

# Proyecto Fin de Máster Ingeniería de Industrial

## Instalación domótica con aplicaciones empresariales

Autor: Andrés Márquez Herrera

Tutor: Fernando Castaño Castaño

**Dpto. de Ingeniería de Sistema y Automática  
Escuela Técnica Superior de Ingeniería  
Universidad de Sevilla**

Sevilla, 2020





Proyecto Fin de Máster  
Ingeniería de Industrial

# **Instalación domótica con aplicaciones empresariales**

Autor:

Andrés Márquez Herrera

Tutor:

Fernando Castaño Castaño

Profesor Contratado Doctor

Dpto. de Ingeniería de Sistema y Automática

Escuela Técnica Superior de Ingeniería

Universidad de Sevilla

Sevilla, 2020



Proyecto Fin de Máster: Instalación domótica con aplicaciones empresariales

Autor: Andrés Marquez Herrera

Tutor: Fernando Castaño Castaño

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

Presidente:

Vocal/es:

Secretario:

Acuerdan otorgarle la calificación de:

Sevilla, 2020

El Secretario del Tribunal



# Agradecimientos

---

A mis padres, a mi hermano y a toda mi familia, a quienes les debo ser como soy y hacia quienes sólo quiero expresar mi sincero agradecimiento por apoyarme durante todas las etapas de mi vida. A mi abuelo Juan, por ser una fuente de inspiración. A mi mujer, por su apoyo y sus consejos, gracias a los cuales he logrado culminar esta etapa. A mi tutor, por su apoyo y paciencia a la hora de guiarme durante la realización de este TFM.

Andrés Márquez Herrera

Sevilla, 2020



# Resumen

---

El objetivo de este trabajo de fin de máster es hacer una proposición de mejora domótica en unas oficinas, concretamente, las oficinas de Everis Center en Sevilla. Para ello se ha dividido el trabajo en tres partes.

En la primera parte, se proporcionará una introducción a la domótica, mostrando su origen, objetivos y una breve descripción de sus componentes. Posteriormente, se llevará a cabo una investigación de las tecnologías más establecidas: X-10 como representante del cableado compartido por excelencia, KNX representado el sistema de cableado propio más extendido en Europa y por último el estándar abierto Zigbee cubriendo los sistemas inalámbricos. Así se podrán sacar las características principales de cada una de ellas.

En la segunda parte, se plantearán las características de la empresa en cuestión y las principales necesidades que se pretenden satisfacer con la domótica y, a continuación, se compararán y se seleccionará la que más se ajuste al ámbito empresarial y en particular a las necesidades establecidas. Con esta información se hará una proposición de mejora dirigida al cliente con la tecnología seleccionada.

En la tercera parte, se generará un informe técnico con una propuesta de mejora para una sala de reuniones. Así servirá de ejemplo para implementar gran parte de las soluciones propuestas en la instalación con la tecnología seleccionada haciendo uso de los elementos disponibles (actuadores, sensores, pulsadores...).

Por último, se extraerán las conclusiones del estudio completo y se detallarán posibles trabajos futuros en esta línea de investigación.



# Abstract

---

The aim of this end-of-master's work is to make a proposal for improving home automation in offices, specifically the Everis Center offices in Seville. To do so, the work has been split into three parts.

In the first part, an introduction to home automation will be provided, showing its origin, objectives and a brief description of its components. Afterwards, a research of the most established technologies will be carried out: X-10 as representative of the shared cabling par excellence, KNX representing the most extended own cabling system in Europe and finally the open standard Zigbee covering the wireless systems. So we can obtain the main characteristics of each one of them.

In the second part, the characteristics of the company in question and the main needs that are intended to be satisfied with home automation will be presented, and then the one that best suits the business environment and in particular the established needs will be selected. With this information, a proposal for improvement will be made to the client with the selected technology.

In the third part, a technical report will be generated with an improvement proposal for a meeting room. This will serve as an example to implement most of the proposed solutions in the installation with the selected technology using the available elements (actuators, sensors, buttons...).

Finally, the conclusions of the complete study will be drawn and possible future work in this line of research will be detailed.



# Objetivo

---

El objetivo de este trabajo es mejorar las instalaciones de las oficinas Everis Center en Sevilla por medio de la domótica. Para ello nos propondremos:

- Realizar un estudio de las principales tecnologías: X-10 como representante del cableado compartido por excelencia, KNX representado el sistema de cableado propio más extendido en Europa y por último el estándar abierto Zigbee cubriendo los sistemas inalámbricos.
- Detallar las necesidades particulares de la empresa Everis Center (Sevilla) que se pretenden cubrir.
- Seleccionar la tecnología que más se adapte para proponer una solución de mejora que se adecúe al ámbito empresarial a modo de anteproyecto.
- Realizar un informe técnico que permita la implementación de las soluciones propuestas para una sala de reuniones.



# Índice

---

Agradecimientos .....	I
Resumen .....	III
Abstract .....	V
Objetivo.....	VII
Índice.....	IX
Índice de figuras .....	XI
Índice de tablas .....	XIII
1. Introducción .....	1
2. X-10.....	3
2.1. Elementos del sistema.....	3
2.2. Protocolo y arquitectura.....	4
2.3. Transmisión de la señal.....	5
2.4. Configuración de usuario .....	7
3. KNX .....	9
3.1. Elementos del sistema de par trenzado .....	9
3.2. Protocolo y arquitectura.....	10
3.3. Transmisión de datos .....	11
3.4. Configuración de usuario .....	13
4. Zigbee .....	15
4.1. Elementos del sistema.....	15
4.2. Protocolo y arquitectura.....	16
4.2.1. Capa física y Capa Mac (IEEE 802.15.4).....	17
4.2.2. Capa de red.....	18
4.2.3. Capa de aplicación .....	19
4.3. Seguridad en Zigbee .....	20
4.4. Configuración de Usuario .....	20
5. Necesidades a cubrir .....	21
5.1. Confort y salud .....	22
5.2. Seguridad .....	22
5.3. Sostenibilidad .....	23
6. Tecnología que más se adapta a las necesidades .....	25
7. Descripción de las propuestas de mejora .....	27
7.1. Iluminación .....	27
7.2. Climatización .....	28
7.3. Calidad del aire.....	28
7.4. Seguridad .....	29
7.5. Ahorro energético .....	29
8. Elementos necesarios para la implementación .....	31
8.1. Sensores .....	31
8.1.1. Sensor luminosidad y temperatura.....	31
8.1.2. Sensor humedad.....	32
8.1.3. Sensor presencia .....	32
8.1.4. Sensor CO2.....	33
8.1.5. Sensor ventanas/ puertas abierto cerrado .....	33
8.2. Actuadores .....	34

8.2.1.	Estores automáticos .....	34
8.2.2.	Paneles LED regulables .....	34
8.2.3.	Sirena .....	35
8.2.4.	Termostato inteligente.....	36
8.2.5.	Conector on/off.....	36
8.3.	Controladores .....	37
8.3.1.	Interruptor y dimmer .....	37
8.3.2.	Coordinador/ Enrutador.....	37
8.3.3.	Conector a red IP .....	38
9.	Esquemas funcionales.....	39
9.1.	Sistema principal .....	40
9.2.	Iluminación .....	41
9.3.	Climatización .....	42
9.4.	Control CO2.....	43
9.5.	Seguridad .....	44
10.	Informe técnico de automatización de la sala Actitud.....	45
10.1.	Objetivo.....	45
10.2.	Antecedentes .....	45
10.3.	Descripción física de la sala .....	46
10.4.	Elementos del sistema.....	47
10.5.	Especificaciones de funcionamiento .....	48
10.5.1.	Estor automático .....	48
10.5.2.	Termostato inteligente.....	48
10.5.3.	Paneles LED .....	48
10.5.4.	Control manual .....	48
10.5.5.	Sirena .....	49
10.5.6.	Ventilación .....	49
10.6.	Parámetros del sistema.....	50
10.7.	Señales del sistema .....	51
10.8.	Instalación .....	53
10.8.1.	Alzado .....	53
10.8.2.	Vista interior Sur-Oeste.....	54
10.8.3.	Vista interior Este .....	55
10.8.4.	Vista interior Norte .....	55
10.8.5.	Vista exterior de la sala .....	56
10.9.	Programación.....	57
10.9.1.	Configuración del interruptor .....	57
10.9.2.	Diagrama bloques del sistema .....	58
10.9.3.	Redes de Petri del sistema .....	59
11.	Conclusiones y desarrollos futuros.....	65
12.	Referencias.....	67

# Índice de figuras

---

Figura 1 Mejoras proporcionadas por la domótica .....	1
Figura 2 Componentes de la domótica .....	2
Figura 3 Principales elementos del sistema X-10 .....	3
Figura 4 Telegrama X-10 .....	4
Figura 5 Onda portadora con señal X-10 .....	6
Figura 6 Elementos del sistema KNX con par trenzado .....	9
Figura 7 Topologías permitidas en sistemas KNX .....	11
Figura 8 Ejemplo conexión sistema KNX .....	11
Figura 9 Telegrama KNX .....	11
Figura 10 Tiempos de envío de un telegrama KNX .....	13
Figura 11 Topologías Zigbee .....	16
Figura 12 Capas Zigbee .....	16
Figura 13 Funcionamiento multisalto Zigbee .....	19
Figura 14 Ejemplo binding sistema Zigbee .....	20
Figura 15 Everis Center Sevilla (Por hacer la foto del edificio) .....	21
Figura 16 Plano segunda planta Everis Sevilla .....	21
Figura 17 Elementos de un ambiente saludable .....	22
Figura 18 Sensor de luminosidad y temperatura .....	31
Figura 19 Sensor de presencia .....	32
Figura 20 Sensor de CO2 .....	33
Figura 21 Sensor abierto / cerrado .....	33
Figura 22 Axis Gear control estores .....	34
Figura 23 Panel LED regulable .....	34
Figura 24 Sirena .....	35
Figura 25 Termostato inteligente .....	36
Figura 26 Conector .....	36
Figura 27 Interruptor con dimmer .....	37
Figura 28 Coordinador / Enrutador .....	37
Figura 29 Conector a red IP .....	38
Figura 30 Leyenda de elementos de los esquemas .....	39
Figura 31 Esquema del sistema principal .....	40

Figura 32 Esquema del sistema de iluminación.....	41
Figura 33 Esquema del sistema de climatización .....	42
Figura 34 Esquema del sistema de control de CO2 .....	43
Figura 35 Esquema del sistema de seguridad .....	44
Figura 36 Plano segunda planta Everis Sevilla.....	45
Figura 37 Plano de la sala Actitud .....	46
Figura 38 Disposición elementos.....	53
Figura 39 Vista Sur-Oeste .....	54
Figura 40 Vista Este.....	55
Figura 41 Vista Norte.....	55
Figura 42 Vista Exterior .....	56
Figura 43 Configuración de los botones del interruptor.....	57
Figura 44 Estor en modo automático .....	59
Figura 45 Estor en modo manual.....	60
Figura 46 Termostato Inteligente.....	60
Figura 47 Alerta aire acondicionado encendido y ventana abierta .....	60
Figura 48 Paneles LED en modo automático .....	61
Figura 49 Paneles LED en modo manual.....	61
Figura 50 Sirena de ventana abierta al cierre de la oficina.....	62
Figura 51 Sirena CO2 máximo permitido .....	62
Figura 52 Sistema de ventilación automático .....	63
Figura 53 Envío mail por ventana abierta y aire acondicionado .....	63
Figura 54 Sistema disparo S_tWait.....	64

# Índice de tablas

---

Tabla 1 Direcciones X-10	5
Tabla 2 Comandos X-10	5
Tabla 3 Direcciones físicas KNX	10
Tabla 4 Bits telegrama KNX	12
Tabla 5 Acuses de recibo KNX	12
Tabla 6 Rangos de frecuencia Zigbee	17
Tabla 7 Funciones capa de red	18
Tabla 8 Funciones capa de aplicación	19
Tabla 9 Comparación de tecnologías	25
Tabla 10 Lista de elementos seleccionados	47
Tabla 11 Lista de parámetros configurables	50
Tabla 12 Lista de señales	51
Tabla 13 Leyenda elementos	54



# 1. Introducción

El origen de la palabra domótica viene del latín *domus* 'casa' y *automática* [1]. La domótica implica poder controlar y automatizar la vivienda permitiendo gestionar de manera eficiente la energía consumida, la seguridad y el confort. Cuando la automatización se centra en edificios terciarios como pueden ser edificios públicos, hoteles, hospitales y empresas se denomina inmótica [2]. En este trabajo utilizaremos el término domótica para referirnos indistintamente a viviendas o edificios terciarios al ser su uso más extendido.

Aunque la domótica/inmótica parece algo del siglo XXI, su origen es mucho más antiguo, mucho más de lo que podemos imaginar. Ya en la época de los 70s se empezaron a usar las primeras aplicaciones domóticas como las conocemos hoy en día de la mano de la tecnología X-10, pero esto no es nada comparado con las primeras aplicaciones griegas en este campo. Herón de Alejandría ya en el siglo I d.C. conseguía, encendiendo un fuego, que las puertas del templo se abrieran de manera automática, claro que en esa época no había procesadores ni electricidad, pero a través de poleas e ingenio se convirtió en uno de los precursores de la domótica.

A finales de los 90s surgió el estándar Konnex producto de la unión de varias empresas aunque, tras un corto periodo de tiempo, se denominó, como se conoce actualmente, KNX. A la par, surgió LonWorks con su estándar de comunicación LonTalk, ambas tecnologías están fuertemente posicionadas en el sector eléctrico, estando más establecido KNX en el mercado Europeo y LonWorks en el americano [3]. Con los años y las mejoras de las comunicaciones inalámbricas, empiezan a surgir sistemas como Zigbee y Zwave. Estos posibilitaban la implantación de sistemas domóticos en edificios ya construidos sin gran gasto y posibilitando funciones que los sistemas cableados no alcanzan por sí mismos.

Ya sabemos cómo se originó pero, ¿cuáles son sus potenciales beneficios? La automatización de las fábricas consiguió que estas fueran más rentables, abaratando costes y aumentando la producción, y seguras, minimizando las tareas que podrían causar daño a las personas. Todo esto se quedó en el sector secundario, pero, hoy en día con lo que la inmótica puede ofrecer se está extendiendo cada vez más por el sector terciario.

La domótica ofrece diferentes ventajas, entre las que podemos destacar [4] [5] [6]:



Figura 1 Mejoras proporcionadas por la domótica

- **Gestión de la energía:** gracias al eficiente uso de los recursos energéticos, apagando luces si no son utilizadas y/o usando la climatización de forma inteligente, se puede conseguir un importante ahorro.
- **Seguridad:** es posible evitar robos tanto físicos como de software, usando de forma inteligente cámaras de seguridad y puertas controladas, evitar incendios, evitar concentraciones peligrosas de CO2... En definitiva, consiguiendo proteger a las personas y a los bienes.
- **Confort:** permitiendo un control sobre la climatización, luz, persianas... se consiguen condiciones óptimas para los trabajadores aumentando el bienestar y la productividad.
- **Comunicaciones:** permite envíos de información entre personas, entre dispositivos y entre personas y dispositivos.
- **Accesibilidad:** mejora el acceso a personas con discapacidad, reduce posibles accidentes y adapta el entorno de trabajo.

Los principales componentes de un sistema domótico son los que tendría cualquier sistema automatizado, sensores, controladores, actuadores, interfaces y bus.

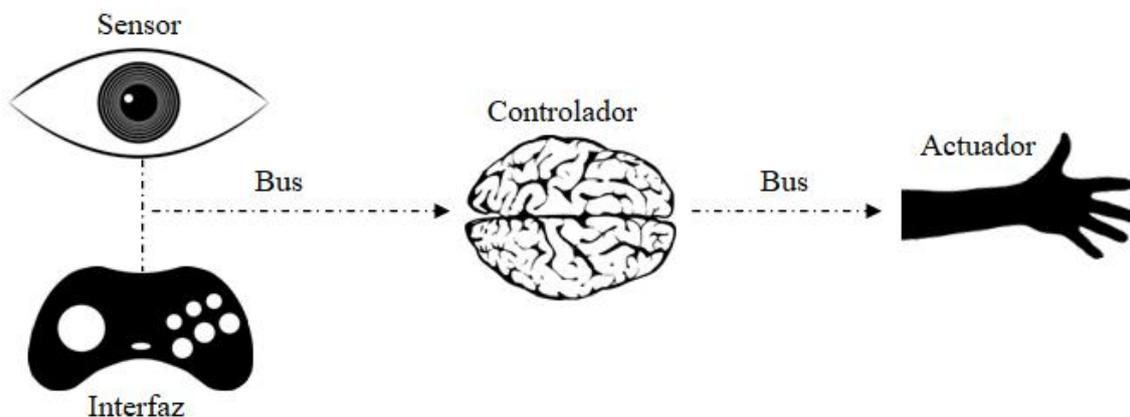


Figura 2 Componentes de la domótica

- **Sensores:** recogen información del entorno y la transmiten al sistema. Hay de muchos tipos: temperatura, humedad, luz, movimiento...
- **Interfaces:** sirven para que el usuario pueda interactuar con el sistema, por ejemplo mandar órdenes o ver estados, pueden ser interruptores, mandos a distancia, pantallas...
- **Controladores:** son los elementos que gestionan la información recibida y generan las órdenes para que se lleven a cabo las acciones programadas. Pueden ser elementos físicos del sistema o estar integrados en cada uno de los dispositivos previamente programados.
- **Actuadores:** reciben las órdenes del controlador para interferir en el entorno, apagar y encender luces, bajar o subir persianas...
- **Bus:** el bus es el medio por el que se propaga la información dentro del sistema, los hay de diferentes tipos, pero los principales son el cableado propio, el cableado compartido y el inalámbrico. El cableado propio es el medio más común para la domótica, suele estar formado por par trenzado, par apantallado, coaxial o fibra óptica. Por otra parte, el cableado compartido utiliza cableados existentes, como pueden ser los de red eléctrica, teléfono o internet. Finalmente, la transmisión inalámbrica permite el envío de información a través de radiofrecuencia, infrarrojo, Bluetooth y Wi-Fi.

## 2. X-10

El sistema de cableado compartido por excelencia es el X-10. Como hemos mencionado anteriormente el origen de esta tecnología se remonta a los años 70s, donde una empresa, Pico Electronics, tras realizar varios proyectos, dio con él con este importante avance al inventar un protocolo de comunicaciones y como este fue el décimo proyecto, decidieron bautizarlo como X-10.

EL protocolo X-10 un estándar de comunicación por el cual se transmiten señales de control a través de la red eléctrica (220V o 110V). Esta es la principal ventaja del sistema X-10 ya que permite que los dispositivos susceptibles de ser automatizados, dado que están conectados a la red eléctrica, puedan comunicarse sin necesidad de una instalación extra. Pero, por el contrario también es su mayor debilidad ya que precisa de filtros y control gestión correcta de la señal para evitar el máximo posible las interferencias [7].

La tecnología X-10 utiliza la red eléctrica de baja tensión para transmitir y recibir información, insertando dicha información en los pasos por cero de la corriente portadora de la red (50 Hz). Los dispositivos X-10 integrados en la vivienda, permanecen continuamente a la escucha, procesando la información en caso de que esta vaya dirigida a los mismos. Cada dispositivo conectado a la red de la casa tendrá una dirección asignada que lo identifica y que permite al controlador comunicarse con él, mediante el envío de un telegrama X-10 (trama de dirección y trama de comando).

### 2.1. Elementos del sistema

En la figura 3 se puede ver un ejemplo de sistema X-10 con sus elementos:

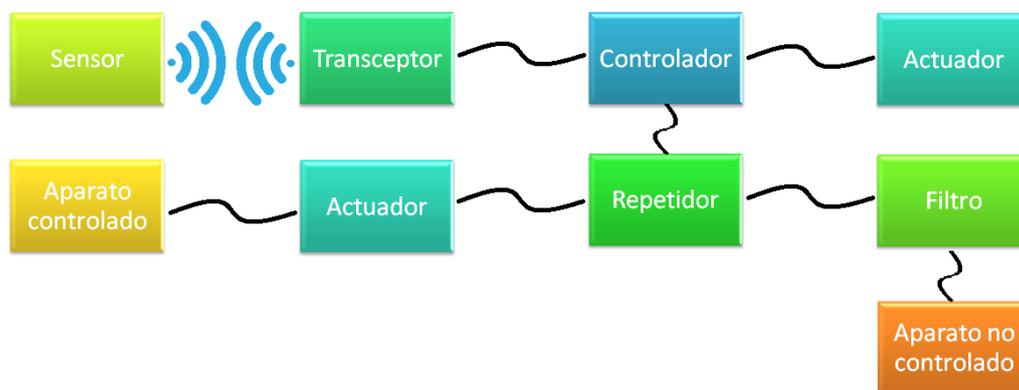


Figura 3 Principales elementos del sistema X-10

- **Controladores:** se encargan de mandar las señales de control a los distintos dispositivos. Hay muchos tipos diferentes de controladores, los principales son mandos a distancia, que pueden mandar señales de forma remota e incluso se pueden definir macros, interruptores, que pueden ser inalámbricos o no y además de encender y apagar pueden regular la intensidad y por último unidades de control. Estas unidades de control pueden servir para programar por completo las funciones del sistema domótico, ya sea a través de un Smartphone o un PC. Estos dispositivos una vez configurados podrían trabajar de forma autónoma y sin necesidad de estar conectados a un PC o mandar señales desde un dispositivo móvil.
- **Actuadores:** los actuadores son los que se conectan con el dispositivo final y ejecutan la orden del controlador. Generalmente este grupo está formado por módulos de conmutación que se encienden o apagan según le llegue la señal, pero se dispone de enchufes controlables, módulos que se conectan directamente a bombillas, persianas, cortinas...

- **Transceptores:** reciben señales inalámbricas de radio de los dispositivos X-10 por ejemplo mandos a distancia y las envía por la red eléctrica.
- **Repetidores:** los repetidores o amplificadores reciben la señal X-10 de la corriente y la reenvían haciendo que se aumente la distancia a la que los dispositivos puedan ser controlados.
- **Sensores:** hay muchos tipos de sensores compatibles con esta tecnología desde detectores de movimiento, detectores de humo y detectores de apertura entre otros, pero también es posible usar alarmas convencionales que se conecten a módulos que hagan de interfaz.
- **Filtros:** los filtros se usan para eliminar interferencias en la red eléctrica, para ello, se conectan los electrodomésticos a los filtros previniendo así que las señales X.-10 sean absorbidas. Además los filtros bloquean las señales X-10 haciendo posible aislar una parte de la red.

