Escola Universitària d'Enginyeria
Tècnica Industrial de Barcelona
Consorci Escola Industrial de Barcelona
UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

Avantprojecte

"SISTEMA DE GESTIÓ I CONTROL EQUIP LABORATORI"

Avantprojecte presentat per optar al títol
d'Enginyería Tècnica Industrial especialitat mecànica
per **Jordi Muela Castro**
DNI 38868302-G

Barcelona, 25 de Juny de 2008

Director: Alfred Fontanals i Joan Grau
Departament de Mecànica de Fluids (729)
Universitat Politècnica de Catalunya (UPC)

ÍNDEX AVANTPROJECTE

Índex avantprojecte 1
Resum 3
Resumen 3
ABSTRACT 3
Capítol 1: Definició del projecte 5
1.1. Definició 5
Capítol 2: Especificacions bàsiques 7
2.1. Instal·lació 7
Capítol 3: Cicles de climatització 10
3.1. Cicle de refrigeració 10
3.2. Cicle de calefacció. 11
Capítol 4: Sistema escollit 13
Capítol 5: Plantejament de les alternatives de control 15
5.1. PLC 16
5.2. PC (LabView) 16
5.3. Microcontroladors 17
Capítol 6: Valoració de les alternatives de control 18
Capítol 7: alternativa de control seleccionada 21
Capítol 8: avaluació econòmica 22
8.1. Cost de material 22
8.2. Cost d'enginyeria 23
8.3. Cost total 23
Capítol 9: Planificació de tasques 24
9.1. Diagrama de Gantt 26
Capítol 10: Plànols i esquemes 27
10.1. Esquema de la instal·lació 27
Capítol 11: Normativa 29
Capítol 12: Bibliografia 30
12.1. Referències bibliogràfiques 30

RESUM

El projecte té per objecte la gestió i control d'una bomba de calor utilitzada com equip de laboratori a l'EUETIB. El propòsit és garantir, de formà automàtica, unes condicions ambientals de temperatura i humitat al local climatitzat.

En aquest avantprojecte realitzarem un estudi previ de la instal·lació i els cicles de climatització del local amb l'objectiu de seleccionar una alternativa de control de entre les que ens ofereix el mercat, i desenvolupar el nostre projecte a partir d'aquesta elecció. També farem una avaluació econòmica preliminar i una planificació de les tasques a realitzar durant el projecte.

RESUMEN

El proyecto tiene por objeto la gestión y control de una bomba de calor utilizada como equipo de laboratorio en la EUETIB. El objetivo es garantizar, de forma automática, unas condiciones ambientales de temperatura y humedad en el local climatizado.

En este anteproyecto realizaremos un estudio previo de la instalación y los ciclos de climatización del local con el objetivo de seleccionar una alternativa de control entre las que nos ofrece el mercado, y desarrollar nuestro proyecto a partir de esta elección. También haremos una evaluación económica preliminar y una planificación de las tareas a realizar durante el proyecto.

ABSTRACT

The project aims the management and control of a heat pump used as laboratory equipment in the EUETIB. The aim is to ensure, it automatically, an environmental conditions of temperature and humidity in the room air-conditioned.

In this avantproject we will make a preliminary study of the installation and the climatization cycles of the local with the aim of selecting an alternative of control among the options the market give us, and develop our project from this

election. We will also draft an economic evaluation and a planning of the work during the project.

CAPÍTOL 1: DEFINICIÓ DEL PROJECTE

1.1. Definició

El present PFC té per objecte la realització del control dels paràmetres ambientals d'una instal·lació de climatització.

El nostre objectiu es aconseguir una climatització òptima del local, creant unes condicions de confort dintre d'aquest, controlant la temperatura i la humitat relativa del local on està emplaçada la instal·lació de climatització.

En aquest document analitzarem la instal·lació sobre la que treballarem, escollirem quin es el mètode de climatització òptim per aconseguir les condicions de confort, i estudiarem i seleccionarem l'alternativa de control més adequada a les nostres necessitats.

La instal·lació sobre la que treballarem es troba emplaçada al laboratori de fluidomecànica de l'Escola Universitària d'Enginyeria Tècnica Industrial de Barcelona, emplaçada al carrer Comte d'Urgell, 187 - 08036 Barcelona. El laboratori de fluidomecànica es troba al soterrani de l'edifici.

CAPÍTOL 2: ESPECIFICACIONS BÀSIQUES

2.1. Instal·lació

Partim d'una instal·lació de climatització, sistema aire-aire, de conducte únic que utilitza com a màquina tèrmica de climatització una bomba de calor reversible tipus "split"; concretament el model FERROLI POLAR TOP20/R UI. La seva potencia frigorífica es de 19.77 kW i la seva potencia calorífica de 22.7 kW (per a més informació consultar el document "Polar Top Manual Técnico y Esquemas").

La xarxa de conductes està feta amb conductes rectangulars de fibra de vidre, on hi ha instal·lats difusors regulats per vàlvules. La xarxa i la disposició dels difusors es pot veure en el plànol mostrat en la il·lustració 4.

