tipo "administrativa" y, además los datos que queremos transmitir a través de la red inalámbrica WiFi.

Generalmente la red inalámbrica WiFi debe utilizar muchísimos paquetes de datos, para transmitir un archivo de datos. Mucho más aún cuando lo que se desea transmitir es vídeo. Los paquetes de datos WiFi, tienen muchos campos con información necesaria para la transmisión. Uno de ellos es la "Mac Adress" de la estación receptora y del remitente, el BSSID, el número de secuencia de ese paquete, etc.

2.3.- Modelos de propagación

Los modelos de propagación ayudan a *predecir* la cobertura en un área específica permitiendo así al diseñador de la red probar varios emplazamientos para el punto de acceso hasta encontrar el que más de ajuste a sus necesidades sin tener que realizar una instalación real.

Podemos encontrar modelos de propagación basados en métodos estadísticos y basados en trazado de rayos tanto en dos como en tres dimensiones. En cualquier caso hemos de aportar la información relativa a la distribución de la planta del edificio, los materiales de construcción de las paredes, suelos, puertas...

Estas herramientas se ofrecen como productos comerciales que presentan un elevado precio de mercado y aunque simplifican el tiempo de diseño, tienen inconvenientes como por ejemplo el tiempo que se requiere en introducir en el modelador todos los datos necesarios para la simulación.

La principal ventaja del método que presentamos en este documento es que permite realizar el diseño de toda una red mediante sencillos pasos y sin tener que realizar cálculos complejos, tan

sólo con un ordenador portátil y una tarjeta de red, evitando así tener que adquirir sofisticados programas informáticos o instrumental de laboratorio tales como analizadores de radiofrecuencia.

Las pruebas realizadas arrojan unos resultados excelentes y sugieren el empleo del método en futuros proyectos.

2.4.- Elementos básicos de una red

Punto de Acceso

Es un dispositivo inalámbrico central de una red inalámbrica WiFi que por medio de ondas de radio frecuencia (RF) recibe información de diferentes dispositivos móviles y la transmite a través de cable al servidor de la red cableada o viceversa.

El estándar 802.11 es bastante ambiguo y no define con claridad todas las funciones que debería realizar un Punto de Acceso y sólo lo describe de una manera muy superficial. Esto dio lugar a que cada fabricante lo diseñara según su criterio y, por lo tanto existen en el mercado decenas de Puntos de Acceso con características y funcionalidades muy dispares.

Es aconsejable mantener el punto de acceso en un lugar alto para poder disponer de una buena emisión/recepción. Es posible que si no disponemos de la velocidad de emisión/recepción esperada sea por mala ubicación del punto de acceso, o de obstáculos que se interpongan entre el punto de acceso y el dispositivo WiFi (paredes, puertas...).

Adaptadores de red inalámbricos

Los hay de muy diversos tipos como ordenadores portátiles, PDA, teléfonos móviles... Estos pueden tener instaladas diferentes clases de tarjetas, mayoritariamente:

- Las tarjetas PCI para WiFi se agregan a los ordenadores de sobremesa, permiten un acceso muy eficiente, la única desventaja de este tipo de tarjeta es que requiere abrir el ordenador.
- Las tarjetas PCMCIA eran un modelo muy utilizado en ordenadores portátiles; aunque en un principio la mayor parte de estas tarjetas solo eran capaces de llegar hasta la tecnología del 802.11b.
- Las tarjetas USB para WiFi son el tipo de tarjeta más moderno que existe y más sencillo de conectar a un PC, ya sea de sobremesa o portátil, haciendo uso de todas las ventajas que tiene la tecnología USB. La mayor parte de las tarjetas USB actuales permiten utilizar la tecnología 802.11n.

Otros elementos

Toda comunicación por radio, ya sea para transmisión o recepción requiere algún tipo de antena. La antena es un elemento fundamental de cualquier instalación de radio, siendo tan importante, que de ella depende que la señal llegue hasta donde tenemos previsto con el mayor nivel posible para poder establecer sin problemas las comunicaciones. Las antenas reciben potencia del transmisor y la

lanzan al espacio en forma de onda electromagnética. En la parte del receptor, otra antena recoge la energía de las ondas electromagnéticas y la convierte en corriente eléctrica que el receptor puede detectar. Explicaremos los diferentes conceptos básicos de antenas y luego expondremos unos ejemplos

2.5.- Infraestructuras típicas redes Wifi

Para poder implantar redes o infraestructuras LAN inalámbricas es imprescindible realizar un trabajo de planificación y diseño previo. Una parte del estándar contempla la comunicación en redes "ad-hoc" simples. Estas redes están compuestas por varias estaciones de trabajo con un alcance de transmisión limitado interconectadas entre sí. No obstante, estas topologías no necesitan ningún sistema de control ni de transmisión central.

El estándar IEEE 802.11 utiliza "puntos de acceso", también llamada red estructural. Los puntos de acceso son componentes de red que controlan y gestionan toda la comunicación que se produce dentro de una célula LAN inalámbrica, entre células LAN inalámbricas y, finalmente, entre células LAN inalámbricas y otras tecnologías LAN. Los puntos de acceso garantizan un empleo óptimo del tiempo de transmisión disponible en la red inalámbrica.

2.6.- Seguridad

Antes de desarrollar este punto hay que tener en cuenta los siguientes aspectos:

- Todos los que estén en un radio de 100 metros aproximadamente son intrusos potenciales.
- La información se transmite por el aire y, por lo tanto, puede ser "vista" por cualquiera que esté dentro de un radio de 100 metros.
- Nuestros usuarios pueden conectarse a redes que se encuentren abiertas, por confusión o voluntariamente, en el radio de 100 metros y esto puede ser muy peligroso para la seguridad de nuestra organización.
- Cualquier "vecino" puede captar los login y las contraseñas cuando los usuarios intentan conectarse.

Existen varios métodos para proporcionar seguridad:

- Filtrado de direcciones MAC/ MAC Address:

Consiste en suministrar a cada Punto de Acceso Inalámbrico un listado de las direcciones MAC de los equipos que están autorizados a conectarse a la red. De esta manera los equipos que no figuren en la lista serán rechazados. Las desventajas de este método son las siguientes:

1. Si hay muchos Puntos de Acceso en la organización se producen errores al teclear la dirección MAC repetidamente en todos los Puntos de Acceso. Esto producirá inconvenientes con los usuarios "legales" que son rechazados. Además es muy trabajoso.
2. Como se vio, la transmisión de la información en WiFi se hace por medio de paquetes. En muchos de estos figura el Mac Address, que generalmente no va encriptada, y obviamente puede ser capturada por un hacker. Existen programas en Internet que permiten "imitar" y reemplazar esta Dirección MAC. Si esta es capturada por un hacker, toda la seguridad del sistema queda desarticulada.
3. La Dirección MAC, es una característica del hardware (no del usuario). Si el hardware (PC, PDA, USB, etc.) se pierde o es robado, el que lo encuentre podrá tener libre acceso a la red inalámbrica WiFi pues pasaría el control del filtro.

WEP (Wired Equivalent Privacy)

La idea de los promotores del estándar 802.11b consistía en encriptar el tráfico entre Puntos de Acceso y estaciones móviles y compensar así la falta de seguridad que se obtiene al enviar la información por un medio compartido como es el aire. Es así como, todos los Puntos de Acceso y dispositivos WiFi incluyen la opción de encriptar las transmisiones con el Protocolo de Encriptación WEP. Hay que establecer una clave secreta en el Punto de Acceso, que es compartida con los clientes WiFi. Con esta clave, con el algoritmo RC4 y con un Vector de Inicialización (IV) se realiza la encriptación de los datos transmitidos por Radio Frecuencia.

A medida que fue aumentando la difusión de las Redes Inalámbricas WiFi, se fueron detectando graves problemas de seguridad informática en el Protocolo de Encriptación WEP:

- El Vector de Inicialización (IV), es demasiado corto pues tiene 24 bits y esto ocasiona que en redes inalámbricas WiFi con mucho tráfico se repita cada cierto tiempo.
- Hay algunos dispositivos clientes (tarjetas, USB) muy simples que el primer Vector de Inicialización que generan es cero y luego 1 y así sucesivamente. Es fácil de adivinar.
- Las claves que se utilizan son estáticas y se deben cambiar manualmente. No es fácil modificarlas frecuentemente.
- No tiene un sistema de control de secuencia de paquetes. Varios paquetes de una comunicación pueden ser robados o modificados sin que se sepa.

Esta situación generó la aparición de múltiples aplicaciones capaces de crackear la seguridad WEP en poco tiempo. Según la capacidad de los equipos utilizados, la habilidad del hacker y el tráfico de la red inalámbrica WiFi, se puede tardar desde 15 minutos a un par de horas en descifrar una clave WEP. [11]

VPN

Las VPN son una herramienta diseñada para proteger las comunicaciones. Las VPN crean un túnel criptográfico entre 2 puntos. La encriptación se realiza mediante el protocolo IPsec de la IETF (Internet Engineering Task Force, en castellano Grupo de Trabajo en Ingeniería de Internet).

Cuando se empezó a tomar conciencia de la fragilidad de la seguridad WiFi debido a las carencias del protocolo WEP, en algunos sectores se difundió el uso de VPN para reforzar la encriptación. Se "tira" un túnel entre el cliente de la red inalámbrica WiFi y el servidor. De esta manera, queda protegida la conexión con IPsec que es un método de encriptación robusto y muy difícil de hackear. En la figura se ve un ejemplo donde se sigue utilizando el protocolo WEP. Esto es opcional, pues WEP no añade seguridad adicional a IPsec.

La utilización de las VPN añade bastante seguridad a las redes inalámbricas pero tiene ciertas desventajas:

1. Para un número grande de clientes WiFi, suele ser una solución bastante costosa.
2. Ayudaron bastante a mejorar la seguridad WEP, pero ahora que existe WPA y WPA2 no hacen falta.
3. Están diseñadas para proteger a partir de la capa 3 del modelo OSI, pero las redes inalámbricas WiFi (802.11) funcionan en la capa 2.

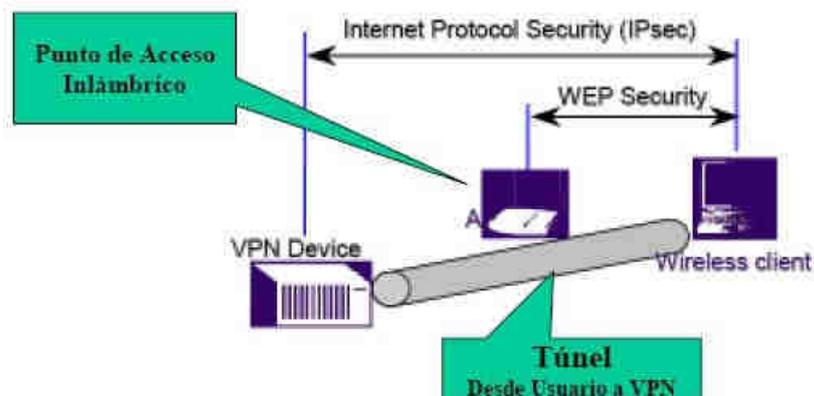


Imagen 1 Red Privada Virtual

WPA (WiFi Protected Access)

Es un nombre comercial que promueve la WiFi Alliance. La parte técnica está definida y estipulada en el estándar de seguridad IEEE 802.11i.

La WiFi Alliance, estaba interesada en buscar una rápida solución a los inconvenientes de WEP. Además se buscaba que la solución WPA, funcionara con los Puntos de Acceso y dispositivos WiFi, ya vendidos a miles y miles de usuarios. Por este motivo se decidió desarrollar dos soluciones. Una

rápida y temporal que se denominó WPA y otra más definitiva para aplicar en nuevos Puntos de Acceso, y no en los existentes, que se llamó WPA2.

Los Puntos de Acceso existentes hasta ese momento (2001/2002) ya tenían la capacidad de su hardware ocupada al 90% con diversas funciones, por lo tanto cualquier modificación que se le hiciera al WEP, no podría requerir mucha capacidad de proceso.

Se desarrolló un protocolo temporal denominado TKIP (Temporal Key Integrity Protocol) que es una "envoltura" del WEP y es conocido como WPA. El WPA (primera fase del estándar 802.11i) fue aprobado en Abril de 2003. Desde Diciembre de 2003 fue declarado obligatorio por la WiFi Alliance. Esto quiere decir que todo Punto de Acceso Inalámbrico que haya sido certificado a partir de esta fecha, ya debe soportar "nativamente" WPA. Todo Punto de Acceso anterior a Diciembre de 2003 puede soportar "nativamente" sólo WEP.

Las mejoras de WPA con respecto a WEP son las siguientes:

- Se incrementó el Vector de Inicialización (IV) de 24 bits a 48.
- Se añadió una función MIC (Message Integrity Check) para controlar la integridad de los mensajes. Detecta la manipulación de los paquetes.
- Se reforzó el mecanismo de generación de claves de sesión

Existen 2 versiones de WPA, una "home" o "Personal" que es para uso casero y de pymes, y otra más robusta denominada "Enterprise". No vienen activadas por defecto y deben ser activadas durante la configuración. Los Puntos de Acceso antiguos "emparchados" o actualizados de WEP a WPA se vuelven más lentos, generalmente y, si bien aumenta la seguridad, disminuye el rendimiento.