## 2.2. Protocolo y arquitectura

Esta tecnología usa para la comunicación entre dispositivos una estructura determinada, comúnmente llamada telegramas. El controlador, mediante estos telegramas, manda dos tipos de señales, las de direccionamiento y las de función. La primera manda la señal con el código de dispositivo para que, de todos los elementos que hay escuchando la red, solo el indicado se active. La segunda, por su parte, lleva el código de la función que ha de realizar este, ya sea encenderse, apagarse informar.... Estos telegramas, como pueden verse en la figura 4 se componen de 13 bits, empieza con un código de inicio con 4 bits, seguido con un código de casa con 4 y 5 bits para el código de dispositivo o de función. De estos cinco últimos, cuatro se referirán al código en sí y un bit al final para diferenciar el código de dispositivo del código de función, el de dispositivo tiene valor fijo a 0 y el de función valor 1.

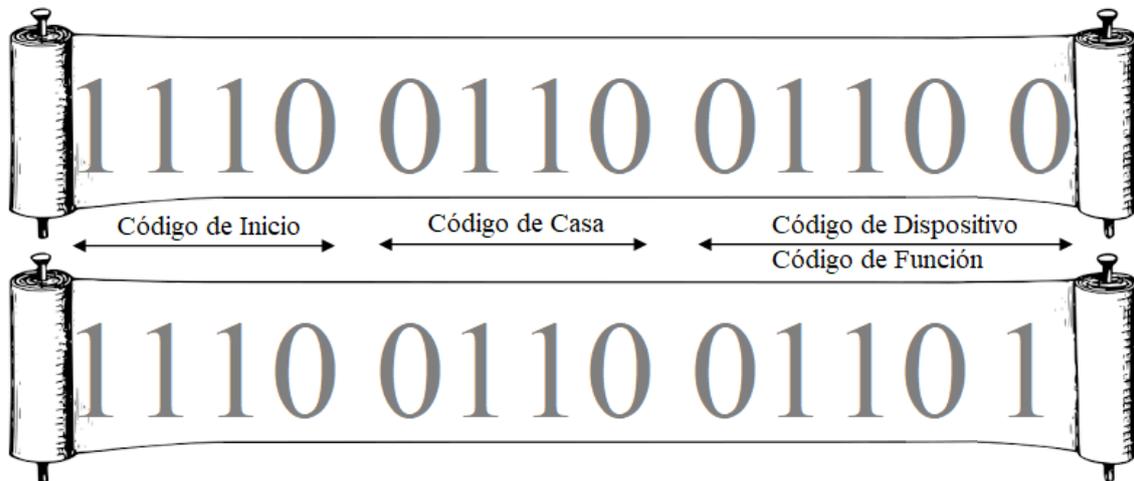


Figura 4 Telegrama X-10

La asignación de estas direcciones a los elementos, normalmente, se hace de manera física.

- **Código de inicio** (4 bits): el código de inicio con un valor binario de 1110 sirve para que los elementos que están escuchando puedan percibir que se inicia un mensaje, no lo confundan con ruido y se estén conectando inintencionadamente.
- **Código de casa** (4 bits): el código de casa, normalmente representado con una letra de la "A" a la "P", es uno de los dos códigos necesarios para identificar un elemento. En la tabla 1 pueden verse los distintos valores binarios (H1, H2, H3 y H4) asociados a cada letra.
- **Código de dispositivo** (4 bits + 0): el código de dispositivo, como el de casa, se compone de cuatro bits y sirve para identificar el elemento del sistema. En la tabla 1 antes mencionada se pueden ver los valores binarios (D1, D2, D3y D4) asociados a cada número.

Tabla 1 Direcciones X-10

Dirección de casa	Dirección de dispositivo	H1/D1	H2/D2	H3/D3	H4/D4
A	1	0	1	1	0
B	2	1	1	1	0
C	3	0	0	1	0
D	4	1	0	1	0
E	5	0	0	0	1
F	6	1	0	0	1
G	7	0	1	0	1
H	8	1	1	0	1
I	9	0	1	1	1
J	10	1	1	1	1
K	11	0	0	1	1
L	12	1	0	1	1
M	13	0	0	0	0
N	14	1	0	0	0
O	15	0	1	0	0
P	16	1	1	0	0

- **Código de función** (4 bits + 1): los códigos de función indican que acción tiene realizar el elemento seleccionado, para ello se utilizan las funciones definidas en la tabla 2.

Tabla 2 Comandos X-10

Comando	D1	D2	D3	D4
Apagar todas las unidades	0	0	0	0
Encender todas las luces	0	0	0	1
Encender	0	0	1	0
Apagar	0	0	1	1
Atenuar intensidad	0	1	0	0
Aumentar intensidad	0	1	0	1
Apagar todas las luces	0	1	1	0
Código extendido	0	1	1	1
Petición de saludo	1	0	0	0
Aceptación de saludo	1	0	0	1
Atenuación preestablecida	1	0	1	0
Atenuación preestablecida 2	1	0	1	1
Datos extendidos	1	1	0	0
Estado = On	1	1	0	1
Estado = Off	1	1	1	0
Petición de estado	1	1	1	1

### 2.3. Trasmisión de la señal

Como hemos indicado anteriormente la tecnología X-10 usa como portadora la onda de corriente de la red eléctrica. Esta onda, en sistemas monofásicos, se trata de una onda sinusoidal de frecuencia 50Hz en Europa y de 60Hz en EE.UU.

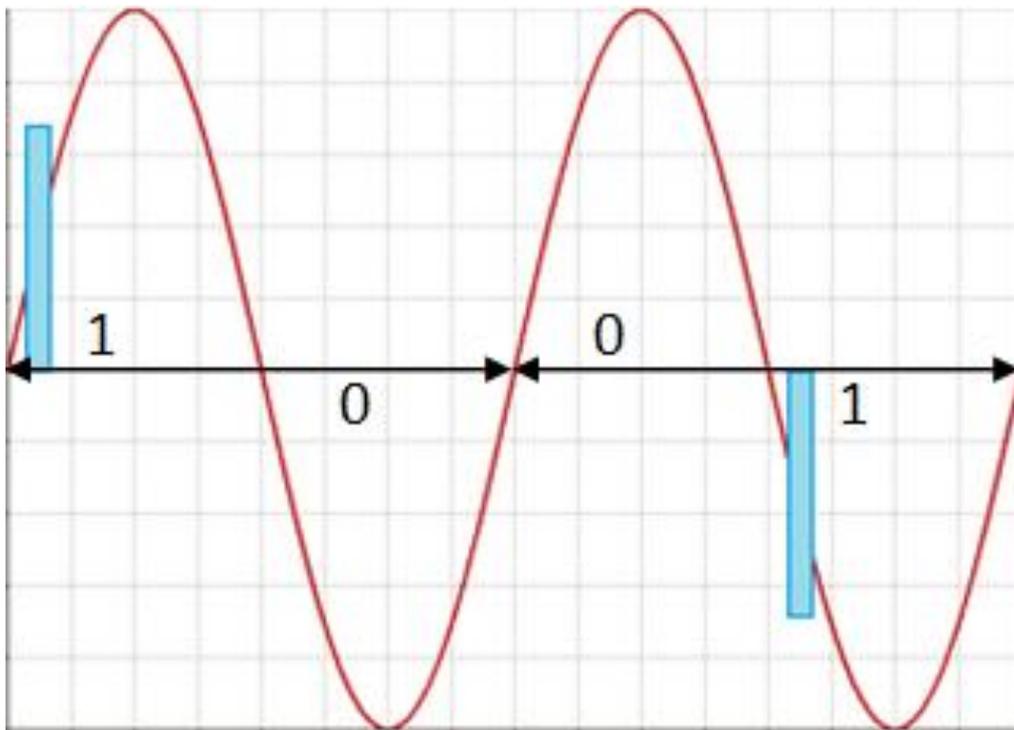


Figura 5 Onda portadora con señal X-10

Para enviar un bit por este sistema, se manda una señal de alta frecuencia (120 KHz), con un valor máximo de onda de 3V y una duración de 1 ms, además se aprovecha el paso por cero de la onda para evitar al máximo posible ruidos que pueda tener la red. No siendo esto suficiente, para aumentar la fiabilidad de los dispositivos X-10, a excepción del código de inicio, los bits que se mandan llevan la información en la primera mitad del periodo de la onda y su bit complementario en la segunda. Como se puede ver en la figura 5, en el primer periodo, para representar un uno, se manda la señal en el primer medio ciclo seguida de un cero en el segundo.

Una vez visto el método para enviar un bit, centrémonos en cómo los módulos X-10 tienen que ser capaces de detectar el paso por cero de la red eléctrica, siendo así cómo se consigue que todos los dispositivos trabajen sincronamente. Por el contrario, estos dispositivos no son capaces de detectar si el paso por cero corresponde con la subida o la bajada de la tensión, por ello, los dispositivos esperan la señal dos veces por periodo, evitando así el desfase del telegrama y haciendo necesario el código de inicio.

Para enviar un telegrama son necesarios 2 ciclos para el código de inicio, 4 para el de casa y 5 para el direccionamiento o función. Además, para aumentar la fiabilidad del sistema cada telegrama se manda dos veces, para poder iniciar la transmisión cada telegrama debe dejar libre al menos 3 periodos de la onda de la red eléctrica. En la práctica, para ordenar a un dispositivo que se encienda, es necesario invertir unos 50 ciclos.

Una vez expuesto cómo funciona la transmisión de datos de este sistema en instalaciones monofásicas, para trifásicas es igual con la salvedad que se envían tres pulsos, uno cada vez que una de las fases pase por cero haciendo que el mismo pulso se sea transmitido en los tres instantes.

Por último destacar que como se ha visto, estos dispositivos son dependientes de la frecuencia de la red, por lo que no funcionarán en EE.UU. los que han sido diseñados para la red eléctrica Europea y viceversa.

## 2.4. Configuración de usuario

Hay diversos controladores que pueden ser fácilmente programados desde un PC, en particular para esta tecnología se dispone del software ActiveHome Pro que permite programar y controlar módulos de X-10. Para ello se conecta al PC a través de un USB y tras su configuración y programación no necesita del PC para funcionar.

Con este software, en tres sencillo pasos se tiene configurado el sistema. Primero, se configuran las salas que se vayan a domotizar, añadiendo en ellas los dispositivos que se encuentran instalados, luz, climatización, sensores... A continuación, los dispositivos se configuran independientemente. Esto se realiza asignando a cada dispositivo el código de casa y el código de unidad de cada uno correspondiendo con los que se hayan asignado durante la instalación, y permite reconocer y controlar los dispositivos dentro de la red. Una vez fijado los códigos de todos los elementos falta, si se desea, realizar la configuración de las Macros y Timers, estos elementos nos permiten añadir funciones automáticas, de manera que, mediante configuración de horarios y sensores, se consigue darle un mayor grado de automatización



## 3. KNX

La tecnología KNX surgió a finales de los 90s de la unión de los tres sistemas de automatización más extendidos por Europa en ese momento. Tres empresas que hasta ese momento eran independientes formaron la Asociación KNX (KNXA). Estas fueron EIB (sistema EIB), BCI (sistema BatiBUS) y EHS (sistema EHS) [8]. El estándar abierto KNX permite que muchas compañías certificadas por KNXA empleen esta tecnología en sus productos lo que hace a KNX es una herramienta independiente del fabricante.

Esta tecnología permite dos modos de configuración en su estándar[9]:

- MODO-E (Easy Mode): dirigido a instaladores con conocimientos básicos de KNX permite una instalación sencilla. Los productos compatibles con este modo vienen pre-configurados con parámetros por defecto y permiten una reconfiguración limitada.
- MODO-S (System Mode): dirigido a instaladores que necesiten un alto grado de configuración en las instalaciones. Los elementos compatibles con este modo se configuran con la herramienta de software ETS que conecta los dispositivos para configurarlos y obtener el máximo grado de adaptación.

Aunque el medio de comunicación más común en sistemas KNX es el par trenzado este estándar permite varios medios de comunicación que pueden conectarse entre sí usando acopladores. Los medios de comunicación se puede utilizar son:

- Par trenzado: la comunicación se realiza a través de este bus de control con alto grado de fiabilidad ya que este está dedicado exclusivamente a las transmisiones.
- Onda portadora: para transmitir la señal se usa el cableado de la red eléctrica existente superponiendo esta a la tensión de la red.
- Radiofrecuencia: utilizada cuando no es posible poner cableado.
- IP: utilizando Ethernet para mandar los mensajes dentro de las tramas IP.

### 3.1. Elementos del sistema de par trenzado

En la figura 6 puede verse un ejemplo sencillo de los elementos de un sistema KNX. Como hemos comentado, el medio más utilizado en KNX es el par trenzado usando acopladores para conectar el resto de medios. Principalmente se pueden diferenciar tres tipos de elementos, actuadores, sensores y elementos del sistema. Los dos primeros necesitarán un acoplador al bus para poder mandar y recibir la información necesaria. Sin embargo, los elementos del sistema pueden no necesitar acoplador al bus y se conectan directamente.

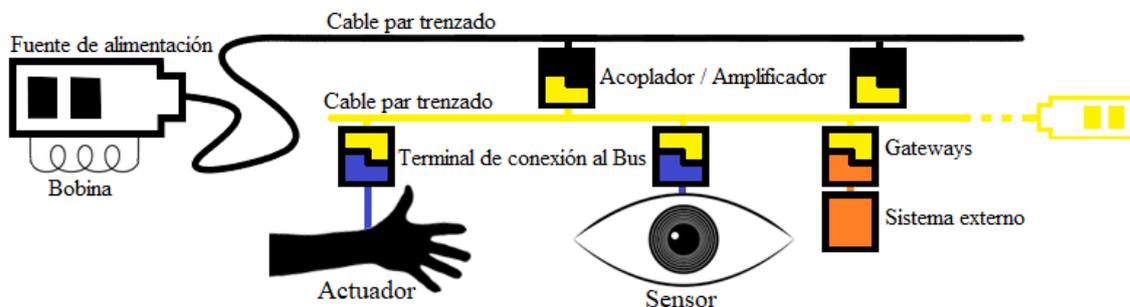


Figura 6 Elementos del sistema KNX con par trenzado

Los sistemas KNX, como veremos en el siguiente punto, están organizados en áreas, líneas y segmentos de línea, teniendo cada una de ellas un cable bus independiente conectado a corriente.

Los elementos del sistema son los siguientes:

- **Fuente de alimentación y bobina:** estas suministrarán una tensión continua de 29V. Cada cable bus debe estar conectado a una, pero puede haber dos conectados a la misma fuente. Hay de varios tipos en el mercado (160 mA, 320 mA y 640 mA) y la elección dependerá de cuántos cables bus se van a conectar y cuántos dispositivos a estos.
- **Cable bus:** se usa un cable con dos pares trenzados, con un diámetro de conductor de 0.8mm y apantallados con cubierta metalizada con terminal de descarga, aunque no es común que se requiera conectar el apantallamiento.
- **Carril de datos:** aunque se desaconseja su uso ya que con el tiempo es posible que se produzcan falsos contactos debidos a la suciedad, hay dispositivos que se montan sobre carril DIN, cuando este es el caso se usan conexiones usando contactos a presión o muelles para evitar posibles fallos.
- **Bloques o terminales de conexión al bus:** entre sus usos cabe destacar, conectar al bus los dispositivos, ramificar o alargar el bus y prevenir separación entre extremos del bus. Los terminales de conexión estandarizados, permiten la conexión y desconexión de dispositivos sin interrumpir el bus.
- **Acoplador o amplificador de línea:** hacen la función de puertas y pueden conectar una línea principal a la línea de áreas (Acoplador de Área o AA), conectar una línea secundarias a la línea principal (Acoplador de Línea o AL) o amplificar una línea haciéndola más larga conectándole segmentos de línea (Repetidor o Amplificador de Línea o AML). Como se puede ver en la tabla 3, estos acopladores tendrán una dirección físicas X.Y.Z asociada según de su función.
- **Gateways:** son principalmente pasarelas de información entre KNX y otros sistemas con distintos protocolos. Pueden servir tanto para integrar un dispositivo KNX en otro protocolo como para que un dispositivo externo se conecte al sistema KNX.

Tabla 3 Direcciones físicas KNX

Función	X	Y	Z
Acoplador de Área	> 0	= 0	= 0
Acoplador de Línea	> 0	> 0	= 0
Repetidor o Amplificador de Línea	> 0	> 0	> 0

### 3.2. Protocolo y arquitectura

El protocolo KNX manda bits de información a través del cable Bus circulando corriente en el estado lógico 0 y no circulando en el estado lógico 1, en el punto siguiente, veremos en profundidad como está formado el telegrama. En esta tecnología, cada elemento se comunica con los demás a través del cable bus mandando los datos de forma simétrica a través del par de conductores, por ello, los elementos del sistema se organizan según unas topologías específicas.

KNX permite las topologías de bus, árbol o estrella organizando los elemento en una estructura piramidal formada por áreas, líneas, segmentos de línea y enlaces IP.

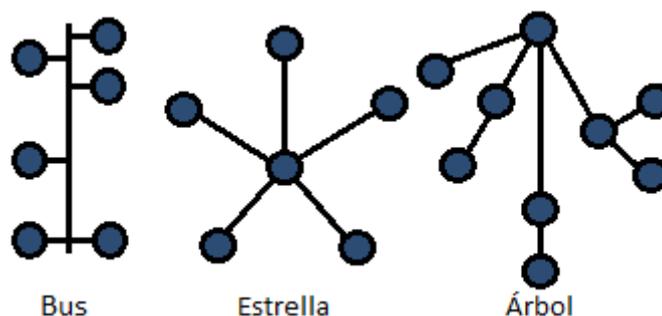


Figura 7 Topologías permitidas en sistemas KNX

Quedan excluidas todas las topologías que puedan formar bucles, así se evita que el telegrama quede atrapado indefinidamente y no alcance a todos los elementos del sistema. La unidad básica de esta forma de organizar los elementos es el segmento de línea, este a su vez se puede conectar a una línea donde haya otros dispositivos u otros segmentos de línea colgando de ella. Y por último, las líneas podrán estar colgando de un área. Viéndolo de arriba a abajo la línea de áreas, el nivel más alto, también llamada Backbone, puede tener conectadas hasta 15 áreas, cada área, compuesta por una línea principal de la que podrán colgar hasta 15 líneas y de cada una de estas líneas podrán tener hasta cuatro segmentos de líneas.

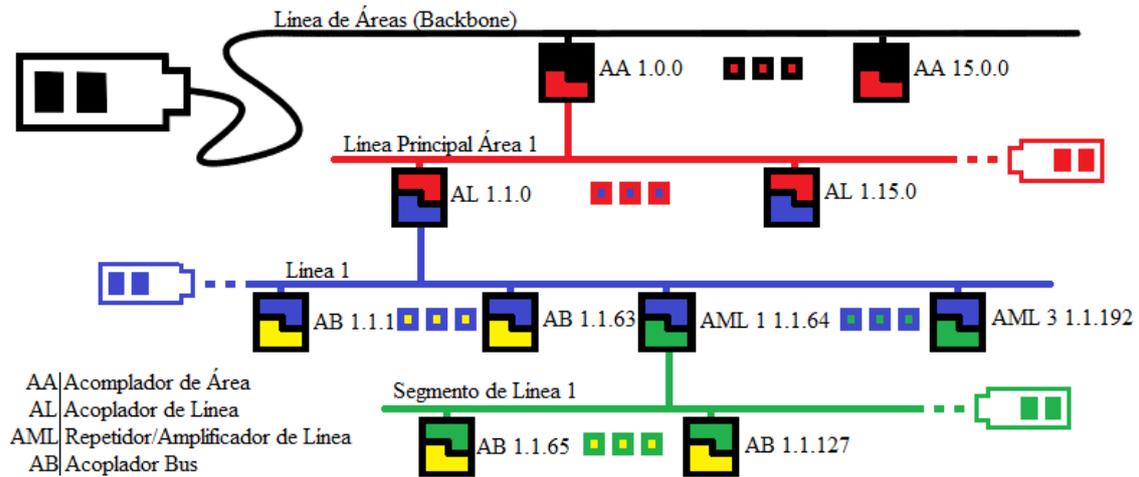


Figura 8 Ejemplo conexión sistema KNX

Todos los elementos conectados tienen una dirección física asignada para ser identificados como emisores o receptores de un telegrama. Esta dirección está formada por tres números separados por un punto al igual que la que reciben los acopladores, repetidores o amplificadores de línea, el primero hace referencia al área, el segundo a la línea, ambos tienen asignados 4 bits (de 0 a 15) cada uno, y el tercero haciendo referencia al número de componente del bus tiene asignados 8 bits (de 0 a 255).

Cada una de estas líneas podría tener un máximo, de 64 elementos hasta hace relativamente poco pero, a partir de 2019 podrá ser de hasta 256 [10]. Aunque este número puede variar ya que depende del consumo conjunto de los elementos y de la fuente de alimentación seleccionada. Esto sin tener en cuenta acopladores IP ya que estos, al no tener restricciones físicas, no tienen límite en cuanto a número de elementos.

### 3.3. Transmisión de datos

Los telegramas de KNX se transmiten carácter a carácter, es decir, de 8 bits en 8 bits de información, pero cada carácter no se manda por separado. Para mandar un carácter son necesarios 13 bits.

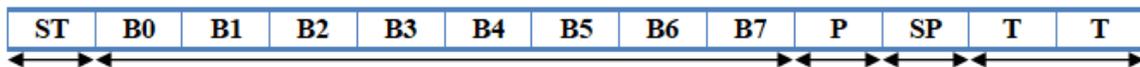


Figura 9 Telegrama KNX

Tabla 4 Bits telegrama KNX

Símbolo	Nombre	Bits
ST	Bit de arranque	1 bit
B0 a B7	Bits de carácter	8 bits
P	Bit de paridad	1 bit
SP	Bit de parada	1 bit
T	Bits de retardo	2 bits

El mensaje del telegrama aparte de los bytes de los caracteres del mensaje tiene asociados otros, en concreto 7, así si los datos útiles ocupan n bytes, el telegrama final constará de n+7. Esto siete están compuestos por un byte de control, dos bytes con la dirección de origen, dos bytes con la dirección de destino, un byte que tiene información de utilidad para el telegrama y un byte de comprobación. El telegrama completo quedaría de la siguiente manera:

- El **campo de control** está compuesto por 2 bits que van a cero, los dos siguientes indican el tipo de prioridad del telegrama para evitar colisiones (como solo hay disponibles 2 bits, hay 4 tipos prioridades de 00 a 11), el quinto bit siempre va a 1, el sexto indica si el telegrama tiene que ser o no repetido (si vale 0 se repite) en caso de que no haya alcanzado el destino y los dos últimos valen 1 y 0.
- La **dirección de origen** de los dispositivos, como ya hemos mencionado, está compuesta por tres números que se codificarán de la siguiente manera, 4 bits para el área, 4 bits para la línea y 8 bits para el componente de bus.
- La **dirección de destino**, tiene una diferencia con la de origen, esta, además, de poder referirse a una dirección física, se puede referir a una dirección de grupo que se refiera a varios elementos. El tipo de dirección de destino se codifica en el siguiente bit.
- La **información de utilidad** está compuesta por 1 bit con el tipo de dirección de destino ya mencionado (0 para física y 1 para grupo). Los siguiente 3 bits tienen la información del contador de ruta, este va iniciado a 6 va restando uno cada vez que pasa por un amplificador o acoplador para evitar saturaciones (es posible añadir filtros a los acopladores o amplificadores para que el telegrama no pase aunque no vaya a cero). Los últimos 4 bits tienen la longitud de datos útiles.
- De 2 a 16 bytes con los **datos útiles** del telegrama.
- Un byte de **comprobación o seguridad** se envía este byte en conjunto con los bits de paridad de los caracteres para asegurar el correcto funcionamiento del telegrama y detectar posibles errores.

