

## Treball final de grau

**Estudi:** Grau en Enginyeria en Tecnologies Industrials

**Títol:** Implementació i optimització energètica d'un sistema BMS

**Document:** 1. Memòria i Annexos

**Alumne:** Jordi Brias Colls

**Tutor:** Joan Colomer i Llinàs

**Departament:** Enginyeria elèctrica, electrònica i automàtica

**Àrea:** Enginyeria de sistemes i automàtica

**Convocatòria (mes/any):** Juny 2022



# ÍNDEX

Índex .....	i
Índex de figures .....	iv
Índex de taules .....	v
1 Introducció .....	7
1.1 Antecedents .....	7
1.1.1 Peticionari .....	7
1.1.2 Necessitat .....	7
1.2 Objecte .....	7
1.3 Requeriments i abast .....	8
1.3.1 Requeriments.....	8
1.3.2 Abast .....	9
2 Introducció al Building Management System.....	11
2.1 Què és un sistema BMS?.....	11
2.2 Arquitectura de la solució implementada.....	12
3 Descripció de l'edifici.....	15
3.1 Descripció general .....	15
3.2 Zones a automatitzar .....	15
3.3 Horari de funcionament.....	16
3.4 Identificació dels elements .....	16
3.5 Paràmetres de confort.....	17
4 Subsistema KNX .....	19
4.1 Introducció al sistema KNX .....	19

4.1.1	Mètodes de comunicació .....	19
4.1.2	Topologia i segmentació .....	20
4.1.3	Adreces físiques .....	22
4.1.4	Objectes de comunicació .....	23
4.1.5	Adreces de grup.....	23
4.1.6	Banderes .....	24
4.2	Dispositius KNX instal·lats .....	24
4.2.1	Font d'alimentació KNX.....	24
4.2.2	Pantalla tàctil.....	25
4.2.3	Sensor multiparamètric .....	27
4.2.4	Sensor infraroig de presència .....	28
4.2.5	Actuador de cortines .....	28
4.2.6	Interfície de comunicació IP .....	28
4.2.7	Targeta Beckhoff per comunicació KNX.....	29
4.3	Distribució i identificació dels dispositius KNX a l'edifici .....	29
4.4	Integració de KNX al sistema BMS .....	30
4.4.1	Arquitectura .....	30
4.4.2	Tipus de comunicació .....	31
4.4.3	Tipologia i segmentació .....	31
4.4.4	Estructura de les adreces de grup.....	31
4.4.5	Metodologia de comunicació amb el PLC central.....	32
5	Subsistema d'il·luminació.....	33
5.1	Introducció al protocol DALI .....	33
5.1.1	Estàndard IEC 62386.....	33
5.2	Integració de DALI al sistema BMS.....	34
5.2.1	Configuració dels controladors DALI .....	34
6	Subsistema de climatització .....	35
6.1	Funcionament general del sistema.....	35

6.2	Equips a automatitzar .....	36
6.3	Funcionament de la refredadora .....	36
6.4	Funcionament de les UTA.....	37
6.5	Funcionament dels fancoils .....	41
6.5.1	Fancoils amb vàlvula regulable .....	43
6.5.2	Fancoils amb vàlvula tot o res.....	44
7	Gestió automàtica de l'edifici.....	47
7.1	Modes de funcionament de les sales .....	47
7.1.1	Mode repòs (mode 3).....	47
7.1.2	Mode Pre-repòs (mode 2) .....	48
7.1.3	Mode de treball (mode 1) .....	48
7.1.4	Mode Pre-reunió (mode 4) .....	48
7.1.5	Lògica de pas entre modes de funcionament.....	49
7.2	Mode ECO .....	49
7.3	Control de les cortines en funció del Sol .....	50
7.4	Accions periòdiques automàtiques.....	51
7.5	Paràmetres generals de l'edifici .....	51
7.6	Paràmetres específics per cada sala.....	53
8	Control i monitoratge.....	55
8.1	Autòmat programable.....	55
8.1.1	Paquets de funcions necessaris.....	56
8.1.2	Estructura general del programa de control .....	56
8.1.3	Variables i funcions pel control i comunicació KNX .....	57
8.1.4	Variables i funcions pel control i comunicació DALI.....	59
8.1.5	Variables i funcions pel control de la climatització.....	61
8.2	Sistema SCADA.....	62
8.2.1	Consciència de situació .....	62
8.2.2	Interfície gràfica .....	63

9	Posada en funcionament.....	69
10	Resum del pressupost.....	71
11	Conclusions i treballs futurs.....	73
12	Relació de documents.....	75
13	Referències.....	77
14	Glossari.....	79
Annex A	Assignació d'entrades i sortides del PLC.....	81
Annex B	Justificació de preus.....	85

## ÍNDEX DE FIGURES

Figura 1:	Topologies de cablejat. A, topologia en estrella. B, topologia de bus	12
Figura 2:	Arquitectura control BMS.....	13
Figura 3:	Línia KNX TP.....	21
Figura 4:	Una àrea KNX TP.....	21
Figura 5:	Acoblament de varies àrees KNX TP.....	22
Figura 6:	Parts de l'estàndard IEC 62386.....	34
Figura 7:	Càlcul de la posició del Sol.....	50
Figura 8:	Capçalera de l'SCADA.....	63
Figura 9:	Objecte de SCADA pel control d'una sala.....	64
Figura 10:	Modificació de paràmetres des de SCADA.....	65
Figura 11:	Pantalla pel control de la planta baixa a SCADA.....	65
Figura 12:	Pantalla d'alarmes actives a SCADA.....	66
Figura 13:	Pantalla d'analitzador de procés a SCADA.....	67
Figura 14:	Pantalla d'inici a SCADA.....	67

## ÍNDEX DE TAULES

Taula 1: Sales de l'edifici a automatitzar.....	15
Taula 2: Identificadors d'elements .....	16
Taula 3: Condicions tèrmiques interiors de disseny. Taula 1, ap. 1.1.4.1 del RITE .....	17
Taula 4: Paràmetres de confort tèrmic considerats.....	17
Taula 5: Distribució de bits en una adreça física KNX .....	22
Taula 6: Distribució de bits en una adreça de grup KNX.....	23
Taula 7: Significat de les banderes KNX.....	24
Taula 8: Funcionalitats programades a la pantalla KNX .....	25
Taula 9: Estat del LED del sensor multiparamètric .....	27
Taula 10: Informació dels dispositius KNX a instal·lar .....	29
Taula 11: Dispositius KNX instal·lats .....	30
Taula 12: Paràmetres configurats als dispositius DALI .....	34
Taula 13: Variables pel control de la refredadora .....	37
Taula 14: Senyals d'entrada i sortida de la refredadora.....	37
Taula 15: Senyals d'entrada i sortida de la UTA.....	39
Taula 16: Variables pel control de la UTA.....	41
Taula 17: Variables genèriques pel control dels fancoils .....	42
Taula 18: Variables pel control dels fancoils amb vàlvula regulable.....	43
Taula 19: Control del ventilador dels fancoils amb vàlvula regulable .....	43
Taula 20: Senyals d'entrada i sortida pels fancoils de vàlvula regulable.....	44
Taula 21: Variables pel control dels fancoils amb vàlvula tot o res .....	44
Taula 22: Senyals d'entrada i sortida dels fancoils amb vàlvula tot o res.....	45

Taula 23: Paràmetres generals de l'edifici .....	51
Taula 24: Paràmetres específics per cada sala .....	53
Taula 25: Paquets de funcions necessaris pel PLC .....	56
Taula 26: Estructura de dades UDT_EIB per l'intercanvi de telegrams KNX..	57
Taula 27: Estructura UDT_DSP pel control de la pantalla tàctil KNX .....	58
Taula 28: Estructura UDT_MPS per la recepció de dades del sensor multiparamètric KNX.....	58
Taula 29: Estructura UDT_PRS per la recepció de dades del sensor infraroig KNX.....	58
Taula 30: Estructura de dades pel control dels dispositius DALI.....	60
Taula 31: Variables a SCADA per a senyals digitals.....	61
Taula 32: Classificació de les alarmes a SCADA.....	63
Taula 33: Adreça IP dels dispositius.....	69
Taula 34: Taula d'assignació d'entrades i sortides del PLC .....	81



# 1 INTRODUCCIÓ

## 1.1 Antecedents

### 1.1.1 Peticionari

El peticionari del projecte és un client d'Aplicacions Elèctriques S.A.

### 1.1.2 Necessitat

Implementació d'un sistema BMS o *Building Management System* a les instal·lacions del client per tal de gestionar-ne el seu funcionament de forma intel·ligent.

## 1.2 Objecte

L'objecte del present projecte és el de dissenyar i implementar un sistema BMS o *Building Management System*. Consisteix en un sistema de control centralitzat dels diferents sistemes que integra l'edifici, des dels equips que intervenen en la seva climatització, passant per la il·luminació intel·ligent, fins al control de les persianes per regular la incidència solar al seu interior. També es monitorarà la qualitat de l'ambient a cada una de les estances instal·lant una sèrie de sensors encarregats de captar diversos paràmetres de l'aire.

D'altra banda, es dissenyaran dos mètodes de monitoratge i control. El primer estarà enfocat a la interacció local i limitada amb el sistema de control a nivell de camp, és a dir, des de cada una de les estances. Per això es col·locaran panells tàctils i se'ls programarà una interfície per tal d'interactuar-hi. El segon mètode de monitoratge serà enfocat a un nivell de supervisió centralitzat, per això es dissenyarà un sistema SCADA des d'on es podran modificar i controlar paràmetres tant específics com generals de l'edifici.

Per fer-ho, caldrà seguir una sèrie de fases, des de la recerca de les diferents tecnologies a implementar, passant pel disseny i aplicació de la solució i acabant amb la posada en funcionament i posterior seguiment del sistema a les instal·lacions del client.

L'objectiu d'implementar el BMS és atorgar a l'immoble les qualitats d'una infraestructura intel·ligent, tals com l'optimització energètica, l'augment de la seguretat i

confort dels seus usuaris així com la seva productivitat i la facilitat en la ràpida detecció de les incidències per realitzar un manteniment preventiu i eficient.

El fet que la minimització del consum energètic i la maximització del confort dels usuaris siguin situacions incompatibles, converteix aquesta tasca en un problema multiobjectiu sense una solució que optimitzi cada una de les funcions de cost de forma simultània. Per aquest motiu, el seu disseny passa per la cerca d'un punt de funcionament que respecti tant als usuaris com a la factura energètica de l'edifici.

### **1.3 Requeriments i abast**

#### **1.3.1 Requeriments**

La solució dissenyada ha de seguir l'objectiu de minimitzar el consum energètic de l'edifici tot mantenint el confort tèrmic i visual dels seus usuaris. Cal modificar el comportament dels diferents equips presents a cada sala per tal d'adaptar el seu funcionament a les condicions ambientals i d'activitat en cada moment.

També requereix la implementació d'un mode ecològic d'activació manual, que tingui el control total sobre la sala i en modifiqui els paràmetres per tal de buscar un major estalvi energètic sacrificant el nivell de confort.

L'edifici ha de quedar dividit en àrees definides pel projecte de climatització. Cada àrea estarà formada per una unitat refredadora i totes les unitats climatitzadores que hi estiguin connectades via la xarxa hidràulica. Així, cada àrea ha de disposar d'una unitat de control i parametrització independent.

El funcionament del sistema de climatització de cada àrea ha de diferir en funció de l'època de l'any. Així doncs, es distingiran dos modes de funcionament de la climatització: mode calefacció (o mode hivern) i mode refrigeració (o mode estiu).

La interacció entre usuari i sistema s'ha de poder fer mitjançant pantalles tàctils situades a cada una de les sales, o bé, de forma centralitzada des del sistema SCADA, des d'on es tindrà accés a la parametrització del sistema per tal de modificar-ne el comportament.

L'usuari final ha de poder tenir el control sobre els següents paràmetres de la sala on estigui situat:

- Consigna de temperatura.
- Encesa/Aturada de la climatització.
- Posició de les cortines o persianes.
- Regulació de la intensitat de la il·luminació.
- Activació/Desactivació del mode ECO.

- Informació sobre diferents paràmetres de qualitat de l'aire de la sala.

L'arquitectura del sistema s'haurà de dissenyar de tal forma que serveixi d'estàndard per a futures implementacions en obres noves. Caldrà definir estructures de control fàcilment reproduïbles i adaptables a altres projectes de la mateixa tipologia.

### 1.3.2 Abast

El present projecte s'ha realitzat d'acord amb uns requeriments ja acordats amb el client i exposats a l'apartat 1.3.1, així com un llistat de tecnologies i dispositius a integrar. A partir d'aquí, les tasques desenvolupades s'han dividit en tres fases.

La primera fase engloba les tasques de recerca i estudi de cada una de les tecnologies a integrar per tal d'entendre'n el funcionament en detall.

La segona fase del projecte ha consistit en establir una metodologia de comunicació entre cada un dels subsistemes de l'edifici, amb l'objectiu d'integrar-los en un mateix ecosistema de control i permetre el disseny d'una lògica que actuï de forma transversal.

La tercera fase ha consistit en dissenyar i implementar la lògica del sistema de control central de l'edifici tenint en compte els requeriments de funcionament establerts pel client, la normativa que hi és d'aplicació i els proòsits d'estalvi energètic, confort i seguretat que es busquen amb la implementació d'un sistema de gestió intel·ligent.

Finalment, la quarta i última etapa del projecte correspon al període de la posada en funcionament a casa del client i posterior seguiment per a l'ajustament i parametrització final dels equips.



## **2 INTRODUCCIÓ AL BUILDING MANAGEMENT SYSTEM**

### **2.1 Què és un sistema BMS?**

El Building Management System (BMS) o sistema de gestió intel·ligent d'edificis, és un sistema de control global que s'encarrega de la regulació i el control automàtic dels subsistemes elèctrics i mecànics presents a l'immoble. L'objectiu principal d'un sistema BMS és garantir la seguretat i confort en l'operativa de les instal·lacions, alhora que supervisa i optimitza l'ús i l'eficiència dels subsistemes per tal d'apropar-lo al concepte d'edifici intel·ligent.

Els sistemes de gestió d'edificis, cada cop són més usats en tota mena d'immobles, tant públics (hospitals, universitats i aeroports) com privats (oficines, fàbriques i hotels). Atès que els sistemes connectats a un BMS solen representar el 70% del consum energètic de l'edifici, és cada vegada més essencial tenir-los controlats i optimitzats de forma constant per atorgar a l'edifici de la sostenibilitat que la situació del planeta actual exigeix.

Un sistema BMS està format, d'una banda, pels components de hardware (sensors, actuadors i consoles de comandament) i, d'altra banda, pels programes informàtics de control basats en tecnologies de comunicació com DALI, Modbus, KNX, Bac-Net, etc.

En el sector dels sistemes BMS conviuen les solucions tancades, les quals proporcionen tot el hardware i el software junt, i les solucions obertes formades per elements basats en estàndards oberts que permeten la versatilitat d'integrar productes de diferents fabricants.

Els avantatges que ofereix un sistema BMS són varis, entre ells es pot mencionar la capacitat de control i supervisió centralitzada de tots els elements de l'edifici, la ràpida detecció de les incidències per realitzar un manteniment preventiu, l'augment de la productivitat del personal, l'enregistrament d'informació relacionada amb el consum per tal de millorar-ne l'eficiència energètica, i l'increment del confort i seguretat dels seus usuaris.

Les solucions BMS fan possible que l'edifici no només sigui més fàcil de mantenir, sinó que pugui arribar a autogestionar-se d'acord amb els paràmetres definits pels seus responsables, alertant-nos únicament quan hi hagi una incidència o calgui prendre alguna decisió important sobre el manteniment d'aquest.

## 2.2 Arquitectura de la solució implementada

La solució dissenyada en el present projecte passa per la utilització de diferents tecnologies i la integració de totes elles en un mateix ecosistema de control.

Cada una de les sales objecte del projecte, s'equiparà amb els sensors i actuadors que permetin automatitzar-ne el funcionament, així com panells tàctils per permetre la interacció entre usuari i sistema de control.

Pel que fa als elements domòtics encarregats de la interacció entre usuari i sistema, així com la sensòrica encarregada de captar informació de l'entorn, s'utilitzaran dispositius intel·ligents KNX. D'altra banda, pel control de la il·luminació, s'ha optat per la implementació de controladors que integrin l'estàndard de comunicació DALI.

Les tecnologies KNX i DALI estan basades en comunicacions per bus. En una instal·lació amb una topologia en estrella, es cableja cada un dels elements terminals de forma individual fins al quadre elèctric tal com es mostra a la Figura 1A. En canvi, en un sistema de bus els dispositius s'interconnecten mitjançant un sol cable de comunicació, tal com s'il·lustra a la Figura 1B. D'aquesta manera, se simplifica la xarxa de distribució de potència i senyal, així com el seu cost.

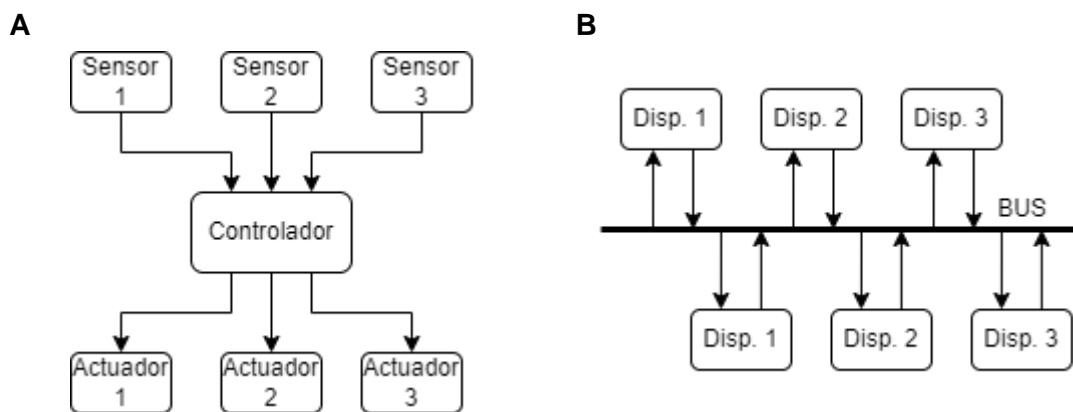


Figura 1: Topologies de cablejat. A, topologia en estrella. B, topologia de bus

Per tal de centralitzar la lògica de funcionament del sistema, s'ha escollit un PLC *Beckhoff* que integra les targetes de comunicació KNX i DALI, així com les diferents entrades i sortides analògiques i digitals per tal de controlar els diferents equips del sistema de climatització.

També s'ha configurat un servidor OPC-UA on es publicaran les variables de control per poder ser llegides i escrites des d'un sistema SCADA, a través del qual es farà una supervisió centralitzada de l'edifici.

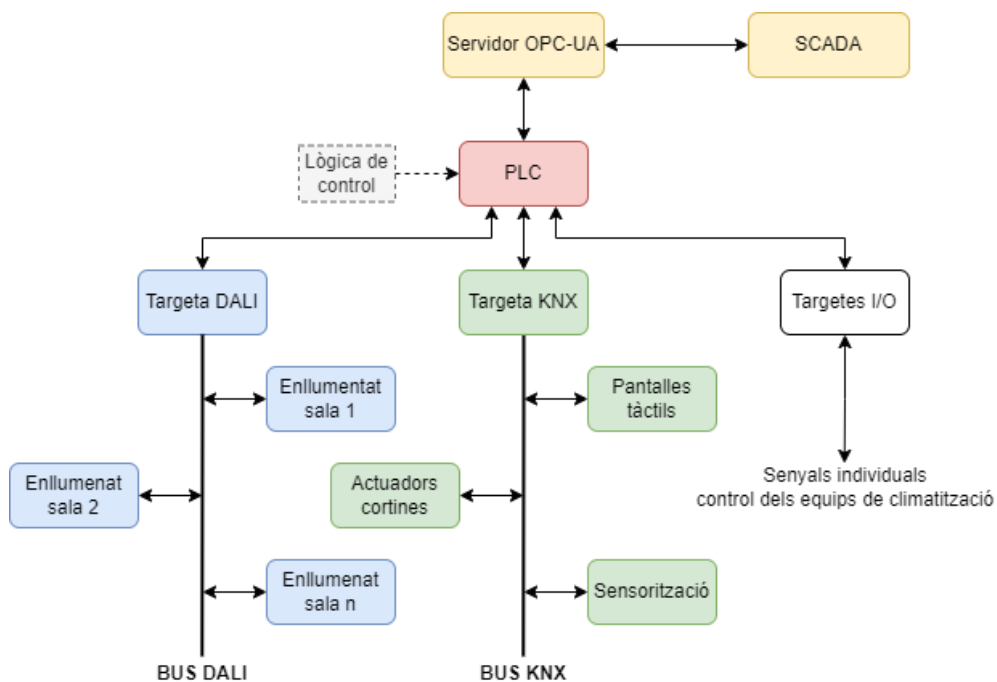


Figura 2: Arquitectura control BMS





## 3 DESCRIPCIÓ DE L'EDIFICI

En aquest apartat es farà una explicació de les característiques principals de l'edifici. Es detallaran les sales que són objecte del projecte, l'horari de funcionament de l'edifici i la metodologia que se seguirà per la identificació dels elements a controlar. Finalment, s'establiran els paràmetres de confort tèrmic i visual que s'han considerat per a la realització del projecte.

