



RED DE ACCESO ÓPTICA IoT PARA LA GESTIÓN EFICIENTE DE LA ENERGÍA EN EL CAMPUS DE VERA

Autor del Trabajo Fin del Grado

Sócrates Martínez Giménez

Tutor: Beatriz Ortega Tamarit

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

Curso 2016-17

Valencia, 4 de julio de 2017

Índice

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN, OBJETIVOS Y ESTRUCTURA. MOTIVACIÓN	11
CAPÍTULO 2. CONCEPTOS FUNDAMENTALES	13
2.1 Evolución de las redes de comunicación móviles	13
2.1.1 Primera Generación (1G).....	13
2.1.2 Segunda Generación (2G).....	14
2.1.3 Tercera Generación (3G)	15
2.1.4 Cuarta Generación (4G).....	15
2.1.5 Quinta Generación (5G)	16
2.2 Internet de las Cosas (IoT).....	16
2.2.1 Introducción a IoT.....	16
2.2.2 Necesidad de IPv6 y redes ópticas	18
2.2.2.1 Seguridad.....	18
2.2.2.2 Escalabilidad	18
2.2.2.3 Conectividad.....	19
2.2.3 Aplicaciones IoT: <i>Smart – X</i> [8]	19
2.2.3.1 <i>Smart Cities</i> [9]	19
2.2.3.2 <i>Smart Homes, Smart Buildings and Infrastructure</i>	20
2.2.3.3 <i>Smart Health o e-Health</i>	21
2.2.3.4 <i>Smart Energy and the Smart Grid</i>	21
2.2.3.5 <i>Wearable devices</i>	22
2.2.3.6 <i>Smart Mobility and Transport</i>	23
2.2.3.7 <i>Smart Agriculture</i>	23
2.2.3.8 <i>Smart Factory and Manufacturing</i>	24
2.2.4 Seguridad y <i>BigData</i>	24
2.3 Tecnologías.....	25
2.3.1 Redes inalámbricas <i>PAN/LAN</i>	26
2.3.1.1 <i>Bluetooth Low Energy (BLE)</i>	26
2.3.1.2 <i>Wi-Fi</i>	26
2.3.1.3 <i>LR-WPAN (Low data Rate Wide Personal Area Network)</i>	27
2.3.2 Redes <i>LPWA (Low Power Wide Area)</i>	28
2.3.3 Redes inalámbricas <i>WAN (2G, 3G, 4G): MTC</i>	29
2.3.4 Redes ópticas para IoT.....	31
2.3.4.1 <i>Visible Light Communication (VLC)</i>	31
2.3.4.2 <i>Optical Wireless Communications (OWC)</i>	31
2.3.4.3 <i>Arquitectura y tecnologías ópticas del IoT</i>	33
2.4 Gestión de la energía	34
2.4.1 <i>Green IoT</i>	35
2.4.2 <i>Tecnologías (TIC) habilitadoras del Green IoT</i>	35
2.4.2.1 <i>Green RFID</i>	35
2.4.2.2 <i>Green WSN</i>	36
2.4.2.3 <i>Green CC (Cloud Computing)</i>	36
2.4.2.4 <i>Green M2M</i>	36
2.4.2.4 <i>Green DC (Data Center)</i>	37

2.4.3 Redes ópticas pasivas (PON)	37
CAPÍTULO 3. ESTADO DEL ARTE DE LA GESTIÓN EFICIENTE DE LA ENERGÍA.....	40
3.1 Proyectos europeos	40
3.1.1 OPTIMUS	40
3.1.2 Modelización y gestión de la información distrital para reducción de la energía (DIMMER)	41
3.1.3 <i>Lighthouse</i>	41
3.2 Proyectos nacionales	42
3.2.1 Proyecto “ <i>desendolla’t</i> ”	42
3.2.2 Proyecto de automatización en edificio público	43
CAPÍTULO 4. EQUIPOS IOT EN EL MERCADO ACTUAL.....	45
4.1 Smart Energy Monitoring.....	45
4.1.1 Neurio	45
4.1.2 Eyedro <i>Home Electricity Monitors</i>	46
4.2 Smart Lightning	47
4.2.1 Interruptor <i>Insight WeMo®</i>	47
4.2.2 Eve Energy – Switch & Power Meter	48
4.3 Sistema Loxone Smart Home	49
4.3.1 Miniserver	49
4.3.1.1. <i>Relay Extension</i>	50
4.3.1.2 <i>Tree Extension</i>	51
4.3.1.2.1 Actuador Válvula <i>Tree</i>	51
4.3.1.2.2 Detectores de movimiento <i>AIR o TREE</i>	52
4.3.1.2 <i>1-Wire Extension</i>	53
4.3.1.2.1 Sensores de temperatura <i>1-Wire</i> [49]	54
4.3.1.2.2 Contacto de puerta y ventana <i>Air</i>	54
4.3.1.3 <i>Modbus Extension</i>	55
4.3.1.3.1 Contador de energía <i>Modbus</i> Trifásico	55
CAPÍTULO 5. PLANIFICACIÓN RED DE ACCESO ÓPTICA IOT EN EL CAMPUS DE VERA.....	57
5.1 Establecimiento de bases y objetivos del proyecto	57
5.2 Diseño y dimensionado del sistema IoT	57
5.3 Diseño y dimensionado de la red óptica	59
5.4 Soluciones IoT para la gestión eficiente de energía.....	60
5.4.1 Iluminación	61
5.4.2 Aire Acondicionado	62
5.4.3 Calefacción, maquinaria y resto de cargas	63
CAPÍTULO 6. CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS DE TRABAJO	65

REFERENCIAS	67
ANEXO.....	70

Resumen

A lo largo de este Trabajo Final de Grado, se realizará el diseño de una red de acceso óptica IoT para la gestión eficiente de la energía, situada en los edificios correspondientes a la Ciudad Politécnica de la Innovación (CPI) del Campus de Vera en la Universidad Politécnica de Valencia.

Previo a ello, se llevará a cabo un repaso de la evolución de las redes de comunicación en función de las necesidades que la sociedad ha ido demandando desde la aparición de dichas redes. Así mismo, se introducirá el concepto del Internet de las Cosas y a las diferentes tecnologías existentes.

Para la realización del diseño de la red de acceso, se identificarán los componentes comerciales necesarios para esta aplicación concreta, cerciorándose de que permitirán proponer soluciones que den lugar a una gestión eficiente de la energía y por tanto, supongan un ahorro considerable. Este ahorro se cuantificará, tras el correcto dimensionado tanto de los edificios como de dichos componentes, mediante un análisis energético en el que se comparará el consumo actual de los edificios de la CPI con el ahorro que conllevaría el utilizar las diferentes soluciones inteligentes propuestas.

Resum

Al llarg d'aquest Treball Final de Grau, es realitzarà el disseny d'una xarxa d'accés òptica IOT per a la gestió eficient de l'energia, situada als edificis corresponents a la Ciutat Politècnica de la Innovació (CPI) del Campus de Vera a la Universitat Politècnica de València.

Previ a això, es durà a terme un repàs de l'evolució de les xarxes de comunicació en funció de les necessitats que la societat ha anat demandant des de l'aparició d'aquestes xarxes. Així mateix, s'introduirà el concepte de l'Internet de les Coses i a les diferents tecnologies existents.

Per a la realització del disseny de la xarxa d'accés, s'identificaran els components comercials necessaris per a aquesta aplicació concreta, cerciorant-se que permetran proposar solucions que donen lloc a una gestió eficient de l'energia i per tant, suposen un estalvi considerable. Aquest estalvi es quantificarà, després del correcte dimensionament tant dels edificis com dels esmentats components, mitjançant un anàlisi energètic en què es compararà el consum actual dels edificis de la CPI amb l'estalvi que comportaria el utilitzar les diferents solucions intel·ligents proposades.

Abstract

Throughout this Final Project, the design of an optical IoT access network for the efficient management of energy will be realized, locating it in the buildings corresponding to the Ciudad Politécnica de la Innovación (CPI) of the Campus de Vera in the Universidad Politécnica de Valencia.

Prior to this, a review of the evolution of communication networks will be carried out according to the needs that society has been demanding since the emergence of such networks. Likewise, the concept of the Internet of Things and the different technologies will be introduced.

For the realization of the design of the access network, the commercial components necessary for this specific application will be identified, making sure that they will allow to propose solutions that give rise to an efficient management of the energy and therefore, a considerable saving. This saving will be quantified, after the correct dimensioning of both the buildings and of these components, through an energy analysis in which the current consumption of the buildings of the CPI will be compared with the savings that would be required to use the different intelligent solutions proposed.

Capítulo 1. Introducción, objetivos y estructura.

Motivación.

Internet es uno de los servicios fundamentales del primer mundo y hoy en día está dando paso a una nueva evolución del mismo, el Internet de las Cosas. Éste, es un concepto que hace referencia a las relaciones establecidas entre los objetos cotidianos y las personas a través del internet. Supondrá un cambio enorme en la capacidad de recabar, analizar y distribuir datos, que serán presentados en tiempo real y se podrán aprovechar y convertir en información para ayudarnos a ser más proactivos y menos reactivos.

Debido a que IoT genera ese enorme volumen de datos, transportar grandes cantidades entre los dispositivos y la nube representa una parte importante de la red IoT. Por tanto, además de un elevado ancho de banda debido a ese enorme volumen de datos, la transmisión de datos en IoT tiene más requisitos, como baja latencia, servicio a larga distancia, seguridad y flexibilidad. Dadas estas características, su baja atenuación y la capacidad de multiplexación multidimensional, la red de comunicación de fibra óptica se posiciona como la plataforma más adecuada.

Este proyecto pretende hacer evidente estos hechos, y realizar una sinergia de los mismos con el objetivo principal de realizar una proposición de red de acceso óptica IoT para la gestión eficiente de la energía en el Campus de Vera, para que pueda ser realizada a posteriori.

Para lograr alcanzar este objetivo, se elegirá un conjunto de edificios del campus y se identificarán los componentes comerciales necesarios para abarcar toda su extensión, teniendo por tanto, que realizar el dimensionado tanto de los edificios como el de dichos dispositivos para la correcta formación del sistema. Una vez dimensionado, se contactará con responsables de la universidad para conocer el consumo que se produce en los edificios elegidos y se propondrán soluciones inteligentes que den lugar a una gestión eficiente de la energía. En última instancia, se evaluará la viabilidad del proyecto a nivel económico y se indicarán los ahorros por solución y globales.

El trabajo final de grado tendrá la siguiente estructura:

El primer capítulo es este que se está leyendo, el cual sirve de contextualización inicial y presentación de los objetivos y estructura que el trabajo final de grado va a presentar.

El segundo capítulo, corresponde con los conceptos teóricos necesarios para comprender este trabajo y estará dividido en varios subapartados. En el primero de ellos, se llevará a cabo un repaso de la evolución de las redes de comunicación desde la 1G hasta la 5G. En el segundo subapartado, se introduce el mundo del Internet de las Cosas. Para ello, se presentan las necesidades previas a adoptar para su consecución, como son IPv6, las redes ópticas, además de aumentar la seguridad y el desarrollo de *BigData*. Así mismo, se explicará la arquitectura en la que se basa el IoT y se mostrarán múltiples aplicaciones denominadas en este trabajo como *Smart-X*. En el tercero, se llevará a cabo un estudio de las diferentes tecnologías principales que el Internet de las Cosas precisa para su consecución, destacando la importancia que cobran en el futuro próximo las comunicaciones máquina a máquina (M2M) y *device to device* (D2D). En el cuarto y último subapartado del marco teórico, se explicará la necesidad de realizar una gestión eficiente de la energía y cómo conseguirlo.

En el tercer capítulo, se describirán varios proyectos estrechamente relacionados con los temas objeto de este trabajo, tanto a nivel europeo como nacional.

En el cuarto capítulo, se explicarán varios equipos IoT existentes en el mercado actual. Se categorizarán en función de los tres campos de actuación a tratar en el proyecto (iluminación, climatización y consumo de energía).

En el quinto capítulo, se explicará cómo se ha llevado a cabo la planificación de la red IoT en el Campus de Vera, explicando qué edificios se escogen, detallando todos los dispositivos seleccionados para conformar el sistema y las diferentes soluciones propuestas. Además, mediante un análisis energético que indique el ahorro que conllevaría el utilizar las diferentes soluciones inteligentes propuestas, se valorará la viabilidad económica del proyecto propuesto, indicando el coste total del mismo así como el ahorro de dichas soluciones.

En el sexto y último capítulo, se comprobará que se han conseguido todos los objetivos propuestos y se indicarán posibles líneas futuras de trabajo.

Capítulo 2. Conceptos fundamentales

2.1 Evolución de las redes de comunicación móviles

Las redes han ido desarrollándose y adaptándose a las necesidades de la sociedad contemporánea [1]. El objetivo de este apartado, es el de dar un enfoque global a la evolución que las redes móviles han experimentado desde sus inicios.

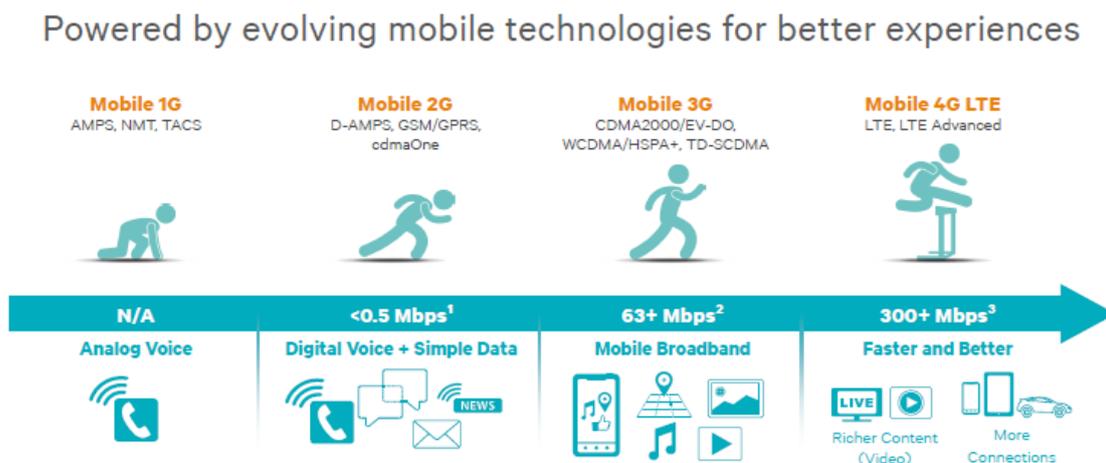


Figura 1. Evolución de las tecnologías móviles

Como bien conocemos, cuando nos referimos a las redes de comunicación acompañamos con una G de generación que hace alusión a cambios notorios en cuanto a sistema, tecnología empleada y velocidad entre otras cosas, haciendo que cada una de ellas tenga particularidades y mejoras respecto a las anteriores generaciones.

Vamos, por tanto, a presentar las diferentes generaciones de redes de comunicación móvil, cuyo esquema se muestra en la *Figura 1* en el inicio de este apartado.

La red de comunicación móvil de Primera generación (**1G**) permitía realizar llamadas de voz entre dos transmisores mediante señales analógicas. La Segunda generación (**2G**), superó las limitaciones que 1G presentaba, focalizando su trabajo en la transmisión de voz y datos digitalmente en lugar de mediante señales analógicas. Además, incorporó roaming internacional. **3G** llegó con la necesidad de mejorar la tasa de transmisión de datos y la capacidad de las llamadas, todo esto a un coste reducido, permitiendo la llegada de video llamadas, apps de alta velocidad, juegos online, etc. El siguiente gran paso en la comunicación inalámbrica, llegó de la mano de IP en **4G**, la cual permitió proporcionar un servicio personalizado, de movilidad global y de mayor velocidad a los usuarios, convirtiéndose en una de las generaciones más disruptivas. Por último, y todavía sin estandarizar, se encuentra **5G**, que pretende continuar optimizando los procesos aumentando las velocidades y reducir latencias para ser un fiel compañero de *IoT*, algo que vaticinan que podrá realizarse cerca de 2020. [2]

2.1.1 Primera Generación (1G)

Comprendida entre 1970 y 1980, permitía la transmisión únicamente de voz mediante sistemas analógicos basados en la multiplexación mediante **FDMA**, es decir, acceso múltiple por división en frecuencia. Basada en la tecnología **AMPS** (*Advance Mobile Phone Service*), la capacidad permitida del canal era de 30 KHz y la banda frecuencial usada por la misma era entre 824-894 MHz.

En cuanto a limitaciones de esta generación, destaca la imposibilidad de convertir voz en una señal digital y carencia de seguridad al reproducirse las llamadas en las torres radio[2], además de la baja calidad de las llamadas debido a que los datos en 1G son transportados en un único canal hasta el destino, dando lugar a que los interlocutores no sean capaces de escucharse simultáneamente. Por otra parte, debido a la precariedad de la red, el roaming todavía no estaba implantado.

2.1.2 Segunda Generación (2G)

Realizada en la década de 1990, mediante GSM (850-1900 MHz) solventó el principal problema de 1G consiguiendo voz y datos digitales con una velocidad de hasta 64 kbps, así como otorgando movilidad al usuario de forma internacional mediante el roaming. Esta generación incluye 2G y 2.5G.

Hace uso de dos modulaciones digitales como son **TDMA**, para el múltiple acceso por división en el tiempo y **CDMA** para la multiplexación por división de código con una banda frecuencial de 825-849 MHz. Respecto al ancho de banda, GSM usa 8 canales por portadora (dicho de otra manera, divide cada canal de 200 KHz en bloques de 25 KHz) y cada canal CDMA es de 1.23 MHz. La *Figura 2* es un rápido medio explicativo de las diferentes técnicas de acceso.

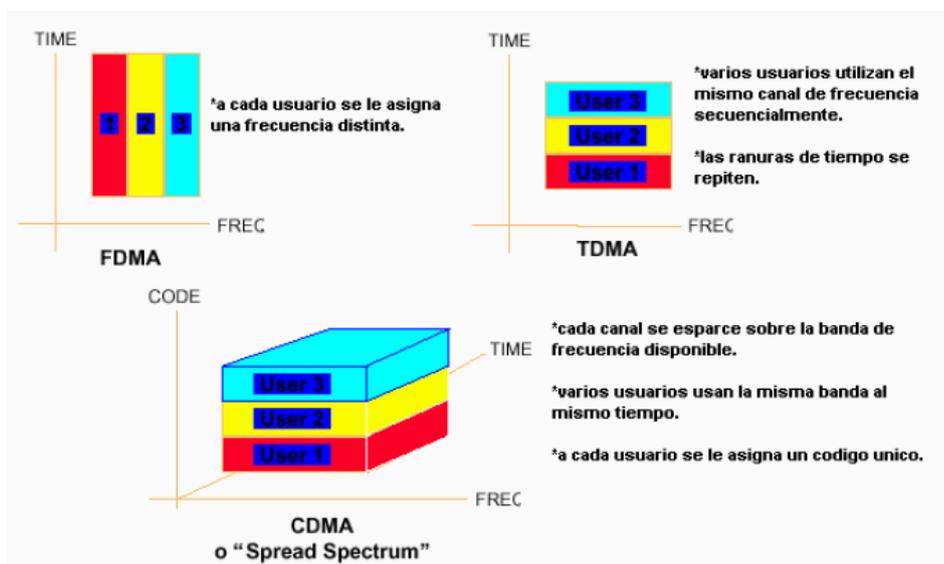


Figura 2. Comparación de Técnicas de Acceso [3]

Esta generación, todavía utilizada en muchas partes del mundo, permite entre otros servicios voz digital, SMS, identificación de llamadas, autenticación, roaming, conferencias, etc.

[4] Importante, como ya hemos adelantado anteriormente es destacar que iniciados los 2000 mediante la introducción de red de paquetes, se proporcionó transferencia e Internet a una alta velocidad de datos mediante los estándares **GPRS** y **EDGE** naciendo así **2.5G**. Mediante estos, se alcanzan unas velocidades de 115/384 kbps respectivamente. EDGE concretamente es una mejora de GPRS, en la que la tasa de datos es mayor (Enhanced Data Rates for GSM Evolution) y actúa como unión entre 2G y 3G. Además de usar modulación GMSK como lo hace GPRS, EDGE añade en los cinco niveles superiores de modulación y codificación 8PSK, alcanzando una mayor eficiencia espectral al codificar de manera adaptativa y triplicando el ancho de banda de GSM además de velocidades de 384 kbps.

En cuanto a las debilidades de dicha generación, necesita señales digitales fuertes para que la conexión funcione y si en el área no hay buena cobertura, la señal será débil y no funcionará correctamente.

2.1.3 Tercera Generación (3G)

Tras la transición a través de 2.5G, surge la siguiente generación conocida como 3G, en la cual se continuó con la línea de mejoras anterior, en la que se pretendía aumentar la tasa de datos y capacidades de voz y datos pero con un bajo coste. Se hace uso de la tecnología Packet Switching para el envío de datos. Esta generación incluye 3G y 3.5G.

Los estándares en los que está basado 3G, son la tecnología **CDMA 2000**, que mejora en aspectos de control de accesos a enlaces y de QoS mediante el uso de señales piloto respecto a CDMA. También **UMTS**, que utiliza la multiplexación CDMA de banda ancha (W-CDMA), la cual proporciona una mayor eficiencia espectral, permitiendo que ordenadores, dispositivos de entretenimiento y teléfonos compartan simultáneamente la misma red inalámbrica y se conecten a internet en cualquier momento y lugar.

La tasa de datos soportada por 3G viene dada en función del lugar donde tenga lugar la llamada, siendo de 144 kbps por satélite, 384 kbps en exterior urbano y hasta 2 Mbps en interiores y corte alcance al aire libre. Asimismo, su banda frecuencial va de 1.8 - 2.5 GHz.

Después de los años de inicio de 3G de 2004-2005, en el período entre 2006-2010 se desarrolla 3.5G, en el cual se usa **HSPA** (High Speed Packet Access), la cual es una actualización de W-CDMA permitiendo así ofrecer velocidades de 14.4 Mbps de bajada y 5.76 Mbps de subida. Más tarde, a finales de 2008 se lanzó **HSPA+**, un estándar aún más mejorado.

Por tanto, 3G permite dar servicios tales como: telefonía móvil de voz, acceso a Internet de alta velocidad, acceso fijo inalámbrico a Internet, llamadas de vídeo, chat y conferencias, televisión móvil, servicios basados en localización, multimedia, etc.[2]

Por último, existen algunas pequeñas limitaciones entre las que destacan la necesidad de un mayor ancho de banda, el coste del dispositivo, así como su tamaño y la dificultad de implantación de la infraestructura para 3G.

2.1.4 Cuarta Generación (4G)

Su llegada se produce en 2010 y está completamente basado en IP para cumplir con su objetivo de proporcionar un servicio de alta calidad a reducido coste. 4G combina las tecnologías inalámbricas ya implantadas con nuevas para proporcionar servicio en cualquier momento y lugar, pues considera la movilidad del terminal un factor clave.

Ahora el paquete digital es de banda ancha, concretamente entre 5 y 20 MHz y permite una velocidad en función de si esta en movimiento, siendo ésta de 100 Mbps o estático, de 1 Gbps. Su banda frecuencial depende del continente, pues LTE cubre una gama muy amplia.

Los estándares en los que se basa esta tecnología son LTE-TDD, LTE-FDD y WiMAX. Entre los dos primeros, la diferencia radica en que en **LTE-TDD** (Time Division Duplex) durante la llamada, la transmisión tanto en uplink como en downlink se realiza con la misma frecuencia pero en distintos slots temporales, y en cambio, en **LTE-FDD** (Frequency Division Duplex) la transmisión en uplink y en downlink se realiza empleando diferentes frecuencias. LTE usa para los modos de acceso multiusuario OFDMA en downlink y SC-FDMA en uplink. Por otra parte, **WiMAX** (Interoperabilidad mundial para acceso por microondas) permite el acceso a internet de banda ancha en área metropolitana y es un buen compañero en zonas donde el despliegue de fibra y cable no es viable por falta de población como bien pueden ser las zonas rurales. También usa OFDMA como LTE. [3]

Por todo esto, 4G permite dar servicios tales como: telefonía IP, TV móvil de alta definición, acceso móvil web, televisión 3D, DVB, etc.

Como inconvenientes, encontraríamos la necesidad de una batería más grande en nuestro terminal móvil y una difícil implementación del hardware además de ser complejo este.

2.1.5 Quinta Generación (5G)

Sus inicios se datan en torno al año 2015 y dice ser la generación llamada para quedarse debido a su brillante futuro. Satisfará plenamente las necesidades de los usuarios con velocidades impensables mediante tarifas asequibles y nos permitirá soñar con la inteligencia artificial.

Para ello, 5G continúa combinando las tecnologías inalámbricas ya implantadas (**OFDM** o versiones de **CDMA**) con otras nuevas destinadas a soportar los anchos de banda y velocidades que se pretende alcanzar como bien pueden ser **UWB** (Ultra Wide Band), **Network-LMDS** que es una tecnología de acceso inalámbrico de banda ancha destinada originalmente a la distribución multipunto de TV digital o bien **IPv6**.

La tecnología inalámbrica 5G está definida por la capa física y de enlace de datos siendo una tecnología Open Wireless Architecture (OWA). Para conseguir esto, se realiza una subdivisión de la capa de red en otras dos capas, siendo éstas la capa de red superior para el terminal móvil y un nivel inferior de red para la interfaz. Todo el enrutamiento está basado en direcciones IP que deberían ser diferentes para cada red IP en el mundo.

Gracias a todo lo descrito anteriormente, tanto la capacidad como calidad del sistema se verán mejoradas dentro del espectro de frecuencias disponible, cuya banda de frecuencia y de datos irá de 3-300 GHz y se alcanzarán velocidades del orden de 1 a 10 Gbps, lo que se corresponde con velocidades muy elevadas de banda ancha, consiguiendo cobertura de alta calidad, rendimiento en tiempo real, de baja latencia y retardo entre otras mejoras.

Y lo más importante en relación con la tecnología 5G es que es la primera que **soporta IoT y M2M**, lo que permite tener un mayor volumen de dispositivos conectados, además de reducir el consumo energético de la red en un 90%, algo prioritario de cara al futuro. 5G va a abrir por lo tanto, una nueva forma de llevar nuestro día a día, convirtiendo el mundo real en una gran zona Wi-Fi donde surgirán numerosas disruptivas aplicaciones como tratamientos médicos remotos en campos denominados como e-Health, Smart Cities, Smart Agriculture, controles industriales inteligentes que por ejemplo controlen la emisión de polución, etc. Todo esto nos hace soñar con un porvenir antológico.

2.2 Internet de las Cosas (IoT)

2.2.1 Introducción a IoT

El internet de las cosas hace referencia a la nueva evolución de Internet, haciendo que todo tal y como lo conocemos cambie, incluso nosotros mismos. No hay más que echar un vistazo atrás y comprobar cómo Internet se convirtió en una de las mayores creaciones de toda la historia de la humanidad, afectando sobre la sociedad en cualquier campo en el que nos paremos a pensar: educación, comunicación, empresas, ciencia, gobierno y humanidad.

Los comienzos del IoT se produjeron en el Instituto de Tecnología de Massachusetts (MIT), concretamente con el trabajo del Auto-ID Center. Dicho grupo, fue fundado en 1999 y su campo de trabajo era el de la identificación por radiofrecuencia (RFID) y las tecnologías de sensores emergentes. En él, trabajaba el británico Kevin Ashton, al que se le atribuye la invención del término Internet de las Cosas y que lo utilizó para ilustrar el poder de conectar a Internet las etiquetas de RFID a los objetos para contar y realizar

un seguimiento de las mercancías sin necesidad de intervención humana. Hoy en día, el término IoT se ha popularizado para describir escenarios en los que la conectividad a Internet y la capacidad de cómputo se extienden a una variedad de objetos, dispositivos, sensores y artículos de uso diario. La idea básica de IoT se muestra en la *Figura 3* [5].



Figura 3. Esquema de las posibilidades del IoT

Dando una definición más técnica, el IoT es el mundo en el que cada objeto tiene una identidad virtual propia y capacidad potencial para integrarse e interactuar de manera independiente en la red con cualquier otro individuo, ya sea una máquina (M2M) o un humano [6].

Intentando buscar el ponerse de acuerdo en cuanto a obtener una definición común, el Grupo de soluciones empresariales basadas en Internet de Cisco (IBSG) dice que el inicio de IoT se establece en el momento en que el número de dispositivos conectados superó al de personas en el planeta.

Haciendo un repaso a la historia reciente, en 2003 el número de dispositivos conectados a Internet era de 500 millones y un total de 6300 millones de personas en el planeta (0.08 por persona). En algún momento entre 2008 y 2009, se rompe la barrera y en 2010 se pasa a tener 12.5 mil millones de dispositivos para los 6800 millones de habitantes (1.84 por persona teniendo en cuenta toda la población, lo que significa que si quitamos los que sabemos que no están conectados, 6.25 por persona). En la *Figura 4* se muestra la tendencia de la evolución, pudiendo ver que aproximadamente en 2017 tenemos unos 5 dispositivos por persona.