KNX dispone de un sistema de acuse de recibo para informar si el telegrama ha llegado correctamente al destino. El elemento receptor comprueba el byte de seguridad y envía una respuesta que puede ser, IACK, INACK o BUSY. En la tabla 5 se pueden ver los distintos acuses de recibo en orden inverso de prioridad en caso de que respondan varios elementos a la vez.

Tabla 5 Acuses de recibo KNX

Respuesta	D0	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7
IACK	0	0	1	1	0	0	1	1
INACK	0	0	1	1	0	0	0	0
BUSY	0	0	0	0	0	0	1	1

Si se recibe IACK (Immediate Acknowledgement) y se da por terminada la transmisión. Si se recibe INACK (Immediate Not Acknowledgement) se retransmitirá el mensaje hasta tres veces. Y por último, si se recibe BUSY el transmisor esperará un corto periodo de tiempo antes de volver a retransmitir.

Una vez visto todos los elementos del telegrama caben destacar los tiempos representativos en una comunicación. En la Figura 10 se puede observar lo que sería el envío de un telegrama normal.



Figura 10 Tiempos de envío de un telegrama KNX

T1 hace referencia el tiempo de espera que tiene que guardar cada dispositivo antes de mandar un mensaje una vez que el bus está libre. Este tiempo varía en función de la prioridad del mensaje. T2 representa el tiempo de retardo entre el telegrama y el acuse de recibo debe durar, según el protocolo, al menos como el envío de un carácter. Por último T3 representa el tiempo en el que no se puede enviar información, dejando desocupado el Bus, debe ser al menos de 50 impulsos.

Cada acoplador al bus puede tener uno o varios objetos de comunicación, estos son direcciones de memoria definidos en ellos. Hay de muchos tipos, desde objetos de conmutación, encendido o apagado, atenuar o aumentar, valores concretos.... Teniendo cada uno de ellos un tamaño de mensaje asociado.

Por otra parte, los objetos de comunicación disponen de banderas que pueden parametrizarse para activarlas o desactivarlas. Hay cinco tipos de banderas: comunicación, lectura, escritura, transmisión y actualización. Al activarse permiten:

- Comunicación (C): el cambio de los objetos de comunicación.
- Lectura (L): el envío de telegramas de respuesta.
- Escritura (E): la modificación del estado del elemento.
- Transmisión (T): el envío automático de todos los cambios de valor del dispositivo, si no solo enviarán bajo petición de lectura.
- Actualización (A): interpretar los telegramas de respuesta como telegramas de escritura.

### 3.4. Configuración de usuario

Dependiendo del modo de funcionamiento seleccionado, KNK puede configurarse localmente haciendo pequeños ajustes en el MODO-E o mediante la herramienta, ETS en el MODO-S. Si este es el caso normalmente basta con seguir estos pasos para una configuración correcta:

Definir y programar las direcciones físicas de los componentes para que puedan ser identificados.

Programar los parámetros de los dispositivos usando el programa de aplicación.

Asignar los objetos de comunicación a cada dispositivo a las direcciones físicas o de grupo para tener conectados sensores y actuadores.



## 4. Zigbee

**H**oy en día hay muchos métodos inalámbricos disponibles para automatizar una vivienda o un edificio. Por ejemplo si se pretende usar pocos dispositivos suele ser suficiente con usar tecnologías de comunicación como Bluetooth o Wi-Fi. Sin embargo si se tiene la intención de automatizar un bloque o una oficina son más propicios las tecnologías Z-Wave o Zigbee. A continuación explicaremos en más detalle Zigbee ya que está más extendida y presenta un límite de dispositivos más elevado entre otras características que veremos en esta sección.

Zigbee es un estándar de global para redes inalámbricas desarrollado en 2002 por Zigbee Alliance formado por muchas empresas del sector tecnológico de la que podemos destacar LG, Samsung, Siemens, Toshiba y Xiaomi entre muchos otros. *“Zigbee crea flexibilidad para desarrolladores y usuarios finales al tiempo que ofrece una interoperabilidad estelar. Creado en 802.15.4 de IEEE usando la banda 2.4GHz y una red de malla real de autocuración; Zigbee tiene muchas aplicaciones y está ampliamente implementado en todo el mundo”* [11]. Zigbee puede llegar a crear mallas de hasta 64000 dispositivos [13].

Zigbee, a diferencia de Z-Wave es un estándar abierto, lo que permite que sus redes estén construidas por productos de diversos fabricantes. Zigbee Alliance que se encarga de comprobar y certificar todos los productos que usen su protocolo para poder garantizar que todos funcionen entre ellos y asegurar un correcto funcionamiento del sistema. Además, organiza eventos para poder verificar que los productos de los distintos fabricantes funcionen entre ellos.

### 4.1. Elementos del sistema

Las redes Zigbee disponen de tres tipos de nodos: coordinator, router y end-device [13].

- **Zigbee coordinator (ZC):** es único por red, se encarga de iniciar y formar la red comprobando los caminos que deben seguir los dispositivos. Es el elemento más complejo y el que requiere más capacidad de memoria y procesado.
- **Zigbee router (ZR):** se encargan del reenvío de datos, interconectando dispositivos y extendiendo la cobertura de la red. Además, pueden incluir código de usuario para implementar aplicaciones. Por todo ello, normalmente requieren estar siempre activos aunque implementan estrategias de bajo consumo.
- **Zigbee end-device (ZED):** sólo pueden comunicarse con un dispositivo, su coordinator o router padre, por lo que no pueden usar técnicas de encaminamiento. Normalmente requieren muy poca capacidad de memoria y de potencia, por lo que son más baratos y su batería tiene una alta durabilidad.

Sin embargo para que la formación de la red sea lo más económica posible este estándar propone dos tipos de dispositivos, los FFD (Full Functional Device) y los RFD (Reduced Functions Device).

- **FFD:** no tienen restricciones respecto a su funcionalidad, pudiendo operar como cualquiera de los tres tipos de nodos antes mencionados y pueden comunicarse con cualquier tipo de nodo.
- **RFD:** están limitados a operar como end-device y, por lo tanto, solo puede comunicarse con un FFD.

Dos o más dispositivos conectados por el mismo canal constituyen una red que, al menos, debe incluir in FFD llamado PAN Coordinator. El estándar IEEE 802.15.4 define tres tipologías según las cuales pueden unirse estos nodos: estrella, árbol y malla.

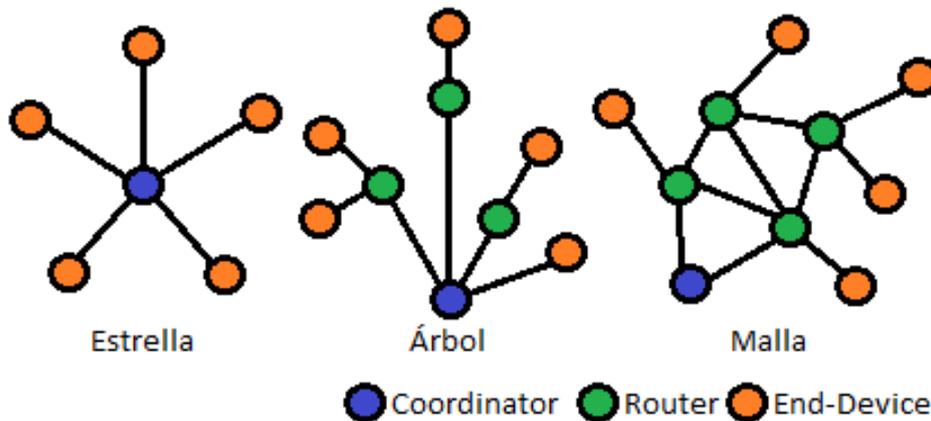


Figura 11 Topologías Zigbee

En la figura 11 podemos observar estos tres tipos: primero el de estrella, en el que un todos los RFD se conectan con un FFD, a continuación la topología de árbol que toma un FFD como coordinador que puede tener bajo el otros FFDs o RFDs y por último la de malla que interconecta combinaciones de RFDs y FFDs. Esta última topología es la más utilizada llamada peer-to-peer en el estándar IEEE 802.15.4.

#### 4.2. Protocolo y arquitectura

Zigbee está organizado siguiendo el modelo de referencia OSI. Con el surgimiento de las telecomunicaciones empezaron a aparecer niveles de funcionalidad distintos con sus protocolos y especificaciones, así la Organización Internacional de Estandarización (ISO) creó el modelo de referencia Open Systems Interconnection (OSI). Este modelo establece una serie de protocolos organizados en siete capas/niveles denominadas, física, de enlace de datos, de red, de transporte, de sesión, de presentación y por último de aplicación. Zigbee basándose en este modelo está organizado en 4 capas, Aplicación, RED, MAC y Física.



Figura 12 Capas Zigbee

Aparte de estas capas, Zigbee establece un nivel de seguridad que es transversal a las capas de Aplicación y Red. La capa de Aplicación a su vez está dividida en dos subcapas, la de Objetos de

dispositivos Zigbee y la de Soporte de aplicación. De estas dos subcapas, la primera es gestionada por el fabricante y la segunda junto con la capa de RED estarán certificadas por Zigbee Alliance. Por último usa el estándar IEEE 802.15.4 para las capas más bajas, la física y la MAC. Este estándar ofrece bajo coste, bajo consumo de energía y gran flexibilidad, haciendo que Zigbee sea una de las mejores tecnologías para ser usadas si se requiere una baja tasa de transmisión de datos. En las siguientes secciones profundizaremos en las diferentes capas [14].

#### 4.2.1. Capa física y Capa Mac (IEEE 802.15.4)

Según el antes mencionado modelo de referencia OSI, en el nivel físico se establece y define todo lo que tenga que ver con la parte material de las comunicaciones es decir, establece las características de materiales y eléctricas, así como las frecuencia, tasa de transmisión de datos, conectores, etc. Por otra parte el nivel MAC (Medium Access Control), está definido dentro del nivel de enlace, siendo el encargado de gestionar el acceso al medio físico entre equipos que lo utilizan de manera simultánea. A continuación veremos en particular cómo funcionan las capa física y la MAC [15].

Las principales tareas de la capa física en Zigbee son:

- Activar y desactivar el radiotransmisor.
- Seleccionar la frecuencia del canal.
- Transmitir y recibir datos.
- Detectar la energía del canal.
- Calcular el LQI (Link Quality Indicator) para indicar la calidad del enlace.
- Valorar si el canal está libre para el nivel MAC.

Hay varios rangos de frecuencias de operación, cada uno con una selección distinta de canales, tasa de transmisión y distancia de transmisión. En la tabla 6 se pueden ver los distintos rangos de frecuencia y sus características.

Tabla 6 Rangos de frecuencia Zigbee

Banda	Rango (MHz)	Canales	Tasa de datos	Lugar de uso	Distancia máxima aproximada
868 MHz	868 - 868.8	1	20 Kbits/s	Europa	1km
915 MHz	902 - 928	10	40 Kbits/s	América del Norte y en el área del Pacífico	1km
2.4 GHz	2400 - 2483	16	250 Kbits/s	Todo el mundo	200m

Como hemos mencionado la capa MAC necesita que la capa física determine la disposición del canal, para ello usa un algoritmo llamado CCA (Clear Channel assessment) para ver si el canal está libre. Para esto es necesario que se establezca entre la capa física y la MAC una interfaz que permita la comunicación entre ellas.

En cuanto a la capa MAC, sus principales tareas son:

- Gestionar el acceso al medio de los dispositivos.
- Controlar la seguridad.
- Generar tramas de reconocimiento si son necesarias (ACK).
- Hacer de soporte de aplicación para las topologías de la norma.
- Llevar a cabo funciones opcionales en función de la configuración, como por ejemplo, generación de balizas para sincronizar dispositivos y garantizar ranuras de tiempo.

El protocolo usado por la MAC para gestionar el acceso al medio es el denominado CSMA/CA (Carrier Sense, Multiple Access, Collision Avoidance) que como su propio nombre indica, evita que se produzcan colisiones. El método para conseguirlo es más sencillo de lo que se podría esperar, una vez se ha detectado el fin de la transmisión, usando el ya mencionado algoritmo

CCA, los dispositivos esperan un tiempo aleatorio antes de transmitir y si al querer transmitir detectan que el canal sigue ocupado, vuelven a esperar. Por parte de la capa MAC, se pueden transmitir diversos tipos de tramas: de datos, de reconocimiento (ACK), de control o de baliza.

#### 4.2.2. Capa de red

El nivel de red en Zigbee es el encargado de proporcionar dos servicios:

- Servicio de control a cargo de la NLME (Network Layer Management Entity) o entidad de gestión de la capa de red.
- Servicio de datos gestionado por la NLDE (Network Layer Data Entity) o lo que le es lo mismo la entidad de datos de la capa de red.

En la tabla 7 podemos ver las distintas responsabilidades de la capa de red y el servicio que las proporciona.

Tabla 7 Funciones capa de red

Entidad	Tarea
NLME	Descubrimiento de vecinos. Inicialización de una red. Direccionamiento. Configuración de nuevos dispositivos, así como inicialización del coordinador. Procesos de asociación y abandono de una red. Mantener base de datos de objetos, Network Information Base (NWK IB).
NLDE	Especificar la topología de encaminamiento. Generar la unidad de datos de protocolo.

Como ya hemos mencionado la inicialización de la red la lleva a cabo un coordinador que no esté previamente asociado a una red. Para ello el coordinador realiza una detección de energía a través de su capa MAC para buscar el mejor canal para la comunicación y, a su vez, busca en el canal si existen otras redes. Por último establece el canal y el identificador Pan de la red que usarán los dispositivos.

Por su parte, los dispositivos Zigbee tienen dos tipos de direcciones, la MAC (64 bits) y la de red (16 bits). La primera es única y global y la segunda la asigna el coordinador una vez el dispositivo entra en la red. Dependiendo de la versión de Zigbee esta dirección puede ser aleatoria o dependiente de la posición en la que el dispositivo se encuentra en la red.

El encaminamiento entre dispositivos que se habilita en esta capa permite saltos múltiples (multi-hop). Así es posible la comunicación entre dos dispositivos lejanos pasando el mensaje entre otros dispositivos intermedios que sirven de routers. A su vez, gracias a este mecanismo, es posible establecer rutas alternativas del mensaje en caso de que uno de los nodos intermedios falle. En la figura 13 se puede observar como en el caso de fallo de un dispositivo en mensaje es transmitido correctamente.

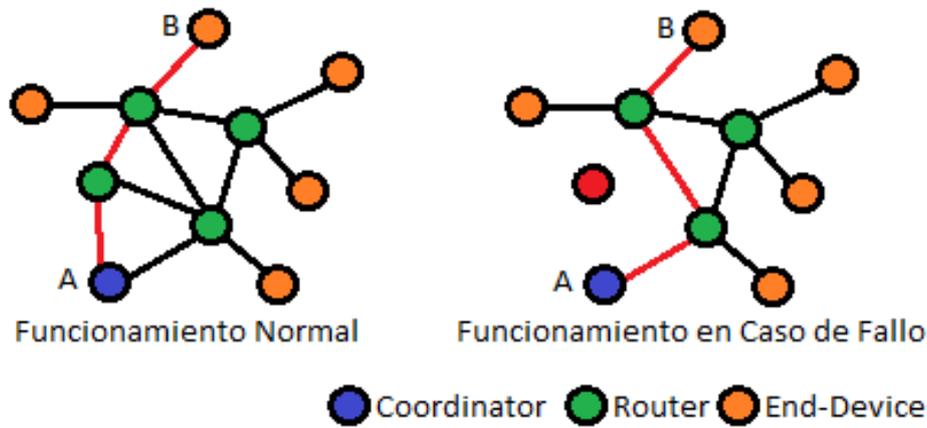


Figura 13 Funcionamiento multisalto Zigbee

### 4.2.3. Capa de aplicación

El nivel de aplicación está dividido en dos subcapas, el de objetos de dispositivos Zigbee ZDO (Zigbee Device Objects) y el de soporte de aplicación APS (Application Support Sublayer). El nivel APS hace las veces de interfaz entre la capa de aplicación y la de red y a su vez, está dividido en dos entidades que gestionan sus funciones, APSDE (APS Data Entity) y APSME (APS Management Entity). En la tabla 8 se puede observar las distintas funciones para cada uno.

Tabla 8 Funciones capa de aplicación

Entidad	Tarea
ZDO	Definir rol del dispositivo en la red. Inicializar de la APS, la NWK y la SSS (Especificación de Servicios de Seguridad). Proporcionar interfaces públicos para descubrir de servicios y dispositivos, realizar el Binding y llevar a cabo tareas de seguridad.
APSDE	Transmitir datos de aplicación entre dos o más dispositivos de la red. Descubrir y enlazar dispositivos.
APSME	Mantener la base de datos de objetos AIB (APS Information Base).

En Zigbee un nodo puede contener más de una descripción de dispositivo aunque esté asociado a una sola dirección de red. De esta forma, un dispositivo puede tener asociado varias subunidades con una lógica diferente cada una de ellas. Un ejemplo de uso común sería un set de botones que, al estar en el mismo dispositivo, son un solo nodo pero cada uno de ellos puede funcionar de manera completamente distinta. Todas estas configuraciones son almacenadas en la tabla de uniones llamada Binding table.

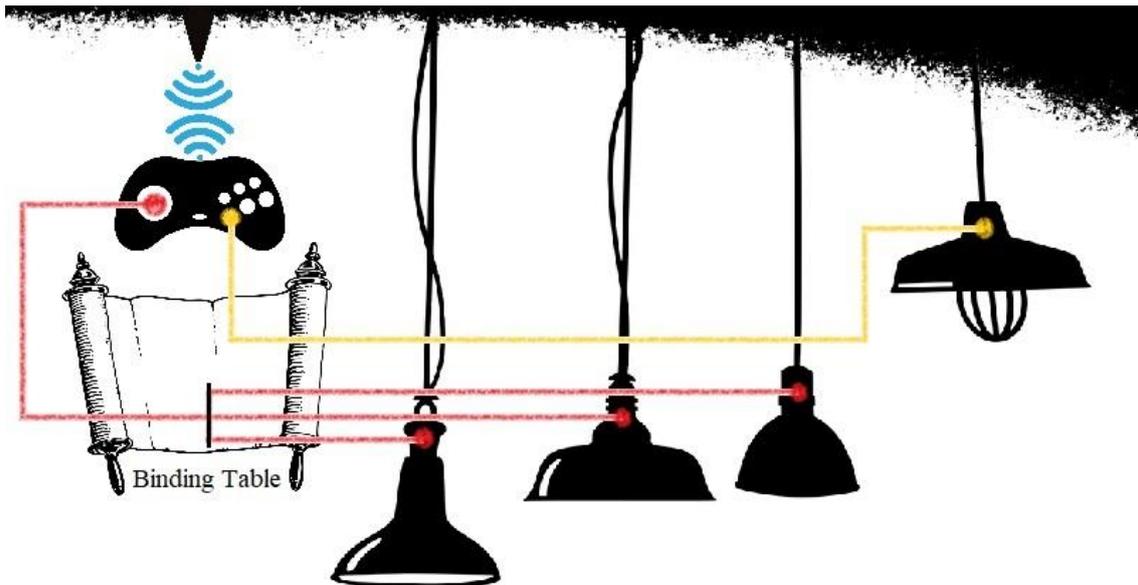


Figura 14 Ejemplo binding sistema Zigbee

Un ejemplo de uso de la Binding table se puede ver en la figura 14 donde un solo dispositivo con varios botones puede tener el control de diferentes dispositivos pertenecientes o no a la misma dirección de red.

### 4.3. Seguridad en Zigbee

Aparte de los mecanismos de seguridad establecidos por Zigbee para los niveles de Red y de soporte de aplicación, el estándar IEEE 802.15.4 establece un mecanismo de seguridad en el nivel MAC. Haciendo a estos niveles responsables del envío seguro de sus tramas. A su vez Zigbee puede utilizar la encriptación AES (Advanced Encryption Standard) de 128 bit para encriptar las comunicaciones. Y si todo esto no fuera suficiente, uno de los dispositivos de la red será configurado para actuar como Trust Center (Centro de confianza). Todos los dispositivos de la red podrán identificar a este como Trust Center a la hora de distribuir las claves.

Puede realizarse encriptación en el nivel de red, llave de red (Network Key), pero si es necesario un segundo nivel de encriptación dentro de la misma red con datos de confidenciales, se puede obtener una segunda encriptación en el nivel APS.

### 4.4. Configuración de Usuario

Zigbee es un protocolo que dispone de auto configuración, lo que facilita la instalación y el uso, haciendo que pueda funcionar perfectamente sin configuración manual. Además dispone de la herramienta ZDO para poder configurar más a fondo la instalación y mantenerla en el futuro con herramientas proporcionadas por los fabricantes.

## 5. Necesidades a cubrir

Everis Center SL, es una empresa que se dedica a la consultoría informática y de tecnología. Su sede de Sevilla está situada en la Cartuja, contando con más de 7 alas del edificio en el que está establecido. En esta empresa en continuo crecimiento el número de empleados no para de crecer, teniendo como objetivo para 2020 contar con mil empleados en la sede de Sevilla.