### 3.1 Descripció general

L'immoble objecte del projecte és un edifici industrial d'oficines situat a la ciutat de Girona, destinat a la realització de projectes elèctrics industrials.

Es tracta d'un edifici de dues plantes, amb despatxos privats, zones diàfanes i sales de reunions, les quals compten amb equips terminals de tipus fancoil per a la seva climatització.

A la coberta hi ha instal·lada una màquina refredadora i dues unitats de tractament d'aire, cada una connectada a la xarxa de distribució de climatització d'una de les dues plantes.

La façana de l'edifici compta amb finestres i cortines motoritzades per permetre l'accés de llum natural a totes les sales que hi siguin adjacents.

### 3.2 Zones a automatitzar

La Taula 1 recull les estances a les quals s'integrarà el sistema de gestió intel·ligent.

*Taula 1: Sales de l'edifici a automatitzar*

<b>Identificador</b>	<b>Descripció</b>	<b>Ubicació</b>
101	Despatx d'Administració	Planta Baixa
102	Sala de reunions A	Planta Baixa
103	Zona diàfana de Tècnics	Planta Baixa
104	Despatx de compres	Planta Baixa
105	Recepció	Planta Baixa
201	Zona diàfana de programadors	Planta Primera
202	Despatx de TIC i Sistemes	Planta Primera
203	Despatx de CAD – Disseny d'esquemes elèctrics	Planta Primera
204	Sala de reunions B	Planta Primera

### 3.3 Horari de funcionament

L'activitat a l'edifici comença a dos quarts de vuit del matí i finalitza a dos quarts de vuit del vespre, de dilluns a divendres. L'edifici roman tancat i sense activitat els caps de setmana.

### 3.4 Identificació dels elements

Per tal d'identificar de forma única i inequívoca tots els elements i equips a controlar pel sistema de gestió intel·ligent de l'edifici, s'ha definit una nomenclatura estàndard per definir cada un dels codis identificadors. Es tracta d'un codi alfanumèric de la següent forma:

ABCXXXX

El codi començarà per una sèrie de caràcters alfabètics que designaran la tipologia de l'element a identificar. La llargada d'aquesta part pot oscil·lar entre 2 i 4 caràcters en funció de la tipologia.

El codi anirà seguit de quatre caràcters numèrics que identificaran de forma individual cada element d'una determinada tipologia.

Atès que la instal·lació està segmentada en àrees definides pel projecte de climatització, els dos primers dígit identificaran la zona on es troba l'element. Els dos últims dígit enumeraran de forma correlativa tots els elements d'una mateixa tipologia situats a la mateixa zona climàtica.

Pel present projecte, cada zona climàtica abasta una planta de l'edifici. Per tant, els identificadors dels elements situats a la planta baixa seran de la forma: ABC01xx. Mentre que els elements situats a la planta primera seguiran la nomenclatura: ABC02xx.

La a Taula 2 recull els diferents identificadors que s'han definit junt amb la descripció de l'element al qual fa referència.

Taula 2: Identificadors d'elements

Identificador	Descripció
VALVxxxx	Electrovàlvula
FANxxxx	Motor ventilador
BNDxxxx	Actuador de persianes/cortines
DSPxxxx	Pantalla Tàctil HMI (Human Machine Interface)
MPSxxxx	Sensor Multiparamètric
PRSxxxx	Sensor de presència
TIxxxx	Dispositiu de lectura de temperatura
HUMxxxx	Dispositiu de lectura d'humitat
COxxxx	Dispositiu de lectura de nivell de CO <sub>2</sub>
LUXxxxx	Dispositiu de lectura de lluminositat

### 3.5 Paràmetres de confort

La taula 1 de la *Instrucció Tècnica IT 1.1.4.1.2 Exigència de la qualitat tèrmica de l'ambient* del document *Reglament d'Instal·lacions Tèrmiques en els Edificis (RITE)*, estableix que els valors de temperatura operativa i humitat relativa per locals on les persones tinguin una taxa metabòlica sedentària d'1,2 met (aules, oficines, restaurants, cinemes, etc) i un grau de vestimenta convencional (0,5 clo a l'estiu i 1 clo a l'hivern), haurien de ser els que es mostren a la Taula 3 per tal de considerar un ambient tèrmic de confort.

Taula 3: Condicions tèrmiques interiors de disseny. Taula 1, ap. 1.1.4.1 del RITE

Època	Temperatura operativa (°C)	Humitat relativa (%)
Estiu	Entre 23°C i 25°C	Entre 45% i 60 %
Hivern	Entre 21°C i 23°C	Entre 40% i 50 %

D'acord amb el client i seguint els paràmetres establerts pel *RITE*, s'ha acordat que els paràmetres de confort tèrmic que seran d'aplicació en el projecte seran els que es recullen a la Taula 4, els quals permeten un rang de treball lleugerament superior.

S'ha considerat que la relaxació dels límits de temperatura marcats per la normativa no afectaria de forma significativa al consum energètic de la instal·lació i, d'altra banda, permetria obtenir un major percentatge d'usuaris satisfets.

Taula 4: Paràmetres de confort tèrmic considerats

Època	Temperatura operativa (°C)	Humitat relativa (%)
Estiu	Entre 23°C i 26°C	Entre 45% i 60 %
Hivern	Entre 20°C i 24°C	Entre 40% i 50 %

Pel que fa a les condicions de confort visual, el Real Decret 486/1997 del 23 d'abril estableix a l'annex IV uns nivells mínims d'il·luminació per condicions d'exigència visual altes de 500 Lux.

Seguint la normativa i en conjunció amb el client, s'ha establert que les sales objecte del projecte es mantindran en unes condicions d'il·luminació mínimes durant els períodes de treball de 400 Lux.



## 4 SUBSISTEMA KNX

### 4.1 Introducció al sistema KNX

KNX és un sistema de comunicacions estandarditzat (EN 50090, ISO/IEC 14543) basat en el protocol OSI (Open Systems Interconnect) i dissenyat específicament pel control i automatització d'edificis domèstics i industrials. Es tracta del successor i la convergència de tres estàndards anteriors: el sistema EHS (European Home Systems Protocol), BatiBUS i l'EIB (European Installation Bus).

El fet de ser un estàndard obert fa que qualsevol fabricant pugui integrar aquesta tecnologia en els seus productes, fent compatible la comunicació entre tots ells. A més, és possible obrir el bus KNX a sistemes basats en tecnologies diferents mitjançant les passarel·les KNX adequades. Existeixen dispositius que permeten la comunicació directa entre KNX i altres tecnologies de bus com Bac-Net, DALI, M-Bus i ProfiBus.

KNX està basat en una arquitectura de bus descentralitzada o distribuïda, és a dir, no requereix una unitat central de control (per exemple, un ordinador o autòmat). Cada dispositiu de la instal·lació disposa de la seva pròpia intel·ligència de control i es comuniquen entre ells de forma directa mitjançant telegrams a través del bus. Això permet una ràpida modificació de la instal·lació i aïllar-ne certes parts, en cas d'una falla en un element determinat.

La decisió d'utilitzar la tecnologia KNX per davant d'altres estàndards industrials per a l'automatització i domòtica, ha sigut motivada per a la seva compatibilitat, potència, simplicitat i versatilitat. A banda de permetre integrar fàcilment dispositius de diferents fabricants, KNX ofereix una forma senzilla de programar els dispositius del bus i una capa de seguretat necessària a l'hora de gestionar de forma presencial o remota la instal·lació.

#### 4.1.1 Mètodes de comunicació

El sistema KNX és compatible amb múltiples medis de comunicació per l'intercanvi d'informació entre els participants del bus. Són els següents:

- KNX TP (KNX Twisted Pair): transmissió a través de parell trenat. Es tracta del mitjà de comunicació més usat en les instal·lacions KNX. Tots els

dispositius estan connectats entre si mitjançant el cable de bus, el qual els proporciona tant l'alimentació com les dades. La velocitat de transmissió de dades entre dispositius és de 9600 bit/s.

- KNX PL (KNX Powerline): transmissió a través de la línia elèctrica de 230V fent ús d'una de les tres fases i el neutre. És un medi de comunicació rentable, sobretot per instal·lacions KNX noves en casos de rehabilitacions d'edificis.

KNX PL no requereix cap cable de bus específic ni de fonts d'alimentació KNX. Filtres de banda eviten que els senyals es propaguin a tota la línia elèctrica de l'edifici. En aquest cas, la velocitat de transmissió és de 1200 Bit/s.

- KNX RF (KNX Radio Frequency): transmissió sense fils utilitzant la ràdio freqüència. Aquest tipus de comunicació és idònia quan no és possible estendre un cable de bus que interconnecti els dispositius de la instal·lació (per exemple en edificis de gran valor arquitectònic).
- KNX IP (KNX Internet Protocol): transmissió mitjançant l'estàndard IP de comunicació per internet. Aquest tipus de comunicació atorga a la instal·lació KNX de tots els avantatges que suposa utilitzar la família de protocols que acompanyen a l'estàndard TCP/IP. Així mateix, dona la possibilitat d'interconnectar el bus d'instal·lacions ubicades a diferents parts del món, permetent així, l'intercanvi directe d'informació entre dispositius de cada una de les instal·lacions.

#### 4.1.2 Topologia i segmentació

##### 4.1.2.1 Línia

La unitat bàsica en una instal·lació KNX és una línia. Aquesta, consta d'un màxim de 4 segments de línia, cada un d'ells amb un màxim de 64 dispositius (DISP) de bus units mitjançant amplificadors de línia (AML). Cada segment ha de ser alimentat mitjançant una font d'alimentació KNX (FA). No obstant això, serà la capacitat de la font i el consum de cada dispositiu el que marcarà el nombre real de components que poden ser connectats. La Figura 3 mostra l'esquema d'una línia KNX TP.

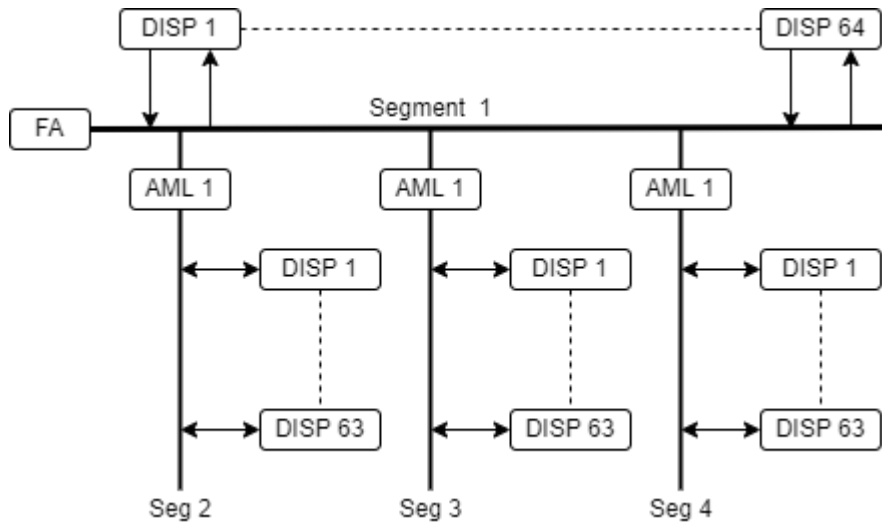


Figura 3: Línia KNX TP

#### 4.1.2.2 Àrea

Una instal·lació pot requerir la distribució de diverses línies. En aquest cas, poden connectar-se fins a 15 línies a una línia principal per mitjà d'acobladors de línia (ACL) tal com mostra la Figura 4. L'agrupació d'aquestes línies rep el nom d'àrea.

Al seu torn, també és possible tenir fins a 64 dispositius connectats a la línia principal des d'on pegen les diferents línies que integren l'àrea.

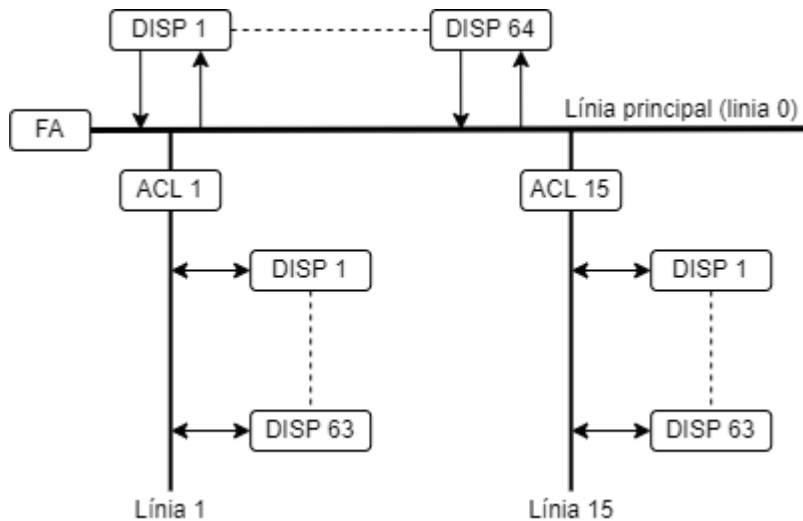


Figura 4: Una àrea KNX TP

#### 4.1.2.3 Varies àrees

Finalment, l'arquitectura d'una instal·lació KNX permet acoblar diverses àrees a una línia principal anomenada *backbone* mitjançant acobladors d'àrees (AA), tal com es veu a la Figura 5. De la mateixa manera que amb la línia principal d'una àrea, també és possible connectar fins a 64 dispositius a la línia principal (*backbone*).

Cada sistema bus està limitat a un màxim de 15 àrees funcionals permetent així, la comunicació entre un màxim de 58.000 dispositius conjuntament en una instal·lació.

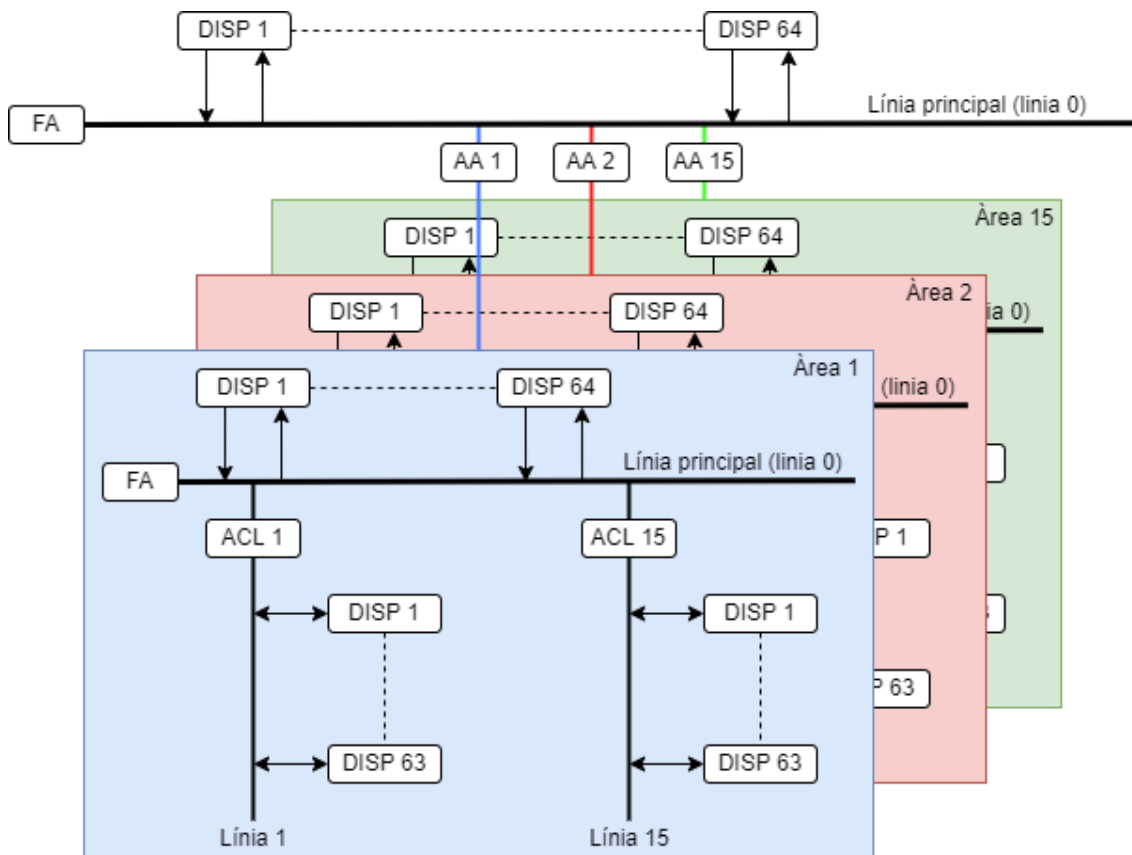


Figura 5: Acoblament de varies àrees KNX TP

#### 4.1.3 Adreces físiques

Les adreces físiques identifiquen cada un dels dispositius en una instal·lació KNX de forma única i inequívoca. Aquesta adreça, a banda de permetre la identificació dels diferents dispositius del bus, s'utilitza per a la inicialització, programació i operacions de diagnòstic de cada un d'ells.

Aquesta adreça està formada per tres xifres separades per punts i assignades en funció de la ubicació dins de la topologia de la instal·lació. La primera xifra, amb una longitud de 4 Bits, identifica l'àrea on es troba el dispositiu. La segona, també de 4 Bits, identifica la línia de la qual penja. Finalment, la tercera xifra, amb una longitud d'1 Byte, enumera els dispositius de la línia en qüestió de forma correlativa. La Taula 5 mostra la distribució dels 2 Bytes de memòria que ocupa una adreça física.

Taula 5: Distribució de bits en una adreça física KNX

A (Àrea)				L (Línia)				C (Component)							
A	A	A	A	L	L	L	L	C	C	C	C	C	C	C	C
4 Bits (0-15)				4 Bits (0-15)				1 Byte (0-255)							



Així doncs, l'adreça física 1.3.5 identificaria al cinquè dispositiu situat a la tercera línia de l'àrea 1 de l'edifici.

#### 4.1.4 Objectes de comunicació

Els objectes de comunicació són adreces de memòria en els dispositius KNX disponibles per intercanviar informació amb el bus. La mida d'aquests objectes pot ser des d'1 bit (per a una acció de commutació) fins a 14 bytes (per a la transmissió d'un paquet de text).

#### 4.1.5 Adreces de grup

La comunicació entre els dispositius d'una instal·lació es fa mitjançant l'assignació d'adreces de grup.

Només els objectes de comunicació de la mateixa longitud poden unir-se en una mateixa adreça de grup per tal de fer possible l'intercanvi de dades emmagatzemades en la memòria dels dispositius. D'aquesta manera, un mateix objecte de comunicació pot assignar-se a diverses direccions de grup, però només en una d'elles actua com a objecte emissor (a la resta serà un receptor).

Les adreces de grup són independents de les adreces físiques dels dispositius que hi estan assignats, així com de la seva posició física dins l'edifici.

L'arquitectura de les adreces de grup pot estructurar-se en dos nivells (Grup principal / Subgrup) o en tres nivells (Grup principal / Grup intermedi / Subgrup) en funció de les necessitats del projecte. Serà el dissenyador de la instal·lació l'encarregat de decidir com s'utilitzaran cada un dels nivells disponibles.

Per un mateix bus KNX es permet la comunicació de fins a 32.768 adreces de grup. Aquestes, queden dividides en 16 grups principals (0-15). Cada grup principal pot contenir un màxim de 8 grups intermedis (0-7) i, finalment, per cada subgrup es poden especificar fins a 256 subgrups d'adreces (0-255). La Taula 6 mostra la distribució dels 2 Bytes de memòria que ocupa una adreça de grup.

Cal tenir en compte que l'adreça de grup 0/0/0 queda reservada per la transmissió de missatges multidifusió des del bus (dirigits a tots els dispositius disponibles al bus).

Taula 6: Distribució de bits en una adreça de grup KNX

	P (Grup Principal)				I (Grup intermedi)			S (Subgrup)							
0	P	P	P	P	I	I	I	S	S	S	S	S	S	S	S
1 Bit	4 Bits (0-15)				3 Bits (0-7)			1 Byte (0-255)							

#### 4.1.6 Banderes

Un aspecte important a tenir en compte durant la programació dels dispositius KNX és la configuració de les banderes de cada objecte de comunicació. Aquestes, ens permeten definir les propietats de cada objecte de comunicació i modificar-ne el comportament davant les comandes enviades a través del bus. La Taula 7 mostra la utilitat de cada una.