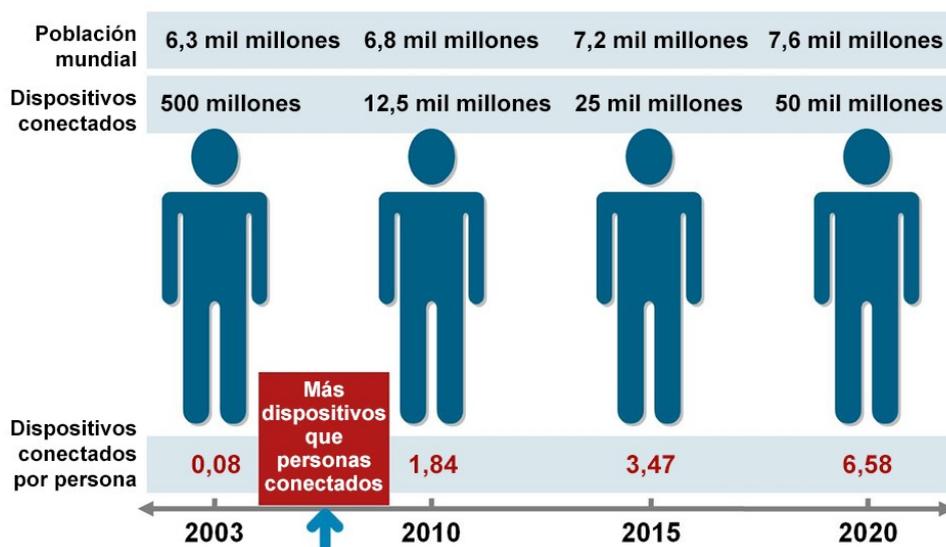


Figura 4. Evolución del nº de dispositivos conectados según año y población

Esta evolución conducirá a disruptivas aplicaciones que permitirán mejorar de manera drástica la forma en que las personas viven, aprenden, trabajan y se entienden. Esto es así, porque IoT aumenta enormemente el volumen de datos para que los procesemos, lo que va a permitir identificar tendencias y patrones, haciendo que seamos más proactivos y menos reactivos.

Negocios, ciudades, e incluso países deben empezar en este proceso de digitalización en red en el cual, los líderes en industria y software van a tener que ponerse de acuerdo en cuáles son los estándares óptimos y así evitar sistemas que ‘no puedan hablar entre ellos’.

2.2.2 Necesidad de IPv6 y redes ópticas

Uno de los cambios que debe producirse para la llegada del Internet de las Cosas, debe ser una transición hacia el **protocolo IPv6**. Y es que, la mayoría de investigadores coincide en que la enorme cantidad de dispositivos que se van a ir sumando a los ya conectados agotará las direcciones IPv4 actuales. Dotando de números a estas investigaciones, mediante IPv4 se puede soportar 4300 millones de dispositivos conectados a Internet y con la actualización a IPv6, el número asciende a 2^{128} direcciones [5], por lo que ofrece a los productos IoT una plataforma para operar durante varias décadas. Vamos a indicar varios de los principales motivos de su elección [7]:

2.2.2.1 Seguridad

Hoy en día somos conscientes de la amenaza real que representan los hackers. El IoT trae consigo una nueva línea de complejidades de seguridad, y por lo tanto, de nuevos objetivos para éstos. Porque imaginemos que se *hackea* un barrio de *Smart Homes* o incluso de manera completa una *Smart City*, el resultado sería catastrófico. Por suerte, IPv6 ofrece mejores soluciones de seguridad que su predecesor, en gran parte debido al protocolo de seguridad IPsec.

Por un lado, IPv6 permite ejecutar cifrado extremo a extremo. Si bien esta tecnología se adaptó en IPv4, sigue siendo una opción extra que no es universalmente utilizada. El cifrado y la verificación de integridad utilizados en las redes privadas virtuales (VPN) actuales son un componente estándar de IPv6, disponible para todas las conexiones y soportado por todos los dispositivos y sistemas compatibles.

Además, IPv6 admite una resolución de nombres más segura mediante el protocolo *Secure Neighbour Discovery* (SEND), capaz de permitir la confirmación criptográfica de que un host es quien dice ser en el momento de la conexión. Esto hace más difícil el envenenamiento del Protocolo de Resolución de Direcciones (ARP) entre otros ataques basados por nombre. Y a pesar de que IPv6 no sirve como reemplazo para la verificación en la capa de aplicación o servicio, ofrece un nivel mejorado de confianza en las conexiones que con IPv4, con el que es bastante fácil redirigir el tráfico para un atacante entre dos hosts legítimos y manipular la conversación o bien observar, mientras que IPv6 hace esto muy complejo.

Estas características de seguridad dependen totalmente de un apropiado diseño e implementación de IPv6, por lo que cuanto más compleja y flexible sea su infraestructura, más robusto será.

2.2.2.2 Escalabilidad

Dado que para 2020, Cisco establece que el número de dispositivos conectados será de 50 mil millones tal y como mostrábamos en la *Figura 4*, es fácil entender por qué IPv6 con sus “casi infinitas” direcciones es tan importante para el futuro de IoT. De esta manera, los creadores de productos IoT que están conectados a través de TCP/IP, podrán estar seguros de que esta solución permitirá a sus productos disponer de un único identificador durante años.

2.2.2.3 Conectividad

Cada año entran al mercado miles de millones de dispositivos IoT y el objetivo es permitir que los dispositivos de la red estén también conectados entre ellos.

Esto suponía un problema en IPv4, por lo que se creó el mecanismo de traducción de red (NAT) como una solución para organizaciones que precisaban de múltiples personas y dispositivos disponibles para trabajar en la misma dirección IPv4. Esto no sólo plantea un serio problema de seguridad, sino que también lo supone para los dispositivos IoT. En cambio, IPv6 permite que los productos sean exclusivamente direccionables sin tener que trabajar con los tradicionales problemas de NAT y firewall. Los dispositivos host con características más avanzadas disponen de todo tipo de herramientas para facilitar el trabajo con firewalls y enrutadores NAT, pero los puntos finales IoT no. Mediante el uso de IPv6, muchos de estos problemas son más fáciles de manejar para los dispositivos IoT habilitados para TCP/IP.

Por otra parte, no cabe duda de que el papel que juegan las **tecnologías ópticas** es vital, pues proporcionan una conectividad de un alto ancho de banda (necesaria para abastecer la capacidad que tanto dispositivo conectado va a demandar), así como la creación de redes inteligentes y la detección formación de imágenes de múltiples fenómenos de alta sensibilidad.

Además, esto produce un comportamiento recíproco, ya que a medida que las tecnologías ópticas contribuyen al desarrollo de IoT, trayendo automatización y mejora de la eficiencia cotidiana a negocios y sociedad (muy adecuadas para Smart Cities), IoT se ha convertido en el principal motor de desarrollo de la próxima generación de dispositivos y tecnologías ópticas.

2.2.3 Aplicaciones IoT: *Smart – X* [8]

2.2.3.1 *Smart Cities* [9]

La definición de *Smart City* es la de aquella ciudad que hace uso de las tecnologías de la información y las comunicaciones (TIC), con el fin de proveerla de una infraestructura que garantice un desarrollo sostenible y un incremento de la calidad de vida de sus ciudadanos.

Dotando a la anterior definición de una mayor profundidad, una ciudad es considerada “inteligente” cuando las inversiones tanto de capital social y humano, como en infraestructura de comunicación, promueven un desarrollo económico sostenible, además de una elevada calidad de vida, realizando una sabia gestión de los recursos naturales a través de un gobierno participativo.

De una manera más descriptiva y popular, es un espacio urbano comprometido con su entorno, con elementos arquitectónicos de vanguardia, redes y plataformas inteligentes y con infinidad de sensores y actuadores (incluidas las personas con sus *smartphones*), que permitirán que las cosas más mundanas puedan convertirse en objetos inteligentes y conectados y dotarlos, al igual que al resto de la red, de la toma de decisiones y proporcionar la información y los servicios adecuados en cada instante a sus habitantes.

El concepto de *Smart City* está estrechamente unido al Internet de las Cosas y con un factor común como fundamento: las comunicaciones **M2M** (máquina a máquina). Con la sinergia de las aplicaciones de estas tecnologías, surgirá un nuevo concepto de internet en el que todo podrá estar conectado, creando una nueva plataforma digital en la que objetos sin aparente conectividad, sin duda, lo estarán.

A partir del concepto inicial, éste se ha ido ramificando en subsistemas especializados que definen a la perfección la idea de ciudad del futuro.

Dichos subsistemas, se corresponden con:

- **Smart Grids**, que son redes de distribución eléctrica eficientes.
- **Smart Metering**, mediciones de gasto energético individualizado.

- **Smart Home/Buildings**, arquitecturas optimizadas y autosuficientes.
- **Smart Sensors**, sensores distribuidos por toda la ciudad, manteniéndola conectada.
- **eMobility**, transporte sostenible basado en la circulación de vehículos eléctricos.

La *Figura 6*, muestra un ejemplo ilustrativo de lo que podría ser una *Smart City*.



Figura 6. Concepto de Smart City [8]

2.2.3.2 Smart Homes, Smart Buildings and Infrastructure

Con el paso de los años, el papel que desempeña el Wi-Fi en la automatización de nuestros hogares es más determinante. Esto es así, debido a la naturaleza en red de la electrónica desplegada donde los dispositivos electrónicos como los televisores o múltiples dispositivos informáticos móviles como smartphones y tablets, han comenzado a formar parte de la red IP doméstica.

Uno de los objetivos para las *Smart Homes* es mediante un único dispositivo controlar todos los dispositivos electrónicos y electrodomésticos. Para ello, se precisará de una red de sensores y actuadores inteligentes desplegados por todo el hogar, que permitirán al usuario recibir información sobre el estado del mismo. Estos sensores, conocidos como *Smart Meters*, son capaces de monitorear sistemas tales como generación y medición de energía, temperatura, iluminación, seguridad, etc.



Figura 7. Ejemplo de Smart Home [10]

Ante tal volumen de dispositivos conectados, la explotación de las redes de sensores inalámbricos (WSN) para facilitar la gestión inteligente de la energía tanto en casas como edificios es un punto muy relevante en el desarrollo de este nuevo concepto. Para ello, la conexión hasta el hogar va a ser necesariamente sobre la fibra óptica para poder abastecer el ancho de banda de estas nuevas viviendas.

2.2.3.3 *Smart Health o e-Health*

Otro de los sectores que recibirá un mayor impacto debido a la introducción del IoT, será el de la medicina, un campo en el que la aparición de objetos conectados es cada vez más frecuente y con los cuales el trabajo del personal médico cualificado será mucho más preciso e inmediato, además de permitir mejorar el bienestar del paciente y facilitar la gestión de los centros hospitalarios. El éxito en la unión del IoT con la salud estará basado en características propias de los objetos conectados, como la monitorización de los pacientes a través del Wi-Fi, un trato a tiempo real y el uso de *wearables*.

Dos son las principales etapas de actuación sobre las que esta nueva versión de la medicina pretende hacer énfasis. La primera etapa, correspondería con la monitorización del paciente y mantenimiento del control sobre lo que le rodea y la segunda, posterior a esta primera sería un seguimiento tras el alta en el centro hospitalario o sanitario.

Esta primera etapa, supone un avance fundamental en el día a día del hospital, ya que una monitorización inteligente nos proporcionaría información al detalle del paciente a tiempo real. Ejemplos prácticos podrían ser la capacidad del propio hospital de controlar la temperatura por áreas, el tracking o localización precisa del material médico o bien mediante el uso de *Smart beds*, ver si una cama está ocupada en un determinado instante. Estas camas conectadas, además se ajustarían a la presión y soporte que cada paciente precisa. De hecho, hoy en día ya empiezan a existir prácticas similares mediante dispositivos de radiofrecuencia (RFID) para informar a las familias en la sala de espera de la situación del paciente, indicándoles si éste se encuentra en la sala de operaciones, recuperación, etc.

En la segunda etapa, la idea es que tras el alta hospitalaria no cese el tratamiento y se realice un seguimiento para ver por ejemplo, la cantidad de pastillas que el paciente está ingiriendo mediante botes de pastillas conectados. El uso de *wearables* se ve pilar fundamental para dicho seguimiento, pues serán buenos indicadores para prevenir sobre recaídas o incluso lejos de simplemente de formar parte de un proceso posterior al hospital, poder realizar el mismo papel para todo el mundo, como prevención de enfermedades o problemas como por ejemplo, síntomas de problemas cardíacos.

2.2.3.4 *Smart Energy and the Smart Grid*

El futuro suministro de energía debe basarse en gran medida en diversos recursos renovables y asimismo, debemos concienciarnos de nuestro comportamiento de consumo de energía [8].

Una de las contribuciones principales de las viviendas inteligentes es la capacidad de poder armonizar la generación y el consumo de electricidad, a través de la visualización de los datos de consumo, pudiendo entonces el usuario averiguar cómo lograr una mayor eficiencia energética. Además, estas nuevas infraestructuras tendrán la capacidad de decidir si consumen la energía que la propia red genera mediante sistemas fotovoltaicos o bien si lo hacen del tendido eléctrico. En este sentido, otro aspecto importante en la red de energía inteligente del mañana serán los sistemas de almacenamiento de energía tales como las baterías [10].

En cuanto a la estructura de las futuras redes de energía o *Smart Grids*, éstas se caracterizan por disponer de un elevado número de fuentes de energía medianas y pequeñas distribuidas y centrales eléctricas que pueden combinarse virtualmente a otras centrales eléctricas virtuales. Este tipo de estructura, permitiría en

caso de interrupción o desastre, aislarse de la red y suministrarse desde el interior mediante fuentes de energías fotovoltaicas o centrales térmicas.

Se espera por tanto, que las Smart Grids implementen un nuevo concepto de red de transmisión donde la energía se produce tanto en plantas concentradas como distribuidas y debe ser eficientemente encaminada, decidiendo de manera autónoma cuál es la mejor vía para que el paquete alcance su destino con los mejores niveles de integridad.

Esta línea lleva a un nuevo concepto, conocido con **Internet de la Energía (IoE)**.

2.2.3.5 *Wearable devices*

Lo primero sería categorizar a este tipo de dispositivos, distinguiéndolos de los dispositivos portátiles tales como tablets u ordenadores. Los *'wearable devices'* se suelen caracterizar por ser utilizados sin esfuerzo y de manera natural por el usuario y por un funcionamiento de largo período sin la necesidad de la intervención humana [11]. En la *Figura 8* se ilustran algunos de los ejemplos más conocidos actualmente.

Este tipo de dispositivos, se están convirtiendo cada vez más frecuentes debido a su capacidad de interactuar con otras herramientas y objetos físicos a su alrededor.



Figura 8. Ejemplos de *wearable devices*

Los primeros dentro de este grupo en salir al mercado fueron los *smartwatches*, capaces de medir nuestro ritmo cardíaco, calorías, altitud a la que nos encontramos, distancia que recorreremos, tiempo y niveles de sueño, además de ser una extensión en cuanto a la mensajería que recibe nuestro Smartphone. Las líneas futuras sobre los *smartwatches* son muy halagüeñas, y especialmente interesantes para los diabéticos, ya que éstos evolucionarían y permitirían medir el nivel de azúcar en sangre sin agujas, convirtiendo así el rutinario control que ha de realizarse en el día a día de estas personas en una experiencia mucho más llevadera. La patente la ha realizado Google y el proceso describe una extracción mediante un gas a presión con micropartículas que perforan la piel para posteriormente ser analizado por el dispositivo. No es la primera patente que Google ha realizado en este campo, siendo la primera a cerca de unas lentillas que miden el nivel de glucosa a través de las lágrimas del portador [12].

Además, como adelantábamos en el punto anterior, una de las etapas en las que el *e-Health* quiere en el futuro poder ayudar no se entiende sin el uso de estos dispositivos conocidos *wearables*. La sinergia de estos dos sectores, podría dar lugar a nuevos paradigmas en numerosos campos, como puede ser el del estudio de la medicina, en el que gracias al uso de las gafas de realidad aumentada (RA), se permite generar un sistema con el que interactuar con hologramas de alta definición para así lograr un mayor entendimiento de los órganos y sistemas del cuerpo en mayor detalle [13]. Esto es ya empieza a ser posible gracias a las gafas llamadas *Microsoft HoloLens* y en un futuro próximo las posibilidades son alentadoras.

Dadas las características de los datos que este tipo de dispositivos generan, se consideran a la privacidad y seguridad de vital importancia, ya que un análisis de los mismos, podría revelar nuestra actividad diaria o estilo de vida entre otras cosas y serían de gran valor en el mercado de marketing o peor incluso, ser utilizados con intenciones maliciosas [14].

2.2.3.6 *Smart Mobility and Transport*

El concepto de Internet de los Vehículos (IoV) unido al de Internet de la Energía (IoE) representa las tendencias futuras para el transporte inteligente y las aplicaciones de movilidad. Requiere de la creación de nuevos ecosistemas basados en la confianza, seguridad y servicios de movilidad basados en función de la conveniencia siempre del consumidor.

Como siempre, sensores y actuadores inteligentes posicionados tanto en las infraestructuras de las carreteras como en las ciudades, informarán del estado de la carretera y el tráfico, las condiciones meteorológicas, etc. De esta manera, la comunicación que deba realizarse entre los vehículos y las redes, deberán basarse en protocolos de comunicación M2M que consideren las limitaciones de tiempo y seguridad.

Además, como ya se adelantaba en el apartado de las *Smart Cities*, aparece dentro de las ciudades el concepto de *eMobility*, que promueve un tipo de movilidad limpia y silenciosa, que funcionan con electricidad procedente de fuentes renovables, ayudando a reducir las emisiones de CO₂. No solo debe pensarse en coches, también se aplica este concepto a bicicletas eléctricas y motocicletas.

2.2.3.7 *Smart Agriculture*

En el campo de la agricultura, las empresas han hecho uso de las mismas técnicas y herramientas durante años, pero con la llegada de las nuevas tecnologías de la información y comunicación, el sector agrícola se está viendo envuelto en una paulatina evolución en pro de impulsar técnicas que mejoren la productividad y la reducción de las pérdidas con la ayuda de la tecnología y equipos de vanguardia [15].

El propósito es el de crear un sistema basado en IoT que tomará decisiones proactivas y preventivas para minimizar pérdidas debidas a plagas o enfermedades, facilitar los trabajos diarios o mejorar la cantidad de rendimiento y calidad del producto, gracias a la recopilación de datos en tiempo real, que serán almacenados en una base de datos. Estos datos, serán tomados mediante sensores de diferentes parámetros como el agua, suelo o aire.

En la *Figura 9* se muestra la arquitectura de una posible implementación jerárquica donde la adquisición de datos se realiza mediante el uso de estaciones inalámbricas dispuestas en una red en forma de malla con placas solares (SPWAS). Estas estaciones, disponen de sensores de capacidad de calor (DPHC) que pueden tomar medidas simultáneas de la temperatura del suelo, así como contenido de agua. Por otra parte, para todas aquellas unidades que estén dentro del alcance de una estación base o un Punto de Acceso de Datos (DAP) se utiliza un protocolo de red basado en el ranurado temporal. A un nivel superior, las estaciones base y los DAP soportan protocolos como Bluetooth, 802.11 (Wi-Fi) y módem (GSM o GPRS), para ampliar las funciones de acceso a la red, recolección y administración de datos.

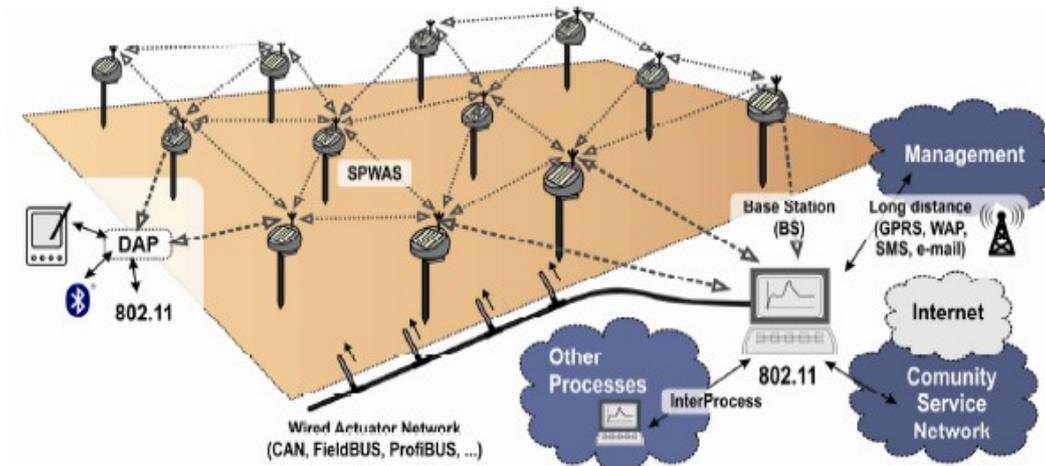


Figura 9. Esquema jerárquico de un vivero con IoT [16]

2.2.3.8 Smart Factory and Manufacturing

El IoT, también conocido como **Industria 4.0** [17], conectará las fábricas a una nueva gama de aplicaciones, que funcionan alrededor de la producción. Esto podría ir desde la conexión de la fábrica a la red inteligente o Smart Grid, compartir la instalación de producción como un servicio o permitir más agilidad y flexibilidad dentro de los propios sistemas de producción.

Las empresas están haciendo uso de la enorme cantidad de datos disponibles, análisis de negocios, servicios en la nube y muchos otros para mejorar la forma en que operan las empresas. Estas tecnologías incluyen software de análisis de datos y negocios, servicios en la nube, redes de sensores y tecnología de detección, identificadores de RF (RFID), GPS, M2M, movilidad, seguridad y tecnología de reconocimiento de ID.

Un factor clave para esta fabricación inteligente y basadas en las TIC radica en la forma en que manejamos y accedemos al mundo físico, donde tanto sensores, actuadores y unidad de producción, deben estar gestionados por interfaces y tecnologías estándar IoT. Estos dispositivos entonces, proporcionan sus servicios de manera estructurada y pueden ser gestionados y orquestados para multitud de aplicaciones funcionando en paralelo.

De momento nos encontramos en una etapa muy temprana en cuanto a este tipo de servicio, pero al ritmo que se está evolucionando no tardará en llegar.

2.2.4 Seguridad y BigData

El Internet de las Cosas va a cambiar la forma en que interactuamos con todo lo que nos rodea y nuestro día a día. Una gran cantidad de dispositivos van a comunicarse entre sí, por lo que muchos de los datos que se muevan en torno al IoT van a tener información de cada uno de nosotros. Esa información va a tener que protegerse mediante sistemas y protocolos de seguridad robustos y eficaces que aseguren nuestra privacidad y **seguridad**.

El término **BigData** hace referencia al procesamiento y análisis de datos, de una desproporcionada cantidad de datos, por lo que es imposible emplear las herramientas convencionales para analizarlos. Algunos investigadores sugieren que estamos entrando en la Revolución Industrial de los Datos, donde la mayoría de estos se generan por máquinas. Máquina que generan información a mucha más velocidad que nosotros y

cuyas tasa de producción se verán mejoradas exponencialmente por la Ley de Moore si toda esa cantidad de información se consigue analizar de manera productiva.

En un entorno en el que surgen constantes redes sociales, aplicaciones de imagen y vídeo, proliferación de páginas web, dispositivos móviles, etc. Según un estudio de IBM del año 2014, el 90% de los datos existentes fue creado en los dos últimos años, una tendencia que ha continuado hasta el día de hoy.

El mayor reto que se va a tener que afrontar no es dónde o cómo almacenar toda esa información generada, sino averiguar qué parte de esos datos merece la pena entender y cómo darle sentido. Para procesar eficientemente grandes cantidades de datos dentro de una cantidad de tiempo tolerable se requieren tecnologías excepcionales que permitan el procesamiento masivo paralelo (MPP), bases de datos y sistemas distribuidos, plataformas de computación en la nube, sistemas de almacenamiento escalables, etc.

2.3 Tecnologías

En la actualidad, existen miles de millones de dispositivos conectados a internet a través de tecnologías inalámbricas perfectamente instauradas y maduras. Viendo la tendencia de los últimos años, y de acuerdo a las predicciones que Cisco realiza, cerca de 50.000 millones de dispositivos se conectarán a internet en torno a 2020 [18], por lo que millones de dispositivos deberán conectarse a una única estación base de LPWA tales como LP-Wifi, Z-Wave, Zigbee, IEEE 802.15.4 g, etc. Todas estas transmisiones serán percibidas como interferencias por el dispositivo LPWA, teniendo menor sensibilidad recibida para comunicaciones de larga distancia.

Dada la incesante demanda de conectividad a bajo coste, la industria IoT está desarrollando y desplegando múltiples nuevas tecnologías, las cuales optimiza en función de la necesidad específica (Figura 10). Dentro de la primera necesidad, dispondríamos de las tecnologías tradicionales como Bluetooth, ZigBee y Wi-Fi, las cuales operan en **redes de área local o personal (LAN/PAN)** y que están siendo mejoradas con Bluetooth Low Energy (BLE) y Bluetooth Mesh Standard, Thread y Wi-Fi 802.11ah, conocido como HaLow. El siguiente escenario es el de **redes de baja potencia de red amplia o Low Power WAN (LP-WAN)**, dentro del cuales nuevas tecnologías están siendo desarrolladas como SIGFOX, LoRa, Weightless, y Ingenu. Por último, en las **redes WAN** existen las tradicionales tecnologías móviles de diferente generación (2G, 3G o 4G) coexistiendo y que serán sustituidas por otras como eMTC (mejoras en las comunicaciones tipo máquina) y NB-IoT [19].

De esta manera, conseguimos dar una visión genérica de las tecnologías emergentes que están impulsando el mercado del IoT y a continuación se explicarán de manera más detallada algunas de las tecnologías nombradas.

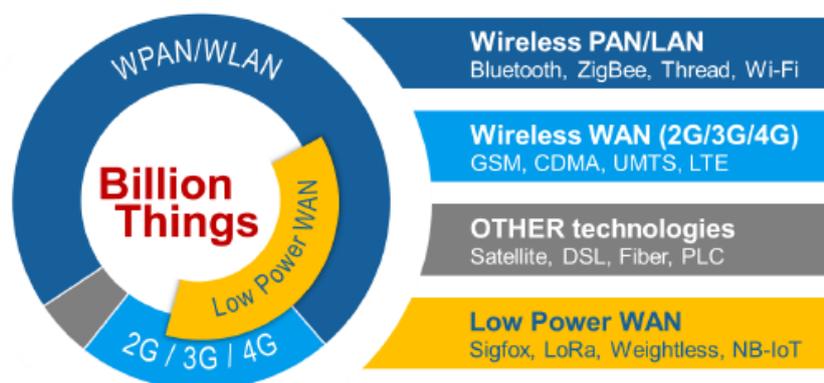


Figura 10. Tecnologías que impulsan el mercado IoT [19]

2.3.1 Redes inalámbricas PAN/LAN

2.3.1.1 Bluetooth Low Energy (BLE)

Gestionado por el Grupo de Especial Interés (SIG), es una solución de bajo consumo para dispositivos IoT tales como *wearables*.

Opera en la banda ISM sin licencia 2.4 GHz, dedicada al uso no comercial en áreas Industriales, Científicas y Médicas al igual que la tecnología clásica. Continúa empleando la modulación por desplazamiento de frecuencia gaussiana (GFSK) con una capacidad máxima de hasta 1 Mbps, pero ya no emplea modulaciones para la mejora de tasa de datos. El espaciado pasa a ser de 2 MHz entre canales, por lo que hay una reducción de 79 a 40, de los cuales 3 serán fijos para el descubrimiento de dispositivos, configuración de conexión y radiodifusión en transmisiones.[18] Las frecuencias centrales de los mismos están pensadas para evitar interferencias del estándar IEEE 802.11 debido a su uso extendido. De esta manera, los 37 canales restantes se emplean para el intercambio bidireccional de datos entre dispositivos conectados.

Por otra parte, en estos 37 canales de datos se emplea un algoritmo adaptativo de salto de frecuencia en la parte superior de los mismos, para reducir las interferencias ocasionadas por el desvanecimiento multicamino.

Cambia el mecanismo de detección de errores FEC, por CRC, siendo ahora una verificación por redundancia cíclica, para detectar en redes digitales errores accidentales.

Por último y más importante, como se introducía al principio, reduce mucho el consumo de potencia convirtiéndose en una tecnología clave para aplicaciones de corto alcance de IoT tales como *e-Health*, *Smart Energy* o *Smart Homes and Buildings*.