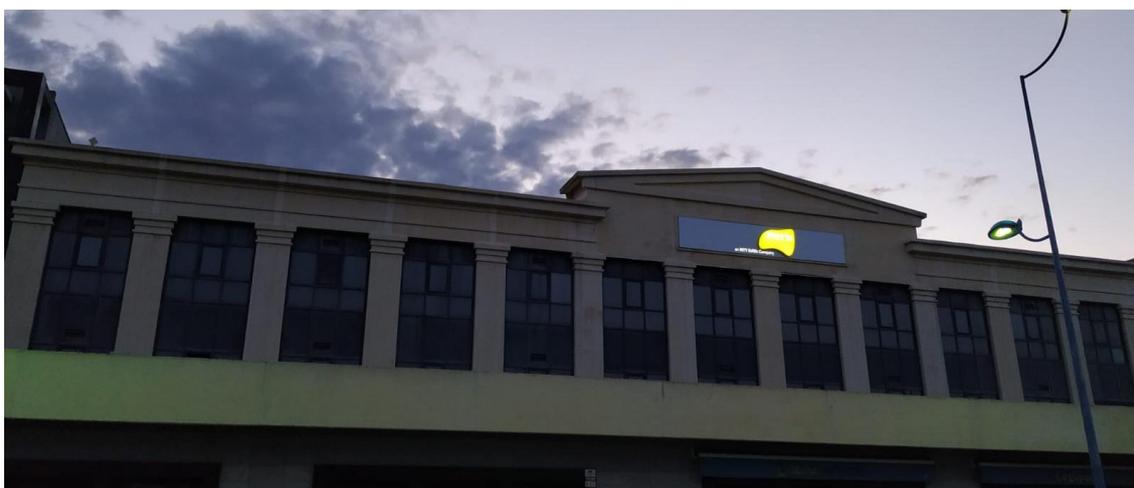


Figura 15 Everis Center Sevilla (Por hacer la foto del edificio)

En los puntos siguientes veremos las características de la sede de Sevilla que se podrán mejorar con la automatización. Aunque esta oficina está repartida en varias plantas y alas, todas ellas presentan unas características similares, en cuanto a orientación disposición de los espacios, temperatura, luz... Por esto último, se estudiarán las necesidades para un ala, concretamente la 2ª, y se podrá extender al resto con pequeños cambios.

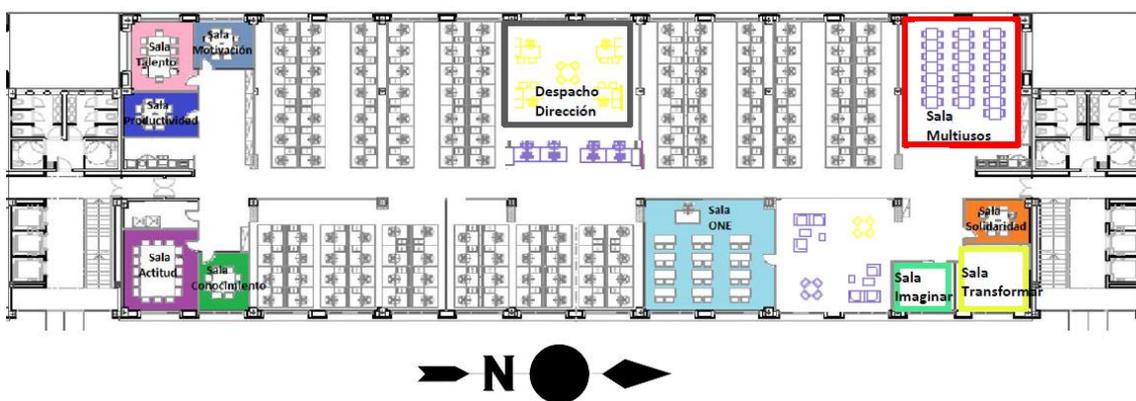


Figura 16 Plano segunda planta Everis Sevilla

## 5.1. Confort y salud

Un ambiente de trabajo saludable no solo mejora la salud de las personas, sino también su rendimiento, mejorando así la productividad y evitando riesgos. Los principales puntos para un buen ambiente de trabajo son la iluminación, la temperatura, la humedad y la calidad del aire, estando tres últimos relacionados entre ellos y dependiendo unos de otros.



Figura 17 Elementos de un ambiente saludable

Estas oficinas disponen de ventanales tanto con orientación este como oeste, por lo que sería necesario controlar la cantidad de luz que estas permiten pasar para así tener control de la luminosidad natural y la temperatura. Es necesario que no entre luz directa por la mañana y por la tarde para que los trabajadores que tienen las ventanas a los lados puedan quedar cegados. Así mismo, es necesario controlar la cantidad de luz que entra sobre todo en los meses más calurosos para que no se produzca un aumento no deseado de la temperatura por la radiación del Sol. Por otra parte debido a las altas temperaturas que se alcanzan en verano en Sevilla, es necesario controlar los aires acondicionados en verano y las calefacciones en invierno para poder ofrecer una temperatura óptima, sin que se queden encendidos por un descuido.

De igual importancia es necesario controlar los sistemas de iluminación artificial de forma eficiente. En esta empresa se realizan proyectos muy diversos con horarios distintos unos de otros y es necesario evitar que la luz quede encendida tanto en salas de reuniones como en los puestos de trabajo cuando no hay nadie. Esta medida de control de iluminación ya está implementada mediante sensores de movimiento en gran parte de la oficina, pero se podría mejorar su eficacia integrando control en las salas de reuniones. Por último una gran necesidad para la salud de los empleados sería controlar las cantidades de CO<sub>2</sub> que pueden quedar en una sala de reuniones cuando por urgencia o por poca planificación se reúnen más personas de las planeadas en un principio.

## 5.2. Seguridad

En esta empresa de actividades de programación y consultoría informática, la seguridad es una tarea doble, ya que no solo tiene que velar por la seguridad de las personas que la forman, sino también de la información tanto propia como de los clientes.

En estas instalaciones ya se cuenta con control de acceso mediante tarjeta o clave pero, al no tener horario de cierre total, estas puertas están accesibles a cualquier hora del día si un empleado necesita acceder. Las puertas podrían quedar mal cerradas por error y esto puede generar algún problema de seguridad. Por esto, sería necesario incrementar las medidas de seguridad en estas instalaciones controlando el correcto cierre de puertas y ventanas, para evitar el acceso de personas ajenas por algún descuido.



Así mismo, para poder garantizar la seguridad de la información almacenada de manera digital es necesario que el sistema domótico que se instale sea seguro. Por consiguiente el sistema utilizado para estas instalaciones debe contar con herramientas de seguridad para evitar hackeos y vulnerabilidades del sistema global.

### 5.3. Sostenibilidad



Los recursos de los que disponemos no son inagotables y hacer un uso responsable es trabajo de todos. La sostenibilidad es un concepto viene de la ecología y define cómo los sistemas se mantienen productivos a lo largo del tiempo si la explotación de recursos se mantiene por debajo de su límite de renovación.

Everis apuesta por una gestión responsable de la energía, creyendo en un mundo en el que las empresas e instituciones sean más sostenibles y eficaces. Es indispensable no solo controlar los sistemas automatizables para generar más eficiencia energética sino que el propio sistema domótico tenga el menor impacto posible en el consumo energético.



## 6. Tecnología que más se adapta a las necesidades

Una vez visto los principales tipos de tecnología disponibles y las necesidades particulares de las oficinas podemos hacer una comparativa y ver que tecnología es la idónea.

En la tabla 9 siguiente se han recogido las principales necesidades a cubrir para ver si las tecnologías disponen de métodos para hacerles frente. Además se han incluido características propias de los sistemas como velocidad de las comunicaciones, facilidad para instalarlos y costes entre otros para ayudar a discernir que tecnología se adapta mejor a las necesidades.

Tabla 9 Comparación de tecnologías

	X-10	KNX	Zigbee
Control del aislamiento térmico en ventanas			
Control de aires acondicionados/calefacción			
Gestión eficiente de luces			
Control CO2 en salas de reuniones			
Seguridad puertas y ventanas			
Gestión sostenible			
Superficie a cubrir			
Seguridad del sistema			
Velocidad de comunicaciones			
Tasa de transmisión			
Fácil configuración			
Funcionamiento en caso de corte de suministro			
Comunicación en caso de fallo			
Robustez frente a interferencias			
Numero de dispositivos			
Necesidad de cableado extra			
Fácil instalación			
Consumo			
Coste dispositivos			

Como podemos observar en la tabla, las principales necesidades están cubiertas por cualquiera de las tres tecnologías a excepción del control de CO2 que en X-10 no se ha encontrado ningún sensor que sea directamente compatible con esta tecnología. Por ello vamos a analizar en mayor profundidad las diferencias entre las propias características de los sistemas.

X-10 presenta unas características muy aceptables a muy bajo coste, ya que estos dispositivos son fáciles de instalar y muy baratos. Por el contrario aparte de que presentan un número máximo de dispositivos modesto frente las otras dos tecnologías, tiene un tamaño máximo de superficie limitado, al tener que compartir el cableado la señal pierde fuerza, la robustez de las comunicaciones es menor debido a las propias interferencias del cableado y la seguridad del sistema es menor debido a que los dispositivos están siempre escuchando y no pueden saber si el que manda la orden es de confianza.

Mientras que para un uso doméstico o de pequeña empresa el límite de dispositivos, la limitación de superficie, la robustez y la seguridad de sus dispositivos no tendrían tanta importancia, son algo vital en unas oficinas de esta envergadura.

Para comparar KNX y Zigbee, nos centramos en sus principales fortalezas y debilidades para tomar una decisión. KNX cuenta con una tasa de transmisión muy alta y una robustez mucho mejor que las otras tecnologías gracias a su cableado propio, pero a cambio su instalación y costes son muy elevados ya que, aparte del coste de los dispositivos, requiere incluir cableado en toda la estructura del edificio para así tener todo interconectado.

Zigbee por su parte cuenta con una robustez inferior ya que puede sufrir interferencias debidas a que opera en el mismo ancho de banda que el Wi-Fi, pero el coste de los dispositivos es menor al de los dispositivos KNX y no requiere de instalación de cableado. Por otro lado consta de una baja tasa de transmisión de datos si se quiere tener un alto ahorro energético, pero en unas oficinas no es necesario un control exhaustivo en la mayoría de las medidas, como por ejemplo, no se necesita saber la temperatura minuto a minuto ya que esta no varía bruscamente y no es crítico su control a tiempo real.

Finalmente, viendo que las carencias que presenta son solventables y presenta un bajo coste de instalación, de dispositivos y de consumo, nos quedaremos con la tecnología Zigbee para cubrir las necesidades de la oficina. Esta tecnología como ya hemos mencionado nos ofrecerá múltiples opciones con su sistema de descubrimiento de rutas, su funcionalidad multisalto y su autoconfigurabilidad generando mallas autoformantes y autocurativas.

## 7. Descripción de las propuestas de mejora

**E**n este punto veremos que se pretende mejorar exactamente para aumentar la calidad del ambiente de trabajo, para aumentar la seguridad tanto frente a robo de materiales o información como para la salud física de las personas y para hacer un uso responsable de la energía.

En aplicaciones laborales es necesario tener en cuenta factores diferentes a los de las viviendas, entre otros: gestión térmica en grandes superficies, concentraciones de CO2 en salas de reuniones, gasto energético debido al exceso de luces encendidas, seguridad no solo frente al robo de bienes si no al de información...

Estudiaremos por separado cada una de las necesidades, caracterizando la situación actual y el objetivo de mejora. Seleccionaremos los elementos y definiremos una solución que mejore las instalaciones actuales.

### 7.1. Iluminación

El nivel de iluminación se mide en luxes (lx), este nivel indica la cantidad de lúmenes por metro cuadrado. Los luxes nos permiten conocer la sensación de luminosidad del área de trabajo. La cantidad recomendada para desempeñar un trabajo depende de las características de este, puede ir desde 50 lx para tareas de manipulación de mercancías hasta 1000 lx para trabajos de joyería. Se considera que el nivel óptimo de iluminación para trabajar en una oficina de trabajo con pantallas de visualización de datos, al considerarse de exigencias visuales altas, es de 500 lx según el anexo IV del Real Decreto 486/1997 del 14 de abril [16].

Pero para poder hacer un control efectivo de la iluminación no basta con controlar cuando están encendidas o no unas bombillas. Es necesario poder controlar la cantidad de luz que entra por las ventanas, disminuyendo las molestias causadas por la luz directa en los trabajadores a primera y última hora del día y maximizando la cantidad de luz natural que entra en las instalaciones.

Se pueden automatizar los estores con los que cuenta la oficina, colocando en cada uno de ellos un dispositivo de para subirlos o bajarlos. De esta manera, se pueden bajar los estores de la zona este por la mañana mientras que los de la zona oeste están subidos, mantener los estores arriba al mediodía y bajar los de la zona oeste por la tarde. Se podrá contar con un horario configurable para ajustar la subida o bajada con la hora del día, garantizando así que la luz no incide de manera directa en los trabajadores.

Por otra parte, se podría cambiar la iluminación disponible para contar con luminarias LED con iluminación regulable por zonas de la oficina. Así, si se instalaran sensores de iluminación combinándose con los ya existentes de presencia, se podría maximizar el uso de luz natural minimizando el consumo y proveyendo a los trabajadores de la luz necesaria para llevar a cabo su trabajo sin molestias y con bajo consumo.

Por ejemplo, un día nublado en el que a través de las ventanas no entra suficiente luz, las luminarias podrían proporcionar la luz necesaria, mientras que en un día soleado, esta es proporcionada a través de las ventanas y las luminarias solo trabajarían como apoyo lumínico.

## 7.2. Climatización

La temperatura y humedad está regida según el anexo III del Real Decreto 486/1997 del 14 de abril: *“En los locales de trabajo cerrados deberán cumplirse, en particular, las siguientes condiciones: a) La temperatura de los locales donde se realicen trabajos sedentarios propios de oficinas o similares estará comprendida entre 17 y 27 °C. La temperatura de los locales donde se realicen trabajos ligeros estará comprendida entre 14 y 25 °C. b) La humedad relativa estará comprendida entre el 30 y el 70 por 100, excepto en los locales donde existan riesgos por electricidad estática en los que el límite inferior será el 50 por 100. c) Los trabajadores no deberán estar expuestos de forma frecuente o continuada a corrientes de aire cuya velocidad exceda los siguientes límites:*

*1.º Trabajos en ambientes no calurosos: 0,25 m/s.*

*2.º Trabajos sedentarios en ambientes calurosos: 0,5 m/s.*

*3.º Trabajos no sedentarios en ambientes calurosos: 0,75 m/s.*

*Estos límites no se aplicarán a las corrientes de aire expresamente utilizadas para evitar el estrés en exposiciones intensas al calor, ni a las corrientes de aire acondicionado, para las que el límite será de 0,25 m/s en el caso de trabajos sedentarios y 0,35 m/s en los demás casos”* [17].

Por otra parte, se puede particularizar lo anterior a las estaciones y a la ropa que los empleados suelen llevar en estas, están más abrigados en invierno y más frescos en verano. Por eso lo recomendable es que la temperatura en verano se sitúe entre los 23°C y los 27°C y en invierno entre los 17°C y los 24°C [18].

Para controlar estos factores, se podrían instalar sensores de temperatura y humedad que activen o desactiven el aire acondicionado o calefacción al llegar a ciertos umbrales. Esto se podría separar por zonas, ya que no incide el sol de la misma manera en un lado del edificio que en el otro. Por ejemplo, dividiendo la planta en cuatro áreas, noreste, sureste, noroeste y suroeste, controlando las salas individualmente. Así, se podrá tener un control particular para cada área y sala.

Por otra parte, se podrán controlar los estores en conjunto con el sistema de iluminación para determinar si se pueden bajar para que no entre calor excesivo por las ventanas.

## 7.3. Calidad del aire

La calidad del aire es muy importante ya que esta afecta a la concentración de los trabajadores y por consiguiente a su rendimiento. Las salas de reuniones son un lugar particularmente propenso a no tener una calidad de aire adecuada. Esto es debido a que son lugares relativamente pequeños donde pueden concentrarse muchas personas, haciendo que la cantidad de CO<sub>2</sub> en el ambiente crezca hasta niveles desaconsejables. Cuando en el ambiente se supera una concentración de CO<sub>2</sub> de 1000 ppm, se considera que el ambiente está cargado y empieza a afectar a la concentración de las personas no debiéndose superar el límite para oficinas de 1500 ppm permitidos.

Por ello se podrían instalar en las salas sensores de CO<sub>2</sub>, para que en el caso de que las medidas superen el umbral establecido se conecten los sistemas de ventilación y/o se indique que se abran las ventanas y la puerta de las salas. A parte en estas mismas salas se podrán instalar una alarma que se encienda en caso de que el límite máximo aceptable se supere para que se corten las reuniones largas y se haga una pausa para que dé tiempo de que se limpie el aire.

Por otra parte aunque en las zonas normales de trabajo no haya tanta concentración de personas como en una sala, el ambiente puede llegar a cargarse. Por ello también se podrán instalar

sensores repartidos por la planta para controlar la cantidad de CO<sub>2</sub> para poder activar la ventilación y que el CO<sub>2</sub> no supere los límites óptimos para mejorar el rendimiento y la salud de los trabajadores.

#### **7.4. Seguridad**

Como ya hemos comentado el acceso a las instalaciones se hace en la mayoría de las puertas mediante tarjeta y en algunas mediante clave de acceso por lo que no sería estrictamente necesario incluir sistemas inteligentes de acceso a las mismas para no incrementar los costes pero si se podría mejorar la seguridad asegurando que las mismas permanecen cerradas.

Se podrían instalar sensores que comprueben el correcto cierre de las puertas para que en el caso de que se queden abiertas más tiempo de la cuenta suene una alarma para asegurar que sean cerradas correctamente. Esto evitaría el acceso de personas ajenas a la oficina producido por posibles descuidos. Esta alarma también podría sonar en caso de que la puerta fuese forzada.

Así mismo se podrían instalar en las ventanas sistemas similares para avisar en caso de que se queden abiertas al terminar la jornada laboral. Y así puedan ser cerradas para evitar posibles robos.

#### **7.5. Ahorro energético**

Contando con Zigbee, un sistema con muy bajo gasto energético, podemos estar seguros de no introducir un sobre gasto energético excesivo en las instalaciones al automatizarlas. Pero podemos ir más allá usando los beneficios de la automatización para hacer un uso eficiente de nuestros recursos.

Las diferentes sensaciones térmicas de las personas, aparte de ser uno de las causas de discusión entre compañeros en casi todas las oficinas, provoca que haya partes de la sala con la ventana abierta y otras con el aire acondicionado encendido. Esto provoca que el ambiente de trabajo no sea el adecuado y se consuma mucha más energía. Como solución, se podría instalar sensores de apertura de ventanas para avisar de que están abiertas mientras el sistema de aires intenta funcionar para que se cierren o se apague el aire en caso de ser necesario.

Por otra parte, en las salas de reuniones, como ya hemos comentado no se dispone de sistemas de apagado de luces, por lo que puede que se queden encendidas por un descuido. Para evitar este caso, es posible hacer un control temporal desde el encendido para detectar si hay presencia y apagarlas si no se está usando la sala.

Así mismo se podrían instalar sensores de temperatura en estas salas para que trabajen junto con los de presencia y así controlen el ambiente solo cuando haya trabajadores presentes, evitando un gasto de aire acondicionado o calefacción si no hay nadie en estas y apagándolo en caso de que se quede encendido.



## 8. Elementos necesarios para la implementación

En esta sección veremos los elementos necesarios para llevar a cabo las instalaciones propuestas en la sección anterior. Estos elementos se han separado en tres tipos de funcionalidad y cada uno de ellos representa un ejemplo de los muchos similares que hay en el mercado.

A la hora de seleccionarlos se ha tenido en cuenta que todos estos dispositivos sean compatibles con el estándar “ZigBee Home Automation” para que la comunicación entre todos se haga de manera eficaz.

### 8.1. Sensores

Los sensores que veremos en esta sección están pensados para colocarse a lo largo de las instalaciones para poder tener medidas tanto en las distintas zonas de la oficina como en las salas de reuniones.

#### 8.1.1. Sensor luminosidad y temperatura

Como hemos comentado es necesario conocer la luminosidad actual de las zonas de trabajo para poder coordinar tanto la intensidad de las luces como los estores de las ventanas y así controlar la luz y parte de la temperatura interior.



Figura 18 Sensor de luminosidad y temperatura

Este dispositivo (ZED-TL-HA) no solo mide el nivel de iluminación, sino también la temperatura, por lo que lo hace muy versátil para tener medidas tanto para los sistemas de iluminación como para el control de la climatización.

Está pensado para que la batería pueda durar 5 años mandando la información cada 60s. Su rango de medidas va para la temperatura de  $-20 \div 60$  °C con un error de  $\pm 0.5$  °C y para el nivel de iluminación de 10 a 100000 lx con un error del 20%. Sus condiciones de operatividad están entre  $-30$  y  $70$  °C con una humedad relativa menor del 80% [19].

### 8.1.2. Sensor humedad

Trabajando junto con el sensor de luminosidad y temperatura, este sensor puede aportarnos la media de humedad para poder gestionar de manera correcta los sistemas de climatización haciendo que el ambiente sea el óptimo para los trabajadores. Esta medida será tomada por el termostato inteligente que será detallado más adelante.

### 8.1.3. Sensor presencia

Las salas de reuniones no cuentan con sensores de presencia y serían necesarios para poder apagar las tanto las luces como los aires acondicionados si no hay nadie en ellas. Es necesario que el sensor de presencia tenga un amplio rango de detección y que pueda medir hasta los 10 m para que solo sea necesario poner uno por sala.



Figura 19 Sensor de presencia

El dispositivo que se ha seleccionado es el IR-9ZBS, este cuenta con muy buenas prestaciones ya que presenta algoritmos para detectar falsos positivos. Su rango de detección es 110° a 12 metros, por lo que colocándolo en una esquina sería suficiente uno por sala.

La batería está pensada para durar de 4 a 5 años con un uso normal, tiene instalado modo ahorro de energía y avisos para cuando se esté quedando sin ella. Sus condiciones de operatividad están entre -10 y 45 °C con una humedad relativa menor del 85% [20].

#### 8.1.4. Sensor CO2

Para poder controlar tanto la ventilación artificial como ordenar que se abran las ventanas y puertas para mejorar el reciclado del aire tanto en salas de reuniones como en las zonas de trabajo es necesario contar con dispositivos que midan la cantidad de CO<sub>2</sub> en el aire.



Figura 20 Sensor de CO<sub>2</sub>

Para ello se ha seleccionado el CO<sub>2</sub>-1ZBS, este dispositivo puede controlar la cantidad de CO<sub>2</sub> de 100 en 100, por lo que se podría configurar para que conectara la ventilación a los 800 y mandara una señal para que se abrieran las ventanas en caso de que esta no sea efectiva.

Está pensado para que la batería pueda durar de 3 a 4 años tomando medidas cada 10 min, pero podría configurarse para que solo tomase medidas en las salas si hay gente y así durar más tiempo. Sus condiciones de operatividad están entre 0 y 45 °C con una humedad relativa menor del 85% [21].