Taula 7: Significat de les banderes KNX

Bandera	Estat	Descripció
<b>Comunicació (C)</b>	Activada	L'objecte de comunicació comunica amb el bus.
	Desactivada	S'envia la confirmació de rebuda de telegrams, però no es modifica l'estat de l'objecte.
<b>Lectura (R)</b>	Activada	El valor de l'objecte pot llegir-se des del bus
	Desactivada	El valor de l'objecte no pot llegir-se des del bus
<b>Esriptura (W)</b>	Activada	El valor de l'objecte pot modificar-se des del bus
	Desactivada	El valor de l'objecte no pot modificar-se des del bus.
<b>Transmissió (T)</b>	Activada	Si es modifica el valor de l'objecte, es transmetrà el telegrama amb el nou valor
	Desactivada	L'objecte transmet només el telegrama de resposta en cas de petició de lectura.
<b>Actualització (U)</b>	Activada	Els telegrams de resposta s'interpreten com a ordres d'escriptura, actualitzant el valor de l'objecte.
	Desactivada	Els telegrams de resposta no s'interpreten com a ordres d'escriptura. El valor de l'objecte de comunicació no s'altera.
<b>Lectura durant la inicialització (I)</b>	Activada	Durant la inicialització del dispositiu, s'envien ordres de lectura de forma automàtica per mantenir actualitzat el valor de l'objecte de comunicació.
	Desactivada	Durant la inicialització del dispositiu, no s'actualitza el valor de l'objecte de comunicació.

## 4.2 Dispositius KNX instal·lats

### 4.2.1 Font d'alimentació KNX

En el cas de KNX TP, és necessari incorporar a la instal·lació una font d'alimentació KNX que proporcioni als participants del bus la tensió necessària pel seu funcionament que, al mateix temps, serà el medi de transmissió de les dades.

Per aquest projecte, s'ha escollit una font d'alimentació de 640mA del fabricant *Schneider*, concretament el model *MTN684064*.

Tot i que la tensió nominal de bus és de 24V, les fonts d'alimentació KNX proporcionen al bus una tensió contínua de 30V, i els dispositius KNX poden treballar a

una tensió d'entre 21V i 30V, permetent 9V de marge per possibles caigudes de tensió al llarg de la línia.

És en cada un dels elements terminals on la tensió contínua d'alimentació se separa de la tensió alterna que conté les dades dels telegrams enviats pel bus. Un condensador produeix la tensió contínua per a l'alimentació, mentre que la tensió alterna és desacoblada per un transformador. En el cas dels elements emissors, serà el mateix transformador el que, de forma contrària, superposi els telegrams d'informació a la tensió del bus.

#### 4.2.2 Pantalla tàctil

Cada sala disposa d'una pantalla tàctil per poder interactuar amb el sistema de control. La pantalla escollida és el model *Siemens TC5 KNX* de 5 polzades amb la referència *5WG1205-2AB21*.

L'elecció d'aquest model ha vingut determinat, en primera instància, per la seva gran disponibilitat de configuracions, a la vegada que proporciona una sèrie de plantilles per al disseny de pantalles de control HVAC, d'il·luminació, sistemes de so... Que facilita la seva programació.

Aquesta pantalla també disposa de sensors interns de proximitat i temperatura. Atès que està situada a una altura intermèdia a la sala, s'utilitzarà la lectura del sensor de temperatura integrat com a variable de procés pel sistema de climatització.

Quan un usuari s'apropa a la pantalla, o en fer-hi una pulsació a qualsevol part del panell tàctil, es mostrarà el menú principal.

El menú principal està format per polsadors des dels quals és possible accedir a les diferents funcionalitats de la pantalla, descrites a la Taula 8.

*Taula 8: Funcionalitats programades a la pantalla KNX*

<b>Nom del polsador</b>	<b>Funcionalitat</b>
<b>Temperatura</b>	Control de la climatització
<b>Cortina</b>	Control de les cortines
<b>Llum</b>	Control de la il·luminació
<b>Mode ECO</b>	Activar/Desactivar el mode ECO
<b>Info Ambient</b>	Mostra informació de qualitat de l'aire
<b>Configuració</b>	Configuració de la pantalla

A continuació, es detallarà el funcionament de cada una de les funcionalitats de la taula anterior.

#### - **Control de la climatització**

Des de la part superior és possible modificar la consigna de temperatura a la qual es vol establir la sala. Durant l'estiu, aquests valors estaran limitats entre 23°C i 26°C, mentre que durant l'hivern, el valor es limita entre 20°C i 24°C.

Des de la part inferior és possible posar en marxa i aturar el fancoil de la sala corresponent, així com veure el seu mode de funcionament (calefacció o refrigeració), però no modificar-lo. També compta amb un indicador d'intensitat al que està funcionant el ventilador de l'equip terminal, mostrant-ne quatre nivells: apagat, baix, mig i alt.

#### - **Control de les cortines**

La pantalla està formada per un control lliscant i tres botons a la part inferior. Des del control lliscant, és possible ajustar la posició a la qual es desitja moure la cortina. Els dos botons de cada extrem permeten accionar la cortina en els dos sentits. En aquest cas, la cortina estarà en moviment fins a accionar-se els sensors de final de carrera del motor, o bé, aturar el moviment des del botó central de la pantalla.

#### - **Control de la il·luminació**

Des del mateix pulsador de llum de la pantalla principal és possible veure l'estat actual de la il·luminació de la sala. Quan la il·luminació estigui encesa, el pulsador es mostrarà en groc. A la cantonada superior dreta del pulsador, es mostra el percentatge d'intensitat lumínica dels panells LED de la sala.

Efectuant una pulsació curta, el pulsador actua com un interruptor convencional, encenent els llums a una intensitat per defecte parametritzada, o apagant-los. D'altra banda, si es fa una pulsació llarga, es desplega un segon menú amb un control lliscant des d'on és possible ajustar la intensitat dels panells en un rang de 0 a 100%.

#### - **Mode ECO**

Es tracta d'un pulsador tàctil que commuta l'activació del mode ECO.

#### - **Informació de qualitat de l'aire**

Aquesta pantalla mostra alguns dels paràmetres que es capten de l'aire ambient. A la part inferior s'hi mostra la temperatura, el nivell de CO<sub>2</sub>, la humitat relativa i la lluminositat de la sala. Si es fa una pulsació curta sobre la lectura d'alguns dels paràmetres, el seu valor es mostrarà en primer pla a la part superior de la pantalla i s'escalarà en un indicador semicircular. Aquest, conté una escala de colors que facilita la interpretació de la característica mostrada.

## - Configuració de la pantalla

A la part superior-dreta del menú principal hi ha una icona d'un engranatge que, en clicar-lo, mostra la configuració de la pantalla. L'accés als paràmetres de la pantalla està restringit per contrasenya. L'única característica que es pot activar és el mode de neteja, útil per quan es vulgui efectuar una neteja física del panell tàctil i evitar que aquest respongui als gestos detectats.

### 4.2.3 Sensor multiparamètric

Per tal de simplificar la instal·lació i reduir el nombre de sensors col·locats a cada sala, s'ha escollit instal·lar el sensor *Steinel 056353 True Presense Multisensor*. Consisteix en un sensor KNX multiparamètric amb detecció de verdadera presència incorporada.

Aquest aparell porta integrats sensors de lluminositat, de temperatura, humitat, pressió atmosfèrica, VOC (compostos orgànics volàtils) i CO<sub>2</sub>, els quals ens permeten monitorar de forma completa i amb una instal·lació simplificada, la qualitat de l'aire de cada una de les sales de l'edifici.

Al tractar-se d'un edifici d'oficines on, normalment, els usuaris es troben a una cadira amb un moviment mínim, calia trobar una tecnologia que permetés detectar el moviment al detall, és a dir, fins a la mínima respiració. La tecnologia de detecció a partir d'ones d'alta freqüència que utilitza el sensor de Steinel ofereix aquesta precisió.

El dispositiu incorpora un díode LED RGB que permet a l'instal·lador rebre un feedback del seu estat. La Taula 9 resumeix les combinacions disponibles.

Taula 9: Estat del LED del sensor multiparamètric

Color	Patró d'encesa	Temps d'encesa	Descripció
<b>Taronja</b>	ON	Permanent	Sensor no programat i amb tensió de bus
<b>Blanc</b>	ON	2 min	Inicialització del sensor després d'una càrrega de programa o restauració del bus
<b>Blanc</b>	Flash	500 ms	Actualització del firmware enviada per Bluetooth
<b>Blanc</b>	Flash	200 ms	Actualització del firmware en curs
<b>Blau</b>	ON	Permanent	Connexió Bluetooth activa
<b>Vermell</b>	ON	Permanent	Estat d'error
<b>Verd</b>	ON	Permanent	Mode de programació KNX activa
<b>Verd</b>	Flash	500 ms	Actualització del controlador en curs
<b>Groc</b>	Flash	200 ms	Actualització del microcontrolador del sensor en curs
	OFF		Funcionament normal

#### 4.2.4 Sensor infraroig de presència

Pel fet que la detecció per ones d'alta freqüència del sensor multiparamètric traspasa els panells de vidre que separen les diferents estances, s'utilitza un altre sensor de presència amb tecnologia infraroja. Es tracta del sensor *Steinel 058500 IR Quattro SLIM XS KNX Square*.

El senyal digital generat en detectar presència es farà servir per a l'encesa de la il·luminació de la sala.

#### 4.2.5 Actuator de cortines

El mòdul escollit per a l'accionament de les cortines és un actuator de 4 canals amb el que es poden controlar fins a 4 persianes o cortines enrotllables de forma independent. El model en qüestió és l'*Schneider MTN649704*.

Les cortines motoritzades KNX són controlades des de la pantalla tàctil de cada sala, mitjançant les rutines automàtiques programades al PLC, o bé de forma manual des del mateix mòdul actuator.

Aquest actuator no controla el moviment de les cortines en funció de sensors tipus *encoder* que informin de la posició real de l'element, sinó que basa el seu estat en els càlculs fets per efectuar l'últim moviment.

A la configuració de l'actuator se li estableix el temps que necessita cada motor per tal de fer un moviment complet, és a dir, per moure la cortina des d'un extrem a l'altre. Quan l'actuator rep una ordre de moviment, calcula el temps que ha d'estar en marxa per assolir la nova posició basant-se en l'última posició que guarda en memòria i la fracció de moviment que ha de fer respecte a un moviment complet.

Degut a causes físiques i mecàniques, després d'una certa quantitat de moviments es produiran petites desviacions entre la posició real de la cortina i la calculada. Per aquest motiu, l'actuator ha de calibrar-se periòdicament. La seqüència de calibratge consisteix en activar el motor fins a assolir el sensor de final de carrera inferior. En aquest moment, es reinicia el càlcul intern de la posició i, es retorna a la posició anterior al calibratge.

#### 4.2.6 Interfície de comunicació IP

Per permetre la comunicació entre el software de programació i els dispositius KNX connectats al bus, és necessària una interfície KNX de comunicació al bus. Existeixen diferents tipus d'interfícies (IP, USB, RS485) en funció de la tipologia de connexió al bus que es desitja.

La interfície escollida, la *Schneider MTN6502-0105* és de tipus IP. Permet ser connectada a una xarxa LAN mitjançant *Ethernet* i, adjudicant-li una IP (estàtica o mitjançant DHCP) connectar-se al bus KNX de forma remota des de qualsevol PC que tingui accés a la xarxa en qüestió.

La mateixa interfície permet establir fins a vuit connexions simultànies al bus des d'ordinadors diferents.

#### 4.2.7 Targeta Beckhoff per comunicació KNX

La targeta *KL6031* de *Beckhoff* permet la comunicació entre el PLC i el bus KNX. Aquest mòdul actua com un acoblador d'àrea en una arquitectura KNX. És necessària configurar-la amb una direcció física no utilitzada per cap altre dispositiu del bus, i fins a 4 filtres de 64 adreces de grup cada un. Aquesta targeta podrà rebre la informació de qualsevol adreça de grup, però només podrà fer una comunicació efectiva amb les adreces de grup que figurin en els filtres configurats. Per aquest motiu, serà necessari acoblar al PLC una targeta *KL6031* per cada 256 adreces de grup que es vulguin administrar.

### 4.3 Distribució i identificació dels dispositius KNX a l'edifici

Tot seguit, es resumeixen a la Taula 10 els diferents dispositius KNX que s'instal·laran.

Taula 10: Informació dels dispositius KNX a instal·lar

Dispositiu	Fabricant	Model	Identificador
<b>Pantalla tàctil</b>	Siemens	5WG1205-2AB21	DSPxxxx
<b>Sensor Multiparamètric</b>	Steinel	56353 True Presence Multisensor	MPSxxxx
<b>Sensor de presència</b>	Steinel	58500 Quattro SLIM XS	PRSxxxx
<b>Actuador de persianes</b>	Schneider	MTN649704	BNDxxxx
<b>Interfície KNX IP</b>	Schneider	MTN6502-0105	COMxxxx
<b>Font d'alimentació</b>	Schneider	MTN684064	FAxxxx

A la Taula 11 es detalla la distribució dels dispositius a l'edifici i se'ls adjudica un identificador i adreça física.

Taula 11: Dispositius KNX instal·lats

Dispositiu	Identificador	Adreça física	Ubicació
<b>Pantalla tàctil Siemens TC5</b>	DSP0101	1.1.10	101 - Despatx d'Administració
	DSP0102	1.1.13	102 – Sala de reunions A
	DSP0103	1.1.16	103 – Zona diàfana de Tècnics
	DSP0104	1.1.18	104 – Despatx de compres
	DSP0105	1.1.21	105 - Recepció
	DSP0201	1.2.10	201 – Zona de programadors
	DSP0202	1.2.12	202 – Despatx TIC Sistemes
	DSP0203	1.2.15	203 – Despatx de CAD
	DSP0204	1.2.18	204 – Sala de reunions B
<b>Sensor Multiparamètric Steinel 56353 True Presence</b>	MPS0101	1.1.11	101 - Despatx d'Administració
	MPS0102	1.1.14	102 – Sala de reunions A
	MPS0103	1.1.17	103 – Zona diàfana de Tècnics
	MPS0104	1.1.19	104 – Despatx de compres
	MPS0105	1.1.22	105 - Recepció
	MPS0201	1.2.11	201 – Zona de programadors
	MPS0202	1.2.13	202 – Despatx TIC Sistemes
	MPS0203	1.2.16	203 – Despatx de CAD
	MPS0204	1.2.19	204 – Sala de reunions B
<b>Sensor Infraorig Steinel 58500 Quattro SLIM XS</b>	PRS0101	1.1.12	101 - Despatx d'Administració
	PRS0102	1.1.15	102 – Sala de reunions A
	PRS0103	1.1.20	104 – Despatx de compres
	PRS0201	1.2.14	202 – Despatx TIC Sistemes
	PRS0202	1.2.17	203 – Despatx de CAD
	PRS0203	1.2.20	204 – Sala de reunions B
<b>Actuador de persianes Schneider MTN649704</b>	BND0101	1.1.50	Quadre de control
	BND0102	1.1.51	Quadre de control
	BND0201	1.2.50	Quadre de control
	BND0202	1.2.51	Quadre de control
<b>Interfície IP KNX</b>	COM0101	15.15.1	Quadre de control
<b>Targeta KL6301</b>	KL6301_01	15.15.254	Quadre de control
<b>Font d'alimentació</b>	FA0101	-	Quadre de control

## 4.4 Integració de KNX al sistema BMS

### 4.4.1 Arquitectura

Tot i que el sistema KNX està pensat per a funcionar com a un sistema de bus descentralitzat on cada dispositiu gestiona la seva lògica de funcionament i comunica directament amb la resta d'elements que hi estan connectats, en aquest projecte s'ha optat per implementar una arquitectura centralitzada.

Tota la informació que sigui enviada per un dispositiu KNX a través del bus, serà només rebuda i processada pel PLC, que actuarà com a cervell central de la instal·lació.



A continuació, serà aquest segon l'encarregat de llençar les ordres corresponents a cada un dels actuadors del sistema, siguin dispositius KNX, controladors DALI o sortides de potència cap als equips de climatització.

El fet de centralitzar la lògica de funcionament a un sol dispositiu facilita la tasca d'integració, atès que només aquest, serà el que haurà de ser compatible amb cada una de les tecnologies que hagin de conviure en el mateix ecosistema de control.

#### 4.4.2 Tipus de comunicació

Per a la comunicació entre els diferents dispositius KNX distribuïts per l'edifici i el PLC central s'utilitzarà la comunicació de tipus KNX TP, que permet connectar tots els elements mitjançant un sol cable de bus de tipus parell trenat.

D'altra banda, per poder fer les tasques de programació de dispositius i diagnòstic de bus des d'un ordinador i de forma remota, s'utilitzarà una interfície de comunicació IP KNX.

#### 4.4.3 Tipologia i segmentació

Per aquest projecte, s'ha dissenyat una instal·lació amb una sola àrea (1) i una línia per cada planta de l'edifici. La línia 1 conté els dispositius de la planta baixa, mentre que de la línia 2 en pengen els dispositius de la planta primera.

També s'ha configurat una segona àrea virtual (15) amb una sola línia (15) d'on en pengen els dispositius de programació i diagnòstic, és a dir, el PLC central i la interfície IP KNX.

#### 4.4.4 Estructura de les adreces de grup

Per a l'assignació de les adreces de grup que permetran la comunicació entre dispositius KNX, s'ha utilitzat una estructura de tres nivells seguint la següent configuració:

- Grup principal: Identifica el PLC al qual comunica l'adreça. En aquest cas, el sistema de control disposa d'un sol PLC amb l'identificador 0.
- Grup intermedi: Identifica la planta de l'edifici on se situa el dispositiu. La planta baixa de l'edifici s'identifica amb el grup intermedi 1, mentre que la planta primera s'identificarà amb el grup intermedi 2.
- Subgrup: Número d'adreça de grup correlatiu dins el nivell.

D'aquesta manera, l'adreça de grup que permeti la comunicació amb el tercer objecte de comunicació d'un dispositiu situat a la planta baixa que comuniqui amb el PLC 0 tindrà la numeració: 0/1/3.

#### 4.4.5 Metodologia de comunicació amb el PLC central

Per permetre l'intercanvi de telegrams entre els dispositius KNX connectats al bus i el PLC de control central, s'ha dissenyat una metodologia de comunicació que serveixi d'estàndard per a qualsevol dispositiu KNX que es vulgui instal·lar.

Aquest mètode consisteix en assignar cada objecte de comunicació del dispositiu a una adreça de grup de forma individual. D'aquesta manera, totes les ordres d'enviament i recepció de dades seran enviades al bus, però sense un destinatari definit.

Serà el PLC, l'encarregat de rebre cada un dels telegrams que viatgin pel bus KNX i, en funció de l'origen i la tipologia de les dades rebudes, efectuar les accions pertinents, ja sigui retornant la resposta a un altre dispositiu KNX, a un controlador del bus DALI (per modificar la il·luminació d'una sala) o modificant el senyal de potència d'un equip de climatització.

Seguint el mètode exposat, quan el sensor de presència detecti moviment a una sala, trametrà un telegrama al bus informant del seu estat. Aquest telegrama no tindrà cap destinatari definit, però el PLC, que estarà constantment a l'escolta, el capturarà extraient-ne la informació del seu origen i les dades útils que conté. A partir d'aquí, serà tasca del PLC generar les ordres corresponents a partir de la lògica que tingui programada.

# 5 SUBSISTEMA D'IL·LUMINACIÓ

## 5.1 Introducció al protocol DALI

DALI (Digital Addressable Lighting Interface) és un protocol industrial estandarditzat dedicat al control digital de dispositius per a la il·luminació. El protocol DALI s'integra en sistemes basats en comunicacions per bus, permetent una instal·lació simplificada, robusta, escalable i flexible per adaptar-se a qualsevol xarxa d'il·luminació.

DALI es va desenvolupar amb l'objectiu de substituir el control analògic convencional amb un senyal de 0 a 10V, per un control i configuració digital de la il·luminació amb el que sigui possible tant llençar ordres des d'un controlador cap a un element terminal (regular la intensitat d'il·luminació, cridar una escena pre-programada...), com rebre informació sobre l'estat real del dispositiu (reportar errors, consums...).

Cada dispositiu DALI pot ser adreçat i controlat individualment. A més, és possible configurar grups de dispositius per tal de controlar-los en conjunt i llençar ordres de tipus *broadcast*, és a dir, a tots els components connectats al bus.

Un sistema DALI opera en mode màster-esclau. Un dispositiu màster té la capacitat de controlar fins a 64 unitats esclaves. La comunicació entre dispositius és asíncrona de tipus half-duplex, és a dir, permet una comunicació bidireccional però no de forma simultània.