En la *Tabla 1*, se muestra una comparativa del estándar Bluetooth Clásico con la posibilidad de mejora de tasa de datos (EDR) frente al estándar *BLE* de bajo consumo o *Smart Bluetooth*.

Classic Bluetooth (BR+EDR)	BLE (Bluetooth Low Energy)
Banda ISM, 2.4 GHz	
Modulación GFSK hasta 1Mbps ó $\pi/4$ -DQPSK/8DPSK hasta 2 Mbps	Modulación GFSK hasta 1Mbps
79 canales/ Espaciado 1 MHz	40 canales/ Espaciado 2 MHz
No tiene	3 canales fijos de advertencia
FH de 1600 saltos/s	FH (37 canales)
FEC	CRC
Consumo 1.0 W	Consumo [0.01-0.5]W

Tabla 1. Diferencias *Classic Bluetooth* y *Smart Bluetooth*

2.3.1.2 Wi-Fi

Es la tecnología inalámbrica para redes LAN más utilizada en el mundo entero con numerosos estándares implantados, siendo por orden de despliegue 802.11b/g/a/n/ac. Aun así, debido a su enorme consumo de energía no se ha aplicado en IoT o M2M. Asimismo, su pobre movilidad y roaming, además de las muchas interferencias provocadas por la compartición de la banda sin licencia de 2.4 GHz con muchas otras tecnologías y dispositivos, hacen que siga sin ser un buen aliado para dichas prácticas. Por estas razones, la comunidad IEEE802.11, para sobreponerse a estas limitaciones y con el objetivo de soportar la demanda de operaciones de larga de distancia a baja potencia para los mercados de comunicaciones IoT y M2M, ha propuesto estándares como 802.11ah o 802.11af.

El estándar **802.11ah**, es conocido como **HaLow** por ser una solución Wi-Fi de baja potencia. Reduce las interferencias al operar en la banda sin licencia por debajo de 1 GHz, debido a ser mejor en cuanto a propiedades de propagación que 2.4 o 5 GHz. *HaLow* soporta múltiples anchos de banda de canal de 16 MHz, para un alto rendimiento de datos, hasta 1 MHz, para una cobertura extendida a menor velocidad de datos

Comparándolo con BLE y *ZigBee*, permite un mayor alcance llegando hasta 1 km (Bluetooth entre 1-100m) y un mayor *throughput* de datos consiguiendo desde 100 kbps hasta 40 Mbps.[18]

En último lugar, HaLow permite la conexión de incluso miles de dispositivos en un mismo punto de acceso, por lo que es una solución muy adecuada en muchas aplicaciones IoT (*e-Health, retail, Smart Agriculture, Smart City*, etc.) al tener que soportar la transmisión de pequeños paquetes periódicos de sensores y actuadores.

Otra de las propuestas es el **802.11af** también conocido como **SuperWi-Fi**, cuya idea es la de emplear zonas vacías de las bandas espectrales VHF y UHF de canales de televisión de las bandas (54-790 MHz) para dar acceso inalámbrico. La capa física es como la versión 802.11ac (OFDM, 256-QAM por subportadora) pero con canalización de 6-8 MHz como en Tv terrestre y con menores pérdidas de propagación [20].

Existe una última propuesta, el estándar **802.11ax**, que está en desarrollo y dice llegará a varias decenas de Gbit/s.

2.3.1.3 LR-WPAN (*Low data Rate Wide Personal Area Network*)

El estándar más utilizado dentro de este escenario es el **IEEE 802.15.4**, el cual define el nivel físico y el control de acceso al medio de redes inalámbricas con tasas bajas de transmisión de datos. Desarrollado para comunicaciones de bajo coste y velocidad entre dispositivos a distancias cortas (entre 10 y 30 metros) y una de tasa de datos máxima de 250 kbps. Estas características, hacen a esta tecnología de capa física ideal para aplicaciones de baja complejidad y larga duración de batería, adecuada para sensores y actuadores industriales y comerciales, muy presentes en IoT.

Algunos de los protocolos de capa superior sobre los que se utiliza como capa física son *ZigBee, Thread* o *WirelessHART*.

El estándar 802.15.4 opera en la banda sin licencia por debajo de 1 GHz, pero sufre variaciones en función de la localización, siendo en Europa 1 canal en la banda de 868 MHz, 10 canales en la banda ISM de 915 MHz para Norte América y 16 canales en la banda ISM de 2.4 GHz en el resto del mundo. Asimismo, define un ancho de banda de canal de 5 MHz y especifica que en la banda ISM debe usarse el ensanchado de espectro por secuencia directa (DSSS) y el esquema de modulación *Offset-QPSK (O-QPSK)*.

Respecto a las tecnologías de las que hablábamos anteriormente, *ZigBee* y *Thread* son las más empleadas en *Smart Homes* y *Smart Buildings*. *ZigBee* está gestionado por la *ZigBee Alliance*, cuyo objetivo es permitir redes fiables, rentables, de bajo consumo y controlar productos basados en la capa física 802.15.4.

Thread es un protocolo de red conocido como hilo de ejecución y define una red de malla escalable a cientos de dispositivos y provisión para direccionamiento genérico de IPv6. *Thread* está colaborando junto con *ZigBee* con el fin de permitir que la capa de aplicación de *ZigBee* se ejecute sobre redes *Thread*, con la idea de que varios dispositivos interactúen entre sí. Un ejemplo de esto sería la activación de un ventilador a través de un termostato en una vivienda.

2.3.2 Redes LPWA (*Low Power Wide Area*)

Esta reciente tecnología ha surgido con la motivación de centrarse en un área de las aplicaciones IoT para la que los sistemas móviles M2M todavía no han sido optimizados. Según las investigaciones de *Machina Researh*, LPWA permitirá la interconexión del 60% de dispositivos de bajo coste para 2022 y 3 mil millones de conexiones LPWA M2M en 2023. [19] Sus principales características deben ser:

- Amplia cobertura (decenas de km)
- Comunicación barata
- Larga duración de batería (hasta 10 años con una única pila AA)
- Comunicación de bajo ancho de banda

Opera en la banda sin licencia ISM ofreciendo el uso de muchas soluciones propietarias diferentes, entre las que destacan *Long Range (LoRa)*, *M2M Spectrum Networks*, *SigFox*, *Weightless and Ingenu*. Nosotros vamos a focalizar en *SigFox* y *LoRa* [18].

La tecnología *SigFox* está especialmente diseñada para comunicaciones M2M a larga distancia, con un coste muy ajustado y reduciendo enormemente el consumo energético de los dispositivos, permitiendo a éstos transmitir sus datos a mucha distancia sin depender de otras redes o conexiones, por lo que es perfecta para aplicaciones como *Smart Homes*.

Opera en la banda 915 GHz ISM en EEUU. En dicha banda, tiene patentada la tecnología de Banda Ultra Estrecha (UNB), con la que puede transmitir niveles de potencia muy bajos manteniendo una robusta conexión de datos. La mayoría del tráfico que soporta es en uplink y reduce tanto los consumos de potencia ya que el dispositivo solo puede recibir datos justo después de enviar un paquete, estando apagado el resto del tiempo.

LoRa es otra solución dedicada al Internet de las Cosas en este campo, rivalizando con *SigFox* en la comunicación de objetos conectados a bajo coste, mucha batería y alcance. Es en este último término donde reside una de sus principales ventajas frente a su competidor, pudiendo con una única estación base ofrecer cobertura a una ciudad entera o, cientos de kilómetros cuadrados (habría que tener en cuenta las situaciones de obstrucción de cada caso).

Como *SigFox*, opera en la banda 915 GHz ISM y en la capa física utiliza una técnica de modulación chirp de espectro expandido, en la que la frecuencia aumenta o disminuye durante cierto tiempo para codificar información. LoRa ha definido tres clases de dispositivos en función de las necesidades de varios mercados IoT, clase A, B o C:

 Clase A	Son los dispositivos que menos energía consumen y los destinados a aplicaciones que requieren únicamente en downlink desde el servidor, justo después de haber transmitido en el ascendente.
Clase B	Se añade al dispositivo la recepción de datos en horarios programados.
Clase C	Esta clase de dispositivos permite la recepción casi continua de datos mediante una ventana que solo se cierra cuando el dispositivo está transmitiendo. Esto tiene como inconveniente el aumento del consumo de energía.

Tabla 2. Clases de LoRa

2.3.3 Redes inalámbricas WAN (2G, 3G, 4G): MTC

Las tecnologías de bajo consumo LPWA están llamadas a ser el grueso de las comunicaciones en los próximos años, lo que significa que hasta entonces, las tecnologías de banda ancha móvil 2G y 3G creadas por los organismos de normalización 3GPP seguirán dominando las comunicaciones Máquina a Máquina (M2M). Hasta el momento, el IoT ha generado escasa demanda de la tecnología 4G puesto que LTE está optimizada para el mercado de banda ancha móvil.

A pesar de ello, existen aspectos muy positivos de 4G como la mejora de cobertura global o ventajas tecnológicas como mejor eficiencia espectral, latencia y tasa de datos que lo hacen cada vez más atractivo. En la *Figura 11*, se puede apreciar como la tendencia que está experimentando la tecnología LPWA es la nombrada en el punto anterior de unos 3 mil millones para 2023.

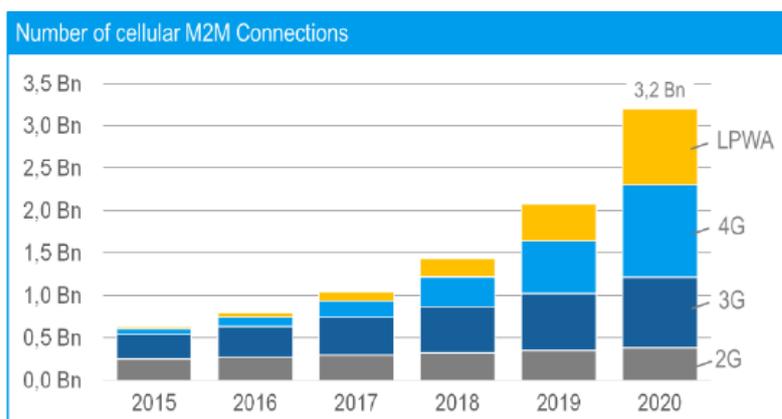


Figura 11. Crecimiento de las conexiones M2M según la tecnología [19]

Se reconoció en una etapa temprana la necesidad de incorporar soluciones optimizadas para el mercado de IoT, por lo que se han desarrollado mejoras específicas para las comunicaciones de tipo máquina (MTC). Las versiones en incorporar las primeras mejoras fueron la 10 y la 11, siendo éstas destinadas a proteger la red móvil frente a la sobrecarga derivada de la multitud de dispositivos del IoT (NIMTC y SIMTC). *Figura 12*:

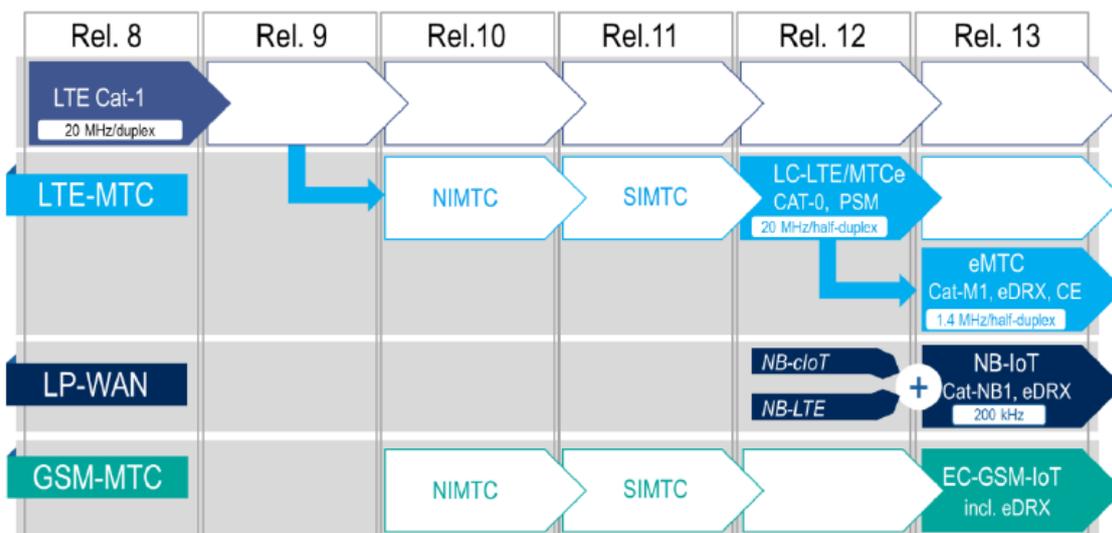


Figura 12. Programación 3GPP para LTE-MTC, LP-WAN y GSM-MTC [21]

La versión 12, con las mejoras de las comunicaciones de tipo máquina (MTCe) y el bajo coste de LTE (LC_LTE), introdujo soluciones optimizadas para dar respuesta a los principales requisitos de los dispositivos del IoT, entre los que se incluyen un nivel reducido de tráfico de datos, consumo de energía y costes:

- Un modo de ahorro de energía (PSM) apto para redes de sensores que solo necesitan enviar datos al dispositivo de forma ocasional.
- La nueva categoría 0 de dispositivos LTE que se supone que solo tiene un 50 % de la complejidad de un módem de categoría 1, lo que permite reducir la velocidad de transmisión compatible hasta 1 Mbps y eliminar el modo completamente dúplex y varias antenas.

Las comunicaciones tipo máquina mejoradas o MTCe, o LTE-M, perteneciente a la versión 13, incluye medidas complementarias de reducción de costes, especialmente anchos de banda más bajos tanto en enlace descendente como en el ascendente, así como potencias y velocidades de transmisión más bajas.

Una ampliación del temporizador de DRX en los modos de espera y conectado debería proporcionar una vida útil de la batería de varios años más. Por otra parte, también es preciso mejorar el alcance de aplicaciones en las que intervengan contadores inteligentes instalados en condiciones extremas de recepción, como puede darse en sótanos, o para dispositivos muy dispersos, como en aplicaciones agrícolas. Mejoras notables podrían conseguirse mediante múltiples repeticiones de datos o unos requisitos de plazos y errores menos exigentes.

La versión 13 introduce una nueva tecnología de banda estrecha llamada NB-IoT con el propósito de satisfacer las demandas del mercado de IoT de costes reducidos. NB-IoT ocupa muy poco espectralmente (menos de 200 kHz) y proporcionará una cobertura mejorada, soporte para un gran número de dispositivos de baja tasa de datos, de bajo coste, bajo consumo de energía y arquitectura de red optimizada. Además, la función de ahorro de energía de la versión 13, denominada recepción discontinua extendida (eDRX), amplía los ciclos de reposo para aquellos dispositivos con una transmisión de datos de enlace ascendente muy limitada durante muchos minutos a horas, eliminando la señalización innecesaria para ahorrar energía.

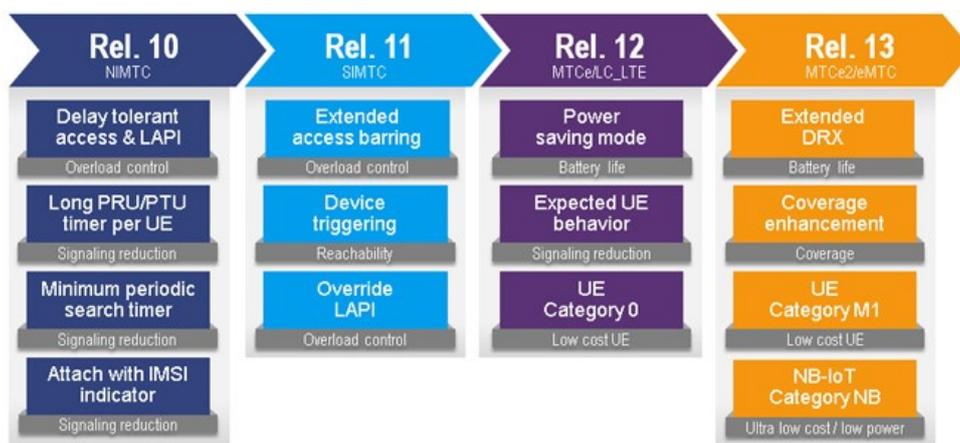


Figura 13. Evolución de las comunicaciones tipo máquina (MTC) [21]

La versión 14, podría incorporar optimizaciones como reducción de la latencia a 1 ms o incluso nuevas comunicaciones entre vehículos (V2V).

Conseguir mediante eMTC y NB-IoT dichas reducciones de latencia, larga duración de las baterías en los dispositivos y la posibilidad de conectar una abundante cantidad de dispositivos **serán factores clave para abrir el camino hacia 5G/IoT.** [21]

2.3.4 Redes ópticas para IoT

Una vez llegados a este punto, el Internet de las Cosas está haciendo que la cantidad de dispositivos que nuestras redes van a tener que soportar se multiplique de manera abrumadora. Como consecuencia, la capacidad de red necesaria se va a multiplicar haciendo necesario el uso exclusivo de **banda ancha de fibra óptica** para soportarla.

Numerosas son las aplicaciones que la banda ancha de fibra óptica habilitaría, tales como aplicaciones profesionales de altas velocidades de transferencia, como prestación de servicios de vídeo 4K, aplicaciones relacionadas con las Smart Homes y Smart Buildings, etc. Todo esto hace evidente que las redes de alta capacidad son más importantes para los consumidores que lo fueron nunca.

Dos nuevas tecnologías están abriéndose camino para poder abastecer este tipo de necesidades y están muy relacionadas con las Smart Cities y en consecuencia con las casas y edificios inteligentes. La primera es la Comunicación con Luz Visible (VLC) y la segunda es la Comunicación Óptica Inalámbrica (OWC).

2.3.4.1 Visible Light Communication (VLC)

Es la tecnología de comunicación más avanzada que utiliza luz visible y pertenece al subconjunto de las comunicaciones ópticas inalámbricas que permite la transmisión de datos mediante luz entre 400 y 800 THz (780 – 375 nm) [22].

Esta tecnología no precisa de dispositivos especiales para transmitir las señales. Hace uso de lámparas fluorescentes o LEDs alcanzando unas velocidades de 10 kbps o hasta 500 Mbps respectivamente. Esto hace que VLC puede ser utilizado como medio de transmisión de computación ubicuo y optimizado para las Smart Homes por ejemplo, dado el gran número de dispositivos que emiten luz dentro de una vivienda.

Empleando la luz visible para la transmisión de datos, se resuelven muchos problemas relacionados con las comunicaciones por radio e infrarrojas, ya que entre sus características destacan [23]:

- Comunicación ubicua.
- Alta velocidad de transmisión.
- Inofensiva para el cuerpo humano y dispositivos electrónicos.

De hecho, muchas de estas características ponen solución a algunas de las deficiencias que presentan las comunicaciones radio, como la falta de espectro utilizable o la inviabilidad de utilizar este tipo de comunicaciones en hospitales por su interferencia con el material médico.

Un último ejemplo que hace a este tipo de comunicación adecuada para la próxima generación es dentro de los vehículos, que requerirán transmisión de datos de alta velocidad, larga vida y bajo consumo de energía.

2.3.4.2 Optical Wireless Communications (OWC)

Debida a la congestión que existe en el espectro de radiofrecuencia, para ciertas aplicaciones es conveniente la disposición de una tecnología inalámbrica y que reúna las ventajas de transmitir en el espectro visible e infrarrojo.

Como alternativo viable, tenemos por tanto a los sistemas OWC, conocidos como sistemas de comunicaciones ópticas inalámbricas, los cuales son sistemas que permiten la transmisión entre dos puntos a través de la propagación de luz empleando la parte del espectro visible e infrarrojo, y que carecen de un medio guiado, distinguiéndolos de la comunicación óptica a través de la fibra.

La estructura básica de los sistemas OWC está formada por un láser o un LED en el transmisor, y un sistema fotodetector de los haces de luz como el PIN o los fotodetectores en avalancha APD, tal y como se aprecia en la *Figura 14*.

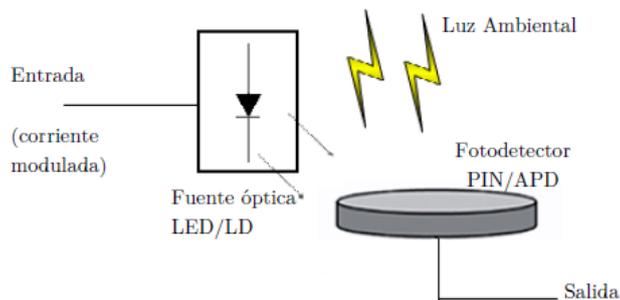


Figura 14. Diagrama de la parte óptica de OWC

Las fuentes más utilizadas, como antes se comentaba son los diodos láser (LD) y los LEDs.

Los LEDs son utilizados principalmente en aplicaciones de interior, y en casos concretos de distancia menos a un kilómetro y velocidades de datos moderadas.

Los láseres en cambio, son empleados en escenarios al aire libre o bien para enlaces de transmisión largos, debido a su perfil altamente direccional. En dichos enlaces, es determinante transmitir de manera precisa, dirigiendo la energía de la información a partir de un rayo colimado para reducir la pérdida de potencia característica de largas distancias.

Los sistemas OWC no tienen una aplicación específica, pero debido a sus buenas propiedades se pueden establecer enlaces ópticos desde edificios, complementando de esta manera otras tecnologías, como las comunicaciones por cable e inalámbricas de RF, fibra óptica, y cable coaxial, proporcionando un gran ancho de banda a los usuarios finales de la red troncal. Esto resolvería el problema de abastecimiento a la enorme capacidad que se va a necesitar y que podría resolverse mediante fibra óptica, la cual es cara, por lo que los sistemas OWC son un gran aliado de ésta última [24].

Ejemplos perfectos de aplicación se darían en las futuras Smart Cities, donde serían de gran utilidad en la extensión de fibra en la última milla de la red, en la radiodifusión de sistemas de alta definición y señales de televisión desde una oficina central o bien en la interconexión de *Smart Buildings* conformando una gran red.

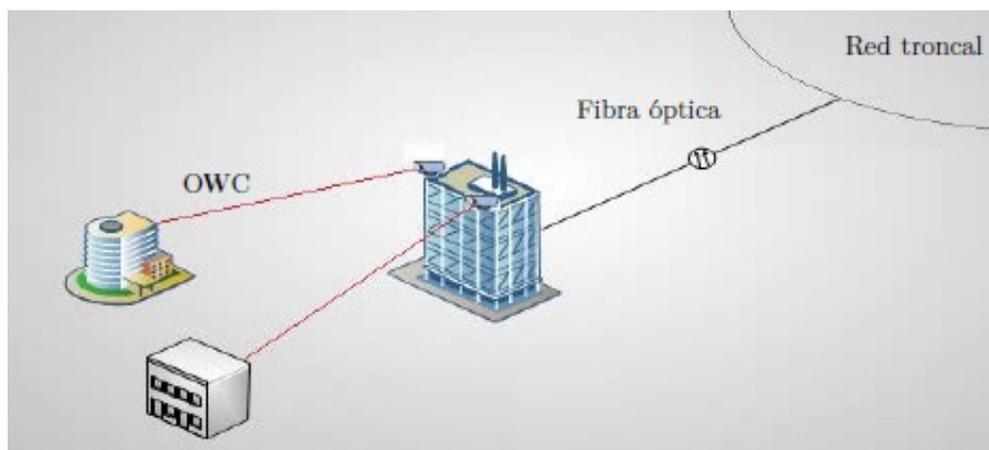


Figura 15. Aplicación de sistemas OWC para extensión de la FO en la última milla de la red

2.3.4.3 Arquitectura y tecnologías ópticas del IoT

Por otra parte, ay tres componentes fundamentales en IoT denominados [25]:

- **Tecnologías hardware:** Pueden ser vistos básicamente como sensores y actuadores en sentido general. Permiten la recuperación de datos del mundo físico (temperatura, ubicación, velocidad de motores, comportamiento humano, etc.), y/o la conversión de instrucciones de datos a respuestas físicas (como visualización, encendido y apagado de luces, movimiento de robots, funcionamiento de vehículos, etc.).
- **Aplicaciones:** Incluyendo varios tipos de servicios, semántica y software para utilizar los datos para la automatización en ciudades, edificios, viviendas, industrias, etc.
- **Infraestructura del sistema:** Infraestructura de red y comunicaciones con protocolos y tecnologías que permiten el intercambio de datos entre objetos físicos, y realizar gestión de datos tales como almacenamiento, procesado, gestión de seguridad, etc.

La *Figura 16* muestra un esquema de la arquitectura del Internet de las Cosas, donde la capa más básica la forman las ‘cosas’ mediante el uso de sensores y actuadores, después la *fog layer* para transmitirle finalmente los datos a la nube.

Las tecnologías ópticas, en particular las tecnologías de fibra óptica, contribuyen a la red y aplicaciones IoT en varios aspectos, desde el transporte de datos, creación de redes y detección de imágenes.

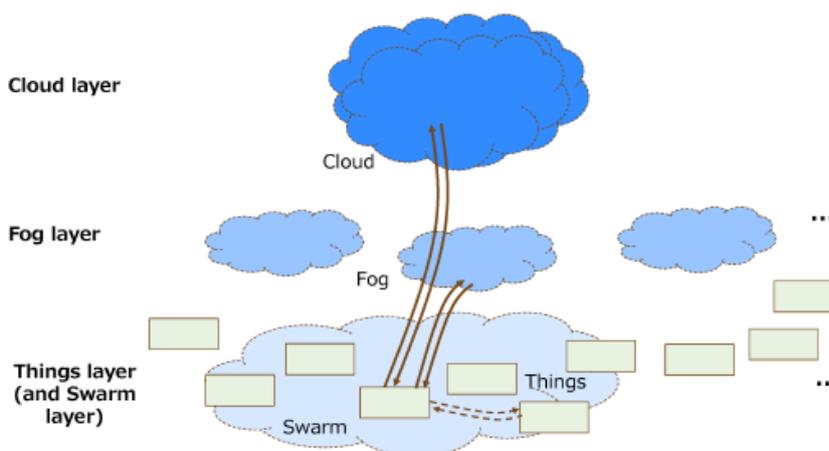


Figura 16. Arquitectura del Internet de las Cosas [25]

Dado que IoT genera una gran cantidad de datos, transportar grandes cantidades de ellos entre los dispositivos y la nube representa una parte importante de la red IoT. Además de un elevado ancho de banda debida a ese enorme volumen de datos, la transmisión de datos en IoT tiene más requisitos, como baja latencia, servicio a larga distancia, seguridad y flexibilidad. Debido a estas características, su baja atenuación y la capacidad de multiplexación multidimensional, la red de comunicación de fibra óptica proporciona la plataforma más adecuada. La conmutación de circuitos ópticos es por naturaleza *bit-date*. Y de protocolo independiente, y puede soportar formados de señal heterogéneos. La flexibilidad puede mejorarse mediante la utilización de redes WDM flexibles y transpondedores de tasa variable. El cifrado de capa óptica añade seguridad a nivel físico a las medidas existentes de seguridad en las capas superiores, lo cual es un valor añadido.

Para el último segmento de la red, es decir, entre los dispositivos y el resto de la red, las tecnologías inalámbricas se utilizan principalmente debido a la ventaja que presentan respecto a la movilidad. Sin embargo, para los dispositivos que generan gran cantidad de datos, especialmente de IoT, la transmisión óptica sigue siendo una buena solución. La comunicación mediante fibra óptica presenta ventajas también en lugares donde la interferencia de RF es un problema o los canales de RF no están disponibles. La actual red óptica pasiva y FTTx pueden ampliarse para soportar más datos y aplicaciones de IoT. Por otra parte, la comunicación óptica de espacio libre (FSO) comentada anteriormente, proporciona otra alternativa para conectar dispositivos IoT a la red. Esto incluye sistemas FSO de alta velocidad y largo alcance basados en láseres (OWC) y sistemas de comunicación de luz visible (VLC) en interiores a distancias cortas de bajo nivel y velocidad de datos basados en LED.

La computación en la nube, una parte importante de IoT, está aumentando los volúmenes de tráfico en el centro de datos. Las tecnologías ópticas se han utilizado en las redes de centros de datos (DCN) para enlaces de alta velocidad punto a punto. Los desarrollos de las tecnologías CMOS, las tecnologías fotónicas de circuitos integrados y las tecnologías DSP, permiten al transceptor óptico del módulo hardware una mayor velocidad de transmisión de datos, un mayor alcance y menor coste. Las tecnologías de multiplexación por división espacial aumentarán aún más la capacidad de ancho de banda por fibra sin aumentar la cantidad de fibra a emplear.

Respecto a la conmutación óptica, en los últimos años también ha habido un crecimiento del interés en el campo de DCN. Sin embargo, el ancho de banda no es fácilmente escalable y el consumo de energía aumenta significativamente con la velocidad de datos. Por lo tanto, la conmutación óptico-eléctrica híbrida es la mejor solución para combinar las ventajas de las tecnologías de conmutación simultáneamente.

