

Trabajo Fin de Grado
Grado en Ingeniería de las Tecnologías de
Telecomunicación

Diseño de red de acceso doméstica híbrida WiFi/LiFi

Autor: José María García Bocuñano

Tutor: Alejandro Carballar Rincón

Dpto. de Ingeniería Electrónica
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla

Sevilla, 2019



Trabajo Fin de Grado
Grado en Ingeniería de las Tecnologías de Telecomunicación

Diseño de red de acceso doméstica híbrida WiFi/LiFi

Autor:

José María García Bocuñano

Tutor:

Alejandro Carballar Rincón

Catedrático de Universidad

Dpto. de Ingeniería Electrónica
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla

Sevilla, 2019

Trabajo Fin de Grado: Diseño de red de acceso doméstica híbrida WiFi/LiFi

Autor: José María García Bocuñano

Tutor: Alejandro Carballar Rincón

El tribunal nombrado para juzgar el Proyecto arriba indicado, compuesto por los siguientes miembros:

Presidente:

Vocales:

Secretario:

Acuerdan otorgarle la calificación de:

Sevilla, 2019

El Secretario del Tribunal

A mi familia y amigos

Agradecimientos

Este apartado de agradecimientos, como el de cualquier cosa que haga en mi vida, no puede empezar con otro nombre que el de mi madre por ser ella la causa y el pilar por el que he podido llegar hasta el día de la entrega de este Trabajo Fin de Grado. Junto con ella, mi familia y amigos han tenido un papel fundamental, tanto en los éxitos como en los momentos malos que he tenido que experimentar a lo largo del grado en el que comencé hace 5 años. Por ayudarme a levantarme, entender el tiempo que les he tenido que quitar y acompañarme en las celebraciones, este trabajo tiene una parte de todos ellos. Sin más, muchísimas gracias porque sin vosotros no lo habría conseguido.

José María García Bocuñano

Cádiz, 2019

Resumen

En este documento se realiza un estudio de un problema de cobertura deficiente en la red de acceso del usuario encontrado en una vivienda situada en el centro de Cádiz. Tras la elaboración de planos; el estudio de dos alternativas, WiFi y LiFi; y el análisis de los productos disponibles, se ha elaborado una solución que mejora tanto la zona de cobertura como la calidad de la señal, apostando en dos estancias de ella por la tecnología en desarrollo LiFi, una nueva tecnología en auge, y ofreciendo como añadido la posibilidad a los usuarios que viven en el hogar estudiado de mejorar su red de acceso a Internet.

Agradecimientos	ix
Resumen	xi
Índice	xiii
Índice de Tablas	xv
Índice de Figuras	xvii
Memoria	1
1. <i>Antecedentes.</i>	1
2. <i>Justificación del proyecto.</i>	5
2.1. Motivación	5
2.2. Objetivos del Proyecto	5
2.3. Metodología utilizada	5
2.4. Organización del Proyecto	6
3. <i>Estudio de alternativas.</i>	6
3.1. Descripción de las posibles soluciones	6
3.2. Justificación de la solución adoptada	28
4. <i>Conclusiones</i>	33
5. <i>Líneas futuras</i>	33
Anexos a la memoria	37
I. <i>Bibliografía</i>	37
II. <i>Situación inicial</i>	41
III. <i>Cálculos justificativos</i>	43
Planos	53
1. <i>Índice de planos</i>	53
2. <i>Planos adjuntos</i>	54
Pliego de condiciones	59
1. <i>Condiciones generales</i>	59
2. <i>Condiciones específicas</i>	60
Presupuesto	73
1. <i>Mediciones</i>	73
2. <i>Formación de precios</i>	73
3. <i>Presupuestos parciales</i>	74
4. <i>Presupuesto general</i>	74

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1. Diferentes categorías de cable Ethernet.	24
Tabla 2-1. Comparativa LiFi-WiFi de pureLiFi.	43
Tabla 2-2. Comparativa LED-iluminación tradicional.	43
Tabla 2-3. Comparación consumo anual entre incandescente y LED.	46

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1. Extracto de la banda 2,4 GHz del CNAF.	2
Figura 1-2. Relación entre OWC, VLC y LiFi.	3
Figura 1-3. Comparativa entre el espectro de radiofrecuencia y el espectro de luz visible.	4
Figura 1-4. Logo de WiFi <i>Alliance</i> .	7
Figura 1-5. Esquema de las portadoras en una modulación OFDM.	9
Figura 1-6. Esquema de uso de la tecnología <i>beamforming</i> .	9
Figura 1-7. Señales WiFi en la banda de 2,4 GHz.	10
Figura 1-8. FRITZ! Box 7590.	11
Figura 1-9. TP-LINK Archer D5.	12
Figura 1-10. Asus RT-AC88U.	12
Figura 1-11. D-Link DIR-882.	12
Figura 1-12. Asus RP-AC87.	13
Figura 1-13. Netgear EX6120	13
Figura 1-14. TP-Link RE200.	14
Figura 1-15. Asus USB-AC53	14
Figura 1-16. TP-LINK Archer T2UH	14
Figura 1-17. Logo de la LCA.	15
Figura 1-18. Punto de acceso y <i>dongle</i> de MyLiFi Desk.	19
Figura 1-19. Esquema de instalación <i>LiFiMax</i> .	19
Figura 1-20. Punto de acceso de <i>LiFiMax</i> .	20
Figura 1-21. Punto de acceso y USB del producto LiFiCup de Lucibel.	20
Figura 1-22. Esquema teórico de un sistema LiFi por pureLiFi.	21
Figura 1-23. Esquema de la tecnología PLC.	22
Figura 1-24. Producto TP-Link TL-WPA8730.	23
Figura 1-25. Esquema de la instalación de la tecnología PoE.	23
Figura 1-26. Cable Ethernet terminado con conectores RJ-45	24
Figura 1-27. TL-SG3424P.	25
Figura 1-28. Switch PoE+ Netgear.	25
Figura 1-29. Cámara IP de Foscam.	26
Figura 1-30. Esquema sobre domótica.	26
Figura 1-31. Distintos dispositivos DALI.	27
Figura 1-32. Módulo de Control de Interruptores DALI XC TRIDONIC.	28
Figura 1-33. Resultado test de velocidad.	29
Figura 1-34. Cobertura WiFi inicial.	30

Figura 1-35. Extensor TP-Link en funcionamiento actualmente.	31
Figura 1-36. Esquema lógico de la solución adoptada.	32
Figura 1-37. Escenarios de usos futuros del LiFi.	34
Figura 1-38. Dispositivos con transceptores LiFi de pureLiFi integrados.	35
Figura 2-1. Instalación WiFi original.	41
Figura 2-2. Disposición luminarias original.	42
Figura 2-3. Comparativa entre los tipos de bombillas realizada por Endesa.	45
Figura 2-4. Esquema del cuadro general de mando y protección.	46
Figura 2-5. Circuito C1.	47
Figura 2-6. Circuito C2.	48
Figura 2-7. Circuito C3.	49
Figura 2-8. Circuito C4.	50
Figura 2-9. Circuito C5.	51

“No he fracasado 999 veces. Simplemente he encontrado 999 formas de no crear una bombilla”.

- Thomas A. Edison -

Este capítulo contextualiza el trabajo realizado, indicando los motivos que han propiciado su realización y los objetivos que persigue; un resumen sobre la metodología utilizada y su organización. Seguidamente se explican las alternativas investigadas, justificando la solución adoptada, y se indican las conclusiones extraídas de su realización y las líneas futuras de las tecnologías que en él aparecen.

1. Antecedentes.

En la sociedad actual, el sector de las Telecomunicaciones se ha erigido como imprescindible para la vida cotidiana ya sea para actos tan simples como enviar un mensaje instantáneo o mirar nuestro correo, ver un canal de televisión a través de un satélite o emitir en directo para el resto del mundo en las redes sociales. En otros aspectos como el trabajo se hace impensable llegar a la oficina y no poder disponer de una buena conexión para realizar videollamadas o conexiones a webs de terceros para poder mantener el correcto funcionamiento de estas.

En las últimas décadas se han producido una serie de avances tecnológicos que han hecho posible la creación y desarrollo de tecnologías capaces de satisfacer las necesidades demandadas por los usuarios de todo el mundo, los cuales han ido de la mano de la electrónica, campo donde se han realizado los mayores avances para lograr, entre otras muchísimas cosas, que seamos capaces de coger unos Terabytes de información con tan solo una mano.

Es muy normal escuchar hablar de conceptos como Internet de las cosas (IoT por sus siglas en inglés, *Internet of Things*), Smart Cities o Transformación Digital. En este marco de desarrollo las instituciones públicas apoyan el avance y la modernización necesarios para que estos conceptos se conviertan en realidades tan pronto como sea posible. Como ejemplo de ello en abril del presente año, 2019, el Parlamento Europeo votó a favor de la financiación del Programa Europa Digital, que tiene como objetivo textualmente “el desarrollo de la inteligencia artificial, la informática de alto rendimiento, la ciberseguridad y las competencias digitales” [1]. Todas las propuestas, cambios y nuevos conceptos conducen a un mismo camino, la conexión de millones de dispositivos y el uso masivo de ellos. Apoyando la magnitud de esto, CISCO prevé que haya más tráfico IP entre los años 2017 y 2022 que en toda la pasada historia de Internet, llegando en este último año hasta los 28 millones y medio de dispositivos conectados y los 4,8 millones de internautas [2]. Nos encontramos por tanto en un escenario de densidad de dispositivos y usuarios jamás vista hasta hoy, la cual debe ser satisfecha para poder seguir con el avance y el crecimiento de las nuevas tecnologías. Agravando este problema de la densidad se encuentra uno aún más grave que no es otro que la sobreexplotación del medio utilizado por la mayoría de las tecnologías que

dan conexión inalámbrica al inmenso número de dispositivos conectados en estos momentos, el espectro de radiofrecuencia, situado dentro del espectro electromagnético, entre los 3 Hz y los 300 GHz. Esto es un hecho que ya tiene preocupado a la comunidad científica desde hace unos años y que sin duda se presenta como uno de los grandes retos a batir en los años venideros.

Esta sobreexplotación puede verse fácilmente aquí en España, donde la Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia (CNMC) ha comunicado en un informe que para poder desarrollar e implementar la quinta generación de comunicaciones móviles, la conocida como 5G, es necesario liberar parte del espectro de radiofrecuencia que se tiene en uso en estos momentos para servicios de televisión digital terrestre (TDT). Este movimiento, conocido como la Liberación del Segundo Dividendo Digital conlleva que la banda de 700 MHz pase a ser utilizada para la prestación de servicios de comunicaciones electrónicas, fundamentalmente comunicaciones móviles, algo que se estima que afecte a unos 21 millones de personas.

Parece un claro ejemplo, aunque tenemos otro aún más cercano a nosotros y que puede ser comprobado mucho más fácilmente. Se trata de la tecnología WiFi ampliamente usada en infinidad de entornos conectados inalámbricamente hoy en día. Dicha tecnología operaba hace unos años solo y exclusivamente en la banda de 2,4 GHz, la cual también se utiliza para otros muchos servicios como el Bluetooth o aplicaciones médicas. Con el objetivo de hacer al lector más fácil de imaginar este problema de saturación, se incluye la figura 1-1, un extracto de las tablas publicadas en el Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias (CNAF) obtenido de la página del Gobierno de España, con el fin de que pueda ver las emisiones que pueden convivir en la banda de 2400 MHz, usada por los sistemas WiFi [3].

ATRIBUCIÓN A LOS SERVICIOS según el RR de la UIT			ATRIBUCIÓN NACIONAL	USOS	OBSERVACIONES
2170 - 2520 MHz			2170 - 2520 MHz		
Región 1	Región 2	Región 3			
2170 - 2200	FIJO MÓVIL MÓVIL POR SATÉLITE (espacio-Tierra) 5.351A 5.388 5.389A 5.389F		2170 - 2200 FIJO MÓVIL MÓVIL POR SATÉLITE (espacio-Tierra)	M M M	5.351A 5.388 5.389A UN-48 UN-154
2200 - 2290	OPERACIONES ESPACIALES (espacio-Tierra) (espacio-espacio) EXPLORACIÓN DE LA TIERRA POR SATÉLITE (espacio-Tierra) (espacio-espacio) FIJO MÓVIL 5.391 INVESTIGACIÓN ESPACIAL (espacio-Tierra) (espacio-espacio) 5.392		2200 - 2290 FIJO MÓVIL OPERACIONES ESPACIALES (espacio-Tierra) (espacio-espacio) EXPLORACIÓN DE LA TIERRA POR SATÉLITE (espacio-Tierra) (espacio-espacio) INVESTIGACIÓN ESPACIAL (espacio-Tierra) (espacio-espacio)	M M M M	5.391 5.392 UN-48 UN-89 CANALIZACIÓN SERVICIO FIJO UN-154
2290 - 2300	FIJO MÓVIL, salvo móvil aeronáutico INVESTIGACIÓN ESPACIAL (espacio lejano) (espacio-Tierra)		2290 - 2300 FIJO MÓVIL, salvo móvil aeronáutico INVESTIGACIÓN ESPACIAL (espacio lejano) (espacio-Tierra)	M M M	UN-48 UN-154
2300 - 2450 FIJO MÓVIL 5.384A Aficionados Radiolocalización	2300 - 2450 FIJO MÓVIL 5.384A RADIOLOCALIZACIÓN Aficionados		2300 - 2450 FIJO MÓVIL Aficionados Radiolocalización	M M E R	5.150 UN-50 UN-51 Banda de aplicaciones ICM: 2400-2500 MHz UN-85, UN-86, UN-109, UN-115, UN-129, UN-154
5.150 5.282 5.395	5.150 5.282 5.393 5.394 5.396				

Figura 1-1. Extracto de la banda 2,4 GHz del CNAF.

Como respuesta a esta saturación, en 2009 el grupo de trabajo del *Institute of Electrical and Electronics Engineers*, más conocido como IEEE, encargado de la estandarización de WiFi, empezó a utilizar la banda de los 5 GHz, simultáneamente con la de los 2,4 GHz, para así intentar combatir este hecho con el protocolo 802.11 n. En 2016 se aprobó una revisión del protocolo 802.11 ac, el cual ya había sido aprobado en 2014, que mejora el máximo teórico de velocidad disponible hasta los 1,73 Gbps utilizando dos antenas transmisoras y dos receptoras con la tecnología MIMO y los canales disponibles de 160 MHz.

El otro gran problema al que se enfrenta la sociedad actual es el Cambio Climático y la creciente preocupación entre la población mundial por él. Como medida de prevención y mitigación se torna en fundamental que las

tecnologías venideras además de satisfacer las necesidades de los usuarios en cuanto a capacidad y velocidad deben hacerlo de una forma eficiente energéticamente hablando.

Se hace imprescindible por tanto que la siguiente generación de tecnologías de conexión inalámbricas haga frente a los problemas de sobreexplotación del espectro de radiofrecuencia y Cambio Climático simultáneamente. En este contexto está tomando cada vez más importancia una nueva tecnología llamada LiFi.

LiFi es un acrónimo del término inglés *Light Fidelity* y se basa en la transmisión de datos usando la capacidad de los diodos LED para modular su estado e intensidad a una velocidad imperceptible por el ser humano. Dicha comunicación utiliza como medio de transmisión la parte del espectro electromagnético correspondiente al espectro de luz visible para los seres humanos que comprende las frecuencias entre los 400 y los 789 THz para el enlace que va desde el LED que está siendo usado como punto de acceso hasta el dispositivo del usuario; y la parte correspondiente a la luz infrarroja situada entre los 300 y los 400 THz, usada entre otras cosas para los mandos a distancia de televisiones o aires acondicionados, para el enlace en el sentido inverso. Por último, como receptor se tiene un fotodetector que se encarga de transformar las variaciones del diodo LED en una señal digital que será procesada para decodificar la información enviada.

Esta nueva tecnología se enmarca en las llamadas Comunicaciones ópticas inalámbricas, conocidas como OWC por sus siglas en inglés *Optical Wireless Communications*. Aquí se encuentran también tecnologías como los infrarrojos o el ultravioleta y que como su propio nombre indica se refiere a aquellas comunicaciones ópticas que a diferencia de la fibra óptica u otros medios guiados no requieren de conexión física entre los puntos a conectar.

Dentro de las OWC se encuentran las Comunicaciones por luz visible, conocidas como VLC por sus siglas en inglés *Visible Light Communications* que engloban las comunicaciones que usan el espectro de luz visible. El uso predominante de estas tecnologías son los enlaces punto a punto y tienen como medio de propagación el espectro de luz visible; el transmisor es una o varias luces, entre las que se pueden usar los diodos LED; y el emisor es un fotodiodo o una cámara, encargados de percibir la luz transmitida. Como se puede observar, las VLC y el LiFi comparten características y por eso al principio de su investigación se revisó el protocolo IEEE 802.15.7, el correspondiente a las VLC, para incluir en él también al LiFi, algo que fue descartado al quedar obsoletas para la nueva tecnología las técnicas y modulaciones usadas en él. Las VLC fueron concebidas como sustitutos de los enlaces físicos punto a punto y aquí viene la gran diferencia con el LiFi, debido a que esta nueva tecnología describe una tecnología bidireccional multiusuario, ya sea punto a multipunto o viceversa. Para hacer más claro esto se ha incluido la figura 1-2, basada en unos apuntes proporcionados por la profesora Ana Cinta del departamento de Ingeniería electrónica de la Universidad de Sevilla. En ella se interpreta que tanto las VLC como el LiFi son tecnologías OWC y aunque tienen partes en común, como puede ser el medio de transmisión, también tienen diferencias.

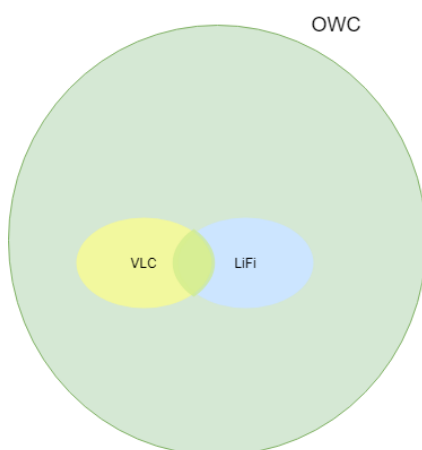


Figura 1-2. Relación entre OWC, VLC y LiFi.

Como ya se ha comentado anteriormente el LiFi no usa el espectro de radiofrecuencia, sino el de luz visible, por lo que escapa de las interferencias en él y no provoca ninguna en los dispositivos conectados inalámbricamente a través de él. La parte del espectro utilizada por el LiFi es inmensamente más amplia que el usado para las comunicaciones en el espectro de radiofrecuencia, lo que abre un abanico de posibilidades para su utilización. Es por esto por lo que el LiFi se puede convertir en el gran aliado en la lucha contra la sobreexplotación del

espectro de radiofrecuencia. La figura 1-3 fue utilizada en la charla TED del Profesor Harald Haas titulada *Wireless Data from every light bulb* en la que presentó al mundo el nombre comercial de LiFi, exponiendo sus ventajas y realizando una demostración en directo de transmisión usando luz desde un diodo LED en el año 2011 [4]. Dicha imagen deja de manifiesto la ventaja principal del LiFi de la que se ha estado hablando, el extenso espectro disponible para ser usado en comparación con el más utilizado en estos momentos, el espectro de radiofrecuencia (azul y a la izquierda en la figura), ambos representados en términos de frecuencia, siendo la parte del espectro a utilizar unas 10.000 veces mayor.

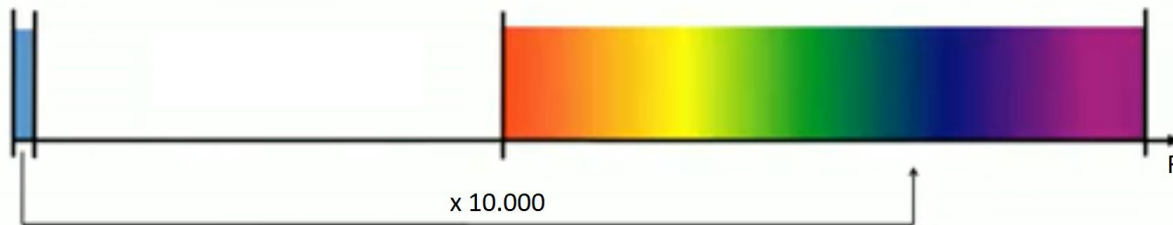


Figura 1-3. Comparativa entre el espectro de radiofrecuencia y el espectro de luz visible.

Además de hacer frente al problema de la saturación de la parte del espectro electromagnético utilizada hasta ahora, esta tecnología es un avance en cuanto a eficiencia energética. Los diodos LED son mucho más eficientes que las bombillas convencionales, algo que se detallará más en un subapartado posterior, por lo que con el simple gesto de cambiar las bombillas que se tengan instaladas por bombillas LED con el fin de utilizarlas como puntos de acceso serán ahorrados miles de vatios de potencia eléctrica en los hogares y el alumbrado. Además, se ahorraría muchísima energía al ahorrarnos un número de las enormes estaciones base utilizadas para WiFi, las cuales usan la amplia mayoría de la energía que le llega para disipar el calor que ellas mismas generan y poder seguir funcionando correctamente, lo que produce una enorme pérdida de eficiencia en el uso de energía para transmitir. Como otro punto positivo a destacar dentro del ahorro se incluiría también los costes de instalación y mantenimiento, ya que toda ciudad y vivienda dispone de una red de alumbrado, la cual podría ser reutilizada para proporcionar acceso a Internet, haciendo uso de otras tecnologías como *Power Line Communications* (PLC) o *Power over Ethernet* (PoE) que en estos momentos no son tan conocidas por el gran público y que serán detalladas en un subapartado posterior, las cuales deberán crecer y evolucionar según las demandas de las generaciones venideras [5, 6].

Cabe destacar que al contrario de como se ha publicado en muchísimos titulares de artículos y revistas online, el LiFi no viene a sustituir o a destruir al WiFi. Comparte muchísimos escenarios en los que ambos podrían trabajar conjuntamente y a pesar de que hay ensayos que pronostican que teóricamente el LiFi puede llegar a ser mucho más veloz, lo ideal es que ambas tecnologías puedan convivir en el futuro y sea el dispositivo del usuario el que decida en función de la intensidad de la señal que reciba y las necesidades a las que esté sometido. Por otro lado es verdad que el LiFi podrá ser implantado en lugares donde actualmente el WiFi no puede llegar. Algunas plantas de los hospitales en los que son necesarios cientos de metros de cable Ethernet para mantener conectados los equipos, centrales nucleares donde por seguridad no se pueden usar las ondas de radio, aviones donde se tiene que conectar el famoso Modo avión y permanecer desconectados durante el trayecto, en obras o instalaciones subterráneas donde se emplean materiales muy perjudiciales para las señales de radio o en las comunicaciones inalámbricas por el agua son lugares que podrán experimentar un gran cambio al ser conectados mediante luz.

Un mito que ha sido repetido muchas veces es el que dice que el LiFi es incapaz de trabajar en presencia de luz solar. Como ya han explicado empresas líderes en el sector como pureLiFi [7], los productos que se están desarrollando se prueban con incidencia de luz directa del Sol, o de un dispositivo que lo simule, testando el correcto funcionamiento de los receptores utilizados. Esto se debe a que dichos receptores se fijan en los constantes y velocísimos cambios de intensidad del LED emisor, ignorando el valor constante que tiene la luz solar.

Todo esto invita a pensar positivamente en el futuro desarrollo y crecimiento de esta tecnología, aunque como todas las tecnologías tiene una serie de inconvenientes. Una de ellas es que depende del crecimiento de otras

tecnologías como PLC o PoE para poder crecer, hecho que pudiera retrasar en algunos momentos el lanzamiento de nuevos productos al mercado. Además, es una tecnología que al encontrarse en desarrollo es increíblemente cara, tanto los productos que se encuentran a la venta como los kits de demostración, mientras las prestaciones en cuanto a velocidad en el mejor de los casos igualan la ofrecida por los dispositivos WiFi en estos momentos. Tampoco tiene aún definido un estándar, lo que hace que la interoperabilidad entre fabricantes sea nula, algo que imposibilita combinar diferentes dispositivos de fabricantes distintos en un mismo escenario. Esto está en proceso de cambio inminente, ya que recientemente ha sido aprobada la formación de un grupo de trabajo llamado 802.11 bb el cual persigue fijar un estándar de fabricación [8]. Además, se han creado numerosos eventos para dar a conocer los avances de esta tecnología al gran público como el Global LiFi Congress [9] que han dado grandes pasos en la difusión. Incluso a pesar de no haber llegado al público corriente en Andalucía ya se puede visitar la primera sala equipada con LiFi gracias a las empresas Datlight y Lucibel, situada en el Parque Tecnológico de Andalucía [10]. No cabe duda de que el futuro que le depara a esta tecnología es más que emocionante y prometedor.

2. Justificación del proyecto.

Este subapartado del capítulo está destinado a justificar y explicar los motivos que han llevado a realizar este trabajo, indicando además la metodología utilizada y cómo se encuentra organizado.

2.1. Motivación

El principal motivo para la realización de este proyecto es la búsqueda de una solución para los problemas de cobertura usando una red inalámbrica de una vivienda residencial. Dicha vivienda sobre la que se ha realizado el estudio está situada en una de las calles del centro de Cádiz, lugar donde no es posible llevar la conexión a Internet mediante fibra óptica como ha sido confirmado por la atención al cliente de la compañía que provee de servicio a la vivienda, quedando como alternativa el cable coaxial. En este caso se tienen contratados 50 Mbps que llegan a través de cable coaxial al interior de la vivienda y se extienden hasta el router ADSL por el mismo medio. Dicho router, que realiza las funciones de módem, es un producto de la serie Cisco RV110W, proporcionado en el 2008 por la ya absorbida empresa Ono, el cual solo es capaz de ofrecer hasta 100 Mbps en la banda de 2,4 GHz y no cuenta con la capacidad de trabajar en la banda de 5 GHz, algo que lo hace quedar bastante anticuado en comparación con los routers de última generación disponibles. Ese es uno de los principales problemas, la falta de renovación de este punto de acceso que no soporta el protocolo 802.11n siquiera, del que se hablará más adelante. Como reacción a que la zona de cobertura deseada no era cubierta con este punto de acceso el cliente adquirió hace unos 4 años un extensor WiFi que trabaja en la banda de 2,4 GHz exclusivamente, pudiendo extender como máximo una velocidad de 300 Mbps. Aun así la conexión a Internet en la vivienda no es todo lo buena que se desearía por lo que se decidió iniciar un estudio, empezando por la elaboración de los planos de la vivienda que pueden ser consultados en “Planos” y continuando con un estudio de las alternativas que pudieran ayudar a proporcionar una solución adecuada destinada a solventar estos problemas de conexión.

2.2. Objetivos del Proyecto

El objetivo principal de este proyecto es dotar de una solución correctamente justificada al problema de mala cobertura encontrado para la vivienda estudiada.

Como objetivo específico se desea introducir al lector en la tecnología LiFi, enseñándole sus ventajas y desventajas, sus principios básicos de funcionamiento, los productos que actualmente se están desarrollando y comercializando y los posibles usos de esta nueva tecnología.

2.3. Metodología utilizada

En primer lugar se ha realizado una amplia búsqueda de información sobre la tecnología LiFi, por la cual se han leído numerosos artículos y se han visitado las páginas web de las empresas que se encuentran a la cabeza de la investigación, entre las que destacan las páginas de pureLiFi [7], Oledcomm [11] y Signify [12]. Además, se realizó una búsqueda sobre los artículos del IEEE más interesantes que se encontraran a disposición y que

informaran sobre el LiFi y sus posibilidades. Tras la búsqueda de los conceptos más técnicos de la tecnología LiFi se pasó a investigar la parte más comercial, realizando una búsqueda en páginas web y contactando con las empresas para poder obtener más información sobre los productos que actualmente se ofrecen en el mercado.