WPA2

WPA2, es el nombre que le dio la WiFi Alliance a la segunda fase del estándar IEEE 802.11i. La seguridad es muchísimo más robusta que la que ofrece WPA. WPA2 ya no se basa en un parche temporal sobre el algoritmo RC4 y, en su lugar, utiliza el algoritmo de encriptación AES - recomendado por el NIST (Instituto Nacional de Estándares y tecnología), de los más fuertes y difíciles de crackear en la actualidad. Este algoritmo de encriptación requiere un hardware más robusto, por lo tanto los Puntos de Acceso antiguos no se pueden utilizar con WPA2. WPA2 es requisito obligatorio para todos los productos WiFi, desde Marzo de 2006.

Hay que tener mucho cuidado con productos anteriores a esas fechas, pues no son capaces de soportar WPA2. La implementación de protección que se aplica en el estándar de seguridad WiFi 802.11i, se conoce con el acrónimo CCMP y está basada, como ya se comentó, en el algoritmo de encriptación AES. El cifrado que se utiliza es simétrico de 128 bits y el Vector de Inicialización (IV) tiene una longitud de 48 bits.

El nuevo estándar exigió cambios en los paquetes que utilizan las redes inalámbricas WiFi para transmitir la información. Por ejemplo en los paquetes de "Beacons" o "Association Request" hubo que incluir datos sobre el tipo de encriptación: WEP, TKIP, CCMP, o sobre el tipo de autenticación: 802.1x (que ahora veremos) o contraseña. Esto explica una vez más, porque los Puntos de Acceso y dispositivos Palm o PDA muy antiguos no funcionan con WPA2.

Para finalizar, al igual que con WPA, existen 2 versiones: "WPA2 Personal" que sólo requiere contraseña y "WPA2 Enterprise" que requiere 802.1x y EAP. En el momento de la configuración se debe estipular cual se va a utilizar. [12]

ESTÁNDAR IEEE 802.1x

Durante los primeros años de este siglo (XXI), cuando sólo existía la encriptación WEP y antes de que fuera desarrollado el estándar de seguridad 802.11i con la encriptación WPA y WPA2, el IEEE comenzó a buscar soluciones que fueran capaces de mejorar la Seguridad WiFi. El resultado buscado se consiguió adaptando el estándar 802.1x que se había aprobado en 2001 para redes cableadas. En 2004 se finalizó la adaptación para redes inalámbricas WiFi. Este estándar de seguridad en redes se basa en el control de acceso a puertos. El 802.11i está basado en el componente de autenticación 802.1x.

El estándar 802.1x constituye la columna vertebral de la seguridad WiFi y es imprescindible y muy recomendable su utilización en toda red empresarial que pretenda lograr una seguridad robusta. El estándar 802.1x introduce importantes cambios en el esquema de seguridad WiFi.

- Se necesita autenticar a los usuarios antes de conectarse a una red inalámbrica WiFi.
- La autenticación se realiza con un protocolo conocido como EAP (Extensible Authentication Protocol). Existen varias versiones de EAP: LEAP, TLS, TTLS, PEAP, FAST.
- La autenticación se realiza mediante un servidor de tipo RADIUS.

En comparación con otros modelos hay que resaltar algunos cambios de fundamental importancia:

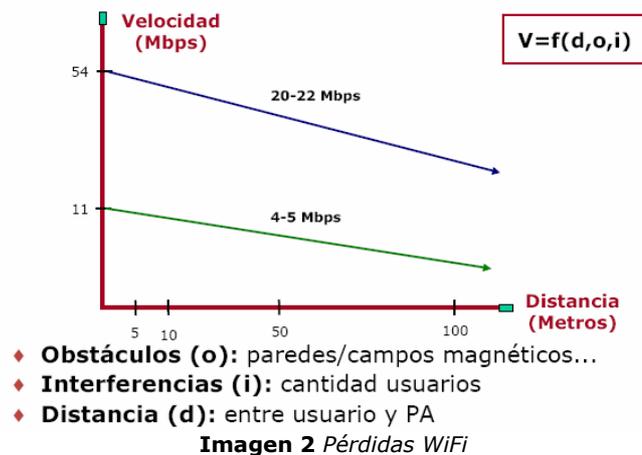
En el esquema de 802.1x, se autentica al usuario y no al dispositivo, como se hacía, por ejemplo en el filtrado de Direcciones MAC (MAC Address). Esto es muy importante porque impide que se pueda entrar a la red, aun cuando a uno le roben o pierda su ordenador portátil o PDA. La otra diferencia importante es que con 802.1x, el Punto de Acceso no puede "autorizar" a nadie el acceso a la red. La función de autorización recae en el servidor RADIUS. En 802.1x el puerto no se abre y no se permite la conexión hasta que el usuario está autenticado. El estándar define 3 elementos:

1. Servidor de Autenticación: Es el que verificará las credenciales de los usuarios. Generalmente es un servidor RADIUS.

2. Autenticador: Es el dispositivo que recibe la información del usuario y la traslada al servidor de autenticación (esta función la cumple el Punto de Acceso)
3. Suplicante: Es una aplicación "cliente" que suministra la información de las credenciales del usuario al Autenticador.

2.7.- Pérdidas de la señal

En el gráfico se muestra como en las redes inalámbricas WiFi van decreciendo las velocidades de transmisión a medida que nos alejamos del Punto de Acceso Inalámbrico. [13]



Esto se debe a que paredes y transmisiones de otros equipos van atenuando la señal. Como se ve en la figura, las velocidades promedio del estándar 802.11b son de 4-5 Mbps y no de 11 Mbps como muchos creen. De la misma manera, las velocidades promedio del estándar WiFi 802.11g son 20-22 Mbps y no 54 Mbps.

En el gráfico vemos también un recuadro con una función que conviene recordar: La velocidad de transmisión de una red inalámbrica WiFi, será función de la distancia, los obstáculos y las interferencias. Los factores de Atenuación e Interferencia de una red inalámbrica WiFi 802.11b o 802.11g son:

- Tipo de construcción
- Micro-ondas
- Teléfonos fijos inalámbricos
- Dispositivos Bluetooth
- Elementos metálicos como escaleras de emergencia y armarios
- Peceras
- Humedad ambiente
- Tráfico de personas

Hay que aclarar que la lista anterior es válida para el estándar WiFi 802.11b y el estándar WiFi 802.11g. En cuando al estándar WiFi 802.11a, si bien el concepto teórico de obstáculos e interferencias es similar, en la práctica existen varias diferencias, que en general son ventajas. Como

se explicó ésta tecnología utiliza una banda de frecuencia superior a 5 GHz que aún está muy poco "poblada" o utilizada. Por ejemplo, las interferencias de Micro-ondas, Dispositivos Bluetooth y Teléfonos fijos Inalámbricos, aquí no existen y por lo tanto es más fácil "estabilizar" una red inalámbrica WiFi que se base en el estándar WiFi 802.11a.

2.8.- Roaming

Los Puntos de Acceso Inalámbricos tienen un radio de cobertura aproximado de 100 metros, aunque esto varía bastante en la práctica entre los distintos modelos y según las condiciones ambientales y físicas del lugar (obstáculos, interferencias, etc.). Si nos interesa permitir la itinerancia (roaming) y movilidad de los usuarios, es necesario colocar los Puntos de Acceso de tal manera que haya superposición entre los radios de cobertura.

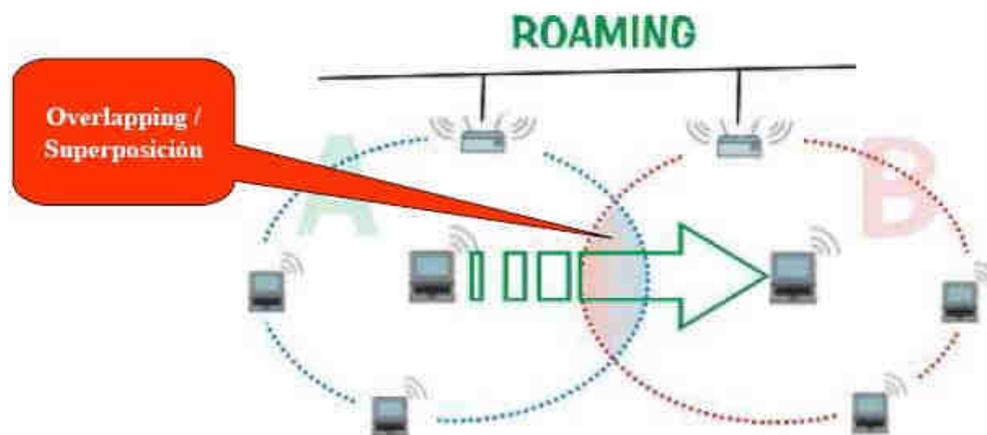


Imagen 3 Roaming

Vemos la zona de superposición indicada por la flecha roja y cómo es posible desplazarse de A a B, sin perder la señal de WiFi. El usuario está conectado inicialmente al Punto de Acceso A y en un determinado momento pasa a recibir la señal del Punto de Acceso B. Veremos cómo funciona este proceso.

a) El Roaming y los Paquetes Beacons.

1. Como se vio en "Transmisión de la Información" en WiFi, los Puntos de Acceso Inalámbricos emiten de forma intermitente unos paquetes denominados Beacons. Cuando una estación se aleja demasiado de un Punto de Acceso, "pierde la señal", es decir que deja de percibir estos Beacons que le indican la presencia del Punto de acceso.
2. Si hay superposición, se comienzan a captar los Beacons del otro Punto de Acceso, hacia el cual se está dirigiendo, a la vez que se van perdiendo gradualmente los del anterior.

El Roaming y los Paquetes ACK

1. También se vio en "Transmisión de la Información" en WiFi, que una vez que se envía un paquete de datos en las redes inalámbricas WiFi, la estación receptora envía un "O.K", denominado ACK . Si la estación emisora se aleja demasiado de la transmisora, es decir que sale del radio de cobertura, no captará los ACK enviados.
 2. Los equipos de WiFi incorporan un algoritmo de decisión que debe determinar en qué momento se desconectan del Punto de Acceso A y se conectan al Punto de Acceso B, como se ve en la figura.
- b) La problemática del Roaming: El estándar 802.11 WiFi, no contiene instrucciones detalladas sobre el tema del roaming, por lo tanto cada fabricante diseña el algoritmo de decisión según su criterio y con los parámetros que estima convenientes. Por esta razón pueden existir problemas, sobre todo en grandes ambientes, al mezclar Puntos de Acceso de diferentes fabricantes o Puntos de Acceso de un fabricante con dispositivos móviles de otras marcas. Cada uno tendrá otro algoritmo de decisión y pueden producirse "desavenencias" en el roaming.

2.9.- Cálculo de usuarios por punto de acceso

A medida que se conecten más usuarios irá repartiéndose el ancho de banda entre todos y si el ancho de banda disponible para cada uno disminuye demasiado, la conexión será de muy baja calidad. Para hacer esta estimación es necesario conocer antes el perfil de los usuarios y qué tipo de aplicaciones utilizan pues el consumo de ancho de banda puede variar muchísimo entre los que cargan y descargan archivos de Autocad, o gráficos y los que sólo utilizan la red para consultas o archivos de texto.

Una vez que se establece el ancho de banda que necesita cada grupo de usuarios (contabilidad, ingeniería, diseñadores, etc.) hay que analizar el porcentaje de uso de la red.

Fórmula para Calcular Cantidad de Puntos de acceso necesario

$$\frac{\text{Ancho de banda} \times N^{\circ} \text{ Usuarios} \times \% \text{ Utilización}}{\text{Velocidad programada}}$$

Ejemplo de Cálculo en una Red WiFi 802.11b / 802.11g:

- Ancho de Banda que se desea para cada usuario: 1 Mbps
- Número de usuarios: 100
- Utilización promedio de la red: 25%
- Velocidad estimada: 5.5 Mbps

Cálculo:

$$\frac{1Mbps \times 100usuarios \times 0,25}{5,5Mbps} = 4,5 \text{ puntos de acceso,}$$

O sea que para estos requerimientos harían falta 5 puntos de acceso.