La regulació del sistema de climatització es gestiona per un termòstat funcionant com una instal·lació tipus "tot-res", on el sistema funciona sempre a màxima potencia i en arribar a la temperatura desitjada de confort en la sala climatitzada, el sistema es para, fins que la temperatura torna a ser diferent a la seleccionada, i la màquina tèrmica torna a connectar-se.

En la instal·lació trobem una sèrie de sensors de temperatura i humitat en diferents punts que ens serviran per controlar i monitoritzar el funcionament del sistema en tot moment. També disposem d'un tub de Pitot amb el que podrem mesurar el cabal.

Sensors i actuadors que es troben a la instal·lació:

3 x SAUTER EGH 112: sensor per a humitat i temperatura especialment dissenyat per ser col·locat en els conductes de ventilació.

Figura 1. *Sauter EGH 112*

1 x SAUTER EGH 120: sensor de paret que mesura la humitat relativa de la sala on està ubicat.

Figura 2. *Sauter EGH 120*

1 x SAUTER EGH 130: sensor de paret que mesura la temperatura i la humitat relativa de la sala on es troba emplaçat.

Figura 3. *Sauter EGH 130*

1 x SAUTER SDU 101: transmissor de pressió diferencial per tub de Pitot.

Figura 4. *Sauter SDU 101*

2 x SAUTER ASM 123: actuador que s'acobla a un eix i en funció de la tensió que rep el gira per situar-lo en una determinada posició. Actua sobre les dos vàlvules de papallona de la instal·lació, una situada al conducte d'entrada d'aire exterior i l'altre al conducte d'aire de recirculació.

Figura 5. *Sauter ASM 123*

La instal·lació ha de climatitzar una sala de les següents característiques:

Orientació: Nord-est

Localització: Barcelona

CAPÍTOL 3: CICLES DE CLIMATITZACIÓ

Estudiarem de forma teòrica quin es el procés de climatització amb un sistema del tipus aire-aire.

3.1. Cicle de refrigeració

Considerem que un local rep càrregues internes i externes de potencia calorífica. Per contrarestar la potencia calorífica hem de refredar el local que desitgem climatitzar, i a tal efecte fem arribar aire fred procedent d'una UTA. En un sistema d'aire interior més exterior, aquest aire prové del propi local més una aportació d'aire exterior a efectes de ventilació; on es deixa escapar una proporció igual a la del aire exterior.

La representació del cicle en un diagrama psicomètric es mostra a la figura 6.