Tras el análisis comercial vino el análisis del problema. Para ello se realizaron una serie de medidas de la vivienda a estudiar usando aplicaciones de medida de señal de intensidad de WiFi, recopilando información sobre los inconvenientes que hacían que la conexión no tuviese unas condiciones aceptables. Para ello se crearon con ayuda de AutoCAD una serie de planos de la vivienda y de algunos de los aspectos que serían de interés como la instalación eléctrica, la ubicación de los dispositivos que abastecen de conexión WiFi y cuales eran las zonas de la casa a las que había que hacer llegar una mejor conexión. En cuanto a la información sobre qué luminarias se tenían instaladas, la potencia contratada, la velocidad, el proveedor de Internet y los dispositivos encargados de emitir la señal WiFi, fue obtenida gracias a la colaboración de los usuarios de la propia vivienda.

Por último, se investigaron tecnologías de las que depende LiFi como son PLC, PoE, Ethernet o algunas soluciones domóticas que pueden ser adoptadas para optimizar el uso de los puntos de acceso LiFi, además de realizarse un repaso sobre la tecnología WiFi, sus diferentes protocolos y sus ventajas e inconvenientes.

2.4. Organización del Proyecto

- Memoria: en ella se encuentran la motivación, los objetivos, la metodología utilizada y la organización proyecto; se describen las alternativas estudiadas para solventar el problema encontrado y la justificación de la solución adoptada. En los anexos a esta memoria se incluyen las referencias bibliográficas y los cálculos que justifican la solución adoptada.
- Planos: describe gráficamente la vivienda estudiada y la distribución de los equipos en la solución.
- Pliego de condiciones: desglosa las características generales y específicas de los equipos a utilizar al llevar a cabo la solución.
- Presupuesto: detalla el coste total del proyecto, desglosando individualmente el precio de cada uno de los dispositivos que toman parte en la solución.

3. Estudio de alternativas.

3.1. Descripción de las posibles soluciones

En este subapartado se describen las dos grandes alternativas estudiadas para hacer frente al problema de mala conexión, el WiFi y el LiFi, realizando un breve repaso por la historia, la estandarización, las ventajas y desventajas y los productos que pueden ser encontrados en el mercado actualmente.

3.1.1. WiFi

WiFi es la tecnología inalámbrica de acceso a la red por excelencia y está ampliamente asentada en el uso cotidiano de cada uno de nosotros, según la página web oficial de *WiFi Alliance* con 13 billones de dispositivos en uso [13]. Esta tecnología se basa en que un punto de acceso recibe la información proveniente de internet vía cableado, codifica esta señal y la transforma en ondas de radio, las cuales transmite inalámbricamente a través de antenas para que otras antenas receptoras decodifiquen estas ondas de radio y la transformen de nuevo en información, haciendo así que los usuarios puedan estar conectados sin tener que hacer uso de cables y teniendo movilidad por el área de cobertura del punto de acceso al que se conectan. Este flujo de información es bidireccional haciendo que tanto punto de acceso y dispositivo se comuniquen entre sí inalámbricamente proporcionando conexión a internet al usuario.

Su proceso de estandarización comienza en 1997 con el lanzamiento por parte del IEEE de la especificación técnica 802.11 *legacy* la cual ofrecía una capacidad de 2 Mbps sin ningún mecanismo de seguridad. La señal era transmitida vía infrarrojos o utilizaba la banda de 2,4 GHz de manera excepcional. Y es tras esto cuando se produce uno de los grandes adelantos en el uso de esta tecnología inalámbrica. En 1999 se lanza el estándar 802.11b el cual tuvo un gran éxito entre los usuarios y fue el causante de la aceleración en el desarrollo y

lanzamiento de nuevos estándares e investigaciones. Este nuevo estándar ampliaba la tasa ofrecida hasta los 11 Mbps y se instaló en la banda de 2,4 GHz para emitir. Además, incluía un protocolo de seguridad, WEP de sus siglas en inglés *Wired Equivalent Privacy*, el cual perseguía ofrecer un nivel de seguridad equivalente a un enlace cableado encriptando la información en el nivel 2 del Modelo OSI, pero del que se conocieron múltiples fallos de seguridad de manera que fue abandonado su uso unos años más tarde. En el mismo año 1999 se lanzó el estándar 802.11a el cual trabajaba en la banda de los 5 GHz. Este prometía una tasa teórica de 54 Mbps, que en la práctica se quedaban en 24 Mbps y usaba la tecnología OFDM, la cual será brevemente explicada en un subapartado posterior. Curiosamente el estándar 802.11b llegó al mercado antes que el 802.11a y no eran compatibles, aunque el hecho que hizo que prosperara la línea de trabajo del 802.11b fue que tuvo mayor éxito al tener mayor alcance por trabajar en una banda de frecuencias inferior. Es también en el año 1999 cuando se forma la WECA, de sus siglas en inglés *Wireless Ethernet Compatibility Alliance*, una asociación internacional formada por compañías líderes en las tecnologías inalámbricas cuyo objetivo principal es hacer posible la interoperabilidad entre los productos basados en los diferentes estándares IEEE 802.11 comercializados por distintos fabricantes y que en 2004 pasaría a llamarse *WiFi Alliance* [14] tal y como es conocida a día de hoy. En la figura 1-4 puede verse el logo de la asociación, obtenido del sitio oficial de la misma.



Figura 1-4. Logo de WiFi Alliance.

La siguiente generación de productos WiFi llegaría en el año 2003 con el estándar 802.11g. Este es la evolución del pasado 802.11b y era compatible con él. Opera en la banda de 2,4 GHz y como en el 802.11a tiene una tasa teórica de 54 Mbps, aunque en la práctica se quedan en 24 Mbps, y también hace uso de la tecnología OFDM. En esta generación se introdujo un avance que en generaciones posteriores es crucial, la posibilidad de tener en una red WiFi dispositivos que utilizan diferentes estándares, pero que no evitan que la red deje de funcionar. En este caso era posible encontrar en una misma red dispositivos que utilizaban los estándares 802.11b y 802.11g, y aunque esto no imposibilitaba el correcto funcionamiento sí suponía un lastre en la tasa posible a utilizar. El otro avance obtenido en esta generación era el nuevo protocolo de seguridad utilizado, WPA de sus siglas en inglés *WiFi Protected Access*, el cual mejoraba a su antecesor WEP. Este nuevo protocolo de seguridad utiliza hasta 256 bits para encriptar la información e incluía comprobaciones de integridad de los mensajes. Se puede dividir en dos tipos: WPA-Personal utilizados en las pequeñas empresas y sobre todo en los hogares y que se basa en una clave de autenticación de 256 bits para cada dispositivo conectado; y la WPA-Enterprise utilizada en las grandes empresas basado en un servidor de autenticación encargado de la generación y autenticación automática de las claves de los usuarios conectados. Este protocolo sentó las bases para sus sucesores WPA2, cuya certificación obligatoria fue aprobada en 2006, y WPA3, anunciado a principios del año 2018 por la WiFi Alliance. Cabe destacar que la configuración de seguridad más utilizada en las redes domésticas hoy en día es la llamada WPA/WPA2 PSK, que consiste en la utilización de una clave de seguridad precompartida de entre 8 y 63 caracteres alfanuméricos.

En 2009 llegó un nuevo estándar que traía novedades al WiFi y su uso. Esta cuarta generación, el IEEE 802.11n, por primera vez hace uso simultáneamente de las bandas de 2,4 y 5 GHz para huir del problema de congestión y saturación que sufre la banda de 2,4 GHz. La banda de 5 GHz se convierte en una escapatoria donde encontrar una red menos saturada, aun siendo una red con menor alcance esta vez sí triunfó. Se continúa con el uso de la tecnología OFDM y se incluye la utilización del MIMO 4x4, de sus siglas en inglés *Multiple Input Multiple Output*, lo que implica emitir con hasta 4 transmisores y recibir con hasta 4 receptores simultáneamente. Esto le permite enviar varios canales a la vez, usar el multiplexado espacial y aumentar la capacidad del canal. Empleando anchos de banda de 20 y 40 MHz hay tasas teóricas de hasta 600 Mbps quedándose en la práctica

en 320 Mbps, multiplicando por 13 la velocidad del anterior estándar que además es retrocompatible con todas las versiones anteriores.

En 2013 vio la luz la quinta generación de WiFi de la mano del estándar IEEE 802.11ac, que introdujo nuevas mejoras permitiendo que se superase la barrera del gigabit por segundo. El llamado 802.11 ac wave 1 fue aprobado en el 2013 tiene una tasa práctica de hasta 1,3 Gbps y en 2015 salió el llamado 802.11 ac wave 2 que promete una tasa teórica de 6,9 Gbps. Los productos comerciales llegan hasta 3,5 Gbps y se ha incluido un nuevo concepto, el *beamforming*, el cual será explicado brevemente más adelante. Además, dicho estándar es retrocompatible con las anteriores versiones, estando ya implantado en los dispositivos de uso cotidiano, y trabaja en las bandas que ya venía utilizando WiFi, las de 2,4 y 5 GHz, usando la de 2,4 GHz para las necesidades básicas y la de 5 GHz para las aplicaciones que demandan más capacidad. Los canales utilizan mayor ancho de banda, 80 y 160 MHz y las modulaciones pasar a tener hasta 1024 niveles. Se pasa a utilizar un MIMO de hasta 8x8 soportando también más de un usuario en el llamado MU-MIMO de las siglas en inglés *Multiuser-Multiple Input Multiple Output* [15, 16]. Este estándar es el último aprobado por el IEEE hasta mediados del año 2019, pero se están realizando estudios que han hecho que ya haya algunas grandes empresas que estén sacando al mercado productos con el estándar IEEE 802.11 ax, el llamado WiFi 6, anunciado por la *WiFi Alliance* en el CES (*Consumer Electronic Show*) celebrado a principios de este año como el WiFi capaz de abastecer la inmensa densidad de dispositivos conectados en eventos como partidos de fútbol en grandes estadios u otros eventos de esta magnitud [17]. Según la propia web de la asociación este nuevo estándar que se espera que sea aprobado en los próximos meses traerá consigo mayor capacidad, velocidad y una mejora de la eficiencia de la potencia utilizada. Según Cisco, este nuevo estándar dará sustento al vídeo en 4 y 8K y sobre todo será un paso enorme para el desarrollo de las redes inalámbricas del IoT, con una velocidad práctica de hasta 4,8Gbps, aunque sin tener aún el certificado de la *WiFi Alliance* [18].

A continuación, se explicarán brevemente dos tecnologías nombradas en este repaso histórico, OFDM y *beamforming*, cerrando este subapartado dedicado a WiFi con un resumen de las ventajas e inconvenientes de esta tecnología y un paso por el mercado de los productos comerciales que pueden ser obtenidos en estos momentos.

3.1.1.1. OFDM

Las siglas de esta técnica de modulación vienen de *Orthogonal Frequency Division Multiplexing*, que en español significa multiplexación por división de frecuencias ortogonales [16]. Empezando por lo más básico, una multiplexación en el área de las telecomunicaciones se refiere a la transmisión de más de una señal combinada de forma que puedan ser transmitidas por un mismo canal de transmisión, dando la ventaja de permitir varias comunicaciones de manera simultánea. Este proceso, realizado en un elemento llamado multiplexor, combina las ondas portadoras centradas en diferente frecuencia, capaces de transportar información y ser transmitidas de manera simultánea tras ser moduladas. Para ello, primero el canal de transmisión disponible es dividido en bandas de frecuencia de igual anchura resultando cada una de estas bandas un subcanal por el que la información será transmitida. Además, dicha información transmitida por el usuario será dividida también y cada una de las subportadoras se encargará de llevar una porción de esta información al destino. Una vez realizada esta multiplexación las diferentes subportadoras son moduladas para transportar datos y transmitidas simultáneamente. Cabe destacar que dicha tecnología de modulación es utilizada en grandes sistemas de comunicaciones como son WiFi, LTE o la televisión digital terrestre (TDT).

En la figura 1-5, extraída de la página web *RevolutionWiFi* [19], se puede ver un esquema de las portadoras transmitidas al usar OFDM. Estas portadoras, como se puede observar no tienen bandas de guarda entre ellas, pero el hecho de que estas portadoras sean ortogonales y el uso de del prefijo cíclico, CP, del inglés *Cyclic Prefix*, hacen que el efecto de la interferencia entre portadoras, ICI por sus siglas en inglés *Inter-Carrier Interference*, sea nulo. El parámetro Δf se refiere al ancho de banda disponible para cada subcanal o conjunto de subportadoras y se calcula como el ancho de banda disponible total dividido entre el número de subcanales en los que va a ser dividido.

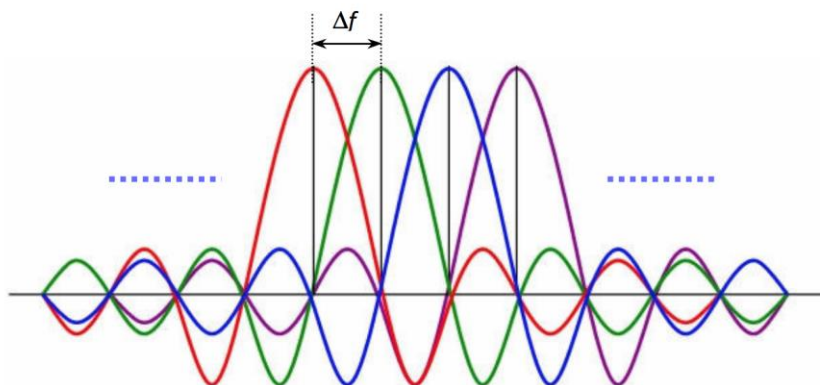


Figura 1-5. Esquema de las portadoras en una modulación OFDM.

3.1.1.2. Beamforming

El *beamforming* es una de las técnicas integradas en los puntos de acceso WiFi de última generación que hacen que tanto el alcance como la intensidad de la señal se acerquen más a ser óptimos. La señal WiFi debe hacer frente a numerosas interferencias, ya sean electromagnéticas como pueden ser otras señales WiFi o Bluetooth; o físicas como muebles o tuberías en las paredes que no hacen más que debilitar la señal. Para intentar evitar esto, los nuevos routers hacen uso de la tecnología *beamforming*, por la cual los puntos de acceso analizan la red a la que están ofreciendo conexión, situando los dispositivos que están conectados a ella y examinando los caminos por los que la señal le llega. Tras estos análisis, son capaces de dirigir la potencia emitida en caminos determinados haciendo aumentar la señal en la dirección de los dispositivos ofreciendo una mejor conexión al dispositivo conectado, todo esto en tiempo real.

En la figura 1-6, obtenida del blog titulado “Beamforming, qué es y cómo debería afectar a tu compra de un router accesible en la página web de Computer Hoy, se puede ver el efecto que tiene en una red el uso de esta tecnología [20].



Figura 1-6. Esquema de uso de la tecnología *beamforming*.

3.1.1.3. Ventajas e inconvenientes del WiFi

Entre las ventajas del WiFi destacan:

- la facilidad de conexión a una red inalámbrica, ya que es posible conectarse a una red simplemente introduciendo una contraseña o en algunos casos pulsando un botón de sincronismo en el punto de acceso al que se quiere conectar.
- la movilidad ofrecida al usuario conectado a la red, ya que puede disfrutar de la red en una amplia zona sin necesidad de tener ningún enlace cableado, haciendo que la señal pueda llegar a lugares donde el

características en este recopilatorio.

3.1.1.4.1. Routers

Cuando nos referimos a los routers que podemos observar en nuestra propia casa lo más normal es tener un solo dispositivo que también ejerce las funciones de módem, los llamados routers ADSL, pues además de ser punto de acceso WiFi y poder conectar a ellos cables Ethernet son los encargados de recibir la señal desde la compañía de servicios que se tenga contratada y “transformarla” en nuestra red local. Además, existe la posibilidad de añadir otro router sin las funciones de ADSL para mejorar las características de emisión, aumentar las zonas de cobertura y/o simplemente tener un segundo punto de acceso al que poder conectarse. En este subapartado se ha hecho una separación donde en primer lugar se muestran 2 routers con capacidad para actuar como routers ADSL y en segunda instancia dos routers son dicha capacidad que pueden ser utilizados para ampliar o mejorar nuestra red ya existente [21]. Se ha tenido en cuenta que el último estándar aprobado es el IEEE 802.11ac, aunque ya se están comercializando productos con el estándar 802.11ax. Por ello se han elegido los siguientes productos:

FRITZ! Box 7590

Este router tiene chipset módem xDSL integrado que lo hace capaz de ejercer como router ADSL si se requiriese [22]. Este producto, que puede ser obtenido en Amazon por 229€, proporciona una velocidad de hasta 800 Mbps en la banda de 2,4 GHz gracias a que soporta el protocolo 802.11 n y a la capacidad de utilizar la tecnología MIMO con sus 4 antenas transceptoras. Además, es también capaz de emitir en la banda de 5 GHz y con mejores prestaciones, alcanzando hasta una velocidad de 1,73 Gbps gracias al uso del protocolo 802.11 ac, el último aprobado por el IEEE hasta ahora, y la tecnología MIMO 4x4 simultáneamente. Es compatible con teléfonos analógicos e incluso permite conectar hasta 6 teléfonos inalámbricos a la vez. Sus memorias RAM y FLASH de 512 MB cada una hacen que el procesador esté más que capacitado para realizar todas las operaciones que debe llevar a cabo un router ADSL, convirtiéndolo en una gran alternativa si se busca sustituir el router proporcionado por las compañías, que en ocasiones no cuenta con todas las características que debiera. Lo completan dos puertos USB 3.0 y 4 puertos Gigabit Ethernet. En la figura 1-8, extraída de la página oficial de Amazon, se puede observar la parte frontal de este producto.



Figura 1-8. FRITZ! Box 7590.

TP-LINK Archer D5

Este otro router módem puede ser encontrado por 150€ en Amazon y también puede sustituir al dispositivo que nos proporciona nuestra compañía de servicios gracias a su puerto ADSL por el que le puede llegar la conexión y convertirla en la red local a la que se conectará el usuario. Alcanza una velocidad de hasta 300 Mbps en la banda de 2,4 GHz y hasta 867 Mbps en la banda de 5 GHz soportando el último modelo de estándar aprobado por el IEEE, el 802.11 ac. Cuenta con la posibilidad de utilizar su servidor FTP para compartir archivos y documentos remotamente y con sus tres antenas externas sumadas al amplificador lo hacen una alternativa más económica que el anterior. Lo completan sus dos puertos USB y sus 4 puertos Gigabit. En la figura 1-9, obtenida de la página oficial de TP-Link, puede verse la parte frontal de este dispositivo [23].



Figura 1-9. TP-LINK Archer D5.

Por otro lado, se han escogido dos de los routers destinados simplemente a mejorar la conexión existente, pero que no cuentan con la posibilidad de poder actuar como router ADSL. Estos suelen ser utilizados si lo que se busca es una conexión de mayor calidad para jugar a videojuegos o para doblar los puntos de accesos o los puertos disponibles [24].

Asus RT-AC88U



Figura 1-10. Asus RT-AC88U.

Este router de Asus, es una alternativa por 198€ que puede cubrir todas las necesidades buscadas en un hogar. Cumple con el estándar 802.11ac y todas las versiones anteriores, ofreciendo una velocidad máxima de hasta 1 Gbps en la banda de 2,4 GHz y hasta 2,17 Gbps en la banda de 5 GHz. Con sus 4 antenas exteriores es capaz de hacer uso de la tecnología MU-MIMO, aunque no tiene implementado la posibilidad de usar *beamforming*. Con 8 puertos gigabit es una opción más que recomendable si buscamos adaptarnos totalmente a las características ofrecidas por las grandes compañías en estos momentos e incluso para los estándares venideros. La figura 1-10 ha sido obtenida de la página de PcComponentes [25].

D-Link DIR-882



Figura 1-11. D-Link DIR-882.

Por último está la opción por menos de 100€ de la firma D-Link que soporta el protocolo 802.11ac inalámbrico con las tecnologías MU-MIMO y *beamforming*, llegando a ofrecer hasta 2,5 Gbps en la banda de los 5 GHz. El único inconveniente respecto a los demás se puede encontrar en que solo cuenta con 4 puertos y parece que habría que hacer uso de un switch adicional, siendo dichos puertos Gigabit Ethernet. La figura 1-11 ha sido obtenida de la página oficial de Amazon España, lugar donde se ha encontrado a menor precio [26].

3.1.1.4.2. Repetidores

Asumiendo que la zona de cobertura deseada para la vivienda estudiada es suficientemente extensa se ha realizado una recopilación de 3 extensores de señal WiFi por si fuera necesario su uso.

Asus RP-AC87

Este extensor de señal WiFi de la marca Asus se puede encontrar en la página de PcComponentes, de donde se ha sacado la figura 1-12, por 125€. Este repetidor inalámbrico incorpora 4 antenas externas las cuales le permiten trabajar en las bandas de 2,4 y 5 GHz, soportando el protocolo IEEE 802.11 ac y llegando a poder ampliar hasta una velocidad de 2,5 Gbps. A todo esto se le suma que tiene un puerto de Gigabit Ethernet y que puede llegar a funcionar como puente de medios, lo que hace que este producto se sitúe en la cumbre entre los repetidores [27].



Figura 1-12. Asus RP-AC87.

Netgear EX6120



Esta solución de Netgear se encuentra en PcComponentes por 47€ y viene con el protocolo IEEE 802.11 ac implantado. Las dos antenas exteriores hacen que soporte hasta 300 Mbps en la banda de 2,4 GHz y hasta 900 Mbps en la de 5 GHz. Es fácilmente configurable con una aplicación ofrecida por Netgear y tiene un puerto Fast Ethernet que permite obtener una conexión cableada de hasta 100 Mbps. La figura 1-13 ha sido extraída de la página web oficial de PcComponentes [28].

Figura 1-13. Netgear EX6120

TP-Link RE200

Por último se ofrece la posibilidad con mejor calidad-precio de las investigadas. Por 28€ se puede obtener esta opción de la marca TP-Link en la página web oficial de PcComponentes, de donde se ha sacado la figura 1-14. Este repetidor implementa el protocolo 802.11ac y soporta hasta una velocidad de hasta 300 Mbps en la banda de 2,4 GHz y hasta 433 Mbps en la de 5 GHz. Sus 3 antenas internas y su puerto de hasta 100 Mbps completan las características de la solución más económica de las observadas [29].



Figura 1-0-14. TP-Link RE200.

3.1.1.4.3. Adaptadores USB

Para cerrar este subapartado sobre el mercado de productos actuales se han incluido un par de adaptadores USB que podrían ser usados para utilizar o mejorar el protocolo inalámbrico de los dispositivos de los usuarios.

Asus USB-AC53



Este adaptador USB de Asus se puede encontrar por 27,45€ en la página de PcComponentes de donde está sacada la figura 1-15. Permite disfrutar en el equipo donde se conecta de la combinación del estándar inalámbrico 802.11ac y la tecnología MIMO que hacen que la velocidad soportada pueda llegar hasta los 300 Mbps en la banda de 2,4 GHz y hasta los 867 Mbps en la banda de 5Gz, convirtiendo a este adaptador USB en la alternativa perfecta para hacer que los equipos que no cuentan con este último protocolo inalámbrico de red implantado puedan disfrutar de algunas de sus ventajas [30].

Figura 1-15. Asus USB-AC53

TP-LINK Archer T2UH

Por último una opción aún más económica es este producto de la marca TP-Link, visto por 18€ en el sitio web de PcComponentes de donde ha sido extraída la figura 1-16. En este caso el diseño cuenta con una antena externa que soporta el protocolo 802.11ac y velocidades inalámbricas de hasta 433Mbps en la banda de 5 GHz y 150 Mbps en la de 2,4 GHz. No dispone de MIMO y su diseño es más aparatoso que el anterior, pero puede ser un avance al implementar el último protocolo de red inalámbrica aprobado [31].



Figura 1-16. TP-LINK Archer T2UH

3.1.2. LiFi

LiFi es una alternativa inalámbrica creciente. Como ya se explicó en la introducción, tiene su base en los sistemas VLC y fue en 2011 cuando el profesor de la Universidad de Edimburgo y cofundador de la empresa ahora conocida como pureLiFi, una de las líderes en el desarrollo e investigación de esta nueva tecnología, acuñó el término comercial LiFi. Esta nueva tecnología se basa en la transmisión de los datos codificados a través del espectro de luz visible y también la parte del espectro electromagnético dedicado a los infrarrojos. Esto abarca en total las frecuencias comprendidas entre los 300 GHz y los 789 THz, algo que supone una cantidad de ancho de banda nunca antes imaginado para la transmisión de información. Los receptores de esta tecnología son fotorreceptores capaces de transformar la luz que viaja desde la fuente, como puede ser una o varias luces LED, de nuevo en señal de información. En la amplia mayoría de las demostraciones públicas realizadas de los productos que soportan LiFi para el enlace en sentido luminaria a dispositivo, a partir de ahora downlink, se utiliza el espectro de luz visible, mientras que para el enlace contrario, del dispositivo a la luminaria se realiza mediante infrarrojos [32].

Esta tecnología tiene una corta vida que se ha intensificado en los últimos años debido a que puede ser la solución a uno de los problemas más graves a los que debe hacer frente la siguiente generación de comunicaciones inalámbricas, la sobreexplotación del espectro de radiofrecuencia. Como se ha comentado, el LiFi no usa éste para emitir por lo que ni se ve afectado ni causa interferencias en los sistemas inalámbricos implementados actualmente, algo que la convierte en una más que interesante alternativa.

En los últimos meses se han dado dos pasos de gigante. Ya se conocían eventos como el *Global LiFi Congress* [9], donde se presentaban avances o se daban a conocer a los asistentes los productos LiFi de las distintas empresas que se daban cita en ellos. Pero hay dos hechos que destacan sobre todos los demás y que marcan el camino hacia una de las cosas que más necesita una tecnología para crecer, tanto en el mercado como en la investigación, un estándar al que ajustarse. En este sentido en julio de 2018 se formó un grupo de trabajo del IEEE llamado 802.11 Light Communications Amendment - Task Group "bb", al que se ha abreviado como 802.11 bb. Este grupo busca comenzar un proceso de estandarización por el que llegar a mediados del año 2021 a publicar un estándar donde se alcancen los 5 Gbps, la interoperabilidad entre fuentes de luz con diferentes anchos de banda de modulación y se establezca que tanto el enlace ascendente como el descendente operen en la banda de 380 nm a 5.000 nm, que traducido a frecuencia quiere decir entre los 60 y los 789 THz [8]. Además de este proceso técnico también se ha creado la llamada *Light Communications Alliance* (LCA), una asociación de grandes empresas, entre las que destacan pureLiFi, Nokia, Cisco, Intel o Lucibel, que tiene como objetivo literalmente: “La alineación de los líderes de todas las industrias para desarrollar modelos de negocio utilizando los sistemas y tecnologías de la comunicación por luz mediante la definición de un estándar y una cooperación eficiente.” Tanto esta cita como la figura 1-17 han sido extraídas de la página web oficial de la LCA [33]. Estos dos grupos acercan a la tecnología a un proyecto común que tiene como objetivo el crecimiento y desarrollo de la propia tecnología y que a buen seguro traerá buenos resultados en los años venideros.



Figura 1-17. Logo de la LCA.

Como ya se ha comentado, LiFi es una tecnología en desarrollo por lo que en estos momentos la mayoría de los datos son sobre ensayos que se han realizado en laboratorios de investigación, pero en algunas ocasiones ya se ha dejado mostrar el potencial de esta nueva tecnología. La universidad de Oxford publicó en julio de 2016 un artículo en IEEE en el que demostraban haber realizado un ensayo donde se alcanzaron más de 10 Gbps de velocidad de descarga [34]. Teóricamente, según ha publicado el Prof. Harald Haas en un artículo disponible en la página web de la Universidad de Edimburgo, la tecnología LiFi puede alcanzar hasta 100 Gbps e incluso más,

algo que está aún lejos de poder ser demostrado [35]. Como dato más relevante referido a la velocidad real demostrada, en el stand del último *Mobile World Congress* (MWC) celebrado a finales de febrero de este año, la empresa pureLiFi fue la que demostró mayor velocidad llegando al Gigabit por segundo en el downlink, mientras que el uplink llegaba hasta los 425 Mbps [36], aunque en un documento disponible para descargar en su página web asegura llegar hasta los 15 Gbps empleando LED de bajo costo [37].