#### 8.1.5. Sensor ventanas/ puertas abierto cerrado

Para poder hacer un uso efectivo de los sistemas de ventilación, climatización y poder disponer de seguridad extra en las instalaciones, es necesario instalar sensores de apertura en las ventanas y puertas.



Figura 21 Sensor abierto / cerrado

El dispositivo seleccionado (MCT-340 SMA) a parte de avisar al sistema si se abre una puerta o se cierra, envía señales periódicamente para mostrar su estado. Además cuenta con alerta de sabotaje si se intenta manipular para así poder estar seguros de que funciona correctamente.

Con un uso típico la batería tiene una duración de tres años, además cuando el voltaje de la batería sea bajo este avisará 30 días antes para que esta pueda ser reemplazada a tiempo. Sus condiciones de operatividad están en entre 0 y 55°C [22].

## 8.2. Actuadores

Los dispositivos de esta sección serán los encargados de cometer las acciones programadas para cambiar las condiciones de las instalaciones dependiendo de las medias de los sensores.

### 8.2.1. Estores automáticos

Es necesario controlar la luz que entra en las instalaciones a parte de para iluminar el interior o para controlar el exceso de calor proporcionado por el sol, para asegurar que la luz no incida directamente en los ojos de los trabajadores.



Figura 22 Axis Gear control estores

Con AXIS GEAR se podrá tener control de los estores ya instalados en la oficina, permitiendo bajar o subir estos y así modular la luz que entra en por la ventanas. Con este sistema se tendrá control de la incidencia directa de la luz del sol como la temperatura que entra por la radiación del sol.

Este dispositivo cuenta con un mecanismo por el que se le hace pasar la cuerda del estor para hacer que suba o baje, por lo que su instalación es muy sencilla. También cuenta con un pequeño panel solar que recarga las baterías aumentando mucho la duración de las mismas [23].

### 8.2.2. Paneles LED regulables

Si se quiere tener un control de la intensidad de las luminarias, para adecuar esta a las necesidades de los trabajadores, es necesario que las luces sean regulables. Por ello se propone sustituir las existentes por luces LED regulables en particular se propone el uso de Immax NEO - Panel LED regulable LED/38W/230V.



Figura 23 Panel LED regulable

Estos paneles miden aproximadamente 60 por 60 centímetros, tienen un color blanco neutro y cada uno de ellos puede proporcionar hasta 4200 lúmenes. Además podrán controlarse tanto por la programación del sistema como por interruptores. La decisión de usar un modo u otro dependerá de las tareas particulares que se pretendan llevar a cabo, como usar el proyector para presentaciones. Para el cálculo del número de paneles necesario (N) se deberá tener en cuenta los 4200 lm que puede proporcionar de máximo un panel, los 500 lx necesarios para llevar a cabo tareas de oficina y los X metros que se quieren cubrir con estos.

$$500 \text{ lx} = \frac{4200 \text{ lm}}{X \text{ m}^2} * N \quad N = \frac{500 * X}{4200}$$

Las luces LED proporcionan un consumo mucho menor que las convencionales, además, la posibilidad de hacer que la luz sea regulable reducirá costes en electricidad aparte de proporcionar una cantidad de luz óptima. Estas luces están conectadas a la red eléctrica, por lo que no precisan de baterías [24].

### 8.2.3. Sirena

Como hemos comentado, para evitar posibles descuidos se ha propuesto el uso de alarmas en las puertas exteriores de la oficina para que suenen en caso de que estas se queden abiertas o intenten ser forzadas y para poder avisar de que las salas de reuniones tienen una cantidad de CO2 que podría ser dañina.



Figura 24 Sirena

Para esta tarea se ha seleccionado la sirena BX-23ZBS que aparte de sonido puede emitir luces. Las alarmas de esta sirena son programables tanto en duración como en volumen, característica perfecta para adecuar la sirena a las necesidades de la oficina. También dispone de sensor anti sabotaje para evitar que sea retirado sin autorización.

Este dispositivo tiene una batería con duración estimada de 7 años, pero esto puede variar mucho dependiendo del uso, aun así dispone de alarma en caso de que se esté quedando sin batería para que pueda ser reemplazada [25].

#### 8.2.4. Termostato inteligente

Para no tener que cambiar los dispositivos de aire acondicionado existentes en la instalación, se ha necesitado buscar un controlador que conecte este a la red Zigbee. Por lo que finalmente se ha optado por un termostato inteligente.



Figura 25 Termostato inteligente

Este termostato (TMST-2ZBS) conecta el dispositivo final, el aire acondicionado, con el coordinador a través de la red Zigbee, haciendo que el sistemas de aire acondicionado pueda recibir las señales de control como enviar información del estado actual.

Normalmente irá alimentado por cable, pero tiene una batería de backup por si fuese necesaria con una duración de 2 años. Sus condiciones de operatividad están entre -10 y 45 °C con una humedad relativa menor del 85% [26].

#### 8.2.5. Conector on/off

Es necesario introducir conectores inteligentes para poder controlar los sistemas que sean externos a la tecnología Zigbee, como puede ser el caso de la ventilación.



Figura 26 Conector

Con este conector (Smart Socket (European Standard)) será posible encender y apagar los dispositivos que se quieran controlar como en nuestro caso el sistema de ventilación de manera remota. Además en comparación con los enchufes tradicionales, puede supervisar el estado de consumo de energía y enviar datos a través de la red inalámbrica.

Tiene una distancia de comunicación de 100 m con visibilidad directa. No necesita baterías al estar instalado directamente en la red eléctrica y puede operar entre 85 y 265V de corriente alterna y entre -10 y 55 °C [27].

### 8.3. Controladores

Los siguientes dispositivos son indispensables para el correcto funcionamiento del sistema y su programación, más que formar parte directa de las soluciones propuestas.

#### 8.3.1. Interruptor y dimmer

En toda instalación es necesario que haya interruptores, para permitir un control manual de las mismas. Por lo que sería necesario repartir interruptores por las zonas que se quieran poder controlar manualmente, por ejemplo salas de reuniones en las que se quieran a apagar las luces para una proyección.



Figura 27 Interruptor con dimmer

Este interruptor (ILS-SE21J-Z) permite encender las luces y regularlas para tener un control al alcance de la mano y funcionando en conjunto con los sistemas propuestos. Este dispositivo cuenta con dos tipos de botones, tanto para encendido apagado como para regular la intensidad [28].

#### 8.3.2. Coordinador/ Enrutador

Como ya hemos mencionado anteriormente las redes Zigbee necesitan de enrutadores que transporten las señales por el sistema así como un coordinador que gestione las comunicaciones.



Figura 28 Coordinador / Enrutador

El dispositivo seleccionado (WAC50) hace las funciones tanto de coordinador como de enrutador, puede comunicarse y controlar productos Zigbee Home Automation y proporcionar acceso en línea a la configuración de control. Cuando funciona como coordinador este hace las funciones de coordinador PAN recopilando datos de los enrutadores. Cuando funciona como enrutador, el dispositivo forma parte de la malla y proporciona la información al coordinador. Este dispositivo repartido por oficina hará posible la comunicación y la programación de los sensores, actuadores e interruptores gracias al software de control “Control Scope Manager” de Daintree [29]

Este dispositivo debe ser conectado a la red eléctrica para asegurar su correcto funcionamiento. Además cuenta con luces que alertan de su estado para que, en caso de un posible fallo, pueda ser percibido [30].

### 8.3.3. Conector a red IP

Las redes Zigbee pueden ser conectadas a la red IP para poder ser configuradas y monitorizadas, pero para ello necesitan este tipo de dispositivos.



Figura 29 Conector a red IP

Se ha seleccionado el dispositivo ELKO SmarthUB de schneider Electric para conectar la red Zigbee a la red IP y así poder realizar la configuración de la red a través de dispositivos móviles o PC. Así se podrán configurar dispositivos, escenas, grupos, momentos... para cada zona y situación de forma remota.

Este dispositivo puede conectarse a las Red IP tanto por WLAN como por Ethernet, siendo posible gracias a esto conectarse tanto inalámbricamente como a través de cable [31].

## 9. Esquemas funcionales

En esta sección veremos posibles configuraciones por las que los dispositivos podrían conectarse para cubrir las necesidades de la oficina. Las soluciones de ahorro energético estarán integradas en su parte de la instalación correspondiente. Se utilizarán los dispositivos de la siguiente figura en los esquemas de esta sección para identificar los distintos elementos.

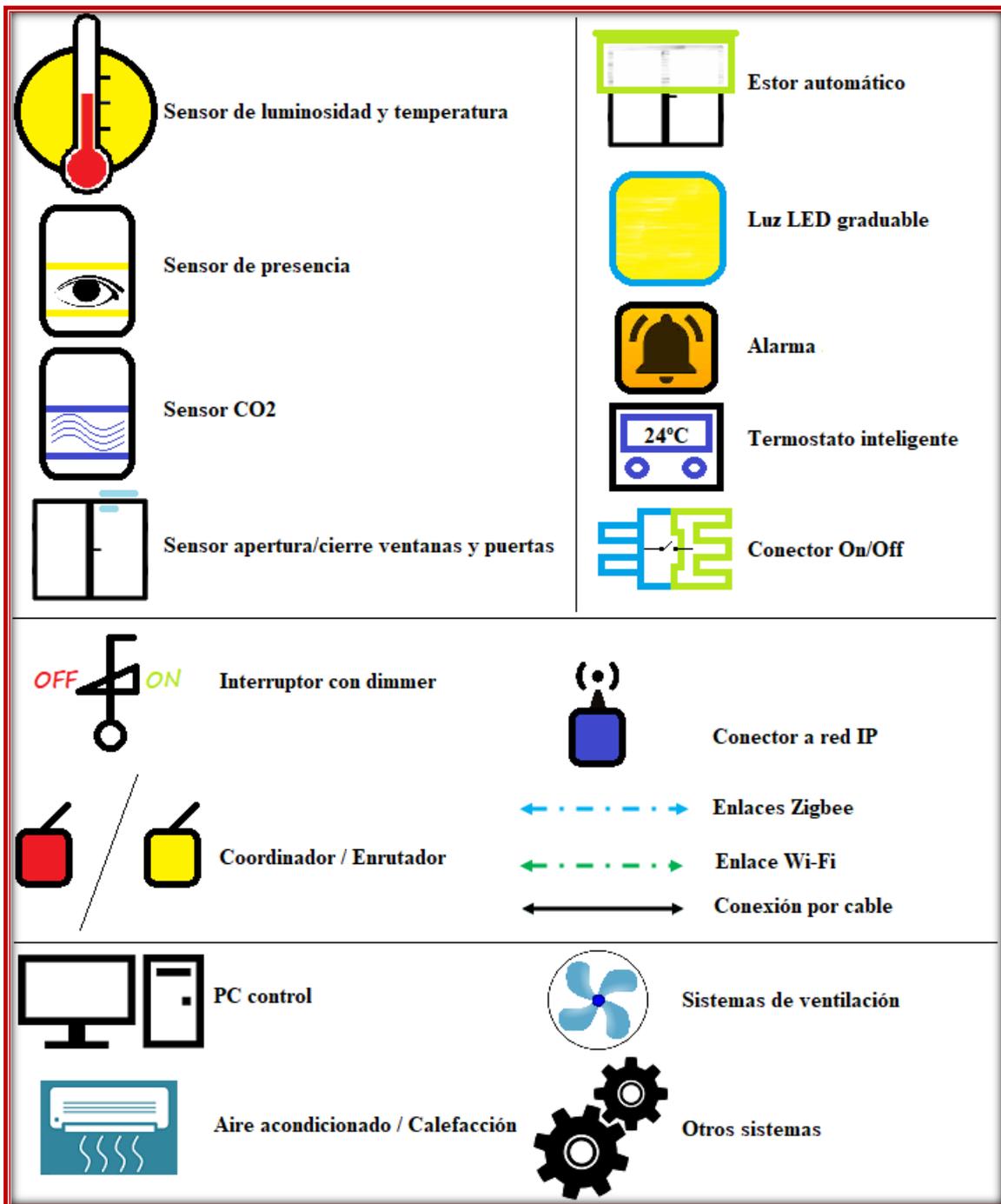


Figura 30 Leyenda de elementos de los esquemas

### 9.1. Sistema principal

En este esquema mostramos una configuración posible de los dispositivos de control y su acceso remoto al mismo, el resto de sistemas se conectará a este mediante enrutadores por lo que no será necesario repetir este esquema para el resto de instalaciones.

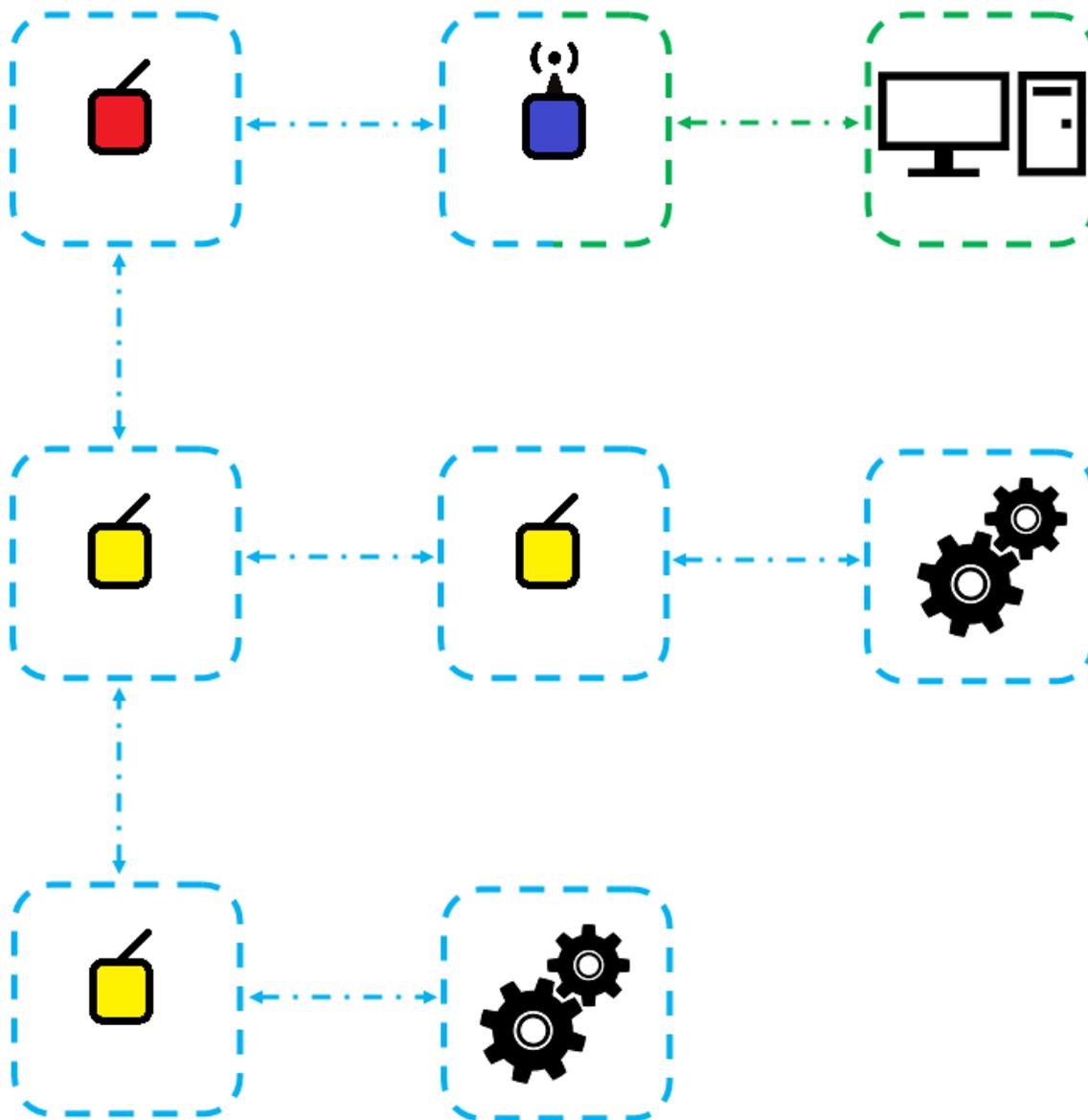


Figura 31 Esquema del sistema principal

Conectando el coordinador con el conector IP conseguimos que el sistema al completo pueda conectarse a la red Wi-Fi para así ser controlado y programado desde un PC de la oficina. El resto de sistemas se conectará al coordinador a través de los enrutadores formando la característica malla Zigbee.



### 9.3. Climatización

Este esquema es parecido al sistema de iluminación ya que trabaja de una manera similar, controlando el sistema de climatización a través del termostato inteligente en lugar de la iluminación.

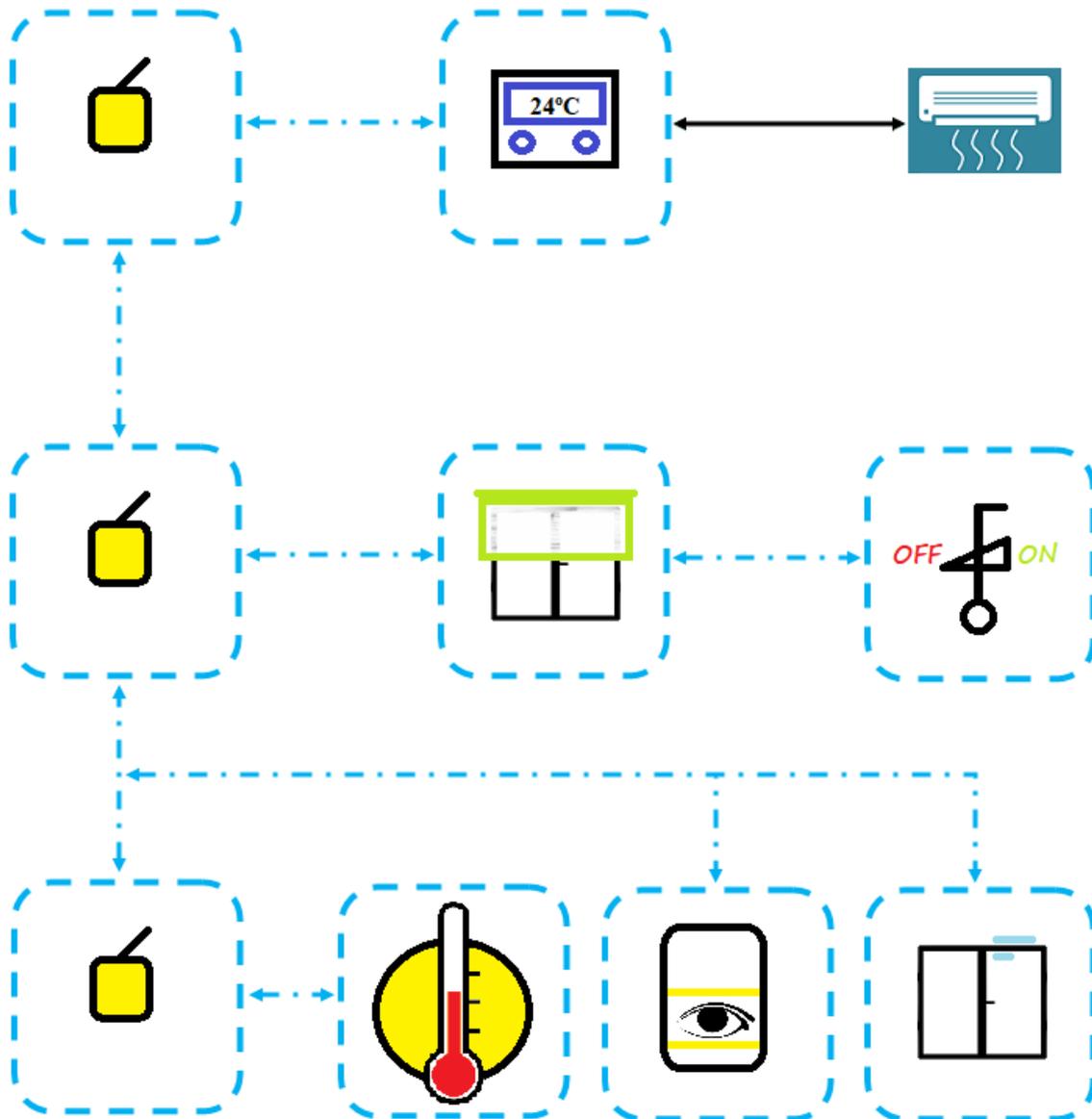


Figura 33 Esquema del sistema de climatización

Este sistema necesita las medidas de apertura y cierre de ventanas para poder comunicar al sistema central que están abiertas y aunque el sensor de luminosidad y temperatura es el mismo que para el sistema de iluminación, solo se tendrá en cuenta la temperatura para el control de la climatización.

### 9.4. Control CO2

En este esquema se puede ver un ejemplo del sistema de control de CO2 de una sala. Este es más completo que el de las zonas de trabajo ya que incluye una sirena para que, en caso de que se supere la cantidad máxima que se delimite, pueda ser desalojada para una correcta ventilación.

