

SMART OFFICE

Diseño de solución TIC orientada a la sostenibilidad y eficiencia energética en oficinas

**81.614 – Trabajo de Fin de Grado
Diseño de Sistemas Electrónicos**

**Autor: Alberto González Mazuecos
Profesor consultor: Carlos Gonzalo Moreno Soriano**

24 de junio 2024



Esta obra está sujeta a una licencia de Reconocimiento-NoComercial-SinObraDerivada [3.0 España de Creative Commons](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/es/)

Copyright© 2024 – Alberto González Mazuecos

Reservados todos los derechos. Está prohibido la reproducción total o parcial de esta obra por cualquier medio o procedimiento, comprendidos la impresión, la reprografía, el microfilme, el tratamiento informático o cualquier otro sistema, así como la distribución de ejemplares mediante alquiler y préstamo, sin la autorización escrita del autor o de los límites que autorice la Ley de Propiedad Intelectual.

Ficha del Trabajo Final

Título del trabajo:	SMART OFFICE - Diseño de solución TIC orientada a la sostenibilidad y eficiencia energética en oficinas
Nombre del autor/a:	Alberto González Mazuecos
Nombre del Tutor/a de TF:	Carlos Gonzalo Moreno Soriano
Nombre del/de la PRA:	Germán Cobo Rodríguez
Fecha de entrega:	06/2024
Titulación o programa:	Grado en Ingeniería de Tecnologías y Servicios de Telecomunicación
Área del Trabajo Final:	Diseño de sistemas electrónicos
Idioma del trabajo:	Castellano
Palabras clave	Eficiencia energética, inmótica, BACS, sostenibilidad

Resumen del Trabajo

Este proyecto está centrado en el contexto de Smart Cities y como la tecnología puede dar soluciones eficientes y sostenibles a las necesidades de las personas y empresas en el ámbito de la utilización de edificios de oficinas. En los objetivos del proyecto se pretende hacer un análisis y propuesta de las tecnologías en domótica o inmótica aplicables para un edificio de oficinas.

Por un lado, permitiendo la gestión automática de los sistemas domóticos orientado al uso de sus espacios (puestos de trabajo, espacios de colaboración y salas de reuniones). Y por otro, fomentando el uso eficiente y sostenible de los recursos energéticos (espacio, clima, iluminación, etc.)

Se entregará un análisis orientado a un edificio de oficinas de 9.000m² en Madrid y el diseño de los dispositivos (controladores, sensores y actuadores), protocolos y topología de las redes de telecomunicación domótica y la plataforma de gestión y control.

Abstract

This project is focused on Smart Cities environment and how technology could provide efficient and sustainable solutions to the needs of individuals and businesses in the field of office buildings. The project's objectives aim to analyze and propose applicable technologies in building automation for offices.

On one hand, this involves enabling the automatic management of office automation systems geared towards office space utilization (workseats, collaborative spaces and meeting rooms). On the other hand, it aims to promote the efficient and sustainable use of energy resources (space, climate, lightning, etc.)

An analysis will be delivered specifically tailored to an office building with 9.000 sqm located in Madrid, including the design of devices (controllers, sensors and actuators), protocols and topology of automation telecommunication networks, as well as the management and control platform.

Contenido

1. Introducción y planificación.....	9
1.1 Contexto y justificación del trabajo.....	9
1.2 Objetivos del trabajo.....	11
1.3 Objetivos específicos.....	11
1.4 Enfoque y método a seguir.....	12
1.5 Planificación del trabajo.....	14
1.6 Incidencias, riesgos y oportunidades.....	17
2. Estado de la cuestión.....	19
2.1 Análisis eficiencia energética en oficinas.....	19
2.2 Legislación y normativa aplicable.....	21
2.3 Tecnologías BACS.....	22
2.3.1 Proveedores y soluciones.....	24
2.3.2 Proyectos similares.....	26
2.4.1 Protocolos.....	27
2.4.2 Componentes.....	29
3. Análisis del edificio.....	31
3.1 Detalles generales del espacio.....	31
3.2 Sistemas actuales.....	33
3.2.1 Iluminación.....	33
3.2.2 HVAC.....	35
3.3 Consumo actual.....	37
3.4 Requisitos y limitaciones para el proyecto.....	39
4. Solución propuesta.....	40
4.1 Plataforma de análisis y administración.....	41
4.2 Sistemas de gestión.....	43
4.3 Tecnología y controladores.....	45
4.3.1 Controles de climatización y ventilación (HVAC).....	45
4.3.2 Controles de alumbrado.....	46
4.3.3 Controles de iluminación.....	47
4.3.4 Control de consumo.....	47
4.4 Dispositivos de campo.....	49
4.4.1 Dispositivos de climatización y ventilación (HVAC).....	49
4.4.2 Dispositivos de alumbrado e iluminación.....	50
4.4.3 Sensores.....	51
4.4.4 Monitores e interfaces de control.....	52
4.5 Técnicas de eficiencia energética.....	53

5. Análisis resultados	55
5.1 Estudio de eficiencia energética	55
5.2 Análisis económico	58
5.3 Retorno de la inversión	60
6. Conclusiones	61
6.1 Análisis de objetivos del proyecto	61
6.2 Revisión de planificación y riesgos	62
6.3 Líneas de trabajo futuro	64
6.4 Conclusiones personales.....	65
7. Glosario	66
8. Bibliografía	67
9. Anexos	70

Lista de figuras

Ilustración 1. Áreas de desarrollo Smart Cities.....	9
Ilustración 2. Imagen edificio proyectado.....	12
Ilustración 3. Escala de tiempo.....	16
Ilustración 4. Diagrama de Gantt.....	16
Ilustración 5. Riesgo residual.....	18
Ilustración 6. Análisis cualitativo de riesgos.....	18
Ilustración 7. Datos consumo UE en edificios no residenciales.....	19
Ilustración 8. Calificación energética en edificios según zona climática.....	19
Ilustración 9. Calificación eficiencia energética inmuebles no residenciales.....	20
Ilustración 10. Arquitectura tres niveles de un sistema BACS.....	22
Ilustración 11. Controladores Metasys (Johnson Controls).....	24
Ilustración 12. Controlador WR1830.....	24
Ilustración 13. Consola Desigo CC (Siemens).....	24
Ilustración 14. Conexión UPOE+ para IoT (Cisco).....	25
Ilustración 15. Arquitectura EcoStruxure Building Operation (Schneider Electric).....	25
Ilustración 16. Campus UPC-ESEIAAT.....	26
Ilustración 17. Al Shera'a, Dubai.....	26
Ilustración 18. Beijing National Stadium.....	26
Ilustración 19. The Edge, Amsterdam.....	26
Ilustración 20. Evolución de dispositivos IOT.....	27
Ilustración 21. Imagen edificio Castellana.....	31
Ilustración 22. Planos distribución espacios por planta (3ª a 7ª).....	32
Ilustración 23. Diagrama de control DDBC120-DALI (Ejemplo).....	33
Ilustración 24. Sistema climatización VRF- Agua.....	35
Ilustración 25. Sistema ventilación (UTA – VAV).....	35
Ilustración 26. Imágenes equipos climatización.....	36
Ilustración 27. Arquitectura general del sistema BACS propuesto.....	40
Ilustración 28. Consola EcoStruxure Building Operation.....	41
Ilustración 29. Aplicación WebStation (izquierda) y Workstation (derecha).....	42
Ilustración 30. AS-P.....	43
Ilustración 31. Topologías de conexión AS-P.....	43
Ilustración 32. Bridge IP/BACnet.....	44
Ilustración 33. Cisco IE-3100-18T2C-E.....	44
Ilustración 34. RP-C-12B-F-230V.....	45
Ilustración 35. RP-C-EXT-DALI.....	46
Ilustración 36. Distribución y cableado controladoras RP-C por planta.....	46
Ilustración 37. PS800.....	48
Ilustración 38. PM3210.....	48
Ilustración 39. Conexión medidores consumo (Modbus/RTU).....	48
Ilustración 40. Funcionamiento controlador UTA.....	49
Ilustración 41. Actuador KNX para estores.....	50
Ilustración 42. Bus KNX y conexión de control fan coil y estores.....	50
Ilustración 43. HMI Harmony GTU 7.....	52
Ilustración 44. Precio neto electricidad (2018-2023).....	57
Ilustración 45. Arquitectura general solución Electric Vehicle.....	64

Lista de tablas

Tabla 1. Variables para el cálculo de potencia nominal según el CTE	10
Tabla 2. Listado de riesgos	17
Tabla 3. Listado de medidas correctoras	18
Tabla 4. Ejemplo de controladores en un sistema BACS	29
Tabla 5. Ejemplo de sensores en un sistema BACS	30
Tabla 6. Ejemplo de actuadores y válvulas en un sistema BACS	30
Tabla 7. Ejemplo de HMI en un sistema BACS	30
Tabla 8. Elementos de iluminación y alumbrado	34
Tabla 9. Elementos de climatización	36
Tabla 10. Consumo elementos de iluminación	37
Tabla 11. Capacidad nominal elementos de climatización	37
Tabla 12. Ejercicio clase BACS según UNE EN ISO 52120-1	39
Tabla 13. Conexiones Ethernet IE Switch	44
Tabla 14. Técnicas de eficiencia energética	53
Tabla 15. Ejercicio clase BACS según UNE EN ISO 52120-1 (post-implementación)	54
Tabla 16. Consumo energético inicial	55
Tabla 17. Tasa de ocupación de la oficina	55
Tabla 18. Memoria nuevos dispositivos y consumo	56
Tabla 19. Resultado estudio eficiencia energética	57
Tabla 20. Presupuesto del proyecto	59
Tabla 21. Análisis de objetivos del proyecto	61
Tabla 22. Analisis planificación respecto esfuerzo real.	62
Tabla 23. Monitorización de riesgos.....	63

1. Introducción y planificación

Este primer apartado pretende justificar el contexto, causa y motivaciones del trabajo, así como definir los objetivos específicos, metodología y planificación que seguiremos durante su desarrollo, alineados con los plazos definidos por el modelo de evaluación de la asignatura.

1.1 Contexto y justificación del trabajo

Durante las últimas décadas las ciudades han sufrido una expansión y crecimiento sin precedentes, tanto en el grado de densidad poblacional como en el uso de recursos energéticos, esto ha generado nuevos retos para la sociedad que requieren la optimización de los servicios públicos, asegurar la sostenibilidad de su ecosistema y reducir el impacto medioambiental de este crecimiento.

Motivado por estos retos aparece el concepto de *Smart Cities*, con el objetivo principal de dar una respuesta tecnológica e innovadora con el uso de las TIC (Tecnologías de la Información y la Comunicación) a los principales problemas de las ciudades en materia de sostenibilidad, movilidad y eficiencia, poniendo el foco en las distintas áreas que repercuten en la calidad de vida de los ciudadanos.^[1]

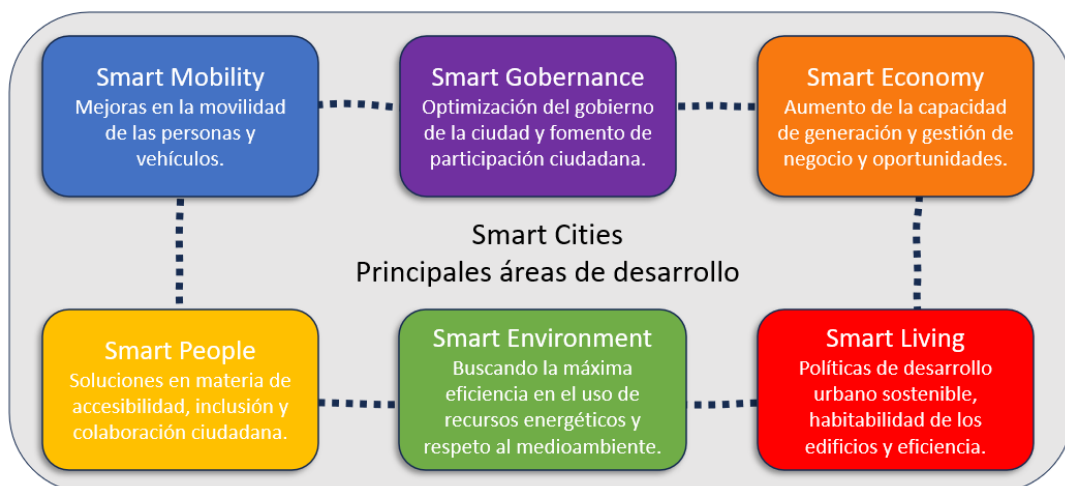


Ilustración 1. Áreas de desarrollo Smart Cities

Por otro lado, según datos oficiales de la UE, los edificios son responsables del 40% del consumo energético y del 36% de las emisiones de CO₂, esto los convierte en el mayor consumidor de energía de Europa. Este hecho nos aporta la motivación suficiente para centrarnos en las áreas de *Smart Environment* y *Smart Living*, para tratar de aportar una solución a esta problemática. En concreto, afrontando la necesidad de reducir y optimizar el uso de la energía de un edificio de oficinas.

Apoyando los motivos de la realización de este proyecto se presenta la necesidad de cumplir con la nueva legislación de la UE (Unión Europea), según la directiva de eficiencia energética de edificios. En el apartado normativo, dentro del alcance de este proyecto es necesario tener en cuenta:

- En primer lugar, la directiva (UE) 2023/1791, publicada en septiembre de 2023 relativa a la reducción de consumo energético. ^[2]
- Y, en segundo lugar, la iniciativa "Fit for 55", encaminada a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, dentro de la UE, en al menos un 55% para el año 2030. ^[3]

A partir la directiva UE 2023/1791, los países miembros de la Unión Europea han elaborado legislación específica con obligaciones para organismos públicos y privados, que exige a partir del 1 de enero de 2025 para edificios no residenciales (hoteles, edificios de oficinas, almacenes...), tanto de nueva construcción como ya existentes, cuyo sistema de climatización supere los 290 kW de potencia nominal (a partir 70 kW desde enero de 2027), el cumplimiento de los siguientes requisitos:

- Instalación de un sistema de automatización y control de edificios (BACS) que cumpla, al menos, con las normas de BAS clase C según EN-ISO 52120-1/2022 [4].
- Adopción de un sistema de control por habitación o estancia.
- Supervisión del mantenimiento del sistema a través de entidades certificadas.
- Documentación y conservación de los datos mensuales, durante un periodo de 5 años.

Podemos hacernos una idea de la escala del problema haciendo una estimación de la potencia nominal calorífica del sistema de climatización en función de los metros cuadrados de espacio del edificio, según el CTE (Código técnico de Edificación [5]). Para ello podemos utilizar la siguiente expresión:

$$Potencia\ nominal\ req.\ (W) = A \times B \times C \times D \times 85 \quad (1)$$

Donde:

<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>D</i>
Superficie en m ² del edificio	Orientación de fachada del edificio	Tipo de aislamiento del edificio	Zona Climática según el CTE
	Norte: 1,12 Sur: 0,92 Este y oeste: 1	Ventana y tabique doble: 0,93 Ventana doble y tabique simple 1 Ventana y tabique simple :1,1	Entre 0,88 y 1,19 según ubicación. Ejemplos: Sevilla (0,95), Barcelona (1,04), Madrid (1,12)

Tabla 1. Variables para el cálculo de potencia nominal según el CTE

Supongamos un edificio de oficinas en Madrid de 1.000 m², con fachada en todas las orientaciones y un aislamiento doble en ventanas y muros, la potencia media necesaria será:

$$Potencia\ nominal\ req.\ (W) = 1000 \times 1 \times 0,93 \times 1,12 \times 85 = 88\ kW \quad (2)$$

El mismo ejercicio para un espacio de 4.000 m², requeriría una potencia calorífica nominal de 350 kW.

El espacio medio de una oficina de varias plantas en Madrid y Barcelona (zonas de alta demanda) ronda los 3.000 y 5.000 m². Esto nos da una dimensión de la cuota de mercado de edificios que estarán obligados a implementar sistemas de automatización y control (BACS) para cumplir con las exigencias de la normativa a corto y medio plazo, y, por consiguiente, de la necesidad de este proyecto u otros similares.

Para afrontar este problema las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) nos permiten diseñar soluciones innovadoras, en el ámbito de la automatización y la sensorización a través de la inmótica, que proporcionan la capacidad de control y gestión de los servicios generales del edificio y nos aportan las herramientas necesarias para monitorizar y optimizar el uso de estos servicios para alcanzar la máxima eficiencia energética.

En conclusión, dado el contexto y motivaciones anteriores, para este proyecto diseñaremos una solución TIC para la implementación de un sistema de gestión (BACS) de un edificio de oficinas en Madrid, con el propósito de reducir el consumo energético mediante un uso eficiente de los servicios de iluminación y climatización.

1.2 Objetivos del trabajo

Los estudios realizados en el ámbito de Ingeniería de Tecnologías y Servicios de Telecomunicación me han capacitado para la realización de este proyecto de fin de grado. Para este trabajo pondremos en práctica, con carácter integrador, los conocimientos técnicos y habilidades atribuibles a los estudios de Ingeniería Técnica de Telecomunicaciones.

Como principal objetivo del trabajo se requiere realizar la arquitectura y el diseño de un sistema electrónico para el control y automatización de los sistemas de iluminación, climatización y calidad de aire de un espacio de oficinas.

Atendiendo a los objetivos relativos al ámbito de *Smart Cities*, con este proyecto se pretende reducir el consumo energético mediante un uso eficiente de los sistemas descritos, reduciendo el impacto medioambiental y ofreciendo un mejor servicio a los usuarios del edificio en términos de confort y bienestar, lo que redundará en beneficios de salud y productividad.

1.3 Objetivos específicos

Para la definición de los objetivos específicos aplicaremos el método SMART, por ello nuestros objetivos deben cumplir con las siguientes cualidades: específicos (S), medibles (M), alcanzables (A), realistas (R) y acotados a un tiempo concreto (T).

El objetivo general del trabajo, descrito en el apartado anterior, da lugar a una serie de objetivos específicos que se describen a continuación:

- Realizar un estudio del edificio que contemple la recopilación de los planos, el estudio de los sistemas, su consumo actual y los requisitos y limitaciones para el alcance del proyecto.
- Identificar, mediante el estudio de la cuestión, la mejor solución y tecnología aplicable en el ámbito de los sistemas electrónicos de control para los servicios de iluminación, climatización y calidad de aire, que permita alcanzar los objetivos de eficiencia energética.
- Diseñar la arquitectura y componentes que integren la solución TIC del sistema *BACS (Building Automation and Control System)*. Esta solución debe incorporar, al menos, los siguientes componentes:
 - Sistema de gestión (*BMS o BACS*), donde reside el software de control y la inteligencia del sistema.
 - Controlador/es, responsables de interactuar con los sensores y actuadores.
 - Dispositivos I/O (sensores y actuadores), encargados de capturar información e interactuar con los distintos sistemas, respectivamente.
 - Sistemas HMI (*Human Machine Interface*), dispositivos que permitan a los usuarios y administradores el control del sistema *BACS*.
- Proponer y diseñar las interfaces de interconexión y protocolos de comunicaciones entre cada uno de los componentes y con los sistemas actuales.
- Realizar el análisis económico que permita demostrar la viabilidad económica del proyecto y el retorno de la inversión.

1.4 Enfoque y método a seguir

El alcance del proyecto se centra en un edificio de oficinas ya existente y en funcionamiento, donde actualmente se dispone de los servicios generales (iluminación y climatización) sobre los que tendremos que integrar los nuevos componentes y tecnologías propuestos en el marco del proyecto.

El edificio se compone de distintas plantas, donde las dos plantas bajas corresponden a zonas comerciales (fuera del alcance), las plantas 3ª a 7ª corresponden al espacio de oficinas que deseamos automatizar con un espacio total aproximado de 8.200 m². Las plantas superiores no se encuentran ocupadas y están fuera del alcance inicial del proyecto, aunque se tendrá en cuenta las opciones de escalabilidad de los sistemas en previsión de futuras ampliaciones.



Ilustración 2. Imagen edificio proyectado. (Fuente: Google Maps 40.44853, -3.69198)

En este contexto, la estrategia a seguir para alcanzar los objetivos anteriormente descritos consiste, en primer lugar, en la realización de un trabajo de análisis de la situación inicial de los sistemas del edificio para identificar las limitaciones derivadas de la infraestructura existente y los requisitos mínimos para el éxito del proyecto. En paralelo se realizará una tarea de documentación para identificar tecnologías y soluciones que permitan dar respuesta a los objetivos del proyecto.

Una vez completado este análisis se diseñará la arquitectura de la solución, partiendo desde un punto de vista más general (sistema de control BACS) hasta lo más específico (sensores y actuadores), pasando por los controladores e interfaces de comunicación de los distintos sistemas.

A continuación, se describen las principales actividades que se desarrollarán durante el proyecto:

- **Introducción y planificación.** Este primer grupo de tareas aglutina la fase de definición, justificación y planificación del proyecto. En esta fase se inicia además el trabajo de desarrollo de la memoria del proyecto.
- **Estado de la cuestión.** El contexto está formado por distintas áreas de conocimiento interrelacionadas: *Smart Cities*, eficiencia energética y sistemas de control y automatización de edificios (*BACS*). Esto exige un trabajo de documentación de cada uno de estos conceptos, tecnologías disponibles y proyectos similares, que nos permitirá adquirir los conocimientos y experiencia necesaria para proponer la mejor solución al problema que se define en este proyecto. Además, deberemos analizar la legislación vigente aplicable a este tipo de tecnologías dada su continua evolución desde el consejo de la UE.
- **Análisis del edificio.** Como requisito previo a la propuesta y diseño de la solución TIC, deberemos analizar el edificio en cuestión, recopilando los planos (en el ámbito de la ingeniería), analizando la infraestructura existente e identificando los requisitos y limitaciones que deberá cubrir nuestro proyecto.
- **Diseño de la solución TIC.** En esta fase entramos en el ámbito más técnico y de mayor extensión, para proponer las tecnologías y componentes que formarán nuestro sistema *BACS*. Para ello, deberemos seleccionar y diseñar todos los componentes hardware y software que compondrán el sistema.
- **Análisis económico.** Como parte del proyecto se realizará un análisis de los costes generales del proyecto, los potenciales ahorros y eficiencias en consumo energético, y su tasa de retorno de la inversión. Con esta información se pretende analizar y demostrar la viabilidad de la inversión de este proyecto.
- **Memoria y conclusiones.** Por último, se finalizarán las tareas de documentación del proyecto, con la redacción de la memoria final, conclusiones y líneas de trabajo futuras. Junto con la presentación final del trabajo y su defensa para evaluación.

Se puede encontrar el listado completo de tareas y planificación en el apartado de planificación del trabajo.

1.5 Planificación del trabajo

A continuación, se detalla la planificación temporal para las actividades identificadas en el proyecto.

En primer lugar, la realización del TFG está marcada por las Prueba de Evaluación Continua (PEC) las cuales estructuran el periodo de realización y evaluación del proyecto con los principales hitos que culminan con la entrega de la memoria final y la defensa del proyecto.

Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin
Entregas y evaluación del proyecto	92 días	mié 28/02/24	vie 05/07/24
Inicio TFG	0 días	mié 28/02/24	mié 28/02/24
Entrega PEC1	0 días	lun 18/03/24	lun 18/03/24
Entrega PEC2	0 días	lun 15/04/24	lun 15/04/24
Entrega PEC3	0 días	lun 20/05/24	lun 20/05/24
Entrega PEC4 - Memoria completa	0 días	lun 24/06/24	lun 24/06/24
Defensa del proyecto	0 días	lun 05/07/24	vie 05/07/24

A continuación, la primera etapa del proyecto con la elección y justificación de este, junto con la definición y planificación inicial. Esta etapa finaliza con la entrega de la PEC1 el 18 de marzo de 2024.

Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin
Introducción y planificación	13 días	mié 28/02/24	vie 15/03/24
1.1 Contexto y justificación del proyecto	3 días	mié 28/02/24	vie 01/03/24
1.2 Definición objetivos del proyecto	3 días	lun 04/03/24	mié 06/03/24
1.3 Definición alcance del proyecto	3 días	jue 07/03/24	lun 11/03/24
1.4 Planificación de tareas	4 días	mar 12/03/24	vie 15/03/24

Seguidamente, se realizará el análisis del estado del arte en el contexto de este proyecto y el análisis preliminar del edificio para identificar los retos principales y requisitos a cumplir. Como resultado de esta fase se dondrá la entrega de la PEC2 el 15 de abril de 2024.

Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin
Estado de la cuestión	12 días	lun 18/03/24	vie 02/04/24
2.1 Análisis eficiencia energética en oficinas y legislación UE	5 días	lun 18/03/24	vie 22/03/24
2.2 Investigación de tecnologías BMS/BACS	5 días	lun 18/03/24	vie 22/03/24
2.3 Estudio inmótica, componentes y protocolos	7 días	lun 25/03/24	vie 02/04/24
Análisis del edificio	8 días	lun 03/04/24	jue 12/04/24
3.1 Recopilar los planos del edificio	2 días	lun 03/04/24	mar 04/04/24
3.2 Identificar la infraestructura actual de los servicios	2 días	mié 05/04/24	vie 08/04/24
3.3 Calcular los costes actuales de consumo y mantenimiento	2 días	lun 09/04/24	mar 10/04/24
3.4 Identificar los requisitos mínimos a cubrir por el proyecto	2 días	mié 11/04/24	jue 12/04/24

Continuamos la planificación del proyecto con el apartado de diseño de la solución TIC, que será la etapa de desarrollo técnico del proyecto que culminará con el diseño completo del sistema *BMS/BACS* propuesto. En este punto estaremos en disposición de entregar la PEC3, el 20 de mayo de 2024.

Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin
Diseño de la solución TIC	26 días	vie 15/04/24	lun 20/05/24
4.1 Seleccionar el software de gestión apropiado	6 días	vie 15/04/24	vie 22/04/24
4.2 Seleccionar la tecnología y controladores aplicables	6 días	lun 23/04/24	lun 30/05/24
4.3 Planificar los sistemas de comunicación (tipo, protocolos y topología)	6 días	mar 01/05/24	lun 08/05/24
4.4 Identificar los dispositivos domóticos necesarios (sensores y actuadores)	8 días	mar 09/05/24	lun 20/05/24
4.5 Diseñar la distribución y método de funcionamiento	8 días	mar 09/05/24	lun 20/05/24

Posteriormente, realizaremos las tareas relativas al análisis económico que nos permitirá validar la rentabilidad de nuestra propuesta. Además, llegados a esta fase se prevé la finalización de la memoria del proyecto. A la conclusión de esta etapa se proporcionarán los principales entregables del proyecto como parte de la PEC4, en fecha de 24 de junio de 2024.

Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin
Análisis económico	10 días	mar 21/05/24	lun 03/06/24
5.1 Desglosar los gastos e inversiones del proyecto	2 días	mar 21/05/24	mié 22/05/24
5.2 Calcular los costes futuros de los servicios implementados	3 días	jue 23/05/24	lun 27/05/24
5.3 Estimar los potenciales ahorros económicos	3 días	mar 28/05/24	jue 30/05/24
5.4 Calcular el periodo de el retorno de la inversión (ROI)	2 días	vie 31/05/24	lun 03/06/24
Memoria y conclusiones	15 días	mar 04/06/24	lun 24/06/24
6.1 Redactar la memoria final del proyecto	10 días	mar 04/06/24	lun 17/06/24
6.2 Redactar las conclusiones del proyecto	2 días	mar 18/06/24	mié 19/06/24
6.3 Redactar las líneas de trabajo futuras	2 días	mar 18/06/24	mié 19/06/24
6.4 Elaborar presentación final del proyecto	3 días	jue 20/06/24	lun 24/06/24

Por último, se realizará la defensa del proyecto con fecha prevista el 5 de julio de 2024, que dará por concluido el proyecto de fin de grado y su periodo de evaluación.

A continuación, se muestran de forma gráfica la línea de tiempo general y el diagrama de Gantt del proyecto con las tareas y planificación descritas.

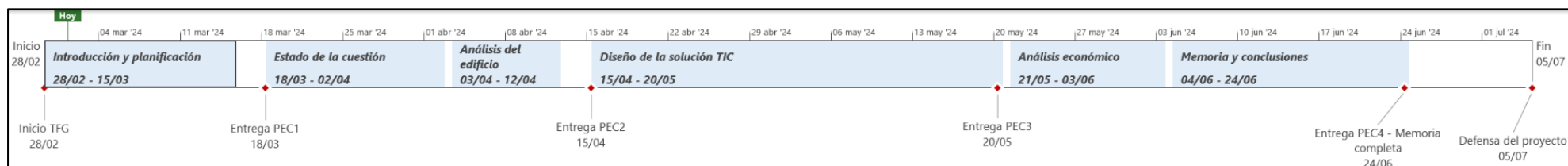


Ilustración 3. Escala de tiempo

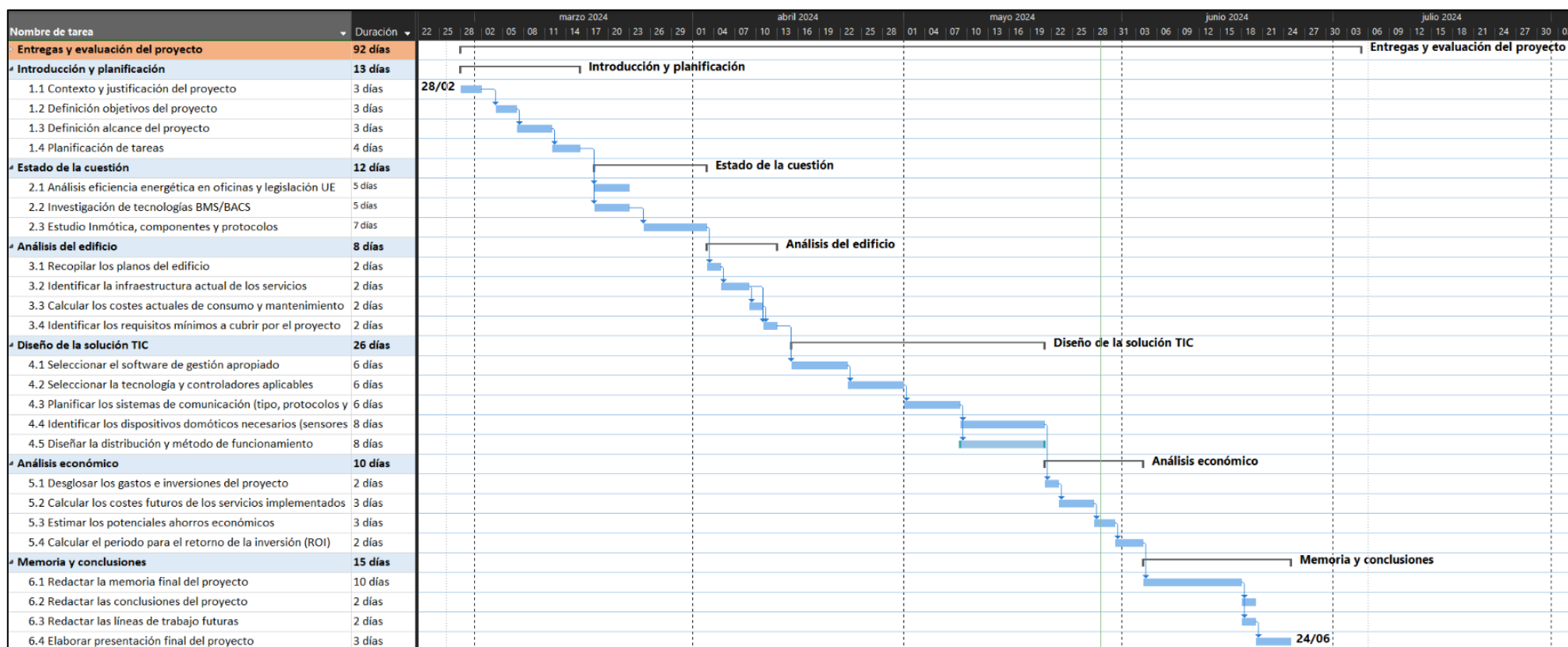


Ilustración 4. Diagrama de Gantt

1.6 Incidencias, riesgos y oportunidades

Se listan a continuación los ámbitos potenciales de riesgo y oportunidad considerados para el proyecto e incluidos en este plan:

- **Oportunidades:** posibles subvenciones nacionales y de la Comunidad Europea para el desarrollo sostenible y la eficiencia energética. La UE a través de los fondos *Next Generation* [6] ofrece ayudas para la digitalización y la rehabilitación de edificios cuyo objetivo sea el uso eficiente de la energía. Actualmente, la mayor parte de las ayudas se orientan a uso residencial o en el marco del plan PRE-5000 [7] (Rehabilitación energética en municipios de reto demográfico), pero es conveniente valorar en el momento de ejecución del proyecto las posibles ayudas.
- **Riesgos técnicos:** entre los que se encuentran problemas con la integración de los sistemas preexistentes y los nuevos, problemas de interoperabilidad entre los distintos dispositivos y protocolos diseñados en la solución y problemas de seguridad cibernética de los sistemas a implementar.
- **Riesgos relacionados con la disponibilidad de recursos:** como problemas de acceso a la planimetría del edificio, problemas de acceso a la información de los sistemas existentes (consumos, gastos, detalle y distribución), cambios en los requisitos normativos del ámbito del proyecto y problemas derivados de una mala definición de requisitos, alcance y limitaciones.

Seguidamente, se detalla la evaluación de riesgos y oportunidades.

Código	Descripción	Causa	Consecuencia	Probabilidad	Impacto
OP01	Subvenciones UE	Subvenciones asociadas al desarrollo sostenible o eficiencia energética	Posible beneficio económico o incentivo fiscal.	Baja	Medio
R01	Problemas integración sistemas	Incidencias derivadas de la interconexión con los sistemas actuales	Limitaciones en el acceso a información o el control de los sistemas	Alta	Alto
R02	Problemas interoperabilidad	Interferencias en el control e intercambio de información de los nuevos sistemas	Limitaciones en el acceso a información o control de los sistemas	Media	Alto
R03	Ciberseguridad	Riesgos o incidencias de seguridad cibernética de los nuevos sistemas	Brechas de seguridad y pérdida de control de los sistemas	Baja	Alto
R04	Acceso a planimetría	Limitación en el acceso a los planos de arquitectura y técnicos del edificio	Restricciones en la definición de requisitos y alcance de los nuevos sistemas	Baja	Alto
R05	Acceso a información de los sistemas	Limitación en el acceso a información de los sistemas (consumo, costes, distribución...)	Restricciones en el diseño de los nuevos sistemas de control	Baja	Medio
R06	Cambios normativa vigente	Modificaciones en la normativa aplicable al proyecto	Posibles modificaciones en el alcance y solución	Baja	Bajo
R07	Mala definición de requisitos y alcance	Falta de documentación previa o falta de acceso a información	Problemas en fase de ejecución, nueva definición de requisitos	Media	Alto

Código: código de identificación del riesgo/oportunidad de la tabla de evaluación de riesgos.

Descripción: detalle del riesgo/oportunidad identificada.

Causa: motivo de la aparición del riesgo.

Consecuencia: descripción del impacto para la ejecución del proyecto.

Probabilidad: tipificación de la probabilidad de aparición del riesgo [Muy baja, baja, media, alta, muy alta]

Impacto: tipificación de la afectación del riesgo para la ejecución del proyecto [Muy bajo, bajo, medio, alto, muy alto]

Tabla 2. Listado de riesgos

En consecuencia, como plan de contingencia se plantean las siguientes medidas correctoras y mitigadoras.

Código	Acción	Tipo	Responsable	Riesgo residual
A1OP01	Evaluar con un consultor en proyectos energéticos o con el IDAE (Instituto para la diversificación y Ahorro de la Energía) las subvenciones vigentes en el ámbito del proyecto	Explotar la oportunidad	Responsable del proyecto	Bajo
A1R01	Analizar los sistemas vigentes y sus posibilidades de interconexión y actualización, previamente al diseño de la solución	Mitigador	Responsable del proyecto	Medio
A1R02	Analizar las capacidades de conexión y comunicación de los protocolos de la solución diseñada	Mitigador	Responsable del proyecto	Medio
A2R02	Diseñar la solución central (sistema de gestión y controladores) con un proveedor y solución única que asegure la compatibilidad y operabilidad.	Corrector	Responsable del proyecto	Bajo
A1R03	Seleccionar una solución que implemente las herramientas de seguridad suficientes (MFA, encriptación, anti DDoS...)	Mitigador	Responsable del proyecto	Bajo
A1R04	Solicitar con suficiente antelación y por los cauces adecuados el acceso a la información necesaria para el proyecto	Mitigador	Responsable del proyecto/Cliente	Bajo
A1R05	Solicitar con suficiente antelación y por los cauces adecuados el acceso a la información necesaria para el proyecto	Mitigador	Responsable del proyecto/Cliente	Bajo
A1R06	Analizar suficientemente en el estado de la cuestión la normativa vigente para el proyecto	Mitigador	Responsable del proyecto	Muy Bajo
A1R07	Documentar en la fase de análisis y confirmar con el cliente el alcance, requisitos y limitaciones del proyecto	Mitigador	Responsable del proyecto/Cliente	Medio

Código: código de identificación de la medida correctora de la tabla de evaluación de riesgos.
 Acción: descripción de las acciones para corregir o mitigar el riesgo identificado. Un riesgo puede tener más de una acción.
 Tipo: si la acción es correcta (anula el riesgo), mitigadora o de explotación de la oportunidad.
 Responsable: responsable de aplicar la medida o llevar a cabo la acción.
 Riesgo residual: tipificación del riesgo una vez se ha aplicado la acción [Muy bajo, bajo, medio, alto, muy alto]

Tabla 3. Listado de medidas correctoras

Por último, se muestra de forma gráfica el análisis cualitativo de riesgos (izquierda) y el riesgo residual (derecha) tras las acciones mitigadoras y correctoras propuestas:

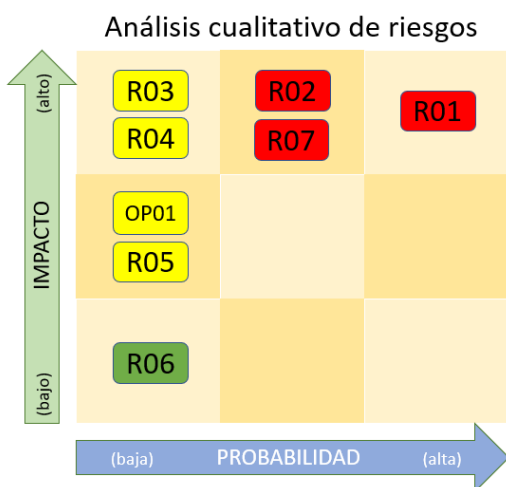


Ilustración 6. Análisis cualitativo de riesgos

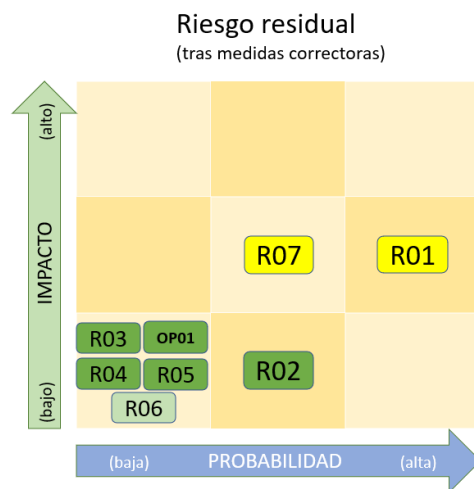


Ilustración 5. Riesgo residual

2. Estado de la cuestión

2.1 Análisis eficiencia energética en oficinas

Según la RAE, la eficiencia energética de un edificio se define como la cantidad de energía que se requiere para satisfacer la demanda de energía asociada a un uso normal del edificio. Si lo consideramos desde el punto de vista de *Smart Cities* y sus objetivos, la eficiencia energética debe ir encaminada a la reducción y optimización del uso de energía para obtener los niveles de servicio y confort requeridos por los ciudadanos.

Con los datos obtenidos en las estadísticas Eurostat [8] los edificios se sitúan como el mayor consumidor de energía de la UE con un consumo del 42% respecto del total, con un reparto del 27% para los hogares y un 15% para el sector no residencial. Con un poco más de profundidad podemos ver en la siguiente gráfica como los servicios con mayor demanda energética en edificios no residenciales se encuentran en la climatización y la iluminación.[9]

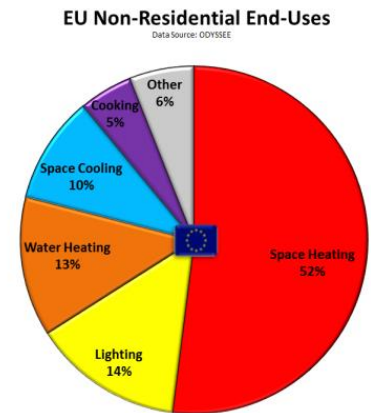


Ilustración 7. Datos consumo UE en edificios no residenciales

Por otro lado, según el CTE (Código Técnico de Edificación) entre los factores críticos para medir la eficiencia energética de los edificios se sitúan los siguientes:

- **Ubicación y orientación:** donde se tienen en cuenta factores geográficos y climatológicos.
- **Sistemas de iluminación:** con mayor eficiencia energética para tecnologías LED y donde se tienen en cuenta factores de iluminación natural.
- **Ventilación y aislamiento:** entre los que se valoran los factores arquitectónicos y estructurales del aislamiento de las paredes, los sistemas de ventilación natural y forzada, calefacción pasiva y puentes térmicos.
- **Sistemas de climatización y agua caliente:** entre estos factores tenemos los principales consumidores de energía y es aquí donde se pueden aplicar tecnologías como la aerotermia, el control por estancias y otros sistemas de gestión (domótica o inmótica).
- **Sistemas de producción de energía y autoconsumo:** como paneles solares, intercambiadores de calor, energía eólica y geotérmica.

El MITECO (Ministerio para la Transición Ecológica y Reto Demográfico) asigna un certificado con la calificación energética del edificio (valores entre A y G) en función de las emisiones globales ($\text{kg CO}_2/\text{m}^2$ año), su consumo de energía (kWh/m^2 año) y su zona climática. Según datos oficiales, los edificios de oficinas en España muestran un consumo medio anual de $242,23 \text{ kWh}/\text{m}^2$ (datos en Madrid), lo que en promedio los sitúa en una categoría E de calificación energética.



Ilustración 8. Calificación energética en edificios según zona climática
Zona D3 – Madrid (izquierda), zona C2 – Barcelona (centro), zona A3 – Málaga (derecha)

Gracias a la información publicada por el Ministerio en el portal de Edificios Eficientes [\[10\]](#) podemos analizar los datos sobre la calificación energética de los edificios no residenciales en los distritos financieros con mayor concentración de espacio de oficina en nuestro país:

- Distrito Azca en Madrid, que cubre desde Nuevos Ministerios hasta las Cuatro Torres de Negocio Azca.
- Distrito Tecnológico 22@ en Barcelona, en torno a la Plaça de les Glòries y la Avenida Diagonal.

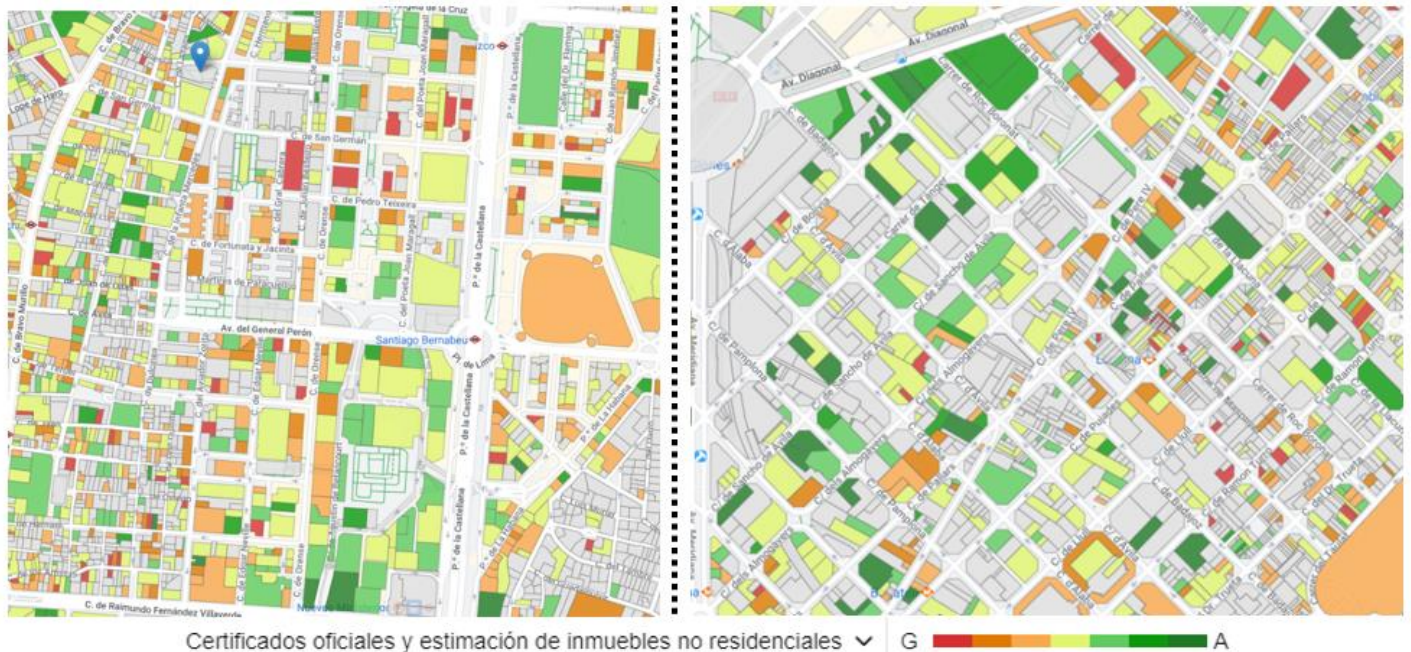


Ilustración 9. Calificación eficiencia energética inmuebles no residenciales en Azca Madrid (izquierda) y Distrito 22@ Barcelona (derecha)

Estos distritos concentran la mayor demanda de espacios de oficinas en nuestro país y, dada su ubicación, cuentan en general con mayores oportunidades de renovación, inversión e implantación de tecnología. Como se observa en la imagen anterior existen muchos con alta calificación energética (A, B, C) pero aún se observan puntos donde existe margen de mejora en eficiencia energética. Según los objetivos del plan europeo “Fit for 55” los edificios no residenciales tendrán que alcanzar niveles de eficiencia energética inferior al 16% de los edificios menos eficientes, esto supone un certificado energético como mínimo de **clase E** para 2027 y **clase D** para 2030, lo que requerirá acciones e inversiones para mejorar los parámetros de eficiencia energética y reducción de emisiones. [\[11\]](#)

Entre los factores descritos anteriormente, los servicios de HVAC (calefacción, ventilación y aire acondicionado) e iluminación ofrecen el marco adecuado para el despliegue de soluciones TIC innovadoras, con sistemas de gestión que permiten automatizar el uso de estos servicios, monitorizar el consumo y mantenimiento de los sistemas e implementar elementos que permitan hacer un uso eficiente de la energía y ofrecer un mejor servicio a los usuarios del edificio.

Con ese propósito, aparecen los sistemas de gestión y automatización de edificios (BACS) que permiten controlar estos servicios de forma centralizada, con un uso inteligente de los recursos gracias a la recogida de información mediante la sensorización y el IOT (Internet Of Things).

2.2 Legislación y normativa aplicable

Analizaremos en este apartado las disposiciones legales y normas técnicas dentro del alcance del proyecto. Así tenemos:

- **Disposiciones legales.** Correspondientes a la legislación de la UE y del país, son de obligado cumplimiento.
- **Normas técnicas.** Tienen un carácter de estandarización y su cumplimiento es voluntario, en España se designan por la Asociación Española de Normalización AENOR (UNE) y de forma internacional a la Organización Internacional de Normalización (ISO).

El consejo de la UE define el principio *Energy Efficiency First* entre uno de sus principales retos con objetivos en la reducción del consumo de combustibles fósiles y la reducción de la demanda y el consumo de la energía, tanto en el sector público como en el privado. Así, en 2012 se adopta la directiva europea de eficiencia energética, actualizada con nuevas medidas y objetivos en 2018 y en 2023, a partir de la cual se origina el paquete de medidas *Fit for 55* para la reducción de gases de efecto invernadero y el plan *RepowerEU* para reducir la dependencia de los combustibles fósiles rusos.

A continuación, se listan las principales normas, reglamentos y directivas aplicables en el proyecto:

- **Directiva EU 2023/1791.** Directiva Europea de eficiencia energética.
Entre los aspectos clave para el proyecto esta directiva define los objetivos europeos para eficiencia energética de edificios no residenciales con una mejora del 16% para 2030 y 26% para 2033, con función ejemplarizante en el sector público.
- **Real Decreto 346/2011** – Reglamento de infraestructuras comunes de Telecomunicaciones para el acceso a servicios en el interior de las edificaciones.
- **Real Decreto 842/2002** – Reglamento electrotécnico de baja tensión.
Con la ITC-51 donde se regula lo relacionado con los sistemas de automatización, gestión técnica de la energía y seguridad para viviendas y edificios.
- **Código Técnico de la Edificación.**
Donde aparece el documento básico HE (Ahorro de energía), que establece las reglas y procedimientos para conseguir un uso racional de la energía para la utilización en los edificios en materia de limitación de consumo, demanda de la energía, instalaciones térmicas y de iluminación, generación procedente de energías renovables y puntos de recarga de vehículos.
- **UNE-EN ISO 52120-1:2021** – Eficiencia energética de edificios. Contribución de la automatización, el control y la gestión de los edificios. Marco general y procedimientos.
La norma define los requisitos para las clases de eficiencia BACS para edificios (apartado 5.5 de la norma):
 - Clase D: edificios no eficientes energéticamente.
 - Clase C: edificios correspondientes a un BACS estándar. Esto incluye control automático de calefacción, agua caliente, refrigeración, ventilación e iluminación.
 - Clase B: edificios correspondientes a funciones BACS y TBM avanzadas. Con los controles de la clase C y control automático según la demanda y segregado por estancias.
 - Clase A: corresponde a funciones BACS y TBM elevadas. Incorpora a los controles de la clase B, controles de HVAC en función de la detección de ocupación y calidad del aire.
- **UNE-EN ISO 63044:2020** – Sistemas electrónicos para viviendas y edificios (HBES) y sistemas de automatización y control de edificios.
Esta norma define los requisitos de infraestructura para HBES/BACS cableados y por radiofrecuencia, así como parámetros de seguridad.
- **UNE-EN ISO 16484-5:2022** – Automatización de edificios y sistemas de control. Protocolos de comunicación de datos.

2.3 Tecnologías BACS

Los tres pilares de un edificio energéticamente eficiente se encuentran en: su aislamiento, los sistemas de generación de energía o suministro y los sistemas de control activo y utilización de la energía. En este último punto aparecen los sistemas de automatización y control de edificios (*Building Automation and Control Systems – BACS*) con el objetivo de optimizar el uso de la energía proporcionando un entorno confortable y saludable para las personas.

Los sistemas de control en los edificios han estado presentes desde hace varias décadas desde los primeros *Facility Management System (FMS)* y *Energy Management System (EMS)*, los cuales tenían un alcance aislado para gestión de un único sistema. Con los años estos términos y sistemas evolucionan a los *Building Management System (BMS)* y *Building Automation System (BAS)* que empiezan a centralizar varios sistemas e implementar mecanismos de automatización. En la actualidad las soluciones han evolucionado a partir de los sistemas anteriores con un objetivo de uso eficiente de la energía alcanzando el término BACS, relacionados también con el término de *Intelligent Building*.

Un sistema BACS se define en función de una arquitectura de tres niveles, donde se encuentran los distintos elementos y protocolos de comunicación, como se observa en la imagen a continuación:

- Nivel de gestión (**Management level**), desde donde se controla la configuración, monitorización y la supervisión de forma centralizada.
- Nivel de automatización (**Automation level**), con los que se automatizan los sistemas y sirve como punto integrador para interconectar todos los elementos.
- Nivel de equipos de campo (**Field Level**), aquí aparecen los dispositivos finales con sensores, válvulas, actuadores y otros elementos de interfaz de usuario. En este nivel encontramos los menores niveles de abstracción del sistema BACS que permite la interoperabilidad con diferentes sistemas y proveedores.