El último capítulo de este documento ha sido reservado para dar a conocer las futuras aplicaciones en las que se espera poder utilizar LiFi, ya que actualmente la amplia mayoría de los productos están destinados al uso doméstico o escolar, indicando las líneas futuras de trabajo.

3.1.2.1. Estándares

Antes de la formación de un grupo de trabajo del IEEE para desarrollar un estándar propio para la tecnología LiFi, ésta se basaba en otros estándares. La primera solución adoptada fue utilizar las capas MAC y PHY definidas en el estándar 802.15.7 del IEEE dedicado a las comunicaciones ópticas por luz visible (VLC) [38, 39]. En el primer borrador publicado en 2011 se definieron tres capas físicas diferentes cuyas tasas son:

- PHY 1: desde los 11 hasta los 266 kbps.
- PHY 2: desde 1 hasta 96 Mbps.
- PHY 3: desde los 12 hasta los 96 Mbps

Como respuesta a la aparición de tecnologías como la comunicación usando cámaras ópticas (OCC por sus siglas en inglés) o el LiFi se realizó una primera revisión del estándar con el fin de incluir estas en él. Para ello se lanzó en 2017 el grupo de estandarización 802.15.7r1 "*Short Range Optical Wireless Communication*" [40], cuyo objetivo era revisar los objetivos y los modelos de canales a utilizar en diferentes escenarios en los que se iban a trabajar las comunicaciones ópticas inalámbricas de corto alcance entre las que se situaba el LiFi. Dichos escenarios eran una oficina abierta y dividida en cubículos, una oficina con luces secundarias, una sala de estar y una celda de fabricación, probando en ellos tecnologías como MIMO y OFDM. A pesar de los intentos por incluir en esta revisión el LiFi se observó que se necesitaba más funcionalidad MAC por lo que en mayo de 2017 empezó a trabajar el grupo de trabajo IEEE 802.15.13 [38], con el objetivo de definir las capas PHY y MAC de las comunicaciones por luz cuyas longitudes de onda estén comprendidas entre los 10.000 hasta los 190 nanómetros. El objetivo era conseguir tasas de hasta 10 Gbps en distancias de hasta 200 metros sin necesidad de línea de visión directa. Además, se diseñó para conexiones punto a punto o punto a multipunto con topologías coordinadas o sin coordinar. Tras este nuevo intento se decidió incluir el LiFi en el grupo de trabajo del IEEE 802.11, dedicado a las redes de área local inalámbrica (WLAN por sus siglas en inglés) donde se encuentra la tecnología WiFi entre muchas otras. De esta manera en julio de 2018 se crea el grupo de trabajo llamado 802.11 Light Communications Amendment - Task Group "bb" [8], ya nombrado anteriormente, cuyos objetivos son hacer llegar los productos LiFi al mercado general consiguiendo llegar hasta los 5Gbps definiendo la banda de uso desde los 380 hasta los 5.000 nanómetros y especificando tanto la capa PHY como la MAC a utilizar, donde se puede reutilizar en este aspecto parte del trabajo técnico realizado por el otro grupo de trabajo llamado 802.15.13. Se ha anunciado que este trabajo deberá estar terminado en 2021, donde se podrá leer sobre la nueva generación LiFi, siendo la estandarización un punto clave para la llegada al público general de los productos LiFi.

Paralelamente, el sector de la Telecomunicación de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU-T por sus siglas en inglés) empezó a desarrollar un estándar para las comunicaciones por luz visible interiores de alta velocidad con el fin de hacer crecer el mercado de las VLC. Este documento llamado ITU-T G.9991 [41], que ha sido aprobado en el primer trimestre de 2019, se especifican la arquitectura del sistema y las capas físicas y de enlace de datos para los transceptores de las tecnologías de comunicaciones ópticas inalámbricas de alta velocidad que usan luz visible en interiores. Un ejemplo de producto que ha sido presentado bajo este estándar es la gama de productos Trulifi de la empresa Signify, nuevo nombre de la antigua Philips Lighting, entre los que está el producto Trulifi 6013 capaz de alcanzar los 250 Mbps [42]. Sin duda que la llegada de este estándar, junto con la publicación en 2021 del resultado del trabajo del grupo IEEE 802.11 bb supondrán un gran paso en la llegada de los productos LiFi a nuestra vida cotidiana.

3.1.2.2. Ventajas e inconvenientes

Las ventajas que tiene usar sistemas LiFi son:

- La principal y gran ventaja reside en la utilización de la parte del espectro electromagnético que es visible para los seres humanos en lugar de la radiofrecuencia. Esta última se encuentra saturada y es cada vez más difícil encontrar frecuencias sin interferencias con otros equipos o simplemente frecuencias que poder utilizar. Por ejemplo en hospitales o aviones los dispositivos que trabajan en radiofrecuencias se limitan unos a otros. Este problema se solucionaría usando LiFi, ya que ni se ve afectado por esas interferencias ni las provocaría en los demás equipos, disponiendo además de un amplio rango de frecuencias mucho mayor y sin problemas de congestión para trabajar.
- La utilización de las luces LED proporciona además una gran eficiencia energética. La reutilización de la infraestructura construida para la alimentación abarataría los costes de implementación siendo mucho más rentable que mantener las costosas estaciones base las cuales son muy poco eficientes al usar muchísima energía de la que consumen para mantenerse refrigeradas. El uso de las luces LED en vez de la iluminación tradicional como las bombillas incandescentes ya supone un ahorro energético y si además de iluminar sirve para dar conexión el ahorro es aun mayor. Todo esto hace que la tecnología LiFi sea más respetuosa con el medio ambiente que las actuales [43].
- La utilización de LiFi proporcionaría una capacidad mucho más alta que sistemas como el WiFi. Simplemente hay que pensar en una biblioteca pública, la cantidad de luminarias que hay podrían abastecer de conexión también siendo puntos de acceso que multiplicarían la capacidad de conexión actual. Eso supondría una mejora de conexión y velocidad para los usuarios.
- En cuanto a la seguridad se reduciría el número de intrusos en las redes ya que la luz no atraviesa los muros haciendo mucho más fácil crear una red privada y segura.
- La densidad de datos que LiFi puede soportar es mucho mayor que la de los sistemas actuales, llegando a ser unas 1000 veces mayor que la del WiFi gracias a que se reduce la necesidad de compartir el ancho de banda disponible.
- LiFi da la posibilidad de crear una red de iluminación inteligente. Gracias a que la luz puede ser apuntada en una dirección concreta y que está presente en la mayoría de espacios públicos podría usarse para conectar multitud de usuarios a través del sistema de iluminación. Este aspecto podría ayudar muchísimo al desarrollo en el hogar del IoT.
- Cada luz con LiFi tiene una dirección IP única lo que puede ayudar a la localización en interiores, como museos o supermercados, superando barreras como los amplios muros de hormigón que dificultan tremendamente la propagación de señales de radiofrecuencia.
- Resulta mucho más fácil integrar un LED que una antena en los dispositivos que se quieran conectar. Por ejemplo, la iluminación de los coches podría formar una red que recogiera información para optimizar los desplazamientos y hacer más seguras las carreteras, sumando además que usar diodos LED resulta más económico que generar ondas de radiofrecuencia.

Todas estas ventajas hacen que el LiFi aparezca como solución en numerosos entornos a los que las ondas de radiofrecuencia tienen acceso ilimitado o prohibido, y abre la posibilidad a innumerables nuevas aplicaciones.

Se han repetido continuamente en algunos artículos que buscaban presentar esta nueva tecnología tres afirmaciones erróneas [44]. En primer lugar, se ha publicado que esta tecnología no puede funcionar cuando la luz solar está presente en el canal de comunicación. Esto no es así, ya que LiFi puede funcionar a la luz del día e incluso en condiciones de luz solar directa. Los receptores se basan en los cambios rápidos en la intensidad de la luz y no en los niveles constantes por lo que la luz solar podría filtrarse y no supondría un problema en la comunicación. En segundo lugar, hay numerosos medios que dicen que esta tecnología no puede utilizarse si la luz está apagada. Esto también es mentira ya que se puede utilizar el infrarrojo para la comunicación, que es invisible para el ser humano, o atenuar las luces LED hasta un nivel en que sea imperceptible para el ser humano que las luces estén encendidas. Además, esto no supondría un gasto adicional en la factura debido a que el consumo de las bombillas LED es menor que el de los sistemas de

iluminación tradicionales y su vida útil es mayor. Por último, se dice también que para que el LiFi funcione el receptor debe estar en una línea de visión directa, algo que no es necesario. No se podrá utilizar si el receptor se encuentra por debajo del nivel umbral, por ejemplo al estar metido en el bolsillo, pero la luz puede rebotar en las paredes haciendo que aunque la luz no incida sobre el dispositivo directamente pueda producirse el intercambio de datos.

En comparación con las ventajas, las desventajas encontradas hasta ahora para esta tecnología son pocas. Estas hacen presagiar que LiFi no podrá sustituir a los sistemas inalámbricos en todas las situaciones y lugares, haciendo que todo este rango de tecnologías estén destinadas a convivir.

- El primer gran problema de esta tecnología es su corto alcance. Las luces LED no pueden llegar más lejos que 5-10 metros, imponiendo que las fuentes de iluminación equipadas con LiFi no puedan estar muy separadas entre sí y tampoco del usuario que se quiera conectar a ellas.
- Es una tecnología que se encuentra en una fase de desarrollo por lo que en estos momentos implementar un sistema de iluminación equipado con LiFi puede salir muy caro, incluso una única lámpara de escritorio, el producto MyLiFi de Oledcomm que nos proporcione conexión puede resultar más costoso que un sistema completo de otra tecnología. Además la interoperabilidad entre productos de diferentes fabricantes es nula, al no tener aún un estándar.
- Las numerosas inversiones realizadas por las compañías de servicios de telecomunicaciones en infraestructuras pueden suponer el retraso en la llegada al mercado de los sistemas LiFi, ya que querrán amortizar estas inversiones y no perder grandes sumas de dinero.

Se ha comentado como una ventaja que la luz no atraviese las paredes, pudiendo crear una red más segura, pero también esto puede suponer una desventaja a la hora de implementar un sistema, ya que a la hora de diseñar habrá que tener mucho cuidado con los obstáculos que puedan interferir entre el transmisor y el receptor y aunque tengamos comunicación en una habitación, esa conexión no nos servirá en la habitación contigua, debiendo iluminar ambas habitaciones.

3.1.2.3. Mercado actual

En estos momentos es cierto que los productos ofertados a los particulares son muy escasos. Muchas empresas reservan sus productos para eventos o para mostrar la tecnología a empresas que estén interesadas en adquirir o invertir. Por ello, aunque muchas de ellas expongan algunas de las características de sus productos o los llamados *specsheets*, estos no se encuentran disponibles al público general, siendo los siguientes productos los únicos de los que se ha conseguido tanto precio como forma de conseguirlos siendo un particular, teniendo que contactar vía correo electrónico con las empresas.

En primer lugar se hablará de un producto ya comentado anteriormente, la lámpara de escritorio *MyLiFi Desk* de la firma Oledcomm [11], de cuya página web se han obtenido tanto la figura como toda la información sobre él. Como se puede observar en la figura para poder dar conexión a un ordenador personal, éste debe tener conectado un *dongle* a través de USB con el cual es capaz de ofrecer hasta 13 Mbps para el *downlink* y hasta 10 Mbps para el *uplink*, disponibles también con la luz apagada. Es compatible tanto con PLC como con PoE, dos tecnologías que serán explicadas en el siguiente subapartado; cuenta con una luz LED regulable en intensidad y color, que cuenta con hasta 50.000 horas de vida útil; y se nos ofrece una aplicación compatible con el asistente de Google y Amazon Alexa para poder manejar la lámpara remotamente. Su precio, 1390€ donde se incluye también un *dongle*, y la velocidad ofrecida hacen que todavía no sea una alternativa real a los sistemas actuales. Este producto fue presentado en el CES 2018 de Las Vegas donde recibió dos premios en innovación.



Figura 1-18. Punto de acceso y *dongle* de MyLiFi Desk.

Continuando con la marca Oledcomm el siguiente producto supone una mejora considerable en cuanto a velocidad. Se trata de *LiFiMax*, el cual utiliza la luz invisible a través de un LED infrarrojo siendo capaz de ofrecer un mínimo de 5 Mbps para el *downlink* en una zona de 28 m². Es capaz de llegar hasta los 100 Mbps para el *downlink* y hasta 40 Mbps para el *uplink*, soportando hasta 16 usuarios simultáneos. En la figura 1-19, obtenida como toda la información de la página oficial de Oledcomm [11], se puede ver el esquema de instalación del punto de acceso.

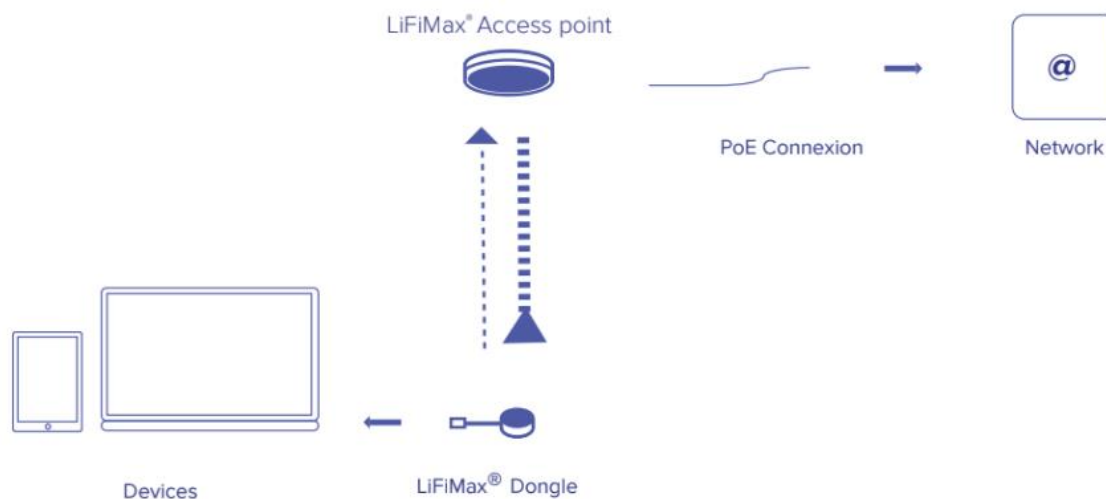


Figura 1-19. Esquema de instalación *LiFiMax*.

En la misma figura 1-19 se puede ver que la conexión entre el punto de acceso y la red debe hacerse mediante la tecnología PoE, excluyendo a la tecnología PLC en este caso, indicándose también que se soporta el protocolo 802.3af. Como datos adicionales se especifica que el consumo del punto de acceso es de menos de 5 W y del *dongle* cuya salida es del tipo USB-C es de 2,5 W. El *dongle* es físicamente idéntico al utilizado para *MyLiFi Desk*, solo cambiando la ya comentada característica del tipo de salida USB. En cuanto al punto de acceso huye de lo planteado hasta ahora, que el LiFi abastezca a la vez de iluminación y conexión a internet al mismo tiempo, pero supone un salto en cuanto a la velocidad ofrecida con respecto a su anterior producto. *LiFiMax* fue presentado a comienzos del presente año 2019 y se puede obtener el punto de acceso más *dongle* por 890€, siendo el precio de cada *dongle* por separado de 319€. En la figura 1-20 puede verse el aspecto que presenta el punto de acceso, figura extraída del catálogo disponible para *LiFiMax* de la página de Oledcomm [11].



Figura 1-20. Punto de acceso de *LiFiMax*.

Para cerrar este subapartado de mercado de productos LiFi cabe mencionar el producto más avanzado hasta ahora ofrecido por Lucibel, una empresa asociada a pureLiFi con el fin de llevar al mercado la tecnología LiFi. Dicha empresa ya ofreció una primera generación de productos que alcanzaba hasta los 42 Mbps bidireccionales y un máximo de 8 usuarios por luminaria. Esta primera generación en estos momentos es más cara que la segunda y no se ha facilitado el precio de ella. La segunda generación de productos, que llegó a comienzos de este año 2019, es la llamada *LiFiCup* cuyo punto de acceso es capaz de ofrecer hasta 54 Mbps bidireccionales y una capacidad de hasta 16 usuarios por luminaria. Se soporta el *handover* entre dos o más puntos de acceso lo que hace que los usuarios puedan disfrutar de una movilidad completa. La luz emitida por el LED está disponible en una gama de colores y temperaturas capaces de iluminar una habitación de sobra e ideal para combinar con salones y estancias más amplias. Dicha bombilla LED tiene hasta 50000 horas de vida útil con un consumo de 30 W. En un documento descargable desde la propia página de Lucibel [45] se indica que el punto de acceso soporta dos modos de instalación: en primer lugar el más sencillo que consta de hacer llegar un cable Ethernet que conduzca tanto el voltaje eléctrico como la conexión a la red, a través de la tecnología llamada PoE, soportando los protocolos PoE+ y UPoE de los que se hablará en el apartado posterior; la segunda opción es usando un protocolo domótico llamado DALI, del que se hablará también en el siguiente subapartado. Gracias a este protocolo domótico se incorpora la posibilidad de regular la intensidad de iluminación de la bombilla LED, aunque haciendo algo más complicada su instalación. El precio del punto de acceso es actualmente es de 1100€, siendo un USB necesario para poder disfrutar de la conexión mediante tecnología LiFi cuyo precio es de 499€. En la página web de Lucibel [45] se puede acceder a los *datasheets* de los productos, de los cuales se han obtenido las imágenes que componen la figura 1-21.



Figura 1-21. Punto de acceso y USB del producto *LiFiCup* de Lucibel.

3.1.2.4. Tecnologías de las que depende LiFi

Como se ha visto en el anterior subapartado dedicado al mercado de productos actuales de LiFi, se habla de numerosas tecnologías para la conexión e instalación de estos productos. En la figura 1-22, obtenida de la página oficial de pureLiFi [7], se puede observar el esquema teórico de funcionamiento de un sistema LiFi. En dicho esquema destacan dos tecnologías aún no tratadas en este documento, las cuales se utilizan para hacer llegar tanto la alimentación eléctrica como la conexión a la red en un mismo cable hasta el punto de acceso LiFi. El avance del LiFi irá de la mano del rendimiento que estas tecnologías puedan ofrecer, lo que las convierte en un punto clave para el desarrollo de nuevos sistemas LiFi.

Además de estas tecnologías se ha dedicado un pequeño espacio a la domótica, encargada de poder llevar a cabo la regulación y control de la intensidad de los LED instalados en los puntos de acceso LiFi.

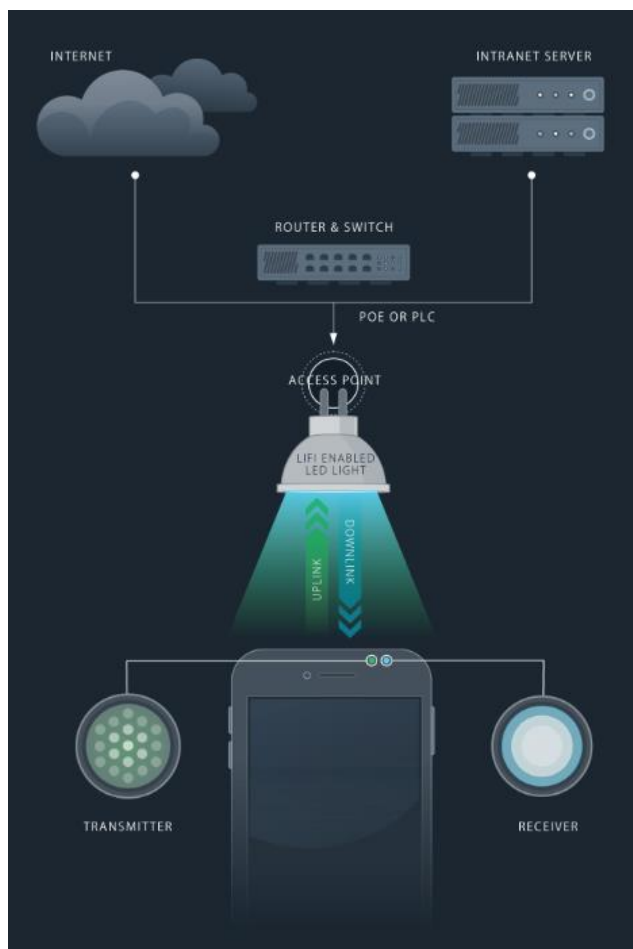


Figura 1-22. Esquema teórico de un sistema LiFi por pureLiFi.

Power Line Communications (PLC)

Esta tecnología se fundamenta en usar el cableado eléctrico para conectar dispositivos y poder proporcionarles acceso a Internet de banda ancha además de alimentarlos eléctricamente creando una red interconectada. Estos sistemas son muy utilizados en el ámbito doméstico, ya que dan la posibilidad de montar una red doméstica de dispositivos, la cual puede ser controlada fácilmente desde una aplicación móvil, proporcionando al usuario un control muy amplio a la par que eficiente de todos los nodos de la red [46].

Es decir, que en el mismo cable de alimentación se transmite también la información digital correspondiente a la red de Internet y ambas señales deben ser separadas para poder tener una correcta comunicación. Para ello se realiza un filtrado en frecuencia, ya que la corriente eléctrica en España viaja a una frecuencia de 50 Hz y con un voltaje de de 220 voltios, mientras que la señal de datos que se transmiten a una frecuencia muy superior, del orden de decenas de megahercios, y con un voltaje muy inferior. Usando esto, es el adaptador PLC el encargado de separar ambas señales, haciendo que ambas señales no se solapen y puedan tomar el camino correcto.

Estos sistemas cuentan con estándares realizados por definidos por la *HomePlug Powerline Alliance* y por la *Universal Powerline Association*, siendo la de *HomePlug* la más utilizada en los equipos de uso doméstico y cuyo estándar más avanzado en estos momentos es el HomePlug AV2-MIMO, capaz de soportar hasta 1,2 Gbps y suficiente para poder operar con las velocidades ofertadas por las compañías.

En la figura 1-23, obtenida de la página web de Satjbosco [6], se puede contemplar un esquema de la instalación de esta tecnología. En ella se pueden observar los dos tipos de dispositivos PLC, el llamado adaptador dLAN, encargado de recoger la señal de red de datos desde el router módem a través de un cable Ethernet e introducir esta en el circuito eléctrico del enchufe al que se conecta; y el adaptador PLC, el encargado de recibir por el enchufe al que es conectado la alimentación y la conexión a la red, para así filtrar estas señales y poder ofrecer una conexión a la red a los dispositivos que se conecten a él, ya sea mediante cableado o inalámbricamente, ya que muchos de ellos además de contar con algún puerto Ethernet tienen la capacidad de ser extensores WiFi.

Adaptando este esquema a LiFi la idea es que en vez de conectar un adaptador PLC se haga llegar el cableado eléctrico hasta el punto de acceso directamente, llegando hasta él tanto la alimentación como la posibilidad de ofrecer conexión a la red simultáneamente. El punto de acceso será el encargado de filtrar las diferentes señales y crear una red de conexión inalámbrica utilizando la luz LED.

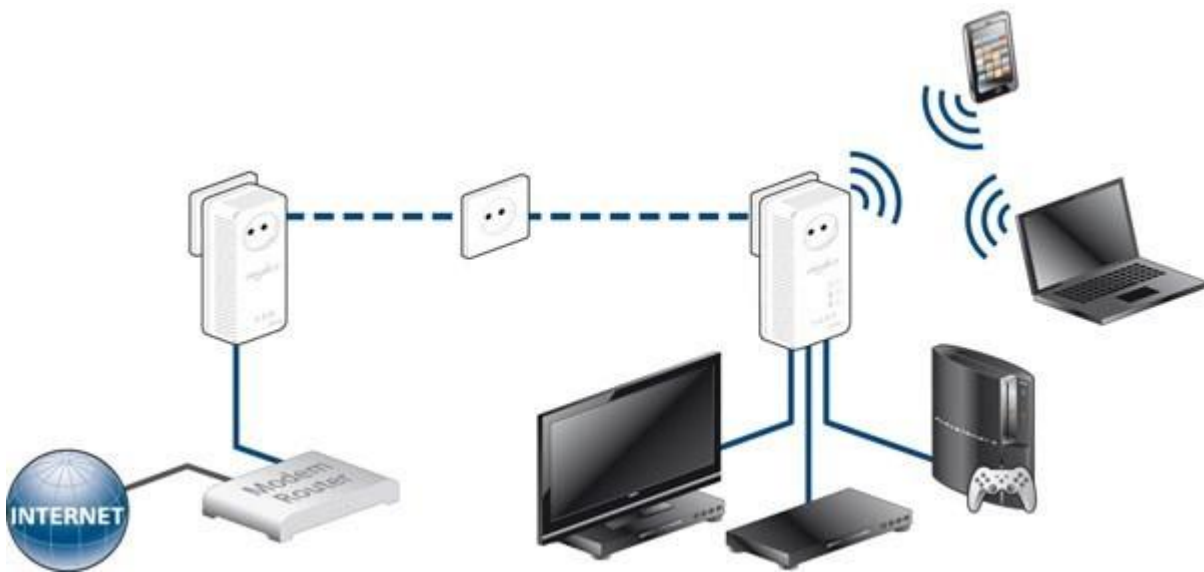


Figura 1-23. Esquema de la tecnología PLC.

Por otro lado el uso del cableado y la red eléctrica puede llevar a problemas para esta tecnología. El más común se debe a la separación de los enchufes en distintos circuitos eléctricos ya que si ambos adaptadores, el dLAN y el PLC, no se encuentran en el mismo circuito eléctrico será imposible la conexión, haciendo que si tenemos enchufes a los que queremos hacer llegar un adaptador PLC que están en diferentes circuitos tendremos que conectar el correspondiente adaptador dLAN a cada uno de estos circuitos. Otra fuente de problemas puede ser el uso de la red eléctrica, hecho que puede suponer una gran ventaja al reutilizar una instalación y cableado ya implementado, pero cuyo estado puede influir mucho en la propagación de la señal a través de él y en el que también pueden convivir elementos como pueden ser vitrocerámicas, hornos, lavadoras o frigoríficos cuyo funcionamiento cercano puede hacer experimentar pérdidas de conexión en los adaptadores PLC [47].

Por último, se ha escogido el producto TP-Link TL-WPA8730 para ver sus características y las posibilidades que puede llegar a ofrecer esta tecnología, visto en la web de PcComponentes por poco más de 100€. Tanto la figura 1-24 como toda la información aquí redactada ha sido recopilada de la web del fabricante, TP-Link [48].

Este producto soporta el protocolo HomePlug AV2 y el adaptador PLC, que en este caso es extensor WiFi también, tiene implementado la tecnología MIMO 2x2 por lo que es capaz de ofrecer hasta 1,2 Gbps. El estándar nos asegura que solo tendremos que conectar correctamente ambos dispositivos a la red eléctrica y a través de la app, disponible en la web del fabricante, se podrá configurar rápido y fácilmente el extensor WiFi. Esto sumado a los tres puertos Gigabit Ethernet de los que dispone hacen que se convierta en una gran alternativa si lo que se busca es ampliar la zona de cobertura en una vivienda. Cabe destacar además, que el fabricante indica la

posibilidad de tener conectados hasta 3 adaptadores PLC usando solo un adaptador dLAN.



Figura 1-24. Producto TP-Link TL-WPA8730.

Power over Ethernet (PoE)

Esta tecnología se basa en la posibilidad de reunir en un solo cable tanto la alimentación eléctrica como la conexión a red de datos, la igual que el PLC, pero en esta ocasión en lugar de utilizar el cableado de la instalación eléctrica de la vivienda se utiliza un cable Ethernet [5]. En la figura 1-25, obtenida de la página web TECNOSeguro [49], se puede ver un esquema de esta tecnología.