La distribució del bus es fa a partir de dos conductors a través dels quals s'hi transmet tant les dades com la potència (12V amb un límit de 250mA), amb una velocitat de transmissió de 1200 bit/s.

### 5.1.1 Estàndard IEC 62386

El protocol DALI està especificat dins l'estàndard internacional *IEC 62386*, així com en la DiiA (Digital illumination interface Alliance).

L'estàndard *IEC 62386* es divideix en una sèrie de parts. Cada una contempla els requeriments generals i específics necessaris, així com les comandes i els paràmetres per poder fer possible la comunicació amb diferents tipologies de dispositius.

D'aquesta manera, l'estàndard DALI assegura una sèrie de funcionalitats en funció de les parts de l'estàndard que integri el dispositiu.

La Figura 6 mostra una taula de les parts contemplades a l'estàndard.

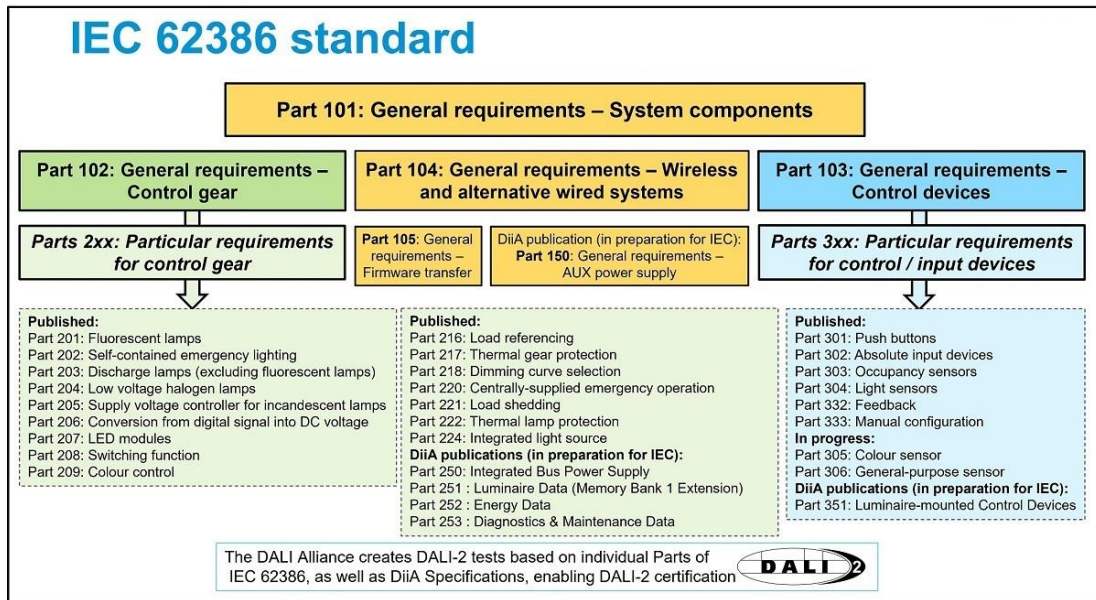


Figura 6: Parts de l'estàndard IEC 62386

## 5.2 Integració de DALI al sistema BMS

Per aconseguir un control detallat de la il·luminació en el sistema BMS projectat, s'ha instal·lat un controlador DALI per cada panell LED de l'edifici. D'aquesta manera, tenint adreçat cada panell, és possible fer-ne un control individual i detectar qualsevol error o anomalia per tal de reportar-la en el sistema SCADA i fer-ne un manteniment eficient.

### 5.2.1 Configuració dels controladors DALI

Els controladors DALI instal·lats s'adrecen individualment de forma única per tal d'identificar-los inequívocament.

Una vegada adreçats, s'agrupen els controladors en funció de la sala a la qual corresponen i se'ls configura amb la parametrització que mostra la Taula 12.

Taula 12: Paràmetres configurats als dispositius DALI

Paràmetre	Valor (Rang)	Tipus	Descripció
<b>Address</b>	(0-63)	BYTE	Adreça individual del controlador
<b>Group</b>	(0-15)	BYTE	Grup al qual correspon el controlador (en funció de la sala on es trobi)
<b>MinLevel</b>	0 (0-254)	BYTE	Intensitat de il·luminació mínima.
<b>MaxLevel</b>	254 (0-254)	BYTE	Intensitat de il·luminació màxima
<b>FadeTime</b>	700ms (0- 2400ms)	BYTE	Temps de transició entre intensitats de il·luminació

# 6 SUBSISTEMA DE CLIMATITZACIÓ

## 6.1 Funcionament general del sistema

El sistema de climatització de l'edifici objecte del projecte és un sistema de tipus aigua-aire a 2 tubs.

Aire-aigua indica que la producció d'aire condicionat es fa a partir d'aigua climatitzada a una certa temperatura i un posterior bescanvi energètic entre l'aigua i l'aire impulsat a les unitats terminals.

D'altra banda, el fet de ser a 2 tubs, indica que no hi pot haver disponibilitat simultània d'aigua calenta i freda per augmentar o disminuir la temperatura de cada sala de forma independent i en qualsevol moment. La temperatura de l'aigua que circuli per la xarxa hidràulica del sistema de climatització estarà limitada al mode de funcionament de l'equip que tracti energèticament aquest volum d'aigua.

Aquesta tipologia d'instal·lació no garanteix el màxim confort dels usuaris en èpoques intermèdies (tardor i primavera) on les temperatures al llarg del dia oscil·len de forma considerable. No obstant això, s'ha dissenyat una lògica de control per tal de contrarestar les limitacions d'una instal·lació a dos tubs i mantenir el confort durant tot l'any.

Per aconseguir una certa eficiència energètica en el sistema de climatització sense sacrificar el confort dels usuaris, és important no permetre que la temperatura real de les sales difereixi significativament de la temperatura objectiu.

A llarg termini, el consum total de la instal·lació serà menor si constantment es van fent petites demandes d'aire condicionat per mantenir la temperatura de les sales a un interval proper a la consigna. D'altra banda, si es manté la instal·lació aturada durant un llarg període de temps, no només s'obté un aire ambient de menor qualitat, sinó que la diferència entre temperatura real i de consigna va augmentant i l'energia necessària per disminuir aquest error serà cada vegada més elevada pel fet d'haver de superar la inèrcia tèrmica de l'edifici.

Per aquest motiu, el funcionament del sistema de climatització s'ha dissenyat per tal que estigui en funcionament constant mentre hi hagi activitat a l'edifici, i la consigna de temperatura es vagi ajustant per mantenir aquest equilibri entre eficiència i confort.

Durant el període d'inactivitat a l'edifici, el sistema de climatització es mantindrà aturat a excepció de superar uns límits de temperatura de seguretat parametritzats en el programa de control. En aquest cas, es posarà en marxa la part del sistema que sigui necessària per retornar els valors de temperatura dins uns límits adequats.

## **6.2 Equips a automatitzar**

El sistema de climatització està format per una refredadora, dues unitats de tractament d'aire (UTA) i un fancoil a cada sala de l'edifici.

La refredadora és l'equip encarregat de generar l'aigua climatitzada a una temperatura concreta, que dependrà del seu mode de funcionament (calefacció o refrigeració).

Cada planta de l'edifici està dotada d'una unitat de tractament d'aire que s'encarregarà de captar aire de l'exterior, filtrar-lo per eliminar-ne impureses i gasos contaminants, i impulsar-lo cap a les unitats terminals de l'interior de l'edifici.

Finalment, cada sala disposa d'un fancoil. Es tracta d'un equip format per un ventilador que impulsa l'aire provinent de la UTA a través d'una bateria. Aquí és on es produeix l'intercanvi energètic entre l'aigua climatitzada per la refredadora i l'aire del conducte d'impulsió per, finalment, entrar a l'interior de la sala on es trobi. El flux d'aigua que circula per la bateria del fancoil es controla amb una vàlvula que, en funció de la tipologia de fancoil, serà regulable amb un senyal analògic, o bé, de tipus tot o res governable amb un senyal digital.

## **6.3 Funcionament de la refredadora**

La refredadora alterna el seu mode de treball entre calefacció i refrigeració en funció de la temperatura exterior a l'edifici. Si la temperatura exterior es troba per sobre dels 24°C, la refredadora passarà a treballar en mode refrigeració (circula aigua freda per la xarxa hidràulica de climatització). D'altra banda, quan la temperatura exterior disminueixi per sota dels 18°C, la refredadora alternarà el seu mode de treball passant a calefacció (circula aigua calenta per la xarxa hidràulica de climatització).

Amb la finalitat de suavitzar els canvis de pressió a l'interior de la màquina en alternar el mode de funcionament i contribuir a l'estalvi energètic, la refredadora es mantindrà en estat d'aturada quan la temperatura exterior es trobi per sobre del punt de

canvi a mode calefacció i per sota del punt de canvi a mode refrigeració, és a dir, entre 18°C i 24°C.

Pel control de la refredadora s'han definit les variables de la Taula 13.

Taula 13: Variables pel control de la refredadora

Variable	Valor per defecte	Tipus	Descripció
<b>TI_EXT_FRED</b>	24°C	REAL	Temperatura exterior pel canvi a mode refrigeració
<b>TI_EXT_CALOR</b>	18°C	REAL	Temperatura exterior pel canvi a mode calefacció
<b>T_CANVI_MODE</b>	15 min.	TIME	Temps de transició entre modes de funcionament (temps per climatitzar l'aigua)

Els senyals d'entrada i sortida pel control de la refredadora estan recollits a la Taula 14.

Taula 14: Senyals d'entrada i sortida de la refredadora

Entrades	Descripció	Tipus	Nom
Confirmació de marxa	Detecta l'estat de marxa real de la refredadora	Digital	CHI0101_CM
Refredadora a consigna	Indica que l'aigua del sistema es troba a consigna	Digital	CHI0101_READY
Anomalia	S'activa en detectar una anomalia en el funcionament de la refredadora	Digital	CHI0101_ALM
Temperatura exterior	Lectura de la temperatura exterior a l'edifici	Analògica	TI_EXTERIOR
Sortides	Descripció	Tipus	Nom
Ordre de marxa	Ordre de marxa de la refredadora	Digital	CHI0101_OM
Mode de funcionament	Mode de funcionament. 1 = Mode calefacció. 0 = Mode refrigeració.	Digital	CHI0101_MODE

## 6.4 Funcionament de les UTA

Les unitats de tractament d'aire es componen d'un ventilador d'impulsió i un de retorn per regular el cabal d'aire que circula per cada conducte de la xarxa de climatització. També disposen d'una bateria a través de la qual es fa el bescanvi energètic entre aire i aigua. El cabal d'aigua que circula per la bateria és controlat per una vàlvula regulable.

D'altra banda, es controlen tres comportes encarregades de regular el cabal d'aire exterior que s'impulsa cap a l'interior (comporta TAE), el cabal d'aire que s'expulsa

a l'exterior (comporta d'extracció) i, per últim, el cabal d'aire que recircula des del conducte del retorn cap al d'impulsió (comporta *free-cooling*).

Aquestes unitats de tractament d'aire, també disposen d'un recuperador de calor. El seu objectiu és el d'aportar un bescanvi energètic entre l'aire impulsat a l'interior de l'edifici i l'aire provinent del conducte de retorn que és expulsat cap a l'exterior. D'aquesta manera, el recuperador de calor contribueix a l'augment de l'eficiència energètica en el procés de climatització.

Durant les estacions fredes de l'any on la temperatura de l'aire interior serà superior a l'exterior, aquest bescanvi energètic provocarà un augment de temperatura de l'aire impulsat dins la UTA. D'altra banda, en èpoques d'estiu, l'aire impulsat dins l'edifici cedirà una certa quantitat de calor a l'aire que s'expulsa cap a l'exterior. Per aquesta raó, l'eficiència de l'equip augmentarà de forma proporcional a la diferència entre la temperatura interior i exterior a l'edifici.

El recuperador de calor també conté una sèrie de filtres que afegeixen una etapa més al tractament d'aire fet a la UTA, contribuint, així, a mantenir uns nivells de diòxid de carboni estables a l'interior de l'immoble.

Pel que fa a la sensòrica instal·lada a la UTA, es disposa de senyals digitals provinents de pressòstats de colmatació dels tres filtres existents a la UTA. Aquests senyals s'activaran davant d'un cert diferencial de pressió entre l'entrada i la sortida del filtre, fet que indica un mal estat d'aquest.

També hi ha disponibles senyals digitals provinents dels relés tèrmics de seguretat pel senyal de potència dels ventiladors, així com senyals d'anomalia en el seu funcionament que es mostraran com una alarma en el sistema SCADA.

Per últim, cada equip de tractament d'aire està equipat amb sensors analògics per fer lectures de la pressió, temperatura, humitat i nivell de diòxid de carboni en els conductes d'impulsió i retorn, i lectura de temperatura i humitat a l'exterior de l'equip.

Tots els senyals provinents de sensors digitals es mesuren amb tensions d'entre 0V i 24V. D'altra banda, els senyals provinents de sensors analògics es mesuren amb intensitats d'entre 4mA i 20mA.

A la Taula 15 queden resumits tots els senyals d'entrada i sortida necessaris pel control de cada una de les dues unitats de tractament d'aire instal·lades a l'edifici.



Taula 15: Senyals d'entrada i sortida de la UTA

<b>Entrades</b>	<b>Descripció</b>	<b>Tipus</b>	<b>Nom</b>
Pressòstat colmatació 1	Pressòstat de colmatació del filtre G4F7	Digital	PDSHxxx1_ED
Pressòstat colmatació 2	Pressòstat de colmatació del filtre M6	Digital	PDSHxxx2_ED
Pressòstat colmatació 3	Pressòstat de colmatació del filtre F9	Digital	PDSHxxx3_ED
Tèrmic ventilador impulsíó	Activació del relé tèrmic de seguretat del ventilador d'impulsíó	Digital	FANxxx1_TER
Tèrmic ventilador retorn	Activació del relé tèrmic de seguretat del ventilador de retorn	Digital	FANxxx2_TER
Anomalia ventilador impulsíó	Anomalia en el funcionament del ventilador d'impulsíó	Digital	FANxxx1_AL
Anomalia ventilador retorn	Anomalia en el funcionament del ventilador de retorn	Digital	FANxxx2_AL
Tèrmic recuperador	Activació del relé tèrmic de seguretat del recuperador de calor	Digital	RExxx1_TER
Temperatura impulsíó	Lectura de temperatura al conducte d'impulsíó de la UTA	Analògic	TIxxx1_EA
Temperatura retorn	Lectura de temperatura al conducte de retorn de la UTA	Analògic	TIxxx2_EA
Pressió impulsíó	Lectura de pressió diferencial en el ventilador d'impulsíó de la UTA	Analògic	PDlxxx1_EA
Pressió retorn	Lectura de pressió diferencial en el ventilador de retorn de la UTA	Analògic	PDlxxx2_EA
Humitat impulsíó	Lectura d'humitat relativa al conducte d'impulsíó de la UTA	Analògic	HUMxxx1_EA
Humitat retorn	Lectura d'humitat relativa al conducte de retorn de la UTA	Analògic	HUMxxx2_EA
CO <sub>2</sub> impulsíó	Lectura del nivell de CO <sub>2</sub> al conducte d'impulsíó de la UTA	Analògic	COxxx1_EA
CO <sub>2</sub> retorn	Lectura del nivell de CO <sub>2</sub> al conducte de retorn de la UTA	Analògic	COxxx2_EA
Temperatura exterior	Lectura de temperatura exterior on se situï la UTA	Analògic	TIxxx3_EA
Humitat interior	Lectura de la humitat relativa exterior on se situï la UTA	Analògic	HUMxxx3_EA
<b>Sortides</b>	<b>Descripció</b>	<b>Tipus</b>	<b>Nom</b>
Ordre marxa recuperador	Ordre de marxa del recuperador de calor	Digital	RExxx1_OM
Velocitat ventilador impulsíó	Percentatge d'intensitat de gir del ventilador d'impulsíó	Analògic	FANxxx1_VEL
Velocitat ventilador retorn	Percentatge d'intensitat de gir del ventilador de retorn	Analògic	FANxxx2_VEL
Posició vàlvula	Obertura de la vàlvula per a climatitzar la bateria	Analògic	VALxxx1_POS

Posició comporta TAE	Ordre d'obertura de la comporta d'aire exterior	Analògic	CVxxx1_POS
Posició comporta extracció	Ordre d'obertura de la comporta d'extracció d'aire	Analògic	CVxxx2_POS
Posició comporta freecooling	Ordre d'obertura de la comporta de recirculació d'aire	Analògic	CVxxx3_POS

On xxx fa referència al codi numèric que identifica cada UTA de la instal·lació.

Durant la posada en marxa del projecte a les instal·lacions del client, en conjunt amb l'empresa instal·ladora del sistema de climatització, es buscarà el punt de funcionament òptim de la màquina enregistrant-ne els valors d'obertura de les tres comportes i la pressió de bufada dels ventiladors d'impulsió i retorn. Aquests valors s'utilitzaran com a consignes pels controladors PID de cada element durant el funcionament normal de la UTA.

Quan es doni l'ordre de marxa de la unitat de tractament d'aire, se seguirà una seqüència de posada en marxa formada per quatre etapes.

L'etapa 1 restablirà els comptadors necessaris i col·locarà les comportes a l'obertura enregistrada durant l'assaig del punt de funcionament òptim. Mentre la UTA estigui en funcionament, les comportes es mantindran estàtiques a la posició assignada per tal d'assegurar el cabal d'aire necessari a l'interior. Per donar temps a les comportes a efectuar la totalitat del moviment, es deixarà un temps de retard de 10 segons per passar a la fase 2.

Quan s'entri a la fase 2, si no es detecta cap anomalia en el ventilador d'impulsió i retorn, es posaran en marxa al 50% de la velocitat màxima per començar a augmentar la pressió dins el sistema. Per passar a la següent fase, es deixa un temps de retard de 5 segons per permetre als ventiladors assolir la velocitat de gir requerida.

Durant la fase 3 es col·loquen els controladors PID dels ventiladors i la vàlvula en automàtic. Aquests controladors s'encarregaran de regular el règim de gir de cada ventilador per tal de mantenir la pressió en el punt de funcionament òptim de la màquina, així com l'obertura de la vàlvula per regular el pas d'aigua a la bateria.

Si es detecta algun senyal d'anomalia d'un dels elements de la UTA, s'activarà una alarma general de l'equip i no s'avançarà a la següent fase de la posada en marxa.

En desactivar l'ordre de marxa de la UTA, els ventiladors s'aturaran, la vàlvula i les comportes es tancaran i els controladors PID es restabliran.

En el cas que la refredadora estigui aturada, o bé, es trobi en estat de transició entre modes de funcionament, la vàlvula de la bateria es mantindrà tancada per anul·lar

la demanda d'aigua climatitzada i el ventilador continuarà funcionant per garantir la recirculació d'aire exterior per la xarxa de climatització.

Així doncs, pel control de les unitats de tractament d'aire es defineixen les variables recollides a la Taula 16.

Taula 16: Variables pel control de la UTA

Variable	Valor per defecte	Tipus	Descripció
<b>TI_SP_TREBALL</b>	22°C	REAL	Consigna de temperatura de l'aire en la impulsió.
<b>P_SP_IMPULSIO</b>	- bar	REAL	Consigna de pressió en el conducte d'impulsió.
<b>P_SP_RETORN</b>	- bar	REAL	Consigna de pressió en el conducte de retorn.
<b>SP_COMP_TAE</b>	- %	REAL	Posició de la comporta d'admissió d'aire exterior en el punt de funcionament
<b>SP_COMP_EXTR</b>	- %	REAL	Posició de la comporta d'extracció d'aire interior en el punt de funcionament
<b>SP_COMP_FREEC</b>	- %	REAL	Posició de la comporta de recirculació d'aire interior en el punt de funcionament
<b>T_RET_F2</b>	10 seg	TIME	Temps de retard a l'entrada a la fase 2.
<b>T_RET_F3</b>	5 seg	TIME	Temps de retard a l'entrada a la fase 3.
<b>T_ALM_F2</b>	30 seg	TIME	Temps de retard per l'activació de l'alarma en cas d'anomalia a la fase 2.
<b>T_ALM_F3</b>	30 seg	TIME	Temps de retard per l'activació de l'alarma en cas d'anomalia a la fase 3.

## 6.5 Funcionament dels fancoils

Per dissenyar el funcionament dels fancoils des del punt de vista de l'eficiència energètica, s'ha de tenir en compte que el fet d'obrir la vàlvula per climatitzar la bateria té un cost molt més elevat que pas posar en marxa el seu ventilador.

Aquesta diferència de cost es justifica tenint en compte que el ventilador que incorpora el fancoil consumeix una potència insignificant davant l'equipament generador d'aigua climatitzada que circula per la xarxa hidràulica del sistema de climatització.