2.10.- Aplicaciones de las redes Wifi

Enumeremos algunas de las aplicaciones posibles de ésta tecnología:

- Servicios de redes privadas empresariales: redes privadas corporativas en su extensión inalámbrica, universidades y entornos educativos o campus que crean una red extendida con fines didácticos, bibliotecas que ofrecen nuevas posibilidades ligadas a la cultura...
- Usos personales o redes comunitarias entre particulares: usos típicamente domésticos para la interconexión de ordenadores personales.
- Edificios públicos (leyes urbanísticas, protección de edificios históricos, etc.): Las soluciones inalámbricas disponen de una fácil implantación y de una gran rentabilidad. El uso de sistemas cableados puede suponer un problema en aquellos casos de edificios ya construidos, las leyes urbanísticas y las ordenanzas municipales destinadas a la protección de edificios históricos pueden multiplicar los costes y causar problemas técnicos al encargado de implantar las redes cableadas.
- Hot Spot: Se corresponde con la creación de redes electrónicas inalámbricas para la prestación de servicios, fundamentalmente acceso a Internet, en ubicaciones específicas donde se concentra un gran número de clientes potenciales, en lugares de tránsito o vía pública. Típicamente este tipo de puntos de servicio se localizan en aeropuertos, estaciones de tren, centros comerciales, hoteles, metros, centros de convenciones, cafés o restaurantes. Hay disponibles mapas de las ciudades en los que se indica dónde están los puntos de acceso o hot spot (puntos calientes), y si la red es abierta o cerrada

CAPÍTULO 3.- Diseño de la red inalámbrica

3.1.- Introducción

El despliegue de una red inalámbrica para un edificio como el instituto planteado, se encuentra con un gran número de problemas. Algunos de éstos son fáciles de descubrir en un principio, pero otros van apareciendo a lo largo del estudio de implantación específico. Para desarrollar satisfactoriamente un gran proyecto como éste, siempre es necesario usar una correcta estrategia de trabajo desde el principio. Llamaré “Directivas de Estudio” a estas estrategias, y serán aplicadas a cada edificio de la red. Estas directivas son: [14]

- Un estudio visual y una inspección del edificio a través de visitarlo físicamente, utilizando los planos correspondientes.
- Llevar a cabo los cálculos para obtener la distancia de cobertura de un Punto de Acceso de la WLAN en función de las paredes que será necesario atravesar.
- Establecer el número de Puntos de Acceso de la WLAN necesarios por planta y diseñar los mapas de cobertura teóricos.
- Colocar los Puntos de Acceso establecidos anteriormente y comprobar que la cobertura se ajusta al diseño teórico para validar la viabilidad.
- Colocar los Puntos de Acceso establecidos anteriormente y comprobar que la cobertura se ajusta al diseño teórico para validar la viabilidad.
- Si no se obtiene la cobertura estimada, sustituir los Puntos de Acceso o añadir otros nuevos.

3.2.- Formulación

Los tres mecanismos principales de la propagación de radio están atribuidos a la reflexión, a la difracción y a la dispersión. Estos tres efectos provocan distorsiones en la señal de radio, la cual sufre una atenuación debido a las pérdidas en su propagación. Efectos comunes en los edificios que no aparecen en campo abierto son las pérdidas a través de paredes, techos y pisos.

Este efecto, junto con el multicamino y la difracción causados por las esquinas, son muy difíciles de evaluar.

El valor de las pérdidas de propagación se da en la ecuación siguiente, donde se ha sumado el efecto de las pérdidas debidas al efecto multicamino:

$$L(\text{dB}) = L_0 + 10n \log(d) + kF + IW + L_{ms} \quad (3.1)$$

Donde:

L₀: Pérdidas de potencia (dB) a una distancia de 1m (40 dB a la frecuencia de 2.4 GHz),
n: Índice de variación de la atenuación con la distancia ($n=2$),
d: Distancia entre transmisor y receptor,
k: Número de pisos que cruza la señal,
F: Pérdidas por pisos,
I: Número de paredes que atraviesa la señal,
W: Pérdida por pared,
L_{ms}: Pérdidas por el efecto multicamino.

Sin embargo, desde un punto de vista práctico de diseño, usaré simples modelos estadísticos de la absorción de paredes con el objetivo de predecir cuántas paredes podrá atravesar la señal WLAN mientras que se mantiene la conectividad.

La potencia de recepción (aplicada a una red inalámbrica de estas características) se muestra en la siguiente fórmula donde la propagación de la señal atraviesa *i* paredes y el transmisor se encuentra a 1 metro de la primera pared:

$$P_r = P_{rx_{1m}} + G_{tx} - 20 \log(d) - 20 \log\left(\frac{4\pi}{\lambda}\right) - \sum L_{pi} - L_{ms} \quad (3.2)$$

Donde:

P_r: Potencia de recepción,
P_{rx 1m}: Potencia recibida a 1 metro del transmisor,
G_{tx}: Ganancia del transmisor,
G_{rx}: Ganancia del receptor,
d: Distancia entre transmisor y receptor, $20 \log(4\pi/\lambda) = 40 \text{ dB}$ para 2.4 GHz,
 $\sum L_{pi}$: Pérdidas de propagación debido a las paredes,
L_{ms}: Pérdidas de propagación debido al efecto multicamino.

El valor de *L_{ms}* ha sido estimado por medio de medidas de campo, obteniendo un valor entre 12 dB y 20 dB. Con motivo de asegurar cobertura, en este proyecto se ha tomado el escenario que da el peor caso, correspondiente a los 20 dB.

Para obtener los cálculos de las pérdidas en cada pared se han usado las siguientes formulas:

$$P_{recibida} = P_{Tx_{1m}} + G_{tx} + G_{rx} - L_{prop} - L_{ms} \quad (3.3)$$

Dónde:

P_{rec} : Potencia recibida en el lugar.
P_{Tx_{1m}} : Potencia recibida a un metro de distancia del transmisor.
G_{tx} : Ganancia del transmisor.

G_{rx} : *Ganancia del receptor.*

L_{prop} : *Pérdidas de propagación en espacio libre.*

$L_{ms} \cong 20dB \rightarrow$ *Pérdidas debidas al multicamino, que se toman como margen de seguridad en todas las medidas.*

Pérdidas de propagación

$$L_{prop} = 20 \log \left(\frac{4\pi d}{\lambda} \right) \text{dB} \quad (3.4)$$

$$\lambda = \frac{c}{f} \Big|_{f=2.4\text{GHz}} = \frac{3 \cdot 10^8}{2.4 \cdot 10^9} = 0.125 \text{ m} \quad (3.5)$$

Debida a la frecuencia del punto de acceso.

Por tanto, para 1m:

$$L_{prop_{1m}} = 20 \log \left(\frac{4\pi \cdot 1}{0.125} \right) = 40 \text{dB} \quad (3.6)$$

Potencia de transmisión a 1 m

$$P_{tx_{1m}} = P_{tx_{ap}} G_t + 10 \log(2) - L_{prop} - L_{ms} \quad (3.7)$$

Donde:

$P_{tx_{ap}} = 20 \text{dBm}$: *Potencia de transmisión del punto de acceso.*

$G_t = 2 \text{dBi}$: *La ganancia de las tarjetas, siempre constante; como ambas son Avaya tienen la misma ganancia, y como se suman se añade el "10 log(2)". Ambos datos obtenidos de sus hojas de características.*
y por tanto:

$$P_{tx_{1m}} = 20 \text{dBm} + 2 \text{dBi} + 3 \text{dB} - 40 \text{dB} - 20 \text{dB} = -38 \text{dBm} \quad (3.8)$$

Este valor de potencia depende en gran medida de los valores de potencia de los equipos usados.

Potencia de recepción para una pared

$$P_{rec} = P_{Tx_m} - 20\log(d) - L_p \quad (3.9)$$

Donde:

P_{rec} : Potencia de recepción.

d : Distancia.

L_p : Pérdidas debidas a la pared.

Y despejando se obtiene:

$$L_{A,B} = P_{Tx_m} - 20\log(d) - P_{recepción_B} \quad (3.10)$$

Donde:

$L_{A,B}$: Pérdidas producidas entre la pared que separa la "zona A" de la "zona B", cuándo el receptor está situado en la "zona A".

d : Distancia del punto de acceso al lugar de la medición de la "zona B".

$P_{recepción_B}$: Potencia de recepción en la "zona B".

Potencia de recepción para más de 1 pared

$$P_{recepción_C} = P_{Tx_m} - 20\log(d) - L_{A,B} - L_{B,c} \quad (3.11)$$

Donde:

$P_{recepción_C}$: Potencia de recepción en la "zona C".

$L_{A,B}$: Pérdidas producidas en la suma de todas las paredes anteriores a la que se encuentra actualmente.

$L_{B,C}$: Pérdidas producidas en la pared en la que se encuentra actualmente.

Y de nuevo despejando se consigue:

$$L_{B,C} = P_{Tx_m} - 20\log(d) - P_{recepción_C} - L_{A,B} \quad (3.12)$$

Una vez obtenidas todas estas fórmulas, y con los resultados de la pérdidas de paredes se puede obtener la pérdida media de pared del edificio. Con cuyo dato y la siguiente formula se calcula la potencia de recepción umbral.

Cálculo de la potencia umbral

$$P_{rec\ umbral} = P_{tx_{1m}} - 20\log(d) - L_{med} - 10\log(n_{paredes}) \quad (3.13)$$

Donde:

$P_{rec\ umbral} = 80dB$: Potencia umbral, con esta potencia se asegura una transmisión a 11MBps.

L_{med} : Pérdida media por pared.

$n_{paredes}$: Cantidad de paredes que se puede atravesar sin perder la señal.

Y por tanto si se despeja para obtener el número de paredes se logra calcular la última fórmula que se necesita.

$$n_{paredes} = 10^{\frac{P_{tx_{1m}} - 20\log(d) - L_{med} - P_{rec\ umbral}}{10}} \quad (3.14)$$

$$d = 10^{\frac{P_{tx_{1m}} - L_{med} - P_{rec\ umbral} - 10\log(n_{paredes})}{20}} \quad (3.15)$$

3.3.- Método de trabajo

Para la realización de los cálculos necesarios en nuestro diseño emplearemos las expresiones que a continuación se muestran. Partiremos de la ecuación de transmisión de Ferris en su forma lineal: [15]

$$\frac{P_r}{P_t} = g_t g_r \left(\frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2 \quad (3.16)$$

Donde:

P_r : Potencia recibida (mW).

P_t : Potencia transmitida (mW)

g_t : Ganancia de la antena transmisora.

g_r : Ganancia de la antena receptora.

λ : Longitud de onda (m).

d : Distancia entre emisor y receptor (m).

La ecuación 3.16 puede transformarse a escala logarítmica y así podemos escribir las pérdidas de propagación como:

$$L = G_r + G_t - 20\log\left(\frac{4\pi d}{\lambda}\right) \quad (3.17)$$

Donde:

L : Pérdidas de propagación (dB).

G_t : Ganancia de la antena transmisora (dB).

G_r : Ganancia de la antena receptora (dB).

λ : Longitud de onda (m).

d : Distancia entre emisor y receptor (m).

Que podemos simplificar ya que conocemos el valor de λ que corresponde a nuestra frecuencia de trabajo: $frecuencia=2.44\text{ GHz} \Rightarrow \lambda = 12,3\text{ cm}$

$$L = G_r + G_t - 20[\log 4\pi + \log d - \log \lambda] = G_r + G_t - 40.2 - 20\log d \quad (3.18)$$

De la ecuación anterior podemos deducir que en el primer metro la señal se atenúa 40.2 dB. Las pérdidas totales las podemos calcular como la suma de todas las pérdidas que sufre la señal durante su trayecto: pérdidas por paredes, perdidas por suelos, pérdidas de propagación y las pérdidas debidas al efecto multicamino. Juntándolo todo en una misma expresión obtenemos:

$$L = L_0 + 20\log d + mS + nP + L_{mc} \quad (3.19)$$

Donde:

- L₀*: Pérdidas de propagación.
- D*: Distancia entre emisor y receptor (m).
- m*: Número de plantas (suelos) que atraviesa la señal.
- S*: Pérdidas que produce cada suelo (dB).
- n*: Número de paredes que atraviesa la señal.
- P*: Pérdidas debidas a paredes (dB).
- L_{mc}*: Pérdidas debido al efecto multicamino (dB).

Teniendo en cuenta que la potencia recibida es igual a la potencia transmitida menos las pérdidas que se producen en el trayecto podemos escribir:

$$P_r = P_t + G_t + G_r - 20\log d - 40.2 - mS - nP - L_{mc} \quad (3.20)$$

El valor de *L_{mc}* ha sido calculado mediante medidas experimentales habiéndose obtenido valores entre 12 dB y 20 dB. En nuestro caso tomaremos el caso peor para poder asegurar la cobertura en todos los casos, por lo que tomaremos *L_{mc}* = 20 dB.

A continuación calculamos la potencia recibida a 1 m del punto de acceso teniendo en cuenta que nuestro equipo emite con una potencia de 15 dBm y que tanto la antena emisora como la receptora tienen una ganancia de 2 dBi.

$$P_{r1m} = P_t + G_t + G_r - 20\log d - 40.2 - L_{mc} = 15 + 2 + 2 - 0 - 40.2 - 20 = -41.2\text{ dBm} \quad (3.21)$$

El método empleado para el cálculo de la pérdida de potencia debida a las paredes consiste en localizar dentro del edificio una zona donde aparezcan varias paredes seguidas que tengan las mismas características.



Imagen 4 Paredes consecutivas empleadas para el cálculo de pérdidas por paredes.