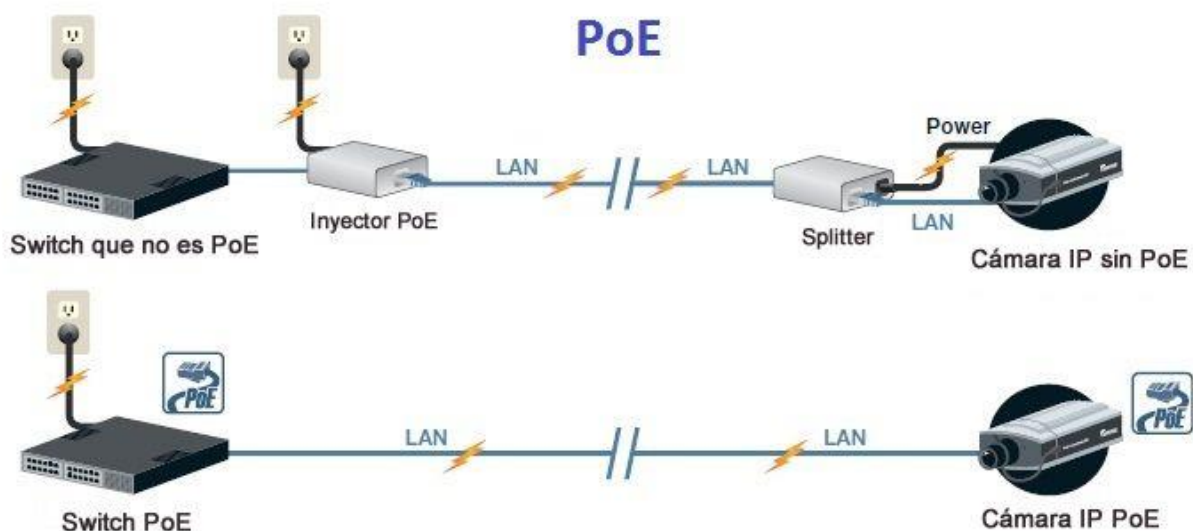


Figura 1-25. Esquema de la instalación de la tecnología PoE.

Como se puede concluir de la figura un aspecto a tener en cuenta es si los dispositivos a los que se intenta conectar la red soportan la tecnología PoE o no. Los dispositivos los cuales suministran alimentación y red a los otros son los llamados equipos de suministro energético (PSE, de sus siglas en inglés *Power Supply Equipment*) y estos pueden ser switches que tengan la posibilidad en sus puertos de ofrecer PoE o la combinación de un switch que no tiene esta posibilidad y un dispositivo llamado inyector PoE el cual debe ser conectado tanto a la red eléctrica como al módem, combinando a su salida ambas señales en un mismo cable. Al otro lado del enlace por cable Ethernet se encuentra los llamados dispositivos alimentados (PD, de sus siglas en inglés *Powered Devices*) en los cuales podemos encontrar dos posibilidades, una primera en la que el dispositivo destino soporte PoE y pueda recibir un único cable y ser capaz de filtrar ambas señales; o la combinación de un dispositivo que no sea capaz de realizar ese filtrado y necesite de un dispositivo llamado splitter, el cual se encarga de recibir el

cable Ethernet con la alimentación y la conexión a la red de datos y separar a su salida en dos cables, los cuales deben ser conectados al dispositivo de destino [50]. Lógicamente, la opción en la que todos los dispositivos conectados a la red son capaces tanto de ofrecer como de recibir la tecnología PoE, el esquema inferior de la figura 1-25, simplifica y abarata la instalación de un sistema basado en esta tecnología.

En la adaptación a LiFi de este esquema, los puntos de acceso encontrados en el mercado actual y mostrados por los diferentes fabricantes son capaces de recibir un único cable Ethernet y obtener de él tanto la alimentación eléctrica como la posibilidad de ofrecer una red de conexión a Internet, por lo que solo habría que preocuparse de tener un switch que fuera capaz de ofrecer esta posibilidad o en su defecto obtener inyectores PoE para hacerlo posible.

En cuanto a estándares, la gran diferencia entre ellos es la potencia que son capaces de ofrecer por puerto. El primer estándar de PoE, el IEEE 802.3af, es capaz de ofrecer hasta 15,4 W por puerto, mientras que su sucesor, el llamado PoE+ que se refiere al IEEE 802.3at, dobla esta capacidad llegando hasta a los 30 W por puerto. Sumados a estos hay un estándar no oficial distribuido por Cisco llamado UPoE, el cual dobla en capacidad por puerto al estándar PoE+ hasta llegar a los 60 W disponibles por puertos, siendo este fabricante el único que lo comercializa. Estos estándares pueden convivir sin problema en una red siempre teniendo en cuenta la potencia necesaria por cada uno de los PD para funcionar. El último estándar aprobado por el IEEE es el 802.3bt, el cual llega a soportar los 78,1 W por puerto, es el llamado High-PoE necesita mínimo un cable Ethernet de categoría 6 para funcionar [51, 52].

Además de los dispositivos conectados hay que tener en cuenta el tipo de cable Ethernet empleado. Hay diferentes categorías que se traducen en diferentes velocidades de conexión soportadas y diferentes. Se ha elaborado la tabla 1-1 a partir de datos recopilados en webs como ADSLZone [53] y test de velocidad [54], que comparan las categorías que se pueden encontrar actualmente para uso cotidiano. Lógicamente a mayor velocidad soportada mayor precio por metro de cable. Por último, los cables Ethernet utilizados para redes PoE suelen ir terminados en conectores RJ-45, como puede verse en la figura 1-26 obtenida de la página web de PcComponentes.



Figura 1-26. Cable Ethernet terminado con conectores RJ-45

Tabla 0-1. Diferentes categorías de cable Ethernet.

	Cat5e	Cat6	Cat6a	Cat7
Máxima velocidad teórica	1 Gbps	1 Gbps	10 Gbps	10 Gbps
Máximo ancho de banda	100 MHz	250 MHz	500 MHz	600 MHz

Las ventajas de usar esta tecnología son la simplificación del cableado y la posibilidad de tener nuestros dispositivos en una red centralizada y la principal desventaja es el número de puertos necesarios si se quiere realizar una red medianamente grande, el cual implica utilizar switches intermedios y cableado.

Con el fin de ver sus características se han elegido un par de switches y un PD, en este caso uno de los usos más frecuentes del PoE como es las cámaras IP [55, 56].

TL-SG3424P

Este switch manejable compatible con los estándares PoE y PoE+ puede ser obtenido a través de la página web xtremmedia por 195€ y cuenta con 24 puertos Gigabit Ethernet que lo hacen una gran alternativa si lo que buscamos es extender nuestra red y además dotarla de conexión PoE. Además, la potencia máxima es de 320W, más que suficientes para cubrir las aplicaciones usadas hoy en día como pueden ser sensores de movimiento, cámaras IP o puntos de acceso. Sobre él se puede establecer la prioridad de tráfico según factores como pueden ser las direcciones IP o MAC, y puede ser gestionado usando interfaz gráfica de usuario basado en web o a

través de la línea de comandos. En la figura 1-27, obtenida de la página de TP-Link [57], se puede observar el diseño frontal de este producto.



Figura 1-27. TL-SG3424P.

GS116PP

Este switch de Netgear es vendido en Amazon por algo menos de 200€ y es de la propia página de Amazon [58] de donde se ha extraído la figura 1-28. Este producto es capaz de ofrecer un total de 183 W, a repartir por sus 16 puertos los cuales son Gigabit Ethernet y soportan el protocolo PoE+.



Figura 1-28. Switch PoE+ Netgear.

Foscam G2EP

Esta cámara IP de la marca Foscam se puede comprar a través de la web PcComponentes [59], de donde se ha obtenido la figura 1-29, por 120€. La cámara se integra en cualquier entorno, gracias a su diseño compacto y moderno. Tiene un ángulo de visión horizontal de 90° mientras que el ángulo de visión diagonal es de 105°. Este producto es compatible con PoE, necesitando 5W de potencia y es capaz de ofrecer una calidad Full HD.



Figura 1-29. Cámara IP de Foscam.

Domótica

Esta palabra proviene de la combinación del término latino *domus* (casa en español) y la palabra francesa *telematique* (telecomunicación-informática en español). Por ello, puede ser definida como la integración de sistemas en la vivienda de dispositivos capaces de realizar automatismos que realizan varias funciones como la gestión de la energía, la mejora del confort, mejorar la seguridad o las comunicaciones. En la figura 1-30, extraída de los apuntes de la asignatura Domótica impartida en el cuarto curso de mi titulación [46], se resume en un esquema los elementos que integran la domótica. Para ello se utilizan una serie de dispositivos, los cuales se comunican entre sí mediante protocolos, que pueden ser clasificados en tres grandes grupos:



Figura 1-30. Esquema sobre domótica.

- Sensores: son los dispositivos encargados de recoger información como puede ser la temperatura o movimiento de algo, y enviar dicha información al sistema de control. Ejemplos de sensores pueden ser detectores de gas e incendios, sensores de presencia o sondas de humedad.
- Actuadores: son los dispositivos utilizados por el sistema de control para modificar en consecuencia a la información recogida por los sensores. Por ejemplo, si un sensor de presencia detecta el movimiento de una persona, hace llegar esta información al sistema de control y este manda al actuador, en este caso será una bombilla, para que se encienda e ilumine la zona de paso del usuario. Los actuadores más comunes son sirenas para el aviso de alarmas o contactores de base de enchufe.
- Sistema de control: es el encargado de procesar la información llegada de los sensores y mandar las señales oportunas a los actuadores. Además, es dicho sistema el que es capaz de ser programado y configurado por el usuario. Este sistema puede ser clasificado a su vez dependiendo de su arquitectura: puede ser centralizada si todos los elementos se unen a él, lo que significa que si esto falla todo dejaría de funcionar; distribuida si los elementos de control están cercanos al elemento a controlar y se jerarquiza un paso intermedio entre el elemento y el sistema de control; y por último mixta, si tiene zonas controladas de forma distribuida y otras de forma centralizada.

Cabe destacar que en muchas ocasiones estos grupos pueden ser encontrados en un mismo dispositivo, por ejemplo un sensor de temperatura que cuando llega a un determinado umbral hace sonar una alarma reuniría el sensor y el actuador en un mismo elemento.

En cuanto a la relación de esta tecnología con LiFi, la domótica se encargaría de la regulación de la intensidad del LED del punto de acceso, además de encargarse de la gestión de la energía consumida por los elementos del sistema LiFi.

Para dar por cerrado este subapartado se realizará una breve introducción al protocolo de iluminación por excelencia, que por ejemplo es encontrado en la opción regulable del producto LiFiCup, llamado DALI.

DALI, de sus siglas en inglés *Digital Addressable Lighting Interface*, es un estándar definido por la Comisión

Electrotécnica Internacional creado para controlar sistemas de iluminación, asegurando la interoperabilidad entre equipos de fabricantes diversos, definiendo el cómo se interactúan entre ellos. Para obtener la certificación DALI los productos deben ser sometidos a una serie de pruebas en un laboratorio certificado. La principal ventaja de DALI es la facilidad para diseñar una instalación conceptualmente y la capacidad de modificar dicha instalación fácilmente sin necesidad de grandes cambios en cuanto a cableado. Además, permite el control de cada luminaria por separado agrupar las luminarias por grupos, algo que sin duda ayuda al ahorro de energía. Este protocolo reúne las características necesarias para el control de la iluminación en viviendas y el interior de oficinas, donde es más común verlo en funcionamiento [60]. En la figura 1-31, obtenida de la página oficial de un fabricante de productos certificados DALI llamado Sunricher [61], se pueden observar los diferentes tipos de dispositivos DALI.

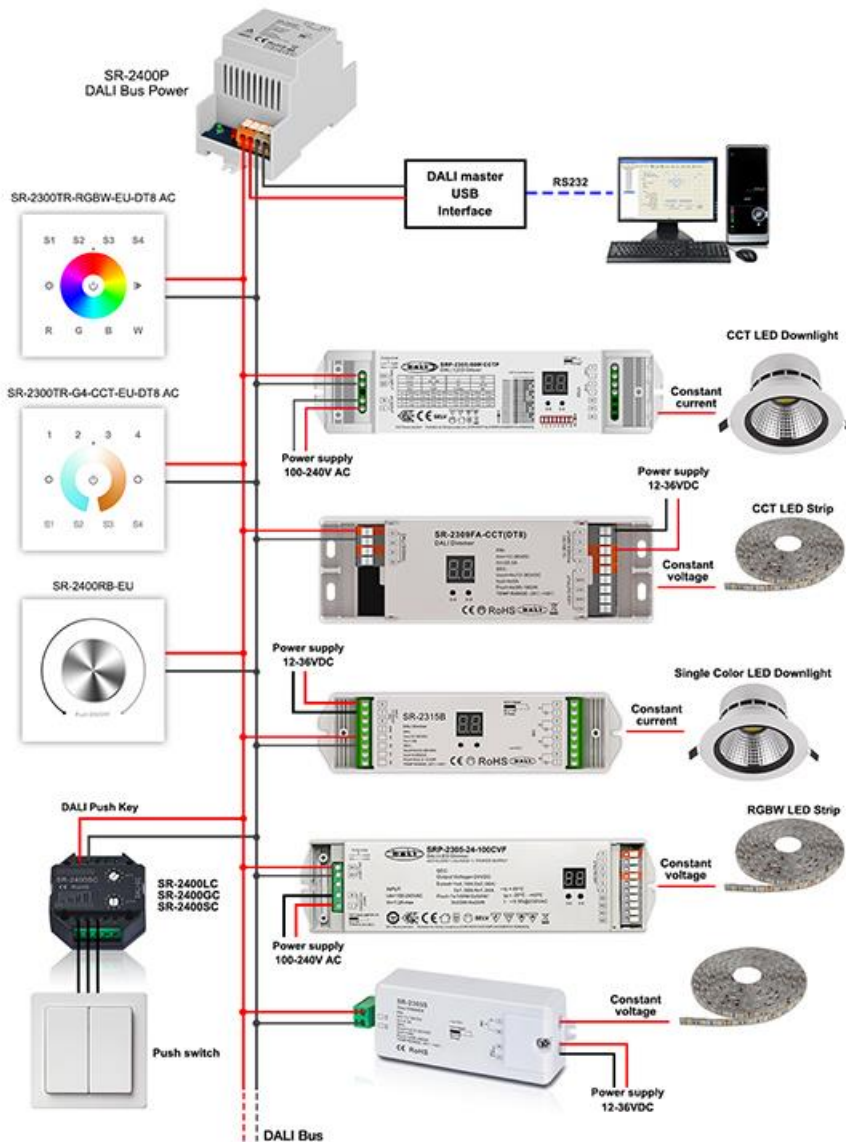


Figura 1-31. Distintos dispositivos DALI.

Para cerrar este subapartado se pondrá un ejemplo de un producto DALI, con el fin de mostrar la principal desventaja de este tipo de productos, su coste, el cual se eleva demasiado al intentar realizar una instalación domótica sencilla en una vivienda.

Módulo de Control de Interruptores DALI XC TRIDONIC

Este producto al que se pueden conectar hasta 4 interruptores convencionales o pulsadores para así poderlos regular y/o programar usando el protocolo DALI y un software dedicado para ello. Solo esta parte del sistema cuesta 110€, lo que hace preveer que el coste total de la instalación de una vivienda, es decir, la suma entre alimentador y conector del bus DALI, interruptores, la fuente de alimentación, los adaptadores para los cambios entre corriente continua y alterna, y los elementos a controlar puede ser no rentable para una vivienda mediana o pequeña. La figura 1-32, obtenida de la página web efectoLED [62] donde el producto se encuentra disponible para su compra.



Figura 1-32. Módulo de Control de Interruptores DALI XC TRIDONIC.

3.2. Justificación de la solución adoptada

Este subapartado está dedicado a explicar cuál ha sido la solución elegida para hacer frente a los problemas de mala conexión de la vivienda estudiada.

En primer lugar se ha recomendado al cliente que para mejorar su experiencia intente contratar más velocidad de conexión, con el objetivo de al menos doblar la velocidad disponible en estos momentos y llegar hasta los 100 Mbps. Se ha contactado con la atención al cliente de la compañía para obtener la información respectiva a cuál es la máxima velocidad disponible en la vivienda y las condiciones en las que llegaría dicha velocidad, obteniendo como respuesta que lo máximo posible son 600 Mbps no simétricos que llegarían a la vivienda a través de cable coaxial y se extenderían por ella usando el mismo medio. Esto es una desventaja con respecto a otros hogares donde puede llegar hasta 1 Gbps con fibra simétrica, lo que hace que las velocidades de descarga y subida sean iguales.

Este cambio de velocidad contratada supondría una mejora importante para los usuarios. Además, se realizó un test de velocidad usando la herramienta disponible para ello en el apartado para clientes particulares de la página web de Vodafone, estando conectado mediante un cable Ethernet de categoría 5e al router ADSL proporcionado en el momento de la contratación, algo que sin duda es más estable que la conexión mediante WiFi, con el fin de que el propio cliente se diera cuenta de cuál era la velocidad real de la que podía disponer en su domicilio, obteniendo los resultados que se pueden ver en la figura a continuación:



Figura 1-33. Resultado test de velocidad.

En dicho resultado se puede observar la clara falta de simetría y uno de los causantes de la mala experiencia como es la escasa velocidad de subida.

Tras este test de velocidad se realizó el análisis de la intensidad de conexión a lo largo de toda la vivienda para determinar la zona de cobertura e intensidad en cada punto de la vivienda ofrecidos por la combinación router más extensor que se tenían instalados. Para ello se ha hecho uso de un teléfono móvil con la aplicación Analizador de WiFi desarrollada por Abdelrahman M. Sid y disponible para descargar desde la App Store de Android obteniendo unos datos que fueron comparados y combinados con los obtenidos a través del test de velocidad de la página web de Vodafone que se iban realizando en cada punto de estudio con un ordenador portátil. Dichas medidas siempre se han realizado en la banda de 2,4 GHz, ya que es esta la única en la que el router ADSL que se tiene actualmente en funcionamiento es capaz de emitir. Estos datos obtenidos se reflejan en la siguiente figura:

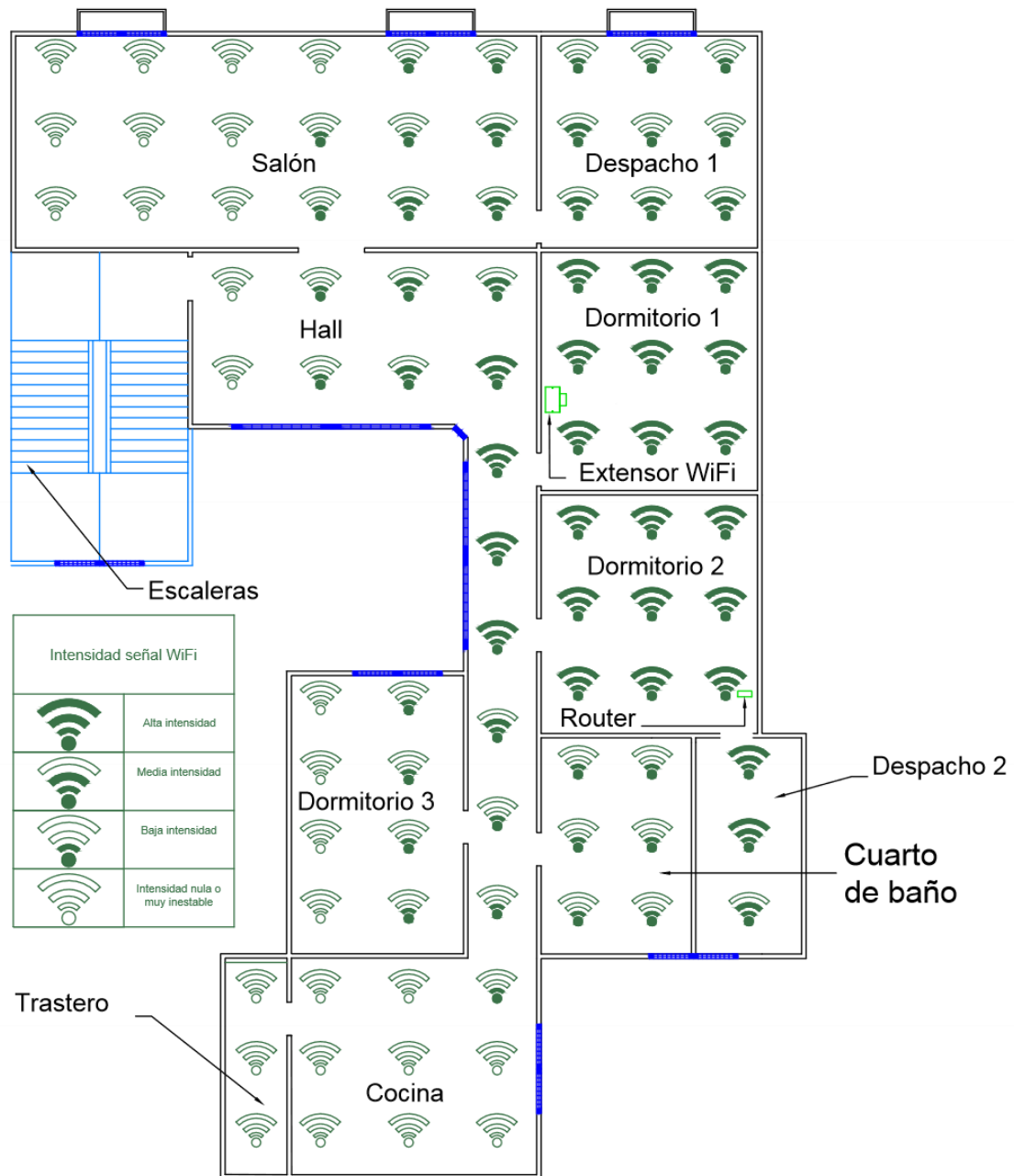


Figura 1-34. Cobertura WiFi inicial.

Tras dicho análisis se ha llegado a la conclusión que el router ADSL que se usa en estos momentos debe ser sustituido para al menos tener la posibilidad de utilizar el protocolo 802.11n y si se pudiera, incluso el último protocolo aprobado por el IEEE, el 802.11ac. Se ha elegido el router TP-LINK Archer D5, que es capaz de transmitir hasta 6 veces la velocidad que se tiene actualmente contratada en la banda de los 2,4 GHz, llegando hasta los 300 Mbps y se añade la posibilidad de transmitir en la banda de los 5 GHz, teniendo la posibilidad de llegar hasta los 867 Mbps. Para la conexión del cable coaxial al nuevo router se hace necesario un adaptador del tipo Coaxial Hembra a RJ-45 macho. Como se puede observar no solo se ha pensado en las condiciones que se tienen actualmente, si no que se ha diseñado esta solución con vistas a posibles mejoras futuras. Además, sirviendo de apoyo a este router se ha decidido que para hacer que la zona de cobertura WiFi sea más amplia se haga uso del extensor TP-Link RE200 el cual encaja perfectamente en el funcionamiento del router elegido, aportando así una zona de cobertura de doble banda (2,4 y 5 GHz). En la figura 1-35 se puede ver el extensor que el cliente tiene instalado en la actualidad.



Figura 1-35. Extensor TP-Link en funcionamiento actualmente.

Se ubicará el nuevo router ADSL en el mismo lugar en el que se encuentra actualmente, es decir, en el Dormitorio 2; el nuevo extensor de doble banda se colocará en el Dormitorio 1 y el extensor de la figura 1-35 será reubicado en el Dormitorio 3.

Con la configuración comentada se dotaría de conexión de doble banda las zonas donde anteriormente solo estaba disponible la banda de 2,4 GHz, lo que significa que además de ser una conexión de mayor calidad se podrá hacer uso de una banda menos saturada como es la de 5 GHz en estas estancias. Por otro lado, al reubicar el extensor que ya se tenía instalado en el Dormitorio 3, esta estancia junto con la Cocina y el Cuarto de baño mejorarán considerablemente su nivel de intensidad disponible, solucionando los problemas de conexión encontrados en ellas y en el caso de la Cocina llevando cobertura donde antes no la había. Por último, los principales problemas de conexión encontrados por el cliente se tienen en el Salón y en el Despacho 1, por ser donde más usuarios se concentran simultáneamente y donde mayor tiempo se requiere estabilidad en la conexión. En búsqueda de soluciones que provean de una buena intensidad y estabilidad para estas estancias se ha apostado por la tecnología LiFi. De esta manera en el Despacho 1 se podría trabajar con WiFi y LiFi simultáneamente, lo cual ofrece la posibilidad al usuario de elegir la forma de conexión según las necesidades, es decir, podría usar WiFi para peticiones que requieren poca carga de datos como consultar el correo o una simple búsqueda en el navegador, dejando para la conexión vía LiFi otros accesos a la red que requieren mayor densidad de datos, velocidad y estabilidad como puede ser la transmisión de vídeo en 4K. Al no tener interferencias alguna con los otros sistemas de comunicación inalámbrica LiFi proporciona un enlace estable añadiendo además una capa extra de seguridad, ya que la luz no atraviesa las paredes de la habitación en la que se encuentra el punto de acceso, haciendo que sea solo el habitáculo donde se tiene instalado desde donde se pueda acceder a la red de conexión, en contraposición a lo que sucedería con un punto de acceso WiFi con el cual la zona de cobertura disponible podría pasar a estar en las estancias de los vecinos a la sala donde estuviera instalado.

Para implementar la zona de cobertura LiFi se utilizarán 3 LiFiCup, dos para el Salón y uno para el Despacho 1, y sus respectivos UBS's, todos productos de Lucibel. Para dotar de conexión y alimentación a los puntos de

acceso se hará uso de la tecnología PoE, ya explicada, para la cual son necesarios un switch capaz de suministrar dicha tecnología en sus puertos. Se ha elegido el producto TL-SG3424P de TP-Link, un switch manejable capaz de abastecer de hasta 320 W totales a través de sus 24 puertos compatibles con la tecnología PoE y PoE+, esta última la necesaria para ser compatible con los puntos de acceso LiFiCup. Este switch, el cual se situará en la misma estancia que el router ADSL conectado a él mediante un cable Ethernet de categoría 5e, incluye la posibilidad de manejar los puertos ofreciendo así un manejo sobre los puntos de acceso que sean conectados a él, en este caso cada una de las LiFiCup, las cuales podrán ser apagadas y controladas de forma remota. Cabe destacar que aunque esta solución sea más cara es una solución mucho más fiable y estable que hacer llevar WiFi a través de extensores. Además, si el LiFi sigue el desarrollo a pasos agigantados como hasta ahora y se convierte en una tecnología más asentada en el mercado con la consiguiente bajada de precios de los productos, supondrá una ventaja para el cliente, ya que contará con la instalación necesaria, teniendo que cambiar exclusivamente los puntos de acceso LiFi y si se requiriese los adaptadores USB, significando una vez más que se ha pensado en una solución que incorpore las posibles mejoras futuras. En la misma vía, la conexión entre el switch y los puntos de acceso se realizarán con cables Ethernet de categoría 6a, los cuales soportan hasta 10 Gbps y son compatibles con el último estándar sobre PoE aprobado por el IEEE, llevándolos por el falso techo de la vivienda para que la apariencia de las paredes de esta no se vea afectada. El coste aproximado del proyecto es de unos 5.000€. Con el fin de clarificar cuál es la distribución de los dispositivos en la solución adoptada se adjunta la figura 1-36, un esquema lógico de cómo se interconectan los distintos equipos:

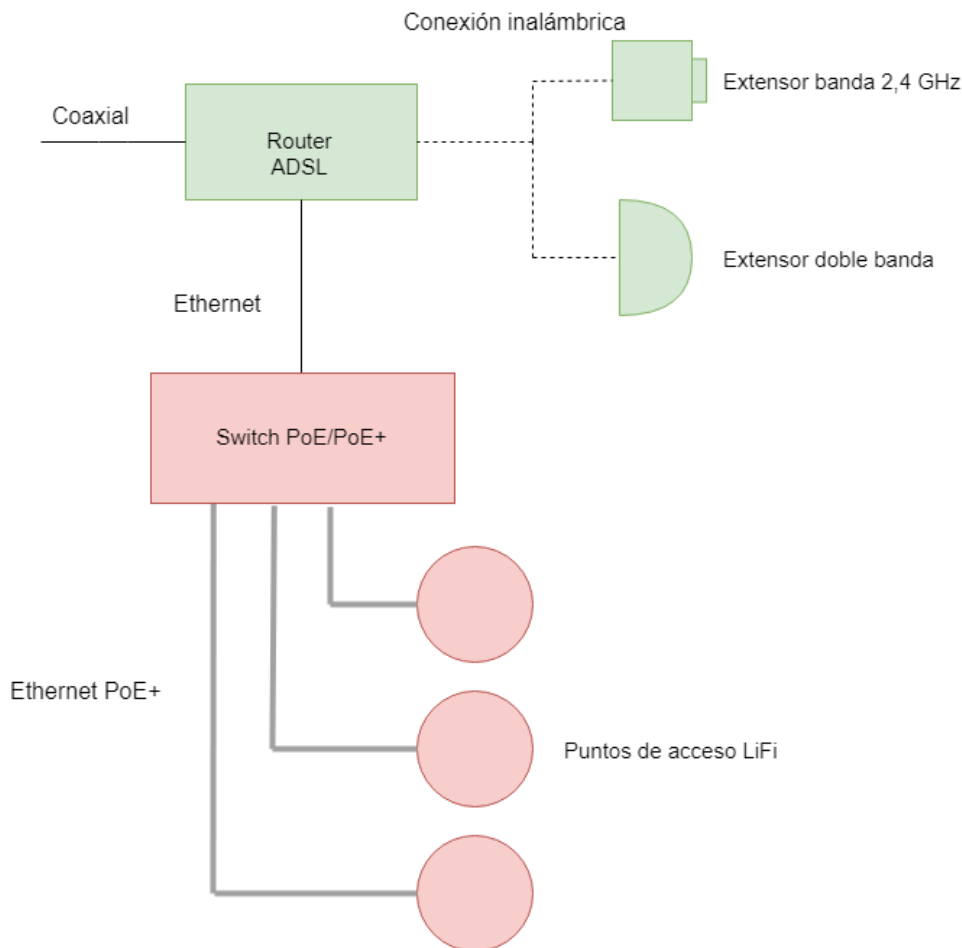


Figura 1-36. Esquema lógico de la solución adoptada.