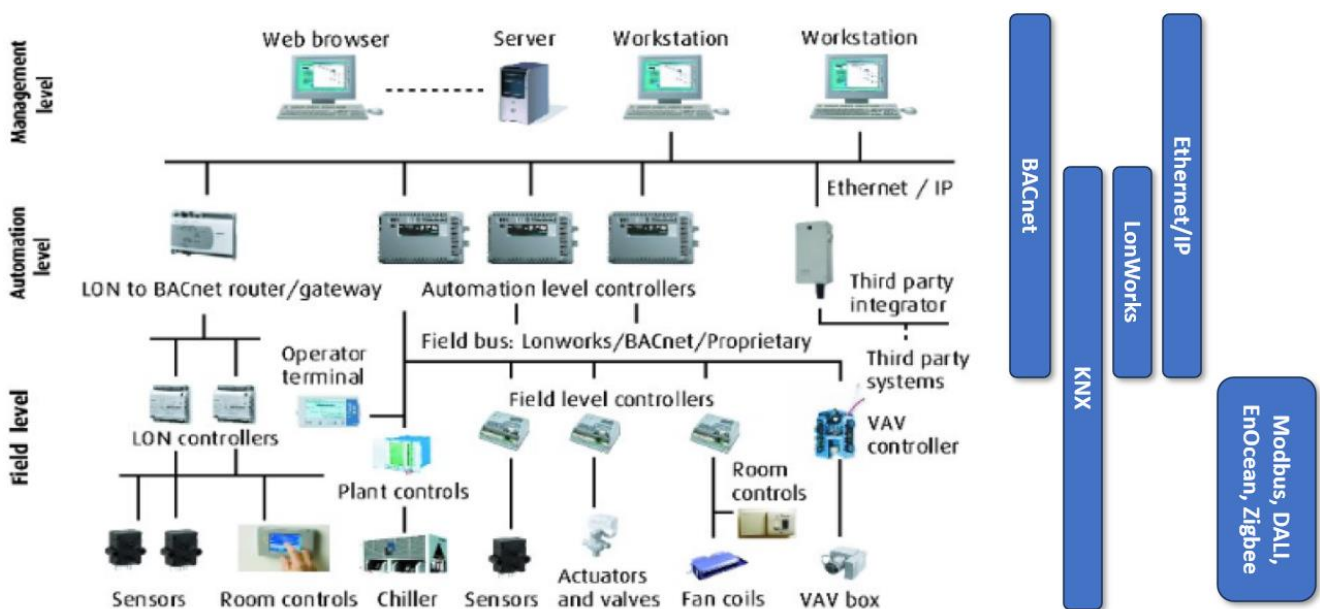


Ilustración 10. Arquitectura tres niveles de un sistema BACS. Fuente: David Brooks [13]

El sistema BACS representa la red completa de nodos inteligentes desplegados por el edificio y cuenta con distintos elementos entre los que se encuentran principalmente:

- **Sensores**, que capturan la información del entorno (temperatura, humedad, CO₂, luminosidad, movimiento, ocupación...).
- **Actuadores**, que se encargan de realizar acciones sobre los sistemas (subir/bajar la temperatura, abrir un sistema de ventilación, accionar una alarma...).
- Esta información es transmitida a través de los **controladores**, dispositivos próximos a los anteriores, que permiten la conexión de los dispositivos y que cuentan con cierta inteligencia.
- **HMI (Human Machine Interfaces)**, elementos que permiten la interacción de los usuarios con los servicios gestionados por el sistema BACS. Entre los que se encuentra el *Dashboard* de control maestro del sistema, donde se configuran y controlan todos los elementos del sistema.
- **Sistema de control**, se trata generalmente de un elemento software que centraliza el control y automatización de toda la red del sistema BACS. Este elemento aporta la inteligencia necesaria, la automatización y la monitorización de las variables de cada uno de los elementos.
- Por último, las **redes de comunicación** actuando como elemento de interconexión entre los distintos nodos. Podemos encontrar conexiones cableadas o inalámbricas, con distintos protocolos (Ejemplo: Ethernet/IP, Modbus, Z-Wave, Zigbee, DALI, BACnet, KNX...)

Algunas de las aplicaciones de los sistemas de automatización y control para edificios aplican al ámbito de seguridad y vigilancia, iluminación, diagnóstico de infraestructura, sistemas de producción de energía, sistemas antiincendios, desinfección y reciclaje inteligente, aplicaciones para riego automático y sistemas HVAC.

Entre los beneficios del despliegue de una solución BACS en un edificio de oficinas podemos destacar:

- Incremento de la eficiencia: con la optimización del uso de la energía y reducción de costes. A través de la automatización y control bajo demanda se puede reducir el consumo energético en una oficina hasta un 40% (según datos EU.BAC) [\[12\]](#)
- Mayor confort: con ambientes personalizados (climatización, iluminación, humedad y calidad del aire) y adaptados según la demanda. Esto redundará tanto en la salud de las personas como en su productividad.
- Seguridad física mejorada: con monitorización y control en tiempo real.
- Reducción en costes de mantenimiento: gracias a la monitorización continua que permite detección de incidencias y mantenimiento preventivo.
- Incremento en la capacidad de análisis: con almacenamiento de los datos que permite analizar tendencias y conductas que permitan optimizar aún más el consumo y mejorar el servicio.
- Mayor sostenibilidad y cuidado del medioambiente: mediante la reducción del consumo energético y la reducción de emisiones de gases contaminantes.

2.3.1 Proveedores y soluciones

En el mercado existen multitud de proveedores que ofrecen soluciones para la gestión y automatización de edificios. A continuación, realizaremos una comparativa entre los proveedores más destacados en el ámbito de los edificios de uso terciario, donde países como Francia, Alemania y Estados Unidos se sitúan entre los primeros puestos en materia de innovación y cuota de mercado.

Johnson Controls – Metasys. [14]



Compañía fundada en Estados Unidos, con amplia experiencia en edificios inteligentes, sistemas de seguridad y soluciones energéticas orientadas a nuevas tecnologías y sostenibilidad. Entre su catálogo de servicios aparece la solución Metasys para el control y automatización de edificios inteligentes, aportando una solución de gestión centralizada para los sistemas de climatización, iluminación, control de acceso, gestión de energía y sistemas de elevadores y escaleras mecánicas.

Metasys se construye a partir de una red de controladores, motores y módulos de entrada/salida (imagen izquierda) que permiten la conexión a los distintos sistemas del edificio. Estos controladores permiten la conexión de sensores, monitores y actuadores a la red entre los que destaca el módulo WRG1830 que hace las funciones de controlador inalámbrico (imagen derecha). Entre los protocolos utilizados por esta solución aparecen BACnet, Modbus, LonWorks, Ethernet/IP y N2 Bus (propietario de Johnson Controls).

Las características destacables de esta solución son la interoperabilidad con otros sistemas y protocolos, el uso intuitivo de sus aplicaciones de gestión y monitorización (enfocadas a entorno móvil) y su fiabilidad y seguridad frente a amenazas cibernéticas. [15]



Ilustración 11. Controladores Metasys (Johnson Controls)



Ilustración 12. Controlador WR1830

Siemens – Desigo CC



Siemens Building Technologies es una división de esta compañía alemana orientada a los servicios de control y automatización en edificios. Entre sus productos en el ámbito de Smart Cities destaca Desigo CC. Esta solución TIC proporciona un sistema de control y supervisión para edificios comerciales, industriales y públicos.

Entre sus principales valores podemos mencionar el uso de protocolos de código abierto (BACnet, Modbus, LonWorks, KNX y OPC), lo que permite la compatibilidad con productos de terceros. Desigo CC está diseñado con algoritmos avanzados y análisis de datos orientados a la gestión de la energía a través de su política 3M (Medioambiente, Menor coste, Mayor confort). [16]



Ilustración 13. Consola Desigo CC (Siemens)

Cisco Digital Building.

Esta empresa estadounidense dedicada principalmente al diseño y fabricación de equipos de telecomunicaciones dispone de algunas soluciones orientadas a Smart Building, aunque no ofrece una solución BACS integral sí que merece una mención en este apartado con sus soluciones de comunicaciones orientadas a IoT y uso eficiente de la energía.

Como es el caso de la gama de switches Catalyst 9000, con una capacidad UPOE+ de hasta 90W por puerto. Gracias a esta función es posible proporcionar suministro eléctrico y conexión Ethernet/IP a toda la red de sensores, actuadores y otros sistemas del edificio, mediante un único cable UTP. Esto simplifica los gastos de instalación y cableado, a lo que se suma una reducción en consumo energético de hasta un 45% debido al uso de corriente continua (POE) respecto a la corriente alterna. [\[17\]](#)

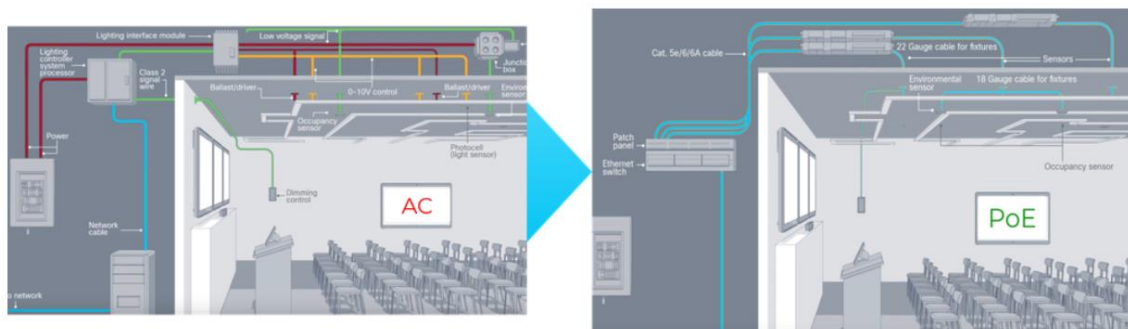


Ilustración 14. Conexión UPOE+ para IoT (Cisco)

Schneider Electric – EcoStruxure Building Operation

El mercado francés es uno de los más avanzados en tecnologías domóticas y automatización de edificios. Schneider Electric es una empresa multinacional fundada en Francia que desde hace años lidera el mercado de la gestión energética y automatización. Entre sus productos orientados a soluciones digitales para edificios destaca Ecostruxure Building Operation (EBO). [\[18\]](#)

Esta solución ofrece una estructura modular y escalable aplicable a cualquier tipo de edificios, que tiene como objetivos principales:

- Sostenibilidad y medioambiente, a través de soluciones con la máxima eficiencia energética.
- Centrado en las personas, buscando la salud y el confort de los ocupantes del edificio.
- Flexibilidad, con una arquitectura modular que permite una escalabilidad vertical (para la ampliación de los sistemas) y horizontal (mediante la inclusión de otros protocolos y fabricantes).
- Resiliencia, mediante sus mecanismos de ciberseguridad y continuidad del servicio.

La arquitectura sigue el modelo definido según el estándar BACS con un amplio catálogo de dispositivos.



Ilustración 15. Arquitectura EcoStruxure Building Operation (Schneider Electric)

2.3.2 Proyectos similares

En este apartado destacaremos algunos proyectos con objetivo similar a este trabajo donde analizaremos algunas las soluciones desarrolladas para la automatización de edificios y el uso eficiente de la energía.

UPC-ESEIAAT. Calidad del aire y eficiencia energética

La escuela superior de Ingenierías Industrial, Aeroespacial y Audiovisual de Terrassa ha llevado a cabo un proyecto para mantener la calidad del aire en las aulas (bajo los criterios de ventilación post Covid-19), alineada a criterios de reducción de consumo de energía. Mediante sensores SpaceLogic (para medir la calidad del aire y otros parámetros) y la integración del sistema EcoStruxure Building Operation (Schneider Electric) ha podido automatizar acciones para la reducción de gasto energético y mantener los niveles óptimos de calidad del aire para sus ocupantes. [19]



Ilustración 16. Campus UPC-ESEIAAT

Al Shera'a, Dubai. El edificio más alto del mundo con saldo energético Zero



Ilustración 17. Al Shera'a, Dubai

Este edificio de 15 plantas se sitúa entre los más inteligentes y sostenibles del mundo, gracias a su arquitectura y construcción junto a los sistemas de inteligencia artificial y de IOT que implementa, generando el 100% de la energía que necesita y un 50% menos de consumo de agua respecto a edificios similares. Johnson Controls ha implementado sistemas de automatización con Open Blue para mantenimiento predictivo, diagnóstico remoto, eficiencia energética y métodos de IA para el estudio del uso de los espacios. [20]

Estadio nacional de Beijing, China. Un ejemplo de Smart Green Building para los JJOO 2008

Este estadio icónico inaugurado para los JJOO de 2008 fue diseñado como uno de los ejemplos de Smart Building de la época con la integración de todos los sistemas de control, automatización, seguridad y transmisión de video bajo un control centralizado desarrollado por Honeywell. Con un total de 7.500 puntos de control, 769 sensores, 37 válvulas de agua controladas, 231 sensores de temperatura, 578 cámaras de videovigilancia, 3.232 detectores de humos, 1.629 módulos de control y 2.559 monitores. Las principales aplicaciones de control son la calidad de aire, los sistemas de control de agua y los sistemas de iluminación y ascensores. [21]



Ilustración 18. Beijing National Stadium

The Edge, Amsterdam. El edificio de oficinas más sostenible del mundo



Ilustración 19. The Edge, Amsterdam

Este edificio de 40.000 m² produce el 102% de su energía (por debajo de 0.3 kWh/m²/año) y prioriza la salud, el confort y la productividad de sus ocupantes. Para conseguirlo se basa en iluminación LED, sistemas de generación de energía solar/eólica e implementa un sistema de control y automatización con más de 50 controladores (*Automation Server*) y un sinnúmero de sensores, válvulas y actuadores que permiten medir y optimizar el consumo energético de cada sistema. Además, ofrece a sus ocupantes el control de los sistemas de confort desde sus terminales móviles. [22]

2.4 Inmótica e IOT

El término de **inmótica** fusiona los conceptos de “inmueble” y “automática” y hace referencia a la integración de la tecnología en los edificios comerciales o residenciales para la gestión automatizada y eficiente de sus sistemas, como iluminación, HVAC, seguridad y gestión de energía. La inmótica persigue la comodidad y seguridad de los ocupantes del edificio junto con la eficiencia energética en el uso de sus espacios mediante dispositivos tales como sensores, actuadores, aplicaciones y sistemas de control para crear edificios inteligentes y conectados.

Estos dispositivos se enmarcan en el concepto de **Internet Of Things (IOT)**. El término IOT nace en la década de los 80's para describir la interconexión de dispositivos cotidianos a través de internet, esto les permite comunicarse, recopilar y compartir datos de forma automática. Esta nueva capacidad de conexión de los dispositivos abre un nuevo abanico de oportunidades para recopilar y procesar datos, automatizar la toma de decisiones, mejorar su eficiencia y aportar beneficios en comodidad y productividad. Desde su aparición los dispositivos conectados han aumentado de forma exponencial, actualmente se calcula que existen 16 mil millones y alcanzaremos los 30 mil millones de dispositivos en 2027 (Fuente: @Statista 2024). [23]

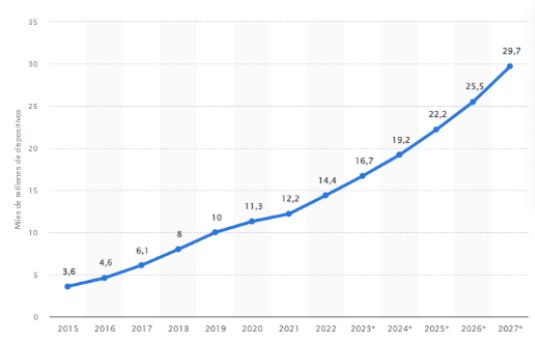


Ilustración 20. Evolución de dispositivos IOT

2.4.1 Protocolos

En línea con la evolución y el desarrollo de estos dispositivos conectados aparecen distintos protocolos específicamente diseñados para las necesidades de conectividad del ámbito de la sensorización y el IOT. En el mercado existen multitud de opciones para protocolos IOT orientados a las distintas necesidades (industrial, doméstico, salud, agrícolas, tráfico y vehículos), en nuestro caso nos centraremos en aquellos mayormente utilizados en el ámbito de los edificios de oficinas y de uso no residencial.

BACnet (Building Automation and Control Networks)



Protocolo estándar a nivel mundial definido en la ISO 16484-5:2022 desarrollado en 1987 con extendida utilización en la industria de automatización de edificios con aplicaciones en sistemas HVAC, iluminación, control de acceso y seguridad, gestión de la energía y elevadores. La arquitectura sigue un modelo cliente-servidor, donde los dispositivos pueden actuar con ambos roles. Su utilización aparece en redes cableadas e inalámbricas a través de medios como Ethernet, RS-485 y TCP/IP. [24]

Características y beneficios principales: estándar abierto a nivel mundial independiente de tecnologías y proveedores específicos, compatible con infraestructura IT, altamente escalable, continuamente actualizado gracias a los comités y organizaciones que lo desarrollan, lo que asegura la vida útil de las implementaciones. Por último, gracias a su flexibilidad e interoperabilidad permite la integración de multitud de marcas y dispositivos lo que le ha convertido en un pilar fundamental en la industria de sistemas inteligentes.

Zigbee (IEEE 802.15.4)



Estándar de comunicación inalámbrica diseñado para aplicaciones y redes de sensores de baja potencia y corto alcance. Su topología se basa en una red mallada, donde todos los dispositivos pueden actuar como cliente y servidor. En los últimos años ha crecido enormemente con soluciones para todas las industrias.

Características y beneficios principales: bajo consumo de energía, red mallada lo que permite mayor eficiencia y redundancia, interoperabilidad con cualquier fabricante dado su estándar abierto, alto nivel de escalabilidad y seguridad (con características integradas para proteger la privacidad y la integridad de las comunicaciones). [25]

DALI (Digital Addressable Lightning Interface)



Este protocolo desarrollado en 1990 es utilizado en sistemas de control de iluminación y permite la comunicación bidireccional entre dispositivos de iluminación y controladores. Esto permite la comunicación desde el controlador para la gestión de las lámparas y en sentido inverso la comunicación desde los dispositivos de iluminación (consumo, averías, datos de uso...). La conexión de los dispositivos que utilizan este protocolo se basa en un bus de comunicación cerrado de dos hilos de par trenzado, por el que transcurren alimentación y datos. Dentro de este bus de datos cada dispositivo recibe una dirección desde el controlador DALI para su gestión individual. [26]

Características y beneficios principales: el protocolo DALI ofrece un control flexible e interoperable de la iluminación en edificios, gracias a sus capacidades de direccionamiento permite el control independiente y regulación de las luminarias.

KNX (Konnecvity Network X)



Protocolo desarrollado por tres asociaciones europeas (Konnex, EIBA y BatiBUS) en 1990, ampliamente utilizado en hogares y edificios en Europa para sistemas domóticos y de control. La conexión entre los dispositivos puede ser con par trenzado, redes Ethernet o incluso a través de las líneas de suministro eléctrico. La arquitectura está diseñada de forma descentralizada y permite integrar una amplia variedad de dispositivos de diferentes fabricantes. [27]

Características y beneficios principales: entre sus principales ventajas destacan su interoperabilidad y versatilidad con diferentes marcas y su fiabilidad. Gracias a su comunicación bidireccional, flexibilidad y escalabilidad permite crear sistemas personalizados para cualquier entorno con beneficios en confort, seguridad y eficiencia energética.

LonWorks



Fue el primer protocolo estándar en salir al mercado de EE. UU. para uso de comunicación en dispositivos de automatización de edificios. Se basa en comunicación peer-to-peer formando una topología flexible con dispositivos compatibles dentro de su estándar. [28]

Características y beneficios principales: gracias a su topología permite una comunicación eficiente y confiable, es altamente escalable y permite una amplia variedad de medios de transmisión (par trenzado, transformador acoplado, radiofrecuencia, coaxial, infrarrojo y fibra óptica entre otros).

Modbus



Desarrollado en 1979 por Modicon (ahora Schneider Electric) para el control de PLC's que posteriormente fue adoptado como estándar abierto. Su arquitectura está basada en el modelo cliente/servidor unidireccional y es ampliamente utilizado en entorno industrial gracias a su sencillez de implementación y su compatibilidad de dispositivos. En el ámbito del control y automatización de edificios, Modbus es utilizado para comunicación de controladores HVAC que combinan perfectamente con su mecanismo de intercambio de mensajes. [29]

Características y beneficios principales: destacan su simplicidad de implementación y programación, su flexibilidad, dado que es independiente del hardware y software utilizado, y su eficiencia gracias a su arquitectura. Es un estándar ampliamente adoptado y con gran longevidad en entorno industrial.

2.4.2 Componentes

Para finalizar el estudio de la cuestión listaremos algunos de los componentes principales que pueden formar parte de una instalación inmótica para un sistema BACS y sus características básicas.

Controladores. Componentes fundamentales del sistema, cumple el papel de cerebro del sistema y es responsable de recopilar datos, la conexión y el control del resto de sistemas. Permite la configuración de automatizaciones.			
SpaceLogic AS-P	Schneider Electric	Controlador compacto con funciones de servidor de automatización que permite controlar módulos E/S. Protocolos: TCP/IP, Zigbee, LonWorks, BACnet y Modbus Puertos: 2x 10/100 Base-TX, USB, 2x RS-485, 2x LonWorks	
SmartX IP Controller MP-C	Schneider Electric	Controlador multipropósito completamente programable con salidas y entradas incorporadas. Protocolos: TCP/IP y BACnet Puertos: Universal I/O (Digital), Triac (0-24 VAC), Ethernet	
SpaceLogic UI-x	Schneider Electric	Módulo mixto que permite añadir puertos E/S Protocolos: TCP/IP y BACnet Puertos: 8x Universal I/O (Digital) y 4x salidas analógicas.	
Optimizer Unitary Controller	Honeywell	Controlador programable con puertos E/S integrados Protocolos: TCP/IP, T1L, Modbus y BACnet Puertos: 2x 10/100 Base-TX, USB, 2x RS-485, Universal I/O (digital), Triac (0-24 VAC).	
Field Equipment Controller	Jhonson Controls	Controlador avanzado con programación para monitorización y control. Protocolos: TCP/IP, T1L, N2 y BACnet Puertos: 10/100 Base-TX, 2x RS-485, Universal I/O (digital), Triac (0-24 VAC).	
WRG1830	Jhonson Controls	Controlador orientado a redes inalámbricas malladas que permite incorporar funciones de automatización. Protocolos: TCP/IP y BACnet	
PXC4.E16	Siemens	Controlador compacto programable con salidas y entradas incorporadas. Protocolos: TCP/IP, KNX, Modbus y BACnet Puertos: 10/100 Base-TX, 2x RS-485, Universal I/O (digital), Triac (0-24 VAC).	
Modulo DALI DT8	DALI	Driver DALI para control de luminarias LED. Hasta 4 canales DC12V.	
e-Room Controller 4E/5S	e-Controls	Controlador de fan-coils autónomo hasta 4 canales. Protocolos: Modbus y BACnet Puertos: 2x RS-485, Universal I/O (digital)	
SpaceLynk	Schneider Electric	Controlador programable para sistemas BMS. Protocolos: TCP/IP, KNX, Modbus y BACnet Puertos: 10/100 Base-TX, RS-485, Universal I/O (digital)	

Tabla 4. Ejemplo de controladores en un sistema BACS

Sensores. Estos dispositivos permiten la recolección de datos y variables del edificio, fundamentales para la toma de decisiones. Desde el nacimiento de IOT han evolucionado de forma drástica y existen multitud de opciones.






E-Mon Class 3200 Smart Meter	Honeywell	Dispositivo de desagregación de consumo eléctrico para 3 líneas con conexión de control vía RS-485.	
Awair Onmi 1	Awair	Multisensor (temperatura, humedad, calidad de aire, ruido e iluminación) con conexión Ethernet o Wi-Fi.	
IRC6637CAW Vector 4D	Irisys	Sensor cuenta personas compatible con protocolos MQTT, Ethernet y BACnet.	
SpaceLogic Insight Sensor	Schneider Electric	Multisensor interior para temperatura, humedad, luminosidad, ocupación y cuenta personas.	
Kinasgard AHKF-1	S&S Regeltech	Sensor de luminosidad exterior / sensor crepuscular para la medición de luz natural (350 nm a 850 nm).	

Tabla 5. Ejemplo de sensores en un sistema BACS

Actuadores y válvulas. En contraste con los sensores, estos dispositivos se ocupan de realizar las acciones indicadas por el controlador. Ej.: cambios de temperatura o iluminación, permitir el flujo de agua o aire, etc....




Actuador de Fan Coil Carril DIN	Schneider Electric	Acondicionador de calefacción por sistema de bus KNX para Fan Coil de 3 velocidades.	
SR-2300-USB	DALI	Driver <i>master</i> DALI hasta 64 equipos con montaje en carril DIN.	
Actuador MCU-06 de persianas	KNX	Módulo actuador de persianas y estores de 6 canales y 12 entrada libre potencial.	

Tabla 6. Ejemplo de actuadores y válvulas en un sistema BACS

HMI (Human Machine Interface). Sirven como plataforma para usuarios finales y administradores para la supervisión, control y gestión de los sistemas conectados al sistema BACS.





Touch Screen Control LD103B	LedBox	Controlador DALI con pantalla táctil para el control de 128 dispositivos.	
Centraline Web-HMI	Honeywell	Monitor táctil con navegador IP HTML5 con acceso directo al controlador.	
Harmony ST6 y STW6	Schneider Electric	Terminal HMI Led programable con HTML5 y pantalla resistiva con varios tamaños.	
Easy IO HMI panel	Jhonson Controls	Panel táctil multilinguaje de 10 pulgadas con conexión ethernet y Wi-Fi.	

Tabla 7. Ejemplo de HMI en un sistema BACS

3. Análisis del edificio

3.1 Detalles generales del espacio

El edificio sobre el que se realiza el estudio está ubicado en Madrid en el Paseo de la Castellana y cuenta con 11 plantas, con diferentes usos y clientes. Para el estudio se incluyen las plantas 3ª a 7ª en uso por un único cliente, se excluyen del alcance las zonas comunes como ascensores y otras zonas de servicio. El resto de las plantas corresponden a zonas comerciales (las inferiores) o no se encuentran ocupadas, aunque se tendrán en cuenta en el diseño posibles ampliaciones del sistema para dar cobertura a nuevos espacios.