De acuerdo a la imagen 4 el transmisor esta fijo en la posición 0, separado 1 metro de la pared. Realizamos medidas de potencia en las posiciones 1,2,3 mediante una tarjeta de red inalámbrica conectada a un ordenador portátil. Empleando las ecuaciones (3.20) y (3.21) podemos calcular las pérdidas a través de la primera pared como:

$$L_1 = -41.2 - 20\log d - P_{r1} \quad (3.22)$$

En este caso P_{r1} es la potencia medida detrás de la primera pared y $d=2 m$. Para la segunda pared y sucesivas emplearemos:

$$L_2 = -41.2 - 20\log d - P_{r2} - L_1 \quad (3.23)$$

Conociendo las pérdidas que nos produce cada pared, y conocida también la sensibilidad del receptor, podemos calcular el máximo número de paredes que podemos atravesar:

$$n = \frac{-41.2 - 20\log d - P_u}{L_p} \quad (3.24)$$

Donde:

P_u : Potencia umbral o sensibilidad del receptor (dBm).
 L_p : Pérdidas por pared (dB).

Despejando de la ecuación (2.9) podemos calcular la máxima distancia de separación entre emisor y receptor para un número determinado de paredes:

$$d = 10^{\frac{-41.2 - nL_p - P_u}{20}} \quad (3.25)$$

Como ejemplo en la tabla 2.1 observamos la máxima distancia permitida en función del número de paredes que atraviesa nuestra señal.

	1 pared	2 paredes	3 paredes	4 paredes
Distancia (m)	50.64	14.19	13.60	7.05

Tabla 2 Máxima distancia permitida en función del número de paredes atravesadas.

Si nos encontramos con que la señal atraviesa diferentes tipos de materiales como por ejemplo paredes y cristales, o paredes con materiales distintos deberemos tenerlo en cuenta a la hora de calcular la máxima distancia. La expresión 3.25 nos quedará del siguiente modo:

$$d = 10^{\frac{-41.2 - \sum L_i P_i - P_u}{20}} \quad (3.26)$$

Donde:

$L_i P_i$: Pérdidas de propagación debidas a paredes de tipo i (dB).

3.4.- Interferencias en los puntos de acceso

Prueba 1: Interferencias entre APs de una misma subred

Se disponen de 2 APs y 4 PCs, dos de los cuales de sobremesa y los otros dos portátiles. Inicialmente se conectan los APs a través de un cable de par cruzado, cada uno a un PC de sobremesa respectivo (LAN). Los otros dos PCs estarán conectados a una WLAN a través de sendas tarjetas inalámbricas. [16]

Como primer paso se configuran todos los elementos para que formen una red (se asignan las direcciones IP 192.168.0.51 hasta la 192.168.0.56), como se muestra en la figura.

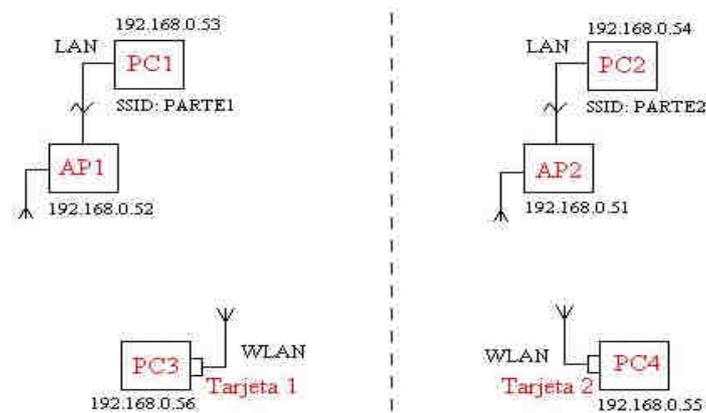


Imagen 5 Elementos de una misma subred.

Empiezo trabajando solo con el AP1 conectado al PC1 y con otro ordenador con tarjeta inalámbrica, en este caso el PC3. Transfiero un archivo de 8.054 Kbytes en un tiempo de 2'05 segundos, por lo tanto la tasa de transferencia es de 3'91 MBps (\cong 4MBps, siendo este valor de transferencia el máximo que se puede dar). Una vez comprobada esta tasa, mido la del otro conjunto formado por los PC2 y PC4 y por el AP2, desconectando en primer lugar el anterior conjunto, con el objetivo de que no produzca ninguna interferencia. La tasa esta vez es de 3'82 MBps, por lo tanto nos encontramos aún dentro de unos valores normales.

El objetivo final será el realizar las medidas de las posibles interferencias que se van a producir cuando activemos los 2 APs a la vez, realizando una combinación de canales de frecuencia entre ellos.

Así que conecto el AP1 al igual que lo hago con el AP2 y los pongo a funcionar en los canales que se muestran en la siguiente tabla.

MEDIDA DE INTERFERENCIAS ENTRE CANALES				
AP 1 (CANAL 1)		AP 2		
PCIA DE RUIDO	TASA DE TRANSFERENCIA	CANAL	PCIA DE RUIDO	TASA DE TRANSFERENCIA
N = -72dB	1'33 MBps	1	N = -69 dB	1'38 MBps
N = -81dB	2'02 MBps	2	N = -79 dB	1'95 MBps
N = -86dB	3'11 MBps	3	N = -84 dB	3'03 MBps
N = -89dB	3'56 MBps	4	N = -90 Db	3'44 MBps
N = -94dB	3'79 MBps	5	N = -94 dB	3'72 MBps

Tabla 3 Medidas de interferencias entre canales

Como se puede comprobar, el AP1 trabaja continuamente en el Canal 1, mientras que el que varía de canales es el AP2.

Nota: Los APs están conectados a la red y no al PC para realizar la transferencia de ficheros en este ejemplo. Para una mayor exactitud con la tasa ideal de 4 MBps debería conectar cada AP directamente a su PC correspondiente, eliminándose el posible ruido que pueda generar la red; de todas formas, las pruebas realizadas de la forma en las que lo he hecho son totalmente válidas ya que los resultados a buen seguro que son prácticamente los mismos de los que se hubieran obtenido de esta otra manera.

Prueba 2: Interferencia producida por dos APs sobre un mismo pc

He realizado otro experimento para el mismo tipo de medidas sobre interferencias entre canales, consistente en colocar los 2 APs en zonas donde no se vean entre ellos, es decir, separados una distancia a la cual ninguno de los dos pueda producir ningún tipo de interferencias con el otro, colocando el PC con su tarjeta inalámbrica en un punto medio donde reciba la misma potencia de ambos APs.

Esto también puede verse de una forma más gráfica en la siguiente figura.

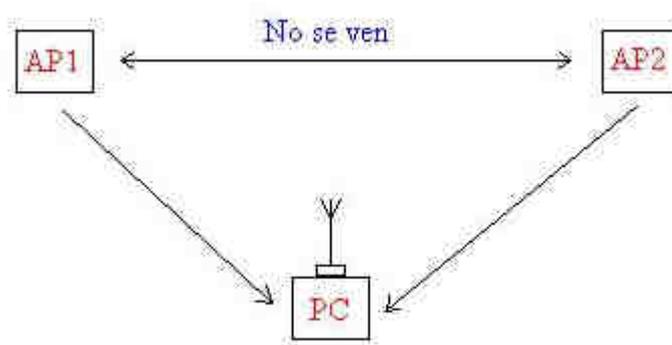


Imagen 6 Interferencia por 2 APs

Primero deajo solo un AP (llamémosle AP1) conectado, recibiendo en el PC una potencia de señal $S = -80$ dB, una potencia de ruido $N = -96$ dB y una relación señal a ruido $SNR = 16$ dB.

Posteriormente apago el AP1 y conecto el AP2, con estos valores: $S = -76$ dB, $N = -95$ dB y $SNR = 19$ dB. Más o menos recibo la misma potencia en el PC de los dos APs diferentes, por lo que la posición de todos los elementos es correcta.

El siguiente paso es conectar los dos APs a la vez y, efectivamente, debido a las interferencias mi PC no recibe ninguna señal de ninguno de los dos. Entonces muevo el PC hacia uno de los dos (en este caso hacia el AP2 que es el que mejor SNR me daba) para que reciba la señal.

Por ello, el AP1 se queda fijado al canal 1, mientras que el AP2 lo varío entre los canales 1 y 5, quedando los resultados como aparece a continuación.

MEDIDA DE INTERFERENCIAS ENTRE APs			
AP 1 (CANAL 1)	AP 2 (CANAL VARIABLE)		
	CANAL	SEÑAL Y RUIDO	SNR
	1	No se recibe	--
	2	$S = -78$ dB $N = -82$ dB	4 dB
	3	$S = -79$ dB $N = -86$ dB	7 dB
	4	$S = -79$ dB $N = -89$ dB	10 dB
	5	$S = -80$ dB $N = -92$ dB	12 dB

Tabla 4 Medidas de interferencias en APs

Inicialmente se recibe una SNR de 19 dB, por lo tanto a partir del canal 6 aparecen valores normales, sin apenas interferencias.

Como conclusión a estas pruebas, la figura que aparece a continuación, encontrada en numerosas referencias consultadas sobre la interferencia entre los canales, es totalmente válida.

CAPÍTULO 4.- DESARROLLO DEL MAPA DE COBERTURA DEL IES

4.1.- Introducción

El IES está formado por tres plantas, las cuáles se va a realizar el análisis de atenuación de las paredes del edificio. Como se puede apreciar las imágenes proporcionadas por el instituto son de muy baja resolución viéndome obligado a realizar una ampliación de las zonas donde se han hecho las mediciones.

Algunos sitios no han sido medidos, ya que las aulas eran demasiado grandes y solo se podía medir la atenuación en una pared por ser la distancia a la siguiente demasiado grande y tener en ese siguiente punto 0 dB.

Se realiza una estimación preliminar de la colocación de los puntos de acceso, y se sitúan en dichos lugares para realizar mediciones de la calidad de la señal en distintos puntos de la superficie de la planta. Según estas mediciones se decide si el emplazamiento inicial es adecuado o no, obrando en consecuencia, reubicando los puntos de acceso y repitiendo las mediciones.

Cabe reseñar que las mediciones plasmadas en este proyecto han sido obtenidas mediante el uso de una Tarjeta PC Avaya Wireless Gold y un Punto de Acceso Avaya Wireless I. Por tanto si se realizaran nuevas mediciones con otro hardware, es posible que estas variasen.

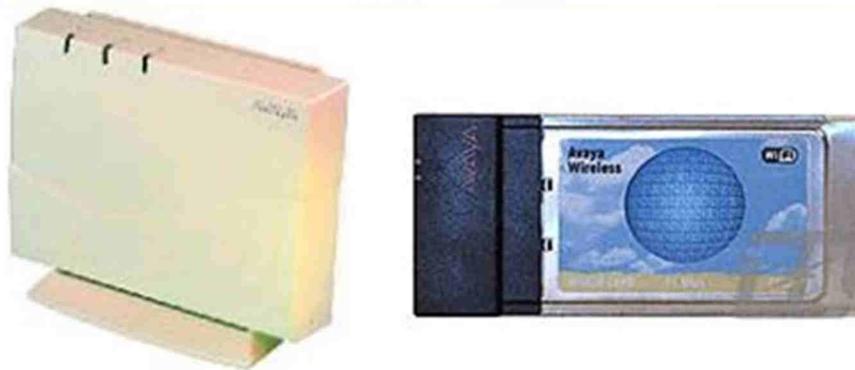


Imagen 7 Access Point y tarjeta Gold Avaya utilizadas en este proyecto

Tras las mediciones, el siguiente paso es el determinar el número de puntos de acceso que se necesitan y su localización para obtener una cobertura óptima. Una meta importante a la hora de diseñar una red es asegurar que los usuarios que se muevan de un lugar a otro, mantengan siempre una cobertura y ancho de banda adecuados. Una práctica habitual es superponer algunas áreas de cobertura con otras, para tener toda la superficie cubierta, sin zonas muertas entre los distintos puntos de acceso.

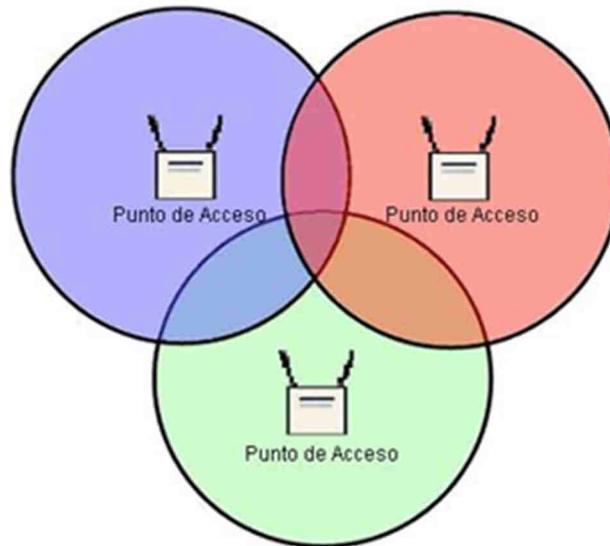


Imagen 8 Superposición de coberturas

Por último, y tras realizar las medidas se deben apuntar varias cuestiones que hay que tener en cuenta en el momento de realizar el mapa de coberturas en un edificio.