Se ha descartado la posibilidad de hacer la extensión de la red a través de PLC debido a los numerosos circuitos en los que se distribuyen los enchufes de toda la vivienda, lo que supondría que para poder inyectar la conexión en la circuitería eléctrica de todos los enchufes de la vivienda tendríamos que conectar hasta 5 inyectores, uno por cada circuito, con el consiguiente despliegue de cables Ethernet desde el router hasta cada uno de los inyectores. Esto conllevaría también tener cables por toda la casa y un uso bastante ineficiente de los puertos del router y de los enchufes disponibles en la vivienda. Además, tal como puede verse en los esquemas de los distintos circuitos disponible en “Planos”, en algunos de los circuitos se tiene tanto enchufes como

electrodomésticos de alto consumo como pueden ser la vitrocerámica, la lavadora o el frigorífico que aunque la fase de la corriente eléctrica y la conexión a la red sean diferentes podrían provocar cortes o malas experiencias en la conexión a Internet de los equipos conectados mediante PLC.

Además, haciendo uso del estudio realizado, se ha recomendado al cliente que sustituyese las bombillas incandescentes que tiene instaladas actualmente por bombillas LED, algo que además de ser mucho mejor para el medio ambiente le supondrá un ahorro en el consumo eléctrico.

4. Conclusiones

La gran y principal conclusión que debe sacarse de este trabajo es que el LiFi no viene a desterrar ni eliminar otras tecnologías inalámbricas en uso en la actualidad, en especial al WiFi del que se ha dicho innumerables que es su sustituto. El objetivo del desarrollo del LiFi es hacer frente a los problemas de saturación e interferencias del WiFi, sirviendo como alternativa o complemento en lugares donde el WiFi no puede llegar o ser utilizado. Como se ha visto en la solución adoptada, parte de la vivienda tiene conexión WiFi y la parte más alejada del router ADSL ha sido conectada mediante LiFi, por lo que ambas tecnologías se complementan para mejorar la experiencia y la conexión del cliente [64].

Otra de las conclusiones a extraer es que para que el LiFi pueda seguir creciendo deben darse una serie de hechos de los cuales ya se están dando los primeros pasos. En primer lugar, ante la amplia variedad de fabricantes y formas de hacer funcionar los transeptores debe elaborarse un estándar al que ajustarse para así poder garantizar la interoperabilidad y el camino a seguir en el desarrollo de productos que puedan ser comercializados, algo que ya se ha comenzado con la creación del grupo de trabajo del IEEE llamado 802.11 bb y la asociación de empresas llamada *Light Communications Alliance*. En segundo lugar, para que el LiFi pueda llegar a alcanzar la magnitud de la que se está hablando es imprescindible que las tecnologías de las que dependen lo hagan junto a ella. En esta línea tecnologías como PLC, PoE y los cables Ethernet deben ser capaces de transportar la información a las velocidades a las que los puntos de acceso y dispositivos LiFi se esperan que trabajen.

Por último cabe destacar que el escenario en el que se está desarrollando la tecnología LiFi es idóneo, ya que se ha erigido como gran alternativa a dos de los grandes problemas de la comunidad científica actual, la saturación del espectro y el cuidado del medio ambiente para lidiar con los efectos del Cambio climático. Es por esto, de entre otras ventajas como la posibilidad de reutilizar infraestructuras o facilitar la instalación de la red de conexión a Internet, sumado a las exigencias de densidad, capacidad y velocidad sin antecedentes que las nuevas generaciones de tecnologías como el 5G y el IoT van a demandar, lo que la hacen una tecnología que seguro en un futuro no muy lejano llegará hasta nuestra vida cotidiana para quedarse.

5. Líneas futuras

Al ser una tecnología todavía en desarrollo actualmente hay más líneas posibles de investigación e implantación que realidades. Hay una gran variedad de escenarios donde el uso de LiFi supondría un avance o mejora con respecto a los sistemas que actualmente se están utilizando. En la figura 1-37, obtenida de la página web de Iberdrola [65] cuya fuente es el Centro de Investigación y Desarrollo LiFi de la Universidad de Edimburgo, se pueden ver algunas de las opciones en las que se espera que el LiFi sea agente importante.

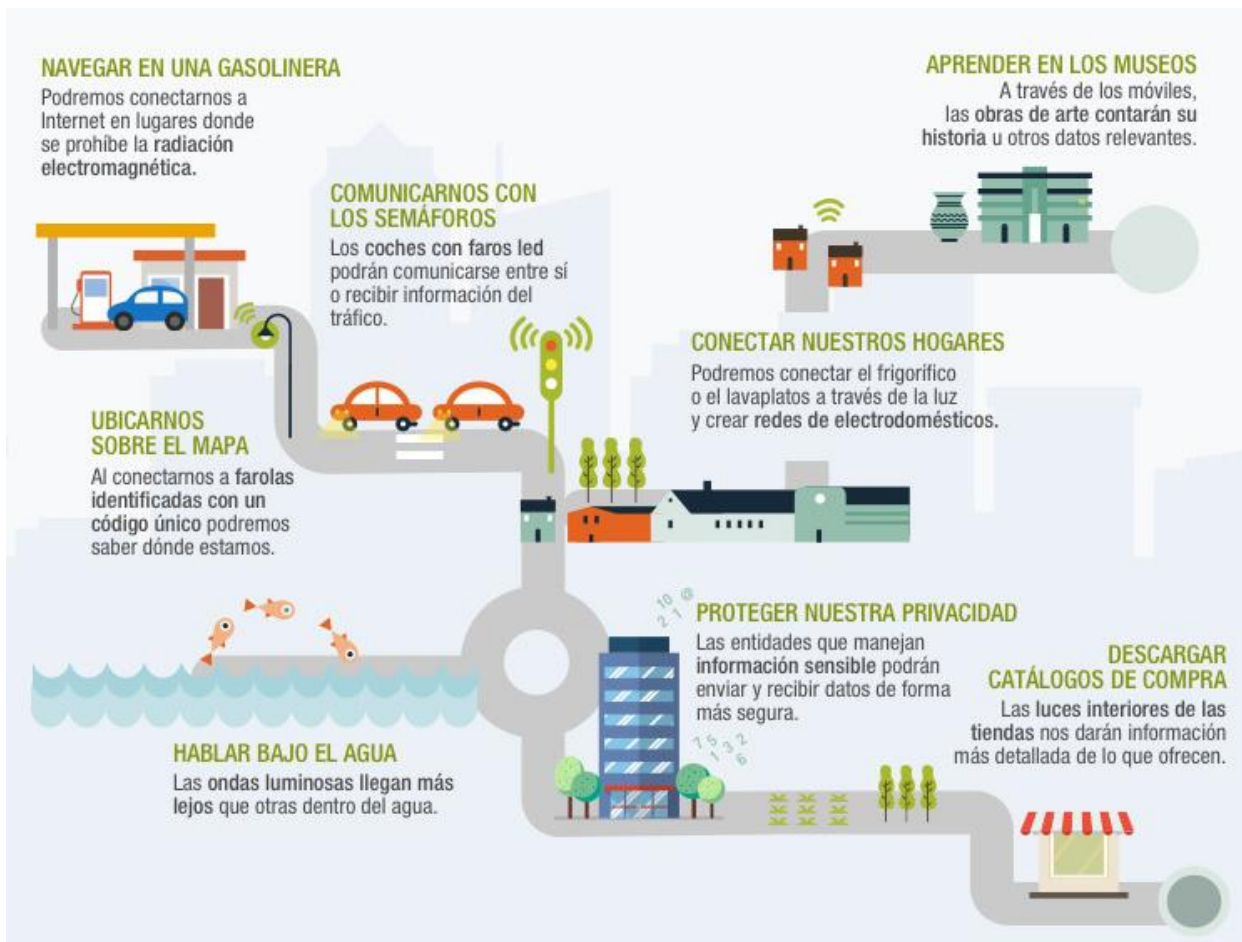


Figura 1-37. Escenarios de usos futuros del LiFi.

A la hora de la geolocalización tener la posibilidad de conectarnos a las luces cercanas a nuestro alrededor puede hacernos mucho más fácil poder situarnos en un mapa. Además, podría ayudar mucho en la localización en interiores, campo donde se está investigando actualmente debido a las dificultades que experimentan sistemas como el GPS. En lugares como museos, donde se podrían asociar luces que iluminan cuadros con explicaciones sobre esos mismos cuadros o supermercados donde asociar luces con productos y su información nutricional aportan nuevas posibilidades.

Por otro lado la comunicación en el tráfico podría ayudar mucho en el desarrollo de las Smart Cities, ayudando a la descongestión del tráfico y la optimización de este mediante señales enviadas por los LED de los coches y semáforos.

El Internet de las Cosas (IoT) se vería muy beneficiado por el uso de LiFi en viviendas y oficinas ya que permitiría conectar todos aquellos dispositivos que contasen con una luz LED, como pueden ser frigoríficos o lavaplatos, abriendo un amplio abanico de posibilidades para los usuarios.

Por último, se añadiría la posibilidad de conexión a Internet en lugares donde hasta ahora no se puede mediante tecnologías como WiFi como son las gasolineras, algunas plantas de los hospitales o las centrales nucleares. Además de esto, también se ha experimentado como opción en la comunicación con submarinos al ser las ondas luminosas más robustas frente al agua que las ondas electromagnéticas.

El otro gran adelanto que se está esperando es la integración en dispositivos de los transceptores que permitan a los dispositivos de los usuarios conectarse con los puntos de acceso LiFi sin necesidad de tener conectado un adaptador USB. En esta línea la empresa pureLiFi ya ha hecho demostraciones, sin llegar aún a estar disponibles comercialmente, donde se pueden observar transceptores perfectamente integrados en ordenadores portátiles y teléfonos móviles, algo que puede ser observado en la figura 1-38, extraída de la página web de pureLiFi [7]. En dicha web anuncian la creación de un circuito integrado para aplicaciones específicas, ASIC por sus siglas en inglés, con el cual integrar la tecnología LiFi en los dispositivos que hagan uso del chip.

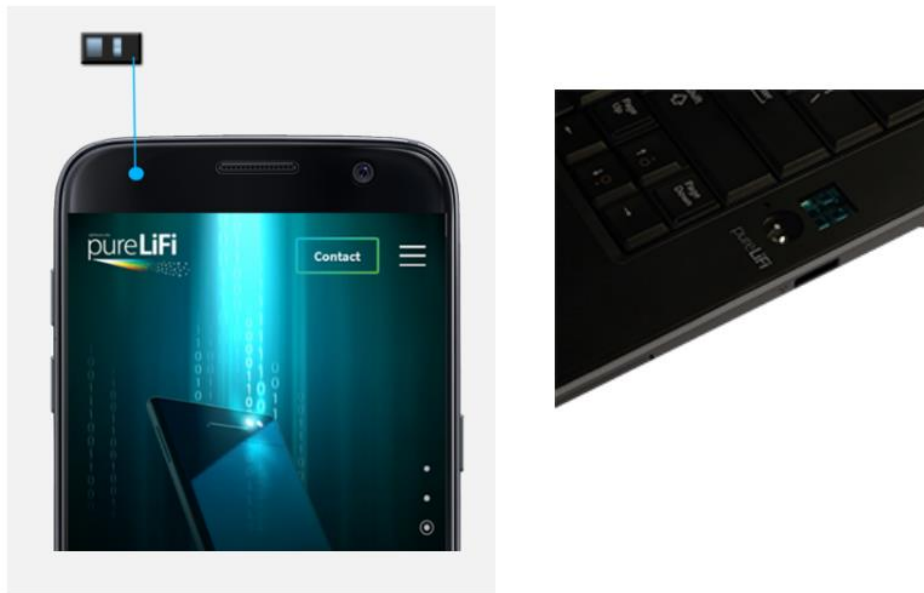


Figura 1-38. Dispositivos con transceptores LiFi de pureLiFi integrados.

Con relación al crecimiento de algunas de las tecnologías de las que depende el LiFi cabe destacar que en la última revisión del estándar 802.3, el que trata los cables Ethernet, el llamado 802.3 cd [66] se introducen los parámetros para las dos primeras capas del modelo OSI para velocidades de 50, 100 y 200 Gbps, algo que abastecería de sobra los 15 Gbps que hasta ahora han podido ser demostrados. En cuanto a la tecnología PoE, el último estándar IEEE aprobado es el 802.3bt que es capaz de ofrecer hasta 78,1 W por puerto, lo que abastece de sobra los 30W que requieren productos los puntos de acceso comercializados en estos momentos como es la LiFiCup.

Para cerrar este documento hay que destacar que la tecnología LiFi ya se puede encontrar instalada en algunos lugares como por ejemplo en Icade, una empresa francesa con sede en París [67]. Pero aunque en algunos emplazamientos ya se pueda hacer uso de ella está aún lejos de estar tan asentada en comparación con la tecnología inalámbrica por excelencia, WiFi, por lo que habrá que esperar unos años para que su uso esté normalizado y todas las opciones mencionadas en este capítulo puedan llegar a convertirse en realidad.

ANEXOS A LA MEMORIA

Esta parte de la Memoria reúne toda la bibliografía consultada, conformada por todos los archivos, enlaces y documentos utilizados para la redacción de este documento; además, se muestra la situación inicial encontrada en relación a las luminarias, la distribución de los equipos WiFi y la circuitería eléctrica, cerrando con un subapartado en el que se incluyen diferentes cálculos que justifican la solución escogida.

I. Bibliografía

Las referencias utilizadas en este documento son:

- [1] [1] Gobierno de España, PAe: El Programa Europa Digital 2021-2027 completa su trámite en el Parlamento Europeo, 30 abril 2019. [En línea]. Disponible en: https://administracionelectronica.gob.es/pae_Home/pae_Actualidad/pae_Noticias/Anio-2019/Abril/Noticia-2019-04-30-Programa-Europa-Digital-2021-2027-completa-tramite-Parlamento-Europeo.html#.XVG-qOgzZPZ [Junio 2019].
- [2] Cisco España, Cisco News: Cisco prevé más tráfico IP en los próximos cinco años que en toda la historia de Internet, 27 noviembre 2018. [En línea]. Disponible en: <https://emear.thecisconetwork.com/site/content/lang/es/id/9874> [Junio 2019].
- [3] CNMC, Informe sobre las actuaciones necesarias para la liberación del segundo dividendo digital en condiciones óptimas, 17 mayo 2018. [En línea]. Disponible en: https://www.cnmc.es/sites/default/files/2069446_10.pdf [Junio 2019].
- [4] H. Haas, TED Talk: Wireless Data from Every Bulb, julio 2011. [En línea]. Disponible en: https://www.ted.com/talks/harald_haas_wireless_data_from_every_light_bulb. [Junio 2019].
- [5] Netgear: ¿Qué es PoE? (alimentación a través de Ethernet), 11 junio 2019. [En línea]. Disponible en: <https://kb.netgear.com/es/209/Qué-es-PoE-alimentació-n-a-travé-s-de-Ethernet> [Julio 2019].
- [6] satjbosco.com: PLC o Repetidor Wifi, 27 enero 2017. [En línea]. Disponible en: <http://satjbosco.com/2017/01/27/plc-o-repetidor-wifi/> [Julio 2019].
- [7] pureLiFi, LiFi Technology. pureLiFi, ©2019. [En línea]. Disponible en: <https://purelifi.com/lifi-technology/> [Agosto 2019].
- [8] Status of IEEE 802.11 Light Communication TG. IEEE, ©2017-2019. [En línea]. Disponible en: http://www.ieee802.org/11/Reports/tgbb_update.htm [Junio 2019].
- [9] Global LiFi Congress. LiFi Congress, ©2019. [En línea]. Disponible en: <https://www.lificongress.com/index.php?idedition=2> [Junio 2019].
- [10] DatLight pone en marcha en Málaga la primera sala LiFi de España. Blog de Smart City Cluster. [En línea]. Disponible en: <https://smartcitycluster.org/blog/asociados/datlight-pone-en-marcha-en-malaga-la-primer-sala-lifi-de-espana/> [Junio 2019].
- [11] Oledcomm, The LiFi Technology. Oledcomm, ©2018. [En línea]. Disponible en: <https://www.oledcomm.net/lifi-technology/> [Julio 2019].
- [12] Signify, Trulifi: where light becomes a new intelligent language. Signify, ©2018-2019. [En línea].

- Disponible en: <https://www.signify.com/global/innovation/trulifi> [Julio 2019].
- [13] WiFi Alliance, 20 Years of Wi-Fi. WiFi Alliance, ©2019. [En línea]. Disponible en: <https://www.wi-fi.org/discover-wi-fi/20-years-of-wi-fi> [Julio 2019].
- [14] WiFi Alliance. WiFi Alliance, ©2019. [En línea]. Disponible en: <https://www.wi-fi.org/> [Junio 2019].
- [15] M^a José Madero Ayora, Presentación de la asignatura. En: *Sistemas Emergentes de Comunicaciones*. Escuela Técnica Superior de Ingeniería, 2017.
- [16] M^a José Madero Ayora, Tema 2. Redes Inalámbricas de Comunicaciones de Área Local y Metropolitana. En: *Sistemas Emergentes de Comunicaciones*. Escuela Técnica Superior de Ingeniería, 2017.
- [17] WiFi Alliance, Wi-Fi CERTIFIED ac. WiFi Alliance, ©2019. [En línea]. Disponible en: <https://www.wi-fi.org/discover-wi-fi/wi-fi-certified-ac> [Julio 2019].
- [18] Cisco, IEEE 802.11ax: The Sixth Generation of Wi-Fi. Technical white paper, 2018.
- [19] Revolution WiFi, PHY Basics: How OFDM Subcarriers Work.[[En línea]. Disponible en: <http://www.revolutionwifi.net/revolutionwifi/2015/3/how-ofdm-subcarriers-work> [Julio 2019].
- [20] Juan Antonio Pascual, Computer hoy: Beamforming, qué es y cómo debería afectar a tu compra de un router, 5 junio 2018. [En línea]. Disponible en: <https://computerhoy.com/noticias/tecnologia/beamforming-que-es-como-deberia-afectar-tu-compra-router-258885> [Julio 2019].
- [21] Claudio Valero, ADSLZone: Los mejores routers ADSL del mercado en este momento, 2 mayo 2018. [En línea]. Disponible en: <https://computerhoy.com/noticias/tecnologia/beamforming-que-es-como-deberia-afectar-tu-compra-router-258885> [Julio 2019].
- [22] Sergio De Luz, RedesZone: FRITZ!Box 7590 AC2600, 20 febrero 2019. [En línea]. Disponible en: <https://www.redeszone.net/fritz/fritzbox-7590-ac2600/> [Julio 2019].
- [23] TP-Link, Archer D5. TP-Link, © 2019. [En línea]. Disponible en: <https://www.tp-link.com/es/home-networking/dsl-modem-router/archer-d5/> [Julio 2019].
- [24] Sergio De Luz, RedesZone: Los 10 mejores routers Wi-Fi que puedes comprar este 2019, 1 enero 2019. [En línea]. Disponible en: <https://www.redeszone.net/2019/01/01/mejor-router-wi-fi-2019/> [Julio 2019].
- [25] PcComponentes, Asus RT-AC88U Router Gaming AC3100 8 puertos compatible AiMesh. [En línea]. Disponible en: https://www.pccomponentes.com/asus-rt-ac88u-router-gaming-ac3100-8-puertos-compatible-aimesh?utm_campaign=afiliados&utm_source=effi-1395094649 [Julio 2019].
- [26] Amazon, D-Link DIR-882 - Router WiFi Gaming AC2600 MU-MIMO (Dual-Band, 2600 Mbps, 4 Puertos LAN + 1 Puerto de Internet, RJ45 Gigabit 10/100/1000 Mbps, Wave 2, WPS, WPA2), Compatible Movistar, Negro. Amazon, © 1996-2019. [En línea]. Disponible en: <https://www.amazon.es/gp/product/B075FZR9M4/?tag=rede08-21> [Julio 2019].
- [27] PcComponentes, Asus RP-AC87 Repetidor Inalámbrico AC2600 Dual-Band 4 Antenas. [En línea]. Disponible en: <https://www.pccomponentes.com/asus-rp-ac87-repetidor-inalambrico-ac2600-dual-band-4-antenas> [Julio 2019].
- [28] PcComponentes, Netgear EX6120 Extensor de Rango WiFi AC1200 Dual Band. [En línea]. Disponible en: <https://www.pccomponentes.com/netgear-ex6120-extensor-de-rango-wifi-ac1200-dual-band> [Julio 2019].
- [29] PcComponentes, TP-Link RE200 Repetidor Extensor de Cobertura WiFi AC750. [En línea]. Disponible en: <https://www.pccomponentes.com/tp-link-re200-repetidor-extensor-de-cobertura-wifi-ac750> [Julio 2019].
- [30] PcComponentes, Asus USB-AC53 Nano Adaptador Inalámbrico USB AC1200 MU-MIMO. [En línea]. Disponible en: <https://www.pccomponentes.com/asus-usb-ac53-nano-adaptador-inalambrico-usb-ac1200-mu-mimo> [Julio 2019].

-
- [31] PcComponentes, TP-LINK Archer T2UH Adaptador USB WiFi Dual-Band AC600. [En línea]. Disponible en: <https://www.pccomponentes.com/tp-link-archer-t2uh-adaptador-usb-wifi-dual-band-ac600> [Julio 2019].
- [32] H. Haas, L. Ling, Y. Wang y C. Chen. What is LiFi? *Journal of Lightwave technology*, vol. 34 n° 6, pp. 1533 – 1544, 15 mayo 2016.
- [33] Light Communications Alliance. Light Communications Alliance, © 2019. [En línea]. Disponible en: http://lightcommunications.org/?utm_source=email&utm_medium=LCA&utm_campaign=LCA#news [Julio 2019].
- [34] H. Chun, S. Rajbhandari, G. Faulkner, D. Tsonev, E. Xie, J. J. D. McKendry, E. Gu, Martin D. Dawson, D. C. O'Brien y H. Haas. LED Based Wavelength Division Multiplexed 10 Gb/s Visible Light Communications. *Journal of Lightwave technology*, vol. 34 n° 13, pp. 3047 – 3052, 1 julio 2016.
- [35] H. Haas. The University of Edinburgh: How fast can LiFi be? The University of Edinburgh, © 2018. [En línea]. Disponible en: <https://www.lifi.eng.ed.ac.uk/lifi-news/2015-11-28-1320/how-fast-can-lifi-be> [Julio 2019].
- [36] pureLiFi, pureLiFi demonstrate Gigabit LiFi at MWC 2019, 7 marzo 2019. pureLiFi, © 2019. [En línea]. Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=ybK9AgRey1o> [Julio 2019].
- [37] pureLiFi: Guide to Integrating Gigabit LiFi. pureLiFi, © 2019. [En línea]. Disponible en: <https://purelifi.com/download-the-guide-to-integrating-gigabit-lifi/> [Julio 2019].
- [38] IEEE 802.15 WPAN Task Group 13 (TG13) Multi-Gigabit/s Optical Wireless Communications. IEEE, ©2003. [En línea]. Disponible en: <http://www.ieee802.org/15/pub/TG13.html> [Junio 2019].
- [39] Volker Jungnickel, Standardization of Li-Fi in IEEE 802.15.13. Fraunhofer HHI, 7 junio 2018.
- [40] M. Uysal, F. Miramirkhani, O. Narmanlioglu, T. Baykas y E. Panayirci. IEEE 802.15.7r1 Reference Channel Models for Visible Light Communication. *IEEE Communications Magazine*, vol. 55, pp. 212-217, 19 enero 2017.
- [41] ITU-T G.9991. High-speed indoor visible light communication transceiver – System architecture, physical layer and data link layer specification. *Recommendation ITU-T G.999*, marzo 2019.
- [42] Signify, Signify lanza Trulifi: los sistemas comerciales LiFi de alta velocidad más confiables del mundo, 25 junio 2019. Signify, ©2018-2019. [En línea]. Disponible en: <https://www.signify.com/es-ar/our-company/news/press-releases/2019/20190625-signify-launches-trulifi> [Junio 2019].
- [43] Endesa: Tipos de bombillas: precio, consumo, vida útil y ventajas, 26 Enero 2018. Endesa, © 2019. [En línea]. Disponible en: <https://www.endesaclientes.com/blog/tipos-bombillas> [Julio 2019].
- [44] H. Haas, LiFi: Conceptions, misconceptions and opportunities. En: *IEEE Photonics Conference (IPC)*: 2-6 octubre 2016. Waikoloa, HI, USA.
- [45] Lucibel. Lucibel, ©2017. [En línea]. Disponible en: <http://www.lucibel.io/en/communication> [Agosto 2019].
- [46] Introducción a la Domótica. Edificios inteligentes. En: *Domótica*. Dpto. Ingeniería de Sistemas y Automática, Escuela Técnica Superior de Ingeniería, 2017.
- [47] José Noguera, PLCWiFi: Los mejores PLC WiFi del momento. [En línea]. Disponible en: <https://plcwifi.es/> [Julio 2019].
- [48] TP-Link TL-WPA8730 KIT. TP-Link, © 2019. [En línea]. Disponible en: <https://www.tp-link.com/es/home-networking/powerline/tl-wpa8730-kit/> [Agosto 2019].
- [49] TECNOseguro, ¿Qué es PoE? TECNOseguro, © 2019. [En línea]. Disponible en: <https://www.tecnoseguro.com/faqs/electronica/que-es-poe> [Agosto 2019].
- [50] ECV: ¿Todo Lo Que Necesita Saber Sobre Conexiones POE!, 30 noviembre 2018. [En línea]. Disponible en: <https://ecv.es/todo-lo-que-necesita-saber-sobre-conexiones-poe/> [Julio 2019].
- [51] Cisco: Cisco UPOE+ and UPOE - Power Over Ethernet. [En línea]. Disponible en: <https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/enterprise-networks/upoe/index.html#~:stickynav=1> [Julio