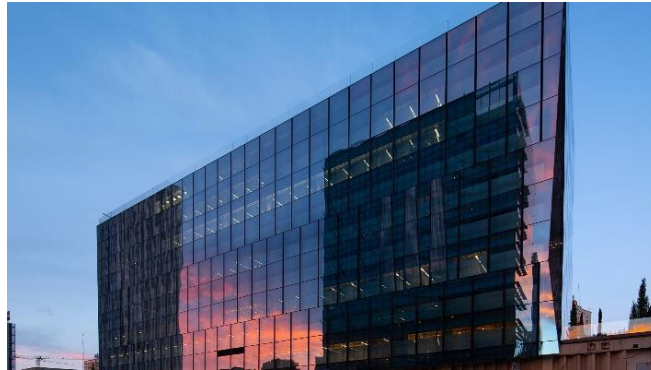


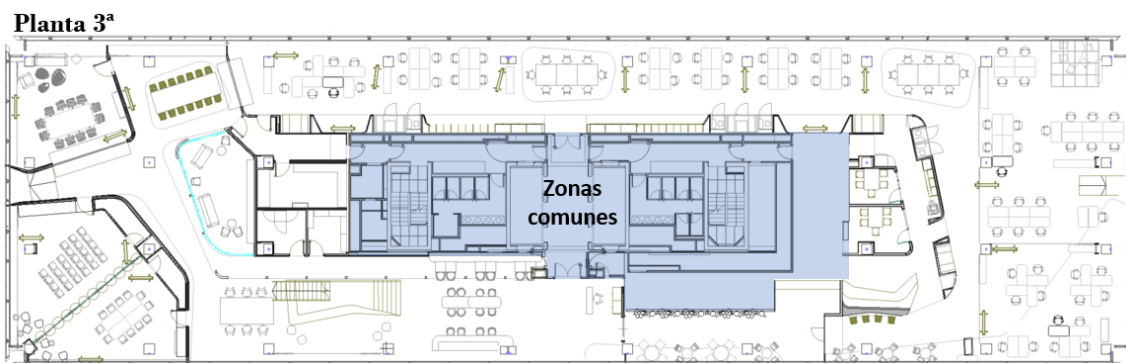
Ilustración 21. Imagen edificio Castellana

El edificio está formado por una construcción independiente (no adosada) con fachada acristalada con vidrio insulado (dos o más vidrios separados entre sí por una cámara de aire para aislamiento térmico), fotocromático (con capacidad de oscurecimiento según el nivel de luz exterior) y un sistema estores motorizados controlados por reloj y actuadores manuales.

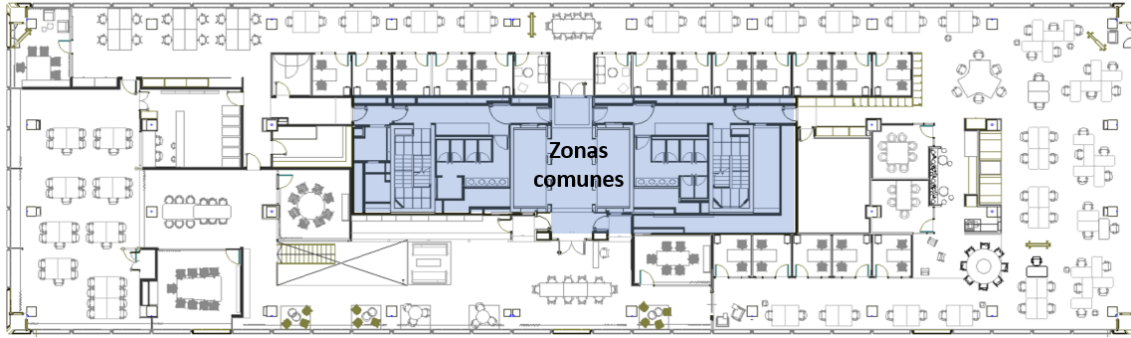
El uso habitual de los espacios incluidos en el alcance es de lunes a viernes en horario de 8h a 20h, con una media de ocupación de 800 personas al día de perfil administrativo/empresarial. Estos espacios están gestionados de forma interna por el edificio con una aplicación de reserva de espacios y puestos de trabajo.

El espacio total útil de estas 5 plantas es de 8.236 m² con 620 puestos de trabajo, 36 salas de reuniones, 46 despachos, 18 zonas de trabajo colaborativo abierto y 6 zonas de espacio compartido (cafetería o zonas de impresión).

A continuación, se observan los planos de distribución de estos espacios.



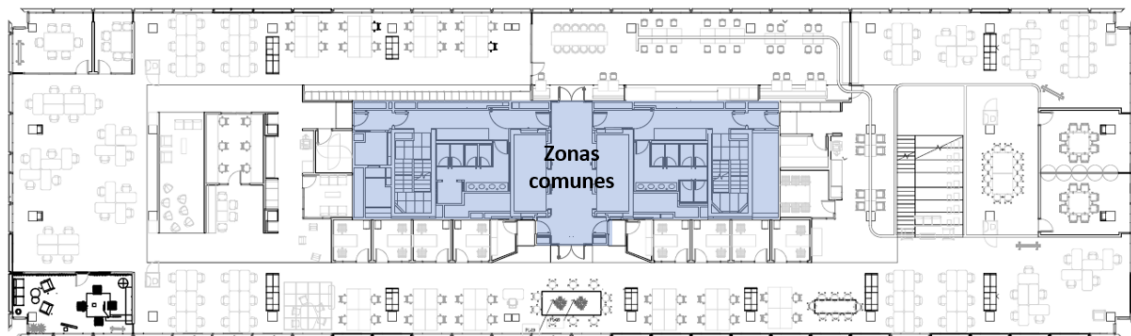
Planta 4ª



Planta 5ª



Planta 6ª



Planta 7ª

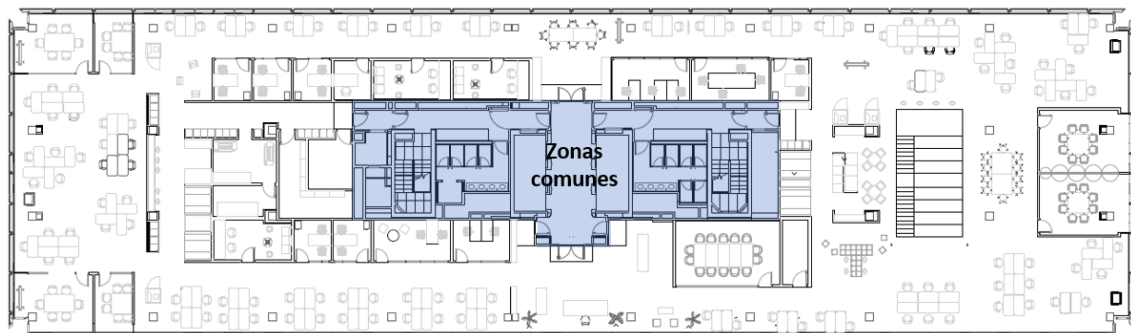


Ilustración 22. Planos distribución espacios por planta (3ª a 7ª)

3.2 Sistemas actuales

El objetivo primordial de nuestro proyecto es la eficiencia energética sobre el consumo energético de la oficina, obteniendo reducción de los costes de operación y mejorando la sostenibilidad de los servicios y los recursos. Para ello es básico conocer y entender las principales fuentes de consumo energético y los sistemas y equipos de las que dependen, para poder adaptar la mejor solución tecnológica. En los siguientes apartados se describen los sistemas actuales de iluminación, climatización y ventilación.

3.2.1 Iluminación

En este apartado se describen y detallan los sistemas de iluminación de las plantas y zonas dentro del alcance del proyecto:

- Alumbrado: instalaciones para zona de paso o zona no especificada como puestos de trabajo.
- Iluminación: zona específica de puestos de trabajo, incluidos despachos y zonas de colaboración.
- Emergencia: luces de emergencia obligatorias. No se incluyen en el estudio.

Según la norma UNE-EN-12464-1 (Iluminación en lugares de trabajo) [30] se deben **aprovechar al máximo las fuentes de iluminación natural**, los sistemas de iluminación artificial deben situarse entre los 3000°K y 4000°K (color) y unos niveles mínimos de luminosidad:

Puestos de trabajo	Salas de reuniones	Recepción	Zonas compartidas	Zonas de paso
500 lux	500 lux (regulables)	400 lux	350 lux	100 lux

Actualmente los **sistemas de alumbrado**, aplicados a las zonas de paso y como apoyo para espacios de trabajo, están formados por luminarias y focos LED regulables gestionados por controladoras DALI. Los principales dispositivos y su consumo energético son:

- Luminaria tubular regulable DALI – Philips PT320C (3000/4000°K). Consumo: 16,6 W.
- Downlight empotrado DALI – LED C4 (3000/4000°K). Consumo: 8,6 W.
- Panel LED 60x60cm empotrado DALI – Philips RC132W. Consumo: 40 W.
- Pulsador Jung LS990
- Detector de presencia Beg Luxomat PD4-M-DALI/DSI
- Detector de presencia Dyalite Philips DUS360CR-D

Los sistemas de alumbrado están gestionados por los controladores DALI en un modo de funcionamiento on/off en modo horario (lunes a viernes, 8h a 20h), junto con detectores de presencia para el funcionamiento fuera de ese horario. Para el control y regulación de los sistemas de alumbrado se dispone de controladores/reguladores DALI Dyalite – Philips DDBC120-DALI, cada controlador permite gobernar un máximo de 64 dispositivos repartidos en 16 grupos diferentes como se muestra en el diagrama:

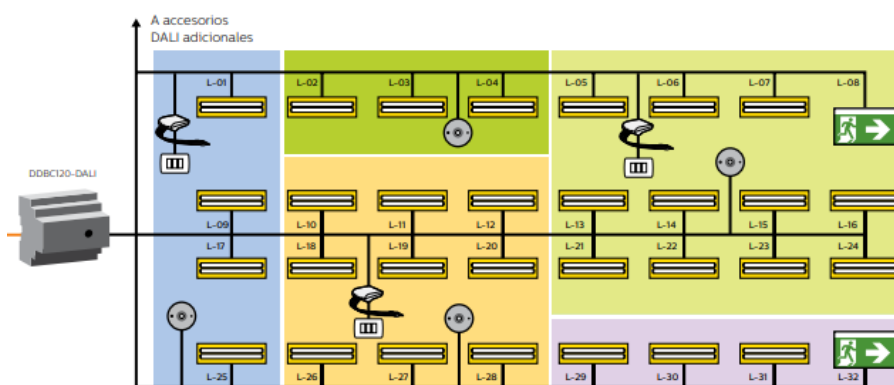


Ilustración 23. Diagrama de control DDBC120-DALI (Ejemplo)

Por otro lado, los **sistemas de iluminación**, aplicados como fuente de luz principal para los puestos de trabajo y salas de reuniones, están formados por luminarias LED, con conexión a Switch POE para suministro eléctrico (hasta 60W por puerto) y control de la programación de las luminarias. Estos sistemas siguen el mismo control horario que los sistemas de alumbrado (8h a 20h), con una herramienta de control independiente.

Los principales dispositivos son:

- Luminaria Negro RAL 9011 LED B9030-N-BN (1,2m). Consumo unitario: 50 W
- Luminaria Negro RAL 9011 LED B9030-N-BN (1,5m). Consumo unitario: 60 W
- Luminaria Blanco RAL 9003 LED B9030-B-BN (1,2m). Consumo unitario: 50 W
- Luminaria Blanco RAL 9003 LED B9030-B-BN (1,5m). Consumo unitario: 60 W
- Luminaria empotrada techo RC340B LED36S/940. Consumo unitario: 29 W
- Switch UPOE Cisco Catalyst Digital Building series 8 puertos (max output 480 W). Consumo propio: 120 W

Seguidamente, en la tabla 8 se detallan los principales elementos de estos sistemas en cada planta y su consumo energético potencial.

















Nombre dispositivo	Consumo (W)	Foto	Legenda	Número de dispositivos					
				3ª	4ª	5ª	6ª	7ª	Total
Alumbrado									
Luminaria PT320C	16,6			86	0	19	21	12	138
Panel RC132V	40			16	51	37	30	48	182
Downlight LED C4	8,6			23	29	43	26	27	148
Iluminación									
Luminaria 9011 1,2m	50			0	0	91	78	32	201
Luminaria 9011 1,5m	60			0	0	104	133	0	237
Luminaria 9003 1,2m	50			96	103	27	10	116	352
Luminaria 9003 1,5m	60			89	113	0	8	121	331
Luminaria RC340B	29			17	0	0	0	0	17
Switch POE	120			29	34	31	31	36	161

Tabla 8. Elementos de iluminación y alumbrado

En el [anexo A1](#) se adjuntan los planos de distribución de cada uno de estos elementos.

3.2.2 HVAC

Englobado en el término HVAC (*Heating, Ventilation and Air Conditioning*) se integran los sistemas que controlan la climatización y ventilación del edificio.

A este respecto, el edificio cuenta con un sistema general de climatización/humidificación mediante sistema híbrido VRF-Agua por recuperación de calor, donde las unidades exteriores se conectan a cada uno de los HBC (*Hydro Branch Controller*) para el intercambio de calor mediante conductos de líquido refrigerante, y a su vez los HBC se conectan a cada uno de los fan coil del edificio mediante 2 tubos para el intercambio de calor mediante agua fría o caliente (en función de la necesidad de refrigeración o calefacción). Este sistema está descrito en la ilustración 24. [31]

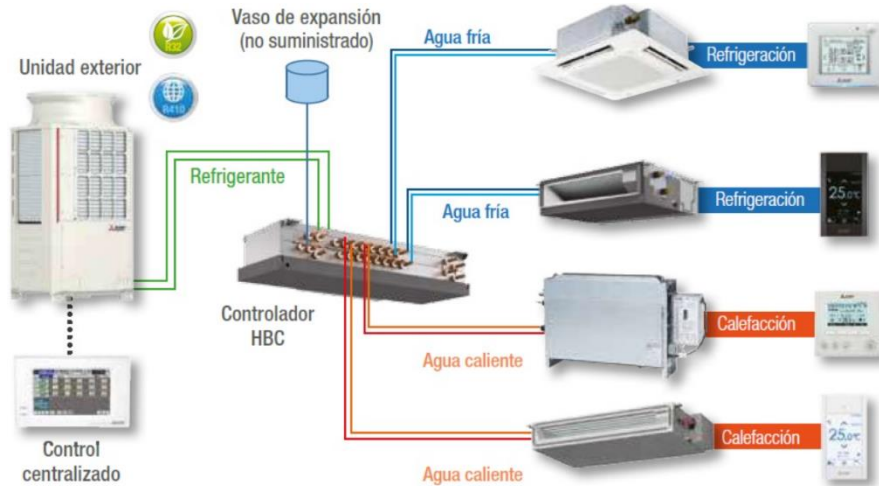


Ilustración 24. Sistema climatización VRF- Agua

Según el Real Decreto 178/2021 por el que se aprueba el reglamento de instalaciones térmicas en los edificios se regula la temperatura interior en los edificios de uso terciario:

- En verano debe situarse entre 23 y 25°C con humedad relativa entre 45 y 60%.
- En invierno debe situarse entre 21 y 23°C con humedad relativa entre 40 y 50%.
- La velocidad del aire debe estar entre 0,1 y 0,2 m/s.

En otro ámbito, el Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el trabajo (INSST) recomienda los siguientes parámetros y niveles óptimos para el trabajo en oficinas:

- Nivel máximo de ruido: 55 dB.
- Nivel máximo de CO₂: 1.000 ppm (partes por millón).
- Nivel máximo de partículas en suspensión (Ej. polvo): 15 µg/m³.
- Nivel máximo de VOC (Componentes orgánicos volátiles): 300 ppb (partes por billón).

Se complementan los sistemas de climatización con equipos de ventilación y tratamiento de aire para impulsión y extracción mediante las Unidades de Tratamiento de Aire (UTA), compuestas por un equipo UTA exterior y los equipos terminales VAV de interior, que incluyen una programación prefijada:

- Unidad terminal VAV (Volumen Aire Variable) - UTA de interior modelo Trox TA-TZ-Silenzio. Consumo máximo: 6,24 kW.
- Controlador Trox Technik LVM-D3A por control analógico 0-10V.
- Sensor CO₂ integrado.



Ilustración 25. Sistema ventilación (UTA – VAV)

En la actualidad, el edificio para el que se realiza el diseño cuenta con un sistema HVAC Mitsubishi Electric gama Hybrid City Multi compuesto por los siguientes equipos y consumos.

- Fan coil: PEFY-WP15VMS1-E. Consumo: 1,7/1,9 kW (refrigeración/calefacción)
- Fan coil: PEFY-WP20VMS1-E. Consumo: 2,2/2,5 kW
- Fan coil: PEFY-WP32VMS1-E. Consumo: 3,6/4,0 kW
- Fan coil: PEFY-WP40VMS1-E. Consumo: 4,5/5,0 kW
- Fan coil: PEFY-WP25VMS1-E. Consumo: 2,8/3,2 kW
- Fan coil: PEFY-WP32VMA-E. Consumo: 3,6/4,0 kW
- HBC: CMB-WM1016V-AA. Consumo: 0,45 kW
- MultiSplit: MSZ-AY50VGK. Consumo: 5 kW – 24x7(específico para los cuartos técnicos)

El modo de configuración de la climatización está configurado para mantener una temperatura de 23°C, tanto en verano como en invierno, dentro del horario establecido de 8h a 20h para ello se sirve de los termostatos de zona repartidos por el edificio y un sistema de control independiente para la gestión centralizada. A continuación, se adjunta una ilustración de los distintos elementos descritos, de izquierda a derecha: Hydro Branch Controller, MultiSplit, fan coil WPxxVMS1-E y fan coil WPxxVMA-E.



Ilustración 26. Imágenes equipos climatización

Por último, se identifican en la tabla 9 los elementos que componen el sistema de climatización y ventilación, junto con su capacidad nominal, tanto en modo refrigeración como en calefacción:

Nombre dispositivo	Capacidad nominal refrigeración (kW)	Capacidad nominal calefacción (kW)	Leyenda	3ª	4ª	5ª	6ª	7ª	Total
Climatización/ Ventilación /Humidificación									
Fan coil PEFY-WP15VMS1-E	1,7	1,9	FC-01	11	24	27	19	24	105
Fan coil PEFY-WP20VMS1-E	2,2	2,5	FC-02	18	16	16	16	14	80
Fan coil PEFY-WP32VMS1-E	3,6	4,0	FC-03	3	2	5	8	6	24
Fan coil PEFY-WP40VMS1-E	4,5	5,0	FC-04	4	2	2	2	2	12
Fan coil PEFY-WP25VMS1-E	2,8	3,2	FC-05	22	19	16	18	18	93
Fan coil PEFY-WP32VMA-E	3,6	4,0	FC-06	0	4	3	3	2	12
HBC	0,45	0,45	HBC-1	4	4	4	4	4	20
MultiSplit	5	5	UI-1	2	3	2	2	2	11
UTA Trox TA-TZ	6,24	6,24	UTA	4	4	4	4	4	20

Tabla 9. Elementos de climatización

En el [anexo A2](#) se adjuntan los planos de distribución de cada uno de estos elementos.

3.3 Consumo actual

En el siguiente apartado procedemos a calcular los consumos actuales estimados para estos servicios.

En los elementos de alumbrado e iluminación tenemos:

Nombre de dispositivo	Consumo unitario (W)	# total de dispositivos	Consumo total (W)
Alumbrado			
Luminaria PT320C	16,8	138	2.291
Panel RC132V	40	182	7.280
Downlight LED C4	8,6	148	1.273
Iluminación			
Luminaria 9011 1,2m	50	201	10.050
Luminaria 9011 1,5m	60	237	14.220
Luminaria 9003 1,2m	50	352	17.600
Luminaria 9003 1,5m	60	331	19.860
Luminaria RC340B	29	17	493
Switch POE	120	161	19.320
			92.387 W

Tabla 10. Consumo elementos de iluminación

El consumo total de los **equipos de iluminación** se estima en 92,4 kWh, lo que supone un consumo diario siguiendo los horarios de utilización del espacio (8h a 20h) de 1.108,6 kW y (para un estimado de 22 días laborables) un consumo mensual de **24.390 kW**.

Realizando el mismo ejercicio para los **elementos de climatización** tenemos:

Nombre de dispositivo	Capacidad nominal refrigeración (kW)	Capacidad nominal calefacción (kW)	# total de dispositivos	Cap. nominal total refrigeración (kW)	Cap. nominal total calefacción (kW)
Climatización					
FC WP15VMS1	1,7	1,9	105	178,5	199,5
FC WP20VMS1	2,2	2,5	80	176	200
FC WP32VMS1	3,6	4,0	24	86,4	96
FC WP40VMS1	4,5	5,0	12	54	60
FC WP25VMS1	2,8	3,2	93	260,4	297,6
FC WP32VMA	3,6	4,0	12	43,2	48
HBC	0,45	0,45	20	9	9
MultiSplit	5	5	11	55	55
UTA	6,24	6,24	20	124,8	124,8
				987,3 kW	1.090 kW

Tabla 11. Capacidad nominal elementos de climatización

Para el cálculo del consumo medio de una instalación de clima de estas características es posible usar el SCOP y el SEER de los dispositivos: [\[32\]](#)

- SCOP es el coeficiente europeo que mide la eficiencia energética estacional de un sistema de calefacción.
- SEER es el equivalente para sistemas de refrigeración.

Estos coeficientes permiten reflejar con mayor fidelidad el uso diario de un aparato de climatización a lo largo de un año teniendo en cuenta el uso estacional y dado que los equipos no están funcionando al máximo régimen de forma continua. Gracias a ello podemos reflejar con mayor exactitud el consumo estimado de los equipos.

En nuestro caso, los fan coil Mitsubishi de gama *Hybrid City Multi* ofrecen, según el fabricante un SCOP=3,6 y un SEER=5,2, correspondientes a una clase de eficiencia energética A. Conocido este valor el consumo aproximado de los equipos de clima se corresponde según las expresiones:

$$\text{Consumo medio refrigeración} = \frac{\text{Capacidad nominal}}{\text{SEER}} \quad (3)$$

$$\text{Consumo medio calefacción} = \frac{\text{Capacidad nominal}}{\text{SCOP}} \quad (4)$$

Por lo tanto, el consumo medio de los sistemas de climatización resultante será:

$$\text{Consumo medio refrigeración} = \frac{987,3 \text{ kW}}{5,2} = 189,9 \text{ kW} \quad (5)$$

$$\text{Consumo medio calefacción} = \frac{1090 \text{ kW}}{3,6} = 302,7 \text{ kW} \quad (6)$$

Para un uso previsto de lunes a viernes en horario de 8h a 20h el consumo medio en modo refrigeración será de 2.278,4 kW y 3.633 kW en modo calefacción. De nuevo, haciendo la aproximación de 22 días laborables obtenemos el resultado de consumo medio mensual:

$$\text{Consumo medio refrigeración (mensual)} = \mathbf{50.124 \text{ kW}} \quad (7)$$

$$\text{Consumo medio calefacción (mensual)} = \mathbf{79.926 \text{ kW}} \quad (8)$$

En general, el consumo energético estimado de los servicios analizados (climatización + iluminación) será:

- Durante los meses de verano en modo refrigeración

$$\text{Consumo est. verano} = 50.124 + 24.390 = 74.514 \text{ kW} \quad (9)$$

- Durante los meses de invierno en modo calefacción

$$\text{Consumo est. invierno} = 79.926 + 24.390 = 104.316 \text{ kW} \quad (10)$$

Obteniendo un consumo anual estimado de **1.073 MW** - (130 kWh/m²) y un promedio mensual de **89.415 kW**.

3.4 Requisitos y limitaciones para el proyecto

Se resumen en este apartado las principales características de los sistemas existentes para definir el punto de partida, las posibles mejoras y las restricciones del diseño de la solución.

Sistemas de iluminación.

Los sistemas de alumbrado están compuestos por lámparas LED controlado por drivers DALI en modo ON/OFF horario, junto con detectores de presencia. Los sistemas de iluminación se forman por lámparas LED con suministro eléctrico y control mediante switch POE en modo horario programado.

Sistemas de climatización y ventilación.

Compuestos por un sistema híbrido VRF (aire/agua) por intercambiador de calor con fan coils de clase de eficiencia A, gestionados por un sistema de control independiente y termostatos de zona con programación horaria. Junto con sistemas de ventilación por extracción/impulsión de aire con programación fija y sensor de CO₂ integrado.

Según la norma UNE EN-ISO 52120-1 (anexo A Tabla 6 de la norma) haciendo una lista de las funciones y asignación de clases de eficiencia BACS (se omiten aquellos controles fuera del alcance del proyecto) el sistema de control y automatización del edificio obtiene una **categoría de sistema BACS de clase C**.

	Nombre del control	Definición de clases				Detalles específicos y comentarios
		D	C	B	A	
1	Control de calefacción					
1.1	Control de la emisión		X			Control individual por recinto
1.2	Control de emisión para TABS		X			Control automático central para sistemas termo activos
1.5	Control intermitente de la emisión		X			Control automático con programa horario fijo
2	Control del suministro del ACS					No aplica
3	Control de refrigeración					
3.1	Control de la emisión		X			Control individual por recinto
3.2	Control de emisión para TABS		X			Control automático central para sistemas termo activos
3.5	Control intermitente de la emisión		X			Control automático con programa horario fijo
4	Control de la ventilación					
4.1	Control del aire de impulsión al recinto		X			Control programado
4.3	Control de la temperatura de aire		X			Control continuo
4.10	Control de la humedad			X		Control directo de la humedad
5	Control de iluminación					
5.1	Control por ocupación		X			Interruptor manual de encendido + señal de apagado
5.2	Control de intensidad luminosa	X				Manual centralizado
6	Control de persianas		X			Operación motorizada con control automático/manual
7	Gestión técnica del edificio					
7.1	Gestión de puntos de consigna		X			Adaptación a partir de recintos descentralizados
7.2	Gestión tiempos de operación		X			Reglaje individual según programa predefinido
7.3	Detección fallos y ayuda diagnóstico	X				Sin indicación centralizada de fallos detectados y alarmas
7.4	Informe resultados consumo energía	X				Indicación de valores reales únicamente
7.7	Integración en red inteligente	X				Sin armonización entre la red y los sistemas energéticos

Tabla 12. Ejercicio clase BACS según UNE EN ISO 52120-1

Una vez analizados los sistemas, los **requisitos específicos** para la propuesta técnica son:

- Implementar técnicas para el control de los sistemas energéticos en función de la demanda, la ocupación y el uso de los distintos espacios.
- Reducir el consumo energético un 30% (esto redundará en los costes operativos y en la sostenibilidad de los recursos).
- Aprovechar al máximo la infraestructura existente en el edificio.
- Alcanzar una clasificación de sistema BACS de clase B para cumplir con la normativa europea.
- Permitir técnicas de desagregación del consumo energético de los sistemas.
- Permitir técnicas de mantenimiento y diagnóstico preventivo para los sistemas.
- Permitir técnicas de análisis de uso y previsión de recursos.