Se comprobó que en los baños y sanitarios, la señal perdía mucha potencia, habiendo casos en los que se llegó a perder hasta incluso 18 dB. Posiblemente esto es debido a la forma de los mismos, con varias paredes separando las distintas zonas. Lo cual hace que la señal se debilite muchísimo. Por tanto, durante la realización del diseño se deberá tener en cuenta que si estamos en una zona alejada del punto de acceso que se supone debe dar cobertura en un lugar, y justo antes tenemos unos cuartos de baño, posiblemente aquí la señal va a ser de menor potencia que si fuera, por ejemplo, un despacho normal.

Otro lugar que debilita mucho la señal son los huecos de la escalera. Las escaleras, normalmente, tienen un gran entramado metálico y de cimentación, que evita que la señal se propague con tanta facilidad. Por lo cual, también se deben de tener en cuenta estos puntos conflictivos, que suponen el mismo problema que sucede en los cuartos de baño, sólo que en este caso la señal suele perderse mucho más. Tras diversas medidas, y dependiendo de la escalera, habían lugares en que la señal llegó a perder 27dB.

A continuación se van a mostrar un plano genérico de donde se han efectuado dichas medidas, así como la ampliación del mismo para mostrar más claramente que puntos se han medido. También se muestra una tabla con los diferentes niveles de señal alcanzados en cada punto de medición.

4.2.- Planta baja

En la imagen 9 podemos observar el plano general de las medidas obtenidas en cada una de las paredes contiguas, con ello obtenemos el nivel de señal. Las medidas se han obtenido utilizando el método de trabajo explicado en el punto 3.2. En esta misma imagen, podemos observar que he llamado P1, P2, etc. a las medidas de cada pared, siendo los números cada una de las posiciones donde se ha obtenido la medición con la tarjeta inalámbrica y siempre a 1 metro de la pared más cercana al AP:

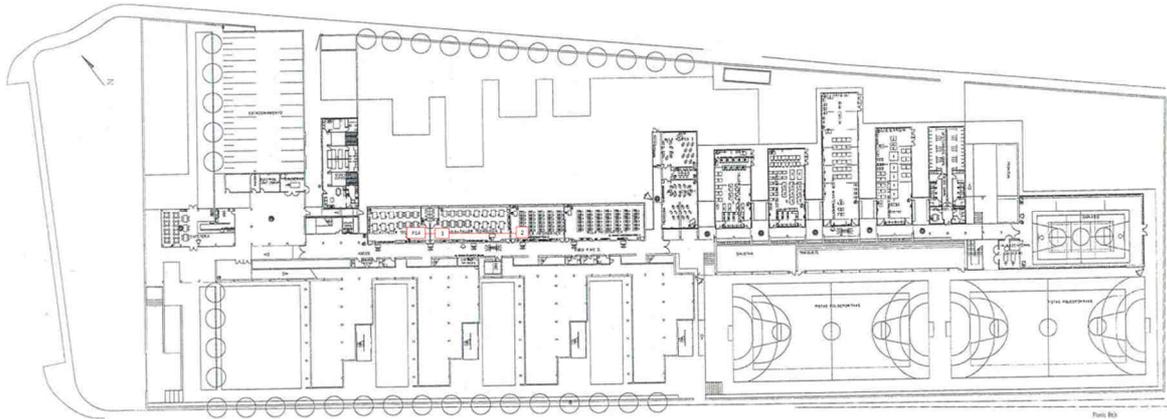


Imagen 9 Plano general de medidas planta baja

En la imagen 10 se muestra una ampliación de las zonas medidas anteriormente para facilitar su visualización. Las mediciones se realizaron usando siempre la misma configuración, se disponía el AP a un metro de la pared colindante con el aula contigua. El aula dónde estaba situado el AP tenía una superficie de 130 m². A continuación se realizaba una medición del nivel de señal en esa aula contigua, situada a un metro de la pared colindante con el aula dónde se había instalado el AP. Para finalizar se realizaba una tercera medición en la siguiente aula, también a un metro de la pared, en este caso, la distancia al AP era de 25m, y se verificaba que la señal era nula. Por tanto el aula donde se ha realizado la segunda medida tendrá cobertura de otro AP. Estas medidas se corresponden con la pared 14 (P14) En la tabla 5 se indican los niveles de señal obtenidos como resultado de la medición.

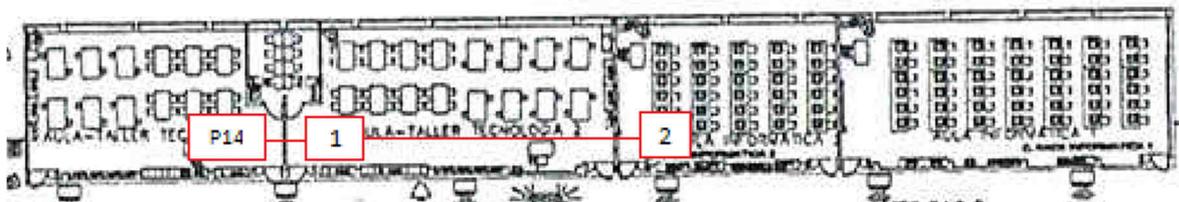


Imagen 10 Plano ampliado de medidas planta baja

En la tabla 5, observamos las medidas en los puntos 1 y 2, correspondientes al nivel de señal recibido desde el AP a través de la pared 14 (P14), mostrado en la imagen 10. Cómo se puede observar en la primera medición llega una señal aceptable, pero en la segunda el nivel es nulo:

MEDIDA (P14)	NIVEL DE SEÑAL (dBm)
1	-54
2	0

Tabla 5 Medidas de señal en la pared 14

En la imagen 11, se han representado los puntos de acceso en su posición óptima para conseguir la mayor cobertura posible y así utilizar el mínimo número de puntos de acceso. También se muestran unas tablas con el nivel de señal obtenido.

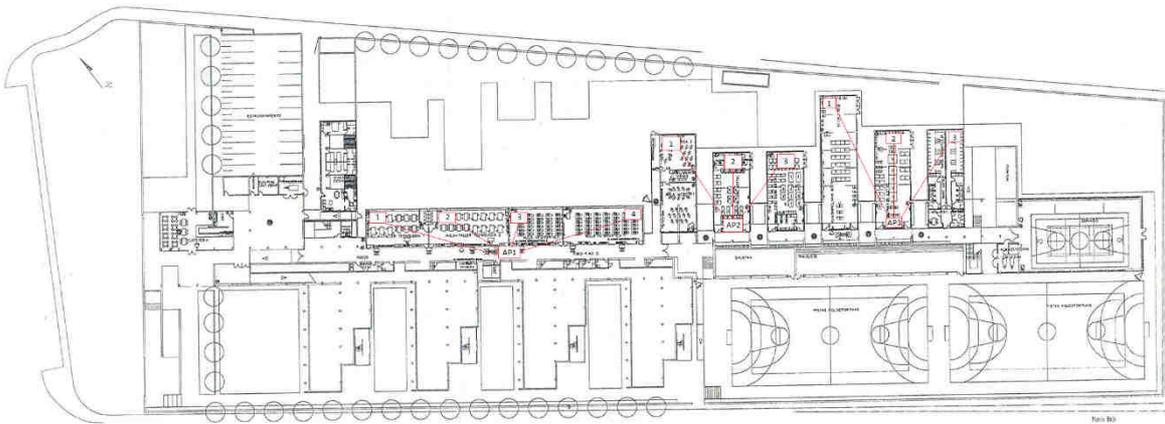


Imagen 11 Plano general de APs en la planta baja

En las imágenes 12 y 13 se muestran las imágenes ampliadas de la posición de los puntos de acceso (APn) situados en su situación óptima para conseguir la máxima cobertura junto con una tabla en la que mostramos las medidas obtenidas en cada uno de los puntos de medición.

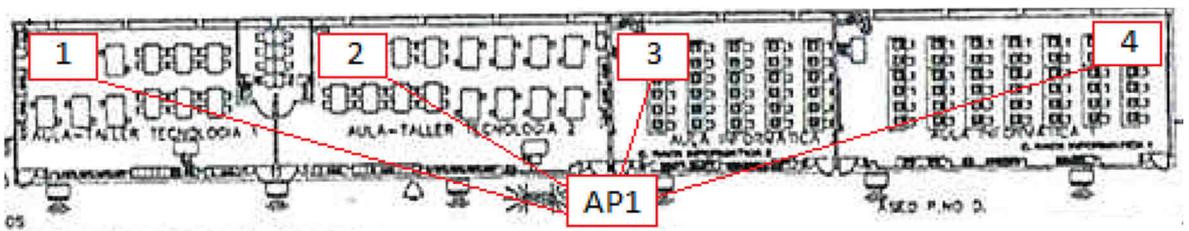


Imagen 12 AP1 planta baja

MEDIDA (AP1)	NIVEL DE SEÑAL (dBm)
1	-90
2	-78
3	-62
4	-83

Tabla 6 Medidas de señal en el AP1 planta baja

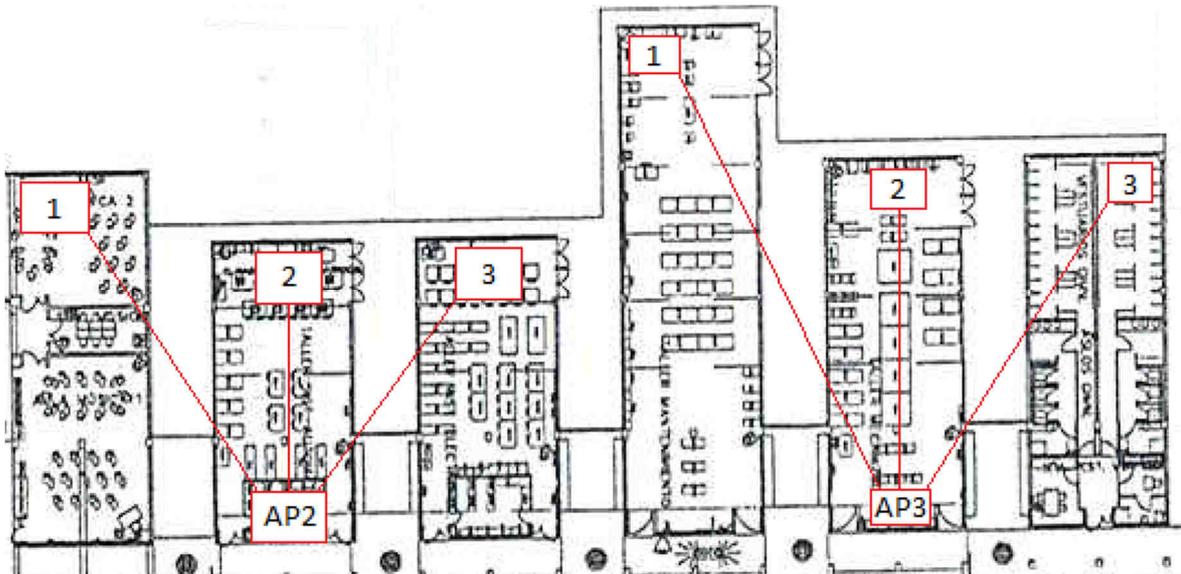


Imagen 13 APs 2 y 3 planta baja

MEDIDA (AP2)	NIVEL DE SEÑAL (dBm)
1	-80
2	-42
3	-59
MEDIDA (AP3)	NIVEL DE SEÑAL (dBm)
1	-88
2	-47
3	-58

Tabla 7 Medidas de señal en el AP2 y AP3 planta baja

4.3.- Planta primera

En la imagen 14 podemos observar el plano general de la planta primera con las medidas obtenidas en cada una de las paredes contiguas, a partir del AP instalado para las pruebas. Las medidas se han obtenido utilizando el método de trabajo explicado en el punto 3.2. En esta misma imagen, podemos observar que he llamado P1, P2, etc. a las medidas de cada pared, siendo los números cada una de las posiciones donde se ha obtenido la medición con la tarjeta inalámbrica y siempre a 1 metro de la pared más cercana al AP.