- 2019].
- [52] perlesystems.es: Información general sobre Power Over Ethernet (PoE & PoE+, Hi-PoE). Perle, © 1996-2018. [En línea]. Disponible en: https://www.perlesystems.es/supportfiles/poe_background_technical_note.shtml [Agosto 2019].
- [53] Alberto García, ADSLZone: Cat5e, Cat6 o Cat7: ¿qué cable de red Ethernet has de poner en tu casa?, 30 enero 2018. [En línea]. Disponible en: <https://www.adslzone.net/2018/01/30/cat-6-7-ethernet-red-casa/> [Julio 2019].
- [54] Test de velocidad, ¿Categoría 5, 5e, 6, 6a o 7? Este es el cable de red que deberías estar utilizando, 4 octubre 2017. [En línea]. Disponible en: <https://www.testdevelocidad.es/2017/10/04/categoria-cable-red/> [Julio 2019].
- [55] Netgear: Power over Ethernet Switches.[En línea]. Disponible en: <https://www.netgear.com/landings/poe/> [Julio 2019].
- [56] TP-Link: Switches PoE TP-Link. TP-Link, © 2019. [En línea]. Disponible en: https://www.tp-link.com/es/poe_solution/ [Julio 2019].
- [57] TP-Link: TL-SG3424P. TP-Link, © 2019. [En línea]. Disponible en: https://www.tp-link.com/es/business-networking/managed-switch/tl-sg3424p/?utm_medium=select-local [Julio 2019].
- [58] Amazon, Netgear GS116PP Switch Gigabit con 16 puertos PoE, Switch ethernet PoE de 183W, Switch PoE, montaje sobremesa o bastidor, caja de metal. Amazon, © 1996-2019. [En línea]. Disponible en: <https://www.amazon.es/Netgear-GS116PP-100EUS-gestionable-puertos-Ethernet/dp/B07DF8GSZ> [Agosto 2019].
- [59] PcComponentes, Foscam G2EP Cámara Bala IP PoE. [En línea]. Disponible en: https://www.pccomponentes.com/foscam-g2ep-camara-bala-ip-poe?gclid=Cj0KCQjwwb3rBRDrARIsALR3XebR_SEo8S54Mqu7UmTKgcLp1KlsuY5Im9hnMNq3XkgN6S2qS2wYmtIaAoE8EALw_wcB [Agosto 2019].
- [60] Revista Española de Electrónica: Protocolos de iluminación: DALI, 18 abril 2018. [En línea]. Disponible en: <https://www.redeweb.com/articulos/protocolos-de-iluminacion-dali/> [Agosto 2019].
- [61] Sunricher: DALI series. [En línea]. Disponible en: <https://www.sunricher.com/dali-series.html> [Agosto 2019].
- [62] efectoLED: Módulo de Control de Interruptores con 4 Entradas Programables DALI XC TRIDONIC. efectoLED, © 2019. [En línea]. Disponible en: https://www.efectoled.com/es/comprar-reguladores-de-potencia/6683-modulo-de-control-de-interruptores-con-4-entradas-programables-dali-xc.html?gclid=Cj0KCQjws7TqBRDgARIsAAHLHP5iOiSAhwldsym7b3Std9DMzHhW8FGhuN_OV37spkB-xsMj0Uu2Mg4aAlGOEALw_wcB&gclid=aw.ds#accessories [Julio 2019].
- [63] José García Trasancos. *Instalaciones eléctricas en media y baja tensión, 7ª Edición*, pp 218. Madrid : Thomson Paraninfo, 2016. ISBN : 9788428331821.
- [64] R. Johri. Li-Fi, Complementary To Wi-Fi. En: *International Conference on Computation of Power, Energy Information and Commuincation (ICCPEIC)*: 20 y 21 abril 2016. Chennai, India.
- [65] Iberdrola: Qué es la tecnología lifi. Iberdrola, © 2019. [En línea]. Disponible en: <https://www.iberdrola.com/innovacion/tecnologia-lifi> [Julio 2019].
- [66] IEEE Standards Association, IEEE Std 802.3cd. *Amendment 3: Media Access Control Parameters for 50 Gb/s and Physical Layers and Management Parameters for 50 Gb/s, 100 Gb/s, and 200 Gb/s Operation*, 2018.
- [67] Signify, Philips Lighting presenta LiFi: datos de banda ancha a través de la luz, 16 marzo 2018. Signify, ©2018-2019. [En línea]. Disponible en: <https://www.signify.com/es-es/sobre-nosotros/news/notas-de-prensa/2018/20180316-philips-lighting-presenta-lifi-datos-de-banda-ancha-a-traves-de-la-luz> [Junio 2019].

II. Situación inicial

La configuración inicial de los dispositivos que componían la red de acceso inalámbrica WiFi era la siguiente:

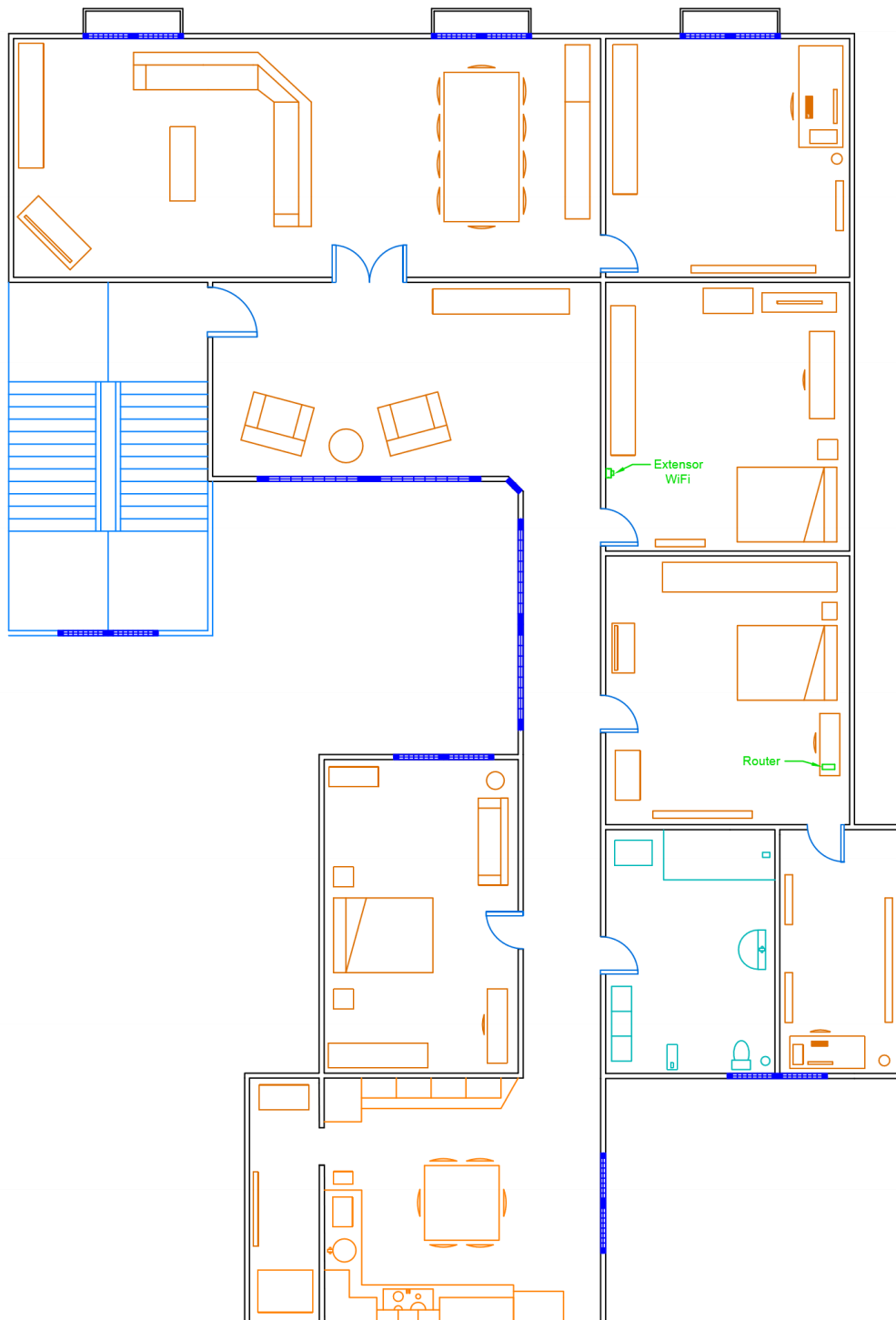


Figura 2-1. Instalación WiFi original.

La disposición de las luminarias instaladas era la siguiente:

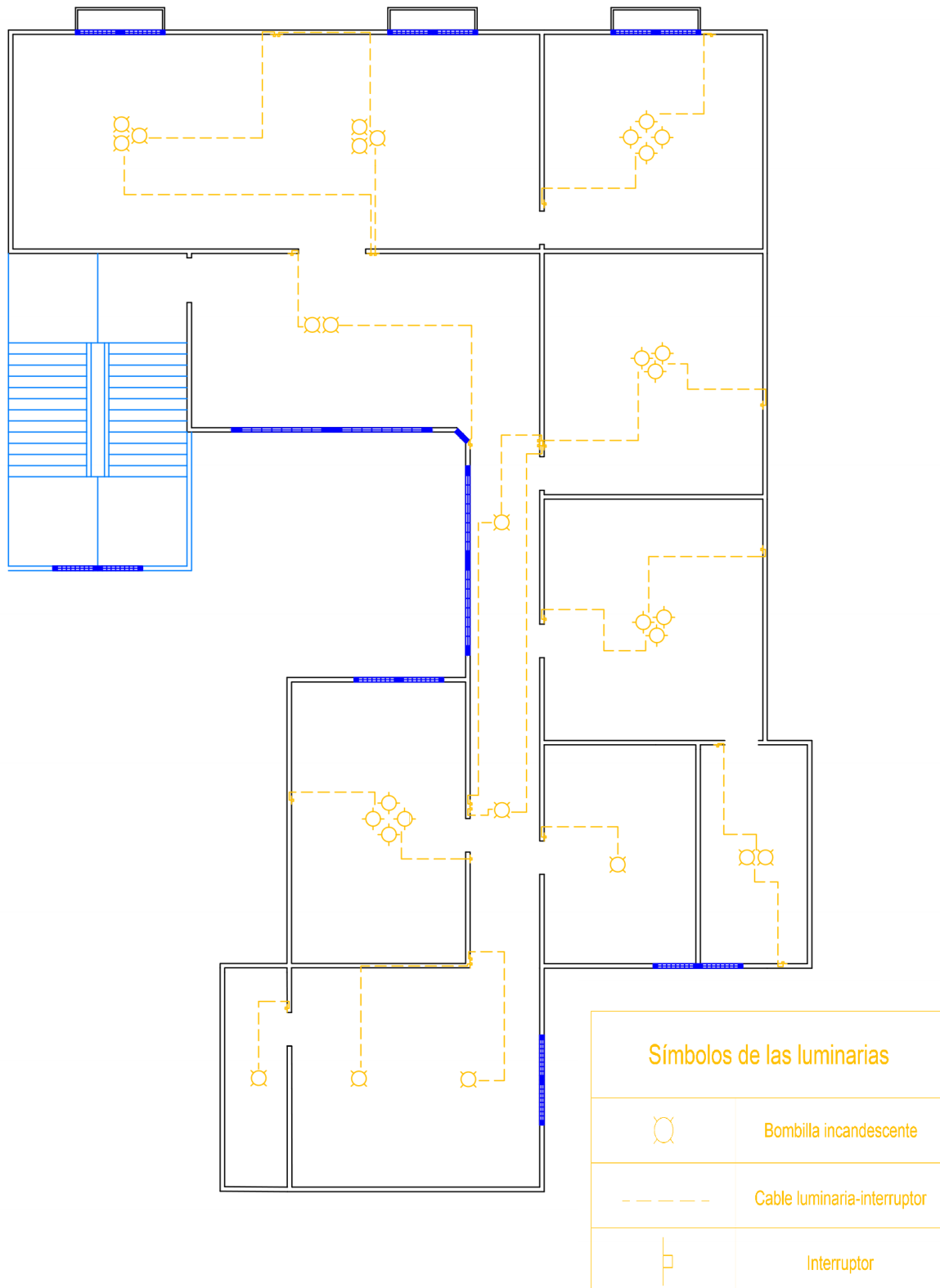


Figura 2-2. Disposición luminarias original.

III. Cálculos justificativos

Para las estancias del Salón y Despacho 1 se ha escogido la alternativa LiFi por delante de WiFi, decisión para cuya justificación se ha incluido la tabla 1-1, obtenida de la página de pureLiFi [7], donde * quiere decir bajo, ** medio y *** alto. Además, cabe destacar que haciendo llegar un cable Ethernet a cada punto de acceso, a medida que la tecnología LiFi se abarate solo habría que cambiar el punto de acceso pues la instalación ya estaría en su lugar correspondiente.

Tabla 0-1. Comparativa LiFi-WiFi de pureLiFi.

Tecnología	LiFi	WiFi
Velocidad	***	**
Densidad de datos	***	*
Seguridad	***	**
Fiabilidad	***	**
Impacto ecológico	*	**
Conectividad dispositivo-dispositivo	***	***
Evitar interferencias	***	*

Por otro lado se recomendó que se sustituyeran las luces que se tenían instaladas en las luminarias de toda la casa, las cuales eran incandescentes, por bombillas LED, hecho justificado en la tabla 2-2, una comparativa establecida entre las bombillas LED y la iluminación más tradicional [42].

Tabla 0-2. Comparativa LED-iluminación tradicional.

Vida útil	En los LED puede llegar hasta las 100.000 horas mientras en las lámparas incandescentes es de 1000 horas.
Eficiencia energética	En las bombillas tradicionales se pierde un 80% de la energía eléctrica invertida en calor mientras en los LED esta pérdida es del 20%.
Medio ambiente	Las luces LED no contienen materiales tóxicos y son 100% reciclables. A su vez, las bombillas fluorescentes de iluminación contienen materiales como el mercurio y su huella de carbono es mayor.
Duración de la calidad	Debido a que las luces LED pueden soportar impactos y vibraciones su calidad de iluminación es muy duradera. La iluminación convencional sufre mucho deterioro por ejemplo debido a las continuas altas temperaturas, a veces de hasta 2100 °C, que debe soportar su filamento. Esto también supone una ventaja a la hora de realizar el mantenimiento de un sistema de iluminación.
Color	Con las bombillas tradicionales solo se puede acceder a tonos amarillentos, por el contrario con las lunas LED se puede acceder a todo el espectro visible, algo que sin duda le da mucha ventaja en aplicaciones como las domóticas o industriales.

Precio	Este ha sido el talón de Aquiles durante mucho tiempo de las bombillas LED y aunque en los últimos años su precio ha disminuido sigue siendo más caro comprar una bombilla LED que una bombilla tradicional. Se espera que con los apoyos gubernamentales, que impulsarán la transición hacia la iluminación LED, sea cada vez más barata.
Flexibilidad de diseño	Se pueden combinar de numerosas formas las luces LED para obtener una bombilla con un ancho de haz diferente o para provocar incluso efectos en el estado de ánimo, algo que ya se utiliza por ejemplo en los aviones.
Temperatura soportada	Mientras las lámparas fluorescentes se ven afectadas al trabajar en bajas temperaturas, las luces LED son ideales para trabajar en un amplio rango de temperaturas sin modificar su rendimiento.
Dispersión de la luz	La iluminación LED bien diseñada, es capaz de ofrecer luz de manera más eficiente a la ubicación deseada, sin necesitar un reflector externo.
Capacidad de modulación	Como ya se ha comentado anteriormente la propiedad que hace ideal al LED para la tecnología LiFi es su capacidad de modular su intensidad a velocidades altísimas, algo que las bombillas tradicionales no pueden hacer.
Emisiones	Las luces LED emiten menos radiaciones ultravioleta que las lámparas compactas fluorescentes y las incandescentes.
Consumo	Mientras una bombilla del estándar E27 incandescente consume unos 40 vatios una del mismo estándar LED consume 5 vatios, lo que supone un ahorro del 85%.

Por todo lo expuesto en esta tabla, es más que recomendable el uso de bombillas LED frente a las luminarias tradicionales, ya no solo por la tecnología LiFi y las enormes posibilidades tecnológicas que pueden llegar a tener en un futuro no muy lejano, sino por aspectos tan importantes como el ahorro energético o la vida útil del producto. Además, se ha obtenido la siguiente figura del blog de la página de clientes de Endesa [42], una de las líderes del sector energético en España, en la cual se comparan los distintos tipos de bombillas que se pueden encontrar en estos momentos en el mercado.

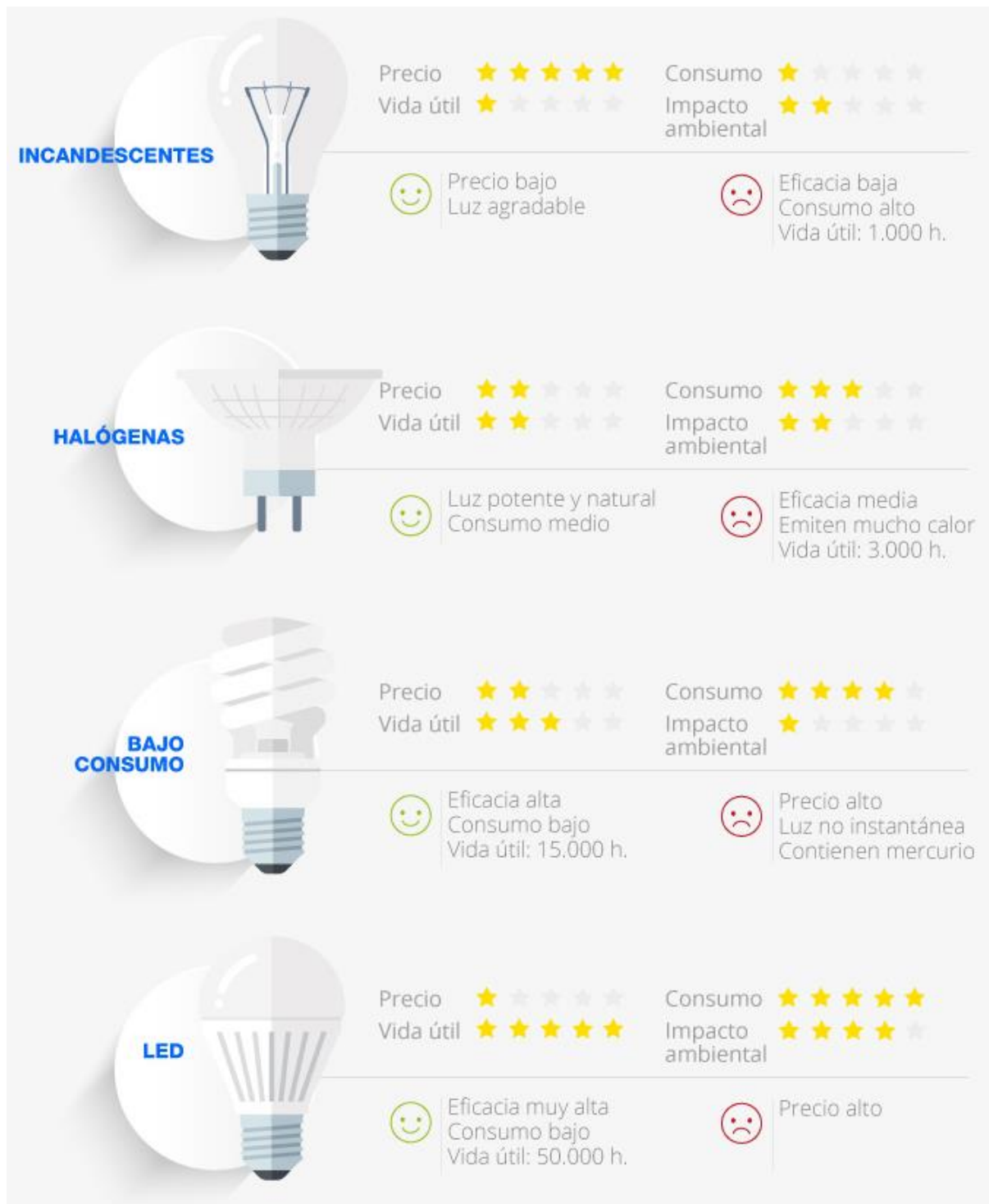


Figura 2-3. Comparativa entre los tipos de bombillas realizada por Endesa.

Como ejemplo se ha realizado un cálculo comparativo para hacer ver con más claridad al lector el ahorro en el consumo eléctrico que podría suponer la sustitución de bombillas incandescentes por bombillas LED. Si en un espacio interior se tuvieran instaladas 10 bombillas incandescentes con un consumo de 60 W cada una y se sustituyeran por bombillas LED de 7 W, sin pérdida de luminosidad ni calidad en la iluminación, no solo estaríamos impidiendo la disipación del calor que producen las bombillas incandescentes, si no que estaríamos ahorrando hasta casi 11€ al mes, lo que supondría un poco menos de 132€ de ahorro anuales en la factura de la luz. Los cálculos, que pueden servir como referencia, pueden verse en la siguiente tabla:

Tabla 0-3. Comparación consumo anual entre incandescente y LED.

Tipo de bombilla	Nº de bombillas	Potencia	Horas en uso al día	Cosumo mensual	Precio KW/h	Gasto total mensual	Gasto total anual
Incandescente	10	60 W	5	90 KW	0,138	12,42 €	149,04 €
LED	10	7 W	5	10,5 KW	0,138	1,45 €	17,4 €

Para la tabla 2-3 se han tomado 5 horas de uso al día para cada bombilla; el precio del KW/h se ha utilizado como referencia el del último recibo de la factura de la luz llegado a la casa del cliente; y para el consumo mensual se ha elegido que el mes tenga 30 días, que han sido multiplicados por 12 para obtener el gasto anual.

Para la solución adoptada se ha descartado la opción de utilizar la tecnología PLC debido a que se tenían múltiples circuitos a lo largo de la vivienda, lo que implicaría que para hacer llegar a los enchufes la posibilidad de ofrecer conexión a la red a los usuarios se debería inyectar mediante el dispositivo adecuado. Particularizando, al tener los circuitos que se observan en las siguientes imágenes serían necesarios 5 inyectores PLC con sus correspondientes receptores para poder llevar tanto los datos como la corrientes por el circuito eléctrico de la vivienda, hecho que además de suponer un uso ineficiente de los enchufes de la vivienda provocaría que el coste del proyecto fuera mayor. Además, como principal inconveniente de esta tecnología, en los diferentes circuitos eléctricos de la vivienda se interconectan dispositivos como la vitrocerámica, el frigorífico o el horno, los cuales podrían introducir interferencias en la circuitería que afectarían a la experiencia del usuario.

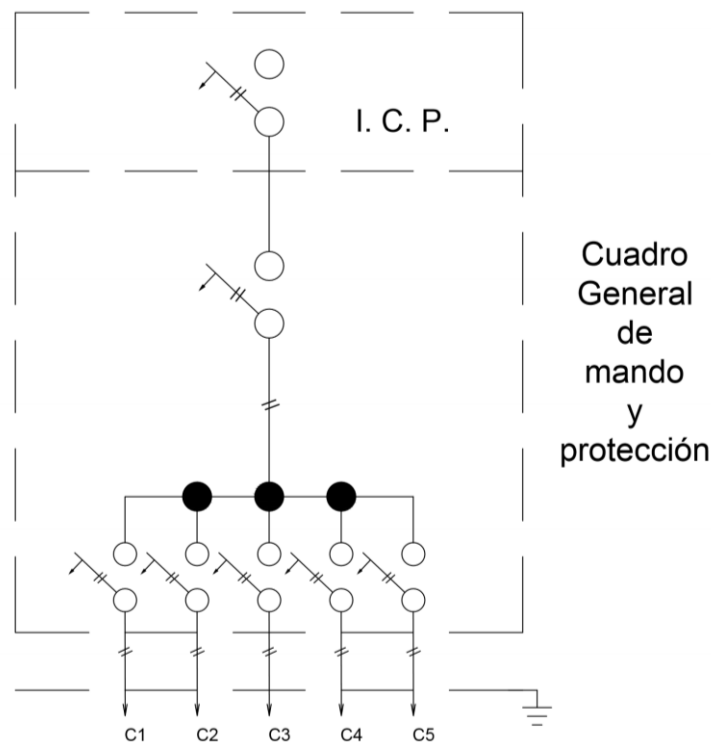


Figura 2-4. Esquema del cuadro general de mando y protección.

ICP se refiere al Interruptor de Control de Potencia [63].

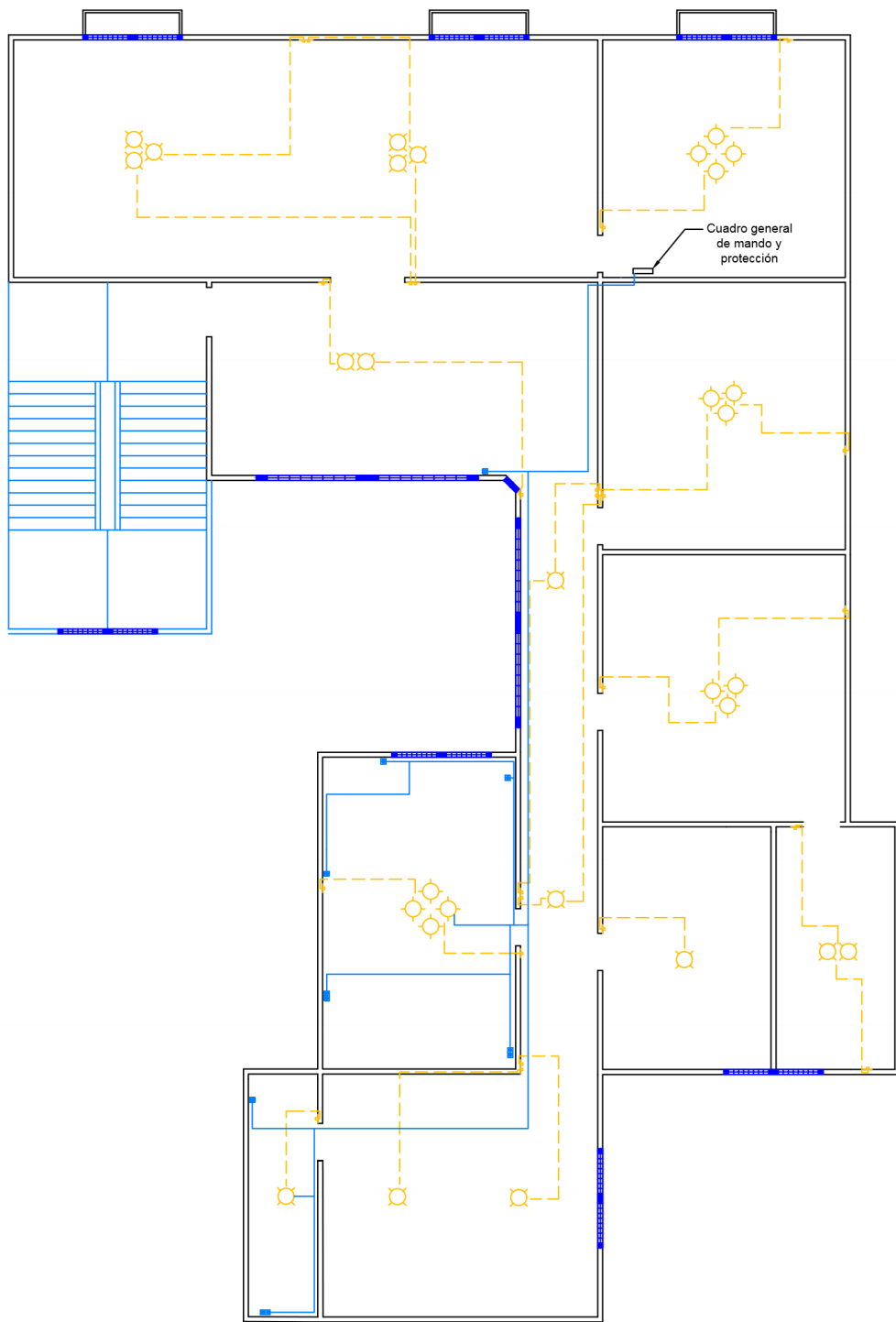


Figura 2-5. Circuito C1.