Las tecnologías ópticas, además de transportar y enrutar datos, pueden utilizarse para la generación de datos en la red IoT, especialmente en términos de detección óptica e imágenes. Los sensores ópticos miden diversos fenómenos físicos, como temperatura, presión, campo eléctrico, etc. Esto lo consiguen observando el cambio de haz de luz causado por estos fenómenos y entre las propiedades ópticas a monitorear se incluyen la fase, intensidad, longitud de onda, polarización, distribución espectral, etc. La detección óptica ofrece alta sensibilidad, baja latencia y larga distancia de detección. Destacable también que es inmune a las interferencias electromagnéticas, y puede ser implementado en ambientes difíciles.

La detección óptica en espacio libre no requiere de la instalación de fibra, por lo que son más flexibles y no intrusivas. La distancia de detección puede ir desde menos de un milímetro hasta cientos de kilómetros y el rango espectral es bastante amplio. La fuente óptica y el receptor pueden estar situados en el mismo extremo como en la mayoría de casos, o en diferente extremo del trayecto de la luz.

2.4 Gestión de la energía

Para el año 2025, se espera que más de un 60% de la población mundial viva en grandes ciudades, personas que consumirán y demandarán multitud de servicios que deberán contar con tecnologías que les permitan ser de alto valor y eficaces para asegurar la sostenibilidad.

El ahorro de energía se posiciona como pilar fundamental en el desarrollo e implementación de IoT. Concienciar a los usuarios del consumo de energía individual y de manera momentánea mediante el uso de *Smart Meters* se considera una de las grandes opciones posibles, permitiendo así la identificación y eliminación de dispositivos o técnicas que producen desperdicios de energía. Nosotros en este punto estudiaremos métodos de ahorro de energía sobre las tecnologías actuales y enfoques futuros de un **IoT eficiente** o **Green IoT** [26].

2.4.1 Green IoT

Con el objetivo principal de lograr un mundo inteligente sostenible, en un entorno en el que todos los dispositivos están llamados a estar equipados con sensores adicionales y elementos de comunicación que les permitan relacionarse con todo a su alrededor, la demanda de energía va a aumentar, por lo que reducir el consumo de energía es una necesidad [26].

Por tanto, considerando la eficiencia energética como una de las claves en el diseño y desarrollo del Internet de las cosas, el **IoT eficiente** puede definirse como:

“Los procedimientos de eficiencia energética (hardware o software) adoptados por IoT para facilitar la reducción del efecto invernadero de las aplicaciones o servicios existentes o para reducir el impacto del efecto invernadero del propio IoT. En el caso anterior, el uso de IoT ayudará a reducir el efecto invernadero, mientras que en el caso posterior se llevará a cabo una mayor optimización del IoT para reducir la huella del efecto invernadero. Todo el ciclo de vida del IoT eficiente, debe centrarse en un diseño y una producción eficiente, así como un reciclaje ecológico de manera que el impacto en el medio ambiente sea el menor posible” [26].

2.4.2 Tecnologías (TIC) habilitadoras del Green IoT

El término TIC hace referencia a cualquier tecnología o aplicación que facilita las tareas de comunicación e información, permitiendo a los usuarios acceder, almacenar, transmitir y manipular variedad de información [26]. En este apartado, vamos a presentar aquellas tecnologías que habilitan a un uso eficiente del Internet de las cosas, con respecto a tareas de identificación, detección, comunicación y computación:

2.4.2.1 Green RFID

La identificación por radiofrecuencia, o en inglés *Radio Frequency IDentification* (RFID), es un sistema de almacenamiento y recuperación de datos remota que emplea dispositivos denominados etiquetas, tarjetas, transpondedores o tags RFID. [27] Estas, son utilizadas para recibir y transmitir señales, mediante un identificador único y su propósito principal es el de almacenar información sobre los objetos a los que están conectados.

El proceso básico es que mediante la transmisión de una señal de consulta, se activa un flujo de información generado por los lectores de etiquetas RFID cercanos. Por lo general, el rango de transmisión es de unos pocos metros. Además, para realizar la transmisión emplea varias bandas, desde bajas a 124-135 kHz hasta muy altas 860-960 MHz.

Respecto al tipo de etiquetas RFID, existen dos tipos: las etiquetas *activas* y las *pasivas*. Las *activas* disponen de baterías con las que alimentan la transmisión de señales y aumentan los rangos de transmisión, mientras que las etiquetas *pasivas* no llevan incorporado ningún tipo de baterías, por lo que necesitan cargarse de energía de la señal del lector mediante inducción.

En cuanto a la identificación por radiofrecuencia eficiente o **Green RFID**, dos son las principales soluciones disponibles para promover un mundo inteligente y sostenible.

- Reduciendo el tamaño de las etiquetas, se reduciría la cantidad de material no degradable empleado en su fabricación, por lo que etiquetas RFID biodegradables, de papel o imprimibles se posicionan como buenas soluciones reciclables.
- Para optimizar la estimación de las etiquetas así como reducir los consumos de energía, deberían emplearse algoritmos y protocolos eficientemente energéticos que permitan ajustar la potencia de transmisión, evitar la colisión de etiquetas, evitar escuchas innecesarias, etc.

2.4.2.2 Green WSN

Una red WSN es una red inalámbrica que consiste en dispositivos autónomos espaciados que mediante sensores se dedican a monitorear condiciones físicas o ambientales y de una estación base o *gateway* que provee conexión inalámbrica de regreso al mundo de cables y nodos distribuidos [28]. En contraposición con la BS, estos dispositivos tienen potencia limitada, bajo procesamiento, y capacidad reducida. El protocolo inalámbrico que se utilice depende de los requerimientos de la aplicación, pero la solución WSN comúnmente utilizada comercialmente es el estándar IEEE 802.15.4, que como sabemos cubre las capas de control de acceso físico y al medio (MAC) para comunicaciones de baja potencia y baja tasa de transmisión de datos, lo que hace que esta tecnología sea muy adecuada para dispositivos que precisen de larga duración de batería como los que estamos tratando.

Para conseguir redes WSN eficientes, se deberían adoptar las siguientes medidas:

- Incluir en los dispositivos un '*sleep mode*', que les permita trabajar únicamente cuando sea necesario, reduciendo así el consumo de energía.
- Técnicas de optimización radio (que permitan controlar la potencia de transmisión, optimización de la modulación, antenas direccionales, radio cognitiva para la eficiencia energética, etc.)
- Mecanismos de reducción de datos (muestreo adaptativo, compresión, codificación de red, etc.)
- Técnicas eficientes de enrutamiento (arquitecturas clúster, energía como métrico de enrutamiento, enrutamiento por trayectos múltiples, movilidad de nodos, etc.)

2.4.2.3 Green CC (*Cloud Computing*)

La computación en la nube o *cloud computing* es un paradigma que permite ofrecer servicios de computación a través de una red, que usualmente es Internet. Basándose en las demandas de los usuarios, CC ofrece elásticamente a los usuarios diversos recursos (como por ejemplo, almacenamiento de alta capacidad o recursos informáticos de alto rendimiento). Los usuarios, en lugar de poseer sus propios recursos, comparten una gran variedad de los mismos y disponen de un acceso conveniente. Con las aplicaciones en la nube en crecimiento, se necesita el despliegue de más recursos y más consumo de energía, por lo que conlleva más problemas ambientales y emisiones de CO_2 .

Aquí es donde entran en juego las siguientes soluciones potenciales para promover un *cloud computing* eficiente:

- Adopción de hardware y software que disminuyan el consumo de energía.
- Técnicas de máquina virtual que ahorren energía.
- Mecanismos de asignación de recursos energéticamente eficientes.
- Modelos efectivos y precisos y enfoques de evaluación de las políticas de ahorro de energía.
- Esquemas eficientes en CC basados en tecnologías de apoyo a la nube (Por ejemplo redes, comunicaciones, etc.)

2.4.2.4 Green M2M

En cuanto a las comunicaciones máquina a máquina (M2M), existe un elevado número de sensores dedicados a la monitorización inteligente en el dominio M2M. En el dominio de red, la red cableada/inalámbrica retransmite los datos recopilados a la estación base y ésta, admite varias aplicaciones M2M sobre el dominio de aplicación.

Debido al número de máquinas involucradas en las comunicaciones M2M, el consumo de energía en dicho dominio será muy elevado. El M2M eficiente o Green M2M, con el principal objetivo de aumentar la eficiencia energética, podría alcanzarse mediante los siguientes métodos:

- Ajustar la potencia de transmisión de manera inteligente.
- Diseñar protocolos de comunicación eficientes mediante técnicas algorítmicas y de computación distribuida (p. ej. protocolos de enrutamiento).
- Programación de la actividad de los nodos de la red, de manera que solo un subconjunto de la red se mantengan activos, mientras que el resto estén funcionando a baja potencia en modo ‘sleep’.
- Mecanismos de ahorro de energía (p. ej. protección contra sobrecarga y asignación de recursos).
- Utilizar mecanismos de almacenamiento de energía y las ventajas propias de la radio cognitiva (p. ej. detección y gestión de espectro, mitigación de interferencias u optimización de potencia).

2.4.2.4 Green DC (Data Center)

El principal objetivo de los centros de procesamiento de datos es almacenar, gestionar, procesar y transmitir diversos datos y aplicaciones, que han sido creados por usuarios, sistemas, etc. En este proceso, se consume una enorme cantidad de energía con un alto coste operativo y de CO_2 . Esto es debido a las crecientes cantidades de datos generadas por múltiples dispositivos ubicuos en el camino hacia un mundo inteligente, donde la eficiencia energética en los DC se ha convertido en algo urgente.

A cerca de los DC eficientes o **Green DC**, algunas de las técnicas para mejorar la eficiencia energética podrían ser:

- Utilizar fuentes de energía renovables (p. ej. energía solar, eólica, bombas de calor, etc.).
- Emplear tecnologías eficientes y dinámicas en la administración de energía (p. ej. *Turboboost*, *vSphere*).
- Diseñar hardware más eficiente energéticamente.
- Diseñar nuevas arquitecturas en los centros de procesamiento de datos con eficiencia energética (p. ej. nano centro de datos).
- Diseñar algoritmos de enrutamiento energéticos para consolidar los flujos de tráfico en un subconjunto de la red y apagar los dispositivos inactivos.
- Construir modelos de energía efectivos y precisos.
- Obtener soporte de las técnicas de comunicación y computación (p. ej. comunicación óptica, optimización de la ubicación, etc.)

La revolución está en marcha, y nos hará más “*smart*”, y más sostenibles.

2.4.3 Redes ópticas pasivas (PON)

Con el objetivo de conseguir una gestión eficiente de energía en un escenario real, se ha elegido el campus universitario, donde más adelante nosotros nos centraremos en el Campus de Vera de la Universidad Politécnica de Valencia [29].

Por lo tanto, el propósito es desarrollar un sistema IoT inteligente en un campus universitario que optimice el consumo de energía. Para ello, se considera clave la integración de sensores IoT con cada dispositivo electrónico, de manera que permita detectar y comunicarse con la red inteligente. Esto posibilita una reducción de costes, debido a que dichos sensores denominados ‘*Things*’, poseen unas prestaciones que les permiten ser aptos para anticiparse a la necesidad del usuario, pues son capaces de monitorizar el consumo de potencia, la temperatura en las aulas, humedad e iluminación entre otras cosas. Todos estos datos son accesibles por el usuario en tiempo real, y gracias a ellos y al estudio mediante *Big Data Analysis*, es posible analizar el consumo y descubrir dónde se producen los gastos, pudiendo así optimizar las horas de uso para conseguir un mayor ahorro.

En cuanto a la implementación de este *Smart System*, el papel que desempeña es crucial como plataforma de conectividad para sistemas de control, sistemas operativos, sensores, máquinas y dispositivos. Debe proporcionar una infraestructura segura capaz de soportar miles de millones de dispositivos, personas, procesos y datos. Además, el sistema podrá controlarse en cualquier momento y lugar mediante *Smartphones*, *tablets* o cualquier otro dispositivo similar. En definitiva, actúa como un sistema de alerta cuando se producen desperdicios o malos usos de la energía.

Además de la infraestructura explicada, el uso de **redes pasivas ópticas (PON)** se considera imprescindible, pues sirve para conectar redes IoT separadas dentro del campus y participa en la agregación y el procesamiento del tráfico. Se ha seleccionado PON por su eficiencia energética en las redes de acceso, y por ser un gran aliado con los requisitos que detallábamos en el punto 2.2.2 *Necesidad de IPv6 y redes ópticas* en cuanto a escalabilidad, interoperabilidad y seguridad.

La arquitectura propuesta, consiste en una plataforma de computación en la nube energéticamente eficiente para diferentes redes IoT separadas y conectadas mediante PON con el objetivo de entregar el tráfico procesado a la red principal superior [30]. Cada una de estas redes IoT está compuesta por cuatro capas. La primera y más baja, se compone de objetos IoT. La segunda, contiene los elementos de relé, cuya finalidad es la agregación de tráfico de los dispositivos IoT. La tercera capa acoge un elemento coordinador que agrega el tráfico de los elementos relé. En la cuarta y última capa, hay un *gateway*, que hace de pasarela con la red de acceso PON entregándole el tráfico agregado del elemento coordinador. El procesamiento se lleva a cabo mediante mini nubes distribuidas que contienen diferentes tipos de máquinas virtuales (VMs). Estas mini nubes se pueden ubicar en las tres capas superiores de la red IoT y las dos capas PON. La *Figura 17* sirve de esquema de la red explicada.

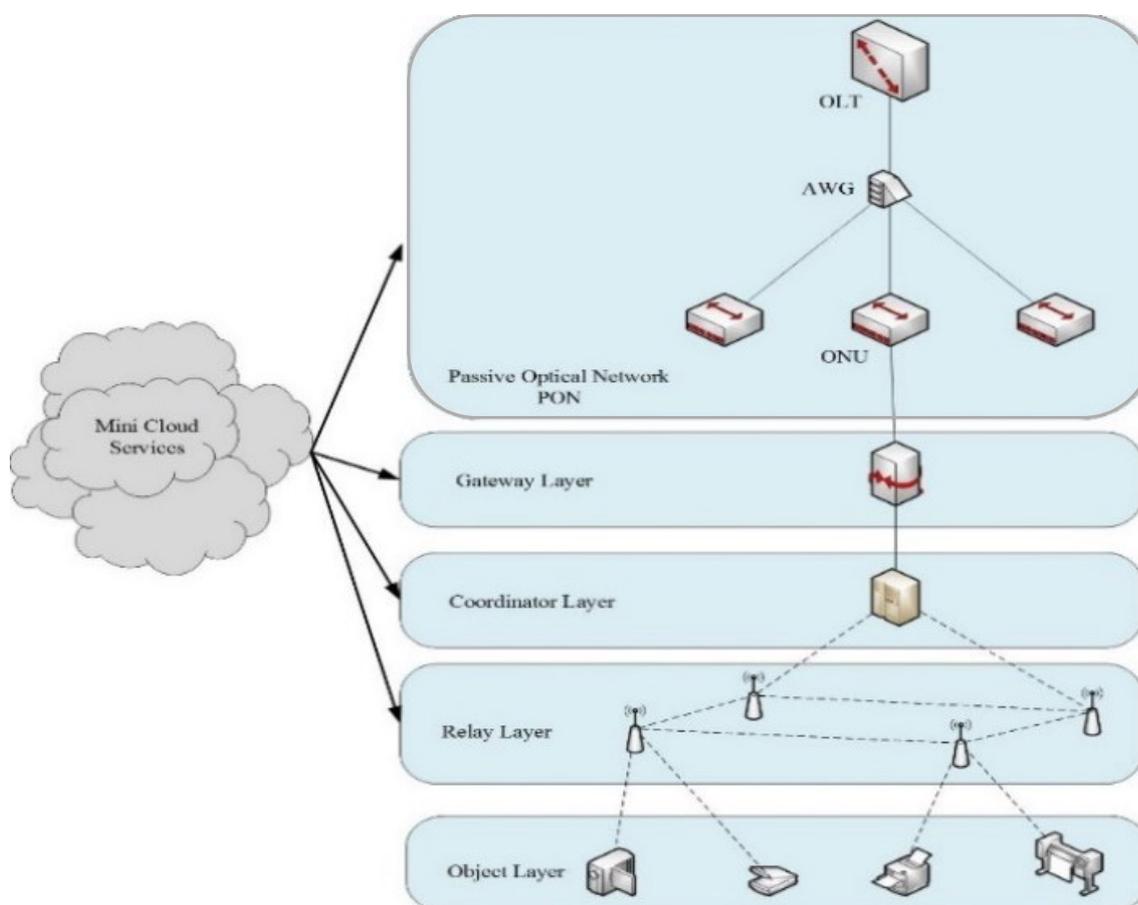


Figura 17. Red IoT individual [30]

Por otra parte, la red de acceso está formada por dos capas. La capa ONU (Unidad de red Óptica), que aloja dos entidades ONU y la capa OLT (Terminal de Línea Óptica) que hospeda una entidad OLT. Cada ONU está conectado a una de las redes IoT y agregan y entregan el tráfico de las redes IoT al OLT, que a su vez transporta el tráfico a la red principal.

Se utilizarán tantas redes IoT como se precisen, siempre conectadas entre ellas mediante redes de acceso PON. Cada una de las redes IoT consta de unos 50 dispositivos IoT, 25 relés, un coordinador y un *gateway*. Además, cada red IoT está conectada a un ONU y a su vez los ONUs están conectados a un único OLT. Los dispositivos IoT, relés y el coordinador de cada red IoT se distribuyen en un área aproximada de 30x30 metros cuadrados, con el *gateway* situado a 100 metros del coordinador y la comunicación entre todos los dispositivos de la red IoT se realiza mediante el protocolo *Zigbee*. Mientras que la distribución de los dispositivos IoT es aleatoria y uniforme, la de los relés debe ser con una separación de 6 metros. Por otro lado, la conexión entre el *gateway* y el ONU se produce a través de un enlace Gigabit Ethernet y al mismo tiempo, la conexión ONU-OLT se realiza mediante fibra óptica.

Una vez planteada y explicada la arquitectura de nuestro sistema, el objetivo es **reducir el consumo total de energía** resultante de la entrega del tráfico y el procesamiento de datos en las diferentes capas. Esta reducción se puede conseguir mediante dos campos de actuación:

- Optimización en la colocación de las VMs y el número de mini nubes y VMs.
- Utilización de rutas energéticamente eficientes.

Entre las diferentes opciones existentes, se llega a la conclusión de que concentrar las VMs en el OLT, que conecta varias redes IoT, puede conseguir un ahorro de energía cuando las máquinas virtuales procesan datos brutos con un porcentaje de reducción bajo. Otra solución plausible, radica en colocar las VM en relés en las capas inferiores a altas tasas de reducción.

Actuando de manera eficiente sobre estos campos, se puede conseguir una reducción de hasta el 21% de la potencia total utilizando PONs energéticamente eficientes y VMs heterogéneas [30].

Capítulo 3. Estado del arte de la gestión eficiente de la energía

A parte del marco teórico proporcionado, que ofrece una explicación detallada de los fundamentos teóricos en los que se basa este trabajo y por tanto, imprescindibles para el entendimiento del mismo, se ha añadido este punto con el objetivo de que se conozcan algunos de los proyectos tanto en el marco nacional como en el europeo.

3.1 Proyectos europeos

Para este punto, la documentación ha tenido lugar principalmente en la página de la Comisión Europea “*Cordis (Community Research and Development Information Service)*”, donde se muestra desde noticias y eventos, proyectos y resultados y artículos de investigación de revistas europeas tanto recientes como actuales.

3.1.1 OPTIMUS

El proyecto OPTIMUS (*OPTIMising the energy Use in cities with smart decisión support system*), cuyo significado en castellano es Optimización del uso de la energía en ciudades con sistemas inteligentes de apoyo a la toma de decisiones, fue coordinado en Grecia y tuvo lugar desde el 01/10/2013 hasta el 30/09/2016 [31].

El objetivo de este proyecto, es el diseño, desarrollo e implementación de un sistema de apoyo de decisiones (*DSS*), dirigido a las autoridades municipales, con el propósito de asistir para optimizar el uso de la energía y reducir la emisión de CO_2 .

Es por tanto, que papel que se espera que desempeñen las ciudades para 2020 sea clave. Se considera un aspecto de suma importancia que las autoridades de la ciudad planteen acciones relevantes en cuanto a eficiencia energética en los vecindarios y esto será posible con *OPTIMUS*, ya que todavía no existe ningún sistema que utilice fuentes de datos multidisciplinar y los analice e integre de manera eficiente para así ofrecer alguna optimización energética. *OPTIMUS* proporcionará una plataforma integrada TIC que recogerá y estructurará conjuntos abiertos de datos de cinco ámbitos (condiciones meteorológicas, *social mining*, perfiles energéticos de los edificios, precios de la energía y producción de energía). En añadido, empleará tecnologías inteligentes para combinarlas y proponer planes de optimización energética. El *DSS* resultante, basado en la web, se someterá a un proceso de validación en tres ciudades: Savona (Italia), Sant Cugat del Vallès (España) y Zaanstad (Países Bajos). No importa que sean ciudades con características diferentes, ya que *OPTIMUS*, por diseño, tiene un grado de generalización necesario para adaptarse fácilmente.

Es por ello, que *OPTIMUS* podrá ser una solución avanzada e inteligente cuyo propósito sea implementar y monitorear planes de acción de energía sostenible.

3.1.2 Modelización y gestión de la información distrital para reducción de la energía (DIMMER)

Por sus siglas en inglés recibe el nombre de *DIMMER* (*District Information Modeling and Management for Energy Reduction*) [32].

Las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC), están consideradas un factor clave contra el cambio climático, ya que mediante sensores y actuadores se puede controlar eficientemente toda la cadena energética (Smart Thermal/Electricity Grid). Por otro lado, los avances en el modelado 3D, y en las tecnologías de visualización e interacción permiten el perfil de usuario y la retroalimentación en tiempo real para promover comportamientos en eficiencia energética. Para desbloquear el potencial de estas tecnologías, el proyecto DIMMER se centra en:

- La interoperabilidad de la producción y consumo de energía del distrito, así como de las condiciones ambientales y la retroalimentación de datos de los usuarios.
- Explotación de eficaces interfaces visuales y basadas en la web para proporcionar información generalizada y en tiempo real sobre el impacto energético del comportamiento de los usuarios.
- Integración de modelos de información de edificios (BIM) con datos en tiempo real y su extensión a nivel de distrito (DIM).
- Nuevos modelos de negocio para los comerciantes de la energía.

El sistema *DIMMER* integra modelos BIM y DIM a nivel 3D con datos de sensores en tiempo real y comentarios de los usuarios para así analizar y correlacionar la utilización de edificios y proporcionar *feedback* de información en tiempo real sobre los comportamientos relacionados con la energía. Permite el acceso abierto con dispositivos personales y de realidad aumentada (AR) para la visualización de la información obtenida en aplicaciones que permiten el análisis de energía y coste, planificación y evaluación de tarifas, etc. Para validar el sistema *DIMMER*, se realizan pruebas en las ciudades de Turín (Italia) y Manchester (Reino Unido) en campus universitarios y edificios privados. Como conclusión, los resultados esperados son una reducción consistente tanto en la emisión de CO_2 como en consumos de energía, que es nuestro objetivo.

3.1.3 Lighthouse

El proyecto *Lighthouse* propone la creación de un modelo de arquitectura para el internet de las cosas que sirva de modelo de referencia junto con la definición de una serie de principios y directrices para el diseño técnico de sus protocolos, interfaces y algoritmos clave para sentar las bases futuras de un IoT ubicuo [33]. Juntos, por tanto, se conciben como fundamentos cruciales para fomentar el internet de las cosas, donde utilizando un paradigma experimental, IoT-A combinará el razonamiento jerárquico con directrices de diseño con simulación y prototipado para explorar las consecuencias técnicas de las opciones de diseño arquitectónico.

Además, se establecerá un mecanismo para su eficiente integración en la capa de servicio del internet del futuro así como una nueva infraestructura de resolución, la cual permitirá buscar y descubrir de manera escalable recursos del Internet de las Cosas, entidades del mundo real, etc. En último lugar, se deberán desarrollar nuevos componentes de plataforma y la implementación de usos posibles en la vida real, demostrando de esa manera los beneficios que la arquitectura desarrollada ha establecido.

3.2 Proyectos nacionales

En la búsqueda de proyectos realizados en el ámbito nacional, se contactó con una empresa española, llamada *Loxone*, con una de sus sedes en Barcelona. También se encuentra en otras ciudades europeas, como Rep. Checa, Italia o Francia entre otras.

Se les preguntó por proyectos realizados en España, recibiendo la satisfactoria respuesta de que en su página web explicaban muchos de los que habían llevado a cabo en años recientes, proporcionando porcentajes de ahorros de energía.

3.2.1 Proyecto “*desendolla't*”

Este proyecto, tiene como objetivo la eficiencia energética dentro de los centros educativos, una labor promovida e impulsada por uno de los departamentos (ALEO), del Consell Comarcal d'Osona (Barcelona) [34]. Los resultados obtenidos han dado lugar a la obtención de varios premios, entre el que destaca el obtenido en 2015 “*Cities, communities and regions*” en la Semana de la Energía Sostenible de la Unión Europea.

En la etapa previa al proyecto, se solicitaron datos de hasta 51 concejalías diferentes, observando que los gastos energéticos de escuelas y guarderías suponían un 18% del coste energético anual de los ayuntamientos. El hecho de tener que realizar una intervención era claro.

En la primera fase, dentro de cada centro se identifica un responsable al que formar con el objetivo de alcanzar las metas marcadas y seguir el procedimiento de acción. Además, se instalan equipos capaces de medir los diferentes consumos dentro de la escuela.

En la segunda fase, se analiza el consumo vampírico o pasivo, el cual proviene de dejarse equipos y dispositivos encendidos de manera errónea, para así determinar los consumos mínimos o esenciales. Este tipo de consumo, se puede optimizar mediante un sistema de detección y acción que apagase todo cuando no se estuvieran utilizando.

En cuanto al sistema de calefacción, se optimiza la programación teniendo en cuenta las condiciones meteorológicas, de manera que si fuera la temperatura es excesivamente baja, no es necesario dentro realizar tanto consumo. Además, se asegura su completo cierre los fines de semana y festivos, reduciendo las horas de funcionamiento a las necesarias. Para ello, es imprescindible el sistema inteligente *Loxone*, que permite telegestionar de manera centralizada la calefacción de los edificios.

Mediante el Miniserver de *Loxone*, realizando un control y gestión diario por un gestor energético como ALEO se permite optimizar la gestión energética de la calefacción, zonificar los circuitos de calefacción y control de temperaturas, programar en función del uso del edificio (por si hay excursiones, una reunión de tarde, etc.), disminución de las intervenciones de las empresas de mantenimiento, etc. Es obvio que cada uno de los centros que este proyecto ha llevado a cabo tiene sus particularidades, por lo que cada uno de ellos ha sido realizado con soluciones específicas tales como la reducción de iluminación en una determinada zona, instalación de programadores digitales o desconectar ascensores en horarios en los que no se les da uso entre otras cosas.

El proyecto finaliza con los análisis de los consumos y evaluación energética obtenidos en el primer año en 31 escuelas, mostrando los resultados en la *Tabla 3*.

Reducción del consumo eléctrico	Reducción del consumo térmico
-24.16 %	-17.55 %
-368.876 kWh	-1.086.912 kWh
-60.435,09 €	-92.951,67 €

Tabla 3. Resultados consumo eléctrico y térmico

Con el objetivo de presentar por escuela los resultados finales obtenidos, se facilitan los siguientes datos:

- TOTAL Consumo en kWh reducido: -1.455.789 kWh (-46.961 kWh/escuela)
- TOTAL Coste: -153.386,76€ (-4.947,96€/escuela)
- Consumo total (%) = -20,03%

Además, el segundo año dio lugar a un ahorro en el consumo total de energía del -21.88 %, con una participación de 16 escuelas, con lo que se verifica el beneficio de este tipo de sistemas con una inversión media de 1600 € (50% Consell Comarcal d'Osona y 50% ayuntamientos participantes) por lo que el ahorro que se consigue permite amortizarla rápidamente.

3.2.2 Proyecto de automatización en edificio público

En este proyecto, *Loxone* trabaja conjuntamente con uno de sus *partners* más destacados (DomoStock), con el objetivo de automatizar un edificio público [35]. Para ello, se instala y programa el Miniserver en el Dispensario municipal de la Vall de Bianya, obteniendo un 40 % de ahorro en el consumo de la electricidad en el período de dos años mediante el control inteligente del sistema de clima, permitiendo un uso muy eficiente.