4. Solución propuesta

En función del contexto adquirido, en cuanto a infraestructura y operativa actual de los sistemas y servicios del edificio, en este apartado se presenta la memoria descriptiva, la cual propone una solución que permite mejorar los parámetros de eficiencia energética y los niveles ofrecidos por estos servicios para el confort y bienestar de los usuarios del edificio. El diseño de la solución debe adaptarse todo lo posible a los requisitos específicos detallados en el apartado 3.4 de este documento.

El modelo general de la solución de nuestro sistema de control y automatización (BACS), siguiendo las recomendaciones de arquitectura definida para este tipo de sistemas se regirá por el siguiente esquema:

Modelo solución BACS (Building Automation & Control System)

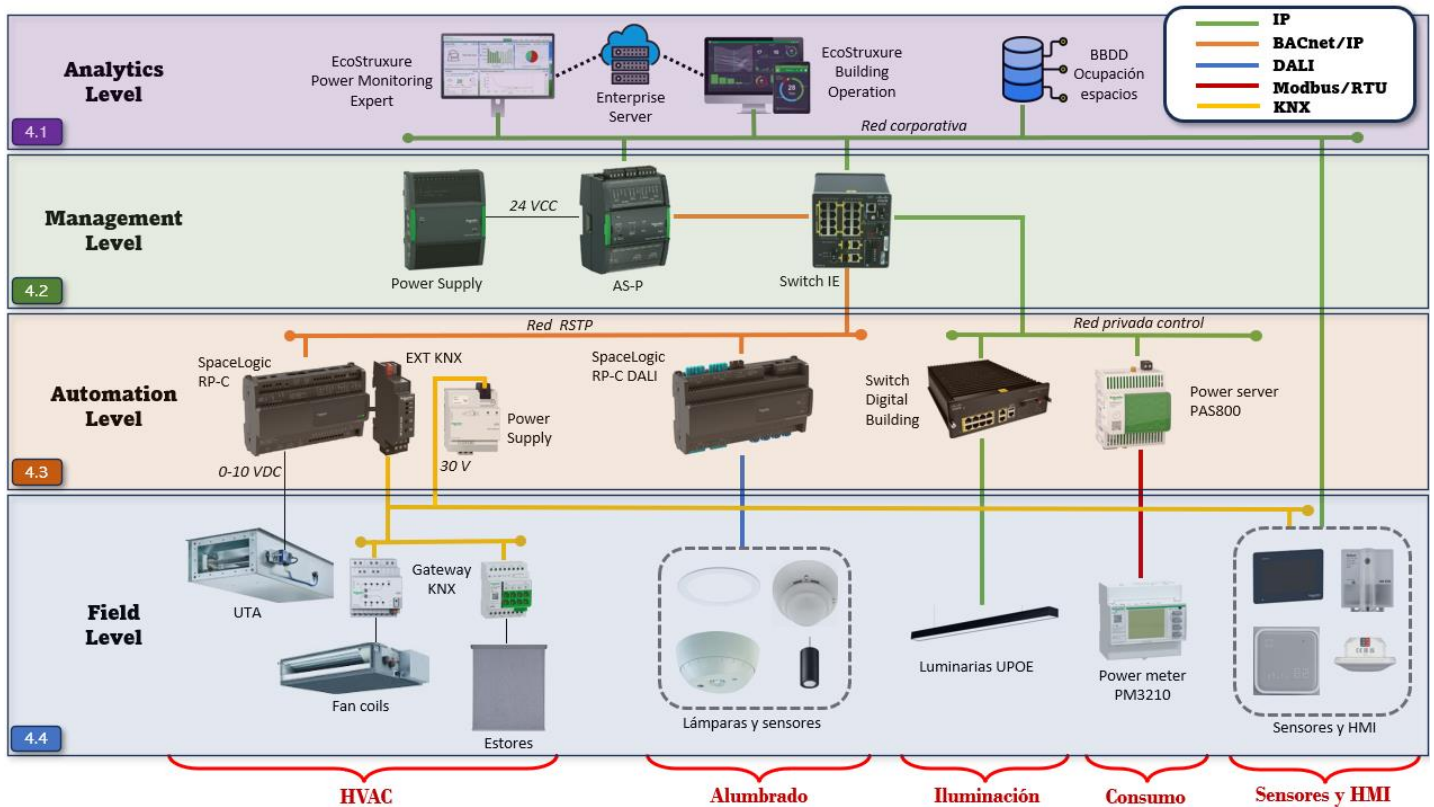


Ilustración 27. Arquitectura general del sistema BACS propuesto

Nos basamos en la solución **EcoStruxure Building Operation de Schneider Electric [33]**, con la estructura básica formada por los *Automation Server* y las controladoras *SpaceLogic RP-C* que dotan de inteligencia y automatización al sistema. Estos equipos se integran con gran parte de la infraestructura y sistemas de control actuales del edificio añadiendo mayor control y análisis a los servicios. Para la gestión centralizada y la supervisión se añade la plataforma software *EcoStruxure Building Operation (Enterprise server)* que añade funciones analíticas a la solución.

En los siguientes apartados describiremos cada uno de los niveles integrados por la solución propuesta, los medios de interconexión y comunicación, las funciones y características básicas de los nuevos dispositivos y, como en conjunto, pretendemos cubrir los requisitos del proyecto y mejorar la eficiencia energética.

4.1 Plataforma de análisis y administración

Como hemos identificado en el análisis previo, el edificio ya dispone de la infraestructura necesaria para los sistemas de climatización e iluminación y hace uso de tecnologías de bajo consumo, como es el caso de iluminación LED, y sistemas de automatización. Pero estos sistemas funcionan de forma independiente y se basan en soluciones de distintos proveedores y protocolos, por lo tanto, el primer paso será buscar la solución que permita integrar todos estos sistemas bajo una única plataforma de control que posibilite una gestión y automatización adecuada. Además, el edificio dispone de un sistema de reservas de espacios, donde los empleados reservan previamente el puesto de trabajo o sala de reuniones durante un periodo de tiempo definido, esto puede aportar información relevante sobre el uso de los espacios para la optimización de los servicios.

Estas funciones se gestionan en el nivel analítico del esquema mostrado en la ilustración 27 (***Analytics Level***). Tal como hemos analizado en el estado de la cuestión, existen en el mercado diferentes proveedores y soluciones de automatización y control para el uso como herramientas BMS o BACS.

Entre las distintas marcas hemos optado por realizar el diseño con la solución **EcoStruxure Building Operation (EBO) de Schneider Electric**, la justificación de esta solución se detalla en los siguientes puntos:



Ilustración 28. Consola EcoStruxure Building Operation

- **Compatibilidad multiprotocolo.** La solución EBO incluye soporte nativo para los protocolos estándar más comunes como BACnet, LonWorks, Zigbee, Modbus y KNX (funcionalidad clave para nuestra propuesta). Además, incluye servicios de publicación y suscripción para agentes MQTT, la integración de API's de terceros y admite dispositivos de otros proveedores.
- **Resiliencia y usabilidad.** Esta solución de Schneider Electric permite el control de los sistemas desde cualquier plataforma (PC o móvil) de forma local y remota. Ofrece a los administradores una visión excepcional del estado de los sistemas, gráficas de utilización y medidas de optimización de los recursos gracias a análisis de datos y técnicas de inteligencia artificial.
- **Reputación, fiabilidad y escalabilidad.** Schneider Electric es una marca contrastada en proyectos de ingeniería de múltiples ámbitos y sus productos son líderes en el mercado, debido a su fiabilidad y a sus *partner* tecnológicos (*Cisco*, *Microsoft* y multitud de fabricantes de dispositivos). Gracias a estas alianzas es posible, en torno a la solución EBO, diseñar una arquitectura que se adapte a los requerimientos del proyecto, asegurando el soporte continuado de los dispositivos y las necesidades de escalabilidad que podamos necesitar a futuro.
- **Orientado a las personas y la sostenibilidad.** La solución elegida tiene sus principios básicos en la sostenibilidad, el respeto al medioambiente y los servicios orientados a las personas. Estos principios se alinean con los objetivos de las políticas de *Smart Cities* y los requisitos del proyecto.
- **Ciberseguridad.** La solución EcoStruxure ofrece funciones avanzadas en materia de ciberseguridad (basadas en ISO 27034 e IEC 62443-4-1), con herramientas anti-DDoS, sistemas avanzados de encriptación y autenticación, compatibilidad con TLS 1.3, Single Sign On (SSO) mediante SAML 2.0, certificados CA... Estas funciones permiten asegurar la confidencialidad de los datos de nuestro sistema y la continuidad de los servicios críticos de nuestro edificio.

Para tomar esta decisión, se han evaluado otras soluciones disponibles en el mercado aplicables al alcance del proyecto con proveedores reputados en tecnologías de control y automatización. A continuación, destacamos las principales causas por las que se han descartado el resto de las alternativas.

Siemens (Desigo), aunque esta solución dispone de todo el equipamiento necesario para el proyecto y alternativas interesantes enfocadas en la eficiencia energética, también ofrece una solución con problemas de usabilidad (con una curva de aprendizaje compleja) y una plataforma de gestión menos completa comparada con otras marcas.

Johnson & Controls (Metasys), la plataforma Metasys salió al mercado en 1990 y desde entonces ha recibido varias actualizaciones, esta evolución lineal ha impedido transformar la herramienta con cambios alineados con el concepto de IOT. Además, se centra en aplicaciones para entornos de gestión de la seguridad física y el control de accesos, lo que está fuera del alcance del proyecto.

Por último, las soluciones de Honeywell para BMS o BACS tienen limitaciones con la integración de otros proveedores y fabricantes, así como restricciones en los protocolos de comunicaciones disponibles para integrar en la plataforma de gestión, lo que nos obliga a descartar esta alternativa.

En conclusión, contaremos como plataforma software con **EcoStruxure Building Operation 2022 (EBO)** y la licencia *Enterprise server* (50). Esta aplicación incluye la licencia necesaria para el uso de EBO para la configuración de las automatizaciones, captura y análisis de datos y optimización de los sistemas. Además, incorpora las licencias *Webstation* para la visualización del *Dashboard* y *Workstation* para la gestión diaria de la aplicación, sus sistemas, calendarios, estado de los dispositivos y mantenimiento preventivo entre otras funciones.

La licencia (P/N: SXWSWESXX00050) permite el control de hasta 50 dispositivos *SpaceLogic*, aunque si fuera necesario se podría ampliar sin modificar los elementos hardware básicos. La aplicación *Enterprise Server* será instalada en un servidor (no incluido en el proyecto) en la red IP corporativa del cliente o como servicio en la nube. Requiere las siguientes especificaciones mínimas:

- Intel Core i5 @ 2.0 GHz o equivalente
- 4GB RAM recomendados
- 100 GB de espacio mínimo en disco (SSD)
- S.O: Windows 10, Windows 11 o Windows server (2012 – 2016 – 2019)

Además, ampliaremos las funciones de la plataforma EBO añadiendo la licencia **EcoStruxure Power Monitoring Expert (PME)** (P/N: PSWSANCZZSPEZZ), que permite la gestión energética completa, personalizable y escalable para mejorar la eficiencia energética operativa, garantizar la fiabilidad de la red, generar de informes y gráficas de consumo y puede ser utilizada como parte de un programa ISO50001 y dar soporte verificable de su cumplimiento en materia de gestión energética.

La licencia EBO incluye las aplicaciones *Workstation* y *Webstation* con un uso 3 licencias concurrentes. El acceso se puede realizar desde cualquier equipo (Windows, MAC, Android o IOS) conectado a la red corporativa a través de un acceso HTTPS.

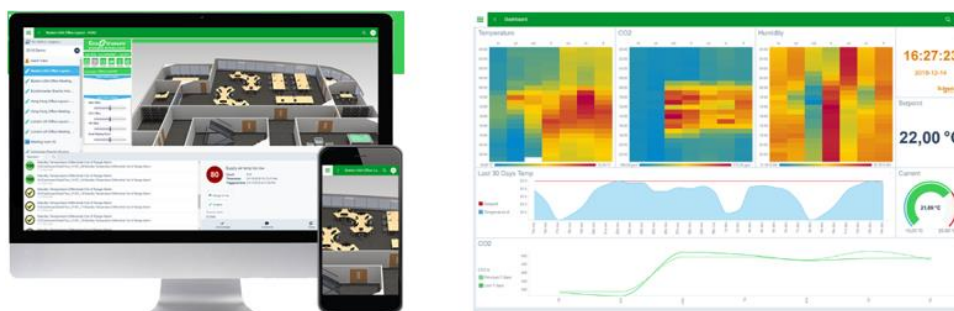


Ilustración 29. Aplicación WebStation (izquierda) y Workstation (derecha)

4.2 Sistemas de gestión

Siguiendo el esquema general (Ilustración 27) pasamos ahora al nivel de gestión (**Management Level**). En este nivel se ubican principalmente los equipos encargados de formar la estructura básica de control y automatización. Para ello utilizaremos los servidores de automatización (AS-P) de la solución *SpaceLogic* de *Schneider Electric*, estos equipos forman el núcleo de la solución y realizan las funciones clave en la lógica de control, registro de configuración y supervisión de alarmas.

Este servidor será el encargado de administrar el resto de las controladoras del diseño, hasta un máximo de 40 módulos de control y 464 entradas/salidas. Dada esta limitación y pensando en la redundancia del diseño contaremos con 2 servidores AS-P para el edificio.



Ilustración 30. AS-P

SpaceLogic AS-P (P/N: SXWASPXXX10001) [34]

- Protocolos de comunicación: IP, BACnet, Modbus/TCP, Modbus/RTU, HTTP/HTTPS, LonWorks, Zigbee
- Conexiones: USB y mini USB, 2x Ethernet 10/100BaseTX, 2x RS-485 y bus alimentación 24 V.
- Servicios: TLS 1.0, servidor HTTPS, Gestión de red SNMP, notificación vía e-mail, cliente/servidor Modbus TCP, DHCP, DNS, NTP.
- Capacidad límite: 464 I/O, 40 módulos de control
- Consumo: 400 mA, 24 VAC (máx. 30 W)
- Dimensiones: 114 x 90 x 64 mm. (Montaje en carril DIN)

Los servidores de automatización requieren una fuente de alimentación específica para la entrega de potencia, para ello la solución incluye un módulo *SpaceLogic PS-24V* (SXWPS24VX10001) que alimentará nuestros 2 servidores. Los módulos AS-P y el módulo de alimentación permiten un montaje/interconexión en línea a través del conector lateral específico para su apilamiento en carril DIN.

En cuanto a conexiones de control, estos sistemas ofrecen 3 topologías alternativas para su instalación:

- **Daisy Chain:** creando una red privada desde el AS-P con un bus de conexiones IP formado por las controladoras RP-C y MP-C (hasta un máximo de 50 dispositivos)
- **Topología en estrella:** a través de una red ethernet/IP o BACnet/IP a la que se conectan las controladoras.
- **Topología RSTP:** utilizando el protocolo *Rapid Spanning Tree* para formar una red privada circular (IP o BACnet) con los controladores (RP/MP) que permite la recirculación del tráfico por ambos sentidos como contingencia. Máximo 39 RP/MP en cada bucle y 200 RP/MP en total.

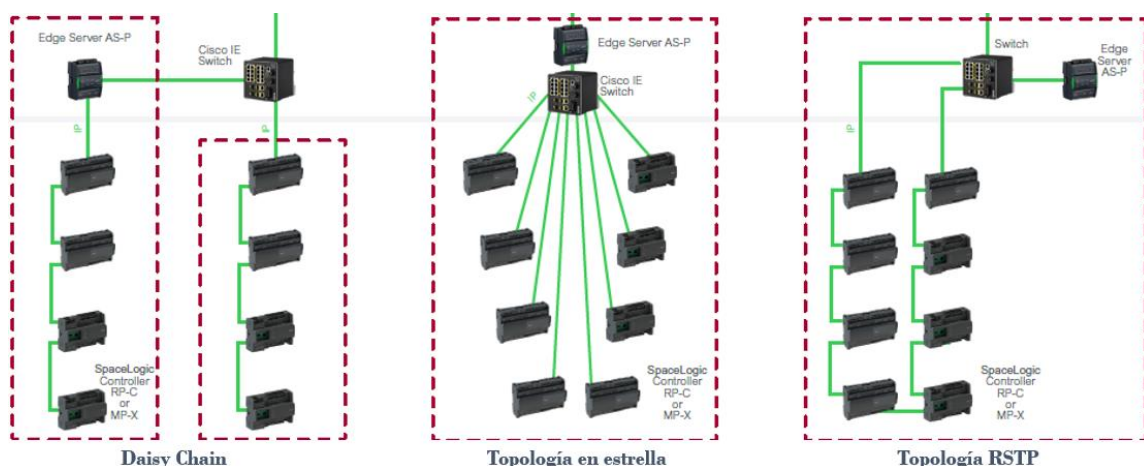


Ilustración 31. Topologías de conexión AS-P

En nuestro diseño hemos optado por una arquitectura **RSTP** que se adapta mejor a una instalación distribuida por plantas y nos permite añadir resiliencia a las conexiones de control. Nuestro cluster AS-P estará conectado del siguiente modo:

- Puerto 1 RJ-45: conectado a la red IP para la conexión al Enterprise Server y la gestión de las conexiones Workstation y Webstation.
- Puerto 2 RJ-45: conectado al IE Switch a través del protocolo BACnet/IP actuando como servidor DHCP para esta red.

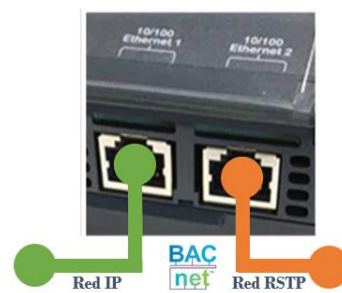


Ilustración 32. Bridge IP/BACnet

Se incluye un **Switch Cisco Industrial Ethernet 18 puertos (Cisco - IE-3100-18T2C-E)** [35] con funciones de concentrador/enrutador ethernet (capa 2 y 3 del modelo OSI). Esta gama de equipos Cisco está diseñada para entornos exigentes y ofrece altos niveles de redundancia y capacidad, un consumo de 36.7 W, además las dimensiones son reducidas (12.70 x 10.92 x 12.90 cm) y permite montaje en carril DIN. Tanto el switch como los módulos AS-P estarán instalados en carril DIN en el cuadro eléctrico principal del edificio (en la planta 5ª).

En este dispositivo conectaremos nuestros AS-P, los bucles de conexiones RSTP para las controladoras, las conexiones de control IP para interconectar los switches POE que administran la iluminación y el Power server (PAS800) que gestiona los consumos eléctricos. En la tabla a continuación se muestran las conexiones físicas para las que utilizaremos cableado ethernet estructurado UTP de categoría 6:

Puerto	Vlan	Protocolo	Uso/Dispositivo
GE 0/1	RSTP Vlan 103	BACnet	Conexión controladoras Planta 3 (Act)
GE 0/2	RSTP Vlan 103	BACnet	Conexión controladoras Planta 3 (Pas)
GE 0/3	RSTP Vlan 104	BACnet	Conexión controladoras Planta 4 (Act)
GE 0/4	RSTP Vlan 104	BACnet	Conexión controladoras Planta 4 (Pas)
GE 0/5	RSTP Vlan 105	BACnet	Conexión controladoras Planta 5 (Act)
GE 0/6	RSTP Vlan 105	BACnet	Conexión controladoras Planta 5 (Pas)
GE 0/7	RSTP Vlan 106	BACnet	Conexión controladoras Planta 6 (Act)
GE 0/8	RSTP Vlan 106	BACnet	Conexión controladoras Planta 6 (Pas)
GE 0/9	RSTP Vlan 107	BACnet	Conexión controladoras Planta 7 (Act)
GE 0/10	RSTP Vlan 107	BACnet	Conexión controladoras Planta 7 (Pas)
GE 0/11	Red corporativa	IP	Conexión red corporativa del cliente
GE 0/12	Conexión AS-P	BACnet	Enlace a Automation Server Principal
GE 0/13	Conexión AS-P	BACnet	Enlace a Automation Server Backup
GE 0/14	Red privada Control	IP	Switches POE iluminación
GE 0/15	Red privada Control	IP	Power Server PAS800
GE 0/16 – GE 0/20 puertos libres.			

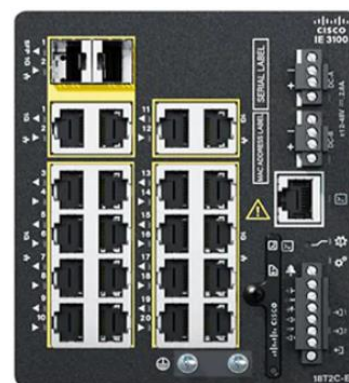


Ilustración 33. Cisco IE-3100-18T2C-E

Tabla 13. Conexiones Ethernet IE Switch

Para finalizar este apartado, a los servidores de automatización se añadirán también las conexiones de distintos sensores y dispositivos de control (HMI) que estarán conectados a la red corporativa y no directamente al Switch IE. Estos dispositivos se detallarán en el **apartado 4.4** del proyecto, y será necesario evaluar sus necesidades de comunicación para la conexión con los AS-P. La distribución general de equipos de gestión se puede encontrar en el [anexo B1](#) de este proyecto.

Además, se integrará la base de datos de ocupación actual como fuente de datos para las reservas de espacios de trabajo y colaboración, esto permitirá crear programaciones más eficientes adaptadas al número de personas que ocupan la oficina y su distribución.

4.3 Tecnología y controladores

En el siguiente nivel de la solución se encuentra el nivel de automatización (**Automation Level**), los dispositivos de este nivel se encargan de coordinar las órdenes emitidas desde los *Automation Server* y distribuirlas a los distintos actuadores y equipos finales que encontraremos en el *Field Level*, del mismo modo se encargan de recibir la información obtenida de los sensores y dispositivos para enviarla a los *Automation Server*. Además, tienen la misión de servir como *hub* de conexiones para crear la estructura de la red domótica del sistema. A efectos del proyecto los distribuiremos según su función: HVAC, alumbrado, iluminación y control de consumo.

4.3.1 Controles de climatización y ventilación (HVAC)

Los sistemas de climatización y ventilación del edificio están compuestos principalmente por:

- UTA (unidades de tratamiento de aire) interior, permiten la ventilación y la circulación forzada de aire.
- Fan coils para refrigeración y calefacción mediante sistemas de intercambio de calor aire/agua.

A estos añadimos el control automático de los estores del edificio que tendrán una doble función, como soporte a la climatización y a la iluminación.

Siguiendo con la solución *EcoStruxure Building Operation* para el control de sistemas de climatización y ventilación disponemos de las **controladoras SpaceLogic RP-C (Room Purpose Controller)**, especialmente diseñadas para el control de sistemas HVAC por zonas. A continuación, describimos las principales características del dispositivo.



Ilustración 34. RP-C-12B-F-230V

SpaceLogic RP-C-12B-F-230V (P/N: SXWRCF12B10002) [\[36\]](#)

- Protocolos de comunicación: IP, BACnet, BLE, Modbus/RTU
- Conexiones: 8 x I/O universal tipo UB, 4x Solid State MOSFET, 2x Ethernet 10/100 BaseTX, miniUSB tipo B, 2x RS-485.
- Múltiples opciones de salidas digitales y analógicas
- Topologías de red: Estrella, Daisy Chain, RSTP.
- CPU: ARM Cortex A7 500 MHz
- Consumo: 23 VAC
- Dimensiones: 180 x 110 x 64 mm. (Montaje en carril DIN)

Para el control de los dispositivos crearemos una nueva red en bus KNX, por ello a cada controladora añadiremos un módulo de expansión KNX, **RP-C-EXT-KNX** [\[37\]](#) (P/N: SXWREKNX10001) que conectaremos a través de uno de los puertos RS-485 de la controladora. Este dispositivo nos servirá como pasarela KNX para el control de hasta 64 dispositivos KNX conectados en bus, en el caso de uso del proyecto los utilizaremos para conectar con las interfaces KNX para el control de fan coils, los actuadores de control de estores y otros sensores. Para la alimentación de cada bus añadiremos una **fuentes de alimentación KNX** de 30 V – 640 mA (P/N: MTN684064), se estima una corriente promedio de 10 mA por dispositivo. Según nuestro diseño y la limitación del bus KNX necesitaremos por cada planta 4 controladoras RP-C KNX.

Además, la controladora cuenta, entre otras interfaces, con 8 puertos I/O universales que podemos utilizar como interfaz analógica para el control de las unidades de tratamiento de aire mediante un control de voltaje regulable (0-10 VDC).

4.3.2 Controles de alumbrado

En los dispositivos de alumbrado el edificio dispone en la actualidad de lámparas y sensores de presencia conectados mediante un bus DALI con una programación horaria de encendido y apagado dentro del horario de operación del edificio. El bus DALI está controlado por varios drivers DALI modelo Dynalite – Philips DDBC120-DALI.

La propuesta en nuestro caso será sustituir el *driver* actual por un nuevo driver DALI, **SpaceLogic RP-C DALI**, que estará integrado dentro de nuestra solución *EcoStruxure Building Operation* y que permitirá una programación más eficiente en conjunto con toda la información gestionada dentro del sistema.



SpaceLogic RP-C-EXT-DALI (P/N: SXWREDALI110001) [38]

- Protocolos de comunicación: IP, DALI, DALI-2, Modbus/RTU
- Conexiones: 4x 5-pin Wieland GST15i5 DALI conector, 2x Ethernet 10/100 BaseTX, 2x RS-485,
- Características DALI: límite de 32 lámparas y 16 sensores de entrada por bus (4 disponibles). Máximo 16 grupos
- CPU: ARM Cortex M4
- Consumo: 23 VAC
- Dimensiones: 198 x 110 x 64 mm. (Montaje en carril DIN)

Ilustración 35. RP-C-EXT-DALI

Debido a la existencia de una instalación DALI anterior podemos aprovechar la distribución de las lámparas, sensores y el cableado actual para la instalación del nuevo dispositivo, reemplazando el driver DALI anterior por nuestra controladora *SpaceLogic RP-C-EXT-DALI*. Para lo que necesitaremos 4 controladoras por cada planta, donde cada una gestionará 2 canales (bus) DALI independientes.