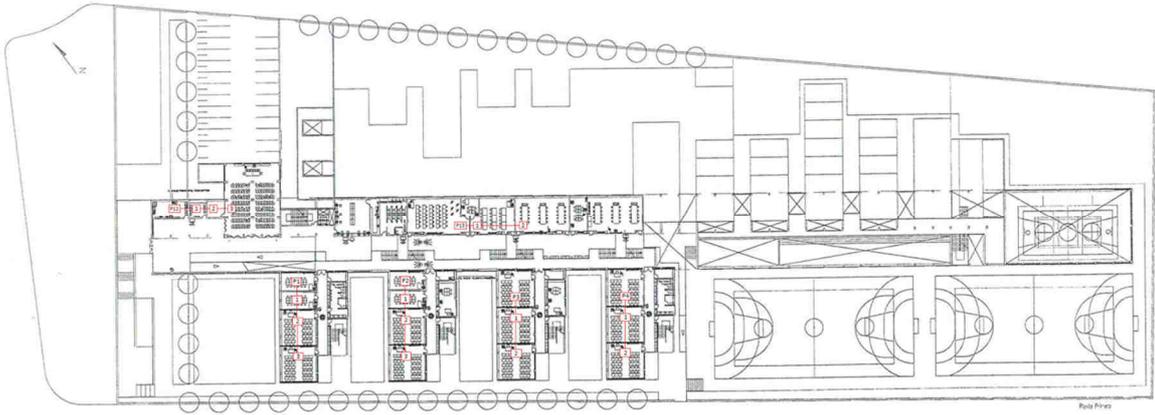
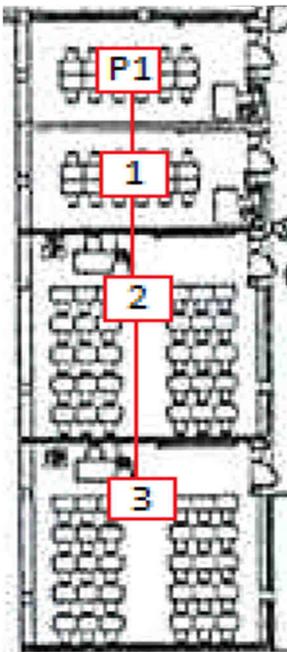


Imagen 14 Plano general de medidas planta primera

En la imagen 15 se muestra una ampliación de las zonas medidas anteriormente para facilitar su visualización. Las mediciones se realizaron usando siempre la misma configuración, se disponía el AP a un metro de la pared colindante con el aula contigua. En este caso el aula dónde estaba situado el AP tenía una superficie de 55 m². A continuación se realizaba una medición del nivel de señal en esa aula contigua, situada a un metro de la pared colindante con el aula dónde se había instalado el AP. Para finalizar se realizaba una tercera medición en la siguiente aula, también a un metro de la pared, en este caso, la distancia al AP era de 12.57m, y se verificaba que la señal era nula. Por tanto el aula donde se ha realizado la segunda medida tendrá cobertura de otro AP. Estas medidas se corresponden con la pared 1 (P1) En la tabla 8 se indican los niveles de señal obtenidos como resultado de la medición.

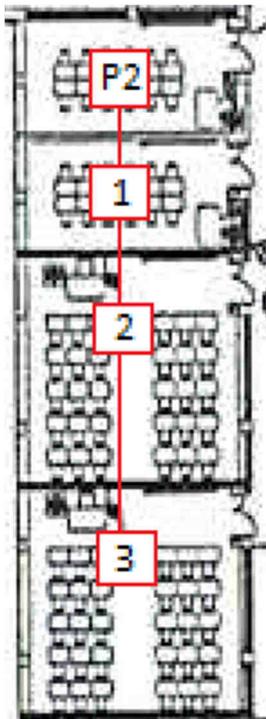


MEDIDA (P1)	NIVEL DE SEÑAL (dBm)
1	-59
2	-73
3	0

Tabla 8 Medidas de señal en la pared 1

Imagen 15 Plano ampliado de medidas planta primera pared 1

En la imagen 16 se muestra una ampliación de las zonas medidas para facilitar su visualización. En este caso el aula dónde estaba situado el AP tenía una superficie de 51 m². La distancia al AP era de 12.65 m, y se verificaba que la señal era nula. Por tanto el aula donde se ha realizado la segunda medida tendrá cobertura de otro AP. Estas medidas se corresponden con la pared 2 (P2). En la tabla 9 se indican los niveles de señal obtenidos como resultado de la medición.

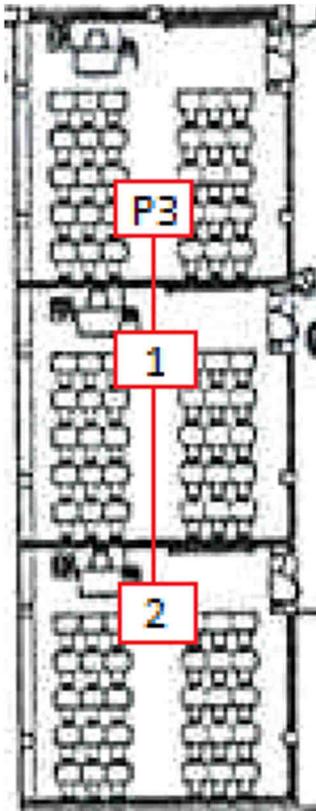


MEDIDA (P2)	NIVEL DE SEÑAL (dBm)
1	-53
2	-76
3	0

Tabla 9 Medidas de señal en la pared 2

Imagen 16 Plano ampliado de medidas planta primera pared 2

En la imagen 17 se muestra una ampliación de las zonas medidas para facilitar su visualización. En este caso el aula dónde estaba situado el AP tenía una superficie de 102 m². La distancia al AP era de 9.12 m, y se verificaba que la señal era nula. Por tanto el aula donde se ha realizado la segunda medida tendrá cobertura de otro AP. Estas medidas se corresponden con la pared 3 (P3). En la tabla 10 se indican los niveles de señal obtenidos como resultado de la medición.

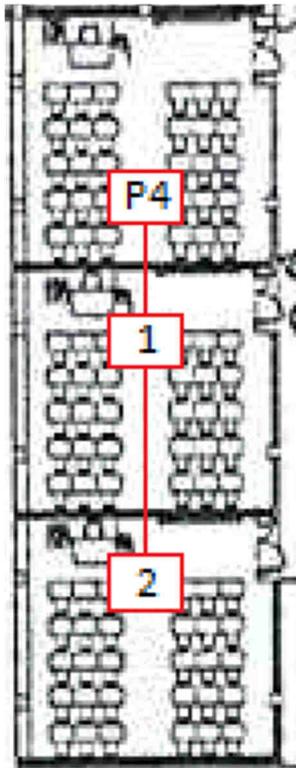


MEDIDA (P3)	NIVEL DE SEÑAL (dBm)
1	-65
2	-77

Tabla 10 Medidas de señal en la pared 3

Imagen 17 Plano ampliado de medidas planta primera pared 3

En la imagen 18 se muestra una ampliación de las zonas medidas para facilitar su visualización. En este caso el aula dónde estaba situado el AP tenía una superficie de 101 m². La distancia al AP era de 9.12 m, y se verificaba que la señal era nula. Por tanto el aula donde se ha realizado la segunda medida tendrá cobertura de otro AP. Estas medidas se corresponden con la pared 4 (P4). En la tabla 11 se indican los niveles de señal obtenidos como resultado de la medición.



MEDIDA (P4)	NIVEL DE SEÑAL (dBm)
1	-57
2	-81

Tabla 11 Medidas de señal en la pared 4

Imagen 18 Plano ampliado de medidas planta primera pared 4

En la imagen 19 se muestra una ampliación de las zonas medidas anteriormente para facilitar su visualización. En este caso el aula dónde estaba situado el AP tenía una superficie de 100 m². La distancia al AP era de 8.89 m, y se verificaba que la señal era nula. Por tanto el aula donde se ha realizado la segunda medida tendrá cobertura de otro AP. Estas medidas se corresponden con la pared 12 (P12). En la tabla 12 se indican los niveles de señal obtenidos como resultado de la medición.

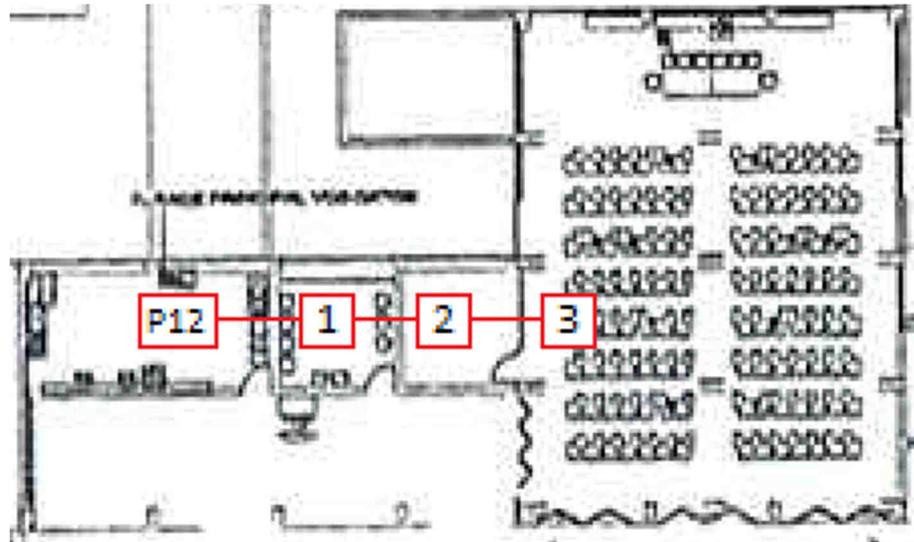


Imagen 19 Plano ampliado de medidas planta primera pared 12

MEDIDA (P12)	NIVEL DE SEÑAL (dBm)
1	-54
2	-69
3	-78

Tabla 12 Medidas de señal en la pared 12

En la imagen 20 se muestra una ampliación de las zonas medidas anteriormente para facilitar su visualización. En este caso el aula dónde estaba situado el AP tenía una superficie de 100 m². La distancia al AP era de 10.50m, y se verificaba que la señal era nula. Por tanto el aula donde se ha realizado la segunda medida tendrá cobertura de otro AP. Estas medidas se corresponden con la pared 13 (P13). En la tabla 13 se indican los niveles de señal obtenidos como resultado de la medición.

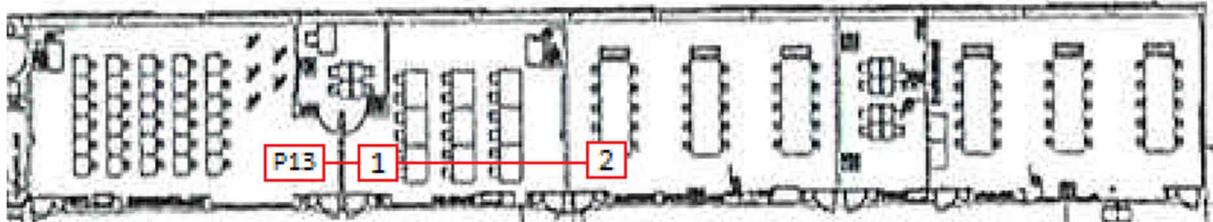


Imagen 20 Plano ampliado de medidas planta primera pared 13

MEDIDA (P13)	NIVEL DE SEÑAL (dBm)
1	-55
2	0

Tabla 13 Medidas de señal en la pared 13

En la imagen 21, se han representado los puntos de acceso en su posición óptima para conseguir la mayor cobertura posible y así utilizar el mínimo número de puntos de acceso. También se muestran unas tablas con el nivel de señal obtenido.

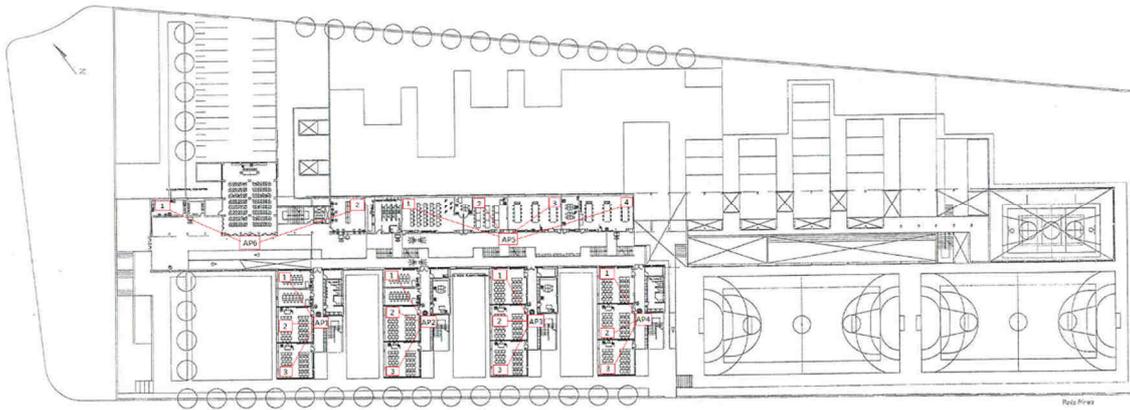


Imagen 21 Plano general de AP en la planta primera

En las imágenes 22 y 23 se muestran las imágenes ampliadas de la posición de los puntos de acceso (APn) situados en su situación óptima para conseguir la máxima cobertura junto con unas tablas (Tablas 14, 15, 16 y 17) en las que se indica el nivel de señal recibido en cada uno de los puntos de medida, según su AP correspondiente.