El hecho que dio lugar a la instalación del Miniserver fue una auditoria energética, haciendo evidente la necesidad de realizar un control y regulación del sistema de clima al no ser lo suficiente eficiente, pues la climatización se realizaba mediante suelo radiante y antes de este proyecto, se controlaba manualmente.

Una vez iniciado el proyecto, el edificio se divide en cuatro zonas y se definen unas temperaturas objetivo durante los días y horas específicas. Se tiene en cuenta la actividad que se desarrolla en cada zona, por lo que en la zona de la entrada, que es una zona de paso, la temperatura definida es inferior a la zona del médico, porque si no, la temperatura objetivo de dicha zona debería ser superior para incrementar el confort.

El siguiente paso, es la planificación y programación de los horarios en que el sistema de clima debe funcionar dependiendo de las zonas, lo que otorga la suficiente autonomía al sistema como para olvidarse de tener que encender o apagar incluso en fines de semana. También permite modificar los horarios de funcionamiento desde la *app* o desde la web, haciendo muy cómodo su uso. La *Figura 18* muestra la planificación y programación de horarios de dicho proyecto.



Figura 18. Planificación y programación de horarios

Otro de los puntos de control de este sistema, consiste en la adaptación de la temperatura interior en función de la exterior, de manera que si en el exterior hace calor, el sistema de calefacción se activa con menor intensidad.

El resultado final de instalar el Miniserver de Loxone, y una vez realizada la programación de objetivos por zonas y horarios, ha permitido conseguir un ahorro del 41.1 % en el consumo eléctrico del edificio en dos años (de 2013 a 2015). Traduciendo dichos números en dinero, supone un ahorro de 2450€, habiendo invertido en la instalación 3093,43€, por lo que escasos meses después se terminó de amortizar dicha inversión.

Capítulo 4. Equipos IoT en el mercado actual

Se va a realizar un estudio energético, por lo que se ha solicitado el consumo que se produce en una determinada zona de la universidad con el objetivo de que se mejore la eficiencia energética en ella mediante la implantación de una red IoT, focalizando en los siguientes campos de actuación:

- Climatización (frío/calor).
- Iluminación.
- Consumo eléctrico (con posibilidad de mostrar trifásica).

4.1 Smart Energy Monitoring

En este apartado, se van a catalogar aquellos dispositivos con la capacidad de monitorizar el consumo energético dentro de una vivienda, por lo que es extrapolable a los cubos que estamos tratando en el Campus Vera. Cada uno de los productos, realiza este tipo de monitorización de una manera concreta, por lo que valoraremos la capacidad de interoperabilidad con más sistemas dentro del edificio, su correcta visualización en apps móviles y por supuesto, la posibilidad de que dicha información se reciba en tiempo real.

4.1.1 Neurio

Neurio es un sistema de gestión de energía que muestra a un propietario cómo puede reducir su consumo de energía. Permite al usuario realizar un seguimiento en tiempo real del uso de energía mediante *smartphones* o en la web con el objetivo de poder tomar mejores decisiones que conlleven un ahorro de costes, ayudando a frenar el desperdicio de energía de las altas facturas. Con Neurio, se puede visualizar el historial de consumo por día, semana, mes o incluso año y te proporcionar consejos con lo que poder reducir el consumo. Además, su instalación es muy sencilla, se debe colocar en el panel eléctrico sin necesidad de cortar cables y solamente lleva unos 15 minutos.



Figura 19. Esquema funcionamiento Neurio

Ofrece una amplia flexibilidad de comunicación, ya que el Monitor de Energía de Neurio soporta protocolos de comunicación como *Wi-Fi*, *ZigBee*, *XBee* y *RS-485*. Tanto como si en el diseño a realizar se necesita instalar únicamente una única unidad, como si se quiere varias, los estándares de comunicación del Monitor de Energía de Neurio están diseñados para integrarse con otros dispositivos.

Debido a su transformador de corriente personalizado y su sensor de perfil bajo, el Monitor de Energía de Neuroio puede integrarse perfectamente en cualquier panel existente y el acceso de datos está disponible en varias versiones como comentábamos anteriormente, pudiendo así acceder a ellos a través del *Neurio Software*, de la *Neurio Cloud API*, o directamente por internet. La *Figura 20* muestra además un ejemplo del desglose de los datos que la aplicación ofrece.

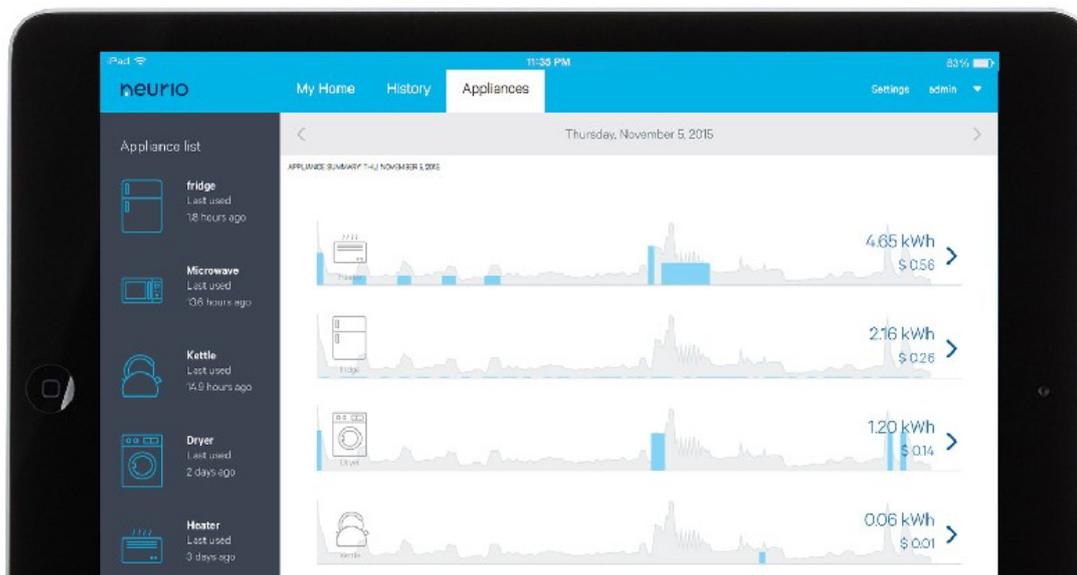


Figura 20. Aplicación móvil de Neuroio

Como se puede observar en la imagen, Neuroio permite sin la necesidad de emplear ningún sensor, desagregar detalladamente la energía de toda la casa por aparatos individuales, permitiendo realizar posteriormente un análisis detallado.

Neurio es una solución efectiva de coste, ya que a diferencia de la mayoría de sistemas de monitorización de energía, este cuesta solo 219.99\$ (197€), lo que lo hace alcanzable a la mayoría de consumidores.

4.1.2 Eyedro Home Electricity Monitors

Es un sistema de monitorización eléctrico que permite ver el tiempo real el uso de electricidad de una casa o de una o varias plantas de un edificio [36]. Eyedro ofrece información oportuna y útil que permite al usuario mantenerse al tanto a diario del gasto que se está realizando de electricidad, haciendo que su uso sea fácil de entender. Por lo tanto, los monitores de energía de Eyedro proporcionan una manera asequible, ya que solo cuesta 199\$ (177.91€), para que los propietarios monitoreen y analicen el uso de energía en su vivienda o lugar de trabajo por ejemplo, pudiendo identificar y solucionar problemas, evitando sorpresas en las facturas.



Figura 21. Monitor de electricidad Eyedro

Hay dos modelos disponibles, el cableado y el inalámbrico, siendo el precio especificado el del inalámbrico, ya que por las dimensiones del edificio objeto de estudio es más cómodo debido a las distancias. Las comunicaciones entre módulos por tanto, se realizan en la banda ISM a una frecuencia de 2450 MHz con línea de visión directa, lo que puede suponer un problema.

La instalación es sencilla, los sensores de corriente se instalan en el panel eléctrico y se conectan al módulo sensor que dispondrá de una fuente de alimentación. El *gateway* simplemente reside en algún lugar que este cerca de una toma de red, por lo que el cable de *Ethernet* que se incluye deberá utilizarse con ese fin para que el monitor comience a transmitir datos.

4.2 *Smart Lightning*

El sistema de iluminación, por lo general va a basarse en bombillas inteligentes o *Smart Lightning*, que ofrecen una solución conectada y son fácilmente accesible mediante *smartphones* y *tablets*. Además, muchas de ellas suelen ser compatibles con dispositivos como Amazon Echo o Google Home, con los que solicitar mediante el control por voz su encendido o apagado sin necesidad de levantarse, proporcionando aún un mayor grado de comodidad. Dado que existen diferentes tipos de modelos en función de su coste, se especificará si precisan de un Hub para poder conectarse con los teléfonos o bien pueden directamente mediante Wi-Fi. Como complemento, se podrían utilizar sistemas de sensores de presencia, pudiendo por tanto apagar las luces en caso de que tras un período de tiempo no se detecte movimiento.

Barriando el mercado sólo se ha conseguido encontrar este tipo de dispositivos, más destinados para *Smart Homes* que para el diseño a implementar. Por tanto, no parecen una buena solución al ser bombillas individuales y debido al tamaño de los edificios y el número de bombillas a reemplazar.

4.2.1 Interruptor *Insight WeMo*®

Este interruptor permite conectar los aparatos electrónicos a la red Wi-Fi mediante su función inalámbrica, por lo que permite encenderlos y apagarlos, establecer notificaciones personalizadas, etc. [37] Así mismo, se puede monitorizar el funcionamiento de los dispositivos electrónicos y visualizar con el *smartphone* o *tablet* su consumo de energía. Esto le permite ser un gran compañero de uso con calentadores, equipos de aire acondicionado de pared, secadores, lavavajillas, luces, etc.

La *App* se puede descargar en tantos dispositivos como se quiera y permite crear reglas y programas personalizados, gracias al funcionamiento con *IFTTT (If This, Then That)* pudiendo así por ejemplo saber cuándo ha terminado una máquina de realizar un proceso concreto y apagarla e ir por tanto a revisar el resultado. Además, permite saber si algún dispositivos, monitor, máquina se ha quedado encendida recibiendo una notificación y por tanto, apagarla desde tu *smartphone*.

Puede ayudar a controlar el coste energético, pues se puede programar el uso de los aparatos conectados y saber cuáles de ellos son los más utilizados. Para ello, en los programas a crear, se puede elegir las horas específicas en que funcionen los dispositivos electrónicos.



Figura 22. Interruptor Insight WeMo y funcionamiento

Su instalación es muy sencilla, ya que simplemente se ha de enchufar a una toma de corriente y conectar en él lo que se quiera monitorizar. Se ha de descargar la *Wemo app* y te mantiene conectado pues como se puede ver en la *Figura 22*, se comunica mediante Wi-Fi con el *router* más cercano (concretamente a una frecuencia 2.4 GHz, protocolo 802.11n). El precio de este producto es 59.99€.

4.2.2 Eve Energy – Switch & Power Meter

El enchufe de *Eve Energy* te permite monitorizar tus dispositivos usando *Siri*, ya que es compatible con el paquete *Apple HomeKit*, por lo que mediante un sencillo toque podrás apagar, encender o conocer cuánto está consumiendo un determinado dispositivo [38]. Para ello, hay que nombrar a cada uno de los dispositivos, puedes crear grupos y controlarlos todos simultáneamente.

La visualización del consumo desde tu smartphone es muy cómoda, permitiendo ver gráficos diarios, mensuales o incluso anuales. Datos con los que se puede mejorar la comodidad y convertir tu lugar de trabajo u hogar en un lugar más inteligente.

La instalación es muy sencilla, ya que Eve se conecta directamente al iPhone o iPad usando la tecnología *Bluetooth Low Energy (BLE)*, sin configurar de manera complicado o sin la necesidad de un *hub*.



Figura 23. Switch & Power Meter de Eve

Funcionar con el *Apple HomeKit* es su carencia más grande, ya que si queremos controlar remotamente este dispositivo y los de su familia, se precisa de *Apple TV*, por lo que sólo aquellos usuarios con móvil y *Apple Tv* pueden hacer uso de este sistema.

El precio de este producto es de 49.95€.

En el período de documentación de diferentes sistemas y dispositivos, se inician unas conversaciones con una empresa llamada *Loxone SL*, con una de sus sedes en Barcelona, la cual ofrece soluciones automáticas y optimizadas a los usuarios tanto en *Smart Homes* como en numerosos proyectos en edificios públicos y colegios, casos similares al que estamos tratando aquí y algunos de los cuales se ha presentado anteriormente. Después de valorar las diferentes opciones presentadas, se escoge ésta como la más adecuada al conformar un sistema completo capaz de abarcar simultáneamente funcionalidades en los tres campos de actuación que se han planteado (iluminación, climatización y control de trifásica para la maquinaria).

4.3 Sistema *Loxone Smart Home*

4.3.1 Miniserver

El núcleo de este sistema es el Miniserver de *Loxone*, ya que permite controlar, comunicar y dar inteligencia a los dispositivos del edificio a tratar, ya sea desde el control de las persianas hasta un control inteligente del sistema de climatización o integración de placas fotovoltaicas [39]. Se va a utilizar en el diseño para el control de la climatización y se le colocarán una serie de extensiones que se presentan a continuación. Además, dispone de apps y un interfaz web gratuitos que permiten un control sencillo y una automatización de cada función inteligente.

Está diseñado para soportar diferentes protocolos (*I-wire*, *Modbus*, *DMX*, etc.), incorpora entradas tanto analógicas como digitales que deberán ser conectadas durante la instalación y una fuente de alimentación de 24 V. En la *Figura 25*, se muestra el Miniserver, el cual es fácilmente instalable por uno de los *partners* de la empresa.

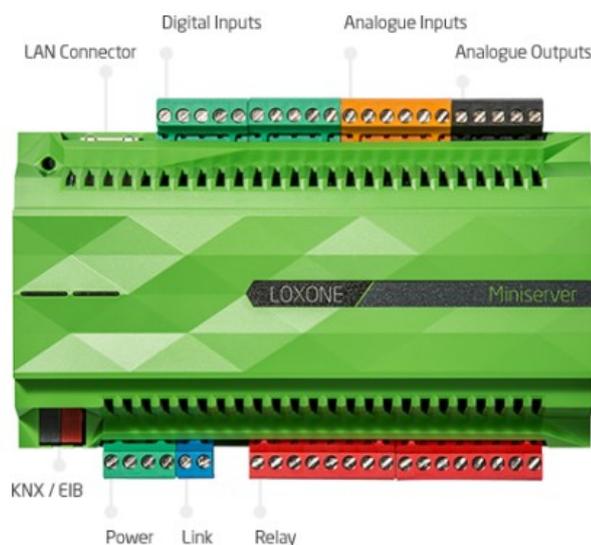


Figura 25. Miniserver de Loxone

Otra de las características del Miniserver de *Loxone*, es la flexibilidad y las extensiones que presenta, hasta un total de 30 diferentes que permitirán ampliar notablemente el sistema y comunicarse con otros protocolos, permitiendo a este sistema adaptarse a cada situación concreta. Dos ejemplos de sus posibilidades de extensión, las cuales estarán incorporadas en el sistema propuesto, serían el *Relay Extension* para el control de circuitos de iluminación y *I-wire Extension* para integrar una solución de control de accesos a través de llaves electrónicas. También tiene extensiones para permitir la comunicación vía radio. La correcta disposición de extensiones está en la *Figura 26*.

En cuanto a la visualización y control, se realiza de una manera sencilla con una disponibilidad completa mediante *apps* gratuitas para dispositivos *Apple* y *Android* y una interfaz web en caso de querer conectarse con un ordenador.

Para su instalación, se recomienda montarla sobre una guía DIN. Debe conectarse la tensión de 24 *Vcc* y la de 230 *Vac* al acabarla, deben conectarse debidamente las entradas y salidas y por supuesto ha de conectarse la red local a la conexión *Ethernet*. Se emplea *Loxone Link* para añadirle las extensiones que se precise, teniendo en cuenta que a la última se le conecta una resistencia de 120 *Ohms* y hay que controlar que la tarjeta Micro SD esté instalada. Una vez terminada la conexión de la fuente de alimentación tanto al Miniserver como a las extensiones, se debe conectar la conexión de datos mediante una conexión de doble cable entre el Miniserver y la siguiente extensión (en la *Figura 25*, la parte azul que pone Link). En caso de estar bien configurada, tras un período de 7 segundos el LED más a la izquierda parpadeará de color verde, en caso contrario de color naranja. El resultado final de la disposición del Miniserver con una única extensión se muestra en la *Figura 26* [40].

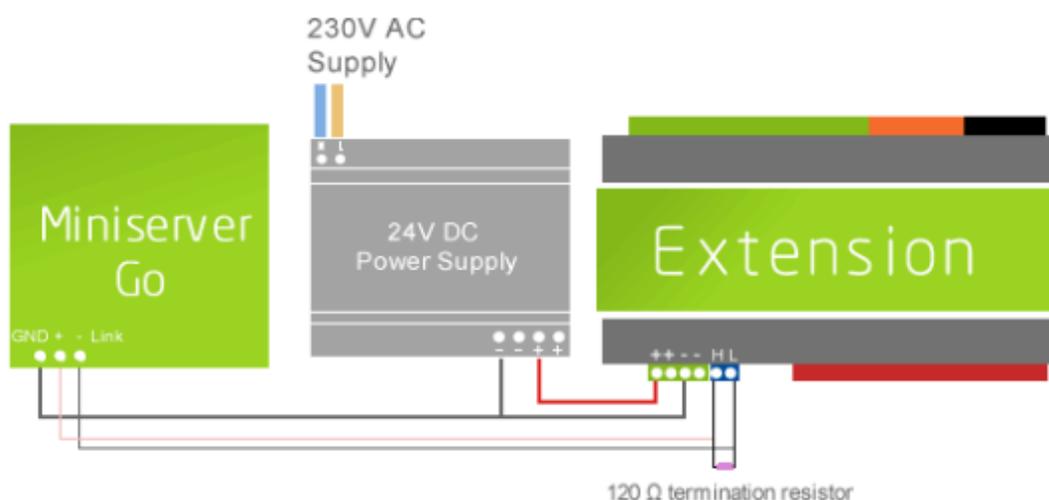


Figura 26. Cómo colocar las extensiones

La última etapa de instalación del Miniserver conlleva activar la fuente de alimentación tras conectar el *Ethernet* como comentábamos anteriormente, por lo que estará en la misma red que su ordenador, para permitir buscar y conectar desde el *Loxone Config* al mismo, quedando configurado dentro de ‘Automatización de dispositivos del hogar’ de *Windows* [41].

4.3.1.1. Relay Extension

Es junto con el Miniserver la solución perfecta para realizar el control de iluminación, persianas, calefacción, sistema de alarmas, etc. [42] Todo esto supone un valor añadido a tener en cuenta, ya que en el diseño solo se está actuando sobre tres concretos. Por ejemplo, el sistema de climatización puede programarse conjuntamente con el control de las persianas, donde para ello primero habría que introducir los datos de orientación del edificio, para poder gestionar adecuadamente la actividad solar, algo que en España sería muy productivo. El diseño propuesto no tiene persianas, lo que desaprovecha este factor.

Con un único *Relay Extension*, se puede controlar 7 persianas o bien 14 circuitos de iluminación, por lo que se utilizará el control sobre los 14 circuitos para el control de la iluminación.

La instalación de este dispositivo es de las llamadas *plug & play*, por lo que solamente conectándolo al Miniserver, estará listo para ser programado, por tanto habría que seguir los mismos pasos que con el Miniserver, ponerlo en el carril DIN, hacer un puente desde el Miniserver para conectar los 24V DC al *Relay Extension*, después las salidas y las entradas, conectar el *Loxone Link* para la comunicación de datos y no

olvidarse de la resistencia de 120 *Ohms* si fuera el último, aunque en nuestro caso no lo es. Al igual que con el Miniserver, debemos comprobar que se enciende el LED verde tras conectar la tensión de 24V a la instalación.

Dispone de una extensión concreta de 14 relés con los que así poder controlar iluminación, calefacción y la posibilidad comentada de persianas, con una potencia de 16 A por relé [43].

4.3.1.2 *Tree Extension*

Supone la base de la tecnología que lleva su nombre, es decir, la Loxone Tree, permitiendo la conexión de hasta 100 dispositivos Tree mediante dos líneas de cableado en forma de árbol [44]. Una vez conocidos estos datos, y sabiendo que se le van a conectar en los edificios 8B y 8G 60 detectores de movimiento Tree y 16 actuadores válvula Tree, con uno por edificio será suficiente. En el caso del edificio 8E, también con uno es suficiente, ya que se le conectan 80 detectores de movimiento y 16 actuadores del mismo tipo.

El cableado es fácil y escalable, ya que presenta dos terminales que permiten la conexión de hasta 50 periféricos por extensión, haciendo el total de 100 que se comentaba con anterioridad. Al ser una topología en árbol, es más fácil llegar a todos los puntos deseados, ahorrando hasta un 80% en cableado. La longitud de cableado máxima es de 500 metros por línea, por lo que no supone ningún problema en nuestro diseño. Además, todos los elementos Tree a instalar son *plug & play*.

La instalación se realiza como en el resto de extensiones, por lo que hay que seguir los mismos pasos. Ponerlo en el carril DIN, hacer un puente desde el Miniserver para conectar los 24V DC al *Tree Extension*, después las salidas y las entradas, conectar el *Loxone Link* para la comunicación de datos y comprobar el estado del LED.



Figura 27. *Tree Extension*

4.3.1.2.1 Actuator Válvula *Tree*

El actuador válvula *Tree* permite realizar un control eficiente de los válvulas de los radiadores, distribuidores de suelo radiante, etc. [45] Utiliza la tecnología *Loxone Tree*, por lo que el cableado es rápido, sencillo y flexible. De esta manera, en el diseño propuesto, donde cada una de las plantas, se ha distribuido en 4 zonas de entre 150 y 200 metros cuadrados, dispondrá de un circuito gobernado con una de estas válvulas y así se podrá controlar la temperatura de cada una de las zonas. Esto hace un total de 16 actuadores por edificio, ya que disponen de 5 plantas pero una de ellas es un parking.

Junto con el Miniserver, que es el cerebro del sistema, permite gestionar la calefacción desde los radiadores y no requiere de ningún tipo de mantenimiento.



Figura 28. Actuadores válvula *Tree* instalados

4.3.2.1.2 Detectores de movimiento *AIR* o *TREE*

Existen dos tipos de detectores de movimiento en *Loxone*, el tipo *AIR* o el tipo *TREE*. El primero es inalámbrico mientras que el segundo es cableado [46]. Ambos permiten ampliar las funciones del sistema inteligente, permitiendo mejorar los resultados en el ahorro energético y facilitar las funciones del día a día, consiguiendo que el edificio en el que se instale el sistema sea aún más automático. Algunos de los campos sobre los que permiten actuar son la iluminación, climatización, ahorro energético, alarma, sistema de música, etc. En el sistema a implementar, el uso que se le va a dar engloba los tres primeros usos.

En el caso de la iluminación, permite el encendido del mismo en una zona de paso por ejemplo, por lo que se evitan los costes innecesarios que supondría mantenerlas encendidas. En el de la climatización, en caso de no detectar a nadie durante un largo período, se regula la temperatura con el objetivo de ser más eficientes en el gasto energético y económico. En cuanto al ahorro energético, la maquinaria, los televisores o equipos de música que se quedan en *Standby*, se pueden apagar automáticamente si no se detecta movimiento durante un período.

Ambos tipos disponen de un área de detección circular con un ángulo de visión de 110°. Asimismo, el diámetro de detección es de 8 metros en caso de una instalación entre 3 y 5 metros. Esto permite realizar un dimensionado en el anexo, en la *Tabla 2.3*. También ambos tienen un sensor de luminosidad de 0.045-188.000 Lux. Destacar que el sistema *AIR* opera a una frecuencia de 868 MHz o 915 MHz en la Banda ISM de la Región 2.

En este diseño, se ha escogido el modelo cableado ya que el modelo inalámbrico funciona con dos pilas alcalinas y se va a desplegar una cantidad considerable de los mismos.

El detector de movimiento *Tree*, funciona con la tecnología *Loxone Tree*, la cual ha sido desarrollada especialmente para la integración de sensores y demás elementos de la periferia. Se corresponde con un sistema basado en bus, que permite un cableado más fácil, rápido y flexible.

La disposición en árbol, hace que se ahorre hasta un 80% en la tirada de cable durante la instalación al ir el cableado de dispositivo a dispositivo, permitiendo hasta 50 dispositivos periféricos con la tecnología *Loxone Tree*. Además, los detectores de movimiento *Tree* son dispositivos *plug & play*, por lo que se tardan 20 segundos más o menos por cada uno de ellos. Están 100% integrados con todos los dispositivos de la *Smart Home* de *Loxone*. Asimismo, por motivos de seguridad, la comunicación entre los productos *Tree* está cifrada [46] y [47].

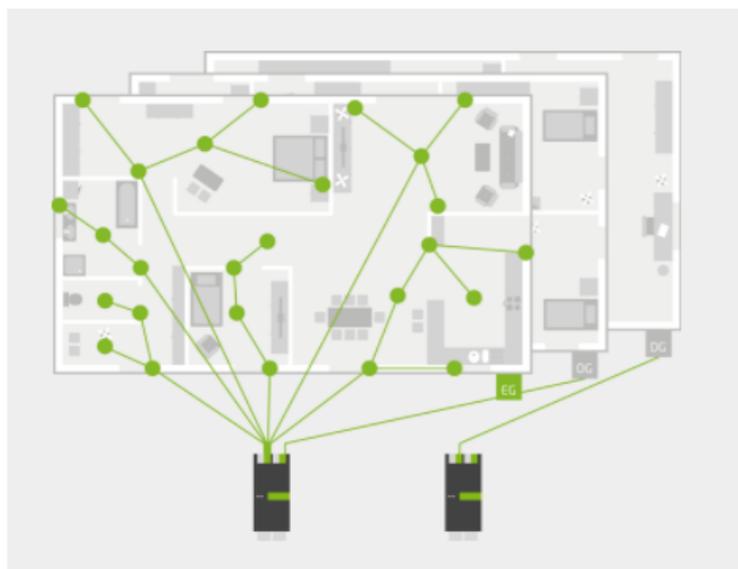


Figura 30. Ejemplo distribución detectores de movimiento Tree

4.3.1.2 1-Wire Extension

Es la extensión perfecta para facilitar la instalación de hasta 20 sensores en el sistema [48]. Es muy fiable y de bajo precio si tenemos en cuenta la cantidad de sensores que permite incorporar al sistema, además de ser fácilmente instalable y que permita realizar un control de accesos con nuestro Miniserver mediante llaves electrónicas *iButton*.

Dentro de las funcionalidades que permite, está el control de temperatura de las estancias que se precise, pudiendo distribuirlos por toda la planta o toda la vivienda. Para distribuir posteriormente los sensores de temperatura *1-wire*, ha de tenerse en cuenta las siguientes instrucciones para garantizar prestaciones óptimas: cable de sección mínima de al menos 0.6 mm (como por ejemplo CAT5), que la longitud máxima de cable sea de 100 metros y no sobrepasar los 20 sensores. Además, la topología elegida determinará un mejor o peor resultado, ya que en una distribución en la que haya mucho metro de cable no se obtendrán los mismos resultados que en una con menos.



Figura 31. 1-Wire Extension

En el diseño propuesto, se van a necesitar un total de 25 sensores, por lo que se precisan 2 extensiones por edificio al exceder el total de 20 sensores.

Para añadir una o varias extensiones en *Loxone Config*, hay que clicar en ‘Buscar Periféricos’, por lo que una vez instaladas todas hemos de añadirlas y en el caso de estos sensores identificarlos correctamente con los nombres de su localización [48].

4.3.1.2.1 Sensores de temperatura *I-Wire* [49]

Se utilizarán 25 sensores repartidos en las cinco plantas, localizándose cinco de ellos en el exterior y realizando una media de temperatura de los mismos, que se utilizará para compararla con el interior del edificio.

Estos sensores son extremadamente pequeños, concretamente más que una moneda de dos euros, como se puede apreciar en la *Figura 27*, por lo que se pueden colocar en cualquier lugar.

Se pueden conectar a cualquier dispositivo *I-Wire* y entre las aplicaciones para las que está diseñado, destaca la aplicación para la que será empleada en el sistema propuesto, la medición precisa de temperatura en cualquier tipo de habitación o la realización de registros de temperatura mediante la conexión de dispositivo *I-Wire*. La instalación es muy sencilla, sin ningún tipo de soldaduras, por lo que el montaje con cinta adhesiva de doble cara es rápido y posteriormente hay que conectar el cable directamente al sensor. Están diseñados para un uso prolongado y tienen una precisión de $\pm 0.5^\circ \text{C}$.