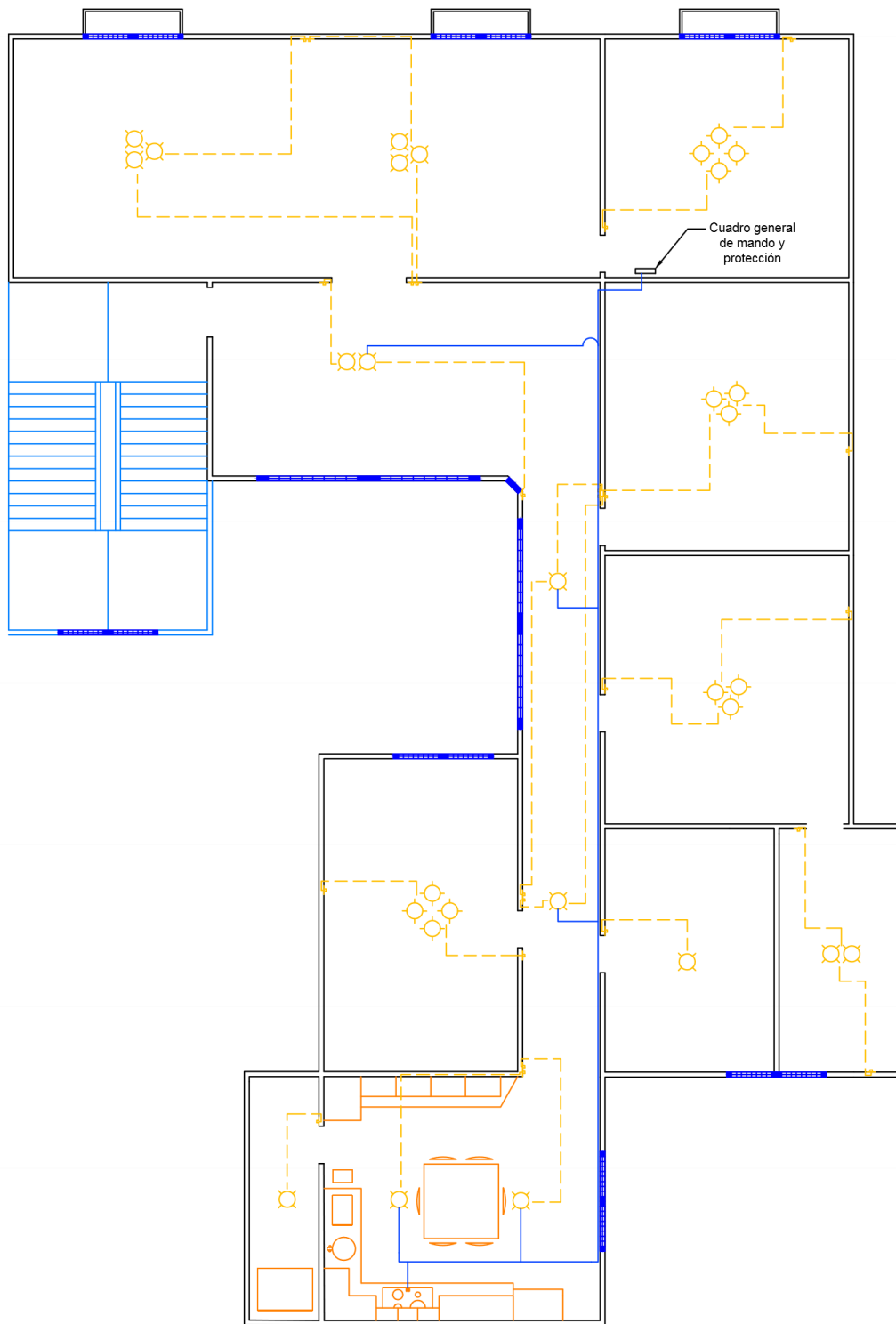


Figura 2-6. Circuito C2.

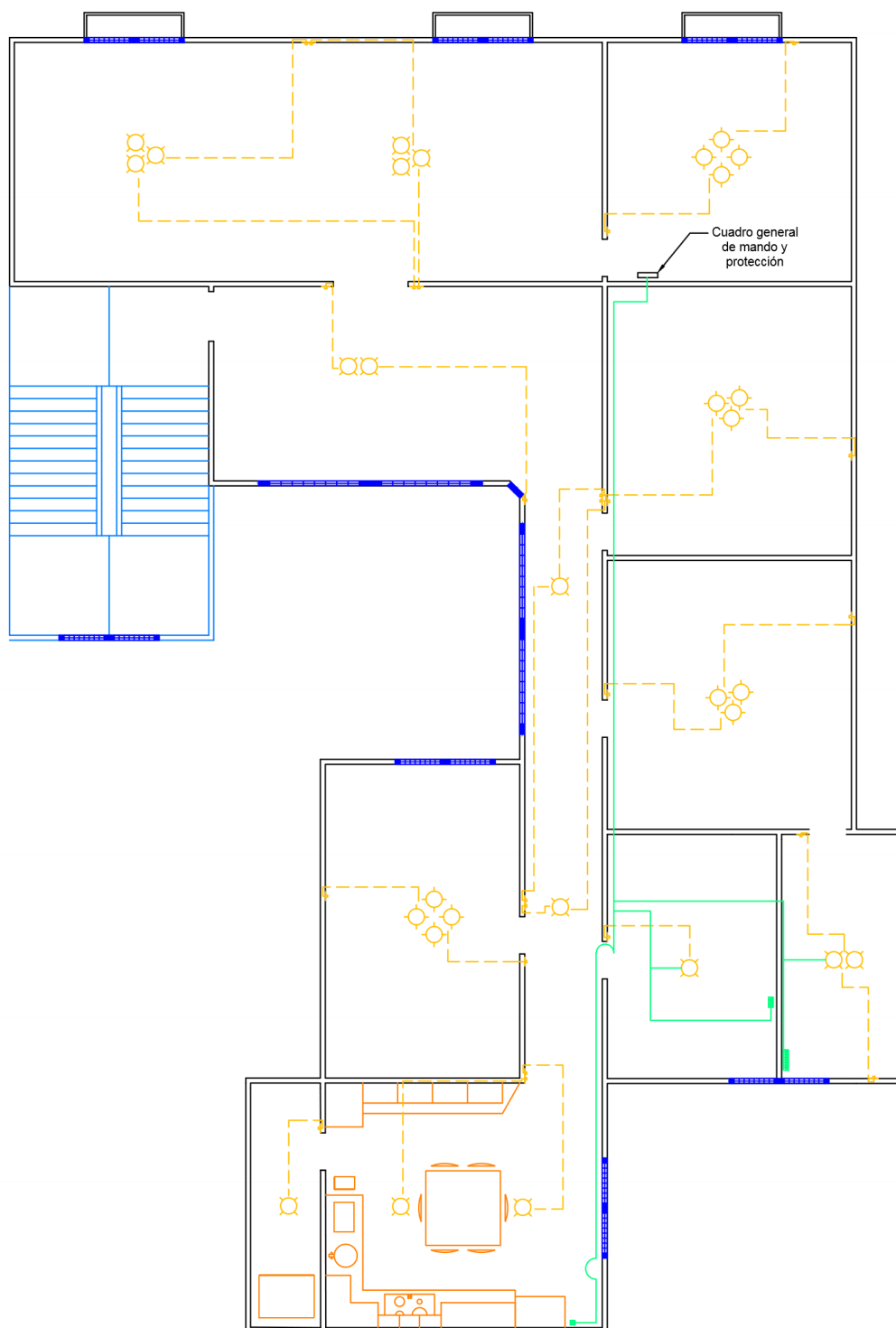


Figura 2-7. Circuito C3.

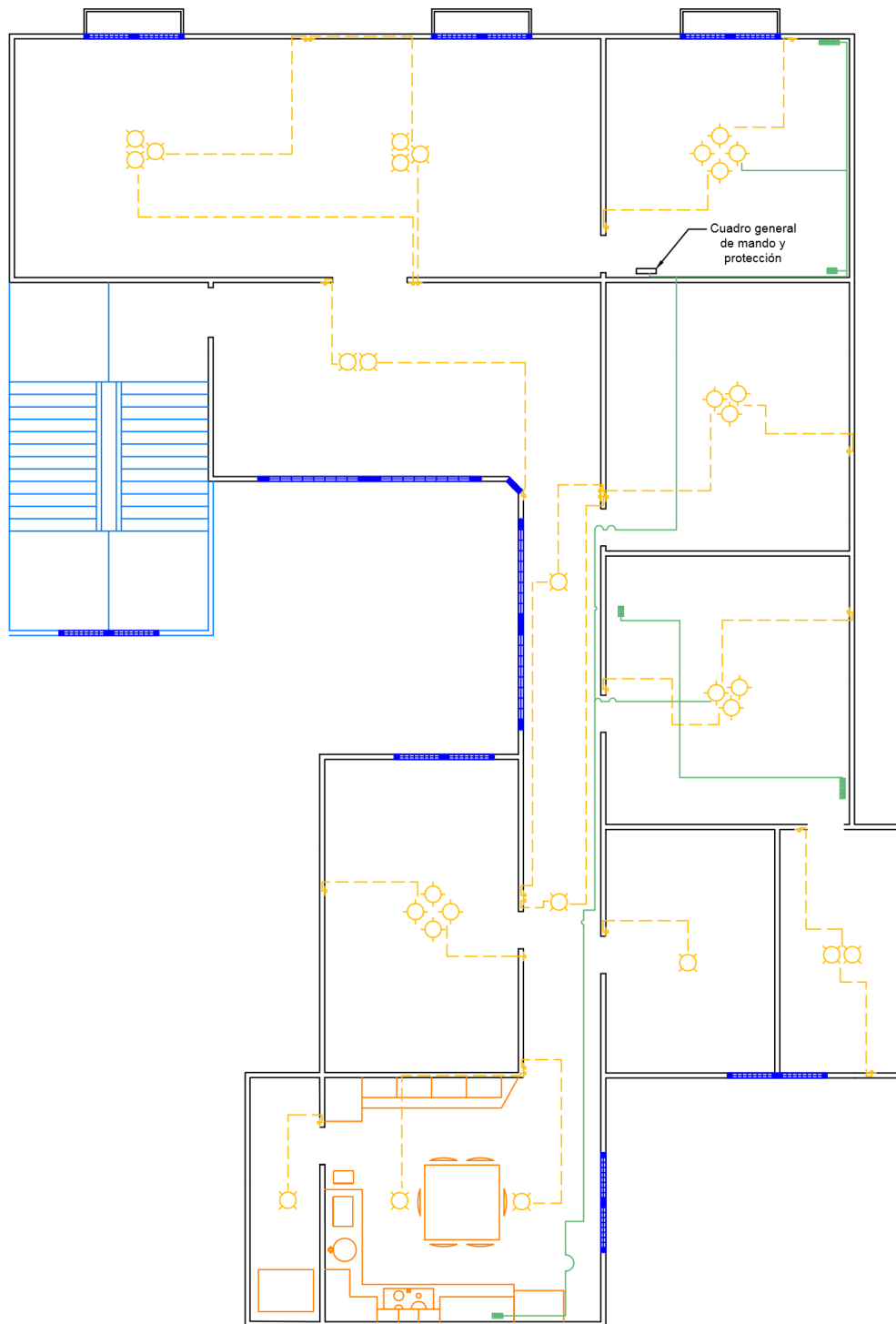


Figura 2-8. Circuito C4.

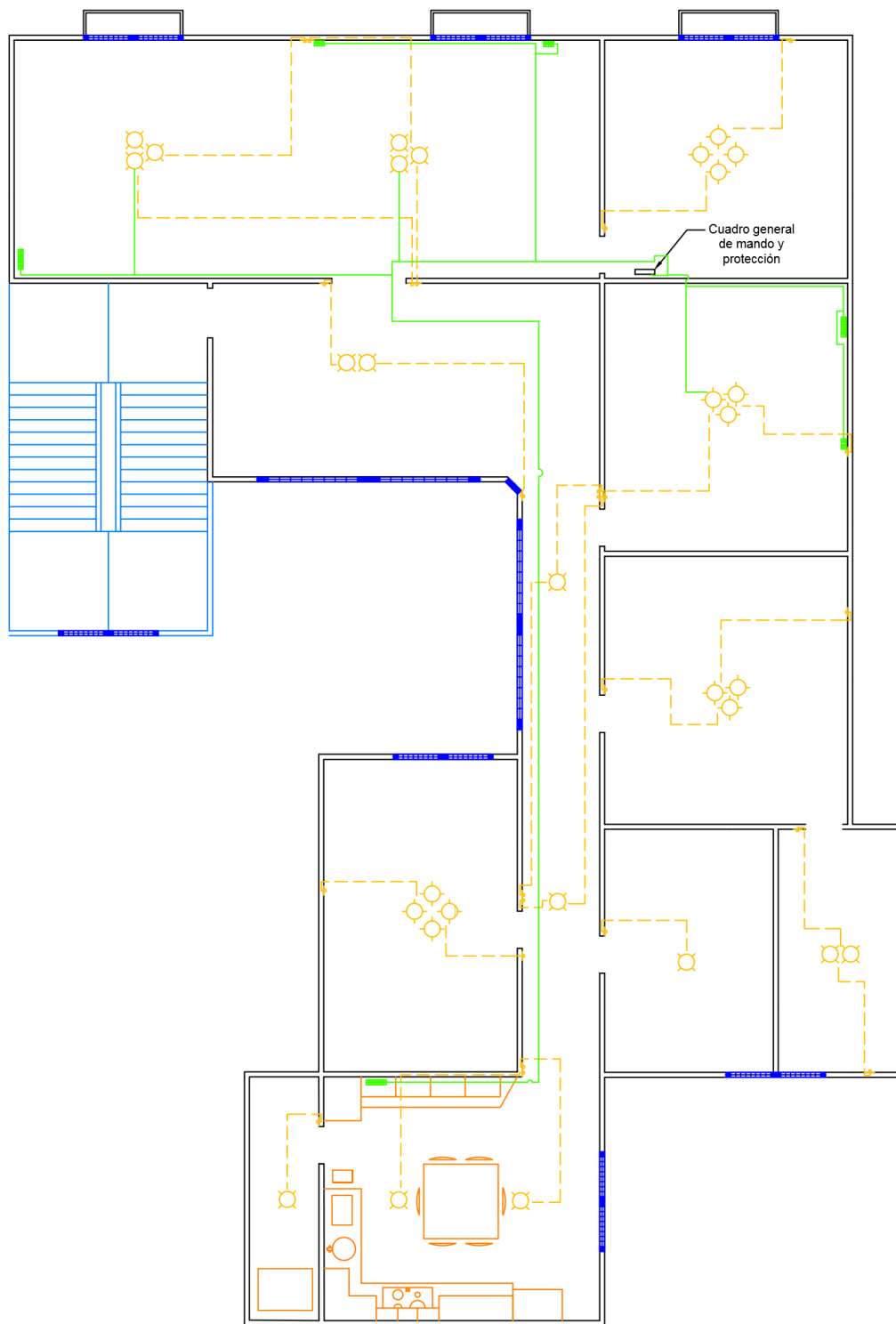


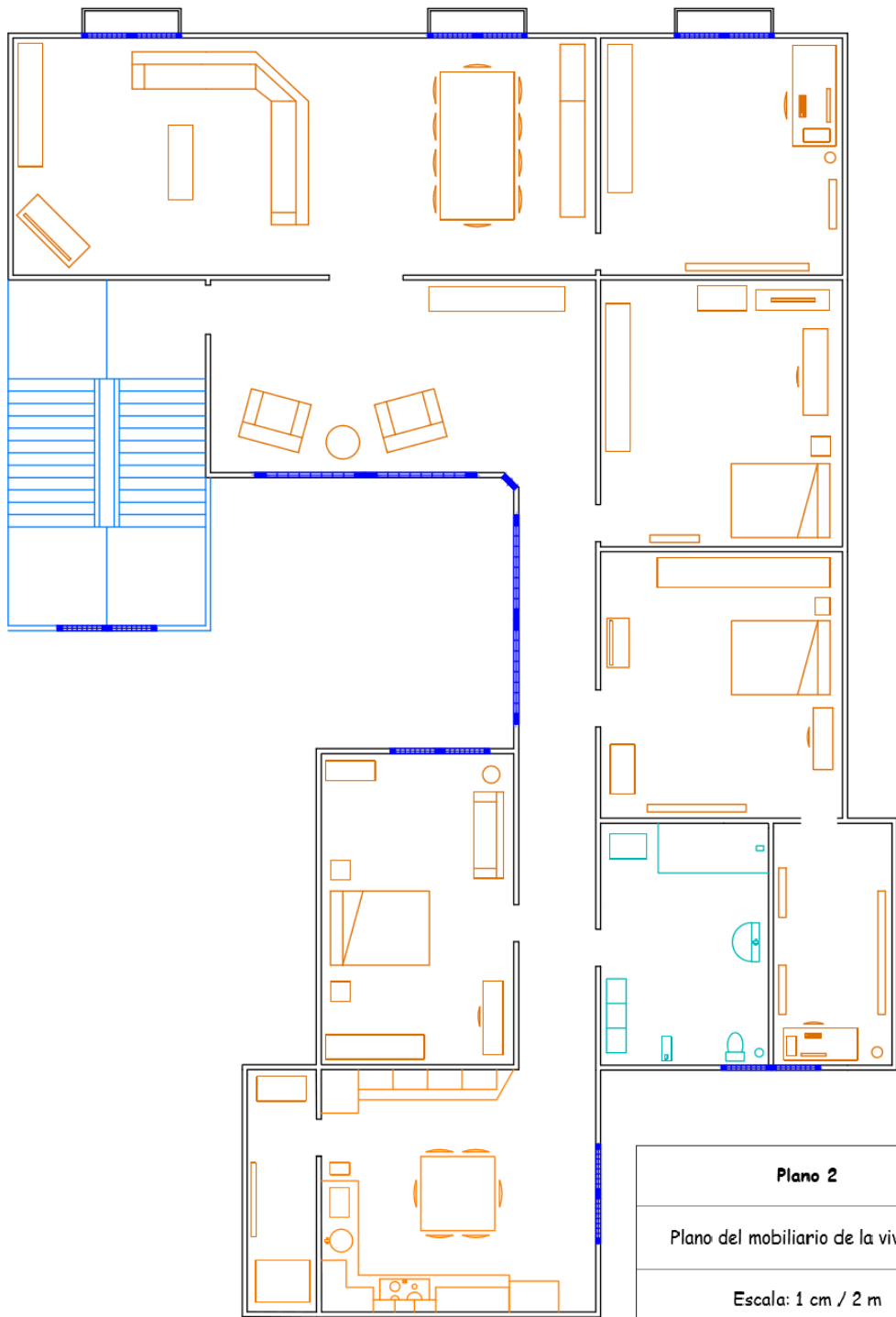
Figura 2-9. Circuito C5.

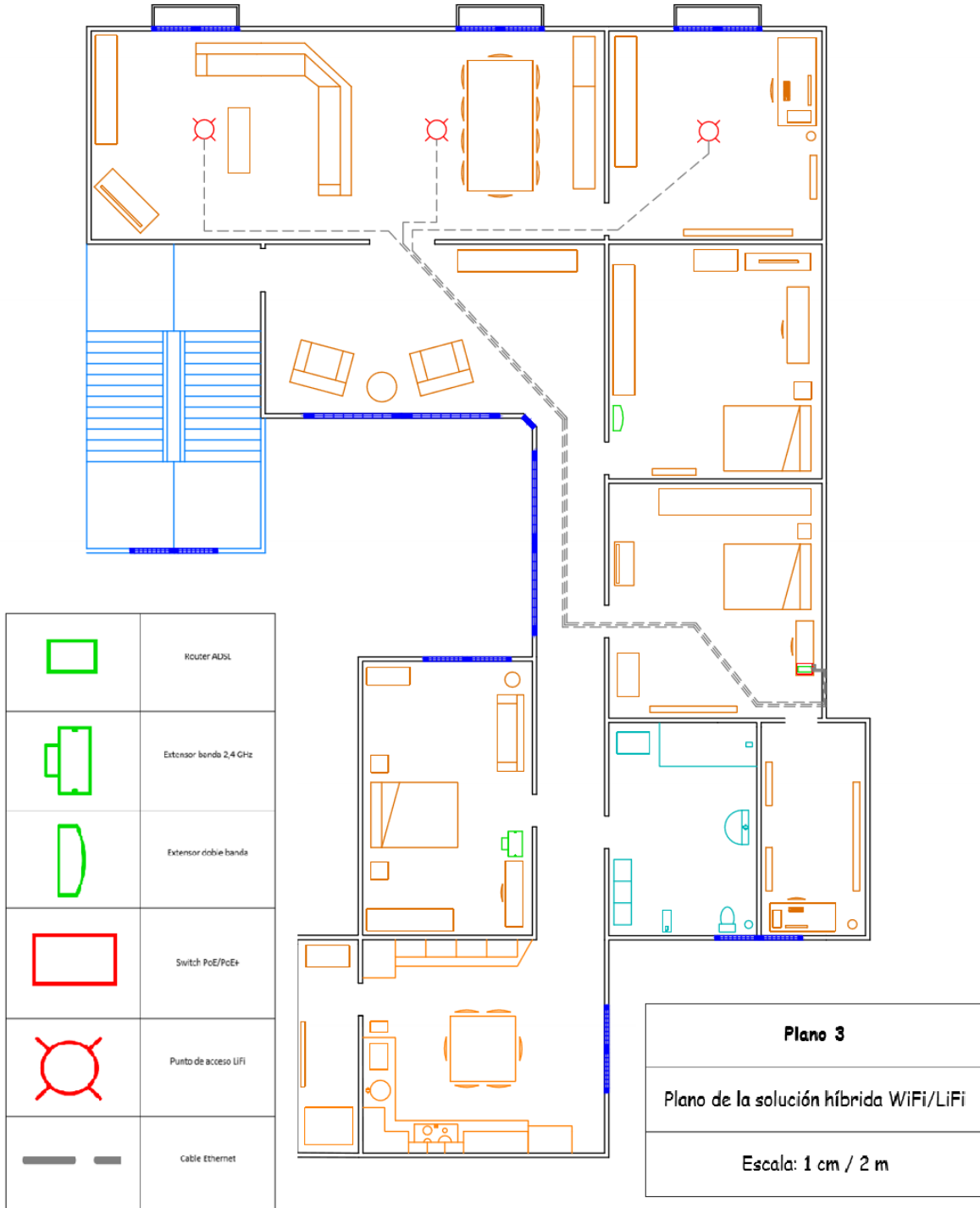
PLANOS

Los planos incluidos han sido realizados con el programa AutoCAD y han facilitado enormemente el desarrollo de las investigaciones a la hora de localizar los problemas de conexión y poder encontrar la solución más adecuada.

1. Índice de planos

Plano 1. Plano general de la vivienda.	54
Plano 2. Plano del mobiliario de la vivienda.	55
Plano 3. Plano con la instalación híbrida WiFi/LiFi.	56







PLIEGO DE CONDICIONES

Aquí se detallan las características, tanto generales como específicas, que deben los equipos a utilizar para llevar a cabo la solución propuesta. Para ello en el subapartado de Condiciones específicas se han adjuntado los *datasheets* de los equipos utilizados.

1. Condiciones generales

Las condiciones que se deben cumplir para abastecer de una correcta conexión LiFi son:

1. Un punto de acceso con las siguientes características:
 - a. Capaz de soportar la tecnología PoE+
 - b. Capaz de dar conexión hasta a 4 usuarios simultáneamente como mínimo.
 - c. Soporte una velocidad mínima de 50 Mbps.
 - d. Soporte el movimiento entre luminarias de una misma red.
2. Un conector USB con capacidad para permitir utilizar la tecnología LiFi en el dispositivo en el que se conecte.
3. Cables Ethernet de categoría 5e como mínimo.
4. Un switch con las siguientes características:
 - a. Capaz de soportar 70 W como mínimo en conexión PoE+.
 - b. Tenga al menos 10 puertos Gigabit Ethernet.
 - c. Proporcione al menos 24,6 W por cada puerto con conexión PoE+.
 - d. Cuente con la posibilidad de ser manejado inalámbricamente.
 - e. Tenga una capacidad total de al menos 10 Gbps.

Las condiciones que se deben cumplir para abastecer de una correcta conexión WiFi son:

1. Un router con las siguientes características:
 - a. Capaz de funcionar como router y módem simultáneamente.
 - b. Soporte al menos 100 Mbps.
 - c. Emita tanto en la banda de 2,4 como en la de 5 GHz.
 - d. Implemente como mínimo el estándar IEEE 802.11 ac.
 - e. Tenga entre 4 y 8 puertos Gigabit Ethernet.

2. Un conector hembra coaxial-macho RJ45.
3. Un extensor de intensidad con las siguientes características:
 - a. Soporte al menos 100 Mbps.
 - b. Extienda la señal tanto en la banda de 2,4 como en la de 5 GHz.
 - c. Implemente como mínimo el estándar IEEE 802.11 ac.
 - d. Tenga una configuración sencilla de cambiar para el usuario.

2. Condiciones específicas

Los productos elegidos son el LiFiCup y su respectivo USB para dotar de la posibilidad de la conexión usando LiFi son de la marca Lucibel, de los cuales se añaden a este anexo los *datasheets* disponibles para su descarga en inglés desde la web de Lucibel:

Punto de acceso LiFicup de Lucibel:

NOTICE D'INSTALLATION
INSTRUCTIONS GUIDE

LiFi
by Lucibel



LIFICUP +

Downlight LED - Point d'accès LiFi
LED downlight - LiFi Access Point

LC840BK - LC840WH

LiFi by Lucibel -
Une marque du groupe Lucibel A Lucibel Group Brand
9, avenue Edouard Belin - 92500 Rueil-Malmaison - France
www.lucibel.io



Luminaire conçu et fabriqué en France 
Lighting fixture designed and manufactured in France



TECHNICAL DATASHEET

DESCRIPTION

The «LiFi by Lucibel» solution enables the deployment of a full wireless network through a bidirectional line rate up to 54 Mbps. The Lucibel LiFi system offers high-speed mobile connectivity within a network while supporting multiple access and the «handover». Each LiFi luminaire can simultaneously serve up to 16 LiFi USB keys. The implemented handover functionality allows users to keep automatically a stable connection from one luminaire to another.

CONNECTIVITY

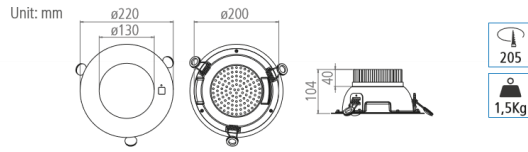
Bidirectional line rate up to 54 Mbps.
 Up to 16 users per LiFi Acces Point.
 Inter-LiFi Luminaire supported.
 Atto-Cell 2,5m high: 3m diameter circle.
 Atto-Cell 3m high: 3,5m diameter circle.
 Data Interface: RJ45.
 WPA2-Personal and Enterprise (802.1X Radius) authentication mechanism.
 Proprietary protocol for power management/dimming.

NETWORK CHARACTERISTICS

Data interface	RJ45 Ethernet
IP Addressing Mode	Default DHCP
	Static IP
Bandwidth (Full Duplex)	Upload : 54 Mb/s
	Download : 54 Mb/s
Number of users max. by luminaire	16 users
Authentication mechanism	WPA 2 Personnel
	WPA 2 Enterprise (Radius 802.1X)
Handover between luminaire	Supported

For advanced setup, please contact Lucibel Technical Service.