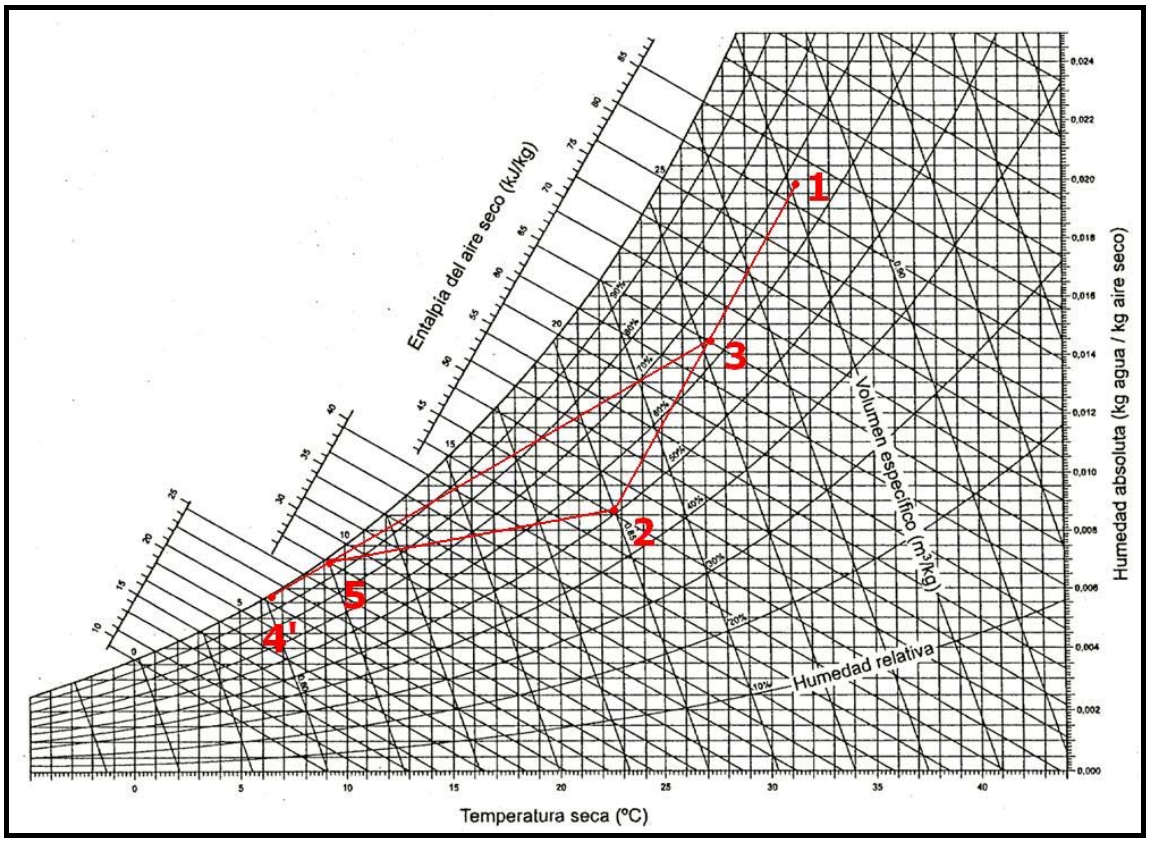


Figura 6. *Cicle de refrigeració*

On:

1. Condicions de l'aire exterior.
2. Condicions del aire del local climatitzat.
3. Mescla de l'aire interior i exterior.
4. Punt de rosada.
5. Condicions aire de subministrament.

3.2. Cicle de calefacció.

En aquest cas haurem d'escalfar l'aire de subministrament. Al local fem arribar aire calent procedent d'una UTA; aquest aire prové del propi local, més una aportació d'aire exterior a efectes de ventilació; es deixa escapar una proporció igual a la del aire exterior.

La representació en un diagrama psicomètric es mostra a la figura 7.

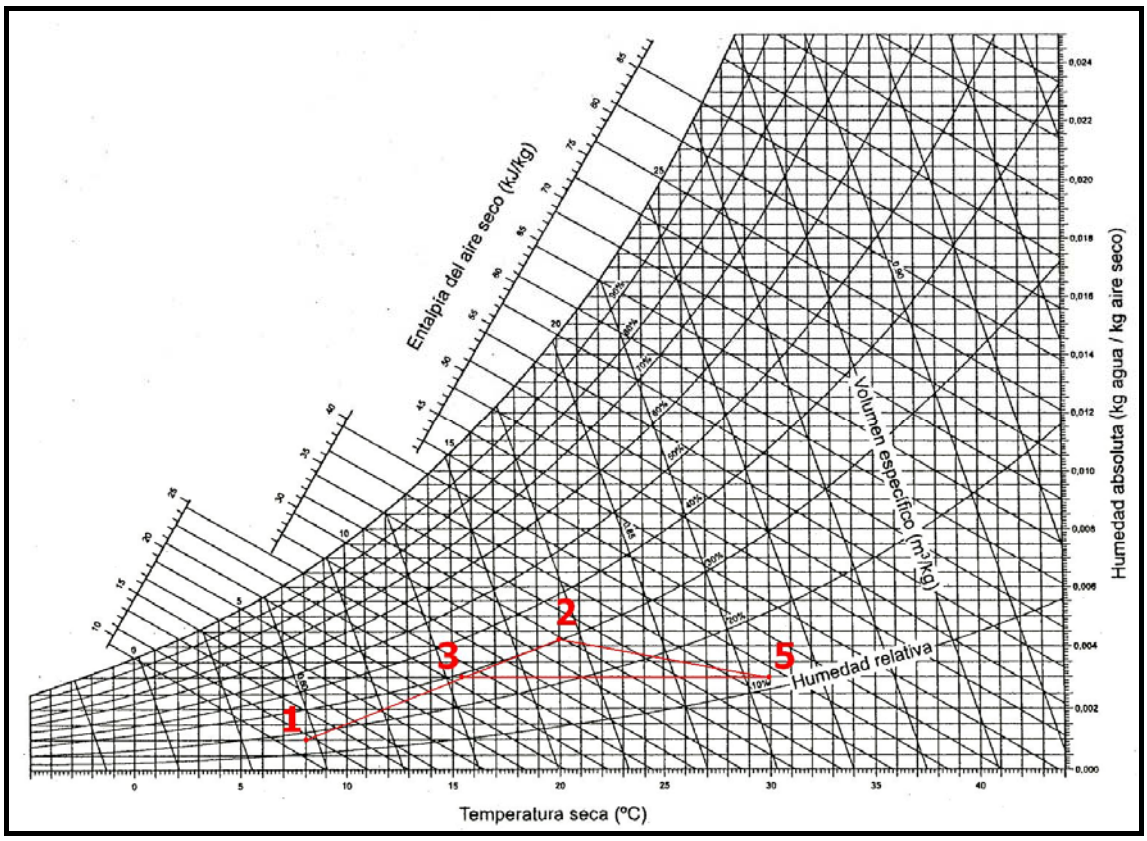


Figura 7. *Cicle de calefacció*

On:

1. Condicions de l'aire exterior.
2. Condicions del aire del local climatitzat.
3. Mescla de l'aire interior i exterior.
5. Condicions aire de subministrament.