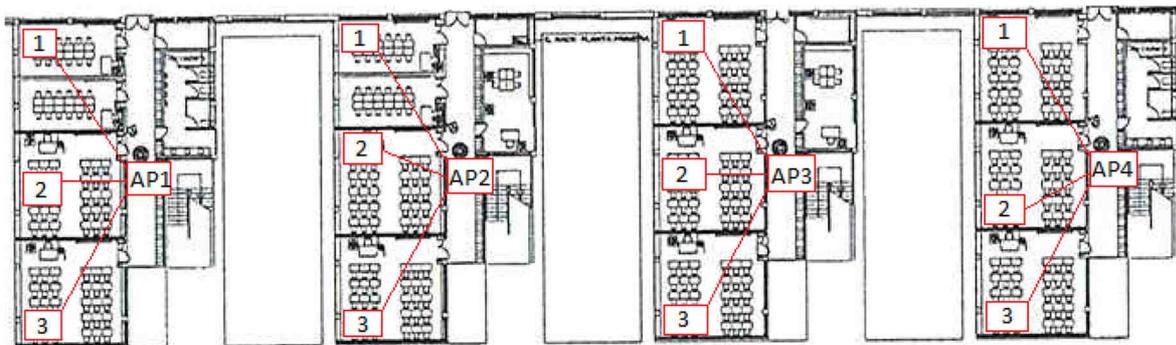


Imagen 22 APs 1, 2, 3 y 4 planta primera

MEDIDA (AP1)	NIVEL DE SEÑAL (dBm)
1	-80
2	-57
3	-76

Tabla 14 Medidas de señal en el AP1 planta primera

MEDIDA (AP2)	NIVEL DE SEÑAL (dBm)
1	-81
2	-58
3	-77

Tabla 15 Medidas de señal en el AP2 planta primera

MEDIDA (AP3)	NIVEL DE SEÑAL (dBm)
1	-77
2	-55
3	-74

Tabla 16 Medidas de señal en el AP3 planta primera

MEDIDA (AP4)	NIVEL DE SEÑAL (dBm)
1	-78
2	-57
3	-75

Tabla 17 Medidas de señal en el AP4 planta primera

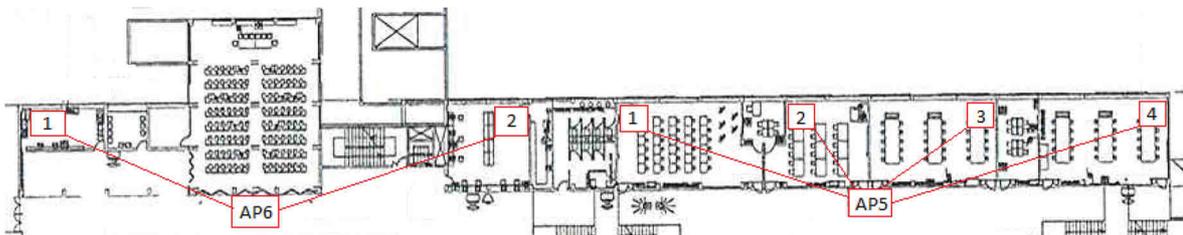


Imagen 23 APs 5 y 6 planta primera

MEDIDA (AP5)	NIVEL DE SEÑAL (dBm)
1	-88
2	-64
3	-72
4	-84
MEDIDA (AP6)	NIVEL DE SEÑAL (dBm)
1	-95
2	-102

Tabla 18 Medidas de señal en el AP5 y AP6 planta primera

4.4.- Planta segunda

En la imagen 24 podemos observar el plano general de las medidas obtenidas en cada una de las paredes contiguas, con ello obtenemos el nivel de señal. Las medidas se han obtenido utilizando el método de trabajo explicado en el punto 3.2. En esta misma imagen, podemos observar que he llamado P1, P2, etc. a las medidas de cada pared, siendo los números cada una de las posiciones donde se ha obtenido la medición con la tarjeta inalámbrica y siempre a 1 metro de la pared más cercana al AP:

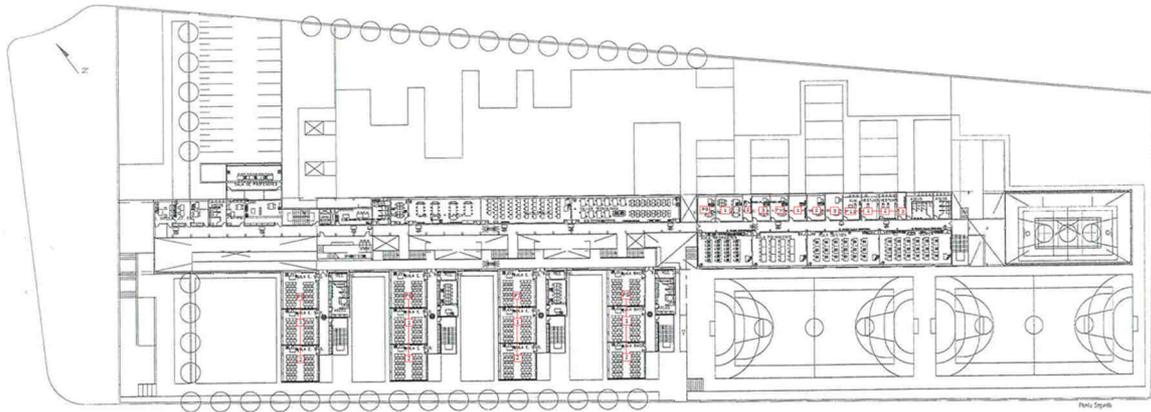
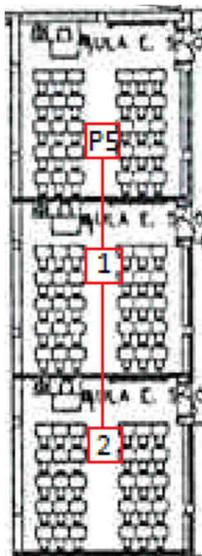


Imagen 24 Plano genérico de medidas planta segunda

En la imagen 25 se muestra una ampliación de las zonas medidas anteriormente para facilitar su visualización. En este caso el aula dónde estaba situado el AP tenía una superficie de 51 m². A continuación se realizaba una medición del nivel de señal en esa aula contigua, situada a un metro de la pared colindante con el aula dónde se había instalado el AP. Para finalizar se realizaba una tercera medición en la siguiente aula, también a un metro de la pared, en este caso, la distancia al AP era de 12.58m, y se verificaba que la señal era nula. Por tanto el aula donde se ha realizado la segunda medida tendrá cobertura de otro AP. Estas medidas se corresponden con la pared 5 (P5) En la tabla 19 se indican los niveles de señal obtenidos como resultado de la medición.



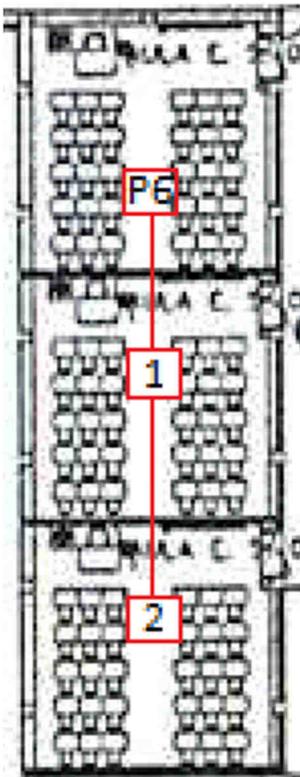
MEDIDA (P5)	NIVEL DE SEÑAL (dBm)
1	-54
2	-72

Tabla 19 Medidas de señal en la pared 5

Imagen 25 Plano ampliado de medidas planta primera pared 5

En la imagen 26 se muestra una ampliación de las zonas medidas anteriormente para facilitar su visualización. En este caso el aula dónde estaba situado el AP tenía una superficie de 102 m². La distancia al AP era de 9.18 m, y se verificaba que la señal era nula.

Por tanto el aula donde se ha realizado la segunda medida tendrá cobertura de otro AP. Estas medidas se corresponden con la pared 6 (P6) En la tabla 20 se indican los niveles de señal obtenidos como resultado de la medición.

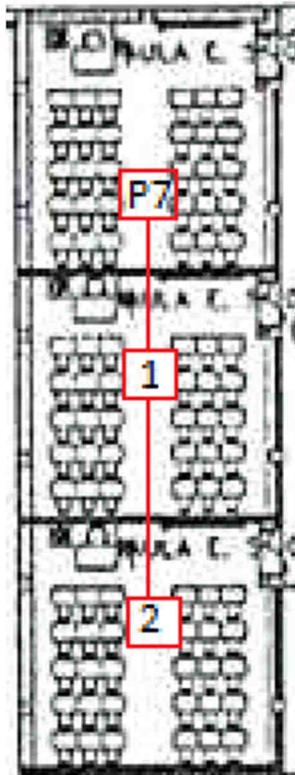


MEDIDA (P6)	NIVEL DE SEÑAL (dBm)
1	-52
2	-77

Tabla 20 Medidas de señal en la pared 6

Imagen 26 Plano ampliado de medidas planta primera pared 6

En la imagen 27 se muestra una ampliación de las zonas medidas anteriormente para facilitar su visualización. En este caso el aula dónde estaba situado el AP tenía una superficie de 101 m². La distancia al AP era de 9.20m, y se verificaba que la señal era nula. Por tanto el aula donde se ha realizado la segunda medida tendrá cobertura de otro AP. Estas medidas se corresponden con la pared 7 (P7) En la tabla 21 se indican los niveles de señal obtenidos como resultado de la medición.

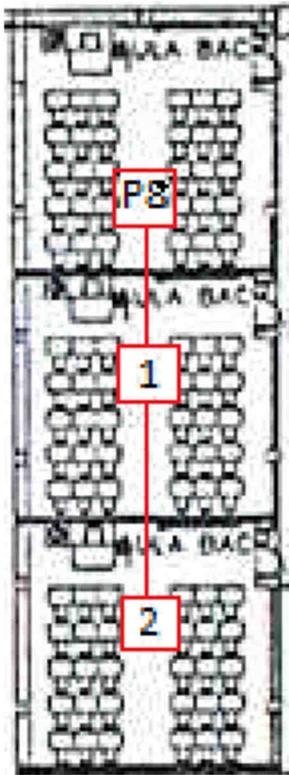


MEDIDA (P7)	NIVEL DE SEÑAL (dBm)
1	-55
2	-80

Tabla 21 Medidas de señal en la pared 7

Imagen 27 Plano ampliado de medidas planta primera pared 7

En la imagen 28 se muestra una ampliación de las zonas medidas anteriormente para facilitar su visualización. En este caso el aula dónde estaba situado el AP tenía una superficie de 108 m². La distancia al AP era de 9.14m, y se verificaba que la señal era nula. Por tanto el aula donde se ha realizado la segunda medida tendrá cobertura de otro AP. Estas medidas se corresponden con la pared 8 (P8) En la tabla 22 se indican los niveles de señal obtenidos como resultado de la medición.



MEDIDA (P8)	NIVEL DE SEÑAL (dBm)
1	-50
2	-75

Tabla 22 Medidas de señal en la pared 8

Imagen 28 Plano ampliado de medidas planta primera pared 8

En la imagen 29 se muestra una ampliación de las zonas medidas anteriormente para facilitar su visualización. En este caso el aula dónde estaba situado el AP tenía una superficie de 49 m². La distancia al AP era de 8.92m, en este caso la medida sí que indicaba un nivel de señal aceptable. Estas medidas se corresponden con la pared 9 (P9) En la tabla 23 se indican los niveles de señal obtenidos como resultado de la medición.



Imagen 29 Plano ampliado de medidas planta primera pared 9

MEDIDA (P9)	NIVEL DE SEÑAL (dBm)
1	-54
2	-70
3	-79

Tabla 23 Medidas de señal en la pared 9

En la imagen 30 se muestra una ampliación de las zonas medidas anteriormente para facilitar su visualización. En este caso el aula dónde estaba situado el AP tenía una superficie de 48 m². La distancia al AP era de 8.88m. Al igual que en la pared anterior la medida sí que indicaba un nivel de señal aceptable. Estas medidas se corresponden con la pared 10 (P10) En la tabla 24 se indican los niveles de señal obtenidos como resultado de la medición.



Imagen 30 Plano ampliado de medidas planta primera pared 10

MEDIDA (P10)	NIVEL DE SEÑAL (dBm)
1	-59
2	-70
3	-86

Tabla 24 Medidas de señal en la pared 10

En la imagen 31 se muestra una ampliación de las zonas medidas anteriormente para facilitar su visualización. En este caso el aula dónde estaba situado el AP tenía una superficie de 52 m². La distancia al AP era de 8.86m. Al igual que en la pared anterior la medida sí que indicaba un nivel de señal aceptable. Estas medidas se corresponden con la pared 11 (P11) En la tabla 25 se indican los niveles de señal obtenidos como resultado de la medición.