El funcionament dels fancoils s'ha dissenyat amb l'objectiu de maximitzar l'eficiència energètica. Per aquest motiu, es donarà preferència a l'activació del ventilador per davant de l'obertura de la vàlvula. En alguns casos, la recirculació d'aire serà suficient per tal d'apropar la temperatura de la sala a la consigna desitjada.

Quan es doni l'ordre de marxa del fancoil i aquest vingui d'un estat d'aturada major a 2 minuts, entrarà a una etapa d'inicialització abans de començar a proporcionar aire condicionat a la sala. Aquesta etapa tindrà una durada establerta en el paràmetre *TON\_INIT* de la Taula 17 (per defecte, 2 minuts) i el seu comportament variarà lleugerament en funció del mode de funcionament de la refredadora.

- Mode refrigeració: en aquest mode, durant l'etapa d'inicialització el ventilador es posarà a velocitat màxima i la vàlvula es mantindrà tancada. Col·locar el ventilador a màxima velocitat ajudarà a remoure l'aire de la sala i, consegüentment, a disminuir la seva temperatura.
- Mode calefacció: en aquest mode, durant l'etapa d'inicialització el ventilador es mantindrà a velocitat mínima i es donarà l'ordre d'obertura de la vàlvula per tal de climatitzar la bateria. Aquesta fase evitarà que es produeixin cops de fred que disminuirien la sensació de confort de l'usuari, sobretot durant els mesos d'hivern.

En acabar l'etapa d'inicialització, el fancoil entrarà a la fase de funcionament normal, on el ventilador i la vàlvula passaran a ser accionats en funció de la diferència entre la temperatura real de la sala i la temperatura de consigna que s'hagi establert.

Quan la refredadora es trobi en estat d'aturada (la temperatura exterior es troba entre els dos punts de canvi de mode), la vàlvula dels fancoils s'enclavarà mantenint-se tancada i el ventilador continuarà funcionant per garantir la recirculació de l'aire a la sala.

En produir-se un canvi de mode de funcionament de la refredadora, els fancoils es posaran en un estat de suspensió en el qual s'anul·larà la demanda d'aigua climatitzada per part de les vàlvules mentre la refredadora es troba en estat de transició, climatitzant l'aigua del dipòsit de la instal·lació. Aquesta etapa té una duració aproximada de 15 minuts. Quan la refredadora recuperi l'estat estacionari, els fancoils es recuperaran el funcionament normal automàticament.

S'ha definit una estructura de dades genèrica pel control de cada fancoil que conté les variables recollides a la Taula 17.

Taula 17: Variables genèriques pel control dels fancoils

Variable	Valor per defecte	Tipus	Descripció
<b>MODE</b>	FALSE	BOOL	Ordre de control manual o automàtic. FALSE = Control manual TRUE = Control automàtic
<b>MODE_ST</b>	FALSE	BOOL	Estat del mode de control. FALSE = Control manual TRUE = Control automàtic
<b>OM_AUTO</b>	FALSE	BOOL	Ordre de marxa del fancoil en mode automàtic
<b>OM_MAN</b>	FALSE	BOOL	Ordre de marxa del fancoil en mode manual
<b>SP_AUTO</b>	0	REAL	Consigna de temperatura en mode automàtic
<b>SP_MAN</b>	0	REAL	Consigna de temperatura en mode manual
<b>ALARMA</b>	FALSE	BOOL	Anomalia en el funcionament del fancoil
<b>TON_INIT</b>	2 min	TIME	Temps de duració de l'etapa d'inicialització

Aquesta estructura permet escollir entre un mode de funcionament automàtic, on l'equip seguirà les ordres donades des de la pantalla tàctil de la sala, o bé, des de SCADA. I, d'altra banda, es pot imposar un mode de funcionament manual on el control passarà a ser local manipulant les variables directament des del PLC.

El control manual serà útil durant les fases de posta en marxa del projecte, o bé, en jornades de manteniment on cal fer proves específiques als equips.

### 6.5.1 Fancoils amb vàlvula regulable

Cada fancoil disposa d'una vàlvula i un ventilador regulable mitjançant un senyal analògic de 0 a 10V.

La vàlvula serà governada mitjançant un controlador PID, mentre que pel ventilador s'utilitzarà un control per bandes. Així doncs, a banda de les variables descrites a la Taula 17, per aquesta tipologia d'equip es definiran les variables de la Taula 18 necessàries per a la parametrització del controlador PID.

Taula 18: Variables pel control dels fancoils amb vàlvula regulable

Variable	Valor per defecte	Tipus	Descripció
<b>rKp</b>	13	REAL	Constant proporcional pel controlador PID de la vàlvula.
<b>tTi</b>	900 seg	TIME	Constant de temps integral pel controlador PID de la vàlvula.
<b>tTd</b>	0 seg	TIME	Constant de temps derivatiu pel controlador PID de la vàlvula.
<b>bDirection</b>	FALSE	BOOL	Designa el sentit del càlcul de l'error per la realimentació del controlador PID. FALSE = Calefacció (Error = SP – PV) TRUE = Refrigeració (Error = PV – SP)

El control per bandes del ventilador queda definit a la Taula 19.

Taula 19: Control del ventilador dels fancoils amb vàlvula regulable

Diferència entre SP i PV	Velocitat del ventilador
<b>Menor o igual a 0.2°C</b>	10%
<b>Major a 0.2°C i menor o igual a 0.4°C</b>	20%
<b>Major a 0.4°C i menor o igual a 0.6°C</b>	30%
<b>Major a 0.6°C i menor o igual a 0.8°C</b>	40%
<b>Major a 0.8°C i menor o igual a 1.0°C</b>	50%
<b>Major a 1.0°C i menor o igual a 1.2°C</b>	60%
<b>Major a 1.2°C i menor o igual a 1.4°C</b>	70%
<b>Major a 1.4°C i menor o igual a 1.6°C</b>	80%
<b>Major a 1.6°C i menor o igual a 1.8°C</b>	90%
<b>Major a 1.8°C</b>	100%

Els senyals utilitzats per al control d'aquests fancoils es recullen a la Taula 20.

Taula 20: Senyals d'entrada i sortida pels fancoils de vàlvula regulable

Entrades	Descripció	Tipus	Nom
Confirmació de marxa	Detecta l'estat de marxa real del ventilador del fancoil	Digital	FANxxxx_CM
Sortides	Descripció	Tipus	Nom
Velocitat del ventilador	Senyal de control de la velocitat de gir del ventilador	Analògic	FANxxxx_VEL
Posició de la vàlvula	Senyal de control de l'obertura de la vàlvula	Analògic	VALxxxx_POS

On xxxx fa referència al codi numèric que identifica cada element de la instal·lació.

### 6.5.2 Fancoils amb vàlvula tot o res

Cada fancoil disposa d'una bateria amb vàlvula de tipus *tot o res* i un *ventilador* amb tres velocitats controlades per l'activació de 3 relés. En aquest cas, tots els senyals de control són de tipus digital amb una tensió de 0 a 24V.

Pel control d'aquesta tipologia de fancoil es defineixen, a banda de l'estructura genèrica de la Taula 17, les variables recollides a la Taula 21.

Taula 21: Variables pel control dels fancoils amb vàlvula tot o res

Variable	Valor per defecte	Tipus	Descripció
TI_SP_BM	0.5°C	REAL	Diferència entre temperatura real i consigna pel cicle d'histèresi en l'activació de la vàlvula.
TOF_VAL	30 seg	TIME	Temps de retard per tancar la vàlvula quan s'assoleix la temperatura de consigna

Les velocitats del ventilador s'alternaran mitjançant un control per bandes. El paràmetre *TI\_SP\_BM* de la Taula 21 marca la primera banda del controlador. Es configuraran una segona banda que correspondrà al doble del valor *TI\_SP\_BM*. El ventilador es mantindrà a velocitat mínima mentre la diferència entre temperatura real i consigna no sigui superior al valor de la primera banda morta. En superar cada banda, la velocitat augmentarà fins a accionar-se la velocitat màxima en superar la segona banda morta.

Pel que fa a l'accionament de la vàlvula, s'utilitzarà un controlador de tipus digital amb histèresis. La vàlvula s'obrirà en superar la primera banda morta, i no tornarà a tancar-se fins a assolir la temperatura de consigna.

Els senyals utilitzats per al control d'aquests fancoils es recullen a la Taula 22.

Taula 22: Senyals d'entrada i sortida dels fancoils amb vàlvula tot o res

<b>Entrades</b>	<b>Descripció</b>	<b>Tipus</b>	<b>Nom</b>
Confirmació de marxa	Detecta l'estat de marxa real del ventilador del fancoil	Digital	FANxxxx_CM
<b>Sortides</b>	<b>Descripció</b>	<b>Tipus</b>	<b>Nom</b>
Ordre velocitat 1 del ventilador	Activació de la velocitat baixa del ventilador	Digital	FANxxxx_VEL1
Ordre velocitat 2 del ventilador	Activació de la velocitat mitja del ventilador	Digital	FANxxxx_VEL2
Ordre velocitat 3 del ventilador	Activació de la velocitat alta del ventilador	Digital	FANxxxx_VEL3
Ordre d'obertura de la vàlvula	Senyal de control de l'obertura de la vàlvula	Digital	VALxxxx_OM

On xxxx fa referència al codi numèric que identifica cada element de la instal·lació.





## 7 GESTIÓ AUTOMÀTICA DE L'EDIFICI

En aquesta secció es detallarà el funcionament general del sistema de gestió automàtica de l'edifici.

Es desenvoluparà la lògica de funcionament que segueix cada sala de l'edifici per tal d'autogestionar-se, les rutines periòdiques que se segueixen per tal de mantenir certes variables del sistema actualitzades i, per últim, la parametrització general de l'edifici i específica de cada sala que és possible modificar des del sistema SCADA per tal d'adaptar el funcionament del sistema al gust de l'usuari.

### 7.1 Modes de funcionament de les sales

La lògica de funcionament de cada una de les sales al llarg del dia diferirà en funció del mode en el qual es trobi. Així doncs, s'han dissenyat quatre modes de funcionament diferents que es detallaran a continuació.

#### 7.1.1 Mode repòs (mode 3)

El mode repòs s'activarà en aquelles situacions on l'activitat a l'edifici sigui pràcticament nul·la, és a dir, fora de la jornada laboral. Està pensat per deixar el sistema en un estat de consum mínim. Per aquest motiu, en col·locar una sala en mode repòs, es donarà l'ordre d'aturada al seu equip de climatització de forma automàtica a excepció dels següents casos:

Si la refredadora està en mode calefacció, la climatització es posarà en marxa si la temperatura de la sala disminueix per sota de 18°C, mantenint-se en funcionament fins a assolir els 20°C.

D'altra banda, si la refredadora està en mode calefacció, la climatització es posarà en marxa si la temperatura augmenta per sobre dels 28°C i s'aturarà en disminuir de nou a 26°C.

Els valors de temperatura de seguretat que controlen la posada en marxa i aturada del sistema de climatització en el mode repòs són paràmetres modificables que s'apliquen de forma general a totes les sales de l'edifici.

### 7.1.2 Mode Pre-repòs (mode 2)

El mode pre-repòs s'activarà durant els períodes d'inactivitat a la sala, però dins l'horari laboral, és a dir, amb activitat general a l'edifici. S'ha dissenyat per deixar la sala en un estat de consum mínim tot mantenint uns nivells de qualitat ambiental suficients per no abandonar la zona de confort.

En aquest estat, la il·luminació de la sala s'apagarà i, en cas de detectar que la incidència solar pot ajudar a la climatització de la sala, es col·locaran les cortines al límit superior. Aquesta situació tindrà lloc quan la consigna de temperatura sigui superior a la temperatura de la sala i, per tant, calgui proporcionar calor a l'estança.

D'altra banda, es modificarà la consigna de forma provisional per tal de disminuir el consum energètic del sistema de climatització durant el període d'inactivitat a la sala. En cas d'estar funcionant en mode calefacció, la consigna es portarà al límit inferior permès (per defecte, 20°C). Si el mode actiu de la refredadora és el de refrigeració, la consigna se sobreescrirà establint-la al límit superior permès (per defecte, 26°C). En els dos casos, l'objectiu és el de minimitzar l'obertura de la vàlvula i, en conseqüència, la demanda energètica del sistema.

Els límits de consigna de temperatura permesos per a cada mode de funcionament (calefacció i refrigeració) són paràmetres generals del sistema modificables. Estan recollits a la Taula 23 (pag. 51).

### 7.1.3 Mode de treball (mode 1)

La sala entrarà en mode treball mentre hi hagi activitat a la sala dins l'horari laboral. En aquest estat, el sistema de control respondrà a les ordres que l'usuari li comuniqui des del panell tàctil situat a la paret de la sala.

Quan s'entri a aquest mode per primera vegada al dia, moment on comença la jornada laboral de l'usuari del despatx, el sistema de climatització es posarà en marxa automàticament i s'establirà l'última consigna entrada el dia anterior.

### 7.1.4 Mode Pre-reunió (mode 4)

El mode pre-reunió es pot activar de forma manual des del sistema SCADA prèviament a començar una reunió a la sala en qüestió. En aquest estat, el sistema de control s'encarregarà de portar la sala a unes condicions de temperatura i llum natural de confort per a poder iniciar la reunió.

El mode pre-reunió queda automàticament desactivat en detectar de nou presència a la sala, o bé, en finalitzar la jornada laboral, moment en el qual es passarà a mode repòs.

#### 7.1.5 Lògica de pas entre modes de funcionament

En posar en marxa el sistema de control, les sales s'inicialitzaran en el mode repòs.

Quan l'hora del sistema entri dins el període de treball de l'edifici (temps comprès entre els paràmetres generals T\_INICI\_ACTIVITAT i T\_FI\_ACTIVITAT recollits a la Taula 23 (pag. 51), el mode de totes les sales canviarà automàticament a pre-repòs.

El senyal que donarà l'ordre per passar de mode pre-repòs a mode de treball serà la detecció de presència del sensor infraroig. D'altra banda, des del mode Pre-repòs també és possible passar al mode pre-reunió de forma manual des de SCADA.

El sistema de control d'una sala romandrà en mode treball fins que el sensor infraroig i el detector d'alta freqüència incorporat al sensor multiparamètric deixin de detectar presència a la sala. En aquest punt, s'activarà un retard de 5 minuts i, transcorregut aquest període, la sala es retornarà al mode pre-repòs.

En sortir de l'horari laboral de l'edifici (considerat com a qualsevol hora fora del rang comprès entre els paràmetres generals T\_INICI\_ACTIVITAT i T\_FI\_ACTIVITAT, i caps de setmana) les sales passaran automàticament a mode repòs, estat en el qual romandran fins al nou inici de la jornada.

Des del sistema SCADA és possible activar el forçat manual d'un mode de funcionament de forma individual per cada sala. D'aquesta manera, és possible, per exemple, evitar que una sala entri en mode Repòs durant el cap de setmana en cas que una situació extraordinària ho requereixi.

## 7.2 Mode ECO

És possible activar un mode de funcionament ECO (ecològic) per cada sala. La seva activació només estarà disponible mentre la sala es trobi en mode treball i serà desactivat automàticament en abandonar aquest estat.

El mode ECO fa un control general de la sala actuant sobre l'equip de climatització, la il·luminació i les cortines. El seu objectiu és el de disminuir el consum energètic de la sala fent un sacrifici lleugerament superior del confort de l'usuari que en el cas d'un funcionament normal.

Això s'aconsegueix primerament, modificant la consigna de temperatura de la climatització. Aquesta, es sobreescriu pel valor entrat al paràmetre general TI\_SP\_ECO\_CALOR i TI\_SP\_ECO\_FRED descrit a la Taula 17 (pàg. 22).

A continuació, es fa una lectura del nivell de lluminositat que hi ha a la sala i, en cas de superar el valor recomanat per la normativa, es disminueix la intensitat dels panells LED d'acord amb els paràmetres generals establerts.

Finalment, la posició de les cortines es modifica per tal de contribuir a l'ús de llum natural i ajudar a la climatització a escalfar la sala en cas de ser necessari. No obstant això, si es detecta que la incidència solar és directe a través de les finestres, les cortines es mantenen a una posició intermèdia per tal de no afectar el confort visual de l'usuari.

### 7.3 Control de les cortines en funció del Sol

A banda d'accionar les cortines manualment des de la pantalla tàctil de la sala, la posició de les cortines també es modificarà de forma automàtica pel sistema de control en funció de l'hora de sortida i posta de Sol i la seva posició al llarg del dia.

Per a determinar la posició del Sol es calcula tant l'angle d'elevació (angle vertical respecte el terra) com l'angle d'azimut (desviació respecte al nord). Aquests dos conceptes s'exemplifiquen a la Figura 7. Per fer aquests càlculs s'ha utilitzat la llibreria *TF8010 – Building Automation Basic* que proporciona *Beckhoff* amb funcions dedicades a aquests càlculs.

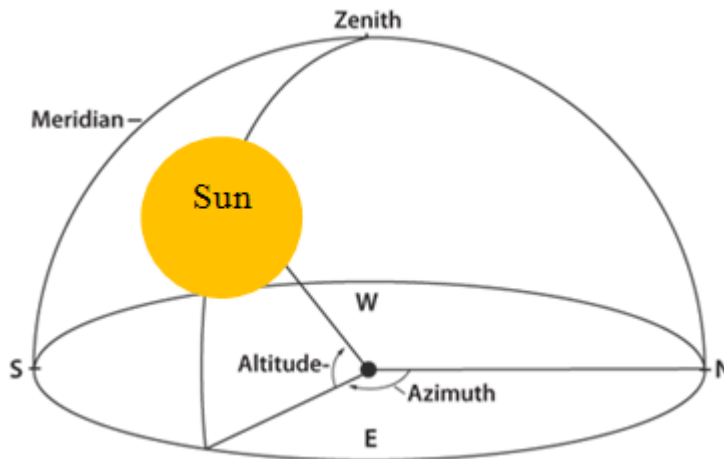


Figura 7: Càlcul de la posició del Sol

D'altra banda, cada sala tindrà dos paràmetres específics modificables, són el SUN\_AZIMUTH\_MAX i SUN\_AZIMUTH\_MIN detallats a la Taula 24 (pàg. 53). Aquests paràmetres marcaran un rang de posicions del Sol respecte al Nord en les quals es considera que els rajos solars incideixen directament dins la sala i, per tant, provocarien una disminució del confort per l'usuari que es trobi en el despatx en qüestió.

D'aquesta manera, quan l'angle d'azimut del Sol superi el valor marcat pel paràmetre SUN\_AZIMUT\_MIN, les cortines baixaran automàticament. No serà fins que aquest mateix angle superi el valor de SUN\_AZIMUTH\_MAX que les cortines tornaran a col·locar-se a la posició superior.

En el moment en què l'hora del sistema sobrepassi l'hora a la qual s'ha calculat la posta del Sol, les cortines es col·locaran al límit inferior i s'hi mantindran fins a l'endemà, en superar l'hora de sortida del Sol.

#### 7.4 Accions periòdiques automàtiques

Durant la nit es faran una sèrie d'accions programades i relacionades amb el calibratge i posicionament d'alguns dispositius, així com l'actualització de certes variables. Totes elles han sigut programades a les quatre de la matinada per tal d'evitar problemes en fer el canvi horari.

Primerament, s'actualitzarà la data i l'hora que es rebi del servidor NTP (*Network Time Protocol*) a totes les pantalles tàctils KNX distribuïdes a les diferents sales de l'edifici.

A continuació, es farà el procés de calibratge de tots els actuadors KNX de les cortines motoritzades. El procés de calibratge està detallat a l'apartat 4.2.5 (pàg. 28).

Finalment, es calcularà l'hora de sortida i posta de Sol pel posterior accionament automàtic de les cortines de l'edifici.

#### 7.5 Paràmetres generals de l'edifici

A continuació es presenta la Taula 23, on es fa un recull de tots els paràmetres generals de l'edifici que poden ser modificats des del sistema SCADA per tal d'adaptar el comportament general del sistema de control de l'edifici.

Taula 23: Paràmetres generals de l'edifici

Paràmetre	Tipus	Valor per defecte	Descripció
TI_SP_MAX_CALOR	REAL	24 °C	Consigna de temperatura màxima en mode calefacció.
TI_SP_MIN_CALOR	REAL	20 °C	Consigna de temperatura mínima en mode calefacció.
TI_SP_MAX_FRED	REAL	26 °C	Consigna de temperatura màxima en mode refrigeració.
TI_SP_MIN_FRED	REAL	23 °C	Consigna de temperatura mínima en mode refrigeració.
TI_SP_SEG_ON_CALOR	REAL	18 °C	Límit de seguretat de temperatura per posar en marxa la climatització en mode calefacció.