CAPÍTOL 4:

SISTEMA ESCOLLIT

El nostre objectiu es aconseguir unes condicions de temperatura i humitat relativa que proporcionin condicions de confort als ocupants del local climatitzat. A tal efecte hem de manipular amb actuadors certs paràmetres de la instal·lació d'una forma intel·ligent per tal d'obtenir els resultats desitjats.

Per obtenir la temperatura i humitat relativa adequades en el local climatitzat podem actuar de diverses formes:

a) Variar la potència de la màquina (UTA) i mantenir el cabal constant.
b) Potència constant de la màquina (UTA) i cabal variable.
c) Potència constant de la màquina (UTA), cabal variable i deshumectador.
d) Potència constant de la màquina (UTA) i cabal variable i humectador.
e) Regulació per by-pass de l'aire de retorn.

La opció a permetria variar la potencia que entregaria la bomba de calor en funció de les variables termodinàmiques, podent tenir la instal·lació un funcionament continuat adaptant la potencia de la màquina a les necessitats de cada moment.

Requeriria la implementació d'un variador de freqüència al motor del compressor, però en el nostre cas es presenta una solució inviable ja que el nostre compressor es alternatiu de pistó que no pot funcionar de forma continua i per implementar una solució d'aquest tipus es necessari un compressor que pugui treballar en continu (com per exemple un de cargol).

Les opció b es basa en variar el cabal de subministrament, punt 5 del diagrama psicromètric (veure figures 6 i 7) i les condicions termodinàmiques d'aquest.

Com que la màquina treballa a potència constant per variar les condicions de l'aire de subministrament hem de variar l'aire de mescla, punt 3 del diagrama psicromètric (veure figures 6 i 7). Aquest aire de mescla és la combinació del cabal d'aire exterior i el cabal de recirculació, punts 1 i 2 respectivament del diagrama psicromètric (veure figures 6 i 7).

Per modificar els cabals 1 i 2 s'han d'utilitzar les vàlvules instal·lades al sistema de conductes, controlant la seva obertura mitjançant uns servomotors de posicionament (els actuadors SAUTER ASM 123). La regulació dels servomotors s'ha de fer mitjançant un sistema de control adequat.

Optant per aquest sistema hem de tenir en tot moment present que sempre s'ha de garantir un mínim cabal d'aire exterior que ens garanteixi la correcta ventilació del local climatitzat.

Les opcions c i d, es basen en el mateix principi que la proposta b, però incloent-hi un deshumectador o humectador respectivament. En el nostre cas, la instal·lació d'un humectador no es una opció vàlida, ja que el aire de Barcelona es caracteritza per una alta humitat relativa. La opció d'instal·lar un deshumectador, tot i ser viable, presenta un raonable encariment del projecte (tan material com mà d'obra).

La opció e també es basaria en el mateix principi que les propostes b, c i d. Energèticament podria resultar més eficient que els altres casos però la seva implementació tindria un elevat cost i el control resultaria més complexa.

En conclusió, un cop analitzades les alternatives d'actuació sobre la nostre instal·lació per aconseguir unes condicions de confort en el local climatitzat, optem pel mètode b, on la màquina de tractament d'aire treballarà a potencia constant i haurem de variar el cabal per ajustar-nos a la demanda i obtenir la temperatura i humitat relativa desitjats.

CAPÍTOL 5: PLANTEJAMENT DE LES ALTERNATIVES DE CONTROL

Ara que sabem quin es el sistema escollit per garantir una correcta climatització del local, hem de valorar les diverses alternatives de control que permetran que la instal·lació treballi de forma adequada.

El sistema de control ha de ser capaç de llegir les dades que enviaran els sensors, tractar-les i amb aquesta informació actuar sobre les electrovàlvules que faran variar els cabals, de tal sort, que podrem garantir les condicions de confort del local climatitzat.

Alhora, hem de seleccionar una solució de control que operi de forma autònoma i ens garanteixi una alta fiabilitat.

En el mercat actual, les solucions de control més esteses són:

1. PLC.
2. PC (LabView).
3. Microcontroladors.

5.1. PLC

Un PLC (*Programmable Logic Controller*, Controlador Lògic Programable) és un autòmat programable que utilitza un microprocessador com a CPU.

Un autòmat programable (definició IEC 61131) és un sistema electrònic dissenyat per a ser utilitzat en un entorn industrial, el qual utilitza una memòria programable per a l'emmagatzematge intern d'instruccions orientades a l'usuari, per a implantar unes solucions específiques tals com funcions lògiques, seqüències, temporitzacions , comptatge i funcions aritmètiques, amb la finalitat de controlar, mitjançant entrades i sortides, digitals i analògiques, diversos tipus de màquines i processos.

Els PLC són la solució més extesa en el món de l'automatització industrial, ja que presenten tot un seguit de avantatges que els fan idonis per aquest ús, que de fet és pel que es van crear.