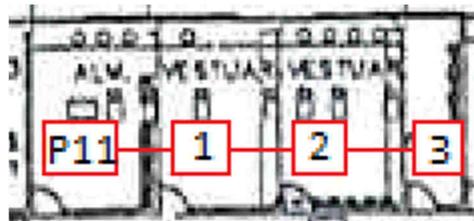


Imagen 31 Plano ampliado de medidas planta primera pared 11

MEDIDA (P11)	NIVEL DE SEÑAL (dBm)
1	-58
2	-66
3	-88

Tabla 25 Medidas de señal en la pared 11

En la imagen 32 se han representado los puntos de acceso en su posición óptima para conseguir la mayor cobertura posible y así utilizar el mínimo número de puntos de acceso. También se muestran unas tablas con el nivel de señal obtenido

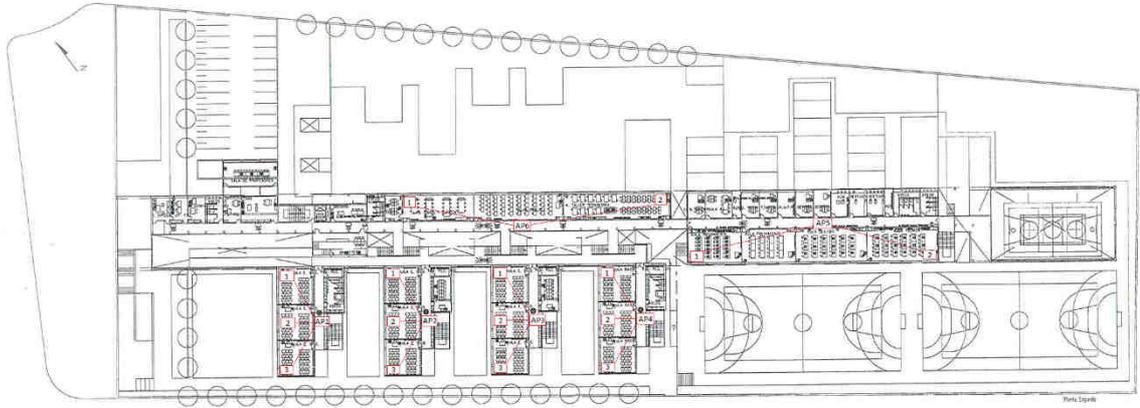


Imagen 32 Plano genérico de AP en la planta segunda

En las imágenes 33, 34 y 35 se muestran las imágenes ampliadas de la posición de los puntos de acceso (APn) situados en su situación óptima para conseguir la máxima cobertura junto con unas tablas (Tablas 26, 27 y 28) en las que se indica el nivel de señal recibido en cada uno de los puntos de medida, según su AP correspondiente.

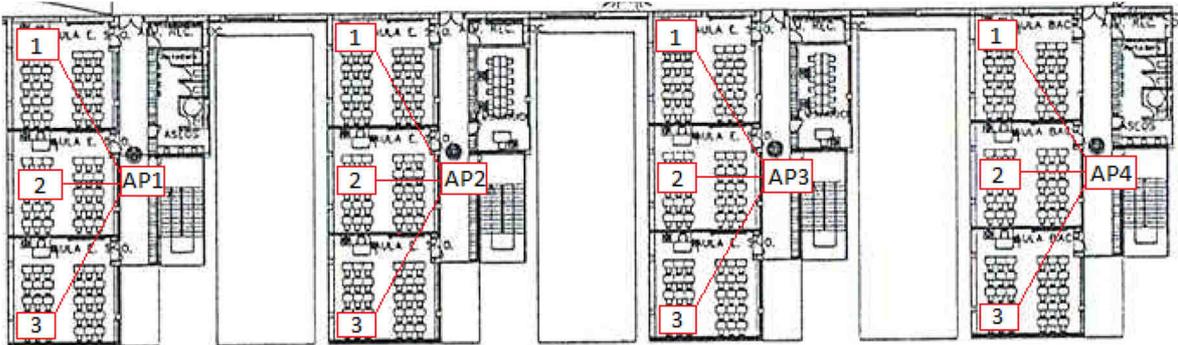


Imagen 33 APs 1, 2, 3 y 4 planta segunda

MEDIDA (AP1)	NIVEL DE SEÑAL (dBm)
1	-78
2	-55
3	-74
MEDIDA (AP2)	NIVEL DE SEÑAL (dBm)
1	-79
2	-56
3	-75
MEDIDA (AP3)	NIVEL DE SEÑAL (dBm)
1	-77
2	-55
3	-74

4.5.- Presupuesto

Presupuesto de ejecución

EQUIPOS	COSTE(€)/Unidad	Unidades	Total (€)
Punto Acceso WiFi	54	15	810

Tabla 29 Presupuesto equipos

A este presupuesto habría que añadirle los cables y conectores que vamos a utilizar:

Cables	Precio €/m	Unidades	Total (€)
Cable rígido U/UTP no propagador de la llama de 4 pares trenzados de cobre, categoría 6, con conductor unifilar de cobre, aislamiento de polietileno y vaina exterior de poliolefina termoplástica LSFH libre de halógenos, con baja emisión de humos y gases corrosivos de 6,2 mm de diámetro, según EN 50288-6-1.	2,10	100	210

Tabla 30 Presupuesto cables

Cables y conectores	Precio	Unidades	Total (€)
Crimpar RJ45	1,00 €	50	50
RJ45	1,00 €	50	50

Tabla 31 Presupuesto cables y conectores

Material eléctrico	Precio	Unidades	Total (€)
Línea de alimentación de 2x0,75 mm ² .	0,41 €	15	6,15
Tubo curvable de PVC, corrugado, de color negro, de 20 mm de diámetro nominal, para canalización empotrada en obra de fábrica (paredes y techos). Resistencia a la compresión 320 N, resistencia al impacto 1 julio, temperatura de trabajo -5°C hasta 60°C, con grado de protección IP 545 según UNE 20324, no propagador de la llama. Según UNE-EN 61386-1 y UNE-EN 61386-22.	0,29 €	100	29

Tabla 32 Presupuesto eléctrico

Presupuesto material..... 345,15 € + IVA

En este presupuesto no está contemplada la ejecución de las soluciones proyectadas. Solamente se ha valorado el coste de los equipos definidos.

Capítulo 5.- Conclusiones

La planificación y posterior desarrollo de una red inalámbrica que cubra una zona extensa puede ser simplificado mediante el empleo de las herramientas adecuadas. Estas herramientas van desde analizadores de redes inalámbricas hasta programas informáticos que implementan sofisticados modelos de propagación que modelan el entorno donde va a ser instalada la red.

5.1.- Valoración personal

En este estudio se han utilizado herramientas de análisis del nivel de señal recibido en las tarjetas inalámbricas instaladas en un portátil, gracias a esto, se conoce el nivel real recibido en el punto a estudiar, y se puede realizar una estimación de la atenuación introducida por los diferentes obstáculos que se encuentra la señal. Durante el estudio hemos observado que no todas las paredes producen la misma atenuación aunque estén construidas con el mismo material. Esta variación se debe a la propagación multicamino y a otros efectos de propagación. Calculando el valor medio de todos los valores medidos para pérdidas reducimos esta fuente de error y obtenemos resultados muy próximos a la realidad empleando un proceso muy sencillo.

Hay que destacar algunos comportamientos irregulares de la señal que se han observado durante el estudio. El más importante lo encontramos cuando la señal atraviesa la pared de un lavabo. Estas paredes presentan una atenuación mucho mayor que las otras, pudiendo incluso llegar a 20 dB. Este fenómeno probablemente se deba a las tuberías que atraviesan este tipo de paredes. En consecuencia, habría que dar un tratamiento especial a estas paredes cuando se realice el cálculo del edificio. Como norma, debe evitarse colocar puntos de acceso en las proximidades de lavabos para evitar que se cree una zona con poca cobertura a la otra parte del lavabo.

Otro factor a tener en cuenta son los objetos metálicos que la señal pueda encontrar en su recorrido como barandillas, vallas... en estos casos se ha observado que la señal sufre variaciones de alrededor de ± 2 dB. A la hora de realizar los mapas de coberturas, no es necesario realizar los cálculos de pérdidas por materiales para cada uno de los edificios que nos encontremos ya que probablemente muchos de ellos se hayan construido empleando los mismos materiales y técnicas de construcción, por lo que bastará con realizar los cálculos en uno de ellos y extenderlos al resto.

También se realizaron medidas de pérdidas por suelos, pero se observó que la señal que consigue atravesarlos es muy débil siendo sólo apreciable si nos encontramos justamente arriba o abajo del punto de acceso atenuándose rápidamente a medida que nos alejamos, esto es debido al espesor de los forjados, que supera en muchos casos los 30 cm de canto. Por otra parte, la propagación residual entre plantas adyacentes puede causar interferencias entre canales en algunos puntos por lo que se hace necesaria una planificación de canales en tres dimensiones.

Los tragaluces o patios interiores permiten el paso de la señal entre plantas, por lo que pueden ser un buen emplazamiento para los puntos de acceso ya que nos permitirían cubrir varias plantas adyacentes con un solo punto de acceso.

5.2.- Trabajos futuros

Para mejorar las coberturas o reducir las interferencias entre puntos de acceso cabe la posibilidad de añadir antenas tanto a las tarjetas de red como a los puntos de acceso.

Algunos de los posibles proyectos futuros sería duplicar los puntos de acceso. Si estos trabajaran de forma paralela se podrían conseguir mayores anchos de banda. Pero si configuramos uno de los dos puntos de acceso como modo de espera activa, se utilizaría como unidad de reserva en caliente y aumentaría la tolerancia a fallos.

Otro modo de conseguir un aumento del ancho de banda, sería el cambio al estándar IEEE 802.11n para así conseguir mayores velocidades y mayores distancias. Ya que este estándar utilizará la tecnología MIMO para lograr velocidades de hasta 600 Mbps consiguiendo así reducir el número final de puntos de acceso necesarios, ya que estos proporcionarían la cobertura y velocidades deseadas. Esto es un punto importante, puesto que cada vez somos más gente utilizando las redes inalámbricas.

Como línea futura, se propone el estudio de las coberturas externas de edificio, permitiendo a los usuarios de la red conectarse sin problemas en estas zonas exteriores. En este estudio se debería analizar el alcance de la señal y las posibles interferencias que pueda producir la red en los edificios colindantes.

BIBLIOGRAFÍA

[1] Cómo poner en marcha una red wifi municipal. Guía rápida para Ayuntamientos. Consejería de Fomento y Medio Ambiente de la Junta de Castilla y León.

[2] Martínez Pizarro, Salvador Vicente. Diseño De La Red Local Inalámbrica De La Escuela Politécnica Superior De Gandía. Escuela Politécnica Superior de Gandía. 30/09/03 (Director Académico: Lloret Mauri, Jaime)

[3] Baldoví Ortells, Juan Francisco. Diseño De Coberturas Para Wlan'S En Zonas De Área Extensa. Escuela Politécnica Superior de Gandía. 07/04/04 (Director Académico: Lloret Mauri, Jaime) Q-PFC/1049G

[4] Espada, Verónica. Diseño y cobertura de la red inalámbrica IEEE802.11b en la Escuela politécnica superior de Alcoy. Escuela Politécnica Superior de Alcoy 10/09/03 (Directores Raúl Llinares Llopis y Jaime Lloret Mauri)

[5] Ferrando Moratal, Laura. Rediseño y planificación de la red inalámbrica del CRAI. Escuela Politécnica Superior de Gandía. 2011

[6] Página web de WiFi Alliance. Disponible en: www.wi-fi.org o www.wifi-alliance.net),

[7] Kaveh Pahlavan. *Principles of wireless networks*. Prentice Hall, 2001.

[8] Página web del comité del estándar IEEE 802. Disponible en: <http://www.ieee802.org>

[9] IEEE Computer Society Standards Committee. IEEE 802.11b: Wireless LAN Medium Access Control and Physical Layer Specifications. Higher-Speed Physical Layer Extension in the 2.4 GHz Band, 1999.

[10] Carl Andren. A comparison of frequency hopping and direct sequence spread spectrum modulation for IEEE 802.11 applications at 2.4 Ghz. Palm Bay, Florida, 1997. <http://www9.sss-mag.com/pdf/ds-v-fh.pdf>.

[11] Security Enhancement of WEP Protocol IEEE802.11b with Dynamic Key Management. Lecture notes in engineering and computer science [2078-0958] Año:2011 vol.:2193 iss:1 pág.:172

[12] The ABCs Of WPA2 Wi-Fi Security. Network computing [1046-4468] Año:2006 pág.:65

[13] Robert Wilson. Propagation losses through common building materials. 2.4GHz vs 5GHz. Magis networks, inc., 2002.

[14] Dan Dobkin. Indoor propagation issues for wireless lans, 2002. <http://images.rfdesign.com/files/4/0902Dobkin40.pdf>.

[15] Adi Shamir. An introduction to radio waves propagation: generic terms, indoor propagation and practical aproaches to path loss calculations, including examples. <http://www.rfwaves.com>.

[16] Yves Lostalen y Yoan Corre. Studies on indoor propagation at various frequencies for radio local networks. Siradel S.A., Rennes, Francia.