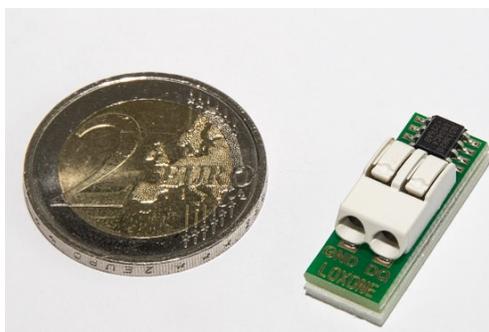


Figura 32. Sensor de temperatura

4.3.1.2.2 Contacto de puerta y ventana *Air*

Estos contactos se van a utilizar exclusivamente en las ventanas, ya que permiten conocer el estado de apertura y poder graduar o desactivar el sistema de climatización, evitando aumentos en la factura [50]. Para ello, utilizan la tecnología *Loxone Air* vía radio, a unas frecuencias concretas de 868 MHz (Banda europea SRD) y 915 MHz (Banda ISM de la Región 2).

Este dispositivo, si detecta la apertura de una ventana o puerta cuando el edificio está ausente, envía una alerta o aviso en forma de llamada telefónica, correo electrónico o alarma sonora. Además, se puede comprobar el estado de todas las puertas o ventanas en las que se tengan instalados en cualquier momento y lugar mediante la *App* o en la *web*.

Como se ha dicho, funciona con *Loxone Air*, por lo que su instalación es muy sencilla al no tener que cablear nada. Simplemente con un adhesivo que ya incorpora, se coloca donde se precise. Dispone de un sensor magnético que se pega de la misma manera, de forma que cuando se abre una ventana, es detectado de inmediato.

En el dimensionado de este dispositivo, se ha estimado unos 16 por planta en los edificios 8B y 8G, los cuales son más pequeños, y 20 en el edificio 8E, haciendo un total de 80 y 100 respectivamente.

En la *Figura 33*, podemos ver uno de estos dispositivos correctamente instalado en una ventana.



Figura 33. Contacto de ventana Air

4.3.1.3 Modbus Extension

Esta extensión permite concretamente la lectura de contadores como son el de electricidad, gas o agua, recopilar datos estadísticos que posteriormente pueden analizarse y el registro de datos sobre el consumo para una gestión eficiente [51].

En cuanto a la lectura del contador, conectando la *Modbus Extension* al Miniserver se puede enviar comandos a un dispositivo con interfaz de *Modbus*, pudiendo entonces transmitir datos. Es con el Miniserver con el que se pueden leer datos de contadores como gas, electricidad y agua. Otra de las prestaciones de esta extensión, es la capacidad de controlar hasta 32 dispositivos *Modbus*, sin que el rendimiento se vea afectado.

Para la instalación, se debe repetir el mismo proceso que para el resto de extensiones, ponerlo en el carril DIN, hacer un puente desde el Miniserver continuando por la *Relay Extension*, la *1-Wire Extension* y así conectar los 24V DC al *Modbus Extension*, después conectar el *Loxone Link* para la comunicación de datos y no olvidarse de la resistencia de 120 *Ohms* puesto que es la última extensión. Volver a comprobar el LED verde y por último, gracias al software de configuración *Loxone Config*, dicha tarea se realiza fácilmente y en escaso tiempo, en un proceso en que en pocos minutos se programan los comandos para ser enviados y recibidos [52].



Figura 34. Modbus Extension

4.3.1.3.1 Contador de energía Modbus Trifásico

Este equipo sirve para el control del consumo de trifásica, y se empleará para controlar maquinaria. Es un contador de energía bidireccional que permite la visualización de a potencia activa, reactiva, tensión y corriente por fase, así como la potencia activa o reactiva para todas las fases [53]. Para ello, dispone de una pantalla LCD de 7 dígitos.

El contador *Modbus* facilita el uso eficiente de los recursos en casa y ayuda a ahorrar energía. El lugar de instalación es en el cuadro de distribución eléctrica.

El uso principal que se le va a dar como se comentaba es para el seguimiento y evaluación del consumo de energía trifásica, ya que la información que permite obtener es precisa, permitiendo leer tanto la electricidad consumida como la producida si se diera el caso.

La instalación se realiza en el cuadro de distribución eléctrica, tal y como se puede observar en el esquema de la *Figura 35* y es muy fácil de integrar en la *Smart Home* gracias a la pasarela *Modbus* y la plantilla de energía en el software *Loxone Config*.

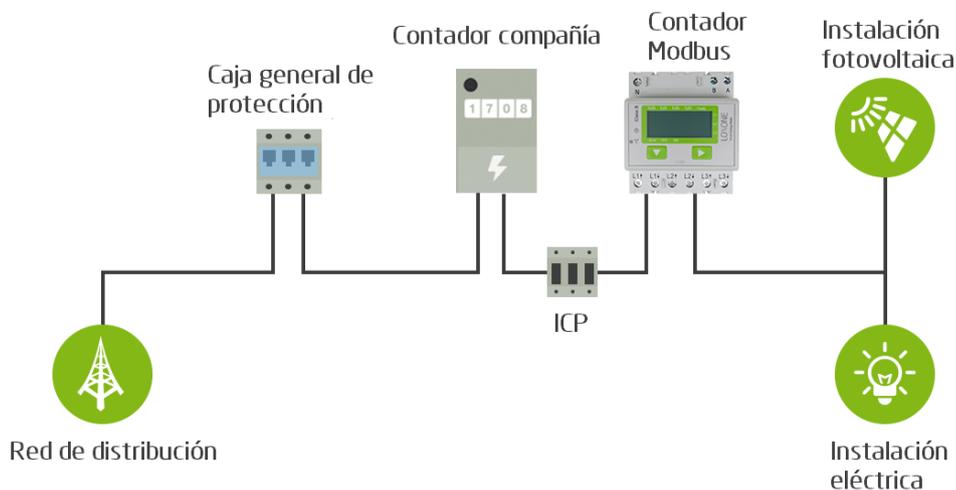


Figura 35. Contador trifásico instalado en el cuadro eléctrico

Capítulo 5. Planificación red de acceso óptica IoT en el Campus de Vera

5.1 Establecimiento de bases y objetivos del proyecto

Se elige la Ciudad Politécnica de la Innovación (CPI), como localización para desarrollar una red de acceso óptica IoT que se anticipará a las necesidades del usuario, pues será capaz de monitorizar el consumo de potencia, la temperatura en las aulas e iluminación entre otras cosas y consiguiendo de esta manera realizar una gestión eficiente de energía. Concretamente se realiza el diseño sobre los edificios 8B, 8E y 8G.

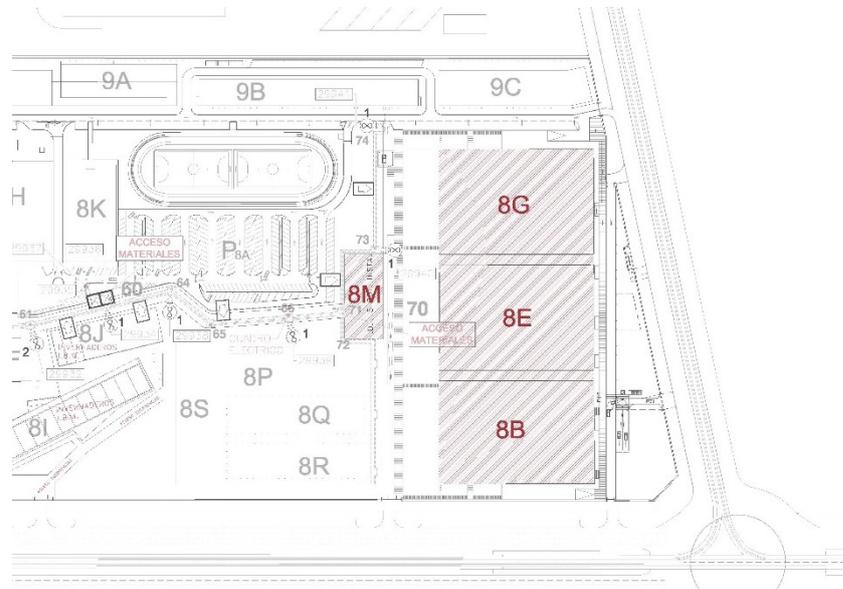


Figura 24. Edificios a tratar CPI

El diseño, consiste en combinar el sistema inteligente de *Loxone* y una transmisión sobre una red de acceso óptica, por lo que a pesar de que supone un esfuerzo económico mayor, dicha infraestructura se podrá utilizar en un futuro a ‘corto’ plazo para múltiples aplicaciones relacionadas con las *Smart Universities*, por lo que simplemente se estaría anticipando su inversión.

5.2 Diseño y dimensionado del sistema IoT

El diseño se corresponde con el explicado en el punto 4.3 y para la realización del dimensionado, se ha tenido en cuenta factores como cuántas extensiones soporta el *Miniserver*, cuántos sensores permite conectar una determinada extensión o cuántos metros cuadrados tiene una planta entre otras cosas.

Por ello, y puesto que los edificios 8B y 8G se ha estimado que tienen una superficie por planta de 600 m² (repartidos en cuatro zonas de 150m²), es necesario para ellos:

Un único *Miniserver* al soportar hasta 30 extensiones, al que se van a conectar cuatro extensiones distintas. La primera de ellas es la *Relay Extension*, que soporta 14 circuitos de iluminación, por lo que se ha decidido poner 5, una por planta. La segunda, es la *1-Wire Extension*, que permite la conexión de 20 sensores, por lo que se necesitan 2 ya que se van a desplegar 25 sensores de temperatura (6 por planta de trabajo). La

tercera, es la *Tree Extension*, que soporta hasta 100 dispositivos *Tree*. A ella, se conectan 4 actuadores válvula *Tree* por planta, ya que cada uno de ellos gobierna el circuito de calefacción de cada zona en una planta, haciendo un total de 16 y además 60 detectores de movimiento *Tree*, los cuales ya se ha tenido en cuenta la superficie de detección como se ha explicado anteriormente y se puede ver en la *Tabla 2.3 del anexo*. La cuarta y última extensión, a la que hay que conectarle una resistencia de 120 *Ohms* es la *Modbus Extension*. A ella se conecta una pasarela para el control del aire acondicionado, y así mismo hay que conectar un contador de energía trifásico. Sólo se precisa uno de cada.

Diseño para Edificio 8B y 8G			
Producto	Cantidad	Coste/Ud. (€)	Coste total(€)
Miniserver	1	502,15	502,15
Relay Extension	5	477,95	2389,75
Detector de movimiento Tree	60	90,15	5409
1-Wire Extension	2	170,42	340,84
Detector de movimiento Air	0	100,73	0
Sensor de temperatura 1-Wire (pack x5)	5	48,28	241,4
Contacto de ventana Air	80	65,34	5227,2
Modbus Extension	1	229,9	229,9
Contador de energía Modbus trifásico	1	301,29	301,29
Actuador Válvula Tree	16	79,26	1268,16
Tree Extension	1	99,83	99,83
Pasarela Intesis	1	450	450
Suma coste total (€)			32919,04

Tabla 4. Dimensionado para edificios 8B y 8G

En el edificio 8E, que tiene una superficie por planta de 800 m² (repartidos en cuatro zonas de 200m²), únicamente se aumenta el número de contactos de ventana por planta a 25, haciendo un total de 100 y el número de detectores de movimiento por planta calculado previamente también, siendo un total de 80.

Diseño para Edificio 8E			
Producto	Cantidad	Coste/Ud. (€)	Coste total(€)
Miniserver	1	502,15	502,15
Relay Extension	5	477,95	2389,75
Detector de movimiento Tree	80	90,15	7212
1-Wire Extension	2	170,42	340,84
Detector de movimiento Air	0	100,73	0
Sensor de temperatura 1-Wire	5	48,28	241,4
Contacto de ventana Air	100	65,34	6534
Modbus Extension	1	229,9	229,9
Contador de energía Modbus trifásico	1	301,29	301,29
Actuador Válvula Tree	16	79,26	1268,16
Tree Extension	1	99,83	99,83
Pasarela Intesis	1	450	450
Suma coste total (€)			19569,32

Tabla 5. Dimensionado para edificio 8E

Este dimensionado, hace que el coste total de todos los dispositivos sea de 52.488,36€. A este coste, hay que sumarle un 30% del valor en concepto de horas de programación, por lo que asciende a 68.234,868€. Se puede ver todo detallado en la *Tabla 2.4 del anexo*. Habrá que comprobar su viabilidad con las soluciones que se proponen y ver en cuánto tiempo se amortiza la inversión.

En la *Figura 25* se puede ver una de las plantas del edificio 8B, con la disposición y conexión de los correspondientes sensores de temperatura 1-wire, detectores de movimiento *Tree*, contactos de ventana *Air* y actuadores válvula *Tree*. Así mismo, se detalla dónde se coloca el *Miniserver* y sus extensiones.

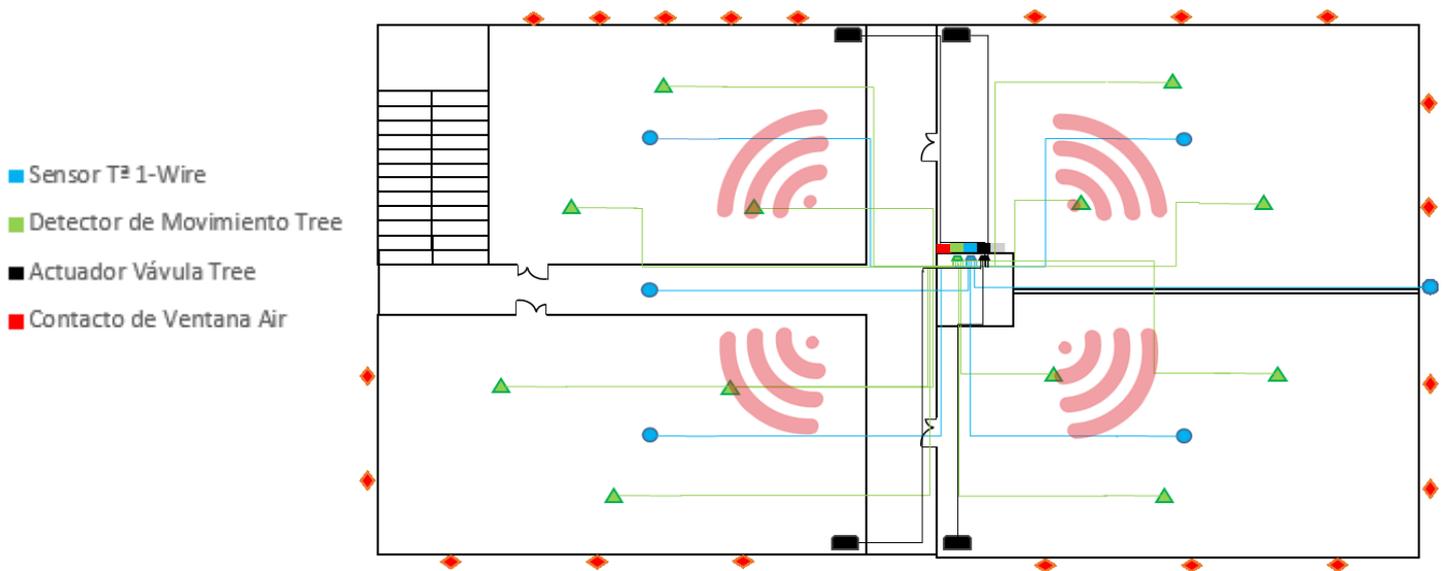


Figura 25. Disposición sensores y actuadores Edificio 8B

5.3 Diseño y dimensionado de la red óptica

Además, se ha considerado indispensable el uso de redes pasivas ópticas (PON), pues permitirá conectar redes IoT separadas dentro del campus y participará en la agregación y el procesamiento del tráfico. Se ha seleccionado PON por su eficiencia energética en las redes de acceso.

La arquitectura propuesta, consiste en tres edificios diferentes en los cuales se ha desplegado tres redes de acceso óptico IoT y se han conectado internamente mediante PON ya que supone un gran aliado en cuanto a los requisitos de escalabilidad, interoperabilidad y seguridad que las redes IoT precisan.

Como se ha dicho, en la arquitectura propuesta todas las conexiones se realizan sobre fibra óptica, por lo que se han empleado transmisores y receptores ópticos encargados de la conversión electro-óptica y óptico-eléctrica para poder transmitir sobre tramos de fibras cortos. Además, se ha hecho uso de *splitters* pasivos 1xN para la distribución de potencia que los distintos sensores y detectores usados en el sistema precisan.

La localización de los distintos elementos ópticos empleados se detalla a continuación:

- *Transceivers* electro-ópticos a la salida de las diferentes extensiones del Miniserver.
- *Splitters* pasivos para la distribución de detectores de movimiento y sensores de temperatura.
- Receptores óptico-eléctricos para la comunicación con éstos últimos.

Además, se detallan las principales características de los componentes ópticos empleados destacando el funcionamiento de todo el sistema en tercera ventana (1550 nm), teniendo en las *Tablas 7 y 8 del Anexo los datasheets* detallados:

- *Transceivers*: CWDM Tx & Rx, DFB/PIN, Tx. Power [-3,-2] dBm, Sens. Rx \leq -24 dBm.
- Fibra óptica: SSMF, pérdidas 0.2 dB/km.
- *Splitters*: todos ellos con conector tipo SC/APC.
 - 1x2: IL=3.7 dB
 - 1x4: IL=6.8 dB
 - 1x8: IL=10 dB
 - 1x16: IL=16 dB

Cabe comentar que debido al escaso ancho de banda que precisan las soluciones que se proponen para la gestión eficiente de la energía, los dispositivos ópticos a elegir no disponen de un gran ancho de banda.

En la *Tabla 6*, se muestra cómo se ha realizado el dimensionado de los distintos tramos de fibra óptica que se despliegan en los distintos edificios. También se ha hecho un recuento del número total de dispositivos que cada extensión debe conectar para saber el número de puertos que los *splitters* pasivos precisaban, siendo cada uno diferente (1x2, 1x4, 1x8 o 1x16). Por último, se ha visto cuántos transmisores y receptores ópticos se necesitan en total para realizar las correctas conversiones E/O/E.

		Conexión a								Tramos Longitud cable fibra (km)	Tipo Splitters 1550 nm	Uds.	Uds. Transceivers 1550 nm
		Miniserwer	1-Wire Ext.	Sens. T*(m/conex.)	Tree Ext.	Válvula (m/conex.)	Det. Moviv (m/conex.)	Modbus Ext.	Contador(m/conex.)				
EDIFICIO 8B/G	Planta -1	0	0	0	12	0	7	0	0	0,084	1x16	1	13
	Planta B	0	6	10	4+12	8	7	0	0	0,176	1x8, 1x4 y 1x16	3	25
	Planta1	1	6	10	4+12	8	7	1	23	0,199	1x8, 1x4 y 1x16, 1x2	4	27
	Planta 2	0	6	10	4+12	8	7	0	0	0,176	1x8, 1x4 y 1x16	3	25
	Planta 3	0	6	10	4+12	8	7	0	0	0,176	1x8, 1x4 y 1x16	3	25
EDIFICIO 8E	Planta -1	0	0	0	16	0	9	0	0	0,144	1x16	1	17
	Planta B	0	6	12	4+16	10	9	0	0	0,22	1x8, 1x4 y 1x16	3	29
	Planta1	1	6	12	4+16	10	9	1	23	0,243	1x8, 1x4 y 1x16, 1x2	4	31
	Planta 2	0	6	12	4+16	10	9	0	0	0,22	1x8, 1x4 y 1x16	3	29
	Planta 3	0	6	12	4+16	10	9	0	0	0,22	1x8, 1x4 y 1x16	3	29
										2,669			

Tabla 6. Dimensionado de los tramos FO, splitters y *transceivers*

Todo esto ha permitido realizar una estimación del coste que supondría el despliegue de la parte óptica, buscando en diferentes páginas web el coste por kilómetro de la fibra óptica, el de los splitters pasivos 1xN y el de los *transceivers* ópticos.

Como se ha obtenido un total de 2,669 kilómetros de fibra tal y como se puede apreciar en la *Tabla 6*, se compran 3 kilómetros de FO por el precio de 2.880 USD (2.520,864€). Así mismo, este coste se suma al número de *splitters* obtenido y al de *transceivers* dando finalmente un resultado total de esta parte óptica de 28.662,57€. Además, en concepto de instalación se le añade un 15% del valor, resultando 32.961,96€.

Como se explicaba anteriormente, aunque supone una inversión de cara al futuro, se podrá aprovechar para ampliar la funcionalidad del sistema con una mayor cantidad de aplicaciones *Smart* en la universidad gracias al CWDM, pues permite trabajar sobre múltiples canales.

	Fibra óptica		Splitters		Tranceivers EOE	
	http://www.fs.com/products/33329.htm		http://www.fs.com/products/11620.html		http://www.fs.com/products/27464.html	
Precio	2880	2520,864	666	582,9498	29200	25558,76
Unidad	usd	€	usd	€	usd	€

Total diseño óptico (€)	28662,57
-------------------------	----------

Tabla 7. Coste red óptica

5.4 Soluciones IoT para la gestión eficiente de energía

Una vez conocidos todos los dispositivos del diseño a implementar y su funcionamiento, se piensa en posibles soluciones para las que este sistema está preparado en cuanto a la gestión eficiente de la energía, consiguiendo por tanto un ahorro sustancial en la factura de los edificios del CPI. Como se ha ido diciendo a lo largo del trabajo, se busca conseguir ahorros en cuanto a la iluminación, aire acondicionado, calefacción y consumo de la maquinaria y el resto de cargas monofásicas. El reparto de estos consumos se realiza en las *Tablas 2.1, 2.2 y 2.3 del Anexo* a partir de los consumos proporcionados por la universidad.

El escenario en el que se está analizando este diseño, es el de jornada laboral típica, es decir, 20 días al mes y por lo general, en cuanto a horarios de climatización se ha tomado el facilitado por un responsable de la escuela, siendo éste de 12 horas, de 07:30 a 19:30h.

5.4.1 Iluminación

En el campo de la iluminación, para conseguir ahorros hay que apoyarse en el uso de los sensores de movimiento *Tree*. Se supone que la jornada laboral típica es de 08:00 a 20:00h.

Una de las soluciones que se propone, consiste en utilizar los sensores de movimiento para encender las luces de zonas especiales, como pueden ser los pasillos o la zona correspondiente al parking, evitando por tanto que estén toda la jornada encendidas. Para ello, se obtiene el porcentaje de superficie que corresponde al pasillo respecto de cada una de las plantas en los edificios, así como el parking para así obtener el consumo de iluminación de dicha parte y poder trabajar con él. Teniendo en cuenta que la jornada laboral es de 12 horas y que de ellas 10 horas estarían las luces encendidas (se tiene en cuenta un apagado de 2 horas a la hora de comer), en 4 de las 12 horas no hay movimiento, correspondiendo a las 8 horas restantes (bastante conservadora esta estimación) las horas de entrada, comida, salida y movimientos de coches.

Con las 4 horas de ahorro diario, se consigue un 40% al mes, pero sólo se consigue un ahorro de 63.84€ en cada uno de los tres edificios. Esto es debido al pequeño consumo que supone la iluminación sobre el resto de campos y hace que no sea solución factible, ya que sólo el gasto en mantenimiento durante el año sería superior al ahorro conseguido, además de la enorme diferencia que existe respecto el despliegue del sistema.

Como **única solución** viable, se establece que fuera de la jornada laboral típica, cuando haya luces encendidas y el sensor no detecte movimiento, se realice un apagado general de la zona iluminada, ya que hay cuatro zonas por planta de 150 o 200 metros cuadrados cada una.

Se establece una estimación de ahorro de 30 minutos al día, lo que se explica de manera razonable como que una vez al mes al menos una de las 16 zonas de trabajo se queda encendida toda la noche. Corresponde con 10 horas de ahorro al mes, que respecto a las 200 horas de funcionamiento, es un 5% de ahorro, consiguiendo 1.053,89€ de ahorro en cada uno de los edificios 8B y 8G y 2.673,35€ en el edificio 8E, haciendo un total ahorrado al año de 4.781,13€. Esto se puede ver en las *Tablas 3.1, 3.2 y 3.3 del anexo*.

En la *Tabla 7*, se puede ver mes a mes que hay un ligero ahorro hasta conseguir los 4781.13€.

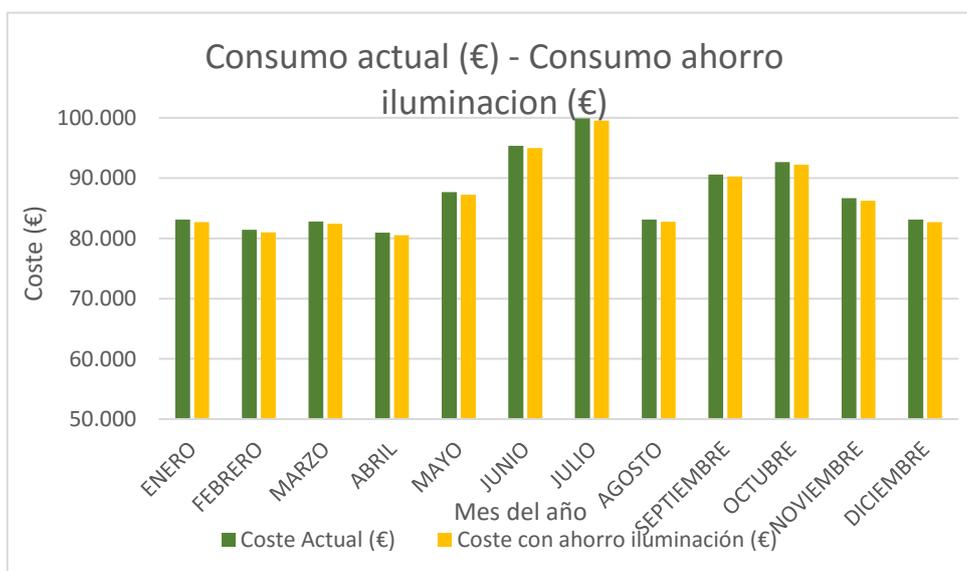


Tabla 8. Comparación gasto actual Vs nuevo en iluminación

5.4.2 Aire Acondicionado

En este campo de actuación se utilizan principalmente los sensores y actuadores que se han instalado en el diseño. Estos son los sensores de movimiento *Tree* y los contactos de ventana *Tree*. En cuanto al horario de climatización se ha tomado el facilitado por un responsable de la escuela, siendo éste de 07:30 a 19:30h.

Como **primera solución**, haciendo uso de los detectores de ventana, se detecta la apertura de las mismas para poder así regular la temperatura del aire acondicionado o bien apagarlo para evitar consumos innecesarios. Además, se realiza una comparativa de la temperatura interior y exterior del edificio, permitiendo que cuando la temperatura exterior sea muy elevada por ejemplo, regular la temperatura interior para no tener que enfriar tanto, pues la temperatura de confort en dicho caso será de unos grados de diferencia. Esto se realiza mediante los sensores de temperatura repartidos por todo el edificio, con los que se consigue la temperatura interior, y la del exterior se consigue en cada edificio con cinco sensores repartidos alrededor de la fachada, pues cada uno de ellos puede encontrarse en una situación diferente (unos a la sombra y otros al sol por ejemplo), y se realiza una media de temperatura de los mismos para conseguir una temperatura más realista.

Se estima un ahorro con la combinación de estas dos soluciones de 1 hora al día, con lo que hace un total de 20 horas mensuales, consiguiendo un ahorro del 8.33% respecto a las 240 horas que funciona actualmente. Esto se traduce en un ahorro total anual de 2.477,31€ en el edificio 8B, 5.899,56€ en el 8E y 2.037,39€ en el 8G, haciendo un total de los tres edificios de 10.413,97€, tal y como se puede apreciar en las *Tablas 4.1, 4.2, 4.3 y 4.4 del Anexo*.

Como **segunda solución**, se establece un horario fijo de 08:30 a 13:30h en el que el aire acondicionado funciona en todos los edificios de manera inteligente, por lo que si a primera hora tiene registrada una temperatura de 25°C en los últimos días, automáticamente al encenderse establece dicha temperatura. Además, el horario de tardes se ha cambiado a un uso manual además de realizar un control con los sensores de presencia. Comparándolo con el horario actual, que es de 07:30 a 19:30h, se retrasa una hora por la mañana ya que es la hora más fresca del día y podemos prescindir de ella, y se corta a la hora de comer para que por la tarde, se ahorre respecto a aquellas personas que no vuelvan a su puesto por cualquier motivo (quizá tenga despacho en otro edificio) por lo que con el sensor de presencia se detecta ausencia de movimiento y se apaga el aire. Ocurre lo mismo fuera del horario de trabajo, por si por error se deja encendido.

Todo esto suma una estimación de 3 horas de ahorro al día, lo que supone un 25% de ahorro al mes, haciendo un total de 31.241,90€ como se puede observar en la *Tablas 4.5 del Anexo* resultado a partir de *4.1, 4.2 y 4.3 del Anexo*. Por tanto, se consigue una ahorro estimado total resultado de juntar ambas soluciones de 41.655,87 €, en la *Tabla 4.6 del Anexo*.