Presenten una gran versatilitat, ja que un mateix PLC (amb els seus corresponents mòduls) es pot emprar en infinits treballs d'automatització (molt útil quan el procés productiu canvia sovint), a més de permetre constant modificacions/millores sobre una mateixa automatització. Presenten llenguatges de programació relativament senzills que faciliten l'ús. A més molts d'ells, incorporen una interfície HMI que permet una comunicació molt visual entre l'usuari i el PLC quan aquest està en funcionament. Econòmicament parlant, el preu actuals dels PLC permet que tothom en pugui tenir accés.

5.2. PC (LabView)

LabVIEW® és un entorn d'instrumentació virtual desenvolupat per National Instruments molt emprat tant en els entorns universitaris com industrials.

La potència de LabVIEW radica en que inicialment ja es desenvolupa a partir d'un llenguatge de programació visual (conegut com a *G* i desenvolupat per Apple Computer sobre el 1986); El G és un llenguatge de programació orientat al flux de dades, de forma que la seva execució es realitza segons es descriu gràficament en base a uns blocs, els quals contenen les instruccions de més baix nivell a realitzar.

Actualment LabVIEW s'utilitza àmpliament en aplicacions d'adquisició de dades, control d'instruments i automatització de processos, i admet diversos entorns gràfics de programació, com ara Visual BASIC o Visual C++.

5.3. Microcontroladors

Un microcontrolador és un circuit integrat o xip que inclou en el seu interior les tres unitats funcionals d'una computadora: CPU, memòria i unitats d'E/S, es a dir, es tracta d'un computador complet en un sol circuit integrat.

CAPÍTOL 6: VALORACIÓ DE LES ALTERNATIVES DE CONTROL

A la figura 8 podem veure una comparativa entre les diferents alternatives de control:

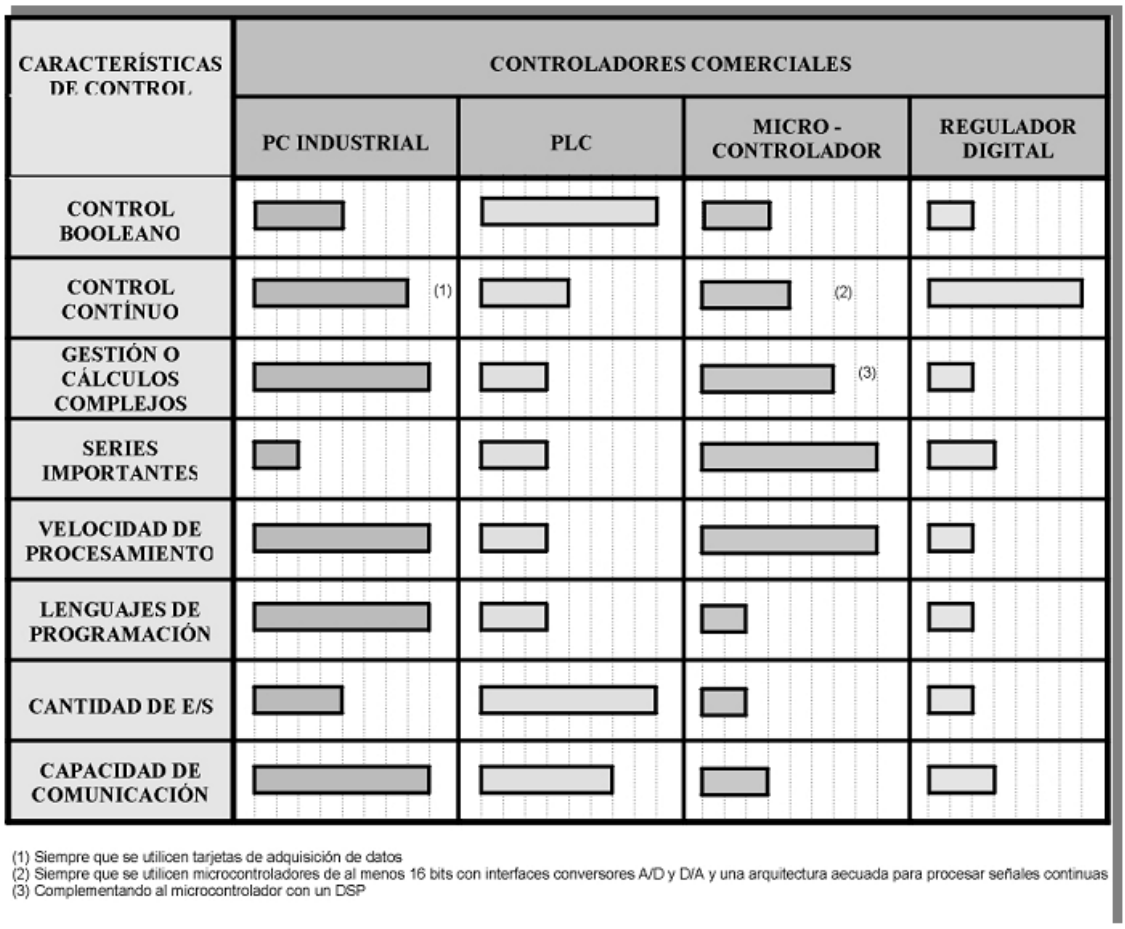


Figura 8. *Comparativa entre les alternatives de control*

Com observem a la figura 8, del PC podem destacar la seva alta capacitat per a la gestió i càlculs complexes, així com la seva velocitat de processament.