En la imagen a continuación, se puede observar la distribución propuesta y su conexión a la red BACnet (en bucle RSTP) para las controladoras *SpaceLogic KNX* y *DALI* en una planta tipo (en el [anexo B2 y B3](#) se pueden encontrar los planos detallados de cada planta), donde cada controladora administrará los dispositivos KNX, DALI y las unidades de tratamiento de aire más próximos.:

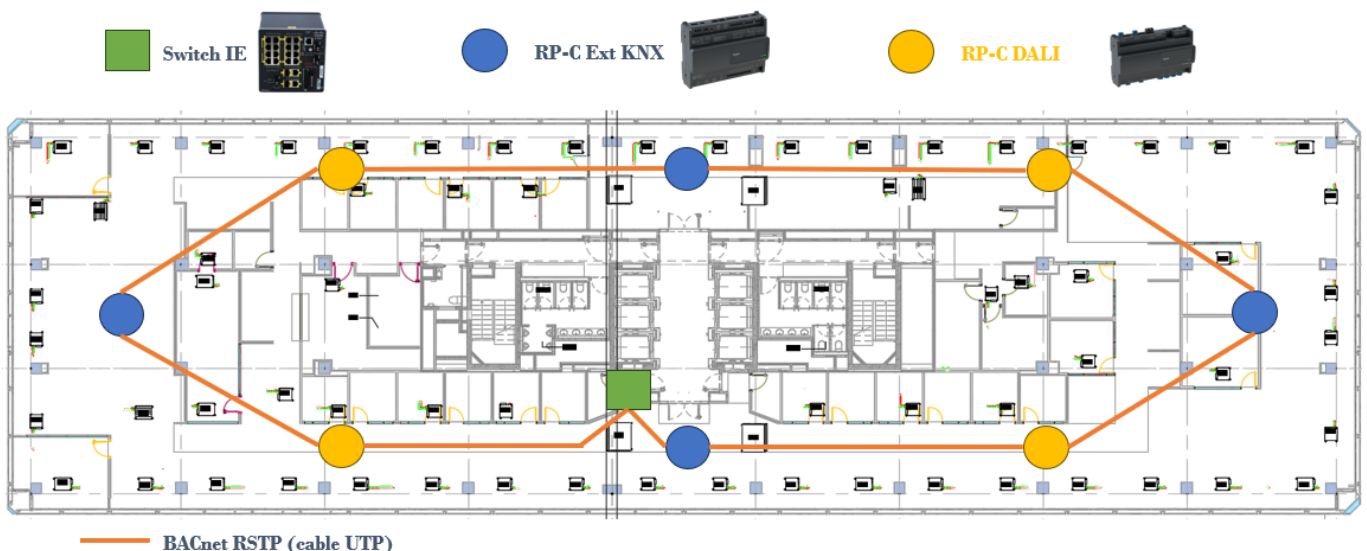


Ilustración 36. Distribución y cableado controladoras RP-C por planta

4.3.3 Controles de iluminación

Los sistemas de iluminación del edificio están compuestos por luminarias lineales LED de intensidad ajustable que suministran la iluminación necesaria para los puestos de trabajo con un bajo consumo y alta vida útil. En lugar de conectarse a la red de corriente alterna tradicional estas luminarias están actualmente gestionadas y alimentadas por switches Cisco que mediante cableado UTP controlan la programación de encendido de las 1.138 lámparas, con un horario programado (8h a 20h).



Cisco Switch UPOE Digital Building 8 ports

- Puertos: 8x Fast Ethernet, 2 x Gigabit Ethernet, AC power.
- Suministro: 60 W max por puerto (UPOE) con 90% eficiencia.
- Alta resiliencia, garantía y vida útil ampliada (10 años).
- Protocolos comunicaciones: DHCP, VTP, LACP, SNMPv3, IPv6
- Sistemas de seguridad: ACLs, TACACS+, RADIUS, WebAuth
- Consumo: 120 W (consumo del dispositivo)
- Dimensiones: 69,8 x 221,5 x 281,2 mm.

En este apartado aprovecharemos toda la infraestructura y cableado existente dado que ya ofrecen una solución de bajo consumo y que permite la administración de sus componentes. Estos dispositivos se gestionan actualmente a través de la aplicación Cisco Spaces dentro de la plataforma en la nube Cisco DNA Center. En 2023, Cisco y Schneider Electric unieron fuerzas en el mercado de la digitalización y eficiencia orientada a edificios [39] y gracias a esta colaboración podemos utilizar el conector vía HTTPS de Cisco Spaces y crear una API para la gestión de estos dispositivos desde la plataforma *EcoStruxure Building Operation*. [40]

Para establecer esta conexión a nivel de capa 2 conectaremos nuestro Switch IE principal a la red de control (como se indica en el apartado 4.2 Tabla 13). Una vez integrados estos dispositivos en la plataforma central EBO podremos gestionar de forma independiente cada una de las luminarias del edificio, creando rutinas más eficaces en cuanto a la programación, la presencia de empleados y el uso de los espacios.

4.3.4 Control de consumo

Hasta ahora hemos analizado formas de controlar los elementos que componen los sistemas principales del edificio en busca de una reducción del consumo energético y una mejora de las condiciones para sus ocupantes, pero necesitaremos incluir herramientas de medición y desagregación del consumo energético para poder valorar de forma práctica y realista los consumos de forma independiente y supervisar los cambios y políticas necesarios para poder optimizarlo.

Entre las técnicas de desagregación del consumo energético existen alternativas mediante modelos predictivos (árbol de regresión, *random forest* y redes neuronales) y mediante dispositivos físicos de medición. Los sistemas de control y automatización ofrecen soluciones en este ámbito para medir la potencia activa y reactiva, tensión, corriente, frecuencia y factor de potencia, entre otros factores.

Para llevar a cabo esta solución necesitaremos dos elementos básicos:

- Por un lado, los medidores de energía (*Power Meter*) que se conectarán a las líneas de corriente que deseamos monitorizar (en los cuadros eléctricos de cada planta y zona).
- Por otro lado, un registrador de datos (*Power Server*) que recogerá la información de los medidores de energía, almacenará y analizará los datos.

Para esta función hemos elegido dos dispositivos de Schneider Electric que permitirán conseguir la información desagregada del consumo energético y además permitirán la integración con la solución EBO.



Ilustración 37. PS800

Power Server (P/N: PAS800) [41]

- Registrador de datos inalámbrico (*gateway*).
- Protocolos: Ethernet TCP/IP (pasarela de comunicación) y ModBus/RTU (puerto de recolección de datos), Wi-Fi 2,4 y 5 GHz.
- Registro de hasta 3 años de datos y analizador de tendencias.
- Servidor HTTPS integrado y publicación SFTP.
- Consumo: 3,5 W.
- Dimensiones: 70,2 x 93 x 72 mm. (montaje en carril DIN).



Ilustración 38. PM3210

Power Meter 3210 (P/N: METSEPM3210) [42]

- Medidor energético (I, In, U, V, PQS, E, FP, Hz), demanda de potencia/intensidad, alarmas con sello de hora. Máximos y mínimos.
- Comunicación mediante bus Modbus/RTU (Conector RS-485).
- Precisión de clase 0.5S (acorde IED 62053-22).
- Características medición: frecuencia (50/60Hz), voltaje (hasta 480 VCA y 300 VCC), corriente nominal (1 o 5 A), monofásica o trifásica.
- Dimensiones: 90 x 70 x 95 mm. (montaje en carril DIN).

Necesitaremos realizar la medición del consumo energético de los siguientes servicios: climatización (fan coils y UTA), alumbrado e iluminación. A pesar de que los *switches Cisco Digital Building* incluyen funciones de medición de consumo por puerto en tiempo real, no guardan un histórico o acumulado, por esa razón se considera necesario medir la línea de iluminación con los dispositivos *Power Meter*.

Las instalaciones de suministro eléctrico del edificio están diversificadas en 2 zonas por cada planta (zona norte y sur), con las protecciones y diferenciales ubicadas en un armario eléctrico por cada zona. Teniendo en cuenta la distribución de los cuadros de fuerza necesitaremos 3 *Power Meter* por zona (6 por planta) y 30 en total para dar cobertura a las cinco plantas del edificio. Junto con un *Power Server* (situado en la 3ª planta) que recopilará toda la información de los medidores y las transmitirá al Enterprise Server EBO. La distribución e instalación se detalla en el [anexo B1](#).

La conexión de control y flujo de datos de estos dispositivos se realizará utilizando el puerto RS-485 de cada dispositivo a través del protocolo Modbus/RTU. Este protocolo permite la conexión de dispositivos en bus en modo maestro/esclavo con comunicación semidúplex, como se observa en el diagrama. Para el cableado utilizaremos cable trenzado apantallado tipo belden 9841 de 2 conductores y tierra con una resistencia de terminación de 120 ohmios.

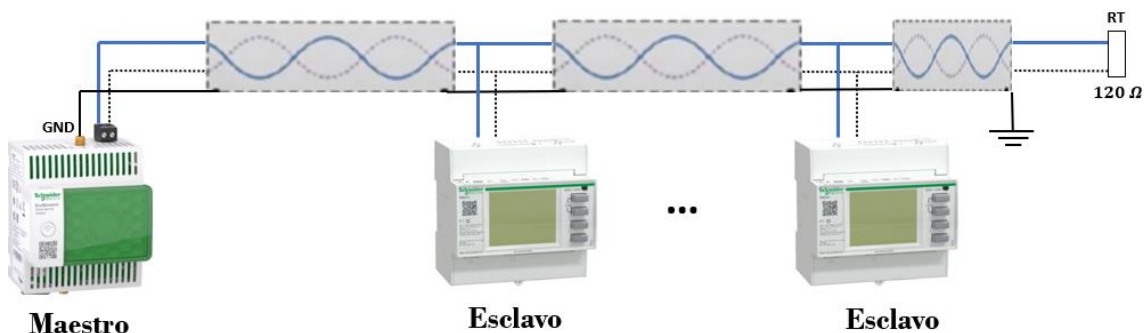


Ilustración 39. Conexión medidores consumo (Modbus/RTU)

4.4 Dispositivos de campo

Llegamos al último nivel de la arquitectura del sistema BACS (*field level*) donde se ubican los equipos de campo, dispositivos IOT como sensores y actuadores que culminan la integración de los dispositivos con nuestros sistemas inteligentes. A continuación, se detallan estos elementos, su interconexión con las controladoras descritas en el apartado anterior y su función y objetivos dentro del sistema BACS.

4.4.1 Dispositivos de climatización y ventilación (HVAC)

Las **unidades de tratamiento de aire (UTA)** interiores están administradas por un controlador integrado (*Trox Technik LVM-D3A*) con programación fija que regula el periodo de ventilación y el caudal de aire, junto con el sensor de CO₂ integrado del equipo. El controlador de UTA sigue el siguiente funcionamiento:

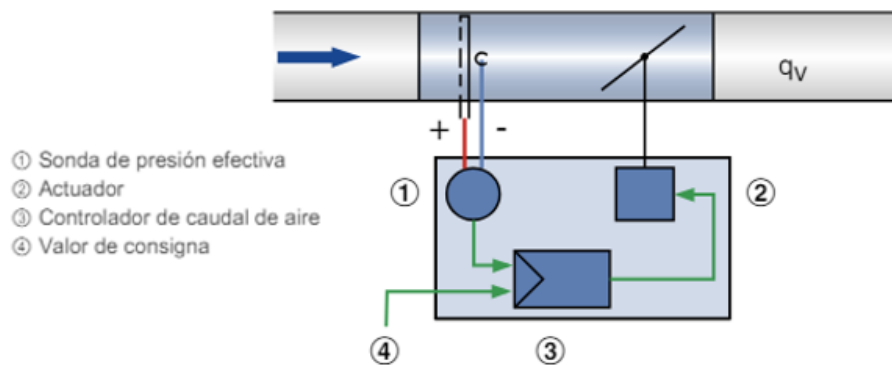


Ilustración 40. Funcionamiento controlador UTA

El controlador dispone de una interfaz analógica 0-10 VDC para la gestión remota que podemos utilizar para administrar cada UTA desde nuestro sistema BACS. Para ello utilizaremos dos de las 8 salidas I/O universales (polo positivo y retorno) de la controladora RP-C mediante cableado de control de baja tensión. Gracias a esta conexión podremos gestionar de forma centralizada y en tiempo real la ventilación de cada zona del edificio, según los niveles de CO₂ y la ocupación de la planta.

Los **fan coil** en la actualidad operan con una programación fija y termostato integrado para mantener una temperatura constante de 23°C durante el horario de apertura de la oficina (de 8h a 20h). Lo que haremos será integrarlos en nuestro sistema de control BACS para poder gestionarlos de forma centralizada y optimizar su uso en función de la ocupación y la información recogida por los sensores. Para ello estableceremos una red cableada en bus KNX desde los controladores RP-C, alimentada por la fuente de alimentación KNX, hasta los fan coil que necesitarán a su vez un Gateway KNX (uno por cada fan coil) como actuador.

Con este actuador seremos capaces de controlar la velocidad del ventilador del fan coil (*High, Medium, Low*) y las válvulas de climatización impulso (V1+) y retorno (V2+) mediante un control analógico 0-10 V, como se observa a continuación en la ilustración 42.

Además, el edificio cuenta con **estores motorizados** con control manual independiente para el control de la luz exterior (64 estores por planta), para realizar un uso óptimo de estos elementos aprovechando la iluminación de luz natural y el control de la climatización del edificio hemos decidido aplicar un mecanismo de control remoto para los estores. Para realizar este control utilizaremos un **actuador KNX** (como en el caso de los fan coil) que permite el control de hasta 4 persianas/estores y que será integrado en la solución EBO.



Ilustración 41. Actuador KNX para estores

Act. KNX SpaceLogic estores (P/N: MTN6705-0008) [43]

- Actuador KNX para control de luces y persianas.
- 8 canales ON/OFF o 4 motores de persiana con terminador de carrera.
- Funciones: duración, tiempo de inactividad, función de bloqueo, escenas, límites de rango de movimiento.
- Modo de funcionamiento: corte de fase ascendente/descendente.
- Dimensiones: 210 x 350 x 160 mm. (montaje en carril DIN)

Para el control de los estores de cada planta necesitaremos 16 actuadores KNX, cada uno controlará 4 estores, que estarán conectados al bus KNX. A continuación, se puede observar el cableado del bus KNX y las conexiones a los Gateway KNX de control de fan coil y de estores:

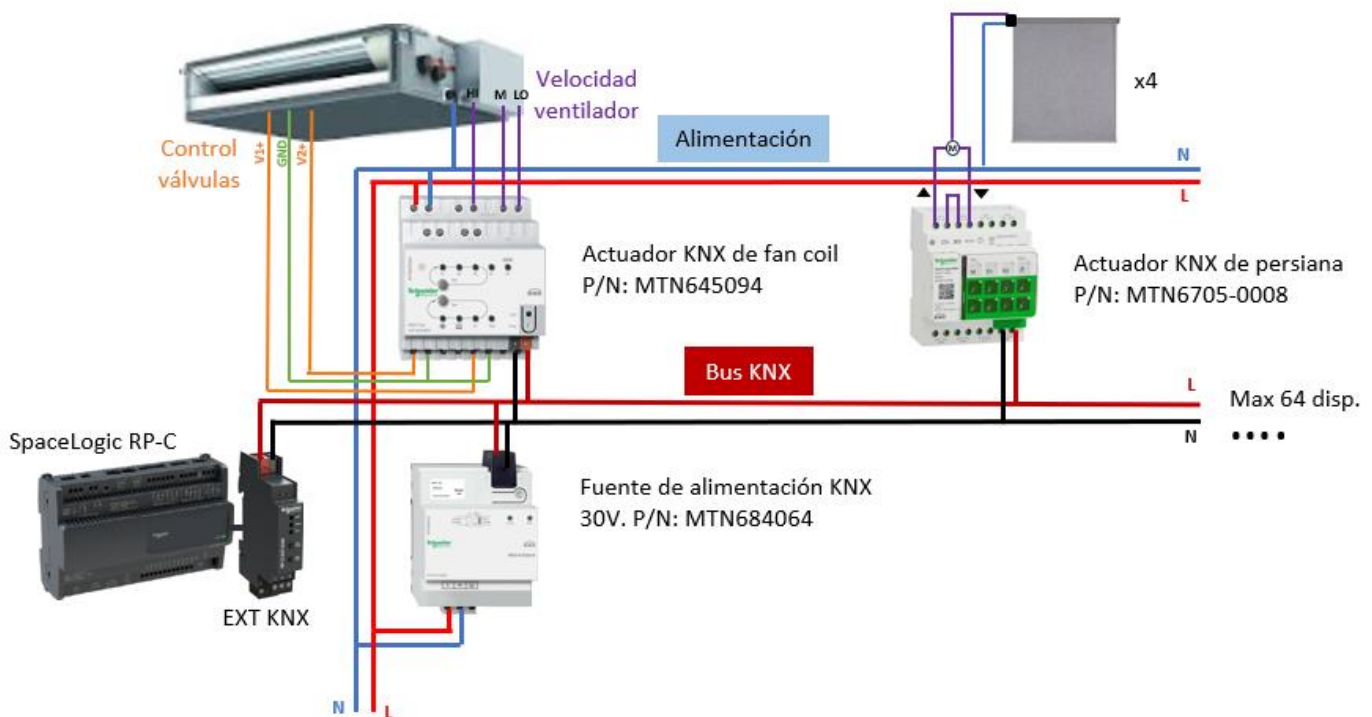


Ilustración 42. Bus KNX y conexión de control fan coil y estores

Los planos detallados y distribución con todos los elementos relacionados con el sistema HVAC se pueden encontrar en el [anexo B3](#) incluido en el proyecto.

4.4.2 Dispositivos de alumbrado e iluminación

No se incluyen nuevos elementos de campo o actuadores específicos para alumbrado e iluminación adicionales a los existentes. Los elementos de control se han definido en el apartado 4.3.

4.4.3 Sensores

Para completar la instalación y hacer un uso eficiente de los sistemas es básico obtener toda la información sobre los distintos parámetros de la oficina y el uso de los distintos espacios, como puede ser la presencia de personas, el grado de ocupación, la cantidad de luz (interna y externa), temperatura, humedad y calidad de aire (CO₂, polvo y otras partículas en suspensión). Con este objetivo instalaremos una serie de sensores en la oficina que nos permitirán recabar toda la información posible y actuar en consecuencia. En el [anexo B1](#) se puede encontrar la distribución general de estos elementos en la oficina.

Sensor cuenta personas. Mediante este sensor podremos medir en tiempo real los ocupantes de cada planta del edificio y adecuar de esta forma los sistemas de climatización y renovación de aire interior. La instalación propuesta será en las puertas de entrada a cada planta y en las zonas de uso múltiple (cafetería o salas de reuniones) conectado por cable a la red IP corporativa.



Vector 4D People Counter [44]

- Sensor de interior luz infrarroja (*infrared Time of flight*).
- Precisión del 99,5%.
- Protocolos: IP, BACnet, MQTT.
- Servicios: API Rest, TLSv1.2, IPv4/IPv6, HTML5
- Alimentación: POE IEEE802.3af (13 W)
- Dimensiones: 195 x 110 x 32 mm (montaje en techo)

Sensor de luminosidad exterior. Sensor de luz de intemperie para la medición de luminosidad exterior, lo usaremos para medir la luminosidad en las 4 fachadas del edificio (orientación sur, norte, este y oeste) y utilizar la información para el control de apertura de estores y aprovechar de esta forma la luz natural. La conexión se realizará al bus KNX descrito en el apartado 4.4.1.



Theben LU 133 EIB/KNX [45]

- Control de luminosidad exterior
- Conexión de control y alimentación mediante bus KNX (Consumo: 150 mW)
- Rango de medición: 1 – 100.000 lux. Tolerancia ± 5 lux.
- Protección exterior: IP 54.
- Dimensiones: 93 x 72 x 54 mm (montaje en pared).

Multisensor de zona. Gracias a este dispositivo IOT podremos obtener toda la información ambiental dentro de la oficina. El objetivo será controlar los datos de calidad de aire como CO₂, partículas orgánicas volátiles (VOCs) y polvo en suspensión (PM2.5) para actuar sobre la ventilación de la planta mediante las UTA, además nos da información general sobre temperatura, humedad y ruido ambiental. Utilizaremos estos sensores en los espacios abiertos y zonas comunes de la planta con conexión a la red Wifi 2.4 GHz.



Awair Omni 1 [46]

- Multisensor: temperatura, humedad, CO₂, luminosidad, ruido y PM2.5.
- Conexión: Wi-Fi (802.11 b/g/n @ 2.4 GHz), Bluetooth 4.1.
- Suministro eléctrico: POE, AC/DC (7-36 V).
- Dashboard integrado y API rest para comunicación.
- Dimensiones: 98 x 98 x 34 mm (montaje en pared).

Sensor de presencia y luminosidad. Utilizados junto a la programación de servicios de iluminación y climatización para detectar movimiento y presencia de empleados en los espacios de la oficina, los niveles de luminosidad y así poder ajustar el uso de estos servicios en base a los requerimientos reales. La instalación se realizará en el techo practicable de la oficina con conexión al bus KNX.



Luxa 103 S360-28 KNX [47]

- Sensor de presencia PIR (*Passive Infrared Sensor*)
- Detección de área rectangular - 28 x 5 m ~ 140 m² a 3 m de altura.
- Conexión en bus KNX.
- Dimensiones: 80 x 80 x 56 mm (montaje en techo)

4.4.4 Monitores e interfaces de control

Por último, se propone la instalación de los siguientes dispositivos de control que permitirán la gestión y mantenimiento de los sistemas de control y automatización, además de algunos monitores de uso limitado para el control de zona.

La solución EcoStruxure incluye las aplicaciones **WorkStation y WebStation** para la gestión diaria de la aplicación con 3 licencias concurrentes incluidas en el paquete Enterprise Server, entre las funciones a realizar desde estas aplicaciones destacan la configuración de alarmas y calendario, crear rutinas, gestión de dispositivos, análisis y consulta de datos y permisos de usuario. Existen algunas limitaciones en el acceso WebStation, se indican en la información del fabricante. [48]

El acceso WebStation es posible desde cualquier PC o móvil conectado a la red corporativa mediante un acceso HTTPS con doble autenticación. Por otro lado, la aplicación Workstation consta de un cliente que requiere instalación en un PC (Windows o Mac), que generalmente está gestionado por el personal de control, mantenimiento y seguridad del edificio.

Desde el acceso WebStation se habilita el *Kiosk mode* (modo quiosco) que permite crear un usuario o acceso público con permisos restringidos. Este modo puede ser utilizado para mostrar información de los sistemas del edificio mediante los sistemas de cartelería digital existentes (niveles de temperatura interior/exterior, humedad, CO2, potencia consumida en un periodo...).

Además, utilizando el acceso *Kiosk mode* se incluye la instalación de interfaces HMI (*Human Machine Interface*) en salas de reuniones y otros espacios para el control de zona de los servicios de climatización e iluminación. La conexión de datos y alimentación POE la realizaremos a través de cableado UTP a la red IP corporativa.



Harmony GTU 7 (P/N: HMIDT351)

- Pantalla táctil WVGA de 7 pulgadas.
- Conexión: interfaz LAN (IP Ethernet), conexión inalámbrica, RS-485.
- Resolución: 800 x 480 pixels.
- Consumo: 6,5 W (POE).
- Dimensiones: 203 x 148 x 36 (montaje en pared).

Ilustración 43. HMI Harmony GTU 7

4.5 Técnicas de eficiencia energética

El Ministerio de Transición Ecológica y Reto Demográfico (MITECO) y la Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid (FENERCOM) han publicado una guía de ahorro y eficiencia energética en oficinas y despachos [49] de la que se extraen diversas técnicas de eficiencia energética, adicionales a la eficiencia intrínseca de los equipos y relacionadas con los sistemas de control y automatización. Aplicando estas recomendaciones a los sistemas existentes en el edificio junto con las nuevas posibilidades implementadas gracias al sistema BACS propuesto extraemos las siguientes técnicas aplicables.

Título	Descripción	Ahorro estimado (*)
Aprovechamiento de la luz natural	Mediante sensores de luminosidad en los puestos de trabajo y sensores externos de luz ambiental podemos automatizar los estores de la oficina para permitir el paso de la luz natural y reducir el uso de luz artificial (reduciendo la intensidad de las luminarias).	40%
Racionalización del uso de iluminación en zonas no utilizadas	Mediante la información y planificación de las reservas de espacio de la oficina y el uso de detectores de presencia podemos automatizar el uso de la iluminación de los espacios no utilizados.	30%
Reducción de alumbrado en zonas de paso	Usando la controladora DALI podemos reducir la intensidad de alumbrado en zonas de paso.	30%
Racionalización del uso de climatización aprovechando el aislamiento del edificio	Es posible ajustar el uso de los sistemas de climatización para reducir el tiempo de funcionamiento y aprovechar la envolvente térmica de los espacios para mantener la temperatura. Un ejemplo sería mantener una temperatura constante de 23° durante la jornada laboral y apagar o reducir la climatización 2 horas antes del final de la jornada.	20%
Optimización del uso de la climatización en función de los espacios utilizados	De nuevo, utilizando las reservas de espacios y los detectores podemos optimizar el uso de la calefacción y A/C en los espacios utilizados y según la programación horaria.	30%
Refrescamiento nocturno	Utilizado las unidades de tratamiento de aire es posible, en los meses de mayor temperatura diurna, utilizar los sistemas de ventilación para reducir la temperatura interior de la oficina durante la noche optimizando de esta forma el uso de los sistemas de climatización.	10%
Control y desagregación del consumo	Gracias a los medidores inteligentes instalados en los sistemas que generan el mayor consumo energético del edificio podremos monitorizar y analizar los datos de consumo desagregado por servicio y por planta. Esto puede ayudarnos a identificar consumos elevados (por un mal uso, un problema técnico, falta de mantenimiento...).	30%
Monitorización de la calidad del aire	Mediante los sensores ambientales el sistema BACS será capaz de monitorizar la calidad del aire en los niveles de humedad, CO ₂ , partículas orgánicas o polvo en suspensión, junto con los niveles de ocupación por zona (gracias a los sensores cuenta personas). Con esta información podemos actuar en consecuencia con los sistemas de ventilación para mantener niveles de calidad de aire óptimos. En este caso el beneficio no será energético sino en confort y salud para los ocupantes, lo que debe traducirse en mayor productividad.	N/A

Tabla 14. Técnicas de eficiencia energética

(*) Ahorro máximo potencial sobre la factura de ese servicio, según la guía de ahorro y eficiencia energética (MITECO, FENERCOM).

La guía de eficiencia incluye otras recomendaciones que afectan a otros servicios y reformas estructurales, pero quedan fuera del alcance del proyecto (agua caliente sanitaria, equipos informáticos, ascensores, aerotermia, uso de energía solar o geotermia, ...).