TI_SP_SEG_OFF_CALOR	REAL	20 °C	Límit inferior de temperatura per aturar la climatització en mode calefacció i sala en repòs.
TI_SP_SEG_ON_FRED	REAL	28 °C	Límit de seguretat de temperatura per posar en marxa la climatització en mode refrigeració.
TI_SP_SEG_OFF_FRED	REAL	26 °C	Límit superior de temperatura per aturar la climatització en mode refrigeració i sala en repòs.
TI_SP_ECO_CALOR	REAL	22 °C	Consigna de temperatura en mode ECO i calefacció.
TI_SP_ECO_FRED	REAL	24 °C	Consigna de temperatura en mode ECO i refrigeració.
TI_EXT_CALOR	REAL	18 °C	Temperatura exterior pel canvi a mode calefacció.
TI_EXT_FRED	REAL	24 °C	Temperatura exterior pel canvi a mode refrigeració.
CO_PV_MAX	REAL	1250 ppm	Nivell màxim admissible de CO <sub>2</sub> a l'interior de l'edifici.
LIGHT_LEVEL_ECO_MAX	BYTE	100	Intensitat d'il·luminació màxima en mode ECO
LIGHT_LEVEL_ECO_MIG	BYTE	75	Intensitat d'il·luminació mitja en mode ECO
LIGHT_LEVEL_ECO_MIN	BYTE	50	Intensitat d'il·luminació mínima en mode ECO
T_INICI_ACTIVITAT	TOD	06:30:00	Hora d'inici de l'activitat laboral a l'edifici
T_FI_ACTIVITAT	TOD	21:00:00	Hora de finalització de l'activitat laboral a l'edifici
T_SORTIDA_SOL	TOD	-	Hora de sortida del Sol (calculada automàticament pel PLC)
T_POSTA_SOL	TOD	-	Hora de posta del Sol (calculada automàticament pel PLC)
T_OFF_LIGHT	TIME	5 min	Temps de retard per l'apagada de llums en perdre la presència a la sala.

## 7.6 Paràmetres específics per cada sala

A banda dels paràmetres generals de l'edifici, hi ha disponibles una sèrie de paràmetres i controls específics per cada sala per tal de poder-ne modificar el comportament de forma remota des del sistema SCADA. Es resumeixen a la Taula 24.

Taula 24: Paràmetres específics per cada sala

Paràmetre	Tipus	Valor per defecte	Descripció
ENCLV_MODE_SALA	BOOL	FALSE	Permet activar el forçat un mode de funcionament de la sala concret
CLIMA_OM	BOOL	FALSE	Ordre de marxa de la climatització de la sala
ECO_MODE	BOOL	FALSE	Activar/Desactivar el mode ECO
DIS_PRS	BOOL	FALSE	Desactivar la detecció de presència
PRESENCIA	BOOL	FALSE	Bit d'estat de la detecció de presència a la sala
BND_AUTO	BOOL	FALSE	Activar/Desactivar el moviment automàtic de les cortines
BND_POS	BYTE	0%	Ordre de posicionament de les cortines
BND_EST	BYTE	0%	Estat real de la posició de les cortines
BND_POS_AZIMUTH	BYTE	70%	Posició de les cortines en detectar que el Sol incideix directament dins la sala
DEFALUT_LIGHT_LEVEL	BYTE	100%	Intensitat d'il·luminació per defecte en detectar presència a la sala
LIGHT_LEVEL	BYTE	0%	Control de la intensitat d'il·luminació.
MODE_SALA	BYTE	3	Mode de funcionament de la sala
TI_SP_TREBALL	REAL	21°C	Consigna de temperatura que segueix la climatització quan la sala es trobi en mode treball
SUN_AZIMUTH_MAX	LREAL	160°	Angle d'azimut màxim per considerar incidència Solar directe dins la sala.
SUN_AZMIUTH_MIN	LREAL	100°	Angle d'azimut mínim per considerar incidència Solar directe dins la sala.





## 8 CONTROL I MONITORATGE

En aquest apartat es farà una introducció a l'autòmat programable escollit per a centralitzar la lògica de funcionament del sistema. També es detallarà l'estructura del programa de control implementat i, per últim, es presentarà una fase inicial del disseny del sistema SCADA per al monitoratge de les variables de procés i la parametrització del sistema de control.

### 8.1 Autòmat programable

Per a centralitzar la intel·ligència de la instal·lació s'ha escollit un autòmat programable del fabricant *Beckhoff*.

Aquesta empresa ofereix autòmats que són atractius pel que fa a aplicacions de Building Automation gràcies a la seva gran oferta de components de software i hardware modulars i escalables que permeten la comunicació directa amb la gran majoria de sensors i actuadors, així com sistemes de bus de camp utilitzats per a l'automatització d'edificis. D'aquesta manera, tenint tots els sistemes integrats en una única plataforma, els integradors es beneficien d'una enginyeria simplificada i d'una major fiabilitat en els processos. D'altra banda, els operadors minimitzen costos operatius i treballs de manteniment.

L'autòmat programable escollit és el model Beckhoff *CX8190*. Es tracta d'un PLC amb un processador *ARM Cortex A9* a 800Hz i 512MB de RAM DDR3. El sistema operatiu que l'administra el *CX8190* és un *Windows Embedded Compact 7*. Es tracta d'una versió reduïda de *Windows* pensada per sistemes de temps real.

Els autòmats programables de *Beckhoff* es classifiquen pel seu *performance level* o *platform level*, és a dir, en funció del seva capacitat de rendiment. El PLC escollit correspon a la classe *P20 Economy*, el grup de rendiment més baix que ofereix *Beckhoff*, però suficient per aquesta aplicació. El *performance level* cal tenir-lo en compte a l'hora d'adquirir les llicències de programari i llibreries que es necessitin. El seu cost hi és proporcional.

Aquest PLC segueix l'estàndard IEC 61131 publicat per la Comissió Electrotècnica Internacional que estableix un conjunt de normes i informes tècnics per

estandarditzar els autòmats programables. Pel que seguint la tercera part d'aquest estàndard corresponent als llenguatges de programació, és possible programar-lo en diagrama de contactes (LD), diagrama de blocs de funcions (FBD), text estructurat (ST), llistat d'instruccions (IL) i blocs de funcions seqüencials (SFC).

En aquest cas, el programa està basat en una sèrie de blocs de funcions que controlen processos concrets. Cada un d'ells ha estat implementat utilitzant text estructurat.

### 8.1.1 Paquets de funcions necessaris

Per a poder implementar totes les funcionalitats del sistema, és necessari adquirir els paquets de funcions recollits a la Taula 25.

Taula 25: Paquets de funcions necessaris pel PLC

Llibreria	Descripció
<b>TC1200 – Twincat 3 PLC</b>	Llicència de programació per autòmats <i>Beckhoff</i>
<b>TF6100 – OPC-UA</b>	Permet la comunicació mitjançant el protocol OPC-UA
<b>TF8010 – BA Basic</b>	Ofereix blocs de funció específics pel Building Automation. Se n'utilitzen les funcions per al càlcul de l'hora de sortida i posta de Sol, així com la seva posició.
<b>TF8000 – HVAC</b>	Ofereix blocs de funció específics pel control de sistemes de climatització. Se n'utilitza un bloc PID.

### 8.1.2 Estructura general del programa de control

#### 8.1.2.1 Etapa 1 – Inicialització i configuració de comunicacions KNX

En iniciar l'execució del programa de control, la primera tasca que es fa és la inicialització de les comunicacions amb el bus KNX, atorgant al PLC l'adreça física amb la qual s'identificarà dins el sistema KNX i configurant el filtre d'adreces de grup que admetrà la targeta KNX acoblada al PLC. Si no es detecta cap error en la comunicació, s'avança a la següent etapa.

#### 8.1.2.2 Etapa 2 – Inicialització de comunicacions DALI

La segona etapa d'inicialització correspon en activar les comunicacions amb el bus DALI. Aquesta rutina farà una sèrie de comprovacions amb el bus i, en acabar, si no s'ha detectat cap error, es donarà per finalitzada la inicialització del programa de control per passar a la rutina que s'executarà en bucle mentre el PLC estigui en funcionament.

### 8.1.2.3 Etapa 3 – Bucle de control

El bucle de control comença amb la lectura de les entrades digitals i analògiques provinents dels sensors de la climatització.

A continuació es fa una lectura dels telegrams que s'han rebut del bus KNX i s'assignen les dades útils a les variables de PLC corresponents.

Una vegada finalitzada la lectura d'entrades, es passa a l'avaluació de la lògica de control de cada una de les sales, on se'n determinarà a quin mode de funcionament cal establir-les i quines ordres cal donar als diferents subsistemes de l'edifici (climatització, il·luminació i cortines).

Acabat el càlcul de les ordres de control, s'entra a una rutina que avaluarà l'estat de la informació que s'està mostrant a les pantalles tàctils de les sales i, en el cas que aquesta difereixi de l'estat actual del sistema, es donarà l'ordre de refresc de la informació. Per fer-ho, es prepararan els telegrams corresponents que, en una següent fase, seran enviats als dispositius a través de la targeta de comunicacions KNX.

Finalment, s'escriuran les ordres de control del sistema de climatització a la imatge de sortida per tal d'actualitzar l'estat de les targetes de sortides analògiques i digitals.

### 8.1.3 Variables i funcions pel control i comunicació KNX

Per llegir i escriure telegrams a través del bus KNX s'ha dissenyat una estructura de dades amb les variables necessàries per a poder controlar l'instant de recepció o enviament d'un telegrama, les dades útils que conté i l'adreça per la qual es rep o tramet. Aquesta estructura té la forma de la Taula 26.

Taula 26: Estructura de dades UDT\_EIB per l'intercanvi de telegrams KNX

Variable	Tipus	Descripció
<b>bEvent</b>	BOOL	Indica la recepció d'un telegrama des de l'adreça <i>ADDR_IN</i> amb un flanc de pujada.
<b>bWrite</b>	BOOL	Dona l'ordre d'enviament d'un telegrama a l'adreça <i>ADDR_OUT</i> amb un flanc de pujada.
<b>Data</b>	BOOL / BYTE / INT / REAL	Emmagatzema les dades útils que contenen els telegrams. El tipus de la variable anirà acord amb el tipus d'informació objecte de la comunicació.
<b>ADDR_IN</b>	EIB_GROUP_ADDR	Adreça de grup de l'origen del telegrama.
<b>ADDR_OUT</b>	EIB_GROUP_ADDR	Adreça de grup de destí del telegrama.

S'han creat quatre ramificacions d'aquesta estructura en funció del tipus de la variable *Data* que s'anomenaran UDT\_EIB\_BOOL, UDT\_EIB\_BYTE, UDT\_EIB\_INT i UDT\_EIB\_REAL respectivament.

Seguint aquesta metodologia, la recepció de l'ordre d'un polsador requerirà declarar una variable de tipus UDT\_EIB\_BOOL, mentre que la transmissió d'una temperatura amb decimals caldrà assignar-la a una variable de tipus UDT\_EIB\_REAL.

Establerta la metodologia de comunicació bàsica, s'han creat estructures de dades amb les variables necessàries per la comunicació amb cada dispositiu. La Taula 27 recull les variables que s'utilitzen per comunicar amb cada pantalla tàctil KNX.

Taula 27: Estructura UDT\_DSP pel control de la pantalla tàctil KNX

Variable	Tipus	Descripció
E_COM	BOOL	Activa la comunicació amb el dispositiu.
TI_SP	UDT_EIB_REAL	Consigna de temperatura.
TI_PV	UDT_EIB_REAL	Lectura de temperatura del sensor intern.
CLIMA_OM	UDT_EIB_BOOL	Ordre de marxa de la climatització.
CLIMA_MODE	UDT_EIB_BOOL	Mode de funcionament de la climatització.
FN_VEL	UDT_EIB_BYTE	Velocitat del ventilador del fancoil.
LIGHT_SW	UDT_EIB_BOOL	Polsador de la il·luminació.
LIGHT_DIM	UDT_EIB_BYTE	Regulació de la intensitat de la il·luminació.
BND_POS	UDT_EIB_BYTE	Ordre posicionament de la cortina.
BND_EST	UDT_EIB_BYTE	Estat real de la posició de la cortina.
ECO_SW	UDT_EIB_BOOL	Polsador activació mode ECO.
AIR_INFO1	UDT_EIB_REAL	Paràmetre 1 d'informació de l'aire.
AIR_INFO2	UDT_EIB_REAL	Paràmetre 2 d'informació de l'aire.
AIR_INFO3	UDT_EIB_REAL	Paràmetre 3 d'informació de l'aire.
AIR_INFO4	UDT_EIB_REAL	Paràmetre 4 d'informació de l'aire.
TI_OFFSET	REAL	Offset aplicat a la lectura del sensor intern.

La Taula 28 recull les variables per a la recepció dels diferents paràmetres de l'aire que capta el sensor multiparamètric KNX.

Taula 28: Estructura UDT\_MPS per la recepció de dades del sensor multiparamètric KNX

Variable	Tipus	Descripció
E_COM	BOOL	Activa la comunicació amb el dispositiu.
SPR_PV	UDT_EIB_BOOL	Detecció de presència.
TI_PV	UDT_EIB_REAL	Lectura de temperatura.
HUM_PV	UDT_EIB_REAL	Lectura d'humitat relativa.
PI_PV	UDT_EIB_REAL	Lectura de pressió absoluta.
CO_PV	UDT_EIB_REAL	Lectura de CO <sub>2</sub> .
LUX_PV	UDT_EIB_REAL	Lectura del nivell .

A la Taula 29 s'hi mostren les variables que s'utilitzen per a rebre informació del sensor infraroig. En aquest cas, únicament es rep l'estat del detector de presència.

Taula 29: Estructura UDT\_PRS per la recepció de dades del sensor infraroig KNX

Variable	Tipus	Descripció
E_COM	BOOL	Activa la comunicació amb el dispositiu.
PV	UDT_EIB_BOOL	Detecció de presència.

Establertes totes les estructures de dades necessàries per a la comunicació amb els dispositius KNX, s'han dissenyat tres tipologies de blocs de funcions.

#### 8.1.3.1 Bloc de funció per a la recepció de telegrams KNX

Un primer bloc de funció contindrà la lògica necessària per a la recepció i inspecció de telegrams KNX. Donant-li com a variable d'entrada/sortida l'estructura de dades d'un dispositiu KNX de la instal·lació, el bloc estarà a l'escolta de les adreces de grup que figurin a les variables *ADDR\_IN* de l'estructura. La seva finalitat és la d'extreure la informació útil del telegrama rebut, col·locar-la al camp *Data* de l'estructura que se li hagi subministrat i, finalment, avisar de la recepció del valor amb un flanc positiu al camp *bEvent*.

#### 8.1.3.2 Bloc de funció per actualitzar la informació del panell tàtil

En segon lloc, s'ha creat un bloc de funció que s'encarregarà de mantenir actualitzada la informació que es mostra als panells tàctils de les sales. Aquest bloc rep, d'una banda, les dades mostrades a la pantalla i, d'altra banda, les variables de procés del PLC que hi estan associades. Amb això, a cada cicle fa una comparació de les variables i, en cas de diferir, actualitza el valor de la pantalla executant un flanc positiu a la variable *bWrite* corresponent.

#### 8.1.3.3 Bloc de funció per enviar telegrams KNX

Per últim i de forma contrària al bloc de recepció, s'ha definit també un bloc de funció especialitzat en l'enviament de telegrams al bus KNX. Donant-li com a variable d'entrada/sortida l'estructura de dades d'un dispositiu KNX de la instal·lació, en detectar un flanc positiu al camp *bWrite*, el bloc s'encarregarà de remetre el contingut de la variable *Data* a l'adreça de destí que marqui la variable *ADDR\_OUT*.

#### 8.1.4 Variables i funcions pel control i comunicació DALI

Tal com s'ha explicat a l'apartat 5.2, cada panell LED està alimentat i controlat per un dispositiu esclau DALI. Pel que fa al programa de control, cada un d'aquests dispositius estan associats a una estructura de dades que s'ha preparat amb l'objectiu d'agrupar els paràmetres de control que es puguin necessitar. Aquesta estructura està representada a la Taula 30.

Taula 30: Estructura de dades pel control dels dispositius DALI

Variable	Tipus	Descripció
<b>ERROR</b>	BOOL	Error en la comunicació amb el dispositiu.
<b>MODE</b>	BOOL	Selector control manual/automàtic
<b>SP_AUTO</b>	BYTE	Ordre intensitat d'il·luminació en automàtic
<b>SP_MANUAL</b>	BYTE	Ordre intensitat d'il·luminació en manual
<b>SP</b>	BYTE	Ordre intensitat d'il·luminació enviada al controlador DALI
<b>PV</b>	BYTE	Lectura intensitat d'il·luminació real del panell LED

Aquesta estructura està pensada per permetre tenir, d'una banda, un control automàtic de la lluminària modificant el valor de *SP\_AUTO* (des de la lògica de control) i, d'altra banda, activant el mode manual a través de la variable *MODE*, poder fer un control manual de la il·luminació sense tenir en compte la lògica de funcionament automàtic que s'hagi programat. D'aquesta manera, si en algun moment un sensor de presència falla, serà possible il·luminar la sala manualment.

Per poder gestionar la comunicació amb cada dispositiu s'ha dissenyat i implementat un bloc de funció que, passant-li l'adreça del controlador i l'estructura de dades que li correspongui, gestionarà les ordres enviades al bus. Addicionalment, aquest bloc de funció s'encarregarà de rebre *feedback* del dispositiu DALI cada 2 segons. Es peticionarà l'estat real de la il·luminació (que es col·locarà a la variable *PV*) i es comprovarà l'existència de qualsevol anomalia que, en cas d'haver-n'hi, s'activarà el bit *ERROR*.

Per a la configuració dels controladors DALI, s'ha preparat un programa d'execució manual que conté els procediments necessaris per llençar les ordres de configuració al bus. La seqüència de configuració de cada controlador DALI (de forma individual) és la següent.

Primerament, es llença un ordre de *Reset* al bus, deixant tots els dispositius amb els valors de fàbrica i sense adreça assignada. A continuació, es llença un ordre d'adreçament en forma de difusió. Això assignarà una adreça individual i aleatòria (entre 0 i 63) a cada controlador connectat al bus. Per aquest motiu, la següent fase consisteix en donar ordres d'encesa de la lluminària individualment a cada una de les adreces assignades per tal de detectar l'adreçament fet pel programa.

L'última fase consistirà en modificar l'adreça de cada lluminària per tal de tenir una identificació lògica del bus (p.e. adreces consecutives dins una mateixa estança). Per fer-ho, cal construir una matriu de 64 files (corresponent als 64 dispositius DALI que pot contenir el bus) i dues columnes, adreça actual i nova adreça respectivament. Tenint emplenada la matriu, es passa com a paràmetre al programa de configuració i aquest,

s'encarregarà de modificar l'adreça de cada un dels controladors DALI del bus. Amb el nou adreçament fet, es podrà llençar una ordre global a tots els dispositius amb la informació dels paràmetres recollits a la Taula 12, atès que tindran el mateix valor a totes les il·luminàries.

### 8.1.5 Variables i funcions pel control de la climatització

Pel control de la climatització s'ha creat una estructura de dades i un bloc de funció per cada un dels equips a controlar. D'aquesta manera la lògica de control d'un equip quedarà encapsulat en un bloc de codi que serà capaç de gestionar el funcionament de la maquinària donant-li les entrades i sortides necessàries.

El fet de tenir la lògica de cada equip separada en blocs de funcions agilitza significativament les posteriors implementacions del programa a altres edificis, atès que la tasca de programació es reduirà a instanciar un bloc de funció per cada equip i donar-li els paràmetres i variables que corresponguin en cada cas.

D'altra banda, tenir la lògica distribuïda en blocs facilita les tasques d'adaptació i possibles modificacions durant la fase de posada en funcionament del projecte, permetent la modificació simultània del comportament de diversos equips de la mateixa tipologia.

Les variables utilitzades pel control dels equips de climatització queden especificades als subapartats del capítol 6 corresponents a l'explicació del funcionament de cada equip.

D'altra banda, l'Annex A recull l'assignació de les entrades i sortides analògiques i digitals que s'han utilitzat per tal de comunicar amb cada sensor i actuador del sistema de climatització.

Per últim, i pensant en l'estandardització del sistema de control, s'han programat dos blocs per tal d'enviar les dades analògiques i digitals respectivament a SCADA en un format específic.

D'aquesta manera, cada senyal digital (pressòstat de colmatació, relé tèrmic...) que es mostri a SCADA vindrà acompanyat de les variables que es mostren a la taula.