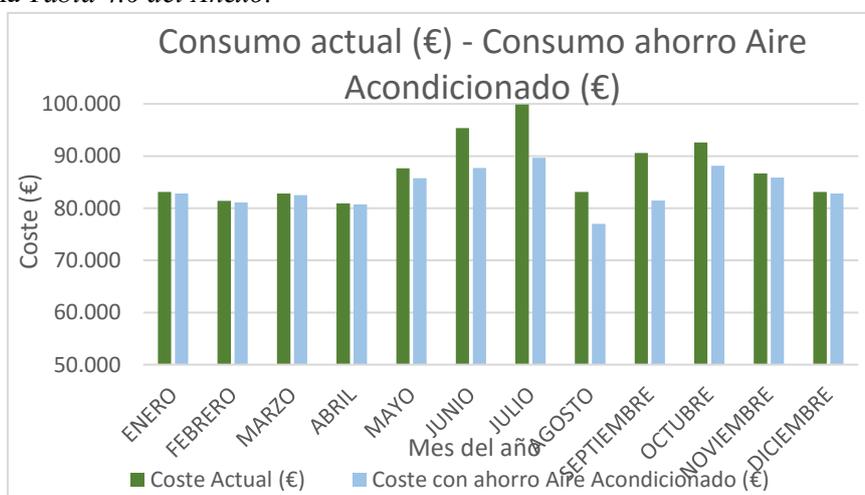


Tabla 9. Comparación gasto actual Vs nuevo en aire acondicionado

En la *Tabla 9* se muestra la comparación entre el consumo actual de los tres edificios y el consumo teniendo en cuenta el ahorro acumulado producido por las diferentes soluciones planteadas en cuanto al aire acondicionado, observando que el ahorro principal se produce en los meses correspondientes al verano.

5.4.3 Calefacción, maquinaria y resto de cargas

Una vez calculado el consumo que supone la iluminación y el aire acondicionado, existe una tercera partida en la que se incluye la calefacción, el consumo realizado por la maquinaria y por último el consumo del conjunto de cargas monofásicas como pueden ser el ordenador, monitor, etc. Para separar la calefacción del resto del consumo, se estima que solamente funciona los 6 meses de frío, es decir, desde noviembre hasta abril, repartiendo un 40% para calefacción y un 60% para maquinaria y resto de cargas (esto se puede apreciar claramente en las *Tablas 5.1, 5.2 y 5.3 del Anexo*). El resto del año la calefacción estará apagada, por lo que el total del consumo corresponde al último apartado. Se proponen dos soluciones en cuanto a la calefacción y una en cuanto a la maquinaria y resto de cargas:

Como **primera solución**, se repite el procedimiento a seguir en la primera solución para el aire acondicionado, de nuevo haciendo uso de los detectores de ventana y realizando una comparativa de la temperatura interior y exterior del edificio mediante los sensores de temperatura, permitiendo que cuando la temperatura exterior sea muy baja, regular la temperatura interior para no tener que calentar tanto, pues la temperatura de confort será de varios grados de diferencia.

Se estima un ahorro de 45 minutos al día, con lo que hace un total de 15 horas mensuales, consiguiendo un ahorro del 6.25% respecto a las 240 horas que funciona actualmente. Esto se traduce en un ahorro total anual de 11.058,45€ entre todos los edificios, tal y como se puede apreciar en la *Tabla 5.4 del Anexo*.

Como **segunda solución**, al estar cada planta zonificada en 4 sectores, se establecen temperaturas objetivo por zona consiguiendo que en zonas como el pasillo, al ser una zona de paso sea de menos grados respecto a las zonas de trabajo. En caso de excederse dichas temperaturas objetivo, el sistema regula la temperatura. Esto es útil justo a medio día, ya que es el momento más cálido y utilizando la comparativa de temperatura con los sensores, podemos reducir 2-3°C la temperatura a la que se encuentra el edificio.

Esta solución permite realizar un ahorro estimado de 45 minutos también al día, lo que vuelve a suponer un 6.25% de ahorro, consiguiendo el mismo ahorro que antes, 11.058,45€. *Tabla 5.4 del Anexo*.

De manera contraria que en la *Tabla 9*, la *Tabla 10* muestra que el ahorro fuerte de esta solución es en los meses correspondientes al invierno, mostrando de nuevo la comparación entre el consumo actual de los tres edificios y el consumo teniendo en cuenta el ahorro acumulado de las soluciones para la calefacción.

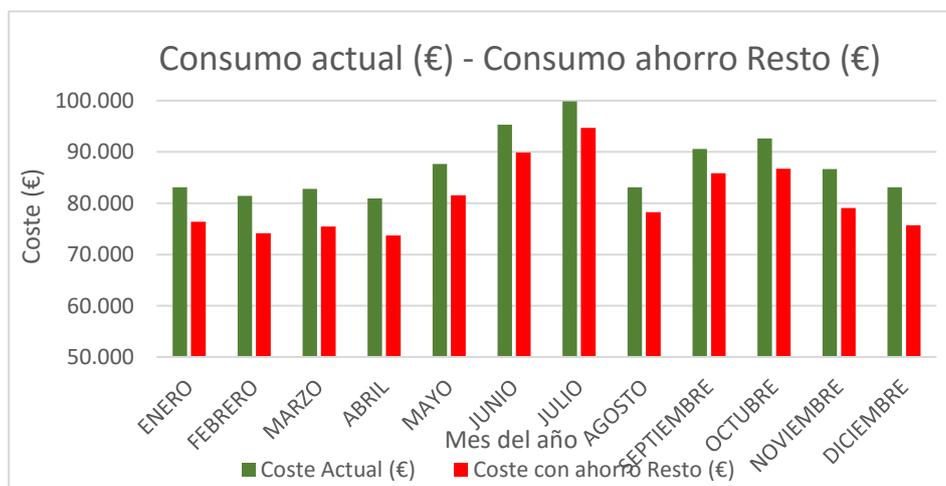


Tabla 10. Comparación gasto actual Vs nuevo en calefacción

La **tercera solución**, corresponde al consumo que realiza la maquinaria y el resto de cargas monofásicas. Se propone que paralelo al horario de calefacción, establecido de 07:30 a 19:30h, que a día de hoy es el funcionamiento real, a partir de dicho momento si no se detecta movimiento se realiza un apagado general de la electricidad, por lo que si alguna máquina, monitor u ordenador se han quedado encendidos se apagan evitando gastos considerables como el que supondría una máquina toda la noche.

El ahorro estimado de esta solución es de 1 hora al día, lo que supone un 8.33% de ahorro al año. Al ser seis meses el 100% del consumo, soluciones en este campo tienen una repercusión mucho mayor que respecto al consumo de calefacción, por lo que se consigue un ahorro de 12.556,07€ en el edificio 8B, 31.388,04€ en el edificio 8E, que es el que más consume al ser más grande y 10.485,66€ en el 8G, que debe tener algo menos de maquinaria. Esto hace un ahorro total de 54.429,77€ al año, lo que supone una gran reducción en la factura. El resultado detallado se puede observar en la *Tabla 5.5 del Anexo* y además, la *Tabla 11* muestra de una manera más visual cómo se consigue un ahorro notable mes a mes.

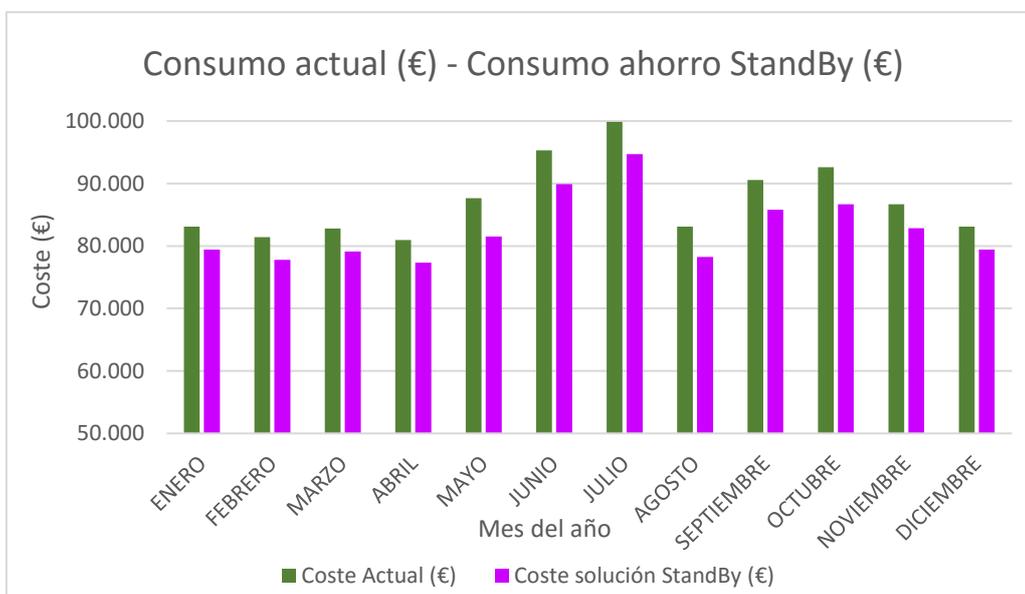


Tabla 11. Comparación gasto actual Vs nuevo StandBy

Se consigue un ahorro total entre los tres edificios y las tres soluciones propuestas dentro de esta campo de actuación de 76.900,84€ anuales (*Tabla 5.6 del Anexo*), por lo que es el campo de actuación en el que conseguimos un mayor ahorro de todos y por tanto muy importante para la viabilidad del proyecto.

Una vez vistos los tres campos por separado, se suman los ahorros conseguidos en cada uno de ellos, haciendo un total de 81681,97€ (*Tabla 5.7 del Anexo*). Se sabe además el coste total del dimensionado, que tras incrementar el 30% del valor en concepto de horas de programación, es de 68.234,87€ (*Tabla 2.4 del Anexo*). Por tanto, se comprueba que en menos de un año se amortiza la inversión y es viable. Cabe comentar, que muchos de los datos de horas estimadas para el ahorro han sido muy conservadores, por lo que se podría conseguir una eficiencia mayor en casi todas las soluciones propuestas.

Capítulo 6. Conclusiones y líneas futuras de trabajo

Se ha conseguido realizar un análisis energético evaluando el consumo actual de los edificios correspondientes a la Ciudad Politécnica de la Innovación (CPI) del Campus Vera, pudiendo a través de dicho análisis adoptar diferentes medidas que han conseguido una gestión eficiente de la energía en dichos edificios.

Además, se ha llevado a cabo el dimensionado tanto de los edificios como de todos los dispositivos tanto ópticos como los que conforman el diseño IoT realizado. En lo referente a dicho diseño, se ha identificado cuáles son los componentes comerciales que la instalación precisa para cumplir con las necesidades de ahorro y gestión eficiente a nivel energético. Este dimensionado e identificación de dispositivos, junto con el análisis energético y la proposición de diferentes soluciones basadas en dispositivos IoT, ha permitido comparar el consumo que se produce actualmente en el CPI con el ahorro que supone la utilización del diseño IoT, siendo los resultados obtenidos los siguientes.

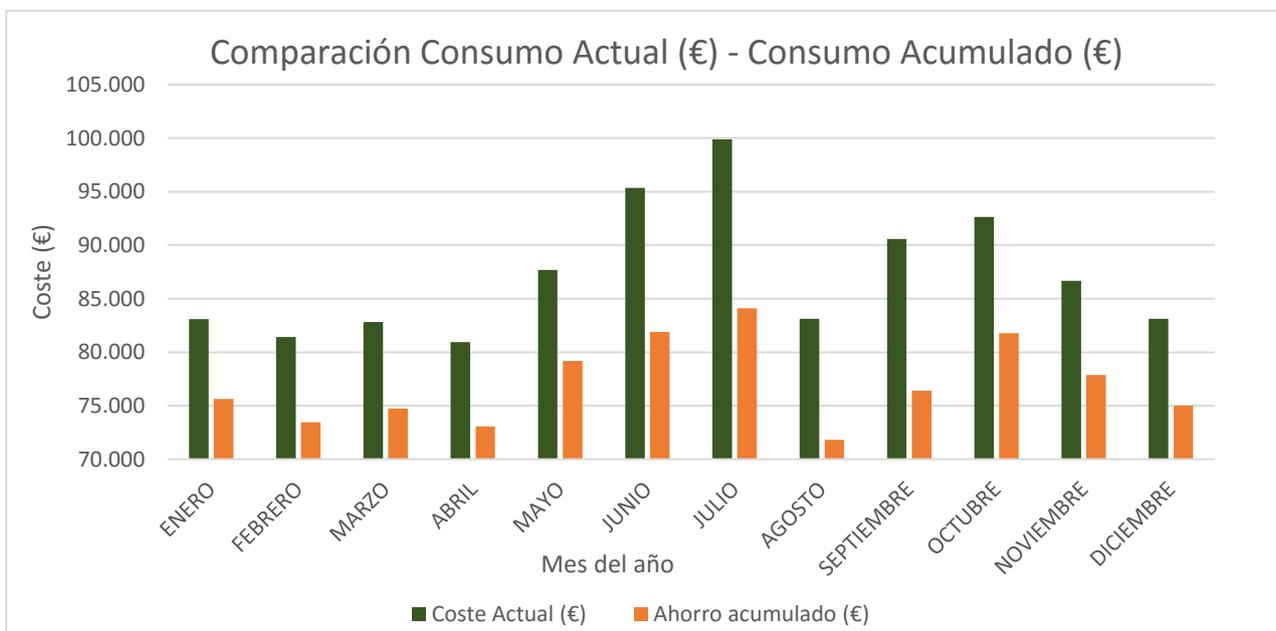


Tabla 12. Consumo actual total vs ahorro total de las soluciones

Como se puede observar en la *Tabla 11*, en la que se muestra en consumo total que a día de hoy se tiene en el CPI en color verde y el consumo que tras aplicar las soluciones se consigue tener en naranja, haciendo un ahorro total de 122.983,67€ al año, lo que supone un 11,74% de ahorro. Por supuesto, el primer año hay que tener en cuenta la inversión que supone tanto la parte del diseño óptico tras sumarle un 15% en concepto de coste de instalación ascendiendo a 32.961,96€. como se ha demostrado en el apartado 5.3 y el del diseño eléctrico, que es de 68.234,87€. De esta manera, el total invertido ha sido de 101.196,83€, por lo que el sistema es viable económicamente, recuperando la inversión el primer año de uso.

Por tanto, se han conseguido cumplir todos los objetivos propuestos, consiguiendo realizar una red de acceso IoT para la gestión eficiente de la energía en el Campus de Vera.

Aun habiendo completado todos los objetivos planteados, aparecen posibles trabajos a realizar en un futuro:

- Puesto que las horas de ahorro de cada solución se corresponden con estimaciones muy conservadoras, puede realizarse un estudio más concienzudo del horario real que tiene lugar a día de hoy en la universidad y aumentar el número de horas estimadas, consiguiendo mejores resultados.
- Para mayor veracidad del estudio, sería necesario conocer las dimensiones exactas de cada uno de los edificios del CPI, sistema concreto de aire acondicionado, número de ventanas por planta, distribución exacta de cada una de las plantas, etc.
- Como en el diseño de la red óptica está incorporada la técnica de transmisión CWDM, la cual permite la multiplexación por división en longitudes de onda ligeras, se puede ampliar el número de aplicaciones para la *Smart University* simultáneas pudiendo por ejemplo realizar un sistema de video vigilancia.
- Por último, en caso de realizar las dos líneas de futuro anteriores, sería muy interesante realizar de manera práctica el diseño planteado, con la posibilidad de introducir un mayor número de extensiones para controlar más aspectos así como diferentes sensores y actuadores.

Referencias

- [1] S. Saini, «Wireless and Mobile Communications», ago. 2016.
- [2] «Evolución de la red de comunicación móvil, del 1G al 5G - VIU – Tu Universidad Online | Grados y Másteres Online». [En línea]. Disponible en: <http://www.viu.es/evolucion-la-red-comunicacion-movil-del-1g-al-5g/>. [Accedido: 05-abr-2017].
- [3] Maria de Diego Antón, «Comunicaciones Digitales, UPV - Tema 2. Modulaciones Digitales Avanzadas». .
- [4] Narcís Cardona Marcet, «Comunicaciones Mviles, Transparencias Bloque 2 (II), 2016 - Evolucion 2G». .
- [5] K. Rose, S. Eldridge, y L. Chapin, «Intenet Society: “La internet de las cosas, una breve reseña para enteneder mejor los problemas y desafíos del mundo más conectado”». oct-2015.
- [6] Álvaro Everlet y J. Pastor, «Universidad Rey Juan Carlos “Introducción al Internet de las Cosas - Construyendo un proyecto de IoT”». nov-2013.
- [7] «LinkLabs. “3 Reasons Why IPv6 Is Important For the Internet Of Things”», jul-2015. [En línea]. Disponible en: <https://www.link-labs.com/blog/why-ipv6-is-important-for-internet-of-things>. [Accedido: 22-may-2017].
- [8] P. Friess, *Internet of things: converging technologies for smart environments and integrated ecosystems*. River Publishers, 2013.
- [9] F. Telefónica, *Smart Cities: un primer paso hacia la Internet de las Cosas*. Fundación Telefónica, 2011.
- [10] «Taking Smart Home Concepts to a Larger Scale — WGC International», mar-2016. [En línea]. Disponible en: <http://www.wgcinternational.com/blog/smarthomeforhospitality>. [Accedido: 23-may-2017].
- [11] S. Ray, J. Park, y S. Bhunia, «Wearables, Implants, and Internet of Things: The Technology Needs in the Evolving Landscape», *IEEE Trans. Multi-Scale Comput. Syst.*, vol. 2, n.º 2, pp. 123–128, 2016.
- [12] «Wearables para diabéticos (las patentes de Google) - Bombas de insulina y nuevos dispositivos • Diabetes Foro». [En línea]. Disponible en: <http://www.diabetesforo.com/discussion/11919/wearables-para-diabeticos-las-patentes-de-google>. [Accedido: 14-may-2017].
- [13] D. Metcalf, S. T. J. Milliard, M. Gomez, y M. Schwartz, «Wearables and the Internet of Things for Health: Wearable, Interconnected Devices Promise More Efficient and Comprehensive Health Care», *IEEE Pulse*, vol. 7, n.º 5, pp. 35-39, sep. 2016.
- [14] B. P. L. Lo, H. Ip, y G.-Z. Yang, «Transforming Health Care: Body Sensor Networks, Wearables, and the Internet of Things», *IEEE Pulse*, vol. 7, n.º 1, pp. 4-8, ene. 2016.
- [15] R. Shahzadi, J. Ferzund, M. Tausif, y M. A. Suryani, «Internet of Things based Expert System for Smart Agriculture», *Int. J. Adv. Comput. Sci. Appl.*, vol. 7, n.º 9, pp. 341–350, 2016.
- [16] R. Morais, A. Valente, y C. Seródio, «A wireless sensor network for smart irrigation and environmental monitoring: A position article», en *5th European federation for information technology in agriculture, food and environment and 3rd world congress on computers in agriculture and natural resources (EFITA/WCCA)*, 2005, pp. 845–850.
- [17] M. Weyrich y C. Ebert, «Reference architectures for the internet of things», *IEEE Softw.*, vol. 33, n.º 1, pp. 112–116, 2016.
- [18] M. R. Palattella *et al.*, «Internet of Things in the 5G Era: Enablers, Architecture, and Business Models», *IEEE J. Sel. Areas Commun.*, vol. 34, n.º 3, pp. 510-527, mar. 2016.
- [19] A. Emarièvebe, J. Koepp, y T. Opferman, «Rohde & Schwarz. “Emerging Communication Technologies Enabling the Internet of Things.”»
- [20] P. Soto Pacheco, «Tema 3 Acceso Radio- Parte 2». 2017.
- [21] «eMTC y NB-IoT abren el camino hacia 5G/IoT - Solution - Rohde & Schwarz Spain». [En línea]. Disponible en: https://www.rohde-schwarz.com/es/soluciones/comunicaciones-inalambricas/lte/temas-destacados/emtc-y-nb-iot-abren-el-camino-hacia-5g-iot_230416.html. [Accedido: 18-may-2017].
- [22] «Comunicación con luz visible (VLC)». [En línea]. Disponible en: https://es.wikipedia.org/wiki/Comunicaci%C3%B3n_con_luz_visible. [Accedido: 18-may-2017].
- [23] V. Consortium, «Visible Light Communications Consortium (VLCC)». [En línea]. Disponible en: <http://www.vlcc.net/>. [Accedido: 18-may-2017].
- [24] U. de Sevilla, «OWC - Capítulo 3. Estado del arte. Universidad de Sevilla». .

- [25] P. N. Ji y T. Wang, «Internet of things with optical connectivity, networking, and beyond», en *OptoElectronics and Communications Conference (OECC) held jointly with 2016 International Conference on Photonics in Switching (PS), 2016 21st*, 2016, pp. 1–3.
- [26] C. Zhu, V. C. M. Leung, L. Shu, y E. C.-H. Ngai, «Green Internet of Things for Smart World», *IEEE Access*, vol. 3, pp. 2151-2162, 2015.
- [27] «RFID - Wikipedia, la enciclopedia libre». [En línea]. Disponible en: <https://es.wikipedia.org/wiki/RFID>. [Accedido: 27-may-2017].
- [28] «¿Qué es una Red de Sensores Inalámbricos? - National Instruments». [En línea]. Disponible en: <http://www.ni.com/white-paper/7142/es/>. [Accedido: 27-may-2017].
- [29] K. Sharma y T. Suryakanthi, «Smart system: IoT for university», en *Green Computing and Internet of Things (ICGCIoT), 2015 International Conference on*, 2015, pp. 1586–1593.
- [30] Z. T. Al-Azez, A. Q. Lawey, T. E. El-Gorashi, y J. M. Elmoghani, «Energy efficient IoT virtualization framework with passive optical access networks», en *Transparent Optical Networks (ICTON), 2016 18th International Conference on*, 2016, pp. 1–4.
- [31] «Comisión Europea : CORDIS : Servicio de Proyectos y Resultados : OPTIMising the energy Use in cities with smart decision support system (OPTIMUS)». [En línea]. Disponible en: http://cordis.europa.eu/project/rcn/110988_es.html. [Accedido: 19-jun-2017].
- [32] «Comisión Europea : CORDIS : Servicio de Proyectos y Resultados : District Information Modeling and Management for Energy Reduction». [En línea]. Disponible en: http://cordis.europa.eu/project/rcn/110900_es.html. [Accedido: 19-jun-2017].
- [33] C. LU, «Comisión Europea : CORDIS : Servicio de Proyectos y Resultados : Lighthouse project IoT-A». .
- [34] «Eficiencia energética en escuelas: Proyecto Desendolla't». [En línea]. Disponible en: <https://www.loxone.com/eses/eficiencia-energetica-en-centros-educativos-proyecto-desendollat/>. [Accedido: 24-jun-2017].
- [35] «Más de un 40% de ahorro en electricidad - Solución domótica Loxone Smart Home ES». [En línea]. Disponible en: <https://www.loxone.com/eses/mas-de-un-40-de-ahorro-en-electricidad/>. [Accedido: 24-jun-2017].
- [36] «Home Electricity Monitors - Eyedro». [En línea]. Disponible en: <http://eyedro.com/home-electricity-monitors/>. [Accedido: 03-jul-2017].
- [37]
- [38] «Eve Energy | elgato.com». [En línea]. Disponible en: <https://www.elgato.com/en/eve/eve-energy>. [Accedido: 28-jun-2017].
- [39] «Miniserver: la solución domótica simple | Loxone Shop». [En línea]. Disponible en: <https://shop.loxone.com/eses/miniserver.html>. [Accedido: 25-jun-2017].
- [40] «Miniserver Archives - Solución domótica Loxone Smart Home ES». [En línea]. Disponible en: <https://www.loxone.com/eses/kb-cat/miniserver/>. [Accedido: 25-jun-2017].
- [41] «Puesta en marcha del Miniserver - Solución domótica Loxone Smart Home ES». [En línea]. Disponible en: <https://www.loxone.com/eses/kb/miniserver-puesta-en-marcha/>. [Accedido: 26-jun-2017].
- [42] «Relay extension: 14 veces más energía | Loxone Shop». [En línea]. Disponible en: <https://shop.loxone.com/eses/relay-extension.html>. [Accedido: 25-jun-2017].
- [43] «Relay Extension - Solución domótica Loxone Smart Home ES». [En línea]. Disponible en: <https://www.loxone.com/eses/kb/relay-extension/>. [Accedido: 25-jun-2017].
- [44] «Tree Extension - Solución domótica Loxone Smart Home ES». [En línea]. Disponible en: <https://www.loxone.com/eses/kb/tree-extension/>. [Accedido: 28-jun-2017].
- [45] «Actuador válvula Tree - Solución domótica Loxone Smart Home ES». [En línea]. Disponible en: <https://www.loxone.com/eses/kb/actuador-valvula-tree/>. [Accedido: 28-jun-2017].
- [46] «Loxone Tree - Solución domótica Loxone Smart Home ES». [En línea]. Disponible en: <https://www.loxone.com/eses/productos/loxone-tree/>. [Accedido: 25-jun-2017].
- [47] «Detector de movimiento Air - Solución domótica Loxone Smart Home ES». [En línea]. Disponible en: <https://www.loxone.com/eses/kb/detector-de-movimiento-air/>. [Accedido: 25-jun-2017].
- [48] «1-wire Extension - Solución domótica Loxone Smart Home ES». [En línea]. Disponible en: <https://www.loxone.com/eses/kb/1-wire-extension/>. [Accedido: 25-jun-2017].
- [49] «Sensor de temperatura 1-Wire DS18B20Z+ | Loxone Shop». [En línea]. Disponible en: <https://shop.loxone.com/eses/sensor-temperatura-1-wire.html>. [Accedido: 25-jun-2017].

- [50] «Contacto puerta y ventana Air - Solución domótica Loxone Smart Home ES». [En línea]. Disponible en: <https://www.loxone.com/eses/kb/contacto-puerta-y-ventana-air/>. [Accedido: 28-jun-2017].
- [51] «Modbus Extension, ideal para la lectura de contadores | Loxone Shop». [En línea]. Disponible en: <https://shop.loxone.com/eses/modbus-extension.html>. [Accedido: 25-jun-2017].
- [52] «Modbus Extension - Solución domótica Loxone Smart Home ES». [En línea]. Disponible en: <https://www.loxone.com/eses/kb/modbus-extension/>. [Accedido: 25-jun-2017].
- [53] «Contador de energía Modbus - Solución domótica Loxone Smart Home ES». [En línea]. Disponible en: <https://www.loxone.com/eses/kb/contador-de-energia-modbus/>. [Accedido: 26-jun-2017].