Si repetimos el ejercicio realizado en la tabla 12 para identificar la categoría indicativa del sistema BAC según la norma UNE EN-ISO 52120-1 tras la implementación del proyecto, obtenemos una **categoría de sistema BACS de clase B** (respecto a la clase C previa a la propuesta del proyecto) mejorando la mayoría de los controles en los servicios afectados.

	Nombre del control	Definición de clases				Detalles específicos y comentarios
		D	C	B	A	
1	Control de calefacción					
1.1	Control de la emisión				X	Control individual modulado por recinto con comunicación y detección de ocupación.
1.2	Control de emisión para TABS				X	Control automático central con operación intermitente y retroalimentación de temperatura recinto.
1.5	Control intermitente de la emisión			X		Control automático con optimización marcha/parada.
2	Control del suministro del ACS					No aplica.
3	Control de refrigeración					
3.1	Control de la emisión				X	Control individual modulado por recinto con comunicación y detección de ocupación.
3.2	Control de emisión para TABS				X	Control automático central con operación intermitente y retroalimentación de temperatura recinto.
3.5	Control intermitente de la emisión			X		Control automático con optimización marcha/parada.
4	Control de la ventilación					
4.1	Control del aire de impulsión al recinto			X		Control basado en la ocupación.
4.3	Control de la temperatura de aire			X		Control monitorizado por zonas.
4.10	Control de la humedad			X		Control directo de la humedad.
5	Control de iluminación					
5.1	Control por ocupación				X	Encendido y detección automática según la demanda.
5.2	Control de intensidad luminosa			X		Modulación automática.
6	Control de persianas				X	Control combinado de iluminación/persianas/HVAC
7	Gestión técnica del edificio					
7.1	Gestión de puntos de consigna			X		Adaptación desde un recinto central con retroalimentación de la demanda.
7.2	Gestión tiempos de operación			X		Reglaje individual según programa predefinido con preacondicionamiento.
7.3	Detección fallos y ayuda diagnóstico				X	Indicación centralizada de fallos y alarmes con funciones de diagnóstico.
7.4	Informe resultados consumo energía				X	Análisis, evaluación de la eficiencia, comparación e histórico de datos.
7.7	Integración en red inteligente			X		Los sistemas energéticos se gestionan de forma centralizada en función de la carga y la gestión de la demanda.

Tabla 15. Ejercicio clase BACS según UNE EN ISO 52120-1 (post-implementación)

5. Análisis resultados

En este punto del proyecto se especifican los detalles económicos del proyecto y la rentabilidad de la inversión requerida para llevarlo a cabo. En este apartado se incluyen los siguientes entregables:

- Análisis de eficiencia energética y ahorros previstos en su consumo.
- Presupuesto del proyecto.
- Tasa de retorno de la inversión.

5.1 Estudio de eficiencia energética

Tras la instalación del hardware del proyecto es necesario implementar la configuración del sistema y las técnicas de eficiencia para conseguir un uso optimizado de los sistemas y los recursos energéticos. Vamos a tratar de cuantificarlo a través es un estudio de consumo que nos permita comparar con el uso energético inicial (recuperamos los datos medios mensuales del apartado 3.3).

	Alumbrado	Iluminación	HVAC		Acumulado media
			Verano	Invierno	
Consumo mensual	2.862 kW	21.527 kW	50.124 kW	79.927 kW	89.415 kW

Tabla 16. Consumo energético inicial

Una de las fuentes de información más relevantes para la optimización de los servicios será el nivel de ocupación y el detalle de reserva de espacios de la oficina. Analizando esta información obtenemos los siguientes datos sobre la tasa de ocupación media de la oficina, donde se observa una mayor ocupación de la oficina de martes a jueves que se reduce los lunes y viernes debido a las políticas de teletrabajo.

	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
Tasa ocupación puestos de trabajo	50%	85%	85%	85%	30%
Tasa ocupación salas de reuniones	40%	70%	70%	70%	25%

Tabla 17. Tasa de ocupación de la oficina

Con esta información y haciendo una simulación de las técnicas de eficiencia presentadas en el apartado 4.5 podemos estimar el consumo energético futuro de los sistemas.

Técnica T1. Iluminación por ocupación.

Haciendo uso de la información de reserva de espacios y los detectores de presencia podemos configurar rutinas en nuestro sistema BACS para la optimización de la iluminación. Mediante programación del encendido y apagado en función de los puestos y salas de reuniones reservados, manteniendo los niveles mínimos para las zonas de paso (150 lúmenes) mediante los focos de alumbrado. El beneficio sería para todas las zonas reservables de la oficina con un ahorro estimado del **25%** sobre el servicio de iluminación.

Técnica T2. Climatización por ocupación.

De forma similar al ejemplo anterior, se podría configurar el encendido y apagado a la temperatura de consigna para los espacios cerrados reservables (salas de reuniones) en función de su uso. En los espacios abiertos (puestos de trabajo) se pueden configurar rutinas para organizar las reservas de forma agrupada y limitar el acceso a espacios o plantas completas los días de baja ocupación (lunes y viernes). El beneficio de esta política se aplica al servicio de HVAC (verano e invierno) y el ahorro previsto sería del **25%**.

Técnica T3. Reducción de intensidad del alumbrado.

Mediante la controladora DALI y gracias a los focos de alumbrado con *dimmer* es posible reducir la potencia lumínica en las zonas de paso. Esto puede suponer un beneficio de un **25%** de reducción de consumo energético en el servicio de alumbrado general.

Técnica T4. Aprovechamiento de la luz natural.

Mediante programación de los sistemas de ocultación (estores) podemos aprovechar la luz natural que recibe el edificio por sus 4 fachadas para reducir la intensidad en las luminarias (manteniendo el nivel mínimo de luminosidad en puestos de trabajo, 500 lúmenes). Para ello utilizaremos los sensores de luminosidad exterior distribuidos en las cuatro orientaciones del edificio y los sensores de presencia y luminosidad interior repartidos por la oficina. El beneficio será para las zonas de puestos de trabajo circundantes, en el servicio de iluminación con un ahorro estimado de un **15%**.

Técnica T5. Optimización de clima por aislamiento.

El edificio cuenta con una envolvente térmica en fachada a través de vidrio insulado, esta característica arquitectónica puede ser utilizada para mantener la temperatura constante con un menor uso de los sistemas de climatización. Esto podría ser utilizado para reducir los niveles de uso de los fan coil en las horas finales de la jornada diaria. El beneficio potencial sería aplicable para el servicio de climatización (verano e invierno) con una reducción del consumo del **15%**.

Técnica T6. Refrescamiento nocturno.

Podemos configurar los sistemas de ventilación mediante los sistemas UTA y VAV para realizar una ventilación forzada del aire de la oficina con el aire exterior durante las horas nocturnas. Esto supondría una reducción de la temperatura interior durante los meses de verano y supondría un ahorro para el servicio de climatización (verano) de un **5%**.

Técnica T7. Control y mantenimiento preventivo.

Mediante la integración de todos los sistemas de automatización en la consola BACS es posible detectar un mal funcionamiento de los dispositivos y realizar un mantenimiento preventivo que ayude al funcionamiento óptimo. Además, los sistemas de medición del consumo nos permitirán analizar los sistemas o elementos de mayor consumo y actuar de forma en consecuencia. Esta política supone un beneficio general para los sistemas cuantificado en una reducción del **10%** del consumo.

Estas opciones son algunos ejemplos y buenas prácticas para reducir el consumo energético utilizando los sistemas de control y automatización, podrán aplicarse otras más beneficiosas o mejor adaptadas a las necesidades del cliente.

Por otro lado, hay que tener en cuenta los nuevos elementos añadidos con el sistema BACS y su consumo energético como se observa en la memoria a continuación:

Dispositivo	Consumo (W)	Ud	TOTAL
AS-P	30	2	60
PS-24V	10	1	10
Cisco IE SW	36,7	1	36,7
RP-C KNX	23	20	460
F. Alimentación KNX	20	20	400
RP-C DALI	23	20	460
Power Server	3,5	1	3,5
Power Meter	3	30	90
Act. KNX estores	3	80	240
Act. KNX fan coil	3	279	837
Sensor cuentapersonas	12,95	21	271,95
Sensor luz exterior	3	4	12
Multisensor	1,76	30	52,8
Sensor de presencia	3	96	288
HMI	6,5	13	84,5
			3.306,45 (W)
			2.380,64 (kW / mes)

Tabla 18. Memoria nuevos dispositivos y consumo

El resultado del análisis energético aplicadas las técnicas descritas, en conjunción con el sistema BACS, teniendo en cuenta los nuevos dispositivos que componen los sistemas de control y automatización, prevé una reducción de los costes energéticos operativos de estos sistemas de un **40%**.

		Alumbrado	Iluminación	HVAC		TOTAL (kW)
				Verano	Invierno	
Consumo mensual inicial (kW)		2.862	21.527	50.124	79.927	89.415
T1. Iluminación por ocupación	25%		16.145			
T2. Climatización por ocupación	25%			37.593	59.945	
T3. Reducción de intensidad del alumbrado	25%	2.147				
T4. Aprovechamiento de la luz natural	15%		13.723			
T5. Optimización clima por aislamiento	15%			31.954	50.953	
T6. Refrescamiento nocturno	5%			30.356		
T7. Control consumo y mantenimiento preventivo	10%	1.932	12.351	27.321	45.858	
Consumo añadido BACS						2.380
Consumo mensual final previsto (kW)		1.932	12.351	27.321	45.858	53.252

Tabla 19. Resultado estudio eficiencia energética

Tomando el precio neto de la electricidad en España en 2023 publicado por el Ministerio de Industria y Turismo [50], observamos un precio medio anualizado de **0,207 €/kWh**. Este valor es orientativo ya que, como es conocido, el precio de la energía depende del mercado mayorista, el coste de distribución y comercialización, peajes y los impuestos (directos e indirectos).

Fuente: Eurostat

PRECIO NETO DE LA ELECTRICIDAD USO DOMÉSTICO euros/kWh

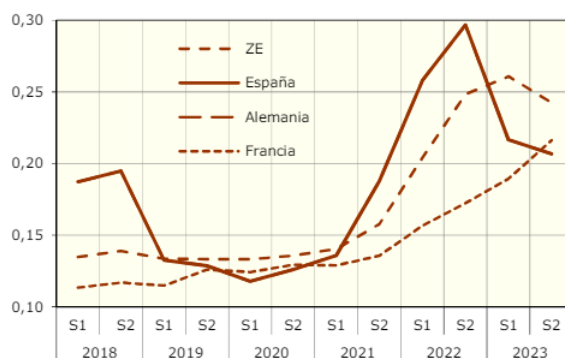


Ilustración 44. Precio neto electricidad (2018-2023)

Con esta información, podemos hacer una proyección de los ahorros económicos derivados de la reducción del consumo energético, tras la implementación del proyecto, con un ahorro aproximado de **90.000 € / año**.

$$(\text{Consumo inicial [kW]} - \text{Consumo final [kW]}) * \text{Coste energía [€/kWh]} * 12 \text{ meses} \quad (11)$$

$$\text{Ahorro anual} = (89.415 - 53.252) * 0.207 * 12 = \mathbf{89.828 \text{ €}} \quad (12)$$

5.2 Análisis económico

En este apartado se listan todos los costes iniciales e inversiones para llevar a cabo el proyecto en función de la solución propuesta y el diseño adaptado al edificio proyectado.

Presupuesto proyecto: Smart Office				
Cod	Descripción	Ud	Precio unitario	TOTAL
Nivel analítico				
1001	Licencia EBO	1	7.722,65 €	7.722,65 €
	Suministro y configuración EcoStruxure Building Operation 2022 para 50 unidades SpaceLogic. Inc. Licencias Workstation y Webstation (3 concurrentes). Part Number: SXWXESXX00050. Marca: Schneider Electric			
1002	Licencia Webstation	1	4.401,75 €	4.401,75 €
	Licencia adicional Webstation para 10 conexiones concurrentes. Part number: SXWSWCLIENT0010. Marca: Schneider Electric			
1003	Licencia PME	1	1.018,60 €	1.018,60 €
	Suministro y configuración licencia base EcoStruxure Power Monitoring Expert. Part number: PSWSANCZSPEZZ. Marca: Schneider Electric			
Nivel de gestión				
2001	SpaceLogic AS-P	2	3.062,40 €	6.124,80 €
	Suministro e instalación SpaceLogic Automation Server. Permite la gestión de hasta 40 controladoras y 464 dispositivos I/O. Part number: SXWASPXXX10001. Marca: Schneider Electric			
2002	SpaceLogic PS-24V	1	450,00 €	450,00 €
	Suministro e instalación módulo PS-24VAC/VDC para alimentación de AS-P. Part number: SXWPS24VX10001. Marca: Schneider Electric			
2003	Cisco IE Switch	1	2.980,23 €	2.980,23 €
	Suministro e instalación switch Cisco Catalyst modelo Industrial Ethernet IE3100 (18 puertos). Incluida licencia y mantenimiento NBD 3 años. Part number: Cisco IE-3100-18T2C-E. Marca: Cisco			
2004	Cableado BACnet/IP	1.200	1,67 €	2.004,00 €
	Suministro e instalación cableado UTP Cat.6 par trenzado para la conexión desde el Switch central a los AS-P y controladoras RP-C en topología RSTP. (Según planos Anexo B)			
Nivel de automatización				
3001	SpaceLogic RP-C-12B-F-230V	20	493,11 €	9.862,20 €
	Suministro e instalación controladora RP-C para el control de dispositivos HVAC. (Según planos anexo B) Part number: SXWRFC12B10002. Marca: Schneider Electric			
3002	SpaceLogic RP-C-EXT-KNX	20	209,00 €	4.180,00 €
	Suministro pasarela Modbus KNX para integración en controladora RP-C. Una por controladora RP-C-12B-F-230V. Part number: SWREKNX10001. Marca: Schneider Electric			
3003	F. Alimentación KNX	20	260,74 €	5.214,80 €
	Suministro fuente de alimentación bus KNX de 30 V y 640 mA para el control de hasta 64 disp. (Según planos anexo B) Part number: MTN684064. Marca: Schneider Electric			
3004	SpaceLogic RP-C-EXT-DALI	20	311,17 €	6.223,40 €
	Suministro e instalación controladora DALI/DALI2 para el control de dispositivos de alumbrado. (Según planos anexo B). Part number: SXWREDALI110001. Marca: Schneider Electric			
3005	Power Server	1	870,38 €	870,38 €
	Suministro e instalación EcoStruxure Panel Server. Registrador de datos y pasarela Modbus a 230 V AC. Part number: PAS800. Marca: Schneider Electric			
3006	Cableado Modbus	150	1,76 €	264,00 €
	Suministro e instalación cableado apantallado para bus Modbus/RTU de 4 nucleos con funda de PVC y conexión via RS-485. Incluida impedancia de terminación de 120 ohmios. Marca: RS Pro.			

Cod	Descripción	Ud	Precio unitario	TOTAL
Nivel de equipos de campo				
4001	Power Meter Suministro medidores de energía (6 por planta) para captura de parámetros de consumo en líneas de clima, iluminación y alumbrado. Part number: METSEPM3210. Marca: Schneider Electric	30	389,16 €	11.674,80 €
4002	Cableado 0-10V Suministro e instalación de cableado apantallado para control de 2 conductores. Marca: Alpha Wire. (Según planos Anexo B)	100	1,04 €	104,00 €
4003	Cableado KNX Suministro e instalación cable para bus KNX con aislamiento de polietileno ADPE. Cable 2 pares con pantalla de aluminio/poliéster. Para la conexión de dispositivos KNX (Controladora, gateway y sensores). Marca: SumCab. (Según planos Anexo B)	1.200	0,84 €	1.008,00 €
4004	Actuador KNX Estores Suministro y configuración de relé actuador KNX para el control de estores. Control de 4 módulos (Según planos Anexo B) Part number: MTN6705-0008. Marca: Schneider Electric	80	222,67 €	17.813,60 €
4005	Actuador KNX Fan Coil Suministro y configuración de relé actuador KNX para el control independiente de cada fan coil. (Según planos Anexo B) Part number: MTN645094. Marca: Schneider Electric	279	164,95 €	46.021,05 €
4006	Sensor cuenta personas Suministro y configuración de sensor cuenta personas por cámara infraroja en los espacios de entrada/salida de cada planta. (Según planos anexo B). Part number: Vector 4D . Marca: Irisys	21	873,24 €	18.338,04 €
4007	Sensor luminosidad exterior Suministro y configuración de sensor de luminosidad exterior KNX. Rango: 1 -100.000 lux. Protección IP54. (Según planos anexo B). Part number: Luxa 133 KNX. Marca: Theben	4	167,65 €	670,60 €
4008	Multisensor de zona Suministro y configuración multisensor (temperatura, humedad, luz, ruido y calidad de aire). Conexión POE. (Según planos anexo B) Part number: Omni 1. Marca: Awair	30	599,00 €	17.970,00 €
4009	Sensor de presencia Suministro y configuración detector de presencia y luminosidad KNX. Montaje en techo y área rectangular(140 m2).(Según planos anexo B) Part number: Luxa 103 S360-28 KNX. Marca: Theben	96	142,10 €	13.641,60 €
4010	Pantalla HMI Suministro e instalación pantalla 7" WVGA para función HMI. Resolución 1280 x 800. Conexión POE. (Según planos anexo B) Part number: HMIDT351. Marca: Schneider Electric	13	606,86 €	7.889,18 €
Otros				
5001	Horas ingeniería Tiempo dedicado (276 horas) a la elaboración del proyecto, incluido el diseño de la memoria y planos del mismo.	306	45,00 €	13.770,00 €
5002	Horas instalación Esfuerzo estimado (en horas) para la instalación, configuración y puesta en marcha de todos los elementos del proyecto.	600	35,00 €	21.000,00 €
Total				221.217,68 €
Contingencia				5%
COSTE FINAL DEL PROYECTO				232.278,56 €

Tabla 20. Presupuesto del proyecto

En el presupuesto se incluye el coste del hardware, el nuevo cableado necesario para la interconexión, las licencias necesarias para el funcionamiento de los servicios y aplicaciones necesarios, y los costes de dedicación al diseño y puesta en marcha de la solución. Los costes están basados en listas de precios públicas de Schneider Electric (SE) y búsqueda online para el resto de los elementos (fecha de consulta: 26-05-24). Estos costes podrían ser modificados en caso de que el cliente sea *partner* de SE o algún elemento se encuentre descatalogado.

5.3 Retorno de la inversión

En proyectos de eficiencia energética, el retorno de la inversión (ROI) proporciona una evaluación cuantitativa de los beneficios económicos que se obtienen a partir de la reducción del consumo de energía. Además, el cálculo y la proyección del ROI permite a las empresas identificar áreas de mejora y optimización en sus operaciones energéticas.

La expresión para el cálculo del ROI que utilizaremos es la siguiente:

$$ROI = \frac{\text{Ahorro total} - \text{Coste de la inversión}}{\text{Coste de la inversión}} * 100 \quad (13)$$

Para estimar el término del ahorro total tenemos que evaluar los costes anuales en energía antes y después de realizar el proyecto como hemos hecho en el apartado 5.1. Además, debemos definir un periodo comparativo para la amortización de la inversión, en proyectos de eficiencia energética para edificios este periodo habitualmente se fija entre 3 y 7 años. En nuestro caso, al tratarse de un edificio de oficinas que no es propiedad del cliente que realiza la inversión, fijaremos un periodo de 4 años para alinearlos a la vida del contrato de alquiler del espacio.

Así, el **ROI de esta inversión** será como sigue:

$$ROI (4 \text{ años}) = \frac{89.828 * 4 - 232.278}{232.278} * 100 = \mathbf{54,69 \%} \quad (14)$$

Resultando un ROI del 54,69 %, un resultado de la inversión muy favorable en términos económicos.

De igual forma, el **periodo de retorno de la inversión** (PRI) nos indicará el plazo en el que daremos por recuperada la inversión inicial mediante los ahorros generados por el proyecto, sin considerar la fluctuación del valor del dinero en el tiempo. La expresión será:

$$PRI = \frac{\text{Inversión inicial}}{\text{Ahorros anuales}} = \frac{232.278}{89.282} = \mathbf{2,6} \quad (15)$$

Obteniendo un periodo de retorno de la inversión de **2 años y 7 meses**.

6. Conclusiones

Para finalizar el proyecto analizaremos los objetivos conseguidos por el proyecto y si se alinean con los requisitos definidos inicialmente, la comparativa de la planificación y riesgos identificados tras la ejecución del proyecto, junto con las conclusiones personales y líneas de desarrollo futuro.

6.1 Análisis de objetivos del proyecto

Realizaremos un breve estudio del grado de cumplimiento sobre los requisitos específicos del proyecto derivados del análisis preliminar realizado en el apartado 3.4.

Requisito	Grado de cumplimiento	Comentarios
Implementar técnicas para el control de los sistemas energéticos en función de la demanda, la ocupación y el uso de los distintos espacios.	Total	Gracias a la implementación del sistema BACS conectado a las herramientas de reserva de espacio y los sensores de presencia.
Reducir el consumo energético un 30% (esto redundará en los costes operativos y en la sostenibilidad de los recursos).	Total	Se ha conseguido una reducción del consumo del 40% sobre los servicios de iluminación y climatización.
Aprovechar al máximo la infraestructura existente en el edificio.	Parcial	Se han aprovechado la práctica totalidad de los sistemas vigentes, a falta de los controladores DALI de alumbrado. Además, ha sido necesaria la instalación de nuevo cableado de control para los nuevos sistemas.
Alcanzar una clasificación de sistema BACS de clase B para cumplir con la normativa europea.	Total	Se ha alcanzado una clasificación del sistema BACS de clase B cumpliendo con la normativa europea en materia de eficiencia energética.
Permitir técnicas de desagregación del consumo energético de los sistemas.	Total	Con la instalación de medidores de consumo desagregado por planta y servicio junto con la herramienta de análisis <i>EcoStruxure Power Monitoring</i> .
Permitir técnicas de mantenimiento y diagnóstico preventivo para los sistemas.	Total	Todos los sistemas de control y automatización están gobernados y monitorizados por el sistema BACS, esto permite el diagnóstico remoto y el mantenimiento preventivo.
Permitir técnicas de análisis de uso y previsión de recursos.	Total	La solución BACS implementa, a través de la solución <i>EcoStruxure Building Operation</i> , técnicas de análisis de uso de los servicios, tendencias y herramientas de automatización para optimizar el uso de recursos.

Tabla 21. Análisis de objetivos del proyecto

En general, podemos concluir que **se han cumplido** los objetivos específicos del proyecto.

6.2 Revisión de planificación y riesgos

Analizando el esfuerzo dedicado a cada una de las tareas del proyecto respecto a la planificación inicial (apartado 1.5) podemos observar ligeras desviaciones en la tabla 22. Algunas tareas con menor dedicación (**en verde**) y otras tareas que han requerido más tiempo del esperado (**en rojo**).

- **Estado de la cuestión:** el análisis del estudio de la cuestión en el área de las tecnologías BMS/BACS y los dispositivos y soluciones en el campo de la inmótica ha requerido más tiempo del previsto. El incremento se ha debido a la multitud de soluciones, protocolos y fabricantes disponibles en el mercado para este tipo de proyectos.
- **Diseño de la solución TIC:** en el diseño de la solución se ha necesitado más dedicación de la prevista para planificar la integración y conexión de los distintos elementos con el nuevo sistema BACS y los dispositivos actuales. Esto no ha supuesto modificación de los plazos de entrega.
- **Conclusión general:** El proyecto y las entregas preliminares (PECs) se han podido completar en línea con la planificación inicial a pesar de las desviaciones particulares de las tareas indicadas. Se ha requerido un esfuerzo general de **306 horas** para el diseño y realización del proyecto.

Nombre de tarea	Duración Inicial	Duración Final	Horas de trabajo
Introducción y planificación	13 días	10 días	32 horas
1.1 Contexto y justificación del proyecto	3 días	2 días	6
1.2 Definición objetivos del proyecto	3 días	3 días	10
1.3 Definición alcance del proyecto	3 días	2 días	6
1.4 Planificación de tareas	4 días	3 días	10
Estado de la cuestión	12 días	14 días	60 horas
2.1 Análisis eficiencia energética en oficinas y legislación UE	5 días	5 días	15
2.2 Investigación de tecnologías BMS/BACS	5 días	6 días	20
2.3 Estudio Inmótica, componentes y protocolos	7 días	8 días	25
Análisis del edificio	8 días	8 días	20 horas
3.1 Recopilar los planos del edificio	2 días	2 días	5
3.2 Identificar la infraestructura actual de los servicios	2 días	2 días	5
3.3 Calcular los costes actuales de consumo y mantenimiento	2 días	2 días	5
3.4 Identificar los requisitos mínimos a cubrir por el proyecto	2 días	2 días	5
Diseño de la solución TIC	26 días	28 días	110 horas
4.1 Seleccionar el software de gestión apropiado	6 días	5 días	15
4.2 Seleccionar la tecnología y controladores aplicables	6 días	5 días	15
4.3 Planificar los sistemas de comunicación (tipo, protocolos y topología)	6 días	8 días	25
4.4 Identificar los dispositivos domóticos necesarios (sensores y actuadores)	8 días	8 días	25
4.5 Diseñar la distribución y método de funcionamiento	8 días	10 días	30
Análisis económico	10 días	10 días	32 horas
5.1 Desglosar los gastos e inversiones del proyecto	2 días	2 días	6
5.2 Calcular los costes futuros de los servicios implementados	3 días	3 días	10
5.3 Estimar los potenciales ahorros económicos	3 días	3 días	10
5.4 Calcular el periodo para el retorno de la inversión (ROI)	2 días	2 días	6
Memoria y conclusiones	15 días	15 días	52 horas
6.1 Redactar la memoria final del proyecto	10 días	8 días	25
6.2 Redactar las conclusiones del proyecto	2 días	2 días	6
6.3 Redactar las líneas de trabajo futuras	2 días	2 días	6
6.4 Elaborar presentación final del proyecto	3 días	5 días	15
			306 horas

Tabla 22. Análisis planificación respecto esfuerzo real.