*Taula 31: Variables a SCADA per a senyals digitals*

<b>Variable</b>	<b>Tipus</b>	<b>Descripció</b>
<b>PV</b>	BOOL	Valor d'entrada física digital.
<b>SIM</b>	BOOL	Habilitar simulació
<b>PV_SIM</b>	BYTE	Valor en simulació
<b>ALARM</b>	BYTE	Senyal d'alarma

## 8.2 Sistema SCADA

En aquest apartat es desenvoluparà el procés de disseny i programació del sistema SCADA. El seu objectiu és el d'oferir al client una supervisió global, centralitzada i en temps real dels subsistemes automatitzats. També permet modificar certs paràmetres del sistema de control, no accessibles per a un usuari estàndard, però sí per personal específic i qualificat de l'edifici, com el de manteniment. D'altra banda, aquest entorn de monitoratge dona la possibilitat de generar un històric de dades que poden ser d'utilitat en un futur per a treure'n informació valuosa sobre el seu comportament i, d'aquesta manera, poder plantejar millores tant d'automatització, com elèctriques, o bé, estructurals (aïllament tèrmic, regulació de la il·luminació natural...).

El software escollit per dur a terme l'SCADA és l'*AVEVA Citect Studio*. Es tracta d'un entorn de desenvolupament integrat amb totes les eines necessàries per a permetre fer representacions lògiques de qualsevol procés automatitzat.

L'elecció d'aquest software ha sigut motivada per diversos motius. D'una banda, Citect Studio està pensat per aplicacions en entorns industrials de petita i mitjana escala, però amb suficients recursos per a ser escalat fàcilment al ritme que ho faci l'aplicació. D'altra banda, l'enginyer encarregat de la programació ja disposa de certa experiència treballant amb aquest programari i, per aquest motiu, es podia oferir un pressupost més ajustat pel que fa a hores d'enginyeria.

### 8.2.1 Consciència de situació

Com a base pel disseny de la interfície gràfica, es proposa un projecte encarat a la consciència de situació o, les seves sigles en anglès, SA (Situational Awareness). Es tracta d'un concepte nascut per a ser utilitzat en sistemes operacionals crítics, per exemple en l'àmbit de l'aviònica, equipament militar, control de centrals nuclears... i cada vegada més estès a altres àmbits de la indústria.

El concepte SA aplicat als sistemes de supervisió industrials té per objectiu mantenir l'atenció de l'usuari que hi interacciona a aquelles situacions anòmales que es puguin donar al sistema. Per fer-ho, s'adapta el disseny de la seva operativa (interfície gràfica i controls) seguint els següents criteris:

- Optimitzar la posició i quantitat d'objectes a mostrar en pantalla, mantenint només visibles en tot moment només aquells més importants. La resta, accessibles mitjançant un submenú o subpestanya.
- Mantenir una capa de colors neutra (tonalitats de grisos) per aquelles situacions de funcionament normal del sistema (sense anomalies).



- Establir colors vius per aquelles situacions anòmales que requereixen l'atenció immediata de l'operari al comandament del sistema.

Seguint els criteris anteriors, s'ha dissenyat la interfície gràfica que es presenta a continuació i s'han establert tres nivells d'alarmes en funció de la seva importància, resumides a la Taula 32.

Taula 32: Classificació de les alarmes a SCADA

Codi	Color	Tipus
1	Vermell	Situació anòmala important. Requereix reacció immediata
2	Groc	Situació anòmala mitja. Cal revisar-ho dins la jornada de treball
3	Cian	Situació anòmala lleu. Requereix de tenir l'element controlat.

## 8.2.2 Interfície gràfica

La interfície gràfica s'ha dissenyat de tal forma que predominen les tonalitats grises, deixant els colors vius per mostrar situacions anòmales que requereixen d'una ràpida reacció del personal encarregat de la supervisió.

Cada pantalla està formada per la capçalera, que és comuna a totes les pantalles, i el contingut, on es troben els elements específics de cada una.

### 8.2.2.1 La capçalera

A la capçalera, mostrada a la Figura 8, s'hi distingeixen tres parts diferents. A la banda dreta hi ha els botons d'ús genèric: com el d'iniciar sessió, retornar a la pàgina d'inici, obrir les eines de programador i obrir l'analitzador de variables per a graficar-les. A la banda esquerra hi ha el botó per entrar a la pàgina d'alarmes, junt amb una descripció de l'alarma activa més recent.

La tercera part principal de la capçalera és el menú de navegació. Es tracta d'un menú de dos nivells que permet construir la navegació entre pantalles lliurement. El color de cada pestanya canviarà de forma dinàmica adaptant-se a la pantalla que es tingui seleccionada en cada moment. En aquest cas, s'ha dissenyat una pantalla per cada planta de l'edifici.

Cada pestanya conté tres indicadors que mostren el comptatge total d'alarmes actives en cada pantalla, classificades segons la seva importància. Així, l'operador veu ràpidament quina secció de l'edifici hi ha l'anomalia.



Figura 8: Capçalera de l'SCADA

### 8.2.2.2 Contingut de la pantalla

Per estandarditzar els controls i indicadors de cada estança que es monitora, s'han dissenyat objectes gràfics reutilitzables o, tal com ho anomena el Citect Studio, els *Genies*.

Els *Genies*, són conjunts de gràfics que s'emmagatzemen dins una llibreria i poden ser reutilitzats en qualsevol part del projecte. El gran potencial dels *Genies* és que poden ser parametritzats utilitzant substitucions, de manera que cada instància de l'objecte pot configurar-se perquè faci referència a elements o variables diferents.

Aprofitant aquesta característica, s'ha dissenyat un *Genie* que agrupa tots els elements per controlar i monitorar una sala. D'aquesta manera, qualsevol modificació que es faci a l'objecte mare quedarà reflectit a totes les instàncies, tot mantenint l'estructura estàndard.

A la Figura 9 es mostra un exemple del control que s'ha dissenyat per una sala.

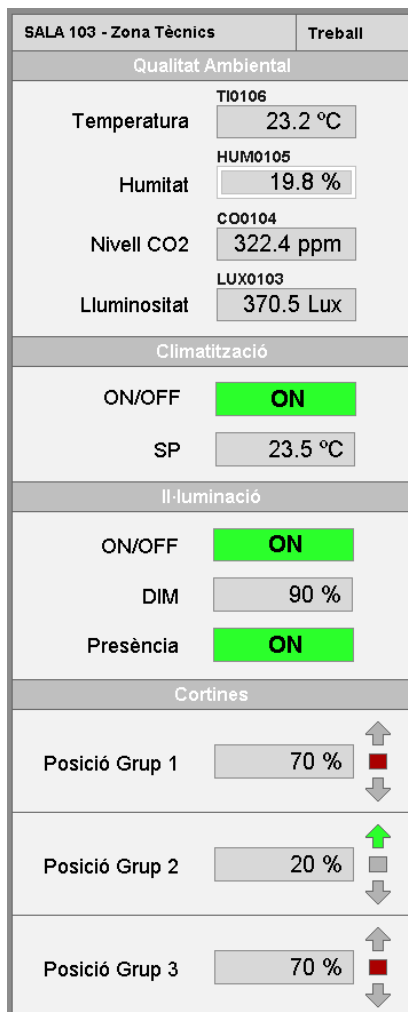


Figura 9: Objecte de SCADA pel control d'una sala

L'objecte es divideix en cinc seccions. A la part superior s'hi mostra l'identificador de l'estança a la qual fa referència, acompanyat del mode de funcionament en el que es troba. En aquest cas, l'objecte fa referència a la Zona de Tècnics que està en mode Treball.

La següent secció conté els indicadors de qualitat d'aire que es monitoren de cada sala. Ho són la temperatura, humitat relativa, nivell de CO<sub>2</sub> i la lluminositat. Cada un d'aquests indicadors disposa de quatre alarmes parametritzables per controlar que el valor de procés no superi uns certs límits. Les alarmes fan referència a valor Molt Baix, Baix, Alt i Molt Alt.

A continuació hi ha la secció de climatització, des de la qual es pot posar en marxa i aturar el sistema de climatització de cada estança, així com modificar-ne la consigna de temperatura.

Tot seguit, a la secció d'il·luminació, es pot veure l'estat dels sensors de detecció de presència, així com controlar l'encesa i apagada dels panells LED o establir-los una intensitat específica.

Finalment, trobem l'apartat del control individual de cortines. Aquí és possible establir cada cortina a una obertura concreta, o bé, donar-li les ordres de moviment i aturada.

Per poder modificar els valors de qualsevol paràmetre, és suficient en clicar sobre l'indicador corresponent per desplegar-ne un teclat numèric, des d'on es podrà introduir el nou valor. A la Figura 10 s'hi mostra un exemple.

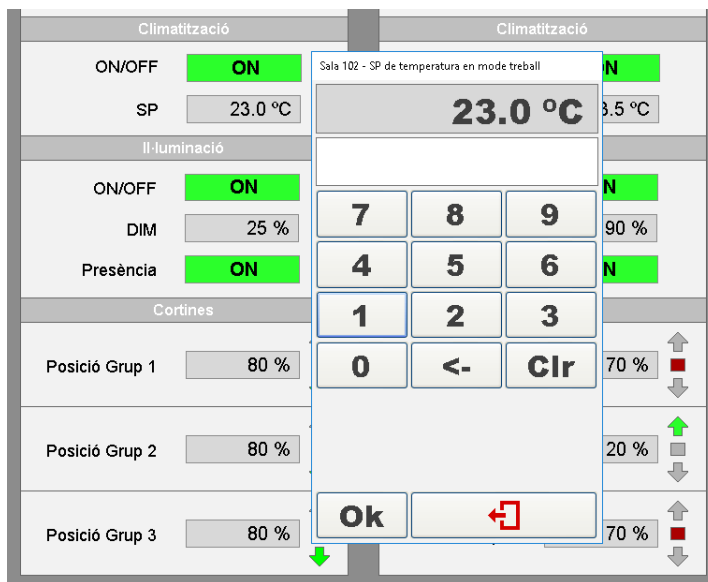


Figura 10: Modificació de paràmetres des de SCADA

Una vegada definit l'objecte genèric pel control d'una sala, s'ha replicat per cada una de les estances a controlar. Així, la Figura 11 mostra la pantalla de control per a la planta baixa de l'edifici.



Figura 11: Pantalla pel control de la planta baixa a SCADA



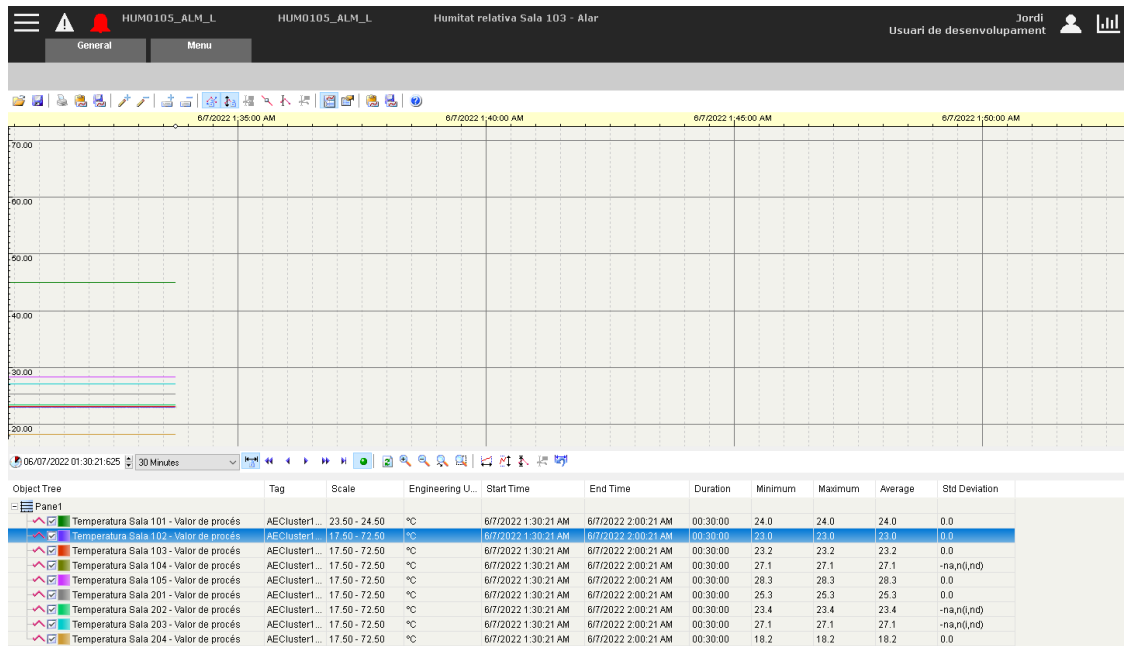


Figura 13: Pantalla d'analitzador de procés a SCADA

Finalment, i com a mètode de seguretat, s'ha fet una pàgina d'inici que es mostrarà sempre que no hi hagi cap usuari amb la sessió iniciada. D'aquesta manera, s'evita que una persona externa al control tingui accés a les funcionalitats del sistema. La pàgina d'inici està representada a la Figura 14.

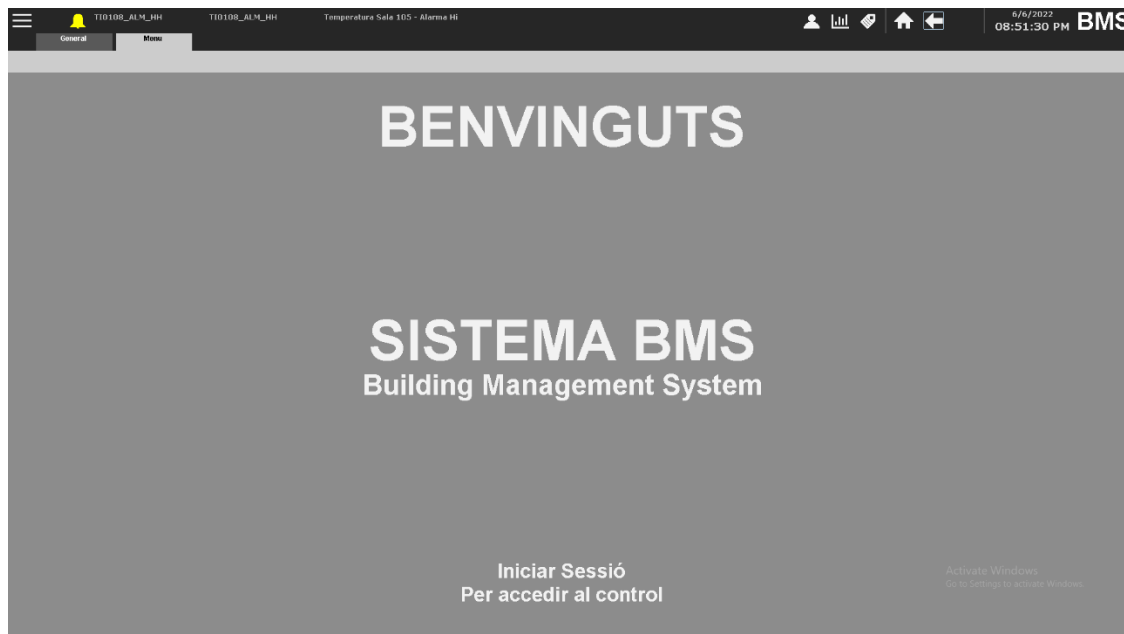


Figura 14: Pantalla d'inici a SCADA



## 9 POSADA EN FUNCIONAMENT

Aquest apartat pretén explicar les diferents etapes de la posada en funcionament d'aquest projecte des del punt de vista de l'enginyer responsable de l'automatització.

La primera tasca que cal fer és l'assignació de les adreces IP als diferents equips del quadre de control que han d'estar connectats a internet. Ho seran aquells que hagin de ser controlats o configurats de forma remota. A la Taula 33 es defineixen els equips a assignar:

*Taula 33: Adreça IP dels dispositius*

<b>Dispositiu</b>	<b>Adreça IP</b>	<b>Màscara de subxarxa</b>	<b>Gateway</b>
PLC Beckhoff	172.168.0.140	255.255.255.0	172.168.0.1
Interfície KNX IP	172.168.0.141	255.255.255.0	172.168.0.1

A continuació, es procedeix a la configuració i programació de tots els dispositius KNX connectats al bus. Per fer-ho, caldrà establir connexió amb el bus KNX des del PC de programació utilitzant la interfície KNX IP. A partir d'aquí, un operari establirà cada dispositiu KNX en mode programació de forma individual clicant el botó físic de programació que porten incorporat. Amb el dispositiu en mode programació, és possible fer-hi un bolcat complet del programa des del software de programació KNX, l'ETS. L'assignació d'adreces es pot veure a la Taula 11.

El següent aparell a configurar és l'autòmat programable. Caldrà posar-lo en mode *Run* i carregar-li el programa des del software de programació *TwinCAT 3*.

Tenint el PLC en marxa, es procedirà a l'adreçament i configuració dels controladors DALI des del mateix configurador programat dins l'autòmat, tal com s'ha explicat a l'apartat 8.1.4 (pàg. 59), l'adreçament inicial dels controladors DALI és aleatori. Per aquest motiu, s'ha decidit col·locar caixes de connexions a cada estança de manera que sigui possible seccionar el bus a conveniència. Així, l'adreçament i configuració de les lluminàries es farà aïllant cada sala de la instal·lació.

L'última etapa de la posada en funcionament consisteix en provar tots els senyals d'entrada i sortida analògics i digitals per control del sistema de climatització. Aquesta fase s'ha de fer en conjunt amb un operari de manera que, l'enginyer en automatització

donarà el senyal a l'actuador activant la sortida de l'autòmat manualment i, l'operari haurà de comprovar que l'actuador en qüestió s'accioni rebent el senyal amb la tensió adequada.

Les següents fases de la posada en funcionament del projecte formen part de l'etapa de seguiment. La tasca protagonistes aquí, és la parametrització final de la instal·lació per tal d'ajustar-la a les necessitats del client.

Uns elements importants a parametritzar són els controladors PID del sistema de climatització, en especial, els encarregats de regular l'obertura de les vàlvules dels fancoils i la UTA.

Una mala regulació d'aquests elements podria comportar, d'una banda, despeses energètiques desmesurades i, d'altra banda, una situació de desconfort elevat dins l'edifici. Per aquest motiu, es posa especial atenció a aquesta tasca configurant programes d'adquisició i representació de dades per tal de poder fer un seguiment del bucle de control.

L'ajust dels PID es porta a terme de forma empírica a causa de la dificultat en el modelat matemàtic del sistema per tal de simular-lo mitjançant funcions de transferència. Així doncs, es comença per un valor proporcional de referència fins a portar el sistema a una zona propera a la inestabilitat. A partir d'aquí, s'anirà reduint la component proporcional del controlador i s'afegirà gradualment la component integral (començant per temps integrals considerablement elevats) per tal d'eliminar l'error estacionari.

Aquesta fase de seguiment i parametrització final tindrà una duració d'aproximadament una setmana fins a obtenir un sistema estable i de confort pels seus usuaris.



## 10 RESUM DEL PRESSUPOST

<b>PRESSUPOST D'EXEUCIÓ MATERIAL.....</b>	<b>33.767,53</b>	
13% Despeses generals SOBRE 33.767,53 .....	4.389,78	
6% Benefici industrial SOBRE 33.767,53.....	2.026,05	
	<b>SUBTOTAL</b>	<b>40.183,36</b>
21% IVA SOBRE 40.183,36.....		8.438,51
<b>TOTAL PRESSUPOST PER CONTRACTE €</b>		<b>48.621,87</b>

Aquest pressupost d'execució per contracte puja l'esmentada quantitat de

(QUARANTA-VUIT MIL SIS-CENTS VINT-I-UN EUROS AMB VUITANTA-SET CÈNTIMS)

Jordi Brias Colls

Graduat en Enginyeria en Tecnologies Industrials

Girona, 9 de juny de 2022



## 11 CONCLUSIONS I TREBALLS FUTURS

El present projecte pretén fer l'estudi, el disseny i la implementació d'un sistema de control i monitoratge intel·ligent d'un edifici d'oficines, amb l'objectiu de millorar-ne l'eficiència energètica, posant especial atenció al sistema de climatització; mantenir uns nivells de confort i qualitat ambient dins els rangs establerts per la normativa i, finalment, agilitzar el manteniment dels equips gràcies al seu monitoratge constant.

L'elaboració del projecte ha comportat un primer estudi de les diferents tecnologies a integrar en el sistema de control, adquirint una formació bàsica en implementació de sistemes KNX, instal·lacions de lluminària DALI i la familiarització amb el software i llenguatge de programació de l'autòmat programable.

L'eficiència energètica i el confort tèrmic i visual d'un edifici són conceptes que no es poden optimitzar de forma simultània. En la gran majoria dels casos, un augment del confort comportarà una major despesa energètica de la climatització.

Per tal d'assolir un funcionament que respecti aquests dos objectius a les diferents estances de l'edifici, s'han dissenyat quatre modes de funcionament diferents que s'activaran de forma independent a cada sala en funció de l'activitat que hi hagi al seu interior. D'aquesta manera, els diferents subsistemes integrats treballen conjuntament per oferir una situació de major confort mentre es detecti la presència d'usuaris dins les instal·lacions i, d'altra banda, mantenen el sistema en un estat de consum mínim en aquells moments de baixa activitat on es puguin flexibilitzar les condicions tèrmiques i visuals.