DIMENSIONS



OPTICAL DISTRIBUTION

Available in: Wide Flood (76°) **CRI90**

TECHNICAL CHARACTERISTICS

Colour temperature: 4000 K (Neutral White)
 Luminous flux: 1900 lm
 Power consumption: 30W
 Lighting efficiency: 63lm/W
 Power factor: > 0,9
 Maximum intensity: 1615 cd
 Operating life: 50000 h (Ta = 25°C)
 Operating temperature: -25 ; +45°C
 Input voltage: 230VAC / 130mA / 50-60Hz

- 205
- 1,5Kg
-
- IP20
- IK02
-
- * DALI

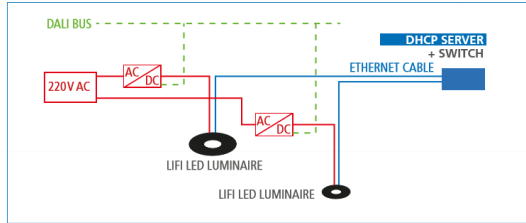
* with dimmable driver only

RATED POWER	COLOUR TEMP.	LUMINOUS FLUX	OPTICAL DISTRIBUTION	CRI (MINI)	TRIM COLOUR	REFERENCE
						STANDARD DRIVER
30W	1900 lm	4000K	76°	90	Black	LC840BK
30W	1900 lm	4000 K	76°	90	White	LC840WH

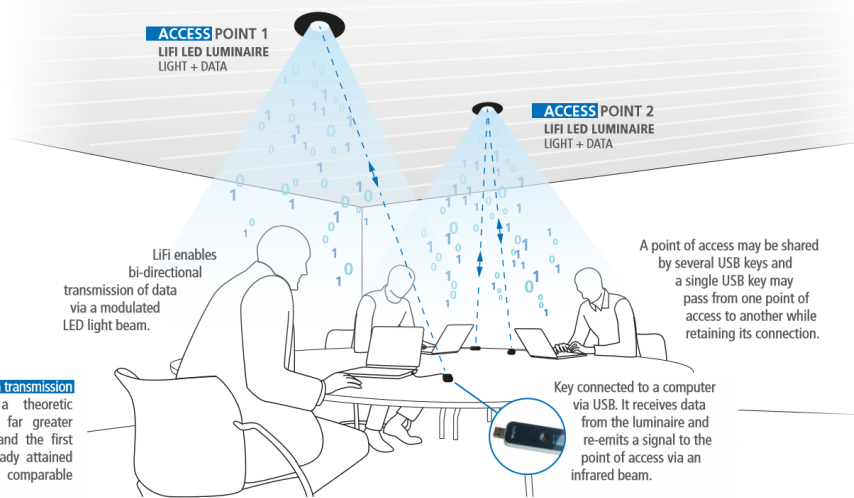
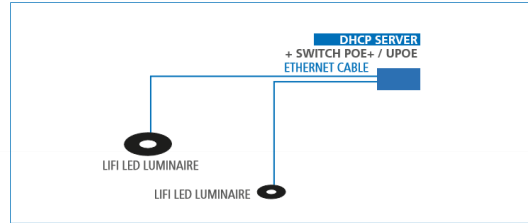
For specific requests (power, color temperature ...), please contact Lucibel.

CABLING SCHEMATIC

220V POWER SUPPLY :



POE POWER SUPPLY :



Very High Speed data transmission
 The LED offers a theoretic transmission speed far greater than that of WiFi and the first generation has already attained transmission rates comparable with WiFi.



LIFI USB KEY

DESCRIPTION

The LiFi USB key represents the interface allowing a computer station to modulate/demodulate the light flow to communicate with a LiFi luminaire. A receiver allows to get the data from the visible light while an infrared diode transmits the upload data to the luminaire.

CHARACTERISTICS

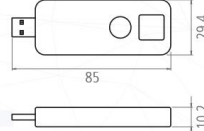
Weight	42 g
Data interface	USB
Power supply	Powered by the USB port
Power	2,5W
Downlink line rate up to	42 Mbps
Uplink line rate up to	42 Mbps
Authentication mechanism	WPA2 Personnel et Enterprise (Radius 802.1X)
Compatibility	Windows, Linux, MacOS (Driver required)
Handover between LiFi luminaires	Supported
Reference	CLELIFI.01

To request a Driver, please contact Lucibel Technical Service.

This product has been tested and found to comply with the limits for a Class A digital device. These limits are designed to provide reasonable protection against harmful interference when the equipment is operated in a commercial environment. Operation of this product in a residential area is likely to cause harmful interference, in which case you will be required to correct the interference at your own expense.

DIMENSIONS

Unit: mm




LiFi by Lucibel - A Lucibel Group Brand
9, avenue Edouard Belin
92500 Rueil-Malmaison - France
www.lucibel.io



Non-contractual pictures -
data may be subject to change

Se adjunta también el *datasheet* del switch TL-SG3424P de TP-Link [57], disponible en inglés para su descarga en la propia página web del fabricante:

TP-LINK®
Datasheet



PoE+
Supported

320W
Power Budget

TP-LINK **JetStream™**

24-Port Gigabit L2 Managed PoE Switch with 4 Combo SFP Slots

TL-SG3424P

Overview

The TL-SG3424P provides 24 10/100/1000Mbps ports that supports 802.3at/af-compliant PoE , with a total PoE power supply up to 320W, powerful and flexible enough for users to deploy wireless access points or IP-based network surveillance cameras. The switch also comes equipped with 4 combo SFP slots, expanding your network flexibly. In addition, it provides high performance, enterprise-level QoS, advanced security strategies and rich layer 2 management features. With all these advanced features, the JetStream™ Gigabit L2 Managed PoE Switch is an ideal choice for small and medium business networking.

TL-SG3424P has robust security and management features. The IP-MAC-Port-VID Binding and Access Control List (ACL) functions protect against broadcast storm, ARP and Denial-of-Service (DoS) attacks, etc. Quality of Service (QoS, L2 to L4) provides enhanced traffic management capabilities to move your data smoother and faster. Anymore, the easy-to-use web management interfaces, along with CLI, SNMP and RMON, mean faster setup and configuration with less downtime. For workgroup and departments requiring cost-sensitive Layer 2 Switch and gigabit capability, TP-LINK JetStream™ Gigabit L2 Managed PoE Switch TL-SG3424P provides you the ideal access-edge solution.

www.tp-link.com
Copyright © 2013 TP-LINK Technologies Co., Ltd. All rights reserved.

PoE Features

- Standard: 802.3at/af compliant with
- up to 30W per port
- PoE+ Ports: 24 Ports
- Power Supply: 320W
- PoE Schedule (Time-based Settings)

Layer 2 Features

- Link Aggregation Control Protocol (LACP)
- 4K VLAN
- GVRP (GARP VLAN Registration Protocol)
- STP/RSTP/MSTP
- IGMP Snooping
- LLDP (LLDP-MED)

Security Strategies

- IP-MAC-Port-VID Binding
- Access Control List (L2~L4 ACL)
- 802.1x and RADIUS Authentication
- Support DoS defend
- Port Security
- SSL and SSH encryptions

Quality of Service

- 4 priority queues
- IEEE 802.1P
- DSCP QoS

Management

- Web-based GUI
- Command Line Interface
- SNMP v1/v2c/v3
- RMON (1, 2, 3, 9 group)



- Details:<http://www.tp-link.com/support/Localesupport.asp>
- German/Austrian/Swiss users are not included



TP-LINK JetStream™ 24-Port Gigabit L2 Managed PoE Switch with 4 Combo SFP Slots

TL-SG3424P

IEEE 802.3at/af-compliant Power over Ethernet

The TL-SG3424P provides 24 10/100/1000Mbps ports that support 802.3at/af-compliant PoE , with a total PoE power supply up to 320W, powerful and flexible enough for users to deploy wireless access points, surveillance cameras, IP phones and other PoE supported devices. The switch also comes equipped with 4 combo SFP slots, expanding your network's flexibility. In addition, it provides high performance, enterprise-level QoS, advanced security strategies and rich layer 2 management features. With all these advanced features, the JetStream™ Gigabit L2 Managed PoE+ Switch is an ideal choice for small and medium business networking.

Secure Networking

This JetStream™ Gigabit L2 Managed PoE Switch provides IP-MAC-Port-VID Binding, Port Security, Storm control and DHCP Snooping which protect against broadcast storms, ARP attacks, etc. It integrates some typical DoS attacks to select. You can protect these attacks more easily ever than before. In addition, the Access Control Lists (ACL, L2 to L4) feature restricts access to sensitive network resources by denying packets based on source and destination MAC address, IP address, TCP/UDP ports and even VLAN ID. Moreover, the switch supports 802.1X authentication, which is used in conjunction with a RADIUS server to require some authentication information before access to the network is allowed. Guest VLAN function supports to enable the non-802.1X clients to access the specific network resource.

Advanced QoS features

To integrate voice, data and video service on one network, the switch applies rich QoS policies. Administrator can designate the priority of the traffic based on a variety of means including IP or MAC address, TCP or UDP port number, etc, to ensure that voice and video are always clear, smooth and jitter free. In conjunction with the Voice VLAN the switch supporting, the voice applications will operate with much smoother performance.


Abundant Layer 2 features

For more application of layer 2 switches, TL-SG3424P supports a complete lineup of layer 2 features, including 802.1Q tag VLAN, Port Mirroring, STP/RSTP/MSTP, Link Aggregation Control Protocol and 802.3x Flow Control function. Any more, the switch provides advanced features for network maintenance. Such as Loop Back Detection, Cable Diagnostics and IGMP Snooping. IGMP snooping ensures the switch intelligently forward the multicast stream only to the appropriate subscribers while IGMP throttling & filtering restrict each subscriber on a port level to prevent unauthorized multicast access.

Enterprise Level Management Features

TL-SG3424P is easy to use and manage. It supports various user-friendly standard management features, such as intuitive web-based Graphical User Interface (GUI) or industry-standard Command Line Interface (CLI), either administration traffic can be protected through SSL or SSH encryptions. SNMP (v1/2/3) and RMON support enables the switch to be polled for valuable status information and send traps on abnormal events. In addition, integrated NDP/NTDP protocol, the switch supports to be managed by the commander switch through IP clustering function more easily.

Specifications

Hardware Features & Performance		
Product Picture		
Model	TL-SG3424P	
Hardware Features		
Connector	10/100/1000Mbps RJ45 Ports	24
	Combo Gigabit SFP slots*	4
	Console Port	1
Power Supply	100-240VAC, 50/60Hz	
FAN Quantity	3	
Certifications	CE, FCC	
PoE Features	Standard: 802.3at/af compliant	
	PoE Ports: 24 Ports	
	PoE Power Supply: 320W	
Dimensions (W x D x H)	17.3 x 13 x 1.7 in. (440 x 330 x 44 mm)	
	19-inch Rack mount Steel Case, 1U Height	
Environment	Operating Temperature: 0°C~40°C (32°F~104°F), Storage Temperature: -40°C~70°C (-40°F~158°F) Operating Humidity: 10%~90% non-condensing, Storage Humidity: 5%~90% non-condensing	
Performance		
Switch Capacity	48Gbps	
Forwarding Rate	35.7Mpps	
MAC Address Table	8k	
Jumbo Frame	10KB	

Software Features

L2 Switching Features

- **Link Aggregation**
 - Support static link aggregation
 - Support 802.3ad LACP
 - Up to 8 aggregation groups, containing 8 ports per group
- **Spanning Tree Protocol(STP)**
 - IEEE 802.1D Spanning Tree Protocol
 - IEEE 802.1s Multiple Spanning Tree Protocol
 - IEEE 802.1w Rapid Spanning Tree Protocol
 - STP Security: Loop back detection, TC Protect, BPDU Filter/Protect, Root Protect
- **Multicast**
 - Support IGMP Snooping V1/V2/V3, up to 256 groups
 - Support multicast VLANs, IGMP Immediate Leave, Unknown IGMP Throttling, IGMP Filtering, Static Multicast IP
- **VLAN**
 - Support IEEE802.1Q with 4K VLANs simultaneously (out of 4K VIDs)
 - Support Port VLAN, Protocol VLAN and MAC-based VLAN
 - Support GARP/GVRP feature
- **IEEE 802.3x flow control for Full Duplex mode and backpressure for Half Duplex mode**

Quality of Service (QoS)

- Support 802.1p CoS/DSCP priority
- Support 4 priority queues
- Queue scheduling: SP, WRR, SP+WRR
- Port/Flow- based Rate Limiting
- Voice VLAN assure voice applications much smoother performance

Advanced Security Strategies

- IP-MAC-Port-VID Binding
- Static/Dynamic Port Security (MAC-based)
- DoS defend feature
- Dynamic ARP Inspection
- 802.1x authentication
 - Support 802.1x port/MAC based authentication
 - Support Radius authentication and accountability
 - Guest VLAN
- Access Control List (ACL)
 - L2~L4 package filtering based on source and destination MAC address, IP address, TCP/UDP ports, 802.1p, DSCP, protocol and VLAN ID
 - Time based ACL
- Support Broadcast, Multicast and Unknown unicast Storm Control
- Secure web management through HTTPS and SSLv2/v3/TLSv1
- Secure remote command line interface(CLI) management with SSH v1/V2

Management

- Support Web-based GUI management mode
- Support Command Line Interface(CLI) through console port, telnet management mode
- SNMP v1/v2c/v3
- RMON (1, 2, 3, 9 groups)
- DHCP/BOOTP Client
 - DHCP Snooping

- DHCP Option 82
- CPU Monitoring
- Port Mirroring (Many to One)
- Cable Diagnostics feature
- Ping/Tracert feature
- SNTP
- Integrated NDP/NTDP feature
- System Log

Ethernet Protocols

- IEEE 802.3i 10BASE-T
- IEEE 802.3u 100BASE-TX/FX
- IEEE 802.3ab 1000BASE-T
- IEEE 802.3z 1000BASE-X
- IEEE 802.3av GVRP
- IEEE 802.3ad Link Aggregation
- IEEE 802.3x Flow control
- IEEE 802.1p QoS
- IEEE 802.1q VLANs / VLAN tagging
- IEEE 802.1v Protocol VLAN
- IEEE 802.1d Spanning Tree Protocol (STP)
- IEEE 802.1s Multiple Spanning Tree (MSTP)
- IEEE 802.1w Rapid Spanning Tree (RSTP)
- IEEE 802.1x Network Login Security

MIBs

- MIB II (RFC1213)
- Interface MIB (RFC2233)
- Ethernet Interface MIB (RFC1643)
- Bridge MIB (RFC1493)
- P/Q-Bridge MIB (RFC2674)
- RMON MIB (RFC2819)
- RMON2 MIB (RFC2021)
- Radius Accounting Client MIB (RFC2620)
- Radius Authentication Client MIB (RFC2618)
- Remote Ping, Traceroute MIB (RFC2925)
- Support TP-LINK private MIBs

Se adjuntan también los *datasheets* de los dispositivos encargados de suministrar la solución con la tecnología WiFi. En primer lugar, se incluyen las páginas del *datasheet* del router ADSL TP-LINK Archer D5 que contienen información relevante sobre el producto. Está disponible para descargar en inglés desde la página web de TP-Link [23].



TP-LINK
The Reliable Choice

AC 1200

Wireless Dual Band Gigabit ADSL2+ Modem Router
Archer D5

Highlights

- **Superfast Wi-Fi** – 300Mbps on 2.4GHz + 867Mbps on 5GHz
- **Maximum Range** – Two external dual band detachable antennas provide maximum omni-directional wireless coverage and reliability
- **Gigabit Wired Speed** – Full gigabit ports ensure ultrafast data transfer speeds
- **Dual USB Ports** – Easily share printers, files or media with your friends or family locally or over the Internet
- **ADSL/EWAN** – ADSL port supports ADSL connections via phone cable and the LAN/WAN port supports cable/fiber modem connections via Ethernet cable
- **Tether App** – TP-LINK Tether provides the easiest way to access and manage the router on your iOS and Android devices

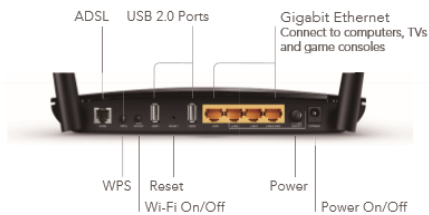
300Mbps+ 867Mbps Dual Band 2.4 & 5 GHz Gigabit Ports 2 x USB 2.0 Ports EWAN Connection Tether APP

Available on the App Store
ANDROID APP ON Google play

Specifications

Hardware

- **Ethernet Ports:** 3 10/100/1000Mbps RJ45 LAN Ports, 1 10/100/1000Mbps RJ45 WAN/LAN Port, 1 RJ11 Port
- **USB Ports:** 2 USB 2.0 Ports
- **Button:** WPS Button, Reset Button, Wi-Fi On/Off Button, Power On/Off Button
- **External Power Supply:** 12V/2.5A
- **Dimensions (W x D x H):** 9.0 x 6.3 x 1.5 in. (229 x 160 x 37mm)
- **IEEE Standards:** IEEE 802.3, 802.3u, 802.3ab
- **ADSL Standards:** Full-rate ANSI T1.413 Issue 2, ITU-T G.992.1(G.DMT), ITU-T G.992.2(G.Lite), ITU-T G.994.1 (G.hs), ITU-T G.995.1
- **ADSL2 Standards:** ITU-T G.992.3 (G.DMT.bis), ITU-T G.992.4 (G.lite.bis)
- **ADSL2+ Standards:** ITU-T G.992.5
- **Antenna Type:** 2 external detachable dual band antennas (RP-SMA)
- **Antenna Gain:** 2 x 2dBi for 2.4GHz and 2 x 3dBi for 5GHz



TP-LINK AC1200 Wireless Dual Band Gigabit ADSL2+ Modem Router Archer D5

Wireless

- **Wireless Standards:** IEEE 802.11a/n/ac 5GHz, IEEE 802.11b/g/n 2.4GHz
- **Frequency:** 2.4GHz and 5GHz
- **Signal Rate:** 867Mbps at 5GHz, 300Mbps at 2.4GHz
- **Transmit Power:** <20dBm(EIRP)
- **Wireless Function:** Enable/Disable Wireless Radio, WDS Bridge, WMM, Wireless Statistics
- **Wireless Security:** 64/128-bit WEP, WPA/WPA2, WPA-PSK/WPA-PSK2 encryptions, Wireless MAC Filtering
- **Wireless Schedule:** Support 2.4GHz and 5GHz Wireless Schedule

Specifications

Software

- **Operation Modes:** ADSL Modem Router, Wireless Router
- **DHCP:** Server, Client, DHCP Client List, Address Reservation, DHCP Relay
- **Quality of Service:** ATM QoS, Traffic Control(IP QoS)
- **Port Forwarding:** Virtual Server, Port Triggering, DMZ, ALG, UPnP
- **Dynamic DNS:** DynDns, NO-IP
- **VPN Passthrough:** PPTP, L2TP, IPsec Passthrough
- **ATM/PPP Protocols:** ATM Forum UNI3.1/4.0, PPP over ATM (RFC 2364), PPP over Ethernet (RFC2516), IPoA (RFC1577/2225), MERIPoE (RFC 1483 Routed), Bridge (RFC1483 Bridge), PVC – Up to 8 PVCs
- **Security:** NAT Firewall, Access Control, MAC / IP / URL Filtering, Denial of Service (DoS), SYN Flooding, Ping of Death, IP and MAC Address Binding
- **Advanced Functions:** Parental Control, Network Address Translation(NAT), Port Mapping(Grouping), Static Routing, RIP v1/v2(optional), DNS Relay, DDNS, IGMP V1/V2/V3
- **USB Sharing:** Support Samba(Storage)/FTP Server/Media Server/Printer Server
- **Management:** Web Based Configuration(HTTP), Remote management, command Line Interface, SSL for TR-069, SNMP v1/2c, Web Based Firmware Upgrade, Diagnostic Tools
- **Guest Network:** 2.4GHz guest network x 1, 5GHz guest network x 1
- **IPsec VPN:** Supports up to 10 IPsec VPN tunnels
- **Protocols:** Supports IPv4 and IPv6

Others

- **Package Contents**
 - AC 1200 Wireless Dual Band Gigabit ADSL2+ Modem Router Archer D5
 - External Splitter
 - RJ-11 Telephone Cable
 - RJ-45 Ethernet Cable
 - Power Adapter
 - Quick Installation Guide
- **Certification**
 - CE, FCC, RCM, RoHS
- **System Requirements**
 - Microsoft Windows 98SE, NT, 2000, XP, Vista™ or Windows 7, 8, 8.1, MAC OS, NetWare, UNIX or Linux
 - Internet Explorer 11, Firefox 12.0, Chrome 20.0, Safari 4.0, or other Java-enabled browser
 - Cable or DSL Modem
 - Subscription with an Internet Service Provider (for Internet access)
- **Environment**
 - Operating Temperature: 0°C ~40°C (32°F ~104°F)
 - Storage Temperature: -40°C ~70°C (-40°F ~158°F)
 - Operating Humidity: 10%~90% non-condensing
 - Storage Humidity: 5%~90% non-condensing

TP-LINK AC1200 Wireless Dual Band Gigabit ADSL2+ Modem Router Archer D5

En segundo lugar se tiene el extensor TP-Link RE200, cuyo *datasheet* se ha obtenido también de la página de TP-Link, y es adjuntado a continuación en inglés al ser el único idioma disponible para descargar [29].



AC750 Wi-Fi Range Extender

Stable Dual Band Wi-Fi Extension



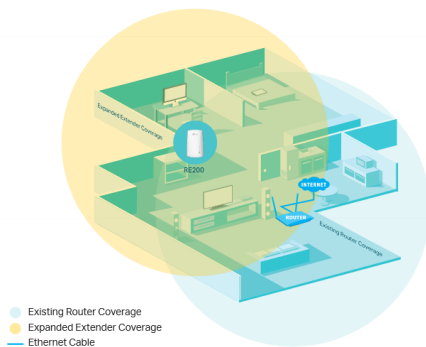
RE200

300Mbps+ 433Mbps | Tether App | Access Point Mode

Highlights

Extend the Range of Your Wi-Fi Network

The AC750 Wi-Fi Range Extender connects to your router wirelessly, strengthening and expanding its signal into areas it can't reach on its own, achieving speeds of 300Mbps on the 2.4GHz band and 433Mbps on the 5GHz band.



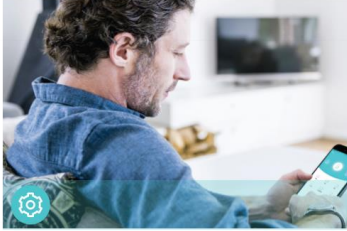
Perfect Location at a Glance

An intelligent Signal light helps you quickly find the best location to install the range extender.



Green Good location | Red Too far away from the router

Features



Ease of Use

- **Intuitive Web UI** – Ensures quick and simple installation without hassle.
- **Fast Encryption** – One-touch WPA wireless security encryption with the WPS button
- **Hassle-free Management with Tether App** – Network management is made easy with the TP-Link Tether App, available on any Android or iOS device
- **Online Upgrade** – Keeps you informed of the latest firmware and allows online updating on the web UI



Speed

- **Ultimate Wireless Speed** – Combined wireless speeds of up to 300Mbps (over 2.4GHz) and 433Mbps (over 5GHz)
- **Support 802.11ac** – Provides a data transfer rate 3 times faster than 802.11n for each stream
- **MIPS 24Kec CPU** – A 575/580 MHz MIPS 24K™ CPU core makes multi-tasking easy and boosts data transfer rate



Reliability

- **Simultaneous Dual Band** – Separate Wi-Fi bands enable more devices to connect to your network without a drop in performance
- **Reliable Connection** – Three internal antennas for optimal Wi-Fi coverage and reliable wireless connections

TP-Link AC750 Wi-Fi Range Extender RE200

Specifications

Hardware

- **Ethernet Port:** 1 10/100Mbps RJ45 Port
- **Button:** WPS Button, RESET Button
- **Antenna:** 3 Internal Antennas
- **Power Consumption:** 6.5W
- **Dimensions (W × D × H):** 2.6×3.0×4.3 in. (65.8×76.1×110 mm)



Wireless

- **Wireless Standards:** IEEE 802.11a/n/vac 5GHz, IEEE 802.11b/g/n 2.4GHz
- **Frequency:** 2.4GHz and 5GHz
- **Signal Rate:** 300Mbps at 2.4GHz, 433Mbps at 5GHz
- **Transmit Power:** ≤20dBm
- **Reception Sensitivity:**
 - 5GHz:
 - 11a 6Mbps: -94dBm, 11a 54Mbps: -79dBm
 - 11ac HT20 MCS0: -94dBm, 11ac HT20 MCS8: -73dBm
 - 11ac HT40 MCS0: -91dBm, 11ac HT40 MCS9: -67dBm
 - 11ac HT80 MCS0: -88dBm, 11ac HT80 MCS9: -64dBm
 - 2.4GHz:
 - 11g 54Mbps: -81dBm, 11n HT20 MCS7: -79dBm
 - 11n HT40 MCS7: -76dBm
- **Wireless Function:** Enable/Disable Wireless Radio, Wireless Statistics
- **Wireless Security:** 64/128-bit WEP, WPA/WPA-PSK2 encryptions

Others

- **Certification**
CE, RoHS
- **System Requirements**
Microsoft Windows 98SE, NT, 2000, XP, Vista™ or Windows 7, 8, 8.1, 10, MAC OS, NetWare, UNIX or Linux
Internet Explorer 11, Firefox 12.0, Chrome 20.0, Safari 4.0, or other Java-enabled browser
- **Package Contents**
AC750 Wi-Fi Range Extender RE200
Quick Installation Guide

For more information, please visit
<https://www.tp-link.com/en/products/details/RE200.html>
 or scan the QR code left

*Maximum wireless signal rates are the physical rates derived from IEEE Standard 802.11 specifications. Actual wireless data throughput and wireless coverage are not guaranteed and will vary as a result of 1) environmental factors, including building materials, physical objects, and obstacles, 2) network conditions, including local interference, volume and density of traffic, product location, network complexity, and network overhead, and 3) client limitations, including rated performance, location, connection quality, and client condition.

www.tp-link.com

TP-Link AC750 Wi-Fi Range Extender RE200

PRESUPUESTO

Esta parte del trabajo se dedica a demostrar el coste económico que supondrá llevar a cabo el proyecto, desglosando dicho coste por unidades y precios individuales.

1. Mediciones

- 3 puntos de acceso LiFiCup de Lucibel.
- 2 conectores LiFi USB key de Lucibel.
- 1 switch TL-SG3424P de TP-Link.
- 100 metros de cable Ethernet categoría 6.
- 1 adaptador de conector F hembra a RJ45 macho coaxial RJ45 a conector RF.
- 1 router ADSL TP-LINK Archer D5.
- 1 extensor TP-Link RE200.

2. Formación de precios

Producto	Coste unitario
Punto de acceso LiFiCup de Lucibel	1100€
Conector LiFi USB key de Lucibel	499€
Switch TL-SG3424P de TP-Link	195€
Metro cable Ethernet categoría 6	1,50€
Adaptador de conector F hembra a RJ45 macho coaxial RJ45 a conector RF	3,95€
Router ADSL TP-LINK Archer D5	150€
Extensor TP-Link RE200	28€

3. Presupuestos parciales

LiFi

Producto	Nº de productos	Coste unitario	Coste total
Punto de acceso LiFiCup de Lucibel	3	1100€	3300€
Conector LiFi USB key de Lucibel	2	499€	998€
Switch TL-SG3424P de TP-Link	1	195€	195€
Cable Ethernet categoría 6	110 metros	1,50€	165€

WiFi

Producto	Nº de productos	Coste unitario	Coste total
Adaptador de conector F hembra a RJ45 macho coaxial RJ45 a conector RF	1	3,95€	3,95€
Router ADSL TP-LINK Archer D5	1	150€	150€
Extensor TP-Link RE200	1	28€	28€

4. Presupuesto general

Coste total LiFi	Coste total WiFi	Coste total del proyecto
4658€	181,95€	4839,95€