ANEXO

Anexo 1: Desglose consumo energético y dimensionado.....	71
Anexo 2: Iluminación.....	72
Anexo 3: Aire acondicionado.....	73
Anexo 4: Calefacción, maquinaria y resto de cargas.....	74
Anexo 5: Consumo total por campo y <i>datasheets</i> ópticos.....	75

MES	DESGLOSE	%	CONS. SEPARADO (kWh)	TOTAL (kWh)
Enero	Iluminación	9,89	13.219,09	133.627,00
	Aire Acond.	21,39	1436,12	
	Resto + calefacción	89,03	118.971,79	
Febrero	Iluminación	9,89	12.940,97	130.889,00
	Aire Acond.	21,38	1479,33	
	Resto + calefacción	88,98	116.468,71	
Marzo	Iluminación	9,89	12.851,39	129.934,00
	Aire Acond.	20,87	1420,11	
	Resto + calefacción	89,02	115.662,51	
Abril	Iluminación	9,91	13.508,41	136.297,00
	Aire Acond.	22,40	1212,92	
	Resto + calefacción	89,20	121.575,68	
Mayo	Iluminación	9,34	14.317,20	153.208,00
	Aire Acond.	23,24	10035,99	
	Resto + calefacción	84,10	128.854,81	
Junio	Iluminación	7,60	13.063,43	171.968,00
	Aire Acond.	23,99	41333,72	
	Resto + calefacción	68,37	117.570,85	
Julio	Iluminación	6,93	12.303,13	177.553,00
	Aire Acond.	23,64	54521,70	
	Resto + calefacción	62,36	110.728,17	
Agosto	Iluminación	7,80	11.162,34	143.092,00
	Aire Acond.	22,90	31468,63	
	Resto + calefacción	70,21	100.461,03	
Septiembre	Iluminación	6,99	11.728,12	167.839,00
	Aire Acond.	24,64	50557,79	
	Resto + calefacción	62,89	105.553,09	
Octubre	Iluminación	8,54	14.394,78	168.482,00
	Aire Acond.	24,19	24534,21	
	Resto + calefacción	76,89	129.553,01	
Noviembre	Iluminación	9,74	14.930,23	153.358,00
	Aire Acond.	23,54	4055,69	
	Resto + calefacción	87,62	134.372,08	
Diciembre	Iluminación	9,90	14.060,65	142.067,00
	Aire Acond.	22,73	1460,48	
	Resto + calefacción	89,07	126.545,86	

Tabla 1.1 Desglose 8B

MES	DESGLOSE	%	CONS. SEPARADO (kWh)	TOTAL (kWh)
Enero	Iluminación	9,89	37.093,81	374968
	Aire Acond.	1,07	4029,86	
	Resto + calefacción	89,03	333.844,32	
Febrero	Iluminación	9,89	36.066,71	364790
	Aire Acond.	1,13	4122,91	
	Resto + calefacción	88,98	324.600,38	
Marzo	Iluminación	9,89	37.284,80	376968
	Aire Acond.	1,09	4120,05	
	Resto + calefacción	89,02	335.563,16	
Abril	Iluminación	9,91	35.237,60	355540
	Aire Acond.	0,89	3163,97	
	Resto + calefacción	89,20	317.138,42	
Mayo	Iluminación	9,34	35.269,87	377422
	Aire Acond.	6,55	24723,29	
	Resto + calefacción	84,10	317.428,84	
Junio	Iluminación	7,60	30.569,70	402422
	Aire Acond.	24,04	96724,97	
	Resto + calefacción	68,37	275.127,33	
Julio	Iluminación	6,93	29.377,34	423960
	Aire Acond.	30,71	130186,60	
	Resto + calefacción	62,36	264.396,06	
Agosto	Iluminación	7,80	28.256,25	362222
	Aire Acond.	21,99	79659,46	
	Resto + calefacción	70,21	254.306,29	
Septiembre	Iluminación	6,99	26.595,97	380610
	Aire Acond.	30,12	114650,35	
	Resto + calefacción	62,89	239.363,69	
Octubre	Iluminación	8,54	33.586,39	393108
	Aire Acond.	14,56	57244,06	
	Resto + calefacción	76,89	302.277,55	
Noviembre	Iluminación	9,74	36.465,05	374556
	Aire Acond.	2,64	9905,48	
	Resto + calefacción	87,62	328.185,47	
Diciembre	Iluminación	9,90	36.204,54	365806
	Aire Acond.	1,03	3760,58	
	Resto + calefacción	89,07	325.840,88	

Tabla 1.2 Desglose 8E

MES	DESGLOSE	%	CONS. SEPARADO (kWh)	TOTAL (kWh)
Enero	Iluminación	9,89	11.496,90	116218
	Aire Acond.	1,07	1249,02	
	Resto + calefacción	89,03	103.472,08	
Febrero	Iluminación	9,89	11.518,92	116506
	Aire Acond.	1,13	1316,77	
	Resto + calefacción	88,98	103.670,31	
Marzo	Iluminación	9,89	11.455,42	115820
	Aire Acond.	1,09	1265,85	
	Resto + calefacción	89,02	103.098,74	
Abril	Iluminación	9,91	11.572,69	116766
	Aire Acond.	0,89	1039,11	
	Resto + calefacción	89,20	104.154,20	
Mayo	Iluminación	9,34	12.015,73	128580
	Aire Acond.	6,55	8422,72	
	Resto + calefacción	84,10	108.141,55	
Junio	Iluminación	7,60	10.821,57	142456
	Aire Acond.	24,04	34240,31	
	Resto + calefacción	68,37	97.394,12	
Julio	Iluminación	6,93	10.358,43	149488
	Aire Acond.	30,71	45903,70	
	Resto + calefacción	62,36	93.225,87	
Agosto	Iluminación	7,80	9.324,31	119530
	Aire Acond.	21,99	26286,91	
	Resto + calefacción	70,21	83.918,79	
Septiembre	Iluminación	6,99	9.268,51	132640
	Aire Acond.	30,12	39954,87	
	Resto + calefacción	62,89	83.416,62	
Octubre	Iluminación	8,54	11.525,43	134898
	Aire Acond.	14,56	19643,73	
	Resto + calefacción	76,89	103.728,84	
Noviembre	Iluminación	9,74	12.040,92	123680
	Aire Acond.	2,64	3270,83	
	Resto + calefacción	87,62	108.368,25	
Diciembre	Iluminación	9,90	11.590,81	117112
	Aire Acond.	1,03	1203,94	
	Resto + calefacción	89,07	104.317,25	

Tabla 1.3 Desglose 8G

Diseño para Edificio 8B y 8G			
Producto	Cantidad	Coste/Ud. (€)	Coste total(€)
Miniserver	1	502,15	502,15
Relay Extension	5	477,95	2389,75
Detector de movimiento Tree	60	90,15	5409
1-Wire Extension	2	170,42	340,84
Detector de movimiento Air	0	100,73	0
Sensor de temperatura 1-Wire (pack x5)	5	48,28	241,4
Contacto de ventana Air	80	65,34	5227,2
Modbus Extension	1	229,9	229,9
Contador de energía Modbus trifásico	1	301,29	301,29
Actuador Válvula Tree	16	79,26	1268,16
Tree Extension	1	99,83	99,83
Pasarela Intesis	1	450	450
Suma coste total (€)			32919,04

Tabla 2.1 Dimensionado 8B/8G

Diseño para Edificio 8E			
Producto	Cantidad	Coste/Ud. (€)	Coste total(€)
Miniserver	1	502,15	502,15
Relay Extension	5	477,95	2389,75
Detector de movimiento Tree	80	90,15	7212
1-Wire Extension	2	170,42	340,84
Detector de movimiento Air	0	100,73	0
Sensor de temperatura 1-Wire	5	48,28	241,4
Contacto de ventana Air	100	65,34	6534
Modbus Extension	1	229,9	229,9
Contador de energía Modbus trifásico	1	301,29	301,29
Actuador Válvula Tree	16	79,26	1268,16
Tree Extension	1	99,83	99,83
Pasarela Intesis	1	450	450
Suma coste total (€)			19569,32

Tabla 2.2 Dimensionado 8E

Diseño para 3 cubos del CPI
Coste total (€)
52488,36

Coste tras programación (€)
68234,868

Tabla 2.4 Coste Total Dimensionado de los tres edificios

Número de detectores de movimiento	Sup./piso (m2)	Sup./Planta (m2)	Sup. Detección (m2)	Nº Detectores/Planta	Nº Detectores/Edif.
Edificio 8B/8G	150	600	50,27	12	60
Edificio 8E	200	800	50,27	16	80

Tabla 2.3 Nº detectores de movimiento

1) Fuera del horario laboral de 8:00 - 20:00, si hay luces encendidas --> sensor de movimiento --> apagado general de zona

EDIFICIO 8B/8G							
		Solución 1					
	CONS. ILUMINACION (kW/h)	Ahorro (h/día)	Ahorro (h/mes)	Func. Total (h/mes)	Ahorro (%)	Cons. Ahorrado (kWh)	Cons. Ahorrado (€)
ene	13219,09	0,5	10	200	5	660,95	87,91
feb	12940,97	0,5	10	200	5	647,05	86,06
mar	12851,39	0,5	10	200	5	642,57	85,46
abr	13508,41	0,5	10	200	5	675,42	89,83
may	14317,20	0,5	10	200	5	715,86	95,21
jun	13063,43	0,5	10	200	5	653,17	86,87
jul	12303,13	0,5	10	200	5	615,16	81,82
ago	11162,34	0,5	10	200	5	558,12	74,23
sep	11728,12	0,5	10	200	5	586,41	77,99
oct	14394,78	0,5	10	200	5	719,74	95,73
nov	14930,23	0,5	10	200	5	746,51	99,29
dic	14060,65	0,5	10	200	5	703,03	93,50
							1053,89

Tabla 3.1 Iluminación 8B/8G

EDIFICIO 8E							
		Solución 1					
	CONS. ILUMINACION (kW/h)	Ahorro (h/día)	Ahorro (h/mes)	Func. Total (h/mes)	Ahorro (%)	Cons. Ahorrado (kWh)	Cons. Ahorrado (€)
ene	37093,81	0,5	10	200	5	1854,69	246,67
feb	36066,71	0,5	10	200	5	1803,34	239,84
mar	37284,80	0,5	10	200	5	1864,24	247,94
abr	35237,60	0,5	10	200	5	1761,88	234,33
may	35269,87	0,5	10	200	5	1763,49	234,54
jun	30569,70	0,5	10	200	5	1528,49	203,29
jul	29377,34	0,5	10	200	5	1468,87	195,36
ago	28256,25	0,5	10	200	5	1412,81	187,90
sep	26595,97	0,5	10	200	5	1329,80	176,86
oct	33586,39	0,5	10	200	5	1679,32	223,35
nov	36465,05	0,5	10	200	5	1823,25	242,49
dic	36204,54	0,5	10	200	5	1810,23	240,76
							2673,35

Tabla 3.2 Iluminación 8E

Total Ahorrado (€)
4781,13

Tabla 3.3 Total ahorrado iluminación

1) Detector de ventana abierta --> regular aire + Comparación sensores de temperatura externos/internos

2) Horario 08:30-13:30 --> De tardes manual + sensores de presencia

* Se ahorra la 1 de la mañana, la de la hora de comer y una estimación de 1h por la tarde para aquellas personas que no vuelven a su puesto (3h)

	Solución 1										Solución 2										Solución total		
	CONSUMO AIRE (kWh)	Ahorro (h/día)	Ahorro (h/mes)	Func. Total (h/mes)	Ahorro (%)	Cons. Ahorrado (kWh)	Cons. Ahorrado (€)	Ahorro (h/día)	Ahorro (h/mes)	Func. Total (h/mes)	Ahorro (%)	Cons. Ahorrado (kWh)	Cons. Ahorrado (€)	Cons. Ahorrado (kWh)	Cons. Ahorrado (€)	Ahorro (%)							
ene	1436,12	1	20	240	8,33	119,68	15,92	3	60	240	25,00	359,03	47,75	63,67	63,67	4,43							
feb	1479,33	1	20	240	8,33	123,28	16,40	3	60	240	25,00	369,83	49,19	65,58	65,58	4,43							
mar	1420,11	1	20	240	8,33	118,34	15,74	3	60	240	25,00	355,03	47,22	62,96	62,96	4,43							
abr	1212,92	1	20	240	8,33	101,08	13,44	3	60	240	25,00	303,23	40,33	53,77	53,77	4,43							
may	10035,99	1	20	240	8,33	836,33	111,23	3	60	240	25,00	2509,00	333,70	444,93	444,93	4,43							
jun	41333,72	1	20	240	8,33	3444,48	458,12	3	60	240	25,00	10333,43	1374,35	1832,46	1832,46	4,43							
jul	54521,70	1	20	240	8,33	4543,48	604,28	3	60	240	25,00	13630,43	1812,85	2417,13	2417,13	4,43							
ago	31468,63	1	20	240	8,33	2622,39	348,78	3	60	240	25,00	7867,16	1046,33	1395,11	1395,11	4,43							
sep	50557,79	1	20	240	8,33	4213,15	560,35	3	60	240	25,00	12639,45	1681,05	2241,40	2241,40	4,43							
oct	24534,21	1	20	240	8,33	2044,52	271,92	3	60	240	25,00	6133,55	815,76	1087,68	1087,68	4,43							
nov	4055,69	1	20	240	8,33	337,97	44,95	3	60	240	25,00	1013,92	134,85	179,80	179,80	4,43							
dic	1460,48	1	20	240	8,33	121,71	16,19	3	60	240	25,00	365,12	48,56	64,75	64,75	4,43							
							2.477,31 €						7.431,93 €		9.909,24 €								

Tabla 4.1 Aire acondicionado 8B

	Solución 1										Solución 2										Solución total		
	CONSUMO AIRE (kWh)	Ahorro (h/día)	Ahorro (h/mes)	Func. Total (h/mes)	Ahorro (%)	Cons. Ahorrado (kWh)	Cons. Ahorrado (€)	Ahorro (h/día)	Ahorro (h/mes)	Func. Total (h/mes)	Ahorro (%)	Cons. Ahorrado (kWh)	Cons. Ahorrado (€)	Cons. Ahorrado (kWh)	Cons. Ahorrado (€)	Ahorro (%)							
ene	4029,86	1	20	240	8,33	335,82	44,66	3	60	240	25,00	1007,47	133,99	178,66	178,66	4,43							
feb	4122,91	1	20	240	8,33	343,58	45,70	3	60	240	25,00	1030,73	137,09	182,78	182,78	4,43							
mar	4120,05	1	20	240	8,33	343,34	45,66	3	60	240	25,00	1030,01	136,99	182,66	182,66	4,43							
abr	3163,97	1	20	240	8,33	263,66	35,07	3	60	240	25,00	790,99	105,20	140,27	140,27	4,43							
may	24723,29	1	20	240	8,33	2060,27	274,02	3	60	240	25,00	6180,82	822,05	1096,07	1096,07	4,43							
jun	96724,97	1	20	240	8,33	8060,41	1072,04	3	60	240	25,00	24181,24	3216,11	4288,14	4288,14	4,43							
jul	130186,60	1	20	240	8,33	10848,88	1442,90	3	60	240	25,00	32546,65	4328,70	5771,61	5771,61	4,43							
ago	79659,46	1	20	240	8,33	6638,29	882,89	3	60	240	25,00	19914,87	2648,68	3531,57	3531,57	4,43							
sep	114650,35	1	20	240	8,33	9554,20	1270,71	3	60	240	25,00	28662,59	3812,12	5082,83	5082,83	4,43							
oct	57244,06	1	20	240	8,33	4770,34	634,45	3	60	240	25,00	14311,01	1903,36	2537,82	2537,82	4,43							
nov	9905,48	1	20	240	8,33	825,46	109,79	3	60	240	25,00	2476,37	329,36	439,14	439,14	4,43							
dic	3760,58	1	20	240	8,33	313,38	41,68	3	60	240	25,00	940,14	125,04	166,72	166,72	4,43							
							5.899,56 €						17.698,69 €		23.598,26 €								

Tabla 4.2 Aire acondicionado 8E

	Solución 1										Solución 2										Solución total		
	CONSUMO AIRE (kWh)	Ahorro (h/día)	Ahorro (h/mes)	Func. Total (h/mes)	Ahorro (%)	Cons. Ahorrado (kWh)	Cons. Ahorrado (€)	Ahorro (h/día)	Ahorro (h/mes)	Func. Total (h/mes)	Ahorro (%)	Cons. Ahorrado (kWh)	Cons. Ahorrado (€)	Cons. Ahorrado (kWh)	Cons. Ahorrado (€)	Ahorro (%)							
ene	1249,02	1	20	240	8,33	104,08	13,84	3	60	240	25,00	312,25	41,53	55,37	55,37	4,43							
feb	1316,77	1	20	240	8,33	109,73	14,59	3	60	240	25,00	329,19	43,78	58,38	58,38	4,43							
mar	1265,85	1	20	240	8,33	105,49	14,03	3	60	240	25,00	316,46	42,09	56,12	56,12	4,43							
abr	1039,11	1	20	240	8,33	86,59	11,52	3	60	240	25,00	259,78	34,55	46,07	46,07	4,43							
may	8422,72	1	20	240	8,33	701,89	93,35	3	60	240	25,00	2105,68	280,06	373,41	373,41	4,43							
jun	34240,31	1	20	240	8,33	2853,36	379,50	3	60	240	25,00	8560,08	1138,49	1517,99	1517,99	4,43							
jul	45903,70	1	20	240	8,33	3825,31	508,77	3	60	240	25,00	11475,93	1526,30	2035,06	2035,06	4,43							
ago	26286,91	1	20	240	8,33	2190,58	291,35	3	60	240	25,00	6571,73	874,04	1165,39	1165,39	4,43							
sep	39954,87	1	20	240	8,33	3329,57	442,83	3	60	240	25,00	9988,72	1328,50	1771,33	1771,33	4,43							
oct	19643,73	1	20	240	8,33	1636,98	217,72	3	60	240	25,00	4910,93	653,15	870,87	870,87	4,43							
nov	3270,83	1	20	240	8,33	272,57	36,25	3	60	240	25,00	817,71	108,76	145,01	145,01	4,43							
dic	1203,94	1	20	240	8,33	100,33	13,34	3	60	240	25,00	300,99	40,03	53,37	53,37	4,43							
							2.037,09 €						6.111,28 €		8.148,37 €								

Tabla 4.3 Aire acondicionado 8G

Total sol. 1 ahorro (€) **10.413,97 €**

Tabla 4.4 Total solución 1

Total sol. 2 ahorro (€) **31.241,90 €**

Tabla 4.5 Total solución 1

Total ahorro (€) **41.655,87 €**

Tabla 4.6 Total aire acondicionado

- 1) Detector de ventana abierta --> regular calefacción + Comparación sensores de temperatura externos/internos
 - 2) Establecer temperatura objetivo --> si excede, se regula (útil en zona de pasillo, que puede estar varios grados menos que las zonas de trabajo o justo al medio día con la comparativa de sensores de temp.)
- * Consumo = En los meses señalados (40% calef,60%)
- 3) Con el horario de calefacción de 8:00-13:30, a partir de dicho momento si no se detecta movimiento en una zona, se realiza apagado general
- ** Que una máquina se quede encendida supone un gasto considerable

BB	Calefacción													Stand by							
	Calefacción			Maquinaria + resto cargas			Solución 1						Solución 2				Solución 3				
	CONS.	RESTO (kWh)	Consumo (kWh)	Ahorro (h/día)	Ahorro (h/mes)	Func. Total (h/mes)	Ahorro (%)	Cons. Ahorrado (kWh)	Cons. Ahorrado (€)	Ahorro (h/día)	Ahorro (h/mes)	Func. Total (h/mes)	Ahorro (%)	Cons. Ahorrado (kWh)	Cons. Ahorrado (€)	Ahorro (h/día)	Ahorro (h/mes)	Func. Total (h/mes)	Ahorro (%)	Cons. Ahorrado (kWh)	Cons. Ahorrado (€)
ene	118971,79	47588,72	71363,08	0,75	15	240	6,25	2974,29	395,58	0,75	15	240	6,25	2974,29	395,58	1	20	240	8,33	5948,59	791,16
feb	116468,71	46587,48	69881,22	0,75	15	240	6,25	2911,72	387,26	0,75	15	240	6,25	2911,72	387,26	1	20	240	8,33	5823,44	774,52
mar	115662,51	46265,00	69397,50	0,75	15	240	6,25	2891,56	384,58	0,75	15	240	6,25	2891,56	384,58	1	20	240	8,33	5783,13	769,16
abr	121575,68	48630,27	72945,41	0,75	15	240	6,25	3039,39	404,24	0,75	15	240	6,25	3039,39	404,24	1	20	240	8,33	6078,78	808,48
may	128854,81	0,00	128854,81													1	20	240	8,33	10737,90	1428,14
jun	117570,85	0,00	117570,85													1	20	240	8,33	9797,57	1303,08
jul	110728,17	0,00	110728,17													1	20	240	8,33	9227,35	1227,24
ago	100461,03	0,00	100461,03													1	20	240	8,33	8371,75	1113,44
sep	105553,09	0,00	105553,09													1	20	240	8,33	8796,09	1169,88
oct	129553,01	0,00	129553,01													1	20	240	8,33	10796,08	1435,88
nov	134372,08	53748,83	80623,25	0,75	15	240	6,25	3359,30	446,79	0,75	15	240	6,25	3359,30	446,79	1	20	240	8,33	6718,60	893,57
dic	126545,86	50618,35	75927,52	0,75	15	240	6,25	3163,65	420,76	0,75	15	240	6,25	3163,65	420,76	1	20	240	8,33	6327,29	841,53
									2.439,21 €						2.439,21 €						12.556,07 €

Tabla 5.1 Calefacción, maquinaria y resto de cargas 8B

BE	Calefacción													Stand by							
	Calefacción			Maquinaria + resto cargas			Solución 1						Solución 2				Solución 3				
	CONS.	RESTO (kWh)	Consumo (kWh)	Ahorro (h/día)	Ahorro (h/mes)	Func. Total (h/mes)	Ahorro (%)	Cons. Ahorrado (kWh)	Cons. Ahorrado (€)	Ahorro (h/día)	Ahorro (h/mes)	Func. Total (h/mes)	Ahorro (%)	Cons. Ahorrado (kWh)	Cons. Ahorrado (€)	Ahorro (h/día)	Ahorro (h/mes)	Func. Total (h/mes)	Ahorro (%)	Cons. Ahorrado (kWh)	Cons. Ahorrado (€)
ene	333844,32	133537,73	200306,59	0,75	15	240	6,25	8346,11	1110,03	0,75	15	240	6,25	8346,11	1110,03	1	20	240	8,33	16692,22	2220,06
feb	324600,38	129840,15	194760,23	0,75	15	240	6,25	8115,01	1079,30	0,75	15	240	6,25	8115,01	1079,30	1	20	240	8,33	16230,02	2158,59
mar	335563,16	134225,26	201337,89	0,75	15	240	6,25	8389,08	1115,75	0,75	15	240	6,25	8389,08	1115,75	1	20	240	8,33	16778,16	2231,49
abr	317138,42	126855,37	190283,05	0,75	15	240	6,25	7928,46	1054,49	0,75	15	240	6,25	7928,46	1054,49	1	20	240	8,33	15856,92	2108,97
may	317428,84	0,00	317428,84													1	20	240	8,33	26452,40	3518,17
jun	275127,33	0,00	275127,33													1	20	240	8,33	22927,28	3049,33
jul	264396,06	0,00	264396,06													1	20	240	8,33	22033,91	2930,39
ago	254306,29	0,00	254306,29													1	20	240	8,33	21192,19	2818,56
sep	239363,69	0,00	239363,69													1	20	240	8,33	19946,97	2652,95
oct	302277,55	0,00	302277,55													1	20	240	8,33	25189,80	3350,24
nov	328185,47	131274,19	196911,28	0,75	15	240	6,25	8204,64	1091,22	0,75	15	240	6,25	8204,64	1091,22	1	20	240	8,33	16409,27	2182,43
dic	325840,88	130336,35	195504,53	0,75	15	240	6,25	8146,02	1083,42	0,75	15	240	6,25	8146,02	1083,42	1	20	240	8,33	16292,04	2166,84
									6.534,20 €						6.534,20 €						31.388,04 €

Tabla 5.2 Calefacción, maquinaria y resto de cargas 8E

BG	Calefacción													Stand by							
	Calefacción			Maquinaria + resto cargas			Solución 1						Solución 2				Solución 3				
	CONS.	RESTO (kWh)	Consumo (kWh)	Ahorro (h/día)	Ahorro (h/mes)	Func. Total (h/mes)	Ahorro (%)	Cons. Ahorrado (kWh)	Cons. Ahorrado (€)	Ahorro (h/día)	Ahorro (h/mes)	Func. Total (h/mes)	Ahorro (%)	Cons. Ahorrado (kWh)	Cons. Ahorrado (€)	Ahorro (h/día)	Ahorro (h/mes)	Func. Total (h/mes)	Ahorro (%)	Cons. Ahorrado (kWh)	Cons. Ahorrado (€)
ene	103472,08	41388,83	62083,25	0,75	15	240	6,25	2586,80	395,58	0,75	15	240	6,25	2586,80	344,04	1	20	240	8,33	5173,60	688,09
feb	103670,31	41468,12	62202,19	0,75	15	240	6,25	2591,76	387,26	0,75	15	240	6,25	2591,76	344,70	1	20	240	8,33	5183,52	688,41
mar	103098,74	41239,49	61859,24	0,75	15	240	6,25	2577,47	384,58	0,75	15	240	6,25	2577,47	342,80	1	20	240	8,33	5154,94	685,61
abr	104154,20	41661,68	62492,52	0,75	15	240	6,25	2603,86	404,24	0,75	15	240	6,25	2603,86	346,31	1	20	240	8,33	5207,71	692,63
may	108141,55	0,00	108141,55													1	20	240	8,33	9011,80	1198,57
jun	97394,12	0,00	97394,12													1	20	240	8,33	8116,18	1079,45
jul	93225,87	0,00	93225,87													1	20	240	8,33	7768,82	1033,25
ago	83918,79	0,00	83918,79													1	20	240	8,33	6993,23	930,10
sep	83416,62	0,00	83416,62													1	20	240	8,33	6951,38	924,53
oct	103728,84	0,00	103728,84													1	20	240	8,33	8644,07	1149,66
nov	108368,25	43347,30	65020,95	0,75	15	240	6,25	2709,21	446,79	0,75	15	240	6,25	2709,21	360,32	1	20	240	8,33	5418,41	720,65
dic	104317,25	41726,90	62590,35	0,75	15	240	6,25	2607,93	420,76	0,75	15	240	6,25	2607,93	346,85	1	20	240	8,33	5215,86	693,71
									2.439,21 €						2.085,04 €						10.485,66 €

Tabla 5.3 Calefacción, maquinaria y resto de cargas 8G

Total sol. 1 ahorro (€) **11.412,62 €** Total sol. 2 ahorro (€) **11.058,45 €**

Total calefacción (€) **22.116,90 €**

Tabla 5.4 Total ahorro calefacción (soluciones 1 y 2)

Total sol. 3 ahorro (€) **54.429,77 €**

Tabla 5.5 Total ahorro maquinaria y resto de cargas (solución 3)

TOTAL RESTO **76.900,84 €**

Tabla 5.6 Total ahorro RESTO

TOTAL 3 CAMPOS **81.681,97 €**

Tabla 5.7 Total ahorrado en el proyecto

	TOTAL MESES (kWh)	TOTAL MESES (€)	Coste solución Iluminación (€)	Coste solución Aire Acondicionado (€)	Coste solución Resto (€)	Coste solución Calefacción (€)	Coste solución StandBy (€)	Ahorro acumulado (€)
ENERO	624.813	83100,13	82677,64	82802,43	75701,50	79400,81	79400,81	74981,31
FEBRERO	612.185	81420,61	81008,65	81113,86	74175,57	77798,09	77798,09	73456,87
MARZO	622.722	82822,03	82403,16	82520,29	75449,51	79135,77	79135,77	74728,91
ABRIL	608.603	80944,20	80530,21	80704,09	73724,05	77334,12	77334,12	73069,95
MAYO	659.210	87674,93	87249,97	85760,53	81530,05	87674,93	81530,05	79190,69
JUNIO	716.846	95340,52	94963,49	87701,93	89908,66	95340,52	89908,66	81893,04
JULIO	751.001	99883,13	99524,14	89659,33	94692,25	99883,13	94692,25	84109,46
AGOSTO	624.844	83104,25	82767,89	77012,19	78242,15	83104,25	78242,15	71813,72
SEPTIEMBRE	681.089	90584,84	90251,99	81489,28	85837,48	90584,84	85837,48	76409,07
OCTUBRE	696.488	92632,90	92218,10	88136,53	86697,12	92632,90	86697,12	81785,95
NOVIEMBRE	651.594	86662,00	86220,94	85898,05	79068,69	82865,35	82865,35	77863,67
DICIEMBRE	624.985	83123,01	82695,24	82838,16	75718,84	79420,92	79420,92	75006,23

Tabla 6. Comparativa consumo Total por mes Vs consumo conseguido tras ahorro con las soluciones

Technical Parameter

Parameter	1X2	1X4	1X8	1X16
Fiber Type	G.657A	G.657A	G.657A	G.657A
Operating Wavelength (nm)	1260~1650	1260~1650	1260~1650	1260~1650
Typical Insertion Loss (dB)	3.7	6.8	10.0	13.0
Max Insertion Loss (dB)	4.0	7.2	10.5	13.5
Max Loss Uniformity (dB)	0.4	0.6	0.8	1.2
Min Return Loss (dB)	50	50	50	50
Max PDL (dB)	0.2	0.2	0.3	0.3
Min Directivity (dB)	55	55	55	55
Max Wavelength Dependent Loss (dB)	0.3	0.3	0.3	0.5
Max Temperature Dependent Loss (-40~85°C)	0.5	0.5	0.5	0.8
Operating Temperature (°C)	-40~85	-40~85	-40~85	-40~85
Storage Temperature (°C)	-40~85	-40~85	-40~85	-40~85

Tabla 7. Datasheet transceiver

3Gb/s MSA CWDM Transmitter & Receiver Transceiver with Video Pathological Patterns (SMF, 1550nm, 40km, LC, DOM)

Product Details

Part Number	CWDM-SFP3G-40	Type	Transmitter & Receiver
Data Rate	50Mbps to 3Gbps	Wavelength	1550nm DFB/PIN
Max Cable Distance	40km	TX Power	-2~3dBm
Receiver Sensitivity	≤-24dBm	Packgae	LC SFP with DOM
Video Pathological Patterns Support	Yes	Temperature	0 to 70°C (32 to 158°F)
Power Supply	Single 3.3V Power Supply	HTS-Harmonized Code	8517706000

Tabla 8. Datasheet splitters pasivos