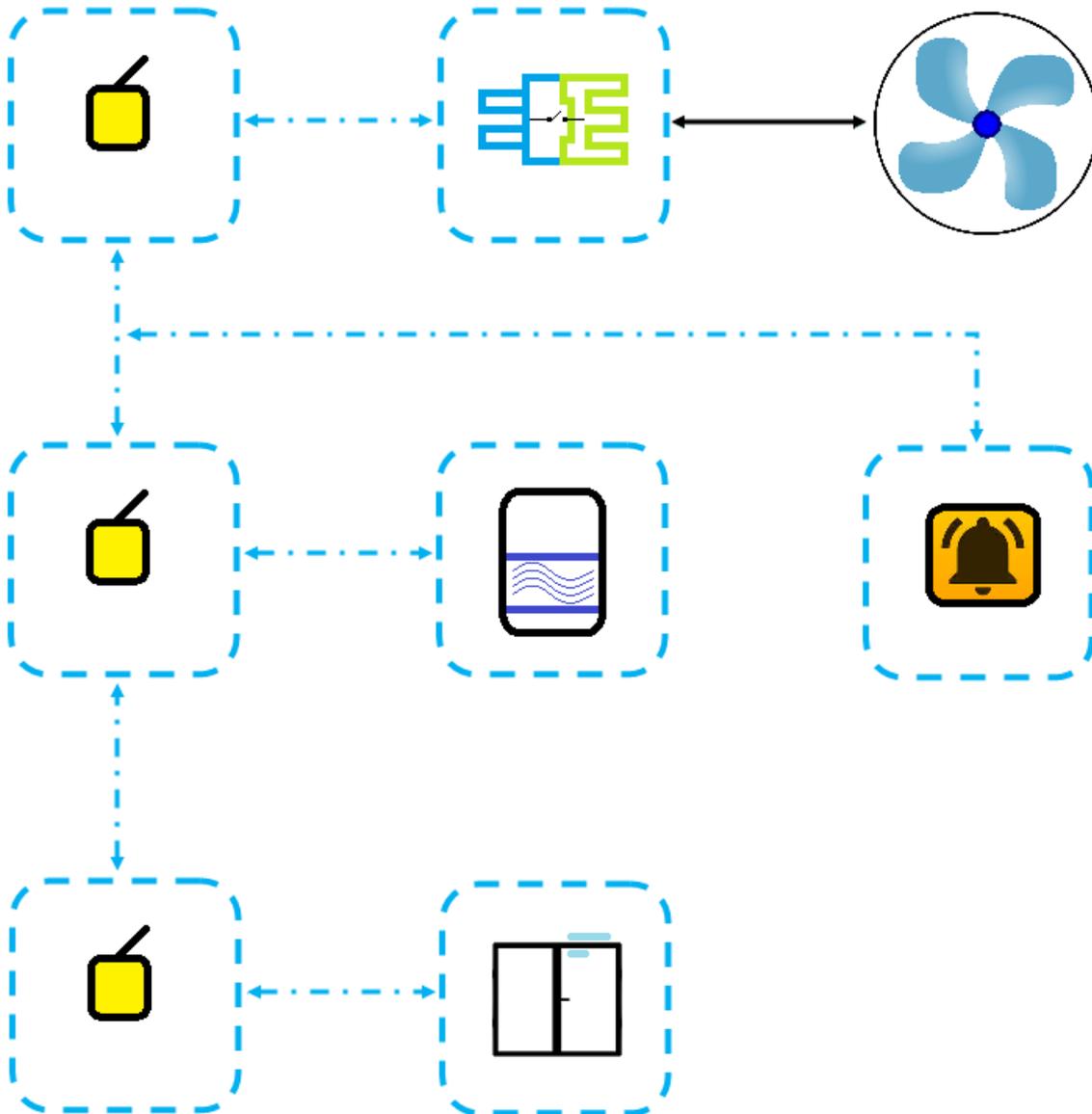


Figura 34 Esquema del sistema de control de CO2

Con esta disposición todas las instalaciones de la oficina contarán con un aire de calidad y en el caso de las salas no se llevarán a cabo reuniones que perjudiquen la salud de los trabajadores.

## 9.5. Seguridad

Este esquema es el más sencillo ya que no ha sido necesario implementar soluciones para el acceso de la instalación. Como hemos mencionado anteriormente, la seguridad de acceso ya está cubierta.

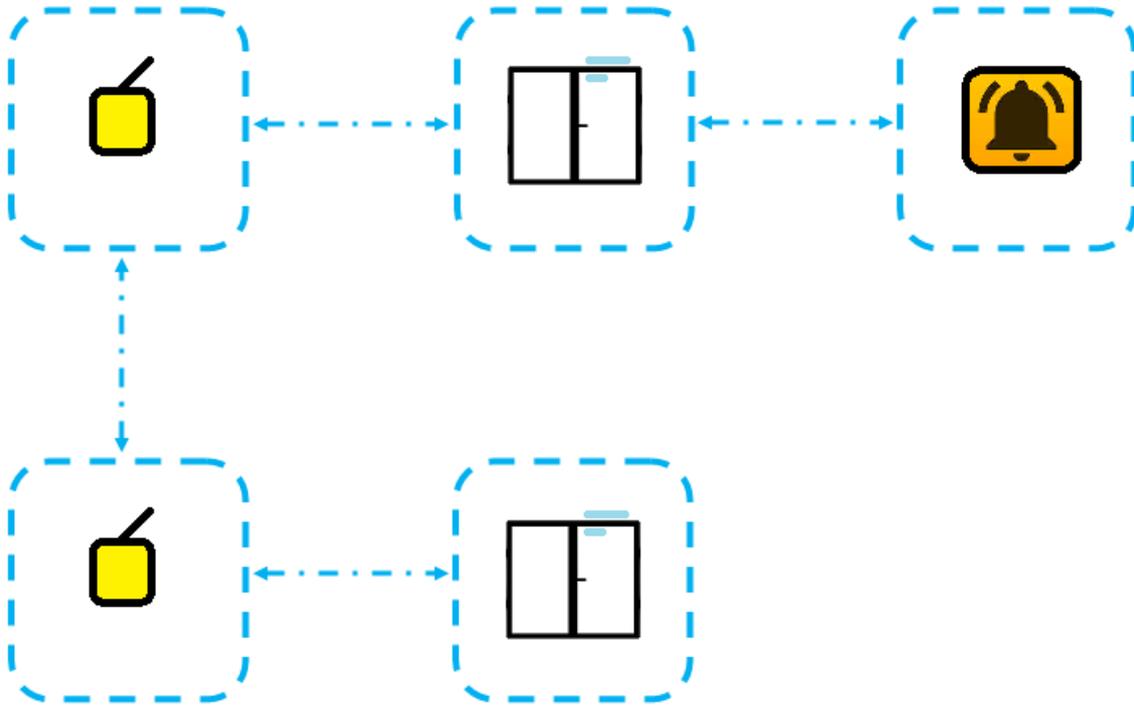


Figura 35 Esquema del sistema de seguridad

Se controlará que las puertas exteriores queden cerradas correctamente avisando en caso de que esto no sea así con una sirena. Además, se controlará que las ventanas estén también cerradas, esto se podrá supervisar desde el sistema principal para en caso de que queden ventanas abiertas, puedan ser cerradas al última hora.

# 10. Informe técnico de automatización de la sala Actitud

## 10.1. Objetivo

Las salas de reuniones de las oficinas Everis Center de Sevilla no disponen de gestión energética al no tener sensores de movimiento como en el resto de la instalación y puede tener altas concentraciones de CO2 si hay muchas personas reunidas durante tiempos prolongados. Este documento recoge las especificaciones tanto técnicas como funcionales para implementar gran parte de las soluciones propuestas en una sala de reuniones y así servirá de ejemplo para la implementación de los sistemas en el resto de la instalación.

## 10.2. Antecedentes

La sala que se pretende controlar es la sala Actitud, esta está situada en la segunda planta del edificio principal con orientación este. En la siguiente figura se puede ver ubicada en la esquina inferior izquierda del mapa.

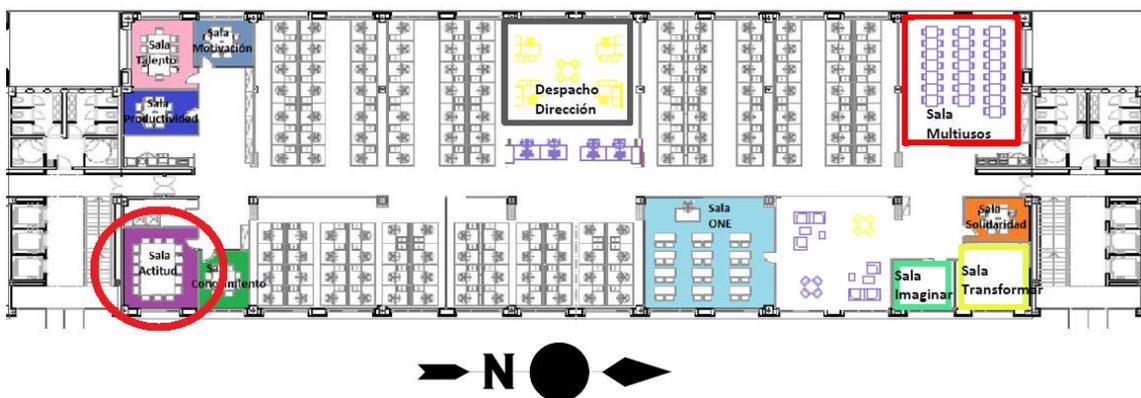


Figura 36 Plano segunda planta Everis Sevilla

En esta sala se realizan reuniones de equipo, tanto diarias como ocasionales, cursos o formaciones técnicas, que pueden durar de unas horas en una jornada a varios días y, en ocasiones, se ha usado como lugar de trabajo temporal mientras se reestructuran los puestos por nuevas incorporaciones.

Esta sala, al no disponer de gestión energética, puede generar un gasto indebido de energía si se quedan las luces y/o la climatización encendidas. Además, si la ocupación de esta es continuada y no se controla el CO2, los niveles pueden ser perjudiciales para los usuarios. Por otra parte, para evitar robos o pérdidas de eficiencia energética, también se incluirá un control sobre la apertura de las ventanas.

### 10.3. Descripción física de la sala

La sala está diseñada para unas 16 personas sentadas, cuenta con unos 20 metros cuadrados con una diagonal aproximada de 6,5 m. Dispone de una sola puerta de entrada/salida y un ventanal con dos ventanas independientes, a su vez, este ventanal cuenta con un estor para regular la entrada de luz. El termostato del que dispone se encuentra fuera de la sala y tanto la ventilación como el aire acondicionado tienen su entrada y salida de aire en el techo de la sala. La iluminación de esta sala se realiza actualmente mediante tubos fluorescentes.

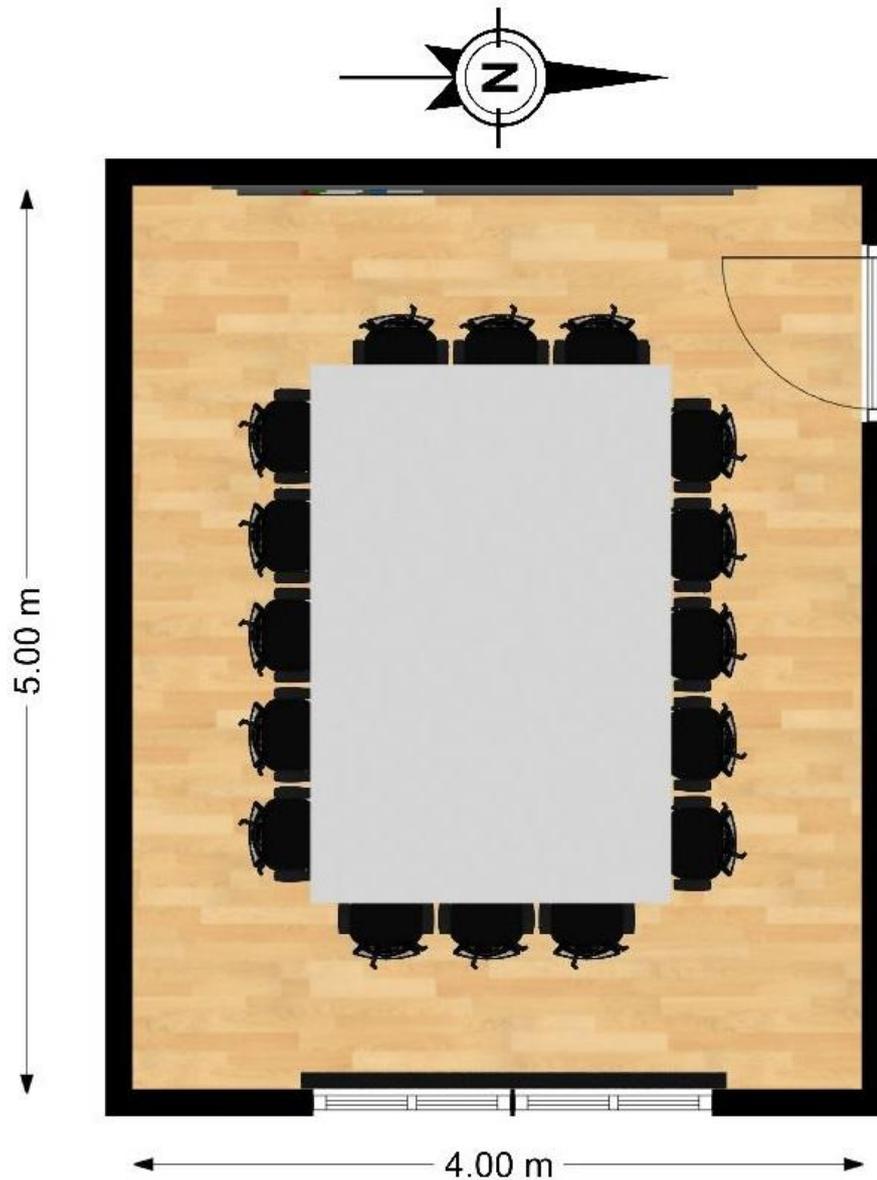


Figura 37 Plano de la sala Actitud

## 10.4. Elementos del sistema

Tabla 10 Lista de elementos seleccionados

Función	Código	Cantidad	Ubicación
Sensor luminosidad/temperatura	ZED-TL-HA [19]	2	Uno cerca de la ventana y otro en el extremo opuesto de la sala
Sensor de presencia	IR-9ZBS [20]	1	Esquina superior suroeste de la sala
Sensor de CO2	CO2-1ZBS [21]	1	Punto medio de la pared sur de la sala.
Sensor apertura	MCT-340 SMA [22]	2	Uno en cada ventana
Actuador estor	AXIS GEAR [23]	1	En el lado del cordel del estor
Panel LED regulable	LED/38W/230V ZigBee 59,5x59,5 cm [24]	3	En el techo de la sala sustituyendo los instalados
Sirena	BX-23ZBS [25]	1	Punto medio de la pared norte de la sala
Termostato inteligente	TMST-2ZBS [26]	1	Fuera de la sala sustituyendo al actual.
Conector On / Off	Smart Socket (European Standard) [27]	1	Con el cableado de la ventilación, oculto en el falso techo.
Interruptor regulador	ILS-SE21J-Z [28]	1	Sustituyendo al interruptor actual junto a la puerta.
Coordinador / enrutador	WAC50 [29]	1	Punto medio de la pared norte, cerca de la puerta con la función de coordinador

## 10.5. Especificaciones de funcionamiento

Gracias al coordinador WAC50 y al conector de red IP seleccionado todas las funcionalidades (F\_) podrán ser configuradas en el coordinador a través de una conexión Ethernet y posteriormente se podrá redirigir los datos a un servidor central a través de internet para tener acceso en línea a la configuración de control y comandos del sistema.

A continuación veremos las especificaciones de funcionamiento de la instalación agrupadas por dispositivo controlado. En estas especificaciones se incluyen los parámetros (P\_) configurables por el usuario final que serán tratados en la siguiente sección.

### 10.5.1. Estor automático

(F\_AB1) Bajada automática del estor a la hora del día que puede empezar a entrar luz directa (P\_MorningTime).

(F\_AB2) Subida automática del estor a la hora del día en la que ya no entra luz directa (P\_AfternoonTime).

### 10.5.2. Termostato inteligente

(F\_IT1) Encender aire acondicionado automáticamente a (P\_TOn1) si la temperatura baja de (P\_TLow), el sensor de presencia ha detectado movimiento y las ventanas están cerradas.

(F\_IT2) Encender aire acondicionado automáticamente a (P\_TOn2) si la temperatura supera (P\_THigh), el sensor de presencia ha detectado movimiento y las ventanas están cerradas.

(F\_IT3) Apagar el aire acondicionado automáticamente si no se detecta movimiento durante (P\_tWait).

(F\_IT4) Apagar el aire acondicionado automáticamente si se alcanza (P\_TOpt).

(F\_IT5) Mandar una alerta interna al sistema para avisar de que el aire acondicionado está encendido y hay una ventana abierta si se activa la función (P\_ACW).

### 10.5.3. Paneles LED

(F\_L1) Encender automáticamente los paneles LED si se detecta movimiento.

(F\_L2) Apagar automáticamente los paneles LED si no se detecta movimiento durante (P\_tWait).

(F\_L3) Aumentar automáticamente la potencia de los paneles LED si la luz baja de (P\_LxLow) hasta alcanzar (P\_LxOpt).

(F\_L4) Atenuar automáticamente la potencia de los paneles LED si la luz sube de (P\_LxHigh) hasta alcanzar (P\_LxOpt).

### 10.5.4. Control manual

(F\_M1) Encendido manual de los paneles LED con la potencia (P\_LxOn) si se pulsa el interruptor.

(F\_M2) Apagado manual de los paneles LED si se pulsa el interruptor.

(F\_M3) Aumentar la potencia de los paneles LED si se pulsa el interruptor, detiene las funciones F\_L1, F\_L2, F\_L3 y F\_L4 hasta la vuelta al modo automático.

(F\_M4) Atenuar la potencia de los paneles LED si se pulsa el interruptor, detiene las funciones F\_L1, F\_L2, F\_L3 y F\_L4 hasta la vuelta al modo automático.

(F\_M5) Subida del estor si se pulsa el interruptor, detiene las funciones F\_AB1 y F\_AB2 hasta la vuelta al modo automático.

(F\_M6) Bajada del estor si se pulsa el interruptor, detiene las funciones F\_AB1 y F\_AB2 hasta la vuelta al modo automático.

(F\_M7) Vuelta al modo automático si no se detecta movimiento durante (P\_tWait).

**10.5.5. Sirena**

(F\_S1) Hacer sonar la alarma automáticamente si la ventana está abierta a la hora de cierre (P\_CloseTime).

(F\_S2) Hacer sonar la alarma automáticamente si el nivel de CO2 supera el (P\_CO2Max).

**10.5.6. Ventilación**

(F\_V1) Encender automáticamente la ventilación si la concentración de CO2 supera (P\_CO2High).

(F\_V2) Apagar automáticamente la ventilación si la concentración de CO2 baja de (P\_CO2Low).

## 10.6. Parámetros del sistema

Tabla 11 Lista de parámetros configurables

Código	Descripción	Valor por defecto	Unidades
P_ACW	Alerta interna activada si aire encendido y ventanas abiertas	ON	Booleano
P_AfternoonTime	Hora del día en la que ya no entra luz directa	11:00	Hora española
P_CloseTime	Hora a la que cierra la oficina o de revisión de seguridad	18:00	Hora española
P_CO2High	Nivel de CO2 alto	900	ppm
P_CO2Low	Nivel de CO2 aceptable	600	ppm
P_CO2Max	Nivel de CO2 peligroso	1500	ppm
P_LxHigh	Límite superior de la iluminación	650	Lx
P_LxInc	Incremento de los paneles LED tomando como base la potencia máxima	5	%
P_LxLow	Límite inferior de la iluminación	450	Lx
P_LxOn	Potencia por defecto para encendido de los paneles LED tomando como base la potencia máxima	80	%
P_MorningTime	Hora del día en la que podría entrar luz directa	7:00	Hora española
P_THigh	Límite superior de temperatura para encender al aire acondicionado	26	°C
P_TLow	Límite inferior de temperatura para encender al aire acondicionado	18	°C
P_TOn1	Temperatura encendido por baja temperatura (invierno)	25	°C
P_TOn2	Temperatura encendido por alta temperatura (verano)	23	°C
P_TOpt	Temperatura óptima	24	°C

## 10.7. Señales del sistema

Tabla 12 Lista de señales

Código	Descripción	Función	Origen	Destino
S_ABBottom	Estor máximo despliegue	F_AB1, F_M5	Axis Gear	Coordinador
S_ABDown	Subida del estor automático	F_AB1	Coordinador	Axis Gear
S_ABDown_M	Subida del estor con el interruptor	F_M5	Interruptor	Coordinador
S_ABTop	Estor máximo recogido	F_AB2,F_M6	Axis Gear	Coordinador
S_ABUp	Bajada del estor automático	F_AB2	Coordinador	Axis Gear
S_ABUp_M	Bajada del estor con el interruptor	F_M6	Interruptor	Coordinador
S_ACOff	Apagado del aire acondicionado	F_IT3, F_IT4	Coordinador	Termostato inteligente
S_ACOOn_XX	Encendido del aire acondicionado a la temperatura (XX °C)	F_IT1, F_IT2	Coordinador	Termostato inteligente
S_ACW	Alarma al PC de control para indicar que el aire esta encendido y las ventanas abiertas	F_IT5	Coordinador	PC de control
S_CO2M_XXXX	Medida del nivel de CO2 (XXXX ppm)	F_S2, F_V1, F_V2	Sensor CO2	Coordinador
S_LEDDown_M	Atenuación en la potencia de los paneles LED de manera manual	F_M3	Interruptor	Coordinador
S_LEDDown_XX	Atenuación en XX la potencia de los paneles LED (XX % sobre el máximo)	F_L3	Coordinador	Paneles LED
S_LEDOff	Apagado paneles LED automáticamente	F_L2	Coordinador	Paneles LED
S_LEDOff_M	Apagado paneles LED manualmente	F_M2	Interruptor	Coordinador
S_LEDOn	Encendido paneles LED automáticamente	F_L1	Coordinador	Paneles LED
S_LEDOn_M	Encendido paneles LED manualmente	F_M1	Interruptor	Coordinador
S_LEDUp_M	Aumento en la potencia de los paneles LED de manera manual	F_M4	Interruptor	Coordinador
S_LEDUp_XX	Aumento en XX la potencia de los paneles LED (XX % sobre el máximo)	F_L4	Coordinador	Paneles LED
S_LxM_XXXX	Medida del nivel de iluminación (XXXX lx)	F_L3, F_L4	Sensor iluminación	Coordinador
S_ModAutAB	Señal interna para poner el estor automático en modo Automático (On/ Off)	F_M5, F_M6, F_M7	Coordinador	Coordinador
S_ModAutLED	Señal interna para poner el sistema de iluminación en modo Automático (On/ Off)	F_M3, F_M4,F_M7	Coordinador	Coordinador
S_OpenM	Ventana abierta	F_IT1, F_IT2,F_IT5,	Sensor apertura	Coordinador

S_PreM	Presencia detectada	F_S1 F_IT1, F_IT2,F_IT3, F_L1, F_L2, F_M7	Sensor presencia	Coordinador
--------	---------------------	---	---------------------	-------------

---

## 10.8. Instalación

Siguiendo el siguiente plano y las simulaciones en 3D de la sala se podrán instalar todos los dispositivos en su ubicación correcta.