El microcontrolador pot competir en velocitat de processament enfront el PC, però es queda més curt en la resta característiques de control.

Del PLC veiem destacat la seva alta capacitat de control booleà, i la elevada quantitat d'entrades i sortides de dades amb les que pot treballar. Però s'ha de remarcar que la capacitat referent a control continu senyalada a la il·lustració 3 no es del tot certa, ja que els últims models de PLC presenten una capacitat de control continu molt més gran que els seus antecessors, sent plenament competents en aquest aspecte.

Un disseny basat en un microcontrolador pot ser apropiat on cents o milers d'unitats seran produïdes i llavors el cost de desenvolupament es pot dividir en moltes vendes, on l'usuari final no té necessitat d'alterar el control. Però el nostre cas dista molt d'aquest supòsit, ja que el nostre propòsit es desenvolupar el sistema de control d'una instal·lació única i on l'usuari final és el que ha de programar tot el control.

Per tant, la nostra elecció és redueix al PLC o un PC amb LabView.

Tot i que el PC ens aportar una alta velocitat de procés i una elevada capacitat de càlcul, en el nostre cas això no és indispensable; i les prestacions mínimes de capaciat i velocitat càlcul necessàries poden ser també entregades per un PLC genèric.

LabView, mitjançant un PC i una targeta d'adquisició de dades, ens permetria un control sobre la instal·lació similar a un PLC, permetent una alta flexibilitat. El cost d'adquisició d'un PC més una tarja d'adquisició de dades pot resultar similar al d'un PLC i els seus mòduls, però per contra, un PLC està dissenyat per treballar de forma continuada i per un temps indefinit, mentre que un ordinador usualment no (excepte tipus servidor) i és més propens a sofrir interrupcions de hardware que un PLC, el que comportaria que la instal·lació deixés de funcionar fins que no es solucionés el problema, a més un PC requerir un manteniment més continu i exhaustiu que no pas un PLC.

Tenint en compte aquests factors, en el nostre cas és fa més interessant i útil la selecció d'un PLC com alternativa de control degut a que ens dona la capacitat i velocitat de càlcul necessaris, possibilitat d'interactuar dinàmicament i en temps real, una alta capacitat de connexió d'entrades i sortides, alta estabilitat, un reduït manteniment i tot això a un preu molt competitiu.

CAPÍTOL 7: ALTERNATIVA DE CONTROL SELECCIONADA

El PLC seleccionat és la sèrie 750 del fabricant WAGO.

Atenent a les característiques de la nostra instal·lació, necessitarem:

1 x WAGO 750-841 *'Programmable Fieldbus Controller'*: és la unitat de procés del PLC a on aniran connectat tots els mòduls d'entrada i sortida de dades. Permet una connexió ethernet per interactuar-hi en temps real.

3 x WAGO 750-459: mòdul d'*input* del PLC que permet l'entrada simultània de quatre senyals analògiques de 0 a 10 V.

1 x WAGO 750-550: mòdul d'*output* del PLC que permet el control de dos sortides analògiques de 0 a 10 V.

1 x 750-600: *end module* del PLC, necessari al final de tots els mòduls connectats.

1 x 787-612: font d'alimentació del PLC.

CAPÍTOL 8: AVALUACIÓ ECONÒMICA

8.1. Cost de material

Taula 1. *Cost de material*

Component	Quantitat	Preu [€]
WAGO 750-841	**1**	**352.55**
WAGO 750-459	**3**	**129.10**
WAGO 750-550	**1**	**129.10**
WAGO 750-600	**1**	**10.27**
WAGO 787-602	**1**	**77.93**
Cable xarxa RJ-45 creuat	**1**	**7.50**
Cable xarxa RJ-45 de 25 m.	**1**	**20.00**
Cable coure multifilar ∅=1,5 mm	**1**	**10.00**
TOTAL		**994.65**

8.2. Cost d'enginyeria

Taula 2. *Cost d'enginyeria*

Preu/hora enginyer [€/h]	Hores projecte [h]	Cost total [€]
20	**165**	**3300**

8.3. Cost total

Taula 3. *Cost total*

Cost material	994.65 €
Coste enginyeria	3300 €
Subtotal	4294.65 €
16 % IVA	687.14 €
Total	**4981.70 €**