En el **proceso de gestión de riesgos** de un proyecto es necesario cubrir las siguientes etapas:



En el apartado 1.6 se realizó el ejercicio para identificar, analizar y priorizar los riesgos, y además se definieron una serie de acciones mitigadoras o correctoras con el objetivo de eliminar o reducir el impacto. En este punto, realizamos la última etapa del proceso con la monitorización y análisis de los riesgos identificados, cuales se han materializado y en qué forma han afectado a la ejecución del proyecto. Para ello recuperamos el listado de riesgos y oportunidades definido previamente y completamos la nueva información relevante

Código	Descripción	Causa	Riesgo residual	Monitorización y Análisis de impacto
OP01	Subvenciones UE	Subvenciones asociadas al desarrollo sostenible o eficiencia energética	Bajo	No aplica subvención UE al proyecto. En el momento de ejecución las subvenciones aplican al sector residencial, edificios públicos o zonas del plan PRE-5000 [7].
R01	Problemas integración sistemas	Incidencias derivadas de la interconexión con los sistemas actuales	Medio	Los drivers DALI de alumbrado iniciales no eran gestionables desde la solución BACS. Esto implicó la sustitución de las controladoras DALI por otras compatibles, el resto de los dispositivos y cableado si ha podido ser reutilizado.
R02	Problemas interoperabilidad	Interferencias en el control e intercambio de información de los nuevos sistemas	Bajo	Riesgo no manifestado. Los sistemas de gestión y automatización se seleccionaron con un proveedor único para asegurar la operabilidad.
R03	Ciberseguridad	Riesgos o incidencias de seguridad cibernética de los nuevos sistemas	Bajo	Riesgo no manifestado. La solución ofrece los sistemas de ciberseguridad recomendados mediante las prácticas basadas en los estándares ISO 27034 e IEC 62443-4-1.
R04	Acceso a planimetría	Limitación en el acceso a los planos de arquitectura y técnicos del edificio	Bajo	Riesgo no manifestado. Se tuvo acceso en tiempo y forma a los planos de arquitectura y datos técnicos originales del edificio.
R05	Acceso a información de los sistemas	Limitación en el acceso a información de los sistemas (consumo, costes, distribución...)	Bajo	Riesgo no manifestado. Se ha tenido acceso a la información de los sistemas necesaria para la ejecución del proyecto.
R06	Cambios normativa vigente	Modificaciones en la normativa aplicable al proyecto	Muy bajo	Riesgo no manifestado. Sin cambios en la normativa aplicable en el momento de ejecución del proyecto.
R07	Mala definición de requisitos y alcance	Falta de documentación previa o falta de acceso a información	Medio	Riesgo no manifestado. Los datos básicos en cuanto a requisitos y alcance del proyecto definidos en la fase de planificación no han sido alterados y han sido suficientes para la definición del diseño y la medición de resultados del proyecto.

Código: código de identificación del riesgo/oportunidad de la tabla de evaluación de riesgos.
Descripción: detalle del riesgo/oportunidad identificada.
Causa: motivo de la aparición del riesgo.
Riesgo residual: tras la aplicación de las acciones mitigadoras o correctoras previstas. [Muy bajo, bajo, medio, alto, muy alto]
Monitorización: detalle sobre la materialización del riesgo en su caso y el impacto en el proyecto.

Tabla 23. Monitorización de riesgos

No han se han identificado o materializado nuevos riesgos durante la ejecución del proyecto.

6.3 Líneas de trabajo futuro

En el alcance del proyecto no se ha abordado la programación de cada uno de los elementos, al no tratarse de un diseño exhaustivo de la instalación sino del diseño general de la arquitectura, el establecimiento de los elementos y el propósito de estos. Esta estructura general del proyecto hace que pueda servir de base para un gran número de proyectos que tengan un enfoque y finalidad similar.

Como ya se comentó en los apartados de planificación y motivación del proyecto, la necesidad de un sistema de control y automatización que permita aumentar la eficiencia del uso de la energía de los edificios va a ser un requerimiento exigido por la Unión Europea, por lo tanto, muchos edificios de uso terciario no residencial se van a ver obligados a implementar sistemas como el diseñado en este proyecto o a evolucionar sus sistemas de control (*BMS*) al siguiente nivel.

El siguiente nivel en el desarrollo del proyecto sería llevar a cabo la **programación general** de los elementos y la **configuración de la consola** de administración (*EcoStruxure Building Operation*), esto implica la personalización de la configuración de los sistemas en función del uso y requerimientos propios de los administradores del sistema y los ocupantes del edificio.

Entre otras opciones de expansión del proyecto estaría incluir nuevos servicios habituales en las soluciones BMS/BACS, como por ejemplo los sistemas de seguridad física: control de accesos y videovigilancia, o sistemas relacionados con la generación y otros usos de la energía. En este ámbito, destacan las soluciones de generación de la energía a partir de **paneles fotovoltaicos**, que pueden producir una media de 300 kWh por m² al año, y que teniendo en cuenta las dimensiones de espacio disponible en los tejados de un edificio de oficinas son una opción muy recomendable para optimizar aún más la eficiencia y la sostenibilidad.

Otra alternativa de desarrollo futuro del proyecto sería la ampliación con servicios de **recarga de vehículo eléctrico** en el edificio. Esta capacidad sería un nuevo servicio disponible para los usuarios del edificio y seguiría encaminado en los valores y objetivos de este proyecto: optimización de los recursos energéticos y sostenibilidad. Una posible alternativa sería continuar con las soluciones de Schneider Electric y contar con la aplicación *EV Charging Expert* y los puntos de recarga *EVLink Pro AC* que aseguran la integración del sistema BACS del edificio. [51]

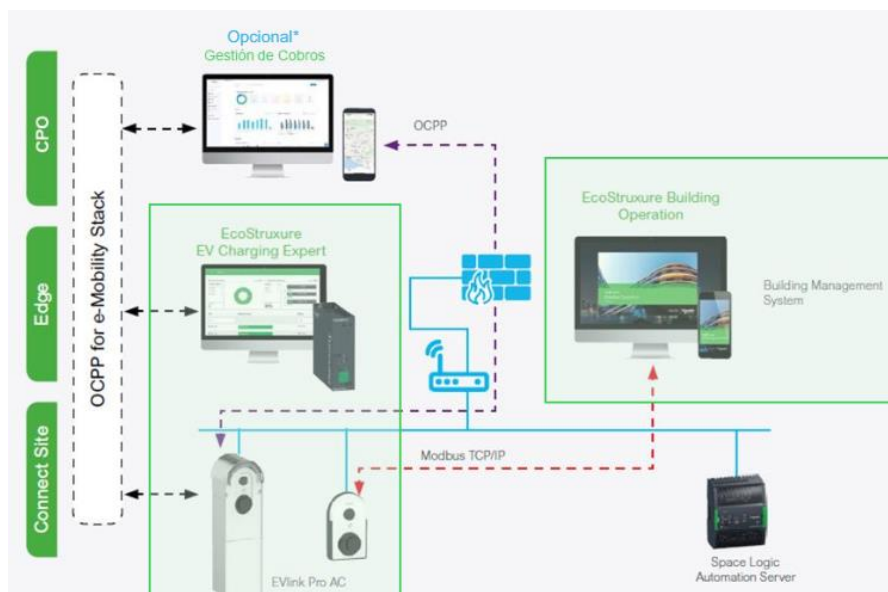


Ilustración 45. Arquitectura general solución Electric Vehicle

6.4 Conclusiones personales

Una vez finalizado el proyecto y conseguido el diseño del sistema de control y automatización se pueden sacar conclusiones de los resultados obtenidos y de la evolución llevada a cabo gracias al proyecto.

En primer lugar, analizando las competencias y objetivos del enunciado del proyecto podemos concluir que se han cumplido todos los objetivos.

- Se han analizado el estado de la cuestión en el ámbito de Smart Building, los sistemas de control y automatización y los protocolos de comunicaciones asociados. Se dan por adquiridos los conocimientos necesarios para evaluar los requisitos específicos del proyecto y proponer las soluciones necesarias.
- Se ha estudiado la normativa y tecnologías aplicables a la eficiencia energética y como afecta a los servicios básicos de un edificio (iluminación, climatización y ventilación y distribución de la energía). Junto con la importancia de los objetivos medioambientales y en sostenibilidad para la optimización del consumo energético y la reducción del uso de combustibles fósiles.
- Aplicación e integración de las diferentes disciplinas de la Ingeniería de Telecomunicaciones para la resolución de los retos planteados por en el diseño de la solución TIC.
- Se completa el diseño físico y distribución de los elementos que componen el sistema BACS, incluida la planimetría de los sistemas a través de Autocad.

A pesar de que en el grado no existe una asignatura específica que cubra la temática concreta de este proyecto, muchas de las asignaturas nos han preparado y ayudado para completar el proyecto. En algunos casos aportando una base de conocimientos técnicos (Ej: comunicaciones móviles, circuitos electrónicos o redes y servicios), en otros con habilidades fundamentales (como la gestión de proyectos y las competencias comunicativas), pero en general desarrollando la capacidad de búsqueda crítica e investigación para poder ampliar conocimientos nuevos de forma autónoma y 100% online.

Además, desde un punto de vista personal ha resultado muy enriquecedor el estudio de las oportunidades de los sistemas de control para la automatización de sistemas, y los beneficios que aportan:

- Para las **personas** que utilizan el edificio, con beneficio en la salud y bienestar relacionados con el espacio de trabajo.
- Para la **gestión** y automatización de los sistemas, lo que facilita el control y el mantenimiento de los sistemas del edificio.
- Para los **propietarios**, en forma de beneficios económicos a través del ahorro de energía, con una amortización de las inversiones muy positiva y en forma de responsabilidad social corporativa y mejora de la imagen de marca.
- Para la **sociedad**, potenciando la sostenibilidad y el cuidado del medioambiente mediante la reducción del uso energético.

Hubiera deseado poder desarrollar una demostración real del sistema con *EcoStruxure Building Operation*, para ello he tratado por distintos medios conseguir una versión demo o freeware de alguna de las aplicaciones de gestión y análisis del proveedor, pero se tratan de licencias embebidas en los productos y dispositivos y no ha sido posible facilitarme una licencia para uso educativo.

En general, estoy muy satisfecho con mi evolución y aprendizaje gracias al trabajo de final de grado. Durante estos meses he ampliado mis conocimientos técnicos en sistemas electrónicos de control y automatización, en la integración de los distintos sistemas a través de las telecomunicaciones y he podido desarrollar mis habilidades en la elaboración de proyectos técnicos formales. Mi intención al redactar la memoria ha sido que esta sea formal y didáctica, pero también accesible, amena y con objetivos claros para todo tipo de lector.

7. Glosario

AS-P: *Automation Server*, dispositivo potente que actúa como controlador central de un sistema de control y automatización, controlando los módulos E/S y gestionando los dispositivos de bus de campo.

BACnet: protocolo de control utilizado para la gestión de aparatos electrónicos en edificios. ISO 16484-5.

BACS: *Building Automation and Control Systems*, sistema de control que permite la monitorización central, gestión del uso de la energía y automatización de los sistemas de un edificio.

BMS: *Building Management System*, sistema de gestión de edificios que permite el control y monitoreo centralizado de los servicios de un edificio.

Control 0-10 V: método de control y regulación analógico que utiliza una señal de voltaje de corriente continua la gestión de otros dispositivos (iluminación, climatización, seguridad...)

DALI: *Digital Addressable Lighting Interface*, protocolo de comunicación utilizado para el control de sistemas de iluminación.

EBO: *EcoStruxure Building Operation*, solución de Schneider Electric para la gestión y automatización de edificios orientada a la automatización y la optimización de los recursos energéticos.

HMI: *Human Machine Interface*, interfaz que permite a los usuarios interactuar con un sistema o máquina.

HVAC: *Heating, Ventilation and Air Conditioning*, término que aglutina los servicios de calefacción, ventilación y aire acondicionado y se aplica a procesos que abarcan las operaciones de dichos sistemas.

IOT: *Internet Of Things*, concepto que abarca las capacidades y tecnologías para dotar de conexión a Internet (o redes privadas) para recopilar y compartir datos de objetos.

KNX: protocolo de comunicación desarrollado para el control y automatización de viviendas y edificios. Se considera un estándar a nivel mundial. ISO/IEC 14543, UNE-EN 50090 y UNE-EN ISO 22510.

Modbus/RTU: protocolo de comunicación asíncrona que permite el intercambio de información entre controladores lógicos programables (PLC) y ordenadores.

PME: *Power Monitoring Expert*, solución EcoStruxure de Schneider Electric para la monitorización y análisis del uso de la energía.

UPOE+: *Universal Power Over Ethernet*, tecnología que permite la transmisión eléctrica y datos a través de un cable ethernet. UPOE+ permite una capacidad de suministro de 90 W por puerto.

PIR: *Passive InfraRed*, tecnología aplicada a sensores que mide la luz infrarroja radiada por los objetos en su campo de visión. Usada en detectores de movimiento y presencia.

PRI: Periodo de Retorno de la Inversión o *PayBack*, indicador que mide el tiempo de recuperación total de una inversión a valor presente.

ROI: *Return Of Investment*, métrica utilizada para calcular la rentabilidad de una inversión.

RP-C: *Room Purpose Controller*, dispositivo que actúa como controlador de habitación o zona en un sistema BACS.

RS-485: estándar de comunicaciones (capa 1 del modelo OSI) utilizado en aplicaciones de adquisición y control de datos para elementos en topología bus, habitual en entornos industriales. EIA/TIA-485.

RSTP: *Rapid Spanning Tree Protocol*, protocolo de capa 2 (modelo OSI) que gestiona enlaces redundantes.

SCOP: *Seasonal Coefficient Of Performance*, medida de la eficiencia térmica de un sistema de calefacción.

SEER: *Seasonal Energy Efficiency Ratio*, medida de la eficiencia térmica de un sistema de refrigeración.

UTA: Unidad de Tratamiento de Aire, dispositivo usado para regular y circular el aire en un sistema HVAC.

VAV: *Variable Air Volume*, dispositivo destinado a regular el volumen de aire a temperatura constante mediante ventiladores y con la apertura o cierre de trampillas de ventilación.

8. Bibliografía

- [1] Victor Monzón Baeza. Ámbitos de Smart Cities. Researchgate.com [fecha de consulta: 12 de enero de 2024]. Disponible en: https://www.researchgate.net/figure/Figura-3-Ambitos-de-Smart-Cities-4_fig1_373522857
- [2] Directiva (UE) 2023/1791 del Parlamento Europeo y del consejo relativa a la eficiencia energética. [13 de septiembre de 2023]. Disponible en: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/HTML/?uri=CELEX:32023L1791>
- [3] Objetivo "Fit for 55". Legislación Europea sobre cambio climático y reducción de emisiones de la UE [2 de junio de 2022]. Disponible en: <https://www.consilium.europa.eu/es/policies/green-deal/fit-for-55-the-eu-plan-for-a-green-transition/>
- [4] Norma UNE-EN ISO 52120-1:2022. Eficiencia energética de edificios. [septiembre de 2022]. Disponible en: <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0070393>
- [5] Código Técnico de la Edificación. Documento básico HE. Ahorro de energía. [14 de junio de 2022]. Anejo B: <https://www.codigotecnico.org/pdf/Documentos/HE/DcmHE.pdf>
- [6] Next Generation EU [fecha de consulta: 25 de febrero de 2024]. Disponible en: https://next-generation-eu.europa.eu/index_en
- [7] Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDEA) – PREE 500. Rehabilitación energética de edificios en municipios de reto demográfico [fecha de consulta: 25 de febrero de 2024]. Disponible en: <https://www.idae.es/ayudas-y-financiacion/para-la-rehabilitacion-de-edificios/programa-pree-5000-rehabilitacion>
- [8] Eurostat. Building Energy Consumption [fecha de consulta: 09 de marzo de 2024]. Disponible en: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Energy_statistics_-_an_overview
- [9] Constantinos A. Balaras. ResearchGate. Energy Use Intensities for non-residential Buildings. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/321825321_Paper_-_Energy_Use_Intensities_for_Non-Residential_Buildings
- [10] Edificios Eficientes. Ministerio para la transición ecológica y el reto demográfico. Fecha de consulta: 10 de marzo de 2024. Disponible en: <https://edificioseficientes.gob.es/es>
- [11] Energy Performance of Buildings Directive (publicado en marzo 2023). Disponible en: [https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/ATAG/2023/739377/EPRS_ATA\(2023\)739377_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/ATAG/2023/739377/EPRS_ATA(2023)739377_EN.pdf)
- [12] EU.BAC European Building Automation Controls Association. Disponible en: <https://eubac.org/>
- [13] David Jonathan Brooks, 2018. BACS. An investigation into Vulnerabilities. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/327231542_Building_Automation_Control_Systems_An_Invstigation_into_Vulnerabilities_Current_Practice_Security_Management_Best_Practice
- [14] Sistemas de automatización de edificios. Johnson Controls. Fecha de consulta: 22 de marzo de 2024. Disponible en: https://www.johnsoncontrols.com/es_es/smart-building-control-edificios/building-management/building-automation-systems-bas
- [15] Metasys. Jhonson Controls. Fecha de consulta: 22 de marzo de 2024. Disponible en: <https://www.johnsoncontrols.com/buildings/specialty-pages/metasys-release>
- [16] Siemens. Desigo System Product Catalog 2022. Fecha de consulta: 25 de marzo de 2024. Disponible en: <https://sid.siemens.com/v/u/A6V10387472>
- [17] Veera Bhaskar – Catalyst 9000 Engines for Smart Buildings. Disponible en: <https://community.cisco.com/t5/networking-blogs/catalyst-9000-engines-for-smart-buildings/ba-p/5040319>
- [18] EcoStruxure Building Operation. Schneider Electric. Fecha de consulta: 27 de marzo de 2024. Disponible en: <https://www.se.com/es/es/product-range/62111-ecostruxure-building-operation/#overview>

- [19] YouTube: Calidad del aire y ahorro energético en la ESEIAAT-UPC | Schneider Electric. Fecha de consulta: 2 de abril de 2024. Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=XSmICXHAqbQ>
- [20] Al Shera'a, in Dubai. Smartest net zero-energy Building in the world. Disponible en: <https://www.johnsoncontrols.com/insights/2021/case-study/al-shera-a-dubai-united-arab-emirates>
- [21] Beijing National Stadium. Turning a Stadium into a Smart Building. Fecha de consulta: 2 de abril de 2024. Disponible en: <https://www.iotone.com/case-study/turning-a-stadium-into-a-smart-building/c457>
- [22] The Edge, Amsterdam. Schneider Electric. Fecha de consulta: 2 de abril de 2024. Disponible en: <https://www.se.com/es/es/work/campaign/life-is-on/case-study/the-edge.jsp>
- [23] Statista. Dispositivos conectados (Internet de las cosas) a nivel mundial de 2015 a 2027. Fecha de consulta: 2 de abril de 2024. Disponible en: <https://es.statista.com/estadisticas/517654/prevision-de-la-evolucion-de-los-dispositivos-conectados-para-el-internet-de-las-cosas-en-el-mundo/>
- [24] BACnet. Fecha de consulta: 3 de abril de 2024. Disponible en: <https://bacnet.org/about/>
- [25] IEEE 802.15.4-2020. Standard for Low-Rate Wireless Networks. Disponible en: <https://standards.ieee.org/ieee/802.15.4/7029/>
- [26] DALI. Fecha de consulta: 3 de abril de 2024. Disponible en: <https://www.dali-alliance.org/dali/>
- [27] KNX. A brief introduction to KNX. Fecha de consulta: 3 de abril de 2024. Disponible en: <https://www.knx.org/knx-en/for-professionals/What-is-KNX/A-brief-introduction/>
- [28] LonWorks. Real Time Automation. Fecha de consulta: 9 de abril de 2024. Disponible en: <https://www.rtautomation.com/technologies/lonworks/>
- [29] Aula21. Modbus: Qué es y cómo funciona. Fecha de consulta: 9 de abril de 2024. Disponible en: <https://www.cursosaula21.com/modbus-que-es-y-como-funciona/>
- [30] UNE-EN 12464-1. Iluminación de los lugares de trabajo. Disponible en: https://enerfigente.wordpress.com/wp-content/uploads/2015/08/une-en_12464-12003.pdf
- [31] Sistema VRF Mitsubishi. Fecha de consulta: 9 de abril de 2024. Disponible en: <https://www.gasfriocalor.com/sistema-vrf-mitsubishi-conducto-pefy-w100vma-a-unidad-interior>
- [32] Eurovent. Entender el SEER y el SCOP. Fecha de consulta: 9 de abril de 2024. Disponible en: <https://www.eurovent-certification.com/es/category/article/understanding-seer-and-scop?universe=energy-efficiency>
- [33] Schneider Electric. EcoStruxure Building Operation. Fecha de consulta: 26 de abril de 2024. Disponible en: <https://www.se.com/es/es/product-range/62111-ecostruxure-building-operation/>
- [34] Automation Server AS-P Especificaciones. Fecha de consulta: 26 de abril de 2024. Disponible en: <https://ecostruxure-building-help.se.com/topics/show.castle?id=10547&locale=es-ES&productversion=1.9>
- [35] Cisco Catalyst IE3100 Rugged Series Data Sheet. Fecha de consulta: 30 de abril de 2024. Disponible en: <https://www.cisco.com/c/en/us/products/collateral/networking/industrial-switches/catalyst-ie3100-rugged-series/catalyst-ie3100-rugged-series-ds.html?ccid=cc003448&oid=dstit030785&dtid=odicdc000509>
- [36] Controlador RP-C Especificaciones. Fecha de consulta: 1 de mayo de 2024. Disponible en: <https://www.se.com/es/es/product-range/66378-spacelogic-rpc-controller/>
- [37] Pasarela Modbus KNX para integración en RP-C. Fecha de consulta: 1 de mayo de 2024. Disponible en: <https://ecostruxure-building-help.se.com/bms/topics/show.castle?id=13002&locale=es-ES&productversion=3.3>
- [38] Controlador RP-C EX DALI. Especificaciones. Fecha de consulta: 2 de mayo de 2024. Disponible en: <https://www.se.com/es/es/product/SXWREDALI110001/spacelogic-m%C3%B3dulo-extensi%C3%B3n-rpc-dali/>

- [39] Unified Building Technologies – A Cisco and Schneider Electric solution. Fecha de consulta: 4 de mayo de 2024. Disponible en: <https://www.cisco.com/c/dam/en/us/solutions/global-partners/cisco-and-se-digital-building-so-r2.pdf>
- [40] Cisco Spaces: Conector Configuration Guide. Disponible en: https://www.cisco.com/c/en/us/td/docs/wireless/spaces/connector/2-x/config/b_connector/m_dnaspacesconnector.html
- [41] Power Server PAS800. Especificaciones. Fecha de consulta: 4 de mayo de 2024. Disponible en: <https://www.se.com/es/es/product/PAS800/ecostruxure-panel-server-advanced-registrador-de-datos-concentrador-inal%C3%A1mbrico-y-pasarela-modbus-a-230v-ac/>
- [42] Power Meter PM3210. Especificaciones. Fecha de consulta: 4 de mayo de 2024. Disponible en: <https://www.se.com/es/es/product/METSEPM3210/pm3210-multim-modbus-05s-din/>
- [43] Act. KNX SpaceLogic persianas. Especificaciones. Fecha de consulta: 5 de mayo de 2024. Disponible en: <https://www.se.com/es/es/product/MTN6705-0008/knx-act-master-spacelogic-binario-persianas-c-din-8-4-canales-230-v-16-a/>
- [44] Vector 4D People Counter. Disponible en: <https://www.irisys.net/technology/vector-4d-people-counter/>
- [45] Theben Lunz 133 KNX. Especificaciones. Disponible en: <https://www.theben.de/en/luna-133-knx-1339200>
- [46] Awair Omni 1. Especificaciones. Disponible en: <https://www.getawair.com/products/omni>
- [47] Luxa 103 S360 KNX. Disponible en: <https://www.theben.es/es/luxa-103-s360-28-knx-up-1039072>
- [48] WebStation and WorkStation Differences. Schneider Electric. Disponible en: <https://ecostruxure-building-help.se.com/bms/topics/show.castle?id=11742&locale=en-US&productversion=2.0>
- [49] FENERCOM. Guía de ahorro y eficiencia energética en oficinas y despachos. Fecha de consulta: 9 de mayo de 2024. Disponible en: <https://www.fenercom.com/wp-content/uploads/2017/04/Guia-de-Ahorro-y-Eficiencia-Energetica-en-Oficinas-y-Despachos-fenercom-2017.pdf>
- [50] Ministerio de Industria y Turismo. Precio neto de la electricidad para uso doméstico y uso industrial. Fecha de consulta: 28 de mayo de 2024. Disponible en: https://www.mintur.gob.es/es-es/IndicadoresyEstadisticas/BoletinEstadistico/Energ%C3%ADa%20y%20emisiones/4_12.pdf
- [51] Diseño e integración de infraestructuras de movilidad eléctrica en edificios – COGITI. Fecha de consulta: 31 de mayo de 2024. Disponible en: https://cogiti.es/wp-content/uploads/2023/09/Webinar-COGITI_20-Sept-1-1.pdf

9. Anexos

Adjunto a la memoria del proyecto se facilita un anexo donde se incluyen los siguientes documentos.

Anexo A1. Planos iniciales de distribución alumbrado e iluminación (en formato PDF y DWG)

- ILO-3. Plano iluminación planta 3
- ILO-4. Plano iluminación planta 4
- ILO-5. Plano iluminación planta 5
- ILO-6. Plano iluminación planta 6
- ILO-7. Plano iluminación planta 7

Anexo A2. Planos iniciales de distribución climatización y ventilación (en formato PDF y DWG)

- CLO-3. Plano climatización planta 3
- CLO-4. Plano climatización planta 4
- CLO-5. Plano climatización planta 5
- CLO-6. Plano climatización planta 6
- CLO-7. Plano climatización planta 7

Anexo B1. Planos finales de distribución instalaciones generales (en formato PDF y DWG)

- GEN-3. Plano final instalaciones planta 3
- GEN-4. Plano final instalaciones planta 4
- GEN-5. Plano final instalaciones planta 5
- GEN-6. Plano final instalaciones planta 6
- GEN-7. Plano final instalaciones planta 7

Anexo B2. Planos finales de distribución alumbrado e iluminación (en formato PDF y DWG)

- ILU-3. Plano final iluminación planta 3
- ILU-4. Plano final iluminación planta 4
- ILU-5. Plano final iluminación planta 5
- ILU-6. Plano final iluminación planta 6
- ILU-7. Plano final iluminación planta 7

Anexo B3. Planos finales de distribución climatización y ventilación (en formato PDF y DWG)

- CLI-3. Plano final climatización planta 3
- CLI-4. Plano final climatización planta 4
- CLI-5. Plano final climatización planta 5
- CLI-6. Plano final climatización planta 6
- CLI-7. Plano final climatización planta 7

Para la elaboración de los planos se han utilizado las librerías CAD siguientes:

- [Librería CAD EcoStruxure Building 2024](#)
- [Librería CAD SpaceLogic KNX 2024](#)