### 10.8.1. Alzado

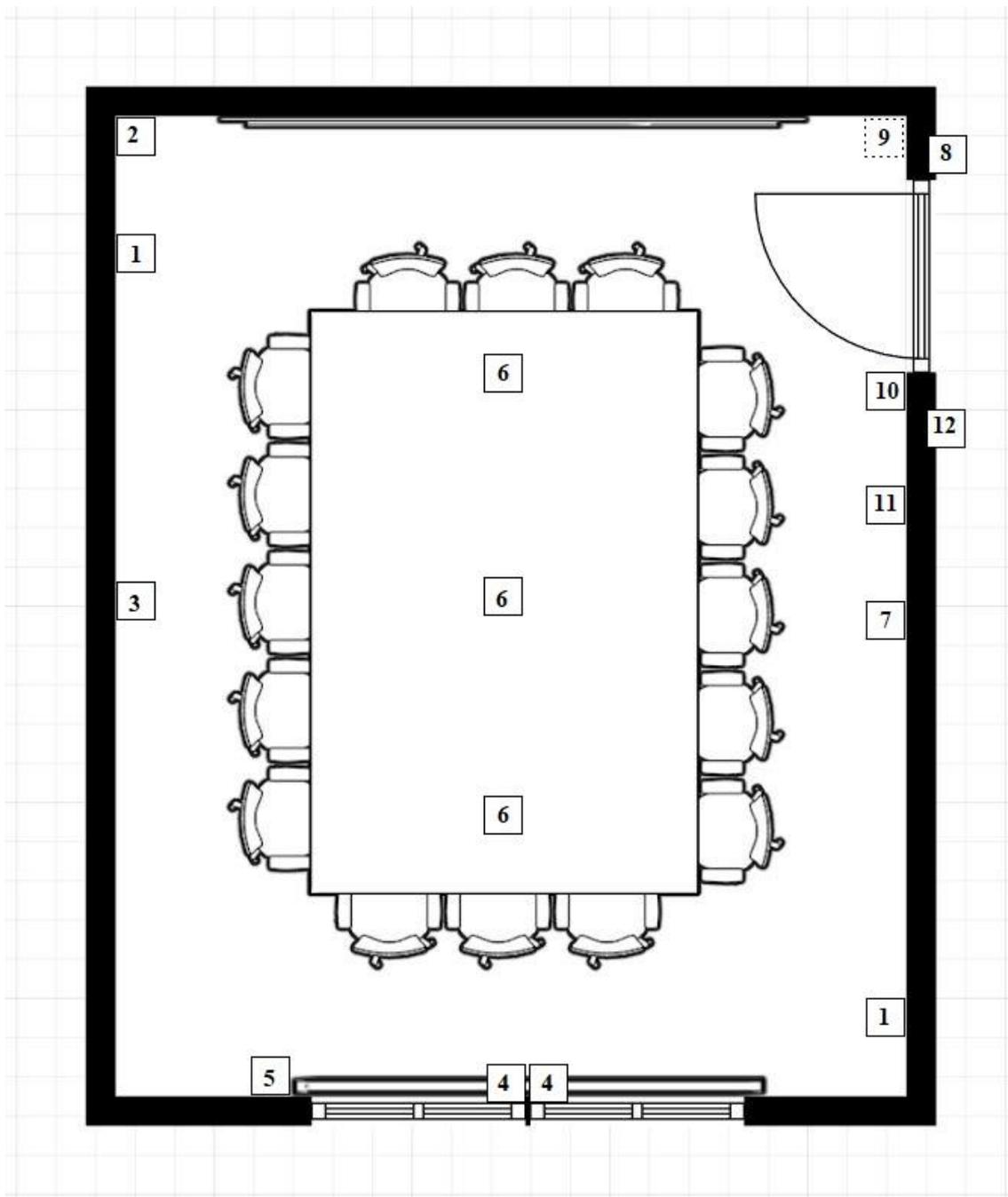


Figura 38 Disposición elementos

Tabla 13 Leyenda elementos

Código	Descripción
1	Sensor luminosidad/temperatura
2	Sensor de presencia
3	Sensor de CO2
4	Sensor apertura
5	Actuador estor
6	Panel LED regulable
7	Sirena
8	Termostato inteligente
9	Conector On / Off
10	Interruptor regulador
11	Coordinador / enrutador
12	Conector a red IP

(6) Paneles LED sustituyendo los paneles fluorescentes actuales.

(8) El termostato inteligente sustituirá al actual en su misma posición.

(9) El conector On/Off irá oculto junto con los cables de la ventilación en el falso techo.

(10) El interruptor con regulador sustituirá el actual interruptor de la sala.

#### 10.8.2. Vista interior Sur-Oeste

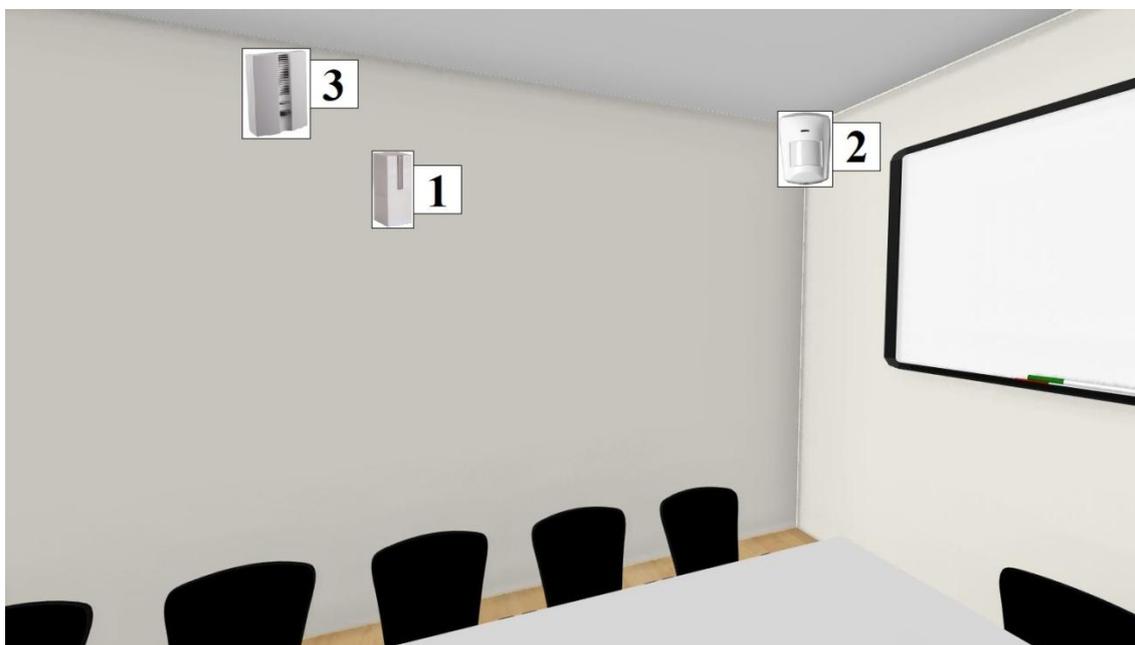


Figura 39 Vista Sur-Oeste

10.8.3. Vista interior Este



Figura 40 Vista Este

10.8.4. Vista interior Norte

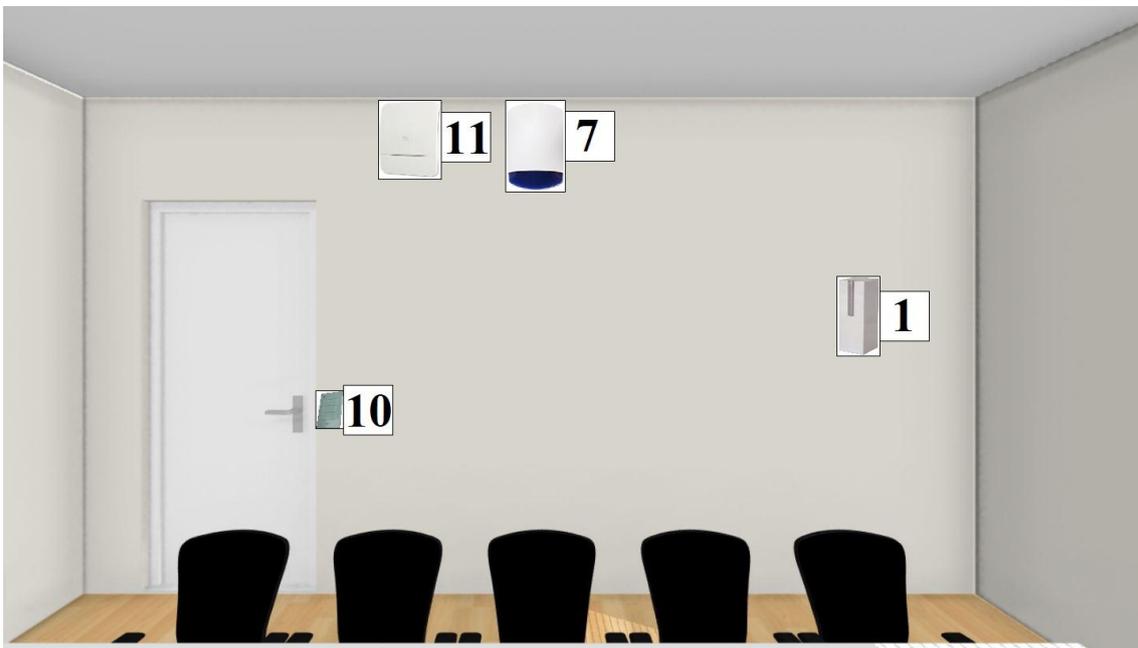


Figura 41 Vista Norte

**10.8.5. Vista exterior de la sala**

Figura 42 Vista Exterior

## 10.9. Programación

El controlador WAC50 cuenta con el software de control “Control Scope Manager” de Daintree para la programación de la instalación. En esta sección veremos un diagrama de bloques con las señales del sistema y una serie de Redes de Petri que muestran cómo debe programarse los distintos elementos del sistema.

### 10.9.1. Configuración del interruptor

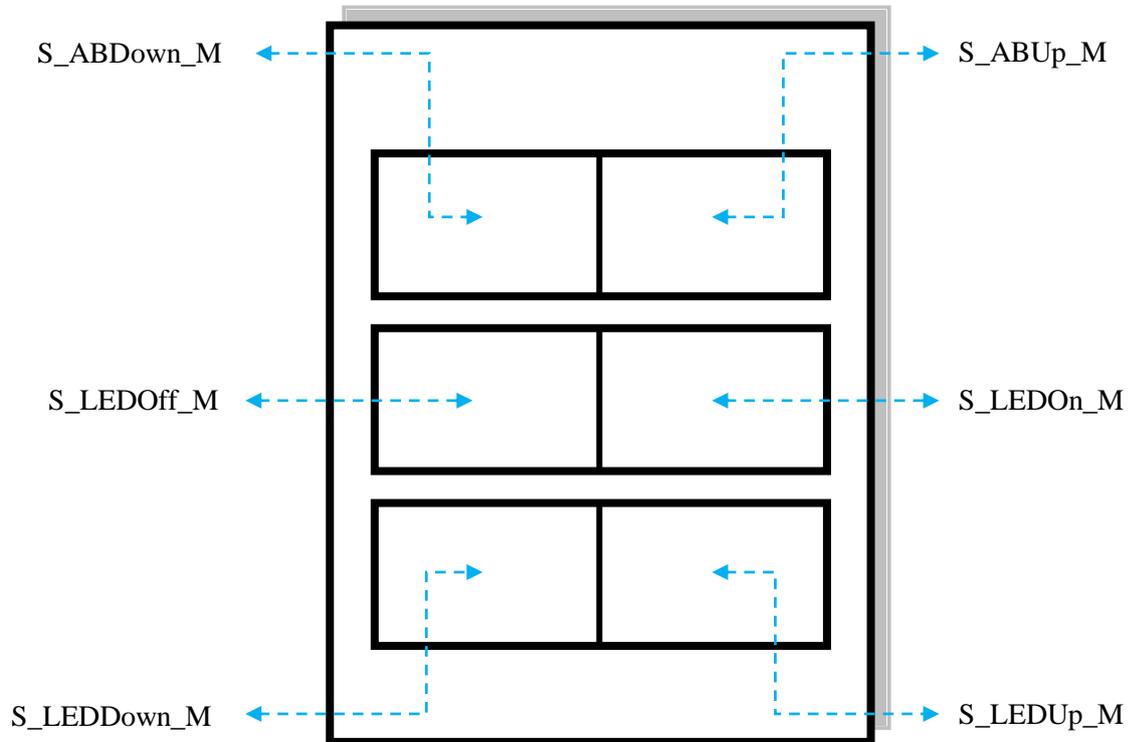
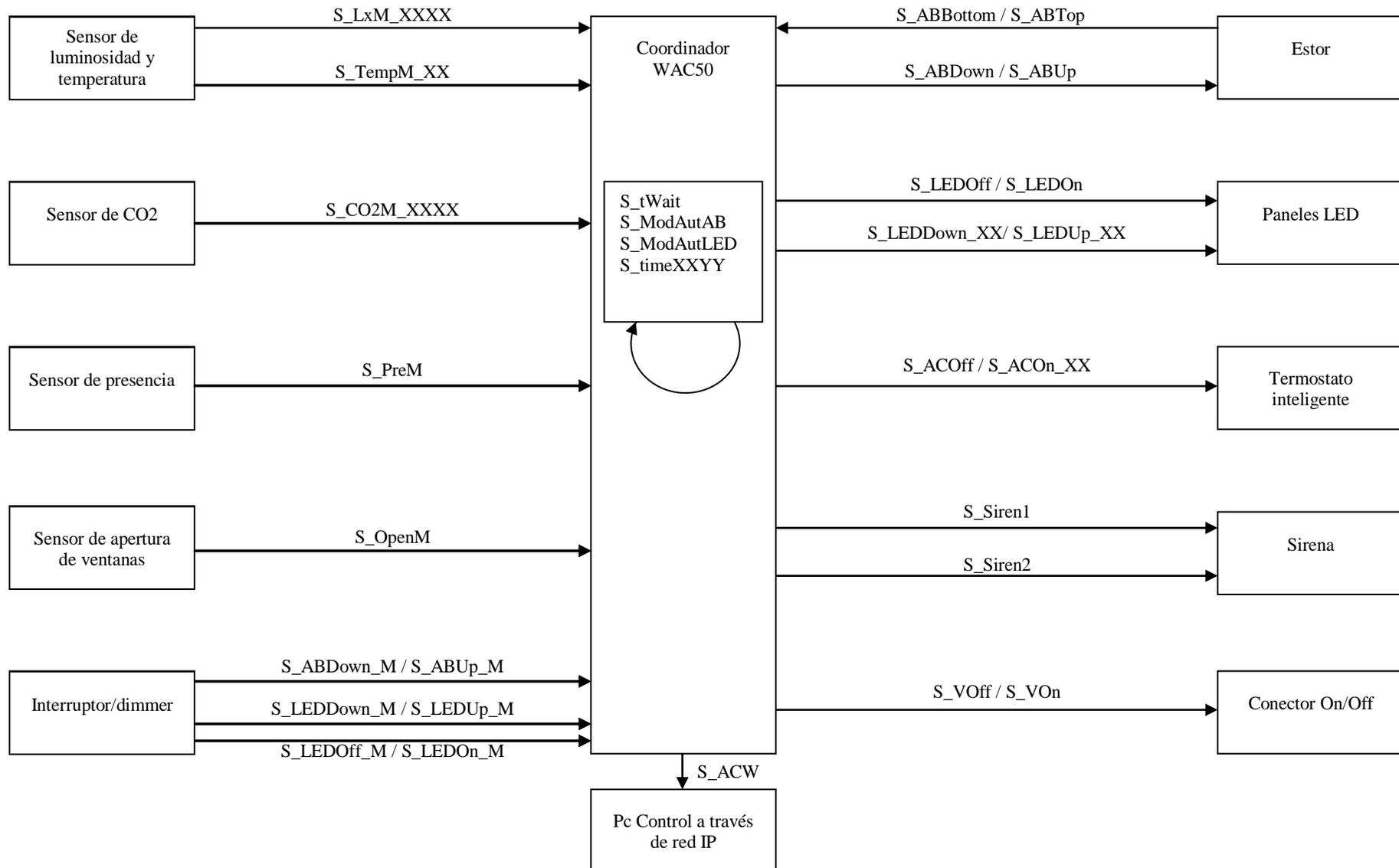