CAPÍTOL 9: PLANIFICACIÓ DE TASQUES

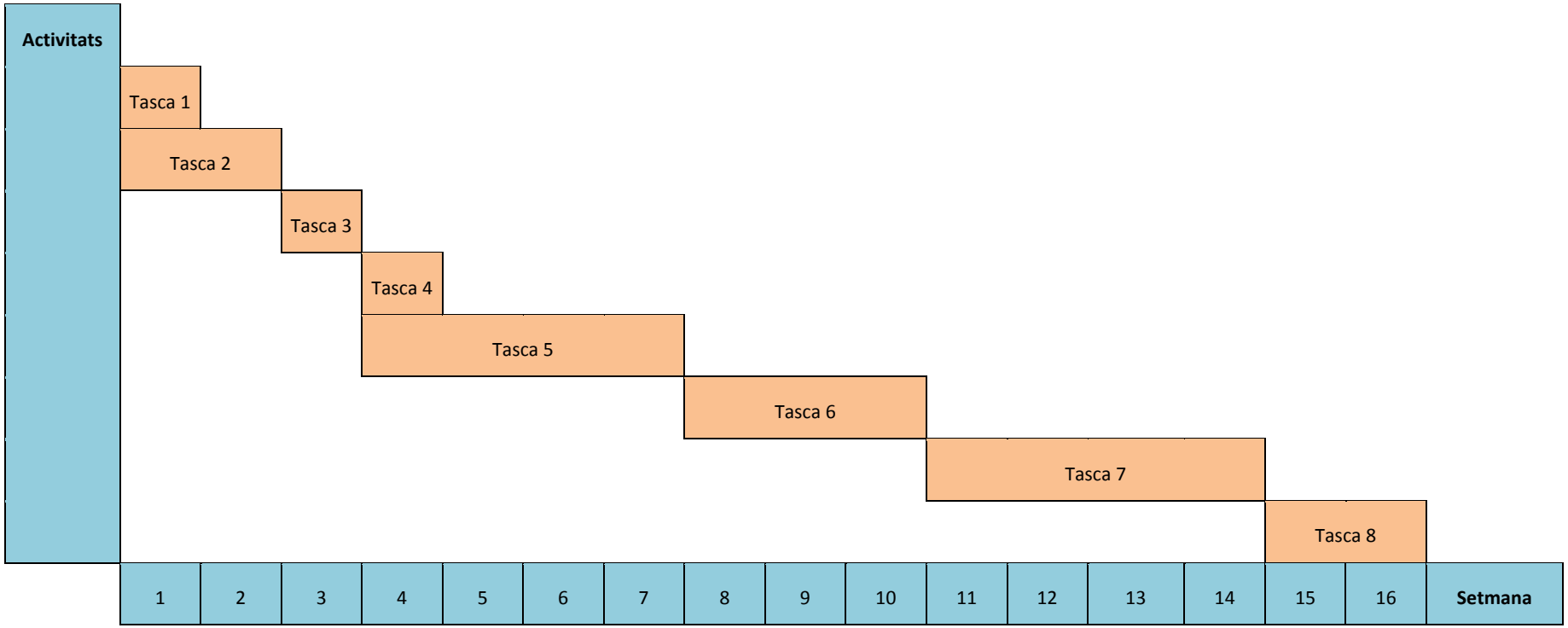
1. Realitzar un estudi previ de la instal·lació i preveure quin serà el material necessari per tal d'assolir els objectius del projecte.
2. Recopilar informació relativa al PLC i aprendre el seu llenguatge de programació per poder desenvolupar l'algoritme adient a l'automatització que volem realitzar.
3. Programar un algoritme que sigui capaç de llegir tots els 'inputs' del sistema i que permeti seleccionar la posició de les electro-vàlvules a voluntat de l'usuari. Es un primer pas, cap a l'automatització, estaríem davant d'un sistema DAQ (*Data AcQuisition system*) on l'usuari tindrà un paper de monitorització.
4. Llegir la normativa relativa a la matèria, estudiar-la i conèixer com afecta al nostre projecta i a que ens obliga. Establir quines són les condicions de confort que volem assolir a la sala que volem climatitzar.
5. Amb el algoritme anterior i sabent les condicions de confort que volem obtenir, començar a assajar amb la bomba de calor en diferents punts de funcionament (diferents posicions de les electrovàlvules, i diverses condicions ambientals) per comprendre i estudiar el comportament de la màquina per tal de poder realitzar un nou algoritme més eficient.
6. Un cop finalitzada l'etapa d'estudi i en possessió de dades suficients com per a poder teoritzar de forma precisa el comportament i reaccions del sistema enfront diferents situacions, millorar l'algoritme de tal forma que tinguem una automatització completa, on el sistema sigui completament autònom e independent de tota acció humana i garanteixi sempre les condicions de

confort. Estarem front un sistema tipus SCADA (*Supervisory Control And Data Acquisition*), on l'acció de l'ésser humà es limita a la supervisió.

7. Realitzar una sèrie de proves a mode de post-control del sistema per tal d'assegurar-ne el correcte funcionament, és a dir, que el sistema garantitza de forma completament autònoma, quan està en funcionament, unes condicions de confort establertes. En cas de trobar errors i/o malfuncionaments, detectar-ne la font o causa i subsanar-la en l'algoritme. Un cop feta la correcció reiniciar el procés de post-control. Realitzarem aquesta tasca tants cops com sigui necessari fins a assegurar-nos que el sistema respon sempre de forma idònia.