Analitzant el projecte des del punt de vista d'un problema d'optimització multi-objectiu, la solució adoptada implica buscar les situacions que compleixin amb l'òptim de Pareto i aplicar, segons les necessitats del moment, una desviació cap a l'objectiu que calgui posar com a preferent.

Pel que fa al disseny del programa de control, el fet d'estandarditzar una estructura de funcionament i organitzar la lògica en mòduls o blocs de funcions especialitzats en el control d'un equip concret, permet replicar el sistema de gestió intel·ligent a altres edificis facilitant la seva adaptació a les exigències particulars de cada cas i reduir els costos en temps de programació.

Havent fet la posada en funcionament a les instal·lacions del client, podem concloure que el propòsit inicial pel que fa a confort s'ha assolit en obtenir un índex de satisfacció dels seus usuaris elevat.

El disseny i implementació d'un sistema SCADA per al monitoratge global dels paràmetres de l'edifici permet al client detectar de forma ràpida qualsevol anomalia en els elements que formen part del sistema de control, permeten així, una tasca de manteniment optimitzada tot reduint els costos en temps i material.

Al seu torn, el monitoratge constant de l'edifici ofereix la possibilitat d'emmagatzemar en un històric tant les dades recollides per la sensòrica com totes les accions que s'hagin efectuat sobre el sistema per tal d'utilitzar-ho a posteriori com a material de valor per aplicar la metodologia de treball BIM (Building Information Modeling), i contribuir, d'aquesta manera, a la reducció de costos de gestió i operació.

Finalment, com a treballs futurs, es proposa la implementació de sensòrica per al monitoratge detallat del consum dels diferents sistemes de l'edifici. Això permetria estudiar la solució implementada des del punt de vista de consum energètic i suggerir millores en la lògica de funcionament.

El contingut d'aquest projecte contempla la implementació del sistema de monitoratge SCADA en una fase inicial. Per això, un treball que es durà a terme posteriorment a l'entrega dels documents, és el disseny i la programació d'un SCADA amb una interfície d'usuari millorada i noves funcionalitats per permetre fer un anàlisi més exhaustiu i un control avançat de les instal·lacions. Algunes de les millores englobaran el control i diagnòstic individual de cada sensor i actuador del sistema, així com l'estudi i incorporació de KPI (Key Performance Indicators) o Indicadors Clau de Rendiment a les pantalles de monitoratge per visualitzar en temps real l'acompliment del procés automatitzat.

Jordi Brias Colls

Graduat en Enginyeria en Tecnologies Industrials

Girona, 9 de juny del 2022

## **12 RELACIÓ DE DOCUMENTS**

El present projecte compren els següents documents:

Document n1: Memòria i Annexos

Document n2: Plec de condicions

Document n3: Estat d'amidaments

Document n4: Pressupost

Jordi Brias Colls

Graduat en Enginyeria en Tecnologies Industrials

Girona, 9 de juny del 2022



## 13 REFERENCIAS

Martell Gálvez, M. (2017). Optimización multiobjetivo del confort y la eficiencia energética en edificación sostenible. Aplicación al Centro Mixto CIESOL.

Junlong Xie, Shengwei Wang. (2002). Integrating Building Management System and facilities management on the Internet. Automation in Construction.

D. Mariano-Hernández, L. Hernández-Callejo, A. Zorita-Lamadrid, O. Duque-Pérez, F. Santos García (2021). A review of strategies for building energy management system: Model predictive control, demand side management, optimization, and fault detect & diagnosis. Journal of Building Engineering.

H. Chen, P. Chou, S. Duri, H. Lei and J. Reason (2009). The Design and Implementation of a Smart Building Control System. IEEE International Conference on e-Business Engineering.

Y. Ma and D. Wobschall (2007). A Sensor Network for Buildings Based on the DALI Bus. IEEE Sensors Applications Symposium.





## 14 GLOSSARI

BMS: Building Management System

SCADA: Supervisory Control and Data Acquisition

OPC-UA: Open Platform Communications Unified Architecture

PLC: Programmable Logic Controller

OSI: Open Systems Interconnect

EHS: European Home System Protocol

EIB: European Installation Bus

VOC: Volatile Organic Compounds

CO<sub>2</sub>: Diòxid de Carboni

LED: Light Emitting Diode

RGB: Red Green Blue

TCP: Transmission Control Protocol

UDP: User Datagram Protocol

IP: Internet Protocol

USB: Universal Serial Bus

DHCP: Dynamic Host Configuration Protocol

LAN: Local Area Network

TAE: Toma de Aire Exterior

UTA: Unitat de Tractament d'Aire

PID: Controlador Proporcional Integral Derivatiu

KPI: Key Performance Indicator



# ANNEX A ASSIGNACIÓ D'ENTRADES I SORTIDES DEL PLC

A la Taula 34 es mostra la distribució de senyals en els mòduls d'entrades i sortides acoblats al PLC. A cada senyal se li assigna una adreça i un nom de variable.

Taula 34: Taula d'assignació d'entrades i sortides del PLC

Adreça	Variable	Descripció	Mòdul
A01_03_1	PDSH0101_ED	Pressòstat colmatació filtre g4f7 UTA0100	16 ED KL1809
A01_03_2	PDSH0102_ED	Pressòstat colmatació filtre m6 UTA0100	
A01_03_3	PDSH0103_ED	Pressòstat colmatació filtre f9 UTA0100	
A01_03_4	FAN0101_TER	Tèrmic ventilador impulsió UTA0100	
A01_03_5	FAN0101_AL	Alarma ventilador impulsió UTA0100	
A01_03_6	FAN0101_CM	Conf. Marxa ventilador impulsió UTA0100	
A01_03_7	FAN0102_TER	Tèrmic ventilador retorn UTA0100	
A01_03_8	FAN0102_AL	Alarma anomalia ventilador retorn UTA0100	
A01_03_9	FAN0102_CM	Conf. Marxa ventilador retorn UTA0100	
A01_03_10	RE0101_TER	Tèrmic recuperador UTA0100	
A01_03_11	PDSH0201_ED	Pressòstat colmatació filtre g4f7 UTA0200	
A01_03_12	PDSH0202_ED	Pressòstat colmatació filtre m6 UTA0200	
A01_03_13	PDSH0203_ED	Pressòstat colmatació filtre f9 UTA0200	
A01_03_14	FAN0201_TER	Tèrmic ventilador impulsió UTA0200	
A01_03_15	FAN0201_AL	Alarma ventilador impulsió UTA0200	
A01_03_16	FAN0201_CM	Conf. Marxa ventilador impulsió UTA0200	
A01_04_1	FAN0202_TER	Tèrmic ventilador retorn UTA0200	16 ED KL1809
A01_04_2	FAN0202_AL	Alarma anomalia ventilador retorn UTA0200	
A01_04_3	FAN0202_CM	Conf. Marxa ventilador retorn UTA0200	
A01_04_4	RE0201_TER	Tèrmic recuperador UTA0200	
A01_04_5	FAN0103_CM	Conf. Marxa ventilador fancoil sala 101	
A01_04_6	FAN0104_CM	Conf. Marxa ventilador fancoil sala 102	
A01_04_7	FAN0105_CM	Conf. Marxa ventilador fancoil sala 103	
A01_04_8	FAN0106_CM	Conf. Marxa ventilador fancoil sala 104	
A01_04_9	FAN0107_CM	Conf. Marxa ventilador fancoil sala 105	
A01_04_10	FAN0203_CM	Conf. Marxa ventilador fancoil sala 201	
A01_04_11	FAN0204_CM	Conf. Marxa ventilador fancoil sala 202	
A01_04_12	FAN0205_CM	Conf. Marxa ventilador fancoil sala 203	
A01_04_13	FAN0206_CM	Conf. Marxa ventilador fancoil sala 204	

A01_04_14	RES_A01_04_14	Reserva	
A01_04_15	RES_A01_04_15	Reserva	
A01_04_16	RES_A01_04_16	Reserva	
A01_05_1	RE0101_OM	Ordre marxa recuperador UTA0100	16 SD KL2809
A01_05_2	RE0201_OM	Ordre marxa recuperador UTA0200	
A01_05_3	VALV0103_OO	Ordre obrir electrovàlvula fancoil sala 101	
A01_05_4	FAN0103_OM1	Ordre velocitat 1 ventilador fancoil sala 101	
A01_05_5	FAN0103_OM2	Ordre velocitat 2 ventilador fancoil sala 101	
A01_05_6	FAN0103_OM3	Ordre velocitat 3 ventilador fancoil sala 101	
A01_05_7	VALV010_OO	Ordre obrir electrovàlvula fancoil sala 105	
A01_05_8	FAN0105_OM1	Ordre velocitat 1 ventilador fancoil sala 105	
A01_05_9	FAN0105_OM2	Ordre velocitat 2 ventilador fancoil sala 105	
A01_05_10	FAN0105_OM3	Ordre velocitat 3 ventilador fancoil sala 105	
A01_05_11	IL0103_OM	Ordre encendre enllumenat sala 103	
A01_05_12	IL0105_OM	Ordre encendre enllumenat sala 105	
A01_05_13	IL0201_OM	Ordre encendre enllumenat sala 201	
A01_05_14	RES_A01_05_14	Reserva	
A01_05_15	RES_A01_05_15	Reserva	
A01_05_16	RES_A01_05_16	Reserva	
A01_06_1	FAN0101_SA	Velocitat ventilador impulsíó UTA0100	8 SA (V) KL4408
A01_06_2	FAN0102_SA	Velocitat ventilador retorn UTA0100	
A01_06_3	VALV0101_SA	Posició vàlvula 2 vies UTA0100	
A01_06_4	CP0101_SA	Actuador comporta TAE UTA0100	
A01_06_5	CP0102_SA	Actuador comporta freecooling UTA0100	
A01_06_6	CP0103_SA	Actuador comporta extracció UTA0100	
A01_06_7	FAN0201_SA	Velocitat ventilador impulsíó UTA0200	
A01_06_8	FAN0202_SA	Velocitat ventilador retorn UTA0200	
A01_07_1	VALV0201_SA	Posició vàlvula 2 vies UTA0200	8 SA (V) KL4408
A01_07_2	CP0201_SA	Actuador comporta TAE UTA0200	
A01_07_3	CP0202_SA	Actuador comporta free-cooling UTA0200	
A01_07_4	CP0203_SA	Actuador comporta extracció UTA0200	
A01_07_5	FAN0104_SA	Velocitat ventilador fancoil sala 102	
A01_07_6	VALV0104_SA	Posició electrovàlvula fancoil sala 102	
A01_07_7	FAN0105_SA	Velocitat ventilador fancoil sala 103	
A01_07_8	VALV0105_SA	Posició electrovàlvula fancoil sala 103	
A01_08_1	FAN0106_SA	Velocitat ventilador fancoil sala 104	8 SA (V) KL4408
A01_08_2	VALV0106_SA	Posició electrovàlvula fancoil sala 104	
A01_08_3	FAN0203_SA	Velocitat motor ventilador fancoil sala 201	
A01_08_4	VALV0203_SA	Posició electrovàlvula fancoil sala 201	
A01_08_5	FAN0204_SA	Velocitat motor ventilador fancoil sala 202	
A01_08_6	VALV0204_SA	Posició electrovàlvula fancoil sala 202	
A01_08_7	FAN0205_SA	Velocitat motor ventilador fancoil sala 203	
A01_08_8	VALV0205_SA	Posició electrovàlvula fancoil sala 203	
A01_09_1	FAN0206_SA	Velocitat motor ventilador fancoil sala 204	

A01_09_2	VALV0206_SA	Posició electrovàlvula fancoil sala 204	8 SA (V) KL4408
A01_09_3	RES_A01_09_3	Reserva	
A01_09_4	RES_A01_09_4	Reserva	
A01_09_5	RES_A01_09_5	Reserva	
A01_09_6	RES_A01_09_6	Reserva	
A01_09_7	RES_A01_09_7	Reserva	
A01_09_8	RES_A01_09_8	Reserva	
A01_10_1	TI0101_EA	Temperatura impulsió UTA0100	
A01_10_2	TI0102_EA	Temperatura retorn UTA0100	
A01_10_3	TI0201_EA	Temperatura impulsió UTA0200	
A01_10_4	TI0202_EA	Temperatura retorn UTA0200	
A01_11_1	PI0101_EA	Pressió ventilador impulsió UTA0100	4 EA (mA) KL3054
A01_11_2	PI0102_EA	Pressió ventilador retorn UTA0100	
A01_11_3	PI0201_EA	Pressió ventilador impulsió UTA0200	
A01_11_4	PI0202_EA	Pressió ventilador retorn UTA0200	
A01_12_1	HUM0101_EA	Humitat retorn UTA0100	4 EA (mA) KL3054
A01_12_2	HUM0202_EA	Humitat retorn UTA0200	
A01_12_3	CO0101_EA	Nivell diòxid de carboni retorn UTA0100	
A01_12_4	CO0201_EA	Nivell diòxid de carboni retorn UTA0200	
A01_13_1	TI0103_EA	Temperatura exterior UTA0100	4 EA (mA) KL3054
A01_13_2	TI0203_EA	Temperatura exterior UTA0200	
A01_13_3	HUM0103_EA	Humitat exterior uta0100	
A01_13_4	HUM0203_EA	Humitat exterior uta0200	



## **ANNEX B JUSTIFICACIÓ DE PREUS**

A la pàgina següent es detalla la justificació de preus del pressupost d'aquest projecte.

# JUSTIFICACIÓ DE PREUS

## BMS

CODI	QUANTITAT	UT	RESUM	PREU	SUBTOTAL	IMPORT
<b>01.01</b>			<b>u Instal·lació del quadre de control</b>			
MAT010101	1,000	u	Armari metàl·lic IP66 Schneider S3D RAL-7035 800x600x250	210,86	210,86	
MAT010102	1,000	u	Conjunt 4 orelles de fixació per armari SF/SM	6,05	6,05	
MAT010103	1,000	u	Placa de muntatge metàl·lica per armari S3D 800x600	55,95	55,95	
MAT010104	1,000	u	Interruptor magnetotèrmic iC60N 6kA/415V 2P 10A corba C	42,79	42,79	
MAT010105	3,000	u	Interruptor magnetotèrmic iDPN F 6kA/230V 1P+N 3A corba C	41,10	123,30	
MAT010106	2,000	u	Interruptor electrònic de protecció d'equips 6A amb contacte auxiliar N.O. 24Vcc	22,43	44,86	
MAT010107	96,000	u	Born de connexió tipus "Push in" carril DIN 2,5mm2	0,51	48,96	
MAT010108	1,000	u	Font d'alimentació 230Vac/24Vdc 10A carril DIN	142,40	142,40	
MAT010109	1,000	u	Font d'alimentació Schneider KNX 640mA	291,84	291,84	
MAT010110	1,000	u	Switch Industrial Ethernet Siemens carril DIN amb 5 ports 10/100 RJ45 no gestionable	93,30	93,30	
MO01O2	13,500	h	Oficial de 2a	23,70	319,95	
			Cost directe.....			1.380,26
			Costos indirectes.....		5%	69,01
			<b>COST UNITARI TOTAL.....</b>			<b>1.449,27</b>
			Asciende el precio total de la partida a la mencionada cantidad de MIL QUATRE-CENTS QUARANTA-NOU amb VINT-I-SET CÉNTIMOS			
<b>01.02</b>			<b>u Subministrament de l'equip de control Beckhoff</b>			
MATCX8190	1,000	u	CPU Beckhoff CX8190	461,40	461,40	
MATKL6301	1,000	u	Mòdul Beckhoff Bus Terminal KL6301 KNX/EIB TP	181,42	181,42	
MATKL6811	1,000	u	Mòdul Beckhoff Bus Terminal KL6811 màster DSI/DALI	194,63	194,63	
MATKL1809	2,000	u	Mòdul Beckhoff Bus Terminal KL1809 16ch entrades digitals 0-24Vdc	61,43	122,86	
MATKL2809	1,000	u	Mòdul Beckhoff Bus Terminal KL2809 16ch sortides digitals 0-24Vdc	65,67	65,67	
MATKL4408	4,000	u	Mòdul Beckhoff Bus Terminal KL4408 8ch sortides analògiques 0-10Vdc	168,84	675,36	
MATKL3054	4,000	u	Mòdul Beckhoff Bus Terminal KL3054 4ch entrades analògiques 4-20mA	162,75	651,00	
MATKL9010	1,000	u	Mòdul Beckhoff Bus Terminal KL 9010 final de bus	8,98	8,98	
MATTF8000	1,000	u	Llicència Beckhoff TC3 TF8000-0020 HVAC	1,00	1,00	
MATTF8010	1,000	u	Llicència Beckhoff TC3 TF8010-0020 Building Automation Basic	1,00	1,00	
MATTF6100	1,000	u	Llicència Beckhoff TC3 TF6100-0020 OPC-UA	1,00	1,00	
MO01O2	0,500	h	Oficial de 2a	23,70	11,85	
			Cost directe.....			2.376,17
			Costos indirectes.....		5%	118,81
			<b>COST UNITARI TOTAL.....</b>			<b>2.494,98</b>
			Asciende el precio total de la partida a la mencionada cantidad de DOS MIL QUATRE-CENTS NORANTA-QUATRE amb NORANTA-VUIT CÉNTIMOS			
<b>01.04</b>			<b>u Muntatge i connexionat de la sensòrica i panells d'operació</b>			
MAT04MPS	9,000	u	Sensor Multiparamètric KNX Steinel 56353 True Presence	289,66	2.606,94	
MAT04PRS	6,000	u	Sensor de presència KNX Steinel 58500 Quattro SLIM XS	186,56	1.119,36	
MAT04DSP	9,000	u	Pantalla tàctil KNX Siemens TC5 5WG1205-2AB21	284,83	2.563,47	
MO01PE	8,000	h	Peó Especialitzat	20,60	164,80	
			Cost directe.....			6.454,57
			Costos indirectes.....		5%	322,73
			<b>COST UNITARI TOTAL.....</b>			<b>6.777,30</b>
			Asciende el precio total de la partida a la mencionada cantidad de SIS MIL SET-CENTS SETANTA-SET amb TRENTA CÉNTIMOS			
<b>02.01</b>			<b>u Programació del PLC</b>			
MO01ENG	280,000	h	Enginyeria	36,70	10.276,00	
MAT02ETS	1,000	u	Llicència de software KNX ETS v5 Professional	999,00	999,00	
			Cost directe.....			11.275,00
			Costos indirectes.....		5%	563,75
			<b>COST UNITARI TOTAL.....</b>			<b>11.838,75</b>
			Asciende el precio total de la partida a la mencionada cantidad de ONZE MIL VUIT-CENTS TRENTA-VUIT amb SETANTA-CINC CÉNTIMOS			
<b>02.02</b>			<b>u Disseny i programació del SCADA</b>			
MAT02WIN	1,000	u	Llicència de Windows 10 Professional	153,30	153,30	
MAT02CITC	1,000	u	Llicència de software AVEVA Citect Studio	5.550,25	5.550,25	
MO01ENG	20,000	h	Enginyeria	36,70	734,00	
			Cost directe.....			6.437,55
			Costos indirectes.....		5%	321,88
			<b>COST UNITARI TOTAL.....</b>			<b>6.759,43</b>
			Asciende el precio total de la partida a la mencionada cantidad de SIS MIL SET-CENTS CINQUANTA-NOU amb QUARANTA-TRES CÉNTIMOS			
<b>03.01</b>			<b>u Posta en marxa</b>			



# JUSTIFICACIÓ DE PREUS

## BMS

CODI	QUANTITAT	UT	RESUM	PREU	SUBTOTAL	IMPORT
MO01ENG	40,000	h	Enginyeria	36,70	1.468,00	
MO01O2	40,000	h	Oficial de 2a	23,70	948,00	
MAT03AUX	4,000	u	Material auxiliar i complementari	23,00	92,00	

Cost directe ..... 2.508,00  
Costos indirectes ..... 5% 125,40

**COST UNITARI TOTAL ..... 2.633,40**

Asciende el precio total de la partida a la mencionada cantidad de DOS MIL SIS-CENTS TRENTA-TRES amb QUARANTA CÉNTIMOS

### 03.02 u Seguiment

MO01ENG	40,000	h	Enginyeria	36,70	1.468,00	
MO01O2	10,000	h	Oficial de 2a	23,70	237,00	
MAT03AUX	1,000	u	Material auxiliar i complementari	23,00	23,00	

Cost directe ..... 1.728,00  
Costos indirectes ..... 5% 86,40

**COST UNITARI TOTAL ..... 1.814,40**

Asciende el precio total de la partida a la mencionada cantidad de MIL VUIT-CENTS CATORZE amb QUARANTA CÉNTIMOS