Figura 43 Configuración de los botones del interruptor

## 10.9.2. Diagrama bloques del sistema



10.9.3. Redes de Petri del sistema

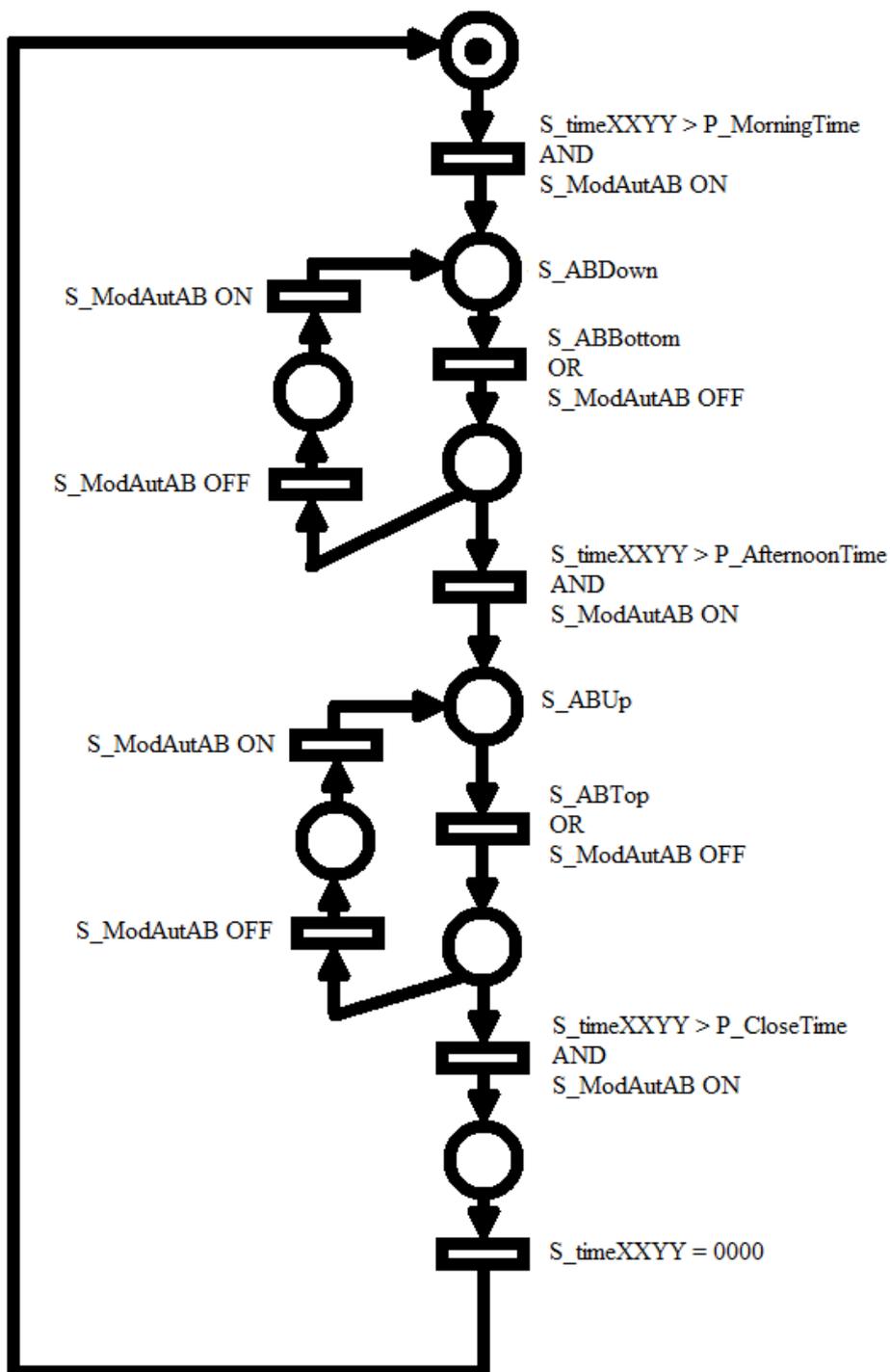


Figura 44 Estor en modo automático

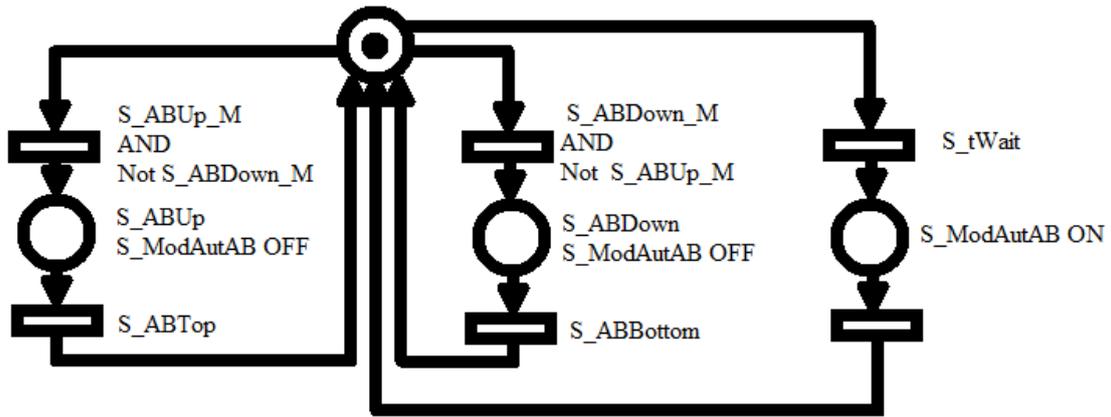


Figura 45 Estor en modo manual

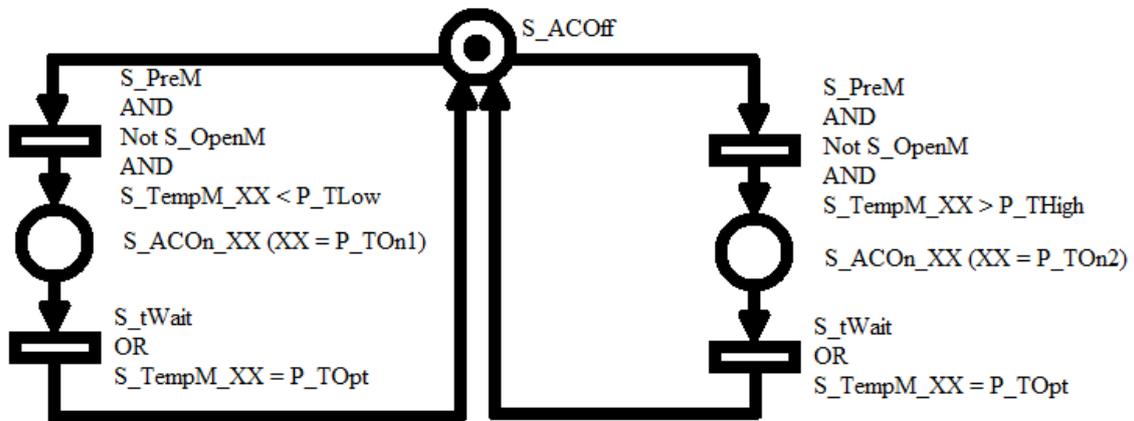


Figura 46 Termostato Inteligente

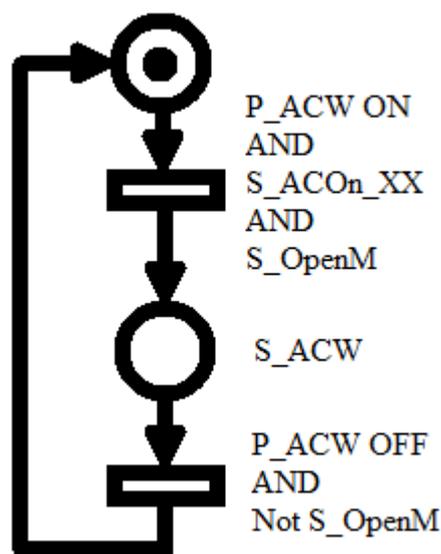


Figura 47 Alerta aire acondicionado encendido y ventana abierta

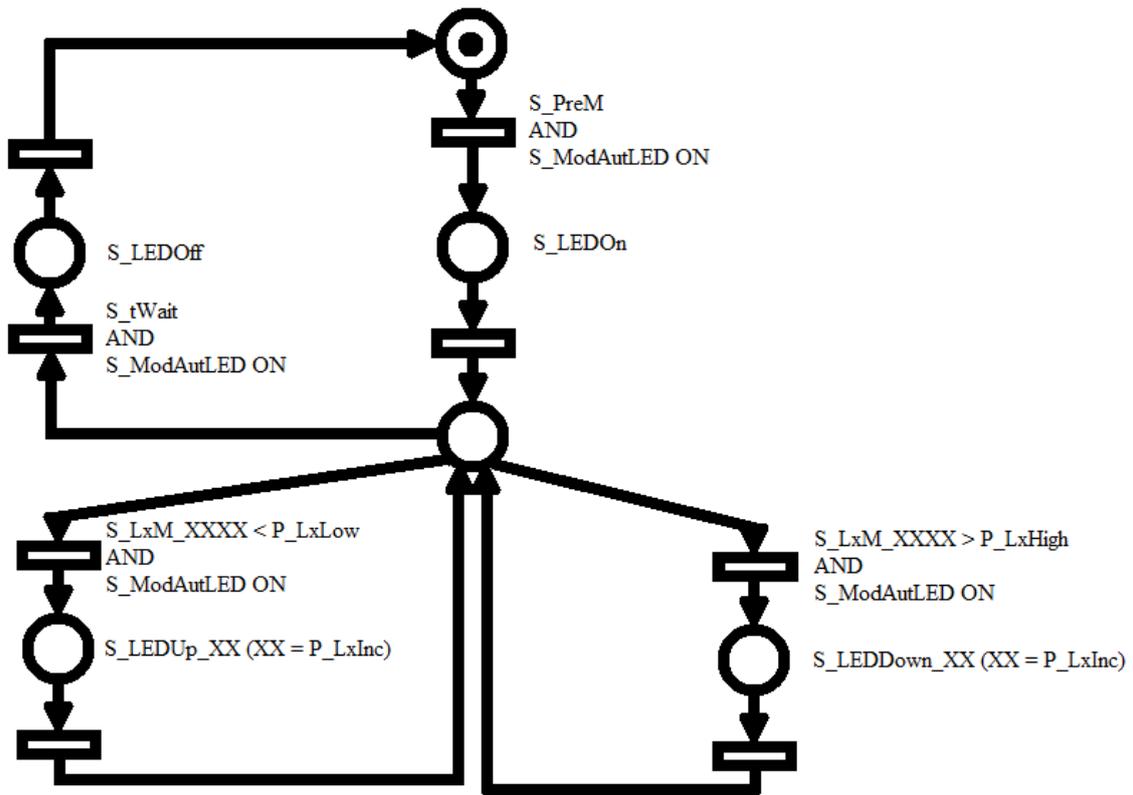


Figura 48 Paneles LED en modo automático

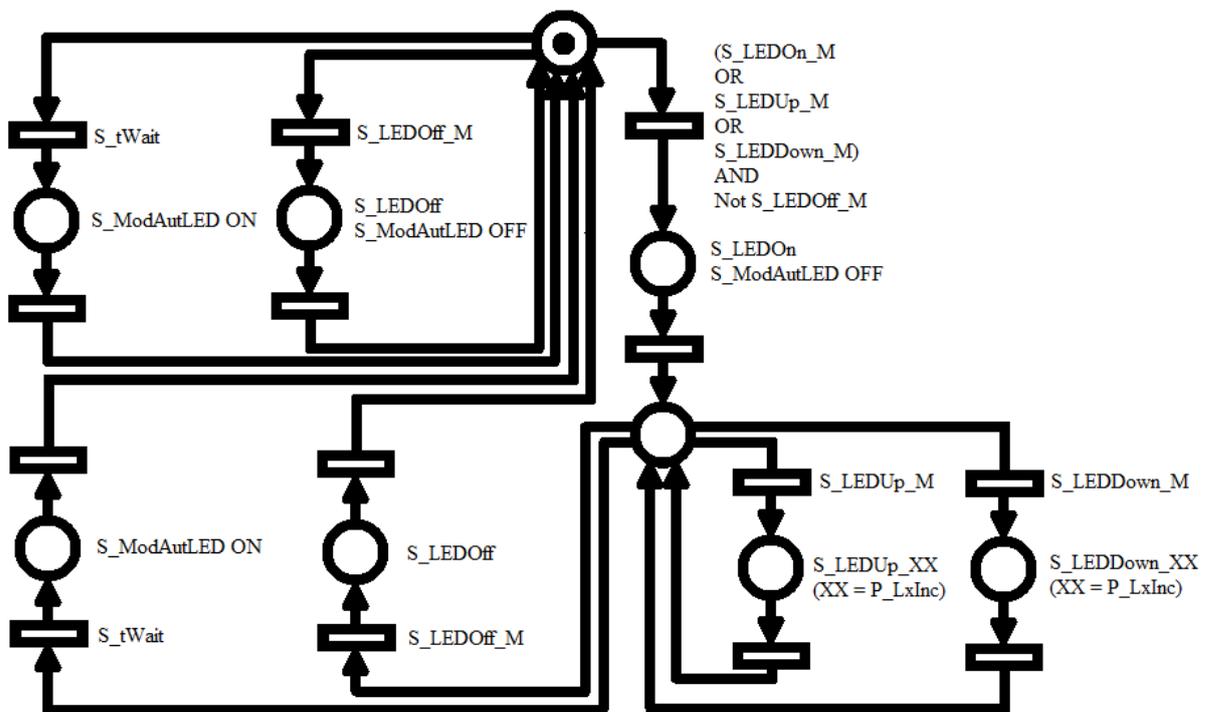


Figura 49 Paneles LED en modo manual

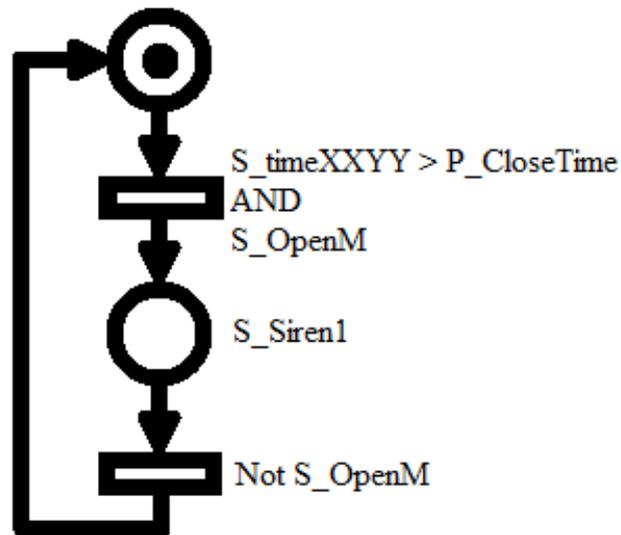


Figura 50 Sirena de ventana abierta al cierre de la oficina

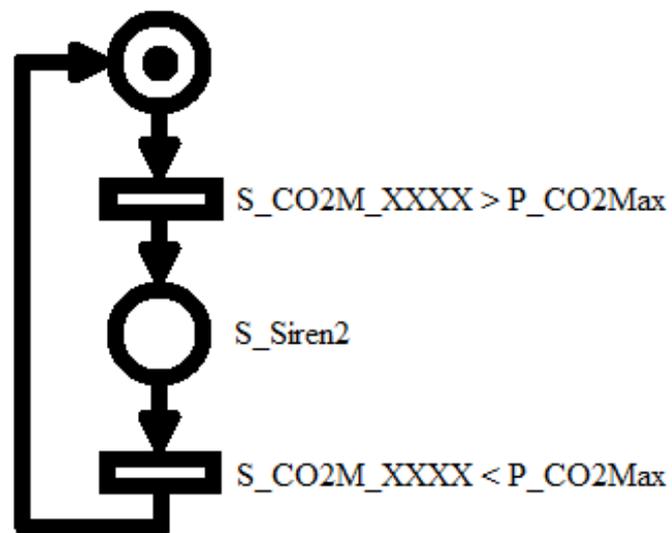


Figura 51 Sirena CO2 máximo permitido

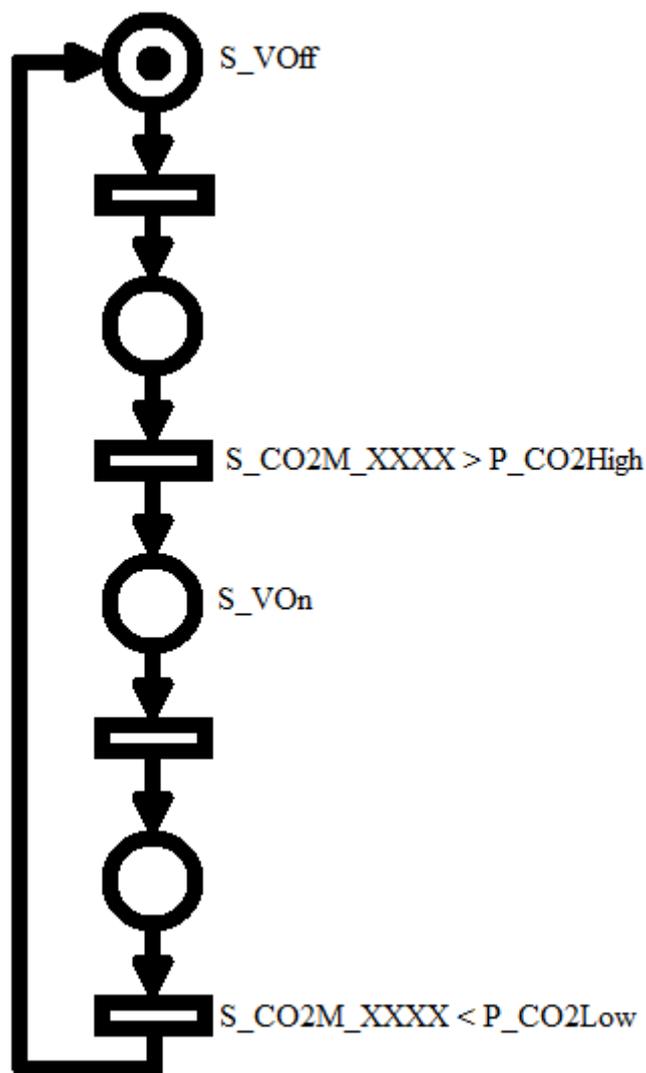


Figura 52 Sistema de ventilación automático

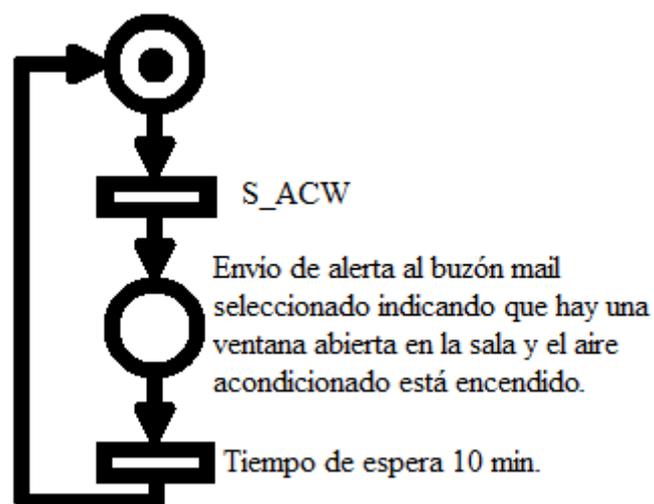
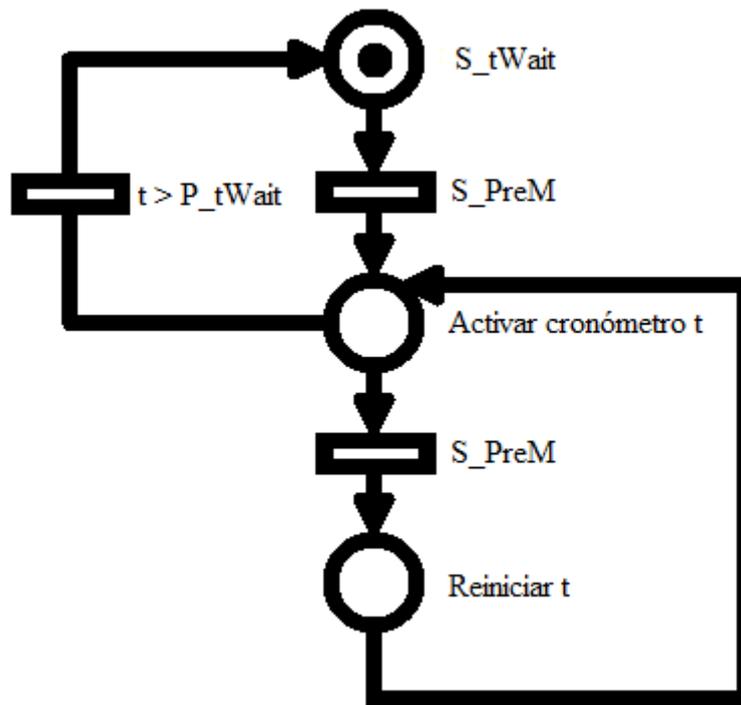


Figura 53 Envío mail por ventana abierta y aire acondicionado

Figura 54 Sistema disparo  $S\_tWait$

# 11. Conclusiones y desarrollos futuros

---

**D**el estudio realizado de los diferentes tipos de tecnologías, se puede concluir que hay una gran variedad de tecnologías disponibles y dependiendo de las características de cada una de ellas, se puede usar una u otra. Por ejemplo una oficina pequeña podría estar controlada por X-10 reduciendo mucho el coste de la inversión al ser la tecnología más barata y sus problemas de robustez no son apreciables en las distancias cortas. Y, por el contrario, una empresa que requiera de medidas precisas y rápidas debería usar una tecnología de cableado propio como lo es KNX.

En el caso particular de oficinas en las que se trabaja con pantallas de visualización de datos, las tecnologías inalámbricas, en particular Zigbee, ofrecen una solución de compromiso reduciendo costes a cambio de no tener que tomar medidas en tiempo real de las instalaciones. Zigbee como hemos podido observar nos ofrece grandes soluciones sin tener que hacer obras y sistemas robustos a fallos con su función multisalto.

Por último, destacar que, gracias a las soluciones propuestas, se podría conseguir mejoras de seguridad, confort, salud y eficiencia en las instalaciones de Everis Center Sevilla, reduciendo gastos y aumentando el rendimiento de los trabajadores.

En desarrollos futuros se podría ampliar el análisis a otras tecnologías como puede ser LonWorks o Z-Wave, grandes competidores de KNX y Zigbee respectivamente. Por otra parte se podrían realizar ensayos para verificar los alcances y rendimientos de cada una de las tecnologías y poder hacer así una comparación más exhaustiva. Por último se podría implementar la solución en las instalaciones y configurar el sistema para que pudiese operar afinando parámetros para un desempeño óptimo.



## 12. Referencias

- [1] Real Academia Española de la Lengua [RAE] 2020. Domótico, ca. Disponible en: <https://dle.rae.es/dom%C3%B3tico>
- [2] Asociación española de domótica e inmótica (CEDOM). Qué es Inmótica. Disponible en: <http://www.cedom.es/sobre-domotica/que-es-inmotica>
- [3] J. M. Maestre. Edición 2015. Domótica para ingenieros. Sevilla: Grupo Paraninfo.
- [4] Casas digitales. Escrito el 17 de noviembre de 2018. Qué es la domótica. Disponible en: <https://www.casasdigitales.com/que-es-la-domotica/>
- [5] Casas digitales. Escrito el 7 de febrero de 2019. ¿Qué es la domótica? Disponible en: <https://www.casasdigitales.com/definicion-de-domotica/>
- [6] H. Martín y F. Sáez (2006). Domótica: Un enfoque sociotécnico. Madrid: Fundación Rogelio Segovia para el Desarrollo de las Telecomunicaciones.
- [7] Domoticasistemas. Sistema domótico X10. Disponible en: <https://domoticasistemas.com/tienda/38-domotica-x10/>
- [8] KNX Association. (2020). Disponible en: <https://www.knx.org/knx-en/for-professionals/index.php>
- [9] Hogartec. Los modos de configuración del estándar KNX. Disponible en: <https://hogartec.es/hogartec2/los-modos-de-configuracion-del-estandar-knx/>
- [10] Christophe Parthoens. Actualización del 21 de abril de 2020. Segmento KNX. Disponible en: <https://support.knx.org/hc/es/articles/115003186265-Segmento>
- [11] Zigbee Alliance. La introducción de soluciones destacadas, Zigbee. Disponible en: <https://zigbeealliance.org/es/>
- [12] Jean-Philippe Vasseur, Adam Dunkels, in Interconnecting Smart Objects with IP, 2010. ZigBee Node Types. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/topics/computer-science/zigbee-end-device>
- [13] Zigbee Alliance (2020). ¿Qué es Zigbee? Disponible en: <https://zigbeealliance.org/es/soluci%C3%B3n/Zigbee/>
- [14] J. M. Moreno y D. Ruiz. Junio de 2007. Informe Técnico: Protocolo ZigBee (IEEE 802.15.4). Disponible en: [https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/1109/7/Informe\\_ZigBee.pdf](https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/1109/7/Informe_ZigBee.pdf)
- [15] [capas Zigbee mac y phy] IEEE 802.15.4 Standard: Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Low-Rate Wireless Personal Area Networks (LR-WPANS), 2006.
- [16] Anexo IV del Real Decreto 486/1997 de 14 de abril. BOE. Disponible en: [https://www.boe.es/diario\\_boe/txt.php?id=BOE-A-1997-8669](https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-1997-8669)
- [17] Anexo III del Real Decreto 486/1997 de 14 de abril. BOE. Disponible en: <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-1997-8669>

- [18] Instituto Sindical de Trabajo Ambiente y Salud (istas). Microclima: Temperatura, humedad y ventilación en los locales de trabajo. Disponible en: <https://istas.net/salud-laboral/peligros-y-riesgos-laborales/microclima-temperatura-humedad-y-ventilacion-en-los>
- [19] Astrel Group (2020). TL – ZigBee Home Automation Temperature and light sensor. Disponible en: <https://www.astrelgroup.com/en/products/tl-zigbee-home-automation-temperature-and-light-sensor/>
- [20] Climax. Actualizado el 11 de julio de 2016. IR-9ZBS Brochure. Disponible en: <https://www.climax.com.tw/new/ir9zb.php>
- [21] Climax. Actualizado el 17 de mayo de 2017.CO2-1ZBS Brochure. Disponible en: <https://www.climax.com.tw/new/co2-1zb.php>
- [22] Zigbee Alliance. Actualizado el 23 de septiembre de 2014. Wireless Contact Sensor (MCT-340 SMA). Disponible en: [https://zigbeealliance.org/zigbee\\_products/wireless-contact-sensor-mct-340-sma/](https://zigbeealliance.org/zigbee_products/wireless-contact-sensor-mct-340-sma/)
- [23] Zigbee Alliance. Actualizado el 5 de julio de 2019. Axis Gear. Disponible en: [https://zigbeealliance.org/zigbee\\_products/axis-gear/](https://zigbeealliance.org/zigbee_products/axis-gear/)
- [24] Lampamanía (2020 ). Immax NEO - Panel LED regulable LED/38W/230V ZigBee 59,5x59,5 cm. Disponible en: <https://www.lampamania.es/immax-neo-panel-led-regulable-led-38w-230v-zigbee-1/>
- [25] Climax. Actualizado el 11 de marzo de 2019. BX-23ZBS Brochure. Disponible en: <https://www.climax.com.tw/new/bx23zb.php>
- [26] Climax. Actualizado el 25 de junio de 2018. TMST-2ZBS/TMST-2B-ZBS Series Brochure. Disponible en: <https://www.climax.com.tw/new/tmst-2zbs.php>
- [27] Zigbee Alliance. Actualizado el 3 de junio de 2016. Smart Socket (European Standard). Disponible en: [https://zigbeealliance.org/zigbee\\_products/smart-socket-european-standard/](https://zigbeealliance.org/zigbee_products/smart-socket-european-standard/)
- [28] Zigbee Alliance. Actualizado el 2 de abril de 2010. Interruptor de atenuación de encendido / apagado (ILS-SE21J-Z). Disponible en: [https://zigbeealliance.org/es/zigbee\\_products/on-off-dimming-switch-ils-se21j-z/](https://zigbeealliance.org/es/zigbee_products/on-off-dimming-switch-ils-se21j-z/)
- [29] GE Current, a Daintree company. Visitado 20 de mayo de 2020. Daintree Enterprise Wireless Solution. Disponible en: <https://products.gecurrent.com/controls-and-sensors/daintree-enterprise-wireless-controls>
- [30] Zigbee Alliance. Actualizado el 3 de abril de 2013. Controlador de área inalámbrico (WAC50). Disponible en: [https://zigbeealliance.org/es/zigbee\\_products/controlador-de-%C3%A1rea-inal%C3%A1mbrico-wac50/](https://zigbeealliance.org/es/zigbee_products/controlador-de-%C3%A1rea-inal%C3%A1mbrico-wac50/)
- [31] Zigbee Alliance. Actualizado el 3 de abril de 2013. ELKO SmartHUB. Disponible en: [https://zigbeealliance.org/es/zigbee\\_products/elko-smarthub/](https://zigbeealliance.org/es/zigbee_products/elko-smarthub/)