8. Redacció de la memòria tècnica.

9.1. Diagrama de Gantt



CAPÍTOL 10:

PLÀNOLS I ESQUEMES

10.1. Esquema de la instal·lació

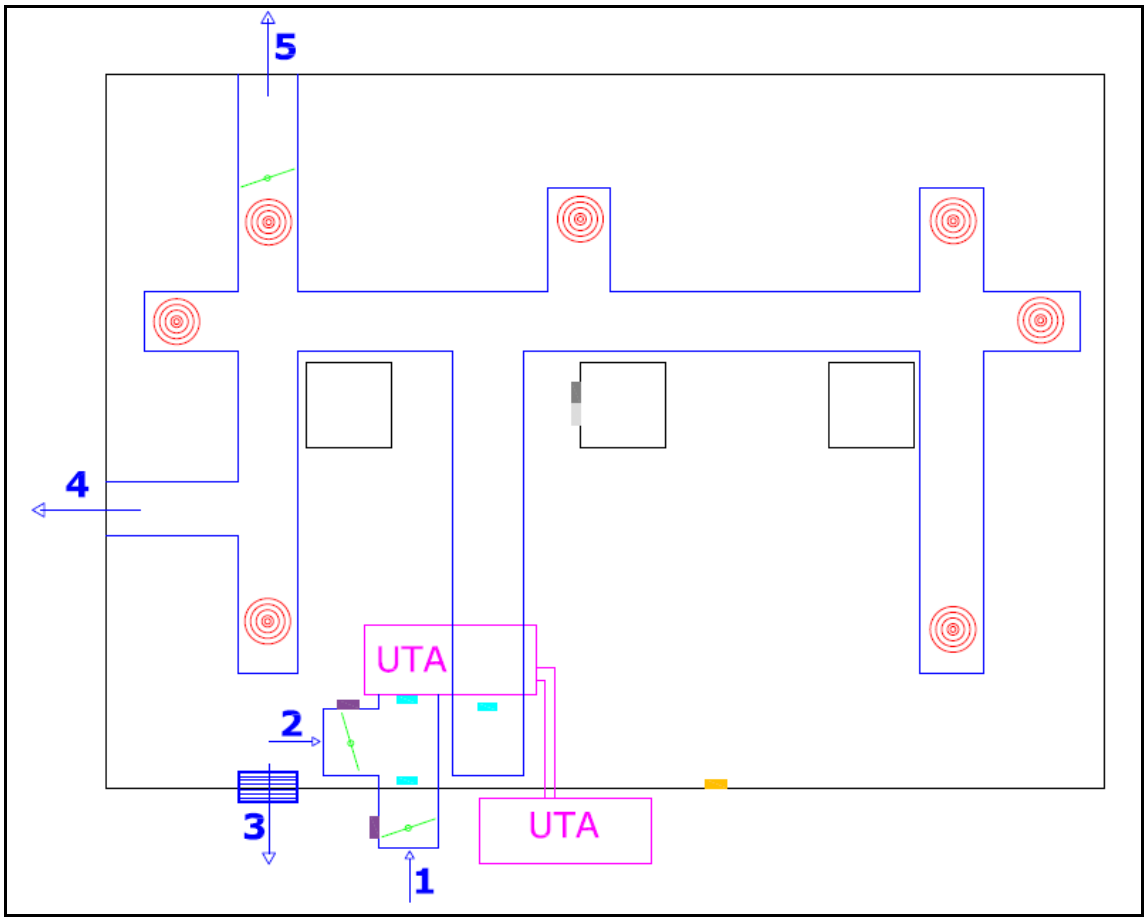


Figura 9. *Esquema de la instal·lació*

Llegenda esquema:

- Xarxa de conductes de ventil·lació.
- Difusors.
- Unitat de tractament d'aire.
- Vàlvules.
- Sensor EGH 112.
- Sensor EGH 120.
- Sensor EGH 130.
- Transmissor SDU 101.
- Actuador ASM 123.

1. Aire exterior.
2. Aire de recirculació.
3. Aire d'extracció.
4. Aire al laboratori de calor-fred.
5. Aire a altres locals.

CAPÍTOL 11: NORMATIVA

- “Reglamento de Instalaciones Térmicas en Edificios (RITE)” aprovat pel Reial Decret 1027/2007.
- “Código técnico de la Edificación (CTE)” aprovat pel Reial Decret 314/2006.

CAPÍTOL 12: BIBLIOGRAFIA

12.1. Referències bibliogràfiques

Miranda Barreras, Angel L. Aire Acondicionado. Barcelona: Grupo Editorial Ceac, 1994.

Miranda Barreras, Angel L. La psicrometría. Barcelona: Grupo Editorial Ceac, 1996.

Piqué, Robert. “Processadors digitals d’informació”. Barcelona: UPC/DEEL/EUETIB, 2008.